

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

«ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ»

**ΚΛΑΔΟΣ ΙΙ : ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

«Μηχανισμοί εμφάνισης κατολισθήσεων στον φλύσχη της γεωτεκτονικής ζώνης της Πίνδου και μέτρα αντιμετώπισης: περιοχή Ροπωτό – Κοτρώνι - Βατσουνιά Τρικάλων (ανατολικά πρηνή ορεινού όγκου Καραβούλα, οροσειρά Πίνδου, Κεντρική Ελλάδα)»

Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΜΠΑΘΡΕΛΛΟΣ

ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΙΓΚΙΡΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
«ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ»
ΚΛΑΔΟΣ ΙΙ : ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

«Μηχανισμοί εμφάνισης κατολισθήσεων στον φλύσχη της γεωτεκτονικής ζώνης της Πίνδου και μέτρα αντιμετώπισης: περιοχή Ροπωτό – Κοτρώνι - Βατσουνιά Τρικάλων (ανατολικά πρηνή ορεινού όγκου Καραβούλα, οροσειρά Πίνδου, Κεντρική Ελλάδα)»

Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΜΠΑΘΡΕΛΛΟΣ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΙΓΚΙΡΟΣ, Καθηγητής

ΜΕΛΗ: ΚΩΝ/ΝΟΣ ΣΕΡΕΛΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής

ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Επίκουρος Καθηγητής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή μελέτης στο μεγαλύτερο της μέρος ανήκει διοικητικά στην Περιφερειακή Ενότητα (Π.Ε.) Τρικάλων της Περιφέρειας Θεσσαλίας, ενώ το νοτιοανατολικό της τμήμα ανήκει στην Π.Ε. Καρδίτσας. Οι τρεις οικισμοί, που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης είναι το Κοτρώνι, το Ροπωτό και η Βατσουινιά.

Στην παρούσα μελέτη περιγράφεται η εξέλιξη των κατολισθητικών φαινομένων τα τελευταία 50 χρόνια, αναλύθηκαν οι παράγοντες, οι οποίοι επιδρούν στην εκδήλωσή τους, παρουσιάζεται ο μηχανισμός εκδήλωσή τους και τέλος προτείνονται μέτρα αντιμετώπισής τους.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας έγινε μία εκτίμηση κατολισθητικής επικινδυνότητας με πεδίο εφαρμογής τον άνω ρου του Πορταϊκού και του Πάμισου ποταμού. Οι εννέα παράγοντες, που λήφθηκαν υπόψη, στην εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας συσχετίστηκαν με την μέθοδο της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης. Η εφαρμογή του πολυκριτηριακού μοντέλου οδήγησε στη δημιουργία ενός χάρτη με πέντε διαβαθμισμένες ζώνες κατολισθητικής επικινδυνότητας. Οι περιοχές πολύ υψηλού κατολισθητικού κινδύνου παρατηρούνται κυρίως στο κεντρικό, βόρειο, βορειοδυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής, ενώ οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των εκτάσεων των ζωνών είναι πολύ μικρές. Η συσχέτιση των ζωνών επικινδυνότητας με την χωρική κατανομή των καταγεγραμμένων κατολισθήσεων έδειξε αξιόπιστα αποτελέσματα και μία μεγάλη ακρίβεια της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Επιστημονική περιοχή εργασίας: Ροπωτό – Κοτρώνι - Βατσουινιά Τρικάλων (ανατολικά πρηνή ορεινού όγκου Καραβούλα, οροσειρά Πίνδου, Κεντρική Ελλάδα)

Λέξεις κλειδιά: κατολισθήσεις, μηχανισμοί εμφάνισης κατολισθήσεων, μέτρα ελέγχου και προστασίας, εκτίμηση κατολισθητικής επικινδυνότητας, πολυκριτηριακή στατιστική ανάλυση, Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης

TITLE

Mechanisms of landslide occurrences in the flysch of the Pindos geotectonic zone and prevention measures: areas of Trikala prefecture Ropoto - Kotroni – Vatsounia (east slopes of the massif Karavoula, Pindos Range, Central Greece)

ABSTRACT

In this study, it was described the landslide occurrences evolution during the last fifty years. Also it was studied the factors affecting landslides and the landslide focal mechanism. It is proposed protection measures, too.

Study area was the Southwest part of Thessaly and specific the settlements Ropoto - Kotroni – Vatsounia.

Also in this study landslide susceptibility assessment took place, in field of application the upper reaches of Portaikos and Pamisos River. Nine factors were taken into account in the landslide susceptibility assessment which further were correlated with the method of Analytic Hierarchy Process. The application of multi-criteria model led to the creation of a map with five classified landslide hazard zones. The areas of very high landslide susceptibility were observed mainly in central, northern, northwestern and southwestern part of the study area. The differences between the areas of the zones are very low. The correlation of landslide susceptibility zones with the spatial distribution of recorded landslides showed reliable results, and a high accuracy of the proposed methodology.

Scientific work area: Trikala prefecture- Ropoto - Kotroni – Vatsounia (east slopes of the massif Karavoula, Pindos Range, Central Greece)

Key words: landslides, mechanisms of landslide occurrences, prevention and control measures, landslide susceptibility assessment, multi-criteria statistical analysis, Analytical Hierarchy Process.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| Κεφάλαια | σελ. |
|--|-------------|
| Περίληψη | 03 |
| Abstract | 04 |
| Περιεχόμενα | 05 |
| Εισαγωγή | 06 |
| 1 Περιοχή Μελέτης | 08 |
| 1.1 Καθορισμός ορίων περιοχής μελέτης | 09 |
| 1.2 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά | 12 |
| 1.3 Γεωλογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά | 17 |
| 1.4 Κλιματικά χαρακτηριστικά | 23 |
| 2 Αστάθεια σχηματισμών, πετρωμάτων και πρηνών (Κινήσεις Γαιών) | 26 |
| 3 Κατολισθητικά φαινόμενα στην Κοινότητα Κοτρώνι | 28 |
| 4 Κατολισθητικά φαινόμενα στην Κοινότητα Βατσουινιά | 29 |
| 4.1 Κατολισθητικά φαινόμενα το χειμώνα 1962–1963 | 29 |
| 4.2 Κατολισθητικά φαινόμενα το χειμώνα 1980–1981 | 30 |
| 4.3 Κατολισθητικά φαινόμενα το χειμώνα 1993–1994 | 30 |
| 5 Μορφολογία του κεντρικού συνοικισμού της Κοινότητας Ροπωτού | 33 |
| 6 Διαχρονική εξέλιξη των κατολισθητικών φαινομένων στην Κοινότητα Ροπωτού | 35 |
| 6.1 Κατολισθητικά φαινόμενα το χειμώνα 1962–1963 | 35 |
| 6.2 Κατολισθητικά φαινόμενα το χειμώνα 1975–1976 | 37 |
| 6.3 Κατολισθητικά φαινόμενα το χειμώνα 1978–1979 | 37 |
| 6.4 Κατολισθητικά φαινόμενα το χειμώνα 1990–1991 | 43 |
| 6.5 Κατολισθητικά φαινόμενα το χειμώνα 1993–1994 | 45 |
| 6.6 Σύγχρονη εξέλιξη φαινομένων - κατολισθητικών γεγονότων τους χειμώνες 2009–2010 & 2011–2012 | 46 |
| 7 Μηχανισμός εκδήλωσης των μελετώμενων κατολισθήσεων | 63 |
| 7.1 Γενικευμένος μηχανισμός εκδήλωσης των τριών μελετώμενων κατολισθήσεων | 66 |
| 7.2 Μηχανισμός εκδήλωσης της κατολίσθησης στην κοινότητα Ροπωτού | 67 |
| 8 Μέτρα αντιμετώπισης - προστασίας | 72 |
| 9 Εκτίμηση επικινδυνότητας των κατολισθήσεων | 74 |
| 9.1 Γενικά | 74 |
| 9.2 Εκτίμηση επικινδυνότητας των κατολισθήσεων | 76 |
| 9.3 Εκτίμηση κατολισθητικής επικινδυνότητας στην Ελλάδα | 77 |
| 9.4 Δεδομένα - μεθοδολογία | 78 |
| 9.5 Χάρτης κατολισθήσεων | 86 |
| 9.6 Κατολισθητικοί παράγοντες - βαθμονόμηση | 88 |
| 9.7 Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας | 106 |
| 9.8 Αβεβαιότητα | 109 |
| 9.9 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων | 114 |
| 10 Συμπεράσματα | 117 |
| Βιβλιογραφία | 121 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο «Μηχανισμοί εμφάνισης κατολισθήσεων στον φλύσχη της γεωτεκτονικής ζώνης της Πίνδου και μέτρα αντιμετώπισης: περιοχή Ροπωτό – Κοτρώνι - Βατσουινιά Τρικάλων (ανατολικά πρηνή ορεινού όγκου Καραβούλα, οροσειρά Πίνδου, Κεντρική Ελλάδα)» πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης: Θετικές Επιστήμες στην Γεωπονία, Κλάδος: Γεωλογικό και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον για τον Σχεδιασμό Έργων Υποδομής.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να περιγραφεί η εξέλιξη των κατολισθητικών φαινομένων τα τελευταία 50 χρόνια, να αναλυθούν οι παράγοντες, οι οποίοι επιδρούν στην εκδήλωσή τους, να παρουσιαστεί ο μηχανισμός εκδήλωσής τους, να προταθούν μέτρα αντιμετώπισής τους και τέλος να γίνει εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου.

Ως περιοχή μελέτης καθορίστηκε τα ανατολικά πρηνή του ορεινού όγκου Καραβούλα, στην οροσειρά της Πίνδου, στο νοτιοδυτικό τμήμα της Θεσσαλίας. Και συγκεκριμένα τρεις οικισμοί, οι οποίοι έχουν πληγεί κατ' επανάληψη από κατολισθήσεις, το Ροπωτό και το Κοτρώνι Τρικάλων, καθώς και η Βατσουινιά Καρδίτσας.

Η μελέτη αυτή θα ήταν αδύνατο να επιτευχθεί χωρίς τη βοήθεια της Τριμελούς επιτροπής, τα μέλη της οποίας θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα, Καθηγητή κ. Γεώργιο Μιγκίρο για την καθοδήγηση, τη συμπαράσταση και την ουσιαστική βοήθειά του σε όλα τα στάδια της παρούσας εργασίας.

Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο ορίστηκε η περιοχή ενδιαφέροντος με βάση φυσικά όρια όπως είναι η υδροκριτική γραμμή και παρουσιάζονται τα γεωλογικά, γεωμορφολογικά και κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγική συζήτηση για την αστάθεια σχηματισμών, πετρωμάτων και πρηνών, καθώς και για τις κινήσεις γαιών. Τα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται στο κεφάλαιο αυτό είναι κυρίως βιβλιογραφικά.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα υπάρχοντα στοιχεία για τις κατολισθήσεις στο Κοτρώνι Τρικάλων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται επίσης τα λίγα υπάρχοντα στοιχεία για τις κατολισθήσεις στη Βατσουινιά Καρδίτσας. Τα

περισσότερα στοιχεία του κεφαλαίου αυτού προέρχονται από αδημοσίευτες τεχνικές εκθέσεις του Ι.Γ.Μ.Ε..

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η μορφολογία του κεντρικού συνοικισμού του Ροπωτού όπου εκδηλώθηκαν επανειλημμένα σημαντικά κατολισθητικά γεγονότα.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία διαχρονική εξέλιξη των κατολισθήσεων στο Ροπωτό και κυρίως στον κεντρικό συνοικισμό αυτού. Η περιγραφή των παλαιότερων γεγονότων στηρίζεται σε τεχνικές εκθέσεις του Ι.Γ.Μ.Ε.. Η παρουσίαση του σύγχρονου κατολισθητικού γεγονότος, το οποίο βρίσκεται σε εξέλιξη από το 2010, στηρίζεται σε εργασία υπαίθρου και τεκμηριώνεται από πλούσιο φωτογραφικό υλικό, που καλύπτει όλα τα στάδια εξέλιξης του φαινομένου στην διάρκεια των περασμένων ετών.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια μελέτης του μηχανισμού εκδήλωσης των κατολισθήσεων.

Στο όγδοο κεφάλαιο αυτής της μελέτης προτείνονται μέτρα αντιμετώπισης των κατολισθήσεων.

Στο ένατο κεφάλαιο εκτιμάται η κατολισθητική επικινδυνότητα, στηριζόμενη σε πολυκριτηριακό μοντέλο και στους παράγοντες εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων.

Τέλος στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα την παρούσα μελέτη.

1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην περιφέρεια Θεσσαλίας και το μεγαλύτερό της μέρος ανήκει διοικητικά στην Περιφερειακή Ενότητα (Π.Ε.) Τρικάλων, ενώ το νοτιοανατολικό της τμήμα ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας.

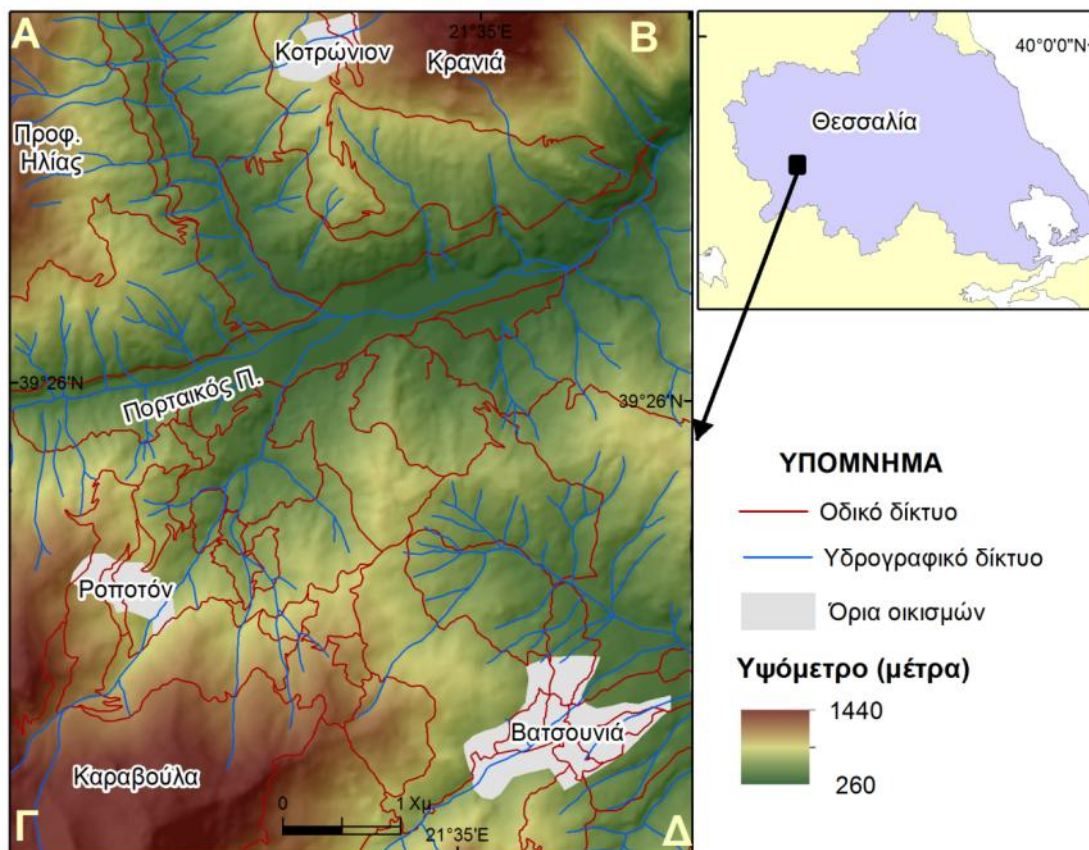
Τα φαινόμενα, τα οποία θα μελετηθούν, βρίσκονται στην περιοχή, που παρουσιάζεται στο **σχήμα 1.1** και μπορεί να καθοριστεί από ένα πολύγωνο με κορυφές Α, Β, Γ, Δ. Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (Ε.Γ.Σ.Α./EGSA) του 1987 χρησιμοποιήθηκε για την χαρτογραφική απόδοση του χάρτη. Σύμφωνα με το παραπάνω προβολικό σύστημα το πολύγωνο της περιοχής ενδιαφέροντος τοποθετείται μεταξύ των παρακάτω καρτεσιανών συντεταγμένων:

$X_A = 267.868,5 \mu.$ και $Y_A = 4.514.382,2 \mu.$

$X_B = 293.142,4 \mu.$ και $Y_B = 4.370.976,0 \mu.$

$X_\Gamma = 287.272,9 \mu.$ και $Y_\Gamma = 4.363.737,0 \mu.$

$X_\Delta = 293.169,4 \mu.$ και $Y_\Delta = 4.363.786,4 \mu.$



Σχήμα 1.1: Η θέση της περιοχής ενδιαφέροντος με το υψόμετρό της, τους οικισμούς, το υδρογραφικό δίκτυο και το οδικό δίκτυο.

Η περίμετρος του πολυγώνου της περιοχής ενδιαφέροντος είναι 26.187 μέτρα και καλύπτει μία έκταση εμβαδού 42.428.994 τετραγωνικών μέτρων ή περίπου 42 τετραγωνικών χιλιομέτρων.

Η περιοχή είναι κυρίως ορεινή - ημιορεινή με το υψόμετρο της κυμαίνεται από 260 έως 1.440 μέτρα. Βρίσκεται στην οροσειρά της νότιας Πίνδου και συγκεκριμένα στα ανατολικά πρηνή του ορεινού όγκου Καραβούλα, που στην περιοχή μελέτης έχει υψόμετρο 1.440 μέτρα. Στο βόρειο τμήμα της η περιοχή περικλείεται από τους ορεινούς όγκους του Προφήτη Ηλία (989 μ.) και της Κρανιάς (1.440 μ.).

Το Πορταϊκό Ρέμα, το οποίο είναι παραπόταμος του Πηνειού ποταμού, διαρρέει την περιοχή μελέτης, με διεύθυνση ροής ΝΔ-ΒΑ. Το συνολικό μήκος των ρεμάτων που διαρρέουν την περιοχή είναι περίπου 101 χιλιομέτρων.

Οι τρεις οικισμοί, οι οποίοι μελετώνται είναι το Κοτρώνι, το Ροπωτό και η Βατσουινιά. Το Κοτρώνι βρίσκεται στο βόρειο, το Ροπωτό στο νοτιοδυτικό και η Βατσουινιά στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος. Το οδικό δίκτυο της περιοχής είναι αναπτυγμένο και έχει συνολικό μήκος περίπου 115 χιλιομέτρων.

1.1. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο κάθε χώρος ή περιοχή μελέτης δεν έχει σαφή όρια και δεν είναι αυτοτελής. Επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες ή φαινόμενα, οι οποίοι ή τα οποία ενώ μπορεί να πηγάζουν ή να λαμβάνουν χώρα σε διαφορετική περιοχή από αυτήν η οποία μελετάται, την επηρεάζουν σημαντικά. Για παράδειγμα αν μελετάται ένα μικρό νησί, που γεωγραφικά είναι οριοθετημένο από την ακτογραμμή του, διάφοροι γεωλογικοί και άλλοι παράγοντες επιδρούν στη διαμόρφωσή του και στην εξέλιξή του, που πολλές φορές οι παράγοντες αυτοί δεν δρουν και δεν επηρεάζουν μόνο τη στενή και οριοθετημένη περιοχή μελέτης. Έτσι το νησί αυτό σαφέστατα επηρεάζεται από την τεκτονική και την γεωδυναμική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής, τον κυματισμό, τα υποθαλάσσια ρεύματα, τα κλιματικά και κλιματολογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής, και άλλους παράγοντες. Όπως είναι φυσικό οι προαναφερθέντες παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη στη μελέτη της περιοχής αυτής, καθώς επίσης και τα αποτελέσματά τους, και να συμπεριληφθούν στη μελέτη αυτή.

Έτσι, ως περιοχή μελέτης κρίθηκε σκόπιμο να είναι αρκετά διευρυμένη περιοχή, κύρια για την εκτίμηση της κατολισθητικής

επικινδυνότητας. Αυτό έγινε έτσι ώστε να ληφθούν υπόψη όσο το δυνατόν περισσότεροι παράγοντες, που επιδρούν στην εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνεται και μεγαλύτερη χωρική πληροφορία. Επίσης η ευρύτερη περιοχή βοηθά τόσο στην δημιουργία αξιόπιστου χάρτη εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας όσο και στον καλύτερο έλεγχο των αποτελεσμάτων του αλλά και της εγκυρότητάς του.

Η οριοθέτηση της περιοχής έρευνας βασίστηκε σε φυσικά κριτήρια. Ως όριο της περιοχής επιλέχθηκε η υδροκριτική γραμμή των παραποτάμων του Πηνειού ποταμού. Στην πραγματικότητα η περιοχή αποτελείται από δύο υπολεκάνες απορροής: του άνω ρου του Πορταϊκού Ρέματος και του άνω ρου του Πάμισου Ποταμού. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει ορεινές έως ημιορεινές εκτάσεις και βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της περιφέρειας Θεσσαλίας.

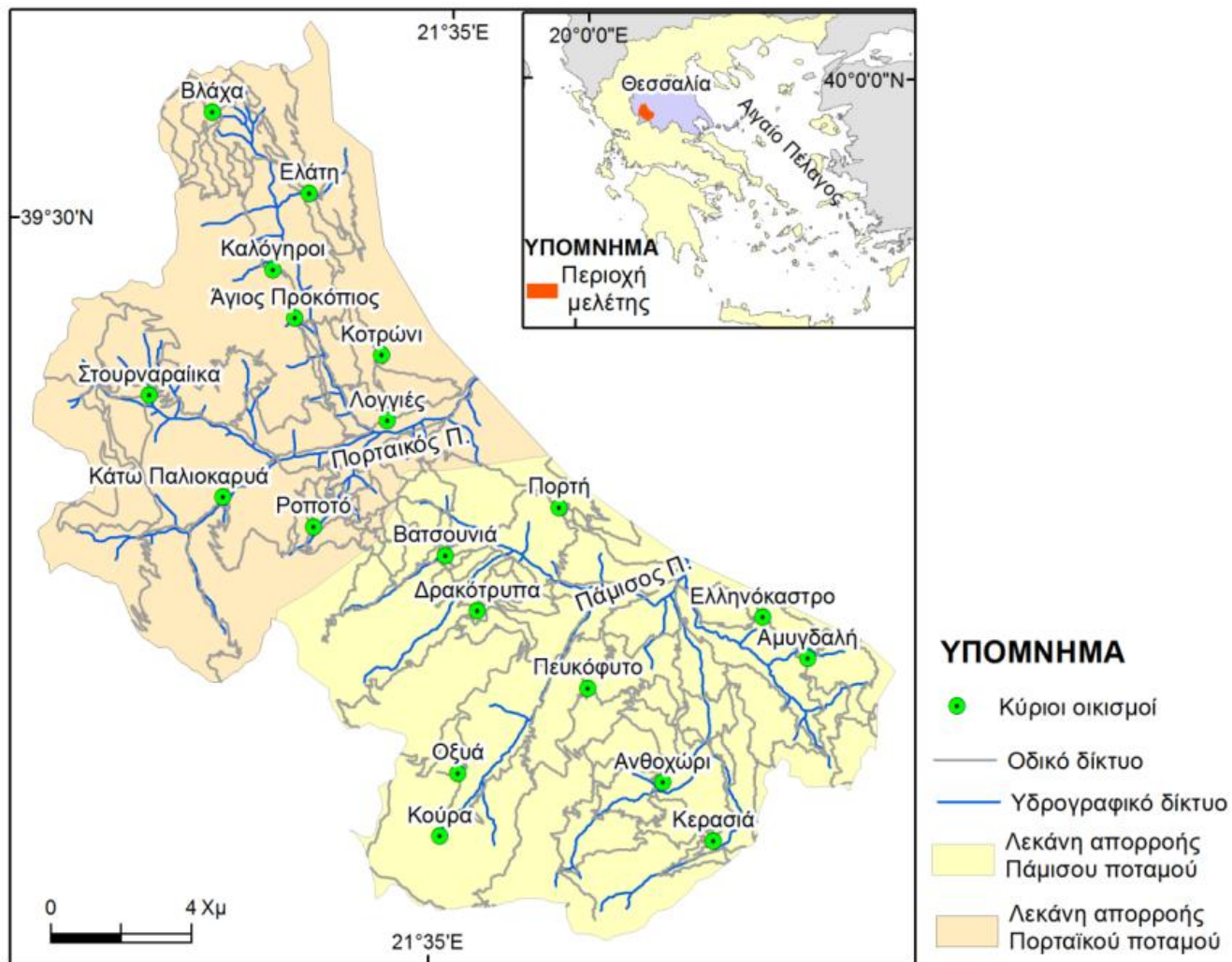
Συμπληρωματικά οι δύο υπολεκάνες είναι αυτόνομες λεκάνες, των οποίων οι ποταμοί απορρέουν στον Πηνειό Ποταμό αφού περάσουν από στενό πέρασμα όπως είναι η Πύλη.

Η περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στο **σχήμα 1.2**. Η περίμετρος της είναι περίπου 96 χιλιόμετρα και το εμβαδόν της είναι 280 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (Ε.Γ.Σ.Α. / EGSA) του 1987 χρησιμοποιήθηκε στην χαρτογραφική απόδοση όλων των χαρτών της περιοχής ενδιαφέροντος. Σύμφωνα με αυτό η περιοχή μελέτη τοποθετείται μεταξύ των παρακάτω καρτεσιανών συντεταγμένων:

$X_{\min} = 262.056,9 \text{ m}$ έως $X_{\max} = 326.219,7 \text{ m}$, καθώς και

$Y_{\min} = 4.361.208,5 \text{ m}$ έως $Y_{\max} = 4.418.912,5 \text{ m}$.

Τα δεδομένα λήφθηκαν από τους τοπογραφικούς χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.), φύλλα «Μουζάκιον», «Καλαμπάκα», «Μυρόφυλλον» και «Καστανέα», κλίμακας 1:50.000.

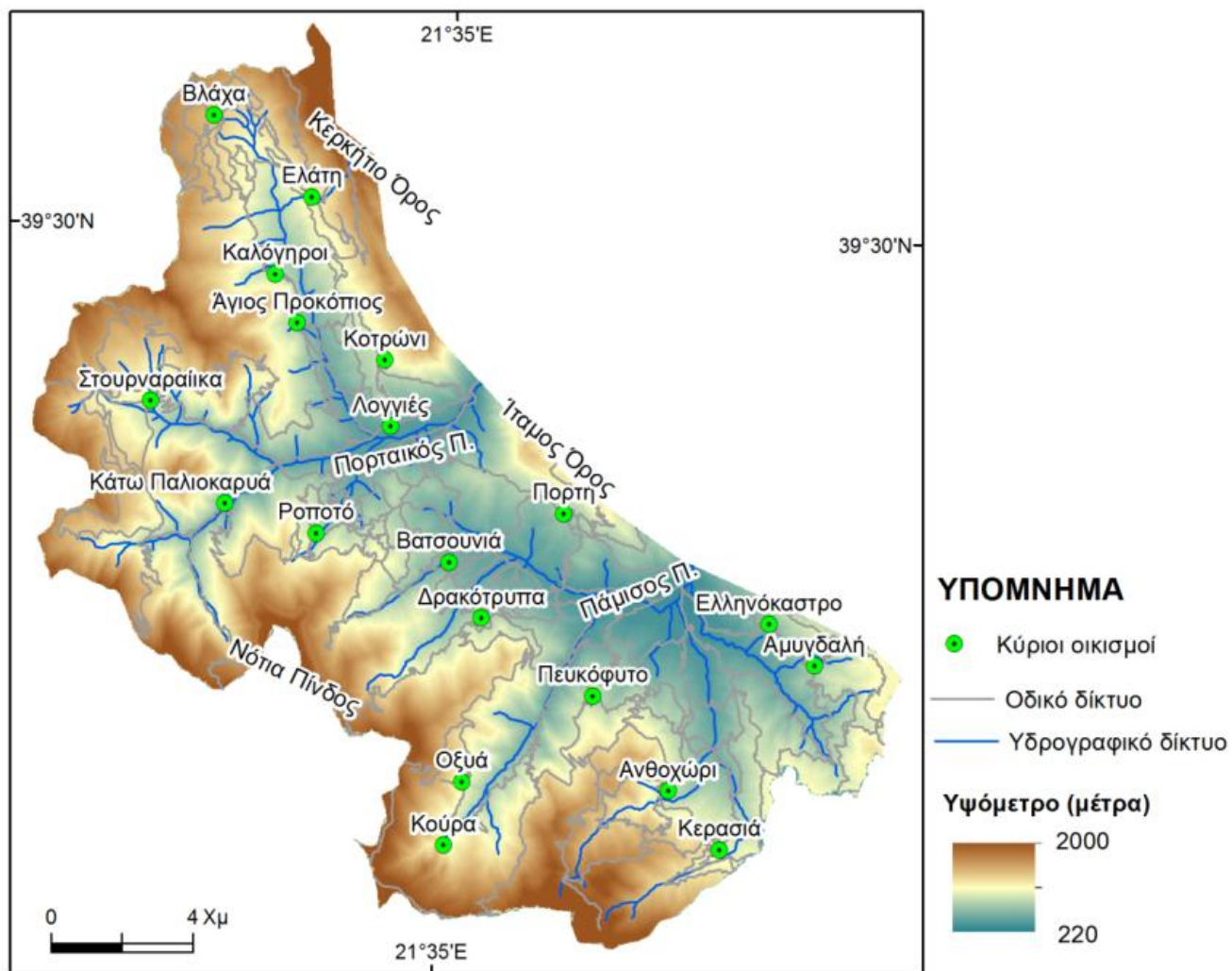


Σχήμα 1.2: Καθορισμός ορίων εφαρμογής μοντέλου εκτίμησης της κατολισθητικής επικινδυνότητας.

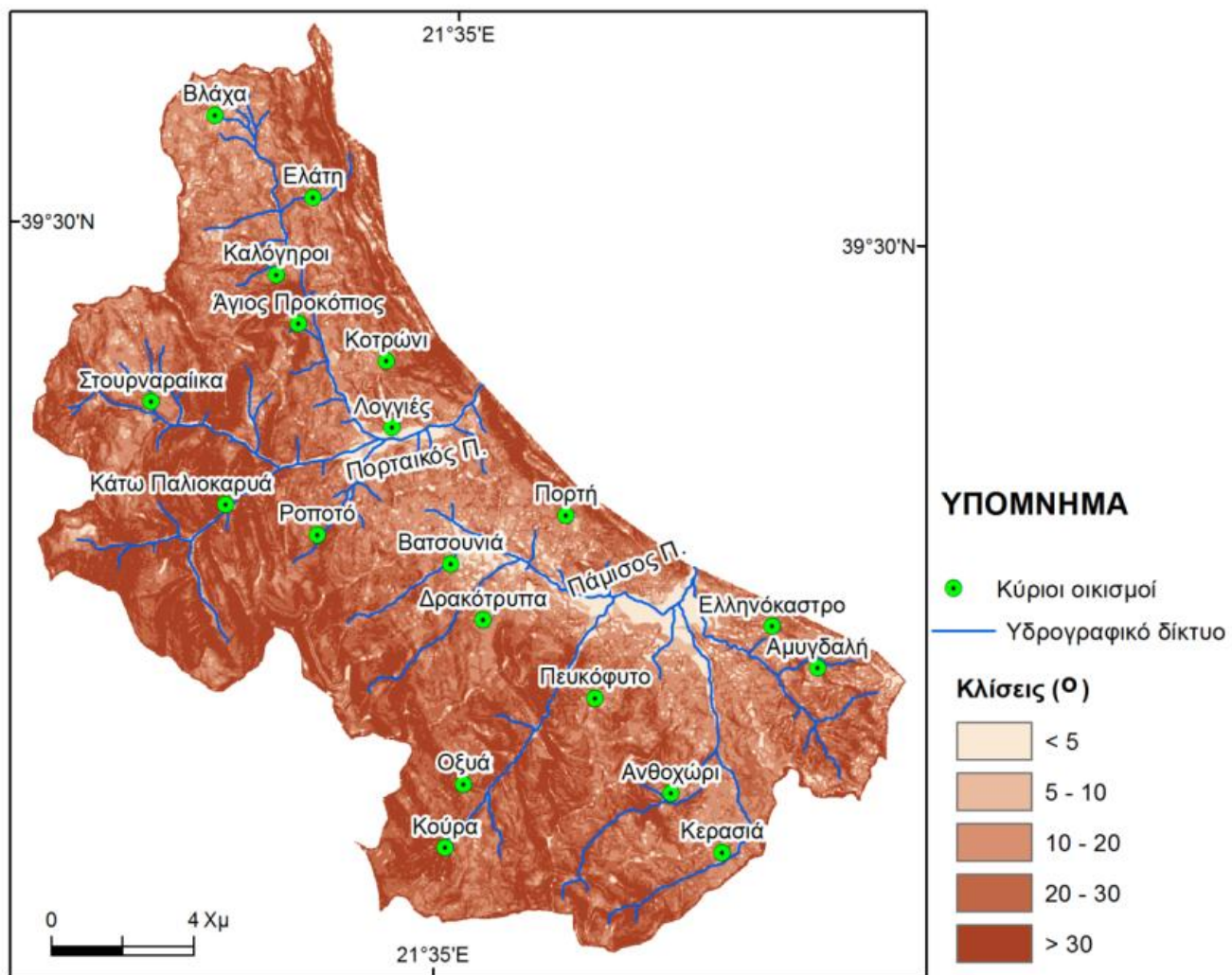
1.2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η περιοχή καλύπτει μέρος του νοτιοδυτικού τμήματος του νομού Τρικάλων και του βορειοδυτικού του νομού Καρδίτσας. Οριοθετείται στο δυτικό τμήμα της από την οροσειρά της νότιας Πίνδου ενώ στο ανατολικό τμήμα της δεσπόζουν τα όρη Κερκήτιο (Κόζιακας) με υψηλότερο υψόμετρο στην περιοχή 1.817 μέτρα και Ίταμος με υψόμετρο 1.132 μέτρα. Η χωρική κατανομή των υψομέτρων της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στο **σχήμα 1.3**. Η περιοχή είναι κυρίως ορεινή και το υψόμετρό της κυμαίνεται από 220 έως 2.000 μέτρα. Όπως φαίνεται στο **σχήμα 1.3**, τα υψηλότερα υψόμετρα παρατηρούνται στο, βόρειο, δυτικό και νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης. Κατά μήκος της κύριας κοίτης τόσο του Πορταϊκού και του Πάμισου παρατηρούνται πιο χαμηλά υψόμετρα που φτάνουν στα 220 μέτρα στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος και συγκεκριμένα στις έξοδο του Πάμισου από τους ορεινούς όγκους.

Σχετικά με τις μορφολογικές κλίσεις της περιοχής αυτές παρουσιάζονται στο **σχήμα 1.4**. Οι κλίσεις των δύο λεκανών απορροής δεν είναι ομοιόμορφες και ακολουθούν την κατανομή των υψομέτρων. Οι ήπιες κλίσεις ($<5^{\circ}$) καταλαμβάνουν πολύ μικρή έκταση και απαντώνται κυρίως στις κεντρικές κοίτες του Πορταϊκού και του Πάμισου στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Γενικά, οι απότομες κλίσεις ($>30^{\circ}$) επικρατούν στην περιοχή εξαιτίας της ύπαρξης του ορεινού όγκου της Πίνδου αλλά και των ορέων Κοζιακας και Ίταμος. Τα πρηνή των περιοχών αυτών συχνά εμφανίζονται κρημνώδη με πολύ μεγάλο ύψος. Επιπλέον, στα τμήματα εκείνα όπου το γεωλογικό υπόβαθρο απαρτίζεται από τους σχηματισμούς της ενότητας της Πίνδου και του Κόζιακα, τα στρώματα παρουσιάζουν πολύ μεγάλες κλίσεις και είναι σχεδόν κάθετα.



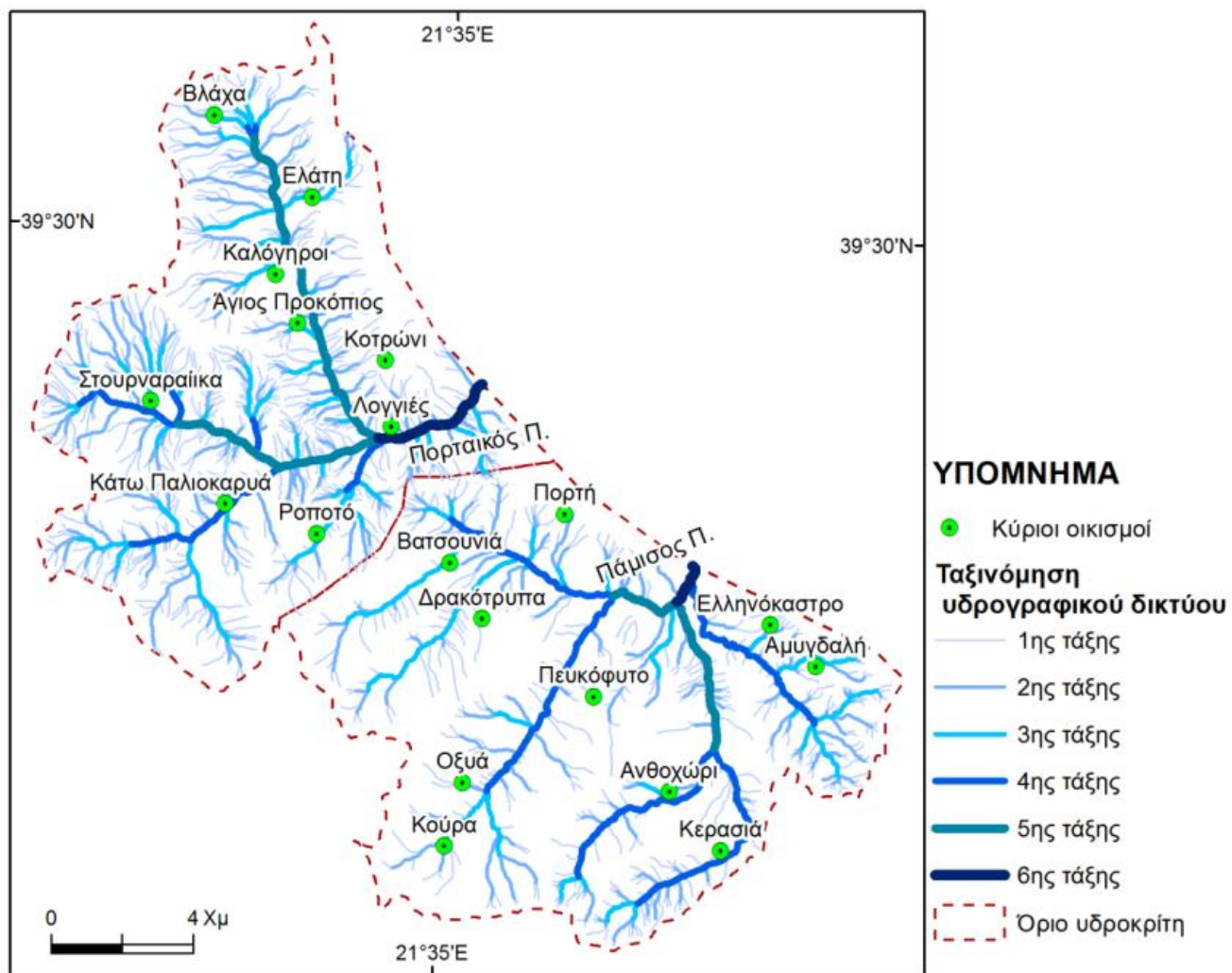
Σχήμα 9: Η χωρική κατανομή των υψομέτρων της περιοχής ενδιαφέροντος.



Σχήμα 1.4: Η χωρική κατανομή των μορφολογικών κλίσεων της περιοχής ενδιαφέροντος.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η περιοχή ενδιαφέροντος απαρτίζεται από δύο λεκάνες απορροής οι οποίες παρουσιάζουν επίμηκες σχήμα. Η υδρογραφική λεκάνη του Πορταϊκού Ρέματος είναι η μικρότερη από τις δύο και αποστραγγίζει τμήματα της οροσειράς της νότιας Πίνδου και του όρους του Κόζιακα. Η περίμετρος της είναι περίπου 59 χιλιόμετρα και το εμβαδόν της 134 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η μέση μορφολογική κλίση της λεκάνης είναι 25° ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 952 μέτρα. Ο κύριος κλάδος του υδρογραφικού δικτύου είναι 6ης τάξης όπως παρουσιάζεται στο **σχήμα 1.5** ενώ το συνολικό μήκος των κλάδων ανέρχεται στα 490 χιλιόμετρα.

Η υδρογραφική λεκάνη του Πάμισου ποταμού αποστραγγίζει τμήματα της οροσειράς της νότιας Πίνδου όπως και αυτή του Πορταϊκού και του όρους του Ίταμου. Η περίμετρος της είναι περίπου 56 χιλιόμετρα και το εμβαδόν της 146 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η μέση μορφολογική κλίση της λεκάνης είναι 23° ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 815 μέτρα. Στο **σχήμα 1.5** παρουσιάζεται η ταξινόμηση κατά Strahler, που έγινε στο υδρογραφικό δίκτυο του άνω ρου του Πάμισου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα ο κύριος κλάδος του υδρογραφικού δικτύου είναι 6ης τάξης ενώ το συνολικό μήκος των κλάδων ανέρχεται στα 337 χιλιόμετρα.



Σχήμα 1.5: Η χωρική κατανομή των μορφολογικών κλίσεων της περιοχής ενδιαφέροντος.

1.3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι προαλπικοί – αλπικοί σχηματισμοί, ηλικίας Παλαιοζωικού – Ηωκαίνου, συγκροτούνται κύρια από ιζηματογενή, από εκρηξιγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα. Οι μεταλπικοί σχηματισμοί, ηλικίας Ηωκαίνου – σήμερα, συγκροτούνται από μεγάλη ποικιλία ιζηματογενών πετρωμάτων και συνεκτικών και χαλαρών ιζημάτων.

Οι αλπικοί σχηματισμοί, οι οποίοι δομούν το υπόβαθρο της περιοχής που μελετήθηκε, ανήκουν σε δύο λιθοστρωματογραφικές ενότητες (**σχήμα 1.6**), οι οποίες από τις εξωτερικότερες προς τις εσωτερικότερες διακρίνονται: στην ενότητα της Πίνδου και στην ενότητα του Κόζιακα. Οι σχηματισμοί αυτοί βρίσκονται σε τεκτονική με επώθηση σχέση, με κατώτερη τεκτονικά την ενότητα της Πίνδου και ανώτερη του Κόζιακα.

Ενότητα Πίνδου

Η Πίνδος είναι η εξωτερικότερη ενότητα που απαντάται στην περιοχή έρευνας. Στην ενότητα της Πίνδου αναφέρθηκαν πρώτοι ο Philippson (1895a, 1895b, 1895c & 1898), ο Cayeux (1903) και ο Negris (1906a, & 1906b). Στη συνέχεια ο Renz (1940 & 1955) περιέγραψε το λεπιωμένο σύστημα της ζώνης προσδιορίζοντας την ηλικία της ακολουθίας των στρωμάτων με βάση τρεις βασικούς απολιθωματοφόρους ορίζοντες. Την διάκριση αυτή επιβεβαίωσε ο Aubouin (1955, 1957 & 1959). Η Πινδική σειρά Μεσοζωικών σχηματισμών χαρακτηρίζεται κυρίως από πελαγικά ιζήματα ανθρακικά ή πυριτικά και λιγότερο κλαστικά με ηλικία από το Τριαδικό μέχρι το Ανώτερο Κρητιδικό και κλαστικά ιζήματα φλύσχη, ηλικίας Παλαιοκαίνου – Ανώτερου Ηωκαίνου. Οι σχηματισμοί βρίσκονται σε στρωματογραφική μεταξύ τους συμφωνία και είναι έντονα πτυχωμένοι και λεπιωμένοι. Καταλαμβάνουν το δυτικό τμήμα του ορεινού όγκου της Πίνδου και στη συνέχεια αναλύονται από τους παλαιότερους στους νεότερους σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε.

- Ασβεστόλιθοι με ηλικία Ανώτερο Τριαδικό – Λιάσιο. Πρόκειται για λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους, ενώ τα κατώτερα μέλη της σειράς αποτελούνται από εναλλαγές ερυθρών πλακωδών ασβεστόλιθων και ερυθρών κερατολίθων. Τα ανώτερα μέλη αποτελούνται από εναλλαγές αργιλομαργαϊκών σχιστόλιθων και μαργαϊκών ασβεστόλιθων, που παρά το μικρό πάχος τους

αποτελούν χαρακτηριστικό στρωματογραφικό ορίζοντα της ζώνης Πίνδου.

- Πολύχρωμοι κερατόλιθοι: αποτελούνται από συχνές εναλλαγές κυανών, πράσινων, καστανών, ερυθρών και μαύρων κερατολίθων. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Ανώτερο Δογγέριο – Τιθώνιο.
- Ασβεστόλιθοι με Καλπιονέλλες: είναι σχηματισμός κυρίως ασβεστολιθικός. Μέσα σε αυτούς απαντούν ενστρώσεις και κόνδυλοι ερυθροπράσινων κερατολίθων. Στο σύνολό του ο σχηματισμός παρουσιάζεται κατά το πλείστον με ένα κόκκινο χρώμα και αναπτύσσεται με έντονη μορφολογία, εξαιτίας της παρουσίας των ασβεστόλιθων και της πτύχωσής τους. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Ανώτερο Τιθώνιο – Κατώτερο Βερριάσιο.
- Πρώτος φλύσχη: αποτελείται από εναλλαγές αργιλομαργαϊκών ασβεστολίθων, κερατολίθων, αργιλομαργαϊκών σχιστόλιθων, ερυθρών μαργών με ακτινόζωα και ψαμμιτών. Η ηλικία του είναι Βαλανζίνιο – Τουρώνιο. □ Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι: υπέρκειται κανονικά των σχηματισμών του πρώτου φλύσχη, και έχουν ηλικία Τουρώνιο – Μέσο Μαιστρίχτιο. Πρόκειται για πελαγικούς ασβεστόλιθους, πλακώδεις με κονδύλους και ενστρώσεις πυριτόλιθων καθώς και λεπτές ενστρώσεις αργιλικών σχιστόλιθων.
- Μεταβατικός ορίζοντας του φλύσχη: αποτελεί το πέρασμα των ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων προς το φλύσχη και έχει ηλικία Μέσο Μαιστρίχτιο – Κατώτερο Παλαιόκαινο.
- Φλύσχη: αποτελείται κυρίως από ψαμμίτες, ασβεστολιθικούς ψαμμίτες και αργιλικούς σχιστόλιθους με ηλικία Κατώτερο Παλαιόκαινο – Ηώκαινο

Ενότητα Κόζιακα (Ενότητα Δυτικής Θεσσαλίας – Βοιωτική)

Η ενότητα του Κόζιακα εμφανίζεται κυρίως στο νοτιοδυτικό και στο δυτικό τμήμα του ορεινού όγκου του Κόζιακα. Η ενότητα αυτή αναγνωρίστηκε για πρώτη φορά από τον Philippson (1898), και αποτελείται από διαφορετικά πετρώματα που η ηλικία τους αρχίζει από το Μέσο Τριαδικό και φτάνει μέχρι και το Κρητιδικό (Λέκκας Ε., 1988). Ο Aubouin (1959), ονομάζει τον Κόζιακα Υπερπινδική ζώνη, οι Scadone & Radoicic (1974), θεωρούν τον Κόζιακα ομόλογο με την υποζώνη των Βαρδουσιών, οι Aubouin & Bonneau (1977) πιστεύουν ότι ανήκει στη ζώνη Ανατολικής Ελλάδας, οι Celet et al., (1978) ότι ανήκει σε μία εσωτερικότερη ζώνη από εκείνη των Βαρδουσιών, οι

Paranikolaou & Sideris (1979), Παπανικολάου & Λέκκας (1979) και Λέκκας (1991) θεωρούν την σειρά του Κόζιακα ενιαία και της δίνουν την ονομασία ενότητα Δυτικής Θεσσαλίας, ο Jaeger (1979 & 1980) διακρίνει δύο ανεξάρτητες σειρές την Υπερπινδική και την Βοιωτική, ο Ferriere (1976) σημειώνει ομοιότητες μεταξύ της σειράς του Κόζιακα και των σχηματισμών της Μαλιακής, όπως επίσης ομοιότητες της σειράς του Κόζιακα σημειώνουν οι Migiros et al., (1988) με την περιοχή της βόρειας Πίνδου, ενώ οι Μιγκίρος κ.ά., (1989) θεωρούν ότι η σειρά του Κόζιακα ανήκει στη Βοιωτική ζώνη. Η σειρά του Κόζιακα είναι επωθημένη πάνω στο φλύσχη της Πίνδου και διακρίνεται σε δύο σειρές σχηματισμών την ανατολική και τη δυτική που βρίσκονται σε τεκτονική (εφιππευτική) μεταξύ τους σχέση (Μιγκίρος κ.ά., 1989). Στη συνέχεια αναλύονται λεπτομερώς οι σχηματισμοί που δομούν την ενότητα από τους παλαιότερους προς τους νεότερους

Οι χαμηλότεροι στρωματογραφικά ορίζοντες ανήκουν στη δυτική σειρά και διαχωρίζονται στους ακόλουθους:

- Κατώτερη σειρά κλαστικών σχηματισμών. Πρόκειται για ελαφρά μεταμορφωμένο και κλαστικό κυρίως, σχηματισμό. Αποτελείται από εναλλαγές αργιλικών και ασβεσπιτικών σχιστόλιθων, μεταπηλιτών και μεταψαμμιτών. Η ηλικία των κλαστικών αυτών σχηματισμών δεν μπορεί να υπερβαίνει το Λαδίνιο.
- Ανθρακικοί κυρίως σχηματισμοί: αποτελούν την προς τα επάνω εξέλιξη των προηγούμενων σχηματισμών και διακρίνονται από κάτω προς τα επάνω, σε δύο μέρη:
 - Ασβεστόλιθοι: οι οποίοι περιγράφηκαν πρώτα από τον Renz (1930) και στη συνέχεια από τον Blumenthal (1931). Πρόκειται για λεπτοπλακώδεις έως μεσοπλακώδεις κατά θέσεις κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους (Scadone & Radoicic, 1974, Ferriere, 1974a, Ardaens, 1978, Jaeger, 1979, 1980). Στον ορίζοντα αυτό αποδίδεται η ηλικία Νόριο – Ραίτιο (Μιγκίρος κ.ά., 1989).
 - Ασβεστόλιθοι και κερατόλιθοι: εμφανίζονται εναλλαγές κερατολίθων και λεπτοπλακωδών ασβεστόλιθων. Η ηλικία τους είναι Λιάσιο – Δογγέριο.
- Αργιλοपुरιτικοί σχηματισμοί: οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούνται από εναλλαγές κερατολίθων και ερυθρών αργιλικών σχιστόλιθων.

- Επικλυσιγενείς ωλιθικοί ασβεστόλιθοι οι οποίοι υπέρκειται επικλυσιγενώς των σχηματισμών τόσο των ασβεστολίθων – κερατολίθων όσο και των ανωτριάδικών ασβεστολίθων με σαφή κατά θέσεις ασυμφωνία.
- Οι Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι, ονομάστηκαν από τον Aubouin (1959) ασβεστόλιθοι Θυμιάματος και είναι πλακώδεις ασβεστόλιθους με κονδύλους κερατολίθων και ενστρώσεις ερυθρών πηλιτών προς τα ανώτερα μέλη. Η ηλικία τους είναι Τουρώνιο – Μαιστρίχτιο.
- Η ανώτερη κλαστική σειρά, η οποία ονομάστηκε από πολλούς ερευνητές ως βοιωτικός φλύσχης (Clement, 1971, Celet & Clement, 1971, Aubouin & Bonneau, 1977, Jaeger & Chotin, 1978, CELET et al., 1978, JAEGER, 1979 & 1980). Είναι η προς τα πάνω εξέλιξη των ασβεστόλιθων και αποτελούνται από εναλλαγές, κυρίως, ψαμμιτών και ερυθρών πηλιτών.

Μεταλπικοί Σχηματισμοί

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης αποτελούνται από τα Τριτογενή μολασσικά ιζηματογενή πετρώματα της Μεσοελληνικής αύλακας, και τους Τεταρτογενείς σχηματισμούς και αποθέσεις συνεκτικών και χαλαρών ιζημάτων. Στη συνέχεια αναλύονται οι σχηματισμοί αυτοί από τους παλαιότερους προς τους νεότερους.

Σχηματισμοί της Μεσοελληνικής Αύλακας

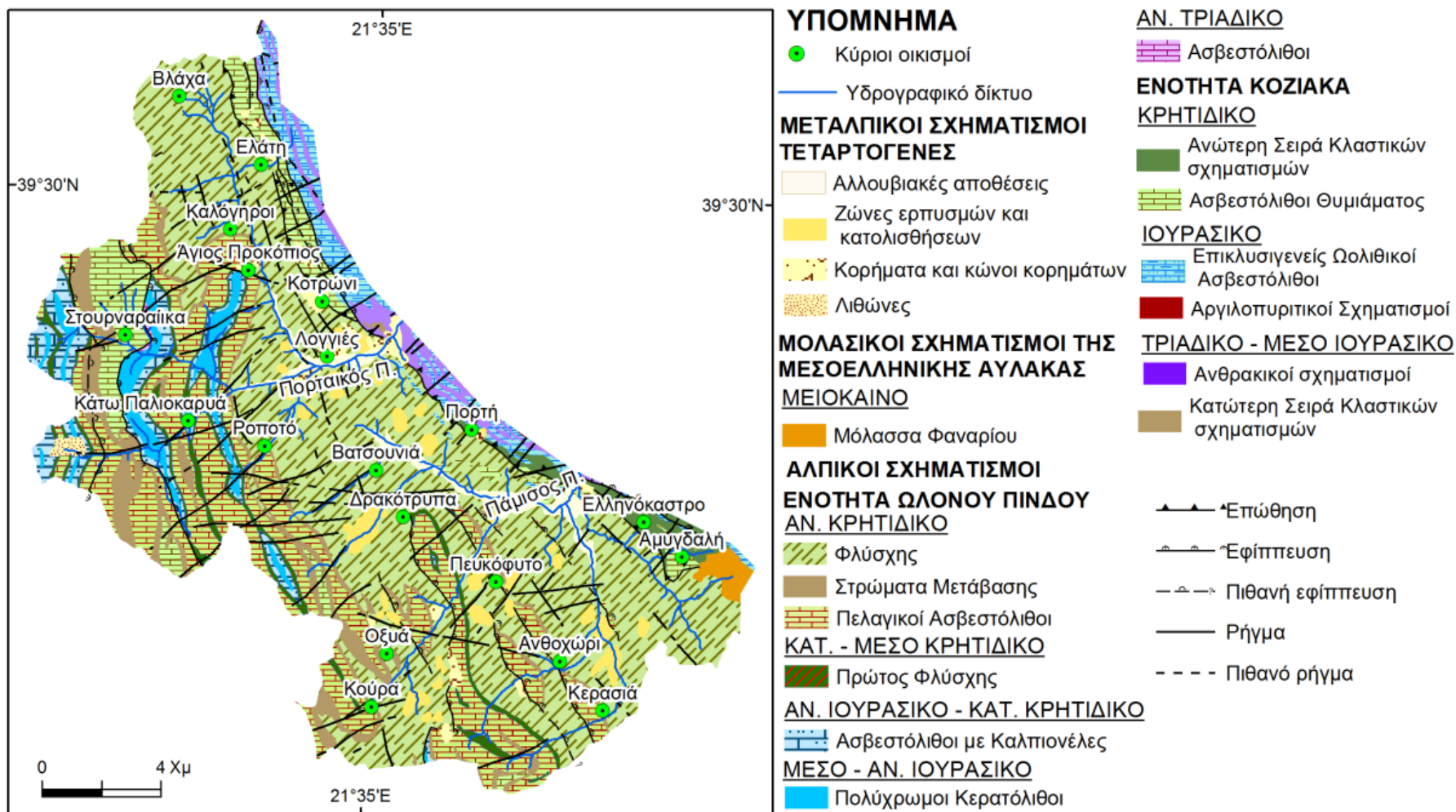
- Μόλασσα Φαναρίου: αποτελείται από εναλλαγές μαργών, ιλυούχων μαργών, μαργαϊκών ψαμμιτών, ψαμμιτών, και κροκαλοπαγών. Η μόλασσα τελειώνει με εναλλαγές στρωμάτων λεπτόκοκκων έως χονδόκοκκων ψαμμιτών με κροκαλοπαγή.

Τεταρτογενείς Σχηματισμοί και Αποθέσεις

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις επίκεινται ασύμφωνα στους παλαιότερους αλπικούς σχηματισμούς . Το Τεταρτογενές στην περιοχή έρευνας διαχωρίζεται στις παλιότερες Πλειστοκαινικές αποθέσεις και στις σύγχρονες αποθέσεις του Ολοκαίνου (Ι.Γ.Μ.Ε., 1961,1972, 1993α, 1993β, Μπαθρέλλος, 2008α, Migiros et al., 2011). Οι αποθέσεις αναπτύσσονται επιφανειακά, και μπορούν να διαχωριστούν σε:

- Λιθώνες παγετώνων: πρόκειται για Πλειστοκαινικές αποθέσεις και αποτελούνται από ελαφρά αποστρογγυλωμένες λατύπες, ποικίλου μεγέθους και σύστασης. Οι λιθώνες, οι οποίοι εμφανίζονται σε υψόμετρα 1.500 μέτρων έως και 1.900 μέτρων, αντιστοιχούν σε μία παλαιότερη περίοδο αποθέσεων παγετώνων (Ρίσσιος;).
- Κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα: πρόκειται για σχηματισμούς των πρανών που αναφέρονται στα πλευρικά κορήματα, στους κώνους κορημάτων και τις σύγχρονες αποθέσεις των ρεμάτων των πρανών. Τα πλευρικά κορήματα και οι κώνοι κορημάτων εμφανίζονται στις απόκρημνες κλιθείς της οροσειράς της Πίνδου και κυρίως σε σημεία όπου η αποσάθρωση των αλπικών σχηματισμών διευκολύνεται εξαιτίας της τεκτονικής καταπόνησης. Συνήθως είναι ελαφρά συγκολλημένα έως ασύνδετα, ενώ όπου εμφανίζονται συνεκτικά κορήματα απαρτίζονται από γωνιώδη τεμάχια συγκολλημένα με ανθρακική συνδετική ύλη.
- Ζώνες ερπυσμών και κατολισθήσεων: απαντώνται κυρίως στον φλύσχη. Η έντονη και γρήγορη αποσάθρωση του φλύσχη σε συνδυασμό με τις ζώνες τεκτονικού κατακερματισμού των πετρωμάτων του δημιουργούν μανδύα αποσάθρωσης, σε όλη σχεδόν την έκταση του φλύσχη της Πίνδου. Αποτελείται από άμμο και προέρχεται από την αποσάθρωση των ψαμμιτών του φλύσχη.
- Αλλουβιακές και ποτάμιες αποθέσεις: Τα αλλούβια, οι ποτάμιες αποθέσεις και οι ποταμοχειμνάρια αναβαθμίδες εμφανίζονται κατά κύριο λόγο στον Πορταϊκό και στον Πάμισο. Οι αλλουβιακές αποθέσεις παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στη λιθολογική τους σύσταση, η οποία εξαρτάται άμεσα από το είδος των σχηματισμών του υποβάθρου και της περιοχής τροφοδοσίας. Οι ποτάμιες αποθέσεις και αναβαθμίδες αποτελούνται κατά κύριο λόγο από υλικά ποικίλου μεγέθους και λιθολογικής σύστασης, κυρίως από ανθρακικές ή πυριτικές κροκάλες με καλό βαθμό αποστρογγυλοποίησης και μεταξύ τους υπάρχει λεπτομερέστερο αμμώδες, χαλικώδες ψαμμιτικό και ερυθρό αργιλικό πυριτικό υλικό.

Στο **σχήμα 1.6** παρουσιάζονται οι σχηματισμοί που δομούν το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης. Ο χάρτης κατασκευάστηκε από την σύνθεση των γεωλογικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε..



Σχήμα 1.6: Χάρτης των γεωλογικών σχηματισμών στην περιοχή μελέτης, βασισμένος στους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε.

Όσον αφορά την τεκτονική των σχηματισμών της Πίνδου χαρακτηρίζεται από έντονες πτυχώσεις και λεπιώσεις. Μια ακολουθία στρωμάτων με τόσες εναλλαγές λιθολογίας είναι εύκολο να πτυχωθεί αρκετά, εξαιτίας της μεγάλης πλαστικότητας που εμφανίζει (Renz, 1955, Aubouin, 1959). Οι Μαυρίδης κ.ά. (1985), για την περιοχή μελέτης, αναφέρουν ότι οι πτυχές και τα λέπια των σχηματισμών έχουν γενική διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και κλίση ΒΑ 50° – 85° . Οι πτυχές είναι κλειστές, κατά το πλείστον ανεστραμμένες μέχρι κατακεκλιμένες. Η έντονη πτύχωση σε πάρα πολλές θέσεις έχει δημιουργήσει εσωτερικές κινήσεις μικρής μετακίνησης. Οι σχηματισμοί της ενότητας του Κόζιακα σύμφωνα με τους Μιγκίρο κ.ά. (1989) είναι έντονα πτυχωμένοι, με κλειστές πτυχές κεκλιμένες έως ανεστραμμένες αξονικής διεύθυνσης Β 20° – 30° Δ. Οι ίδιοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι ο Κόζιακας χωρίζεται σε δύο μεγάλα τμήματα το δυτικό και το ανατολικό που βρίσκονται σε εφίππευτική μεταξύ τους σχέση με διεύθυνση ΒΔ και μέση κλίση επιφάνειας 60° προς τα ανατολικά.

Σχετικά με την μεταλλική τεκτονική η περιοχή ακολουθεί την τεκτονική της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλίας. Στο χώρο της Θεσσαλίας κατά την Νεογενή περίοδο δημιουργήθηκαν τεκτονικές λεκάνες. Η ταφροποίηση του χώρου που άρχισε το Μειόκαινο, έγινε με την επενέργεια ρηγμάτων με διευθύνσεις ΒΒΑ – ΝΝΔ και Α – Δ. Τα ρήγματα διεύθυνσης Α – Δ, συνεχίζουν να είναι ενεργά μέχρι και σήμερα (Doutsos, 1980, Caruto & Παυλίδης, 1991).

1.4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Στη διαμόρφωση του κλίματος και στα χαρακτηριστικά των κλιματικών στοιχείων μιας περιοχής σημαντικό ρόλο παίζει η γειτονία της με ορεινούς όγκους ή με τη θάλασσα. Η περιοχή μελέτης τοπογραφικά χαρακτηρίζεται από τον ορεινό όγκο της Πίνδου, ο οποίος επιδρά στο θερμοκρασιακό καθεστώς της περιοχής, όπως επίσης και στην κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Η γενική τάση μείωσης των υψών βροχής από τα δυτικά προς τα ανατολικά ισχύει και στην προκειμένη περίπτωση. Η περιοχή ενδιαφέροντος αλλά και γενικότερα ο νομός Τρικάλων υδροοικονομικά από τους πλουσιότερους νομούς στη χώρα. Τα ετήσια ολικά ύψη βροχής, τα οποία σημειώνονται πάνω από την ευρύτερη ορεινή περιοχή των Τρικάλων, διαμορφώνονται σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα (Φλόκας, 1988, Φλόκας κ.ά., 1995).

Η μέση ετήσια θερμοκρασία του σταθμού Τρικάλων είναι 16,1°C, ενώ της Καλαμπάκας 13,7°C. Ο θερμότερος μήνας του έτους και στους δύο σταθμούς είναι ο Ιούλιος, ενώ ο ψυχρότερος ο Ιανουάριος (Μπαθρέλλος, 2008α).

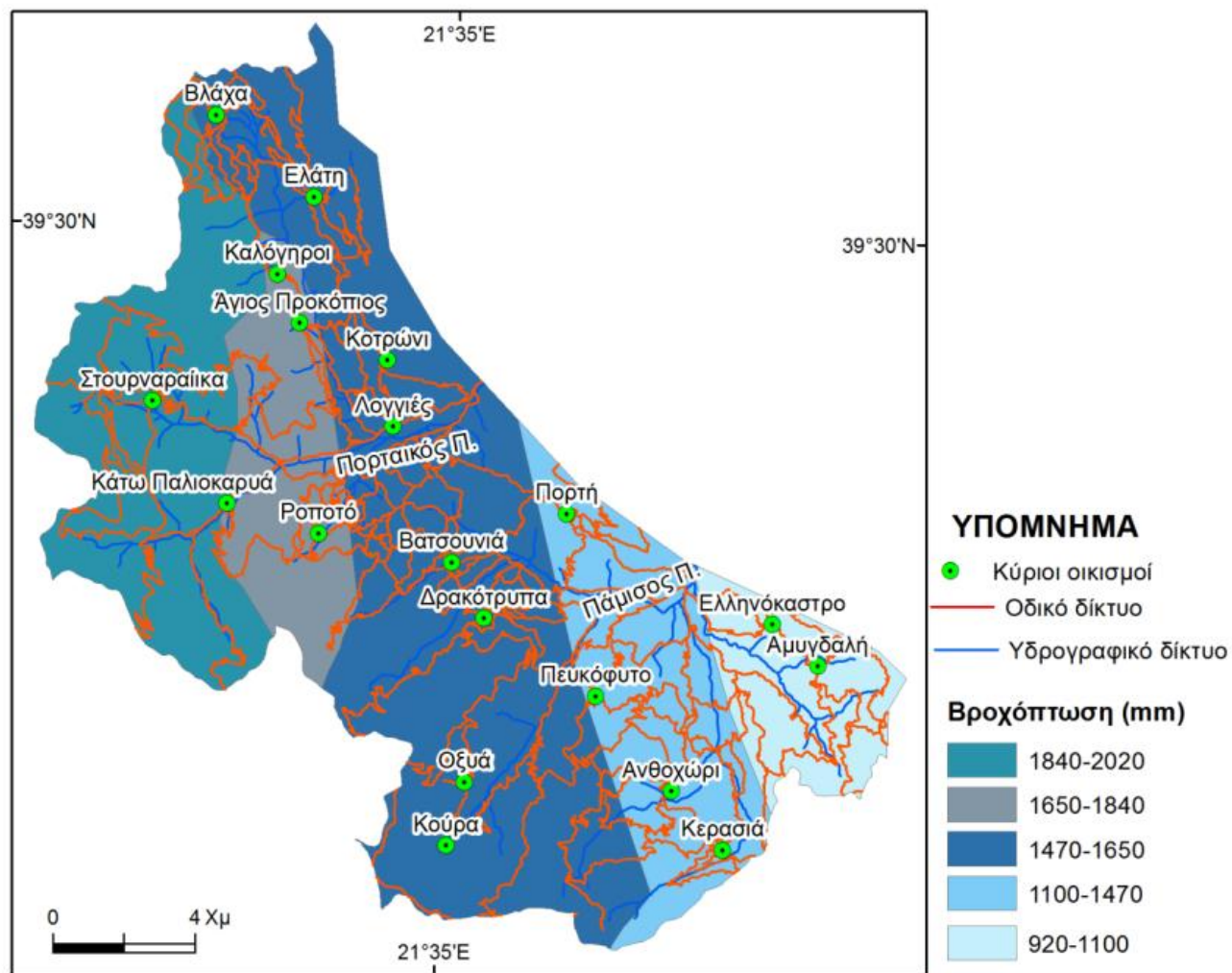
Οι βροχομετρικοί σταθμοί που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης είναι της Ελάτης και των Στουρναϊικών. Ο σταθμός της Ελάτης ανήκει στο Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και βρίσκεται σε υψόμετρο περίπου 909 μέτρα, ενώ ο σταθμός Στρουρναραϊίκα ανήκει στο Υπουργείο Γεωργίας και το υψόμετρό του είναι περίπου 858 μέτρα. Η ετήσια κατανομή του ύψους της βροχόπτωσης βασίστηκε στα μηνιαία στοιχεία του ολικού ύψους βροχοπτώσεων των δύο βροχομετρικών σταθμών για τη χρονική περίοδο 1973 – 2003. Στον **πίνακα 1.1** παρουσιάζονται τα μέσα ετήσια και εποχιακά ύψη βροχόπτωσης για τους δύο υδρομετρικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 1.1: Μέση εποχιακή και ετήσια ύψη βροχόπτωσης (σε mm) στους δύο υδρομετρικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης κατά τη διάρκεια της περιόδου 1973-2003.

| ΣΤΑΘΜΟΣ | ΕΤΟΣ | ΧΕΙΜΩΝ | ΑΝΟΙΞΗ | ΘΕΡΟΣ | ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ |
|---------------|--------|--------|--------|-------|-----------|
| ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΙΙΚΑ | 1633,6 | 653,6 | 441,4 | 86,2 | 452,4 |
| ΕΛΑΤΗ | 1568,6 | 571,5 | 403,9 | 122,2 | 471,0 |

Τα μέσα ετήσια ύψη βροχόπτωσης παρουσιάζουν σχετικά υψηλά επίπεδα. Η εποχή με τις υψηλότερες βροχοπτώσεις είναι ο χειμώνας στην συντριπτική πλειοψηφία των σταθμών και ακολουθούν το φθινόπωρο, η άνοιξη και τέλος το καλοκαίρι. Οι πλέον βροχεροί μήνες είναι ο Δεκέμβριος και ο Νοέμβριος. Οι λιγότερο υετοφόροι μήνες είναι οι θερινοί, κατά την διάρκεια των οποίων οι βροχοπτώσεις προέρχονται από θερινές καταιγίδες.

Στο **σχήμα 1.7** απεικονίζονται οι ισοϋετες καμπύλες στην περιοχή μελέτης. Το ύψος της ετήσιας βροχόπτωσης κυμαίνεται από 920 mm στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης έως 2020 mm στο βορειοδυτικό τμήμα της. Γενικά στην περιοχή βροχόπτωση ελαττώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και με τη μείωση του υψομέτρου.



Σχήμα 1.7: Η χωρική κατανομή των ισοϋέτων καμπυλών στην περιοχή μελέτης.

2. ΑΣΤΑΘΕΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ, ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΑΝΩΝ (ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ)

Από τις διάφορες γεωλογικές διεργασίες οι κατολισθήσεις κυρίως και οι λοιπές κινήσεις γαιών εξαιτίας της βαρύτητας είναι μεταξύ αυτών, που δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στον άνθρωπο και τις ανθρώπινες κατασκευές (σπίτια, δρόμους, φράγματα κλπ.).

Οι καταπτώσεις και οι κινήσεις αυτές εξαιτίας της βαρύτητας μπορούν γενικά να διαχωριστούν σε

- (α). βραδείες ολισθήσεις ή ερπυσμούς,
- (β). ταχείες ολισθήσεις (εδαφορροή, λασπορροή και κύλιση αποσαθρωμένου υλικού),
- (γ). καταπτώσεις,
- (δ). κατολισθήσεις και
- (ε). καθιζήσεις (Μιγκίρος, 2005).

Η αστάθεια των σχηματισμών και των πρανών είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες, οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό και τη κατασκευή μικρών ή μεγάλων τεχνικών έργων, καθώς οικισμών και πόλεων. Στη περιοχή μελέτης έχουν καταγραφεί περιπτώσεις καταπτώσεων, κατολισθήσεων καθιζήσεων και γενικά κινήσεων γαιών με την επίδραση της βαρύτητας. Στις κινήσεις αυτές βοηθητικό, αλλά σημαντικό ρόλο παίζουν τόσο το νερό, όσο και το είδος των γεωλογικών σχηματισμών, καθώς επίσης η εσωτερική γεωμετρία του πετρώματος, δηλαδή οι διακλάσεις, η στρώση του πετρώματος και η σχέση προσανατολισμού του πετρώματος με το προσανατολισμό του πρανούς (Μαρίνος, 1988).

Η εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου σπάνια οφείλεται στην παρουσία ενός και μόνο παράγοντα. Συνήθως απαιτείται η συνύπαρξη πολλών παραγόντων, που έχουν σχέση τόσο με τις γεωλογικές, γεωτεχνικές και μορφολογικές συνθήκες όσο και με τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες και τις ανθρώπινες παρεμβάσεις και δραστηριότητες (Λέκκας, 2000).

Με την αύξηση του πληθυσμού, η αναζήτηση νέων ορυκτών γεωυλικών, η δημιουργία νέων αστικών κέντρων και η κατασκευή τεχνικών έργων που συνδέονται με αυτά, έχουν προσανατολίσει τους αναπτυξιακούς προσανατολισμούς σε λιγότερο πλεονεκτικές περιοχές, συχνά με απότομα πρανή ή ζώνες με μαλακά πετρώματα, όπου η διατάραξη της ισορροπίας δημιουργεί κατολισθήσεις. Τα άμεσα αποτελέσματα των κατολισθήσεων είναι η απώλεια ζώνων, η καταστροφή περιουσιών ενώ τα έμμεσα είναι η πλήρωση των κοιτών

των ρεμάτων – ποταμών, η πλήρωση λεκανών – ταμιευτήρων, η αλλοίωση ποταμών με κορήματα και λάσπες, η καταστροφή αγροτικής γης, κ.ά. Τα αίτια των κατολισθήσεων είναι πολλά και κατά σύνθετο τρόπο αλληλοεξαρτώμενα, όπως κλιματικές συνθήκες, τοπογραφία, λιθολογία, παλαιά και νέα τεκτονική δραστηριότητα, κατανομή των πετρωμάτων, δομή, βλάστηση, κλίση πρανών, διάβρωση, διάρρηξη, κατάσταση τάσεων (Μιγκίρος, 2005).

Οι περισσότερες και μεγαλύτερες κατολισθήσεις που εκδηλώθηκαν στον Ελλαδικό χώρο αποτελούν, κατά κύριο λόγο, ζώνες παλαιότερης ενεργοποίησης και οφείλονται στις γεωλογικές και κλιματικές διεργασίες, που έλαβαν χώρα κατά το παρελθόν, ενώ οι πρόσφατες κατολισθητικές κινήσεις προκαλούνται κυρίως από δραστηριότητες του ανθρώπου και από τα μη κανονικά σε ένταση και ύψος ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (υψηλές και απότομες βροχοπτώσεις, παρατεταμένες χιονοπτώσεις, μεγάλη διάρκεια παγετού) (Μιγκίρος, 2005).

Ο σημαντικότερος αριθμός κατολισθήσεων εκδηλώνεται σε ιζήματα Κρητιδικής έως Τεταρτογενούς ηλικίας και ιδιαίτερα στο Δυτικό τμήμα της χώρας. Αντίθετα οι βραχώδεις σχηματισμοί που είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς για κατολίσθηση, αντιπροσωπεύονται από σκληρά πετρώματα επικείμενα μαλακών, λιγότερο συνεκτικών. Επίσης από τους σχηματισμούς αυτούς επισημαίνεται ότι από τους πλέον καθοριστικούς παράγοντες που ελέγχουν την σταθερότητα των πρανών είναι η γεωλογική ιστορία και η λιθολογική σύσταση τους (Μιγκίρος, 2005).

Κατά τους Κούκη και Ρόζο (1982), οι γεωλογικές – τεκτονικές δομές στον Ελλαδικό χώρο, οι οποίες είναι ευνοϊκές για κατολίσθηση, είναι οι ακόλουθες: Μάζες πετρωμάτων μεγαλύτερης αντοχής, οι οποίες καλύπτουν σχηματισμούς με μικρότερη αντοχή. Εναλλαγή στρωμάτων, τα οποία έχουν διαφορετικές μηχανικές παραμέτρους. Δομές που επηρεάζονται σημαντικά από την τεκτονική δραστηριότητα. Επίσης συνήθης είναι η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων σε λεπιωμένους σχηματισμούς (π.χ. λεπιώσεις Πίνδου).

Οι παραπάνω τύποι δομών συνθέτουν τις βασικές συνθήκες για τη δημιουργία και εξέλιξη κατολισθητικών φαινομένων και οι περισσότερες από τις παραμορφώσεις πρανών συγκεντρώνονται σε αυτές τις δομές.

3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΟΤΡΩΝΙΟΥ (ΤΡΙΚΑΛΩΝ)

Η κοινότητα Κοτρωνίου (Τρικάλων) βρίσκεται στην νοτιοδυτική απόληξη του όρους Κόζιακας και έχει μέσο υψόμετρο επτακοσίων (700) μέτρων. Διοικητικά υπάγεται στον Δήμο Πύλης. Η περιοχή του οικισμού παρουσιάζει μεγάλες μορφολογικές κλίσεις.

Στην κοινότητα Κοτρώνι σημειώνονται πολύ συχνά φαινόμενα κατολισθήσεων και καταπτώσεων. Οι ιστορικές και οι επιστημονικές αναφορές όμως είναι λίγες, εξαιτίας του ότι τα φαινόμενα είναι περιορισμένα σε μέγεθος αντίθετα με την επαναληψιμότητά τους.

Τα φαινόμενα των κατολισθήσεων, τα οποία έλαβαν χώρα στην περιοχή, σύμφωνα με τους Ελευθερίου κ.ά. (1976) μπορούν να περιγραφούν ως κάτωθι:

α). Κλιμακοειδείς διαρρήξεις και αποσπάσεις του μανδύα αποσάθρωσης. Τέτοια φαινόμενα εμφανίσθηκαν λίαν εκτεταμένα το 1963 στα δυτικά κράσπεδα του χωρίου και κατόπιν της επαρχιακής οδού με αποτέλεσμα την καταστροφή μεγάλου αριθμού οικιών.

Ο μανδύας αποσάθρωσης του φλύσχη αποτελούμενος από λεπτομερή υλικά και τροφοδοτούμενος από ασβεστολιθικά κορήματα υπερβαίνει τα 5 μέτρα. Η αυξημένη κινητικότητα του οφείλεται στην ισχυρή διαβροχή αυτού από τα όμβρια όσων και τα υπεδαφικά ύδατα καί στις μεγάλες μορφολογικές κλίσεις του πρανούς.

β). Αποσπάσεις λεπτομερέστερων υλικών προερχομένων από την αποσάθρωση του φλύσχη. Πρόκειται περί μικρών θραύσεων των αργιλοψαμμιτικών υλικών του φλύσχη, τα οποία αποσπώνται του μητρικού πετρώματος κυρίως εξαιτίας της παρατεταμένης διαβροχής.

γ). Εκτεταμένοι μετακινήσεις υλικών αποσάθρωσης των τοπογραφικά υψηλότερων ασβεστολιθικών σχηματισμών. Αυτά με τη μορφή πλευρικών κορημάτων, κώνων ή σαρών εντοπίζονται ανάντη του οικισμού. Η διαβάθμιση των υλικών είναι μεγάλη και ποικίλει από τεμάχια διαμέτρου 1 – 2 εκατοστών έως ογκόλιθους διαμέτρου της τάξεως των 1,0 – 1,5 μέτρων. Οι κινούμενες σάρες εντοπίζονται κυρίως εντός χειμαρρίων κοιτών και αποκτούν μεγάλη κινητικότητα κατά την διάρκεια ισχυρών βροχοπτώσεων.

4. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΒΑΤΣΟΥΝΙΑΣ (ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ)

Η κοινότητα Βατσουνιάς βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα των ορίων της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας, πλησίον των ορίων της με την Π.Ε. Τρικάλων. Ο οικισμός αριθμεί περί τα εκατό εβδομήντα (170) σπίτια. Ο οικοδομικός χώρος του οικισμού αναπτύσσεται σε υψόμετρο 360 - 600 μέτρων στα νότια και ανατολικά πρηνή του υψώματος Προφήτης Ηλίας, καθώς επίσης και στα βορειοανατολικά πρηνή του υψώματος Λαγού. Ο ποταμός Πάμισος, με διεύθυνση νοτιοδυτική έως βορειοανατολική, διασχίζει εγκάρσια τον οικισμό και τον διαχωρίζει σε δύο τμήματα, το βόρειο και το νότιο. Βόρεια του οικισμού και εκτός οικιστικής περιοχής διέρχεται το ρέμα Ξερόρεμα, διεύθυνσης βορειοδυτικής έως νοτιοανατολικής καταλήγει στον ποταμό Πάμισο. Στο υδρογραφικό δίκτυο της οικιστικής περιοχής συμμετέχουν επίσης αρκετά μικρορέματα, που και αυτά καταλήγουν στον ποταμό Πάμισο, όπως τα μικρορέματα Στέρνας και Μουγκό.

Στην κοινότητα Βατσουνιάς σημειώνονται πολύ συχνά φαινόμενα κατολισθήσεων και ερπυσμού. Οι ιστορικές και οι επιστημονικές αναφορές όμως είναι λίγες, εξαιτίας του ότι τα φαινόμενα είναι περιορισμένα σε μέγεθος αντίθετα με την επαναληψιμότητά τους.

4.1. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ 1962–1963

Κατά το έτος 1963 στην κοινότητα Βατσουνιάς και εντός του οικισμού εκδηλώθηκαν πολυάριθμες μικρής έκτασης ολισθήσεις, με αποτέλεσμα να καταστραφούν ολοσχερώς 2 οικίες και 8 βοηθητικά κτίσματα (στάβλοι, αποθήκες κλπ.). Επίσης σημαντικός αριθμός σπιτιών παρουσίασαν μικρές ή μεγαλύτερες ζημιές. Σημαντικές ζημιές προκλήθηκαν στην εκκλησία του χωριού, εξαιτίας ότι αυτή ήταν σχετικά μεγάλο και βαρύ οικοδόμημα. Σημειώνεται ότι και νέες, την εποχή εκείνη, οικοδομές παρουσίασαν ρωγμές (Δούνας, 1963α). Όπως προβλέπει ο γεωλόγος του Ι.Γ.Ε.Υ. εκτιμά ότι τα κατολισθητικά φαινόμενα στην κοινότητα της Βατσουνιάς θα συνεχιστούν.

Τα αίτια, που προκάλεσαν τις κατολισθήσεις, όπως αναφέρει ο Δούνας (1963α) είναι τα παρακάτω:

1. η αργιλική σύσταση του εδάφους (μανδύας αποσάθρωσης φλύσχη) πάνω στο οποίο έχουν οικοδομηθεί όλα τα κτίσματα του χωριού,

2. η αργιλική φάση του φλύσχη, που υπόκειται του μανδύα αποσάθρωσης και που πάνω σε αυτό είχε θεμελιωθεί ο οικισμός,
3. το επικλινές της οικιστικής περιοχής,
4. η υποσκαφή των ποδών των κλιτύων από τα νερά του διερχόμενου από τον οικισμό χειμάρρου και
5. το βάρος των κτισμάτων.

Παράγοντας ενεργοποίησης των κατολισθητικών αυτών φαινομένων ήταν κατά τον Δούνα (1963α) οι έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίες διαπότισαν τον μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη και τον κατέστησαν πλαστικό και χαλαρό. Στην συνέχεια τα νερά της βροχής έφτασαν έως τον υποκείμενο φλύσχη, ο οποίος διαβρεχόμενος αποτέλεσε επιφάνεια ολίσθησης του χαλαρού πλέον μανδύα αποσάθρωσης.

4.2. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ 1980–1981

Το Φεβρουάριο του 1981 μετά από υψηλές βροχοπτώσεις και έντονες χιονοπτώσεις σε συνδυασμό με τη μεγάλη κλίση των πρανών εκδηλώθηκαν στον οικισμό κατολισθήσεις στον μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη. Επρόκειτο περί τοξοειδών θραύσεων μήκους 20- 30 μέτρων με σύγχρονη κατακόρυφη μετακίνηση της τάξεως των 4 μέτρων. Τα εδαφικά υλικά, τα οποία μετακινήθηκαν από την κατολίσθηση, μεταφέρθηκαν προς τα κατόντη σε απόσταση 60 – 70 μέτρα (Τζιτζιρας, 1981, Αγγελίδης, 1991β).

4.3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ 1993–1994

Τον χειμώνα του 1994 εκδηλώθηκαν κατολισθητικές κινήσεις στα νοτιοανατολικά πρανή του υψώματος του Προφήτη Ηλία (θέση "Παληάμπελα"). Τα κατολισθητικά αυτά φαινόμενα (**Φωτογραφία 4.1**) εκδηλώθηκαν με τη μορφή εδαφικών θραύσεων πεταλοειδούς μορφής στα χαλαρά υλικά του μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη, μεταξύ των μικρορεμάτων Στέρνας και Μουγκό, που καταλήγουν στον ποταμό Πάμισο (Αποστολίδης, 1994α).

Η κύρια εδαφική θραύση έχει περίπου μήκος εκατό (100) μέτρων, μέγιστο πλάτος τριάντα (30) μέτρων και μέγιστο άλμα (κατακόρυφη μετακίνηση) πέντε (5) μέτρων, ενώ μέσα σε αυτήν εμφανίζονται μικρές διαδοχικές εδαφικές θραύσεις. Τα εδαφικά υλικά που επηρεάστηκαν από τις κατολισθητικές κινήσεις ρευστοποιήθηκαν και μεταφέρθηκαν με τη μορφή εδαφικής ροής κατόντη (Αποστολίδης, 1994α).



Φωτογραφία 4.1: Η θέση εκδήλωσης των εδαφικών ροών και μετακινήσεων στην θέση «Παληάμπελο» (Αποστολίδης, 1994α).

Τα κατολισθητικά φαινόμενα, τα οποία εκδηλώθηκαν στην οικιστική περιοχή, οφείλονται στην κινητικότητα που αποκτούν, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, τα επιφανειακά χαλαρά εδαφικά υλικά, οι οποίες σύμφωνα με τον Αποστολίδη (1994α) ευνοούνται πιο συγκεκριμένα από:

- Τη μορφολογία της περιοχής (σχετικά μεγάλες μορφολογικές κλίσεις πρηνούς στη συγκεκριμένη θέση).
- Τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής (έντονες χιονοπτώσεις – υψηλές βροχοπτώσεις).
- Την έντονη τεκτονική καταπόνηση του υποβάθρου του φλύσχη.
- Τη φύση των επιφανειακών εδαφικών υλικών του μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη (ανομοιογένεια, χαμηλή συνοχή και διατμητική αντοχή).
- Τις διαφορετικές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του μανδύα αποσάθρωσης και του υποκείμενου υποβάθρου του φλύσχη, που ευνοούν τη δημιουργία ασταθούς ισορροπίας στην επαφή του κυρίως με το υγιές υπόβαθρο.
- Τη διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών που γεωλογικά δομούν την περιοχή έρευνας (υδροπερατά εδαφικά υλικά καλύπτουν το πρακτικά αδιαπέρατο υγιές υπόβαθρο του φλύσχη) και κυρίως το σχετικά μεγάλο πάχος του μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη στη συγκεκριμένη θέση, που λόγω της φύσεώς του συγκρατεί μεγάλο μέρος του διηθούμενου νερού.
- Το συνεχή εμποτισμό του μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη με τα νερά της βροχής και των πηγών. Η δράση των νερών οδηγεί στην παραπέρα μείωση των ήδη χαμηλών διατμητικών αντοχών

του εδαφικού καλύμματος, το νερό δηλ. εισχωρεί στα επιφανειακά χαλαρά εδαφικά υλικά και φθάνει στο πρακτικά αδιαπέρατο υγιές υπόβαθρο, μειώνοντας έτσι τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής στην επαφή εδαφικών υλικών και υποβάθρου, αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες ολίσθησης στην επαφή τους κυρίως με το υπόβαθρο.

- Τη διαβρωτική δράση του νερού των φυσικών αξόνων απορροής (ποταμός Πάμισος, ρέματα και μικρορέματα περιοχής). Το νερό υποσκάβοντας τη βάση των πρανών αυτών αυξάνει τη διατμητική τάση και προξενεί ανεξέλεγκτες διαβρώσεις στα εν λόγω πρανή, καθώς και πιθανές ολισθήσεις σε αυτά.

5. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΣΥΝΟΙΚΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΡΟΠΩΤΟΥ (ΤΡΙΚΑΛΩΝ)

Η κοινότητα Ροπωτού βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Π.Ε. Τρικάλων, νοτιοδυτικά της πόλης των Τρικάλων, από την οποία απέχει 28 χιλιόμετρα. Κύριο χαρακτηριστικό της κοινότητας είναι η μεγάλη έκταση, την οποία καταλαμβάνει και η μεγάλη διασπορά του πληθυσμού. Το μήκος της κοινότητας ξεπερνά τα 3 χιλιόμετρα. Η κοινότητα αποτελείται από επτά (7) συνοικισμούς από τους οποίους ο πιο συγκροτημένος και πολυπληθέστερος είναι ο Κεντρικός, που βρίσκεται στο νότιο τμήμα της κοινότητας.

Ο κεντρικός συνοικισμός της κοινότητας Ροπωτού έχει αναπτυχθεί στο ανατολικό πρηνές του αντερείσματος «Αλαταριές». Ο επιμήκης άξονας του αντερείσματος αυτού είναι Β - Ν και έχει μέγιστο υψόμετρο 1.085 μέτρα. Ο οικισμός έχει αναπτυχθεί σε υψόμετρο από τα 700 έως τα 850 μέτρα. Ο κεντρικός συνοικισμός της κοινότητας Ροπωτού έχει αναπτυχθεί σε ένα επίμηκες βύθισμα διεύθυνσης Α - Δ που για τη διαμόρφωσή του συμβάλλουν τα αντερείσματα «Αλαταριές» στα δυτικά, «Καραμήτσου» στα νότια και «Πλακαριά» στα ανατολικά.

Στα ανατολικά και κατάντη του οικισμού διέρχεται ανώνυμο ρέμα, συνεχούς ροής και διεύθυνσης ΝΝΔ - ΒΒΑ, το οποίο συμβάλει στο Πορταϊκό Ρέμα.

Οι κλίσεις στην περιοχή κυμαίνονται από 25° έως 50°. Οι μεγαλύτερες κλίσεις καταγράφονται στα πρηνή των αντερείσμάτων. Στο κεντρικό τμήμα οι κλίσεις είναι ηπιότερες. Το τμήμα αυτό, το οποίο έχει γενική διεύθυνση Α - Δ, περιλαμβάνει τοπικά μορφολογικά βυθίσματα. Τα σημαντικότερα από αυτά τα βυθίσματα για την ασφάλεια του οικισμού καταγράφονται στο νοτιότερο τμήμα του οικισμού. Το εύρος τους κυμαίνεται από 100 έως 150 μέτρα και εμφανίζουν μορφολογικές κλίσεις από 20° έως 25°. Τα βυθίσματα αυτά ένα είναι ανάντη της εκκλησίας και ένα βορειότερα (Κούκης, 1979, Μπέλλας & Τσιούμας, 2011).

Εντός του μεγάλου βυθίσματος έχουν διαμορφωθεί μικρότερα αντερείσματα. Κατά κανόνα στα διαμορφούμενα αντερείσματα, επικρατούν οι ψαμμιτικοί "πάγκοι" του φλύσχη, για το λόγο αυτό οι θέσεις αυτές είναι οι πλέον ασφαλείς για οικοδόμηση εντός του κεντρικού συνοικισμού της Κοινότητας του Ροπωτού, δύσκολα όμως οικοδομούνται, λόγω των μεγάλων μορφολογικών κλίσεων (Κούκης, 1979).

Η μορφολογία της περιοχής (**φωτογραφία 5.1**), με το κεντρικό μεγάλο βύθισμα, τα τοπικά μικρότερα βυθίσματα, τα αντερείσματα, τις εναλλαγές των μορφολογικών κλίσεων και την ύπαρξη επάλληλων αναβαθμίδων παραπέμπουν γεωμορφολογικά σε πιθανές παλαιο-κατολισθήσεις, οι οποίες έχουν εκδηλωθεί και επαναδραστηριοποιηθεί αρκετές φορές κατά το παρελθόν. Βέβαια δεν υπάρχουν παλαιότερες από το 1963 ιστορικές και γεωλογικές αναφορές για κατολισθήσεις στην περιοχή. Στην μορφή του αναγλύφου έχουν αποτυπωθεί και πιστοποιούνται παλαιότερα κατολισθητικά γεγονότα.



Φωτογραφία 5.1: Πανοραμική φωτογραφία του κεντρικού συνοικισμού της κοινότητας του Ροπωτού, στην οποία φαίνεται το κύριο βύθισμα, τα μικρότερα εσωτερικά βυθίσματα και τα εσωτερικά στο κύριο βύθισμα αντερείσματα.

6. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΡΟΠΩΤΟΥ

Για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του μισού αιώνα, και συγκεκριμένα 51 ετών, ο κεντρικός συνοικισμός της Κοινότητας του Ροπωτού έχει πληγεί επανειλημμένα από κατολισθητικά φαινόμενα. Είναι πολύ πιθανόν και παλαιότερα, διάστημα κατά το οποίο δεν υπάρχουν ιστορικές και επιστημονικές καταγραφές ή αναφορές, να έχουν εκδηλωθεί στην περιοχή πολλά και σημαντικά κατολισθητικά γεγονότα.

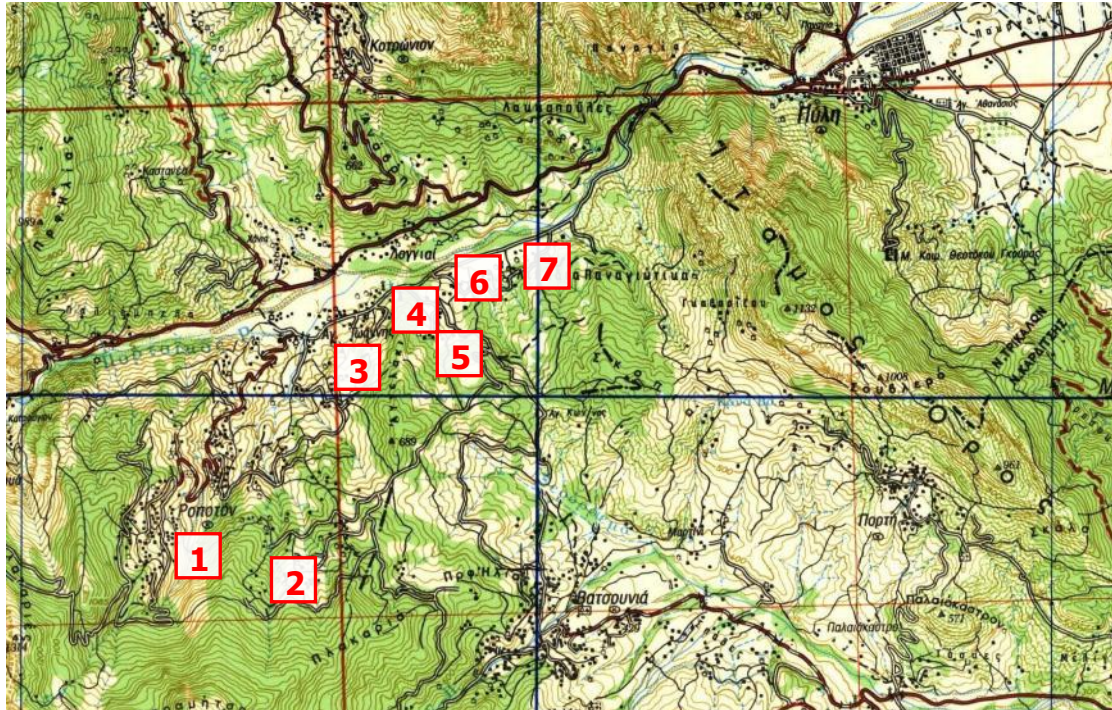
6.1. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ 1962–1963

Κατά το έτος 1963 για πρώτη καταγράφονται κατολισθήσεις, που έπληξαν την περιοχή. Σε πολλές κοινότητες της περιοχής όπως το Ροπωτό και ο Άγιος Προκόπιος καταγράφηκαν τέτοια φαινόμενα (Δούνας, 1963β, Καραγεωργίου, 1963, Καραγεωργίου, 1966). Συγκεκριμένα στο Ροπωτό, οι κατολισθήσεις εκδηλώθηκαν με μεγαλύτερη ένταση στον κεντρικό συνοικισμό προκαλώντας ευρείας έκτασης ζημιές στις κατασκευές (οικήματα και δρόμους) (Μπέλλας & Τσιούμας, 2011).

Ο γεωλόγος Α. Δούνας (1963β) πραγματοποίησε επιτόπια μελέτη στην κοινότητα Ροπωτού για λογαριασμό του Ινστιτούτου Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους (Ι.Γ.Ε.Υ. νυν Ι.Γ.Μ.Ε.) και συνέταξε την Τεχνική έκθεση T-241.

Σύμφωνα με τον Δούνα (1963β) από τους επτά (7) συνοικισμούς της κοινότητας Ροπωτού πληγήκαν οι τέσσερεις (4) από κατολισθήσεις. Συγκεκριμένα, επλήγησαν οι συνοικισμοί «Δημητράκαινα», «Κατινέλι», «Σπύρου – Αλέξη» και «Κεντρικός Συνοικισμός», ενώ στους συνοικισμούς «Άγιος Ιωάννης», «Λογγιαί» και «Λιβιάδια» δεν καταγράφηκαν φαινόμενα (**σχήμα 6.1**).

Στον συνοικισμό «Δημητράκαινα», ο οποίος αναπτύσσεται σε κλιτύ της κοιλάδας του Πορταϊκού Ποταμού, τα οικήματα είναι κτισμένα σε φλύσχη, ο οποίος εμφανίζει μανδύα αποσάθρωσης σημαντικού πάχους κατά τόπους (Δούνας, 1963β). Η κατολίσθηση στον συνοικισμό αυτό έπληξε δεκατρείς (13) οικίες, εκ των οποίων μερικές παρουσίασαν ρωγμές σημαντικού πλάτους.



Σχήμα 6.1: Απόσπασμα από τον τοπογραφικό χάρτη, κλίμακας 1:50.000, φύλλο «Μουζάκιον» (Γ.Υ.Σ., 1988), στο οποίο φαίνονται οι θέσεις των συνοικισμών της κοινότητας Ροπωτού. Θέση 1: Κεντρικός Συνοικισμός, Θ. 2: Σπύρου – Αλέξη, Θ. 3: Αγίου Ιωάννη, Θ. 4: Κατινέλι, Θ. 5: Δημητράκινα, Θ. 6: Λογγιαί, Θ. 7: Λιβάδια.

Το φαινόμενο, σύμφωνα με τον γεωλόγο του Ι.Γ.Ε.Υ. (νυν Ι.Γ.Μ.Ε.), οφείλεται στην ολίσθηση του μανδύα αποσάθρωσης επί του υγιούς στρώματος φλύσχη και παρότι δεν παρουσίασε μεγάλη μετακίνηση εκδηλώθηκε σε σημαντική έκταση τρακοσιών (300) στρεμμάτων περίπου. Τέλος ο Δούνας (1963β) προέβλεψε ότι το φαινόμενο θα εκδηλωθεί ξανά μελλοντικά.

Στον συνοικισμό «Κατινέλι» προκλήθηκαν ζημιές, σε μικρότερη κλίμακα από αυτές του προαναφερθέντα συνοικισμού, σε δέκα (10) οικίες. Οι συνθήκες εκδήλωσης του κατολισθητικού φαινομένου ήταν ανάλογες με αυτές του προηγούμενου συνοικισμού (Δούνας, 1963β).

Στον συνοικισμό «Σπύρου-Αλέξη» οι μισές από τις 15 οικίες παρουσίασαν ζημιές από κατολισθήσεις (Δούνας, 1963β).

Ο «Κεντρικός συνοικισμός» είναι χτισμένος σε μέσο υψόμετρο 700 μέτρων και περιλαμβάνει περίπου 100 οικίες. Σύμφωνα με τον Δούνα (1963) η εκδηλωθείσα κατολίσθηση καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του οικισμού και έχει προκαλέσει ζημιές στο 80% των κτισμάτων. Το μεγαλύτερο ποσοστό των οικιών είχαν κτιστεί σε κλιτείς μεγάλης κλίσεως και γεωλογικού υποβάθρου από φλύσχη και

μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη. Οι ολισθαίνουσες μάζες δεν παρουσίασαν μεγάλη μετακίνηση με αποτέλεσμα τη δημιουργία κυρίως ρωγμών και όχι την ολοκληρωτική καταστροφή των κτισμάτων. Ο γεωλόγος του Ι.Γ.Ε.Υ. προβλέπει ότι θα υπάρξει εντονότερη εκδήλωση του φαινομένου μελλοντικά. Μόνο στο νότιο τμήμα του συνοικισμού, στην θέση «Κουτσουπιά», το οποίο είναι κτισμένο πάνω σε ασβεστολίθους υποκείμενων του φλύσχη, δεν παρατηρήθηκαν μετακινήσεις και δεν προβλέπεται να έχει στο μέλλον πρόβλημα με κατολισθητικά φαινόμενα (Δούνας, 1963β).

Εξαιτίας της λιθολογίας, της μεγάλης κλίσης, καθώς επίσης και του ότι οι πόδες του αντερείσματος, επί του οποίου είναι κτισμένη η κοινότητα, διαβρώνονται από τα νερά του παρακείμενου χειμάρρου, αναμενόταν περαιτέρω εξέλιξη των φαινομένων. Έτσι προτείνεται, ως μόνη ασφαλής λύση, η μετεγκατάσταση της κοινότητας (Δούνας, 1963β).

6.2. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ 1975–1976

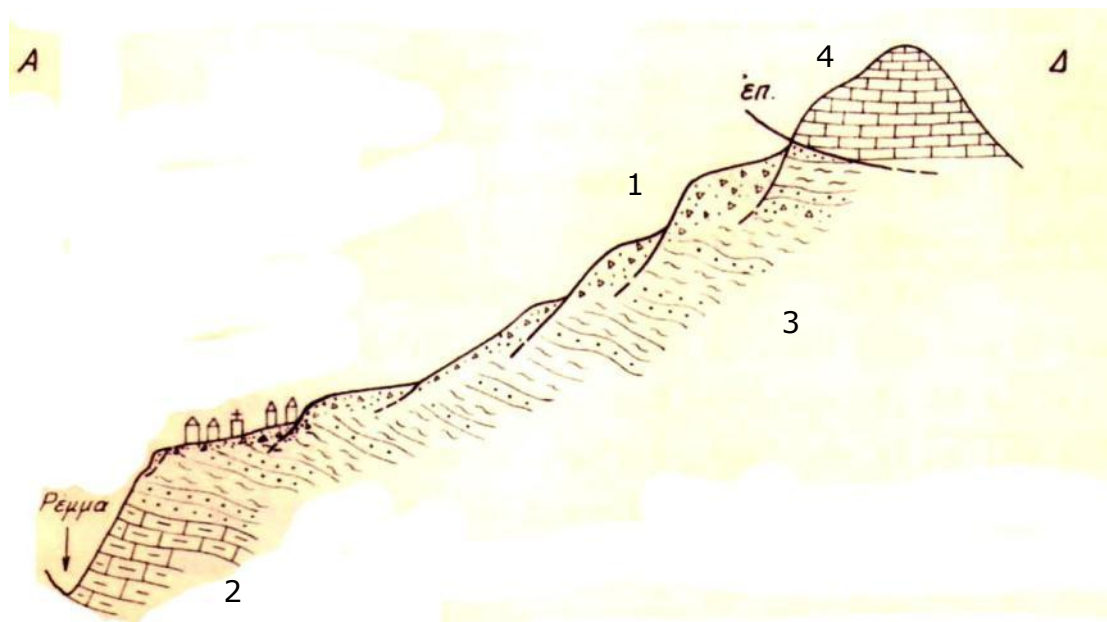
Το 1976 μετά από την εκδήλωση νέων κατολισθητικών φαινομένων, μικρής έκτασης, πραγματοποιήθηκε νέα έρευνα στην περιοχή της κοινότητας του Ροπωτού και σύμφωνα με την συνταχθείσα έκθεση, για λογαριασμό του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) από τους Ελευθερίου κ.ά. (1976), δεν κατέστη δυνατή η εκτίμηση ή η πρόβλεψη μελλοντικής επαναδραστηριοποίησης ή μη των κατολισθητικών φαινομένων.

6.3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ 1978–1979

Κατά το έτος 1979, κατόπιν έντονων βροχοπτώσεων και παρατεταμένων χιονοπτώσεων κατά το χειμώνα 1978 – 1979, στον κεντρικό συνοικισμό σημειώθηκαν ευρείας έκτασης κατολισθητικά φαινόμενα, τα οποία αποτελούν ενεργοποίηση παλαιότερων θραύσεων και αναμόχλευση υλικών. Αποτέλεσμα αυτών των φαινομένων, όπως φαίνεται στο **σχήμα 6.2** ήταν η κίνηση προς τα κατάντη του αναμοχλευμένου υλικού και η πρόκληση σημαντικών ζημιών σε αρκετές οικίες (Κούκης, 1979).

Σύμφωνα με παρατηρήσεις του Κούκη (1979) στον χώρο του συνοικισμού συσσωρεύονται πολλά νερά, τα οποία κυρίως εκφορτίζονται προς τα κατάντη διά των διαμορφωμένων βυθισμάτων, κατά μήκος των οποίων έχουν σχηματιστεί και μικροχαραδρώσεις. Τα νερά αυτά προέρχονται κυρίως από τους

υπερκείμενους του φλύσχη ασβεστολίθους, ανάντη του συνοικισμού, οι οποίοι με κλίσεις στρωμάτων σχεδόν ομόρροπες προς το πρηνές διοχετεύουν όλα τα νερά τους στα στρώματα του φλύσχη και κυρίως στα υλικά του μανδύα αποσάθρωσης αυτών και τα πλευρικά ασβεστολιθικά κορήματα. Αποτέλεσμα των ανωτέρω συνθηκών είναι η παρουσία, στην κεφαλή του συνοικισμού, πηγών σημαντικής παροχής εποχιακού χαρακτήρα και ο συνεχής κορεσμός των ιζημάτων του φλύσχη καθ' όλη την διάρκεια του χειμώνα.



Σχήμα 6.2: Σχηματική γεωλογικά τομή της κατολίσθησης της κοινότητας του Ροπωτού. Σχηματισμοί 1: μανδύας αποσάθρωσης του φλύσχη, 2: ασβεστόλιθοι υποκείμενοι του φλύσχη, 3: φλύσχη με εναλλαγές ψαμμίτη και αργιλικών σχιστολίθων, 4: ασβεστόλιθοι επωθημένοι στο φλύσχη (Κούκης, 1979).

Στην έκθεσή του ο Κούκης περιγράφει τα αποτελέσματα των φαινομένων του 1979 ως ακολούθως:

«Τα κατολισθητικά φαινόμενα εκδηλώθηκαν σε μεγάλη έκταση κυρίως στο βύθισμα του συνοικισμού ανάντη της εκκλησίας, με την εμφάνιση τοξοειδών, κλιμακωτών θραύσεων με σημαντική (μέχρι και 1 μέτρου) κατακόρυφη και μικρότερης τάξεως οριζόντια μετακίνηση.

»Στην κεφαλή της κατολίσθησης, που εντοπίζεται σχεδόν κοντά στην επαφή με τους επωθημένους ασβεστολίθους, παρατηρείται τοξοειδής θραύση επί μήκους 300 μέτρων περίπου με κατακόρυφη μετακίνηση μέχρι και 1 μέτρου (**φωτογραφία 6.1**). Αποτέλεσμα των θραύσεων αυτών είναι ή βραδεία μετακίνηση της κατολισθαίνουσας μάζας προς τα καπάντη (**φωτογραφία 6.2**)».



Φωτογραφία 6.1: Τμήμα της τοξοειδούς και επί μήκους 300 μέτρων θραύσεως στην κεφαλή της κατολίσθησης. Στη θέση αυτή είναι πιθανή η ενεργοποίηση και των ανωτέρων οριζόντων του υγιούς φλύσχη. Χαρακτηριστικό είναι το "τέντωμα" των ριζών των δένδρων, κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης (Κούκης, 1979).



Φωτογραφία 6.2: Μετατόπιση 15 εκατοστών του υδραύλακα λόγω της ώθησης των κατολισθαινόντων σχηματισμών του φλύσχη (Κούκης, 1979).

»Πιστεύεται ότι προς το παρόν τα κατολισθητικά φαινόμενα περιορίζονται στον μεγάλο πάχους μανδύα αποσάθρωσης,

οπωσδήποτε όμως στο μέλλον θα επηρεάσουν και βαθύτερους ορίζοντες. Στη τελευταία αυτή περίπτωση ο κίνδυνος που διαγράφεται από τη δημιουργία βαθιάς επιφανείας ολίσθησης είναι άμεσος για ολόκληρο το κατάντη τμήμα του συνοικισμού».

»Επίσης στο πρηνές κατάντη της εκκλησίας, όπου επικρατούν τα ιζήματα του φλύσχη, έχει παρατηρηθεί μικρές έκτασης θραύση του μανδύα αποσάθρωσης».

»Τέλος, μακριά από τις οικίες, προς το ρέμα έχουν σημειωθεί σε δύο περιοχές κατολισθητικά φαινόμενα με τη θραύση αυτού σε μήκος 30 μέτρων και κατακόρυφη μετακίνηση μέχρις 1 μέτρο και σε άλλα σημεία μικρότερης έκτασης θραύσεις του μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη (**φωτογραφία 6.3**)».



Φωτογραφία 6.3: Θραύση του μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη στο πρηνές κατάντη του οικισμού. Η κατακόρυφη μετακίνηση είναι της τάξεως του 1 μέτρου (Κούκης, 1979).

»Οι ζημιές που σημειώθηκαν στον οικοδομικό χώρο του συνοικισμού, με την εκδήλωση των ανωτέρω φαινομένων, έχουν ως εξής: Δύο κτίσματα που ευρίσκονται σε άμεση επαφή με τις χαλαρωμένες μάζες, στον πόδα της κατολίσθησης, έχουν υποστεί σοβαρές ζημιές μάλιστα το ένα από αυτά κρίνεται τελείως ακατάλληλο προς κατοίκηση (**φωτογραφία 6.4**)».

»Χαρακτηριστικό της ενεργοποίησης των ανωτέρω χαλαρωμένων μαζών, πάχους 3 – 4 μέτρων είναι ότι στο ένα από αυτά τα κτίσματα έχει καταστραφεί ο άνω όροφος ενώ το υπόγειο έμεινε ανέπαφο, στο δε άλλο, που κατεστράφη ολοσχερώς τοίχος από ξερολιθιά, που βρίσκεται κατάντη, έχει υποστεί ζημιές μόνον στο άνω τμήμα του



Φωτογραφία 6.4: Οριζόντιες ρωγμές στην οικία, που κατεστράφη και εντοπίζεται στον πόδα της κατολισθαίνουσας περιοχής. Έχουν ενεργοποιηθεί οι ανάντη χαλαρές μάζες του μανδύα του φλύσχη, που περιλαμβάνουν υλικά μέχρι βάθους 1 μέτρου περίπου κάτω από το δάπεδο της οικίας (Κούκης, 1979).



Φωτογραφία 6.5: Μαντρότοιχος κατάντη της ανωτέρω οικίας. Διακρίνεται μετατόπιση και καταστροφή του άνω μόνον τμήματος αυτού, που αντιστοιχεί στα χαλαρωμένα υλικά από του δαπέδου της οικίας και κάτω (πάχους 1 μέτρου περίπου) της **Φωτογραφίας 6** (Κούκης, 1979).

πού βρίσκεται 1 μέτρο κάτω από το δάπεδο του κτίσματος (**φωτογραφία 6.5**). Οι ζημιές δηλαδή, περιορίστηκαν στα κτίσματα

ή τμήματα αυτών, που βρίσκονται σε άμεση επαφή με τα χαλαρά υλικά του μανδύα του φλύσχη, πάχους μέχρι 4 μέτρων».

»Επίσης ρωγμές έχουν σημειωθεί και σε άλλες οικίες, που εντοπίζονται στη ζώνη αυτή και στην εκκλησία, όπου παλαιότερες ρωγμές του κτίσματος, οι οποίες είχαν επουλωθεί, έχουν σήμερα αναδράσει (**φωτογραφία 6.6**)».



Φωτογραφία 6.6: Ρωγμές, σχεδόν κατακόρυφες και εύρους μέχρι 3 εκατοστά, στο νότιο τοίχο της εκκλησίας. Μερικές από αυτές, που είχαν επουλωθεί, ανέδρασαν με τις πρόσφατες μετακινήσεις (Κούκης, 1979).

»Αντίθετα, στο διαμορφούμενο προς βορρά βύθισμα του οικοδομικού χώρου, τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι μικρότερης έκτασης. Αυτό συμβαίνει γιατί στο χώρο αυτό επικρατεί η ψαμμιτική κυρίως φάση του φλύσχη με κλίσεις αντίρροπες, επί πλέον η ζώνη αυτή δεν διαβρέχεται με τις μεγάλες ποσότητες νερού που εκφορτίζονται στην προηγούμενη ζώνη. Στο τμήμα μάλιστα αυτό η δόμηση δεν είναι πυκνή και περιορίζεται κατά κανόνα στα αντερείσματα. Τα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν εδώ εντοπίζονται στο μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη, οι ζημιές δεν συνίστανται σε ρωγμές, που έχουν σημειωθεί σε οικίες θεμελιωμένες κατά μήκος του άξονα του βυθίσματος».

Στην έκθεσή του ο Κούκης (1979) προτείνει τη μεταφορά του συνοικισμού σε άλλο χώρο. Στην περίπτωση κατά την οποία επιβάλλεται η σταδιακή μεταφορά του συνοικισμού θα πρέπει οπωσδήποτε να υπάρξει ιεράρχηση ανάλογα με τον βαθμό

επικινδυνότητας. Το τμήμα του συνοικισμού για το οποίο επιβάλλεται άμεση αποκατάσταση πριν δοκιμαστεί από νέες εκδηλώσεις του φαινομένου είναι αυτό, το οποίο εντοπίζεται στο βύθισμα ανάντη της εκκλησίας και κατόπιν το άλλο προς βορρά αυτού.

Όλες οι προτάσεις των επιστημόνων (Δούνας, 1963β, Κούκης, 1979) ήταν για μετεγκατάσταση του κεντρικού συνοικισμού της κοινότητας Ροπωτού. Αυτή δεν πραγματοποιήθηκε, αν και ξεκίνησε με την δανειοδότηση για μετεγκατάσταση πενήντα ενός (51) οικογενειών από τις εκατό είκοσι έξι (126), οι οποίες την δικαιούνταν (Αγγελίδης, 1984).

Μετά τις αρχές της δεκαετίας του 1980 εγκαταλείφτηκε το σχέδιο μετεγκατάστασης του κεντρικού συνοικισμού για «λόγους οικονομικούς και κοινωνικούς». Τότε προκρίθηκε η άποψη να ληφθούν τεχνικά μέτρα ανάσχεσης των κατολισθητικών φαινομένων (Αγγελίδης, 1991γ, Λέκκας, 1996, Lekkas et al., 1998a & 1998b). Για το λόγο αυτό ξεκίνησαν μελέτες για την εφαρμογή αυτού του σχεδίου. Οι παλαιότερες προτάσεις των γεωλόγων για μετεγκατάσταση του κεντρικού συνοικισμού της κοινότητας Ροπωτού δεν λήφθηκαν υπόψη και η οικοδόμηση συνεχίστηκε με νόμιμες άδειες της Πολιτείας.

6.4. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ 1990–1991

Το 1991 εκδηλώθηκαν θραύσεις και κατολισθήσεις στον επαρχιακό δρόμο, ο οποίος οδηγεί στον κεντρικό συνοικισμό της κοινότητας Ροπωτού, και όχι στην περιοχή του κεντρικού συνοικισμού, όπου είχαν εκδηλωθεί κατολισθητικά φαινόμενα παλαιότερα. Τα φαινόμενα αυτά ξεκίνησαν δύο χρόνια πριν αλλά εντάθηκαν το 1991. Ο χώρος που εκδηλώθηκαν οι θραύσεις εντοπίζεται στη βάση αντερείσματος ανάντη του οποίου αναπτύσσεται ο κεντρικός οικισμός της κοινότητας (Αγγελίδης, 1991α).

Το λιθολογικό υπόβαθρο των φαινομένων αυτών είναι ο φλύσχης. Ο φλύσχης, που ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη της Πίνδου, συναντάται με δύο λιθολογικές φάσεις την ψαμμιτική (σε πάγκους πάχους 15 εκατοστών περίπου) και την αργιλική (σε ενστρώσεις μικρού πάχους μέχρι 5 εκατοστών περίπου). Η τεκτονική που έχει επηρεάσει τα πετρώματα της ανωτέρω ζώνης έχει δημιουργήσει έντονη ρηγματώση στο φλύσχη της περιοχής και σε συνδυασμό με τους μηχανισμούς διάβρωσης -αποσάθρωσης διευκολύνουν το σχηματισμό, στο ανώτερο τμήμα του φλύσχη, χαλαρής ζώνης.

Επιφανειακά ο φλύσχος δημιουργεί μανδύα αποσάθρωσης και εδαφικά υλικά χαμηλής συνοχής, με σημαντική υδροπερατότητα. Το πάχος του εδαφικού μανδύα κατά θέσεις σε αυτό το χώρο φθάνει μέχρι 2 μέτρα (Αγγελίδης, 1991γ).

Τα φαινόμενα αυτά δείχνουν ότι δεν σχετίζονται αυτά καθ' αυτά με τα εκτεταμένα φαινόμενα του κεντρικού συνοικισμού, αλλά δεν είναι αποκομμένα και σχετίζονται σίγουρα με το ευρύτερο φαινόμενο των κατολισθητικών φαινομένων της ευρύτερης περιοχής.

Τα επόμενα χρόνια δεν εκδηλώθηκαν εδαφικές ρωγμές, που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν εκ νέου ανησυχία στους κατοίκους αλλά εμφανίζονταν μικρορωγματώσεις σε οικοδομές της περιοχής του Κεντρικού συνοικισμού (Αγγελίδης & Μπέλλας, 1992).

Μετά από επίμονο αίτημα της κοινότητας και σε συνδυασμό με την έγκριση του προγράμματος έρευνας και ελέγχου των κατολισθητικών φαινομένων από το Ι.Γ.Μ.Ε., που εγκρίθηκε το 1990, εκτελέστηκαν δύο (2) γεωτρήσεις μέγιστου βάθους 20,00 μέτρων σε καίριες θέσεις του Κεντρικού οικισμού. Οι γεωτρήσεις συνοδεύτηκαν από δειγματοληψία αντιπροσωπευτικού υλικού από διάφορα βάθη. Τα δείγματα ήταν "αδιατάρακτα" και "διαταραγμένα" και μετά από κατάλληλη συσκευασία μεταφέρθηκαν στα εργαστήριο του Ι.Γ.Μ.Ε. για τις σχετικές δοκιμές. Στις γεωτρήσεις εγκαταστάθηκαν ειδικοί σωλήνες αποκλισιομέτρων με τα οποία μετράται το μέγεθος των μετακινήσεων σε διάφορα επίπεδα και σε διάφορα βάθη. Ο έλεγχος των μετακινήσεων με τα αποκλισιόμετρα έγινε το χρονικό διάστημα από τον Ιανουάριο 1991 έως τον Ιανουάριο 1992 (Αγγελίδης & Μπέλλας, 1992).

Παράλληλα τον Αύγουστο του 1991 διανοιχτήκαν δύο (2) ορύγματα βάθους 10,00 και 7,00 μέτρων αντίστοιχα, σε δύο θέσεις της περιοχής, στις οποίες είχε προταθεί η κατασκευή συλλεκτήριας τάφρου (Αγγελίδης & Μπέλλας, 1992).

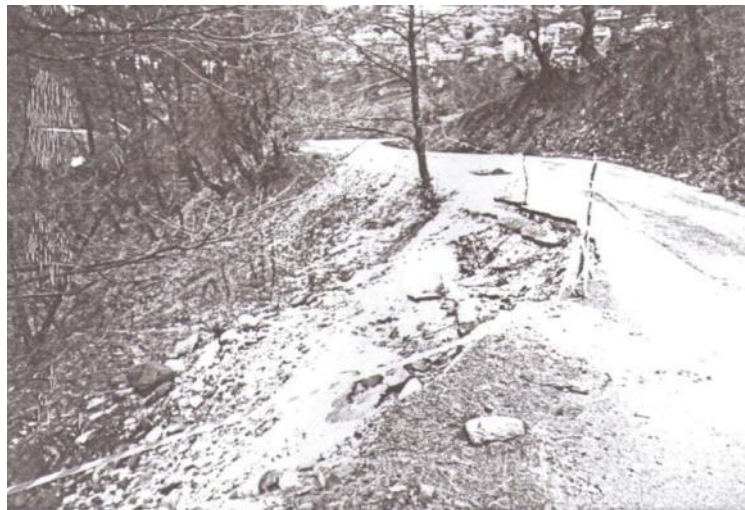
Με τη χρήση των αποκλισιομέτρων διαπιστώθηκαν μετακινήσεις ακόμα και κατά τη διάρκεια, που δεν έχουμε έξαρση κατολισθητικών φαινομένων. Επίσης σε Μελέτη Ευστάθειας των Πρανών την οποία πραγματοποιήθηκε (Αγγελίδης & Μπέλλας, 1992) αποδείχθηκε ότι υπήρχε οριακή ισορροπία του πρανούς. Προτάθηκε με την παραπάνω μελέτη εκτός των άλλων η κατασκευή συλλεκτήριας τάφρου των υδάτων, ο εγκιβωτισμός των ρεμάτων, που διέρχονται από τον κεντρικό συνοικισμό και τοποθέτηση συρματοκιβωτίων ανά διαστήματα περίπου είκοσι (20) μέτρων.

6.5. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ 1993–1994

Κατά το έτος 1994 υπήρξε ήπια επαναδραστηριοποίηση των κατολισθητικών φαινομένων, τόσο στον κεντρικό συνοικισμό, όσο και στον δρόμο Ροπωτού – Πύλης (**φωτογραφίες 6.7, 6.8 & 6.9**), ο οποίος οδηγεί στον παραπάνω συνοικισμό (Αποστολίδης, 1994β).



Φωτογραφία 6.7: Η μερική καταστροφή του οδοστρώματος από εδαφικές μετακινήσεις (Αποστολίδης, 1994β).



Φωτογραφία 6.8: Οι θραύσεις και η μετακίνηση των εδαφικών υλικών, που έχει καταστρέψει τμήμα του οδοστρώματος (Αποστολίδης, 1994β).



Φωτογραφία 6.9: Η καταστροφή τμήματος του οδοστρώματος από τις εκδηλωθείσες εδαφικές μετακινήσεις. Εμφανής είναι η κατακόρυφη μετακίνηση (άλμα) των εδαφικών υλικών (Αποστολίδης, 1994β).

6.6. ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ - ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΤΟΥΣ ΧΕΙΜΩΝΕΣ 2009–2010 & 2011–2012

Κατά το χειμώνα 2009 – 2010 μετά από έντονες βροχοπτώσεις και παρατεταμένες χιονοπτώσεις ξεκίνησε μία μακρά περίοδος επανενεργοποίησης και εξέλιξης των κατολισθητικών φαινομένων σε όλη την κοινότητα του Ροπωτού, αλλά κυρίως στον κεντρικό συνοικισμό, όπου είχαμε και το μεγαλύτερο ποσοστό εκτεταμένων ζημιών και καταστροφών.

Τα φαινόμενα αυτά είχαν την πλέον δριμεία εξέλιξη σε σχέση με όλες τις προηγούμενες δραστηριοποιήσεις της κατολίσθησης. Εκτιμάται ότι τα φαινόμενα του 2010 και 2012 αποτελούν συνεχή εξέλιξη του ίδιου φαινομένου, το οποίο εξελίσσεται ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες (και κυρίως τις βροχοπτώσεις και τις χιονοπτώσεις), άλλοτε με ταχείς και άλλοτε με πιο αργούς ρυθμούς. Για το λόγο αυτό τα κατολισθητικά φαινόμενα των ετών αυτών εξετάζονται ως ένα ενιαίο εξελισσόμενο φαινόμενο.

Αρχικά το Φεβρουάριο του 2010 επαναδραστηριοποιήθηκε η κατολίσθηση στον κεντρικό συνοικισμό του Ροπωτού. Η ένταση του φαινομένου ήταν μεγαλύτερη από αυτές των ετών 1963 και 1979. Συγχρόνως είχαμε εκδήλωση φαινομένων και σε άλλους συνοικισμούς όπως τον Άγιο Ιωάννη, τις Λογγιές, καθώς και κατά μήκος του επαρχιακού δρόμου, ο οποίος οδηγεί στον κεντρικό συνοικισμό (**φωτογραφίες 6.10 – 6.13**).



Φωτογραφίες 6.10 & 6.11: Θραύσεις και μετακινήσεις στον συνοικισμό του Αγίου Ιωάννη (2010).



Φωτογραφίες 6.12 & 6.13: Θραύσεις και μετακινήσεις στον συνοικισμό του Αγίου Ιωάννη (2010).

Αρχικά η αιχμή (πόδας) και η ζώνη διόγκωσης της κατολίσθησης έφτασε έως την εκκλησία μεταξύ των δύο μικρών αντρεισμάτων, τα οποία βρίσκονται εντός του κυρίου βυθίσματος (**φωτογραφίες 6.14 & 6.15**).



Φωτογραφία 6.14: Συνολική άποψη της κατολίσθησης στον κεντρικό συνοικισμό του Ροπωτού, στην οποία φαίνονται η στέψη και το πόδι της (2010).



Φωτογραφία 6.15: Η στέψη της κατολίσθησης στον κεντρικό συνοικισμό του Ροπωτού (2010).

Εξ επαγωγής ενεργοποιήθηκαν και άλλες μικρότερες κατολισθήσεις, που όλες μαζί συνιστούσαν ένα μεγάλο μέτωπο κατολίσθησης

Κατά την εκδήλωση αυτού το γεγονός είχε ζημιές ή καταστροφή στα περισσότερα κτίσματα του κεντρικού τμήματος του συνοικισμού, καθώς και καταστροφή του οδικού δικτύου (**φωτογραφίες 6.16 – 6.33**). Επίσης καταστράφηκαν τεχνικά έργα ανάσχεσης των κατολισθητικών φαινομένων, όπως τοιχία από συρματοβώτια, η συλλεκτήρια τάφρος των υδάτων, η γεώτρηση υδρομάστευσης πηγής.

Η περιγραφή της δριμύτητας του φαινομένου γίνεται παρακάτω μέσω των φωτογραφιών, οι οποίες αποδίδουν και παρουσιάζουν γλαφυρά το μέγεθος της καταστροφής, καλύτερα από ό,τι τα λόγια.



Φωτογραφίες 6.16 & 6.17: Καταστροφές σε καταστήματα του κεντρικού συνοικισμού, τα οποία κρίθηκαν ακατάλληλα. Χαρακτηριστική είναι η μορφή των κατεστραμμένων οικημάτων, που υποδεικνύουν την κίνηση του εδάφους θεμελίωσης και τα οποία βρίσκονται στην πόδα της κατολίσθησης. Στην 2^η φωτογραφία φαίνεται ο σύλος της Δ.Ε.Η., που έχει καταπλακωθεί από τον μαντρότοιχο του καταστήματος στα ανάντη της εκκλησίας. Στην μικρή φωτογραφία φαίνεται η προσπάθεια των κατοίκων να συγκρατήσουν τον ίδιο μαντρότοιχο στην αρχή της εξέλιξης του φαινομένου (2010).



Φωτογραφίες 6.18, 6.19 & 6.20: Ολοσχερής καταστροφή σε οικίες (2010).



Φωτογραφία 6.21: Ολοσχερής καταστροφή οικίας (2010).



Φωτογραφία 6.22α & β: Ολοσχερής καταστροφή οικίας. Το χαρακτηριστικό της περίπτωσης αυτής είναι ότι δείχνει την συνεχή και ταχεία εξέλιξη του φαινομένου, αφού στην 1η περίπτωση το οίκημα έχει φωτογραφηθεί στις 15 Μαρτίου 2010 και στην 2η στις 5 Απριλίου 2010, δηλαδή σε διάστημα 20 ημερών (2010).



Φωτογραφίες 6.23, 6.24, 6.25 & 6.26: Ρωγμές σε οικίες και μαντρότοιχους, ορισμένες από τις οποίες είναι σοβαρές (2010).



Φωτογραφίες 6.27, 6.28, 6.29 & 6.30: Καταστροφή του οδικού δικτύου εντός του οικισμού, καθώς και των συρματοκιβωτίων, τα οποία είχαν τοποθετηθεί από το Δασαρχείο για την ... ανάσχεση των κατολισθητικών φαινομένων, επιφορτίζοντας όμως περαιτέρω την ήδη ασταθή ισορροπία του πρανούς (2010).



Φωτογραφίες 6.31 & 6.32: Φωτογραφίες κοντά στην κορυφή της κατολίσθησης, στις οποίες φαίνονται η «ανύψωση» περισσότερο του 1 μέτρου της γεώτρησης υδρομάστευσης της πηγής και η καταστροφή της συλλεκτήριας τάφρου των υδάτων (2010).



Φωτογραφία 6.33: Ο τοίχος υποστήριξης του προαύλιου χώρου της εκκλησίας. Η παραμόρφωση του τοίχου μας προϊδεάζει για την επερχόμενη εξέλιξη του φαινομένου (2010).

Έτσι λοιπόν, τους πρώτους μήνες του 2010 είχαμε την μεγάλη καταστροφή στον κεντρικό συνοικισμό. Το μεγαλύτερο τμήμα των οικιών έγιναν ακατάλληλες προς κατοίκηση ή καταστράφηκαν ολοσχερώς. Οι περισσότεροι δρόμοι του χωριού καταστράφηκαν. Τα περισσότερα τεχνικά έργα τα οποία είχαν γίνει, ώστε να ανασχεθούν πιθανά μελλοντικά κατολισθητικά φαινόμενα καταστράφηκαν, όπως η συλλεκτήρια τάφρος των υδάτων, που είχε κατασκευασθεί στην κορυφή της κατολίσθησης, τα συρματοκιβώτια, που είχαν τοποθετηθεί κάθετα στην κατολίσθηση σε επάλληλες σειρές, η γεώτρηση υδρομάστευσης, που είχε πραγματοποιηθεί κοντά στην συλλεκτήρια τάφρο, καθώς και οι εγκυβωτισμένοι αύλακες παροχέτευσης των υδάτων στα τοπικά βυθίσματα ανάντη της εκκλησίας.

Τον επόμενο χειμώνα, ενώ οι κάτοικοι προσπαθούσαν να επουλώσουν τις πληγές τους από την καταστροφή, δεν είχαμε σημαντικές κινήσεις και αξιοσημείωτη δραστηριοποίηση της κατολίσθησης.

Τον χειμώνα του 2011 – 2012, και συγκεκριμένα την άνοιξη του 2012, επαναδραστηριοποιήθηκε η κατολίσθηση στον κεντρικό συνοικισμό της κοινότητας του Ροπωτού ολοκληρώνοντας την

καταστροφή του 2010. Με την επαναδραστηριοποίηση της κατολίσθησης προκλήθηκε ολοκληρωτική καταστροφή του κεντρικού τμήματος του κεντρικού συνοικισμού (**φωτογραφίες 6.34 – 6.38**).



Φωτογραφία 6.34: Η κατολίσθηση του 2012.



Φωτογραφία 6.35: Οι καταστροφές της κατολίσθησης (2012).



Φωτογραφία 6.36α & β: Η εκκλησία του οικισμού, η οποία δεν έπαθε ζημιές ως κτίσμα, αλλά μετατοπίστηκε όλη μαζί (2012).



Φωτογραφία 6.37α & β: Η ίδια οικία του οικισμού μετά την κατολίπηση του 2010 (με ελαφριές ζημιές) και του 2012 (ακατοίκητη). Η φωτογραφία δεν λήφθηκε από το ίδιο σημείο γιατί το 2012 δεν υπήρχε πρόσβαση από τα κατάντη.



Φωτογραφία 6.38: Άλλη μια οικία του οικισμού μετά την κατολίσθηση του 2012 (ακατοίκητη).

Ακόμη είχαμε καταστροφές και στους προσωρινούς δρόμους, οι οποίοι είχαν διανοιχθεί ή επισκευασθεί μετά την κατολίσθηση του 2010. Επισημαίνεται ότι υπήρχαν ζημιές και στην παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος, αφού είχαμε πτώση στύλων της Δ.Ε.Η. (**φωτογραφίες 6.39 & 6.40**).



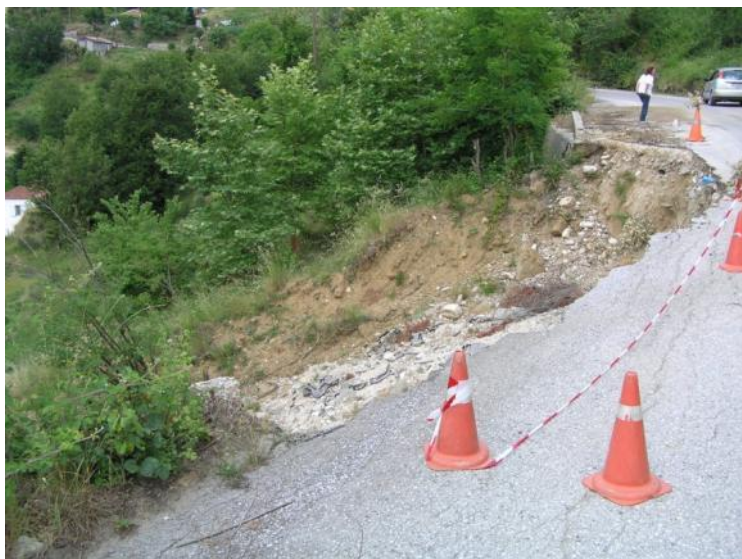
Φωτογραφίες 6.39 & 6.40: Καταστροφή του οδικού δικτύου, η οποία έκανε την πρόσβαση στις άθικτες οικίες του νότιου αντερείσματος αδύνατη.

Κατά την επανενεργοποίηση της κατολίσθησης στην πραγματικότητα είχαμε μετακίνηση του αναμοχλευμένου υλικού προς τα κατόντη και δραστηριοποίηση νέων κατολισθήσεων εξ επαγωγής. Αποτέλεσμα ήταν τα περισσότερα κατεστραμμένα οικήματα του οικισμού μαζί με το υλικό της κατολίσθησης να συγκεντρωθούν ως μία ανακατεμένη μάζα στον πόδα της νέας κατολίσθησης και στα ανάντη του χειμάρρου, ο οποίος διέρχεται πλησίον του οικισμού (**φωτογραφία 6.41**).



Φωτογραφία 6.41: Πανοραμική εικόνα της κατολίσθησης, στην οποία φαίνεται η ενεργοποίηση του 2010 (πάνω μέρος) και η επανενεργοποίηση του 2012 (κάτω μέρος).

Εκτός από τα φαινόμενα στον κεντρικό συνοικισμό της κοινότητας του Ροπωτού είχαμε και αρκετά κατολισθητικά φαινόμενα μικρότερης έκτασης σε όλο τον οικισμό (**φωτογραφίες 6.42 & 6.43**) όπως για παράδειγμα στον δρόμο, ο οποίος οδηγεί στον κεντρικό συνοικισμό.



Φωτογραφία 6.42: Τμήμα της επαρχιακής οδού, η οποία οδηγεί στον κεντρικό συνοικισμό, ημικατεστραμμένος από κατολισθήσεις (2012).



Φωτογραφία 6.43: Τμήμα της επαρχιακής οδού, η οποία οδηγεί στον κεντρικό συνοικισμό, ημικατεστραμμένος από κατολισθήσεις (2012).

Επίσης εξαιτίας της βαρύτητας ενεργοποιήθηκαν κατολισθήσεις – καταπτώσεις και στα αντερείσματα εκατέρωθεν του κυρίου βυθίσματος εξαπλώνοντας το εύρος της κύριας κατολίσθησης (**φωτογραφία 6.44**). Θεωρητικά η θεμελίωση στα αντερείσματα θα ήταν πλεονεκτική, εξαιτίας του ότι τα σπίτια αυτά εδράζονται σε πάγκους ψαμμίτη και θεωρητικά δεν επηρεάζονται από κατολισθήσεις. Σε περιπτώσεις όμως εκτεταμένων καταστροφικών γεγονότων, σαν αυτό του 2010 – 2012, ορισμένες καταστροφές λειτουργούν σύμφωνα με τη θεωρία του “domino” για άλλες, που ακολουθούν.

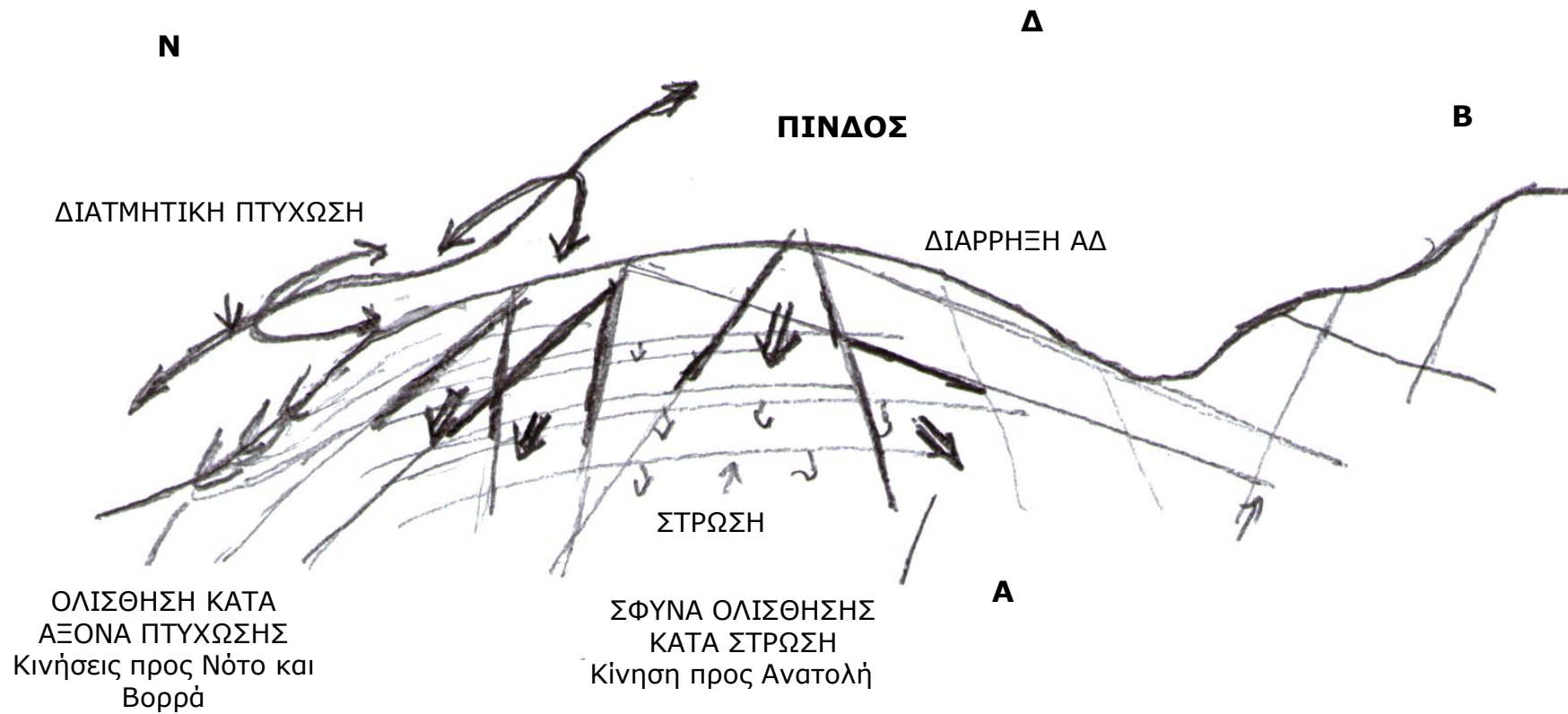


Φωτογραφία 6.44: Κατολίσθηση – κατάπτωση εξαιτίας της βαρύτητας στα «ασφαλή» αντερείσματα του Ροπωτού (2012).

7. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Η κάθε κατολίσθηση σε κάθε ενεργοποίηση λειτουργεί με διαφορετικό μηχανισμό εκδήλωσης. Σε γενικές γραμμές υπάρχουν όμως ορισμένοι κοινοί παράγοντες. Για παράδειγμα η βροχόπτωση και η ύπαρξη μεγάλου πάχους μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη είναι κοινοί παράγοντες και στις τρεις περιπτώσεις μελέτης. Παρακάτω θα αναφερθεί ένας γενικός κανόνας, ο οποίος φαίνεται να λειτουργεί στις τρεις περιπτώσεις και θα γίνει μία λεπτομερέστερη συζήτηση για την κατολίσθηση του Ροπωτού.

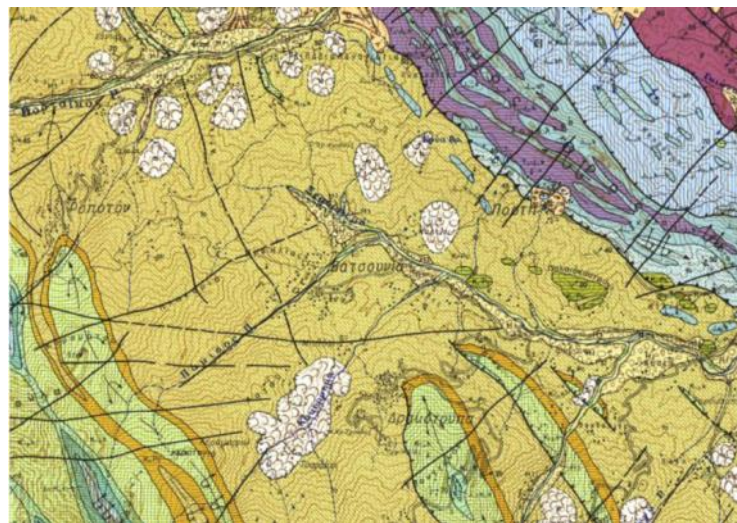
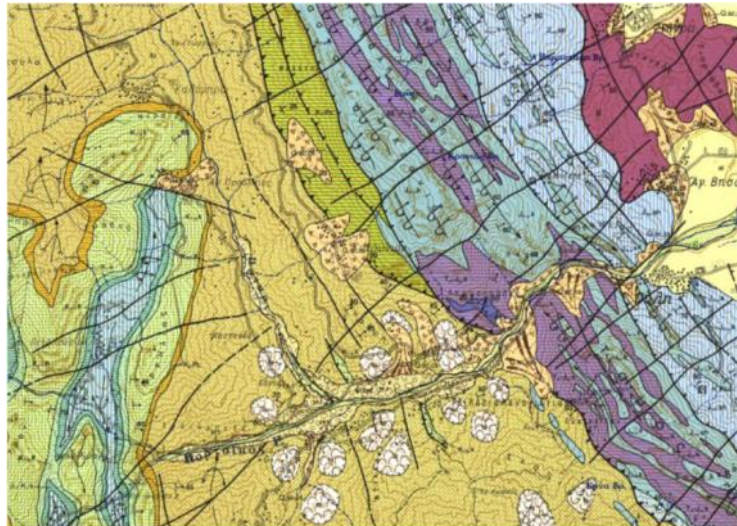
Οι γεωλογικές δομές στην περιοχή της Πίνδου είναι άμεσα συνδεδεμένες με τη δημιουργία κατολισθητικών φαινομένων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αλπική τεκτονική της ενότητας της Πίνδου χαρακτηρίζεται από έντονες πτυχώσεις και λεπιώσεις. Ιδιαίτερα στην περιοχή μελέτης δημιουργούνται διατμητικές πτυχώσεις με μία γενική διεύθυνση κλίσης άξονα Β - Ν. Η πτύχωση των πετρωμάτων κατά μήκος αυτού του άξονα δημιουργεί ολισθήσεις των σχηματισμών της Πίνδου. Οι ολισθήσεις των σχηματισμών κατά τον άξονα των πτυχώσεων, χαρακτηρίζονται από δύο κινήσεις: μία κίνηση προς το βορρά και μία κίνηση προς το νότο. Μία άλλη γεωλογική δομή η οποία επιδρά στην δημιουργία ολισθήσεων είναι οι διαρρήξεις. Στην περιοχή μελέτης παρατηρούνται διαρρήξεις των πετρωμάτων με γενικές διευθύνσεις ΒΑ - ΝΔ και Α - Δ. Οι διαρρήξεις αυτές τέμνονται και δημιουργούν σφήνες. Όταν η διεύθυνση της στρώσης των πετρωμάτων είναι ανατολική, τότε δημιουργούνται σφήνες ολισθήσεις κατά στρώση οι οποίες κινούνται προς τα ανατολικά. Επομένως στην περιοχή μελέτης εξαιτίας των γεωλογικών δομών δημιουργούνται ολισθήσεις κατά άξονα πτυχώσεις με διευθύνσεις κίνησης βόρεια και νότια καθώς και σφήνες ολίσθησης κατά στρώση που χαρακτηρίζονται από την κίνησή τους προς τα ανατολικά (**σχήμα 7.1**).

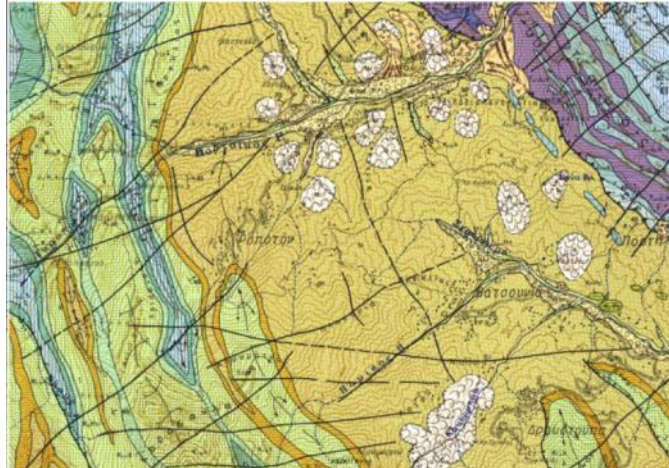


Σχήμα 7.1: Σκαρίφημα μηχανισμού εκδήλωσης κατολισθήσεων στην οροσειρά της Πίνδου.

7.1. ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΜΕΛΕΤΩΜΕΝΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Στις μελετώμενες περιπτώσεις στο Κοτρώνι, στην Βατσουσιά και στο Ροπωτό εμφανίζεται το εξής χαρακτηριστικό: η περιοχή βρίσκεται στην τομή τεκτονικών ασυνεχειών δημιουργώντας σφηνοειδείς κατά την κλίση ασταθείς μάζες πετρωμάτων (**σχήματα 7.2, 7.3 και 7.4**).





Σχήματα 7.2, 7.3 & 7.4: Αποσπάσματα από το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο «Μουζάκιον», κλίμακας 1:50.000, στα οποία φαίνονται οι σφηνοειδείς κατά την κλίση ασταθείς μάζες πετρωμάτων (Α: Κοτρώνι, Β: Βατσουινιά, Γ: Ροπωτό).

Οι μελετώμενες κατολισθήσεις είναι διαφορετικού τύπου, περιστροφική ολίσθησης στο Ροπωτό, μεταθετική ολίσθησης στην Βατσουινιά και μεταθετική ολίσθησης, καταπτώσεις στο Κοτρώνι. Κοινά χαρακτηριστικά τους είναι η ύπαρξη μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη, η έντονη βροχόπτωση, οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις και η έντονη τεκτονική καταπόνηση των γεωλογικών σχηματισμών. Κύρια όμως είναι η ομόρροπη κλίση των γεωλογικών σχηματισμών με αυτή του πρανούς.

Πρέπει να επισημανθεί ότι όλα τα σοβαρά κατολισθητικά γεγονότα εκδηλώθηκαν, έστω και αν είναι καινούρια, εντός των τεκτονικών σφηνών. Έχουμε λοιπόν πολλαπλές και διαφορετικές κατολισθήσεις εντός των σφηνών και εξαιτίας της μετακίνησης και μεταφοράς υλικών προς τα κατόντη εμφανίζεται η τάση να απομακρυνθεί το υλικό των σφηνών.

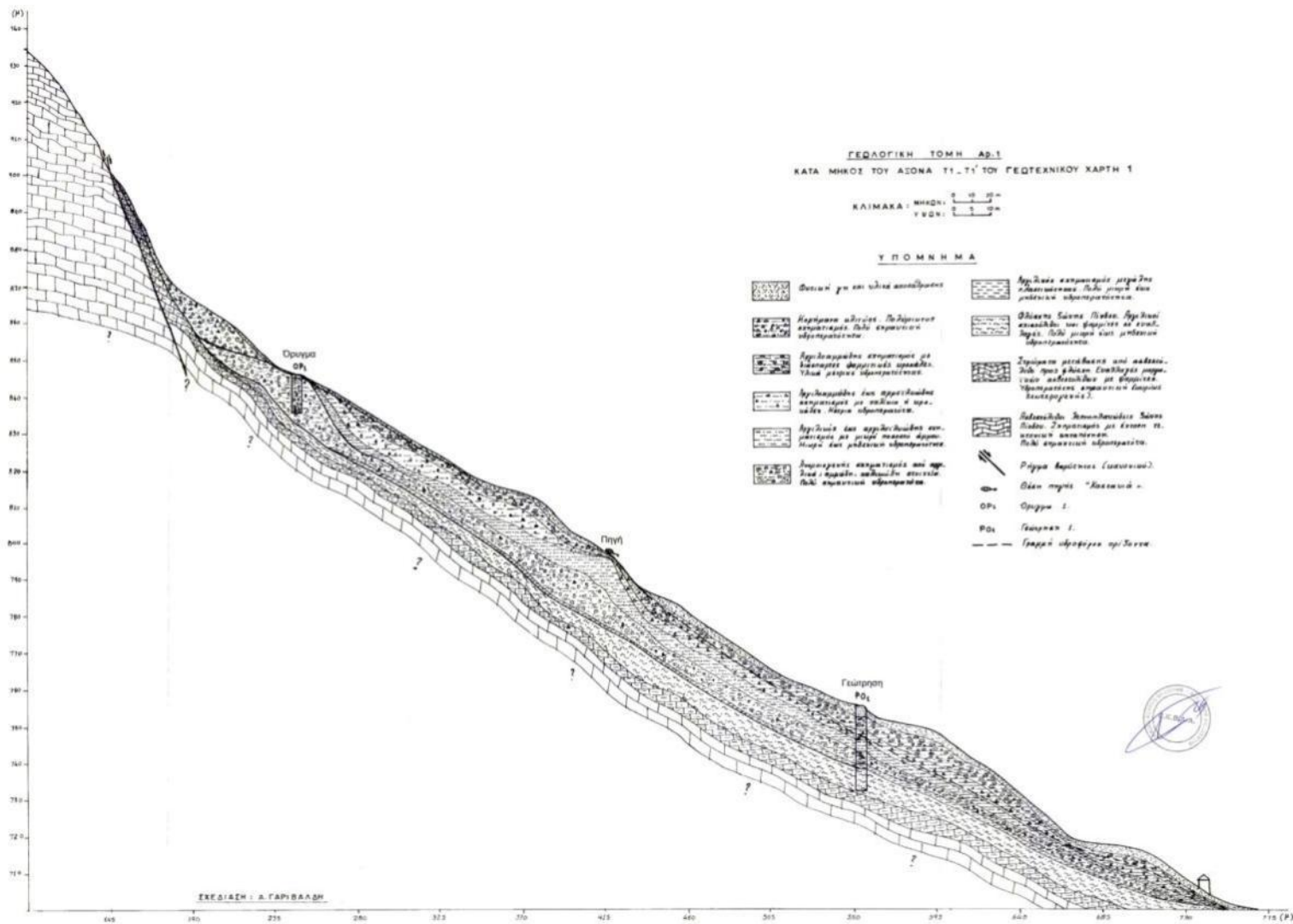
Από το γεγονός αυτό συμπεραίνουμε την σημαντικότητα των τεκτονικών ασυνεχειών στην εκδήλωση μίας κατολισθησης.

7.2. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΡΟΠΩΤΟΥ

Η εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων στον κεντρικό συνοικισμό της κοινότητας Ροπωτού οφείλονται σε μορφολογικούς, λιθολογικούς, τεκτονικούς και υδρολογικούς – υδρογεωλογικούς παράγοντες.

Στις 1 Μαΐου 1967, ισχυρός σεισμός ($M=6,4$) έπληξε τους νομούς Άρτας και Ιωαννίνων. Κατά το σεισμό αυτό 9 άνθρωποι σκοτώθηκαν και 56 τραυματίστηκαν, 10.790 κτίρια υπέστησαν βλάβες (τα 940 καταστράφηκαν). Η μεγαλύτερη ένταση παρατηρήθηκε στο χωριό Δροσοπηγή ή Βουλγαρέλι (ΙΧ), το οποίο βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του νομού Άρτας και κοντά στα όρια του νομού με το νομό Τρικάλων (Comninakis & Papazachos, 1982, Papazachos & Papazachou, 1997). Στο σεισμό αυτό οι περισσότερες ζημιές και καταστροφές προκλήθηκαν από τα συνοδά κατολισθητικά φαινόμενα, τα οποία καταγράφηκαν στην οροσειρά της Πίνδου και συγκεκριμένα στους νομούς Άρτας, Ιωαννίνων και Τρικάλων. Παρ' όλες τις εκδηλώσεις κατολισθητικών φαινομένων από το σεισμό της Δροσοπηγής, σε πολλούς οικισμούς του νομού Τρικάλων, στην κοινότητα Ροπωτού δεν υπήρξαν αναφορές για σημαντικά κατολισθητικά φαινόμενα. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι το φαινόμενο του Ροπωτού επηρεάζεται από άλλους παράγοντες. Για το λόγο αυτό πρέπει να αποκλειστεί η σεισμικότητα από παράγοντας ενεργοποίησης των κατολισθήσεων στην περιοχή.

Το μεγαλύτερο τμήμα της κοινοτικής περιοχής του Ροπωτού και του Κεντρικού οικισμού, έχει ως γεωλογικό υπόβαθρο το φλύσχη της Πίνδου, ο οποίος συναντάται με διάφορες λιθολογικές φάσεις που εναλλάσσονται μεταξύ τους. Επιφανειακά ο φλύσχη καλύπτεται από εδαφικό μανδύα αποσάθρωσης, που είναι αποτέλεσμα της δράσης των παραγόντων διάβρωσης – αποσάθρωσης. Σε μερικές θέσεις ο μανδύας αυτός φτάνει τα δέκα (10) μέτρα πάχος. Σε θέσεις της κοινότητας στο νότιο και δυτικό τμήμα του κεντρικού οικισμού, που ανήκουν στην οικοδομική περιοχή, εμφανίζονται τα "στρώματα μετάβασης" του φλύσχη προς τους υποκείμενους ασβεστολίθους. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούνται από εναλλαγές πλακωδών ασβεστόλιθων, ψαμμιτών και αργιλικών σχιστόλιθων (Αγγελίδης και Μπέλλας, 1992). Η παραπάνω γεωλογική δομή φαίνεται στην γεωλογική τομή του Ι.Γ.Μ.Ε. στο **σχήμα 7.5**.



Σχήμα 7.5: Γεωλογική τομή κατά μήκος της κατολίθησης στον κεντρικό συνοικισμό του Ροπωτού (Μπέλλας & Τσιούμας, 2011).

Στην κοινοτική περιοχή και ιδιαίτερα στο χώρο ανάντη του Κεντρικού οικισμού συναντώνται όλοι οι βασικοί χαρακτήρες της ζώνης της Πίνδου, δηλαδή πτυχώσεις, πτυχώσεις-ρήγματα, λεπιώσεις και ρήγματα. Εκτός από τις πτυχώσεις μεγάλης ακτίνας καμπυλότητας εντοπίζονται σε μικρή έκταση οι μορφές πύχωσης-ρήγματος όπου μικρής ακτίνας πτυχώσεις δημιούργησαν ρήγματα σχεδόν κατακόρυφα, με αποτέλεσμα να διαμορφώνονται στρωματογραφικές κλίσεις της τάξης των 30° - 40° , προς διαφορετικές διευθύνσεις. Τα ρήγματα μεγάλων διαστάσεων είναι ορατά στην κοινοτική περιοχή κυρίως κατά μήκος της μεγάλης και κύριας ρεματιάς που οριοθετεί τα αντερείσματα "Αλαταριές" και "Καραμήτσου". Ένα από αυτά τα ρήγματα, που διαμόρφωσε και τη ρεματιά, είναι σχεδόν κατακόρυφο και ακολουθεί, σύμφωνα και με το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο "Μουζάκιον", διεύθυνση $B30^{\circ}$ A και κλίση ΝΑ/κη (Αγγελίδης και Μπέλλας, 1992).

Συνέπεια της τεκτονικής είναι η δημιουργία χαλαρού ανωτέρου στρώματος, το οποίο όσο πλησιάζει στην επιφάνεια επηρεάζεται και από τη δράση των παραγόντων διάβρωσης - αποσάθρωσης, με αποτέλεσμα σημαντικού πάχους επιφανειακά τμήμα, που υπερβαίνει κατά θέσεις και τα δέκα (10,00) μέτρα, να αποτελεί το μανδύα αποσάθρωσης. Ακόμα συνέπεια της τεκτονικής και της δράσης των παραγόντων διάβρωσης - αποσάθρωσης στους ασβεστολίθους είναι η δημιουργία κορημάτων δηλαδή υλικών από τα υγιές πέτρωμα, τα οποία χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή συνεκτικότητα, ανομοιογένεια και σύνθεση από ανισομεγέθη στοιχεία (Αγγελίδης και Μπέλλας, 1992).

Ανάντη του Κεντρικού οικισμού, εκτός οικοδομικής ζώνης, εμφανίζονται οι λεπτοπλακώδεις έντονα τεκτονισμένοι ασβεστόλιθοι. Σε επαφή με τους ασβεστολίθους συναντάται ο φλύσχης, που στις περισσότερες θέσεις καλύπτεται επιφανειακά από σημαντικού έως μεγάλου πάχους μανδύα. Επειδή ο υποκείμενος φλύσχης είναι πρακτικά στεγανός, το ποσοστό του επιφανειακού νερού που κατεισδύει στον υδροπερατό μανδύα δημιουργεί υδροφόρο ορίζοντα που εκφορτίζεται σε διάφορες θέσεις μέσα στον κεντρικό οικισμό και κυρίως ανάντη αυτού με δυο τρόπους, είτε σαν πηγή επαφής συνεχούς παροχής είτε σαν διύγνωση του εδάφους, που εμφανίζονται περιοδικά στο έτος (περιοχές με επιφανειακά υδροφόρο ορίζοντα). Σε άτι αφορά τις πηγές που εμφανίζονται στον οικισμό σημειώνεται ότι τα υπόγεια νερά, που εκφορτίζονται απ' αυτές πιθανόν εμπλουτίζονται (μερικώς) και από πλευρικές μεταγγίσεις από

τις ανάντη ασβεστολιθικές μάζες, με αποτέλεσμα οι παροχές ορισμένων πηγών να είναι αξιόλογες (Κούκης, 1979, Αγγελίδης και Μπέλλας, 1992).

Λαμβάνοντας υπόψη

- τους λιθολογικούς, τεκτονικούς και υδρολογικούς – υδρογεωλογικούς παράγοντες, οι οποίοι προαναφέρθηκαν,
 - τους μορφολογικούς, οι οποίοι αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο και
 - τις παρατηρήσεις υπαίθρου, όλων των γεωλόγων, που μελέτησαν διαχρονικά την πληγείσα περιοχή,
- καταλήγουμε στο παρακάτω μηχανισμό εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων στον κεντρικό συνοικισμό της κοινότητας του Ροπωτού.

Από τους υπερκείμενους του φλύσχη ασβεστολίθους, οι οποίοι με κλίσεις στρωμάτων σχεδόν ομόρροπες προς το πρηνές διοχετεύουν όλα τα νερά, τα οποία έχουν κατεισδύσει σε αυτούς, στα στρώματα του φλύσχη και κυρίως στα υλικά του μανδύα αποσάθρωσης και τα πλευρικά ασβεστολιθικά κορήματα. Αποτέλεσμα των ανωτέρω συνθηκών είναι η παρουσία, στην κεφαλή του συνοικισμού πηγών με σημαντική παροχή εποχιακού χαρακτήρα και η συνεχής διαβροχή των ιζημάτων του φλύσχη καθ' όλη την διάρκεια του χειμώνα. Έτσι ο κατά τόπους μεγάλου πάχους μανδύας αποσάθρωσης όλη τη διάρκεια του χειμώνα είναι κορεσμένος σε νερό και σε κατώτερο επίπεδο από την επιφάνεια να δημιουργείται υδροφόρος ορίζοντας. Με τον τρόπο αυτό οριοθετείται η επιφάνεια ολίσθησης του κορεσμένου σε νερό μανδύα αποσάθρωσης, ο οποίος κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες αρχίζει να μετακινείται. Η μετακίνηση αυτή ωθεί άλλες μάζες να κινηθούν και έχουμε θραύσεις και μετακινήσεις. Οι κινούμενες μάζες υλικού των πολλών μικρών κατολισθήσεων δημιουργούν μία μεγαλύτερη, η οποία κινείται εντός του μεγάλου βυθίσματος έως τα εσωτερικά του βυθίσματος αντερείσματα (γεγονότα 1979 και 2010). Στην συνέχεια, σε δεύτερη φάση, το συγκεντρωμένο αναμοχλευμένο υλικό, το οποίο έχει συγκεντρωθεί στον πόδα της κατολίσθησης, επαναδραστηριοποιείται και δημιουργεί μία νέα κατολίσθηση (γεγονότα 2012). Βεβαίως παράλληλα με τη μεγάλη κατολίσθηση ενεργοποιούνται και αρκετές μικρότερες όπως και καταπτώσεις βαρύτητας, όπως εξετάσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο (**φωτογραφίες 7.1 & 7.2**).



Φωτογραφίες 7.1 & 7.2: Φωτογραφίες του κεντρικού συνοικισμού της κοινότητας του Ροπωτού μετά την κατολίθηση του 2010 και 2012 αντίστοιχα. Με **συνεχόμενη** γραμμή σημειώνεται κατά προσέγγιση η **κατολίθηση του 2010** και με **διακεκομμένη** αυτή του **2012**.

8. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ - ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Επειδή τα κατολισθητικά φαινόμενα παρουσιάζουν επαναληψιμότητα, καθώς επίσης και συνεχείς επαναδραστηριοποιήσεις, για το λόγο αυτό για την αντιμετώπιση των εκδηλωθέντων κατολισθήσεων και την προστασία της ζωής και των περιουσιών των κατοίκων θα πρέπει πριν από οποιαδήποτε λήψη απόφασης να μελετηθούν επισταμένα οι παράγοντες, οι οποίοι έχουν προκαλέσει τα γεγονότα.

Είναι απαραίτητο τα έργα αυτά να σχεδιαστούν, με τέτοιο τρόπο ώστε να εξαλειφτούν οι παράγοντες εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων. Ορισμένοι φυσικοί παράγοντες, όπως η βροχόπτωση ή η τεκτονική, βέβαια δεν μπορούν να εξαλειφθούν, αλλά όμως μπορούν να μετριασθούν τα αποτελέσματά τους, ώστε να μην ενεργοποιηθεί ο μηχανισμός εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων.

Το πρώτο και πλέον αποτελεσματικό μέτρο προστασίας, αλλά όχι αντιμετώπισης των κατολισθητικών φαινομένων, είναι η μετεγκατάσταση των οικισμών.

Έτσι μπορούν να προταθούν τα παρακάτω μέτρα αντιμετώπισης στην περιοχή μελέτης:

α). απομάκρυνση των εδαφικών υλικών (μανδύας αποσάθρωσης του φλύσχη, αναμοχλευμένα υλικά προηγούμενων γεγονότων), ώστε να ελαφρυνθεί το πρανές,

β). τοποθέτηση εύκαμπτων κατασκευών (συρματοκιβώτιων) στον πόδα του πρανούς, εγκάρσια του άξονα πιθανής ροής εδαφικών υλικών και όχι στο μέσο του πρανούς ή της κατολίσθησης για να μην επιβαρύνεται το πρανές με περίσσιο βάρος,

γ). εξομάλυνση των πρανών σε συγκεκριμένη γωνία κλίσης, μετά από μελέτη,

δ). κατασκευή στραγγιστηριού κατά μήκος του μεγάλου άξονα της κύριας εδαφικής θραύσης για την παροχέτευση των νερών εκτός της διαταραγμένης ζώνης, Με την υλοποίηση του μέτρου αυτού θα εξασφαλίζεται η ομαλή αποστράγγιση των πρανών, αφού η στράγγιση ελαττώνει το βάρος, αυξάνει την αντοχή των εδαφικών υλικών και δεν δημιουργεί επιφάνειες ολίσθησης ελαττωμένης τριβής,

ε). συγκέντρωση των νερών (υδρομάστευση) των συνεχούς παροχής πηγών και παροχέτευση αυτών εκτός περιοχής,

στ). διευθέτηση με εγκλιβωτισμό της ροής χειμάρρων, που διατρέχουν κατά μήκος των πρανών,

- ζ). πυκνή δενδροφύτευση με βαθύριζα, υδρόφυλλα και γρήγορα αναπτυσσόμενα δένδρα. Η έλλειψη ή η μικρή δασοκάλυψη των πρηνών εκθέτει το έδαφος σε διαβρωτικές και αποσαθρωτικές διεργασίες, οι οποίες καταστρέφουν τη συνοχή των εδαφικών σχηματισμών των πρηνών,
- η). αποφυγή κατασκευής νέων τεχνικών έργων (οικοδόμηση, κατασκευή δρόμων) σε επιρρεπή πρηνή. Είναι απαραίτητο να επιλέγονται ομαλά και σταθερά τμήματα των περιοχών,
- θ). θεμελίωση νέων οικιών σε σταθερό γεωλογικό υπόβαθρο και όχι στον μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη,
- ι). απαγόρευση της καλλιέργειας στην κατολισθαίνουσα περιοχή,
- ια). κατασκευή στραγγιστικών γεωτρήσεων και πηγαδιών, ώστε να ταπεινωθεί ο υδροφόρος ορίζοντας,
- ιβ). κατασκευή τσιμεντενέσεων,
- ιγ). συγκεκριμένα για την περίπτωση του Ροπωτού, δημιουργία πασσαλότοιχου εγκάρσια στην διεύθυνση ροής της κατολίσθησης, ύστερα από σχετική μελέτη.

9. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

9.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι φυσικές καταστροφές είναι μεγάλων διαστάσεων γεγονότα και προκαλούν το ερευνητικό ενδιαφέρον αρκετών διαφορετικών επιστημονικών πεδίων. Η πρόκληση, η εμφάνιση και η εξέλιξή τους παρουσιάζει πολυπλοκότητα, ενώ γενικά εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία στη συχνότητα, στη ταχύτητα και στη διάρκεια τους, καθώς και στις περιοχές, τις οποίες πλήττουν. Ο σεισμός, για παράδειγμα, λαμβάνει χώρα εντός διάρκειας συνήθως λίγων δευτερόλεπτων, ενώ η ξηρασία διαρκεί για μία χρονική περίοδο μηνών ή και ετών πολλές φορές. Επιπλέον, η επίδρασή τους ποικίλει σε χωρική κλίμακα. Έτσι, οι κατολισθήσεις έχουν επίδραση τοπικού χαρακτήρα, ενώ οι πλημμύρες κυρίως επηρεάζουν μεγάλες περιοχές.

Σε παγκόσμια κλίμακα ο υπερπληθυσμός και η δημιουργία αστικών κέντρων σε επικίνδυνες περιοχές αυξάνει την επίδραση των φυσικών καταστροφών στον αναπτυσσόμενο και στον υπό ανάπτυξη κόσμο (Rosenfeld, 1994, Alexander, 1995, Bathrellos, 2007). Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας, ο οποίος αυξάνει τις επιπτώσεις από τις φυσικές καταστροφές είναι και ο ελλιπής ή ο ανύπαρκτος σχεδιασμός στηριγμένος στα φυσικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής.

Με βάση τα στοιχεία για την κατανομή των θανάτων και των υλικών απωλειών από μία φυσική καταστροφή μπορεί κανείς να διαχωρίσει το είδος και το μέγεθος των καταστροφικών συνεπειών ανάμεσα στις αναπτυσσόμενες και στις λιγότερο αναπτυσσόμενες χώρες. Το 90% των θανάτων από φυσική καταστροφή εντοπίζεται στα 2/3 του παγκόσμιου πληθυσμού που ζει στις λιγότερο αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ παράλληλα τα 3/4 των παγκόσμιων οικονομικών απωλειών εντοπίζονται στις αναπτυσσόμενες χώρες (Λέκκας, 2000, Μπαθρέλλος, και Σκυλοδήμου, 2006).

Γενικά, οι φυσικές καταστροφές συμβαίνουν με μεγαλύτερη συχνότητα σε σχέση με την ικανότητά μας να αποκαταστήσουμε τις επιπτώσεις από προηγούμενα γεγονότα (Guzzetti et al., 1999). Συνεπώς, ο κατάλληλος σχεδιασμός, η διαχείριση και η αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών είναι ζωτικής σημασίας σε όλες τις χώρες του πλανήτη με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απωλειών σε ανθρώπινες ζωές αλλά σε οικονομικό κόστος. Επειδή συνήθως δεν μπορεί να υπάρξει πρόγνωση των φυσικών καταστροφών, είναι

απαραίτητο να επενδύσουμε στην πρόληψη των συνεπειών από αυτές (Μπαθρέλλος, 2008β).

Η εκτίμηση του κινδύνου των καταστροφικών γεγονότων είναι σημαντικός παράγοντας στη διαχείριση και στην αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών. Πρόκειται για μία μέθοδο καθορισμού του βαθμού κινδύνου και αναφέρεται στην πιθανότητα εκδήλωσης ενός καταστροφικού γεγονότος και στις συνέπειές του. Στόχος της είναι να παραχθούν αποτελέσματα, τα οποία να μπορούν να εφαρμοστούν στο σχεδιασμό και την πρόληψη των καταστροφικών γεγονότων (Whyte & Burton, 1980, Slovic, 1986, Cave, 1992, Slaymaker, 1997, Λέκκας, 2000, Μπαθρέλλος κ.ά, 2005, 2009, 2010).

Σήμερα, η γνώση μας για τις διεργασίες, οι οποίες επιδρούν στα φυσικά φαινόμενα και οδηγούν σε καταστροφές είναι ατελής. Επομένως, η ανάπτυξη κατάλληλων χωρο-χρονικών μοντέλων εξέλιξης των φυσικών φαινομένων είναι σημαντικό εργαλείο για τη περαιτέρω μελέτη τους (Zerger, 2002). Στην σύνθεση των χωρικών και χρονικών δεδομένων των φυσικών φαινομένων, τα οποία έχουν προκαλέσει καταστροφές, και στην χαρτογραφική απεικόνισή τους είναι αναγκαία η χρήση τεχνικών Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, με τον καθορισμό πιθανών επικινδυνών σημείων εκδήλωσης καταστροφικών φαινομένων στο σύντομο ή το απώτερο μέλλον (Corrock, 1995, Kenny, 1997, Bathrellos et al., 2010). Η μελέτη και χωρική χαρτογράφηση των φυσικών κινδύνων όπως και των περιβαλλοντικών (Papadopoulou-Vrynioti et al., 2013, 2014) ολοκληρώνουν τα μοντέλα εκτίμησης επικινδυνότητας και βοηθούν στη λήψη αποφάσεων (De Silva et al., 1993, Papadopoulou-Vrynioti et al., 2013) και στο σχεδιασμό αντιμετώπισης καταστροφών (Zografos et al., 1994, Rozos et al., 2013). Όμως, στη δημιουργία μοντέλων εκτίμησης επικινδυνότητας εμπεριέχονται κίνδυνοι, οι οποίοι αφορούν τα αποτελέσματά τους. Η επιλογή του χρησιμοποιούμενου μοντέλου και τα πιθανά λάθη στα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται μπορούν να επηρεάσουν τα παραγόμενα αποτελέσματα και να οδηγήσουν στην αβεβαιότητα της εκτίμησης της επικινδυνότητας (Rejeski, 1993, Emmi & Horton, 1995, Zerger, 2002, Bathrellos et al., 2013). Συνεπώς, η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου, καθώς και η χρήση των κατάλληλων δεδομένων ενισχύουν τη βεβαιότητα και την ασφάλεια των αποτελεσμάτων του. Επιπλέον η συσχέτιση των αποτελεσμάτων με τα πραγματικά στοιχεία της χωρικής και της χρονικής κατανομής των φυσικών καταστροφών βοηθούν στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της εκτίμησης της επικινδυνότητας.

Γενικότερα, η χρήση πρότυπων εργασίας (μοντέλων) για την εκτίμηση της επικινδυνότητας δίνει το πλεονέκτημα της γρήγορης ανάλυσης, συσχέτισης και επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων και πληροφοριών, κάτι το οποίο με τις κλασικές μεθόδους θα ήταν πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί ή να ολοκληρωθεί. Επιπλέον δίνει τη δυνατότητα της χωρικής παρουσίασης των τελικών αποτελεσμάτων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μία οικονομική και γρήγορη εφαρμογή, τα αποτελέσματα της οποίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια της διαχείρισης των φυσικών καταστροφών, καθώς επίσης και στο σχεδιασμό των τεχνικών έργων και της οικοδομικής δραστηριότητας.

9.2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Οι κατολισθήσεις αποτελούν ένα τμήμα του γεωμορφολογικού κύκλου κατά τη διαμόρφωση του τοπογραφικού αναγλύφου. Τα κατολισθητικά φαινόμενα γίνονται επικίνδυνα όταν επηρεάζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες ή κατά την αντίστροφη αντιστοιχία όταν οι ανθρώπινες δραστηριότητες προκαλούν τα φαινόμενα αυτά. Στις ανεπτυγμένες χώρες πάνω από το 95% όλων των καταστροφών, οι οποίες προήλθαν από φυσικά φαινόμενα οφείλονται σε κατολισθήσεις (Hansen, 1984, Chung et al., 1995). Παγκόσμια, οι ετήσιες οικονομικές απώλειες από κατολισθήσεις εκτιμάται ότι αγγίζουν τα 5 δισεκατομμύρια δολάρια (Shcuster & Fleming, 1986).

Η εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου είναι αποτέλεσμα της συνδυαστικής δράσης πολλών παραμέτρων – παραγόντων. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να σχετίζονται με τη γεωλογική δομή, τη λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων, τη τεκτονική δραστηριότητα, τη διάβρωση, την κατανομή των τάσεων, τη μορφολογία (τις μορφολογικές κλίσεις), τις κλιματικές συνθήκες αλλά και με τις ανθρώπινες παρεμβάσεις και δραστηριότητες. Η δράση των παραπάνω παραμέτρων προκαλούν τη δραστική αύξηση της αστάθειας των υλικών – μαζών του φλοιού της γης, με αποτέλεσμα να προκαλείται κατολίσθηση (Bathrellos et al., 2009).

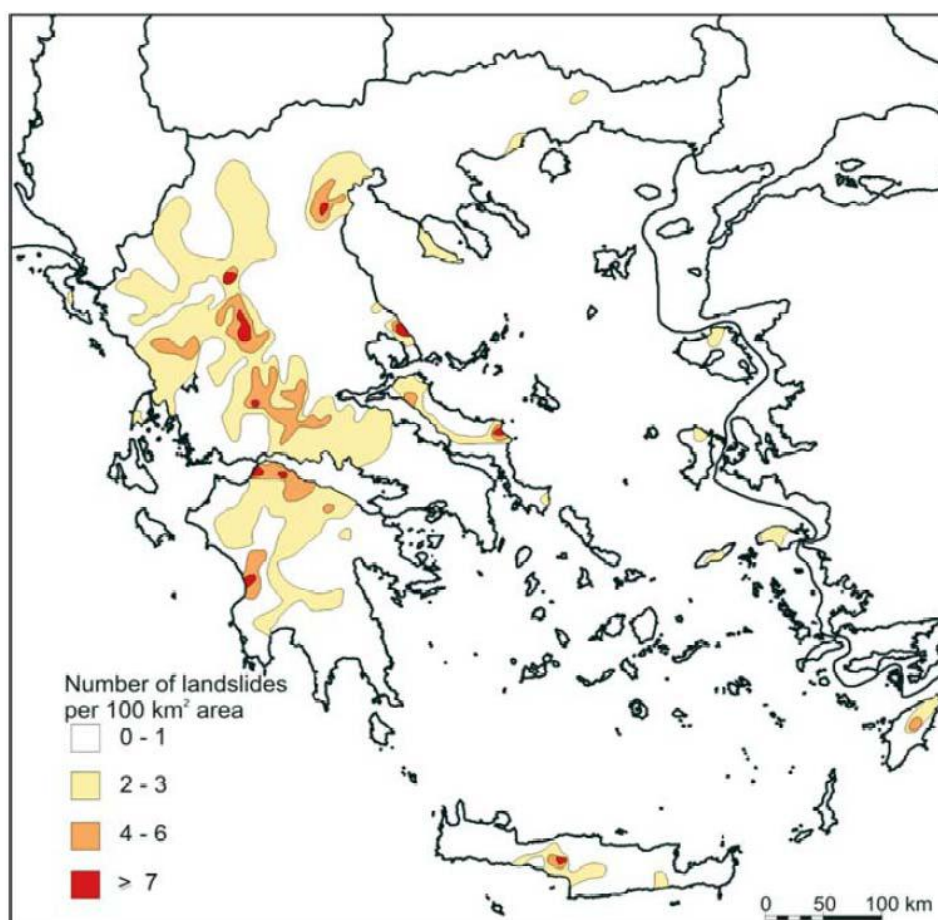
Στην περιοχή μελέτης, όπως έχει προαναφερθεί, καταγράφονται έντονα κατολισθητικά φαινόμενα. Οι κατολισθήσεις συχνά ενεργοποιούνται με τις ανθρώπινες κατασκευές και δραστηριότητες. Οι περισσότερες καταστροφές προκαλούνται κυρίως στο οδικό δίκτυο, αλλά και στους ορεινούς οικισμούς. Η εκτίμηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή συμβάλει στην ανάπτυξη της περιοχής, στον προγραμματισμό των

τεχνικών έργων αλλά και στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών (Μπαθρέλλος & Σκυλοδήμου, 2008).

Στα πλαίσια της εκτίμησης της επικινδυνότητας στην περιοχή μελέτης αρχικά γίνεται μία προσπάθεια για τον εντοπισμό των παραμέτρων, οι οποίες ελέγχουν τα κατολισθητικά φαινόμενα. Στη συνέχεια αναπτύσσεται μία προσεγγιστική ζώνη επικινδυνότητας κατολισθητικών φαινομένων χρησιμοποιώντας διαφορετικά και ποικίλα δεδομένα σε συνδυασμό με Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών.

9.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Σύμφωνα με τους Koukis et al. (2005) η περιοχή μελέτης μας βρίσκεται στην ζώνη υψηλής κατολισθητικότητας (**σχήμα 9.1**) και έχει πυκνότητα κατολισθήσεων μεγαλύτερη ή ίση με επτά (7) κατολισθήσεις ανά έκταση εκατό (100) τετραγωνικών χιλιομέτρων.



Σχήμα 9.1: Χάρτης ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας στον Ελληνικό χώρο (Koukis et al., 2005).

Η περιοχή μελέτης έχει εμβαδόν διακόσια ογδόντα (280) τετραγωνικά χιλιόμετρα. Σε αυτήν χαρτογραφήθηκαν εκατό ογδόντα οκτώ κατολισθήσεις. Στον **πίνακα 9.1** βλέπουμε την σύγκριση των δεδομένων.

Πίνακας 9.1: Σύγκριση αριθμού κατολισθήσεων σε έκταση εκατό τετραγωνικών χιλιομέτρων (πυκνότητα) από τη βιβλιογραφία (Koukis et al., 2005) και από την χαρτογράφιση, η οποία πραγματοποιήθηκε.

| | Αριθμός κατολισθήσεων | Έκταση (τ.χλμ.) |
|---------------------|------------------------------|------------------------|
| Koukis et al., 2005 | >7 | 100 |
| Περιοχή μελέτης | 188 | 280 |
| Περιοχή μελέτης | ~67 | 100 |

Από τα στοιχεία του πίνακα συμπεραίνουμε την σημαντικότητα των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή μελέτης. Αξιοσημείωτο είναι το μέγεθος της υπερκάλυψης του ορίου το οποίο έθεσαν οι Koukis et al. (2005).

9.4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ο περιορισμός των επιπτώσεων από την εκδήλωση φαινομένων είναι ο κύριος στόχος της εκτίμησης της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων. Η εκτίμηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία θεματικών χαρτών με διαβαθμισμένα επίπεδα κινδύνου (Temesgen et al., 2001, Dai et al., 2002, Bathrellos et al., 2009, Μπαθρέλλος κ.ά, 2010).

Στη δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή μελέτης, αναπτύχθηκε ένα σύνθετο πολυκριτηριακό πρότυπο εργασίας (μοντέλο), με τη χρήση τεχνικών Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, στο οποίο καθορίστηκε η σημασία και το βάρος κάθε κριτηρίου. Τα στοιχεία, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, ήταν:

- τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 και συγκεκριμένα τα τοπογραφικά φύλλα: Καστανέα, Καλαμπάκα, Μυρόφυλλο και Μουζάκι,
- γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 και συγκεκριμένα οι γεωλογικοί χάρτες: Καστανέα, Καλαμπάκα, Μυρόφυλλο και Μουζάκι,
- αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:30.000 και 1:15.000 με χρονικά διαστήματα λήψεων 2005 -2006 και δορυφορική εικόνα Lansat 5TM, λήψης 1984,
- βιβλιογραφικά δεδομένα,

- εργασία πεδίου.

Αρχικά εντοπίστηκαν οι περιοχές – θέσεις, οι οποίες εμφανίζουν κατολισθητικά φαινόμενα, από τη βιβλιογραφία (Bathrellos et al., 2009, Μπαθρέλλος κ. ά, 2010, Rozos et al., 2008) τις αεροφωτογραφίες, τη δορυφορική εικόνα, και τους τοπογραφικούς χάρτες. Κατόπιν, ακολούθησε εργασία υπαίθρου, κατά την οποία πιστοποιήθηκαν οι κατολισθητικές κινήσεις και χαρτογραφήθηκαν σε τοπογραφικό χάρτη κλίμακας 1:50.000. Τα δεδομένα, τα οποία προέκυψαν, ψηφιοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού πακέτου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ARC/GIS 10.0.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Κατόπιν προσδιορίστηκαν οι παράγοντες, οι οποίοι επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθήσεων. Οι παράγοντες αυτοί είναι: η λιθολογία, η τεκτονική δραστηριότητα, οι μορφολογικές κλίσεις, ο προσανατολισμός των κλιτύων, οι βροχοπτώσεις, το υψόμετρο, οι χρήσεις γης, οι δρόμοι, και το υδρογραφικό δίκτυο. Στη συνέχεια εξετάζεται ξεχωριστά η σημαντικότητα των παραπάνω παραμέτρων.

Η λιθολογική σύσταση και δομή είναι μία από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Ειδικότερα, η διατμητική αντοχή των πετρωμάτων μπορεί να εμφανίζεται με σημαντικά μειωμένες τιμές εξαιτίας:

- των εναλλαγών πετρωμάτων με διαφορετικές μηχανικές παραμέτρους,
- της λιθολογικής σύστασης των πετρωμάτων, τα οποία μπορούν να έχουν μικρή διατμητική αντοχή είτε πρωτογενώς (σύσταση και υφή) είτε δευτερογενώς (μεταβολές στη σύσταση),
- των πρωτογενών δομών των πετρωμάτων (στρώσεις, ασυμφωνίες, κατακόρυφες και πλευρικές μεταβάσεις) (Κούκης & Ρόζος, 1982).

Ο λιθολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης βασίστηκε στους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. και σε παρατηρήσεις της εργασίας υπαίθρου. Οι σχηματισμοί διακρίθηκαν ανάλογα με τα τεχνικογεωλογικά τους χαρακτηριστικά σε πέντε ενοποιημένες κατηγορίες.

Η τεκτονική δραστηριότητα, η οποία εκφράζεται μέσα από επωθήσεις, επιπυεύσεις, διαρρήξεις, και διακλάσεις, επιδρά σημαντικά στους γεωλογικούς σχηματισμούς και μειώνει τη διατμητική τους αντοχή. Τα τεκτονικά στοιχεία (ρήγματα, επωθήσεις, επιπυεύσεις) της περιοχής μελέτης τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο της κατολισθητικής επικινδυνότητας, προήλθαν από τους

γεωλογικούς χάρτες. Γύρω από τα τεκτονικά στοιχεία κατά σκευάστηκαν ζώνες επίδρασης σε αποστάσεις 50, 100, 150 και 200 μέτρων.

Γενικά, τα κατολισθητικά φαινόμενα τείνουν να εμφανίζονται συχνότερα στις περισσότερες απότομες μορφολογικές κλίσεις (Mcdermid & Franklin, 1995). Ένα στατιστικό πρότυπο της αστάθειας των κλίσεων στηρίζεται στην υπόθεση ότι οι παράγοντες, οι οποίοι προκάλεσαν την αστοχία της κλίσης σε μια περιοχή, είναι οι ίδιοι με εκείνους οι οποίοι θα παραγάγουν τις κατολισθήσεις στο μέλλον (Guzzetti et al., 1999). Η ταξινόμηση των μορφολογικών κλίσεων στην περιοχή μελέτης, όπως προαναφέρθηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο, έχει προέλθει από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Οι μορφολογικές κλίσεις στην παρούσα εργασία υπολογίστηκαν σε μοίρες και ομαδοποιήθηκαν σε πέντε κατηγορίες.

Ο προσανατολισμός των κλίσεων εκφράζεται συχνά ως κατηγορία κατεύθυνσης και μετράται δεξιόστροφα από 1° έως 360°. Διάφοροι ερευνητές έχουν μελετήσει τη σχέση μεταξύ του προσανατολισμού και των κατολισθητικών φαινομένων (Bathrellos, 2009, Rozos et al., 2010). Ο προσανατολισμός των κλιτύων στην περιοχή μελέτης προήλθε μετά από επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους με μέγεθος κυψελίδας (pixel) 20x20 μέτρα.

Οι υψηλές και ραγδαίες βροχοπτώσεις έχουν άμεση σχέση με την εκδήλωση κατολισθήσεων (Dai & Lee, 2001). Η συγκεκριμένη παράμετρος μελετήθηκε με τη χρήση των ισοϋετων καμπυλών που έχουν περιγραφεί στο κεφάλαιο των κλιματικών χαρακτηριστικών.

Το υψόμετρο της περιοχής μελέτης λήφθηκε υπόψη στην δημιουργία κατολισθητικών φαινομένων. Το υψόμετρο προήλθε μετά από επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους με μέγεθος κυψελίδας (pixel) 20x20 μέτρα και κατηγοριοποιήθηκε σε πέντε κατηγορίες.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες με την κατασκευή διάφορων τεχνικών έργων σε ασταθείς σχηματισμούς ή σε απότομα πρανή, η αποψίλωση δασικών εκτάσεων και γενικά η αλόγιστη διατάραξη της φυσικής ισορροπίας, συμβάλλουν τα μέγιστα στην εμφάνιση ή στην επιτάχυνση εκδηλώσεως κατολισθητικών φαινομένων (Κούκης & Ρόζος, 1982). Στην περιοχή μελέτης, οι παράγοντες οι οποίοι εξετάζονται από τις ανθρώπινες επεμβάσεις είναι οι χρήσεις γης και οι δρόμοι. Η βλάστηση ενισχύει τις περισσότερες φορές την αποτελεσματική εδαφολογική συνοχή εξαιτίας της ενίσχυσης από το ριζικό σύστημα. Οι δένδρα – καλυμμένες πλαγιές λόφων μπορούν να

αυξήσουν την εδαφολογική συνοχή κατά περίπου 60% ανάλογα με το τύπο των δέντρων. Ο βαθμός εδαφολογικής σταθερότητας, ο οποίος παρέχεται από τη βλάστηση, μειώνεται ανάλογα με το είδος της βλάστησης ως εξής: δέντρα, θάμνος, χλόη και γυμνό χώμα (Gommez & Kavzoglu, 2004).

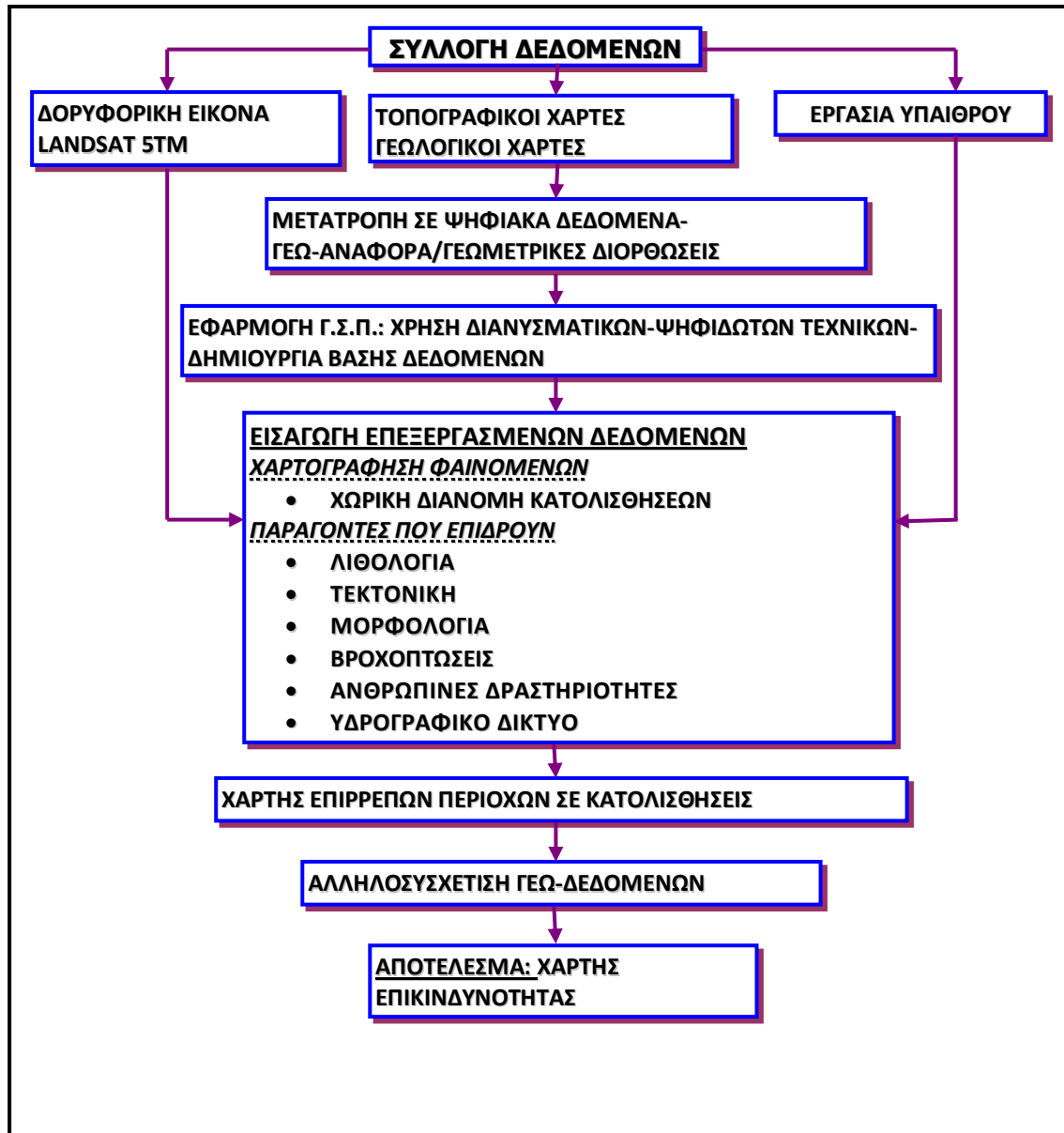
Η χρήση γης για την περιοχή μελέτης προήλθε από τα δεδομένα του προγράμματος κάλυψης γης CORINE 2000 (Bossard et al., 2000). Καταγράφηκαν οι κύριες χρήσεις γης που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης. Τα δεδομένα για τους δρόμους προήλθαν από τους τοπογραφικούς χάρτες. Γύρω από τους δρόμους κατασκευάστηκαν ζώνες επίδρασης για αποστάσεις των 50, 100, 150 και 200 μέτρων.

Τέλος, η διαβρωτική ενέργεια του νερού, του οποίου η κυκλοφορία στους ποταμούς και στους χείμαρρους προκαλεί υποσκαφές και στη συνέχεια μετακινήσεις των ασταθών μαζών. Στην εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκε το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν οι 3ης καθώς και οι ανώτερης τάξης κλάδοι, διότι εκτιμήθηκε ότι οι κλάδοι μεγάλων τάξεων προκαλούν μεγαλύτερα και σημαντικότερα προβλήματα διάβρωσης και υποσκαφών. Γύρω από τους κλάδους κατασκευάστηκαν ζώνες επίδρασης για αποστάσεις των 50, 100, 150 και 200 μέτρων.

Οι σεισμικές δονήσεις είναι δυνατόν να μεταβάλουν το καθεστώς τάσεων σε μία περιοχή και να προκαλέσουν την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων (Lekkas et al., 1995, Wasowski & Del Gaudio, 2001). Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη χαμηλή ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι σύμφωνα με τον Κανονισμό Αντισεισμικής Προστασίας. Εξ αιτίας του γεγονότος αυτού αλλά και του ότι οι προαναφερθέντες παράγοντες επιδρούν περισσότερο στη συχνότητα εκδήλωσης του φαινομένου δεν εξετάζεται η σεισμική δραστηριότητα. Συγκεκριμένα εξετάζονται και συνυπολογίζονται οι τεκτονικές διαρρήξεις στη μορφοποίηση του μοντέλου αυτού, οι οποίες συχνά συνδέονται με τη σεισμική δραστηριότητα.

Οι παραπάνω γεω-πληροφορίες αναλύθηκαν, μέσω του πακέτου λογισμικού ARC/GIS, και αρχικά έγινε η βαθμονόμηση της κάθε υποκατηγορίας του κάθε παράγοντα. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν ψηφιδωτοί χάρτες περιοχών επιρρεπών σε κατολισθήσεις για κάθε έναν παράγοντα ξεχωριστά. Όλοι οι χάρτες μετατράπηκαν από διανυσματικά (vector) σε ψηφιδωτά (raster) αρχεία με μέγεθος κυψελίδας (pixel) 20x20 μέτρα. Τέλος με την βαθμονόμηση των παραγόντων, την αλληλοσυσχέτιση και την επικάλυψη των

παραπάνω πληροφοριών κατασκευάσθηκε ο χάρτης κατολισθητικού κινδύνου. Στο **σχήμα 9.2** περιγράφεται το διάγραμμα ροής της επεξεργασίας του διαφορετικού τύπου γεω-πληροφοριών για την δημιουργία του χάρτη εκτίμησης της κατολισθητικής επικινδυνότητας.



Σχήμα 9.2: Διάγραμμα ροής δεδομένων και επεξεργασίας για την κατασκευή του χάρτη επικινδυνότητας κατολισθήσεων.

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ – ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μια βασική προϋπόθεση στην εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας αποτελεί η βαθμονόμηση των κατηγοριών της κάθε μιας παραμέτρου.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας η βαθμονόμηση των κατηγοριών των παραμέτρων ήταν ενιαία και βασίστηκε σε μία πεντα-βάθμια αριθμητική κλίμακα, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί και από άλλους ερευνητές (Dai et al., 2001; Svoray et al., 2005; Wang et al., 2008, Bathrellos et al., 2012, Panagopoulos et al., 2012).

Οι αριθμητικές τιμές, οι οποίες δίνονται σε κάθε κατηγορία, είναι μεταξύ 0 και 4 και όπου η τιμή τέσσερα είναι το μέγιστο και αντιπροσωπεύει το μέγιστο (μεγάλο κίνδυνο κατολίσθησης) δηλαδή την ευνοϊκότερη και καταλληλότερη συνθήκη εκδήλωσης κατολισθήσεων, ενώ αντίθετα η τιμή μηδέν το ελάχιστο (μικρός κίνδυνος κατολίσθησης). Η βαθμονόμηση των κατηγοριών των παραγόντων βασίστηκε τόσο σε βιβλιογραφικές αναφορές (Μπαθρέλλος, 2008β, Bathrellos et al., 2009) όσο και στην προσωπική γνώση και εμπειρία.

Η αλληλοσυσχέτιση και η βαθμονόμηση των παραμέτρων με στόχο τον προσδιορισμό της καταλληλότητας τους για την ανάπτυξη έγινε με την μέθοδο της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytical Hierarchical Process-AHP). Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία είναι μια πολυκριτηριακή μέθοδος που συνδυάζει ποιοτικούς και ποσοτικούς παράγοντες για την κατάταξη και την αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων μεταξύ των οποίων η καλύτερη απόφαση θα ληφθεί. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει εφαρμοστεί από πολλούς ερευνητές τόσο στην εκτίμηση φυσικών κινδύνων όσο και επιλογή κατάλληλων θέσεων ανάπτυξης περιοχών στον χωροταξικό σχεδιασμό (Dai et al., 2001; Svoray et al., 2005; Bathrellos & Skilodimou, 2007, Thapa & Murayama, 2008, Wang et al., 2008, Bathrellos et al., 2012, 2013, Rozos et al., 2010, 2011).

Η εφαρμογή της μεθόδου είναι μία γραμμική συσχέτιση των παραγόντων, ενώ η βαρύτητά των παραγόντων γίνεται με σύγκριση ανά ζεύγη με τη δημιουργία ενός πίνακα με τιμές. Η σχετική σημασία μεταξύ δύο παραγόντων μετράται σύμφωνα με αριθμητική κλίμακα από 1 έως 9. Η αντιστοιχία των αριθμητικών τιμών και η σχετική της σημασία είναι: 1 = ίσης σημασίας, 2 = αδύναμη ή μικρή, 3 = μέτρια σημασία, 4 = μέτρια συν, 5 = ισχυρή σημασία, 6 = ισχυρή συν, 7 = πολύ ισχυρή, 8 = Πολύ, πολύ ισχυρό, 9 = Ακραία σημασία. Όταν η

ανά ζεύγη συσχέτιση γίνεται αντίστροφα οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 1 και 1/9. Οι αριθμητικές τιμές στη συνέχεια κανονικοποιούνται με διαίρεση της κάθε εγγραφής σε κάθε στήλη με το άθροισμα όλων των καταχωρήσεων σε αυτή τη στήλη, έτσι ώστε να το άθροισμά τους να φτάσει έως το 1. Στην συνέχεια ακολουθεί μία εξομάλυνση, με την οποία υπολογίζεται ο μέσος όρος όλων των γραμμών και έτσι υπολογίζεται ο σχετικός συντελεστής βάρους του κάθε παράγοντα (Saaty 1977, 1990, 2004).

Μετά τη δημιουργία του πίνακα και τον υπολογισμό των βαρών ελέγχθηκε η συνέπεια του, με το λόγο της συνέπειας (CR). Αυτός χρησιμοποιείται για αποφευχθεί η δημιουργία της τυχαίας κρίσης (επιλογής) στον πίνακα. Σύμφωνα με τον Saaty (1990), όταν $CR < 0.1$, για πίνακες μεγαλύτερων διαστάσεων από 4x4, δείχνει ένα αποδεκτό επίπεδο της συνέπειας, ενώ ένα ποσοστό άνω του 0,1 απαιτεί την επαναξιολόγηση των τιμών των αρχικών συσχετίσεων. Όλες οι συσχετίσεις ανά ζεύγη, ο υπολογισμός των βαρών και ο λόγος συνέπειας υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Expert Choice 11.

Οι θεματικοί χάρτες των παραμέτρων με τα αντίστοιχα βάρη τους συσχετίστηκαν προκειμένου να υπολογισθεί ο συνολικός δείκτης εκτίμησης της κατολισθητικής επικινδυνότητας και να προσδιοριστεί η τελική κατάταξη των εξεταζόμενων περιοχών. Η συσχέτιση αυτή πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο της γραμμικής συσχέτισης βαρών (Voogd, 1983; Malczewski, 1999; Marinoni, 2004) η οποία είναι η συνηθέστερη χρησιμοποιούμενη τεχνική για των υπολογισμό χωρικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην λήψη αποφάσεων και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (1)$$

όπου S είναι ο βαθμός επικινδυνότητας, n ο αριθμός των παραγόντων, W_i το βάρος του κάθε παράγοντα i και X_i είναι η βαθμονόμηση των κατηγοριών του κάθε παράγοντα i . Η εξίσωση (1) εφαρμόστηκε για να υπολογισθεί και να δημιουργηθεί ο χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας. Ο χάρτης διαχωρίστηκε σε ζώνες με διαβαθμισμένα επίπεδα κινδύνου.

Μολαταύτα, ένα από τα σημαντικά προβλήματα της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης είναι η αδυναμία του καθορισμού της αβεβαιότητας, διότι το μοντέλο προβλέπει χωρίς να εκτιμάει το λάθος σε κάθε διάστημα εμπιστοσύνης στα εξαγόμενα. Η αβεβαιότητα στην

μεθοδολογία που σχετίζονται με τη χωρική λήψη απόφασης μπορεί να προέλθει από τη συλλογή, τη συσχέτιση και τη βαθμονόμηση των πολλαπλών κριτηρίων, Η μεγαλύτερη πηγή αβεβαιότητας αποτελεί η βαθμονόμηση των παραγόντων (Benke et al., 2009; Chen et al., 2010, Bathrellos, 2013).

Έτσι η επίδραση της αβεβαιότητας από τα υπολογισθέντα βάρη εξετάστηκε. Σύμφωνα με τους Burrough και McDonnell (1998) το λάθος ΔS που παράγεται από τις ανεξάρτητες τιμές των βαρών δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta W_i X_i)^2} \quad (2)$$

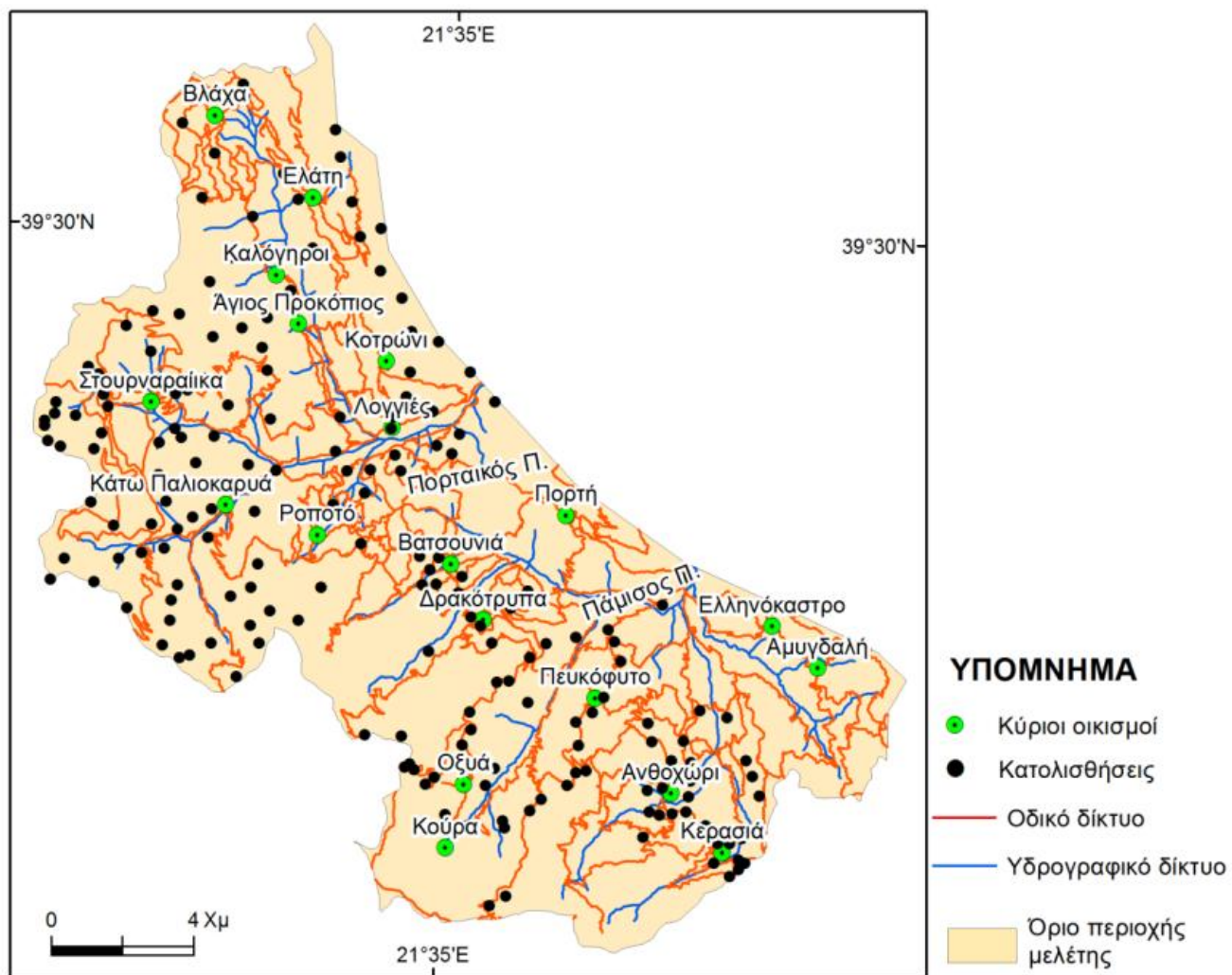
Κάθε τιμή βάρους μεταβλήθηκε 20% από την αρχική τιμή που είχε υπολογισθεί. Η εξίσωση (2) εφαρμόστηκε για να υπολογισθεί το λάθος (ΔS). Στην συνέχεια αυτό πολλαπλασιάστηκε με 1.96 για να υπολογισθεί το 95% του διαστήματος εμπιστοσύνης των τιμών της κατολισθητικής επικινδυνότητας. Αυτή η επεξεργασία οδήγησε στη δημιουργία δύο νέων χαρτών, οι οποίοι διαδοχικά προστέθηκαν και αφαιρέθηκαν από τον αρχικό χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας για να εκτιμηθούν οι αντίστοιχες μέγιστες και ελάχιστες τιμές της επικινδυνότητας (S) για 95% διάστημα εμπιστοσύνης. Έτσι κατασκευάστηκαν δύο χάρτες οι οποίοι αντιστοιχούν σε δύο ακραία σενάρια των μέγιστων και των ελάχιστων τιμών της κατολισθητικής επικινδυνότητας. Οι δύο αυτοί χάρτες συσχετίστηκαν με τον αρχικό χάρτη και αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματά τους.

Τέλος ο χάρτης των κατολισθητικών φαινομένων της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης της κατολισθητικής επικινδυνότητας. Ο χάρτης περιλαμβάνει τις κατολισθήσεις που έχουν καταγραφεί στην περιοχή. Η αξιολόγηση των παραγόμενων αποτελεσμάτων έγινε με τη χρήση της σχέσης συχνότητας. Η σχέση αυτή έχει χρησιμοποιηθεί από διάφορους ερευνητές για την αξιολόγηση χωρικών αποτελεσμάτων και είναι η αναλογία της πιθανότητας ενός γεγονότος κατολίπησης προς ένα μη-γεγονός για μια δεδομένη ζώνη διαβαθμισμένου κινδύνου (Pradhan & Lee, 2010, Pradhan et al., 2012, Rozos et al., 2013). Με σκοπό να υπολογιστεί η σχέση συχνότητας, αρχικά μετρήθηκαν οι κατολισθήσεις που εμπίπτουν σε κάθε διαφορετική ζώνη επικινδυνότητας του αρχικού χάρτη και υπολογίστηκε η συχνότητα τους. Επίσης υπολογίστηκε η έκταση και η ποσοστιαία αναλογία της κάθε ζώνης. Ο λόγος της συχνότητας προς την ποσοστιαία αναλογία της έκτασης αποτελεί τη σχέση συχνότητας.

9.5. ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Για τη δημιουργία του χάρτη της κατολισθητικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης αρχικά καταγράφηκαν τα χωρικά χαρακτηριστικά των προηγούμενων κατολισθητικών φαινομένων και με την προϋπόθεση ότι τα μελλοντικά περιστατικά θα εμφανιστούν υπό παρόμοιες συνθήκες με τις οποίες παρουσιάστηκαν τα προηγούμενα. Κατά συνέπεια οι μελλοντικές κατολισθήσεις έχουν προβλεφθεί από τις στατιστικές σχέσεις, οι οποίες διέπουν τα προηγούμενα φαινόμενα και τους παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στη δημιουργία κατολισθητικών κινήσεων.

Στο **σχήμα 9.3** παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή μελέτης. Συνολικά καταμετρήθηκαν 188 κατολισθήσεις. Οι κατολισθήσεις κατανέμονται κυρίως στο κεντρικό, βορειοδυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 9.3: Η χωρική κατανομή των κατολισθητικών φαινομένων

9.6. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ - ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Οι παράγοντες κατολισθησιμότητας αλλά και οι κατηγορίες τους παρουσιάζουν ποιοτική ανομοιογένεια μεταξύ τους, αλλά και ποσοτική όσο αφορά την έκταση εμφάνισής τους. Για το λόγο αυτό έγινε μία ενιαία βαθμονόμηση σε κάθε κατηγορία του κάθε παράγοντα χωριστά και αντικαταστάθηκε ποιοτικό ή το αριθμητικό της στοιχείο με μία τιμή από το μηδέν έως το τέσσερα. Οι τιμές αυτές δείχνουν και την επικινδυνότητα για τη κατολίσθηση. Σε κάθε παράμετρο, η τιμή τέσσερα αντιπροσωπεύει το μέγιστο (μεγάλος κίνδυνος κατολίσθησης) ενώ αντίθετα η τιμή μηδέν το ελάχιστο (μικρός κίνδυνος κατολίσθησης).

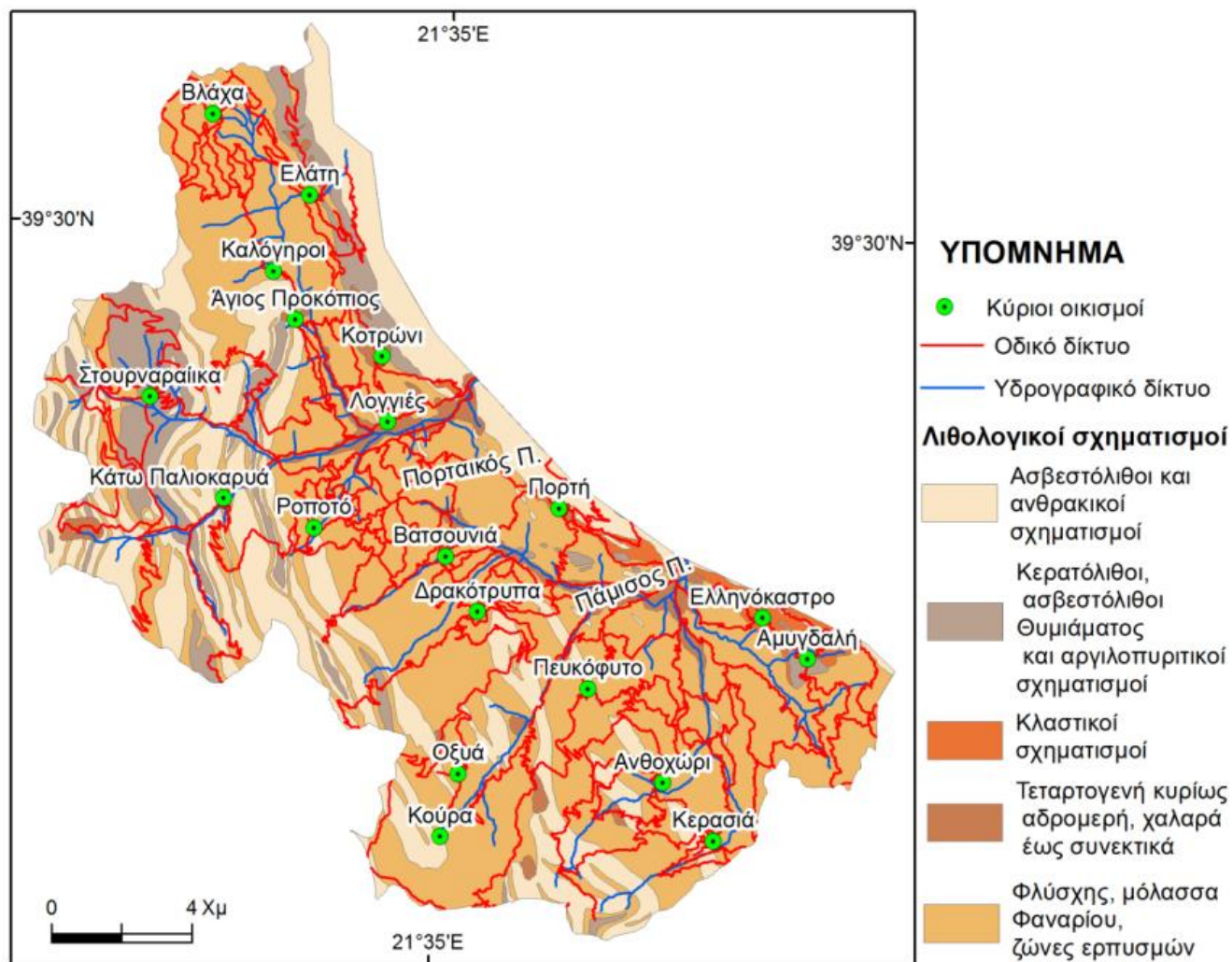
Η προκύπτουσα τιμή βαθμονόμησης εισάγεται σε νέο πεδίο του πίνακα δεδομένων για κάθε παράγοντα χωριστά και δημιουργούνται οι αντίστοιχοι θεματικοί χάρτες τρωτότητας. Σε αυτούς τους χάρτες, κάθε πολύγωνο αντιπροσωπεύει μια περιοχή η οποία έχει τον ίδιο βαθμό επιρρέπειας στα κατολισθητικά φαινόμενα. Επιπλέον, η μεγάλη αριθμητική τιμή (τέσσερα) δηλώνει ότι μία ιδιαίτερη υποκατηγορία ενός δεδομένου παράγοντα είναι περισσότερο τρωτή στις κατολισθήσεις και μία χαμηλότερη τιμή σημαίνει ότι είναι λιγότερο επιρρεπής σε αυτές.

Λιθολογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί διακρίθηκαν ανάλογα με τα τεχνικογεωλογικά τους χαρακτηριστικά σε πέντε ενοποιημένες κατηγορίες, οι οποίες είναι οι εξής:

- Ασβεστόλιθοι και ανθρακικοί σχηματισμοί
- Κερατόλιθοι, ασβεστόλιθοι Θυμιάματος και αργιλοπυριτικοί σχηματισμοί
- Κλαστικοί σχηματισμοί
- Τεταρτογενείς αποθέσεις χαλαρές έως συνεκτικές κυρίως αδρομερή και
- Φλύσχη, μόλασσα Φαναρίου και ζώνες ερπυσμών

Στο **σχήμα 9.4** παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των ενοποιημένων λιθολογικών σχηματισμών, ενώ στον **πίνακα 9.2** παρουσιάζονται οι αριθμητικές τιμές της βαθμονόμησής τους. Η μεγαλύτερη τιμή έχει δοθεί στον φλύσχη διότι παρουσιάζει μεγάλο πάχους μανδύα αποσάθρωσης και τα περισσότερα κατολισθητικά φαινόμενα στην περιοχή παρουσιάζονται στον σχηματισμό αυτό.



Σχήμα 9.4: Η χωρική κατανομή των ενοποιημένων λιθολογικών σχηματισμών.

Πίνακας 9.2: Οι αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των κατηγοριών της λιθολογίας

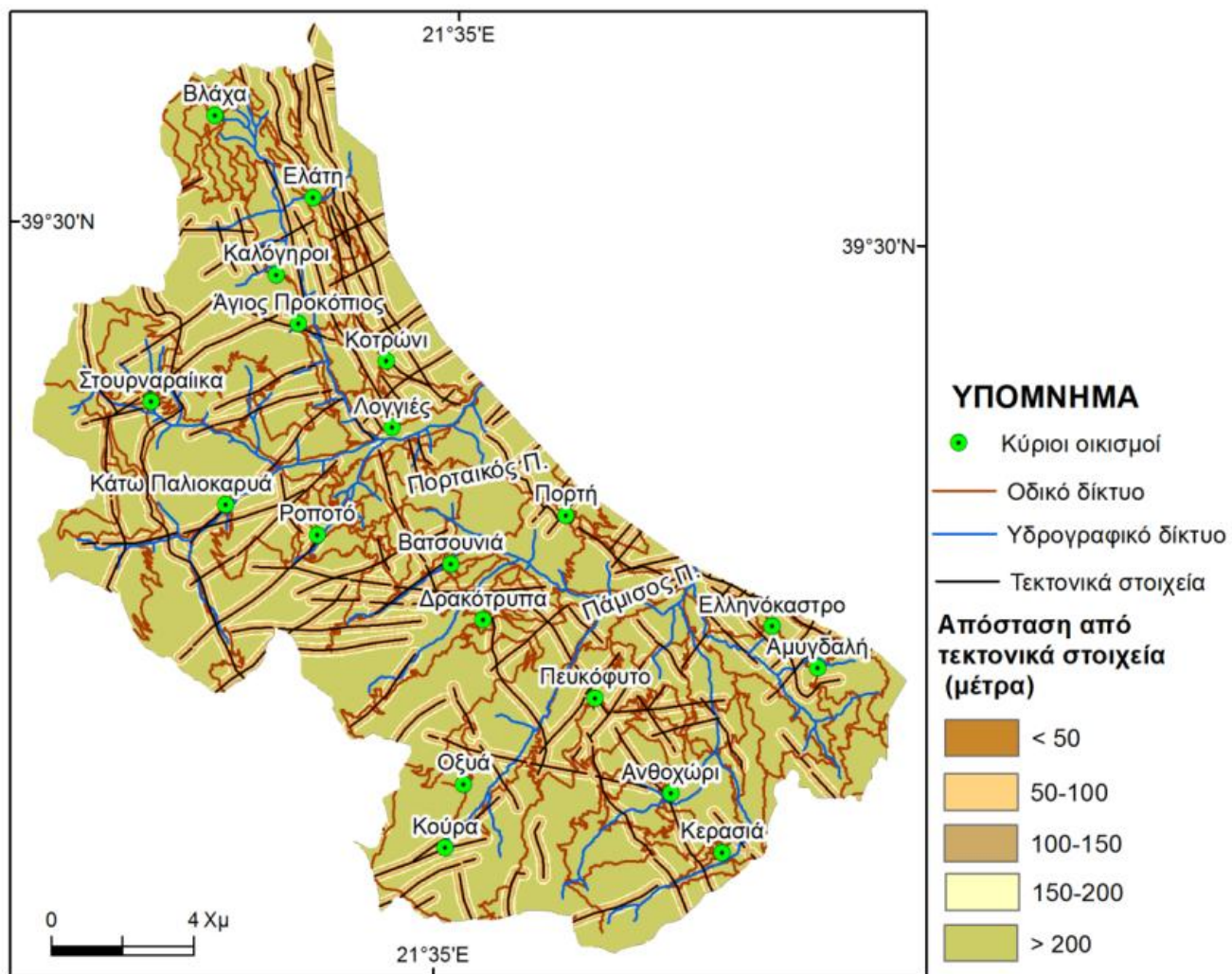
| Λιθολογικός σχηματισμός | Τιμή μεταβλητής |
|--|------------------------|
| Ασβεστόλιθοι και ανθρακικοί σχηματισμοί | 0 |
| Κερατόλιθοι, ασβεστόλιθοι Θυμιάματος και αργιλοπυριτιτικοί σχηματισμοί | 1 |
| Κλαστικοί σχηματισμοί | 2 |
| Τεταρτογενείς αποθέσεις χαλαρές έως συνεκτικές κυρίως αδρομερή | 3 |
| Φλύσξης μόλασσα Φαναρίου και ζώνες ερπυσμών | 4 |

Τεκτονικά στοιχεία

Ζώνες επίδρασης δημιουργήθηκαν γύρω από τα τεκτονικά στοιχεία (ρήγματα, επιππεύσεις, επωθήσεις) της περιοχής μελέτης. Οι αποστάσεις των ζωνών επίδρασης προσδιορίστηκαν στα 50, 100, 150 και 200 μέτρα. Στο **σχήμα 9.5** παρουσιάζονται οι αποστάσεις των ζωνών επίδρασης από τα τεκτονικά στοιχεία ενώ στον **πίνακα 9.3** δίνεται η αντίστοιχη βαθμονόμησή τους. Οι τεκτονικές ασυνέχειες όπως τα ρήγματα, οι επιππεύσεις και οι επωθήσεις δημιουργούν στις κοντινές περιοχές τους ευνοϊκές συνθήκες ενεργοποίησης και εκδήλωσης των μηχανισμών και των φαινομένων των κατολισθήσεων. Για το λόγο αυτό η μεγαλύτερη τιμή της μεταβλητής δόθηκε στην απόσταση των 50 μέτρων.

Πίνακας 9.3: Οι αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των αποστάσεων από τις τα τεκτονικά στοιχεία.

| Απόσταση (μέτρα) | Τιμή μεταβλητής |
|-------------------------|------------------------|
| < 50 | 4 |
| 50-100 | 3 |
| 100-150 | 2 |
| 150-200 | 1 |
| > 200 | 0 |



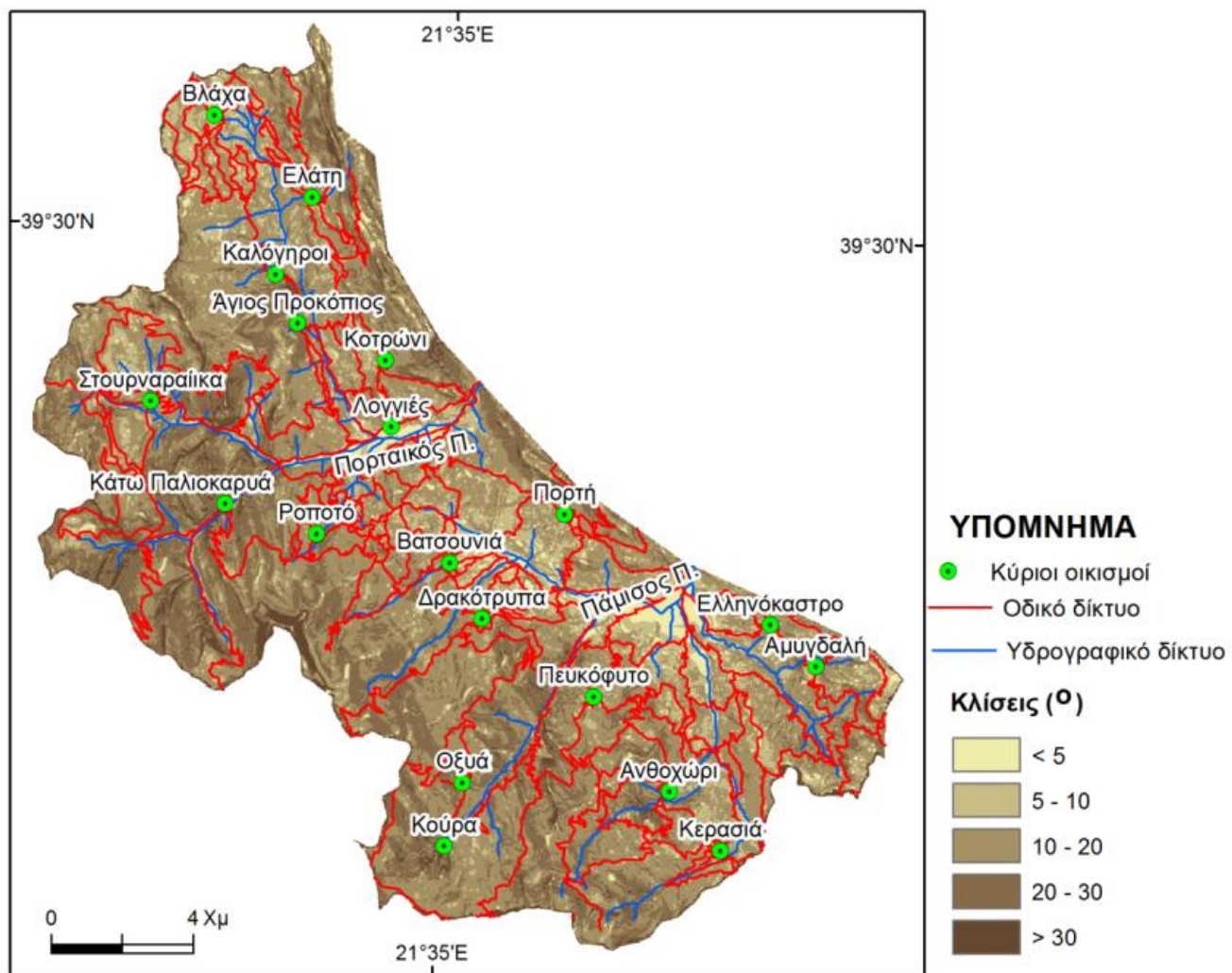
Σχήμα 9.5: Η χωρική κατανομή των αποστάσεων από τα τεκτονικά στοιχεία.

Μορφολογικές κλίσεις

Οι μορφολογικές κλίσεις της περιοχής μελέτης για τη εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας ταξινομηθήκαν σε πέντε κατηγορίες οι οποίες είναι: $<5^{\circ}$, $5-10^{\circ}$, $10-15^{\circ}$, $15-30^{\circ}$, $30-45^{\circ}$ και $>45^{\circ}$. Στο **σχήμα 9.6** παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των μορφολογικών κλίσεων στην περιοχή. Στον **πίνακα 9.4** δίνεται η βαθμονόμηση της κάθε κατηγορίας των μορφολογικών κλίσεων. Τα ποσοστά εμφάνισης των κατολισθήσεων μειώνονται στις ομαλές και μέσες μορφολογικές κλίσεις και για τον λόγο αυτό η μεγαλύτερη τιμή δόθηκε στις απότομες κλίσεις ($>45^{\circ}$).

Πίνακας 9.4: Οι αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των κατηγοριών των μορφολογικών κλίσεων

| Απόσταση (μέτρα) | Τιμή μεταβλητής |
|-------------------------|------------------------|
| $< 5^{\circ}$ | 0 |
| $5-10^{\circ}$ | 1 |
| $15-30^{\circ}$ | 2 |
| $30-45^{\circ}$ | 3 |
| $> 45^{\circ}$ | 4 |



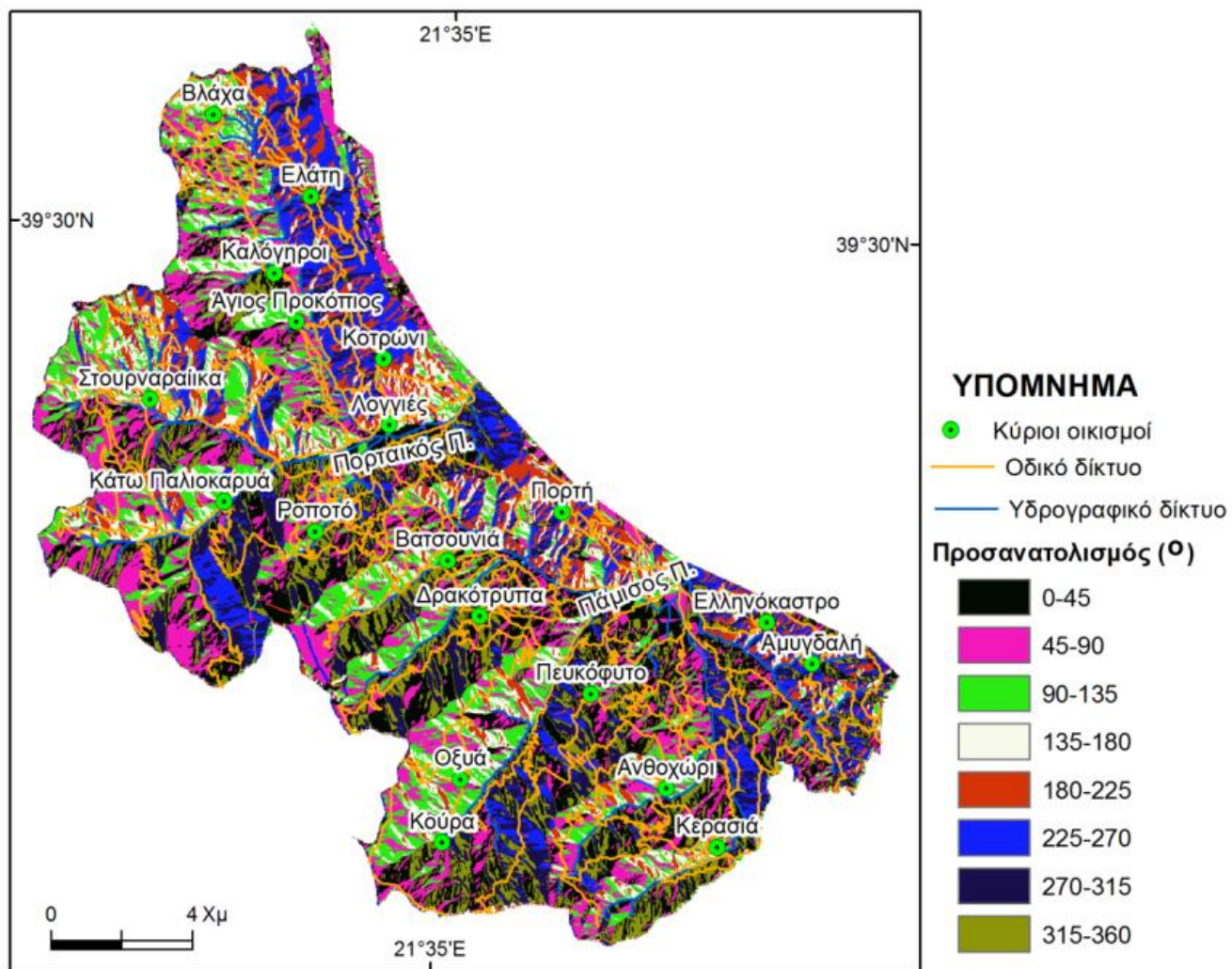
Σχήμα 9.6: Η χωρική κατανομή των μορφολογικών κλίσεων.

Προσανατολισμός πρανών

Τα πρανή της περιοχής ταξινομηθήκαν οκτώ κατηγορίες οι οποίες είναι: $0^\circ - 45^\circ$, $45^\circ - 90^\circ$, $90^\circ - 135^\circ$, $135^\circ - 180^\circ$, $180^\circ - 225^\circ$, $225^\circ - 270^\circ$, $270^\circ - 315^\circ$, $315^\circ - 360^\circ$. Στο **σχήμα 9.7** απεικονίζεται ο προσανατολισμός των πρανών της περιοχής και στον **πίνακα 9.5** παρουσιάζεται η βαθμονόμηση των κατηγοριών του. Γενικά οι κατολισθήσεις είναι συχνότερες στα πρανή με βόρειο προσανατολισμό και μειώνονται βαθμιαία στα πρανή με προσανατολισμό ανατολικό, δυτικό και νότιο. Για το λόγο αυτό στα βόρεια πρανή δόθηκε η τιμή μεταβλητής 4.

Πίνακας 9.5: Οι αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των κατηγοριών του προσανατολισμού

| Απόσταση (μέτρα) | Τιμή μεταβλητής |
|---|------------------------|
| $180^\circ - 225^\circ$ | 0 |
| $135^\circ - 180^\circ$ | 1 |
| $90^\circ - 135^\circ, 225^\circ - 270^\circ$ | 2 |
| $45^\circ - 90^\circ, 270^\circ - 315^\circ$ | 3 |
| $0^\circ - 45^\circ, 315^\circ - 360^\circ$ | 4 |



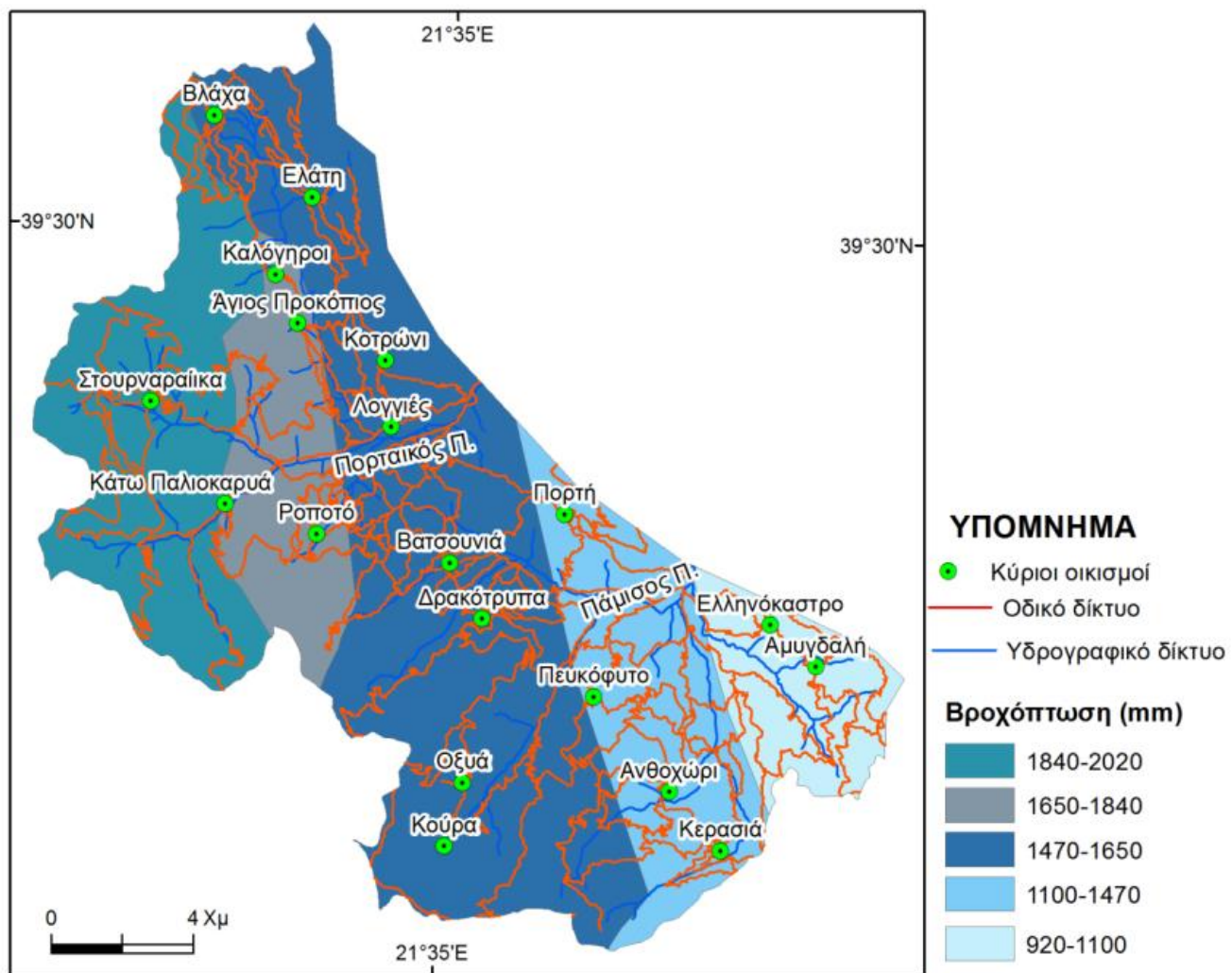
Σχήμα 9.7: Ο προσανατολισμός των πρυνών στην περιοχή μελέτης.

Βροχόπτωση

Η βροχόπτωση όπως ήδη αναφέρθηκε έχει ταξινομηθεί σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με τα όρια των ισοϋετων καμπύλων (**σχήμα 9.8**). Στον **πίνακα 9.6** δίνεται η βαθμονόμηση των ορίων των ισοϋετων καμπύλων. Η περιοχή μελέτης δέχεται σχετικά υψηλές ποσότητες βροχόπτωσης οι επιδρούν θετικά στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Έτσι η μεγαλύτερη τιμή της μεταβλητής δόθηκε στις υψηλές τιμές της βροχόπτωσης.

Πίνακας 9.6: Οι αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των κατηγοριών της βροχόπτωσης.

| Βροχόπτωση (mm) | Τιμή μεταβλητής |
|------------------------|------------------------|
| 920-1.100 | 1 |
| 1.100-1.470 | 2 |
| 1.470-1.650 | 3 |
| 1.650-1.840° | 4 |
| 1.840-2.020 | 4 |



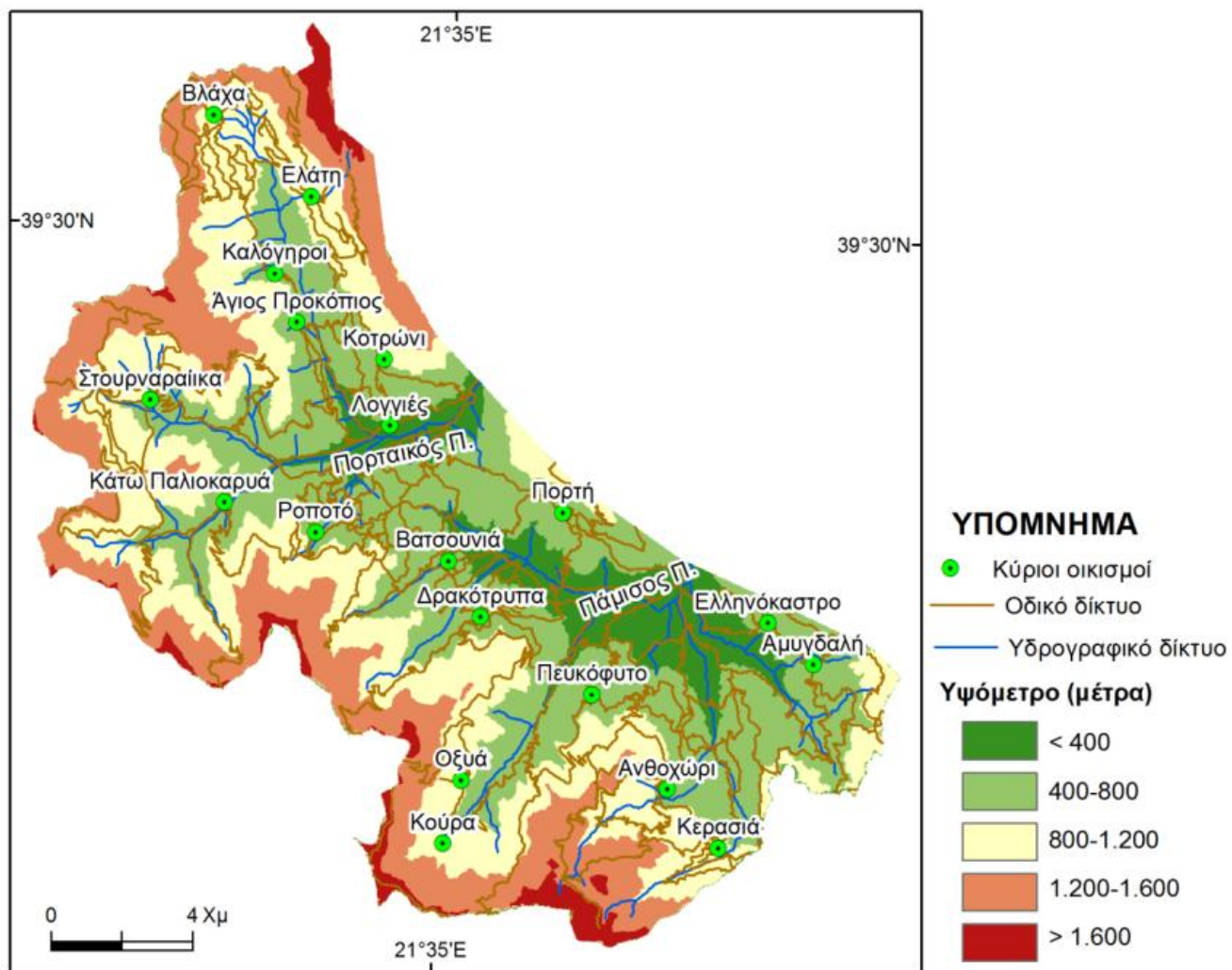
Σχήμα 9.8: Η κατανομή της βροχόπτωσης (ισοϋετες καμπύλες).

Υψόμετρο

Τα υψόμετρα της περιοχής κατηγοριοποιήθηκαν σε πέντε κατηγορίες οι οποίες είναι: <400 μ., 400-800μ., 800-1.200μ., 1.200-1.600μ., >1.600μ. Στον **πίνακα 9.7** παρουσιάζεται η βαθμονόμηση της κάθε κατηγορίας του υψομέτρου και στο **σχήμα 9.9** η χωρική κατανομή του.

Πίνακας 7: Οι αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των κατηγοριών του υψομέτρου.

| Υψόμετρο (μέτρα) | Τιμή μεταβλητής |
|-------------------------|------------------------|
| < 400 μ | 2 |
| 400-800 | 3 |
| 800-1.200 | 4 |
| 1.200-1.600 | 4 |
| >1.600 | 1 |



Σχήμα 9.9: Η χωρική κατανομή του υψόμετρου στην περιοχή μελέτης.

Χρήσεις γης

Οι χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης ομαδοποιήθηκαν στις εξής πέντε κατηγορίες: αστική, καλλιέργειες, δάσος, θάμνοι και φυσικοί βοσκότοποι και απογυμνωμένες εκτάσεις. Στο **σχήμα 9.10** παρουσιάζονται οι κατηγορίες των χρήσεων γης στην περιοχή. Οι καλλιεργημένες εκτάσεις στην περιοχή επηρεάζονται συχνά από τις κατολισθήσεις. Περιορισμένος είναι ο αριθμός κατολισθήσεων στις δασώδεις περιοχές. Σύμφωνα με τα παραπάνω έγινε η βαθμονόμηση της κάθε κατηγορίας χρήσης γης, η οποία και αναλύεται στον **πίνακα 9.8**.

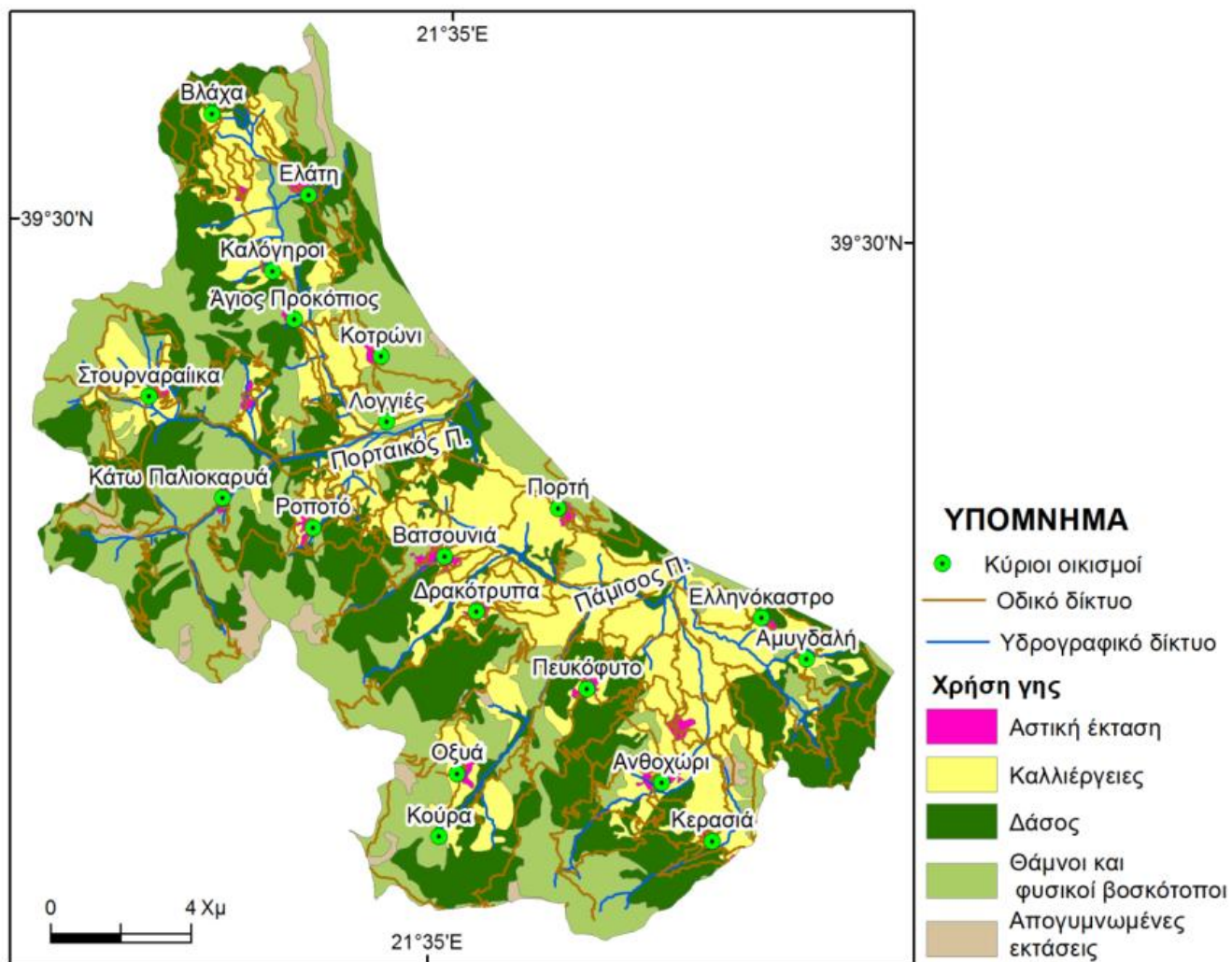
Πίνακας 9.8: Οι αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των κατηγοριών της χρήσης γης.

| Χρήση γης | Τιμή μεταβλητής |
|-------------------------------|------------------------|
| Αστική | 3 |
| Καλλιέργειες | 4 |
| Δάσος | 1 |
| Θάμνοι και φυσικοί βοσκότοποι | 2 |
| Απογυμνωμένες εκτάσεις | 3 |

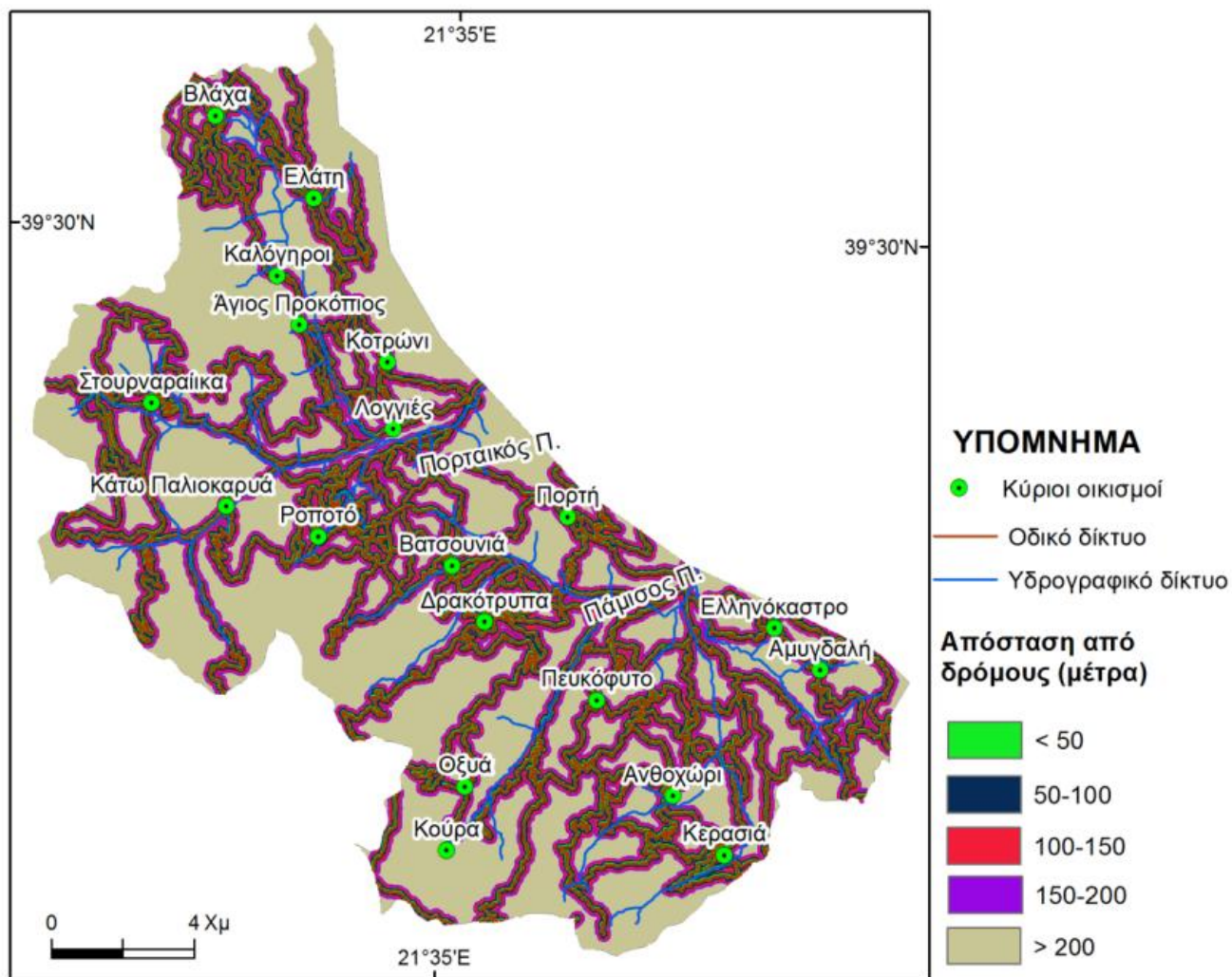
Οδικό δίκτυο

Στην περίπτωση των δρόμων δημιουργήθηκαν τέσσερις κατηγορίες αποστάσεων από αυτούς. Η πρώτη κατηγορία οριοθετήθηκε σε απόσταση 50 μέτρων, δεύτερη στα 100, η τρίτη στα 150 και η τέταρτη στα 200 μέτρα. Στο **σχήμα 9.11** απεικονίζονται οι αποστάσεις από το οδικό δίκτυο.

Το οδικό δίκτυο αρκετές φορές διαταράσσει την ισορροπία των πρανών, επιβαρύνοντας τις ασταθείς μάζες κυρίως με την αφαίρεση υποστήριξης εξαιτίας υποσκαφών και αφαίρεσης υλικών για την κατασκευή τους καθώς και με την πρόσθετη φόρτιση των μαζών. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα τελευταία χρόνια στην περιοχή έγινε μία προσπάθεια βελτίωσης του ορεινού οδικού δικτύου. Οι εργασίες ασφαλτόστρωσης και διαπλάτυνσης των δρόμων είχαν πολλές φορές ως αποτέλεσμα την επαναδραστηριοποίηση παλαιών κατολισθητικών φαινομένων αλλά και την εκδήλωση νέων. Η εκτέλεση έργων χωρίς να προηγηθούν οι κατάλληλες γεωτεχνικές μελέτες και τα αντίστοιχα έργα αντιστήριξης είχαν ως συνέπεια πολλά τμήματα του ορεινού οδικού δικτύου της περιοχής να κατολισθαίνουν και να περιορίζεται η λειτουργικότητα του, κύρια κατά τους χειμερινούς μήνες του έτους.



Σχήμα 9.10: Οι κατηγορίες των χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 9.11: Η χωρική κατανομή των αποστάσεων από τους δρόμους.

Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα έγινε η βαθμονόμηση των αποστάσεων του οδικού δικτύου, η οποία παρουσιάζεται στον **πίνακα 9.9**.

Πίνακας 9.9: Οι αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των αποστάσεων από τους δρόμους.

| Απόσταση (μέτρα) | Τιμή μεταβλητής |
|-------------------------|------------------------|
| < 50 | 4 |
| 50-100 | 3 |
| 100-150 | 2 |
| 150-200 | 1 |
| > 200 | 0 |

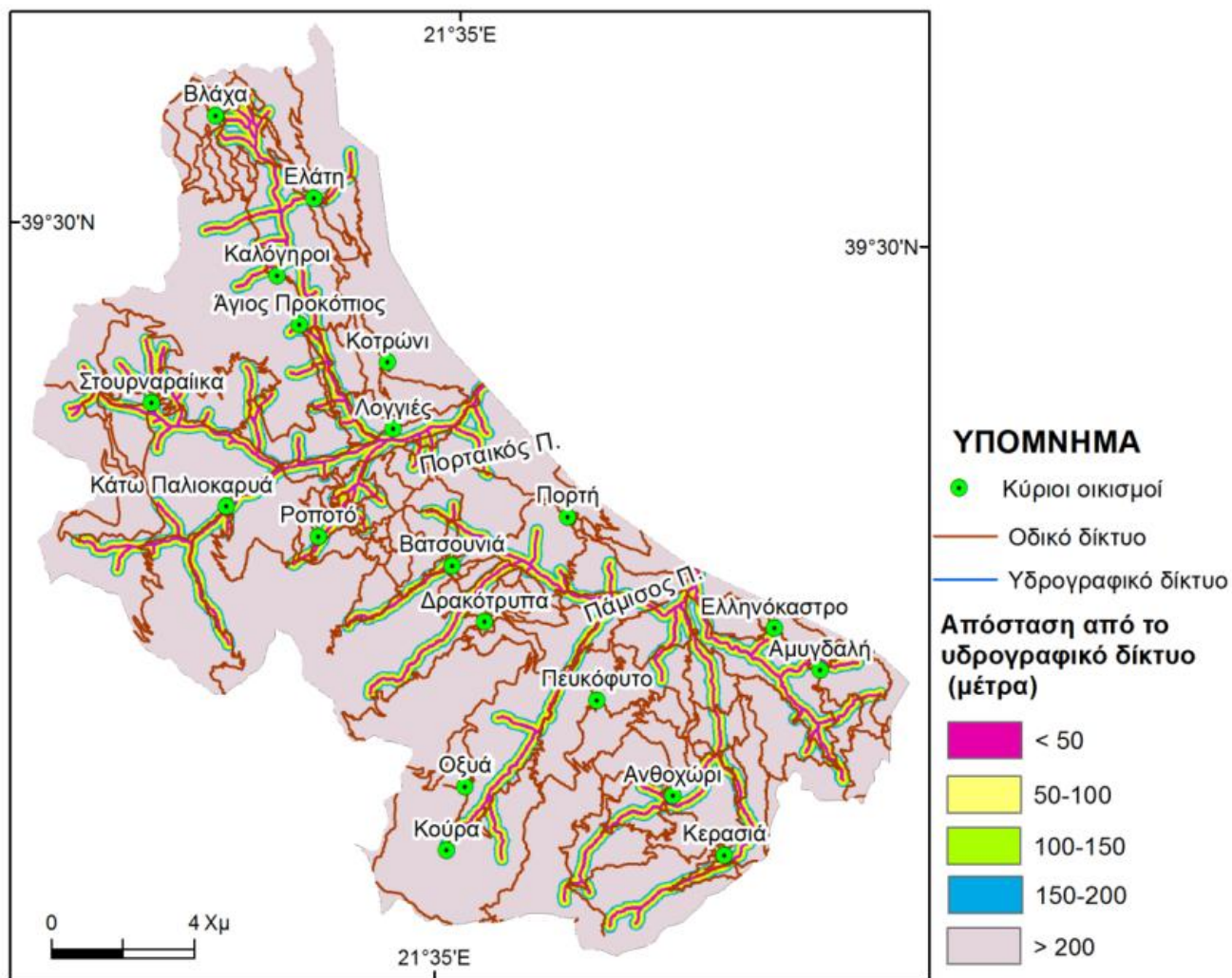
Υδρογραφικό δίκτυο

Όπως και στην περίπτωση των δρόμων έτσι και στο υδρογραφικό δίκτυο δημιουργήθηκαν ζώνες επίδρασης σε αποστάσεις των 50, 100, 150 και 200 μέτρων. Η χωρική κατανομή των αποστάσεων από το υδρογραφικό δίκτυο απεικονίζεται στο **σχήμα 9.12**.

Η παρουσία του νερού έχει αρνητικές επιπτώσεις στην διατμητική αντοχή των πετρωμάτων και στη συνοχή των σχηματισμών. Οι υποσκαφές από τη διάβρωση του ύδατος προκαλούνται σε περιοχές κοντινές στις κοίτες με αποτέλεσμα την ενίσχυση της εκδήλωσης κατολισθητικών κινήσεων. Η βαθμονόμηση των αποστάσεων από το υδρογραφικό δίκτυο αναλύεται στον **πίνακα 9.10**.

Πίνακας 9.10: Οι αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των αποστάσεων από το υδρογραφικό δίκτυο.

| Απόσταση (μέτρα) | Τιμή μεταβλητής |
|-------------------------|------------------------|
| < 50 | 4 |
| 50-100 | 3 |
| 100-150 | 2 |
| 150-200 | 1 |
| > 200 | 0 |



Σχήμα 9.12: Η χωρική κατανομή των αποστάσεων από το υδρογραφικό δίκτυο.

Οι χάρτες με τις προκαθορισμένες τιμές βαθμονόμησης είναι αυτοί οι οποίοι ελήφθησαν υπόψη στο πολυκριτηριακό μοντέλο και στην κατασκευή του χάρτη επικινδυνότητας στις κατολισθήσεις. Η παρουσίαση της επικινδυνότητας στις κατολισθήσεις στο χάρτη αυτό, γίνεται με σταδιακή διαβάθμιση ανάλογα με τις τιμές τις οποίες έλαβαν η κάθε κυψελίδα αθροιστικά σε σχέση με τους προαναφερθέντες παράγοντες.

Εκτός όμως από την βαθμονόμηση των κατηγοριών των παραγόντων όπως ήδη έχει αναφερθεί οι παράγοντες συσχετίστηκαν μεταξύ τους και βαθμονομήθηκαν. Η συσχέτιση και η βαθμονόμηση των παραγόντων έγινε με την μέθοδο της Αναλυτικής Διαδικασίας Ιεράρχησης. Η ανά ζεύγη συσχέτιση των παραγόντων καθώς επίσης και οι συντελεστές των βαρών που υπολογίστηκαν, παρουσιάζονται στον **πίνακα 9.11**. Οι τιμές των βαρών που προκύπτουν από την εφαρμογή της συγκεκριμένης μέθοδο είναι θετικοί αριθμοί και το άθροισμά τους είναι ίσο με τη μονάδα.

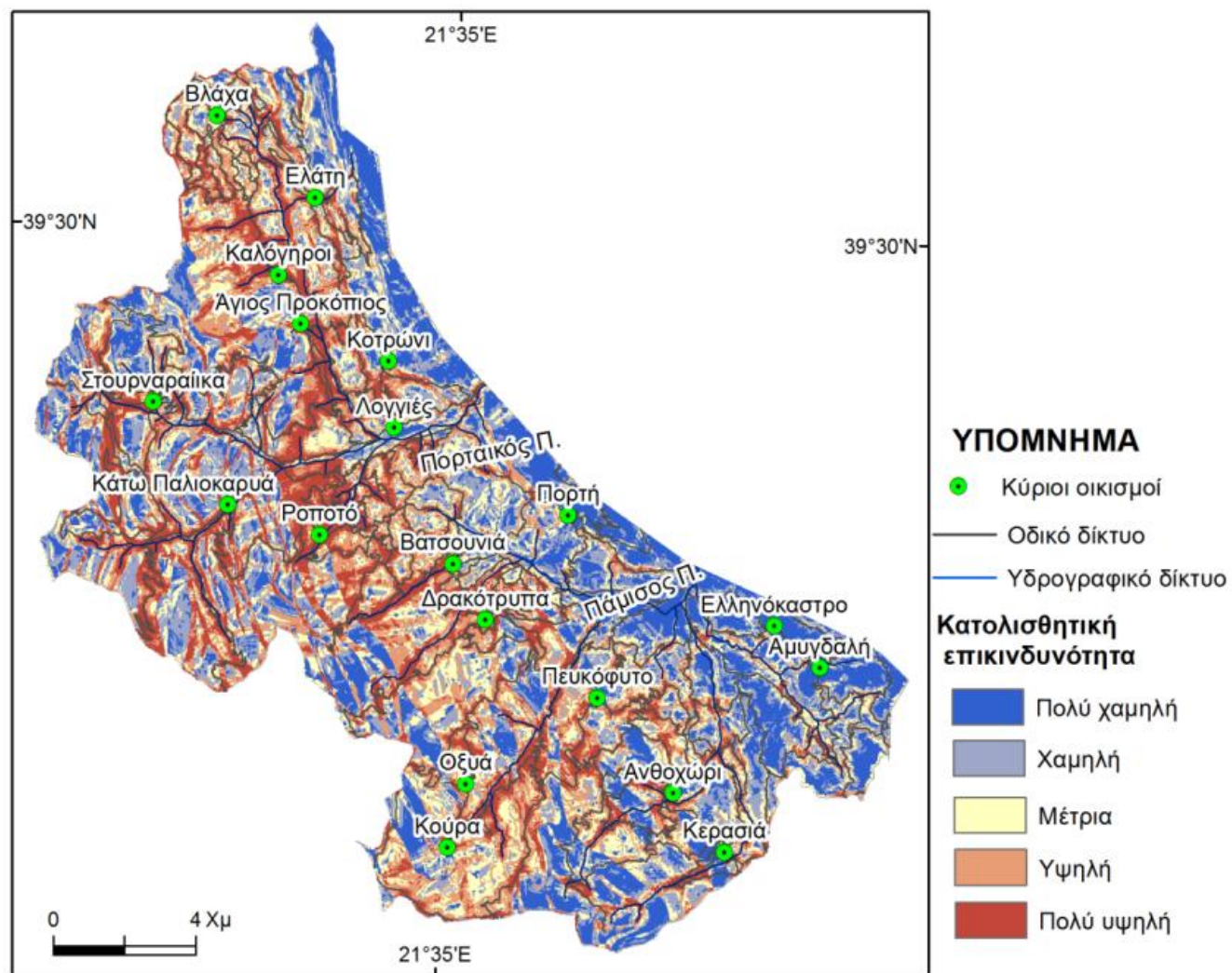
Πίνακας 11: Οι κατολισθητικοί παράγοντες και οι συντελεστές των βαρών τους, όπως υπολογίστηκαν από την εφαρμοζόμενη μέθοδο της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης.

| | Π1 | Π2 | Π3 | Π4 | Π5 | Π6 | Π7 | Π8 | Π9 | Συντελεστές βαρών W_i |
|--|-----------|-----------|----------------------|---|-----------|----------------|-----------------------|-----------|-----------|---|
| Π1 | 1 | 2 | 1/3 | 3 | 1/2 | 7 | 3 | 2 | 3 | 0.145 |
| Π2 | | 1 | 1/3 | 2 | 1/2 | 6 | 2 | 1 | 1 | 0.085 |
| Π3 | | | 1 | 5 | 2 | 9 | 5 | 3 | 4 | 0.275 |
| Π4 | | | | 1 | 1/5 | 6 | 1/2 | 1/4 | 1/5 | 0.040 |
| Π5 | | | | | 1 | 7 | 4 | 3 | 2 | 0.186 |
| Π6 | | | | | | 1 | 1/5 | 1/8 | 1/8 | 0.016 |
| Π7 | | | | | | | 1 | 1/3 | 1/3 | 0.049 |
| Π8 | | | | | | | | 1 | 1/2 | 0.093 |
| Π9 | | | | | | | | | 1 | 0.111 |
| Π1 = Λιθολογία | | | | Π2 = Απόσταση από τεκτονικά στοιχεία | | | | | | |
| Π3 = Μορφολογική κλίση | | | | Π4 = Προσανατολισμός πρανών | | | | | | |
| Π5 = Βροχόπτωση | | | Π6 = Υψόμετρο | | | | Π7 = Χρήση γης | | | |
| Π8 = Απόσταση από δρόμους | | | | | | CR=0.05 | | | | |
| Π9 = Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο | | | | | | | | | | |

9.7. ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Οι παραπάνω μεταβλητές, οι οποίες αποτελούν τη βάση δεδομένων, συνδυάστηκαν χωρικά για τη δημιουργία ενός και μόνο επιπέδου. Οι θεματικοί χάρτες τους από διανυσματικά αρχεία (vector) μετατράπηκαν σε ψηφιδωτά (raster). Επιπλέον καθορίστηκε η σημαντικότητα – βαρύτητα του κάθε παράγοντα, σχετικά με την πιθανότητα δημιουργίας κατολισθήσεως και σε σύγκριση με τους υπόλοιπους παράγοντες. Στη συνέχεια για τη δημιουργία του χάρτη κινδύνου περιοχών σε κατολισθήσεις η τιμή κάθε κυψελίδας (pixel) αθροίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1) που περιγράφεται στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας.

Ο χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας παρουσιάζεται στο **σχήμα 9.13**. Η παρουσίαση της επικινδυνότητας στον χάρτη, γίνεται σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες κινδύνου, ανάλογα με τις τιμές τις οποίες έλαβε η κάθε κυψελίδα αθροιστικά σε σχέση με τους προαναφερθέντες παράγοντες και όπως παρουσιάστηκε παραπάνω. Η ταξινόμηση των περιοχών στις κατηγορίες πολύ χαμηλής, χαμηλής, μέτριας, υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας έγινε αυτόματα, σύμφωνα με τον αλγόριθμο Quantile του λογισμικού πακέτου ARC/GIS. Εντός των κατηγοριών αυτών περιέχονταν όλες οι τιμές των κυψελίδων. Η κατηγορία των χαμηλών τιμών (μπλε χρώμα του χάρτη του **σχήματος 9.13**) αντιπροσωπεύει την πολύ χαμηλή κατολισθητική επικινδυνότητα. Η ζώνη των μέσων τιμών (κίτρινο χρώμα του χάρτη) αντιπροσωπεύει τη μέτρια επικινδυνότητα για κατολισθήσεις ενώ η κατηγορία των υψηλών τιμών (κόκκινο χρώμα του χάρτη) αντιπροσωπεύει την πολύ υψηλή επικινδυνότητα στις κατολισθήσεις.



Σχήμα 9.13: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης.

Το αποτέλεσμα δείχνει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος για κατολισθήση είναι εντονότερος όπου γεωγραφικά οι δέκα παράμετροι με τις υψηλές τιμές συμπίπτουν. Επομένως, ο κίνδυνος προκαλείται από τη συλλογική και σύγχρονη επίδραση πολλών παραγόντων κατολισθησιμότητας. Επομένως, για την εκδήλωση κάποιων κατολισθητικών φαινομένων είναι απαραίτητο να συντρέχουν περισσότεροι του ενός παράγοντα, οι οποίοι προκαλούν τα φαινόμενα αυτά, και λειτουργούν αθροιστικά για την εκδήλωση τους.

Όσον αφορά τη χωρική κατανομή των ζωνών επικινδυνότητας οι περιοχές πολύ υψηλού κινδύνου στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων παρατηρούνται κυρίως στο κεντρικό, στο βόρειο, στο βορειοδυτικό και στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Απεναντίας η ζώνη πολύ χαμηλής επικινδυνότητας παρουσιάζει μεγάλη χωρική διασπορά και παρουσιάζει την μεγαλύτερη της χωρική εξάπλωση κυρίως στο ανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής.

Οι εκτάσεις που καταλαμβάνουν οι ζώνες της κατολισθητικής επικινδυνότητας και η ποσοστιαία τους αναλογία σε σχέση με τη συνολική έκταση της περιοχής παρουσιάζονται στον **πίνακα 9.12**. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαφοροποιήσεις τόσο των εκτάσεων αλλά και των τιμών της ποσοστιαίας αναλογίας τους είναι πολύ μικρές. Η ζώνη της υψηλής επικινδυνότητας καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με τις υπόλοιπες ζώνες, ενώ την μικρότερη έκταση έχει η ζώνη της πολύ χαμηλής επικινδυνότητας.

Πίνακας 9.12: Οι εκτάσεις και η ποσοστιαία αναλογία των ζωνών της κατολισθητικής επικινδυνότητας.

| Επικινδυνότητα | Έκταση (τ. χμ.) | (%) |
|-----------------------|------------------------|------------|
| Πολύ χαμηλή | 54,4 | 19,4 |
| Χαμηλή | 56,3 | 20,2 |
| Μέτρια | 56,5 | 20,2 |
| Υψηλή | 57,0 | 20,4 |
| Πολύ υψηλή | 55,7 | 19,8 |
| Σύνολο | 280 | 100 |

9.8. ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας τρία διαφορετικά σενάρια εξετάστηκαν για την εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας που οδήγησαν στην δημιουργία τριών διαφορετικών χαρτών. Το πρώτο σενάριο αφορά την εφαρμογή της μεθόδου Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης την συσχέτιση των παραγόντων, που επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθήσεων και τον υπολογισμό των συντελεστών των βαρών τους. Το σενάριο αυτό οδήγησε στην δημιουργία του βασικού χάρτη εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας (KE_b) που παρουσιάστηκε στο **σχήμα 9.13** και αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τα άλλα δύο σενάρια αφορούν τον υπολογισμό των ακραίων τιμών της κατολισθητικής επικινδυνότητας σε κάθε κυψελίδα. Η εφαρμογή του δεύτερου σεναρίου οδήγησε στην κατασκευή ενός χάρτη (KE_{max}), που αντιπροσωπεύει τις μέγιστες τιμές κατολισθητικής επικινδυνότητας σε κάθε κυψελίδα. Το σενάριο των ελάχιστων τιμών εφαρμόστηκε με τη δημιουργία ενός χάρτη ελάχιστων τιμών κατολισθητικής επικινδυνότητας (KE_{min}).

Αρχικά, για την εφαρμογή των δύο τελευταίων σεναρίων κάθε τιμή βάρους μεταβλήθηκε 20% από την αρχική τιμή, που είχε υπολογισθεί. Στον **πίνακα 9.13** παρουσιάζονται οι τιμές των αρχικών συντελεστών των βαρών και των μεταβαλλόμενων βαρών. Η μεγαλύτερη τιμή στους νέους συντελεστές βαρύτητας παρατηρείται στον παράγοντα της μορφολογικής κλίσης, ενώ η μικρότερη στο υψόμετρο. Επομένως οι νέοι συντελεστές βαρών ακολουθούν την αρχική ταξινόμηση των βαρών.

Πίνακας 9.13: Οι τιμές των βαρών (W_i), των παραγόντων που υπολογίστηκαν στο πρώτο σενάριο και οι μεταβαλλόμενοι συντελεστές βάρους (ΔW_i).

| Παράγοντας | W_i | ΔW_i |
|------------------------------------|-------|--------------|
| Λιθολογία | 0,145 | 0,029 |
| Απόσταση από τεκτονικά στοιχεία | 0,085 | 0,017 |
| Μορφολογική κλίση | 0,275 | 0,055 |
| Προσανατολισμός πρηνών | 0,04 | 0,008 |
| Βροχόπτωση | 0,186 | 0,037 |
| Υψόμετρο | 0,016 | 0,003 |
| Χρήση γης | 0,049 | 0,010 |
| Απόσταση από δρόμους | 0,093 | 0,019 |
| Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο | 0,111 | 0,022 |

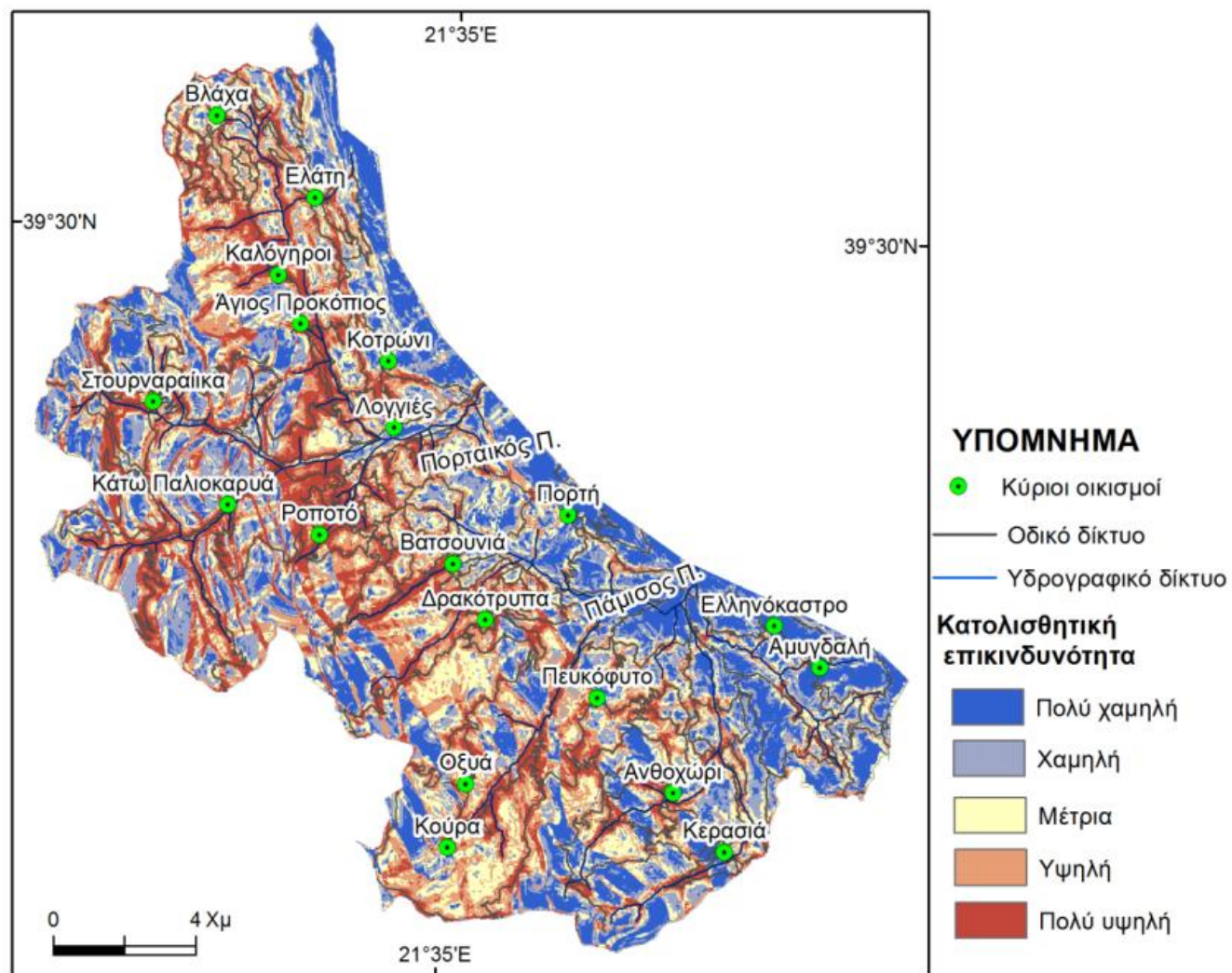
Μετά τον υπολογισμό των νέων συντελεστών βαρύτητας ακολουθήθηκε η μεθοδολογία όπως αυτή περιγράφεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

Στο **σχήμα 9.14** απεικονίζεται ο χάρτης (KE_{max}) με τις μέγιστες τιμές κατολισθητικού κινδύνου. Ο χάρτης κατηγοριοποιήθηκε με τον ίδιο αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε στον βασικό χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας και χωρίστηκε στις ίδιες ομάδες. Η χωρική κατανομή των ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας του KE_{max} είναι σχεδόν ίδια με αυτή που παρατηρείται στον βασικό χάρτη. Οι εκτάσεις που καλύπτει η κάθε μία ζώνη της κατολισθητικής επικινδυνότητας και η ποσοστιαία τους αναλογία σε σχέση με τη συνολική έκταση της περιοχή παρουσιάζονται στον **πίνακα 9.14**.

Πίνακας 9.14: Οι εκτάσεις και η ποσοστιαία αναλογία των ζωνών της κατολισθητικής επικινδυνότητας.

| Επικινδυνότητα | Έκταση (τ.χλμ.) | (%) |
|-----------------------|------------------------|------------|
| Πολύ χαμηλή | 54,1 | 19,3 |
| Χαμηλή | 55,4 | 19,8 |
| Μέτρια | 57,2 | 20,4 |
| Υψηλή | 57,6 | 20,6 |
| Πολύ υψηλή | 55,6 | 19,9 |
| Σύνολο | 280 | 100 |

Όπως συμβαίνει και με τις εκτάσεις των ζωνών του βασικού χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας, έτσι και σε αυτή την περίπτωση οι διαφοροποιήσεις στις τιμές των εκτάσεων και της ποσοστιαίας αναλογίας τους είναι πολύ μικρές. Ομοίως ακολουθώντας την ίδια ταξινόμηση με αυτή του πρώτου σεναρίου η ζώνη της υψηλής επικινδυνότητας καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση, ενώ τη μικρότερη έκταση την έχει η ζώνη της πολύ χαμηλής επικινδυνότητας. Συγκρίνοντας τις εκτάσεις και την ποσοστιαία αναλογία των χαρτών κατολισθητικής επικινδυνότητας του πρώτου και του δεύτερου σεναρίου διαπιστώνεται ότι υπάρχει μία ελάττωση των εκτάσεων των ζωνών της χαμηλής και πολύ χαμηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας για το χάρτη (KE_{max}). Απεναντίας οι εκτάσεις των υπόλοιπων τριών κατηγοριών έχουν αυξηθεί.



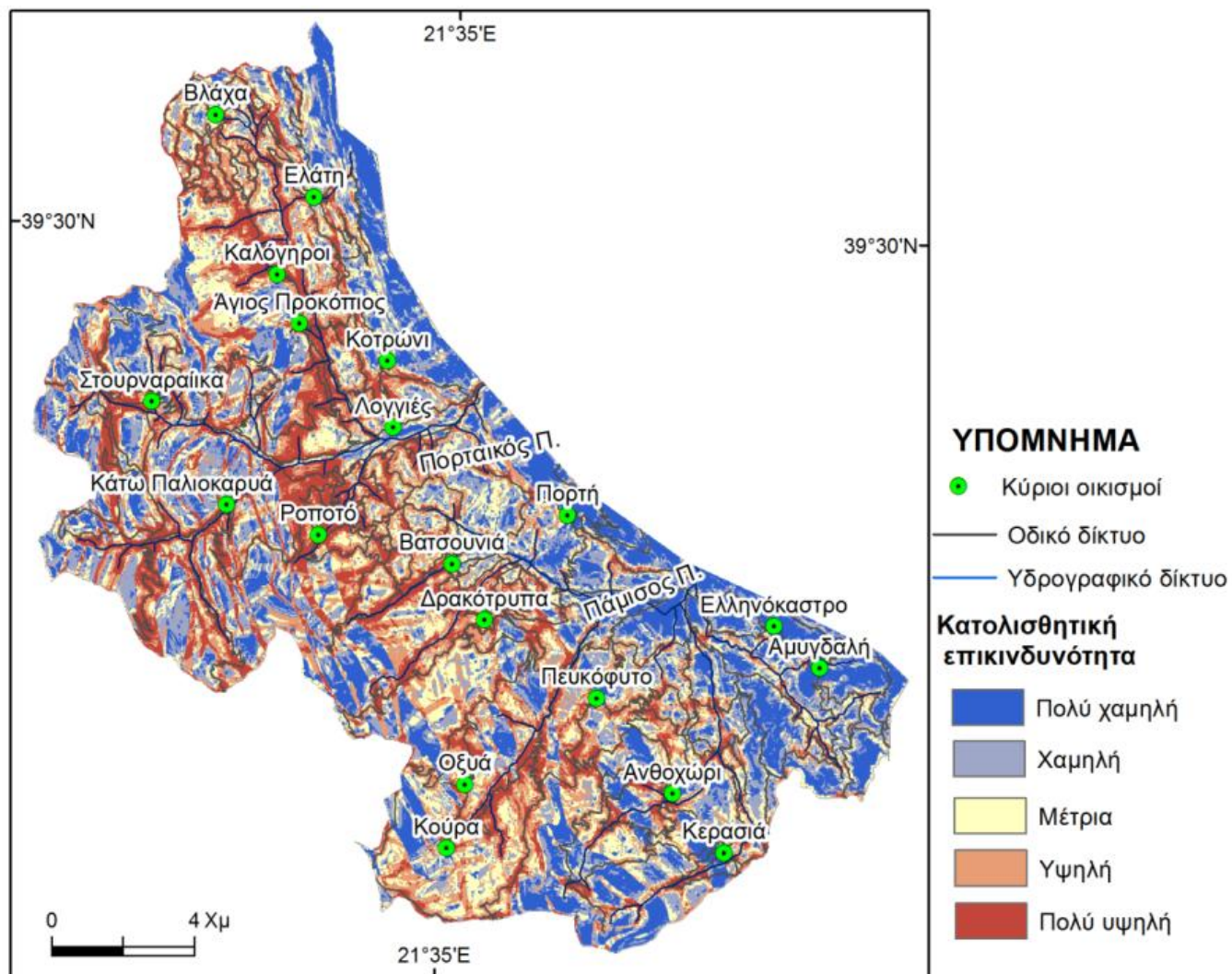
Σχήμα 9.14: Χάρτης των μέγιστων τιμών κατολισθητικής επικινδυνότητας (KE_{max}).

Τέλος η εφαρμογή του τρίτου σεναρίου οδήγησε στην δημιουργία του χάρτη KE_{min} που απεικονίζεται στο **σχήμα 9.15**. Η χωρική κατανομή των ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας του KE_{min} είναι περίπου ίδια με αυτή που παρατηρείται στον βασικό χάρτη. Οι εκτάσεις που καλύπτει η κάθε μία ζώνη της κατολισθητικής επικινδυνότητας και η ποσοστιαία τους παρουσιάζονται στον **πίνακα 9.15**.

Πίνακας 9.15: Οι εκτάσεις και η ποσοστιαία αναλογία των ζωνών της κατολισθητικής επικινδυνότητας.

| Επικινδυνότητα | Έκταση (τ.χλμ.) | (%) |
|-----------------------|------------------------|------------|
| Πολύ χαμηλή | 54,9 | 19,6 |
| Χαμηλή | 57,0 | 20,4 |
| Μέτρια | 57,6 | 20,6 |
| Υψηλή | 55,2 | 19,7 |
| Πολύ υψηλή | 55,3 | 19,8 |
| Σύνολο | 280 | 100 |

Όπως συνέβη στην προηγούμενη περίπτωση του δεύτερου σεναρίου, έτσι και σε αυτή του τρίτου δεν παρατηρούνται σχετικά μεγάλες διαφοροποιήσεις στις εκτάσεις των ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας. Απεναντίας παρατηρείται μεταβολή στην ταξινόμηση τους με αποτέλεσμα η μέτριας κατολισθητικής επικινδυνότητας ζώνη να καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με τις υπόλοιπες, ενώ η πολύ χαμηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας ζώνη έχει τη μικρότερη έκταση. Η σύγκριση των εκτάσεων των ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας μεταξύ του βασικού χάρτη και του KE_{max} δείχνει ότι η έκταση της ζώνης της υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας μειώνεται, ενώ εκείνη της πολύ υψηλής παραμένει σταθερή. Οι εκτάσεις των υπολοίπων ζωνών παρουσιάζονται αυξημένες. Η μεγαλύτερη μεταβολή στην έκταση (0,7%) παρατηρείται στην ζώνη υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας.



Σχήμα 9.15: Χάρτης των ελάχιστων τιμών κατολισθητικής επικινδυνότητας

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μεταβολές των εκτάσεων των ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας για τους χάρτες των τριών διαφορετικών σεναρίων είναι σχετικά μικρές. Η ζώνη πολύ υψηλής επικινδυνότητας αποτελεί την πρώτη προτεραιότητα της εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας. Η ακριβής οριοθέτησή της θα πρέπει να αποτελεί το βασικό μοχλό για τον χωροταξικό σχεδιασμό της περιοχής αλλά και για τον καθορισμό και τη λήψη μέτρων αντιμετώπισης των κατολισθητικών φαινομένων. Η έκταση της ζώνης πολύ υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας παρουσιάζει μία ελάχιστη αύξηση (0,1%) στον χάρτη KE_{max} σε σχέση με την έκτασή της στον βασικό χάρτη και παραμένει σταθερή στο χάρτη KE_{max} . Επομένως δεν υπάρχουν ποιοτικές και ποσοτικές επιπτώσεις από την εφαρμοζόμενη μέθοδο στα αποτελέσματα του παραγόμενου χάρτη. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι τα αποτελέσματα του παραγόμενου βασικού χάρτη δεν παρουσιάζουν μεγάλη αβεβαιότητα, είναι αξιόπιστα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον χωροταξικό σχεδιασμό της περιοχής και σε σχέδια λήψης μέτρων αντιμετώπισης των κατολισθητικών φαινομένων.

9.9. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε στα αποτελέσματα του βασικού χάρτη εκτίμησης κατολισθητικού κινδύνου. Η μέθοδος αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η σχέση συχνότητας, η οποία αποτελεί μία στατιστική ανάλυση και η εφαρμογή της έγινε όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας.

Στον **πίνακα 9.16** παρουσιάζεται η σχέση συχνότητας των κατολισθητικών φαινομένων που υπολογίστηκε για κάθε ζώνη κατολισθητικής επικινδυνότητας. Σύμφωνα με τους Pradhan et al. (2012) και Rozos et al. (2013), η αριθμητική τιμή της μονάδας που παρατηρείται στον **πίνακα 9.16** στη σχέση συχνότητας αποτελεί μία μέση τιμή. Με βάση τη θεώρηση αυτή, οι τιμές της σχέσης συχνότητας που είναι μεγαλύτερες της μονάδας υποδηλώνουν πολύ καλή και ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των κατολισθητικών φαινομένων και μίας δεδομένης ζώνης κατολισθητικής επικινδυνότητας. Απεναντίας, οι τιμές της σχέσης συχνότητας που είναι μικρότερες από ένα δείχνουν κακή συσχέτιση των κατολισθητήσεων και των ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας.

Πίνακας 9.16: Οι τιμές της σχέσης συχνότητας των κατολισθήσεων, σε κάθε ζώνη κατολισθητικής επικινδυνότητας.

| Επικινδυνότητα | Έκταση (τ.χλμ.) | %, (α) | Κατολισθήσεις (No) | %, (β) | Σχέση συχνότητας (β/α) |
|----------------|-----------------|------------|--------------------|--------------|------------------------|
| Πολύ χαμηλή | 54,4 | 19,4 | 11 | 5,9 | 0,3 |
| Χαμηλή | 56,3 | 20,2 | 18 | 9,6 | 0,5 |
| Μέτρια | 56,5 | 20,2 | 29 | 15,4 | 0,8 |
| Υψηλή | 57,0 | 20,4 | 63 | 33,5 | 1,6 |
| Πολύ υψηλή | 55,7 | 19,8 | 78 | 41,5 | 2,1 |
| Σύνολο | 280,0 | 100 | 188 | 100,0 | 1 |

Σύμφωνα με τον **πίνακα 9.16** οι τιμές της σχέσης συχνότητας αυξάνονται βαθμιαία με την αύξηση του επιπέδου κατολισθητικού κινδύνου, δηλαδή από τη ζώνη πολύ χαμηλής προς τη ζώνη πολύ υψηλής επικινδυνότητας. Οι ζώνες πολύ υψηλής και υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας συσχετίζονται έντονα με τα κατολισθητικά φαινόμενα. Σε αυτές τις δύο περιπτώσεις ζωνών, οι τιμές της σχέσης συχνότητας είναι μεγαλύτερες της μονάδας υποδεικνύοντας μία μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων. Εδικά για την ζώνη πολύ υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας η τιμή είναι μεγαλύτερη από δύο, γεγονός που δηλώνει πολύ μεγάλη πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων. Σχετικά με τις ζώνες μέτριας, χαμηλής και πολύ χαμηλής επικινδυνότητας, οι τιμές της σχέσης συχνότητας είναι μικρότερες της μονάδας. Συνεπώς, για τις ζώνες αυτές η πιθανότητα της εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων είναι μικρή.

Ως εκ τούτου, ο παραγόμενος χάρτης της εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας παρουσιάζει επαρκή συσχέτιση με τις καταγεγραμμένες κατολισθήσεις. Η στατιστική ανάλυση που εφαρμόστηκε καταδεικνύει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα μεταξύ του χάρτη εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας και της εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων, αφού αυξανόμενου του επιπέδου κινδύνου αυξάνεται και ο αριθμός των κατολισθήσεων. Η επιτυχής ταύτιση των ζωνών της κατολισθητικής επικινδυνότητας και της κατανομής των κατολισθητικών φαινομένων επικυρώνει την πολύ καλή ποιότητα και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του χάρτη εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας.

Η χωρική απεικόνιση των περιοχών οι οποίες παρουσιάζουν επικινδυνότητα σε κατολισθήσεις, είναι ένας χρήσιμος οδηγός για τη διαχείριση των φυσικών καταστροφών, καθώς επίσης για τον αναπτυξιακό προγραμματισμό και το σχεδιασμό των χρήσεων της

γης μιας περιοχής. Ένας έγκυρος και αξιόπιστος χάρτης όπως συμβαίνει στην περίπτωση που εξετάζεται, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στο σχεδιασμό και την κατασκευή οικοδομικών και γενικότερα τεχνικών έργων.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, η ζώνη πολύ υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας κινδύνου συσχετίστηκε χωρικά με το υφιστάμενο οδικό δίκτυο και τους οικισμούς που βρίσκονται εντός των ορίων της περιοχής μελέτης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε αυτή τη ζώνη βρίσκονται 230 χιλιόμετρα οδικού δικτύου από τα 563 χιλιόμετρα του συνόλου του οδικού δικτύου. Επομένως σχεδόν το μισό μήκος του οδικού δικτύου της περιοχής ενδιαφέροντος βρίσκεται στην υψηλότερη κατηγορία κινδύνου για κατολίσηση. Επιπλέον μέσα στα όρια της ζώνης πολύ υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας βρίσκονται 19 οικισμοί από τους συνολικά 53 της περιοχής μελέτης. Συνεπώς, η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στην ζώνη αυτή έχει άμεσες οικονομικές απώλειες στην περιοχή. Η αποτελεσματική αντιμετώπισή τους απαιτεί την πλήρη γνώση των συνθηκών δημιουργίας και εξέλιξης των φαινομένων με την εκπόνηση κατάλληλων μελετών οι οποίες θα οδηγήσουν στην σωστή επιλογή και εφαρμογή μέτρων προστασίας. Προϋπόθεση βεβαίως αποτελεί η θετική βούληση της πολιτείας να εφαρμόσει τα κατάλληλα μέτρα. Σε πολλές περιπτώσεις οι έρευνες δεν λαμβάνονται υπόψη εξαιτίας θιγόμενων συμφερόντων με αποτέλεσμα η κατολισθητική επικινδυνότητα να παραμένει μεγάλη.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγινε μία μελέτη της εκτίμησης περιοχών με κίνδυνο στα κατολισθητικά φαινόμενα. Για την εκτίμηση αυτή χρησιμοποιήθηκε μία περιοχή μελέτης που αποτελείται από δύο λεκάνες απορροής: του άνω ρου του Πορταϊκού και του άνω ρου του Πάμισου και καλύπτει το νοτιοδυτικό τμήμα του νομού Τρικάλων και το βορειοδυτικό του νομού Καρδίτσας.

Το φαινόμενο των κατολισθήσεων στην περιοχή μελέτης δεν είναι νέο φαινόμενο, ούτε εκδηλώθηκαν μία φορά και σταμάτησαν. Για τα γεγονότα αυτά υπάρχουν ιστορικές αναφορές και τεχνικές μελέτες για πάνω από 50 χρόνια. Είναι βέβαιο ότι τα υπήρξε εκδήλωση τέτοιων φαινομένων και πολύ πριν το 1960.

Η μορφολογία της περιοχής, με το κεντρικό μεγάλο βύθισμα, τα τοπικά μικρότερα βυθίσματα, τα αντερείσματα, τις εναλλαγές των μορφολογικών κλίσεων και την ύπαρξη επάλληλων αναβαθμίδων παραπέμπουν γεωμορφολογικά σε πιθανές παλαιο-κατολισθήσεις, οι οποίες έχουν εκδηλωθεί και επαναδραστηριοποιηθεί αρκετές φορές κατά το παρελθόν. Βέβαια δεν υπάρχουν παλαιότερες από το 1963 ιστορικές και γεωλογικές αναφορές για κατολισθήσεις στην περιοχή. Στην μορφή του αναγλύφου έχουν αποτυπωθεί και πιστοποιούν παλαιότερα κατολισθητικά γεγονότα.

Είναι σίγουρο ότι στο μέλλον θα υπάρξει εκδήλωση νέων φαινομένων ή επαναδραστηριοποίηση παλαιών γεγονότων, όσο θα υπάρχουν τουλάχιστον οι φυσικοί παράγοντες που ενεργοποιούν τον μηχανισμό εκδήλωσης μίας κατολίσθησης.

Τα κατολισθητικά φαινόμενα σε διαφορετικές θέσεις της κοινότητας του Ροπωτού, όπως για παράδειγμα του κεντρικού συνοικισμού ή των συνοικισμών Δημητράκαινα ή του επαρχιακού δρόμου, ο οποίος οδηγεί στον κεντρικό συνοικισμό, δείχνουν ότι είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και δεν σχετίζονται. Αλλά στην πραγματικότητα δεν είναι αποκομμένα και σχετίζονται σίγουρα με το ευρύτερο φαινόμενο των κατολισθητικών φαινομένων της ευρύτερης περιοχής.

Στον μηχανισμό εκδήλωσης μίας κατολίσθησης στη περιοχή εντάσσεται η έντονη τεκτονική καταπόνηση των λιθολογικών σχηματισμών. Οι τεκτονικές ασυνέχειες στην περιοχή μας δημιουργούν τεκτονικές σφήνες εντός του ανοίγματος των οποίων παρατηρείται η κατ' επανάληψη εκδήλωση κατολισθήσεων.

Άλλοι σημαντικοί παράγοντες, που ενεργοποιούν τον μηχανισμό εκδήλωσης μίας κατολίσθησης στην περιοχή, είναι το μεγάλο ύψος

βροχής, οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις, η ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων νερού από πηγές, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες - παρεμβάσεις και κυρίως η λιθολογία. Η ύπαρξη των σχηματισμών του φλύσχη, ο οποίος κατά τόπους δημιουργεί μεγάλο πάχος μανδύα αποσάθρωσης, ευνοεί την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων με επιφάνεια ολίσθησης το υποκείμενο υγιές ψαμμιτικό ορίζοντα του φλύσχη.

Επειδή τα κατολισθητικά φαινόμενα παρουσιάζουν επαναληψιμότητα, καθώς επίσης και συνεχείς επαναδραστηριοποιήσεις, για το λόγο αυτό για την αντιμετώπιση των εκδηλωθέντων κατολισθήσεων και την προστασία της ζωής και των περιουσιών των κατοίκων θα πρέπει να ληφθούν μέτρα, των οποίων όμως θα πρέπει να προηγηθεί επισταμένη μελέτη των παραγόντων, που έχουν προκαλέσει τα κατολισθητικά γεγονότα. Τέτοια μέτρα εκτός από την μετεγκατάσταση των κατοίκων είναι η ελάφρυνση των πρανών, η σταθεροποίηση τους, η στεγανοποίηση τους και η απομάκρυνση των νερών κ.λ.π.

Για τη δημιουργία του χάρτη της κατολισθητικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης αρχικά καταγράφηκαν τα κατολισθητικά φαινόμενα. Ο αριθμός των κατολισθητικών φαινομένων είναι 188, τα οποία κατανέμονται κυρίως στο κεντρικό, βορειοδυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

Στην συνέχεια προσδιορίστηκαν οι παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στην εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων οι οποίοι είναι: η λιθολογία, τα τεκτονικά στοιχεία, οι μορφολογικές κλίσεις, ο προσανατολισμός των πρανών, οι βροχοπτώσεις, το υψόμετρο, οι χρήσεις γης, το οδικό δίκτυο και το υδρογραφικό δίκτυο. Οι παράγοντες χωρίστηκαν σε κατηγορίες οι οποίες βαθμονομήθηκαν με τιμές από 0 έως 4. Οι παράγοντες αλληλοσυσχετίστηκαν και βαθμονομήθηκαν στην με τη χρήση ενός πολυκριτηριακού μοντέλου και συγκεκριμένα με την εφαρμογή της μεθόδου της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης. Επιπλέον, υπολογίστηκε η αβεβαιότητα της εφαρμοζόμενης μεθόδου με την εφαρμογή τριών διαφορετικών σεναρίων που οδήγησαν και σε τρεις διαφορετικούς χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας. Τα αποτελέσματα ελέχθησαν για την αξιοπιστία τους με τη σχέση συχνότητας των κατολισθητικών φαινομένων.

Η εφαρμογή του πολυκριτηριακού μοντέλου οδήγησε στην δημιουργία ενός χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας ο οποίος και κατηγοριοποιήθηκε σε πέντε διαβαθμισμένες ζώνες: πολύ χαμηλής,

χαμηλής, μέτριας, υψηλής, και πολύ υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι ο κίνδυνος προκαλείται από τη συλλογική και σύγχρονη επίδραση πολλών παραγόντων κατολισθησιμότητας. Όσον αφορά τη χωρική κατανομή των ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας οι περιοχές πολύ υψηλού κινδύνου για εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων παρατηρούνται κυρίως στο κεντρικό, στο βόρειο, στο βορειοδυτικό και στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Η ποσοτική ανάλυση των ζωνών έδειξε ότι οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των εκτάσεων τους αλλά και των τιμών της ποσοστιαίας αναλογίας τους είναι πολύ μικρές.

Η μελέτη της αβεβαιότητας του εφαρμοζόμενου μοντέλου έδειξε ότι δεν παρατηρούνται μεταβολές στην χωρική κατανομή των ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας, ενώ οι μεταβολές των εκτάσεων των ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας για τους χάρτες των τριών διαφορετικών σεναρίων είναι σχετικά μικρές. Επομένως δεν υπάρχουν ποιοτικές και ποσοτικές επιπτώσεις από την εφαρμοζόμενη μέθοδο στα αποτελέσματα του παραγόμενου χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα του χάρτη δεν παρουσιάζουν μεγάλη αβεβαιότητα, είναι αξιόπιστα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον αναπτυξιακό προγραμματισμό και το σχεδιασμό των χρήσεων της γης της περιοχής όπως και σε σχέδια λήψης μέτρων αντιμετώπισης των κατολισθητικών φαινομένων.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι ο χάρτης της εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας παρουσιάζει επαρκή συσχέτιση με τις καταγεγραμμένες κατολισθήσεις. Η επιτυχής ταύτιση των ζωνών της κατολισθητικής επικινδυνότητας και της κατανομής των κατολισθητικών φαινομένων αποδεικνύει την πολύ καλή ποιότητα και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του χάρτη εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας.

Τέλος, η ζώνη πολύ υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας κινδύνου συσχετίστηκε χωρικά με το υφιστάμενο οδικό δίκτυο και τους οικισμούς που βρίσκονται της περιοχής μελέτης. Η συσχέτιση έδειξε ότι 230 χιλιόμετρα, από τα 563 χιλιόμετρα του συνολικού του οδικού δικτύου και 19 οικισμοί από τους συνολικά 53 της περιοχής μελέτης βρίσκονται μέσα στα όρια της ζώνης πολύ υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας. Συνεπώς, η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στην ζώνη αυτή έχει άμεσες οικονομικές απώλειες στην περιοχή. Η αποτελεσματική αντιμετώπισή τους απαιτεί την πλήρη γνώση των συνθηκών δημιουργίας και εξέλιξης των φαινομένων με την εκπόνηση κατάλληλων μελετών οι

οποίες θα οδηγήσουν στην σωστή επιλογή και εφαρμογή μέτρων προστασίας.

Η χωρική απεικόνιση των περιοχών, οι οποίες παρουσιάζουν επικινδυνότητα σε κατολισθήσεις, είναι ένας χρήσιμος οδηγός για τη διαχείριση των φυσικών καταστροφών, καθώς επίσης για τον αναπτυξιακό προγραμματισμό και το σχεδιασμό των χρήσεων της γης μιας περιοχής. Τέλος αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στο σχεδιασμό και την κατασκευή των οικοδομικών και γενικότερα των τεχνικών έργων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Alexander, E.D.** (1995): A survey of the field of natural hazards and disaster studies. *In: Carrara, A., Guzzetti, F. (eds.) Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards.* Kluwer Acad. Publ, Dordrecht, The Netherlands, p. 1 – 19.
- **Apostolidis, E., Koukis, G.** (2013): Engineering - geological conditions of the formations in the Western Thessaly basin, Greece. *Central European Journal of Geosciences*, 5 (3): 407-422, Springer-Versita.
- **Ardaens, R.** (1978): Geologie de la chaine du Vardoussia comparaison avec de massif du Koziakas (Grece continentale). *These 3rd cycle*, Univ. Lille, 222 p.
- **Aubouin, J.** (1955): Une coupe du Pinde meridional entre la Thessalie et l' Epire (Grece). *Extrait Bulletin Société Géologique de France*, 6e serie, v. 5, p. 143 – 154.
- **Aubouin, J.** (1957): A propos de la serie du Pinde – Olonos. Essai de correlations stratigraphiques dans le Pinde meridional. *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, v. 8, p. 246 – 262.
- **Aubouin, J.** (1959a): Carte Géologique d'une partie de l'Epire et de la Thessalie. Echelle 1:200.000. *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, v. X. Athènes.
- **Aubouin, J.** (1959b): Contribution a l'étude géologique de la Grèce septentrionale : Les confins et de la Thessalie (I thèse, Paris 1958). *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, v. 10, 525 p.
- **Aubouin, J., Bonneau, M.** (1977): Sur la presence d' un attleurement de flysch eocretace (Beotien) au front des Unites du Koziakas (Thessalie, Grece): la limite entre les zones externes et les zones internes dans les Hellenides. *C.R.Ac.Sc. Paris*, v. 284/D, p. 2075 – 2078.
- **Bathrellos, G.D.** (2007): An overview in Urban Geology and Urban Geomorphology. *Bull. Geol. Soc. of Greece*, v. 40 (3), p. 1354–1364.
- **Bathrellos, G.D., Gaki-Papanastassiou, K., Skilodimou H.D., Papanastassiou, D., Chousianitis, K.G.**, (2012): Potential suitability for urban planning and industry development by using natural hazard maps and geological - geomorphological parameters. *Environmental Earth Sciences*, 66(2), p. 537–548.
- **Bathrellos, G.D., Gaki-Papanastassiou, K., Skilodimou, H.D., Skianis, G.A., Chousianitis, K.G.** (2013): Assessment of rural community and agricultural development using geomorphological-geological factors and GIS in the Trikala prefecture (Central Greece). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(2), p. 573-588.
- **Bathrellos, G.D., Kalivas D.P., Skilodimou H.D.** (2009): GIS-based landslide susceptibility mapping models applied to natural and urban

- planning in Trikala, Central Greece. *Estudios Geológicos*, v. 65 (1), p. 49-65.
- **Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D.** (2007): Using the Analytic Hierarchy Process to create an Erosion Risk Map. A case study in Malakasiotiko stream, Trikala prefecture. *Bull. Geol. Soc. of Greece*, v. 40 (4), p. 1904–1364.
 - **Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D., Chousianitis, K.G.** (2010): Soil erosion assessment in southern Evia Island using USLE and GIS. *Bull. Geol. Soc. of Greece*, v. 43 (3), p. 1572–1581.
 - **Benke, KK, Pelizaro, C, Lowell, K.E** (2009): Uncertainty in Multi-Criteria Evaluation Techniques When Used for Land Suitability Analysis. *In: Cao, W., White, J.W., Wang, E. (eds) Crop Modeling and decision Support*. Springer, Berlin.
 - **Blumenthal, M.** (1931): Uber den tektonischen Verband ostelpeischer Gebirge. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, v. 24, p. 347 – 372.
 - **Bossard M, Feranec J, Otahel J** (2000): CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. European Environment Agency, Copenhagen, p 104.
 - **Caputo, R., Παυλιδης, Σ.** (1991): Νεοτεκτονική δομή και εξέλιξη της Θεσσαλίας. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τομ. XXV/3, σελ. 119 – 133.
 - **Cave, P.W.** (1992): Hazard acceptability thresholds for development approvals by local government. *In: Bobrowsky, P. (ed.), Geologic Hazards in British Columbia*. BC Geological Survey Branch, Open file, v. 15, p. 15 – 26.
 - **Cayeux, L.** (1903): Phénomènes de charriage dans la Méditerranée orientale. *C.R.Acad. Sc. Paris*, v. 136, p. 474 – 476.
 - **Celet, P., Ardaens, R., Courtin, B., Ferriere, J.** (1978): Signification des séries du Koziakas et du Vardoussia (Grèce continentale). *C.R.Ac.Sc. Paris*, v. 287/D, p. 229 – 232.
 - **Celet, P., Clement, B.** (1971): Sur la présence d' une nouvelle unité paléogéographique et structurale en Grèce continentale du sud: l' unité du flysch beotien. *C.R. somm. Soc. Geol. France*, v. XIII, p. 43 – 47.
 - **Chen Y, Yu J, Khan S** (2010): Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling & Software*, v. 25, p.1582-1591.
 - **Chung, C.F., Fabbri, A.G., Westen, C.J.** (1995): Multivariate regression analysis of landslide hazard zonation. *Geographic Information Systems in Assessment Natural Hazards*, v. 65(12), p. 107–133.
 - **Clement, B.** (1971): Découverte d' un flysch éocène en Beotie (Grèce continentale). *C.R.Ac.Sc. Paris*, v. 272, D, p. 791 – 792.
 - **Comninakis, P.E., Papazachos, B.C.** (1982): A catalogue of Earthquakes in Greece and the surrounding area for the period 1901–1980. *Univ. Thessaloniki, Geophys. Lab. Publ. No. 5*, Thessaloniki, 146.

- **Coppock, M.D.** (1995): A survey of the field of natural hazards and disaster studies. *In: Carrara, A. and Guzzetti, F. (eds.), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards.* Kluwer Acad. Publ, Dordrecht, The Netherlands, p. 21 – 34.
- **Dai, F. C., Lee, C.F., Zhang X.H,** (2001): GIS-based geo-environmental evaluation for urban land use planning: a case study *Engineering Geology*, v. 61, p. 257 – 271.
- **Dai, F.C., Lee, C.F.** (2001): Frequency – volume and prediction of rainfall – induced landslides. *Engineering Geology*, v. 59, p. 253 – 266.
- **De Silva, F., Pidd, M., Eglese, R.** (1993): Spatial decision support system for emergency planning: an operational research/geographic information systems approach to evacuation planning. *In: Sullivan, J.D. (ed.), International Emergency Management and Engineering Conference.* Society for Computer Simulation, p. 130 – 133.
- **Doutsos, T.** (1980): Postalpine Geodynamik Thessaliens (Griechenland). *Zeitschr. Deutsch. geol. Ges*, v. 131, p. 685 – 698.
- **Emmi, P.C., Horton, C.A.** (1995): A Monte Carlo simulation of error propagation in a GIS-based assessment of seismic risk. *International Journal of Geographic Information Systems*, v. 9, p. 447 – 461.
- **Ferriere, J.** (1974): Nouvelles données stratigraphiques fur le massif du Koziakas. *C.R.Ac.Sc. Paris*, v. 278, D, p. 995 – 998.
- **Ferriere, J.** (1976): Sur la signification des séries du massif de l’Othrys (Grèce continentale-orientale): la zone isopique maliaque. *Societe Geologique du Nord*, Publ., n. 96, p. 121 – 134.
- **Gomez, H., Kavzoulu, T.** (in press): Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, article in press.
- **Guzzetti, F., Carrara A., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1999):** Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, v. 31, p. 181 – 216.
- **Hansen, A.** (1984): Landslide hazard. *In: Brunsden, D., Prior, D.B. (eds) Slope Instability*, J. Wiley & Sons, p. 523 – 602. New York.
- **Jaeger, P.** (1979): Géologie du Massif du Koziakas et de la chaîne du Pinde face a Mouzaki (Grèce continentale). *These 3rd cycle*, Univ. Paris, v. 6, 146 p.
- **Jaeger, P.** (1980): Nouvelles données sur la géologie de la région de Mouzaki, province de Karditsa (Grèce continentale). Relations entre les séries pindique, béotienne et ultrapindique. *Bulletin Société Géologique de France*, (7), v. XXII/1, p. 135 – 143.
- **Jaeger, P., Chotin, P.** (1978): La série du flysch béotien (Tithonique – Berriasien supérieur) du front du Koziakas (Mouzaki, province de Karditsa, Grèce). *C.R. somm. Soc. Geol. France*, v. 1, p. 28 – 31.
- **Kenny, F.** (1997): Geographic information systems and remote sensing techniques in Environmental Assessment. *In: Eyles N., (ed.):*

Environmental Geology of Urban Areas. Geological Association of Canada, *GEOtext3*, p. 507 – 518.

- **Koukis, G., Sabatakakis, N., Nikolaou, N., Loupasakis, C.** (2005): Landslide hazard zonation in Greece. *In: Sassa K, Fukuoka H, Wang F, Wang G* (eds) Proceedings of open symposium on landslide risk analysis and sustainable disaster management in the First General Assembly of International Consortium on Landslides, Springer-Verlag, Berlin, pp 291–296
- **Lekkas, E., Lozios, S., Bertakis, G., Vassilopoulou, S.** (1995): Management of geoenvironmental problems (Natural Hazards). A method for Landslide hazard assessment using Geographical Information Systems (GIS). *Geol. Soc. Greece, Sp. Publ.*, v. 4, p. 998 – 1001.
- **Lekkas, E., Vasilopoulou, S., Hadzinakos, I.** (1998a): Engineering Geological Conditions – Landslide Phenomena in the village of Ropoto Trikala, Greece. *Proceedings of 8th International Congress of International Association for Engineering Geology and the Environment*, 21-25 September 1998, Vancouver, Canada, 3: 1807-1812, Balkema.
- **Lekkas, E., Vasilopoulou, S., Hadzinakos, I.** (1998b): G.I.S. aided landslide management in Ropoto (Trikala, Greece). Raster - Vector data treatment. *Proceedings of 8th International Congress of International Association for Engineering Geology and the Environment*, 21-25 September 1998, Vancouver, Canada, 3: 1759-1763, Balkema.
- **Malczewski, J.** (1999): GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons Inc., New York.
- **Marinoni, O.** (2004): Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, v. 30, 637 – 646.
- **McDermid, G., Franklin, S.** (1995): Remote sensing and geomorphometric discrimination of slope processes. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 101, p. 165 – 185.
- **Migiros, G., Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D., Karamousalis, T.** (2011): Pinios (Peneus) River (Central Greece): Hydrological – Geomorphological elements and changes during the Quaternary. *Central European Journal of Geosciences*, v. 3(2), p. 215–228.
- **Migiros, G., Kanaki-Mavridou, F., Karantassi, S., Skourtsi-Coroneou, V.** (1988): The ophiolitic formations of north Pindos. *Ofioliti*, v. 13 (2/3), p. 178 – 179.
- **Negris, P.** (1906a): Sur la nappe charriee du Peloponnese. *C. R. Acad. Sc. Paris*, v. 142, p. 182 – 184.
- **Negris, P.** (1906b). Sur la géologie du mont Ithome en Messenie. *C.R.Acad. Sc. Paris*, v. 143, p. 703 – 705

- **Panagopoulos, G.P., Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D., Martsouka, F.A.** (2012): Mapping Urban Water Demands Using Multi-Criteria Analysis and GIS. *Water Resources Management*, v. 26(5), p. 1347-1363.
- **Papadopoulou-Vrynioti, K., Alexakis, D., Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D., Vryniotis, D., Vassiliades, E.** (2013): Distribution of trace elements in stream sediments of Arta plain (West western Hellas): the influence of geomorphological parameters. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 134, p. 17-26.
- **Papadopoulou-Vrynioti, K., Alexakis, D., Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D., Vryniotis, D., Vasiliades, E.** (2014): Environmental research and evaluation of agricultural soil of the Arta plain, western Hellas. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 136, p. 84-92.
- **Papadopoulou-Vrynioti, K., Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D., Kaviris, G., Makropoulos, K.,** (2013): Karst collapse susceptibility mapping considering peak ground acceleration in a rapidly growing urban area. *Engineering Geology*, v. 158, p. 77-88.
- **Papanikolaou, D., Sideris, C.** (1979): Sur la signification des zones «ultrapindique» et «beotienne» d' apres la geologic de la region de Karditsa: l' unite de Thessalie Occidentate. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, v. 72/1, p. 251 – 261.
- **Papazachos, B., Papazachou, C.** (1997): The Earthquakes of Greece. Eds. Ziti, 304 p.
- **Philippson, A.** (1895a): Zur Pindos Geologie. Verh. Geol. R. A., Wien, p. 277 – 289.
- **Philippson, A.** (1895b): Zur Pindos Geologie. Sep.-Abdruck Verh.d.K.K.geol. Reichsanstalt, n. 10, 277 p.
- **Philippson, A.** (1895c). Zur Geologie des Pindos-Gebirges. Sep.-Abdruck Stzung. Niederhein, Gesellsch., f. Natur.-u. Heilk. Zu Bohn, p. 1 – 9.
- **Philippson, A.** (1898): La tectonique de l' Egeide. Ann. De Geographie, p. 112 – 141.
- **Pradhan, B., Chaudhari, A., Adinarayana, J., Buchroithner, M.F.** (2012): Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: a case study at Penang Island, Malaysia. *Environ Monit Assess*, v. 184:715–727
- **Pradhan, B., Lee, S.** (2010): Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. *Environ Earth Sci*, v. 60, p. 1037–1054.
- **Rejeski, D.** (1993): GIS and risk: a three culture problem. In: Goodchill, M.F., Parks, B.O., Steyaert, L.T. (eds). Environmental modeling with GIS. Oxford University Press, p. 318 – 331. New York.

- **Renz, C.** (1930): Geologische Reisen im griechischen Pindosgebirge. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, v. 23, p. 301 – 377.
- **Renz, C.** (1940): Die Tektonik der Griechischen Gebirge. Mem. Acad. Athens, v. 8, p. 1 – 171.
- **Renz, C.** (1955): Die vorneogene Stratigraphie der normal-sedimentaren Formationen Griechenlands. I.G.S.R.Ed., 637 p.
- **Rosenfeld, C.L.** (1994): The geomorphological dimensions of natural disasters. *Geomorphology*, v. 10, p. 27 – 36.
- **Rozos, D., Pyrgiotis, L., Skias, S., Tsagaratos, P.** (2008): An implementation of rock engineering system for ranking the instability potential of natural slopes in Greek territory. An application in Karditsa County. *Landslides*, v. 5, p 261–270.
- **Rozos, D., Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D.** (2010): Landslide susceptibility mapping of the northeastern part of Achaia Prefecture using Analytical Hierarchical Process and GIS techniques. *Bull. Geol. Soc. of Greece*, v. 43 (3), p. 1637–1646.
- **Rozos, D., Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D.** (2011): Comparison of the implementation of Rock Engineering System (RES) and Analytic Hierarchy Process (AHP) methods, based on landslide susceptibility maps, compiled in GIS environment. A case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece. *Environmental Earth Sciences*, v. 63(1), p. 49–63
- **Rozos, D., Skilodimou, H.D., Loupasakis C., Bathrellos G.D.** (2013): Application of the revised universal soil loss equation model on landslide prevention. An example from N. Euboea (Evia) Island, Greece. *Environmental Earth Sciences*, v. 70(7), p. 3255-3266.
- **Saaty, T.L.** (1977): A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, p. 234–281.
- **Saaty, T.L.** (1990): How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European of Operational Research*, v. 48, p. 2–26.
- **Saaty, T.L.** (2004): Decision making – The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, v. 13 (1), p. 1 – 35.
- **Sabatakakis, N., Koukis, G., Vassiliades, E., Lainas, S.** (2013): Landslide susceptibility zonation in Greece. *Natural Hazards*, 65 (1): 523-543, Springer.
- **Scadone, P., Radoicic, R.** (1974): The ultrapindic zone in Greece. *Bull. Soc. Geol. Ital.*, v. 93, p. 1049 – 1058.
- **Schuster, R.L., Fleming, R.W.** (1986): Economic losses and fatalities due to landslides. *Bulletin Association of Engineering Geologist*, v. 23 (1), p. 11 – 28.
- **Slaymaker, O.** (1997): *Geomorphic Hazards*. J. Wiley & Sons, Publ., 204 p.
- **Slovic, P.** (1986): Informing and educating the public about risk. *Risk Analysis*, v. 6, p. 403 – 415.

- **Svoray, T., Bar (Kutiel), P., Bannet, T.** (2005): Urban land-use allocation in a Mediterranean ecotone: Habitat Heterogeneity Model incorporated in a GIS using a multi-criteria mechanism. *Landscape and Urban Planning*, v. 72, p. 337-351.
- **Thapa, R.B., Murayama, Y.** (2008): Land evaluation for peri-urban agriculture using analytical hierarchical process and geographic information system techniques: A case study of Hanoi. *Land Use Policy*, v. 25, p. 225 – 239.
- **Voogd H** (1983): Multicriteria evaluation for urban and regional planning. Pion, London, p 367
- **Wang, X.D., Zhong, X.H., Liu, S.Z., Liu, J.G, Wang, Z.Y., Li, M.H.** (2008): Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method. *Journal of Arid Environments*, v. 72, p. 1929 – 1939.
- **Wasowski, J., Del Gaudio, V.** (2001): Evaluating seismically induced mass movement hazard in Caramanico Terme (Italy). *Engineering Geology*, v. 58, p. 291 – 311.
- **White, A.V., Burton, I.** (1980): Environmental risk assessment. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), v. 15, 176 p.
- **Zerger, A.** (2002): Examining GIS decision utility for natural hazard risk modeling. *Environmental Modeling & Software*, v. 17, p. 287 – 294.
- **Zerger, A.** (2002): Examining GIS decision utility for natural hazard risk modeling. *Environmental Modeling & Software*, v. 17, p. 287 – 294.
- **Zografos, K.G., Douligieris, C., Tsoumpas P.** (1994): Using a GIS platform for design and analysis of emergency response operations. In: Sullivan, J.D. (Ed), International Emergency Management and Engineering Conference. Hollywood FL, p. 14 – 19.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Aubouin, J.** (1961): Φύλλο «ΚΑΣΤΑΝΕΑ», γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Ι.Γ.Ε.Υ. Αθήνα.
- **Αγγελίδης, Χ.** (1984): Γεωτεχνική αναγνώριση για τις συνθήκες θεμελίωσης στις κοινότητες Βαλκάνο, Καλλιρόη, Ροπωτό, και Αγ. Προκόπιος του Ν. Τρικάλων. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Τ-1017.*
- **Αγγελίδης, Χ.** (1991α): Έκθεση γεωτεχνικής αναγνώρισης των κατολισθητικών φαινομένων στις κοινότητες Ανθούσας, Καλλιρόης, και Ροπωτού Ν. Τρικάλων. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Τ-1603.*
- **Αγγελίδης, Χ.** (1991β): Έκθεση γεωτεχνικής έρευνας των συνθηκών θεμελίωσης δημοτικού σχολείου Βατσουνιάς Ν. Καρδίτσας. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Τ-1581.*
- **Αγγελίδης, Χ.** (1991γ): Πρόδρομη έκθεση της μελέτης με τα προτεινόμενα μέτρα ανάσχεσης των κατολισθήσεων στον κεντρικό οικισμό Ροπωτού Ν. Τρικάλων. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Τ-1637.*
- **Αγγελίδης, Χ., Μπέλλας, Μ.** (1992): Μελέτη των γεωτεχνικών συνθηκών για την ασφαλή θεμελίωση σε σχέση με τις κατολισθήσεις της κοινότητας Ροπωτού, Ν. Τρικάλων. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Τ-1677.*
- **Αποστολίδης, Ε.** (1994α): Γεωτεχνική εξέταση των κατολισθητικών φαινομένων στην κοινότητα Βατσουνιάς, Ν. Καρδίτσας. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Τ-1764.*
- **Αποστολίδης, Ε.** (1994β): Έκθεση γεωτεχνικής εξέτασης των κατολισθητικών φαινομένων στην κοινότητα Ροπωτού, Ν. Τρικάλων. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Τ-1771.*
- **Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.)** (1987α): Φύλλο «Καλαμπάκα», τοπογραφικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Αθήνα.
- **Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.)** (1988): Φύλλο «Μουζάκιον», τοπογραφικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Αθήνα.
- **Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.)** (1987β): Φύλλο «Μυρόφυλλον», τοπογραφικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Αθήνα.
- **Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.)** (1987γ): Φύλλο «Καστανέα», τοπογραφικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Αθήνα.
- **Δούνας, Α.** (1963α): Έκθεσις επί των κατολισθήσεων της Κοινότητος Βατσουνιά Καρδίτσας. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Ε.Υ., Τ-237.*
- **Δούνας, Α.** (1963β): Έκθεσις επί των κατολισθήσεων της Κοινότητος Ροπωτού Καρδίτσας. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Ε.Υ., Τ-241.*
- **Ελευθερίου, Α., Μουγιάρης, Ν., Ρήγας, Κ.** (1976): Έκθεσις γεωτεχνικής αναγνωρίσεως κατολισθαιόντων οικισμών του Νομού Τρικάλων. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Τ-698.*
- **Καραγεωργίου, Ε.** (1963): Έκθεσις επί της κατολισθήσεως εις τον κοινοτικόν χώρον Αγίου Προκοπίου του Νομού Τρικάλων. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Ε.Υ., Τ-250.*

- **Καραγεωργίου, Ε.** (1966): Έκθεσις γεωτεχνικής μελέτης της κατολισθαινούσης περιοχής του κοινοτικού χώρου Αγίου Προκοπίου του Νομού Τρικάλων. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Ε.Υ., Τ-406.*
- **Καρφάκης, Ι.** (1993): Φύλλο «Μουζάκιον», γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα.
- **Κούκης, Γ.** (1979): Γεωτεχνική μελέτη κατολισθητικών φαινομένων στους οικισμούς Πύρρα, Ροπωτό και Παναγιά, Ν. Τρικάλων. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Τ-768.*
- **Κούκης, Γ., Ζιούρκας, Κ.** (1989): Κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο - Στατιστική θεώρηση. *Ορυκτός πλούτος*, τ. 58, σ. 39-58.
- **Κούκης, Γ., Ρόζος, Δ.** (1982): Γεωτεχνικές συνθήκες και κατολισθητικές κινήσεις στον Ελλαδικό Χώρο σε σχέση με τη γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη. *Ορυκτός Πλούτος*, τομ. 16, σελ. 53 – 69. Αθήνα.
- **Λέκκας, Ε.** (1988): Γεωλογική δομή και γεωδυναμική εξέλιξη της οροσειράς του Κόζιακα, Δυτική Θεσσαλία. *Γεωλογικές Μονογραφίες Νο 1, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Γεωλογικό Τμήμα, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας*, 281 σελ.
- **Λέκκας, Ε.** (1991): Η παρουσία της Ενότητας Δυτικής Θεσσαλίας στην περιοχή Δαφνοσπηλιάς-Κτημένης (Νότια Θεσσαλία). *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, τομ. XXV/1, σελ. 231 – 244
- **Λέκκας, Ε.** (1996): Αντιμετώπιση κατολισθητικών φαινομένων κοινότητας Ροπωτού Τρικάλων. *Τεχνική έκθεση Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας.*
- **Λέκκας, Ε.** (2000): Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές. *Access Pre-Press*, σελ. 278. Αθήνα.
- **Μανάκος, Κ.** (1993): Φύλλο «Μυρόφυλλον», γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα.
- **Μαρίνος, Π.** (1988): Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας. Αθήνα.
- **Μαυρίδης, Α., Πλαστήρας, Β., Μιγκίρος, Γ., Μανάκος, Κ.** (1985): Γεωλογική μελέτη για την εκτροπή του Αχελώου στη Θεσσαλία. Έκθεση για την Δ.Ε.Η., Ι.Γ.Μ.Ε., 61 σελ.
- **Μιγκίρος, Γ.** (2005): Ειδικά Μαθήματα Γεωλογικών Εφαρμογών. *Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών*, σελ. 270.
- **Μιγκίρος, Γ., Μάνακος, Β., Σκουρτσή-Κορωναίου, Β., Καρφάκης, Ι.** (1989): Συμβολή στη γνώση της γεωλογίας του Κόζιακα, περιοχή Μουζακίου-Πύλης, Δ. Θεσσαλία. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, τομ. XXIII/1, σελ. 381 – 393.
- **Μπαθρέλλος, Γ.** (2008α): Γεωλογική, γεωμορφολογική και γεωγραφική μελέτη των αστικών περιοχών του Νομού Τρικάλων – Δυτικής Θεσσαλίας. Ανάλυση και επεξεργασία γεωγραφικών, γεωμορφολογικών και γεωλογικών στοιχείων. *Γαία 15α, Δημοσιεύματα*

του Τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 286 σελ., ISBN 960-6608-46-8. Αθήνα.

- **Μπαθρέλλος, Γ.** (2008β): Γεωλογική, γεωμορφολογική και γεωγραφική μελέτη των αστικών περιοχών του Νομού Τρικάλων – Δυτικής Θεσσαλίας. Αστική Γεωλογία, Αστική Γεωμορφολογία και Εκτίμηση Φυσικών Κινδύνων – Ο Ρόλος τους στον Χωροταξικό Σχεδιασμό. *Γαία 15β, Δημοσιεύματα του Τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών*, 335 σελ., ISBN 960-6608-47-6. Αθήνα.
- **Μπαθρέλλος, Γ., Σκυλοδήμου, Χ.** (2006): Γεωμορφολογικοί κίνδυνοι και καταστροφές. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, τ. 39 (3), σ. 96–103. Αθήνα.
- **Μπαθρέλλος, Γ., Σκυλοδήμου, Χ., Κακαλίκια, Π.** (2005): Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας και η χρήση της στον φυσικό και αστικό σχεδιασμό. Παράδειγμα εφαρμογής η πεδιάδα Τρικάλων – Καλαμπάκας. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, τ. 38, σ. 147–156. Αθήνα.
- **Μπαθρέλλος, Γ., Σκυλοδήμου, Χ., Καλύβας, Δ.** (2010): Χαρτογράφηση περιοχών επικινδύνων σε κατολισθήσεις με μοντέλα βασισμένα σε κανόνες λογικής. *Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου*. Αθήνα, 4-7 Οκτωβρίου 2007, Ελληνική Γεωγραφική Εταιρεία, τ. 1, σ. 138–148. Αθήνα.
- **Μπαθρέλλος, Γ.Δ., Σκυλοδήμου, Χ.Δ.** (2008): Διερεύνηση κατολισθητικών κινδύνων στις τεχνικές κατασκευές. Περιοχή μελέτης: ορεινό τμήμα του νομού Τρικάλων (Δυτική Θεσσαλία). *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, τ. 42 (1), σ. 119–128. Αθήνα.
- **Μπαθρέλλος, Γ.Δ., Σκυλοδήμου, Χ.Δ., Λειβαδίτης, Γ.** (2009): Η εκτίμηση των Φυσικών Κινδύνων (κατολισθήσεις, διάβρωση και πλημμύρες) ως παράγοντας χωροταξικού σχεδιασμού στην περιοχή του Δήμου Καλαμπάκας. *Εισηγήσεις-Πρακτικά Γ' Ιστορικού Συνεδρίου Καλαμπάκας: «Η Καλαμπάκα μέσα από την ιστορία της»*, Καλαμπάκα, 7-9 Σεπτεμβρίου 2007, Δήμος Καλαμπάκας, τομ. Β, σ. 379–387. Εκδόσεις Γένεσις
- **Μπαθρέλλος, Γ.Δ., Σκυλοδήμου, Χ.Δ., Χουσιανίτης, Κ.** (2010): Εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης στην νήσο Ζάκυνθο με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. *Πρακτικά 9ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου*. Αθήνα, 4-6 Νοεμβρίου 2010, Ελληνική Γεωγραφική Εταιρεία, σ. 246–253. Αθήνα.
- **Μπέλλας, Μ., Τσιούμας, Β.** (2011): Γεωτεχνική – υδρογεωλογική μελέτη κατολισθητικών φαινομένων στο Τ.Δ. Ροπωτού, Δήμου Πύλης, Ν. Τρικάλων. *Τεχνική έκθεση Ε.Κ.Β.Α.Α. - Ι.Γ.Μ.Ε.Μ., Τ-2764*.
- **Παπανικολάου, Δ., Λέκκας, Ε.** (1979): Πλευρική μετάβαση μεταξύ της ζώνης της Πίνδου και της ενότητας Δυτ. Θεσσαλίας στην περιοχή Ταυρωπού. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, τομ. XIV/1, σελ. 70 – 84.

- **Savoyat, E., Λαλεχός, Ν.** (1972): Φύλλο «Καλαμπάκα», γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα.
- **Τζιτζιρας, Α.** (1981): Γεωτεχνική έρευνα για τα κατολισθητικά φαινόμενα στους οικισμούς Κερασέα, Βατσουινιά, Μεσοβούνι, Πετρωτό και Βαθύλακκο, Ν. Καρδίτσας. *Τεχνική έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Τ-849.*
- **Φλόκας, Α.** (1988): Συμβολή στη μελέτη των κλιματικών παραμέτρων της ευρύτερης περιοχής των Τρικάλων. *Φ.Ι.Λ.Ο.Σ., Τρικαλινά, Πρακτικά 1ου Συμποσίου Τρικαλινών Σπουδών τ.: 8, σ.: 471-488.*
- **Φλόκας, Α., Σούλιος, Γ., Πεννάς, Π.** (1991): Υδρολογικό ισοζύγιο λεκανών περιοχής Ν. Τρικάλων. *Φ.Ι.Λ.Ο.Σ., Τρικαλινά, Πρακτικά 2ου Συμποσίου Τρικαλινών Σπουδών, τ. 11, σ. 457 - 464.*