



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ – ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ
Μ.Π.Σ. «ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΤΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**«Χαρτογράφηση
επιδεκτικότητας και
επικινδυνότητας δημιουργίας
πάγου και παγετού σε τεχνικά
έργα και φυτοκαλυμμένες
επιφάνειες πρανών»**

Παναγιώτα Τ. Λουκά

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2014



Μεταπτυχιακή Διατριβή

**«Χαρτογράφηση
επιδεκτικότητας και
επικινδυνότητας δημιουργίας
πάγου και παγετού σε τεχνικά
έργα και φυτοκαλυμμένες
επιφάνειες πρανών»**

Παναγιώτα Τ. Λουκά

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΙΓΚΙΡΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

ΙΩΑΝΝΗΣ ΤΣΙΡΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α

Ευχαριστίες

Πριν ξεκινήσει η ανάγνωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για όλους του ανθρώπους που συνετέλεσαν στην διεκπεραίωση και την συγγραφή της παρούσας μελέτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της μεταπτυχιακής εργασίας μου, κύριο Ιωάννη Παπανικολάου για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη καθοδήγηση και εποπτεία του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου διατριβής. Η εμπειρία και η κατάρτιση του υπήρξαν πολύ σημαντικές για εμένα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Γεώργιο Πετρόπουλο, λέκτορα του Πανεπιστημίου του Aberystwyth, για την βοήθεια και την καθοδήγηση ιδιαίτερα σε θέματα Τηλεπισκόπησης και την μετάδοση των γνώσεων του στο αντικείμενο του χειρισμού ENVI, καθώς και για την πάντα πρόθυμη υποστήριξη του σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της εργασίας μου. Η συμβολή του υπήρξε ιδιαίτερα σημαντική και κατά την παρουσίαση της εργασίας μου στο Ευρωπαϊκό Συνέδριο Γεωεπιστημών (EGU, 2014).

Ευχαριστώ ακόμα τον Δρ. Εμμανουήλ Ψωμιάδη για την καθοδήγηση και την μετάδοση γνώσεων στο αντικείμενο της τηλεπισκόπησης και γεωπληροφορικής και στην κατάρτιση που μου προσέφερε στον χειρισμό των αντίστοιχων προγραμμάτων.

Ευχαριστώ επίσης τον αναπλ. καθηγητή κύριο Ιωάννη Τσίρο για την καθοδήγησή του και τις γνώσεις που μου μετέδωσε σε θέματα κλιματολογίας και γενικότερης προσέγγισης των υπό μελέτη φαινομένων, αλλά και για τη βιβλιογραφική υποστήριξη, καθώς και τον καθηγητή κύριο Γεώργιο Μιγκίρο για τις γνώσεις που μου προσέφερε στο αντικείμενο των Γ.Σ.Π. και Τηλεπισκόπησης προκειμένου να προσεγγίσω επιστημονικά το θέμα της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, για την επιχορήγησή της συμμετοχής μου στο Ευρωπαϊκό Συνέδριο Γεωεπιστημών που διοργανώθηκε τον Απρίλιο του 2014 στην Βιέννη, όπου και παρουσιάστηκε η παρούσα εργασία.

Ιδιαίτερα ευγνώμων είμαι στους κυρίους Βασίλειο Γράβαλο, Ιωάννη Χρυσανθάκη και Ιωάννη Γκιζλή και γενικά τη Διεύθυνση Μελετών και Εφαρμογών του Ελληνικού Οργανισμού Γεωργικών Ασφαλίσεων για την άμεση και πάντα πρόθυμη ανταπόκρισή τους στην παροχή πολύτιμων δεδομένων που αποτέλεσαν σημαντικό μέρος των πρωτογενών δεδομένων της εργασίας μου.

Ευχαριστώ ακόμα ιδιαίτερος θερμά την εταιρεία Εγνατία Οδός Α.Ε. και ιδιαίτερος τον κύριο Αθανάσιο Ματθαίου και την κυρία Όλγα Μαυρίδου για την παραχώρηση γεωχωρικών και μετεωρολογικών δεδομένων, καθώς και μελετών που αφορούν στην Εγνατία Οδό. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία για την παροχή μετεωρολογικών δεδομένων.

Τέλος ευχαριστώ θερμά τον Υποψήφιο Διδάκτορα κύριο Νικόλαο Σταθόπουλο, MSc Μηχανικό Μεταλλείων – Μεταλλουργό Ε.Μ.Π. για την υποστήριξη, τις πολύτιμες συμβουλές και αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το φαινόμενο της επικράτησης παγετού και του σχηματισμού πάγου αποτελεί ένα σημαντικό κίνδυνο ακόμα και σε μεσογειακές περιοχές όπως η Ελλάδα. Η αποτελεσματική πρόβλεψη του κινδύνου συντελεί στην έγκαιρη λήψη μέτρων πρόληψης και το σωστό σχεδιασμό έργων υποδομής. Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, επιχειρείται η χαρτογράφηση του παγετού και πάγου με τον συνδυασμό δεδομένων δορυφορικών MODIS, γεωχωρικών, μετεωρολογικών και καταγραφών ζημιών από παγετό σε καλλιεργούμενες εκτάσεις από τον Ελληνικό Οργανισμό Γεωργικών Ασφαλίσεων.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, έλαβε υπόψη την συχνότητα εμφάνισης παγετού και πάγου, καθώς και την συσχέτιση των τοπογραφικών, φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων με τον υφιστάμενο κίνδυνο. Η περιοχική μελέτη καλύπτει τμήματα της Ηπείρου, Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας και αποτελείται από 514 δημοτικά διαμερίσματα. Χαρακτηρίζεται από έντονες εναλλαγές ανάγλυφου, ενώ οι κλιματικές της συνθήκες παρουσιάζουν μία αντίστοιχη μεταβλητότητα.

Δημιουργήθηκε ένα μοντέλο επικινδυνότητας λόγω παγετού και πάγου σε δύο εκδοχές ανάλογα τη φύση των αρχικών δεδομένων: στατικό και δυναμικό μοντέλο.

Οι παράγοντες που ελήφθησαν υπόψη στην στατική εκδοχή του μοντέλου είναι το υψόμετρο, η κλίση και ο προσανατολισμός των πρανών, ο τύπος του ανάγλυφου, το υδρογραφικό δίκτυο και η χρήση και κάλυψη γης. Οι παράγοντες αυτοί συνδυάστηκαν μεταξύ τους με κατάλληλα βάρη ανάλογα με τον βαθμό επιρροής τους στον κίνδυνο και έπειτα από δοκιμές επιλέχθηκε η καλύτερη συσχέτιση και κατηγοριοποίηση παραγόντων.

Στην δυναμική εκδοχή του μοντέλου συμπεριλήφθησαν επιπλέον παράγοντες που σχετίζονται με τις χρήσεις γης και την βλάστηση, οι οποίοι παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση με το χρόνο. Σαν χρονικό διάστημα εφαρμογής του δυναμικού μοντέλου επιλέχθηκε το διάστημα 26 Φεβρουαρίου έως 05 Μαρτίου 2006. Κατά την περίοδο αυτή είχαν καταγραφεί ζημιές από παγετό σε 108 από τα 514 συνολικά δημοτικά διαμερίσματα της περιοχής μελέτης.

Μέσω της παραπάνω διαδικασίας, δημιουργήθηκαν χάρτες επιδεκτικότητας του κινδύνου παγετού και πάγου για το κάθε μοντέλο χωριστά, οι οποίοι διαχωρίζουν την περιοχική μελέτη σε 5 ζώνες επικινδυνότητας. Οι χάρτες αυτοί αξιολογήθηκαν σε σύγκριση τον χάρτη συχνότητας παγετού που προήλθε από δορυφορικά δεδομένα επιφανειακής θερμοκρασίας από τον MODIS. Για τη δημιουργία του χάρτη συχνότητας παγετού επεξεργάστηκαν 640 εικόνες επιφανειακής θερμοκρασίας.

Από τη σύγκριση του χάρτη επιδεκτικότητας στον κίνδυνο δημιουργίας πάγου και παγετού που δημιουργήθηκε από τα μοντέλα επικινδυνότητας με τον χάρτη συχνότητας παγετού από δορυφορικά δεδομένα διαπιστώθηκε υψηλή ταύτιση των αποτελεσμάτων σε ποσοστό 91,12% για το στατικό και 81,83% για το δυναμικό μοντέλο.

Περαιτέρω, εφαρμόστηκαν τα μοντέλα επικινδυνότητας: α) στην Εγνατία Οδό και β) στις γεωργικές καλλιέργειες της περιοχής ενδιαφέροντος.

Σύμφωνα με το χάρτη επικινδυνότητας παγετού και πάγου της Εγνατίας οδού, 4,35 km του δρόμου στην περιοχή του Μετσόβου βρίσκονται σε ζώνη πολύ υψηλού και 76,63 km σε ζώνη υψηλού κινδύνου στην περιοχή της Κοζάνης και των Γρεβενών. Ο διαχωρισμός της Εγνατίας οδού σε ζώνες επικινδυνότητας αξιολογήθηκε σε σύγκριση με τον χάρτη συχνότητας παγετού από δορυφορικά δεδομένα και η ταύτιση των δεδομένων ήταν υψηλή σε ποσοστό 93,78%. Επίσης, βρέθηκε καλή συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων του μοντέλου και μίας μελέτης υπέρυθρης θερμογραφίας που έχει υλοποιηθεί σε ένα τμήμα της Εγνατίας οδού.

Τέλος, το μοντέλο κινδύνου παγετού και πάγου εφαρμόστηκε στις γεωργικές καλλιέργειες της περιοχής ενδιαφέροντος. Ο χάρτης επικινδυνότητας που δημιουργήθηκε, ιδίως από το δυναμικό μοντέλο, είχε πολύ ικανοποιητική ταύτιση των περιοχών υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου με τις καταγραφές ζημιών από τον ΕΛ.Γ.Α. κατά το χρονικό διάστημα εφαρμογής του δυναμικού μοντέλου (26.02-05.03 του 2006).

Μέρος των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας παρουσιάστηκαν στο Ευρωπαϊκό Συνέδριο Γεωεπιστημών – European Geosciences Union που διοργανώθηκε στις 27.02.2014 – 02.05.2014 στην Βιέννη, Αυστρία. Το άρθρο και το πόστερ της συμμετοχής παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΙΙΙ.

Λέξεις κλειδιά:

Χαρτογράφηση, τηλεπισκόπηση, παγετός, πάγος, γεωργικές καλλιέργειες, Εγνατία οδός, MODIS, Ελλάδα

ABSTRACT

Frost risk is a critical hazard even in a Mediterranean country such as Greece, due to rough landscape. The effective prediction of frost hazard contributes significantly to the undertaking of early prevention measures and designing purposes. The mapping of frost hazard is attempted through the combination of satellite data, geomatics, meteorological data and frost damage reports in agricultural lands by the Greek Organization of Agricultural Insurances.

The methodology is focused on the study of frost frequency and the estimation of the correlation of frost and topographic, vegetation and anthropogenic factors. The study site is located in NW Greece, on Ipeiros, West and Central Macedonia and it consists of 514 submunicipalities. It is characterized by topography with high variability and climate with corresponding diversity.

The present work is focused on the selection of the critical frost factors and the study of their influence to the hazard. A frost hazard model is developed in two versions depending on the nature of factors assigned: static and dynamic model.

The static model considered the following factors: elevation, slope, aspect, curvature, distance from water and land use. Each factor was assigned a different weight factor depending on its contribution to the hazard.

The additional factors that were included in the dynamic model concerned land use and vegetation, which have a significant variability with time. The period of time for which the dynamic model was applied is between 26 of February and 5 March 2006. During this period severe damage in agriculture was recorded in 108 of the total of 514 submunicipalities of the study area.

Frost hazard maps were created which categorized the study area in 5 hazard zones. The hazard maps were evaluated by comparing them with the frost frequency maps which were compiled by landsurface temperature data by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). In total 640 landsurface temperature images were processed for the creation of the frost frequency map.

The comparison of the maps showed a high correlation by 91,12% for the static and 81,83% for the dynamic model.

The frost models were then applied on: a) the Egnatia motorway and b) the agricultural regions of the study area.

According to the frost frequency model results, a stretch of 4,35 km was classified as very a high frost hazard zone, near the town of Metsovo. Also 67,63 km in total of the road are in a high frost risk region, mainly close to the towns of Kozani and Grevena. The classification of the motorway in danger zones was in high correlation with the results of the frost frequency map produced by satellite data (93,76%). Also, the results of the frost hazard model were in good correspondence with an infrared thermography study that was conducted in a part of Egnatia motorway.

Finally, the frost risk model was applied on agricultural areas and the frost hazard map that was created, especially by the dynamic model, had a high correlation with the areas where damages from frost were reported by the Greek Organization of Agricultural Insurances during the period of 26.02.06-05.03.06.

Part of the results of this study have been presented in the European Geosciences Union General Assembly that was held in Vienna, Austria from 27 April until 02 May 2014. The abstract and the poster of the participation are presented in Appendix III.

Keywords:

Risk assessment, remote sensing, frost, ice, agriculture, Egnatia motorway, MODIS, Greece.

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Κατηγοριοποίηση μίας περιοχής ενός υψίπεδου στην Βολιβία σε 17 ζώνες.....	29
Εικόνα 2: Χάρτης διακύμανσης του υψομέτρου για την ανάλυση του ως κυρίαρχου παράγοντα στον κίνδυνο παγετού (Routeau et al, 2011).	29
Εικόνα 3: Τρισδιάστατος χάρτης συχνότητας παγετού ανά ημέρα κατά την περίοδο Μαρτίου- Απριλίου στις δυτικές Άνδεις (Routeau et al, 2011).	30
Εικόνα 4: Το μικροκλιματικό σύστημα που επηρεάζει τις συνθήκες που επικρατούν στο οδόστρωμα “Room Climate Room” (Almkvist et al, 2005).	32
Εικόνα 5: Διακύμανση προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας ανάλογα με τον προσανατολισμό (Graffe, 1956).	38
Εικόνα 6α: Ελάχιστες θερμοκρασίες κοντά στο έδαφος σε λοφώδη δασική περιοχή. Εικόνα 6β: Διαφοροποιήσεις στην καθαρή ηλιακή ακτινοβολία (S), θερμοκρασία (T) και την ατμοσφαιρική πίεση (F) και κατηγοριοποίηση σε 5 τάξεις (Hartmann et al, 1959).	39
Εικόνα 7: Χάρτης θέσης περιοχής μελέτης.	43
Εικόνα 8: Τοπογραφικός χάρτης περιοχής μελέτης.	44
Εικόνα 9: Κόμβοι και τμήματα της Εγνατίας οδού (πηγή: www.egnatia.eu).	46
Εικόνα 10: Χάρτης κλιματικής κατάταξης Ελλάδας κατά Köppen (www.meteoclub.gr).	47
Εικόνα 11: Χάρτης διακύμανσης μέσης ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας (°C) στην περιοχή μελέτης (πηγή δεδομένων: Ε.Μ.Υ.).	49
Εικόνα 12: Χάρτης διακύμανσης συνολικών ημερών βροχόπτωσης ανά έτος στην περιοχή μελέτης (πηγή δεδομένων: Ε.Μ.Υ.).	50
Εικόνα 13: Χάρτης διακύμανσης ετήσιας βροχόπτωσης (mm) στην περιοχή μελέτης (πηγή δεδομένων: Ε.Μ.Υ.).	51
Εικόνα 14: Χάρτης διακύμανσης συνολικών ημερών χιονιού ανά έτος στην περιοχή μελέτης (πηγή δεδομένων: Ε.Μ.Υ.).	52
Εικόνα 15: Χάρτης διακύμανσης ετήσιων ημερών μερικού παγετού στην περιοχή μελέτης (πηγή δεδομένων: Ε.Μ.Υ.).	53
Εικόνα 16: Γεωμορφολογικός Χάρτης Περιοχής Μελέτης.	54
Εικόνα 17 : Χάρτης κλίσεως (°) πρηνών της περιοχής μελέτης.	56
Εικόνα 18 : Χάρτης προσανατολισμού πρηνών της περιοχής μελέτης	57
Εικόνα 19: Χάρτης γεωλογικών ζωνών Ελλάδας (Μουντράκης, 1985).	58
Εικόνα 20: Χάρτης υδρογραφικού δικτύου περιοχής μελέτης.	59
Εικόνα 21: Κατανομή χρήσης/ κάλυψης γης της περιοχής μελέτης με δεδομένα Corine 2000.	60
Εικόνα 22: Χάρτης Χρήσεων Γης για την Περιοχή Μελέτης (πηγή δεδομένων Corine 2000).	61

Εικόνα 23: Οι ζώνες βλάστησης της Ελλάδας (Φοίτος & Καμάρη, 2009).	63
Εικόνα 24: Διάγραμμα ροής εργασίας.	67
Εικόνα 25: Δείγμα δορυφορικής εικόνας MOD11A1.....	71
Εικόνα 26: Δείγμα δορυφορικής εικόνας MOD15A2.....	71
Εικόνα 27: Δείγμα δορυφορικής εικόνας MOD13A2.....	72
Εικόνα 28: Δείγμα δορυφο-ρικής εικόνας MOD12Q1.	73
Εικόνα 29: Διάγραμμα καταγραφής συνολικού ετήσιου αριθμού ζημιών από παγετό στην περιοχή μελέτης, για τα έτη 1999-2010.....	76
Εικόνα 30: Διάγραμμα καταγραφής αριθμού ζημιών παγετού ανά ημέρα για την περιοχή μελέτης, για το χρονικό διάστημα 1/10/1999 έως 30/04/2010.	77
Εικόνα 31: Χάρτης καταγραφής ζημιών λόγω παγετού ανά δημοτικό διαμέρισμα της περιοχής μελέτης για την δεκαετία 1999-2010	78
Εικόνα 32: Στάδια επεξεργασίας υδρολογικής διόρθωσης ψηφιακού μοντέλου εδάφους.	80
Εικόνα 33: Χάρτης Διακύμανσης Σύνθετου Τοπογραφικού Δείκτη (C.T.I.) της περιοχής μελέτης.	81
Εικόνα 34: Άνοιγμα εικόνων MODIS με την εφαρμογή MCTK του Envi 4.7	83
Εικόνα 35: Επεξεργασία συγχώνευσης εικόνων MODIS (Envi 4.7).....	83
Εικόνα 36: Τροποποιημένος χάρτης υψομετρικού μοντέλου εδάφους.....	85
Εικόνα 37: Τροποποιημένος χάρτης μορφολογικής κλίσης πρηνών.	87
Εικόνα 38: Τροποποιημένος χάρτης προσανατολισμού πρηνών.	88
Εικόνα 39: Τροποποιημένος χάρτης καμπυλότητας ανάγλυφου.	89
Εικόνα 40: Τροποποιημένος χάρτης σύνθετου τοπογραφικού δείκτη.	90
Εικόνα 41: Τροποποιημένος χάρτης επαναταξινόμησης περιοχής μελέτης ανάλογα με την απόσταση από υδάτινες επιφάνειες.....	92
Εικόνα 42: Τροποποιημένος χάρτης χρήσης / κάλυψης γης (πηγή δεδομένων Corine 2000).....	94
Εικόνα 43: Τροποποιημένος Χάρτης Χρήσης / Κάλυψης Γης έτους 2006 (πηγή δεδομένων Modis).	96
Εικόνα 44: Τροποποιημένος χάρτης ενισχυμένου δείκτη βλάστησης στην περιοχή μελέτης για την περίοδο 26/2-13/3 του 2006 (πηγή δεδομένων MODIS).....	97
Εικόνα 45: Τροποποιημένος χάρτης δείκτη φυλλικής επιφάνειας στην περιοχή μελέτης για την περίοδο 26/2-05/3/2006 (πηγή MODIS).....	98
Εικόνες 46α-β: Επεξεργασία εικόνων επιφανειακής θερμοκρασίας MODIS στο Envi 4.7.....	99
Εικόνα 47: Χάρτης συχνότητας παγετού με βάση δεδομένα νυχτερινής επιφανειακής θερμοκρασίας MODIS για το χρονικό διάστημα 1/12 έως 10/5 των ετών 2004, 2006, 2009 και 2010.....	101

Εικόνα 48: Χάρτης επιδεκτικότητας δημιουργίας πάγου και παγετού στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με τα αποτελέσματα του στατικού μοντέλου.....	105
Εικόνα 49: Χάρτης συχνότητας παγετού με βάση νυχτερινή επιφανειακή θερμοκρασία για το διάστημα 1/12-10/5 των ετών 2004, 2006, 2009 και 2010 (πηγή δεδομένων: MODIS).....	106
Εικόνα 50: Συγκριτικός χάρτης αποτελεσμάτων στατικού μοντέλου παγετού και πάγου και χάρτη συχνότητας παγετού.	107
Εικόνα 51: Διάγραμμα αριθμού ημερών ανά μήνα με μέση θερμοκρασία κάτω των 0°C στον μετεωρολογικό σταθμό Κοζάνης για τα έτη 2000-2004. (πηγή δεδομένων Ε.Μ.Υ.).....	108
Εικόνα 52: Χάρτης καταγραφής ζημιών από παγετό από τον ΕΛ.Γ.Α. στην περιοχή μελέτης, για το χρονικό διάστημα 26.02 – 06.03 του 2006.	109
Εικόνα 53: Χάρτης επιδεκτικότητας δημιουργίας πάγου και παγετού στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δυναμικού μοντέλου για την περίοδο 26.2 - 06.03 του 2006.	111
Εικόνα 54: Χάρτης συχνότητας παγετού με βάση καταγραφές MODIS για το χρονικό διάστημα 1/12/2005- 10/5/2006.....	112
Εικόνα 55: Συγκριτικός χάρτης αποτελεσμάτων Δυναμικού Μοντέλου Παγετού και Πάγου και Χάρτη Συχνότητας Παγετού.....	113
Εικόνα 56: Χάρτης επικινδυνότητας Εγνατίας οδού ως προς τον κίνδυνο παγετού και πάγου, με βάση το στατικό μοντέλο.	116
Εικόνα 57: Συγκριτικός χάρτης αποτελεσμάτων μοντέλου παγετού και πάγου για την Εγνατία οδό και χάρτη συχνότητας παγετού.	117
Εικόνα 58α: Διάγραμμα διακύμανσης θερμοκρασίας οδοστρώματος και αέρος του τμήματος της Εγνατίας οδού που εκτείνεται μεταξύ των κόμβων Πολύμυλου και Βέροιας (Εγνατία Οδός, 2009). 58β. Μηκοτομή σε σχέση με την υψομετρική διαφορά του τμήματος της Εγνατίας Οδού μεταξύ των κόμβων Πολύμυλου - Βέροιας. 58γ. Αποτελέσματα στατικού μοντέλου επικινδυνότητας παγετού και πάγου για το αντίστοιχο τμήμα της Εγνατίας οδού.	120
Εικόνα 59: Χάρτης επικινδυνότητας πάγου και παγετού γεωργικών εκτάσεων περιοχής μελέτης σύμφωνα με τα αποτελέσματα του στατικού μοντέλου.	122
Εικόνα 60: Χάρτης ποιοτικής σύγκρισης αποτελεσμάτων στατικού μοντέλου πάγου - παγετού για τις γεωργικές εκτάσεις και καταγραφών ζημιών λόγω παγετού από τον ΕΛ.Γ.Α. για την περιοχή μελέτης.	123
Εικόνα 61: Χάρτης επικινδυνότητας δημιουργίας πάγου και παγετού σε γεωργικές εκτάσεις περιοχής μελέτης σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δυναμικού μοντέλου (26.02-05.03 του 2006).	125
Εικόνα 62: Χάρτης καταγραφής ζημιών από παγετό σε καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης από τον ΕΛ.Γ.Α. (περίοδος 26.02-05.03 του 2006).....	126
Εικόνα 63: Χάρτης ποιοτικής σύγκρισης αποτελεσμάτων δυναμικού μοντέλου επικινδυνότητας πάγου και παγετού για τις γεωργικές εκτάσεις και καταγραφών	

ζημιών λόγω παγετού από τον ΕΛ.Γ.Α. στην περιοχή μελέτης (περίοδος 26.02.-05.03 του 2006).	127
Εικόνες 64α και 64β: Χάρτης επικινδυνότητας παγετού και πάγου, αποτελέσματα στατικού (α) και δυναμικού (β) μοντέλου κινδύνου.....	129
Εικόνα 65α: Χάρτης διακύμανσης ετήσιων ημερών μερικού παγετού με βάση μετεωρολογικά δεδομένα. Εικόνα 65β: Χάρτης. συχνότητας παγετού με βάση δορυφορικά δεδομένα MODIS.....	130
Εικόνα 66: Παρουσίαση περιοχών με υψηλή απόκλιση αποτελεσμάτων δυναμικού μοντέλου επικινδυνότητας παγετού και πάγου και Χάρτη Συχνότητας Παγετού.	132

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ελάχιστες θερμοκρασίες πρόκλησης ζημιών από παγετό ανάλογα το στάδιο ανάπτυξης σε καλλιέργειες φυτών (Χρονοπούλου, 1996).....	23
Πίνακας 2: Μεταβολές στις κλιματικές συνθήκες ανάλογα με το υψόμετρο, στις ανατολικές Άλπεις (Geiger et al, 2003).	37
Πίνακας 3: Μεταβολή του πληθυσμού της περιοχής μελέτης ανά νομό κατά την δεκαετία 2001-2011 (πηγή: Ε.Σ.Υ.).	45
Πίνακας 4: Ταξινόμηση ανάγλυφου της περιοχής μελέτης σύμφωνα με το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας.	55
Πίνακας 5: Έκταση και ποσοστό των κλάσεων ταξινόμησης των κλίσεων των πρανών.	56
Πίνακας 6: Έκταση και ποσοστό των κλάσεων προσανατολισμού των πρανών.	57
Πίνακας 7: Εκτάσεις καλλιεργειών και αγρανάπαυσης στους νομούς που περιλαμβάνονται στην περιοχής μελέτης, για το έτος 2006	64
Πίνακας 8: Συνολικός αριθμός συμβάντων παγετού ανά χειμερινή περίοδο ετών 1999-2010 (πηγή δεδομένων ΕΛ.Γ.Α.).	76
Πίνακας 9: Κλάσεις επαναταξινόμησης υψομέτρου στην περιοχής μελέτης.....	85
Πίνακας 10: Κλάσεις επαναταξινόμησης μορφολογικής κλίσης πρανών (σε μοίρες) στην περιοχής μελέτης.....	86
Πίνακας 11: Κλάσεις επαναταξινόμησης προσανατολισμού πρανών στην περιοχής μελέτης.	88
Πίνακας 12: Κλάσεις επαναταξινόμησης καμπυλότητας ανάγλυφου στην περιοχής μελέτης.	89
Πίνακας 13: Κλάσεις επαναταξινόμησης σύνθετου τοπογραφικού δείκτη στην περιοχής μελέτης.	90
Πίνακας 14: Κλάσεις επαναταξινόμησης περιοχής μελέτης ανάλογα με την απόσταση από υδάτινες μάζες.	91
Πίνακας 15: Κλάσεις επαναταξινόμησης χρήσεων / κάλυψης γης στην περιοχής μελέτης (πηγή Corine 2000).	93
Πίνακας 16: Κλάσεις επαναταξινόμησης χρήσεων / κάλυψης γης στην περιοχής μελέτης για το έτος 2006 (πηγή δεδομένων MODIS).	95
Πίνακας 17: Κλάσεις επαναταξινόμησης Ενισχυμένου Δείκτη Βλάστησης στην περιοχής μελέτης για την περίοδο 26/2-13/3/2006 (πηγή δεδομένων MODIS).	97
Πίνακας 18: Κλάσεις επαναταξινόμησης Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας στην περιοχής μελέτης για την περίοδο 26/2-05/3/2006 (πηγή MODIS).	98
Πίνακας 19: Κατηγοριοποίηση συσχέτισης αποτελεσμάτων στατικού μοντέλου παγετού – πάγου με τον χάρτη συχνότητας παγετού από δεδομένα MODIS. .	107

Πίνακας 20: Κατηγοριοποίηση συσχέτισης αποτελεσμάτων Δυναμικού Μοντέλου Παγετού- Πάγου και Χάρτη Συχνότητας Παγετού.....	113
Πίνακας 21: Κατηγοριοποίηση Εγνατίας Οδού που διασχίζει την περιοχή μελέτης, ανάλογα τον βαθμό κινδύνου σε παγετό και πάγο.....	114
Πίνακας 22: Κατηγοριοποίηση συσχέτισης αποτελεσμάτων στατικού μοντέλου επικινδυνότητας για την Εγνατία οδό και χάρτη συχνότητας παγετού και πάγου.	117
Πίνακας 23: Κατηγοριοποίηση γεωργικής γης περιοχής της περιοχής μελέτης, ανάλογα με τον βαθμό κινδύνου σε παγετό και πάγο.....	124

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
1.1.	Στόχος της Εργασίας	17
1.2.	Βασικές έννοιες – παράμετροι του κινδύνου	17
1.2.1.	Θερμοκρασία Επιφανείας Εδάφους	18
1.2.2.	Πάγος – Προϋποθέσεις Σχηματισμού	19
1.2.3.	Επιπτώσεις Πάγου και Παγετού σε Υλικά Έργων Υποδομής και Γεωλογικούς Σχηματισμούς	21
1.2.4.	Επιπτώσεις Πάγου και Παγετού σε Έργα Υποδομής	21
1.2.5.	Επιπτώσεις Παγετού και Πάγου σε Φυτοκαλυμμένες Επιφάνειες	22
2.	ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΠΑΓΟΥ ΚΑΙ ΠΑΓΕΤΟΥ– ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	25
2.1.	Εισαγωγή	25
2.2.	Χαρτογράφηση Παγετού και Πάγου με Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών	26
2.3.	Η Χρήση της Τηλεπισκόπηση στην Χαρτογράφηση Πάγου και Παγετού	28
2.4.	Χαρτογράφηση πάγου στο οδικό δίκτυο	31
2.5.	Παράγοντες Κινδύνου Παγετού και Πάγου	34
2.5.1.	Υψόμετρο	34
2.5.2.	Κλίση και Προσανατολισμός Πρανών	38
2.5.3.	Υδρογραφικό Δίκτυο	40
2.5.4.	Ανάγλυφο και Τοπογραφικοί Δείκτες	40
2.5.5.	Βλάστηση	41
2.5.6.	Χρήσεις Γης και Οδικό Δίκτυο	42
3.	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	43
3.1.	Γεωγραφικά – Διοικητικά Στοιχεία	43
3.2.	Πληθυσμιακά Στοιχεία	44
3.3.	Οδικό Δίκτυο – Εγνατία Οδός	45
3.3.1.	Εγνατία Οδός – Τμήμα Ηπείρου	46
3.3.2.	Εγνατία Οδός – Τμήμα Δυτικής & Κεντρικής Μακεδονίας	46
3.4.	Κλιματικά Χαρακτηριστικά	47

3.4.1.	Διακύμανση Θερμοκρασίας Αέρα	48
3.4.2.	Διακύμανση Βροχόπτωσης	49
3.4.3.	Διακύμανση Χιονόπτωσης	51
3.4.4.	Διακύμανση Συχνότητας Μερικού Παγετού	52
3.5.	Γεωμορφολογία	54
3.6.	Γεωλογία.....	58
3.7.	Υδρογραφικό Δίκτυο.....	59
3.8.	Χρήσεις – Κάλυψη Γης	59
3.9.	Βλάστηση	62
3.10.	Καλλιέργειες	63
4.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	65
4.1.	Εισαγωγή.....	65
4.2.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΣΥΛΛΟΓΗ.....	68
4.2.1.	Γενική Περιγραφή	68
4.2.2.	Ψηφιακά δεδομένα	68
4.2.3.	Δορυφορικά δεδομένα MODIS	68
4.2.4.	Δεδομένα καταγραφής ζημιών παγετού ΕΛ.Γ.Α.....	73
4.3.	Επεξεργασία Δεδομένων ΕΛ.Γ.Α.	75
4.4.	Αρχική Επεξεργασία Τοπογραφικών Δεδομένων.....	79
4.4.1.	Εισαγωγή	79
4.4.2.	Υψόμετρο	79
4.4.3.	Κλίση και Προσανατολισμός Πρανών	80
4.4.4.	Υδρογραφικό Δίκτυο	80
4.4.5.	Σύνθετος Τοπογραφικός Δείκτης.....	80
4.4.6.	Κάλυψη / Χρήση Γης Corine	81
4.4.7.	Οδικό δίκτυο – Εγνατία Οδός.....	82
4.5.	Αρχική Επεξεργασία Δορυφορικών Δεδομένων.....	83
4.6.	Κύρια Επεξεργασία Δεδομένων	84
4.6.1.	Δεδομένα Υψομέτρου	84
4.6.2.	Δεδομένα Κλίσης Πρανών.....	86
4.6.3.	Δεδομένα Προσανατολισμού Πρανών	87
4.6.4.	Δεδομένα Καμπυλότητας Ανάγλυφου	89

4.6.5.	Δεδομένα Σύνθετου Τοπογραφικού Δείκτη	90
4.6.6.	Δεδομένα Υδρογραφικού Δικτύου	91
4.6.7.	Δεδομένα Χρήσης/ Κάλυψης Γης Corine	93
4.6.8.	Δεδομένα Χρήσης / Κάλυψης Γης MODIS	95
4.6.9.	Δεδομένα Ενισχυμένου Δείκτη Βλάστησης	97
4.6.10.	Δεδομένα Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας	98
4.6.11.	Δεδομένα Επιφανειακής Θερμοκρασίας – Χάρτης Συχνότητας Παγετού	99
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	102
5.1.	Εισαγωγή	102
5.2.	Στατικό Μοντέλο Κινδύνου Πάγου και Παγετού	104
5.3.	Δυναμικό Μοντέλο Επικινδυνότητας Πάγου και Παγετού	108
5.4.	Εφαρμογή Στο Οδικό Δίκτυο	114
5.4.1.	Σύγκριση Αποτελεσμάτων Στατικού Μοντέλου με την Μελέτη Υπέρυθρης Θερμογραφίας στην Εγνατία Οδό	118
5.5.	Εφαρμογή Στατικού Μοντέλου Πάγου – Παγετού σε Γεωργικές Εκτάσεις	121
5.6.	Εφαρμογή Δυναμικού Μοντέλου Πάγου – Παγετού σε Γεωργικές Εκτάσεις	124
6.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	128
6.1.	Αποτελέσματα	128
6.2.	Σφάλματα και αποκλίσεις	131
6.3.	Τελικά συμπεράσματα	133
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. ΑΡΧΕΙΟ ΕΛ.Γ.Α.	134
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ Ε.Μ.Υ.	147
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ – ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΤΟ Ε.Γ.Υ. 2014	148
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	150

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Στόχος της Εργασίας

Η επικράτηση παγετού και η δημιουργία πάγου αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο που στις εύκρατες μεσογειακές περιοχές παρατηρείται κυρίως τους χειμωνιάτικους μήνες. Ο παγετός παρατηρείται όταν επικρατούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω του μηδενός). Εφόσον υπάρχει συγχρόνως και νερό ή διαθέσιμη υγρασία, σχηματίζεται πάγος ο οποίος είναι πηγή πρόκλησης ατυχημάτων σε έργα υποδομής. Σαν αποτέλεσμα, μπορεί να υπάρξει διακοπή κυκλοφορίας και παρεμπόδιση της διακίνησης προϊόντων με σημαντικό οικονομικό και κοινωνικό κόστος. Σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον, το έδαφος και τα φυτά και ιδίως στις καλλιέργειες όπου μπορεί να προκληθεί και ολική καταστροφή τους.

Στόχος της εργασίας είναι η χαρτογράφηση του κινδύνου του παγετού και του πάγου μελετώντας την επίδραση των ιδιαίτερων τοπογραφικών, φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων. Η περιοχή μελέτης περιβάλλει το δυτικό και κεντρικό τμήμα της Εγνατίας οδού στην Ήπειρο και την Μακεδονία. Με βάση την παραμετροποίηση που έχει ακολουθηθεί, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο επικινδυνότητας παγετού και πάγου σε στατική και σε δυναμική εκδοχή, ανάλογα με τα αρχικά επίπεδα πληροφορίας που χρησιμοποιήθηκαν. Το τελικό αποτέλεσμα συγκρίθηκε και αντιπαραβλήθηκε με δορυφορικά δεδομένα επιφανειακής θερμοκρασίας προερχόμενα από τον δορυφόρο MODIS καθώς και με το αρχείο καταγραφής συμβάντων παγετού από τον Ελληνικό Οργανισμό Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛ.Γ.Α.) για την δεκαετία 1999-2010 για την περιοχή μελέτης.

Η χαρτογράφηση περιοχών επιδεκτικών στην επικράτηση παγετού και δημιουργία πάγου, που αποτελεί και αντικείμενο της παρούσης εργασίας, έχει ιδιαίτερη σημασία για το σχεδιασμό και την λήψη κατάλληλων μέτρων πολιτικής πρόληψης και προστασίας από τους κινδύνους που πιθανόν να προκαλέσουν τα φαινόμενα αυτά.

Το μοντέλο επικινδυνότητας παγετού και πάγου που σχεδιάστηκε αποτελεί ένα εργαλείο που μπορεί να εφαρμοστεί σε μεσογειακές περιοχές με παραπλήσια χαρακτηριστικά.

1.2. Βασικές έννοιες – παράμετροι του κινδύνου

Ο παγετός είναι ένα φαινόμενο που εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία εδάφους. Μία ημέρα χαρακτηρίζεται σαν μερικού ή ολικού παγετού όταν η ελάχιστη ή η μέγιστη θερμοκρασία που έχουν καταγραφεί κατά τη διάρκειά της είναι 0°C ή κάτω από 0°C αντίστοιχα. Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκε η

συχνότητα μερικού παγετού, αφού τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν νυκτερινή θερμοκρασία εδάφους (βλ. 4.2.3).

Ανάλογα με τον τρόπο που σχηματίζεται ο παγετός μπορεί να διακριθεί σε παγετό ακτινοβολίας, σε παγετό που οφείλεται σε ψυχρά ρεύματα αέρα και παγετό που οφείλεται στην εξάτμιση του υπάρχοντος νερού στα διάφορα φυτικά μέρη (Χρονοπούλου - Σερέλη & Φλόκας, 2010).

Στην Ελλάδα, συνηθέστεροι είναι οι παγετοί ακτινοβολίας την άνοιξη οι οποίοι παρατηρούνται ημέρες όπου επικρατεί νηνεμία και αιθρία. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το έδαφος προσλαμβάνει ηλιακή ακτινοβολία την οποία αποδίδει μέσα στη νύχτα, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα κοντά στο έδαφος. Έτσι παρατηρείται το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής, όπου η θερμοκρασία αέρα δεν μειώνεται με το ύψος αλλά αυξάνεται. Σε κανονικές συνθήκες, η θερμοκρασία του αέρα ελαττώνεται όσο μεγαλώνει η απόσταση από το έδαφος. Όταν επικρατούν συνθήκες παγετού ακτινοβολίας, ο ψυχρός αέρας εγκλωβίζεται κάτω από θερμότερες αέριες μάζες και η θερμοκρασία του αυξάνεται από το έδαφος. Παράγοντες που επηρεάζουν την πώση της θερμοκρασίας κατά της διάρκεια της νύχτας είναι η ληφθείσα ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία, η εδαφολογική σύσταση και η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς και η μορφή και πυκνότητα των υπάρχουσών καλλιεργειών (Χρονοπούλου - Σερέλη & Φλόκας, 2010).

Οι παγετοί που οφείλονται σε ψυχρά ρεύματα αέρα παρατηρούνται στη χώρα μας κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο και αποδίδονται στην επέκταση της δράσης των αντικυκλώνων της Δυτικής Ευρώπης ή στην κάθοδο του σιβηρικού αντικυκλώνα. Είναι παγετοί που συνοδεύονται από άνεμο και έχουν σχετικά μεγάλη διάρκεια και ένταση (Χρονοπούλου – Σερέλη & Φλόκας, 2010).

1.2.1. Θερμοκρασία Επιφανείας Εδάφους

Η θερμοκρασία εδάφους αποτελεί ένα σημαντικό κλιματικό δείκτη για τη γεωργία, τη βιολογία και τα τεχνικά έργα. Ως θερμοκρασία επιφανείας εδάφους νοείται η θερμοκρασία γυμνού εδάφους και είναι συνάρτηση της ποσότητας θερμότητας που εισέρχεται και εξέρχεται από το έδαφος.

Πιο συγκεκριμένα, είναι συνάρτηση της ποσότητας θερμότητας που απορροφά το έδαφος από την άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, αλλά και όλων των μορφών ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που δέχεται η επιφάνεια του εδάφους. Επίσης, καθορίζεται από την ποσότητα θερμικής κυρίως ακτινοβολίας που ανακλάται από το έδαφος προς την ατμόσφαιρα και το διάστημα.

Η διακύμανση της θερμοκρασίας επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, με πιο σημαντικούς τους παρακάτω:

- Γεωγραφικό πλάτος: Με αύξηση του γεωγραφικού πλάτους έχουμε μείωση των θερμοκρασιών.
- Διανομή ξηράς και θάλασσας: Το χειμώνα, η ξηρά είναι ψυχρότερη από τη θάλασσα και το αντίστροφο το καλοκαίρι.
- Υψόμετρο: Με την αύξηση του υψομέτρου έχουμε μείωση της θερμοκρασίας, με εξαίρεση της περιπτώσεις θερμοκρασιακής αναστροφής.
- Επικρατούντες άνεμοι.
- Κλίση και προσανατολισμός των πρανών.
- Φύση του εδάφους: Ιδιαίτερα η σύσταση και η περιεκτικότητά του σε υγρασία, στοιχεία που καθορίζουν την θερμική του αγωγιμότητα.
- Παρουσία χιονιού ή πάγου στο έδαφος.
- Θαλάσσια ρεύματα (Χρονοπούλου –Σερέλη & Φλόκας, 2010).

1.2.2. Πάγος – Προϋποθέσεις Σχηματισμού

Βασικές παράμετροι για τη δημιουργία πάγου είναι αφενός η επικράτηση επιφανειακής θερμοκρασίας υπό του μηδενός και αφετέρου η ύπαρξη υγρασίας. Η υγρασία μπορεί να προέρχεται είτε από ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι), είτε από υδατώδεις αποθέσεις. Στις ατμοσφαιρικές υδατώδεις αποθέσεις περιλαμβάνονται η πάχνη, ο αργυρόπαγος και οι βροχοκρύσταλλοι, που σχηματίζονται όταν η επιφανειακή θερμοκρασία των διαφόρων σωμάτων ή του εδάφους μειωθεί στη θερμοκρασία του σημείου δρόσου. Στη συνέχεια, οι υδρατμοί που περιέχονται στον αέρα συμπυκνώνονται επάνω στις επιφάνειες δημιουργώντας υδατώδεις ατμοσφαιρικές αποθέσεις.

α) Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Τα υδατώδη ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα περιλαμβάνουν τις διάφορες μορφές μεριδίων νερού, σε στερεή ή υγρή φάση, που πέφτουν από την ατμόσφαιρα και φτάνουν τελικά στην επιφάνεια του εδάφους και περιλαμβάνουν τον υετό και τον όμβρο. Με τον όρο «υετό» ορίζουμε το σύνολο των κατακόρυφων κυρίως κατακρημνισμάτων που περιλαμβάνουν την βροχή, το χιόνι, τον χιονόλυτο, τη χάλαζα κ.α. και αποφέρουν μετρήσιμη ποσότητα νερού.

Το χιόνι αποτελεί ένα από τα στερεά κατακρημνίσματα. Σχηματίζεται όταν οι παγοκρύσταλλοι που δημιουργούνται μέσα σε ένα νέφος αρχικά μεγεθυνθούν, στη συνέχεια εγκαταλείψουν το νέφος και τέλος φτάσουν στην επιφάνεια του εδάφους προτού λιώσουν. Το χιόνι αποτελείται από συσσωματώματα

παγοκρυστάλλων, τα οποία συνθέτουν τις χαρακτηριστικές νιφάδες εξαγωνικής μορφής που φθάνουν στην επιφάνεια του εδάφους. Σχηματίζεται από τη συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα σε θερμοκρασίες μικρότερες από τη θερμοκρασία πήξης του νερού (Αρσένη - Παπαδημητρίου, 2013).

Οι υδροσταγόνες που δημιουργούνται μέσα στα νέφη είναι το αποτέλεσμα συνένωσης πολλών υδροσταγονιδίων ή παγοκρυστάλλων. Αν οι σταγόνες αυτές ή οι παγοκρύσταλλοι στην κάθοδό τους περνούν από ατμοσφαιρικά στρώματα που τις διατηρούν στην υγρή φάση ή τις τήκουν αντίστοιχα και φτάνουν στο έδαφος πριν εξατμιστούν, τότε δημιουργείται το φαινόμενο της βροχής (Χρονοπούλου - Σερέλη & Φλόκας, 2010).

β) Πάχνη

Όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους είναι κάτω από 0°C, εναποτίθενται σε αυτό απευθείας λευκοί παγοκρύσταλλοι και σχηματίζεται η πάχνη. Για το σχηματισμό πάχνης απαιτείται η επικράτηση μίας ψυχρής αέριας μάζας, η ύπαρξη ανέφελου ουρανού που διευκολύνει τη νυχτερινή ακτινοβολία, η επικράτηση συνθηκών άπνοιας ή υποπνέοντος ανέμου και η ύπαρξη ευνοϊκού ανάγλυφου, όπως φυσικά βυθίσματα της επιφάνειας της γης και πυθμένες κοιλάδων (Μπαλαφούτης, 2013).

γ) Αργυρόπαγος ή ομιχλοκρύσταλλος (rime)

Πρόκειται για στρώμα από λεπτούς λευκούς ή γαλακτόχρωμους κόκκους παγοκρυστάλλων. Σχηματίζονται με την ταχεία πήξη υπερψυγμένων σταγονιδίων νερού ή νέφους πάνω σε επιφάνεια με θερμοκρασία μικρότερη από 0°C. Οι κόκκοι αυτοί είναι πυκνότεροι και σκληρότεροι από τους παγοκρυστάλλους της πάχνης. Σχηματίζονται συχνά το χειμώνα από παρεδάφια νέφη πάνω σε βουνά, δημιουργώντας στρώμα πάχους αρκετών εκατοστών που στίλβει έντονα στις ηλιακές ακτίνες (Μπαλαφούτης, 2013).

δ) Βροχοκρύσταλλος (glaze)

Αποτελεί ένα λείο και διαφανές στρώμα πάγου με αραιούς και διάσπαρτους θύλακες αέρα. Σχηματίζεται από σταγόνες νερού σε υπέρψυξη πάνω σε επιφάνειες με θερμοκρασία κάτω από 0°C. Είναι σκληρότερος και ψυχρότερος από τον αργυρόπαγο και σχηματίζεται κατά τους δριμείς χειμώνες σε ψυχρά κλίματα.

Το διαφανές και ομογενές αυτό στρώμα πάγου, το οποίο σχηματίζεται σχετικά συχνά στους ασφατόδρομους είναι πάρα πολύ επικίνδυνο για την πρόκληση ατυχημάτων, γιατί δεν γίνεται έγκαιρα ορατό από τους οδηγούς των οχημάτων (Μπαλαφούτης, 2013).

1.2.3. Επιπτώσεις Πάγου και Παγετού σε Υλικά Έργων Υποδομής και Γεωλογικούς Σχηματισμούς

Η υγρασία και το νερό της βροχής, σε συνδυασμό με θερμοκρασίες κοντά και κάτω από 0 °C, εμφανίζονται ως παγετός μέσα σε υλικά που αποτελούν πρώτη ύλη σε έργα υποδομής, όπως η ασφαλτός, το σκυρόδεμα και αδρανή υλικά για υποβάσεις των έργων. Ο παγετός είναι ένας από τους σημαντικούς παράγοντες της γήρανσης των υλικών, η οποία προκαλείται από τη διαστολή του νερού, το οποίο περιέχεται στους πόρους του υλικού κατά τη διάρκεια της ψύξης.

Η αντοχή των υλικών στον παγετό εξαρτάται κυρίως από το ποσοστό των πόρων του υλικού, οι οποίοι είναι γεμάτοι με νερό, τη διάταξη των πόρων και το βαθμό επικοινωνίας τους (Κορωναίος & Πουλάκος, 2005).

Η μετάβαση από την υγρή στη στερεή κατάσταση του νερού μέσα στις ρωγμές και σε κάθε είδους ασυνέχειες των πετρωμάτων, έχει σαν αποτέλεσμα τον κατακερματισμό τους, φαινόμενο που ονομάζεται παγορρηξία. Συντελεί στη γενικότερη χαλάρωση των γεωλογικών σχηματισμών και στην μετάβασή τους σε χαλαρά υλικά και κώμα, σε συνδυασμό με άλλες αποσταθεροποιητικές διαδικασίες, όπως η εξαλλοίωση, η διάβρωση και η αποσάθρωση. Με τη διόγκωση του νερού που περιέχεται στο έδαφος προκαλούνται επίσης φαινόμενα ερπυσμού κλιτύων που προσδίδουν κυματοειδή μορφή σε πρανή. Οι διεργασίες αυτές είναι πιο έντονες σε ορεινές περιοχές σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη, όπου ο κύκλος των εναλλαγών τήξης και πήξης μπορεί να είναι και καθημερινός (Στουρνάρας, 2007).

1.2.4. Επιπτώσεις Πάγου και Παγετού σε Έργα Υποδομής

Οι βασικές προϋποθέσεις για να δημιουργηθεί πάγος που προκαλεί προβλήματα και ζημιές σε έργα υποδομής, είναι:

- Θερμοκρασία παγετού στο έδαφος (~ 0°C) ή και πιο χαμηλή ώστε να διεισδύσει κάτω από την επιφάνεια του δρόμου, στο επίπεδο του οδοστρώματος ή της υποδομής.
- Ύπαρξη παροχής νερού κάτω, πάνω ή πλευρικά του έργου υποδομής.
- Ύπαρξη εδαφικού υλικού το οποίο είναι ευαίσθητο στον παγετό και βρίσκεται εντός της ζώνης ψύξης (Κουτσούλας, 2012).

Όταν το έδαφος βρίσκεται σε κατάσταση παγετού, το νερό που περιέχεται στους εδαφικούς πόρους μετατρέπεται σε πάγο, οπότε συμπιέζονται τα κενά και αυξάνεται ο όγκος του εδάφους. Ο όγκος των εγκλωβισμένων υδάτων διαστέλλεται έως και 9% όταν καταψύχεται. Ο όγκος του πάγου εξαρτάται από την ποσότητα υδάτων που βρίσκονται εγκλωβισμένα εντός του εδάφους, από τη

στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και από τη χρονική διάρκεια της ψύξης (Κουτσούλας, 2012).

Μετά την περίοδο παγετού ακολουθεί απόψυξη του νερού που συνοδεύεται από σημαντική συρρίκνωση των υλικών.

Οι ζημιές που προκαλούνται σε έργα υποδομής λόγω παγετού περιλαμβάνουν:

- Καθιζήσεις, παραμορφώσεις και απώλεια της γεωμετρίας των σιδηροδρομικών γραμμών.
- Τοπικές διογκώσεις και καθιζήσεις ή ρηγματώσεις του οδοστρώματος. Σε πιο έντονα φαινόμενα παγετού μπορεί να παρατηρηθεί αποκόλληση κατά πλάκες, απόσπαση αδρανών υλικών και λακκούβες.

Οι πιθανοί κίνδυνοι που προκύπτουν από την ύπαρξη πάγου σε έργα υποδομής περιλαμβάνουν:

- Υδρολίσθηση οχημάτων λόγω απώλειας πρόσφυσης με αποτέλεσμα πιθανές συγκρούσεις ή εκτροχιασμούς.
- Δυσκολία στην εξυπηρέτηση μέσω μείωσης ταχυτήτων και διακοπής κυκλοφορίας.
- Καθυστερήσεις και ακυρώσεις δρομολογίων σε μέσα μαζικής μεταφοράς.
- Φθορές και βλάβες σε οχήματα και μηχανήματα (Κουτσούλας, 2012).

1.2.5. Επιπτώσεις Παγετού και Πάγου σε Φυτοκαλυμμένες Επιφάνειες

Η ικανότητα των φυτών να αντέχουν στον παγετό και τον πάγο εξαρτάται από το είδος και την ποικιλία του φυτού, την γεωγραφική εξάπλωση της καλλιέργειας του και την ένταση του παγετού. Σημαντικοί ακόμα παράγοντες είναι η ηλικία των φυτών (νεαρά φυτά είναι ευπαθέστερα) και το βλαστικό τους στάδιο (το στάδιο δεσίματος του καρπού είναι το πιο ευαίσθητο, ακολουθεί η άνθηση και το προανθικό στάδιο). Τέλος, εξίσου σημαντική είναι η θρεπτική κατάσταση αλλά και το στάδιο καρποφορίας των φυτών. Πιο ευπαθή έχει παρατηρηθεί ότι είναι δέντρα σε πλήρη καρποφορία σε σχέση με δέντρα στα οποία έχει ολοκληρωθεί η συλλογή των καρπών (Χρονοπούλου - Σερέλη & Φλόκας, 2010).

Η αντοχή των φυτών στον παγετό είναι ένα χαρακτηριστικό που διαφέρει για το κάθε μεμονωμένο φυτό και επηρεάζεται από το γενετικό του δυναμικό, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και μεταβάλλεται με τον χρόνο. Ακόμα και στο ίδιο το φυτό, οι ιστοί του έχουν διαφορετικό βαθμό ευαισθησίας στον παγετό, αφού τα μεριστωματικά κύτταρα είναι πιο ανθεκτικά στο ψύχος από τους ώριμους ιστούς (Sakai & Larcher, 1987).

Ακόμα, παρατηρείται εποχιακή παραλλακτικότητα της αντοχής στις χαμηλές θερμοκρασίες, ιδίως σε φυτά εύκρατων και υποαρκτικών περιοχών. Από πειράματα που έχουν γίνει σε βελόνες Πεύκου βρέθηκε ότι ενώ το καλοκαίρι νεκρωνόντουσαν κάτω από -10°C , το χειμώνα άντεχαν σε θερμοκρασίες έως και -80°C (Silim & Lavender, 1994).

Η αντοχή των φυτών σε παγετό εκφράζεται σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$). Στον ακόλουθο πίνακα αναφέρονται οι ελάχιστες θερμοκρασίες στις οποίες προκαλούνται ζημιές στο αμπέλι και στα διάφορα καρποφόρα δέντρα (Χρονοπούλου, 1996)

Πίνακας 1: Ελάχιστες θερμοκρασίες πρόκλησης ζημιών από παγετό ανάλογα το στάδιο ανάπτυξης σε καλλιέργειες φυτών (Χρονοπούλου, 1996).

Βλαστ. Στάδιο Είδος	Προανθικό	Ανθίσεως	Δεσίματος Καρπού
Αμπέλι	$-1,5^{\circ}\text{C}$	$-1,0^{\circ}\text{C}$	$-0,5^{\circ}\text{C}$
Αχλαδιά	$-4,0^{\circ}\text{C}$	$-2,0^{\circ}\text{C}$	$-1,5^{\circ}\text{C}$
Βερικοκιά	$-3,5^{\circ}\text{C}$	$-3,0^{\circ}\text{C}$	$-1,0^{\circ}\text{C}$
Εσπεριδοειδή	$-1,5^{\circ}\text{C}$	$-1,0^{\circ}\text{C}$	$-0,5^{\circ}\text{C}$
Κερασιά	$-4,0^{\circ}\text{C}$	$-2,0^{\circ}\text{C}$	$-1,5^{\circ}\text{C}$
Μηλιά	$3,5^{\circ}\text{C}$	$-2,0^{\circ}\text{C}$	$-1,5^{\circ}\text{C}$

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, στο οποίο αναπτύσσονται, έχει άμεση επίδραση στα φυτά. Ανάλογα με το φυτικό είδος και το φαινολογικό στάδιο του κάθε φυτού υπάρχει μία οριακή θερμοκρασία, η χαμηλότερη θερμοκρασία Φυσικής Αντίστασης στον Παγετό. Η μείωσή της κάτω από αυτό το όριο προκαλεί παροδικές ή μόνιμες βλάβες στους φυτικούς ιστούς.

Οι χαμηλές θερμοκρασίες προκαλούν στρες στα φυτά με δύο διαφορετικούς τρόπους:

α) Με απευθείας ζημιές λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών.

Οι χαμηλές θερμοκρασίες είναι καταστρεπτικές για πολλά φυτά ιδίως των τροπικών και υποτροπικών περιοχών. Προκαλούν απώλεια της λειτουργίας των βιομεμβρανών, η οποία συνδέεται με την απώλεια της ελαστικότητάς τους και την αδρανοποίηση των μεμβρανικών ιόντων. Συγχρόνως η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία δεν επηρεάζεται από την θερμοκρασία, προκαλεί οξειδωτικό στρες στα φυτά όταν ο μεταβολισμός τους δεν είναι συγχρονισμένος με την ενέργεια που αποδίδει η φωτοσυνθετική δραστηριότητα.

β) Με αφυδάτωση των κυττάρων και των ιστών όταν το κυτταρικό νερό παγώνει.

Ανάλογα με την ευαισθησία ενός φυτού στο ψύχος, την ένταση και τη διάρκεια του παγετού, ο σχηματισμός πάγου μπορεί να συμβεί εντός των κυττάρων (απότομη μείωση της θερμοκρασίας) ή εντός των μεσοκυττάρων χώρων (βαθμιαία μείωση της θερμοκρασίας). Το πρώτο είναι και θανατηφόρο για τα φυτά. Προκαλεί συρρίκνωση πρωτοπλάστων, αρνητική πίεση εσωτερικά των κυττάρων, αύξηση της συγκέντρωσης των κυτταρικών χυμών και διάσπαση της κυτταρικής μεμβράνης λόγω αφυδάτωσης. (Beck, Heim & Hansen, 2004)

Η πτώση της θερμοκρασίας σε μία καλλιεργούμενη έκταση επηρεάζεται ακόμα από την υγρασία του εδάφους, την πυκνότητα φύτευσης, την ύπαρξη ζιζανίων και άλλους επιμέρους παράγοντες.

Οι ζημιές που προκαλούνται από παγετό αφορούν πολλούς τύπους καλλιεργειών εύκρατων κλιμάτων. Περιλαμβάνουν ζημιές στα φύλλα και τα φρούτα, επιπτώσεις στην γενικότερη υγεία των φυτών και μπορεί να προκληθεί ακόμα και η ολική τους καταστροφή ανάλογα με την ένταση του παγετού και την ευαισθησία του συγκεκριμένου φυτού (Richards & Baumgarten, 2003).

2. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΠΑΓΟΥ ΚΑΙ ΠΑΓΕΤΟΥ– ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

2.1. Εισαγωγή

Πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις έχουν γίνει από ερευνητές σε όλο τον κόσμο πάνω στη χαρτογράφηση των ελάχιστων θερμοκρασιών, των συμβάντων παγετού και πάγου και των κινδύνων που προκύπτουν.

Στην έρευνα χαρτογράφησης κινδύνων παγετού και πάγου έχουν χρησιμοποιηθεί συχνά τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, με στόχο τη συλλογή, καταχώριση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά στο γεωγραφικό περιβάλλον (Κουτσόπουλος & Ανδρουλακάκης, 2012). Είναι εργαλεία χρήσιμα στην προσέγγιση, στον χειρισμό, στην επεξεργασία και στη προβολή χωρικών και γεωαναφερμένων δεδομένων. Διαθέτουν την δυνατότητα να συσχετίζουν χωρικές μεταβλητές σε μοντέλα επικινδυνότητας. Επιπλέον οι παραγόμενοι χάρτες είναι ισχυρά οπτικά μέσα στην επικοινωνία των πληροφοριών κινδύνου (Goodchild et al, 1993).

Οι πιο πρόσφατες μελέτες συνδυάζουν δεδομένα χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας που προέρχονται από δορυφορικές εικόνες με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Το πλεονέκτημα της χρήσης δορυφορικών εικόνων είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν άμεσα χωρικά δεδομένα, σε δυσπρόσιτες περιοχές. Δορυφορικά δεδομένα μπορεί να μην υπάρχουν πάντα διαθέσιμα λόγω αντίξων ατμοσφαιρικών συνθηκών ή μηχανικής βλάβης του δέκτη. Ανάλογα με τη χρονική διακριτική τους ικανότητα μπορεί να μην μπορούν να παρέχουν δεδομένα τη χρονική στιγμή που χρειάζεται για την καταγραφή ενός φαινομένου. Ωστόσο, είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, ιδίως για την καταγραφή φαινομένων παγετού ακτινοβολίας. Αυτά τα φαινόμενα συνοδεύονται από συνθήκες χαμηλής νεφοκάλυψης, που αποτελούν προϋπόθεση για τη λήψη αξιοποιήσιμων δορυφορικών δεδομένων.

Η επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων αποτελεί αντικείμενο της τηλεπισκόπησης, η οποία ορίζεται σαν την επιστήμη και τέχνη απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο, μέσω της ανάλυσης δεδομένων που αποκτήθηκαν από ένα μέσο το οποίο δεν είναι σε επαφή με το εξεταζόμενο αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο (Lillesand & Kiefer, 2000). Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στην Τηλεπισκόπηση στις γεωεπιστήμες, έχει περιγραφεί σαν την επιστήμη μέτρησης από απόσταση, με τη βοήθεια δεκτών που δίδουν εικόνες (συστήματα απεικόνισης), της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία ανακλάται, σκεδάζεται ή εκπέμπεται από ένα ή περισσότερα αντικείμενα πάνω στην επιφάνεια της Γης. Τελικός σκοπός είναι ο προσδιορισμός της φύσης και των ιδιοτήτων των αντικείμενων αυτών με τη

βοήθεια συστημάτων οπτικής και ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων (Ασάρας, 2006).

2.2. Χαρτογράφηση Παγετού και Πάγου με Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.) έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην μελέτη των κινδύνων που προκύπτουν από τον παγετό και τον πάγο. Αποτελούν εργαλεία για την παρουσίαση πληροφοριών, την επεξεργασία δεδομένων και την περαιτέρω ανάλυση με εξειδικευμένες διεργασίες του κινδύνου που προκαλείται από τα φαινόμενα του παγετού και σχηματισμού πάγου.

Με την καταγραφή και απεικόνιση της συχνότητας επικράτησης χαμηλών θερμοκρασιών και πάγου, είναι δυνατός ο καλύτερος σχεδιασμός λήψης μέτρων πολιτικής προστασίας και καλλιεργητικής πρακτικής. Επίσης είναι εφικτή, μέσω της χρήσης Σ.Γ.Π. η διερεύνηση των τοπογραφικών, φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων που επιδρούν στην συχνότητα παγετού και στη δημιουργία πάγου.

Η μελέτη και η στατιστική ανάλυση της επίδρασης τοπογραφικών παραγόντων στη διακύμανση της ελάχιστης θερμοκρασίας είναι δυνατή μέσω των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών. Παράγοντες που έχουν μελετηθεί και έχει βρεθεί στατιστικά σημαντική η επίδρασή τους περιλαμβάνουν το υψόμετρο, το γεωγραφικό πλάτος, την απόσταση από την θάλασσα και την ύπαρξη αστικών περιοχών (Jarvis & Stuart, 2001).

Η επίδραση των τοπογραφικών παραγόντων στη διακύμανση της νυκτερινής θερμοκρασίας αέρος σε συνθήκες ήρεμων ατμοσφαιρικών συνθηκών σε ετερογενές ανάγλυφο ήταν αντικείμενο της μελέτης των Blennow και Persson (1998). Έπειτα από στατιστική επεξεργασία, οι ακόλουθοι παράγοντες εκτιμήθηκαν ως πιο σημαντικοί ως προς τη διακύμανση της θερμοκρασίας αέρος: απόλυτο υψόμετρο, υψομετρική διαφορά, εδαφική υγρασία και απόσταση από την πλησιέστερη λίμνη ή ποταμό. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε μπόρεσε να εξηγήσει επιτυχώς την διακύμανση της νυκτερινής θερμοκρασίας κατά 88%.

Η μορφή του ανάγλυφου επηρεάζει επίσης σημαντικά την συχνότητα εμφάνισης παγετού. Έχει παρατηρηθεί ότι παγετοί σημειώνονται σημαντικά συχνότερα σε πεδιάδες, ενώ πολύ λιγότεροι συμβαίνουν σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου και κορυφές βουνών. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών δίνουν τη δυνατότητα ανάλυσης του ανάγλυφου μίας περιοχής, σε κατηγορίες ανάλογα με τον βαθμό σχετικής καμπυλότητας, όπως ευθύγραμμο επικλινής, κυρτή,

ευθύγραμμα επίπεδη, κοίλη με μεγάλο ή μικρό άνοιγμα. Σε σχετικές μελέτες που έχουν γίνει, όπου κάθε κατηγορία ανάγλυφου αντιστοιχήθηκε μέσω αναλύσεων σε διαφορετικό βαθμό κινδύνου παγετού, βρέθηκε ότι παγετοί είναι πιο συχνοί σε περιοχές με κοίλο ανάγλυφο (Lindkvist et al, 2000).

Μία ακόμα δυνατότητα χρήσης των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών είναι η μοντελοποίηση φαινομένων όπως η αποστράγγιση του ψυχρού αέρα, η οποία σχετίζεται στενά με την πρόκληση παγετού. Επιτυγχάνεται μέσω της ανάλυσης των τοποκλιματικών συνθηκών και της μελέτης της χωρικής διακύμανσης της θερμοκρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας. Τοπογραφικοί παράγοντες με σημαντική επίδραση στην αποστράγγιση του ψυχρού αέρα είναι η κλίση και ο προσανατολισμός πρανών, οι χρήσεις γης καθώς και η ύπαρξη πυκνής δασικής ή θαμνώδους αυτοφυούς βλάστησης (Soderstrom & Magnusson, 1995).

Για την ανάλυση του κινδύνου παγετού σε μία περιοχή, ιδιαίτερα χρήσιμο είναι ένα μοντέλο επικινδυνότητας, όπως αυτό που αναπτύχθηκε από τους Blennow και Persson (1998). Έπειτα από μελέτη και στατιστική επεξεργασία των κλιματικών συνθηκών μίας περιοχής κατέληξαν ότι ο γεωγραφικός παράγοντας με την μεγαλύτερη επίδραση είναι το υψόμετρο. Δεύτερος πιο σημαντικός παράγοντας είναι ο συντελεστής θέασης του ουράνιου θόλου, που συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τη πυκνότητα της φυτοκάλυψης και της δασώδους βλάστησης. Σημαντική είναι και η επίδραση της εδαφικής υγρασίας και της σύστασης του εδάφους, όπως και η απόσταση από λίμνες και μεγάλα ποτάμια. Με το μοντέλο που ανέπτυξαν η διακύμανση της θερμοκρασίας μπορούσε να προβλεφθεί με επιτυχία 87%, σύμφωνα με σύγκριση αποτελεσμάτων με θερμοκρασιακά δεδομένα που καλύπτανε την περιοχή μελέτης.

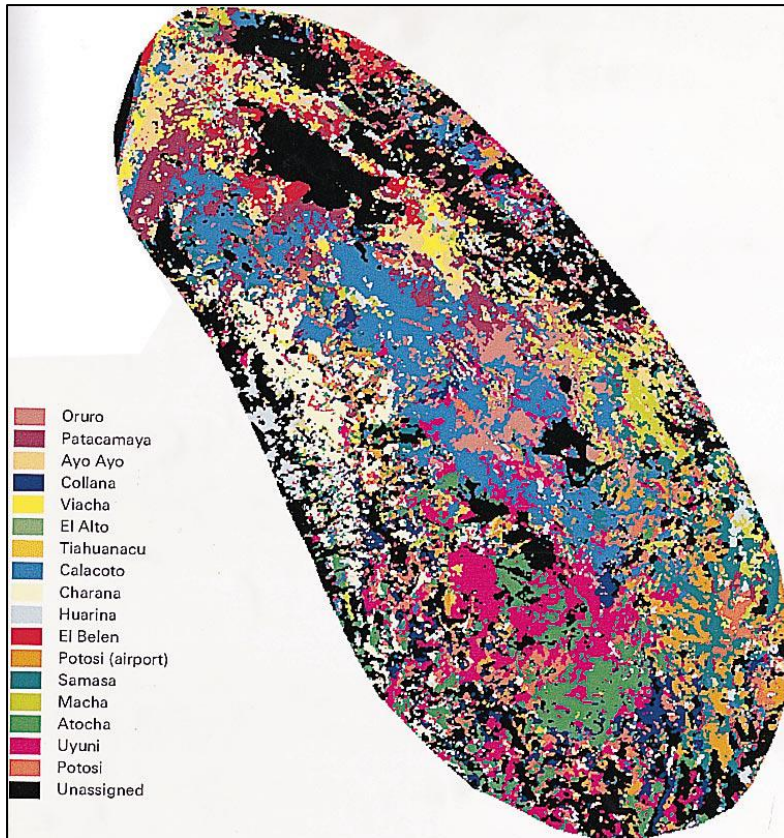
2.3. Η Χρήση της Τηλεπισκόπηση στην Χαρτογράφηση Πάγου και Παγετού

Η χρήση δορυφορικών δεδομένων για τη μελέτη των φαινομένων του παγετού και του πάγου δίνει ιδιαίτερες δυνατότητες. Τα δορυφορικά δεδομένα καλύπτουν μεγάλη επιφάνεια και παρέχουν δεδομένα ακόμα και για δυσπρόσιτες περιοχές. Είναι πληροφορίες που ανακτούνται εύκολα και συχνά χωρίς κόστος.

Έχουν το μειονέκτημα της χαμηλής ανάλυσης πληροφορίας για να χρησιμοποιηθούν σαν αποκλειστικά δεδομένα για τη μελέτη της θερμοκρασιακής διακύμανσης. Για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο, πολλοί ερευνητές συσχέτισαν τις τιμές θερμοκρασίας από δορυφορικές εικόνες με δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή που κάλυπταν οι εικόνες. Έτσι επιτεύχθηκε η αναγωγή της πληροφορίας της θερμοκρασίας που προέρχεται από μετεωρολογικά δεδομένα (σημειακά) σε μία εκτεταμένη περιοχή όπου η διακύμανση της θερμοκρασίας της ακολουθεί την διακύμανση του μετεωρολογικού σταθμού.

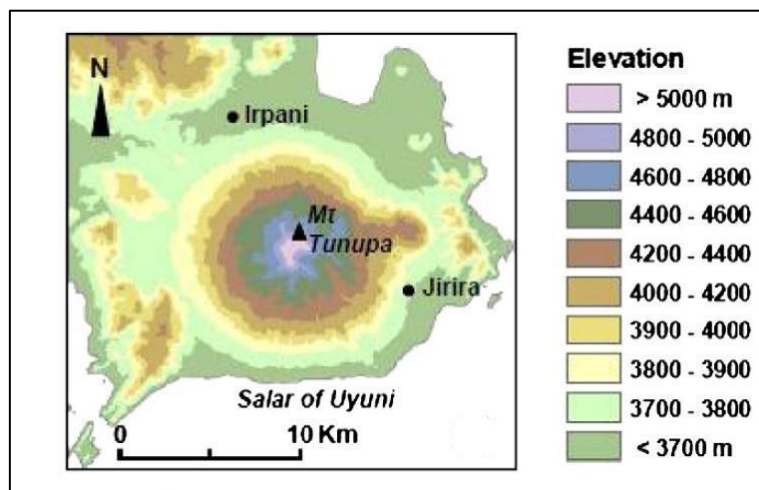
Αυτή τη μεθοδολογία ακολούθησαν οι Kerdiles et al. (1996). Η μελέτη τους περιελάμβανε δορυφορικά δεδομένα που προερχόντουσαν από το δορυφόρο NOAA AVHRR χωρικής ανάλυσης 1 km με χρονική στιγμή περάσματος 03.00 πμ. Μέσω στατιστικής επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων και του αρχείου 41 μετεωρολογικών σταθμών, υπολογίστηκε η συσχέτιση των δύο διαφορετικών ειδών δεδομένων με τυπικό σφάλμα 1,8 °C. Συμπεριλαμβάνοντας γεωγραφικές μεταβλητές, όπως το γεωγραφικό μήκος και πλάτος ή το υψόμετρο, δεν βελτιώθηκε σημαντικά το αποτέλεσμα (Kerdiles et al, 1996).

Μία βασική εφαρμογή αυτής της τεχνικής είναι ο υπολογισμός της συσχέτισης δορυφορικών θερμοκρασιών δεδομένων και δεδομένων από μετεωρολογικούς σταθμούς για μία περιοχή και η ταξινόμηση της σε ζώνες επιρροής των μετεωρολογικών σταθμών. Σε αντίστοιχες μελέτες των Francois et al. (1999) μελετήθηκε η διακύμανση της θερμοκρασίας σε μία περιοχή επιφανείας 100 km² από δορυφορικές εικόνες. Η περιοχή μελέτης ταξινομήθηκε σε 17 ζώνες επιρροής, όπου η κάθε μία αντιστοιχούσε σε έναν από τους 17 μετεωρολογικούς σταθμούς που υπήρχαν. Στη συνέχεια αξιοποιήθηκαν τα ιστορικά κλιματικά δεδομένα των σταθμών και δημιουργήθηκαν χάρτες διακύμανσης της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας της 30ετίας, των ακραίων ελαχίστων θερμοκρασιών και του κινδύνου παγετού εκφρασμένου σε ποσοστό για διαφορετικούς μήνες και διαφορετικά θερμοκρασιακά όρια (π.χ. -1 °C ή -5 °C). Η θερμοκρασιακή κατανομή που παρουσιαζόταν στους χάρτες παρουσίασε αναλογία με τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής, π.χ. οι παγετοί ήταν πιο αραιοί σε πιο ανυψωμένες περιοχές (Francois et al, 1999).

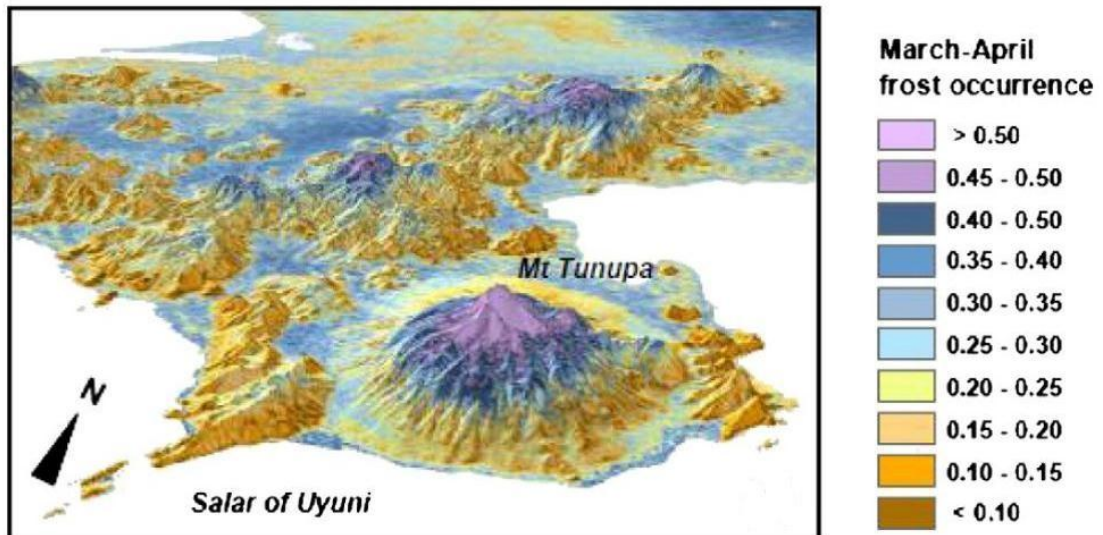


Εικόνα 1: Κατηγοριοποίηση μίας περιοχής ενός υψίπεδου στην Βολιβία σε 17 ζώνες. Η διακύμανση της θερμοκρασίας στην κάθε ζώνη αντιπροσωπεύεται από έναν από τους 17 μετεωρο-λογικούς σταθμούς που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης. Κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε μία ζώνη επιρροής του αντίστοιχου σταθμού (Francois et al, 1999).

Μέσω της συνδυαστικής χρήσης δορυφορικών και μετεωρολογικών οι Routeau et al (2011) μελέτησαν την επίδραση των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών μίας περιοχής στον κίνδυνο λόγω παγετού και πάγου σε μία περιοχή των δυτικών Άνδεων. Με αναλύσεις ενισχυμένης παλινδρόμησης κατέληξαν ότι οι παράγοντες που έχουν τη σημαντικότερη επίδραση στη συχνότητα παγετού είναι ιεραρχικά το υψόμετρο, η απόσταση από λίμνες, το γεωγραφικό πλάτος και η καμπυλότητα του ανάγλυφου. Έμμεση επίδραση βρήκαν ότι έχουν οι κλίσεις των πρανών και η προσλαμβανόμενη ηλιοφάνεια.



Εικόνα 2: Χάρτης διακύμανσης του υψομέτρου για την ανάλυση του ως κυρίαρχου παράγοντα στον κίνδυνο πανετού (Routeau et al, 2011).



Εικόνα 3: Τριοδιάστατος χάρτης συχνότητας παγετού ανά ημέρα κατά την περίοδο Μαρτίου- Απριλίου στις δυτικές Άνδεις (Routeau et al, 2011).

Στην ελληνική επικράτεια, μελέτες χαρτογράφησης του παγετού ακτινοβολίας έχουν επικεντρωθεί στην περιοχή της Θεσσαλίας. Αφορούν την κατηγοριοποίηση της περιοχής ανάλογα με την πιθανότητα να επικρατήσουν θερμοκρασίες υπό του μηδενός. Για να παραχθούν οι χάρτες επικινδυνότητας συνδυάστηκαν ιστορικά δεδομένα θερμοκρασίας αέρα από έξι μετεωρολογικούς σταθμούς με δορυφορικές νυχτερινές εικόνες, που αντιστοιχούσαν σε ημερομηνίες που είχε σημειωθεί παγετός ακτινοβολίας στην περιοχή. Η περιοχή μελέτης κατηγοριοποιήθηκε σε έξι ζώνες που αντιστοιχούσαν στους μετεωρολογικούς σταθμούς. Οι διακύμανση της θερμοκρασίας κάθε ζώνης θεωρήθηκε ότι αντιπροσωπεύεται από αυτούς. Στη συνέχεια, μέσω ενός μοντέλου επεξεργασίας δεδομένων, επεκτάθηκαν τα σημειακά θερμοκρασιακά δεδομένα σε όλη την περιοχή μελέτης τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Έτσι προέκυψαν χάρτες επικινδυνότητας της περιοχής έχοντας σαν κατώφλι θερμοκρασίες της τάξης των 0, -1, -2°C.

Οι Δαλέζιος και Λαυρεντιάδου (1995) μελέτησαν την εξάπλωση παγετού ακτινοβολίας, μέσω διαδοχικών δορυφορικών εικόνων κατά τη διάρκεια της νύχτας, για την περιοχή της Λαμίας, του Βόλου και των Σερρών. Με γραμμική συσχέτιση των θερμοκρασιακών δεδομένων, που προέκυψαν από τις δορυφορικές εικόνες, κατέληξαν ότι η δριμύτητα του παγετού αυξανόταν από Νότο προς Βορρά, ήταν στην πιο έντονη φάση της στις 4:00 π.μ. τοπική ώρα, ενώ η πιο επικίνδυνη χρονική περίοδος ήταν από αρχές Ιανουαρίου έως μέσα Μαΐου (Dalezios & Lavrediadou, 1995).

2.4. Χαρτογράφηση πάγου στο οδικό δίκτυο

Η πληροφόρηση ως προς την χωρική κατανομή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του οδοστρώματος ενός οδικού δικτύου είναι πολύ σημαντική για τη λήψη αποφάσεων από τους μηχανικούς συντήρησης, την τροχαία, τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας και τους χρήστες της οδού. Αποτελεί κριτήριο για τη λήψη μέτρων προστασίας, όπως η ρίψη αλατιού, αλλά και για τον σχεδιασμό τοποθέτησης σταθμών παρακολούθησης και συντήρησης στο οδικό δίκτυο. Για να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω, είναι ιδιαιτέρως σημαντικό να αναγνωριστεί όχι μόνο πότε, αλλά και σε ποια τμήματα του οδικού δικτύου είναι πιθανό να σχηματιστεί πάγος (Shao et al, 1997).

Η παρουσία κατακρημνισμάτων πολλές φορές είναι κρίσιμη για την πρόκληση ολισθηρότητας στο οδικό δίκτυο, αφού προκαλεί μείωση της πρόσφυσης των ελαστικών των οχημάτων στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Είναι απόρροια έρευνας και μελέτης ότι οι συνθήκες στις οποίες ο κίνδυνος ατυχημάτων είναι μέγιστος είναι όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι λίγο πάνω από το όριο πάγου και υπάρχει βροχόπτωση σε παγωμένο οδόστρωμα (Norrman et al, 2000)

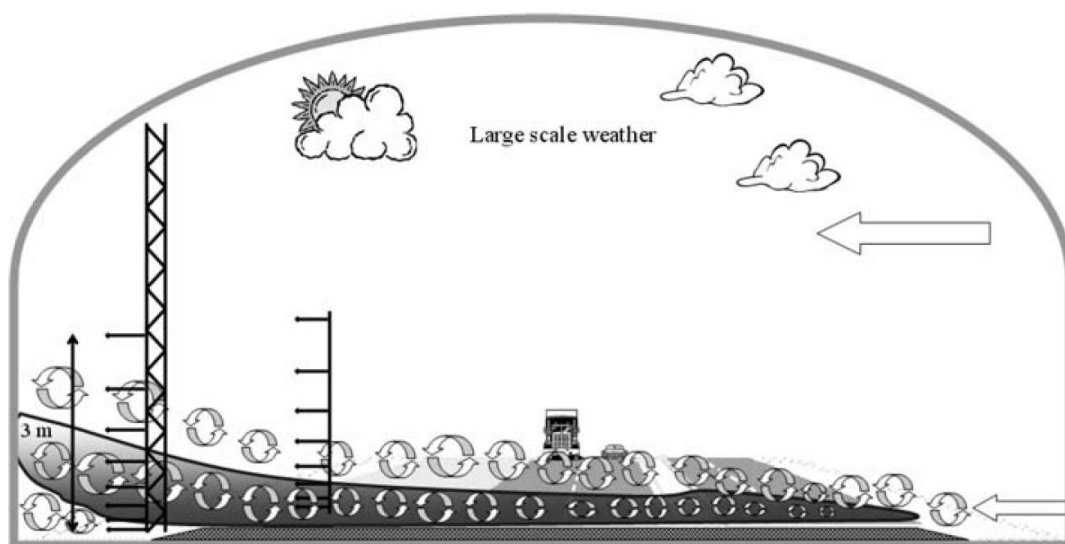
Σε μελέτες που έχουν γίνει με θέμα την ολισθηρότητα λόγω πάγου, δημιουργήθηκαν χάρτες κατανομής παγωμένων και βρεγμένων περιοχών του οδοστρώματος. Τα κριτήρια που υιοθετήθηκαν για να θεωρηθεί μία περιοχή επικίνδυνη λόγω ολισθηρότητας είναι:

- κατακρημνίσματα: πάνω από 0 mm
- θερμοκρασία αέρος: πάνω από 0°C
- θερμοκρασία επιφάνειας οδοστρώματος μικρότερη ή ίση με 0°C.

Οι κλιματολογικοί μηχανισμοί που συνήθως προκαλούν την ολισθηρότητα του οδοστρώματος, η οποία συνδέεται με την εναπόθεση παγοκρυσταλλιδίων σε αυτό, είναι δύο. Ο πιο συνηθισμένος είναι όταν η επιφανειακή θερμοκρασία πέφτει κάτω από το σημείο δρόσου, γεγονός που συχνά συμβαίνει σε συνθήκες νυχτερινής νηνεμίας (Karlsson, 2001). Οι υπόλοιπες περιπτώσεις οφείλονται στην μετακίνηση θερμών, υγρών αερίων μαζών πάνω από παγωμένο οδόστρωμα. Αυτές οι συνθήκες παρατηρούνται όταν κατά τη διάρκεια του χειμώνα διέρχεται από την περιοχή ένα θερμό μέτωπο, έπειτα από περίοδο με ψυχρές αλλά σταθερές καιρικές συνθήκες. Καθώς κινείται ο θερμότερος αέρας, η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζεται πιο άμεσα από τη θερμοκρασία του οδοστρώματος. Σαν αποτέλεσμα, το οδόστρωμα παγώνει και παρατηρούνται κατακρημνίσματα είτε με τη μορφή βροχής, είτε με τη μορφή υγρού χιονιού (Norrman et al, 2000).

Το μικροκλιματικό σύστημα που επηρεάζει τις συνθήκες του οδοστρώματος αποτελείται από ένα στρώμα αέρα, το οδικό δίκτυο και τον περιβάλλοντα χώρο.

Έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνών και αποκαλείται “Road Climate Room” (Almkvist et al, 2005). Το στρώμα αέρα που επηρεάζεται από το οδόστρωμα είναι προσεγγιστικά το ένα δέκατο από το πλάτος του οδικού δικτύου. Οπότε για μέσο πλάτος 20 μέτρων, όπως έχει η Εγνατία οδός, το ύψος του αέριου στρώματος είναι 2 μέτρα. Πάνω από αυτό το ύψος, η διακύμανση της θερμοκρασίας είναι ανεξάρτητη από το οδόστρωμα. Για ύψος από 20 cm έως 2 m, η θερμοκρασία αέρα έχει διακύμανση ανάλογη με τη θερμοκρασία του οδικού δικτύου και της βλάστηση που το περιβάλλει. Ο αέρας στα πρώτα 20 cm από το οδόστρωμα επηρεάζεται αποκλειστικά σχεδόν από αυτό και εκεί παρατηρούνται και οι εντονότερες αλλά και σημαντικότερες διαφοροποιήσεις (Hanna, 1997).



Εικόνα 4: Το μικροκλιματικό σύστημα που επηρεάζει τις συνθήκες που επικρατούν στο οδόστρωμα “Room Climate Room” (Almkvist et al, 2005).

Οι Charman et al (2001) επικεντρώθηκαν στη μελέτη των βασικών τοπογραφικών παραγόντων που επηρεάζουν την θερμοκρασία οδοστρώματος. Κατέληξαν ότι οι 5 σημαντικότεροι παράγοντες είναι το γεωγραφικό πλάτος, η τοπογραφία, ο συντελεστής θέασης ουράνιου θόλου, το υψόμετρο και η θερμοχωρητικότητα των υλικών κατασκευής του οδοστρώματος. Σε συνθήκες υψηλής ατμοσφαιρικής σταθερότητας, ο συντελεστής θέασης ουράνιου θόλου εκτιμήθηκε ως ο πιο σημαντικός. Σε συνθήκες αστάθειας, κυριαρχεί η επίδραση του υψομέτρου. Επίσης, δημιούργησαν ένα στατιστικό μοντέλο που προβλέπει τη διακύμανση της θερμοκρασίας οδοστρώματος κατά 75%.

Με την ανάλυση της επίδρασης του ανάγλυφου στην θερμοκρασία οδοστρώματος ασχολήθηκαν οι Almkvist et al (2005) και κατέληξαν ότι υπάρχει σημαντική συσχέτιση. Συγκεκριμένα, σε κυρτές επιφάνειες υπάρχει η

τάση να επικρατούν μειωμένες θερμοκρασίες σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο. Αντίθετα σε λοφώδεις περιοχές σημειώνονται υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο, όπως και σε περιοχές δασώδεις ή με πυκνή βλάστηση.

Ο Gustavsson (1999) είχε καταλήξει σε παρόμοια συμπεράσματα, δηλαδή ότι η τοπογραφία έχει σημαντική επίδραση στη διαφοροποίηση των συνθηκών που επικρατούν στο δρόμο σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο. Αίτιο αυτής της αλληλεπίδρασης είναι η αποστράγγιση ψυχρών αερίων μαζών. Επίσης οι μελέτες του έδειξαν ότι σημεία που προκαλούν διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του οδοστρώματος είναι οι γέφυρες, οι σήραγγες και περιοχές με πρηνή απότομες κλίσεις ή πολύ πυκνή φύτευση.

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας, η θερμοκρασία του οδοστρώματος προσαρμόζεται στην θερμοκρασία αέρα και όχι το αντίστροφο. Άρα η μείωση της θερμοκρασίας ξεκινάει από τον περιβάλλοντα χώρο του οδοστρώματος, ενώ λόγω θερμικής αδράνειας το οδόστρωμα τείνει να είναι θερμότερο. Περιοχές που ψύχονται γρηγορότερα είναι αυτές που έχουν υψηλό δείκτη θέασης ουράνιου θόλου ή αραιή φύτευση, συνεπώς είναι πιο εκτεθειμένες στους ανέμους. Οι θερμοκρασιακές διαφορές που σημειώνονται ανάμεσα στο οδόστρωμα και τη βλάστηση που το περιβάλλει μπορεί να είναι μέχρι και 8°C. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η βλάστηση είναι σημαντικά ψυχρότερη από το οδόστρωμα, παρατηρείται μετακίνηση ψυχρών αερίων μαζών προς το οδόστρωμα ακόμα και μέσα στη νύχτα. Όταν η θερμότητα που είχε αποθηκευτεί στο οδόστρωμα κατά τη διάρκεια της ημέρας έχει χαθεί λόγω εκπομπής, ο δρόμος μπορεί να είναι ψυχρότερος από τον αέρα του περιβάλλοντα χώρου. Το σχήμα της διατομής του οδικού δικτύου, η υψομετρική του ανύψωση, η παρουσία ή όχι τάφρων αποστράγγισης και η κατεύθυνση των πρηνών θα καθορίσουν κατά πόσο θα επηρεαστεί η θερμοκρασία του από την μετακίνηση ψυχρών αερίων μαζών από και προς τον περιβάλλοντα χώρο (Almkvist et al, 2005).

2.5. Παράγοντες Κινδύνου Παγετού και Πάγου

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών, επιλέχθηκαν οι παράγοντες παγετού και πάγου που θα μελετηθούν στην παρούσα εργασία. Η επιλογή έγινε με βάση τα αποτελέσματα των μελετών αλλά και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, ελήφθησαν υπόψη το έντονο ανάγλυφο, οι μεγάλες υψομετρικές διαφορές, οι έντονες κλίσεις, το πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο και η παρουσία κατά τόπους πυκνών δασικών εκτάσεων και καλλιεργούμενων περιοχών.

Η τοπογραφία μίας περιοχής έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει έντονα την διακύμανση της νυχτερινής θερμοκρασίας και την πιθανότητα παγετού. Ο παγετός παρατηρείται πιο συχνά και με μεγαλύτερη διάρκεια σε περιοχές που βρίσκονται στα πιο χαμηλά σημεία μίας πεδιάδας. Σε σημεία που βρίσκονται σε ανοιχτές πλαγιές ή στην κορυφή λόφων, ο παγετός εμφανίζεται με χρονική καθυστέρηση ή και καθόλου κάποιες φορές. Αυτό οφείλεται στην τάση που έχει ο ψυχρότερος και άρα σχετικά πιο πυκνός αέρας να λιμνάζει και να σχηματίζει «θύλακες παγετού» στις χαμηλότερες θέσεις μίας περιοχής (Oke, 1987).

Η διακύμανση της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας ποικίλει ανάλογα με την κίνηση του ψυχρού ανέμου κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (καταβατικοί άνεμοι). Συνδέεται κυρίως με την απώλεια θερμότητας λόγω της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος και έμμεσα μόνο με την ημερήσια ισορροπία ακτινοβολίας.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την εκπεμπόμενη νυχτερινή κυρίως ακτινοβολία είναι η κλίση πρανών, η παρουσία βλάστησης και η περίσσεια θερμότητας λόγω υψηλής πρόσληψης ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η εδαφική υγρασία είναι επίσης σημαντικός παράγοντας στην θερμική ισορροπία κατά τη διάρκεια της νύχτας, αφού προστατεύει τις παρεδάφινες επιφάνειες από ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες και περιορίζει την ικανότητα των εδαφών να δρουν σαν αποθήκες θερμότητας (Geiger et al., 2003).

Ακολούθως, αναλύεται η επίδραση καθενός από τους επιλεγμένους παράγοντες που συμβάλλουν στον κίνδυνο επικράτησης παγετού και δημιουργίας πάγου.

2.5.1. Υψόμετρο

Αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες διακύμανσης της επιφανειακής θερμοκρασίας. Η επίδραση του υψομέτρου στην θερμοκρασία είναι διττή και εξαρτάται από την ατμοσφαιρική σταθερότητα που επικρατεί κάθε φορά.

Στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται με το ύψος, σύμφωνα με την κατακόρυφη θερμοβαθμίδα, η οποία κατά μέσο όρο έχει τιμή 0,6 °C ανά 100 m. Την ίδια πορεία ακολουθεί και η θερμοκρασία επιφανείας εδάφους, η οποία μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου κατά μέσο όρο κατά 0,65 °C ανά 100 m. Από μελέτες που έχουν γίνει στην Νεβάδα των Η.Π.Α. προέκυψε ότι η σχέση αυτή δεν είναι γραμμική (Shao et al., 1997).

Σύμφωνα με μελέτες, η τιμή της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας εξαρτάται από την εποχή, το ύψος από το έδαφος και τα χαρακτηριστικά της επιφανείας του εδάφους. Τα συμβάντα παγετού είναι πιο συχνά σε υψόμετρα μέτρια και υψηλά και αυξάνουν συνεχώς με την αύξηση του υψομέτρου (Pouteau et al, 2011).

Η επίδραση του υψομέτρου στην θερμοκρασία εδάφους είναι εμφανής σε περιόδους ατμοσφαιρικής σταθερότητας. Σε συνθήκες χαμηλής ατμοσφαιρικής σταθερότητας, κυριαρχεί ο ρόλος της τοπογραφίας στην διαμόρφωση της επιφανειακής θερμοκρασίας (Shao et al., 1997). Η θερμοκρασία δεν μειώνεται αλλά αυξάνεται με το υψόμετρο οπότε επικρατούν θερμοκρασιακές αναστροφές που συνδέονται συχνά με την επικράτηση παγετού ακτινοβολίας.

Το ύψος στο οποίο σχηματίζεται η αναστροφή της θερμοκρασίας ονομάζεται «θερμοροφή». Το ύψος της θερμοροφής είναι σημαντικό για την διακύμανση της θερμοκρασίας σε σχέση με το υψόμετρο. Οι επικλινείς επιφάνειες διαχωρίζονται σε 3 υψομετρικές ζώνες ανάλογα με την διαβάθμιση της θερμοκρασίας εδάφους σε σχέση με το υψόμετρο. Στα χαμηλότερα υψόμετρα (χαμηλότερα της θερμοροφής), παρατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας τη νύχτα. Στα μεσαία υψόμετρα, που αντιστοιχούν στη θερμοροφή καταγράφονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες. Πάνω από τη ζώνη της θερμοροφής, η θερμοκρασία ελαττώνεται και πάλι με την αύξηση του υψομέτρου. Το υψόμετρο της θερμικής ζώνης εξαρτάται από την τοπογραφία μίας περιοχής, αλλά με μεγαλύτερη συχνότητα είναι στα 1.200 - 1.800 m. Συνήθως η υψομετρική απόσταση της θερμοροφής από την βάση της κοιλάδας στην οποία παρατηρείται η θερμοκρασιακή αναστροφή, είναι περίπου 150-200 m (Pouteau et al, 2011).

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσες συνθήκες που επικρατούν σε διαφορετικά υψόμετρα στις ανατολικές Άλπεις. Παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας με την αύξηση του υψομέτρου εκτός από της ζώνη της θερμοροφής (υψόμετρο 800- 1.200 m) όπου παρατηρείται σταθερότητα της θερμοκρασίας (Geiger et al, 2003).

Η βροχόπτωση αυξάνεται με το υψόμετρο μέχρι περίπου τα 2.500 m, λόγω της συμπύκνωσης υδρατμών των αέριων μαζών καθώς κινούνται ανοδικά στην προσήνεμη πλευρά μίας πλαγιάς. Πάνω από αυτό το υψόμετρο, η βροχόπτωση μειώνεται λόγω της ελάττωσης της περιεκτικότητας της αέριας μάζας σε

υδρατμούς, ενώ τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα παίρνουν τη μορφή χιονιού λόγω χαμηλών θερμοκρασιών (Geiger et al, 2003).

Τέλος, ο αριθμός ελεύθερων ημερών από παγετό μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου (Geiger et al, 2003). Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και η Κοτίνη - Ζαμπάκα (1983) για την ελληνική επικράτεια. Συγκεκριμένα, έπειτα από την επεξεργασία μετρήσεων από 86 μετεωρολογικούς σταθμούς στην Ελλάδα, παρατηρήθηκε ότι η διάρκεια της συνεχούς ελεύθερης περιόδου από παγετό ελαττώνεται με την αύξηση του υψομέτρου (Κοτίνη – Ζάμπακα, 1983).

Πίνακας 2: Μεταβολές στις κλιματικές συνθήκες ανάλογα με το υψόμετρο, στις ανατολικές Άλπεις (Geiger et al, 2003).

Υψόμετρο (m)	Μέση ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία Δεκεμβρίου		Μέση θερμοκρα. αέρα Ιανουαρ. (°C)	Μέση θερμοκρα. αέρα έτους (°C)	Ετήσιος αριθμός ημερών με			Ετήσιος αριθμός ημερών με		Σχετική Υγρασία (%)	Ετήσια βροχόπτωση (mm)	Αριθμός ημερών με χιόνι	Μέγιστο βάθος χιονιού	
	καθαρός ουρανός	σκιασμ. ουρανός			απουσία παγετού	μετάβαση παγετού	παγετό	ξηρό έδαφος	κάλυψη από χιόνι				βάθος	ημ/ια έναρξης
200	5,4	1,3	-1,4	9,0	272	67	93	187	38	71	615	27	20	18/01
400	5,7	1,3	-2,5	8,0	267	97	98	173	55	74	750	32	31	23/01
600	5,9	1,4	-3,5	7,1	250	78	115	160	81	77	885	38	51	28/01
800	6,1	1,5	-3,9	6,4	234	91	131	147	109	78	1.025	45	73	03/02
1.000	6,3	1,6	-3,9	5,7	226	86	139	133	127	76	1.160	53	93	11/02
1.200	6,5	1,7	-3,9	4,9	218	84	147	120	138	74	1.295	62	100	14/02
1.400	6,6	1,8	-4,1	5,0	211	81	154	107	152	73	1.430	73	120	21/02
1.600	6,7	2,0	-4,9	2,8	203	78	162	93	169	73	1.570	85	142	03/03
1.800	6,8	2,1	-6,1	1,6	190	76	175	80	189	74	1.700	98	168	14/03
2.000	7,0	2,3	-7,1	0,4	178	73	187	67	212	74	1.835	113	199	26/03
2.200	7,0	2,4	-8,2	-0,8	163	71	202	53	239	75	1.970	128	242	08/04
2.400	7,1	2,6	-9,2	-2,0	146	68	219	40	270	78	--	143	296	20/04
2.600	7,1	2,8	-10,3	-3,3	125	66	240	27	301	80	--	158	366	03/05
2.800	7,2	2,9	-11,3	-4,5	101	64	264	13	332	82	--	173	446	15/05
3.000	7,2	3,1	-12,4	-5,7	71	62	294	0	354	84	--	188	545	29/05

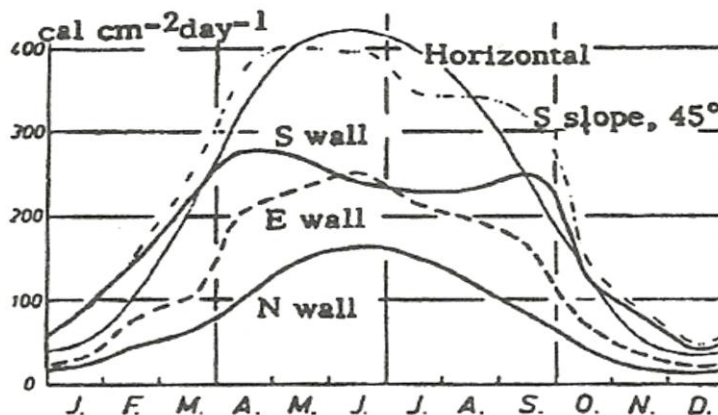
2.5.2. Κλίση και Προσανατολισμός Πρανών

Η τοπογραφία μίας περιοχής και ιδίως η κλίση και ο προσανατολισμός των πρανών, θεωρείται από τους σημαντικότερους παράγοντες της επιφανειακής θερμοκρασίας. Μικρές διαφοροποιήσεις στο ανάγλυφο μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές διαφορές στην θερμοκρασία αέρα και επιφανείας εδάφους (Routeau et al, 2011).

Η κλίση και ο προσανατολισμός των πρανών καθορίζουν το ποσό της προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας, το οποίο είναι διαφορετικό για μία επικλινή επιφάνεια σε σχέση με μία επίπεδη. Ένα πρανές με κλίση 20° και προσανατολισμό νότιο λαμβάνει σχεδόν τη διπλάσια ακτινοβολία τον Ιανουάριο σε σχέση με μία οριζόντια επιφάνεια (Fridley, 2009). Διαφορά του μικροκλίματος μία πλαγιάς με βορεινή κλίση 25° σε σχέση με μία πλαγιά με νότιο προσανατολισμό είναι αντίστοιχη με μία μετατόπιση σε γεωγραφικό πλάτος της τάξης των 9° (Radcliffe & Lefever, 1981).

Επικλινή εδάφη παρουσιάζουν μειωμένο κίνδυνο παγετού καθώς οι ψυχρές αέριες μάζες έχουν την τάση να απορρέουν και να συσσωρεύονται σε περιοχές χαμηλότερου υψομέτρου δημιουργώντας θύλακες ψυχρού αέρα. Οι σχετικά επίπεδες (με μικρή κλίση) περιοχές, ιδίως όταν βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο, είναι πιο επιδεκτικές σε εμφάνιση παγετού από πλαγιές που βρίσκονται μέχρι και σε υψόμετρο 4.000 m (Radcliffe & Lefever, 1981).

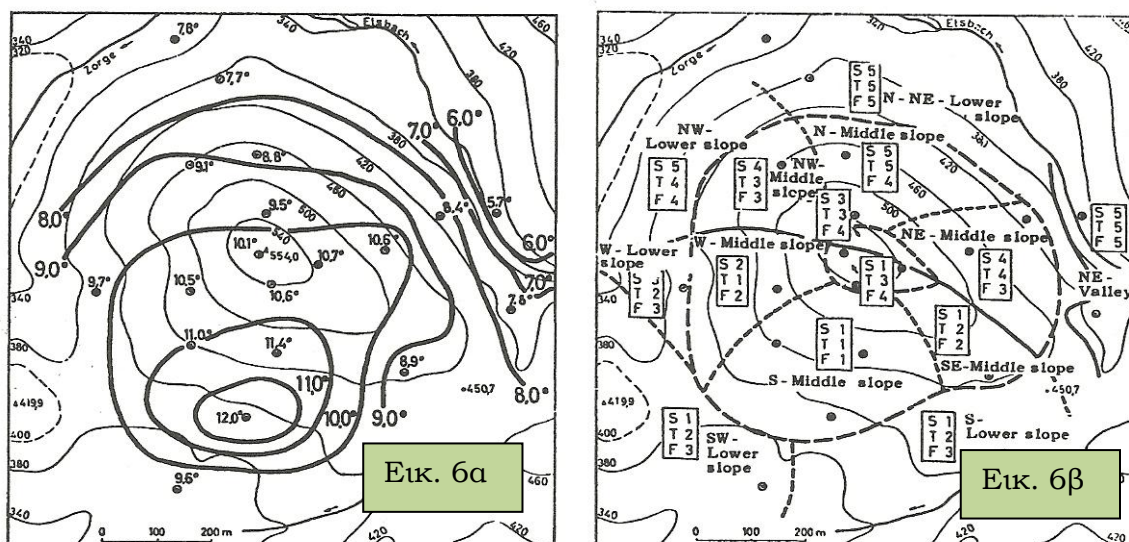
Σύμφωνα με μελέτες, εδάφη πρανών με βορεινό προσανατολισμό διατηρούν περισσότερο νερό κατά 50% από ότι πρανή με νότιο προσανατολισμό νωρίς την άνοιξη και έχουν την τάση να έχουν χαμηλότερες θερμοκρασίες. Επίσης, η θερμοκρασία εδάφους και αέρα είναι πάντα υψηλότερες σε πρανή με νότιο προσανατολισμό σε σχέση με βορεινά πρανή. Οι διαφορές μεγιστοποιούνται σε χειμερινές περιόδους χωρίς χιόνι και σε περιοχές με φυλλοβόλα βλάστηση (Rouse & Wilson, 1969).



Εικόνα 5: Διακύμανση προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας ανάλογα με τον προσανατολισμό (Graffe, 1956).

Η ετήσια διακύμανση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση μίας επιφάνειας, σε μεσαίο γεωγραφικό πλάτος, μελετήθηκε από τον Graffe (1956). Στο αντίστοιχο διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν σε μετρήσεις σε μία οριζόντια επιφάνεια, μία επικλινή επιφάνεια νότιου προσανατολισμού και τρεις τοίχους με κλίση 90° και βορεινό, ανατολικό και νότιο προσανατολισμό. Η υψηλότερη ολική ακτινοβολία καταγράφηκε στον τοίχο και την πλαγιά νότιου προσανατολισμού, ακολουθούν ο ανατολικός και ο βορεινός τοίχος.

Συνήθως στη φύση δεν παρατηρούνται τόσο ακραίες διαφοροποιήσεις. Ο Oliver (1992) μετρώντας την ολική ηλιακή ακτινοβολία σε μία βορεινή πλαγιά κλίσης 17° και σε μία νότια πλαγιά με κλίση 10° στις Ηνωμένες Πολιτείες για ένα διάστημα 8 μηνών, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι διέφεραν μεταξύ τους κατά 25%.



Εικόνα 6α: Ελάχιστες θερμοκρασίες κοντά στο έδαφος σε λοφώδη δασική περιοχή. **Εικόνα 6β:** Διαφοροποιήσεις στην καθαρή ηλιακή ακτινοβολία (S), θερμοκρασία (T) και την ατμοσφαιρική πίεση (F) και κατηγοριοποίηση σε 5 τάξεις (Hartmann et al, 1959).

Σε μελέτη των Hartmann et al (1959) μελετήθηκε το κλίμα επικλινών επιφανειών με μεγάλη διαφοροποίηση στον προσανατολισμό και με κλίσεις που κυμαινόντουσαν από 15° έως 40° και υψομετρική διαφορά 200 m. Κατηγοριοποίησαν με βάση τις μετρήσεις τους την περιοχή μελέτης σε 14 τμήματα ανάλογα με τον προσανατολισμό, την κλίση και το υψόμετρο (Εικ. 2α & 2β). Αυτά τα τμήματα της περιοχής μελέτης στη συνέχεια τα βαθμονόμησαν όσον αφορά την καθαρή ηλιακή ακτινοβολία, (S), την θερμοκρασία (T) και την ατμοσφαιρική πίεση (F) σε πέντε διαβαθμίσεις από 1 έως 5, όπου η τιμή 1 υποδεικνύει υψηλότερες και η τιμή 5 χαμηλότερες τιμές. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται στα αντίστοιχα σχήματα, πιο θερμές

βρέθηκαν οι νοτιοδυτικές μέσου υψομέτρου και κλίσης περιοχές, ενώ πιο ψυχρές ήταν οι βορειοανατολικές χαμηλού υψομέτρου περιοχές.

2.5.3. Υδρογραφικό Δίκτυο

Η παρουσία υδάτινων μαζών αποτελεί προστατευτικό παράγοντα από τον κίνδυνο του παγετού. Μεγάλες ιδίως υδάτινες μάζες όπως λίμνες, μεγάλα ποτάμια και η θάλασσα επηρεάζουν θετικά την θερμοκρασία ψυχρών αερίων μαζών στην περίπτωση του παγετού ψυχρών αερίων μαζών, αλλά και μειώνουν την ένταση των παγετών ακτινοβολίας (ΕΛ.Γ.Α., 2003).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης των Ruteau et al (2011), η επίδραση μίας λίμνης μπορεί να είναι σημαντική σε μία ζώνη ως και 10 km περιμετρικά αυτής. Αποτελεί παράγοντα αποτρεπτικό των θερμοκρασιακών αναστροφών, αναιρώντας την επίδραση του υψομέτρου στην θερμοκρασία. Σε περιοχές που απέχουν πάνω από 10 km από τη λίμνη, κύριος παράγοντας συχνότητας παγετού ήταν το υψόμετρο.

Ο Fridley (2009) χρησιμοποίησε σαν παράγοντα διαφοροποίησης της θερμοκρασίας εδάφους την απόσταση από ποτάμια και κατέληξε ότι είναι από τους πιο ακριβείς δείκτες για την πρόβλεψη της ελάχιστης θερμοκρασίας. Μέσω των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών δημιούργησε ένα δείκτη εγγύτητας σε ποτάμια (STRDST- stream proximity) για την περιοχή που μελέτησε. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών του, υπήρξε μία σταθερή τάση επικράτησης υψηλότερων σχετικά θερμοκρασιών σε περιοχές σε μικρή απόσταση από ποτάμια.

2.5.4. Ανάγλυφο και Τοπογραφικοί Δείκτες

Η μορφή του ανάγλυφου επηρεάζει σημαντικά την διακύμανση της θερμοκρασίας σε μία περιοχή και άρα τον κίνδυνο παγετού και πάγου.

Η πιο κοινά αποδεκτή θεωρία που εξηγεί την θερμοκρασιακή διαφοροποίηση λόγω της τοπογραφίας είναι η καταβατική θεωρία. Κατά τη διάρκεια σταθερών συνθηκών, ένα στρώμα πυκνού, ψυχρού αέρα σχηματίζεται στην επιφάνεια του εδάφους και προκαλεί θερμοκρασιακή αναστροφή. Όταν το ανάγλυφο του εδάφους είναι επικλινές, το στρώμα του ψυχρού αέρα κινείται και λόγω βαρύτητας συγκεντρώνεται στις χαμηλότερες φυσικές κοιλάδες σχηματίζοντας θύλακες παγετού (Ruteau et al, 2011).

Όταν το ανάγλυφο έχει κοίλα κλειστή μορφή, όπως είναι οι κλειστές κοιλάδες που περιβάλλονται από βουνά, δεν παρέχει διέξοδο για την κίνηση του ψυχρού αέρα με συνέπεια να σχηματίζονται κλειστοί θύλακες παγετού οι οποίοι είναι και οι πλέον επιζήμιοι. Επιπλέον, νέες μάζες ψυχρού αέρα συγκεντρώνονται

στην κοιλάδα λόγω των καταβατικών ρευμάτων των ορεινών όγκων (ΕΛ.Γ.Α., 2003).

Το ύψος όπου σχηματίζεται η θερμοροφή δεν είναι σταθερό, αλλά εξαρτάται από την καταβατική ροή του ανέμου και την περιβάλλουσα τοπογραφία. Κατά τη διάρκεια σταθερών συνθηκών, η καταβατική ροή ανέμου μπορεί να δημιουργήσει λίμνες ψυχρού αέρα σε κοιλότητες και στον πυθμένα κοιλάδων.

Ο σύνθετος τοπογραφικός δείκτης (CTI) αποτελεί ένα δείκτη συγκέντρωσης ψυχρού αέρα, όπου χαμηλές τιμές αντιστοιχούν σε κορυφές βουνών και υψηλές τιμές του δείκτη αντιπροσωπεύουν κοίλες περιοχές. Ο κίνδυνος παγετού είναι αυξημένος σε κοίλες περιοχές και η μειωμένη προσλαμβανόμενη ηλιοφάνεια σε αυτές τις σκιασμένες περιοχές αυξάνει ακόμα περισσότερο τη συχνότητα παγετού (Routeau et al, 2011).

Η συχνότητα παγετού έχει παρατηρηθεί ότι είναι αυξημένη σε περιοχές με κοίλο ανάγλυφο (υψηλές τιμές CTI) όταν αυτές βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο. Όσο αυξάνει το υψόμετρο, ο παράγοντας του δείκτη σύνθετης τοπογραφίας έχει όλο και πιο μικρή επίδραση στην συχνότητα εμφάνισης παγετού (Routeau et al, 2011).

2.5.5. Βλάστηση

Η παρουσία πυκνής, δασικής ιδίως, βλάστησης αποτελεί ένα προστατευτικό παράγοντα ως προς τον κίνδυνο παγετού και πάγου. Δημιουργεί ένα φράγμα που εμποδίζει την κίνηση των ψυχρών αέριων μαζών, αλλά και μειώνει την ποσότητα της ανακλώμενης νυκτερινής ακτινοβολίας της γης. Έχουν μετρηθεί θερμοκρασιακές διαφορές ως και 3°C ανάμεσα σε προστατευμένες περιοχές με κωνοφόρα δάση και εκτεθειμένες περιοχές (Gustavsson et al, 1998).

Επίσης σε δασικές περιοχές, η εκπομπή ακτινοβολίας προς τον ουρανό γίνεται από την φυλλική επιφάνεια, κυρίως, η οποία είναι σε κάποια απόσταση από το έδαφος. Ο ψυχρότερος αέρας βυθίζεται, λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας. Σαν αποτέλεσμα έχουμε αυξημένη ανάμειξη και λιγότερο ανεπτυγμένη διαστρωμάτωση των αέριων μαζών μέσα στο δάσος. Το ύψος στο οποίο λαμβάνει χώρα η ανταλλαγή ακτινοβολίας ανάμεσα στο δασώδες έδαφος και τον ουρανό εξαρτάται από το ύψος και την πυκνότητα των φυτών που συνθέτουν τη δασική έκταση (Gustavsson et al, 1998).

Η φυτοκάλυψη ασκεί ιδιαίτερη επίδραση και στη συγκέντρωση χιονιού. Μέσα σε ένα δάσος, η συγκέντρωση χιονιού στο έδαφος μεταβάλλεται ανάλογα με την πυκνότητα και το είδος των δέντρων και τον αριθμό και το είδος των ξέφωτων (Μπαλιός, 2006).

2.5.6. Χρήσεις Γης και Οδικό Δίκτυο

Η παρουσία ανθρωπογενών δραστηριοτήτων σε μία περιοχή μειώνει τον κίνδυνο παγετού και πάγου σε αυτή. Για παράδειγμα στο κέντρο μίας πόλης, η θερμοκρασία είναι συγκριτικά αυξημένη λόγω της γεωμετρίας των οδοχαραδρών, της αυξημένης επιφανειακής τραχύτητας λόγω των κτιρίων και της παραγωγής θερμότητας από τα αυτοκίνητα και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Αντίστοιχα, η διακύμανση της θερμοκρασίας στο οδικό δίκτυο επηρεάζεται από τις θερμικές ιδιότητες των επιφανειών στις παρακείμενες του οδικού δικτύου περιοχές (Charman & Thornes, 2006).

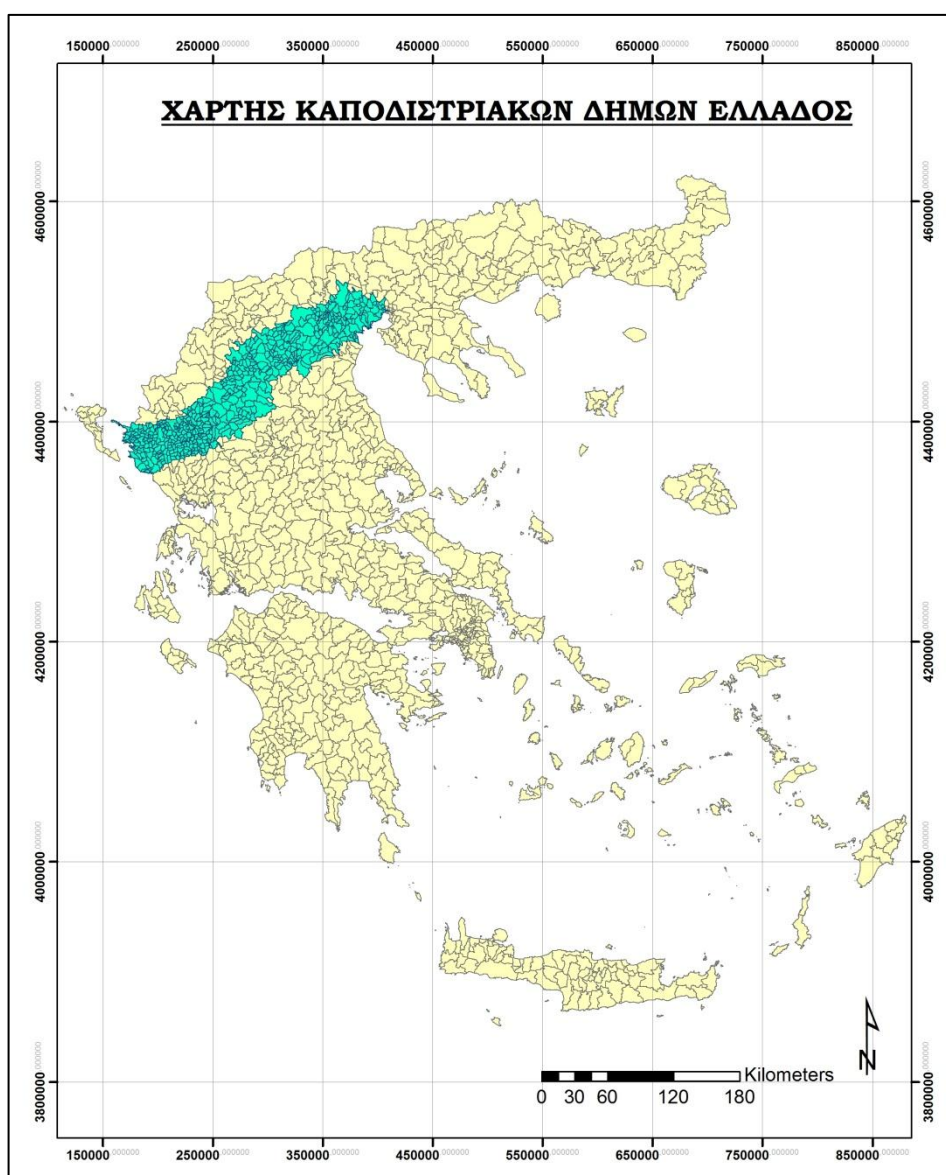
Μία χρήσιμη ένδειξη ανθρώπινης παρουσίας και χρήσης σε μία περιοχή αποτελεί η πυκνότητα του οδικού δικτύου. Γενικά, περιοχές με πυκνό οδικό δίκτυο αντιστοιχούν σε αστικές περιοχές. Σε μελέτες σχετικά με την κίνδυνο λόγω σχηματισμού πάγου, ιδιαίτερα χρήσιμη αποδείχθηκε η κατηγοριοποίηση του οδικού δικτύου σε 5 κατηγορίες ανάλογα με την σχετική πυκνότητα με ακτίνα επιρροής τα 1.000 m (Charman & Thornes, 2006).

Σημεία ιδιαίτερου κινδύνου αποτελούν οι γέφυρες και οι σήραγγες που προκαλούν θερμικές ανωμαλίες και που δεν μπορούν να επεξηγηθούν μέσω ενός μοντέλου που περιλαμβάνει μόνο γεωγραφικές παραμέτρους (Charman & Thornes, 2006).

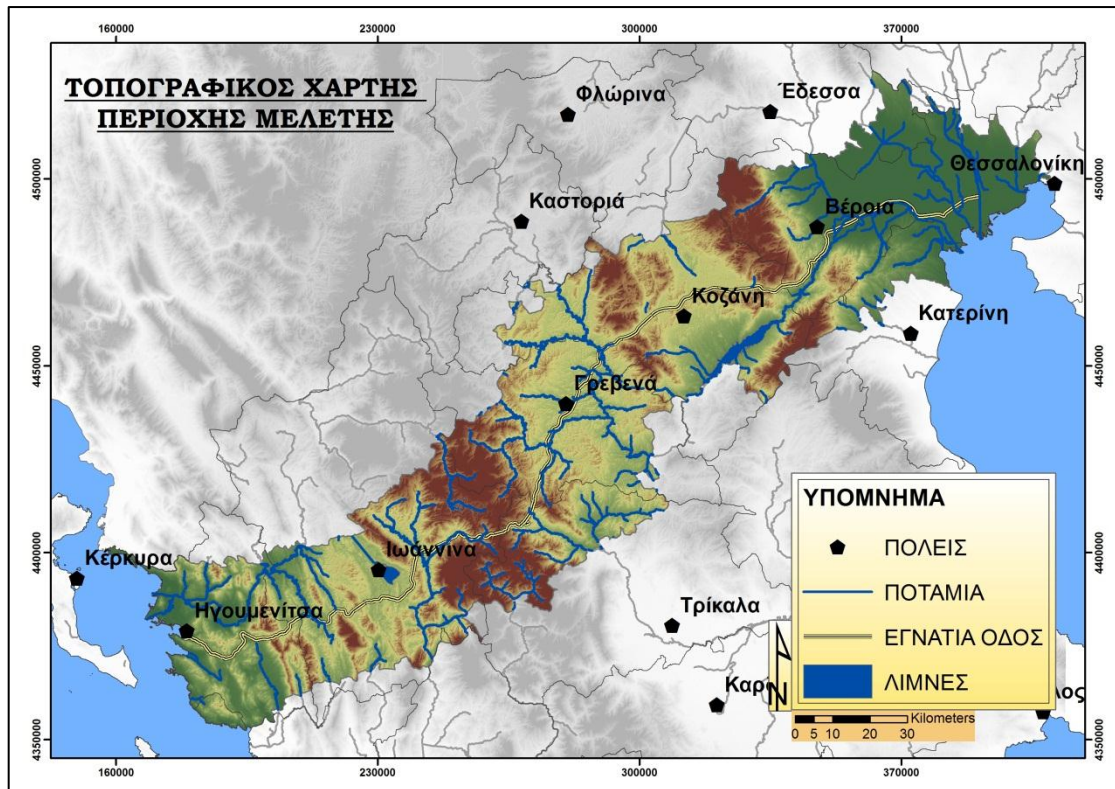
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. Γεωγραφικά – Διοικητικά Στοιχεία

Η περιοχική μελέτη βρίσκεται εντός των διοικητικών ορίων των γεωγραφικών διαμερισμάτων Ηπείρου και Μακεδονίας και περιλαμβάνει το δυτικό και κεντρικό τμήμα της Εγνατίας οδού, μήκους 302,18 km καθώς και τις Δημοτικές Κοινότητες μίας ζώνης 15 km εκατέρωθεν της οδού. Διασχίζει από δυτικά προς ανατολικά τούς νομούς Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας, Ιωαννίνων, Τρικάλων, Γρεβενών, Κοζάνης, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας και Θεσσαλονίκης και περιλαμβάνει 514 δημοτικά διαμερίσματα που υπάγονται στους παραπάνω νομούς, σύμφωνα με την διοικητική διαίρεση του Σχεδίου Καποδίστρια.



Εικόνα 7: Χάρτης θέσης περιοχής μελέτης.



Εικόνα 8: Τοπογραφικός χάρτης περιοχής μελέτης.

3.2. Πληθυσμιακά Στοιχεία

Η περιοχική μελέτη αποτελεί τμήμα 11 διαφορετικών νομών της Ελλάδας. Τα πληθυσμιακά στοιχεία των νομών όπου εντάσσεται η περιοχική μελέτη παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Τα δεδομένα προέρχονται από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος (Ε.Σ.Υ.) και αφορούν στην δεκαετία 2001 με 2011. Κατά το διάστημα αυτό, παρατηρείται αύξηση του πληθυσμού στους νομούς Θεσσαλονίκης και Ηπείρου και μείωση ή σταθερότητα του πληθυσμού στις υπόλοιπες περιοχές. Την μεγαλύτερη μείωση πληθυσμού παρατηρούμε στον νομό Άρτας.

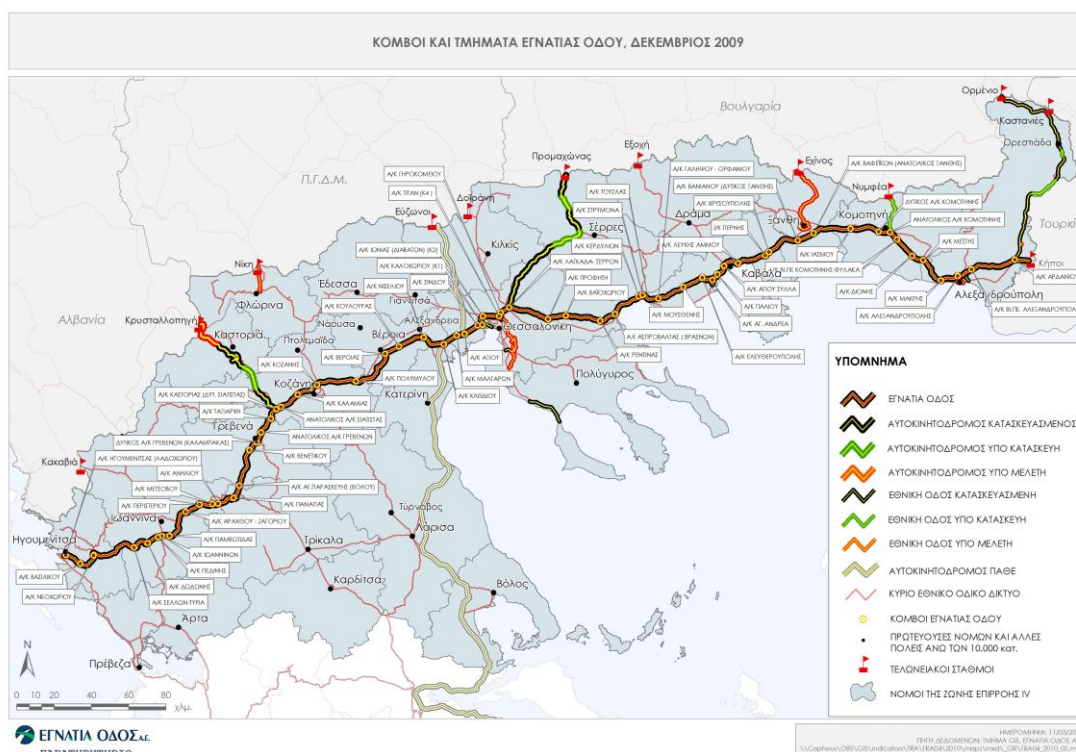
Πίνακας 3: Μεταβολή του πληθυσμού της περιοχής μελέτης ανά νομό κατά την δεκαετία 2001-2011 (πηγή: Ε.Σ.Υ.).

Νομός	Πληθυσμός 2011	Πληθυσμός 2001	Μεταβολή (%) 2001-2011
Άρτας	68.877	73.620	-7,80
Θεσπρωτίας	43.587	43.601	-0,03
Ιωαννίνων	167.901	161.027	4,27
Πρέβεζα	57.491	58.144	-1,12
Τρικάλων	131.085	132.689	-1,21
Γρεβενών	31.757	32.567	-2,49
Κοζάνης	150.196	153.939	-2,43
Ημαθίας	140.611	142.471	-1,31
Θεσσαλονίκης	1.110.312	1.084.001	2,43
Πέλλας	139.680	143.957	-2,97
Πιερίας	126.698	126.412	0,23

3.3. Οδικό Δίκτυο – Εγνατία Οδός

Ο κύριος οδικός άξονας της περιοχής μελέτης είναι η Εγνατία οδός. Πρόκειται για ένα αυτοκινητόδρομο δύο λωρίδων ανά κλάδο, Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης και διαχωριστική νησίδα τύπου New Jersey σε όλο το μήκος της. Η Εγνατία Οδός εκτείνεται από την Ηγουμενίτσα του Νομού Θεσπρωτίας έως τους Κήπους του Νομού Έβρου και φτάνει τα 670 km. Η διατομή της οδού είναι τετράιχνη με μέσο πλάτος 24,5 m και 22 m στα ορεινά, δυσχερή τμήματα. Διασχίζει την Ήπειρο, τη Μακεδονία και τη Θράκη. Περιλαμβάνει συνολικά 63 κόμβους σύνδεσης με οδικό δίκτυο, 177 μεγάλες (με πλάτος άνω των 50m) γέφυρες, 73 σήραγγες και 350 διαβάσεις εισόδου- εξόδου (www.egnatia.eu).

Στην περιοχή μελέτης περιλαμβάνεται το μήκος της Εγνατίας οδού που διασχίζει το τμήμα της Ηπείρου και το τμήμα Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας, συνολικού μήκους 302,18 km.



Εικόνα 9: Κόμβοι και τμήματα της Εγνατίας οδού (πηγή: www.egnatia.eu).

3.3.1. Εγνατία Οδός – Τμήμα Ηπείρου

Περιλαμβάνει το τμήμα της οδού που διασχίζει την Ήπειρο με συνολικό μήκος 123 km. Αποτελεί το τμήμα της Εγνατίας οδού με τις υψηλότερες κατασκευαστικές απαιτήσεις, λόγω της ιδιαίτερα δύσκολης γεωμορφολογίας και των γεωλογικών παραγόντων που καθόρισαν σε μεγάλο βαθμό της επιλογές χάραξης.

Στο τμήμα αυτό έχουν κατασκευαστεί 32 σήραγγες, γέφυρες συνολικού μήκους 7,5 km και 13 ανισόπεδους κόμβους. Τα μεγαλύτερα κατασκευαστικά έργα απαντώνται στις περιοχές:

- Δωδώνη: Δίδυμη σήραγγα μήκους 3,3 km ανά κλάδο κυκλοφορίας.
- Δρίσκο: Δίδυμη σήραγγα μήκους 4,5 km ανά κλάδο κυκλοφορίας (η μεγαλύτερη της Εγνατίας οδού).
- Μέτσοβο: Δίδυμη σήραγγα μήκους 3,5 km.
- Ποταμούς Άραχθο και Μετσοβίτικο: Γέφυρες μήκους 1.000 m και 530 m αντίστοιχα.

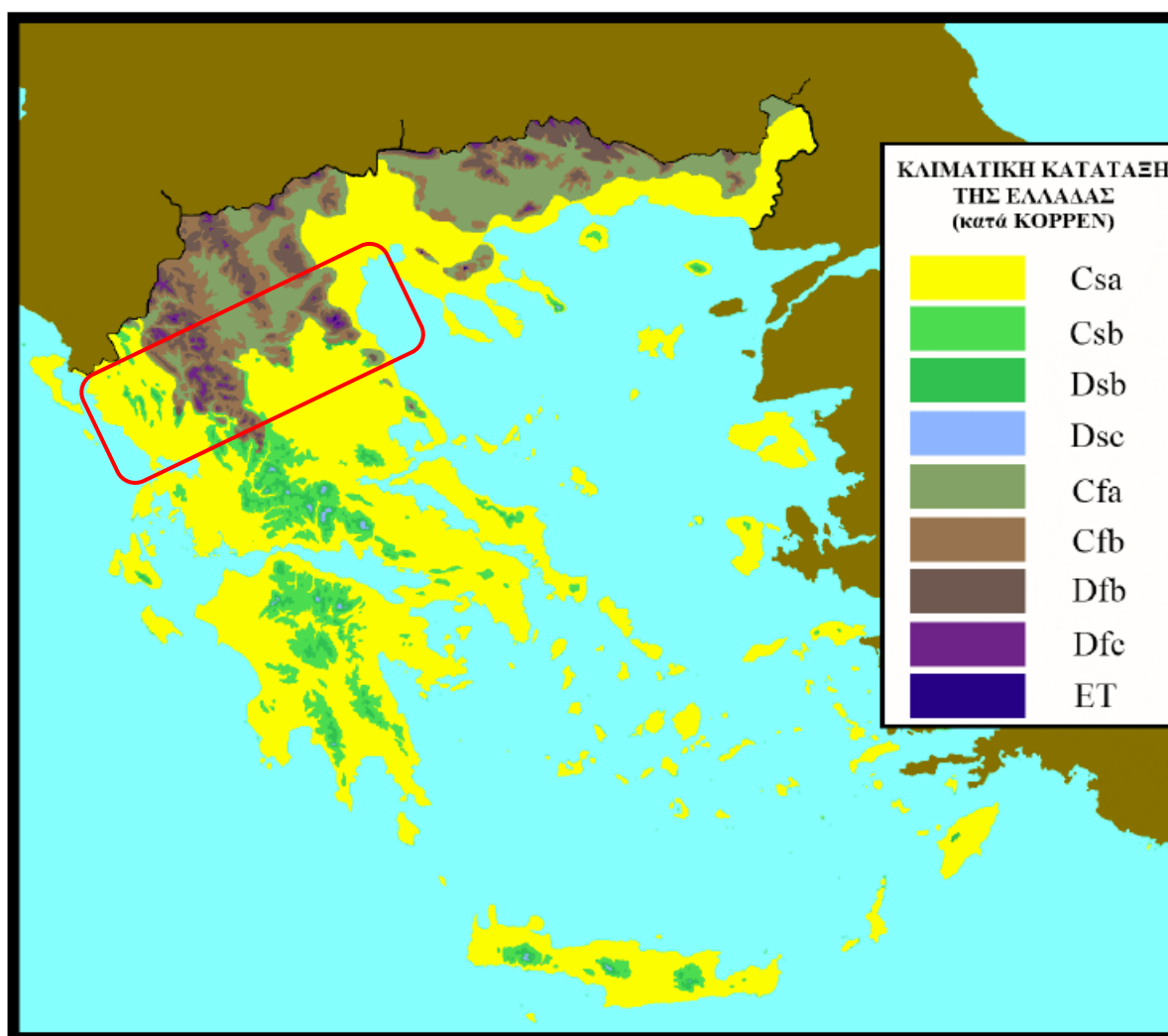
3.3.2. Εγνατία Οδός – Τμήμα Δυτικής & Κεντρικής Μακεδονίας

Στην Δυτική Μακεδονία, η Εγνατία Οδός εκτείνεται από την Παναγιά μέχρι τον Πολύμυλο και έχει συνολικό μήκος 110 km περίπου. Το τμήμα της Εγνατίας


Οδού Κεντρικής Μακεδονίας που περιλαμβάνεται στην παρούσα εργασία εκτείνεται από τον Πολύμυλο μέχρι το Κλειδί και έχει συνολικό μήκος 69 km. Στην Μακεδονία, το γεωανάγλυφο είναι σημαντικά πιο ομαλό σε σχέση με την Ηπειρο και χωρίς ιδιαίτερες κατασκευαστικές δυσκολίες (www.egnatia.eu).

3.4. Κλιματικά Χαρακτηριστικά

Το κλίμα της περιοχής μελέτης είναι ένα μωσαϊκό που ακολουθεί την εναλλαγή του ανάγλυφου. Ποικίλει από μεσογειακό έως και υποαρκτικό, σύμφωνα με την κλιματική κατάταξη Κόρπεν, η οποία είναι μία από τις επικρατέστερες κλιματικές ταξινομήσεις.



Εικόνα 10: Χάρτης κλιματικής κατάταξης Ελλάδας κατά Köppen (www.meteoclub.gr).

 : Περιοχή μελέτης

Πιο συγκεκριμένα, στις παραθαλάσσιες περιοχές της περιοχής ενδιαφέροντος το κλίμα είναι θαλάσσιο ή χερσαίο μεσογειακό με ξηρό και θερμό θέρος (Csa και Csb αντίστοιχα).

Πιο ηπειρωτικά, το κλίμα κατατάσσεται στο υγρό υποτροπικό θερμού θέρους (Cfa) και θαλάσσιο υγρό με θερμό θέρος (Cfb), με αυξημένες βροχοπτώσεις και υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Στις ορεινές περιοχές το κλίμα χαρακτηρίζεται από δριμείς χειμώνες και ποικίλει από υγρό ηπειρωτικό με μακρύ θερμό θέρος (Dfb) έως υγρό υποαρκτικό με βραχύ θερμό θέρος (Dfc) (Μπαλτάς, 2006).

Στην περιοχική μελέτη υπάρχουν 11 μετεωρολογικοί σταθμοί της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Με βάση τα κλιματικά δεδομένα των σταθμών από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία που αφορούν στην περίοδο ετών από 1955 έως και 1997 μελετήθηκε η διακύμανση των βασικών κλιματικών χαρακτηριστικών της περιοχικής μελέτης (Ε.Μ.Υ., 1999). Αναλυτικά, τα μετεωρολογικά δεδομένα παρατίθενται στο Παράρτημα ΙΙ.

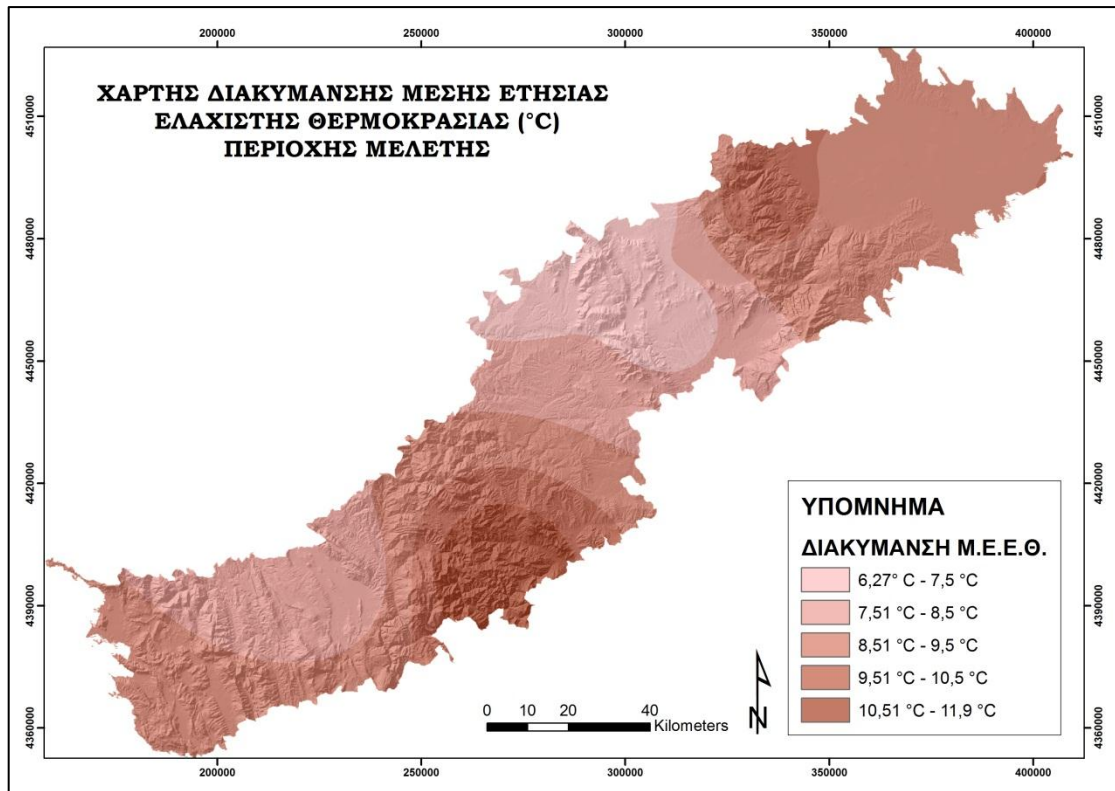
Για να αναλυθεί η διακύμανση των κλιματικών παραγόντων στην περιοχική μελέτη, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των αλγόριθμων παρεμβολής στο GIS. Επιλέχθηκε η μέθοδος Inverse and Distance Weighted (IDW) και δημιουργήθηκαν οι χάρτες διακύμανσης των κλιματικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

3.4.1. Διακύμανση Θερμοκρασίας Αέρα

Σύμφωνα με την κατανομή των μέσων τιμών της θερμοκρασίας αέρα κατά τον Ιανουάριο για την Ελλάδα, η ψυχρότερη περιοχική βρίσκεται στα γεωγραφικά διαμερίσματα της δυτικής Μακεδονίας και Ηπείρου. Επίσης, ψυχρές νησίδες παρατηρούνται κατά μήκος του κεντρικού κορμού της χώρας (Χρονοπούλου-Σερέλη & Φλόκας, 2010).

Η μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχική της Ηπείρου κυμαίνεται από 10° C στα ορεινά τμήμα έως 18° C στα παράλια, ενώ στη δυτική και κεντρική Μακεδονία μεταξύ 14,5° C και 17° C. Οι πιο ψυχροί μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος (Κουτσογιάννης, 2008).

Σύμφωνα με δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών που βρίσκονται στην περιοχική μελέτη, η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 12,5 °C (σταθμός Καστοριάς) έως 22,4 °C (σταθμός Άρτας-πόλη) με μέση τιμή τους 15,2 °C. Η μέση ετήσια ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας κυμαίνεται από 5,9 °C έως 11,9 °C , ενώ η μέση μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου τετραμήνου (Νοέμβριος μέχρι και Φεβρουάριος) κυμαίνεται από -0,2 °C έως 6,2 °C. Υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στην κατανομή της θερμοκρασίας στην περιοχική μελέτη.



Εικόνα 11: Χάρτης διακύμανσης μέσης ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας (°C) στην περιοχή μελέτης (πηγή δεδομένων: Ε.Μ.Υ.).

Στον παραπάνω χάρτη παρατηρούμε ότι η διακύμανση της θερμοκρασίας έχει σε σημαντικό βαθμό αντιστοιχία με το ανάγλυφο της περιοχής. Οι κατώτερες τιμές παρατηρούνται στα πιο ορεινά και με έντονο ανάγλυφο τμήματα της περιοχής.

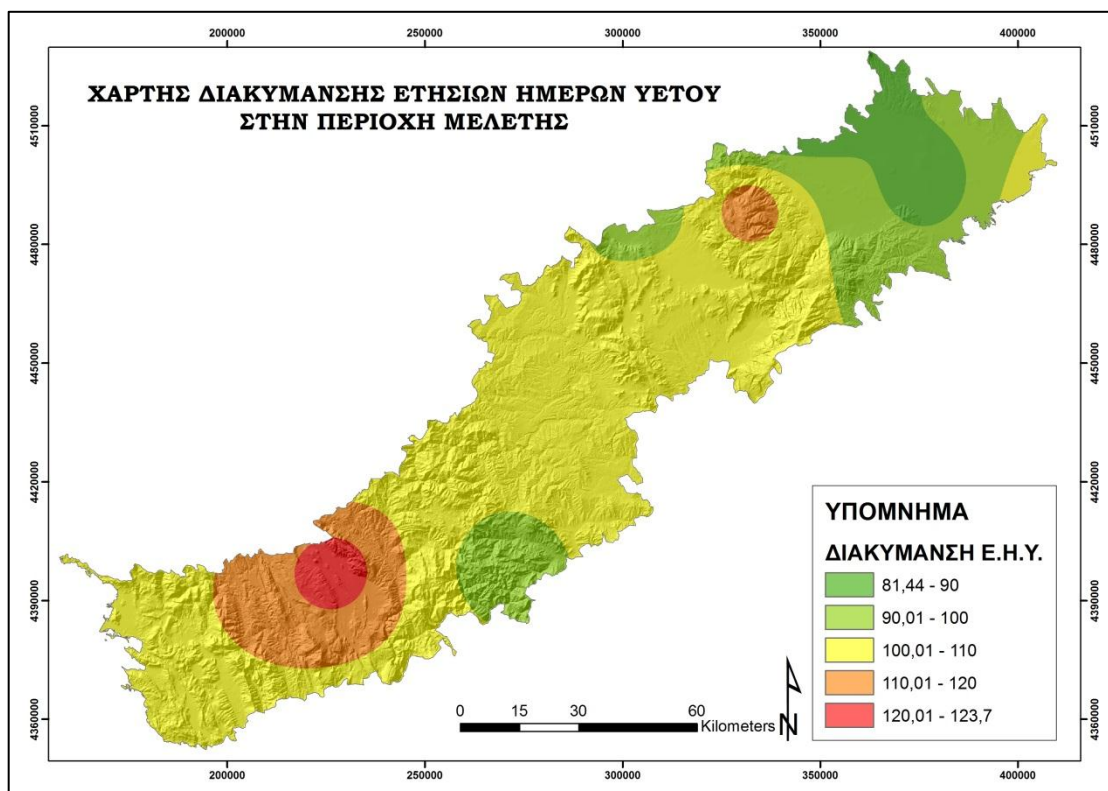
3.4.2. Διακύμανση Βροχόπτωσης

Στην Ελλάδα η γεωγραφική κατανομή της ετήσιας βροχόπτωσης δείχνει ότι τα μεγαλύτερα ετήσια ύψη βροχόπτωσης παρατηρούνται στις ορεινές και τις δυτικές περιοχές. Στην ορεινή περιοχή Ηπείρου και Θεσσαλίας σημειώνονται τα μεγαλύτερα μέσα ετήσια ύψη βροχόπτωσης. Η οροσειρά της ελληνικής χερσονήσου εκτείνεται κάθετα σχεδόν προς την προς ανατολάς κίνηση των κυκλωνικών συστημάτων και διαιρεί τη χώρα αφενός στα προσήνεμα, πολύομβρα δυτικά διαμερίσματα και αφετέρου στα υπήνεμα και ομβροσκιερά ανατολικά.

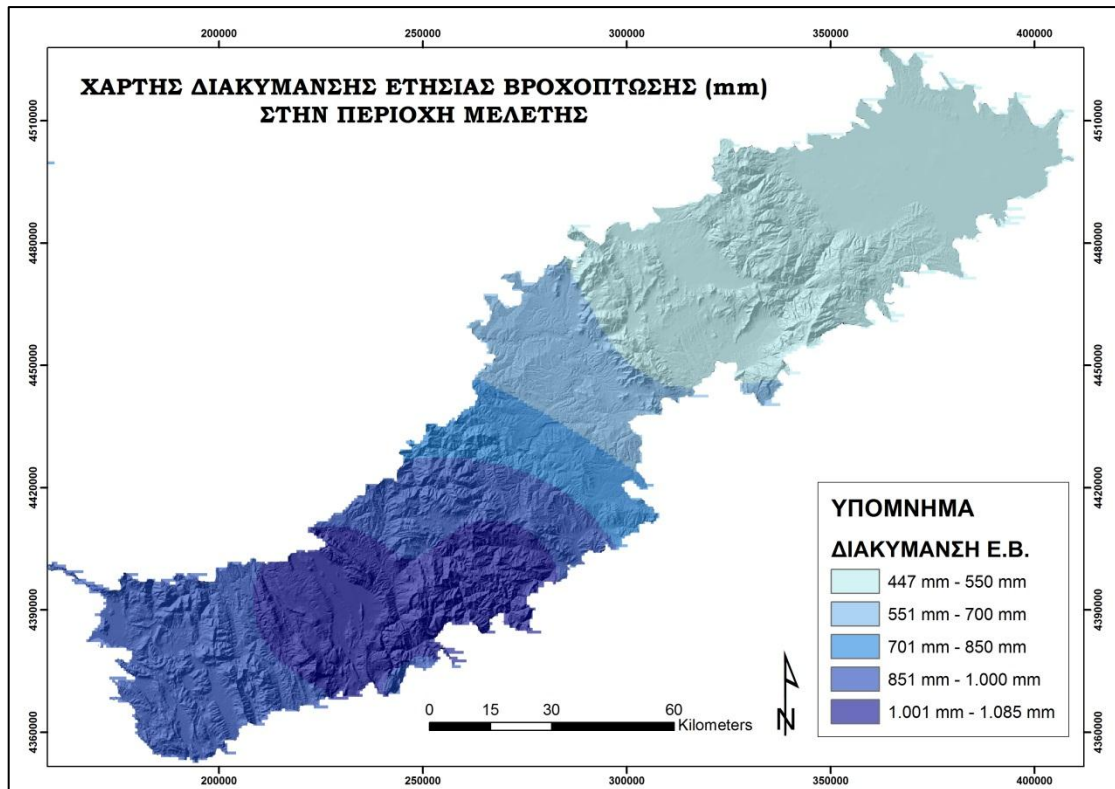
Τα μεγαλύτερα μέσα ετήσια ύψη βροχής σημειώνονται στην ορεινή περιοχή της Ηπείρου, που πολλές φορές ξεπερνούν τα 2.200mm. Στη θεσσαλική πεδιάδα παρατηρείται σχετική ξηρότητα που αποδίδεται στην «ομβροσκιά» της Πίνδου (Χρονοπούλου - Σερέλη & Φλόκας, 2010).

Πιο αναλυτικά, στο τμήμα της περιοχής μελέτης που περιλαμβάνεται στην Ήπειρο, η βροχοπτώση είναι πιο αυξημένη και κυμαίνεται από 1.000 mm μέχρι 1.200 mm στα παράλια και φτάνει μέχρι και τα 2.000 mm στα ορεινά. Ο αριθμός ημερών βροχής του έτους κυμαίνεται μεταξύ 70 και 120, με την μεγαλύτερη συχνότητα να παρατηρείται στα παράκτια. Στο τμήμα της Δυτικής Μακεδονίας η βροχοπτώση είναι αρκετά αυξημένη σε σχέση με τη μέση βροχοπτώση στην ελληνική επικράτεια και κυμαίνεται μεταξύ 600 mm και 1.000 mm, ενώ στα ορεινά ξεπερνάει τα 1.200 mm. Στην περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 400 mm μέχρι 800 mm και μόνο στα ορεινά ξεπερνάει τα 1.000 mm (Κουτσογιάννης, 2008).

Η διακύμανση της βροχοπτώσης όπως και των ετήσιων ημερών υετού για την περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στους ακόλουθους χάρτες. Σύμφωνα με τα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών της περιοχής, η ετήσια βροχοπτώση κυμαίνεται από 448 mm στον σταθμό που βρίσκεται στην περιοχή Μίκρας Θεσσαλονίκης και 1.081 mm στον σταθμό των Ιωαννίνων. Ο συνολικός αριθμός ημερών υετού στην περιοχή κυμαίνεται από 59,8 ημέρες στον σταθμό της Έδεσσας και 123,7 ημέρες στον σταθμό των Ιωαννίνων.



Εικόνα 12: Χάρτης διακύμανσης συνολικών ημερών βροχοπτώσης ανά έτος στην περιοχή μελέτης (πηγή δεδομένων: Ε.Μ.Υ.).

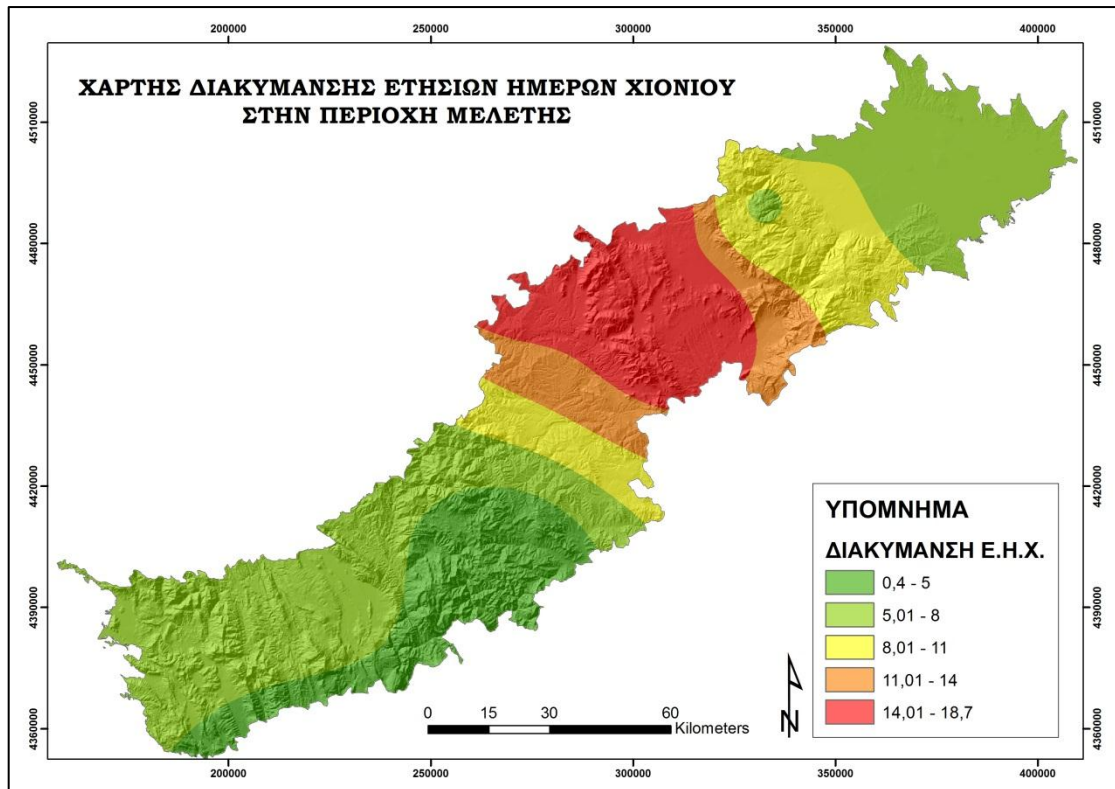


Εικόνα 13: Χάρτης διακύμανσης ετήσιας βροχόπτωσης (mm) στην περιοχή μελέτης (πηγή δεδομένων: Ε.Μ.Υ.).

3.4.3. Διακύμανση Χιονόπτωσης

Στην Ελλάδα, οι κυριότεροι χιονοφόροι άνεμοι είναι ΒΑ διεύθυνσης, ενώ μεγαλύτερες τιμές του μέσου ετήσιου αριθμού ημερών χιονιού έχουν καταγραφεί στη δυτική Μακεδονία και πιο συγκεκριμένα στη Φλώρινα (25,2 ημέρες) στην Κοζάνη (17,8 ημέρες) και στην Πτολεμαΐδα (17,3 ημέρες). Όσον αφορά το παρατηρούμενο ύψος στρώματος χιονιού, στις πεδινές περιοχές σπάνια ξεπερνά τα 20 cm, ενώ σε ορεινές περιοχές, με υψόμετρο πάνω από 2.000 m, το μέσο πάχος χιονιού είναι 30-100 cm.

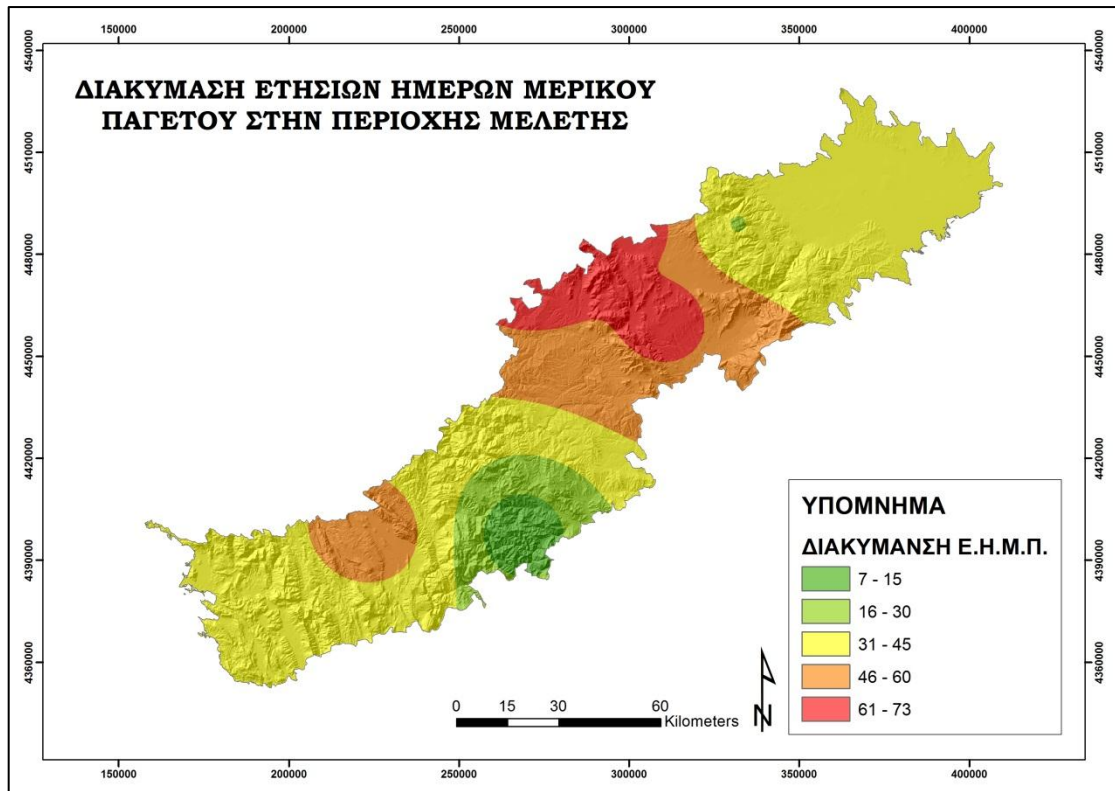
Στην περιοχή μελέτης, με βάση τα μετεωρολογικά στοιχεία των σταθμών της ΕΜΥ, ο αριθμός ημερών χιονιού κυμαίνεται από 0,3 στον σταθμό της Άρτας-Χαλκιάδες και 19,6 στον σταθμό της Καστοριάς, ο οποίος είναι και ο πιο ορεινός. Αντίστοιχα κυμαίνονται και οι ημέρες χιονοσκεπούς εδάφους από 0,1 έως 14,5 ημέρες ανά έτος.



Εικόνα 14: Χάρτης διακύμανσης συνολικών ημερών χιονιού ανά έτος στην περιοχή μελέτης (πηγή δεδομένων: Ε.Μ.Υ.).

3.4.4. Διακύμανση Συχνότητας Μερικού Παγετού

Η συχνότητα εμφάνισης μερικού παγετού κυμαίνεται, σύμφωνα με τα στοιχεία των μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή ενδιαφέροντος από 7 έως 73 ημέρες. Μεγαλύτερος αριθμός ημερών μερικού παγετού έχει καταγραφεί στους μετεωρολογικούς σταθμούς της Καστοριάς (78 ημέρες) και Πτολεμαΐδας (65 ημέρες). Όπως παρουσιάζεται στον χάρτη που ακολουθεί, μεγαλύτερη συχνότητα μερικού παγετού παρατηρείται σε μία περιοχή κεντρικά στην περιοχή μελέτης. Επίσης παρατηρείται μία περιοχή νοτιότερα με σχετικά αυξημένη συχνότητα μερικού παγετού.

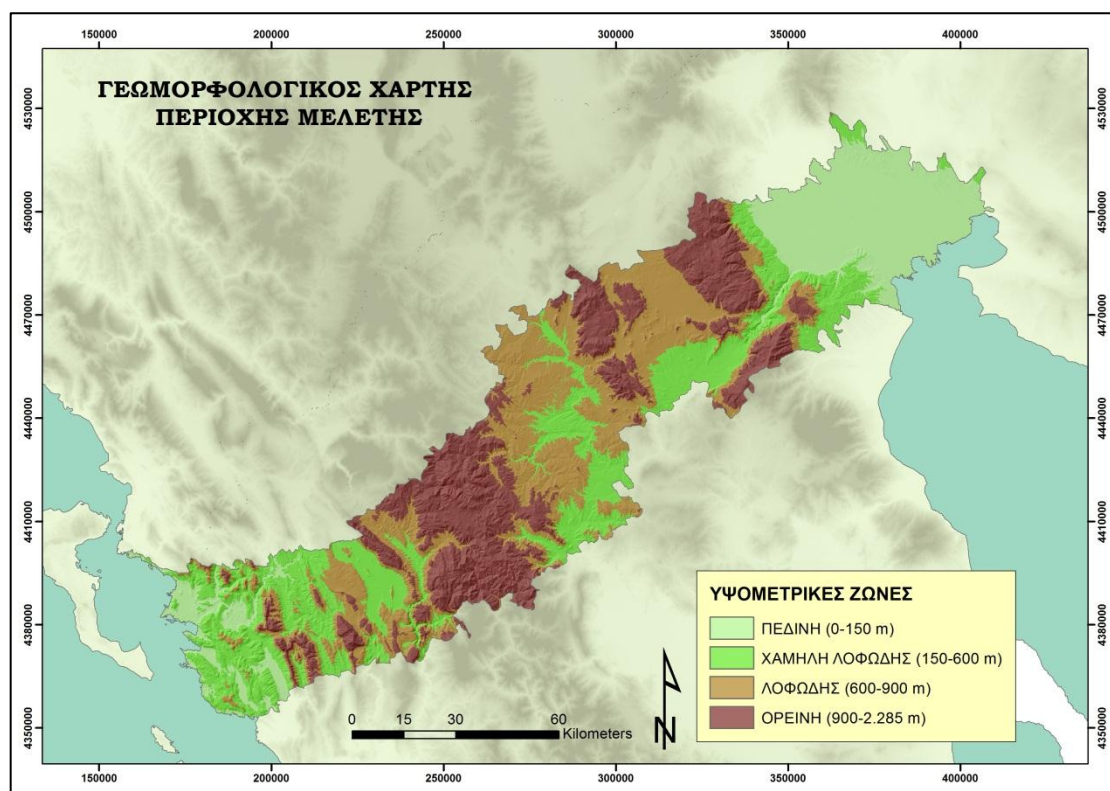


Εικόνα 15: Χάρτης διακύμανσης ετήσιων ημερών μερικού παγετού στην περιοχή μελέτης (πηγή δεδομένων: Ε.Μ.Υ.).

3.5. Γεωμορφολογία

Η συνολική έκταση της περιοχής μελέτης ανέρχεται σε 11.752 km² και η συνολική της περίμετρος στα 1.336 km. Χαρακτηρίζεται από πολυσύνθετο ετερογενές ανάγλυφο με εναλλαγές από ομαλές πεδινές και απόκρημνες ορεινές περιοχές.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της μορφολογίας της περιοχής μελέτης είναι οι μετρίως απότομες κλιτύες που φτάνουν στο απόλυτο υψόμετρο των 2.285 m, οι μέτριας έκτασης πεδινές περιοχές και η επίπεδη αλλουβιακή πεδιάδα στο βορειοανατολικό τμήμα.



Εικόνα 16: Γεωμορφολογικός Χάρτης Περιοχής Μελέτης.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση ανάγλυφου κατά Dikau (1989), η έκταση της περιοχής μελέτης κατανέμεται σε τέσσερις γεωμορφολογικές ενότητες ή τύπους ανάγλυφου, όπως αναλύεται στον παρακάτω πίνακα. Η περιοχή μελέτης μπορεί να χαρακτηριστεί ως λοφώδης, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής (29,23%) εντάσσεται στη συγκεκριμένη κατηγορία.

Πίνακας 4: Ταξινόμηση ανάγλυφου της περιοχής μελέτης σύμφωνα με το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας.

ΤΥΠΟΣ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ	ΕΚΤΑΣΗ (Km²)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%) ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ
Πεδινή περιοχή (Υψόμετρο 0 - 150 m)	1.867	15,89 %
Περιοχή χαμηλών λόφων (Υψόμετρο 150-600 m)	3.224	27,43 %
Περιοχή υψηλών λόφων (Υψόμετρο 600-900 m)	3.435	29,23 %
Ορεινή περιοχή (Υψόμετρο > 900 m)	3.226	27,45 %

Η περιοχή μελέτης διασχίζει τρεις διοικητικές περιφέρειες: της Ηπείρου, της Δυτικής και της Κεντρικής Μακεδονίας. Το τμήμα που ανήκει στην περιφέρεια της Ηπείρου περιλαμβάνει τις δυτικές παραθαλάσσιες, πεδινές περιοχές ενώ πιο ηπειρωτικά το ανάγλυφο γίνεται πιο έντονο με μεγάλες κλίσεις πρηνών και βαθιές χαράδρες. Το τμήμα της Δυτικής Μακεδονίας χαρακτηρίζεται από τα μεγαλύτερα υψόμετρα της περιοχής, καθώς περιλαμβάνει βουνά με ύψος μεγαλύτερο των 2.000 m. Δύο ορεινοί όγκοι διασχίζουν την περιοχή με διεύθυνση βορρά - νότο και την διαχωρίζουν σε μεγάλες πεδινές εκτάσεις. Στα δυτικά του διαμερίσματος διακρίνονται οι πεδινές εκτάσεις της Καστοριάς και των Γρεβενών, στο κέντρο της Πτολεμαΐδας και στα ανατολικά οι πεδιάδες της Έδεσσας, Νάουσας, Βέροιας και Πιερίας. Στην περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας περιλαμβάνονται μεγάλες πεδιάδες και περιφερειακά μόνο χαμηλά βουνά.

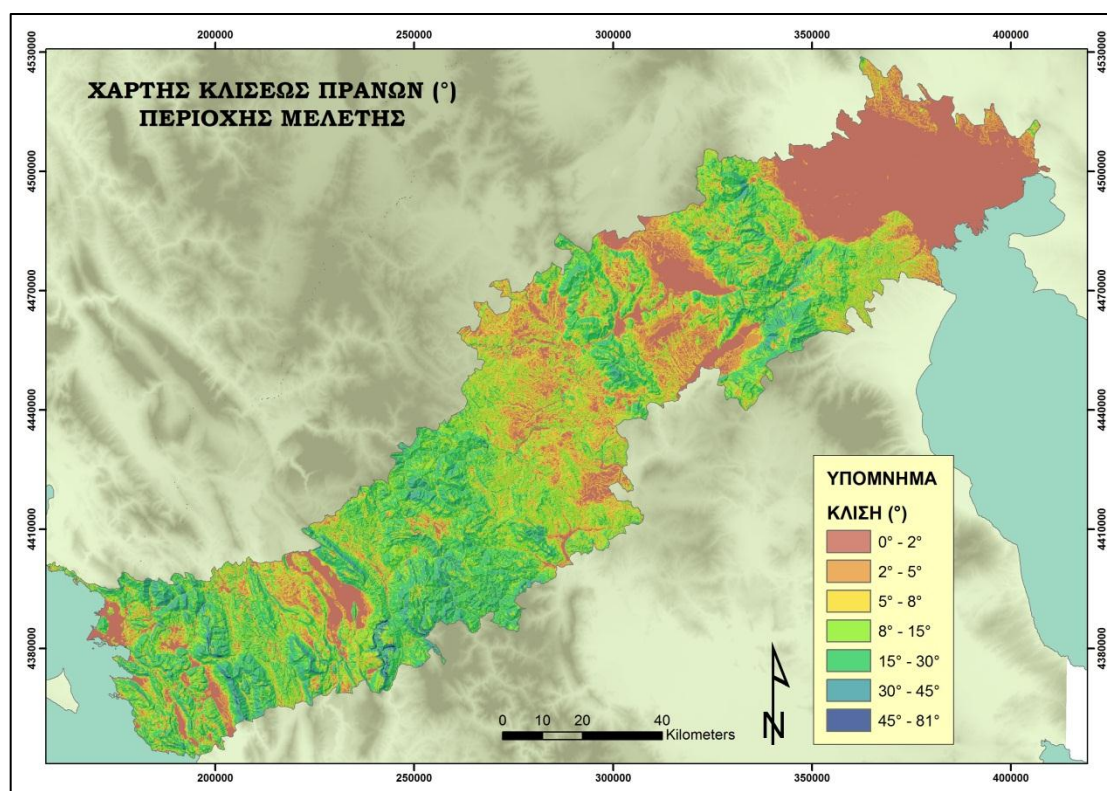
Για τον προσδιορισμό των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών του ανάγλυφου δημιουργήθηκαν οι χάρτες κλίσεων και προσανατολισμού των πρηνών της περιοχής ενδιαφέροντος.

Τα πρηνή ταξινομήθηκαν ανάλογα με την κλίση τους σε 7 κατηγορίες και η έκταση που καλύπτει η κάθε κλάση παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα. Κυρίαρχες κατηγορίες αποτελούν οι μέτρια απότομες και μέτριες κλίσεις με ποσοστό 28,29 και 27,28% αντίστοιχα (βλ. Πιν. 5).

Ο προσανατολισμός των πρηνών στην περιοχή ενδιαφέροντος είναι κυρίως βορειοανατολικός (14,36%) και ανατολικός (13,79%) αν και υπάρχουν περιοχές όπως στο κεντρικό-ανατολικό τμήμα της περιοχής όπου υπεριοχύνουν τα νοτιοδυτικά πρηνή (βλ. Πιν. 6).

Πίνακας 5: Έκταση και ποσοστό των κλάσεων ταξινόμησης των κλίσεων των πρανών.

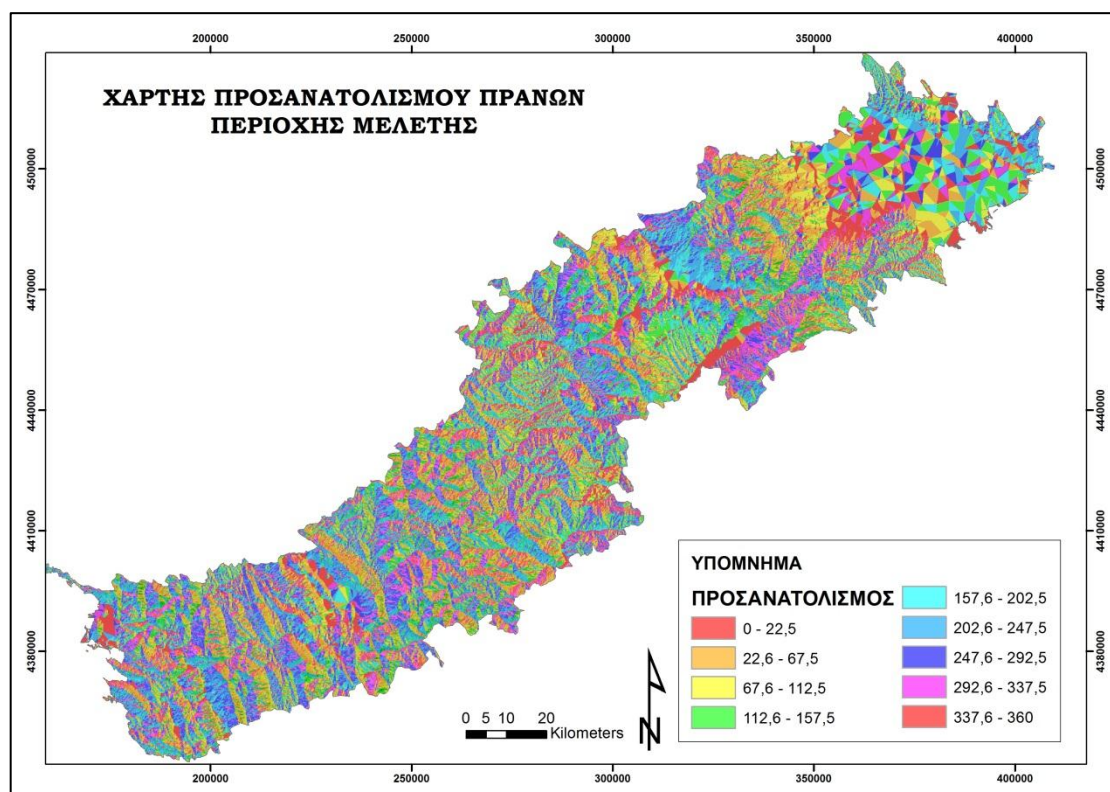
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΛΙΣΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km²)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%) ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ
Επίπεδη (0-2°)	1.440	12,25 %
Πολύ ήπια κλίση (2-5°)	1.578	13,43 %
Ήπια κλίση (5-8°)	1.766	15,03 %
Μέτρια κλίση (8-15°)	3.206	27,28 %
Μέτρια απότομη κλίση (15-30°)	3.325	28,29 %
Απότομη κλίση (30-45°)	428	3,64 %
Πολύ απότομη κλίση (45-81°)	9	0,09%



Εικόνα 17 : Χάρτης κλίσεως (°) πρανών της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 6: Έκταση και ποσοστό των κλάσεων προσανατολισμού των πρανών.

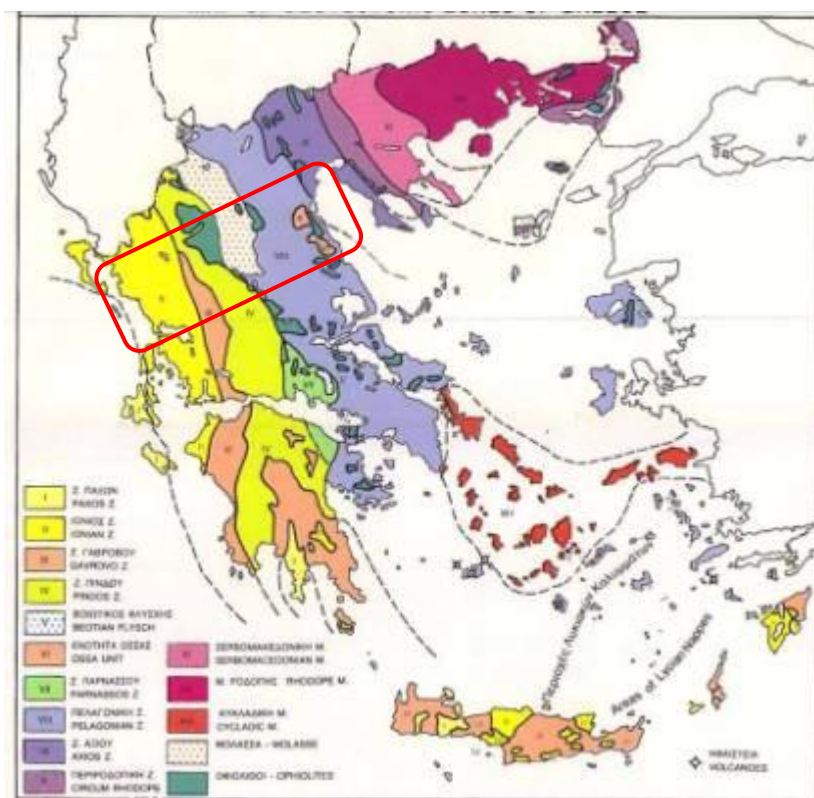
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΕΚΤΑΣΗ (Km²)	ΠΟΣΟΣΤΟ % ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ
Βόρειος	1.229	10,46 %
Βορειοανατολικός	1.688	14,36 %
Ανατολικός	1.621	13,79 %
Νοτιοανατολικός	1.480	12,59 %
Νότιος	1.443	12,28 %
Νοτιοδυτικός	1.639	13,95 %
Δυτικός	1.387	11,80 %
Βορειοδυτικός	1.265	10,76 %



Εικόνα 18 : Χάρτης προσανατολισμού πρανών της περιοχής μελέτης

3.6. Γεωλογία

Η γεωτεκτονική δομή της περιοχής μελέτης είναι ιδιαίτερα πολυσύνθετη. Από δύση προς ανατολή συναντώνται οι γεωλογικές ενότητες της Ιονίου, της Πίνδου, της Ανατολικής Ελλάδος- Υποπελαγονική Κυκλαδική, της Αλμωπίας, της Καστοριάς, του Φλάμπουρου, του Πάικου, της Παιωνίας και η Περι-ροδοπική (Παπανικολάου, 1986).



Εικόνα 19: Χάρτης γεωλογικών ζωνών Ελλάδας (Μουνιράκης, 1985).

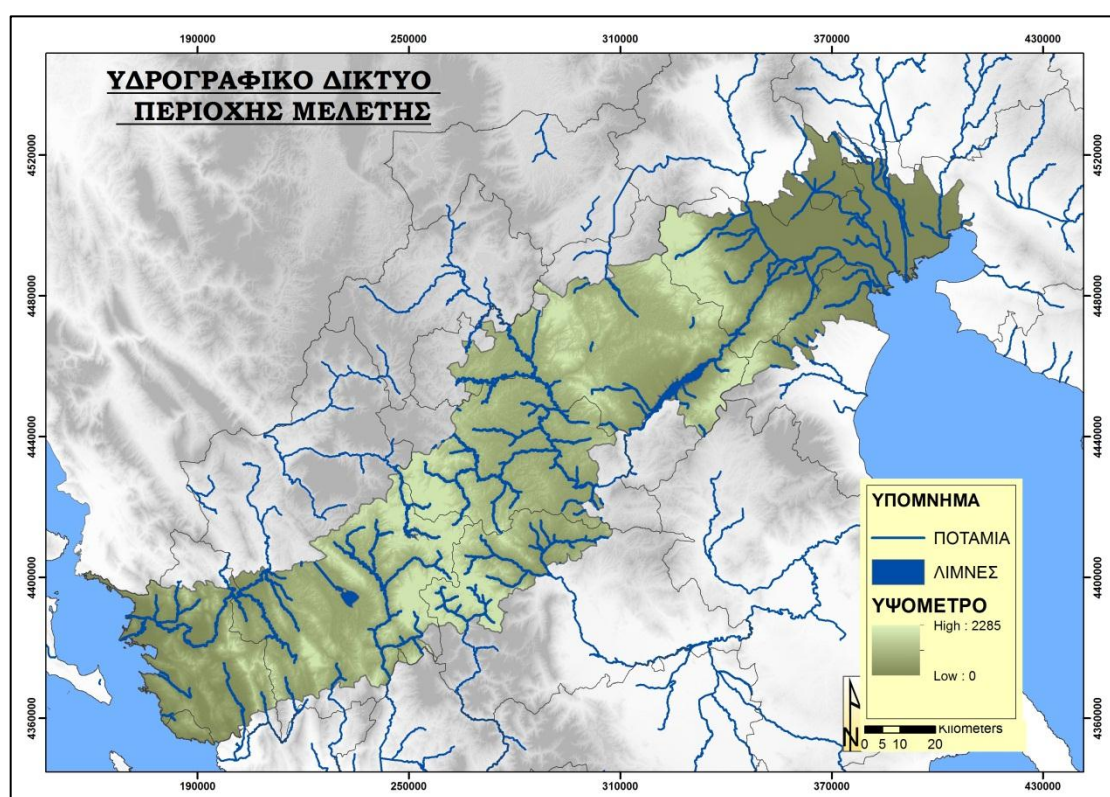
□ : Περιοχή μελέτης

Από λιθολογική άποψη η περιοχή μελέτης δομείται από μεσοζωικά ανθρακικά πετρώματα, γνεύσιους, φυλλίτες, σχιστόλιθους, οφιόλιθους, φλύσχη, γρανίτες και γρανοδιορίτες, μολασσικά κλαστικά ιζήματα της μεσοελληνικής αύλακας, νεογενείς σχηματισμούς. Στην ευρύτερη περιοχή συναντώνται νεογενή ιζήματα και προσχώσεις καθώς και παράκτιες αποθέσεις στις περιοχές των μεγάλων ποταμών και λιμνών. Στις χαμηλότερες τοπογραφικά περιοχές συναντώνται πλειστοκαινικές και αλλουβιακές αποθέσεις (Κουτσογιάννης, 2008).

3.7. Υδρογραφικό Δίκτυο

Η περιοχική μελέτη χαρακτηρίζεται από πυκνό υδρογραφικό δίκτυο σε όλη της την επιφάνεια και περιλαμβάνει μεγάλο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης των ποταμών Καλαμά, Άραχθου και Αλιάκμονα και την λίμνη Παμβώτιδας και την τεχνητή λίμνη Πολυφύτου. Στο βορειοανατολικό τμήμα παρατηρείται ιδιαίτερα αυξημένη πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου αφού εκβάλλουν τέσσερις ποταμοί.

Πιο συγκεκριμένα, από Δύση προς Ανατολή, την περιοχική ενδιαφέροντος διασχίζουν οι ποταμοί Καλαμάς, Αχέροντας, Λούρος, Άραχθος, Αχελώος, Αώος, Ίων, Αλιάκμονας, Λουδιάς, Αξιός και Γαλλικός.



Εικόνα 20: Χάρτης υδρογραφικού δικτύου περιοχής μελέτης.

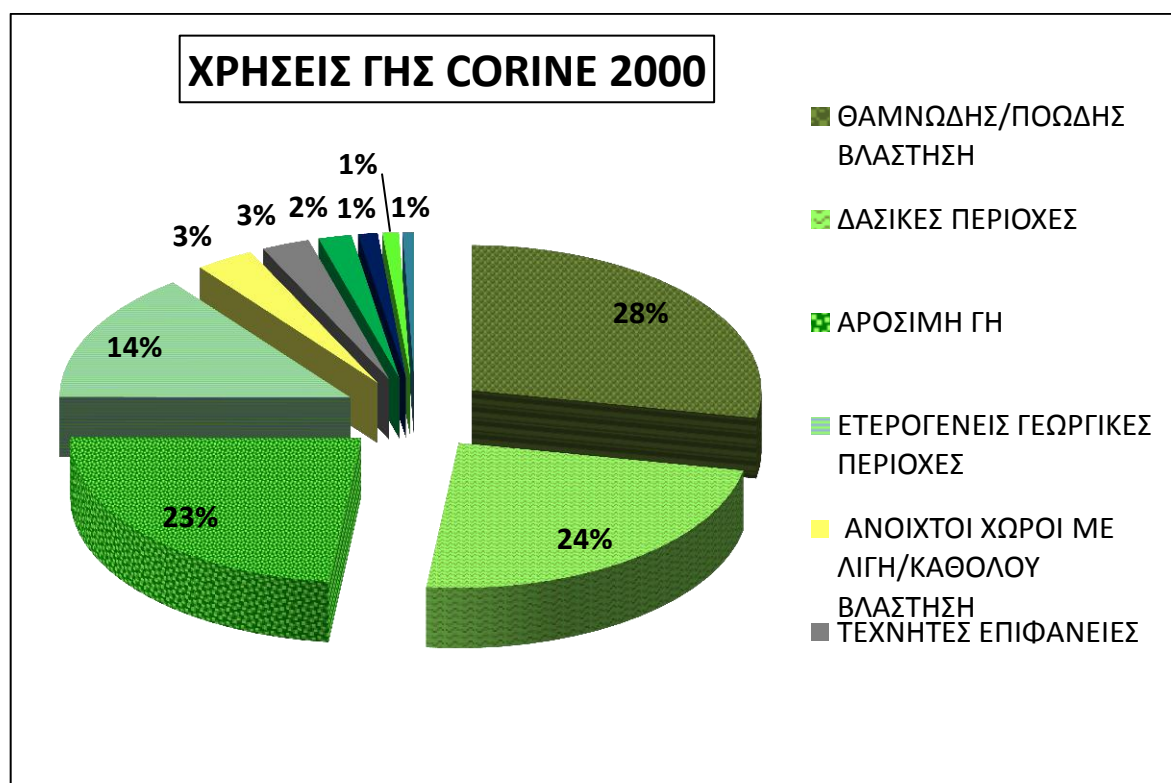
3.8. Χρήσεις – Κάλυψη Γης

Στην περιοχική της Ηπείρου, ο γεωργικός τομέας αποτελεί τη σημαντικότερη οικονομική δραστηριότητα, η οποία έχει και δυνατότητες ανάπτυξης στο μέλλον, φτάνει να υπάρξει ορθολογική διαχείριση του υδατικού δυναμικού της περιοχής. Στην Μακεδονία, ο πρωτογενής γεωργικός και κτηνοτροφικός τομέας έχει αναπτυχθεί σημαντικά και αποτελεί την σημαντικότερη δραστηριότητα καθώς το 46,9% του πληθυσμού της δυτικής Μακεδονίας είναι αγροτικός. Η ενεργειακή αξιοποίηση κοιτασμάτων λιγνίτη, τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια του

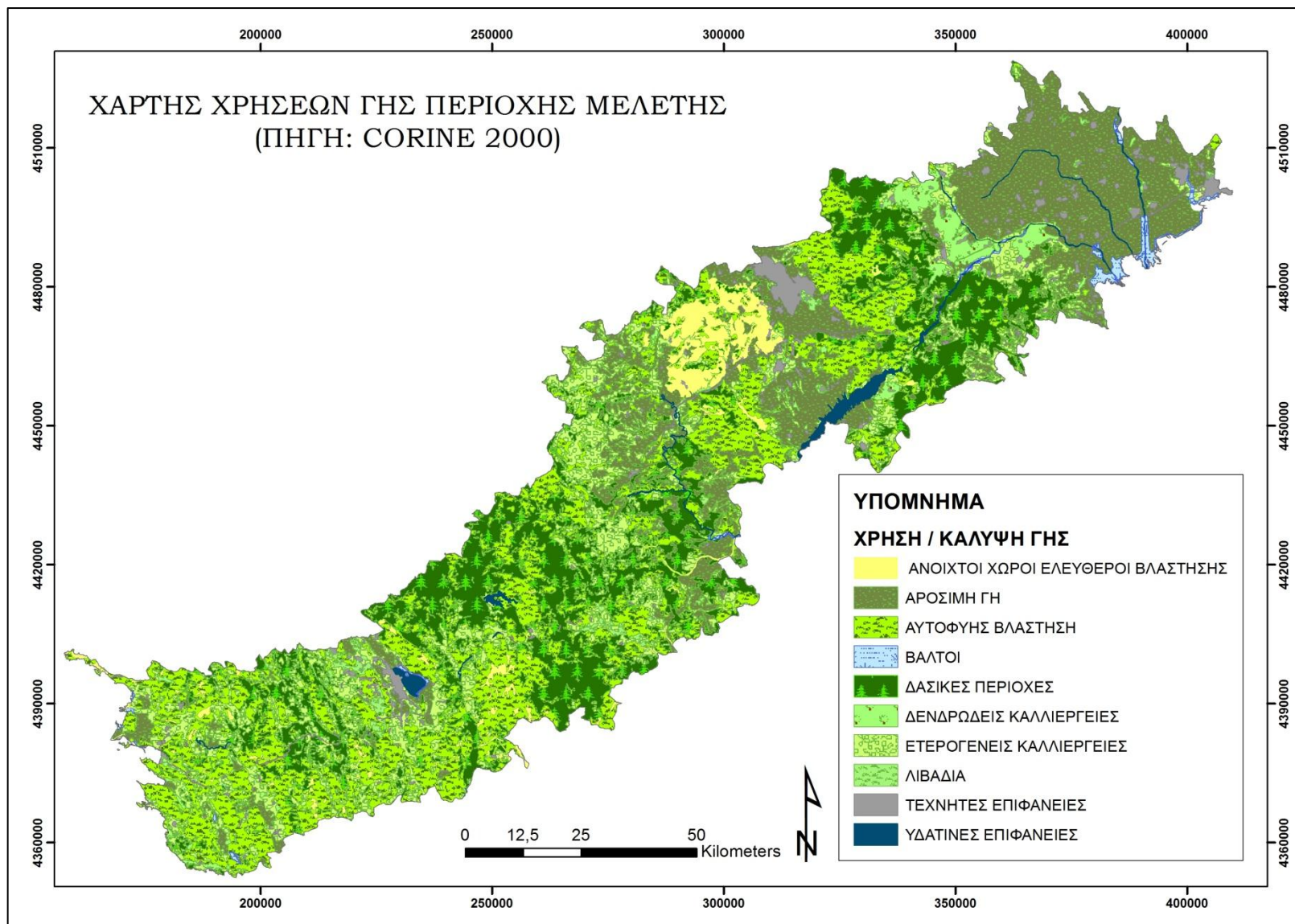
Αλιάκμονα αποτελούν επίσης σημαντικές δραστηριότητες, ενώ παρατηρείται και ανάπτυξη στον τουρισμό ιδίως στις ακτές της Πιερίας (Κουτσογιάννης, 2008).

Μελετώντας την κατανομή της χρήσεως και κάλυψης γης στην περιοχική μελέτη από δεδομένα Corine, παρατηρούμε τα παρακάτω:

- Η αυτοφυής βλάστηση στην περιοχική μελέτη είναι είτε δασική, είτε θαμνώδης και καταλαμβάνει πάνω από την μισή έκταση της περιοχικής μελέτης.
- Η γεωργία αποτελεί σημαντική ενασχόληση για την περιοχική, αφού το 40% της επιφάνειας αξιοποιείται σαν γεωργική γη, είτε με την μορφή αρόσιμης, είτε σαν γεωργική καλλιέργεια δενδρώδης, ετήσια ή σύνθετη.
- Ο αστικός ιστός, οι βιομηχανικές και εμπορικές περιοχές, τα δίκτυα μεταφορών και οι λοιπές μορφές τεχνητών επιφανειών αποτελούν μόνο το 3% της περιοχικής.



Εικόνα 21: Κατανομή χρήσης/ κάλυψης γης της περιοχικής μελέτης με δεδομένα Corine 2000.



Εικόνα 22: Χάρτης Χρήσεων Γης για την Περιοχή Μελέτης (πηγή δεδομένων Corine 2000).

3.9. Βλάστηση

Η σύσταση της βλάστησης μίας περιοχής είναι αποτέλεσμα της συνεπιδράσεως διαφόρων παραγόντων, όπως είναι το κλίμα, η γεωμορφολογία και η ανθρώπινη επίδραση. Η ποικιλομορφία των κλιματικών και γεωμορφολογικών συνθηκών στην περιοχή ενδιαφέροντος αντανakλούνται και στην φυτοκοινωνία της. Η βλάστηση της περιοχής κατατάσσεται σε 6 διαφορετικές βλαστητικές ζώνες, οι οποίες περιγράφονται ακολούθως.

- Ζώνη *Quercion ilicis* (Κεντρομεσογειακή)

Πρόκειται για την κεντρο-μεσογειακή ζώνη και απαντάται σε περιοχές με αρκετά υγρό κλίμα, με βροχόπτωση που κυμαίνεται μεταξύ 600 -1000 mm και μέση ετήσια θερμοκρασία 13-16 °C. Αποτελείται κυρίως από αείφυλλους και σκληρόφυλλους θάμνους με μορφή μακίας βλάστησης. Χαρακτηριστικά φυτικά είδη είναι το *Quercus ilex*, αλλά και συναφή είδη όπως τα *Q. Coccifera*, *Phillyrea latifolia* και *Arbutus unedo*.

- Υποζώνη *Ostryo Carpinion aegaeicum*

Είναι υποζώνη της παραμεσογειακής ζώνης και είναι χαρακτηριστική περιοχών με κλίμα ηπειρωτικό με δριμύτερο χειμώνα, θερμοκρασίες συχνά κάτω των 0 °C και περισσότερες βροχοπτώσεις. Σημαντική σε αυτή τη ζώνη είναι η παρουσία της *Quercus coccifera*.

- Υποζώνη *Quercetum petraeae* (Υπο-ορεινή)

Αποτελεί αυξητικό χώρο της ζώνης *Ostryo Carpinion aegaeicum* και έχει αντίστοιχα χαρακτηριστικά.

- Υποζώνη *Abieti- Fagetum moesiacum* (Ορεινή)

Είναι υποζώνη της ορεινής- υποαλπικής ζώνης των δασών Ελάτης και παραμεσόγειων Κωνοφόρων. Έχει τα χαρακτηριστικά της ψυχρής, υγρόφιλης, μεσευρωπαϊκής βλάστησης. Απαντάται σε περιοχές με κλίμα ορεινό μεσογειακό, με δριμύ χειμώνα, χιονοπτώσεις με μεγάλη διάρκεια, δροσερό θέρος και κανονική κατανομή βροχοπτώσεων στη διάρκεια του έτους.

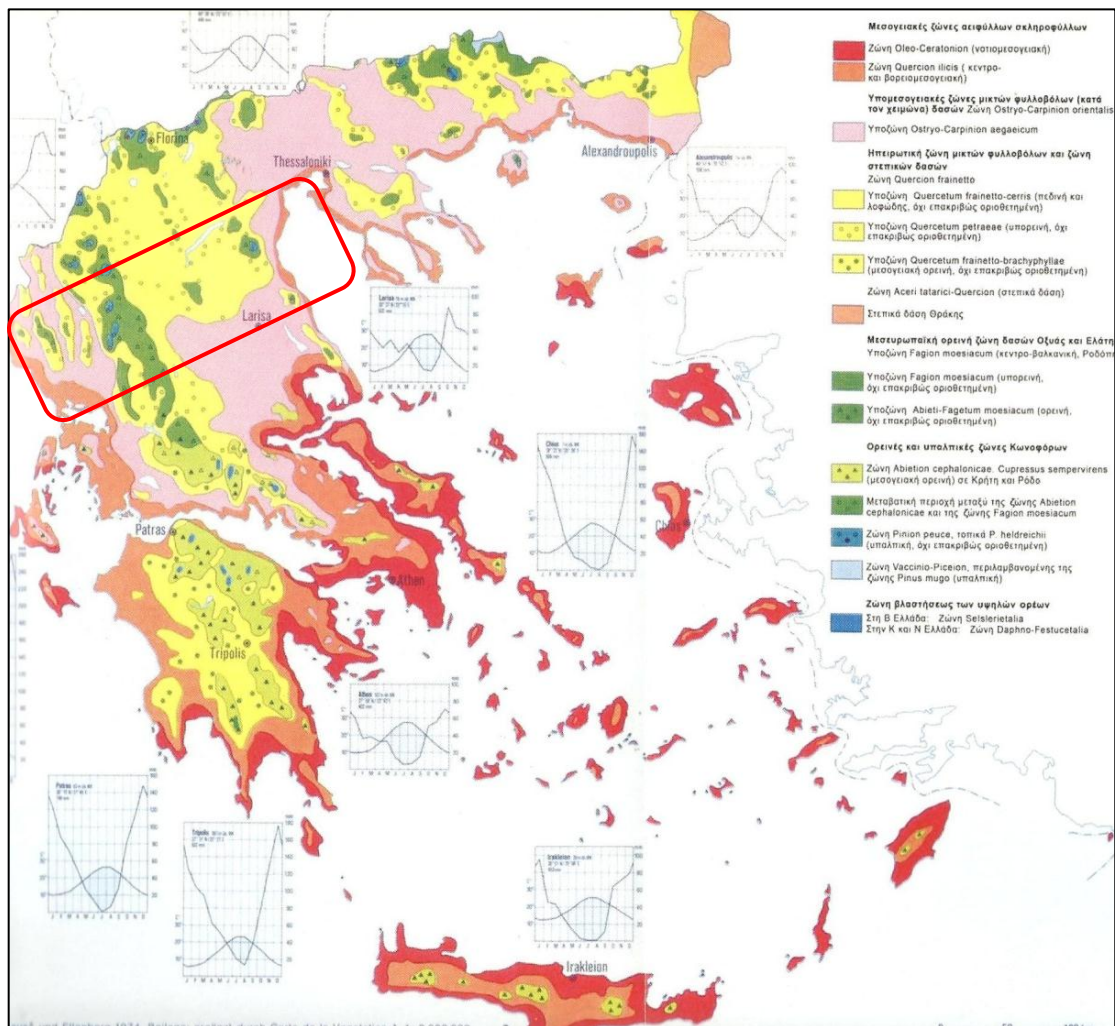
- Ζώνη *Pinion peuce – heldreichii* (Υποαλπική)

Αποτελεί τη ζώνη των ψυχρόβιων Κωνοφόρων και απαντάται μόνο στα υψηλότερα όρη της Βόρειας Ελλάδας. Σε αυτή τη ζώνη επικρατεί κλίμα καθαρώς ηπειρωτικό με δριμύ χειμώνα, μεγάλη διάρκεια χιονοκάλυψης, κανονική κατανομή βροχοπτώσεων και έλλειψη ξηρής περιόδου.

- Ζώνη *Vaccinio Piceion* (Υποαλπική)

Κυρίαρχο είδος της δασικής αυτής ζώνης είναι η *Pinus heldreichii* που απαντάται στα δολομιτικά - ασβεστολιθικά και οφειολιθικά ορεινή εδάφη της Πίνδου.

Η υποαλπική αυτή ζώνη αποτελεί μέρος της ζώνης των ψυχρόβιων Κωνοφόρων, όπως και η προηγούμενη. Εμφανίζεται κυρίως σε πυριτικά πετρώματα και κυρίαρχα είδη της δασικής βλαστήσεως αυτής της ζώνης είναι τα είδη *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* και *Pinus peuce* (Φοίτος & Καμάρη, 2009).



Εικόνα 23: Οι ζώνες βλάστησης της Ελλάδας (Φοίτος & Καμάρη, 2009).

: Περιοχή μελέτης

3.10. Καλλιέργειες

Η γεωργία αποτελεί σημαντικό τομέα απασχόλησης στην περιοχική ενδιαφέροντος. Τα κύρια καλλιεργούμενα είδη περιγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί. Η μεγαλύτερη έκταση γεωργικής γης βρίσκεται στον νομό Θεσσαλονίκης, όπου κυριαρχούν οι αροτράιες καλλιέργειες. Οι δενδρώδεις καλλιέργειες έχουν σημαντικότερη έκταση στους νομούς Ημαθίας και Πέλλας.

Πίνακας 7: Εκτάσεις καλλιεργειών και αγρανάπαυσης στους νομούς που περιλαμβάνονται στην περιοχής μελέτης, για το έτος 2006 (πηγή Ε.Σ.Υ., 2006).

Νομός	Συνολ. έκταση καλλιεργειών & αγρανάπαυσης	Συν. έκταση αροτραίων & κηπευτικών καλλιεργειών	Έκταση αροτραίων καλλιεργ.	Έκταση κηπευτικής γης	Έκταση αμπελώνων	Έκταση δενδρώδων καλλιεργειών	Έκταση αγρανάπαυσης
Άρτας	338.814	137.123	126.902	10.221	513	142.298	58.880
Θεσπρωτίας	175.122	79.167	76.234	2.933	157	89.983	5.815
Ιωαννίνων	319.887	235.036	228.955	6.081	6.484	4.456	73.911
Πρέβεζας	322.699	150.162	139.069	11.093	687	126.410	44.440
Τρικάλων	595.103	497.296	475.814	21.482	7.468	37.899	52.440
Γρεβενών	465.856	331.844	329.520	2.324	3.000	17.696	113.316
Ημαθίας	676.666	381.586	356.818	24.768	8.258	247.462	39.360
Θεσσαλονίκης	1.527.840	1.339.050	1.292.750	46.300	15.742	143.493	28.850
Κοζάνης	959.656	826.361	820.173	6.188	12.522	27.649	93.124
Πέλλας	920.872	573.873	526.265	47.608	8.336	317.914	20.749
Πιερίας	565.098	422.836	405.949	16.887	2.218	68.277	71.767

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1. Εισαγωγή

Για την καρτογράφηση του κινδύνου παγετού και πάγου στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία της υπέρθεσης παραμετρικών χαρτών με τον συνδυασμό επιλεγμένων παραγόντων στους οποίους αποδίδονται κατάλληλοι συντελεστές βαρύτητας. Είναι από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μέσα παραγωγής σύνθετων χαρτών μέσω των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (Malczewski, 2000).

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη επιλέχθηκαν σύμφωνα με τα συμπεράσματα προηγούμενων μελετών, που έχουν αναφερθεί αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2.5. Η επιλογή των κατάλληλων βαρών βασίστηκε σε μελέτες πάνω στην επίδραση του κάθε παράγοντα στο φαινόμενο του παγετού και πάγου. Επίσης, λήφθηκαν υπόψη οι ιδιαίτερες γεωμορφολογικές συνθήκες και η κατανομή χρήσεων και κάλυψης γης της περιοχής μελέτης. Έτσι, για παράδειγμα ο μεγαλύτερος συντελεστής επιλέχθηκε για τον παράγοντα που επηρεάζει πιο έντονα το αντικείμενο μελέτης, ο οποίος είναι το υψόμετρο.

Ο τελικός χάρτης επιδεκτικότητας στον κίνδυνο από επικράτηση παγετού και σχηματισμού πάγου προέκυψε αθροίζοντας τα επαναταξινομημένα πλεγματικά αρχεία (raster) που αντιστοιχούν στους επιλεγμένους παράγοντες κινδύνου, τα οποία έχουν πολλαπλασιαστεί με τους επιλεγέντες συντελεστές βαρύτητας τους.

Δοκιμάστηκαν διαφορετικοί συνδυασμοί παραγόντων, με διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας και διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις στον κάθε παράγοντα. Τα αποτελέσματα κάθε φορά συγκρίθηκαν με τον αντίστοιχο Χάρτη Συχνότητας Παγετού, ο οποίος προέκυψε από την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων θερμοκρασίας εδάφους για 160 ημέρες 4 επιλεγμένων ετών. Με τις ανάλογες προσαρμογές επιλέχθηκαν οι βέλτιστοι συνδυασμοί, οι οποίοι και παρουσιάζονται ακολούθως αναλυτικά.

Ανάλογα με τον συνδυασμό παραγόντων που χρησιμοποιήθηκε, δημιουργήθηκαν δύο εκδοχές του μοντέλου παγετού και πάγου, μία στατική που περιλαμβάνει παράγοντες σταθερούς ως προς το χρόνο και μία δυναμική εκδοχή με παράγοντες που εμφανίζουν σημαντική διαφοροποίηση τιμών ως προς το χρόνο.

Το μοντέλο παγετού και πάγου εφαρμόστηκε στην Εγνατία Οδό και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τον Χάρτη Συχνότητας Παγετού που έχει δημιουργηθεί από δορυφορικά δεδομένα. Επίσης έγινε αντιπαράθεση με τα αποτελέσματα μίας μελέτης υπέρυθρης θερμογραφίας που έχει γίνει σε ένα

μέρος της Εγνατίας Οδού καθώς και με καταγεγραμμένα συμβάντα παγετού και πάγου, τα οποία έχουν δημοσιευθεί σε άρθρα εφημερίδων.

Τέλος το μοντέλο κινδύνου εφαρμόστηκε στις γεωργικές καλλιέργειες της περιοχής μελέτης στην στατική και δυναμική μορφή του. Τα αποτελέσματα του στατικού μοντέλου συγκρίθηκαν ποιοτικά με τις καταγραφές ζημιών σε γεωργικές καλλιέργειες για την περιοχή μελέτης από τον Ελληνικό Οργανισμό Γεωργικών Ασφαλίσεων, για την δεκαετία 1999-2010. Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα του δυναμικού μοντέλου συγκρίθηκαν με τις καταγραφές ζημιών για το διάστημα εφαρμογής του δυναμικού μοντέλου.

Ακολούθως παρουσιάζεται συνοπτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

ΕΥΡΕΣΗ & ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ:

- ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ
- ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
 - ΕΛ.Γ.Α.
 - CORINE
- ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦ.
ΔΟΡΥΦΟΡ. ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ &
ΑΡΧΕΙΟΥ CORINE:

- προβολή & αποκοπή
- επαναταξινόμηση

ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΑΤΙΚΟΥ
& ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
ΠΑΓΕΤΟΥ-ΠΑΓΟΥ

ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ
ΖΗΜΙΩΝ
ΠΑΓΕΤΟΥ ΑΠΟ
ΕΛ.Γ.Α.

Στατιστ. επεξερ-
γασία & προβολή
σε χάρτη.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (LST)

- Περιοχές 0°C
- Περιοχές με πληροφορ.
θερμοκρασίας

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΗ
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΠΑΓΕΤΟΥ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΑΡΤΗ
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΠΑΓΕΤΟΥ MODIS

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ
ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΕΛ.Γ.Α.

Εικόνα 24: Διάγραμμα ροής εργασίας.

4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΣΥΛΛΟΓΗ

4.2.1. Γενική Περιγραφή

Στην εργασία αυτή έχει γίνει συνδυασμός δύο κυρίως διαφορετικών κατηγοριών δεδομένων, γεωχωρικά με πλεγματική (raster) ή διανυσματική (vector) μορφή και στατιστικά με μορφή πινάκων. Στην πρώτη ανήκουν όλα τα στοιχεία με χωρική πληροφορία, συμπεριλαμβανομένων και των δορυφορικών δεδομένων. Στη δεύτερη ανήκουν τα δεδομένα καταγραφής ζημιών από τον ΕΛ.Γ.Α.

4.2.2. Ψηφιακά δεδομένα

- *Τοπογραφικά Δεδομένα Γ.Υ.Σ.*

Για τη μορφολογική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) που δημιουργήθηκε από τα τοπογραφικά φύλλα 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) με ισοδιάσταση ισοϋψών καμπυλών 20 m.

- *Υδρογραφικό δίκτυο*

Μέσω του διαδικτυακού τόπου www.geodata.gov.gr αποκτήθηκαν τα ψηφιακά αρχεία που αφορούν στα ποτάμια, στις λίμνες και στην ακτογραμμή της Ελλάδας.

- *Οδικό Δίκτυο - Εγνατία Οδός*

Το διανυσματικό αρχείο του βασικού οδικού άξονα της περιοχής μελέτης που είναι η Εγνατία Οδός, παραχωρήθηκε από την εταιρία Εγνατία Οδός Α.Ε.

- *Χρήσεις - Κάλυψη Γης Corine*

Το διανυσματικό αρχείο που αφορά στη χρήση και κάλυψη γης προέρχεται από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Corine, το οποίο αποτελεί μία βάση δεδομένων καταγραφής χρήσεων και καλύψεων γης μέσω της επεξεργασίας δεδομένων τηλεπισκόπησης.

Τα δεδομένα Corine που έχουν χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία είναι η έκδοση 1 του Corine 2000 με χωρική ακρίβεια 100x100 m και έχουν αποκτηθεί από τον διαδικτυακό τόπο www.geodata.gov.gr.

4.2.3. Δορυφορικά δεδομένα MODIS

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα από τον δορυφορικό δέκτη MODIS. Αποκτήθηκαν μέσω του διαδικτυακού τόπου EOSDIS της NASA (www.reverb.echo.nasa.gov) που δίνει τη δυνατότητα άμεσης και ελεύθερης λήψης δορυφορικών δεδομένων.

Ο δορυφορικός δέκτης MODIS διαγράφει καθημερινά μια τροχιά επάνω στους δύο δορυφόρους, Terra και Aqua, και σαρώνει συνολικά περιοχή πλάτους 2330 km παρέχοντας έτσι σχεδόν ολοκληρωμένη παγκόσμια κάλυψη σε μία έως δύο ημέρες (<http://modis.gsfc.nasa.gov>).

Ο δέκτης MODIS είναι το αποτέλεσμα σχεδιασμού μίας 19μελούς επιτροπής επιστημόνων της NASA που συγκροτήθηκε με στόχο την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών σε δορυφορικά δεδομένα, το 1984. Το βασικό όργανο που προέκυψε από το επιστημονικό πρόγραμμα, το Moderate Resolution Imaging Spectrometer ή MODIS εκτοξεύτηκε το 1999 και προσαρμόστηκε στο δορυφόρο Terra, ενώ μέσω των συνεχών ερευνών παράχθηκε και ένα δεύτερο όργανο το οποίο εκτοξεύτηκε και εφαρμόστηκε στον δορυφόρο Aqua το 2002. Οι δύο δορυφόροι έχουν συμπληρωματικές τροχιές (Salomonson et al, 2005). Παρέχουν πληροφορίες για την περιοχή μελέτης γύρω στις 9.30 το πρωί και το βράδυ ο Terra και στις 2.30 το μεσημέρι και τη νύχτα ο Aqua.

Τα βασικά πλεονεκτήματα του MODIS είναι τα 36 υψηλής ανάλυσης φασματικά κανάλια και η υψηλή ραδιομετρική ανάλυση των 12bit. Τα κανάλια καλύπτουν μήκος κύματος μεταξύ 0,415 και 14,235 μm και η χωρική τους ανάλυση κυμαίνεται από 250 m έως 1000 m. Η ακτινοβολία που μετρείται από τον MODIS σε υψηλή φασματική ανάλυση παρέχει βελτιωμένες και πολύτιμες πληροφορίες για τη φυσική δομή της ατμόσφαιρας και την επιφάνεια της γης (Barnes et al, 1998).

Τα προϊόντα MODIS είναι σε Ιεραρχική Δομή Δεδομένων HDF-EOS (Hierarchical Data Format – Earth Observing System) και σε ημιτονοειδές προβολικό σύστημα (Sinusiodial). Τα δεδομένα MODIS είναι διαθέσιμα σε 3 διαφορετικά επίπεδα επεξεργασίας. Το Επίπεδο L1B περιλαμβάνει δεδομένα που είναι διαθέσιμα σε μορφή ζωνών (swath) και έχουν στοιχεία γεωαναφοράς σε κέντρα εικονοστοιχείων ανάλυσης 1 km. Το επίπεδο L2 αποτελείται από δεδομένα με προσανατολισμό γεωγραφικού πλάτους και μήκος, τα οποία δεν είναι επεξεργασμένα χρονικά ή χωρικά (<https://lpdaac.usgs.gov>).

Στην παρούσα εργασία, επελέγησαν προϊόντα επιπέδου L3 τα οποία είναι γεωφυσικά προϊόντα που έχουν δεχθεί επεξεργασία χρονική και / ή χωρική και αναφέρονται σαν πλακίδια (tiles). Κάθε πλακίδιο είναι τμήμα μίας προβολής χάρτη μεγέθους 1.113 km επί 1.113 km σε 1.200 σειρές και 1.200 στήλες που καλύπτει όλη την επιφάνεια της γης. Η περιοχή ενδιαφέροντος περιλαμβάνεται στα πλακίδια με οριζόντια αρίθμηση Νο 19 και κάθετη Νο 4 και 5.

Τα δεδομένα MODIS που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν στις κατηγορίες:

- *Δεδομένα Επιφανειακής Θερμοκρασίας (MOD11A)*

Τα προϊόντα MOD11A1 είναι σε μορφή πλακιδίου (tile) με καθημερινή πληροφoρία θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους και χωρική ανάλυση 1km.

Η επιφανειακή θερμοκρασία (LST) που καταγράφεται είναι η ενεργή κινητική θερμοκρασία της επιφανείας της γης. Υπολογίζεται με βάση την αντανάκλαση της επιφανείας της γης στη συχνότητα του θερμικού υπέρυθρου (10-13 μm). Αποτελεί μία σημαντική κλιματολογική μεταβλητή, η οποία συμβάλει στο μέγεθος και την κατανομή των ροών ενέργειας στην επιφάνεια της γης. Χρησιμοποιείται σε πληθώρα περιβαλλοντικών εφαρμογών, στην ποσοτικοποίηση ροών θερμότητας και υγρασίας, στην παρακολούθηση συνθηκών ξηρασίας και υγείας καλλιιεργειών, στον υπολογισμό της εδαφικής υγρασίας, κλπ.

Υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον generalized split – window αλγόριθμο:

$$T_s = C + \left(A_1 + A_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + A_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_{31} + T_{32}}{2} + \left(B_1 + B_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + B_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_{31} - T_{32}}{2}$$

(Εξίσωση 1)

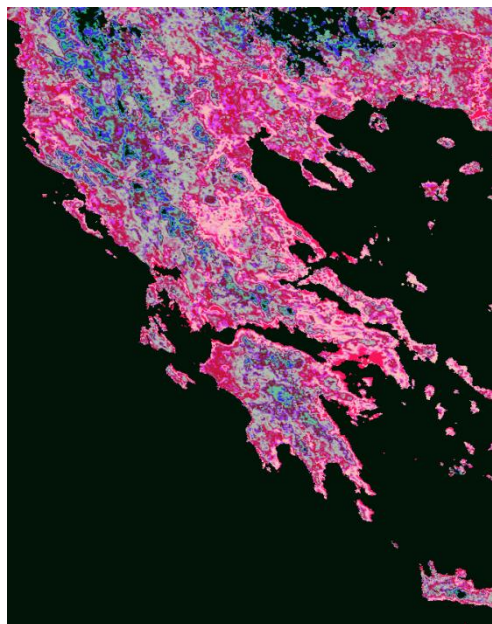
Οι T31 και T32 είναι η θερμοκρασίες λαμπρότητας για τα φασματικά κανάλια 31 και 32 του MODIS αντίστοιχα. Οι μεταβλητές A1, A2, A3, B1, B2, B3 και C είναι διαθέσιμες σε ειδικούς πίνακες αναφοράς και καθορίζονται μέσα από ανάλυση παλινδρόμησης προσομοιώσεων μεταφοράς ακτινοβολίας για ένα μεγάλο εύρος επιφανειών και ατμοσφαιρικών συνθηκών. Ο υπολογισμός του συντελεστή εκπομπής ακτινοβολίας μίας επιφάνειας είναι απαραίτητος για να υπολογιστεί η θερμοκρασία επιφανείας. Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση της κάλυψης γης από το αντίστοιχο προϊόν του MODIS, υπολογίζεται η εκπομπή ακτινοβολίας στα κανάλια 31 και 32 για κάθε κατηγορία κάλυψης γης.

Η τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας εκτιμώνται μόνο για εικονοστοιχεία χωρίς νεφοκάλυψη, τα οποία αναγνωρίζονται εφαρμόζοντας μία μάσκα νεφών με ακρίβεια 99% σε επιφάνειες ξηράς και 66% σε εσωτερικά υδάτινα σώματα. Εικονοστοιχεία με υψηλή νεφοκάλυψη δεν έχουν τιμή.

Η ακρίβεια υπολογισμού της θερμοκρασίας επιφανείας είναι της τάξης του 1°K σε ξηρά και 0,3°K σε ωκεανούς, με χωρική ανάλυση 1Km κάτω από συνθήκες καθαρού ουρανού.

Σε κάθε εικόνα του τύπου MOD11A1 υπάρχουν 12 επίπεδα πληροφορίας, τα οποία περιλαμβάνουν εκτός των άλλων καταγραφή επιφανειακής θερμοκρασίας

ημέρας και νύχτας καθώς και ώρα καταγραφής θερμοκρασίας ημέρας και νύχτας (www.icesc.ucsb.edu).



Εικόνα 25: Δείγμα δορυφορικής εικόνας MOD11A1.

Για την παρούσα εργασία επιλέχθηκαν δεδομένα του δορυφορικού δέκτη Aqua, λόγω του ότι η ώρα διέλευσης του από την ευρύτερη περιοχή μελέτης είναι γύρω στις 1:30 τη νύχτα, οπότε η καταγραφή νυχτερινής θερμοκρασίας είναι πιο κοντά στην ελάχιστη θερμοκρασία 24ώρου.

Για τη δημιουργία χρονοσειράς δεδομένων ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας, με στόχο τον υπολογισμό και την απεικόνιση σε χάρτη της κατανομής της συχνότητας παγετού, επελέγησαν τα χρονικά διαστήματα από 1 Δεκεμβρίου ως και 10 Μαΐου των ετών 2004, 2006, 2009 και 2010. Κριτήριο για την επιλογή αποτέλεσε η συχνότητα καταγραφής

συμβάντων παγετού από τον ΕΛ.Γ.Α. για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα. Εξετάζοντας τα έτη 2000-2010, παρατηρήθηκε ότι το 2004 καταγράφηκε ο μέγιστος αριθμός συμβάντων παγετού, το 2010 ο ελάχιστος και τα έτη 2006 και 2009 ήταν πολύ κοντά στον ετήσιο μέσο όρο. Όποτε με την επεξεργασία στοιχείων για τα 4 αυτά έτη επιτεύχθηκε η πιο αντιπροσωπευτική καταγραφή συχνότητας παγετού για την περιοχή μελέτης (βλ. 4.6.11).

- **Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (MOD15A2)**

Το προϊόν του MODIS MOD15A2 περιλαμβάνει 6 επίπεδα πληροφορίας από τα οποία έχει επιλεγεί ο Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI). Η χωρική ανάλυση των δεδομένων είναι 1km και αποτελούν σύνθετες εικόνες δήμερης χρονικής ανάλυσης.

Ο Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) αποτελεί μία σημαντική δομική ιδιότητα της φυτοκάλυψης και μεταφράζεται σαν δείκτης πυκνότητας της μονόπλευρης φυλλικής επιφάνειας. Πρόκειται για μία βιοφυσική μεταβλητή ενδεικτική για την



Εικόνα 26: Δείγμα δορυφορικής εικόνας MOD15A2.

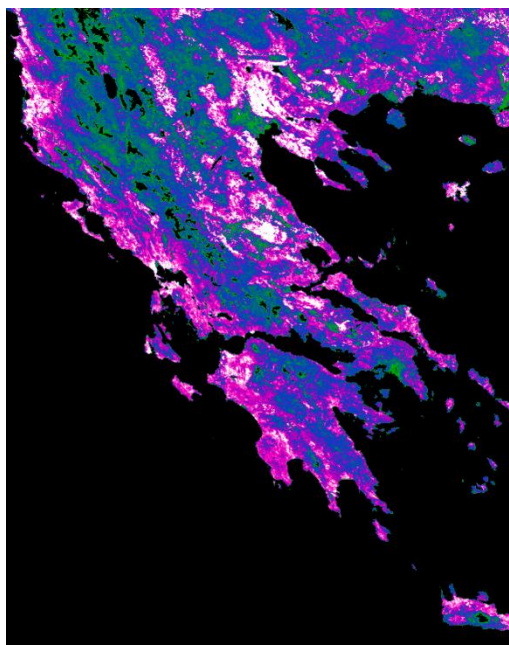
δομή της φυτοκάλυψης μίας περιοχής και συσχετίζεται με τους ρυθμούς λειτουργικών διαδικασιών της βλάστησης και με τις ανταλλαγές ενέργειας και μάζας.

Στην παρούσα εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα MOD15A2 που αφορούν στην χρονική περίοδο από 26 Φεβρουαρίου έως 5 Μαρτίου 2006 (<https://lpdaac.usgs.gov>).

- **Ενισχυμένος Δείκτης Βλάστησης (MOD12A2)**

Οι δείκτες βλάστησης αποτελούν μέτρο για την εκτίμηση της βιομάζας ή της υγείας της βλάστησης. Δημιουργούνται με τον συνδυασμό των ψηφιακών τιμών σε διαφορετικά φασματικά κανάλια στην περιοχή του κόκκινου, του υπέρυθρου και του γαλάζιου. (Καρτάλης & Φείδας, 2013).

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν προϊόντα MOD13A2, τα οποία είναι σύνθετες εικόνες χωρικής ανάλυσης 1 km. Έχουν παραχθεί από δεδομένα 16 ημερών που αφορούν ημερήσιες καταγραφές αμφίδρομης εκπομπής ακτινοβολίας. Τα δεδομένα έχουν δεχθεί χρονική και χωρική επεξεργασία για την απαλλαγή από νέφη και έχει γίνει ατμοσφαιρική διόρθωση.



Κάθε εικόνα περιλαμβάνει 12 επίπεδα πληροφορίας, μεταξύ των οποίων τους δύο πιο βασικούς δείκτες βλάστησης, NDVI και EVI. Ο δεύτερος, ο οποίος έχει επιλεγεί στην παρούσα εργασία, έχει εκτιμηθεί ότι είναι πιο αποτελεσματικός στην ανίχνευση παγόπληκτων φυτοκαλυμμένων περιοχών (Chen & Sun, 2010) και γενικά στις διαφοροποιήσεις στην βλάστηση από αραιή σε πολύ πυκνή. Είναι πιο ανθεκτικός στον θόρυβο από την ατμοσφαιρική επίδραση και την διαδραστική επιρροή του φυτικού υποβάθρου.

Εικόνα 27: Δείγμα δορυφορικής εικόνας MOD13A2.

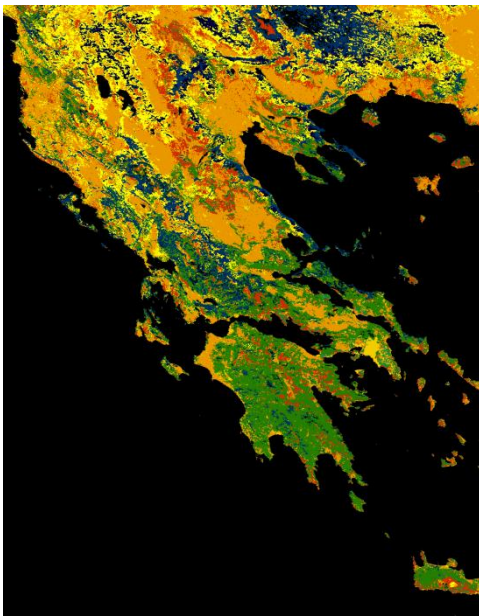
Υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$EVI = 2 \cdot \frac{(\rho_{nir} - \rho_{red})}{(L + \rho_{nir} + C_1 \rho_{red} + C_2 \rho_{blue})} \quad (\text{Εξίσωση 2})$$

Όπου ρ είναι η ατμοσφαιρική ή επιφανειακή ακτινοβολία, L είναι ένας όρος προσαρμογής του φυτικού υποβάθρου, ενώ οι όροι $C1$ και $C2$ είναι οι συντελεστές χρήσης του μπλε καναλιού στην ατμοσφαιρική διόρθωση για το κόκκινο κανάλι (Huete et al, 1996).

Στην παρούσα εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα MOD13A2 που αφορούν στην χρονική περίοδο 26 Φεβρουαρίου έως 13 Μαρτίου 2006 (<http://vip.arizona.edu>).

- **Χρήσεις/Κάλυψη Γης (MOD12Q1)**



Εικόνα 28: Δείγμα δορυφορικής εικόνας MOD12Q1.

Η καταγραφή χρήσεων γης από τον MODIS παρέχεται στο προϊόν MOD12Q1, το οποίο είναι χρονικής ανάλυσης 1 έτους και χωρικής ανάλυσης 500 m. Η ταξινόμηση κάλυψης / χρήσεων γης γίνεται σε 5 επίπεδα ταξινόμησης των δεδομένων, ανάλογα με τον βαθμό ανάλυσης. Το πιο αναλυτικό, το οποίο έχει επιλεγεί στην παρούσα εργασία περιλαμβάνει 16 διαφορετικές κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές αφορούν είδη δασικών εκτάσεων με αειθαλή ή φυλλοβόλα, πλατύφυλλα ή κωνοφόρα ή ανάμεικτα φυτικά είδη, θαμνώδεις εκτάσεις, σαβάνες, λιβάδια, καλλιεργούμενες εκτάσεις, περιοχές χωρίς φύτευση, αστικές περιοχές και υδάτινες επιφάνειες (<https://lpdaac.usgs.gov>).

4.2.4. Δεδομένα καταγραφής ζημιών παγετού ΕΛ.Γ.Α.

Στην παρούσα εργασία έχει αξιοποιηθεί το αρχείο του Ελληνικού Οργανισμού Γεωργικών Ασφαλίσεων που αφορά σε καταγραφή ζημιών σε καλλιέργειες από παγετό ανά δημοτικό διαμέρισμα για την δεκαετία 1999 - 2010 για όλη την Ελλάδα.

Ο παγετός, σαν φυσικός κίνδυνος, καλύπτεται ασφαλιστικά από τον ΕΛ.Γ.Α. όταν η θερμοκρασία του αέρα έχει τιμή ίση ή μικρότερη από 0°C με συνέπεια να προκληθεί ζημιά στη φυτική παραγωγή. Οι καταγραφές περιλαμβάνουν μόνο τις περιπτώσεις όπου έχει παρατηρηθεί ζημιά σε καλλιεργούμενα είδη φυτών, λόγω παγετού.

Στον αρχείο του ΕΛ.Γ.Α. υπήρχαν οι ακόλουθες πληροφορίες για κάθε καταγραφή:

- ημερομηνία συμβάντος
- δημοτικό διαμέρισμα
- καλλιεργούμενο είδος
- ποσότητα ζημιωμένων φυτών σε έκταση ή σε αριθμό δέντρων (ανάλογα τον τύπο της καλλιέργειας)
- ποσοστό ζημιάς
- ποσό αποζημίωσης.

4.3. Επεξεργασία Δεδομένων ΕΛ.Γ.Α.

Τα δεδομένα ήταν αρχικά σε μορφή στατιστικού αρχείου SPSS και μετατράπηκαν σε αρχείο Excel όπου και έγινε η περαιτέρω επεξεργασία τους. Αφορούσαν καταγραφές ζημιών από παγετό σε καλλιέργειες για την δεκαετία 1999-2010, οι οποίες καταγράφηκαν κυρίως στο χρονικό διάστημα από 1 Οκτωβρίου ως 10 Μαΐου κάθε έτους.

Στην αρχική του μορφή, το αρχείο του ΕΛ.Γ.Α. είχε αναλυτική καταγραφή του κάθε συμβάντος παγετού. Κατά την επεξεργασία του αρχείου ακολουθήθηκαν τα ακόλουθα βήματα:

- Επιλέχθηκαν οι καταγραφές που αφορούσαν στα δημοτικά διαμερίσματα που απαρτίζουν την περιοχή μελέτης.
- Αποκλείστηκαν οι καταγραφές όπου οι επιθεωρητές είχαν διαπιστώσει μηδενικό επίπεδο ζημιάς.
- Υπολογίστηκαν οι συνολικές ζημιές που καταγράφηκαν σε κάθε δημοτικό διαμέρισμα σε έκταση και αριθμό δέντρων, λαμβάνοντας υπόψη και το ποσοστό ζημιάς.
- Κατηγοριοποιήθηκαν τα δημοτικά διαμερίσματα ανάλογα με τον βαθμό ζημιών από παγετό (βλ. Εικ. 31).
- Υπολογίστηκαν οι ημερομηνίες στις οποίες υπήρξε καταγραφή παγετού για το χρονικό διάστημα 1999-2010 καθώς και ο αριθμός συμβάντων παγετού που καταγράφηκαν ανά ημέρα (βλ. Εικ. 30).

Από την επεξεργασία των δεδομένων παράχθηκε το διάγραμμα της Εικόνας 30, στο οποίο παρουσιάζεται η χρονική διακύμανση των καταγεγραμμένων συμβάντων παγετού ανά ημέρα για το χρονικό διάστημα από 1/10 έως 30/4 για τα έτη 1999 έως 2010.

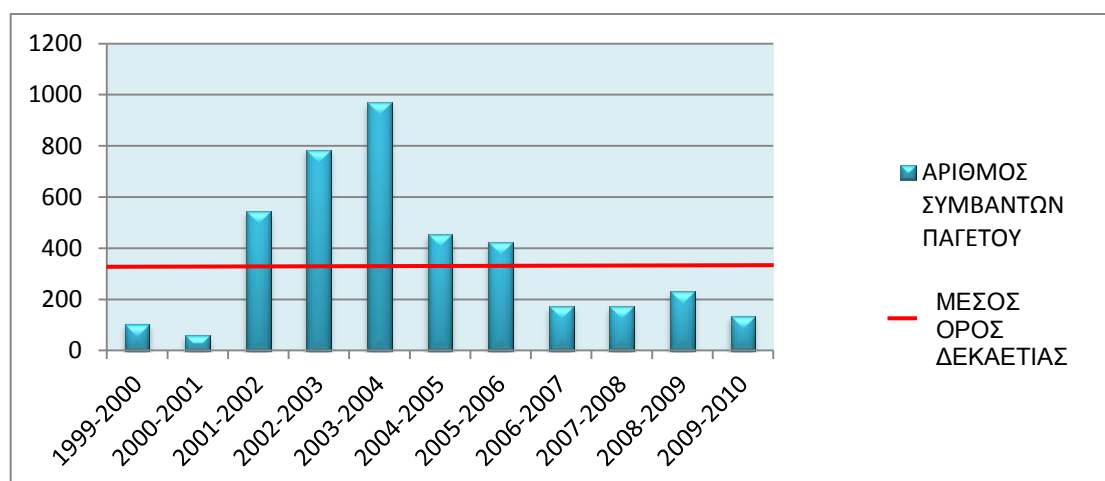
Παρατηρούμε ότι υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στη συχνότητα καταγραφής ζημιών από παγετό στο κάθε έτος. Επίσης, ο μέγιστος αριθμός καταγεγραμμένων συμβάντων παγετού μέσα στο έτος παρατηρείται συχνά κατά το τέλος Φεβρουαρίου με αρχές Μαρτίου.

Τα έτη με τη μεγαλύτερη συχνότητα παγετού ήταν το 2003 και το 2004, ενώ τα λιγότερο παγετόπληκτα έτη ήταν τα 1999 και 2000 και 2010. Μεσαία συχνότητα σε παγετό καταγράφηκε τα έτη 2006 και 2009.

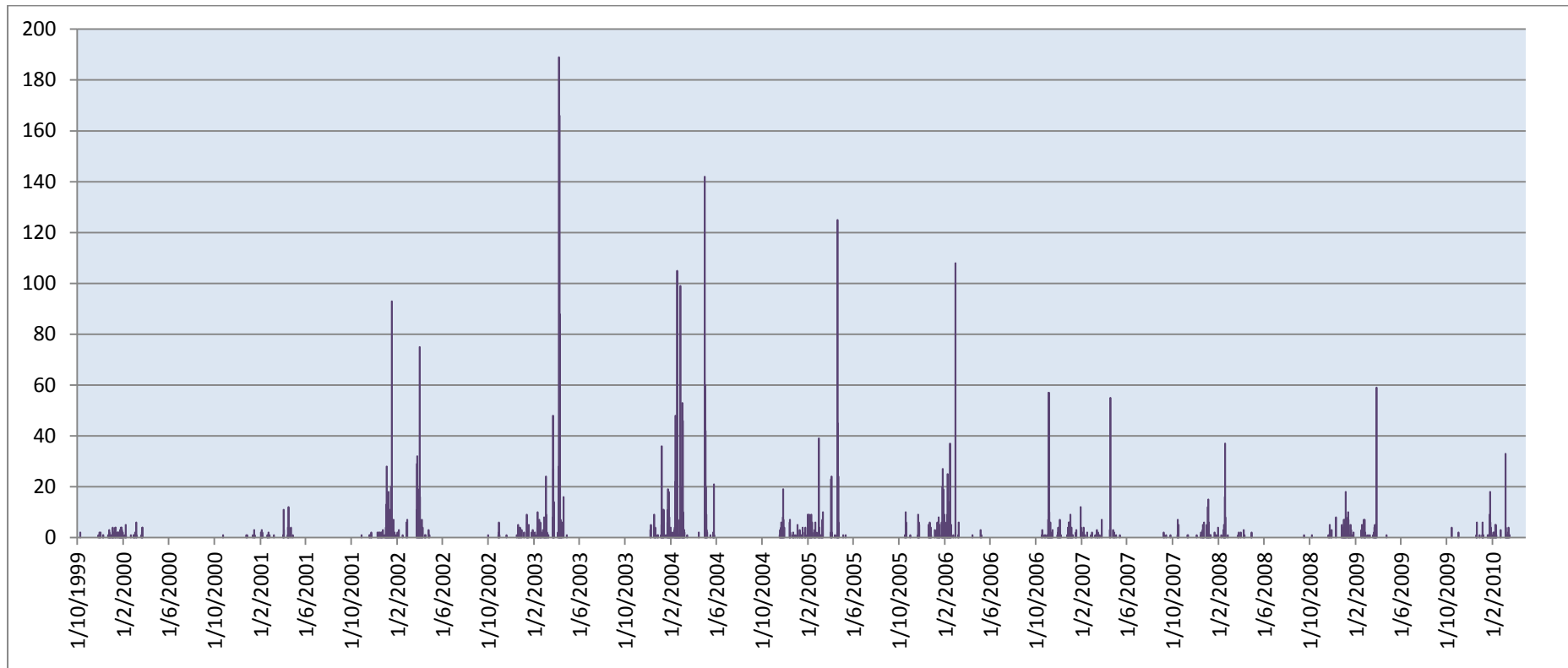
Ο συνολικός αριθμός καταγεγραμμένων συμβάντων παγετού ανά έτος παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα. Βάσει του πίνακα αυτού, επιλέχθηκαν τα έτη ενδιαφέροντος για τη συλλογή δεδομένων επιφανειακής θερμοκρασίας από το δορυφόρο MODIS, με στόχο τη δημιουργία χάρτη συχνότητας παγετού για την περιοχή μελέτης. Η διαδικασία περιγράφεται στο αντίστοιχο Κεφάλαιο (βλ. Κεφ. 4.6.11).

Πίνακας 8: Συνολικός αριθμός συμβάντων παγετού ανά χειμερινή περίοδο ετών 1999-2010 (πηγή δεδομένων ΕΛ.Γ.Α.).

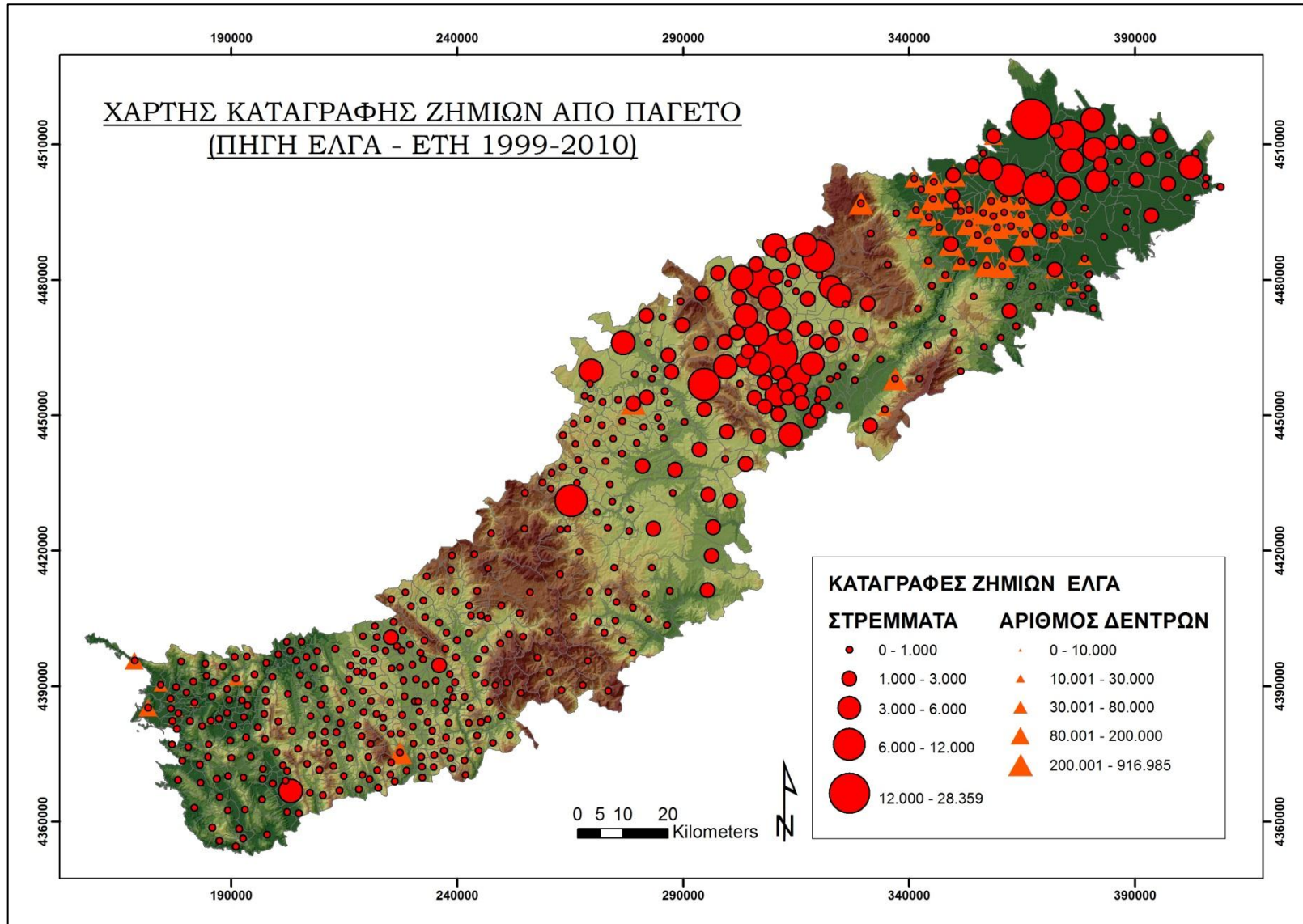
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΠΑΓΕΤΟΥ
1999-2000	104
2000-2001	62
2001-2002	543
2002-2003	785
2003-2004	971
2004-2005	455
2005-2006	424
2006-2007	173
2007-2008	173
2008-2009	230
2009-2010	135
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	369



Εικόνα 29: Διάγραμμα καταγραφής συνολικού ετήσιου αριθμού ζημιών από παγετό στην περιοχή μελέτης, για τα έτη 1999-2010 (πηγή δεδομένων ΕΛ.Γ.Α.).



Εικόνα 30: Διάγραμμα καταγραφής αριθμού ζημιών παγειού ανά ημέρα για την περιοχή μελέτης, για το χρονικό διάστημα 1/10/1999 έως 30/04/2010 (πηγή δεδομένων ΕΛ.Γ.Α.).



Εικόνα 31: Χάρτης καταγραφής ζημιών λόγω παγετού ανά δημοτικό διαμέρισμα της περιοχής μελέτης για την δεκαετία 1999-2010 από τον ΕΛ.Γ.Α.

4.4. Αρχική Επεξεργασία Τοπογραφικών Δεδομένων

4.4.1. Εισαγωγή

Στόχος της αρχικής επεξεργασίας δεδομένων ήταν η επιλογή των κατάλληλων δεδομένων και η επεξεργασία τους σε πρώτο στάδιο για την δημιουργία αρχικών επίπεδων πληροφορίας. Σε επόμενο στάδιο, από αυτά τα αρχεία παρήχθησαν τα δεδομένα εισαγωγής (input) του μοντέλου επικινδυνότητας παγετού και πάγου, καθώς και του χάρτη συχνότητας ανίχνευσης παγετού από τον MODIS.

Τα επίπεδα πληροφορίας που δημιουργήθηκαν αφορούν:

- Υψόμετρο
- Κλίση και προσανατολισμός πρανών
- Καμπυλότητα επιφανείας εδάφους
- Υδρογραφικό Δίκτυο
- Σύνθετος Τοπογραφικός Δείκτης
- Χρήσεις/ Κάλυψη Γης από δεδομένα Corine και MODIS
- Ενισχυμένος Δείκτης Βλάστησης EVI - MODIS
- Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας LAI - MODIS

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το πακέτο ENVI 4.7 (Exelis Visual Information Solutions), γεωχωρικό λογισμικό τηλεπισκόπησης για την επεξεργασία, οπτικοποίηση και ανάλυση δορυφορικών δεδομένων. Για την επεξεργασία, αποτύπωση και διαχείριση των τοπογραφικών δεδομένων και την απόδοση των χαρτών χρησιμοποιήθηκε το ArcGIS 10.0.

Επιπλέον για την επεξεργασία των δεδομένων MODIS χρησιμοποιήθηκε η πρόσθετη εφαρμογή του Envi, Modis Conversion Toolkit (MCTK) η οποία επιτρέπει την άμεση προσπέλαση, επεξεργασία και γεωαναφορά των εικόνων.

4.4.2. Υψόμετρο

Για τη δημιουργία του υψομετρικού μοντέλου εδάφους χρησιμοποιήθηκαν 35 φύλλα χαρτών από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού τα οποία αφού ψηφιοποιήθηκαν επεξεργάστηκαν με την εργαλειοθήκη 3D Analyst. Στη συνέχεια, με την μέθοδο δημιουργίας πλέγματος τριγώνων (TIN) δημιουργήθηκε μία επιφάνεια, η οποία μετατράπηκε στο πλεγματοειδές (raster) αρχείο που αποτέλεσε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Η περιοχή ενδιαφέροντος αποκόπηκε με την εντολή Extract by Mask χρησιμοποιώντας το περίγραμμα της περιοχής μελέτης σαν όριο. Παράχθηκε έτσι το υψομετρικό μοντέλο εδάφους (βλ. Εικ. 16).

4.4.3. Κλίση και Προσανατολισμός Πρανών

Στο αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο (DEM) έγινε επεξεργασία με τα εργαλεία Slope και Aspect του ARC Tool Box και δημιουργήθηκαν τα επίπεδα πληροφορίας που αφορούν στην κλίση και στον προσανατολισμό εδάφους αντίστοιχα (βλ. Εικ. 17 & 18).

4.4.4. Υδρογραφικό Δίκτυο

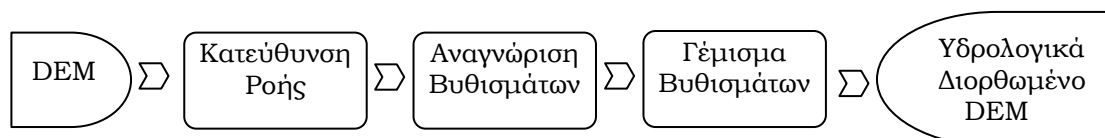
Από τα αρχικά διανυσματικά δεδομένα που αφορούν στο υδρογραφικό δίκτυο όλης της Ελλάδας αποκόπηκε το μέρος που αντιστοιχεί στην περιοχής μελέτης. Έπειτα από την ενοποίηση των στοιχείων σε ένα πλεγματοειδές αρχείο, με την εντολή merge, προέκυψε ένα επίπεδο πληροφορίας που περιέχει το συνολικό επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής (βλ. Εικ. 20).

4.4.5. Σύνθετος Τοπογραφικός Δείκτης

Ο Χάρτης Σύνθετου Τοπογραφικού Δείκτη (CTI – Compound Topographic Index), ο οποίος είναι ενδεικτικός της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας, παράχθηκε από το υψομετρικό μοντέλο εδάφους.

Ο δείκτης CTI υπολογίζεται με βάση την κλίση πρανών και την ανάντη συμβάλλουσα περιοχή. Για την δημιουργία χάρτη CTI χρειάζεται η προσθήκη πληροφορίας υδρογραφικού δικτύου στο υψομετρικό μοντέλο εδάφους, αφού αυτό διορθωθεί υδρολογικά.

Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα ακόλουθα:



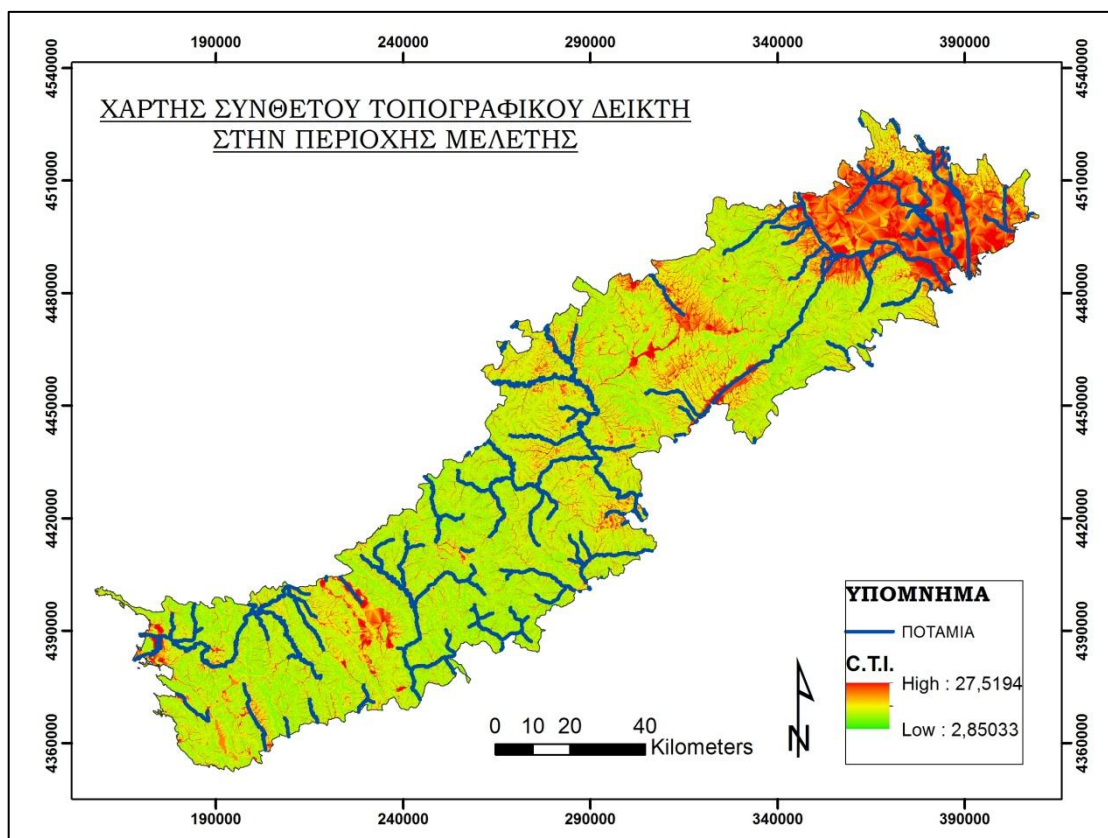
Εικόνα 32: Στάδια επεξεργασίας υδρολογικής διόρθωσης ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

Το υδρολογικά διορθωμένο DEM χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του CTI μέσω ενός κώδικα Python που έχει δημιουργηθεί για το ArcGIS 10.0 (Evans & Oakleaf, 2012), με δεδομένο εισόδου το διορθωμένο DEM. Ο υπολογισμός του κώδικα έγινε ως ακολούθως:

$$CTI = \ln (a / \tan\beta) \quad (\text{Εξίσωση 3})$$

όπου a = (flow accumulation +1)*μέγεθος εικονοστοιχείων

β = κλίση εκφρασμένη σε ακτίνια (<http://arcscripsts.esri.com>).



Εικόνα 33: Χάρτης Διακύμανσης Σύνθετου Τοπογραφικού Δείκτη (C.T.I.) της περιοχής μελέτης.

Υψηλές τιμές του δείκτη χαρακτηρίζουν περιοχές με μεγάλες υδρολογικές λεκάνες, με ήπιες κλίσεις ή επίπεδες, ενώ αντίθετα χαμηλές τιμές αντιπροσωπεύουν μικρές υδρολογικές λεκάνες και απότομες πλαγιές ή κορυφές λόφων.

Στον χάρτη που παρουσιάζεται στην Εικ. 33 παρατηρούμε ότι χαμηλές τιμές του δείκτη εμφανίζονται στις κορυφές των ορεινών περιοχών ενώ υψηλότερες τιμές είναι κυρίως στο βορειοανατολικό τμήμα όπου έχουμε χαμηλό υψόμετρο, ήπιες κλίσεις και υψηλή πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου.

4.4.6. Κάλυψη / Χρήση Γης Corine

Η καταγραφή της κάλυψης γης από το Corine αποτέλεσε έναν από τους παράγοντες κινδύνου παγετού που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Από αρχικά δεδομένα που αφορούν σε χρήσεις γης σε όλη την Ελλάδα, επιλέχθηκε και αποκόπηκε το τμήμα που αντιστοιχεί στην περιοχή μελέτης. Επίσης, για να προβληθεί σωστά σε σχέση με τα υπόλοιπα ψηφιακά αρχεία το

προβολικό σύστημα του αρχείου μετασχηματίστηκε στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987. Δημιουργήθηκε έτσι ο χάρτης χρήσεων και κάλυψης γης για την περιοχή μελέτης (βλ. Εικ. 22).

Προκειμένου να συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς του μοντέλου το αρχείο χρήσεων και κάλυψης γης, που ήταν αρχικά διανυσματικής μορφής, μετατράπηκε σε πλεγματοειδές αρχείο με την εντολή Conversion – Polygon to Raster. Σαν τιμή πεδίου (value field) επιλέχθηκαν οι κωδικοί ταξινόμησης του Corine και σαν μέγεθος εικονοστοιχείων τα 100 x100 m.

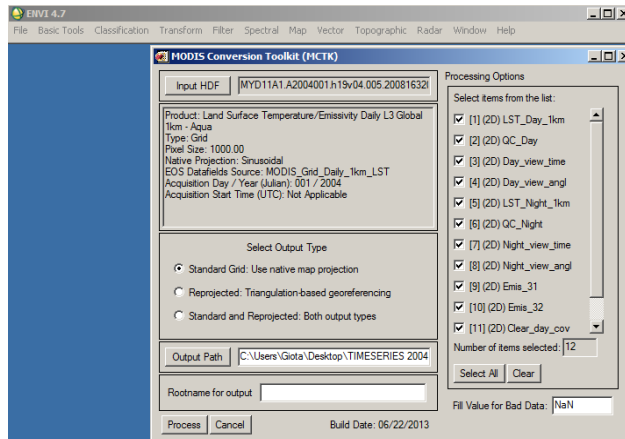
4.4.7. Οδικό δίκτυο – Εγνατία Οδός

Από τα αρχικά ψηφιακά δεδομένα διανυσματικής μορφής, αποκόπηκε η περιοχή της Εγνατίας Οδού που περιλαμβάνεται στην περιοχή μελέτης. Στην συνέχεια το αρχείο μετατράπηκε σε πλεγματοειδή μορφή με μέγεθος εικονοστοιχείων τα 100 x100 m προκειμένου να συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς του μοντέλου παγετού και πάγου. Η επεξεργασία έγινε με την εντολή μετατροπής Conversion – Polyline to Raster.

4.5. Αρχική Επεξεργασία Δορυφορικών Δεδομένων

Για την βασική αρχική επεξεργασία όλων των δορυφορικών εικόνων ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω:

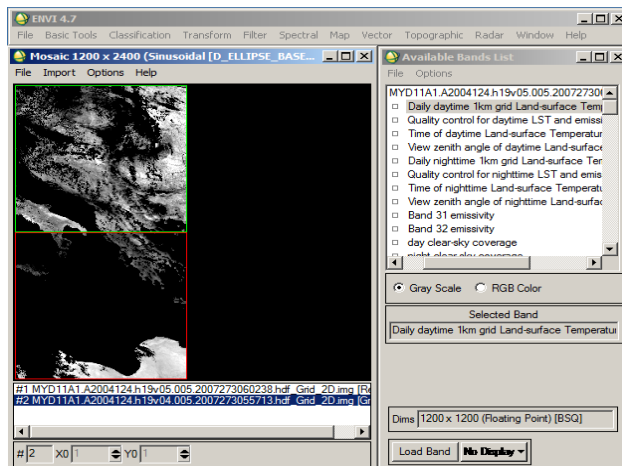
- Άνοιγμα μέσω της εφαρμογής MCTK του ENVI 4.7 και προβολή στο ήδη καθορισμένο προβολικό σύστημα.



Εικόνα 34:

*Άνοιγμα εικόνας
MODIS με την
εφαρμογή MCTK του
Envi 4.7 .*

- Συγχώνευση των δύο αρχικών εικόνων στις οποίες περιέχεται η περιοχή μελέτης σε μία με την εντολή Georeferenced Mosaic. Τα δύο αρχεία τοποθετούνται κατευθείαν στη σωστή θέση μέσω των πληροφοριών γεωαναφοράς τους.



Εικόνα 35:

*Επεξεργασία
συγχώνευσης εικόνων
MODIS (Envi 4.7).*

- Μετατροπή των δορυφορικών αρχείων σε αρχεία εικόνας τύπου GeoTIFF προκειμένου να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς του μοντέλου κινδύνου στο ArcGIS.
- Μετασχηματισμός του συστήματος γεωαναφοράς των αρχείων από ημιτονοειδές προβολικό σύστημα (sinusoidal) στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ 1987) με την εντολή Project Raster.

4.6. Κύρια Επεξεργασία Δεδομένων

Βασικό στάδιο επεξεργασίας αποτέλεσε η επαναταξινόμηση των γεωχωρικών και δορυφορικών δεδομένων σε νέα επίπεδα πληροφοριών όπου παρουσιάζεται η συμβολή του κάθε παράγοντα στον κίνδυνο του παγετού και πάγου.

Το πλεγματικό αρχείο του κάθε επιλεγμένου παράγοντα κινδύνου επαναταξινομήθηκε σε βαθμούς κινδύνου: πολύ υψηλός, μεσαίος και πολύ χαμηλός και ενδιάμεσες διαβαθμίσεις.

Για τον κάθε παράγοντα, αρχικά μελετήθηκε η διακύμανση που παρουσίαζαν οι τιμές του και στη συνέχεια μέσα από δοκιμές επιλέχθηκε ο καλύτερος αριθμός τάξεων κινδύνου. Ο αριθμός των τάξεων στον οποίο ταξινομήθηκε το αρχείο του κάθε κινδύνου κυμάνθηκε από 3 έως 5, με εξαίρεση το υψόμετρο που κατατάχθηκε σε 9 τάξεις κινδύνου.

Τα όρια των τιμών της κάθε κατηγορίας ορίστηκαν, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της στατιστικής μεθόδου Natural Jenks του ArcGIS. Είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο εργαλείο ταξινόμησης και ομαδοποιεί τα δεδομένα σε κατηγορίες με κριτήριο τη διακύμανση των τιμών τους. Σαν αποτέλεσμα, δημιουργείται ένας χάρτης που τονίζει τη διαφοροποίηση που υπάρχει ανάμεσα στις ομάδες δεδομένων (Mitchell, 1999).

Η τελική κατηγοριοποίηση προέκυψε έπειτα από στρογγυλοποίηση των αποτελεσμάτων της μεθόδου Natural Jenks και λαμβάνοντας υπόψη επίσης τα συμπεράσματα προηγούμενων ερευνών σχετικά με την συσχέτιση του κάθε παράγοντα με τον κίνδυνο του παγετού και του πάγου (βλ. Κεφ. 2.5)

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε για την ταξινόμηση των δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής θερμοκρασίας, με στόχο τη μελέτη συχνότητας παγετού που αποτέλεσε μέσο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Έπειτα από την επεξεργασία των δεδομένων δημιουργήθηκε μία σύνθετη εικόνα συχνότητας παγετού για την περιοχική μελέτη. Για την επιλογή των ορίων των τιμών της κάθε κατηγορίας συχνότητας, ελήφθησαν υπόψη τα αποτελέσματα της μεθόδου Natural Jenks, τα οποία στρογγυλοποιήθηκαν. Με αυτή τη μέθοδο ταξινομήθηκαν τα εικονοστοιχεία της εικόνας σε 5 κατηγορίες συχνότητας παγετού: πολύ υψηλή, υψηλή, μεσαία, χαμηλή και πολύ χαμηλή.

4.6.1. Δεδομένα Υψόμετρου

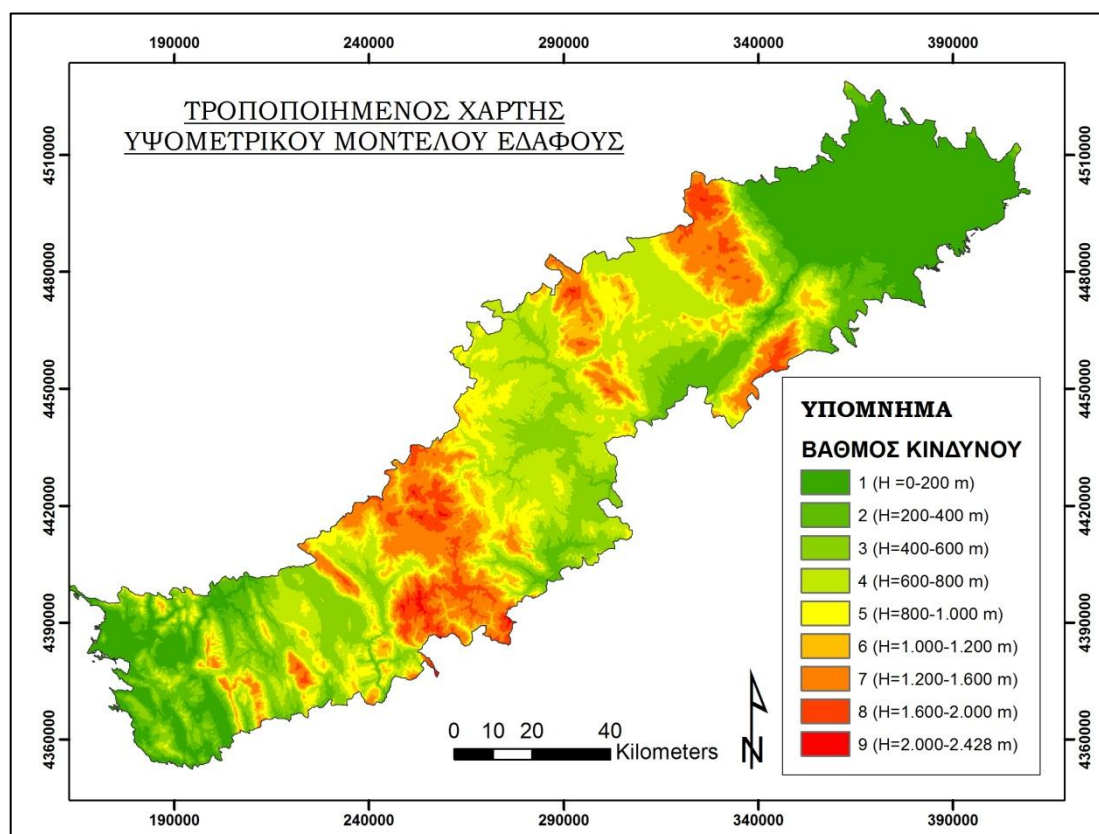
Το υψόμετρο αποτελεί από τους σημαντικότερους παράγοντες διακύμανσης της θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία εδάφους μειώνεται με την αύξηση του υψόμετρου, με εξαίρεση τις περιπτώσεις επικράτησης θερμοκρασιακής αναστροφής (βλ. Κεφ. 2.5.1).

Από το αρχικό υψομετρικό μοντέλο εδάφους, έπειτα από επαναταξινόμηση του υψομέτρου με την εντολή Reclassify του ArcGIS και σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα, προέκυψε το τροποποιημένο αρχείο του υψομετρικού παράγοντα.

Πίνακας 9: Κλάσεις επαναταξινόμησης υψομέτρου στην περιοχή μελέτης.

ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
0 – 200 m	1
200 – 400 m	2
400 – 600 m	3
600 – 800 m	4
800 – 1.000 m	5
1.000 – 1.200 m	6
1.200 – 1.600 m	7
1.600 – 2.000 m	8
2000 m – 2. 428 m	9

Από την παραπάνω διαδικασία δημιουργήθηκε ο επαναταξινομημένος χάρτης υψομέτρου ως ακολούθως.



Εικόνα 36: Τροποποιημένος χάρτης υψομετρικού μοντέλου εδάφους.

4.6.2. Δεδομένα Κλίσης Πρανών

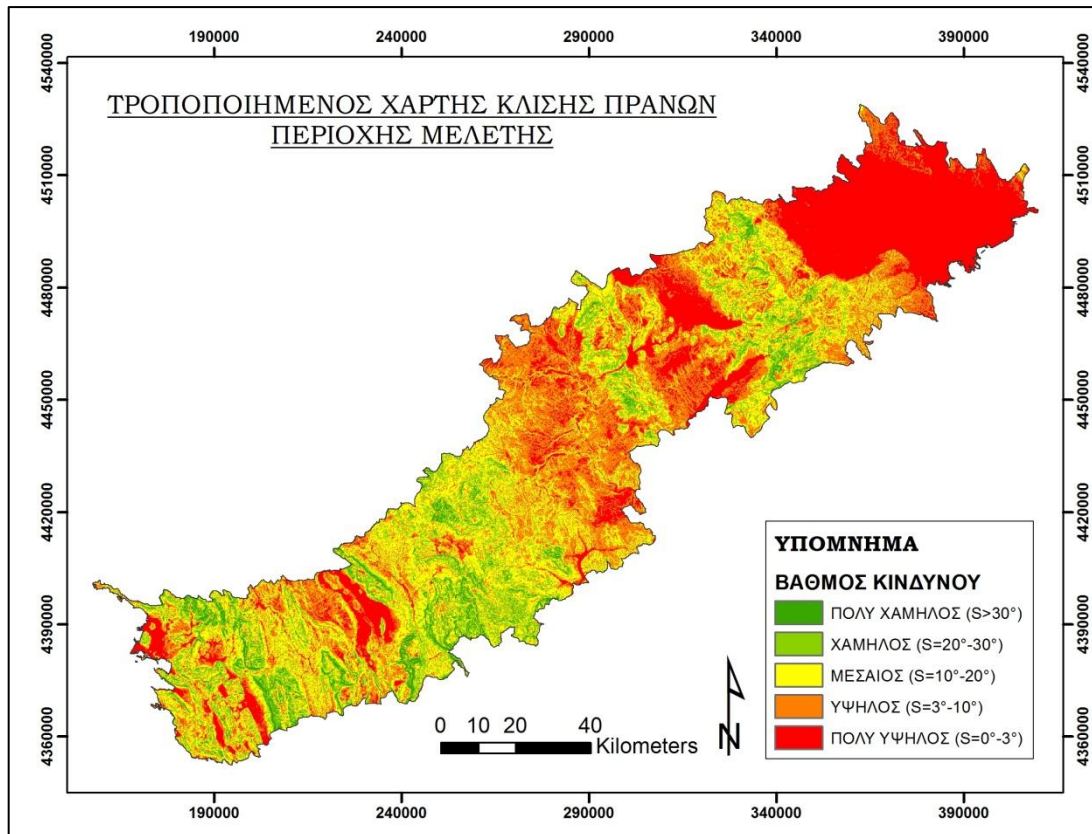
Σε επίπεδες περιοχές, υπάρχει η τάση να συσσωρεύεται ο ψυχρός αέρας ενώ αντίθετα σε επικλινείς τοποθεσίες, απομακρύνεται και απορρέει προς πιο χαμηλά υψόμετρα (βλ. Κεφ. 2.5.2).

Το επίπεδο πληροφορίας της κλίσης πρανών σε μοίρες, επαναταξινομήθηκε με βάση την συσχέτιση που έχει παρατηρηθεί με το φαινόμενο της ροής του ψυχρού αέρα.

Στον παρακάτω χάρτη, που δημιουργήθηκε μέσω της επαναταξινόμησης, παρατηρούμε ότι αυξημένος κίνδυνος παγετού και πάγου λόγω κλίσης προβλέπεται στις επίπεδες περιοχές βορειοδυτικά και σε μικρότερα τμήμα κεντρικά και δυτικά της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 10: Κλάσεις επαναταξινόμησης μορφολογικής κλίσης πρανών (σε μοίρες) στην περιοχή μελέτης.

ΚΛΙΣΗ ΠΡΑΝΩΝ (S)	ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
S > 30 °	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΟΣ
S: 20 – 30 °	ΧΑΜΗΛΟΣ
S: 10 – 20 °	ΜΕΣΑΙΟΣ
S: 3 – 10 °	ΥΨΗΛΟΣ
S: 0 – 3 °	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΟΣ



Εικόνα 37: Τροποποιημένος χάρτης μορφολογικής κλίσης πρανών.

4.6.3. Δεδομένα Προσανατολισμού Πρανών

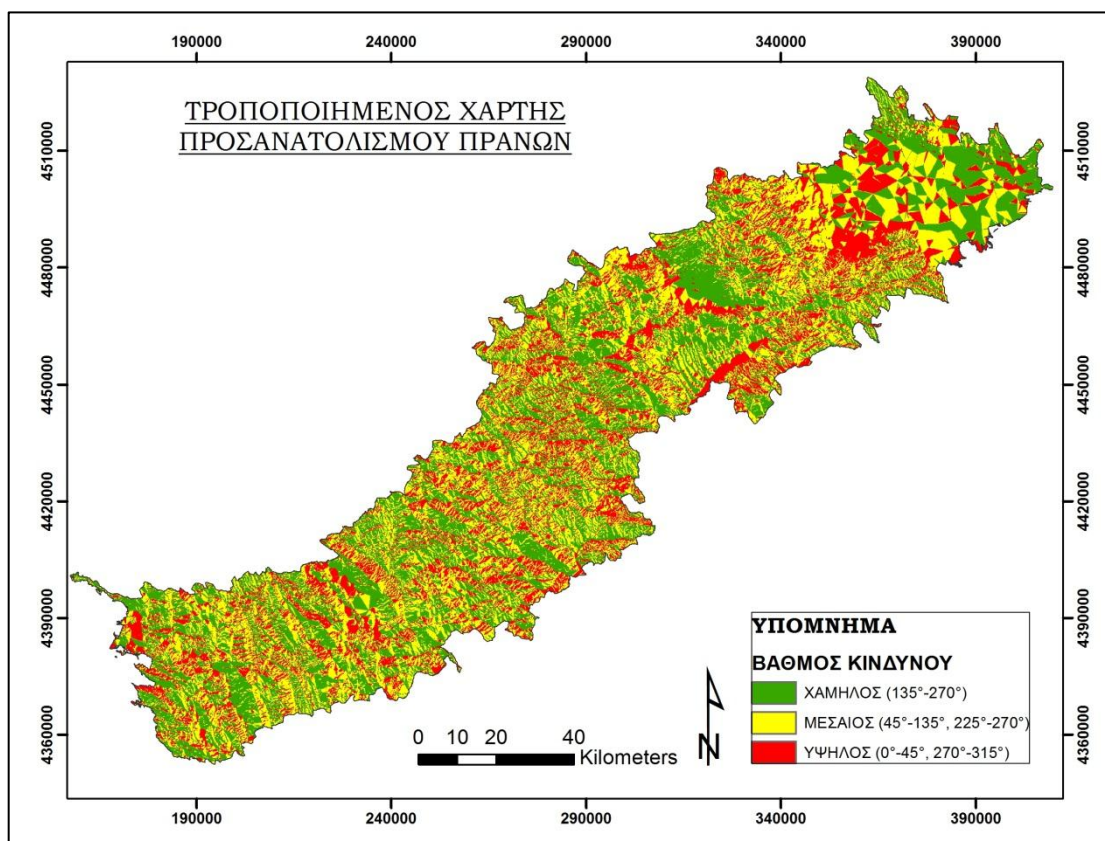
Ο προσανατολισμός των πρανών έχει σημαντική επίδραση στις κλιματικές συνθήκες μίας περιοχής. Σε πλαγιές με δυτικό έως βόρειο προσανατολισμό, η προσλαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι μειωμένη και παρατηρούνται πιο χαμηλές θερμοκρασίες και μεγαλύτερη διάρκεια χιονοπτώσεων που οδηγούν σε υψηλότερο κίνδυνο παγετού και σχηματισμού πάγου (βλ. Κεφ.2.5.2).

Με βάση τα παραπάνω, ο αρχικός χάρτης προσανατολισμού πρανών επαναταξινομήθηκε ως προς την επικινδυνότητα των πρανών σε παγετό και πάγο. Υψηλότερες τιμές δόθηκαν σε εδάφη με προσανατολισμό βορεινό και βορειοανατολικό. Στην ενδιάμεση τάξη επικινδυνότητας ταξινομήθηκαν τα πρανή με ανατολικό και στην κατηγορία πιο χαμηλού κινδύνου είναι τα πρανή νότιο και νοτιοδυτικό προσανατολισμό.

Πίνακας 11: Κλάσεις επαναταξινομήσης προσανατολισμού πρανών στην περιοχή μελέτης.

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
135°-270°	ΧΑΜΗΛΟΣ
45°-135°, 225°-270°	ΜΕΣΑΙΟΣ
0°-45°, 270°-315°	ΥΨΗΛΟΣ

Δημιουργήθηκε έτσι ο επαναταξινομημένος χάρτης προσανατολισμού πρανών που ακολουθεί, στον οποίο βλέπουμε ότι προσανατολισμοί υψηλού κινδύνου απαντώνται στο βορειοδυτικό κυρίως τμήμα της περιοχής μελέτης, καθώς και σε χαράδρες ορεινών όγκων στο κεντρικό της τμήμα και στις παραθαλάσσιες περιοχές του ανατολικού τομέα.



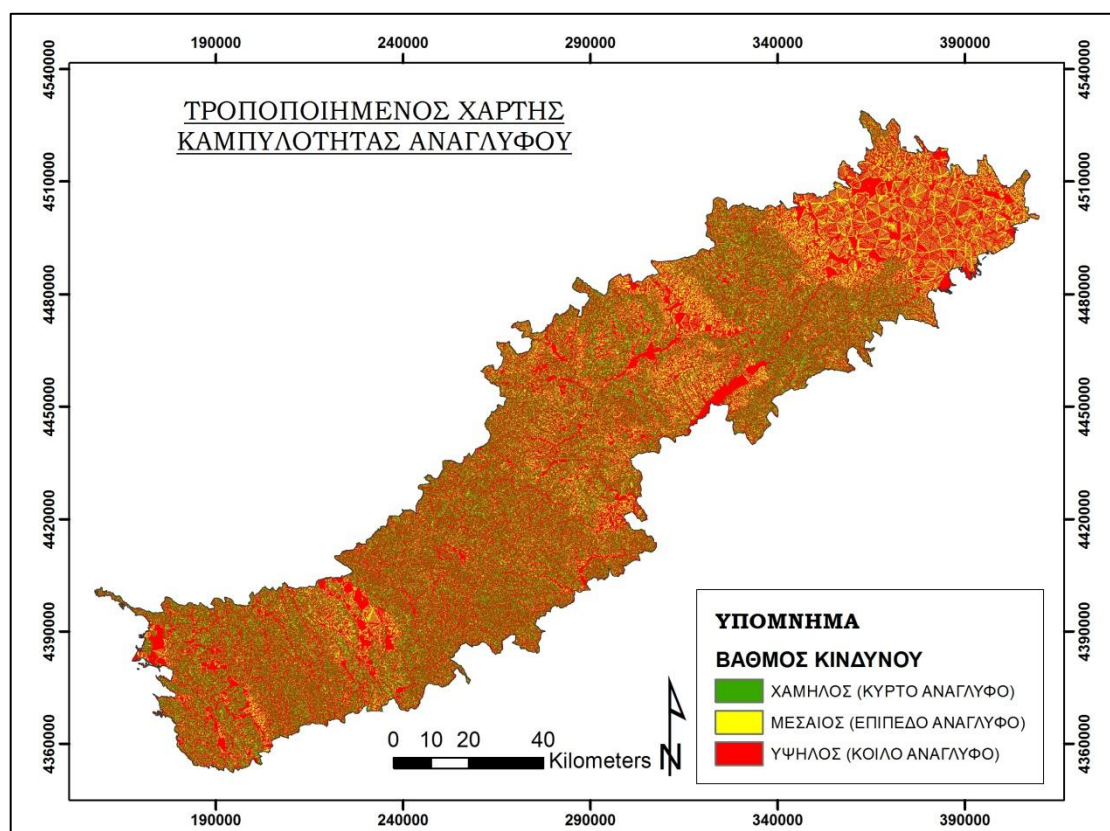
Εικόνα 38: Τροποποιημένος χάρτης προσανατολισμού πρανών.

4.6.4. Δεδομένα Καμπυλότητας Ανάγλυφου

Η μορφή του ανάγλυφου και συγκεκριμένα ο βαθμός καμπυλότητας μίας περιοχής επηρεάζει σημαντικά την καταβατική κίνηση του ανέμου και την συσσώρευση ψυχρών αερίων μαζών. Τοποθεσίες με κυρτό ανάγλυφο, όπως οι κορυφές βουνών, είναι λιγότερο επιρρεπείς στον παγετό από λιμνάζουσες ψυχρές αέριες μάζες σε σχέση με κυρτές τοποθεσίες όπως κλειστές κοιλάδες (βλ. Κεφ. 2.5.4). Έτσι, το πλεγματοειδές αρχείο που αφορά στην καμπυλότητα του ανάγλυφου επαναταξινομήθηκε σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί και δημιουργήθηκε ο χάρτης που παρουσιάζεται στην Εικόνα 39.

Πίνακας 12: Κλάσεις επαναταξινόμησης καμπυλότητας ανάγλυφου στην περιοχή μελέτης.

ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ	ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
Curv > 0,1 (κυρτό ανάγλυφο)	ΧΑΜΗΛΟΣ
Curv= 0-0,1 (επίπεδο)	ΜΕΣΑΙΟΣ
Curv < 0 (κοίλο ανάγλυφο)	ΥΨΗΛΟΣ



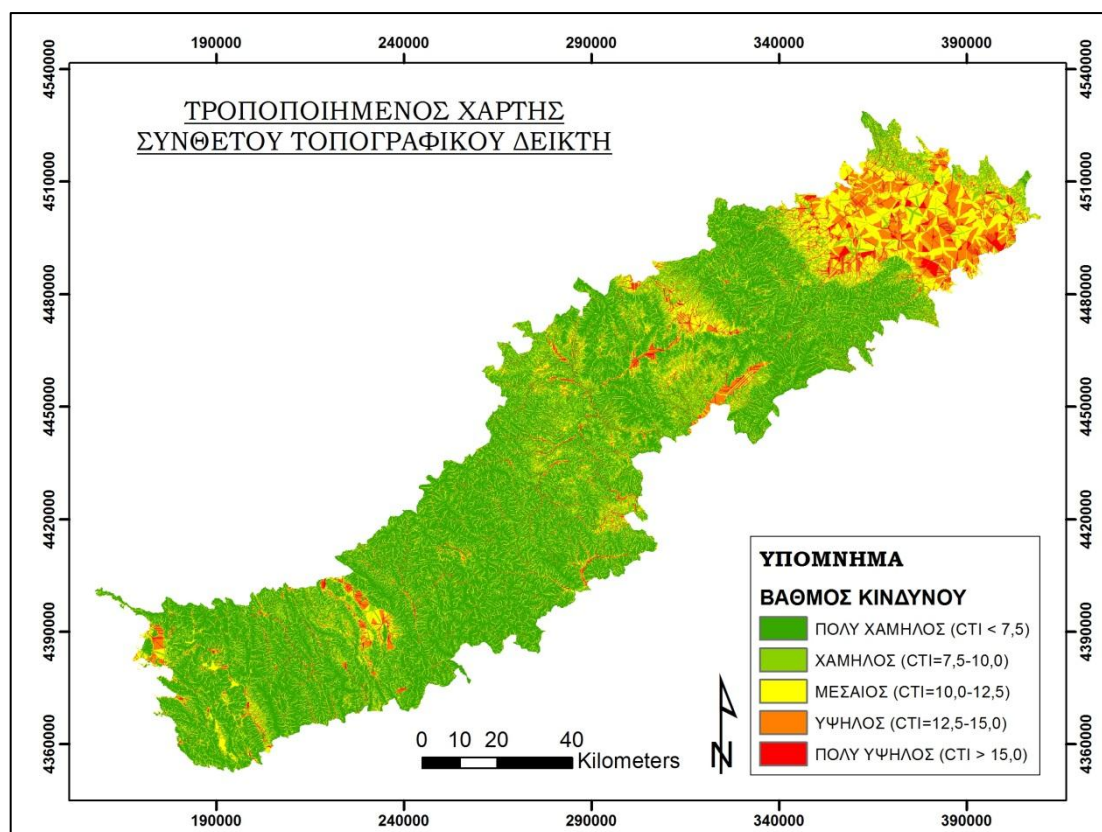
Εικόνα 39: Τροποποιημένος χάρτης καμπυλότητας ανάγλυφου.

4.6.5. Δεδομένα Σύνθετου Τοπογραφικού Δείκτη

Ο Σύνθετος Τοπογραφικός Δείκτης αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τοπογραφικούς παράγοντες όσον αφορά στον κίνδυνο παγετού. Υψηλές τιμές υποδεικνύουν περιοχές με τάση συσσώρευσης ψυχρών αερίων μαζών και αυξημένου κινδύνου παγετού και πάγου (βλ. Κεφ. 2.5.4). Το πλεγματικό αρχείο του δείκτη επαναταξινομήθηκε σε 5 κατηγορίες σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί και δημιουργήθηκε ο αντίστοιχος χάρτης (Εικ. 40).

Πίνακας 13: Κλάσεις επαναταξινόμησης σύνθετου τοπογραφικού δείκτη στην περιοχή μελέτης.

ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
CTI < 7,5	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΟΣ
CTI = 7,5 – 10,0	ΧΑΜΗΛΟΣ
CTI = 10,0 – 12,5	ΜΕΣΑΙΟΣ
CTI = 12,5 – 15,0	ΥΨΗΛΟΣ
CTI > 15,0	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΟΣ



Εικόνα 40: Τροποποιημένος χάρτης σύνθετου τοπογραφικού δείκτη.

4.6.6. Δεδομένα Υδρογραφικού Δικτύου

Οι υδάτινες μάζες αποτελούν προστατευτικό παράγοντα ως προς τον κίνδυνο παγετού. Όσο πιο απομακρυσμένη είναι μία περιοχή από υδάτινες μάζες τόσο πιο εκτεθειμένη είναι στον κίνδυνο του παγετού (βλ. Κεφ. 2.5.3).

Η επαναταξινόμηση της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε ανάλογα με την απόσταση του κάθε εικονοστοιχείου από υδάτινες επιφάνειες, χρησιμοποιώντας την εντολή Euclidean Distance του 3D Analyst Tool. Δημιουργήθηκε ένας νέος χάρτης που παρουσιάζει την περιοχή ταξινομημένη ανάλογα με την απόσταση από υδάτινες επιφάνειες (θάλασσα, λίμνες και ποτάμια) συνδυαστικά.

Η απόσταση επιρροής που ορίστηκε για τη θάλασσα χωρίζεται σε δύο ζώνες. Τα 20 km σαν ζώνη ήπιας προστασίας και τα 10 km σαν ζώνη υψηλότερης προστασίας. Για τα ποτάμια και τις λίμνες ορίστηκε μία ζώνη επιρροής για το καθένα, 3 km και 5 km αντίστοιχα.

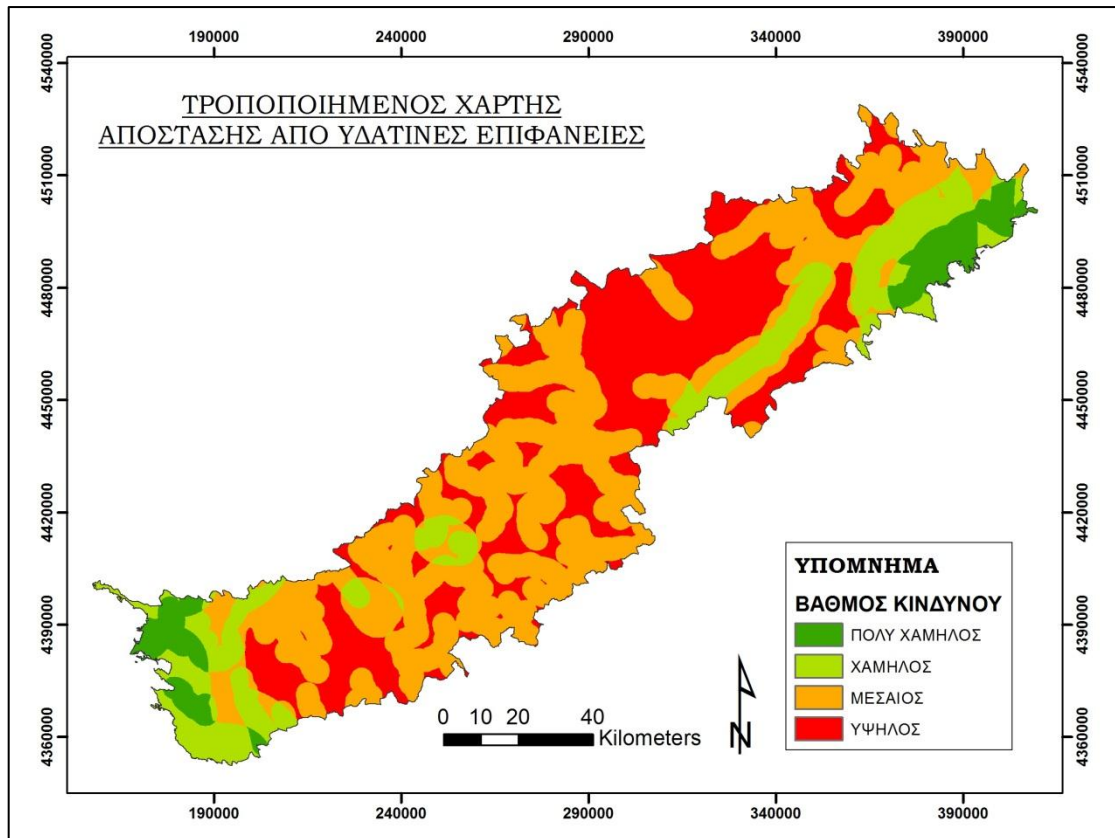
Έτσι, περιοχές που απέχουν από τη θάλασσα λιγότερο από 10 km έλαβαν την τιμή 0, μεταξύ 10 και 20 km την τιμή 1 και περισσότερο από 20 km την τιμή 2.

Αντιστοίχως οι περιοχές που απέχουν λιγότερο από 3 km από τα ποτάμια και 5 km από λίμνες έλαβαν την τιμή 0 και οι υπόλοιπες περιοχές έλαβαν την τιμή 1.

Τέλος δημιουργήθηκαν τρία πλεγματικά αρχεία για την περιοχή μελέτης, τα οποία αθροιζόμενα έδωσαν τον τελικό χάρτη κατάταξης των εικονοστοιχείων της περιοχής ανάλογα με την απόστασή τους από υδάτινες επιφάνειες συνδυαστικά (βλ. Εικ.41). Η ταξινόμηση συνοψίζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 14: Κλάσεις επαναταξινόμησης περιοχής μελέτης ανάλογα με την απόσταση από υδάτινες μάζες.

ΑΠΟΣΤΑΣΗ (D) ΑΠΟ ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
$D_{\theta\alpha\lambda} > 10 \text{ km}$ ή $D_{\pi\omicron\tau} > 3 \text{ km}$ ή $D_{\lambda\iota\mu\nu} > 5 \text{ km}$	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΟΣ
$D_{\theta\alpha\lambda} > 20 \text{ km}$ ή $D_{\lambda\iota\mu\nu} > 5 \text{ km} \ \& \ D_{\pi\omicron\tau} > 3 \text{ km} / D_{\theta\alpha\lambda} = 10-20 \text{ km}$	ΧΑΜΗΛΟΣ
$D_{\theta\alpha\lambda} > 20 \text{ km} \ \& \ D_{\lambda\iota\mu\nu} > 5 \text{ km} / D_{\pi\omicron\tau} > 3 \text{ km}$ ή $D_{\theta\alpha\lambda} > 10 \text{ km} \ \& \ D_{\lambda\iota\mu\nu} > 5 \text{ km} \ \& \ D_{\pi\omicron\tau} > 3 \text{ km}$	ΜΕΣΑΙΟΣ
$D_{\theta\alpha\lambda} > 20 \text{ km} \ \& \ D_{\lambda\iota\mu\nu} > 5 \text{ km} \ \& \ D_{\pi\omicron\tau} > 3 \text{ km}$	ΥΨΗΛΟΣ



Εικόνα 41: Τροποποιημένος χάρτης επαναταξινόμησης περιοχής μελέτης ανάλογα με την απόσταση από υδάτινες επιφάνειες.

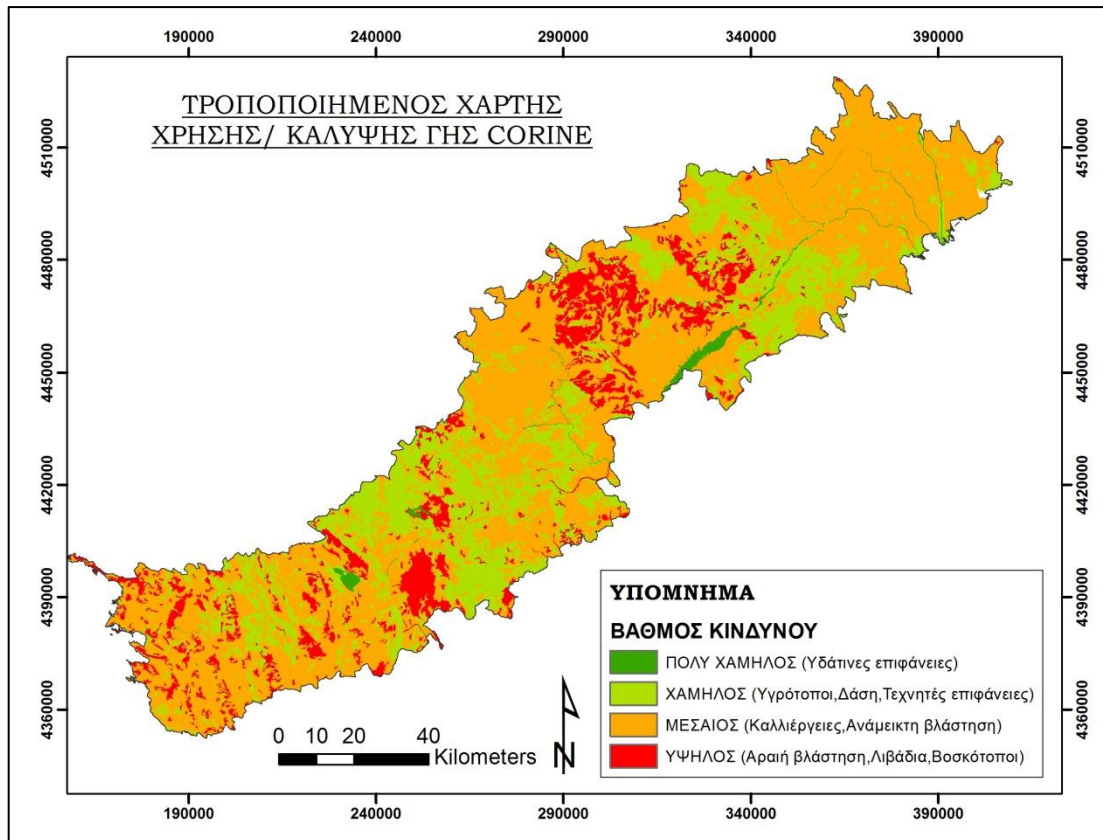
4.6.7. Δεδομένα Χρήσης/ Κάλυψης Γης Corine

Η χρήση και η κάλυψη Γης αποτελεί έναν επίσης σημαντικό παράγοντα παγετού και πάγου. Σε περιοχές έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας ο κίνδυνος παγετού εμφανίζεται μειωμένος. Αντίστοιχα, η ύπαρξη υδάτινων μαζών και πυκνής βλάστησης αποτελούν προστατευτικούς παράγοντες από τον κίνδυνο παγετού (βλ. Κεφ. 2.5.5-6).

Με κύριο κριτήριο την πυκνότητα βλάστησης και την διαθέσιμη υγρασία καθώς και την ύπαρξη σημαντικής ανθρωπογενούς δραστηριότητας, οι καταγεγραμμένες κατηγορίες κάλυψης γης επαναταξινομήθηκαν όπως παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 15: Κλάσεις επαναταξινόμησης χρήσεων / κάλυψης γης στην περιοχή μελέτης (πηγή Corine 2000).

ΧΡΗΣΗ / ΚΑΛΥΨΗ ΓΗΣ CORINE	ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
Κωδ. 5.1, 5.2 (Νερό)	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΟΣ
Κωδ. 3.1 (Δασικές εκτάσεις) Κωδ. 4.1, 4.2 (Υγρότοποι) Κωδ. 1.1-1.4 (Τεχνητές επιφάνειες)	ΧΑΜΗΛΟΣ
Κωδ. 2.1, 2.2, 2.4 (Καλλιεργούμενες εκτάσεις) Κωδ. 3.2.2-4 (Θαμνώδης/ Ποώδης βλάστηση)	ΜΕΣΑΙΟΣ
Κωδ. 2.3 (Λιβάδια) Κωδ. 3.2.1 (Φυσικοί Βοσκότοποι) Κωδ. 3.3 (Ανοιχτοί Χώροι με λίγη βλάστηση)	ΥΨΗΛΟΣ



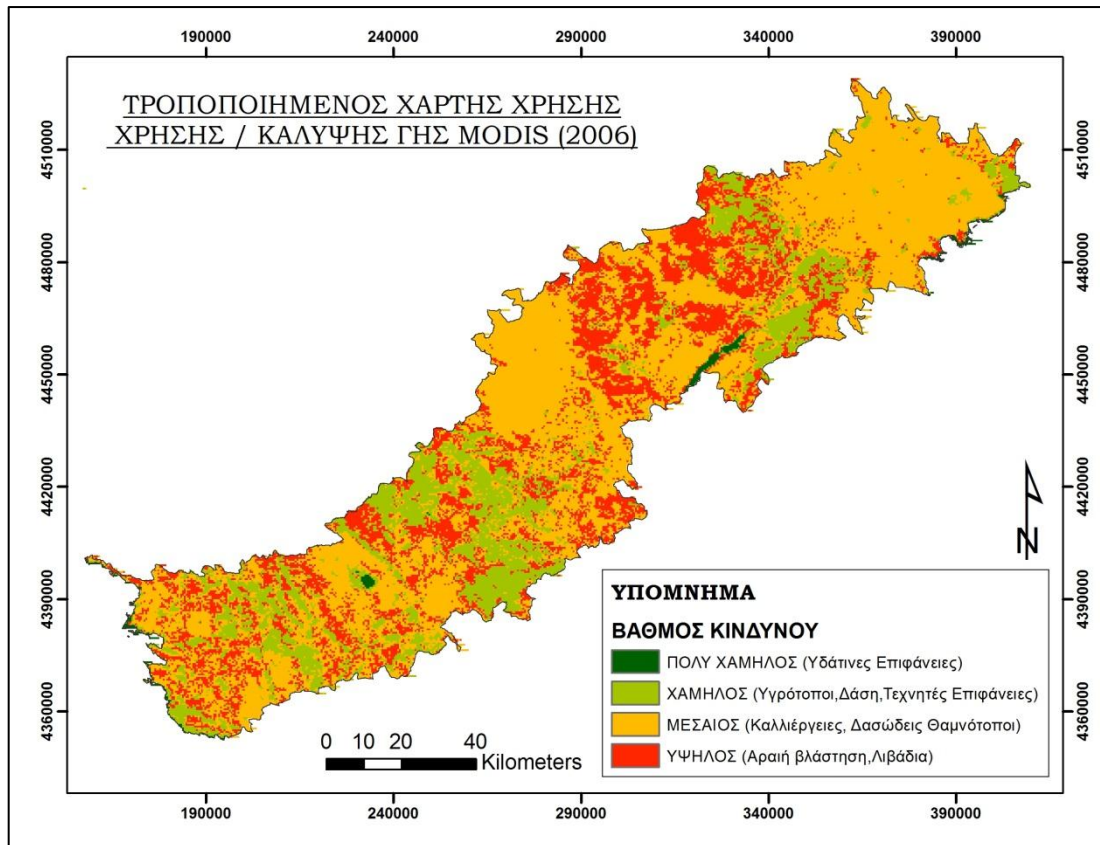
Εικόνα 42: Τροποποιημένος χάρτης χρήσης / κάλυψης γης (πηγή δεδομένων Corine 2000).

4.6.8. Δεδομένα Χρήσης / Κάλυψης Γης MODIS

Τα δεδομένα Χρήσης/ Κάλυψης Γης από τον MODIS χρησιμοποιήθηκαν στην δυναμική μορφή του μοντέλου επικινδυνότητας παγετού και πάγου. Είναι διαθέσιμα κάθε έτος. Λαμβάνοντας υπόψη την προστατευτική επίδραση ως προς τον κίνδυνο παγετού που χαρακτηρίζει τις υδάτινες επιφάνειες, τις δασικές εκτάσεις και τις περιοχές έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας, πραγματοποιήθηκε η επαναταξινόμηση των Χρήσεων / Κάλυψης Γης από τον δορυφόρο MODIS για το έτος 2006.

Πίνακας 16: Κλάσεις επαναταξινόμησης χρήσεων / κάλυψης γης στην περιοχή μελέτης για το έτος 2006 (πηγή δεδομένων MODIS).

ΚΩΔΙΚΟΣ – ΚΑΛΥΨΗ ΓΗΣ MODIS	ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
Κωδ. 0 (Νερό)	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΟΣ
Κωδ. 1-5 (Δασικές εκτάσεις) Κωδ. 11 (Υγρότοποι) Κωδ. 13 (Αστικές περιοχές)	ΧΑΜΗΛΟΣ
Κωδ. 12 (Καλλιεργούμενες εκτάσεις) Κωδ. 8 (Δασώδεις Σαβάνες)	ΜΕΣΑΙΟΣ
Κωδ. 10, 14, 16 (Γυμνό έδαφος, Αραιή βλάστηση, Λιβάδια) Κωδ. 6, 7, 9 (Ανάμεικτη θαμνώδης βλάστηση)	ΥΨΗΛΟΣ



Εικόνα 43: Τροποποιημένος Χάρτης Χρήσης / Κάλυψης Γης έτους 2006 (πηγή δεδομένων Modis).

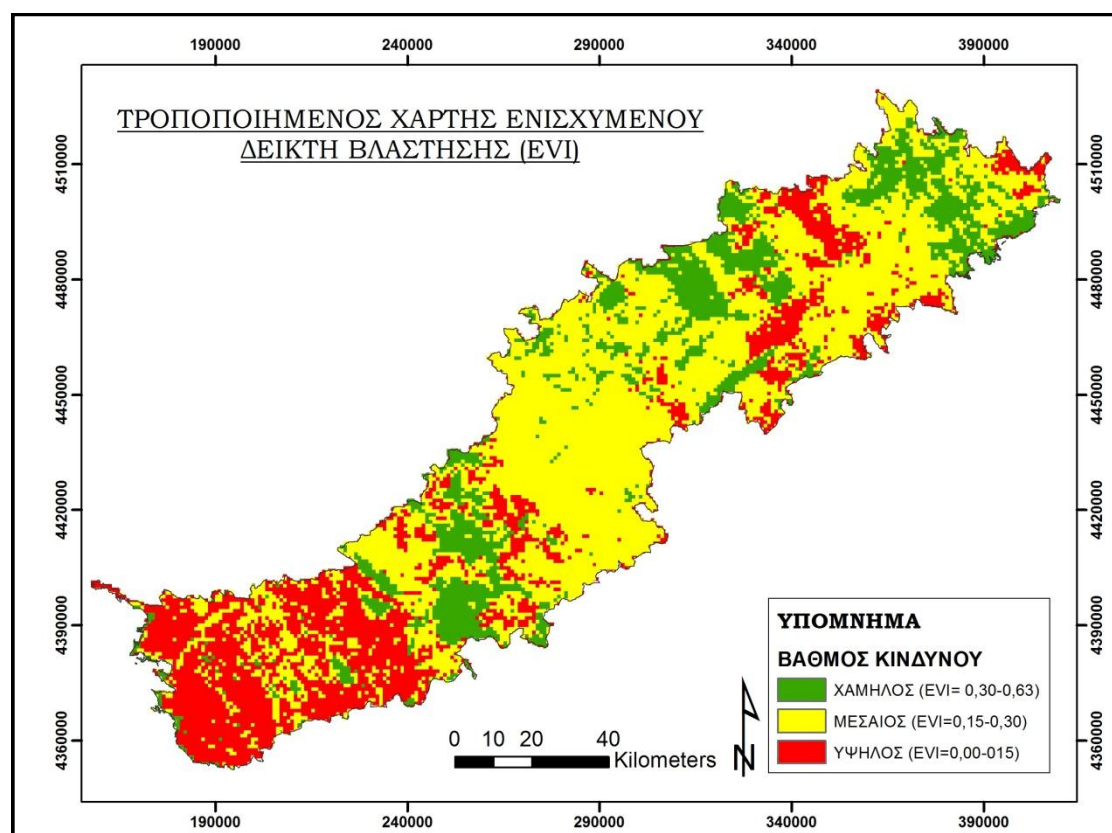
4.6.9. Δεδομένα Ενισχυμένου Δείκτη Βλάστησης

Υψηλότερες τιμές του Ενισχυμένου Δείκτη Βλάστησης αντιστοιχούν σε πιο υγιή, πυκνή και ζωηρή βλάστηση (βλ. Κεφ. 2.5.5). Η πυκνή βλάστηση αποτελεί παράγοντα προστασίας από τον κίνδυνο παγετού, οπότε το αρχείο Δείκτη EVI επαναταξινομήθηκε ως ακολούθως.

Πίνακας 17: Κλάσεις επαναταξινόμησης Ενισχυμένου Δείκτη Βλάστησης στην περιοχή μελέτης για την περίοδο 26/2-13/3/2006 (πηγή δεδομένων MODIS).

ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (EVI)	ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
EVI < 0,15 (γυμνό έδαφος/ αραιή βλάστηση)	ΥΨΗΛΟΣ
EVI: 0,15-0,3 (βλάστηση μεσαίας πυκνότητας)	ΜΕΣΑΙΟΣ
EVI > 0,3 (σχετικά πυκνή/ πυκνή βλάστηση)	ΧΑΜΗΛΟΣ

Δημιουργήθηκε ο ακόλουθος χάρτης.



Εικόνα 44: Τροποποιημένος χάρτης ενισχυμένου δείκτη βλάστησης στην περιοχή μελέτης για την περίοδο 26/2-13/3 του 2006 (πηγή δεδομένων MODIS).

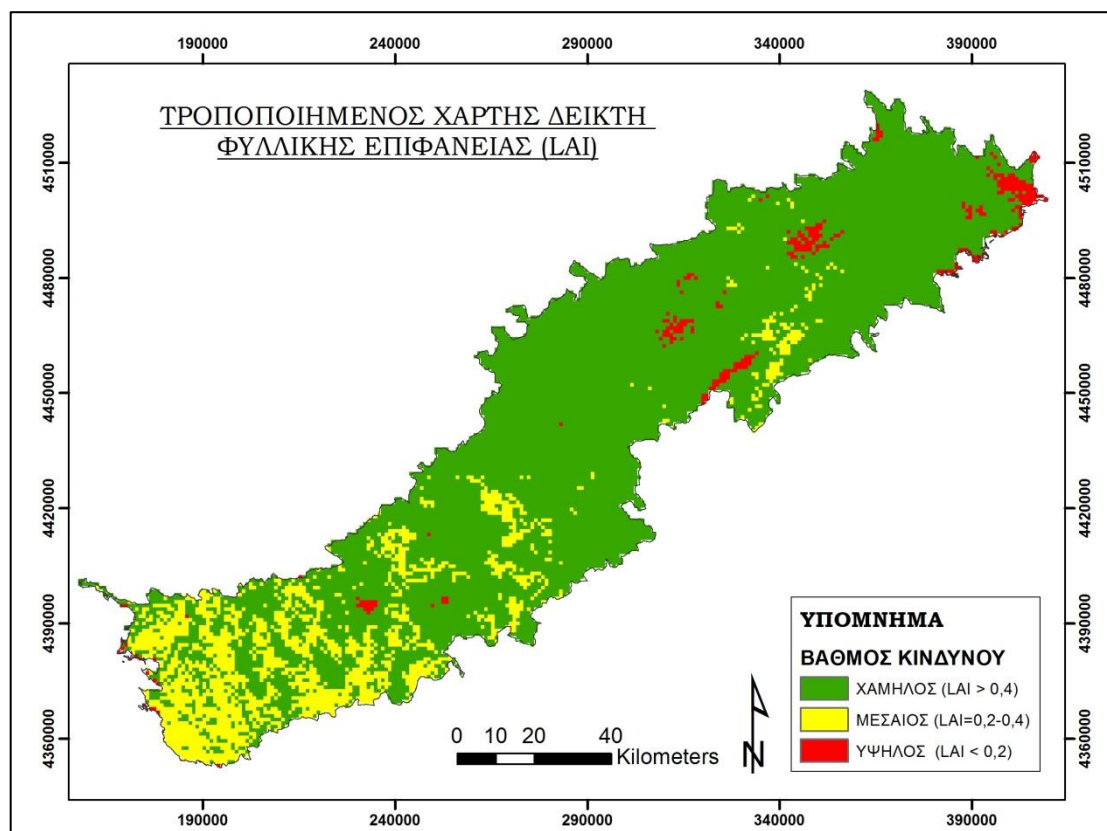
4.6.10. Δεδομένα Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας

Αντίστοιχα, επαναταξινομήθηκαν και τα πλεγματικά αρχεία δείκτη κατανομής Φυλλικής Επιφάνειας MODIS (LAI).

Πίνακας 18: Κλάσεις επαναταξινόμησης Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας στην περιοχή μελέτης για την περίοδο 26/2-05/3/2006 (πηγή MODIS).

ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΥΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
LAI < 0,2 (γυμνό έδαφος/ αραιή βλάστηση)	ΥΨΗΛΟΣ
LAI: 0,2-0,4 (βλάστηση μεσαίας πυκνότητας)	ΜΕΣΑΙΟΣ
LAI > 0,4 (σχετικά πυκνή/ πυκνή βλάστηση)	ΧΑΜΗΛΟΣ

Με βάση τον πίνακα παράχθηκε ο ακόλουθος χάρτης.

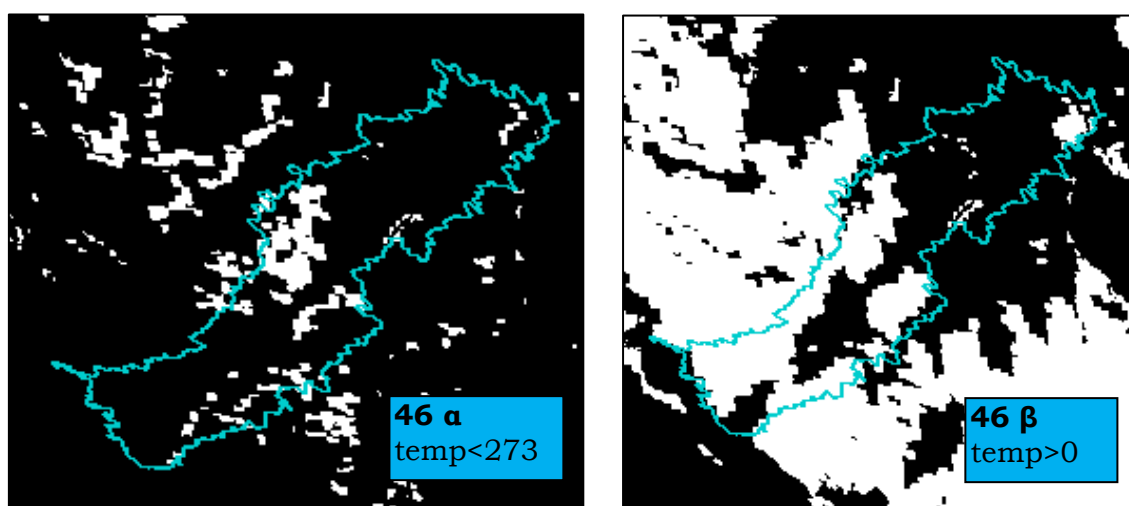


Εικόνα 45: Τροποποιημένος χάρτης δείκτη φυλλικής επιφάνειας στην περιοχή μελέτης για την περίοδο 26/2-05/3/2006 (πηγή MODIS).

4.6.11. Δεδομένα Επιφανειακής Θερμοκρασίας – Χάρτης Συχνότητας Παγετού

Για την αποτύπωση της συχνότητας παγετού στην περιοχή μελέτης δημιουργήθηκε μία χρονοσειρά δεδομένων Επιφανειακής Θερμοκρασίας από τον MODIS (MOD11A1) για το διάστημα από 1 Δεκεμβρίου έως 10 Μαΐου για 4 αντιπροσωπευτικά έτη των 7 ετών που υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από τον δέκτη Aqua. Συγκεκριμένα επιλέγησαν τα έτη 2004 (μέγιστος αριθμός συμβάντων), 2010 (ελάχιστος αριθμός συμβάντων) και τα έτη 2004 και 2006 (πιο κοντά στον μέσο όρο αριθμού συμβάντων παγετού ανά καλλιεργητική περίοδο). Η επεξεργασία των δεδομένων καταγραφών συμβάντων παγετού από τον ΕΛ.Γ.Α. περιγράφεται πιο αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.3.

Στη συνέχεια σε κάθε εικόνα πραγματοποιήθηκαν δύο διαφορετικές επεξεργασίες μέσω της εντολής Band Math. Η πρώτη έγινε με στόχο να διαχωριστούν οι περιοχές όπου έχει καταγραφεί επιφανειακή θερμοκρασία κάτω των 0°C και άρα παγετός. Πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή του Band Math “temp > 273” όπου temp είναι το επίπεδο πληροφορίας της νυχτερινής θερμοκρασίας και το 273 είναι βαθμοί Kelvin που αντιστοιχεί στους 0°C. Η δεύτερη επεξεργασία είχε στόχο να διαχωριστούν τα εικονοστοιχεία που έχουν πληροφορία θερμοκρασίας, από αυτά που δεν έχουν καταγραφή θερμοκρασίας λόγω νεφοκάλυψης ή άλλης αιτίας. Έγινε με την εφαρμογή του Band Math “temp>0” όπου temp είναι το επίπεδο πληροφορίας της νυχτερινής θερμοκρασίας και το 0 είναι βαθμοί Kelvin που αντιστοιχεί στους -273°C.



Εικόνες 46α-β: Επεξεργασία εικόνων επιφανειακής θερμοκρασίας MODIS στο *Ενvi 4.7*.

Οι εικόνες που παράχθηκαν περιείχαν αρχεία όπου τα εικονοστοιχεία είχαν τιμή 0 ή 1. Στις εικόνες που δημιουργήθηκαν κατά τη πρώτη φάση επεξεργασίας, όπου τα εικονοστοιχεία είχαν τιμή «1» είχε καταγραφεί θερμοκρασία παγετού και όπου είχαν τιμή «0» η επιφανειακή θερμοκρασία ήταν άνω των 0°C. Στις εικόνες που παρήχθησαν κατά την δεύτερη επεξεργασία, όπου τα εικονοστοιχεία είχαν τιμή «1» υπήρχε καταγραφή επιφανειακής θερμοκρασίας και όπου είχαν τιμή «0» δεν υπήρχε πληροφορία θερμοκρασίας.

Οι εικόνες που δημιουργήθηκαν με την κάθε επεξεργασία αποθηκεύτηκαν χωριστά και ενοποιήθηκαν σε ένα αρχείο για κάθε διαδικασία. Η πολυεπίπεδη συνένωση των δεδομένων έγινε ώστε να γίνουν πιο εύκολα οι μετέπειτα επεξεργασίες και πραγματοποιήθηκε με την επιλογή Layer Stacking. Οι εικόνες που συνέθεταν την κάθε πολυεπίπεδη εικόνα αθροίστηκαν σε μία εικόνα με την εντολή Sum Data Bands.

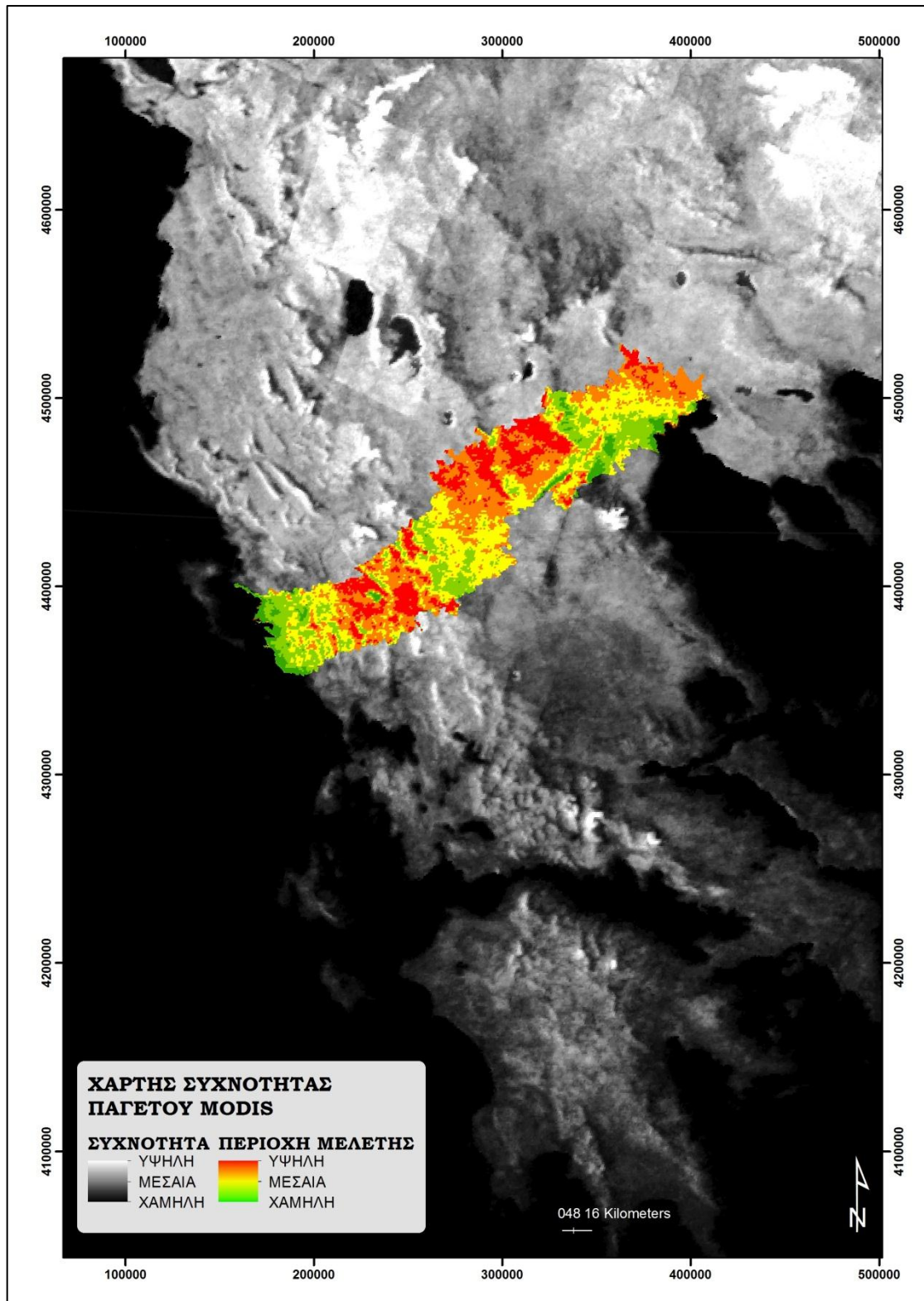
Οι δύο εικόνες που δημιουργήθηκαν με την παραπάνω διαδικασία διαιρέθηκαν η μία με την άλλη. Δηλαδή διαιρέθηκε η εικόνα καταγραφής συχνότητας παγετού δια της εικόνας καταγραφής πληροφορίας επιφανειακής θερμοκρασίας.

Το τελικό αποτέλεσμα ήταν ο χάρτης συχνότητας παγετού που αποτυπώνει την συχνότητα καταγραφής παγετού ως προς τη συχνότητα καταγραφής πληροφορίας θερμοκρασίας επιφανείας.

Το τελικό αποτέλεσμα προέκυψε έπειτα από αποκοπή της περιοχής μελέτης με την εντολή Mask, χρησιμοποιώντας σαν περίγραμμα το πολυγωνικό αρχείο που αποτελεί το περίγραμμα της περιοχής. Έτσι δημιουργήθηκε ο χάρτης συχνότητας παγετού για την περιοχή μελέτης λαμβάνοντας υπόψη τα χρονικά διαστήματα από 1 Δεκεμβρίου έως 10 Μαΐου για τα έτη 2004, 2006, 2009, 2010.

Ο χάρτης αυτός χρησιμοποιήθηκε για την επικύρωση των αποτελεσμάτων του στατικού μοντέλου επικινδυνότητας παγετού και πάγου που περιγράφεται στο αντίστοιχο Κεφάλαιο (βλ. Κεφ. 5.2).

Με την ίδια μεθοδολογία παράχθηκε χάρτης συχνότητας παγετού για ένα επιλεγμένο έτος (2006) ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του Δυναμικού Μοντέλου (βλ. Κεφ. 5.3).



Εικόνα 47: Χάρτης συχνότητας παγετού με βάση δεδομένα νυχτερινής επιφανειακής θερμοκρασίας MODIS για το χρονικό διάστημα 1/12 έως 10/5 των ετών 2004, 2006, 2009 και 2010.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. Εισαγωγή

Για τον υπολογισμό και την καρτογράφηση του κινδύνου παγετού και πάγου στην περιοχική μελέτη δημιουργήθηκε ένα πολυπαραγοντικό, ντετερμινιστικό μοντέλο κινδύνου παγετού και πάγου, σε δύο εκδοχές. Ανάλογα με τον βαθμό μεταβλητότητας των δεδομένων εισόδου με το χρόνο, παράχθηκε ένα στατικό μοντέλο και ένα δυναμικό μοντέλο επικινδυνότητας.

Ο σχεδιασμός του μοντέλου κινδύνου βασίστηκε στην μεθοδολογία της υπέρθεσης παραμετρικών χαρτών με τον συνδυασμό επιλεγμένων παραγόντων. Στο τελικό αποτέλεσμα ο κάθε παράγοντας συμμετέχει, σύμφωνα με τον επιμέρους συντελεστή βαρύτητάς του.

Η επιλογή των παραγόντων και η βαθμονόμηση του κάθε παράγοντα έγινε λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών πάνω στον βαθμό συσχέτισης του κάθε παράγοντα με το φαινόμενο του παγετού και πάγου (βλ. Κεφ. 2.5). Έτσι, ο μεγαλύτερος συντελεστής επιλέχθηκε για τον παράγοντα που επηρεάζει πιο έντονα το φαινόμενο μελέτης.

Μία ακόμα παράμετρος που λήφθηκε υπόψη κατά την βαθμονόμηση των παραγόντων ήταν η κλίμακα μελέτης της παρούσας εργασίας. Η έκταση της περιοχής μελέτης είναι περίπου 12 τετραγωνικά χιλιόμετρα και σύμφωνα με την κατάταξη κατά Oke (1987) η μελέτη μίας περιοχής αντίστοιχης έκτασης χαρακτηρίζεται σαν μεσαίας κλίμακας.

Οι Routeau et al (2011) έπειτα από στατιστική ανάλυση της διακύμανσης των τοπογραφικών παραγόντων μίας περιοχής σε σχέση με την συχνότητα παγετού σε αυτήν κατέληξαν ότι η επίδραση του κάθε παράγοντα διαφέρει ανάλογα με την κλίμακα μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, σε τοπικής κλίμακας μελέτες οι αναλύσεις τους έδειξαν ότι πολύ σημαντικοί παράγοντες ήταν η προσλαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία και ο προσανατολισμός, η κλίση των πρανών, η καμπυλότητα του ανάγλυφου και η χρήση και κάλυψη γης. Σε μεσαίας και μεγάλης κλίμακας μελέτες, κυρίαρχη ήταν η επίδραση του υψομέτρου και της απόστασης από υδάτινες επιφάνειες.

Λαμβάνοντας υπόψη την κλίμακα μελέτης, τα αποτελέσματα της μελέτης των Routeau et al (2011) και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής ενδιαφέροντος δημιουργήθηκαν διαφορετικοί συνδυασμοί παραγόντων παγετού και πάγου και με διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας. Τα αποτελέσματα του κάθε συνδυασμού παραγόντων αξιολογήθηκε σε σύγκριση με τον αντίστοιχο χάρτη συχνότητας παγετού από δορυφορικά δεδομένα.

Με αυτή τη διαδικασία, επιλέχθηκε ο βέλτιστος συνδυασμός παραγόντων για το στατικό και για το δυναμικό μοντέλο, οι οποίοι θα αναλυθούν στα αντίστοιχα κεφάλαια.

Το αποτέλεσμα του κάθε μοντέλου ήταν ένας χάρτης επιδεκτικότητας στον κίνδυνο επικράτησης παγετού και σχηματισμού πάγου για την περιοχή μελέτης, ο οποίος την διαχωρίζει σε 5 ζώνες επικινδυνότητας.

Για την επιλογή των ορίων των τιμών της κάθε κατηγορίας επικινδυνότητας, χρησιμοποιήθηκε η στατιστική επεξεργασία των Natural Jenks και οι τελικές τιμές επιλέχθηκαν έπειτα από στρογγυλοποίηση, όπως και κατά την επαναταξινόμηση των επιπέδων πληροφορίας παραγόντων παγετού και πάγου.

5.2. Στατικό Μοντέλο Κινδύνου Πάγου και Παγετού

Για την μελέτη του κινδύνου του παγετού και πάγου στην περιοχή ενδιαφέροντος αρχικά δημιουργήθηκε ένα στατικό μοντέλο που λαμβάνει υπόψη του παράγοντες μη μεταβλητούς σε σχέση με το χρόνο.

Αυτοί περιλαμβάνουν το υψόμετρο (elevation), τον προσανατολισμό (aspect) και την κλίση των πρανών εκφρασμένη σε μοίρες (slope), την καμπυλότητα του ανάγλυφου (curvature), τον σύνθετο τοπογραφικό δείκτη (CTI), την απόσταση από τις υδάτινες επιφάνειες (dist.water) και την καταγραφή κάλυψης/ χρήσεων γης από το Corine (land use).

Όλοι οι παραπάνω παράμετροι έχουν χαρακτηριστεί σαν σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την πιθανότητα παγετού και σχηματισμού πάγου σε μία περιοχή.

Το αρχικό επίπεδο δεδομένων κάθε παράγοντα, πλεγματικής μορφής, επαναταξινομήθηκε σε κατηγορίες που αντανακλούν τη συσχέτισή του παράγοντα με τον κίνδυνο του παγετού. Τα νέα επίπεδα πληροφορίας δημιουργήθηκαν με την εντολή Reclassify του Spatial Analyst του ArcGIS.

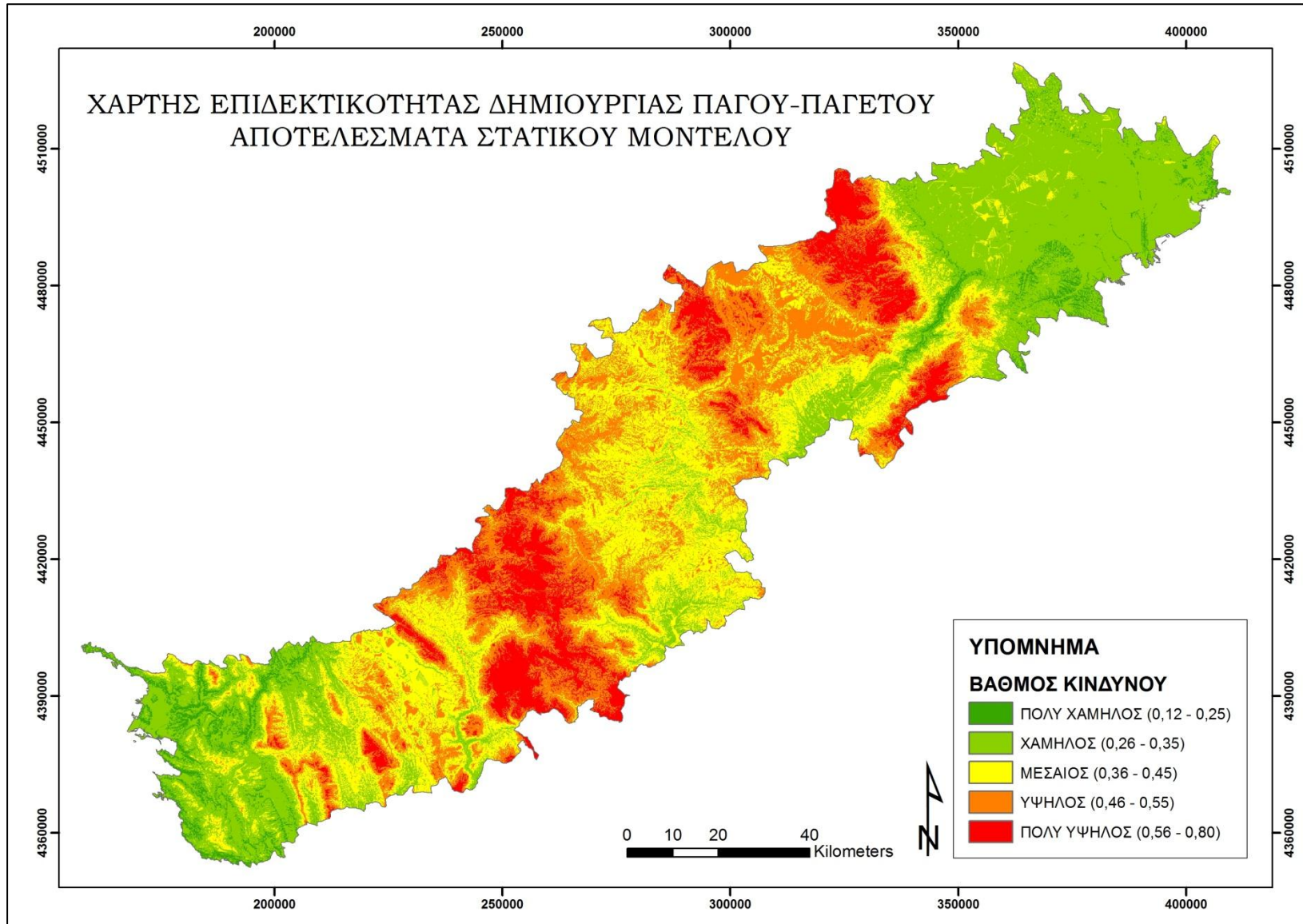
Έπειτα από δοκιμές διαφορετικών συνδυασμών συντελεστών, η συσχέτιση των παραγόντων που επιλέχθηκε σαν πιο αντιπροσωπευτική για την περιοχή μελέτης είναι η ακόλουθη:

$$(0,30*elevation+0,10*aspect+0,10*slope+0,15*CTI+0,15*dist.water +0,1*curvature+0,10*land use)/5,45$$

(Εξίσωση 4)

Ο χάρτης επιδεκτικότητας παγετού και πάγου συντέθηκε αθροίζοντας τα επαναταξινομημένα πλεγματικά αρχεία που αντιστοιχούν στους συντελεστές κινδύνου με τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας. Η επεξεργασία έγινε μέσω της εντολής Raster Calculator του ArcGIS. Ακολούθησε η επαναταξινόμηση του αποτελέσματος σε 5 κατηγορίες που αντιστοιχούν σε αντίστοιχους βαθμούς επικινδυνότητας.

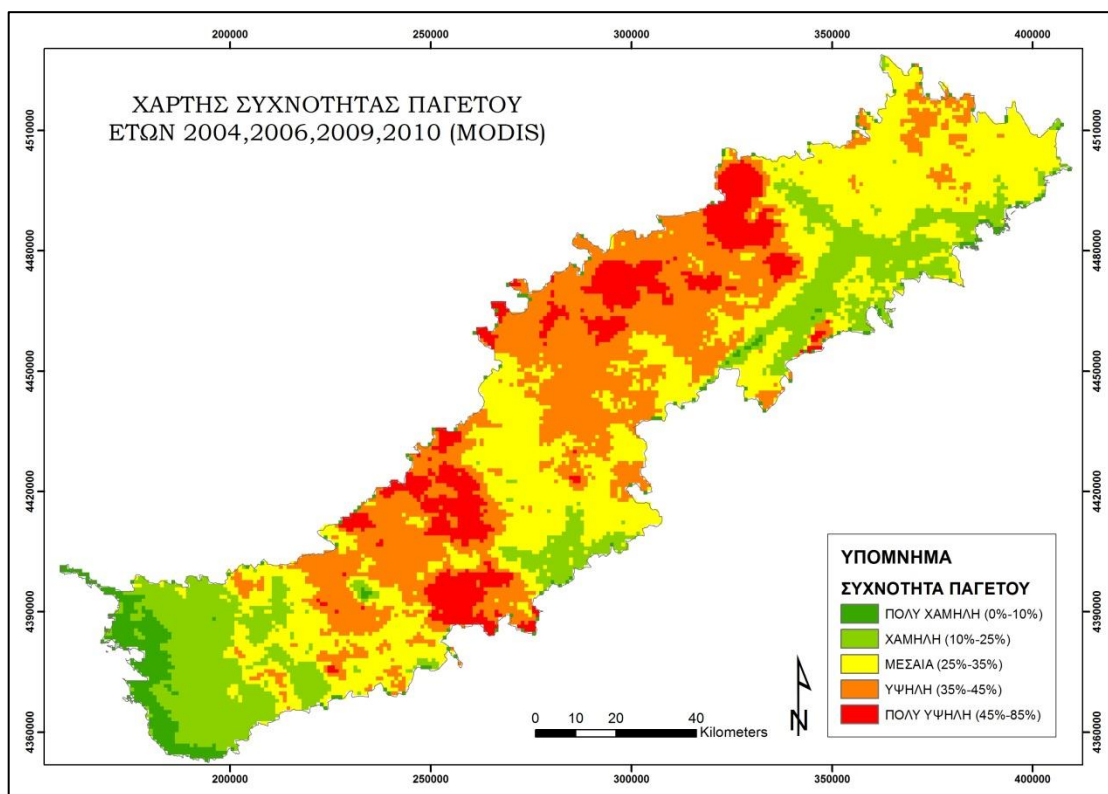
Σύμφωνα με τον ακόλουθο Χάρτη (βλ. Εικ. 48), οι πιο επιδεκτικές περιοχές σε επικράτηση πάγου και παγετού παρατηρούνται στα κεντρικά τμήματα της περιοχής μελέτης και ιδίως στα πιο ορεινά, ενώ μικρότερες πιθανότητες υπάρχουν στα νότια και ανατολικά τμήματα.



Εικόνα 48: Χάρτης επιδεκτικότητας δημιουργίας πάγου και παγετού στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με τα αποτελέσματα του στατικού μοντέλου.

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

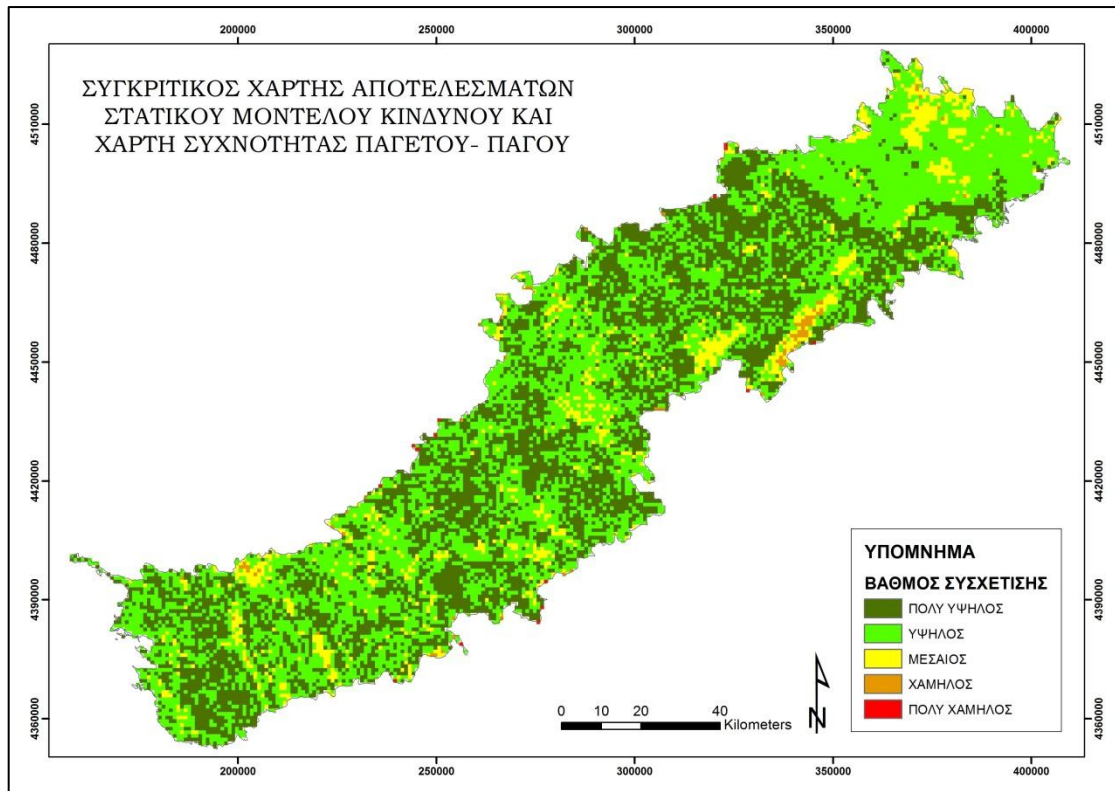
Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του στατικού μοντέλου παγετού και πάγου χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης συχνότητας παγετού που έχει δημιουργηθεί από τα δορυφορικά δεδομένα θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους.



Εικόνα 49: Χάρτης συχνότητας παγετού με βάση νυχτερινή επιφανειακή θερμοκρασία για το διάστημα 1/12-10/5 των ετών 2004, 2006, 2009 και 2010 (πηγή δεδομένων: MODIS).

Αρχικά, μελετήθηκε η συσχέτιση των αποτελεσμάτων του στατικού μοντέλου κινδύνου όπως αυτά έχουν κατηγοριοποιηθεί σε 5 ζώνες με τα αποτελέσματα του χάρτη συχνότητας παγετού που δημιουργήθηκε από θερμοκρασιακά δορυφορικά δεδομένα MODIS για τα έτη 2004, 2006, 2009 και 2010.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε ένας νέος χάρτης που παρουσιάζει τον βαθμό συσχέτισης των δύο απεικονίσεων κατηγοριοποιημένο σε 5 τάξεις. Ο βαθμός ταύτισης είναι πολύ υψηλός ή υψηλός. Κάποιες διάσπαρτες περιοχές, όπως και μία ζώνη βορειοδυτικά έχουν χαμηλό βαθμό συσχέτισης.



Εικόνα 50: Συγκριτικός χάρτης αποτελεσμάτων στατικού μοντέλου παγετού και πάγου και χάρτη συχνότητας παγετού.

Με ανάλυση του παραπάνω χάρτη, προκύπτει ότι οι προβλέψεις του μοντέλου έχουν πολύ καλή ή καλή σύμπτωση με τον Χάρτη Συχνότητας Παγετού από δορυφορικά δεδομένα, σε ποσοστό 40,43% και 91,12% αντίστοιχα, όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 19.

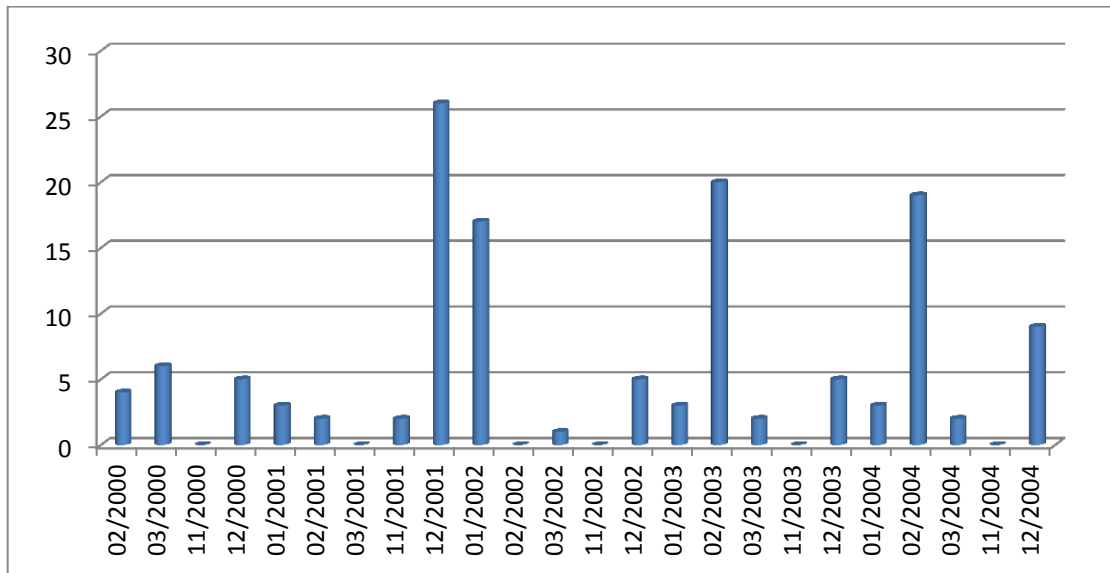
Πίνακας 19: Κατηγοριοποίηση συσχέτισης αποτελεσμάτων στατικού μοντέλου παγετού – πάγου με τον χάρτη συχνότητας παγετού από δεδομένα MODIS.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΥΜΠΤΩΣΗΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ
I (άριστη)	40,43 %
II (πολύ καλή)	50,69 %
III (μέτρια)	8,13 %
IV (χαμηλή)	0,65 %
V (καθόλου)	0,11 %

5.3. Δυναμικό Μοντέλο Επικινδυνότητας Πάγου και Παγετού

Καθώς η εμφάνιση πάγου και παγετού είναι φαινόμενα ευμετάβλητα ως προς το χρόνο, δημιουργήθηκε μία δυναμική εκδοχή του μοντέλου του κινδύνου όπου συμπεριλήφθηκαν παράγοντες μεταβλητοί ως προς το χρόνο. Στόχος ήταν να παραχθούν πιο έγκυρα και επίκαιρα αποτελέσματα.

Η συχνότητα επικράτησης παγετού για μία τοποθεσία δεν είναι σταθερή και ο αριθμός ημερών παγετού κάθε έτος μπορεί να παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση. Μελετώντας ενδεικτικά τα θερμοκρασιακά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού Κοζάνης, που είναι στην περιοχή μελέτης παρατηρούμε ότι ο αριθμός ημερών ανά μήνα που η μέση θερμοκρασία ήταν κάτω των 0°C για τα έτη 2000-2004 παρουσιάζει την διακύμανση που παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Εικόνα 51: Διάγραμμα αριθμού ημερών ανά μήνα με μέση θερμοκρασία κάτω των 0°C στον μετεωρολογικό σταθμό Κοζάνης για τα έτη 2000-2004.

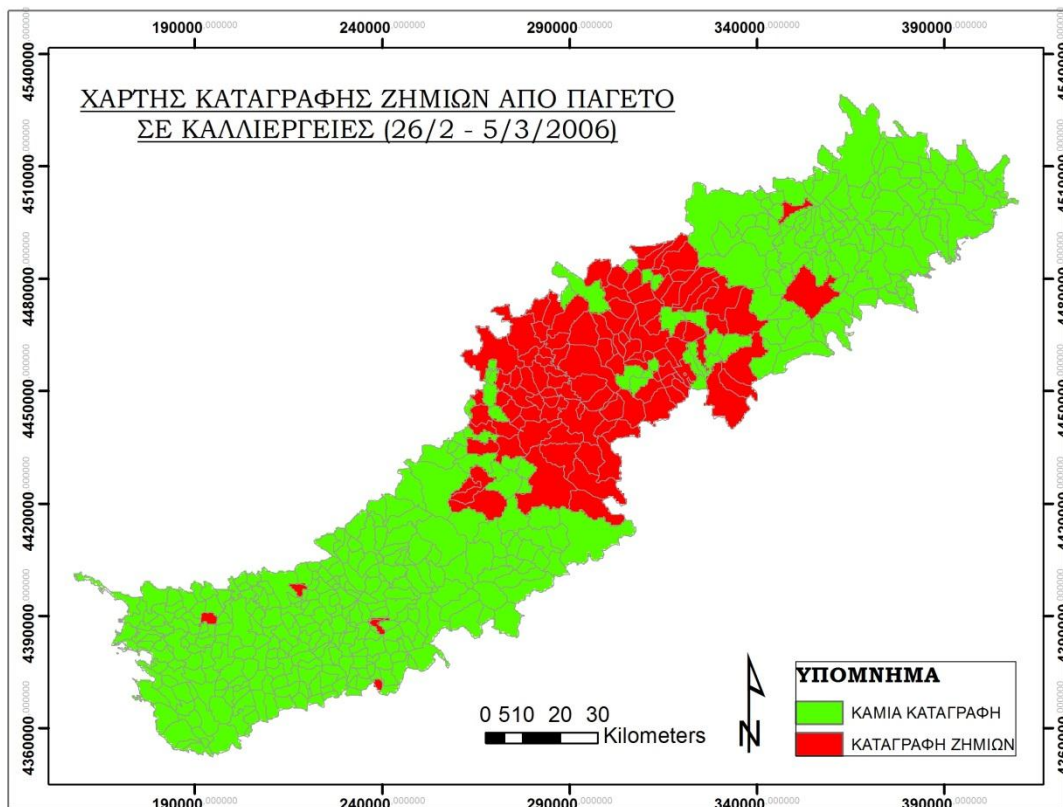
Οι παράγοντες που προσέθηκαν στο μοντέλο κινδύνου αφορούν στην επίδραση της χρήσης / κάλυψης γης και της βλάστησης στην συχνότητα παγετού και πάγου. Κριτήριο επιλογής αποτέλεσε επίσης η διαθεσιμότητα δεδομένων σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Πιο αναλυτικά, η δυναμική εκδοχή του μοντέλου επικινδυνότητας παγετού και πάγου περιλαμβάνει όλους τους παράγοντες που συμπεριλήφθηκαν στο στατικό μοντέλο, που περιγράφηκε παραπάνω και επιπλέον τους παράγοντες:

- Χρήση / Κάλυψη Γης MODIS (Land Use Modis)
- Ενισχυμένος Δείκτη Βλάστησης (EVI Modis)
- Δείκτης Φυλλικής επιφάνειας (LAI Modis)

Ο μοναδικός παράγοντας του στατικού μοντέλου που δεν χρησιμοποιήθηκε στο δυναμικό μοντέλο είναι η καταγραφή Χρήσεων / Κάλυψης Γης από το Corine η οποία αντικαταστάθηκε από τα αντίστοιχα δεδομένα MODIS.

Το μοντέλο εφαρμόστηκε για το χρονικό διάστημα 26 Φεβρουαρίου έως 5 Μαρτίου 2006 κατά το οποίο είχαν καταγραφεί σημαντικές και εκτεταμένες ζημιές από παγετό σε καλλιέργειες από τον ΕΛ.Γ.Α. Από τα 514 δημοτικά διαμερίσματα που απαρτίζουν την περιοχική μελέτης, καταγραφήκαν ζημιές σε 108. Η έκταση των καταγεγραμμένων ζημιών παρουσιάζεται στον ακόλουθο χάρτη.



Εικόνα 52: Χάρτης καταγραφής ζημιών από παγετό από τον ΕΛ.Γ.Α. στην περιοχική μελέτης, για το χρονικό διάστημα 26.02 – 06.03 του 2006.

Ο επιλεγμένος συνδυασμός των παραγόντων με τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητάς τους είναι ο ακόλουθος:

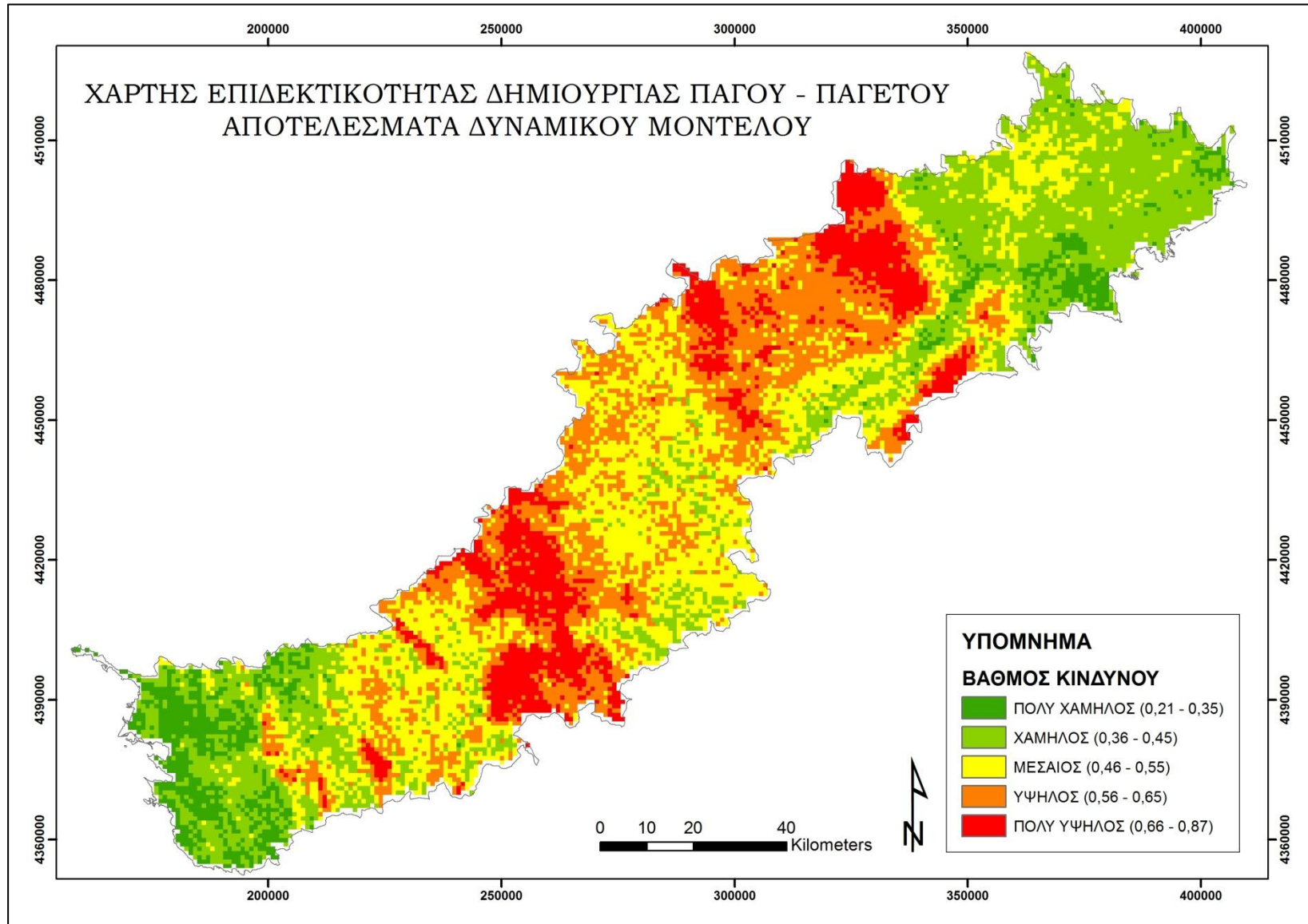
$$(0.255*{\it elevation}+0.084*{\it aspect}+0.084*{\it slope}+0.13*{\it CTI}+0.13*{\it dist.water}+0.085*{\it curvature}+0.082*{\it Land.Use.Modis}+0.082*{\it EVI Modis}+0.082*{\it LAI Modis})/5.13$$

(Εξίσωση 5)

Ο νέος χάρτης επιδεκτικότητας δημιουργίας πάγου και παγετού, του οποίου η σύνθεση έγινε με μεθοδολογία αντίστοιχη με αυτή του στατικού μοντέλου, παρουσιάζεται ακολούθως.

Οι περιοχές που κατατάσσονται σε ζώνη υψηλού κινδύνου παγετού και πάγου είναι κυρίως στο κεντρικό και κέντρο-δυτικό τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος, που αντιστοιχούν σε μεγάλο βαθμό με τα αποτελέσματα του στατικού μοντέλου κινδύνου. Είναι επίσης οι περιοχές όπου καταγράφηκαν οι περισσότερες ζημιές από παγετό σε καλλιέργειες από τον ΕΛ.Γ.Α.

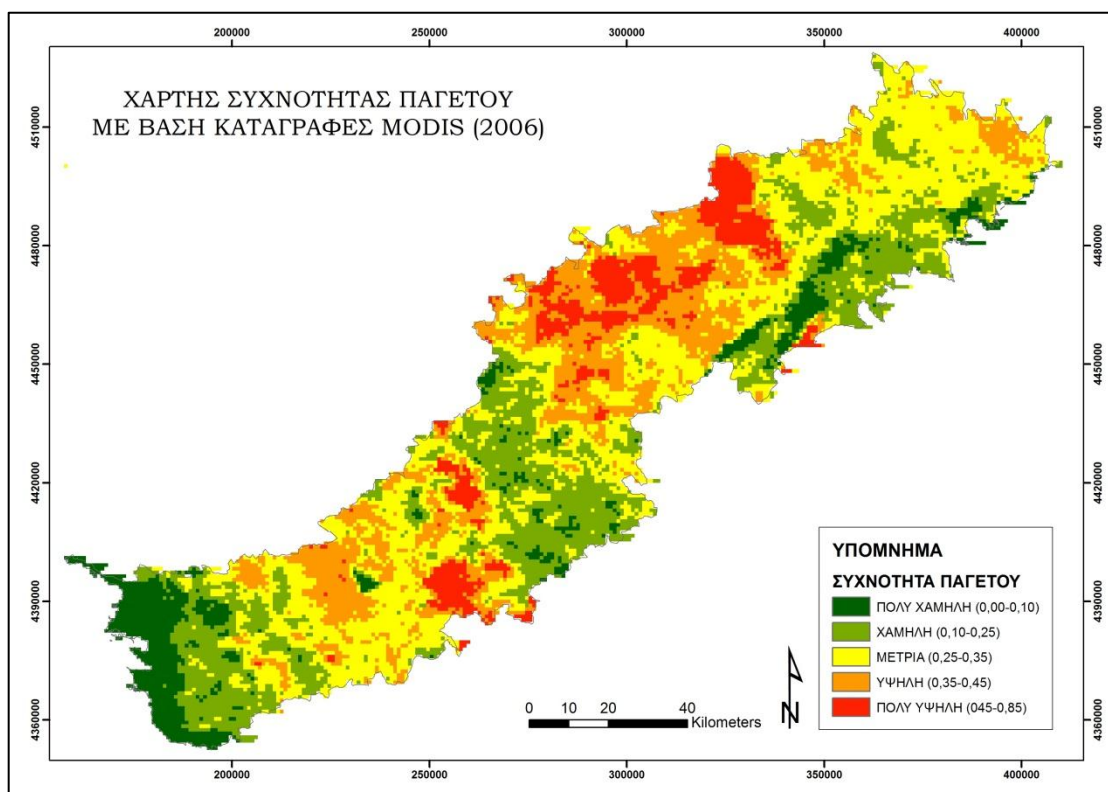
Παρατηρούμε επίσης μία περιοχή στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης ότι κατηγοριοποιείται σαν ζώνη μεσαίου κινδύνου. Αντίθετα την ίδια περιοχή το στατικό μοντέλο την είχε εντάξει στις ζώνες χαμηλού κινδύνου.



Εικόνα 53: Χάρτης επιδεκτικότητας δημιουργίας πάγου και παγετού στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δυναμικού μοντέλου για την περίοδο 26.2 - 06.03 του 2006.

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

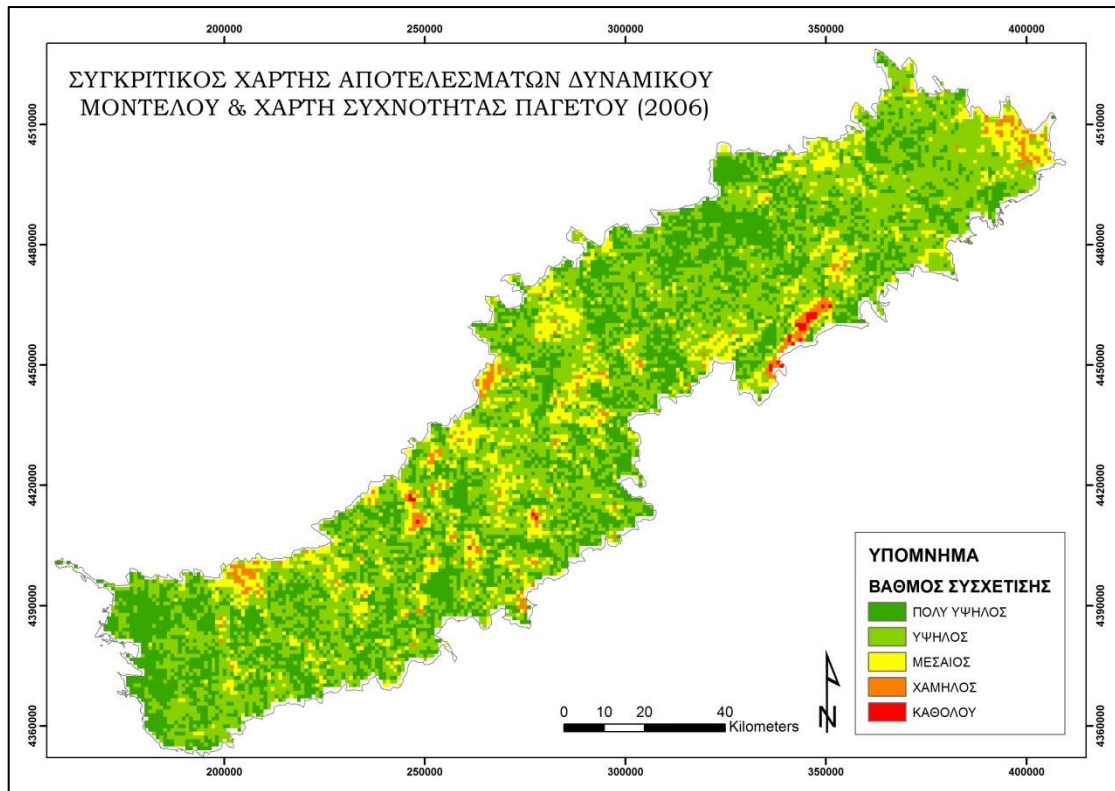
Τα αποτελέσματα του δυναμικού μοντέλου κινδύνου αξιολογήθηκαν σε σχέση με τον χάρτη συχνότητας παγετού που δημιουργήθηκε για το χρονικό διάστημα 01.12.2005-10.05.2006 από δορυφορικά δεδομένα θερμοκρασίας επιφανείας εδάφους.



Εικόνα 54: Χάρτης συχνότητας παγετού με βάση καταγραφές MODIS για το χρονικό διάστημα 1/12/2005- 10/5/2006.

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου κινδύνου και τον χάρτη συχνότητας παγετού προέκυψε ένας νέος χάρτης στον οποίο αποτυπώνεται ο βαθμός συσχέτισης των δύο αρχείων.

Στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης ο βαθμός συσχέτισης είναι υψηλός ή πολύ υψηλός. Σε μία περιοχή βορειοδυτικά υπάρχει πολύ χαμηλός βαθμός συσχέτισης όπως και σε μικρές περιοχές διάσπαρτα και περιφερειακά της περιοχής ενδιαφέροντος.



Εικόνα 55: Συγκριτικός χάρτης αποτελεσμάτων Δυναμικού Μοντέλου Παγετού και Πάγου και Χάρτη Συχνότητας Παγετού.

Όπως παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα, οι προβλέψεις του δυναμικού μοντέλου έχουν πολύ καλή ή καλή ταύτιση με τον χάρτη συχνότητας παγετού σε ποσοστό 38,78 και 81,83 % αντίστοιχα.

Πίνακας 20: Κατηγοριοποίηση συσχέτισης αποτελεσμάτων Δυναμικού Μοντέλου Παγετού- Πάγου και Χάρτη Συχνότητας Παγετού.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΥΜΠΤΩΣΗΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ
I (άριστη)	38,78 %
II (πολύ καλή)	43,15 %
III (μέτρια)	14,95 %
IV (καμηλή)	2,64 %
V (καθόλου)	0,48 %

5.4. Εφαρμογή Στο Οδικό Δίκτυο

Το στατικό μοντέλο επικινδυνότητας παγετού και πάγου εφαρμόστηκε στο οδικό δίκτυο και πιο συγκεκριμένα στην Εγνατία Οδό που αποτελεί τον βασικό οδικό άξονα της περιοχής μελέτης. Δημιουργήθηκε ο χάρτης που παρουσιάζει την κατηγοριοποίηση της οδού σε ζώνες επικινδυνότητας παγετού και πάγου.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον χάρτη επικινδυνότητας που ακολουθεί, όπου παρατηρούμε ότι η Εγνατία Οδός κατατάσσεται κατά κύριο λόγο σαν χαμηλού ή μέτριου κινδύνου ως προς την επικράτηση παγετού και πάγου.

Το τμήμα της Εγνατίας Οδού που εντάσσεται στην ζώνη πολύ υψηλού κινδύνου έχει μήκος περίπου 4,35 km και είναι το κομμάτι που αρχίζει από τον κόμβο Περιστερίου, διασχίζει τον κόμβο Παναγιάς και φτάνει ως τον κόμβο Αγίας Παρασκευής.

Πίνακας 21: Κατηγοριοποίηση Εγνατίας Οδού που διασχίζει την περιοχή μελέτης, ανάλογα του βαθμό κινδύνου σε παγετό και πάγο.

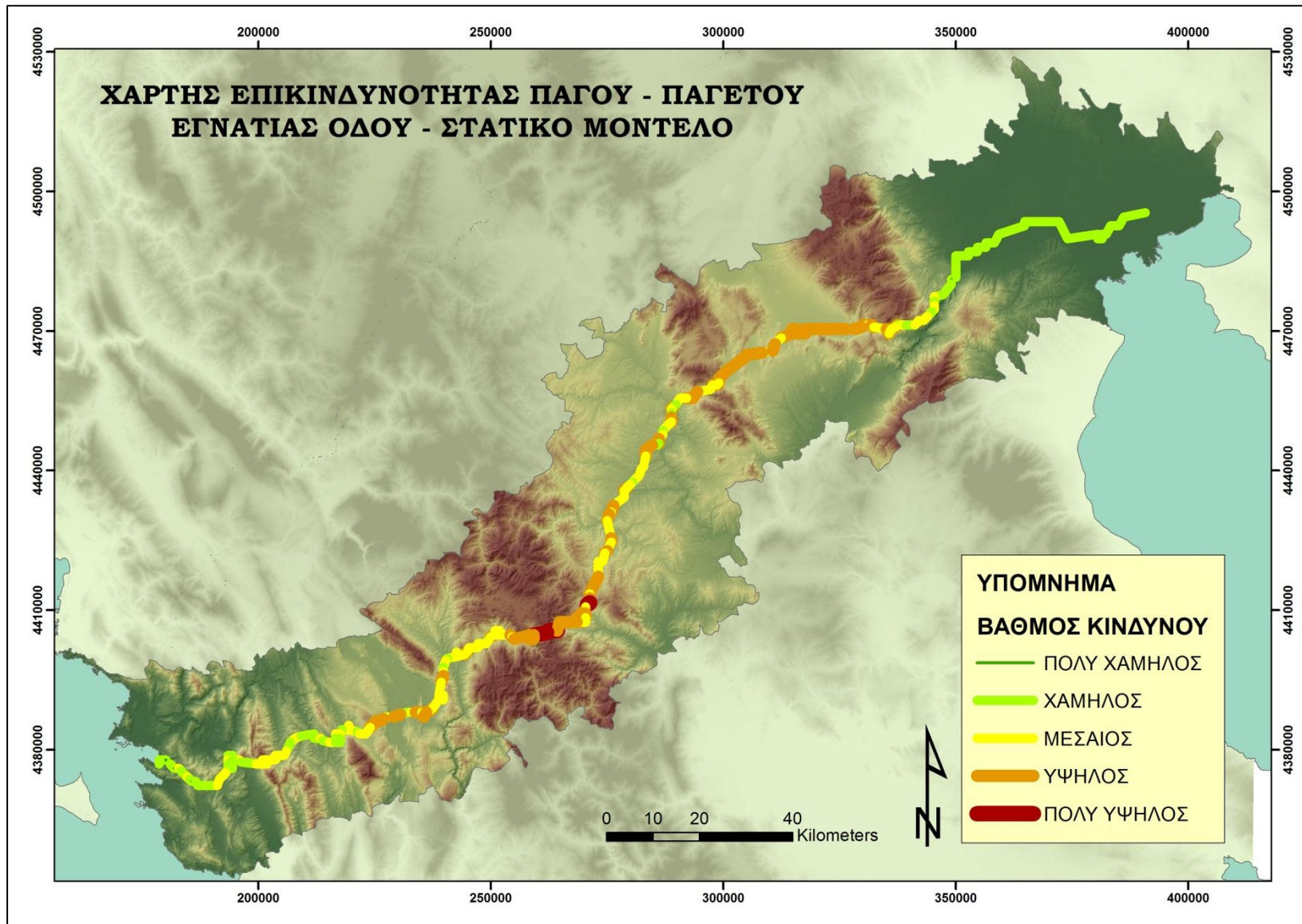
ΒΑΘΜΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	ΜΗΚΟΣ ΟΔΟΥ (km)
ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΟΣ	5,77 km (1,91 %)
ΧΑΜΗΛΟΣ	102,65 km (40,52 %)
ΜΕΣΑΙΟΣ	112,77 km (44,51 %)
ΥΨΗΛΟΣ	76,63 km (25,36%)
ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΟΣ	4,35 km (0,83%)

Οι ζώνες υψηλού κινδύνου έχουν συνολικό μήκος 76,63 km και βρίσκονται κυρίως στο ορεινό - κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης και περιλαμβάνουν τα ακόλουθα κομμάτια της οδού (με κατεύθυνση από κόμβο Ηγουμενίτσας προς κόμβο Μαλαγάρων):

- Το τμήμα της οδού που ξεκινά περίπου 4,8 km πριν τον κόμβο Πεδινής, διασχίζει τον κόμβο Ιωαννίνων και φτάνει ως και 2,4 km μετά τον κόμβο Παμβώτιδας.
- Το τμήμα μεταξύ των κόμβων Περιστερίου και Μετσόβου.
- Το τμήμα που εκτείνεται 4 km δυτικά από τον κόμβο Βενετικού.

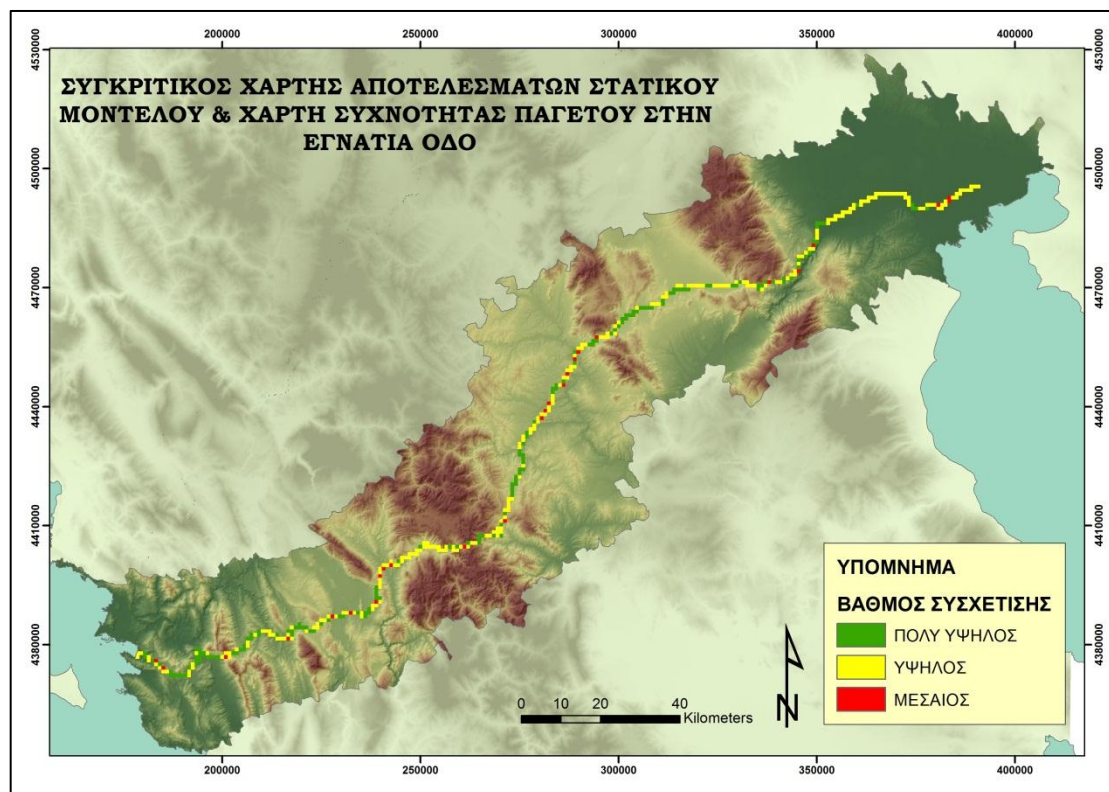
- Το κομμάτι της οδού που εκτείνεται από τον κόμβο Γρεβενών ως και 5 km μετά.
- Το μήκος της οδού ανάμεσα στους κόμβους Αν. Σιάτιστας και Πολυμύλου (περιλαμβάνονται οι ενδιάμεσοι κόμβοι Καλαμιάς, Κοζάνης και Κοίλων).

Οι κύριες περιοχές υψηλού κινδύνου που υπέδειξε το μοντέλο επικινδυνότητας εντάσσονται σε μεγάλο βαθμό στα τμήματα της Εγνατίας Οδού όπου σύμφωνα με τον Τσιγγανά (2012) υπάρχει πρόβλεψη για έργα προστασίας από χιονοπτώσεις και χιονοθύελλες. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει σχεδιασμός για την τοποθέτηση ειδικών χιονοφρακτών που θα αποτρέψουν τη συσσώρευση χιονιού στο οδόστρωμα, η οποία προκαλεί μείωση της ορατότητας, ολισθηρότητα και παρεμπόδιση της κυκλοφορίας. Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν ένα τμήμα 12 km μεταξύ των κόμβων Κοίλων και Καλαμιάς Κοζάνης, καθώς και αυτό που διασχίζει το οροπέδιο της Πτολεμαΐδας. Σε επόμενη στάδιο, προγραμματίζεται η τοποθέτηση χιονοφράκτη σε όλο το μέτωπο του αυτοκινητόδρομου που διασχίζει το λεκανοπέδιο Κοζάνης- Πτολεμαΐδας (Τσιγγανάς, 2012).



Εικόνα 56: Χάρτης επικινδυνότητας Εγνατίας οδού ως προς τον κίνδυνο παγετού και πάγου, με βάση το στατικό μοντέλο.

Τα αποτελέσματα του χάρτη επικινδυνότητας παγετού και πάγου για την Εγνατία Οδό, που προέκυψαν από το στατικό μοντέλο συγκρίθηκαν με τον χάρτη συχνότητας παγετού για την περιοχική μελέτη που δημιουργήθηκε από δορυφορικά δεδομένα MODIS. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο χάρτη.



Εικόνα 57: Συγκριτικός χάρτης αποτελεσμάτων μοντέλου παγετού και πάγου για την Εγνατία οδό και χάρτη συχνότητας παγετού.

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των αποτελεσμάτων του μοντέλου επικινδυνότητας και του χάρτη συχνότητας παγετού και πάγου από δορυφορικά θερμοκρασιακά δεδομένα MODIS δείχνουν πολύ καλή ή καλή ταύτιση σε ποσοστό 36,84% και 93,78% αντίστοιχα.

Πίνακας 22: Κατηγοριοποίηση συσχέτισης αποτελεσμάτων στατικού μοντέλου επικινδυνότητας για την Εγνατία οδό και χάρτη συχνότητας παγετού και πάγου.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΥΜΠΤΩΣΗΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ
I (άριστη)	36,84 %
II (πολύ καλή)	56,94 %
III (μέτρια)	6,22 %

5.4.1. Σύγκριση Αποτελεσμάτων Στατικού Μοντέλου με την Μελέτη Υπέρυθρης Θερμογραφίας στην Εγνατία Οδό

Στο τμήμα της Εγνατίας Οδού που περιλαμβάνεται μεταξύ των κόμβων Πολύμυλου και Βέροιας έχει πραγματοποιηθεί μία μελέτη διακύμανσης επιφανειακής θερμοκρασίας οδοστρώματος, σε περίοδο χαμηλών θερμοκρασιών με τη μέθοδο της υπέρυθρης θερμογραφίας.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλών θερμοκρασιών (25-27/01/2008) και κάλυψε ένα τμήμα της Εγνατίας οδού με συνολικό μήκος 26 km.

Χρησιμοποιήθηκε κάμερα υπέρυθρης θερμογραφίας και ακολούθησε η επεξεργασία των εικόνων για την αντιστοίχιση της μέσης και ελάχιστης θερμοκρασίας οδοστρώματος σε κάθε θέση του οδικού άξονα. Από τα αποτελέσματα παρατηρήθηκε σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στη θερμοκρασία αέρα και οδοστρώματος. Παρά δηλαδή τη θετική τιμή της θερμοκρασίας αέρα (περίπου 3°C) η θερμοκρασία του οδοστρώματος έφτανε και τους -4 °C.

Υψηλότερες θερμοκρασίες καταγράφηκαν σε τμήματα που αντιστοιχούν σε σήραγγες, με πιο πιθανή αιτία την προστασία που παρέχει ο κλειστός χώρος των σηράγγων και της επαφής του με το έδαφος. Παρατηρήθηκε ακόμα ότι η μέση θερμοκρασία του οδοστρώματος και του αέρα της σήραγγας ανεβαίνει κατά τη φορά της κίνησης των οχημάτων. Οι ελάχιστες θερμοκρασίες εμφανίζονται σε γέφυρες, λόγω μειωμένης επαφής με το έδαφος που έχει σταθερότερη και υψηλότερη θερμοκρασία, αλλά και σε άλλα σημεία του οδοστρώματος, όπως είναι οι έξοδοι από σήραγγες και η περιοχή διοδίων Πολυμύλου.

Ενδιαφέρον παρουσίασε ότι το γεγονός ότι οι σήραγγες δείχνουν σταθερότητα στις θερμοκρασίες εξόδου, ενώ οι θερμοκρασίες εισόδου επηρεάζονται περισσότερο από τις εξωτερικές συνθήκες, με θερμοκρασιακή διαφορά ως και 12°C (Μπούρης et al, 2008).

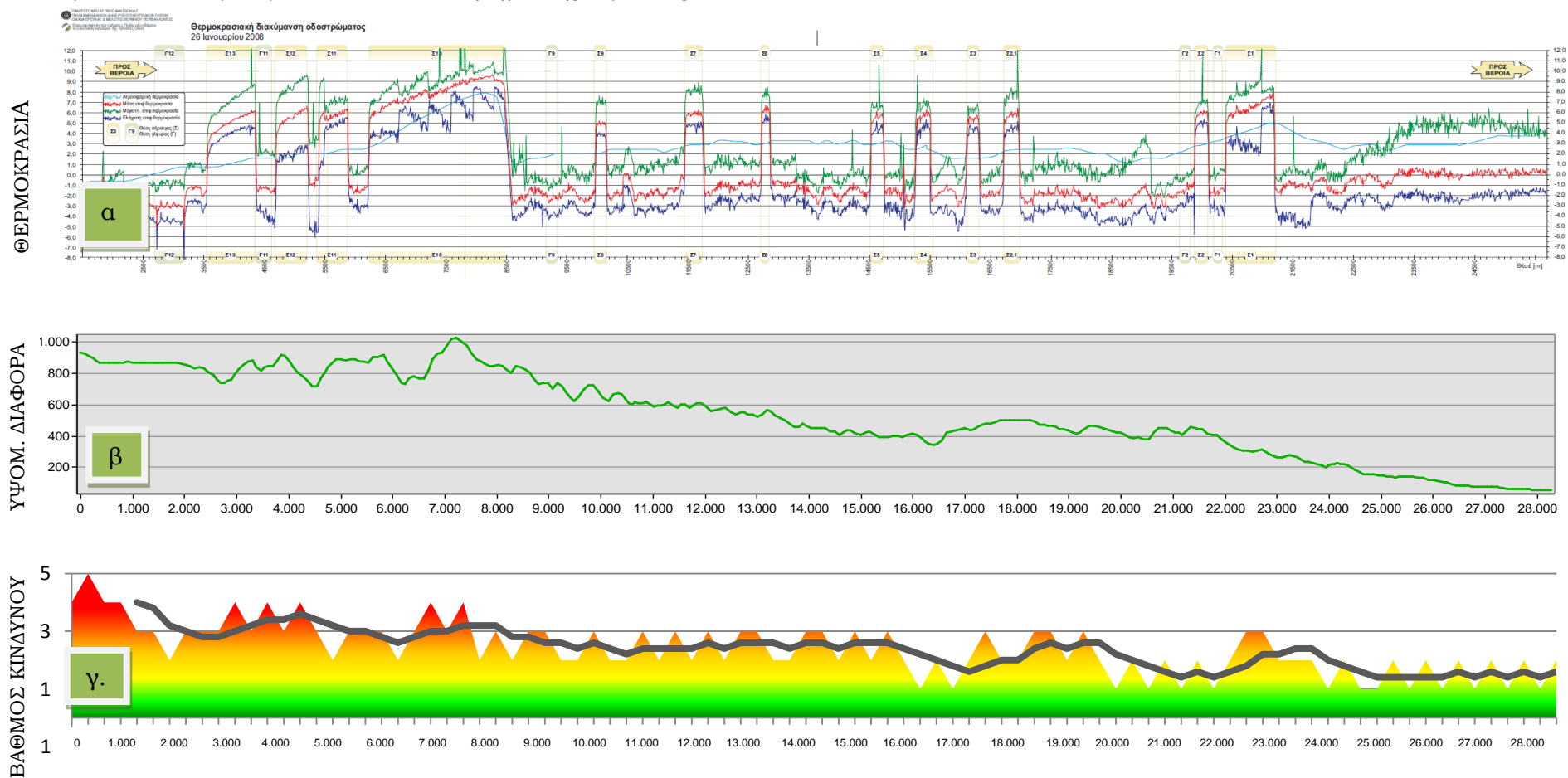
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάστηκαν σε μορφή γραμμικού διαγράμματος (βλ. Εικ. 58α) όπου φαίνεται η μέγιστη, η μέση και η ελάχιστη θερμοκρασία της κάθε θέσης. Επίσης, οι θέσεις όπου υπάρχουν γέφυρες και σήραγγες σημειώνονται με τα γράμματα Σ και Γ.

Ακολούθησε αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων της θερμογράφησης με την μηκοτομή του αντίστοιχου τμήματος της Εγνατίας Οδού ως προς την υψομετρική διαφορά των δύο κόμβων (βλ. Εικ.58β). Παρατηρούμε ότι η διακύμανση της θερμοκρασίας του οδοστρώματος έχει σε κάποιο μόνο βαθμό

την αναμενόμενη αντιστοιχία με το διακύμανση του υψομέτρου του δρόμου. Για παράδειγμα, στο τμήμα της οδού που βρίσκεται κοντά στη Βέροια, που έχει πιο χαμηλό υψόμετρο, η θερμοκρασία που έχει καταγραφεί είναι συγκριτικά αυξημένη. Αντίθετα στο αρχικό κομμάτι της διαδρομής, που είναι κοντά στον Πολύμυλο, που βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο, η θερμοκρασία είναι πιο χαμηλή.

Η κατά μήκος τομή του αντίστοιχου τμήματος της Εγνατίας Οδού ως προς τα αποτελέσματα του στατικού μοντέλου παγετού και πάγου παρουσιάζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 58γ. Η διακύμανση των βαθμών κινδύνου παγετού και πάγου κατά μήκος του οδικού τμήματος φαίνεται να έχει σε μεγαλύτερο βαθμό αντιστοιχία με την διακύμανση της θερμοκρασίας του οδοστρώματος .

Εικόνα 58α: Διάγραμμα διακύμανσης θερμοκρασίας οδοστρώματος και αέρος του τμήματος της Εγνατίας οδού που εκτείνεται μεταξύ των κόμβων Πολύμυλου και Βέροιας (Εγνατία Οδός, 2009). **58β.** Μηκοτομή σε σχέση με την υψομετρική διαφορά του τμήματος της Εγνατίας Οδού μεταξύ των κόμβων Πολύμυλου - Βέροιας. **58γ.** Αποτελέσματα στατικού μοντέλου επικινδυνότητας παγετού και πάγου για το αντίστοιχο τμήμα της Εγνατίας οδού.



5.5. Εφαρμογή Στατικού Μοντέλου Πάγου – Παγετού σε Γεωργικές Εκτάσεις

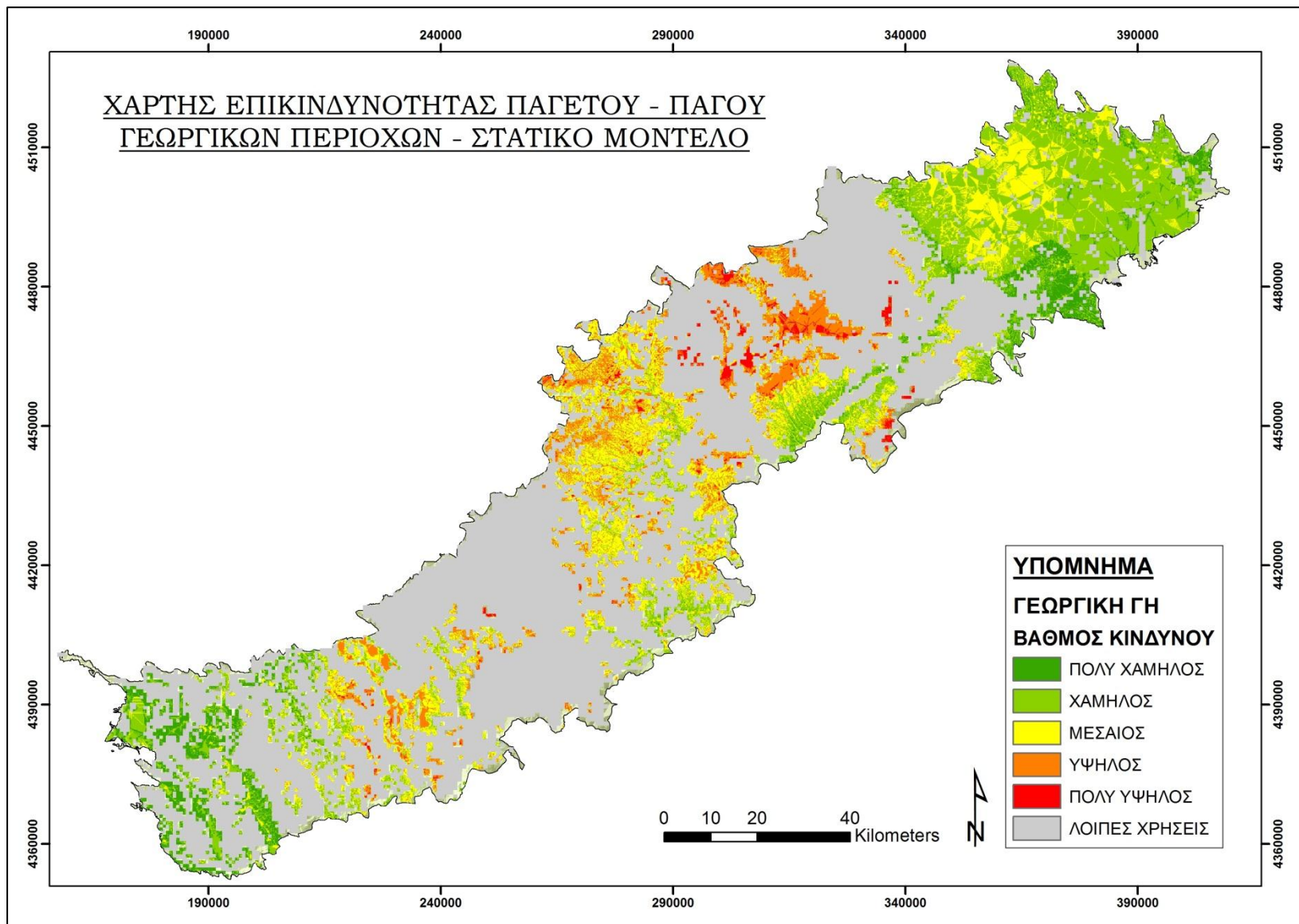
Η χαρτογράφηση του κινδύνου παγετού και πάγου σε γεωργικές καλλιέργειες έχει ιδιαίτερη σημασία. Μπορεί να αποτελέσει κριτήριο σχεδιασμού της γεωργικής πολιτικής κατά την επιλογή των κατάλληλων καλλιεργειών για κάθε περιοχή και τον σχεδιασμό λήψης μέτρων προστασίας από τον παγετό σε ήδη υπάρχουσες καλλιέργειες.

Για την εφαρμογή του Μοντέλου Επικινδυνότητας Παγετού και Πάγου σε γεωργικές καλλιέργειες, διαχωρίστηκαν οι γεωργικές εκτάσεις στην περιοχή μελέτης με βάση στην καταγραφή χρήσεων γης από το Corine 2000.

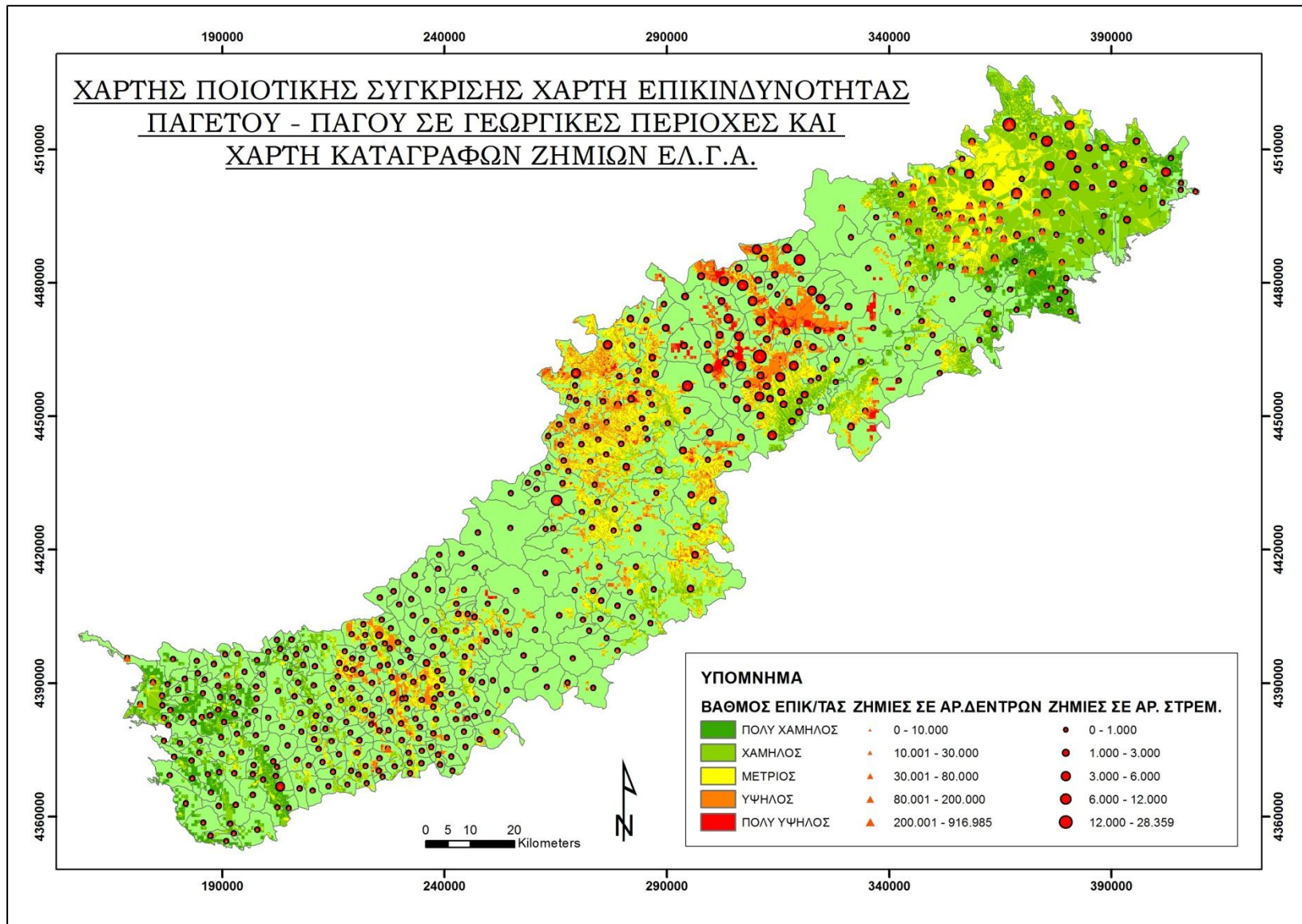
Τα αποτελέσματα του Μοντέλου επαναταξινομήθηκαν και δημιουργήθηκε ο χάρτης επικινδυνότητας λόγω επικράτησης παγετού και σχηματισμού πάγου για τις γεωργικές εκτάσεις (βλ. Εικ. 59).

Τα αποτελέσματα του Μοντέλου συγκρίθηκαν με τον χάρτη καταγραφής συνολικών ζημιών σε καλλιέργειες ανά δημοτικό διαμέρισμα της περιοχής μελέτης. Ο χάρτης παράχθηκε έπειτα από επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων καταγραφών ζημιών που παραχωρήθηκαν από τον ΕΛ.Γ.Α. (βλ. Κεφ. 4.3).

Παρατηρούμε ότι υπάρχει αρκετά καλή σύμπτωση των αποτελεσμάτων του στατικού μοντέλου με τις καταγραφές ζημιών από τον ΕΛ.Γ.Α.



Εικόνα 59: Χάρτης επικινδυνότητας πάγου και παγετού γεωργικών εκτάσεων περιοχής μελέτης σύμφωνα με τα αποτελέσματα του στατικού μοντέλου.



Εικόνα 60: Χάρτης ποιοτικής σύγκρισης αποτελεσμάτων στατικού μοντέλου πάγου - παγετού για τις γεωργικές εκτάσεις και καταγραφών ζημιών λόγω παγετού από τον ΕΛ.Γ.Α. για την περιοχή μελέτης.

5.6. Εφαρμογή Δυναμικού Μοντέλου Πάγου – Παγετού σε Γεωργικές Εκτάσεις

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εφαρμογή της δυναμικής μορφής του μοντέλου όσον αφορά της γεωργικές καλλιέργειες, καθώς η γεωργία είναι μία δραστηριότητα μη σταθερή μέσα στο χρόνο και επηρεάζεται άμεσα από ακραίες κλιματικές συνθήκες όπως ο παγετός.

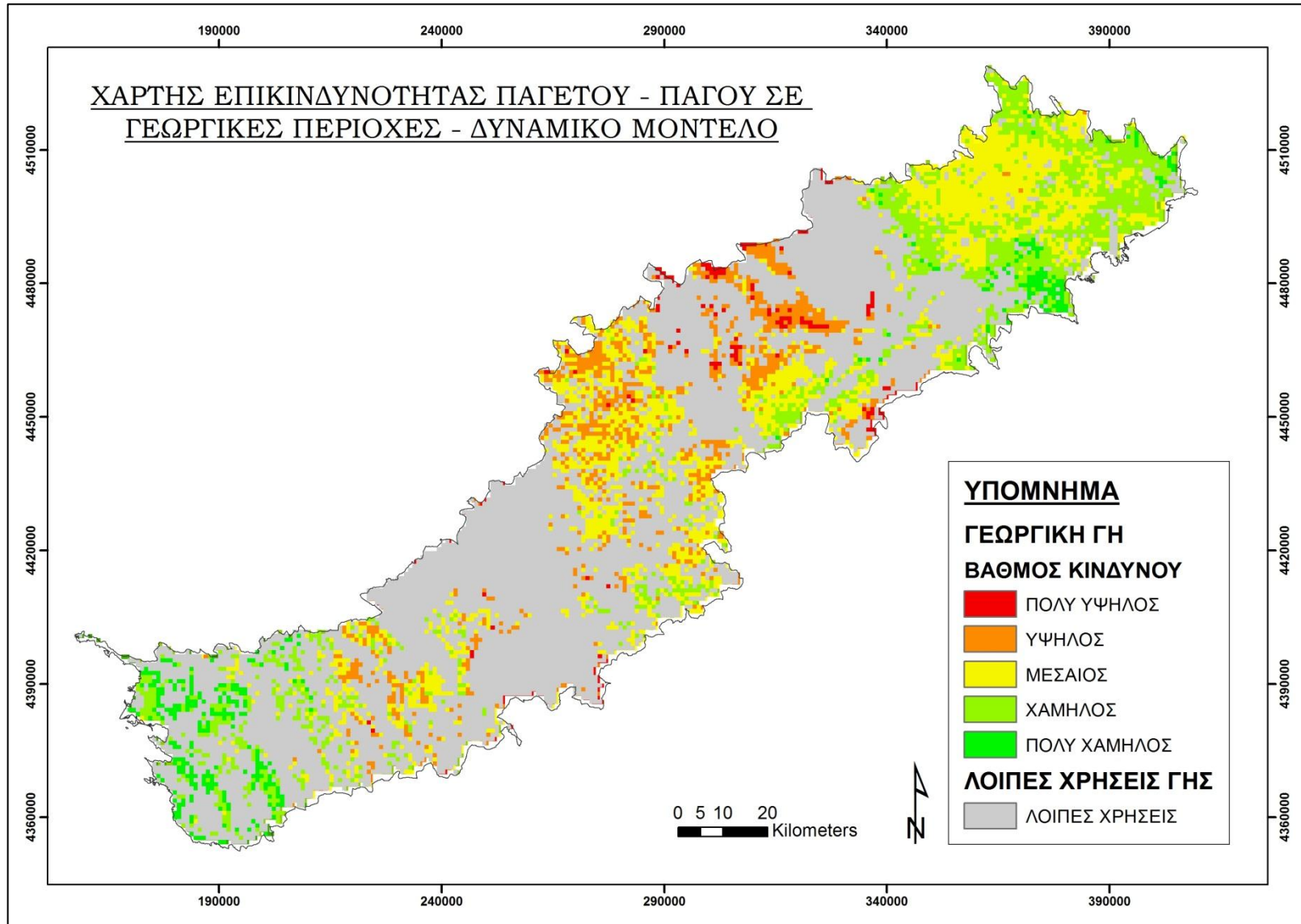
Με μεθοδολογία αντίστοιχη με αυτή που ακολουθήθηκε και στο στατικό μοντέλο, εντάχθηκε το πλεγματοτικό αρχείο που απεικονίζει τις γεωργικές εκτάσεις στην περιοχή μελέτης, στο δυναμικό μοντέλο επικινδυνότητας παγετού και πάγου.

Επιλεγμένη περίοδος εφαρμογής είναι το χρονικό διάστημα 26 Φεβρουαρίου έως 5 Μαρτίου 2006.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι από τις εκτάσεις που καλύπτονται από γεωργικές καλλιέργειες το 37,5 % είναι σε περιοχή υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου ως προς τον παγετό και πάγο.

Πίνακας 23: Κατηγοριοποίηση γεωργικής γης περιοχής της περιοχής μελέτης, ανάλογα με τον βαθμό κινδύνου σε παγετό και πάγο.

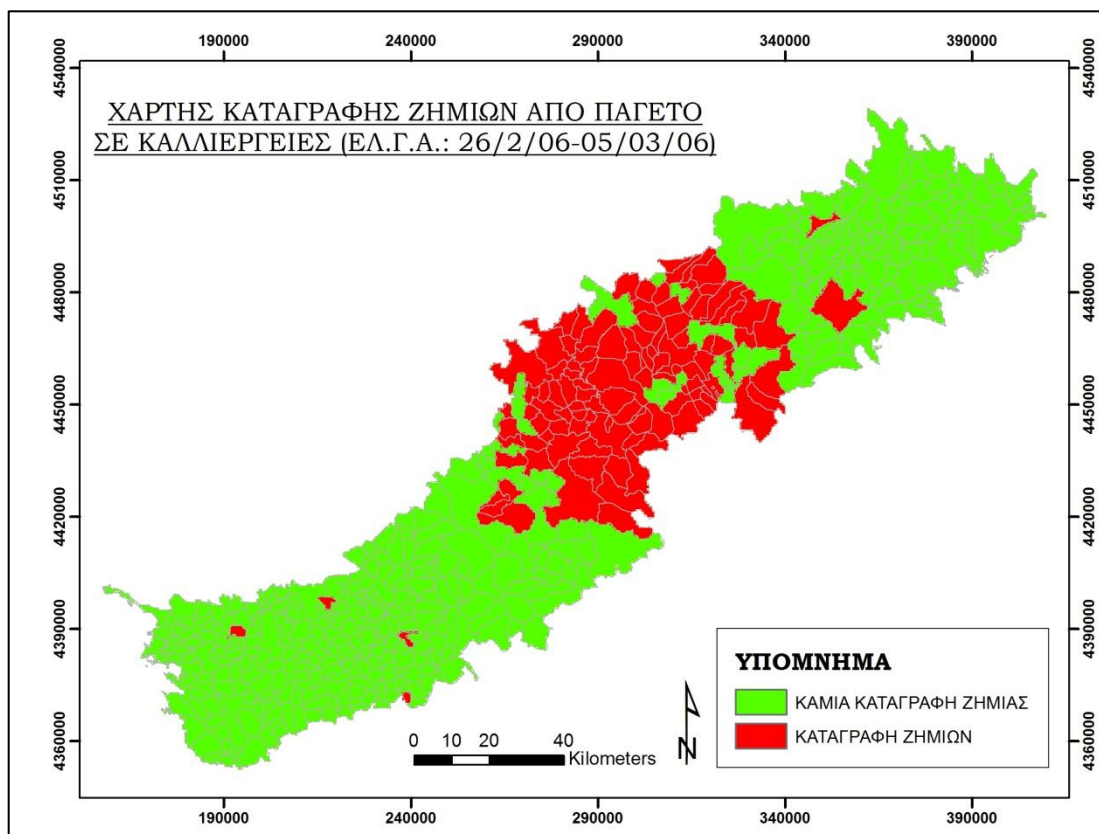
ΒΑΘΜΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΟΣ	1,82 %
ΧΑΜΗΛΟΣ	17,03 %
ΜΕΣΑΙΟΣ	43,64 %
ΥΨΗΛΟΣ	30,64 %
ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΟΣ	6,86 %



Εικόνα 61: Χάρτης επικινδυνότητας δημιουργίας πάγου και παγετού σε γεωργικές εκτάσεις περιοχής μελέτης σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δυναμικού μοντέλου (26.02-05.03 του 2006).

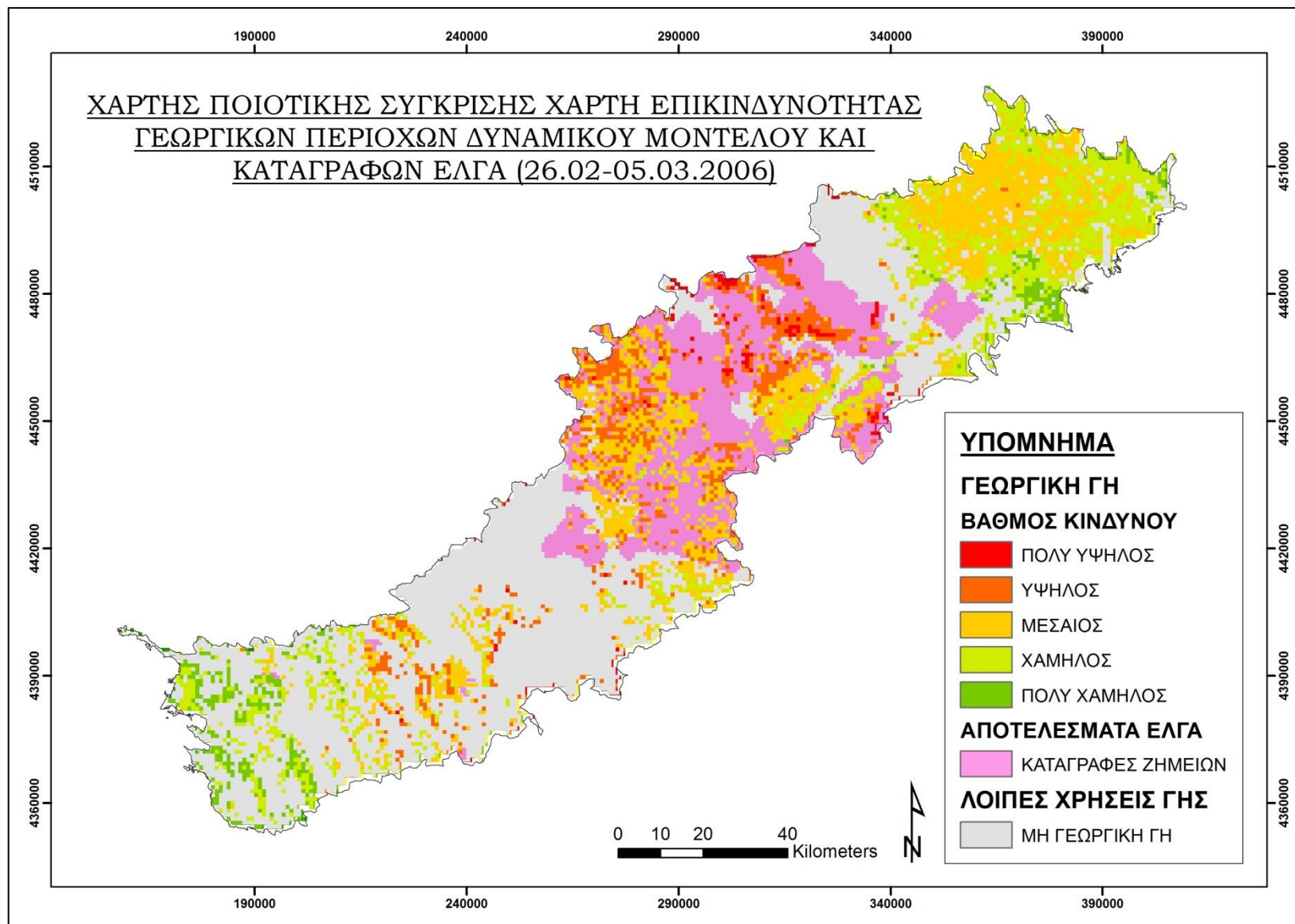
Τα αποτελέσματα του δυναμικού μοντέλου επικινδυνότητας παγετού και πάγου συγκρίθηκαν ποιοτικά με τις καταγραφές ζημιών σε γεωργικές καλλιέργειες από τον ΕΛ.Γ.Α.

Κατά την περίοδο εφαρμογής του δυναμικού μοντέλου είχαν καταγραφεί ζημιές από παγετό σε καλλιέργειες σε 108 δημοτικά διαμερίσματα που ανήκουν στην περιοχή μελέτης. Η κατανομή των δημοτικών διαμερισμάτων παρουσιάζεται στον ακόλουθο χάρτη.



Εικόνα 62: Χάρτης καταγραφής ζημιών από παγετο σε καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης από τον ΕΛ.Γ.Α. (περίοδος 26.02-05.03 του 2006)

Έπειτα από υπέρθεση και σύγκριση των δύο πλεγματικών αρχείων, τα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά. Οι περιοχές όπου καταγράφηκαν ζημιές σε καλλιέργειες από τον ΕΛ.Γ.Α. παρατηρούμε ότι συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με τις ζώνες γεωργικών περιοχών αυξημένου κινδύνου που προέκυψαν το δυναμικό μοντέλο.



Εικόνα 63: Χάρτης ποιοτικής σύγκρισης αποτελεσμάτων δυναμικού μοντέλου επικινδυνότητας πάγου και παγετού για τις γεωργικές εκτάσεις και καταγραφών ζημιών λόγω παγετού από τον ΕΛ.Γ.Α. στην περιοχή μελέτης (περίοδος 26.02.-05.03 του 2006).

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1. Αποτελέσματα

Στόχος της παρούσας εργασία ήταν η δημιουργία ενός μοντέλου για την χαρτογράφηση του κινδύνου παγετού και πάγου σε μία περιοχή της Ηπείρου και της Μακεδονίας. Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει ένα τμήμα της Εγνατίας Οδού μήκους 302 km περίπου καθώς και μία ζώνη 15 km εκατέρωθεν της οδού.

Το μοντέλο κινδύνου αναπτύχθηκε σε δύο εκδοχές στατική και δυναμική, η κάθε μία με διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Οι χάρτες επικινδυνότητας που δημιουργήθηκαν αξιολογήθηκαν σε σύγκριση με τον χάρτη συχνότητας παγετού που παράχθηκε από την επεξεργασία 640 δορυφορικών εικόνων MODIS με πληροφορίας θερμοκρασίας εδάφους.

Στατικό μοντέλο κινδύνου παγετού και πάγου

Η στατική μορφή του μοντέλου κινδύνου έχει το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιεί πλεγματικά δεδομένα με συγκριτικά υψηλή χωρική ανάλυση. Στην παρούσα εργασία δημιουργήθηκαν πλεγματικά αρχεία με εικονοστοιχεία μεγέθους 100x100 m.

Εξετάστηκε ο βαθμός ταύτισης των αποτελεσμάτων του στατικού μοντέλου με τον χάρτη συχνότητας παγετού που δημιουργήθηκε από δορυφορικά δεδομένα για τα έτη 2004, 2006, 2009 και 2010. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων έδειξε υψηλή συσχέτιση σε ποσοστό 91,18 %.

Δυναμικό μοντέλο κινδύνου παγετού και πάγου

Ο παγετός και ο σχηματισμός πάγου είναι φαινόμενα δυναμικά και δεν εμφανίζουν την ίδια συχνότητα ανά χρονιά. Κρίθηκε σκόπιμο να δημιουργηθεί μία δυναμική εκδοχή του μοντέλου παγετού και πάγου που να λαμβάνει υπόψη την επίδραση του χρόνου στον υπολογισμό του κινδύνου.

Η πυκνή βλάστηση αποτελεί παράγοντα προστασίας από συμβάντα παγετού, αφού αποτρέπει φαινόμενα θερμοκρασιακής αναστροφής και εμποδίζει την ροή ψυχρών αερίων μαζών σε μία περιοχή.

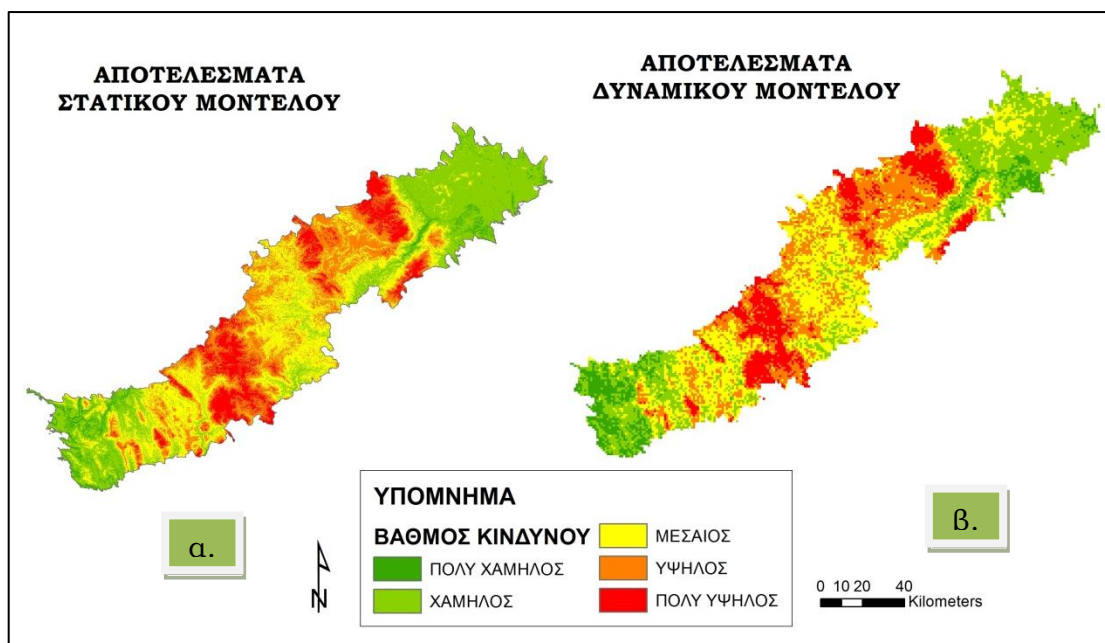
Συγχρόνως, η βλάστηση πλήττεται από τον παγετό και ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών επηρεάζεται αρνητικά από τις χαμηλές θερμοκρασίες. Όλα τα παραπάνω αποτυπώνονται στους δείκτες βλάστησης, όπως είναι ο Ενισχυμένος Δείκτης Βλάστησης (EVI) και ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), αλλά και στην κατανομή των φυτοκαλυμμένων επιφανειών που μπορεί να ανακτηθεί από την καταγραφή χρήσεων / κάλυψης γης.

Συμπεριλαμβάνοντας τα παραπάνω δεδομένα, δόθηκε ο δυναμικός χαρακτήρας στο μοντέλο κινδύνου παγετού και πάγου.

Το μοντέλο αυτό εφαρμόστηκε κατά το χρονικό διάστημα 26.02-05.03 του 2006, όπου είχαν καταγραφεί σημαντικές ζημιές σε γεωργικές καλλιέργειες από τον ΕΛ.Γ.Α. σε 108 από τα 514 δημοτικά διαμερίσματα που απαρτίζουν την περιοχής μελέτης.

Σύγκριση αποτελεσμάτων 2 μοντέλων

Έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η σύγκριση των χαρτών επικινδυνότητας που δημιουργήθηκαν από τις δύο εκδοχές του μοντέλου



Εικόνες 64α και 64β: Χάρτης επικινδυνότητας παγετού και πάγου, αποτελέσματα στατικού (α) και δυναμικού (β) μοντέλου κινδύνου.

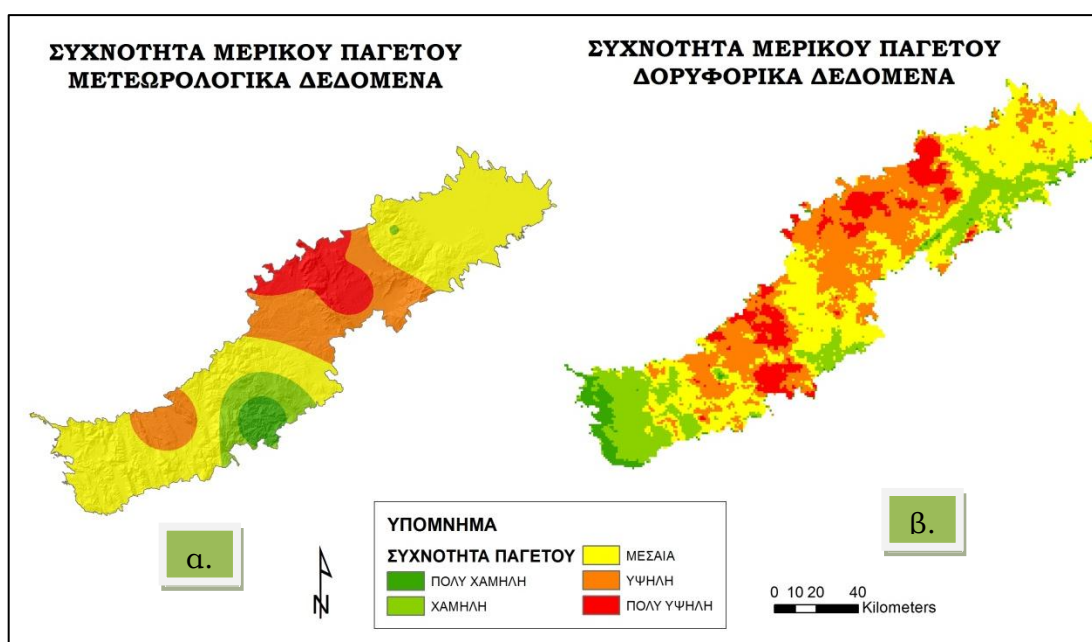
Συγκρίνοντας τους δύο χάρτες παρατηρούμε τα ακόλουθα:

- Σημαντική ταύτιση του χάρτη επικινδυνότητας του στατικού και του δυναμικού μοντέλου.
 - Περιοχές πολύ υψηλού κινδύνου στον χάρτη που δημιουργήθηκε από το δυναμικό μοντέλο παρουσιάζονται πιο διάσπαρτες στην περιοχή μελέτης
 - Διαφοροποίηση υπάρχει κυρίως στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Το δυναμικό μοντέλο υποδεικνύει κίνδυνο παγετού και πάγου μεσαίας τάξης ενώ το στατικό μοντέλο χαμηλής ή πολύ χαμηλής. Στην περιοχή επικρατούν αροτραίες καλλιέργειες κυρίως και έχουν καταγραφεί σημαντικές ζημιές από παγετό σε αυτές
- Συμπερασματικά υπάρχει η ένδειξη ότι το δυναμικό μοντέλο επικινδυνότητας έχει καλύτερη δυνατότητα ανίχνευσης του κίνδυνο από παγετό και πάγο σε καλλιέργειες και φυτοκαλυμμένες περιοχές.

Σύγκριση Αποτελεσμάτων Χαρτογράφησης Συχνότητας Παγετού από Δορυφορικά και από Μετεωρολογικά Δεδομένα

Για την περιοχική μελέτη, πρωταρχικά είχε μελετηθεί η διακύμανση των κλιματικών συνθηκών μέσω δεδομένων από 11 μετεωρολογικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας.

Ο χάρτης που παρουσιάζει την διακύμανση των συνθηκών στην περιοχική μελέτη λαμβάνοντας υπόψη μόνο μετεωρολογικά δεδομένα παρουσιάζεται ακολούθως (βλ. Εικ. 65α) και συγκρίνεται με τον χάρτη συχνότητας παγετού (βλ. Εικ. 65β) που δημιουργήθηκε από δεδομένα επιφανειακής θερμοκρασίας MODIS.



Εικόνα 65α: Χάρτης διακύμανσης ετήσιων ημερών μερικού παγετού με βάση μετεωρολογικά δεδομένα. **Εικόνα 65β:** Χάρτης. συχνότητας παγετού με βάση δορυφορικά δεδομένα MODIS

Παρατηρούμε συγκρίνοντας τους δύο χάρτες ότι έχουν μερική μόνο ταύτιση. Στον χάρτη συχνότητας παγετού έχουν ανιχνευτεί δύο περιοχές με ιδιαίτερα αυξημένη συχνότητα παγετού. Από αυτές, μόνο η πιο βορεινή περιοχή έχει αποτυπωθεί στον χάρτη διακύμανσης ημερών μερικού παγετού. Η νοτιότερη δεν έχει ανιχνευτεί στον χάρτη Εικ.65α. Το αίτιο της διαφοροποίησης αυτής προκύπτει από τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού Άρτας που παρουσιάζουν πολύ χαμηλό αριθμό ημερών μερικού παγετού (7 ημέρες ανά έτος).

Έχει ήδη αναφερθεί (βλ. Κεφ. 2.5.6) ότι σε περιοχές έντονης ανθρωπογενούς δραστηριότητας, όπως είναι μία πόλη, η πιθανότητα χαμηλών θερμοκρασιών είναι μειωμένη. Οπότε είναι αναμενόμενο να παρατηρείται χαμηλός αριθμός

ημερών μερικού παγετού σε ένα μετεωρολογικό σταθμό όπως αυτό της Άρτας που είναι μέσα στην πόλη.

Συμπερασματικά, με τη μελέτη μόνο της διακύμανσης μετεωρολογικών δεδομένων και χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη παράγοντες τοπογραφικούς, ανθρωπογενείς και φυσικούς τα αποτελέσματα χαρτογράφησης του κινδύνου παγετού και πάγου είναι επίφοβα. Μία σημαντική διακύμανση σε έναν μόνο από τους παράγοντες που έχουν μελετηθεί στην παρούσα εργασία, μπορεί να προκαλέσει εσφαλμένα αποτελέσματα όταν δημιουργούνται χάρτες αποτύπωσης του κινδύνου παγετού και πάγου μόνο από σημειακά μετεωρολογικά δεδομένα.

6.2. Σφάλματα και αποκλίσεις

Οι πιθανές πηγές σφαλμάτων στα αποτελέσματα του μοντέλου επικινδυνότητας παγετού και πάγου προέρχονται από το ποσοστό σφάλματος των πρωτογενών δεδομένων, δηλαδή:

- Υψομετρικά δεδομένα
- Δορυφορικά δεδομένα MODIS
- Καταγραφές ΕΛ.Γ.Α.

Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται στα αποτελέσματα των μοντέλων επικινδυνότητας, του χάρτη συχνότητας παγετού και του πραγματικού κινδύνου παγετού και πάγου έχουν πιθανό αίτιο:

- Αποκλίσεις κατά τη βαθμονόμηση και την κατηγοριοποίηση των παραγόντων παγετού και πάγου
- Αποκλίσεις κατά την κατηγοριοποίηση του χάρτη συχνότητας παγετού

Τα παραπάνω αποτελούν αντικείμενα περαιτέρω έρευνας.

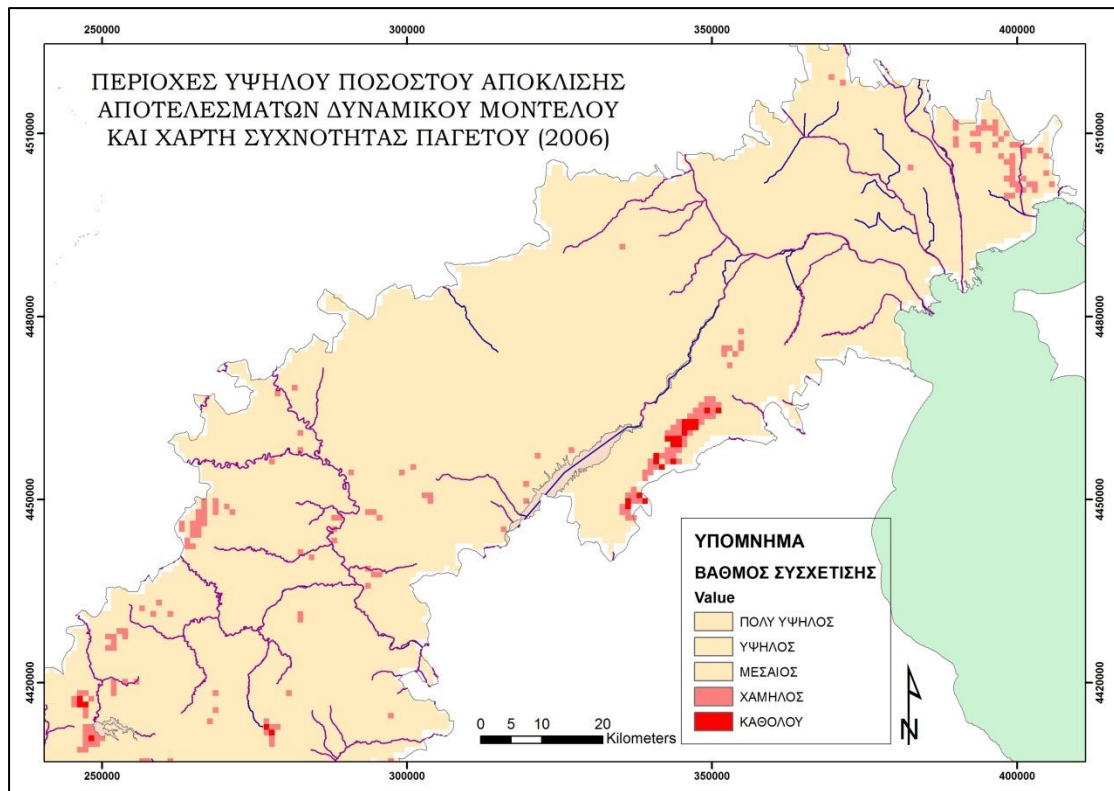
Ένα από τα θέματα που είναι αξιόλογο προς διερεύνηση αποτελεί η δημιουργία του χάρτη συχνότητας παγετού από δεδομένα MODIS. Κατά τη διαδικασία παραγωγής του χάρτη, έγινε αποκλεισμός των εικονοστοιχείων για τα οποία δεν υπήρχε πληροφορία επιφανειακής θερμοκρασίας.

Η κύρια αιτία έλλειψης πληροφορίας είναι η νεφοκάλυψη. Δηλαδή ημέρες με υψηλή νεφοκάλυψη ο αριθμός των εικονοστοιχείων που δεν υπήρχε πληροφορία είναι αυξημένος. Αυτό αποτελεί ένα αστάθμητο παράγοντα ο οποίος πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω κατά πόσο η συχνότητα που αποτυπώνεται από τα δορυφορικά δεδομένα MODIS είναι υπερεκτιμημένη ή υποτιμημένη ως προς την πραγματικότητα.

Αξιολόγηση σφάλματος σε αποτελέσματα δυναμικού μοντέλου

Έπειτα από μελέτη του χάρτη αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του δυναμικού μοντέλου, σε σύγκριση με τον χάρτη συχνότητας παγετού προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Οι περιοχές με πιο χαμηλή συσχέτιση αποτελεσμάτων, όπως φαίνεται και στον χάρτη που ακολουθεί, είναι κοντά σε περιοχές με αυξημένη πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ίσως ότι ο βαθμός επίδρασης και η επιμέρους κατηγοριοποίηση του παράγοντα του υδρογραφικού δικτύου και του σύνθετου τοπογραφικού δείκτη θα πρέπει να επανεξεταστούν.



Εικόνα 66: Παρουσίαση περιοχών με υψηλή απόκλιση αποτελεσμάτων δυναμικού μοντέλου επικινδυνότητας παγετού και πάγου και Χάρτη Συχνότητας Παγετού.

6.3. Τελικά συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, τα τελικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας είναι:

- Η επίδραση των τοπογραφικών, φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων στη διακύμανση της θερμοκρασίας, και στον κίνδυνο παγετού και πάγου είναι εμφανής και συσχετίσιμη.
- Μελετώντας τα ιδιαίτερα γεωμορφολογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά μίας περιοχής υπάρχει η δυνατότητα να προσεγγιστεί σε ικανοποιητικό βαθμό ο κίνδυνος παγετού και πάγου σε αυτήν.
- Υπάρχει η δυνατότητα να ταυτοποιηθούν οι ζώνες υψηλού κινδύνου από παγετό και πάγο και σε έργα υποδομής (π.χ. το οδικό δίκτυο) καθώς και σε φυτοκαλυμμένες ή καλλιεργήσιμες εκτάσεις.
- Στην παρούσα εργασία έχει γίνει συνδυαστική χρήση δεδομένων από διαφορετικές πηγές όπως είναι τα δορυφορικά δεδομένα, τα ψηφιακά δεδομένα συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, τα μετεωρολογικά και οι καταγραφές ζημιών από παγετό σε καλλιέργειες.
- Ο συνδυασμός δεδομένων τα οποία προέρχονται από ανεξάρτητες πηγές δίνει ιδιαίτερες δυνατότητες στην χαρτογράφηση των κινδύνων του παγετού και του πάγου, αλλά και στην ασφαλέστερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων χαρτογράφησης της επιδεκτικότητας και επικινδυνότητας μίας περιοχής ως προς αυτούς τους κινδύνους.

Η χρησιμότητα των παραπάνω εργαλείων και μεθόδων που αναπτύχθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα συμπεράσματα και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή και ανάλυσή τους, έχει επεκτάσεις σε πολλούς τομείς της δημόσιας ζωής και ειδικότερα της δημόσιας διοίκησης. Αποτελεί κριτήριο σχεδιασμού και λήψης μέτρων προστασίας για ήδη υπάρχοντα έργα υποδομής και γεωργικές καλλιέργειες, ενώ μπορεί να γίνει ένα ιδιαιτέρως χρήσιμο εργαλείο για το σχεδιασμό κατασκευής νέων έργων υποδομής και εγκατάστασης νέων καλλιεργειών. Τα οφέλη είναι ταυτόχρονα οικονομικά και κοινωνικά, καθώς αποφεύγονται καταστροφές στα έργα υποδομής, καθυστερήσεις λόγω προσωρινής παύσης λειτουργίας τους, ατυχήματα, κ.α. Επίσης με σωστό σχεδιασμό γεωργικής παραγωγής, επιλέγοντας δηλαδή τα κατάλληλα φυτικά είδη ανάλογα με τον κίνδυνο παγετού και πάγου, θα μπορεί να υπάρξει βελτίωση της γεωργικής παραγωγής και μείωση των απωλειών λόγω παγετού, με τις ανάλογες οικονομικές ελαφρύνσεις για την πολιτεία, όσον αφορά στις αποζημιώσεις για ζημιές σε καλλιεργούμενες εκτάσεις εξαιτίας των φαινομένων αυτών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. ΑΡΧΕΙΟ ΕΛ.Γ.Α.

Συγκεντρωτικός πίνακας ζημιών ανά δημοτικό διαμέρισμα όπου παρουσιάζεται η συνολική έκταση ζημιών από παγετό, εκφρασμένη σε στρέμματα ή σε αριθμό δέντρων ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας, ο μέσος όρος του καταγεγραμμένου ποσοστού ζημιών, ο συνολικός αριθμός αγροτεμαχίων όπου καταγράφηκαν ζημιές και το συνολικό ποσό αποζημιώσεων για ζημιές από παγετό. Οι πληροφορίες αφορούν στα έτη 1999-2010 και στο σύνολο των δημοτικών διαμερισμάτων που απαρτίζουν την περιοχή μελέτης.

(Πηγή Δεδομένων: ΕΛ.Γ.Α.)

Δημοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Αβγού	Ιωαννίνων	0,00	28	100,00	164,96	1	1
Αγία Βαρβάρα	Ημαθίας	285,35	226.775	44,32	1.070.676,00	2.777	25
Αγιάς	Πρεβέζης	0,00	2.638	37,43	16.433,06	103	1
Αγίας Αναστασίας	Ιωαννίνων	3,20	264	68,67	1.733,96	25	2
Αγίας Μαρίνης	Θεσπρωτίας	0,00	160	55,00	301,22	2	1
Αγίου Βλασίου	Θεσπρωτίας	0,80	3.846	44,30	21.007,75	39	6
Αγίου Γεωργίου	Γρεβενών	2.763,56	292.982	59,23	3.204.483,82	3.462	45
Αγίας Παρασκευής	Κοζάνης	13.653,60	11.219	16,88	64.559,92	1.507	4
Αγίας Μαρίνης	Ημαθίας	1.453,80	692.755	61,27	4.695.536,32	3.785	26
Αγίας Τριάδος	Ιωαννίνων	0,00	71	50,00	248,07	6	1
Αγίου Αθανασίου	Θεσσαλονίκης	7.260,67	3.969	31,15	223.777,33	1.835	25
Αγίου Ανδρέου	Ιωαννίνων	1,30	301	70,56	1.270,72	49	3
Αγίου Γεωργίου	Ημαθίας	4.427,90	372	46,88	68.454,31	344	45
Αγίου Δημητρίου	Κοζάνης	5.440,50	1.227	30,44	106.207,91	950	17
Αγίου Ιωάννου	Ιωαννίνων	18,10	0	36,67	142,62	3	1
Αγίου Κοσμά	Γρεβενών	201,20	2.487	38,42	16.237,29	315	6
Αγίου Λουκά	Πέλλας	1.903,80	14.702	36,89	305.797,05	414	35
Αγίου Χριστοφόρου	Κοζάνης	11.729,10	7.712	45,75	136.959,10	1.551	9
Αγίου Νικολάου	Ιωαννίνων	0,10	392	19,63	1.695,32	64	1
Αγίων Θεοδώρων	Γρεβενών	2.990,90	792	41,74	24.311,63	381	9
Αγκαθιάς	Ημαθίας	3.454,95	98.050	46,53	806.399,74	1.757	40
Αγναντιάς	Τρικάλων	157,50	3.531	49,07	25.929,66	232	5
Αγκιάλου	Θεσσαλονίκης	3.743,55	0	33,89	86.757,74	731	3
Αδένδρου	Θεσσαλονίκης	5.313,00	472	36,88	179.050,92	359	17
Αηδονίων	Γρεβενών	372,70	618	38,87	11.925,71	132	11
Αιανής	Κοζάνης	13.060,50	5.580	40,93	119.824,29	2.187	9
Αιγινίου	Περίας	2.219,41	55.269	33,65	495.154,87	1.613	43
Ακρίνης	Κοζάνης	6.050,30	1.659	42,39	89.370,59	1.009	8
Ακρολίμνης	Πέλλας	2.704,88	120.079	65,38	1.074.043,03	848	28
Αλατόπετρας	Γρεβενών	0,00	80	100,00	538,68	5	2

Δημοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Αλεξάνδρειας	Ημαθίας	9.248,36	537.261	52,39	2.776.063,84	2.971	40
Αλιάκμονος	Κοζάνης	353,10	1.172	46,79	6.022,46	157	8
Αλωνακίων	Κοζάνης	6.372,35	1.658	52,27	53.573,50	747	7
Αμαράντου	Τρικάλων	202,00	49.027	32,06	143.293,88	553	6
Αμπελείας	Ιωαννίνων	341,55	1.128	18,54	8.755,08	198	8
Αμπελίας	Θεσπρωτίας	493,00	74	23,75	400,37	61	4
Αμπελοχωρίου	Ιωαννίνων	2,22	2.938	45,98	8.808,15	284	2
Αμπελοκήπων	Θεσσαλονίκης	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Αμπελοχωρίου	Τρικάλων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Αμυγδαλέας	Κοζάνης	6.598,48	1.021	45,95	27.467,09	880	9
Αμυγδαλέον	Γρεβενών	2.314,25	38.505	41,67	168.234,56	3.520	11
Αναβρύτων	Γρεβενών	59,50	1.359	63,22	6.471,98	114	3
Αναβρύτων	Ιωαννίνων	61,80	17	85,00	1.227,93	12	3
Ανατολής	Ιωαννίνων	0,00	56	62,86	20,82	7	1
Ανατολικής	Ιωαννίνων	4,90	668	22,44	2.513,54	54	1
Ανατολικού	Θεσσαλονίκης	1.401,12	0	32,58	38.895,91	149	9
Ανήλιου	Ιωαννίνων	0,87	6.174	36,65	27.927,34	551	6
Ανθοτόπου	Κοζάνης	2.334,50	1.579	65,26	30.411,64	527	10
Ανθοχωρίου	Ιωαννίνων	80,00	3.674	67,55	18.085,19	357	8
Ανθρακίτη	Ιωαννίνων	0,50	1.897	49,92	12.875,04	219	7
Άνω Κώμης	Κοζάνης	6.691,77	1.257	30,81	57.242,75	1.871	22
Άνω Λαψίστης	Ιωαννίνων	62,00	231	62,08	1.607,94	44	6
Αξιοκάστρου	Κοζάνης	1.232,20	468	57,80	20.194,56	280	11
Αργυροτόπου	Θεσπρωτίας	6,85	1.862	28,20	3.510,12	33	3
Αρδάσης	Κοζάνης	3.688,80	1.130	51,58	52.069,76	607	9
Αρκοχωρίου	Ημαθίας	1,50	16.839	43,17	127.769,09	483	11
Αρτοπούλας	Ιωαννίνων	20,00	1.433	53,43	8.246,80	180	5
Ασβεστόπετρας	Κοζάνης	8.982,00	5.122	59,01	103.192,23	1.151	15
Ασβεστοχωρίου	Ιωαννίνων	40,85	341	39,79	4.616,27	79	6
Ασπροκκλησιού	Θεσπρωτίας	0,00	146.369	51,55	8243,84,14	395	18
Βαγεντιίου	Ιωαννίνων	5,80	80	72,08	938,60	25	3
Βαθυλάκκου	Γρεβενών	412,82	20.634	65,78	102.898,84	264	6
Βαλανιδιάς	Ιωαννίνων	0,00	10	100,00	65,99	1	1
Βαλτοχωρίου	Θεσσαλονίκης	1.325,70	10	50,77	62.459,68	132	16
Βαργιάδων	Ιωαννίνων	5,77	3.621	22,98	12.089,86	437	2
Βασιλικής	Ιωαννίνων	607,70	25	47,92	102.394,81	622	27
Βατερού	Κοζάνης	4.866,40	2.923	46,73	74.277,99	876	12
Βατολάκκου	Γρεβενών	964,34	57	40,15	24.110,75	162	17
Βελβεντού	Κοζάνης	909,20	689.669	71,61	6.487.039,58	7.854	11
Βεργίνης	Ημαθίας	313,15	383.740	59,40	2.882.195,51	2.127	32
Βερενίκης	Ιωαννίνων	0,00	797	58,45	3.733,25	59	3
Βέροιας	Ημαθίας	2.583,82	1.179.532	45,93	6.109.674,47	9.050	53

Δημοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Βοτονοσίου	Ιωαννίνων	84,30	1.237	30,83	31.292,22	233	3
Βουλιάσσης	Ιωαννίνων	1,10	1.989	19,23	11.645,73	230	3
Βουνοπλαγιάς	Ιωαννίνων	22,90	281	66,67	1.075,73	21	4
Βραχιάς	Θεσσαλονίκης	972,10	0	36,41	39.131,28	101	11
Βρυσακίου	Ημαθίας	1.099,10	175.337	59,70	969.043,19	860	24
Βρυσέλλας	Θεσπρωτίας	67,30	22.832	59,65	165.639,75	96	11
Γαλατινής	Κοζάνης	3.421,80	190	73,63	49.645,13	1.295	6
Γαρδικίου Σούλι	Θεσπρωτίας	124,20	3.481	29,97	10.284,89	165	6
Γεφύρας	Θεσσαλονίκης	5.268,14	731	33,09	472.884,23	968	17
Γεροπλάτανος	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Γεωργάνων	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Γεωργιανών	Ημαθίας	1.208,10	53.326	47,27	225.954,08	451	12
Γιαννιτσών	Πέλλας	33.857,30	438.990	48,19	3.278.608,06	5.011	68
Γιουργάνιτσας	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Γιρομερίου	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Γκρίκας	Θεσπρωτίας	15,00	82	20,00	119,83	28	2
Γκριμπόβου	Ιωαννίνων	0,00	25	100,00	144,03	3	1
Γολάς	Θεσπρωτίας	0,00	309	14,59	1.267,20	8	2
Γραικοχωρίου	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Γραμμένου	Ιωαννίνων	4,20	311	59,89	2.728,40	42	4
Γρανίτσας	Ιωαννίνων	5,00	5	70,56	426,03	5	1
Γρεβενιτίου	Ιωαννίνων	4,25	836	68,85	3.972,43	160	3
Γρεβενών	Γρεβενών	2.579,86	23.306	35,01	75.578,32	2.501	25
Δασκίου	Ημαθίας	332,45	3.082	52,04	52.624,26	108	14
Δαφνούλας	Ιωαννίνων	65,45	705	41,78	2.492,92	108	8
Δεματίου	Ιωαννίνων	35,75	6.258	26,27	38.390,98	650	6
Διαβατού	Ημαθίας	183,50	538.495	58,14	3.041.129,72	3.255	22
Δικορύφου	Ιωαννίνων	5,50	98	73,25	1.282,32	22	3
Διποτάμου	Ιωαννίνων	0,00	421	91,46	1.978,99	52	3
Δόλιανης	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Δραγοψάς	Ιωαννίνων	3,20	357	45,42	2.728,24	42	1
Δραμειών	Ιωαννίνων	1,20	554	62,85	2.681,89	92	2
Δρεπάνου	Κοζάνης	5.525,00	2.319	35,88	74.126,05	1.145	8
Δροσοχωρίου	Ιωαννίνων	720,10	20	47,37	149.363,74	942	25
Δρουβούνου	Κοζάνης	2.826,90	2.391	60,15	34.627,35	666	10
Δρίμπτσας	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Δωδώνης	Ιωαννίνων	174,01	9.447	24,03	26.443,56	1.399	9
Ειρηνούπολης	Ημαθίας	4.936,91	1.250.489	55,30	9.293.185,85	10.113	75
Ελάτου	Γρεβενών	1.937,20	3.607	38,68	50.466,83	435	13
Ελατοχωρίου	Ιωαννίνων	18,30	3.696	73,89	21.811,92	495	2
Ελατοχωρίου	Πετρίας	293,20	300	35,29	4.251,61	37	6
Ελάφου	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0

Δημοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Ελάφου	Περίας	269,00	2.662	56,16	16.204,05	87	11
Ελεούσης	Θεσσαλονίκης	2.267,71	33	31,94	123.368,48	363	15
Ελεούσης	Ιωαννίνων	637,80	496	48,74	7.278,27	202	20
Ελευθερίου	Θεσπρωτίας	0,00	2.334	6,72	687,99	60	2
Ελευθερίου-Κορδελίου	Θεσσαλονίκης	2,20	187	50,56	409,42	9	2
Ελευθέρου	Γρεβενών	1.062,86	2.281	28,16	20.292,91	421	15
Εξάρχου	Γρεβενών	4.582,60	0	52,39	51.443,29	496	10
Εξοχή	Ιωαννίνων	57,50	0	42,50	1.427,33	4	1
Εξοχής	Κοζάνης	1.341,40	0	50,83	51.443,29	111	3
Επισκοπής	Ημαθίας	347,25	1.181.295	52,16	5.450.509,29	9.378	29
Επισκοπικού	Ιωαννίνων	8,00	124	53,57	1.748,94	19	3
Ερατύρας	Κοζάνης	4.035,82	3.612	40,09	65.632,64	1.046	12
Ερμακιάς	Κοζάνης	13.192,30	295	41,31	1382,04,08	1.423	6
Ευρυμενών	Ιωαννίνων	157,22	2.782	21,89	20.653,39	626	10
Ζάκα	Γρεβενών	1.151,50	2.172	33,89	15.052,51	313	7
Ζερβοχωρίου	Θεσπρωτίας	10.959,80	1.923	17,30	41.826,28	1.407	5
Ζωοδόχου	Ιωαννίνων	80,00	222	53,80	2.010,86	85	7
Ζωτικού	Ιωαννίνων	3,05	689	55,42	2.914,93	77	3
Ηγουμένιτσης	Θεσπρωτίας	6,25	1.497	48,00	18.558,59	22	5
Ηλιοκάλης	Ιωαννίνων	107,65	48	48,21	20.498,42	199	16
Θεριακησίου	Ιωαννίνων	33,00	142	39,05	392,83	27	2
Ιμέρων	Κοζάνης	26,00	2.148	52,23	8.030,79	37	6
Ιτέας	Ιωαννίνων	13,95	1.892	28,38	5.367,07	336	6
Ιωαννιτών	Ιωαννίνων	24,65	79	16,07	4.792,07	26	1
Ιωνίας	Θεσσαλονίκης	12.536,50	230	26,73	1.276.858,86	7.886	29
Καβαλλαρίου	Ιωαννίνων	2,30	4.997	63,36	25.828,43	439	9
Καβασιλών	Ημαθίας	315,45	171.705	61,54	953.762,55	861	23
Καισάρειας	Κοζάνης	6.558,42	631	33,94	53.464,46	1.597	6
Κακοπλευρίου	Τρικάλων	359,70	240	33,59	5.173,93	81	3
Καλαμιάς	Κοζάνης	3.304,90	2.144	53,86	45.238,37	748	11
Καλεντζίου	Ιωαννίνων	0,85	432	42,05	3.170,83	70	3
Καληράχης	Γρεβενών	323,70	2.128	33,82	16.530,14	304	7
Καλλιθέας	Γρεβενών	1.240,00	4.076	39,39	26.987,90	653	7
Καλλιθέας Σουλίου	Θεσπρωτίας	0,00	1.682	43,00	489,79	18	4
Καλομοίρας	Τρικάλων	63,10	10.550	32,89	33.356,20	735	5
Καλονερίου	Κοζάνης	5.056,70	439	39,24	119.409,09	683	15
Καλουτά	Ιωαννίνων	0,00	178	59,07	584,62	27	1
Καλοχίου	Γρεβενών	2.265,14	1.375	42,40	31.722,69	371	9
Καλοχωρίου	Ιωαννίνων	1,50	152	68,69	1.661,41	24	3
Καλοχωρίου	Θεσσαλονίκης	773,70	0	33,59	78.243,02	297	15
Καμποχωρίου	Ημαθίας	513,10	272.325	67,78	1.598.650,09	1.178	18

Δημοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Καπνοχωρίου	Κοζάνης	4.356,35	468	37,95	29.071,90	940	11
Καρδίας	Κοζάνης	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Καριωτίου	Θεσπρωτίας	0,00	263	42,50	1.343,15	6	1
Καρπερού	Γρεβενών	3.120,07	460	50,14	31.852,05	217	13
Καρτερίου	Θεσπρωτίας	0,00	175	40,00	693,00	1	1
Καρυδίτσας	Κοζάνης	3.691,23	630	72,18	57.744,23	1.284	5
Καρυοχωρίου	Κοζάνης	5.376,50	511	36,54	64.544,91	689	7
Καρυών	Ιωαννίνων	24,35	6.707	36,35	27.957,77	490	8
Καρυωτίτσας	Πέλλας	5.715,88	173.826	39,43	1.355.505,15	2.687	60
Καστανέας	Τρικάλων	509,50	30.715	26,01	68.500,57	505	6
Καστανέας	Ημαθίας	0,00	1.324	61,78	9.723,11	94	2
Καστανέας	Περίας	695,70	2.499	23,87	16.177,30	189	8
Καστανώνος Ζαγορίου	Ιωαννίνων	0,10	184	60,78	773,40	52	2
Καστρίου	Θεσπρωτίας	5,90	27.237	61,39	90.334,84	59	10
Κασσιότισης	Ιωαννίνων	660,00	0	49,84	73.281,58	450	18
Καταβόθρας	Θεσπρωτίας	0,00	976	7,40	348,84	16	3
Καταλωνίων	Περίας	310,72	17	37,21	3.749,02	47	10
Καταμάχης	Ιωαννίνων	1,30	256	50,38	1.159,08	56	3
Καταφυγίου	Κοζάνης	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Καταχή	Περίας	184,85	42.713	62,77	390.060,95	381	12
Κατσικά	Ιωαννίνων	180,30	236	31,49	11.268,39	67	5
Κάτω Βερμίου	Ημαθίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Κάτω Κώμης	Κοζάνης	4.625,90	953	34,97	23.059,33	1.257	8
Κέντρου	Γρεβενών	3.189,90	1.805	38,52	66.557,46	280	26
Κεραμίτισης	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Κερασέα	Κοζάνης	6.470,70	0	46,79	41.253,51	1.361	5
Κερασέας	Ιωαννίνων	0,50	285	27,00	1.846,15	33	1
Κεστρίνης	Θεσπρωτίας	6,70	258.066	45,02	1.741.781,17	593	21
Κεφαλοχωρίου	Ημαθίας	968,75	260.447	53,92	1.890.239,01	1.677	21
Κηπουρείου	Γρεβενών	170,00	9.349	25,45	35.792,05	797	4
Κιβωτού	Γρεβενών	2.305,65	990	43,80	32.196,50	311	11
Κλειδίου	Ημαθίας	2.173,70	2.767	33,25	163.198,97	404	27
Κλείτου	Κοζάνης	4.013,40	6.930	37,45	47.113,62	714	11
Κληματακίου	Γρεβενών	1.047,10	32	59,07	19.419,97	87	9
Κνίδης	Γρεβενών	4.175,95	8.812	46,27	59.357,79	498	18
Κοζάνης	Κοζάνης	27.532,90	12.404	39,84	243.726,67	5.149	16
Κουιάδος	Κοζάνης	4.390,70	841	39,85	62.728,71	1.022	10
Κοιλών	Κοζάνης	4.223,28	222	54,86	60.661,89	679	5
Κοκκινιάς	Γρεβενών	1.625,10	169	39,00	23.605,70	342	10
Κοκκινιάς	Θεσπρωτίας	0,00	32.927	26,90	87.153,51	453	7
Κολινδρού	Περίας	5.500,67	161.261	40,56	1.093.516,93	2.918	41

Δημοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Κοριανού	Κοζάνης	3.543,80	1.049	62,68	31.831,97	665	5
Κοντοβουνίου	Κοζάνης	2.235,85	160	29,71	12.652,20	380	12
Κόντσικας	Ιωαννίνων	51,25	175	24,93	5.572,21	100	9
Κοπανού	Ημαθίας	87,50	521.089	59,38	3.700.428,92	5.937	23
Κοριτιανής	Θεσπρωτίας	0,00	382	83,33	2.928,73	4	2
Κοριτιανής	Ιωαννίνων	0,00	205	93,80	786,58	31	2
Κορυδαλλού	Τρικάλων	2,00	4.051	53,52	15.710,34	533	4
Κορυφής	Ημαθίας	3.377,63	442.746	53,41	1.785.118,25	1.968	32
Κοσματίου	Γρεβενών	165,00	812	39,54	16.838,29	146	2
Κοσμηράς	Ιωαννίνων	1,30	377	39,08	1.131,40	27	2
Κουλούρας	Ημαθίας	566,30	530.074	50,81	2.826.621,46	3.227	25
Κουμαριάς	Ιωαννίνων	4,00	1.363	53,67	13.824,09	111	4
Κουμαριάς	Ημαθίας	2.204,60	3.505	57,65	55.001,34	221	9
Κουρέντων	Ιωαννίνων	0,00	11	100,00	47,58	2	1
Κουτσελίου	Ιωαννίνων	1.033,61	556	40,55	12.770,11	428	10
Κουφαλίων	Θεσσαλονίκης	12.969,60	4.701	26,64	510.229,33	4.982	42
Κρανέας	Γρεβενών	424,10	4.946	30,01	19.533,45	493	8
Κρανιδίων	Κοζάνης	174,30	484	52,77	20.482,28	110	12
Κρανούλας	Ιωαννίνων	0,70	488	39,02	2.175,06	73	3
Κράψης	Ιωαννίνων	5,00	2.068	19,45	7.425,25	181	2
Κριμνιού	Κοζάνης	0,00	314	96,23	1.608,31	49	3
Κρόκου	Κοζάνης	12267,2	1.405	31,97	123.059,83	3.784	9
Κρύας	Ιωαννίνων	189,90	0	39,56	2.791,08	43	7
Κρύας Βρύσης	Πέλλας	8.923,05	83.096	42,27	1.162.599,15	1.666	52
Κρυόβρυση	Ιωαννίνων	4,00	1.212	30,59	5.416,87	150	4
Κρυόβρυσης	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Κρυσταλλοπηγής	Θεσπρωτίας	2,00	1.989	48,81	20.173,41	55	6
Κρυφόβου	Ιωαννίνων	0,00	164	95,00	955,06	11	2
Κυδωνιών	Γρεβενών	128,50	5.032	23,28	26.981,24	457	6
Κυμίνων	Θεσσαλονίκης	438,05	3.124	20,84	31.622,33	93	10
Κυπαρισσίου	Γρεβενών	18,00	605	21,00	2.407,36	66	4
Κυπαρίσου	Θεσπρωτίας	11,50	2.624	70,19	10.277,52	62	6
Κυρακαλής	Γρεβενών	572,10	2.470	41,08	17.681,76	153	13
Κυφέλης	Ημαθίας	1.182,00	55.294	59,81	367.925,47	490	24
Κωστανιανής	Ιωαννίνων	7,80	1.101	69,60	5.938,32	113	3
Λάβδα	Γρεβενών	0,00	1.505	18,96	3.032,66	125	2
Λαδοχωρίου	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Λεπτοκαρυάς	Θεσπρωτίας	0,00	330	82,44	1.502,09	52	2
Λεπτοκαρυάς Ζαγορίου	Ιωαννίνων	1,00	294	42,57	623,70	61	1
Λευκαδίων	Ημαθίας	41,55	244.111	58,62	1.436.035,29	3.153	20
Λευκάρων	Κοζάνης	226,50	3.746	67,97	11.534,30	60	4

Δημοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Λευκόβρυσης	Κοζάνης	5.376,60	603	58,94	50.035,13	1.509	9
Λευκοπηγής	Κοζάνης	3.433,90	88	34,06	40.907,89	886	7
Λιβαδίου	Περίας	1407,2	9.835	65,89	71.581,90	168	13
Λιβερών	Κοζάνης	3.118,30	447	48,74	42.841,97	509	8
Λίπτας	Ιωαννίνων	12,30	791	42,71	3.935,98	131	4
Λιγκιάδων	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Λογγάδων	Ιωαννίνων	2.861,38	189	43,08	629.590,46	2.717	23
Λούβρης	Κοζάνης	276,50	437	82,97	14.988,35	62	5
Λουτρού	Ημαθίας	1.364,35	313.805	53,97	1.823.538,60	2.237	26
Λοφίσκου	Ιωαννίνων	1,70	228	60,55	847,70	49	3
Λύγγου	Ιωαννίνων	1,50	900	88,00	15.591,41	18	3
Λυγερής	Κοζάνης	5.740,80	297	54,73	83.565,44	814	9
Λυκόγιαννης	Ημαθίας	282,97	187.720	64,55	1.145.609,16	1.185	19
Μαζαρακιάς	Θεσπρωτίας	0,00	115	0,00	0,00	1	1
Μαζιάς	Ιωαννίνων	26,50	0	34,58	549,23	7	4
Μακρίνου	Ιωαννίνων	0,50	394	47,12	1.315,86	91	2
Μακροχωρίου	Ημαθίας	432,75	910.753	61,41	6.147.848,88	5.570	37
Μακρύγιαλου	Περίας	109,70	9.123	46,56	65.567,53	91	11
Μαλακασίου	Τρικάλων	0,00	8.377	57,32	26.513,49	298	6
Μανασσή	Ιωαννίνων	0,00	28	100,00	167,50	5	1
Μανολιάσσης	Ιωαννίνων	4,20	941	9,40	2.811,80	309,00	2
Μαλουνίου	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Μαντείου	Ιωαννίνων	22,10	2.466	33,06	14.630,25	299	5
Μαργαριτίου	Θεσπρωτίας	0,00	11.395	54,08	7.503,37	192	4
Μαρμάρων	Ιωαννίνων	10,75	356	53,56	1.069,53	44	2
Ματονερίου	Τρικάλων	6,00	1.685	46,12	7.296,86	195	1
Μαυραναίων	Γρεβενών	1.187,60	3.366	34,21	31.868,16	531	8
Μαυροδενδρίου	Κοζάνης	10.143,50	927	25,31	93.826,10	1.664	10
Μαυροπηγής	Κοζάνης	11.008,70	4.585	50,37	128.194,68	1.626	8
Μαυρουδίου	Θεσπρωτίας	20,00	0	100,00	1.200,00	1	1
Μεγάλης Γότιστας	Ιωαννίνων	28,00	7.124	34,94	31.340,98	744	10
Μεγάλης Κερασεάς	Τρικάλων	357,60	4.685	29,15	13.423,18	133	6
Μεγάλου Γαρδικίου	Ιωαννίνων	136,00	611	52,69	5.589,31	96	6
Μεγάλου Περιστερίου	Ιωαννίνων	1,25	5.876	20,83	11.751,03	944	3
Μεγάλου Σειρηνίου	Γρεβενών	1.641,35	2.315	46,39	29.886,76	431	10
Μεγάρου	Γρεβενών	613,70	6.761	30,68	34.407,68	709	7
Μεθώνης	Περίας	164,90	2.938	45,53	29.192,85	70	7
Μελιάς	Ιωαννίνων	2,50	66	75,00	720,95	6	1
Μελιγγών	Ιωαννίνων	58,95	5.853	14,33	14.756,91	859	6
Μελίκης	Ημαθίας	4.379,71	811.766	45,59	5.314.534,12	5.452	61
Μεσιανής	Κοζάνης	326,65	5.237	70,03	37.795,43	182	5

Δημοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Μενεμένης	Θεσσαλονίκης	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Μεσοβουνίου	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Μεταμορφώσεως	Κοζάνης	2.188,40	5.354	52,72	36.624,16	963	10
Μετόχιο Προδρόμου	Ημαθίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Μετσόβου	Ιωαννίνων	95,30	14.222	20,49	83.920,38	1.084	7
Μηλέα	Κοζάνης	3.144,70	542	51,69	23.088,45	816	7
Μηλέας	Γρεβενών	807,00	3.222	39,98	14.913,91	267	10
Μικράς Γότιστας	Ιωαννίνων	7,90	5.499	58,77	23.652,23	495	3
Μικροκάστρου	Κοζάνης	5.821,89	2.978	37,77	57.295,64	1.298	20
Μικρολιβάδου	Γρεβενών	620,00	1.409	58,75	12.709,54	260	6
Μικρ. Μοναστηρίου	Θεσσαλονίκης	5.803,60	2.337	27,96	196.653,74	642	17
Μικρού Περιστερίου	Ιωαννίνων	52,30	1.604	44,79	13.431,27	154	5
Μιχαλιτσίου	Ιωαννίνων	0,00	21	0,00	0,00	1	1
Μοναχτίου	Γρεβενών	904,50	6.045	45,53	37.632,04	634	7
Μονολιθίου	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Μονοσπίτων	Ημαθίας	924,64	497.098	58,65	3.969.862,81	4.222	36
Μοσοποτάμου	Περίας	97,30	400	29,31	3.694,12	32	6
Μουζακαίων	Ιωαννίνων	0,80	0	41,00	2.782,21	1	1
Μπαουσιών	Ιωαννίνων	1,25	111	50,91	850,60	20	4
Μπάφρας	Ιωαννίνων	239,00	20	28,08	1.341,83	41	3
Μπέσσιας	Ιωαννίνων	0,00	394	100,00	2.661,63	30	1
Μπιζανίου	Ιωαννίνων	284,80	2.536	24,22	36.349,82	601	8
Μυροδάφνης	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Μυρσίνης	Γρεβενών	2.041,85	826	28,49	17.312,00		10
Ναμάτων	Κοζάνης	0,00	45	100,00	285,52	2	1
Ναούσης	Ημαθίας	212,50	726.194	42,42	3.611.270,27	10.426	32
Νεάπολης	Κοζάνης	7.706,31	13.704	41,36	137.383,05	2.718	34
Νέας Αγαθουπόλεως	Περίας	64,00	338	40,23	8.037,00	21	5
Νέας Μεσημβρίας	Θεσσαλονίκης	6.490,60	601	31,95	96.447,73	672	6
Νέας Νικομήδειας	Ημαθίας	650,50	120.484	58,84	814.387,00	760	26
Νέας Πέλλης	Πέλλας	2.292,85	58.590	52,17	443.065,06	844	27
Νέας Σελευκείας	Θεσπρωτίας	35,50	40.327	50,66	239.185,46	225	16
Νεοκαισαρείας	Ιωαννίνων	101,70	0	15,25	262,14	19	3
Νεοχωρίου	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Νεοχωρίου	Ημαθίας	1.482,35	28.166	46,55	155.112,93	269	17
Νεοχωροπούλου	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Νεοχωρούδας	Θεσσαλονίκης	203,60	1.607	42,74	83.287,93	146	12
Νεράιδας	Κοζάνης	63,00	0	15,00	86,72	6	1
Νέων Μαλγάρων	Θεσσαλονίκης	328,95	0	22,61	12.740,52	89	10
Νησίου	Ημαθίας	12.863,40	502.316	61,36	1.293.142,59	1.680	28
Ξεασμένης	Ημαθίας	985,20	427.144	56,12	2.802.507,81	2.638	28
Ξεώρου	Θεσπρωτίας	2,30	65	61,67	559,46	12	2

Δημοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Εηρολίμνης	Κοζάνης	5.904,64	1.028	50,23	78.408,82	1.127	9
Εηρολόφου	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Οινόης	Κοζάνης	5.179,90	90	63,30	41.261,91	989	6
Οξυνείας	Τρικάλων	222,70	282	42,46	2.386,90	53	3
Ορθοβουνίου	Τρικάλων	3,5	325,00	30	412,45	9,00	1
Οροπεδίου	Γρεβενών	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Παγκρατών	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Παλαιοκάστρου	Κοζάνης	3.155,00	1.020	38,70	22.831,97	722	6
Παλαιοκκλησίου	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Παλαιοσιάνης	Περίας	2553,55	4.294,00	36	21.411,65	342,00	12
Παλαιού Ελευθεροχωρίου	Περίας	514,16	340	42,19	9.065,19	94	11
Παλ. Σκυλλισίου	Ημαθίας	1.310,35	479.489	60,68	2.173.097,29	1.661	32
Παλαιοχωρίου Στράκου	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Παλατισίων	Ημαθίας	2.522,63	333.531	58,32	1.931.861,02	2.219	28
Παλαιοχωρίου	Θεσπρωτίας	4,00	0	50,00	64,00	1	1
Παναγιάς	Τρικάλων	0	890,00	39	3.488,14	121,00	4
Πανοράματος	Γρεβενών	0,00	1.694	58,11	7.506,11	125	2
Παραμυθίας	Θεσπρωτίας	0,00	9.819	35,93	11.661,78	241	4
Παραποτάμου	Θεσπρωτίας	188,15	26.382	39,94	117.101,58	273	17
Πάργας	Πρεβέζης	0,00	4.299	62,73	24.034,25	102	3
Παρδαλίτσας	Ιωαννίνων	0,00	123	20,00	414,31	13	1
Παρθένιου	Θεσσαλονίκης	3.652,20	5	38,86	357.620,48	248	22
Πατριδος	Ημαθίας	502,75	248.539	64,37	1.732.753,08	1.865	25
Πεδινής	Ιωαννίνων	91,60	168	18,51	1.704,60	70	7
Πελεκάνου	Κοζάνης	1.718,50	833	47,01	15.711,26	450	7
Πέλλης	Πέλλας	15.853,10	2.923	29,43	401.660,78	2.442	40
Πέντε Εκκλησιών	Θεσπρωτίας	0,00	7.282	27,85	26.439,34	159	2
Πεντολάκκου	Ιωαννίνων	0,26	1.424	20,80	6.050,75	169	2
Περάμα	Ιωαννίνων	18,09	1.052	23,72	4.003,49	172	5
Περάτη	Ιωαννίνων	17,10	102	78,33	2.918,44	28	3
Πέρδικας	Ιωαννίνων	0,00	70	100,00	453,03	3	1
Πεστών	Ιωαννίνων	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Πετουσίου	Θεσπρωτίας	0,40	272	48,22	1.112,13	34	1
Πέτρα	Ιωαννίνων	4,80	5.316	34,66	16.823,91	715	5
Πειραλώνων	Ιωαννίνων	20,71	43	70,70	361,27	24	4
Πετρανών	Κοζάνης	9.085,30	2.280	38,80	75.654,79	1.524	11
Πετροβίτσας	Θεσπρωτίας	0,00	750	0,00	0,00	3	1
Πετροβούνιον	Ιωαννίνων	18,04	80	36,58	4.091,63	33	6
Πεύκης	Τρικάλων	0,00	5.292	55,05	16.233,32	330	4
Πηγαδίτσας	Γρεβενών	103,00	3.418	24,99	9.473,28	382	4
Πηγαδίων	Ιωαννίνων	669,94	844,00	52	54.205,90	169	14

Δημοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Παισιών Μαλακασίου	Ιωαννίνων	0,00	568	96,42	4.115,65	97	2
Πλακωτής	Θεσπρωτίας	0,00	2.871	44,23	17.184,85	60	3
Πλατανιάς	Ιωαννίνων	667,90	461	46,94	8.137,87	145	10
Πλατανίων	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Πλατανορρεύματος	Κοζάνης	1.220,86	51.401	59,86	445.685,48	893	18
Πλάτανος	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Πλατάνου	Ημαθίας	2.084,85	23.424	39,86	175.420,90	1.087	37
Πλαταριάς	Θεσπρωτίας	0,00	568	71,00	4.121,20	13	3
Πλατέος	Ημαθίας	5.977,75	174.393	41,83	1.024.530,40	1.663	56
Πολυγύρου	Ιωαννίνων	18,40	994	26,95	5.441,91	121	2
Πολυδένδρου	Γρεβενών	411,70	1.062	39,18	9.832,24	245	5
Πολυδένδρου	Ημαθίας	129,00	6.400	4.873,00	34.638,33	186	8
Πολυλάκκου	Κοζάνης	495,5	566	47,35	6.438,61	146	10
Πολυλόφου	Ιωαννίνων	117,85	134	41,89	11.769,47	133	2
Πολυμύλου	Κοζάνης	684,60	370	36,21	8.442,55	197	10
Πολυνερίου	Γρεβενών	0,00	1.252	69,40	5.898,00	100	2
Ποντινής	Γρεβενών	2.544,33	0	54,74	26.279,69	324	7
Ποντοκόμης	Κοζάνης	8.682,50	21.145	52,34	122.743,06	1.278	10
Πραμάντων	Ιωαννίνων	0,00	49	100,00	67,25	3	1
Πολυδρόσου	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Πολυδώρου	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Ποταμιά	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Πρασινάδας	Ημαθίας	2.138,40	242.677	48,03	1.166.636,04	1.938	36
Προαστίου	Κοζάνης	3.781,05	19.064	65,42	63.179,33	652	7
Προδρομίου	Θεσπρωτίας	0,20	207	34,29	595,27	12	3
Προδρόμου	Ημαθίας	3.107,92	299.151	49,51	1.961.210,21	2.817	43
Προσηλίου	Ιωαννίνων	0,00	187	100,00	1.381,88	24	1
Πρωτοχωρίου	Κοζάνης	2.878,83	129	41,98	26.821,29	815	9
Πτελέας	Κοζάνης	3.612,10	0	47,32	39.177,08	641	8
Πτελεώνος	Κοζάνης	4.760,02	577	41,16	34.329,58	403	5
Πυλωρών	Γρεβενών	1.249,22	723	41,93	8.176,61	78	10
Ραβενής	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Ραβενίων	Ιωαννίνων	112,30	31	58,50	9.776,49	21	4
Ραγίου	Θεσπρωτίας	5,10	41.956	45,77	197.320,69	154	15
Ραδοβιζίου	Ιωαννίνων	0,00	20	0,00	0,00	1	1
Ραφταναίων	Ιωαννίνων	0,00	150	100,00	681,44	9	1
Ράχης	Ημαθίας	213,50	140.443	46,23	469.707,17	1.367	16
Ρητινής	Πετρίας	101,60	1.128	50,87	2.978,46	45	6
Ρίζου	Ιωαννίνων						
Ριζού	Θεσπρωτίας	186,70	151.414	48,26	474.422,95	992	16
Ριζωμάτων	Ημαθίας	823,60	4.114	44,53	472.685,34	319	19

Δημοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Ροδιανής	Κοζάνης	2.022,97	3.085	64,97	43.763,99	453	8
Ροδιάς	Γρεβενών	936,60	4.883	47,00	27.780,10	683	8
Ροδίτου	Κοζάνης	362,90	3.186	69,38	68.601,49	217	5
Ροδοτοπίου	Ιωαννίνων	1.311,70	1.556	42,03	26.013,01	273	14
Ροδοχωρίου	Κοζάνης	161,00	930	54,69	6.372,27	79	5
Ρυακίου	Κοζάνης	2.122,65	398	53,60	17.821,15	335	12
Ρυακίων	Περίας	3.777,50	384	28,65	21.305,17	459	10
Σαγιαδάς	Θεσπρωτίας	17,00	88.708	55,27	410.548,42	320	19
Σαλονίκης	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Σαρακήνας	Γρεβενών	6.241,80	1.609	36,34	56.882,74	769	17
Σεβαστού	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Σενίκου	Ιωαννίνων	0,00	1.579	57,56	8.210,13	146	4
Σερβιανών	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Σερβίων	Κοζάνης	7.321,18	58.508	46,17	355.459,46	1.947	25
Σιατιστής	Κοζάνης	14.177,90	13.587	36,09	155.649,47	3.853	12
Σιδερά	Κοζάνης	6.235,20	0	50,59	74.620,53	857	7
Σιδερής	Θεσπρωτίας	1,50	135	60,00	494,21	3	3
Σίνδου	Θεσσαλονίκης	4.700,95	210	30,97	359.655,16	1.247	24
Σιστρονίου	Ιωαννίνων	0,80	216	85,43	1.060,52	14	4
Σιταρά	Γρεβενών	0,00	25	50,00	76,14	6	2
Σίτσαινα	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Σκανδάλου	Θεσπρωτίας	5,55	166	58,64	3.639,15	14	3
Σκήτης	Κοζάνης	2.185,80	1.342	45,31	30.070,08	551	6
Σμέρτου	Θεσπρωτίας	0,00	19.336	46,56	86.515,94	56	12
Σμυρτιάς	Ιωαννίνων	10,00	306	72,15	2.564,70	34	3
Σπαθαραίων	Θεσπρωτίας	0,00	496	14,38	262,31	6	2
Σπάρτου	Κοζάνης	4.493,50	1.390	49,03	33.221,68	631	7
Σπηλαιού	Γρεβενών	16.605,40	16.512	33,93	255.406,12	2.633	15
Σπηλιάς	Κοζάνης	9.758,30	353	34,54	90.763,83	1.055	7
Σταυρακίου	Ιωαννίνων	70,80	191	70,00	2.437,46	22	7
Σταυρού	Ημαθίας	909,70	303.280	67,37	2.046.401,93	1.281	32
Στενημάχου	Ημαθίας	108,90	185.345	65,48	1.270.579,64	2.410	15
Συβότων	Θεσπρωτίας	0,00	145	25,00	1.099,13	1	1
Συκέας	Ημαθίας	857,70	3.154	63,33	40.033,73	240	10
Συνδένδρου	Γρεβενών	1.612,90	3.660	28,36	36.386,10	583	9
Σφενδαμίου	Περίας	2.915,00	7.100	35,92	22.464,55	452	16
Σφηκιάς	Ημαθίας	836,60	20.975	39,45	161.121,69	952	15
Ταξιάρχου	Γρεβενών	1.777,50	742	36,34	23.632,61	421	7
Τραπεζίτης	Κοζάνης	549,30	1.053	42,89	9.884,72	220	8
Τρικάλων	Ημαθίας	819,35	41.546	42,50	201.413,55	365	23
Τρικοκκιάς	Γρεβενών	4.974,50	1.329	53,95	69.376,30	299	17
Τρικορύφου	Θεσπρωτίας	0,00	11.907	46,69	81.992,98	34	7

Δημοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Τρικώμου	Γρεβενών	66,50	4.988	51,16	27.387,92	330	4
Τριλόφου	Ημαθίας	2.785,35	283.940	60,68	2.072.570,26	2.717	22
Τριποτάμου	Ημαθίας	25,70	107.706	41,54	328.114,04	1.076	12
Τριστένου	Ιωαννίνων	1,10	34	67,50	205,39	5	1
Τρυγόνος	Τρικάλων	0,00	641	61,13	4.080,28	87	3
Τσοτλίου	Κοζάνης	12.358,70	45.783	36,17	484.080,32	6.040	36
Φανερωμένης	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Φασκομηλιάς	Θεσπρωτίας	0,00	410	61,21	1.618,77	34	4
Φελλίου	Γρεβενών	2.113,40	1.074	27,35	19.465,19	219	9
Φιλιατών	Θεσπρωτίας	0,00	8.490	41,14	24.264,01	77	5
Φιλιππούπολης	Κοζάνης	5.390,50	1.568	47,87	32.692,67	1.258	9
Φλαμπουραρίου	Ιωαννίνων	0,00	409	88,38	1.434,38	111	2
Φοινικίου	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Φορτοσίου	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Φραγκάδων	Ιωαννίνων	0,50	342	43,14	1.118,21	53	1
Φυτείας	Ημαθίας	1.754,50	85.189	56,72	810.841,37	1.815	13
Χαλάστρας	Θεσσαλονίκης	5.027,29	0	29,22	150.535,94	852	24
Χαλκηδόνας	Θεσσαλονίκης	13.346,70	2.892	28,65	63.9401,89	3.155	29
Χαραυγής	Κοζάνης	856,10	0	31,99	9.394,54	75	3
Χαριέσσας	Ημαθίας	1.279,60	589.699	59,55	3.996.368,36	5.625	30
Χασίων	Τρικάλων	3.942,85	1.416	29,91	50.524,16	686	15
Χίνκας	Ιωαννίνων	24,50	661	28,77	4.508,36	90	3
Χουλιαράδων	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Χρυσουγής	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Χρυσοβίτσης	Ιωαννίνων	654,70	532	31,70	193.918,98	380	6
Χρωμίου	Κοζάνης	2.149,05	349	49,83	32.609,68	465	6
Ψάκας	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Ψήνας	Ιωαννίνων	0	589,00	40	3.702,88	61,00	3

Κοινοτικό Διαμέρισμα	Νομός	Συν. Στρεμμ.	Συν. Δέντρων	Ποσοστό Ζημιάς	Ποσό Πληρωμ.	Αρ. Αγροτεμ.	Αρ. Αναγγ.
Αβδέλλας	Γρεβενών	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Ανθούσης	Τρικάλων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Αυλοτόπου	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Βαθυπέδου	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Βλάστης	Κοζάνης	2.558,90	625	35,91	18.665,85	121	7
Βοβούσης	Ιωαννίνων	1,24	599	24,55	2.335,70	134	2
Καλαριτών	Ιωαννίνων	7,15	1.590	22,53	5.558,81	161	2
Καλλιρρόης	Τρικάλων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Καταφύτου	Τρικάλων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Κουκουλιών	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Κρανέας	Τρικάλων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Μηλέας	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Νήσου Ιωαννίνων	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Πέρδικας	Θεσπρωτίας	1,50	3.751	32,80	13.147,29	121	6
Περιβολίου	Γρεβενών	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Σιράκου	Ιωαννίνων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Στεφανίου	Τρικάλων	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Τσαγγαρίου	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Φροσύνης	Θεσπρωτίας	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Χαλικίου	Τρικάλων	0,00	0	0,00	0,00	0	0

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ Ε.Μ.Υ.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ 11 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (Πηγή Δεδομένων: Ε.Μ.Υ.)

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡ ΕΤΟΥΣ (°C)	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡ ΧΕΙΜΕΡ. ΜΗΝΩΝ (°C) *	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡ ΕΤΟΥΣ (°C)	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡ ΧΕΙΜΕΡ ΜΗΝΩΝ (°C) *	ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧ/ΣΗΣ (mm)	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣ ΗΣ ΧΕΙΜΕΡ. ΜΗΝΩΝ (mm) *	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΥΕΤΟΥ ΕΤΟΥΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΥΕΤΟΥ ΧΕΙΜ ΜΗΝΩΝ *	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΧΙΟΝΙΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΧΙΟΝΟΣΚΕΠ ΟΥΣ ΕΛΑΦΟΥΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕΡΙΚΟΥ ΠΑΓΕΤΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΟΛΙΚΟΥ ΠΑΓΕΤΟΥ
ΑΡΤΑ ΠΟΛΗ (υψόμετρο 39,0 m)	11,9	6,3	22,4	15,3	1.084,6	640,0	97,9	48,1	0,4	0,1	6,8	0,0
ΑΡΤΑ ΧΑΛΚΙΑΔΕΣ (υψόμετρο 11,5 m)	10,3	5,0	16,4	9,6	1.064,7	627,7	94,2	46,9	0,3	0,5	21,5	0,0
ΕΔΕΣΣΑ (υψόμετρο 237,0 m)	10,0	3,1	14,8	6,5	540,0	207,5	59,8	23,8	5,0	5,7	30,3	1,4
ΙΩΑΝΝΙΝΑ (υψόμετρο 483,0 m)	7,5	1,9	14,2	6,6	1.081,5	578,6	123,7	54,6	6,3	3,0	50,1	0,3
ΚΑΣΤΟΡΙΑ (υψόμετρο 660,0 m)	5,9	-0,2	12,5	4,0	555,5	237,1	108,8	43,8	19,6	14,5	78,0	5,3
ΚΟΖΑΝΗ (υψόμετρο 625,0 m)	7,0	0,7	12,9	4,5	507,6	178,7	108,3	43,2	18,7	11,7	65,7	8,2
ΚΟΝΙΤΣΑ (υψόμετρο 542,0 m)	8,2	2,4	14,4	7,0	768,3	396,7	93,3	39,5	4,9	2,1	44,0	0,4
ΜΙΚΡΑ (υψόμετρο 4,0 m)	9,7	3,3	15,7	7,5	448,7	184,1	114,1	47,1	6,6	2,2	33,9	0,4
ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑ (υψόμετρο 601,0 m)	6,8	1,0	13,1	4,7	488,1	181,8	94,9	37,6	17,1	13,6	65,4	5,1
ΣΕΔΕΣ (υψόμετρο 51,9 m)	10,2	3,8	16,1	8,3	446,5	172,2	114,6	47,7	7,7	2,6	29,5	1,1
ΤΡΙΚΑΛΑ ΗΜΑΘΙΑΣ (υψόμετρο 0,8 m)	9,2	2,3	15,0	6,4	505,9	230,7	86,7	36,4	6,3	5,6	43,2	1,5

* Αναφέρεται στους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ – ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΤΟ Ε.Γ.Υ. 2014

Παρουσίαση της Συμμετοχής στο Ευρωπαϊκό Συνέδριο Γεωεπιστημών European Geosciences Union – 2014 που διοργανώθηκε στις 27.04.14 – 02.05.2014 στην Βιέννη, Αυστρία.

Geophysical Research Abstracts
Vol. 16, EGU2014-10044-2, 2014
EGU General Assembly 2014
© Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.



Development of a Frost Risk Assessment Tool in Agriculture for a Mediterranean ecosystem Utilizing MODIS satellite observations Geomatics and Surface Data

Panagiota Louka (1), Ioannis Papanikolaou (1), George Petropoulos (2), George Migiros (1), and Ioannis Tsiros (1)

(1) Dep. of Earth and Atmospheric Sciences, Agricultural University of Athens, Greece, (2) Dep. of Geography & Earth Sciences, University of Aberystwyth, Wales, United Kingdom

Frost risk in Mediterranean countries is a critical factor in agricultural planning and management. Nowadays, the rapid technological developments in Earth Observation (EO) technology have improved dramatically our ability to map the spatiotemporal distribution of frost conditions over a given area and evaluate its impacts on the environment and society.

In this study, a frost risk model for agricultural crops cultivated in a Mediterranean environment has been developed, based primarily on Earth Observation (EO) data from MODIS sensor and ancillary spatial and point data. The ability of the model to predict frost conditions has been validated for selected days on which frost conditions had been observed for a region in Northwestern Greece according to ground observations obtained by the Agricultural Insurance Organization (ELGA). An extensive evaluation of the frost risk model predictions has been performed herein to evaluate objectively its ability to predict the spatio-temporal distribution of frost risk in the studied region, including comparisons against physiographical factors of the study area. The topographical characteristics that were taken under consideration were latitude, altitude, slope steepness, topographic convergence and the extend of the areas influenced by water bodies (such as lake and sea) existing in the study area. Additional data were also used concerning land use data and vegetation classification (type and density).

Our results showed that the model was able to produce reasonably the spatio-temporal distribution of the frost conditions in our study area, following largely explainable patterns in respect to the study site and local weather conditions characteristics. All in all, the methodology implemented herein proved capable in obtaining rapidly and cost-effectively cartography of the frost risk in a Mediterranean environment, making it potentially a very useful tool for agricultural management and planning. The model presented here has also a potential to enhance conventional field-based surveying for monitoring frost changes over long timescales.

KEYWORDS: Earth Observation, MODIS, frost, risk assessment, Greece

Development of a Frost Risk Assessment Tool in Agriculture for a Mediterranean ecosystem Utilizing MODIS satellite observations

Panagiota Louka¹, Ioannis Papanikolaou¹, George P. Petropoulos², George Migiros¹ and Ioannis Tsiros¹

¹ Laboratory Mineralogy-Geology, Department of Natural Resources Development and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens

² Department of Geography and Earth Sciences, University of Aberystwyth, Wales, United Kingdom

³ Laboratory General and Agricultural Meteorology, Department of Crop Science, Agricultural University of Athens

1. INTRODUCTION

Frost risk in Mediterranean countries is a critical factor in agricultural planning and management. Nowadays, the rapid technological developments in Earth Observation (EO) technology have improved dramatically our ability to map the spatiotemporal distribution of frost conditions over a given area and evaluate its impacts on the environment and society.

The present study aimed at developing a multi-temporal frost prediction model in a Mediterranean setting based on freely distributed Earth Observation (EO) data.

2. STUDY SITE & DATASETS

2.1 Study site:

Our study site is a region of Northwestern Greece which is comprised of almost 500 municipal districts in 11 different prefectures. The landscape of the area is comprising a mosaic of extended flat shores in seaside regions and an alternation of valleys and mountainous areas culminating at 2.282 m.

2.2 Datasets:

- Nighttime Land Surface Temperature MODIS image products (MOD11A1) for 4 selected years (2004, 2006, 2009, 2010) were acquired.
- MODIS products MCD12Q1, MOD13A3, MOD15A2, MOD17A2 for the selected study period (057-065/ 2006) were also obtained.

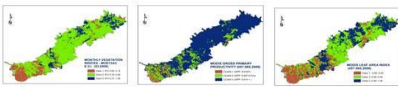


Figure 2: Examples of acquired MODIS products for the study.

- Ground observations were also obtained from the Agricultural Insurance Organization of Greece (ELGA) for the decade 1999-2010 concerning frost damages in crops recorded in the municipal districts of the study area.

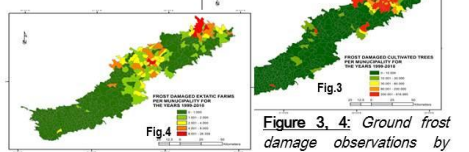


Figure 1: Frost Frequency Map, based on LST night observations for the years 2004, 2006, 2009, 2010.

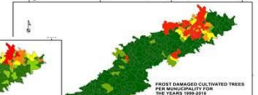


Figure 3, 4: Ground frost damage observations by ELGA.

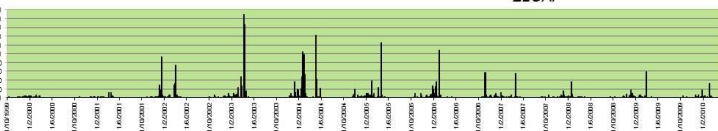


Figure 5: Map presenting Total Daily Number of Frost Damage in Farms Recorded by ELGA per municipal area for the study region, concerning the decade 1999-2010.

3. METHODOLOGY

Relationships between frost occurrence and other parameters (e.g. topographical and land use / cover) as well as the ELGA frost damages reports on cultivated areas were initially examined.

All the acquired layers were reclassified according to their correlation to frost risk.

The frost risk maps that were created were validated through GIS raster analysis, versus frost frequency maps derived by MOD11A1 daily products by delineating areas where frost was detected (by LST threshold of 273 °K) and excluding No Data areas.

Furthermore in order to improve the temporal resolution of the frost risk model, MODIS products were used with yearly, monthly and 8-day temporal granularity.

The period of study was selected due to the fact that many frost damages were recorded by ELGA during those dates.

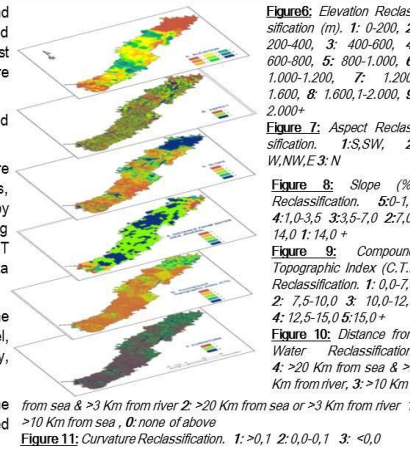


Figure 6: Elevation Reclassification (m). 1: 0-200, 2: 200-400, 3: 400-600, 4: 600-800, 5: 800-1,000, 6: 1,000-1,200, 7: 1,200-1,600, 8: 1,600,1-2,000, 9: 2,000+

Figure 7: Aspect Reclassification. 1:S,SW, 2: W,NW,E 3: N

Figure 8: Slope (%) Reclassification. 5:0-1,0 4:1,0-3,5 3:3,5-7,0 2:7,0-14,0 1:14,0 +

Figure 9: Compound Topographic Index (C.T.I) Reclassification. 1: 0,0-7,5 2: 7,5-10,0 3: 10,0-12,5 4: 12,5-15,0 5:15,0 +

Figure 10: Distance from Water Reclassification. 4: >20 Km from sea & >3 Km from river, 3: >10 Km from sea & >3 Km from river 2: >20 Km from sea or >3 Km from river 1: >10 Km from sea, 0: none of above

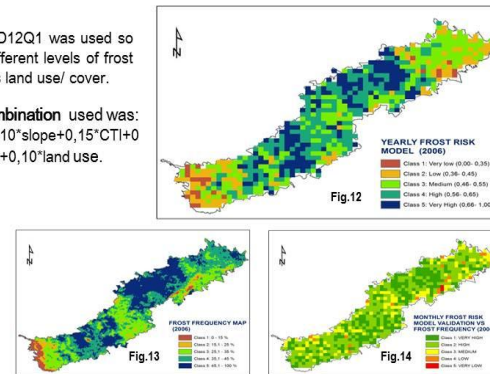
Figure 11: Curvature Reclassification. 1: >0,1 2: 0,0-0,1 3: <0,0

4i RESULTS: Dynamic Model - Yearly Temporal Resolution

MODIS Land Use product MCD12Q1 was used so as to study the influence of different levels of frost risk in an area depending on its land use/ cover.

The frost risk parameter combination used was: 0,35°elevation+0,10°aspect+0,10°slope+0,15°CTI+0,15°Dist.Water+0,10°curvature+0,10°land use.

The results of the model were validated in comparison to a frost frequency map computed for the year 2006, showing satisfactory competency (80% High + Very High).



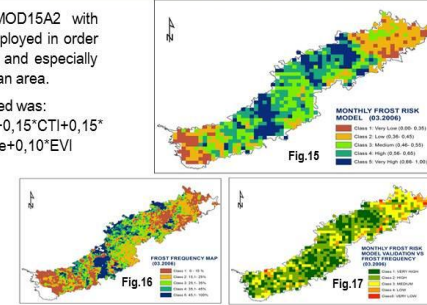
Figures 12, 13, 14: Yearly frost risk model results & validation.

4ii. RESULTS: Dynamic Model Monthly Temporal Resolution

MODIS Vegetation Indices product MOD15A2 with temporal granularity of 1 month was employed in order to further analyse the effect of land use and especially densely vegetated areas on frost risk in an area.

The frost risk parameter combination used was: 0,35°elevation+0,05°aspect+0,05°slope+0,15°CTI+0,15°Dist. Water+0,05°curvature+0,10°land use+0,10°EVI

The results of the model were validated in comparison to a frost frequency map computed for March of 2006, showing satisfactory competency (69% High + Very High).



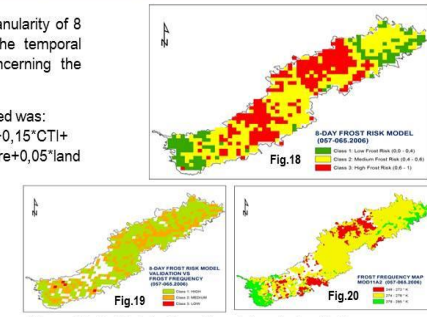
Figures 15, 16, 17: Monthly frost risk model results & validation.

4iii. RESULTS: Dynamic Model 8-day Temporal Resolution

Two MODIS products with temporal granularity of 8 day periods were used to integrate the temporal resolution of the frost risk model concerning the vegetation effect on frost risk.

The frost risk parameter combination used was: 0,40°elevation+0,03°aspect+0,03°slope+0,15°CTI+0,10°Dist. Water+0,10°curvature+0,05°land use+0,05° EVI +0,05°Lai+0,05°GPP

The results of the model were validated in comparison to a frost frequency map computed for the period of 26/2/2006- 06/03/2006 showing satisfactory competency (65% High + Very High).



Figures 18, 19, 20: 8-day frost risk model results & validation.

5. CONCLUSIONS - FURTHER RESEARCH

> In the present study a frost risk based model has been developed based primarily on the use of freely distributed EO datasets from MODIS sensor. Key advantages of the proposed approaches include: cost-effectiveness, temporal stability, transferability, access to otherwise inaccessible areas.

> Further work is directed towards the comparisons of the frost risk predictions by the three models against in-situ measurements of soil frost obtained from ELGA.

> In this framework, detailed sensitivity analysis is planned to be implemented as well which will allow establishing the accuracy of the proposed herein modeling schemes.

References

Chen J. & Liqun Sun. Using MODIS EVI to detect vegetation damage caused by the 2003 ice and snow storms in south China. Journal of Geophysical Research. Vol. 115, n. 4 (2010). Francisco C. et al. Frost Risk Based from satellite and surface data over the Bolivian Altiplano. Agricultural & Forest Meteorology. Vol. 95 (1999). Proenza et al. Downscaling MODIS-derived maps using GIS and boosted regression trees: The case of frost occurrence over the arid Andean highlands of Bolivia. Remote Sensing of Environment. Vol. 115 (2011). Chapman Lee & Thomas J.E. Road ice prediction using Geomatics. Science of the Total Environment. Vol. 349 (2006). Daeger R. et al. The Climate near the Ground. Eds: Rowman & Littlefield Inc. (2003)

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Almkvist E., Gustavsson T. & Borgen J. (2005) "An attempt to define the Road Climate Room." *Meteorological Applications* Vol.12:p.357-370.
- Avery T.E. & Berlin G.L. (1992) "Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation." 5th edition, Mc Millan Publishing Company, New York.
- Beck E.H, Heim R. & Hansen J.(2004) "Plant resistance to cold stress: Mechanisms and environmental signals triggering frost hardening and dehardening." *Journal of Biosciences* Vol.29: p.449-459.
- Blennow K. & Persson P. (1998) "Modeling local-scale frost variations using mobile temperature measurements with GIS." *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol.89: p.59-71.
- Blennow K. (1998) "Modelling minimum air temperature in partially and clear felled forests." *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol.91: p.223-235.
- Borgen J & Gustavsson T. (1991) "Nocturnal air and road surface temperature variations in complex terrain." *International Journal of Climatology*. Vol.11: p.443-455.
- Chapman L. & Thornes J.E. (2006) "Road Ice prediction using geomatics." *Science of Total Environment* 360 Vol. 1-3 pp.68-80.
- Chapman L. , Thornes J.E. & Bradley A.V. (2001a) "Modeling of road surface temperature from a geographical database. Part 2: Numerical." *Meteorological Applications* Vol.8: p.421-436.
- Chapman L., Thornes J.E. & Bradley A.V (2001b). "Modeling of road surface temperature from a geographical parameter database. Part I: Statistical." *Meteorological Applications* Vol.8: p.409-419.
- Chen J., Saunders S.C., Crow T.R., Naiman R.J, Brosofske K.D., Mroz G.D., Brokkshire Bl. & Franklin J.F. (1999). "Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology." *Bioscience* Vol.49: p.288-297.
- Chen Li & Liqun Sun (2010). "Using MODIS EVI to detect vegetation damage caused by the 2008 ice and snow storms in south China." *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, Vol. 115.G3.
- Dalezios N.R & Lavrediadou E.E. (1995). "Features of frost-affected areas from digital meteosat IR images" *Advances in Space Research* Vol.15:p.123-126.
- Dikau, R. (1989). "The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology" *Three Dimensional Application in Geographic Information Systems* p. 51-77, Ed. J. Raper, London.
- Eriksson M. & Lindqvist S. (2002). "Regional influence on road slipperiness during winter precipitation." *11th SIRWEC Conference, Sapporo Japan*, January 26-28, 2002.

- Evans J.S. & Oakleaf J. (2012) Geomorphometry & gradient metrics toolbox (ArcGIS 10.0) Ηλεκτρονικό εγχειρίδιο διαθέσιμο μέσω της ιστοσελίδας <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=8ec8f5cc3c8b48f080746c52ddc2fadd>.
- Francois C., Bosseno R., Vacher J.J. & Segiun B (1999). "Frost risk mapping derived from satellite and surface data over the Bolivian Altiplano." *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol.95: p.113-137.
- Fridley J.D. (2009). "Downscaling Climate over complex Terrain: High Finescale (<1.000 m) Spatial Variation of Near-Ground Temperatures in a Montane Forested Landscape (Great Smoky Mountains)." *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 48: p. 1033-1049.
- Geiger R.F., Aron R.H. & Todhunter P. (2003). "The Climate near the ground." Ed. Rowman & Littlefield Publishers Inc., p. 584, United Kingdom.
- Goodchild M.F., Parks B.O. & Steyaert L.T. (1993). "Environmental Modeling with GIS." Ed. Oxford University Press Inc., p. 488, New York.
- Grafe K. (1956) "Strahlungsempfang vertikaler ebener Flächen; Globalstrahlung von Hamburg." Ber.DWD 5, nR 29. 1-15.
- Gustavsson T. & Bogren J. (1991). "Infrared thermography in applied road climatological studies." *International Journal of Remote Sensing*. Vol.12(9): p.1811-1828.
- Gustavsson T. (1999). "Thermal mapping- a technique for road climatological studies." *Meteorological Applications* Vol.6(4): p.385-394.
- Gustavsson T., Borgen J. & Eriksson M. (1998). "GIS as a tool for planning new road stretches in respect of climatological factors." *Theoretical and Applied Climatology* Vol. 60: p.179-190.
- Hanna S.R. (1987). "An empirical formula for the height of the coastal internal boundary layer." *Boundary Layer Meteorology* Vol. 40(1-2): p.205-207
- Hartman F.K., Eimern J.van, Jahn G. (1959) "Untersuchungen reifbedingter kleinklimatischer Ftagen in Gelandequerschnitten der hochmontanen." Stufe des Mittel- u. Sudwestharzes. Ber. DWD 7, Nr.50
- Huete A.R., Liu H.Q., Batchily K. & Leewen W. van (1996). "A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS." *Remote Sensing of Environment* Vol.59: p.440-451.
- Jarvis C.H. & Stuart N. (2001). "A comparison among strategies for interpolating maximum and minimum daily air temperatures. Part I: The selection of "guiding" topographic and land cover variables." *Journal of Applied Meteorology*, Vol.40: p.1060-1074.
- Kalma J.D., Laughlin G.P., Caprio J.M. & Hamew P.J.C. (1992) "The Bioclimatology of Frost" *Adv. In Bioclimatology II*. Ed. Springer, Berlin.
- Karlsson I.M. (2001) "Prediction of hoar-frost by use of a road weather information system." *Meteorological Applications* Vol.8(1): p.95-105.

- Kerdiles H., Grondona M, Rodriguez R & Seguin B. (1996) "Frost mapping using NOAA AVHRR data in the Papean region, Argentina." *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol.79: p.157-182.
- Lillesand T.M. & Kiefer R.W. (2000) "Remote Sensing and Image Interpretation." 4th edition, Ed. J. Wiley & Sons, p. 750, U.S.A.
- Lindkvist L, Gustavsson T. & Borgen J. (2000) "A frost assessment method for mountainous areas." *Agricultural and Forest Meteorology* Vol.102: p.51-67.
- Malczewski J. (2000). "On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches." *Transactions in GIS*, Vol.4: p.5-22.
- Mitchell A. (1999). "The ESRI Guide to GIS Analysis. Vol.1: Geographic Patterns and Relationships." Ed. Environmental Systems Research Institute Inc., California.
- Norrman J., Eriksson M. & Lindqvist S. (2000) "Relationships between road slipperiness, traffic accident risk and winter maintenance activity." *Climate Research* Vol.15: p.185-193.
- Oke T.R. (1987) "Boundary Layer Climates." Ed. Routledge, London.
- Oliver H.R. (1992) "Studies of surface energy balance of sloping terrain." *International journal of climatology* Vol.12: p.55-68.
- Pouteau R., Rambal S., Ratte J.P., Goge F., Joffre R. & Winkel T. (2011) "Downscaling MODIS-derived maps using GIS and boosted regression trees: The case of frost occurrence over the arid Andean highlands of Bolivia" *Remote Sensing of Environment* Vol.115(1): p.117-129.
- Radcliffe J.E. & Lefever K.R. (1981). "Aspect influences on pasture microclimate at Coopers Creek, North Canterbury." *New Zealand Journal of Agricultural Research* Vol.24: p.55-66.
- Richards K & Baumgarten M (2003) "Towards Topoclimate Maps of Frost and Frost Risk for Southland, New Zealand." *15th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre*, University of Otago, Dunedin, New Zealand, December 01.03.2003.
- Rouse W.R. & Wilson R.G. (1969) "Time and space in the radiant energy fluxes over sloping forested terrain and their influence on seasonal heat and water balances at middle altitude sites." *Geografiska Annaler, Series A. Physical Geography*, p.160-175.
- Sakai A. & Larcher W. (1987) "Frost survival of plants. Responses and adaptation to freezing stress." Ed. Springer, Berlin.
- Sao J. & Lister P.J. (1995) "The prediction of Road Surface State and Simulation of the Shading Effect." *Boundary Layer Meteorology* Vol.73: p.411-419.
- Schedler A. (1951) "Die Bestrahlung geneigter Flächen durch die Sonne." *Jahrb. Zentralanst. f. Meteorol.u.Wien*, N.F.87, D 51-64, Wien

- Shanks R.E. (1954) "Climates of the Great Smoky Mountains." *Ecology*, Vol.35: p.354-361.
- Silim S.N. & Lavender D.P. (1994). "Seasonal patterns and environmental regulation of frost hardiness in shoots of seedlings of *Thuja plicata*, *Chamaecyparis nootkatensis*, and *Picea glauca*", *Canadian Journal of Botany* Vol.72: p.309–316.
- Soderstrom M. & Magnusson B (1995). "Assessment of local agroclimatological conditions – a methodology." *Agricultural and Forest Meteorology* Vol.72: p.243-260.
- Thornes J. E. (1991) "Thermal mapping and road-weather information systems for highway engineers, in Perry" Ed. Symons L.J. & A.H. Highway Meteorology , London. p. 39-67.
- Salomonson V.V., Barnes W. & Masuoka E.J. (2006) "Introduction to MODIS and an overview of associated activities" *Earth science satellite remote sensing*. Springer Berlin Heidelberg, p.12-32.
- Αρσένη- Μπαλαφούτη Α. «Υδρομετεωρολογία» Ηλεκτρονικό βιβλίο: <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc543e>(τ.πρόσβαση 03.2014)
- Ασιάρας Θ. (2006) «Τηλεπισκόπηση- Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες» Α.Π.Θ. 2006.
- Γ.Υ.Σ. – Τοπογραφικοί χάρτες της Ελλάδος, κλίμακας 1:50.000 - Φύλλα Αγιοφύλλον, Αγνάντα, Αλεξάνδρεια, Άργος Ορεστικών, Βελβεντός, Βέροια, Γιαννισιά, Γρεβενά, Επανόμη, Θεσσαλονίκη, Ιωάννινα, Καστανέα, Κατερίνη, Κιλκίς, Κληματιά, Κνίδη, Κοζάνη, Κουφαλιά, Λευκίμμη, Λιβαδερών, Λιβάδιον, Μέτσοβον, Παναγιά, Παπαδάται, Παραμυθιά, Πάργα, Πεντάλοφος, Πλατύ, Πραμάντα, Πύργοι, Σαγιάδα, Σιάτιστα, Τσεπέλοβον, Φιλιάται.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (1999) «Κλιματικά Στοιχεία των Σταθμών της Ε.Μ.Υ., Τεύχη Α' και Β'», Αθήνα.
- Ελληνικός Οργανισμός Γεωργικών Ασφαλίσεων (2003). «Εγχειρίδιο Εκτιμητικής για Ζημιά από Παγετό στα Μήλα.» Ηλεκτρονικό εγχειρίδιο: <http://www.elga.gr/images/stories/egxeiridia/MILA%20PAGETOS.pdf> (τ. πρόσβαση 06/2014).
- Καρτάλης Κ. & Φείδας Χ. (2013). Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης. Εκδ. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Κουτσογιάννης Δ. (2008). Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων. Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων- Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων.
- Κουτσόπουλος Κ. & Ανδρουλακάκης Ν. (2012). Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Θεωρία και πράξη. Εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Μιγκίρος Γ. «Τηλεπισκόπηση, Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες», Γ.Π.Α. 2003.
- Μουντράκης Δ. 1985. "Γεωλογία της Ελλάδας", University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

- Μπαλαφούτης Χ. «Γενική Κλιματολογία- Κλίμα Μεσογείου και Ελλάδος» Ηλεκτρονικό βιβλίο <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc431e/th/Climatology.pdf> (τ. πρόσβαση 03/2014).
- Μπούρης Δ. et al (2008) Ερευνητικό Πρόγραμμα: «Θερμογράφιση του τμήματος Πολύμυλος – Βέροια του αυτοκινητοδρόμου της Εγνατίας Οδού» Ομάδα Έρευνας και Μελέτης Θερμικού Περιβάλλοντος, Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενέργειακών Πόρων, ΠΔΜ.
- Παπανικολάου Δ. Ι. (1986). «Γεωλογία της Ελλάδος», Εκδ. Πεντάλοφος ΑΒΕΕ, Αθήνα.
- Στουρνάρας Γ. (2007) “Νερό, Περιβαλλοντική Διάσταση & Διαδρομή” Εκδ. Τζιόλα.
- Τσιγγανός Α. (2012) «Λίφτινγκ λόγω χιονοπτώσεων στην Εγνατία.» Εφημερίδα Καθημερινή – έντυπη έκδοση (28/1/2012).
- Φλόκας Α. (1994) «Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας», Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Φοίτος Δ.Γ. & Καμάρη Γ.Α. (2009) «Μαθήματα Γεωβοτανικής» Εκδ. Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.
- Χρονοπούλου Α., «Σημειώσεις Γεωργικής Μετεωρολογίας», Γ.Π.Α. 1996
- Χρονοπούλου- Σερέλη Α. & Φλόκας Α.Α. (2010) «Μαθήματα Γεωργικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας» Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Διαδικτυακές Τοποθεσίες:

<http://arcscripsts.esri.com>

<http://geodata.gov.gr/>

<http://reverb.echo.nasa.gov/>

<http://www.egnatia.eu/>

<http://www.meteoclub.gr/>