

Διερεύνηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας στις τεχνικές κατασκευές. Περιοχή μελέτης: ορεινό τμήμα του νομού Τρικάλων (Δυτική Θεσσαλία)

ΜΠΑΘΡΕΛΛΟΣ Γ.Δ.⁽¹⁾, ΣΚΥΛΟΔΗΜΟΥ Χ.Δ.⁽¹⁾

ABSTRACT

Landslides are one of the most common and widespread natural hazards that cause serious property damages and in many cases loss of human lives. The landslide phenomena cause significant damages upon settlements and road networks in the mountainous part of Trikala Prefecture in western Thessaly.

The spatial representation of landslide susceptible areas is important in natural disaster management as well as in planning development and it can be applied for determining land use zones. Moreover it is a use full tool in construction design and planning various future projects.

In this paper the impacts of landslide phenomena in constructions were studied. The road network and the settlements of the study area with very high and high landslide susceptible zones were related by using GIS capabilities. For this reason a landslide susceptibility map was presented. The map according with the estimated degree of landslide susceptibility was classified into four zones: low, moderate, high, and very high susceptible zone.

The length of the road network and the number of the settlements laid on the very high and the high susceptible zones were calculated. As results of the analysis it was found that from 1.578 km of the road network, the 366 km (23,21%) are in very high hazard, the 690 km (43,07%) are in high hazard, while overall 1.056 km are in hazard. 15 (13,39%) settlements are in very high hazard, 46 (41,07%) are in high hazard and overall 61 (54,46%) are in hazard from 112 settlements. Thus, the appearance of landslide phenomena has direct social and economic impacts in the study area.

Keywords: Landslides, constructions, G.I.S, Trikala, W.Thessaly.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι κατολισθήσεις είναι, παγκόσμια, από τις πιο συχνές και διαδεδομένες φυσικές καταστροφές, οι οποίες προκαλούν σοβαρές υλικές ζημιές και σε πολλές περιπτώσεις απώλειες σε ανθρώπινες ζωές. Τα κατολισθητικά φαινόμενα στην περιοχή μελέτης, η οποία περιλαμβάνει το ορεινό τμήμα του νομού Τρικάλων στην Δυτική Θεσσαλία, προκαλούν κατά καιρούς σημαντικές ζημιές σε τμήματα οικιστικών μονάδων και του οδικού δικτύου.

Η χωρική απεικόνιση των περιοχών, οι οποίες παρουσιάζουν επικινδυνότητα σε κατολισθητικά φαινόμενα, είναι σημαντική στην διαχείριση των φυσικών καταστροφών, καθώς επίσης για τον αναπτυξιακό προγραμματισμό και το σχεδιασμό των χρήσεων της γης μιας περιοχής. Επιπλέον αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στον σχεδιασμό και την κατασκευή των οικοδομικών και γενικότερα των τεχνικών έργων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθούν οι επιπτώσεις των κατολισθητικών φαινομένων στις κατασκευές. Συσχετίστηκαν το οδικό δίκτυο και οι οικισμοί της περιοχής μελέτης με περιοχές - ζώνες υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου κατολισθησιμότητας. Για το σκοπό αυτό παρουσιάζεται χάρτης της κατολισθητικής επικινδυνότητας, ο οποίος οριοθετεί περιοχές, που είναι ευάλωτες σε κατολισθητικά φαινόμενα με διαβαθμισμένα επίπεδα κινδύνου. Συγκεκριμένα η περιοχή χωρίστηκε σε τέσσερις ζώνες: χαμηλής, μέσης, υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας.

INVESTIGATION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY UPON THE CONSTRUCTIONS. A CASE STUDY: MOUNTAINOUS PART OF TRIKALA PREFECTURE (WESTERN THESSALY).

¹Τομέας Γεωγραφίας & Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, Ελλάδα. E-mail: gbatziol@geology.upatras.gr, gbatziol@upatras.gr

Υπολογίσθηκαν το μήκος του οδικού δικτύου και ο αριθμός των οικισμών, που εμπίπτουν στις περιοχές των καθορισμένων ζωνών. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας έδειξαν ότι από τα 1.578 χλμ. του ορεινού οδικού δικτύου τα 366 χλμ. (23,21%) βρίσκονται σε μεγάλο κίνδυνο, τα 690 χλμ. (43,07%) είναι σε κίνδυνο, ενώ συνολικά κινδυνεύουν 1.056 χλμ. (66,92%). Όσον αφορά τοις οικιστικές μονάδες σε μεγάλο κίνδυνο είναι οι 15 (13,39%), σε κίνδυνο βρίσκονται οι 46 (41,07%), ενώ συνολικά κινδυνεύουν 61 (54,46%) από τις 112 οικιστικές μονάδες. Η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή έχει άμεσες οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

Λέξεις κλειδιά: Κατολισθήσεις, κατασκευές, Γ.Π.Σ., Τρίκαλα, Δ.Θεσσαλία.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κατολισθήσεις είναι από τους σημαντικότερους φυσικούς κινδύνους μιας και ετήσια προκαλούν τεράστιες υλικές ζημιές. Οι κατολισθήσεις μπορούν να προκληθούν από διαφορετικές φυσικές αιτίες όπως είναι οι έντονες βροχοπτώσεις (Sabatakakis et al., 2006), οι σεισμοί κ.ά. Όμως την αύξηση του πληθυσμού, 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 (Okura et al., 2003; Koyur, 2005).

Οι κατολισθήσεις κατά καιρούς έχουν προκαλέσει μεγάλους αριθμούς θυμάτων και τεράστιων οικονομικών απωλειών στις ορεινές περιοχές του κόσμου (Dai et al., 2002). Στην Ευρώπη οι κατολισθήσεις, προσβάλλουν συχνά τις ορεινές περιοχές. Χαρακτηρίζονται από μικρή πιθανότητα να εξελιχθούν σε ένα καταστροφικό γεγονός αλλά μπορούν να έχουν μεγάλες επιπτώσεις στον πληθυσμό, στις κατασκευές και στο περιβάλλον (Zêzere et al., 1999; Carrara et al., 2003; Bonnard, 2004; Remondo et al., 2005). Ιδιαίτερα στην Ελλάδα και κύρια στο δυτικό και κεντρικό ορεινό τμήμα της, εκδηλώνεται ο σημαντικότερος αριθμός κατολισθητικών φαινομένων. Οι επιπτώσεις των κατολισθήσεων είναι κυρίως η πρόκληση ζημιών σε κατασκευές (Κούκης & Ρόζος, 1982).

Η χωρική απεικόνιση των περιοχών, οι οποίες παρουσιάζουν επικινδυνότητα σε κατολισθητικά φαινόμενα, είναι σημαντικός παράγοντας στην διαχείριση και στην αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων. Επιπλέον αποτελεί ένα

χρήσιμο εργαλείο στον αναπτυξιακό προγραμματισμό, στον σχεδιασμό των χρήσεων της γης μιας περιοχής καθώς και στον σχεδιασμό και την κατασκευή των οικοδομικών και γενικότερα των τεχνικών έργων (Bathrellos et al., 2009).

Οι χάρτες εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας απεικονίζουν περιοχές με διαβαθμισμένα επίπεδα κινδύνου. Ο σκοπός τους είναι ο προσδιορισμός των περιοχών που απειλούνται από την παρούσα ή και μία πιθανή μελλοντική κατολίπηση (Van Westen et al., 1999, Γκουρνέλλος κ.ά., 2006; Castellanos et al, 2007).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι επιπτώσεις των κατολισθητικών φαινομένων στις κατασκευές. Το ορεινό τμήμα του νομού Τρικάλων αποτέλεσε την περιοχή μελέτης. Τα κατολισθητικά φαινόμενα στην περιοχή προκαλούν κατά καιρούς σημαντικές ζημιές σε τμήματα των οικισμών και του οδικού δικτύου και η εκδήλωση τους έχει άμεσες οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

Καταγραφήκαν οι κατολισθήσεις της περιοχής και παρουσιάστηκε ο χάρτης της κατολισθητικής επικινδυνότητας, που οριοθετεί περιοχές, οι οποίες είναι ευάλωτες σε κατολισθητικά φαινόμενα με διαβαθμισμένα επίπεδα κινδύνου. Τέλος συζητήθηκε το οδικό δίκτυο και οι οικισμοί της περιοχής μελέτης με περιοχές υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου κατολισθησιμότητας.

2. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στην δυτική Θεσσαλία και η έκτασή της είναι 1.631,21 τετ. χλμ. Το υψόμετρο της ορεινής αυτής περιοχής κυμαίνεται από 200 έως 2.204 μέτρα. Οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους της οροσειράς της Νότιας Πίνδου, του Κόζιακα, των Χασίων και

των Αντιχασίων. (Σχ. 1) Ο Πηνειός ποταμός αποστραγγίζει την περιοχή μελέτης.



Σχήμα 1: Η περιοχή μελέτης

Η γεωλογική αλπική δομή της περιοχής αποτελείται από τέσσερις γεωτεκτονικές ενότητες: της Πίνδου, του Κόζιακα, της Υποπελαγονικής και Πελαγονικής. Λιθολογικά η περιοχή απαρτίζεται από: τεταρτογενείς (αλλουβιακές αποθέσεις, κορήματα) και νεογενείς σχηματισμούς (χερσαίες αποθέσεις), μολασσικά ιζήματα, φλύσχη, ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι της Πίνδου του Κόζιακα, της Υποπελαγονικής), σχιστοκερατολιθική διάπλαση (κερατόλιθοι της Πίνδου, αργιλοπυριτωμένοι σχηματισμοί του Κόζιακα, ασβεστόλιθοι και κερστόλιθοι του Κόζιακα), μεταμορφωμένα και εκρηξιγενή πετρώματα και οφιαλιτικούς σχηματισμούς (Aubouin, 1961, Savoyat & Λαλεχός 1969, 1972, Μαυρίδης & Ματαράγκας, Δ. 1979, Κουμαντάκης & Ματαράγκας Δ. 1980, Σταμάτης 1987, Μιγκίρος κ.ά, 1989, Μανάκος, 1993).

3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα στοιχεία, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, ήταν:

- τοπογραφικοί χάρτες, κλίμακας 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού,
- Γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 ΙΓΜΕ και γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:100.000 (Μπαθρέλλος, 2005).
- δορυφορικές εικόνες, κλίμακας 1:500.000, (11-8-84 LANDSAT 5 TM BAND:4 TRACK:184

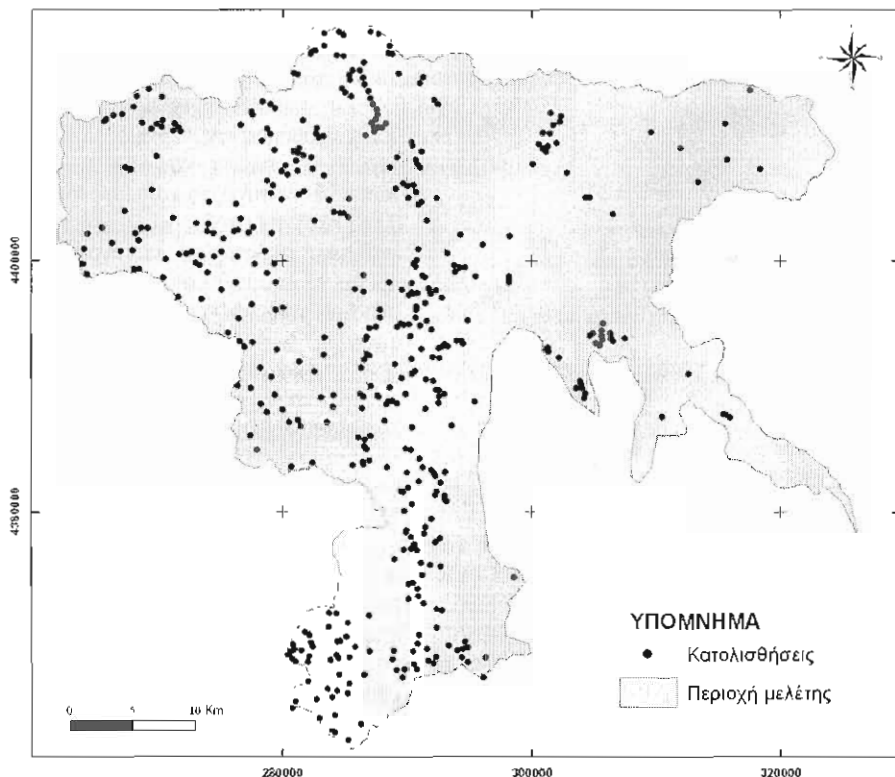
FRAME:032 Q:3 and 11-8-84 LANDSAT 5 TM BAND:5 TRACK:184 FRAME:033 Q:1).

- εργασία υπαίθρου.

Στα πλαίσια της εργασίας, καταγράφηκαν οι κατολισθήσεις της περιοχής μελέτης από τις δορυφορικές εικόνες και τους τοπογραφικούς χάρτες. Στην συνέχεια κατά την εργασία υπαίθρου, κατά την οποία πιστοποιήθηκαν οι κατολισθητικές κινήσεις και χαρτογραφήθηκαν. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο αριθμός των κατολισθήσεων από την επιτόπια εργασία υπαίθρου απαρτιζόταν τα πρόσφατα περιστατικά. Τα δεδομένα, τα οποία προέκυψαν, ψηφιοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού πακέτου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ARC/GIS. Οι κατολισθήσεις εισήχθησαν σε βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας.

Στη δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας αρχικά προσδιορίστηκαν οι παράγοντες που επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Συγκεκριμένα αναλύθηκαν, εισήχθησαν ως διαφορετικά επίπεδα στην βάση δεδομένων και συσχετίστηκαν η λιθολογία, η τεκτονική, οι μορφολογικές κλίσεις, το οδικό δίκτυο, το υδρογραφικό δίκτυο, η χρήση γης και οι βροχοπτώσεις. Βαθμονομήθηκαν οι παράγοντες και έγινε η συνολική εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας. Με τον τρόπο αυτό προέκυψε ο χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας ο οποίος κατηγοριοποιήθηκε σε διαβαθμισμένα επίπεδα κινδύνου. Οι κατηγορίες αυτές ήταν οι ζώνες: χαμηλής, μέσης, υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις. Επειδή ο χάρτης ήταν σε ψηφιδωτή μορφή (raster) μετατράπηκε σε ψηφιακή (vector) για την καλύτερη επεξεργασία των δεδομένων. Οι ζώνες πολύ υψηλής και υψηλής επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις διαχωρίστηκαν και εισήχθησαν στην βάση δεδομένων όπως επίσης και τα όρια των οικισμών.

Στην συνέχεια με τη βοήθεια των δυνατοτήτων του προγράμματος συσχετίστηκαν το οδικό δίκτυο και οι οικισμοί με τις ζώνες πολύ υψηλής και υψηλής επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις. Υπολογίστηκαν το μήκος του οδικού δικτύου



Σχήμα 2: Τα κατολισθητικά φαινόμενα της περιοχής μελέτης.

και ο αριθμός των οικισμών, που εμπίπτουν στις περιοχές των καθορισμένων ζωνών. Με τον τρόπο αυτό εντοπίστηκαν και καθορίστηκαν οι κατασκευές, οι οποίες απειλούνται άμεσα από κατολισθητικά φαινόμενα.

4. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα κατολισθητικά φαινόμενα τα οποία καταγράφηκαν παρουσιάζονται στο σχήμα 2. Συνολικά καταμετρήθηκαν 608 περιπτώσεις κατολισθητικών φαινομένων.

Στην περιοχή μελέτης, τα φαινόμενα αστάθειας περιλαμβάνουν κατολισθήσεις, καταπτώσεις, ερπυσμούς, πετρωμάτων και πραινών και κινήσεις υλικών. Συγκεκριμένα:

- έντονα φαινόμενα αστάθειας, καταπτώσεων, ερπυσμού και κατολισθήσεων καταγράφονται στους νεογενείς σχηματισμούς.
- φαινόμενα αστάθειας πραινών και καταπτώσεων υλικών εμφανίζονται στους χαλαρούς πρόσφατους Τεταρτογενείς σχηματισμούς και κυρίως σε κορήματα (Φωτ. 1).
- πολλά κατολισθητικά φαινόμενα παρουσιάζονται στις ζώνες των σχηματισμών του φλύσχη (Φωτ. 2), με σοβαρά προβλήματα στους οικισμούς, τους δρόμους και γενικά τις ανθρωπίνες κατασκευές.
- σημαντικά προβλήματα από καταπτώσεις παρουσιάζονται στις περιοχές που έχουν απότομες μορφολογικές κλίσεις, με εξαίρεση αυτές που αποτελούνται από τα συνεκτικά κροκολοπαγή των μολασσικών σχηματισμών και το κρυσταλλοσχιστώδες προαλπικό υπόβαθρο της Πελαγονικής ενότητας.



Φωτογραφία 1: Καταπτώσεις γαιών σε κορήματα στον οικισμό του Ορθοβουνίου.

• σημαντικά προβλήματα καταπτώσεων εμφανίζονται στις περιοχές που δομούνται από τα ασβεστολιθικά και κερατολιθικά καλύμματα, που επίκεινται πιο μαλακών σχηματισμών στη ζώνη Ωλανού – Πίνδου και Κόζιακα. Τα καλύμματα είναι έντονα καταπονημένα και συνήθως κατακερματισμένα στην επιφάνειά τους εξαιτίας των τεκτονικών διαρρήξεων και της πύχωσης τους.



Φωτογραφία 2: Κατολισθήσεις σε σχηματισμούς φλύσχη στο δρόμο Αμπελοχωρίου - Ματονερίου

Συνολικά τα μεγαλύτερα προβλήματα καταπτώσεων, κατολισθήσεων και γενικά κινήσεων υλικών παρατηρούνται στο δυτικό και στο νοτιοδυτικό τμήμα και συγκεκριμένα στο όρος Κόζιακα και στην ορασειρά της Νότιας Πίνδου.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επιδρούν στην εκδήλωση αυτών των φαινομένων είναι:

- η γεωλογική δομή των σχηματισμών,

- οι μορφολογικές κλίσεις,
- οι τεκτονικές ασυνέχειες,
- οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και κατασκευές (όπως για παράδειγμα οι δρόμοι, οι λατομικές και μεταλλευτικές δραστηριότητες),
- οι φυσικές υποσκαφές, οι οποίες δημιουργούνται από τους παταμούς και τους χειμάρρους,
- οι διακλάσεις, η στρώση του πετρώματος και η σχέση προσανατολισμού του πετρώματος με το προσανατολισμό του πρανούς,
- οι έντονες βροχοπτώσεις, και
- η παρουσία του νερού εντός των σχηματισμών.

Τα κατολισθητικά φαινόμενα έχουν προκαλέσει σοβαρές καταστροφές στην περιοχή μελέτης σε οικισμούς, δρόμους (Φωτ. 3, 4) και γενικά στις ανθρώπινες κατασκευές.



Φωτογραφία 3: Καθιζήσεις δρόμων σε σχηματισμούς κερατολίθων στην επαρχιακή οδό Τρικάλων – Άρτας



Φωτογραφία 4: Καταστροφές στο οδικό δίκτυο σε σχηματισμούς φλύσχη στο Ματονερί

5. ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Οι παράγοντες που αναλύθηκαν για την κατασκευή του χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας διαιρέθηκαν σε επιμέρους κατηγορίες. Οι λιθολογικοί σχηματισμοί διακρίθηκαν ανάλογα με τα τεχνικογεωλογικά τους χαρακτηριστικά (Κούκης και Ρόζος, 1982) σε: τεταρτογενείς, νεογενείς και μολασσοικούς σχηματισμούς, φλύσχη, ανθρακικά πετρώματα, σχιστοκερατολιθική διάπλαση, μεταμορφωμένα και εκρηξιγενή πετρώματα και οφιολιθικούς σχηματισμούς. Στα τεκτονικά στοιχεία τα οποία είναι οι φωτογραμμώσεις, τα ρήγματα, οι επωθήσεις και οι επιπεύσεις δημιουργήθηκαν συνολικά 45 κατηγορίες αποστάσεων, με ισοδιάστημα 100 μέτρων, με σκοπό τη διερεύνηση των κατολισθήσεων σε σχέση με την απόσταση από τα τεκτονικά στοιχεία. Οι μορφολογικές κλίσεις κατηγοριοποιήθηκαν στις εξής κατηγορίες: 0° – 10°, 10° – 20°, 20° – 30°, >30°. Όπως και στην περίπτωση των τεκτονικών στοιχείων έτσι και στο οδικό δίκτυο κατασκευάστηκαν 24 ζώνες αποστάσεων γύρω από τους δρόμους που το μήκος του ποικίλλει από 100 έως 2.400 μέτρα. Στο υδρογραφικό δίκτυο χρησιμοποιήθηκαν οι κλάδοι 3ης και μεγαλύτερης τάξης του υδρογραφικού δικτύου διότι εκτιμήθηκε ότι οι κλάδοι μεγάλων τάξεων προκαλούν μεγαλύτερα και σημαντικότερα προβλήματα διάβρωσης και υποσκαφών. Κατασκευάστηκαν ζώνες αποστάσεων με ισο-διάστημα 100 μέτρων και απόσταση από 100 έως 1.900 μέτρα. Οι χρήσεις γης κατηγοριοποιήθηκαν ως εξής: δασώδεις εκτάσεις, εναλλαγές δένδρων με θάμνους, θαμνώδεις εκτάσεις, χορτώδεις εκτάσεις με διάσπαρτα δένδρα και θάμνους, χορτώδεις εκτάσεις, καλλιεργήσιμες εκτάσεις και γυμνές εκτάσεις. Οι βροχοπτώσεις μελετήθηκαν με τη χρήση των πολυγώνων της μεθόδου Thiessen. Η περιοχή διαιρέθηκε σε δέκα πολύγωνα σε σχέση με το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης από τους υπάρχοντες δέκα τοπικούς μετεωρολογικούς σταθμούς (Bathrellos et al., 2009).

Επειδή η κάθε κατηγορία του κάθε παράγοντα έχει διαφορετική σημασία στην εκδήλωση κατολισθήσεων θεωρήθηκε απαραίτητη η βαθμονόμηση της. Αρχικά υπολογίστηκε ο αριθμός των κατολισθήσεων που εμπίπτει σε κάθε κατηγορία,

εκτιμήθηκε η συχνότητα των κατολισθήσεων σε κάθε μία. Οι κατηγορίες των παραγόντων βαθμονομήθηκαν με βάση την κατανομή της συχνότητας. Οι αριθμητικές τιμές των βαρών που δόθηκαν ήταν από 1 έως και 4. Σε κάθε κατηγορία, η τιμή τέσσερα αντιπροσωπεύει το μέγιστο (μεγάλος κίνδυνος κατολίσθησης), ενώ αντίθετα η τιμή ένα το ελάχιστο (μικρός κίνδυνος κατολίσθησης) (Μπαθρέλλος, 2005).

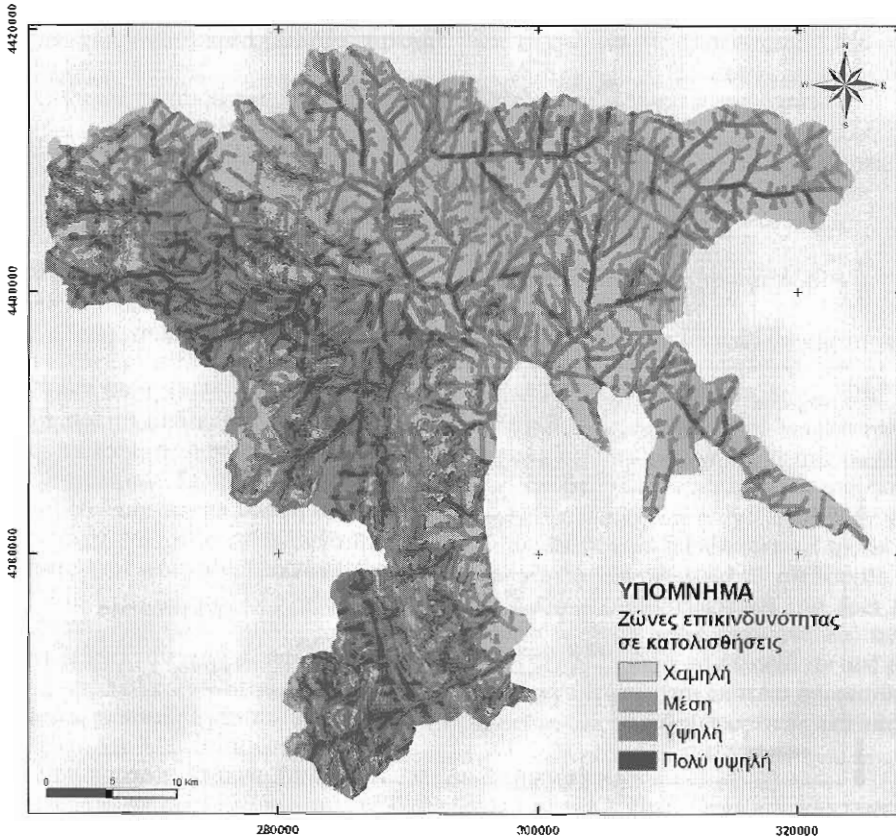
Η εκδήλωση των κατολισθήσεων εξαρτάται άμεσα από την αλληλεπίδραση των διαφόρων παραγόντων. Ο υπολογισμός του βαθμού αυτής της αλληλεπίδρασης βασίστηκε στα αποτελέσματα μιας μεθόδου που ονομάζεται *logistic regression*. Η μέθοδος εφαρμόστηκε με σκοπό την περιγραφή της σχέσης μεταξύ της παρουσίας ή της απουσίας κατολισθητικών φαινομένων και των παραγόντων. Το 10% της περιοχής χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό της σχέσης των μεταβλητών. Η σχέση που υπολογίστηκε είναι η ακόλουθη:

$$Y = -11.363 + 0.343 * \text{λιθολογία} + 0.287 * \text{τεκτονικά στοιχεία} + 0.114 * \text{μορφολογικές κλίσεις} + 0.097 * \text{οδικό δίκτυο} + 0.261 * \text{υδρογραφικό δίκτυο} + 0.023 * \text{χρήση γης} + 0.082 * \text{βροχοπτώσεις}$$

Η εξαρτημένη μεταβλητή Y εκφράζει την απουσία (τιμή 0) ή την παρουσία (τιμή 1) κατολίσθησης. Οι συντελεστές της σχέσης χρησιμοποιήθηκαν ως βάρη για την βαθμονόμηση του κάθε παράγοντα. Στη συνέχεια τα βάρη του κάθε παράγοντα και τα αντίστοιχα θεματικά επίπεδα των παραγόντων συσχετίστηκαν γραμμικά για να δώσουν τον τελικό χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας (Bathrellos et al., 2009).

Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται ο χάρτης επικινδυνότητας από κατολισθήσεις με διαβαθμισμένα επίπεδα κινδύνου. Η περιοχή του χάρτη ανάλογα με τον εκτιμηθέντα βαθμό επικινδυνότητάς για κατολίσθηση κατηγοριοποιήθηκε σε τέσσερις ζώνες: χαμηλής, μέσης, υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας.

Ο χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας διαιρέθηκε χωρικά σε επίπεδα κινδύνου με την μέθοδο *quantile* η οποία θεωρήθηκε η πλέον κατάλληλη για της ανάγκες της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 3: Χάρτης εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας.

6. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ – ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

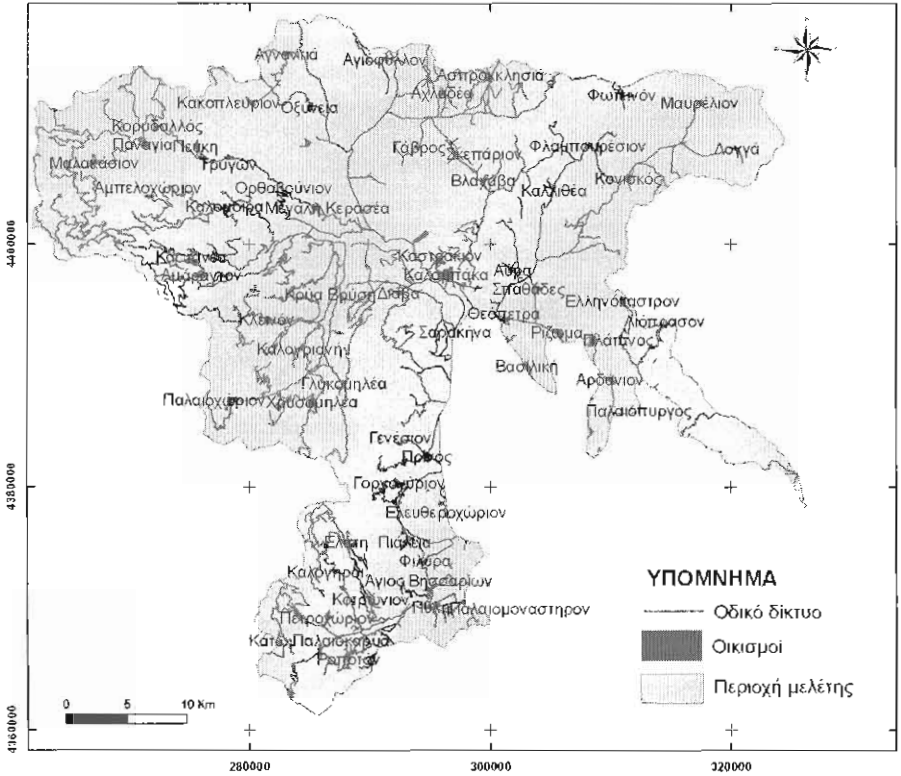
Το οδικό δίκτυο και οι οικισμοί της περιοχής μελέτης παρουσιάζονται στο σχήμα 4. Το συνολικό μήκος του οδικού δικτύου είναι 1.578 χιλιόμετρα και ο αριθμός των συνολικών οικισμών είναι 112.

Οι περιοχές που χαρακτηρίστηκαν ως πολύ υψηλού και υψηλού κινδύνου για κατολισθήσεις έχουν έκταση 158,96 τ.χιλ και 466,16 τ.χιλ. Το ποσοστό της έκτασης τους σε σχέση με τη συνολική έκταση της μελετώμενης περιοχής είναι 9,75% και 28,58% αντίστοιχα. Οι ζώνες αυτές συσχετίστηκαν αρχικά με το οδικό δίκτυο. Το μήκος του οδικού δικτύου που εμπίπτει στις ζώνες αυτές δίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Το μήκος του οδικού δικτύου που εμπίπτει στις ζώνες πολύ υψηλής και υψηλής επικινδυνότητας για κατολισθήσεις.

Ζώνες	Οδικό δίκτυο (μέτρα)
Πολύ υψηλής επικινδυνότητας	366.437
Υψηλής επικινδυνότητας	689.837
Σύνολο	1.056.274

Αν και η έκταση των ζωνών πολύ υψηλής και υψηλής επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις είναι σχετικά περιορισμένη εν τούτοις ένα σημαντικό τμήμα του οδικού δικτύου εμπίπτει σε αυτό. Τα 366 χλμ του οδικού δικτύου και σε ποσοστό 23,21% βρίσκονται στην ζώνη υψηλής επικινδυνότητας. Μεγαλύτερο τμήμα του οδικού



Σχήμα 4: Το οδικό δίκτυο και οι οικισμοί της περιοχής μελέτης.

δικτύου ίσο με 690 χλμ. και σε ποσοστό που αντιστοιχεί στο 43,07% εμπίπτει στη ζώνη υψηλής επικινδυνότητας. Συνολικά τα 1.054 χλμ από τα 1.578 χλμ του οδικού δικτύου της περιοχής και σε ποσοστό ίσο με 66,92% κινδυνεύουν από κατολισθητικά φαινόμενα.

Όπως στην περίπτωση του οδικού δικτύου έτσι και οι οικισμοί συσχετίστηκαν με τις δύο ζώνες. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συσχέτισης.

Πίνακας 2: Οι οικισμοί που εμπίπτουν στις ζώνες πολύ υψηλής και υψηλής επικινδυνότητας για κατολισθήσεις.

Ζώνες	Οικισμοί (αριθμός)
Πολύ υψηλής επικινδυνότητας	15
Υψηλής επικινδυνότητας	46
Σύνολο	61

Από τους 112 οικισμούς της περιοχής οι 61 εμπίπτουν στις δύο ζώνες, σε ποσοστό ίσο με 54,46% και συνεπώς κινδυνεύουν άμεσα από κατολισθητικά φαινόμενα. Συγκεκριμένα 15 οικισμοί βρίσκονται στην ζώνη πολύ υψηλής επικινδυνότητας και σε ποσοστό ίσο με 13,39%. Οι περισσότεροι οικισμοί εμπίπτουν στην ζώνη υψηλής επικινδυνότητας και το ποσοστό τους φτάνει το 41,07%.

Όπως προκύπτει από την παραπάνω συσχέτιση η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στις δύο ζώνες επικινδυνότητας θα έχει άμεσες οικονομικές απώλειες και κοινωνικές επιπτώσεις.

Ο προγραμματισμός της αστικής ανάπτυξης και ο κατάλληλος χωροταξικός σχεδιασμός είναι από τους πιο αποτελεσματικούς και οικονομικούς τρόπους να μειωθούν οι απώλειες από τις κατολισθήσεις. Μπορεί να επιτευχθεί είτε τη μετατροπή της υπάρχουσας ανάπτυξης και

χρήσης, είτε καθορίζοντας καινούργιες χρήσεις (π.χ. ανοιχτοί χώροι, πάρκα, δασώδης περιοχή) στις ασταθείς περιοχές.

Οι χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τον καθορισμό των χρήσεων γης και στον μελλοντικό σχεδιασμό κατασκευών και τεχνικών έργων. Ο σχεδιασμός κατασκευών και δραστηριοτήτων στα όρια των ζωνών με υψηλό βαθμό κατολισθητικού κινδύνου είναι απαραίτητο να συνοδεύεται από εξειδικευμένες μελέτες που θα οδηγήσουν στην σωστή επιλογή και εφαρμογή μέτρων προστασίας.

Προϋπόθεση βεβαίως για την πραγματοποίηση των παραπάνω προτάσεων, αποτελεί η θετική βούληση της πολιτείας να εφαρμόσει τα κατάλληλα μέτρα. Σε πολλές περιπτώσεις οι μελέτες δεν λαμβάνονται υπόψη εξαιτίας θιγόμενων συμφερόντων με αποτέλεσμα η κατολισθητική επικινδυνότητα να παραμένει μεγάλη.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χωρική απεικόνιση των περιοχών, οι οποίες παρουσιάζουν επικινδυνότητα σε κατολισθητικά φαινόμενα, είναι σημαντική στην διαχείριση των φυσικών καταστροφών.

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκαν, επεξεργάστηκαν και συσχετίστηκαν ο χάρτης της κατολισθητικής επικινδυνότητας του ορεινού τμήματος του νομού Τρικάλων με το οδικό δίκτυο και τους οικισμούς. Ο χάρτης χωρίζει την περιοχή σε διαβαθμισμένα επίπεδα κινδύνου. Έτσι υπολογίστηκαν το μήκος του οδικού δικτύου και ο αριθμός των οικισμών, που εμπíπουν στις περιοχές των ζωνών πολύ υψηλής και υψηλής επικινδυνότητας.

Με τον τρόπο αυτό εντοπίστηκαν και καθορίστηκαν οι κατασκευές, οι οποίες απειλούνται άμεσα από κατολισθητικά φαινόμενα. Συγκεκριμένα στην περιοχή μελέτης βρίσκονται:

- στη ζώνη πολύ υψηλής επικινδυνότητας βρίσκονται τα 366 χιλιόμετρα οδικού δικτύου που αντιστοιχεί στο 23,21% του συνολικού οδικού δικτύου,
- στη ζώνη υψηλής επικινδυνότητας βρίσκονται τα 690 χιλιόμετρα οδικού δικτύου και σε ποσοστό ίσο με 43,07% του συνολικού οδικού δικτύου,

- συνολικά στη ζώνη πολύ υψηλής και υψηλής επικινδυνότητας βρίσκονται τα 1.056 από τα 1.578 χιλιόμετρα του ορεινού οδικού δικτύου, δηλαδή το 66,92% του οδικού δικτύου.

- στη ζώνη πολύ υψηλής επικινδυνότητας βρίσκονται 15 οικιστικές μονάδες που αντιστοιχεί στο 13,39% των συνολικών οικιστικών μονάδων,

- στη ζώνη υψηλής επικινδυνότητας βρίσκονται 46 και σε ποσοστό ίσο με 41,07% του συνολικού αριθμού,

- συνολικά στη ζώνη πολύ υψηλής και υψηλής επικινδυνότητας βρίσκονται 61 από τις 112 δηλαδή το 54,46% των οικιστικών μονάδων.

Επομένως, η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή έχει άμεσες οικονομικές απώλειες. Ο κατάλληλος αναπτυξιακός προγραμματισμός και ο σχεδιασμός των χρήσεων της γης είναι αποτελεσματικοί τρόποι για την μείωση των απωλειών. Ο σχεδιασμός κατασκευών και δραστηριοτήτων στα όρια των ζωνών με υψηλό βαθμό κατολισθητικού κινδύνου είναι απαραίτητο να συνοδεύεται από εξειδικευμένες μελέτες έτσι ώστε να αποφευχθούν οι επιπτώσεις σε ανθρώπους και κατασκευές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aubouin, J., 1961. Φύλλο «ΚΑΣΤΑΝΕΑ», γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Ι.Γ.Ε.Υ. Αθήνα.
- Bathrellos, G.D., Kalivas, D.P., Skilodimou, H.D., 2009. *G.I.S - based landslide susceptibility mapping models, applied to natural and urban planning in Trikala, central Greece*. *Journal Estudios Geológicos*, v. 65/1, p. 49–65,
- Bonnard, Ch., 2004. *The meaning of risk assessment related to large landslides*. In: Bonnard Ch., Fortati F., Scavia C. (eds), *Identification and mitigation of large landslide risks in Europe*. *Advances in risk assessment*. Balkema Publ., p. 7–12.
- Carrara, A.; Giovanni, C., Frattini, P., 2003. *Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28, p. 1125–1142.
- Castellanos Abella EA, Van Westen C.J., 2007. *Generation of landslide risk index map for*

- Cuba using spatial multi-criteria evaluation. *Landslides*, 4, p. 311–325.
- Γκουρνέλλος Θ., Χαλκιάς Χ., Τσαγκός Δ., 2006. *Επιδεικτικότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων για τον ελληνικό χώρο. Ανάλυση με τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών*. Γεωγραφίες, 2, σ. 114-126.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Ngai, Y.Y., 2002. *Landslide risk assessment and management: an overview*. *Engineering Geology*, 64, p. 65–87.
- Korup, O., 2005. *Geomorphic hazard assessment of landslide dams in South Westland, New Zealand: Fundamental problems and approaches*. *Geomorphology*, 66, p. 167–188.
- Κούκης, Γ., Ρόζος, Δ., 1982. *Γεωτεχνικές συνθήκες και κατολισθητικές κινήσεις στον Ελλαδικό Χώρο σε σχέση με τη γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη*. *Ορυκτός Πλούτος*, 16, σ. 53–69.
- Κουμαντάκης Ι., Ματαράγκας Δ., 1980. Φύλλο «ΠΑΝΑΓΙΑ», γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα. Μανάκος, Κ. 1993. Φύλλο «ΜΥΡΟΦΥΛΛΟΝ», γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα
- Μαυριδής, Α., Ματαράγκας, Δ., 1979. Φύλλο «ΑΓΙΟΦΥΛΛΟΝ», γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα.
- Μιγκίρος Γ., Μανάκος Β., Σκούρτση-Κορωναίου Β. & Καρφάκης Ι., 1989. *Συμβολή στη γνώση της γεωλογίας του Κόζιακα, περιοχή Μουζακίου-Πύλης, Δ. Θεσσαλία*. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, ΧΧΙΙΙ/1, 381–393
- Μπαθρέλλος, Γ.Δ., 2005. *Γεωλογική, γεωμορφολογική και γεωγραφική μελέτη των αστικών περιοχών του Νομού Τρικάλων – Δυτικής Θεσσαλίας*. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, 567 σελ.
- Okura, Y., Kitahara, H., Kawanami, A., Kurokawa, U., 2003. *Topography and volume effects on travel distance of surface failure*. *Engineering Geology*, 67, p. 243–254.
- Remondo, J.; Soto, J., González-Díez, A., Terán J.R.D., Cendrero A., 2005. *Human impact on geomorphic processes and hazards in mountain areas in northern Spain*. *Geomorphology*, 66, p. 69–84.
- 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* 5, p. 261–270.
- Sabatatakakis, N., Koukis, G., Moutras, D., 2005. *Composite landslides induced by heavy rainfalls in suburban areas: City of Patras and surrounding area, western Greece*. *Landslides*, 2, 202-211.
- Savoyat, E., Λαλεχός, Ν., 1969. Φύλλο «ΤΡΙΚΑΛΑ», γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Ι.Γ.Ε.Υ. Αθήνα.
- Savoyat, E., Λαλεχός, Ν., 1972. Φύλλο «ΚΑΛΑΜΠΑΚΑ», γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. ΕΘ.Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα.
- Σταμάτης Α., 1987. Φύλλο «ΔΕΣΚΑΤΗ», γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα.
- Van Westen, C.J., Seijmonsbergen, A.C., Mantovani, F., 1999. *Comparing landslide Hazard maps*. *Natural Hazards*, 20, p. 137–158.
- Zêzere, J.L.; De Brum Ferreira, A., Rodrigues, M.L., 1999. *The role of conditioning and triggering factors in the occurrence of landslides: a case study in the area north of Lisbon Portugal*. *Geomorphology*, 30, p. 133–146.