

Ψηφιακή συλλογή



ΔΟΜΝΑ ΣΑΜΑΡΑ ΑΕΜ 6162

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΚΑΛΟΥΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑ DANIEL ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥΣ ΜΕ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2024





ΔΟΜΝΑ ΣΑΜΑΡΑ

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΚΑΛΟΥΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑ DANIEL ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥΣ ΜΕ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας

<u>Επιβλέπων Καθηγητής</u>

Γιώργος Παπαθανασίου, Αναπληρωτής Καθηγητής

© Δόμνα Σαμαρά, 2024 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All Rights reserved. © Δόμνα Σαμαρά, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Αποτύπωση κατολισθητικών φαινομένων προκαλούμενων από την καταιγίδα Daniel στη δυτική Θεσσαλία και συσχέτιση της χωρικής κατανομής τους με γεωλογικούς και γεωμορφολογικούς παράγοντες – Διπλωματική Εργασία

© Domna Samara, School of Geology, Department of Structural, Historical & Applied Geology, 2024

All rights reserved.

Mapping of landslide phenomena caused by storm Daniel in western Thessaly and correlation of their spatial distribution with geological and geomorphological factors – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Προσωπικό αρχείο Βαλκανιώτη Σωτήρη



π.Τμήμα Γεωλογίας	
ABSTRACT	
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	
1.1 Θέμα και Σκοπός της πτυχιακής διπλωματικής εργασίας	•••••
1.2 Ευχαριστίες	•••••
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΚΑΤΟΛΙΣΘΉΣΕΙΣ	•••••
1.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά κατολισθήσεων	•••••
1.2 Ταξινόμηση Κατολισθήσεων	•••••
1.3 Παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων	•••••
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ	N
2.1.1. Αποτύπωση κατολισθητικών φαινομένων σε κλίμακα περιφέρειας	•••••
2.1.2. Χωρικά δεδομένα για την εκτίμηση της επικινδυνότητας κατολισθήσ	τεων .
2.2 ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ (Landslide Inventory Map)	
2.2.1. Τύποι χαρτών απογραφής	
2.2.2. Τρόποι αποτύπωσης κατολισθήσεων	
2.3 ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ (Landslide Susceptibility	/ Map)
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	
3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗ	
3.2 ΟΙΚΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	
3.3 ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	
3.4 ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ	
3.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ	
3.6 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΟΓΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ	
3.7 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ	
3.7.1. Ζώνη Πίνδου	
3.7.2. Υπερπινδική Ενότητα	•••••
3.7.3. Υποπελαγονική Ζώνη	
3.7.4. Πελαγονική Ζώνη	••••••
3.8 ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ	
3.8.1. Σεισμική Επιδεκτικότητα της Περιφερειακής Ενότητας Τρικάλων	
3.9 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	•••••
	A

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	
3.10 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ DANIEL ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΡΙΚΑΛΩΝ	38
4.1 Αντικείμενο και περιοχή έρευνας	38
4.2 Γεωφυσικές και κλιματικές παράμετροι του Medicane Daniel	39
4.3 Επιπτώσεις στις περιοχές της Θεσσαλίας και της Περιφερειακής Ενότητας Τρικάλ	ων
	40
4.4 Συμπεράσματα	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ GIS	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΗ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΧΑΡΤΩΝ	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	56
8.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟ ΕΔΑΦΟΥΣ	DY 56
8.2 ΚΛΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΣΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΒΑΣΕΙ G	IS 57
8.2.1. SLOPE:	57
8.2.2. ASPECT:	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ QGIS	66
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75



Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

Αποτύπωση κατολισθητικών φαινομένων προκαλούμενων από την καταιγίδα Daniel στη δυτική Θεσσαλία και συσχέτιση της χωρικής κατανομής τους με γεωλογικούς και γεωμορφολογικούς παράγοντες

Δόμνα Σαμαρά

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, εξετάζει τις κατολισθήσεις ως ένα σημαντικό γεωλογικό φαινόμενο που επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Αναλύονται οι μηχανισμοί αστοχίας των κατολισθήσεων, καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωσή τους. Επίσης, εξετάζεται το φαινόμενο Daniel που έπληξε την Ελλάδα τον Σεπτέμβριο του 2023 και προκάλεσε εκτεταμένες κατολισθήσεις κυρίως λόγω των έντονων βροχοπτώσεων που το συνόδευσαν. Η χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) εντόπισε ζώνες υψηλού διακινδύνευσης για κατολισθήσεις. Οι γεωλογικές και μορφολογικές συνθήκες όπως η κλίση του εδάφους και ο τύπος των γεωλογικών σχηματισμών θεωρούνται βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργοποίηση των κατολισθήσεων, ιδιαίτερα στην ΠΕ Τρικάλων (περιοχή έρευνας). Συνολικά, η χρήση GIS και άλλων εργαλείων χωρικής ανάλυσης συνέβαλε στη δημιουργία λεπτομερών χαρτών επιδεκτικότητας, οι οποίοι αποτελούν σημαντικά εργαλεία για τη διαχείριση και τον μετριασμό των επιπτώσεων των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή έρευνας. Στην παρούσα μελέτη, η συσχέτιση της χωρικής κατανομής των κατολισθήσεων με γεωλογικούς και γεωμορφολογικούς παράγοντες παρείχε κρίσιμα αποτελέσματα για την κατανόηση και την αντιμετώπιση του φαινομένου. Τα δεδομένα που αναλύθηκαν αποκάλυψαν ότι οι περισσότερες κατολισθήσεις συνέβησαν σε περιοχές με κλίση εδάφους από 25° έως 31°, κυρίως σε γεωλογικούς σχηματισμούς φλύσχη.

8



Βιβλιοθήκη

ιήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

Mapping of landslide phenomena caused by storm Daniel in western Thessaly and correlation of their spatial distribution with geological and geomorphological factors

Domna Samara

This thesis examines landslides as an important geological phenomenon that causes serious impacts on the natural and man-made environment. The failure mechanisms of landslides and the factors that influence their occurrence are analysed. The Daniel phenomenon that hit Greece in September 2023 and caused widespread landslides mainly due to the heavy rainfall that accompanied it is also examined. Mapping carried out using Geographic Information Systems (GIS) identified high risk areas for landslides. Geological and morphological conditions such as the slope of the ground and the type of geological formations are considered to be key factors influencing the activation of landslides, especially in the Trikala region (research area). Overall, the use of GIS and other spatial analysis tools contributed to the creation of detailed susceptibility maps, which are important tools for the management and mitigation of landslide impacts in the study area. In this study, the correlation of the spatial distribution of landslides with geological and geomorphological factors provided critical results for understanding and addressing the phenomenon. The analyzed data revealed that most landslides occurred in areas with ground slopes from 25° to 31°, mainly in geological formations of flysch.

9



Το θέμα της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου ανατέθηκε από τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τομέα Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κ. Γιώργο Παπαθανασίου τον Οκτώβριο του 2023.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των κατολισθήσεων που προκλήθηκαν από το φαινόμενο Daniel στην ΠΕ Τρικάλων και η επεξεργασία των δεδομένων για την παρουσίαση των επιδεκτικότερων, σε κατολισθήσεις, σχηματισμών .

1.2 Ευχαριστίες

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

εωλογίας

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τη βοήθεια και υποστήριξη πολλών ανθρώπων, στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες. Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Γιώργο Παπαθανασίου, για την καθοδήγηση, την αμέριστη υποστήριξη και την πολύτιμη συμβολή του στην εξέλιξη της εργασίας αλλά και για την ευκαιρία που μου έδωσε να την εκπονήσω και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να απευθύνω στον κ. Σωτήρη Βαλκανιώτη, μεταδιδακτορικό ερευνητή, για την παροχή όλων των απαραίτητων για την εργασία μου δεδομένων αλλά και στην κ. Μαρία Ταφτσόγλου, υποψήφια διδάκτορα, για τη βοήθειά της, τις ουσιαστικές παρατηρήσεις και τη συνεχή ενθάρρυνση. Η συνεισφορά της υπήρξε ανεκτίμητη. Τέλος, θα ήθελα να πω το μεγαλύτερο ευχαριστώ στην οικογένεια και στους φίλους μου για την αδιάκοπη στήριξη και ενθάρρυνση καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την συνεχή στήριξη τους σε όλες τις δυσκολίες που αντιμετώπισα και κυρίως για την απεριόριστη αγάπη τους και την υπομονή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΚΑΤΟΛΙΣΘΉΣΕΙΣ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

1.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά κατολισθήσεων

Οι κατολισθήσεις ως φαινόμενα συνιστούν έναν από τους πλέον κρίσιμους γεωλογικούς κινδύνους, οι οποίοι έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο ανθρωπογενές περιβάλλον, επηρεάζοντας καίρια την καθημερνή ζωή των πολιτών και τις κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες. Η διερεύνηση και η αναγνώριση των μηχανισμών αστοχίας αποτελούν αναφαίρετα τμήματα της ολοκληρωμένης μελέτης αυτών των φαινομένων και συγκαταλέγονται στα βασικά αντικείμενα της εργασίας ενός γεωλόγου (Glade et al., 2005).

Η ανάλυση και η αναγνώριση των μηχανισμών αστοχίας των κατολισθήσεων είναι θεμελιώδους σημασίας για την πρόληψη και τον μετριασμό των επιπτώσεών τους (Hungr et al., 2014). Για να κατανοηθεί πλήρως ο τρόπος εμφάνισης και εξέλιξης των κατολισθήσεων, είναι απαραίτητη η εξέταση ποικίλων παραμέτρων, όπως η γεωλογία της περιοχής, οι υδρολογικές συνθήκες, η μορφολογία του εδάφους και οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις (Varnes, 1978, Guzzetti et al., 1999).

Οι γεωλόγοι διαδραματίζουν καίριο ρόλο στην ανάλυση αυτών των παραγόντων αλλά και στην ανάπτυξη μοντέλων που προβλέπουν την πιθανότητα εμφάνισης κατολισθήσεων (Guzzetti et al., 2005). Για την κατανόηση των επικρατουσών συνθηκών και την πρόταση προληπτικών μέτρων, εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές, όπως η τεχνικογεωλογική και γεωφυσική έρευνα, καθώς και η ανάλυση δορυφορικών εικόνων (Turner & Schuster, 1996). Προτεινόμενα μέτρα πρόληψης περιλαμβάνουν την ενίσχυση των πρανών, την κατασκευή τοίχων αντιστήριξης, την αποστράγγιση υδάτων και την προσαρμογή της χρήσης γης σε περιοχές υψηλού κινδύνου (Crozier, 1986).

Ο όρος "κατολισθήσεις" αναφέρεται σε γεωλογικά φαινόμενα κατά τα οποία τμήματα εδάφους ή βραχώδεις μάζες μετακινούνται, είτε κατακόρυφα είτε οριζόντια, συνήθως κατά μήκος μιας κεκλιμένης ή γραμμικής επιφάνειας ασυνέχειας. Αυτές οι μετακινήσεις δύναται να επιφέρουν σοβαρές επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον της περιοχής όπου εκδηλώνονται (Cruden & Varnes, 1996, Hungr et al., 2014). Οι κατολισθήσεις ποικίλλουν σε μέγεθος και σοβαρότητα, από μικρές, ασήμαντες μετακινήσεις έως τεράστιες καταστροφές.

Σύμφωνα με τον παράγοντα πυροδότησης, οι κατολισθήσεις, κατηγοριοποιούνται ως σεισμικά ή μετεωρολογικά επαγόμενες. Το δεύτερο σύμπλεγμα αστοχιών, το οποίο προκαλείται από τις βροχοπτώσεις, είναι το πιο συχνό είδος, ιδιαίτερα την τελευταία δεκαετία, όπου τα γεγονότα βροχοπτώσεων είναι πιο έντονα και μεγαλύτερης διάρκειας. Η χρονική στιγμή εκδήλωσης των κατολισθήσεων δεν είναι απαραίτητα άμεσα συνδεδεμένη με την περίοδο βροχόπτωσης, καθώς έχουν τεκμηριωθεί περιπτώσεις αστοχίας πρανών αρκετές ώρες μετά την παύση μιας έντονης καταιγίδας. Αυτό το φαινόμενο υποδηλώνει την ύπαρξη καθυστερημένων μηχανισμών αστάθειας που ενεργοποιούνται μετά τη διείσδυση και τη συσσώρευση νερού στα υποκείμενα εδαφικά στρώματα (Iverson, 2000, Guzzetti et al., 2008).

Σεισμικά επαγόμενες κατολισθήσεις συμβαίνουν σε συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη και το χαρακτηριστικό που τις διαχωρίζει είναι ότι ενεργοποιούνται σχεδόν

ταυτόχρονα με τη σεισμική δόνηση και η χωρική τους κατανομή είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Επιπλέον, μια τρίτη κατηγορία κατολισθήσεων, με μικρότερο μέγεθος και συχνότητα, αποτελούν αυτές που οφείλονται σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Οι αστοχίες αυτές σημειώνονται ως τοπικής κλίμακας και εκδηλώνονται μετά από επεμβάσεις στο ανάγλυφο, όπως ανάπτυξη σε ακατάλληλες περιοχές ή αποψίλωση εδάφους για κατασκευαστικούς λόγους. Οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές επηρεάζοντας υποδομές, καλλιέργειες αλλά και την ανθρώπινη ασφάλεια. Η πρόληψη και η διαχείριση των κατολισθήσεων είναι σημαντικές για την ασφάλεια των κοινοτήτων και των υποδομών. Αυτό περιλαμβάνει αξιολόγηση κινδύνου, προσεκτική επιλογή τοποθεσίας και δομικό σχεδιασμό και την εφαρμογή προληπτικών και προστατευτικών μέτρων.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Σχήμα 1. Κατολίσθηση στην Πύλη Τρικάλων με έκταση περίπου 160.000 m² που προκλήθηκε από το φαινόμενο Daniel (Φωτογραφία από Βαλκανιώτης Σ.). Στον χάρτη φαίνεται η περιοχή πριν τη δράση του φαινομένου Daniel. Με κόκκινο οροθετείται η περιοχή της κατολίσθησης.

Στον ελληνικό χώρο έχουν εκδηλωθεί και καταγραφεί πολλές κατολισθήσεις οι οποίες προκαλούνται, κυρίως, από βροχοπτώσεις και σεισμούς. Το μεγαλύτερο ποσοστό αστοχιών συσχετίζεται με έντονη και παρατεταμένη βροχόπτωση, ενώ οι σεισμικά επαγόμενες αστοχίες αφορούν συμβάντα μεγέθους μεγαλύτερου του M>5 (Παπαθανασίου Γ. 2022).

Σύμφωνα με τις μελέτες των Κούκης και Ρόζος (1982) και Κούκης και Σαμπατακάκης (2007), οι κυριότερες αιτίες εκδήλωσης κατολισθήσεων στον ελληνικό χώρο μπορούν να ομαδοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Μεγάλες μορφολογικές κλίσεις των πρανών. Οι περισσότερες κατολισθήσεις στον ελληνικό χώρο εμφανίζονται σε θέσεις κατά μήκος της οροσειράς της Πίνδου.
- 🧹 Μικρά μεγέθη των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών.
- Έντονη τεκτονική παραμόρφωση, η οποία κατακερμάτισε τους σχηματισμούς και συνέβαλε στην ακόμα μεγαλύτερη μείωση των τιμών των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών. Επιπλέον, κατά μήκος των τεκτονικών ασυνεχειών δημιουργούνται κατάλληλες επιφάνειες μετακίνησης μαζών.
- Έντονη λιθοστρωματογραφική διαφοροποίηση, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την αλληλουχία σχηματισμών με τελείως διαφορετικά γεωτεχνικά χαρακτηριστικά.
- Έντονες κλιματικές διαφοροποιήσεις και ακραίες κλιματικές συνθήκες σε ορισμένα σημεία του ελληνικού χώρου και ιδιαίτερα εκεί, όπου συνυπάρχουν, συνήθως, όλοι οι προηγούμενοι παράγοντες.
- Υψηλή σεισμικότητα, η οποία επιδρά σε μάζες με οριακές συνθήκες.
- Ανθρώπινες παρεμβάσεις στο περιβάλλον, οι οποίες αφορούν την αποψίλωση των δασών, τη διαμόρφωση των πρανών, την αφαίρεση της υποστήριξης και την κατασκευή τεχνικών έργων χωρίς να έχει προηγηθεί μελέτη.

1.2 Ταξινόμηση Κατολισθήσεων

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Σε κάθε μελέτη γεωλογικών φαινομένων επικρατεί η συνήθεια να ταξινομείται, αρχικά, το υπό μελέτη φαινόμενο. Η ταξινόμηση αυτή, αποσκοπεί στην κατηγοριοποίηση του φαινομένου χρησιμοποιώντας ένα σύνολο συγκεκριμένων και επαναλαμβανόμενων χαρακτηριστικών, με σκοπό να είναι ευκολότερη, στη συνέχεια, η μελέτη του. Ειδικότερα για τα κατολισθητικά φαινόμενα, οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες ταξινομήσεις είναι αυτές που βασίζονται στον τύπο της κίνησης και στη μορφολογία του υλικού. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Κούκης και Σαμπατακάκης (2007), αυτές οι ταξινομήσεις βασίζονται, κυρίως, σε ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- το είδος του κατολισθαίνοντος υλικού,
- την περιεχόμενη υγρασία του υλικού κατολίσθησης,
- τον τύπο της κίνησης,
- την ταχύτητα κίνησης,
- το αίτιο της κίνησης,
- τη σχέση της ολίσθησης με την επιφάνεια ολίσθησης,
- την ενεργότητα της κατολίσθησης,
- την τοποθεσία στην οποία πραγματοποιείται η ολίσθηση,
- τη γεωμετρία και μορφολογία του ολισθαίνοντος πρανούς,
- το περιβαλλοντικό καθεστώς,
- τις κλιματικές συνθήκες,

Χαρακτηριστικές είναι επίσης οι ταξινομήσεις οι οποίες προτάθηκαν, κατά χρονολογική σειρά, από τον Sharpe (1939), τον Varnes (1958), τον Erskine (1973), τους Zaruba και Mencl (1969 και 1976) και τον Coates (1977). Σήμερα, ωστόσο, έχει επικρατήσει και εφαρμόζεται ευρέως από γεωπιστημόνες και μηχανικούς οι οποίοι ασχολούνται με τα κατολισθητικά φαινόμενα η ταξινόμηση η οποία προτάθηκε από τον Varnes (1978) αλλά και η επικαιροποιημένη της έκδοση από τους Cruden και Varnes (1996).

Πίνακας 1. Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes (Varnes, 1978)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

• τον μηχανισμό ολίσθησης.

Τύπος Μετακίνησης		Τύπος μετακινούμενου υλικού			
			Μηχανικά εδάφη		
		Βραχώδες Υπόβαθρο	Χονδρόκοκκα	Λεπτόκοκκα	
Κατάπτωση		Κατάπτωση βράχων	Κατάπτωση Κατάπτω κορημάτων γαιών		
Ανατροπή		Ανατροπή βράχων	Ανατροπή κορημάτων	Ανατροπή γαιών	
Ολίσθηση	Περιστροφική	Περιστροφική ολίσθηση βραχώδους υπόβαθρου	Περιστροφική ολίσθηση κορημάτων	Περιστροφική ολίσθηση γαιών	
	Μεταθετική	Μεταθετική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Μεταθετική ολίσθηση κορημάτων	Μεταθετική ολίσθηση γαιών	
Πλευρική εξάπλωση		Πλευρική Εξάπλωση βραχώδους υποβάθρου	Πλευρική εξάπλωση κορημάτων	Πλευρική εξάπλωση γαιών	
Ροή		Ροή βραχώδους υποβάθρου	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών	
		(ερπυσμός)	(ερπυσμός εδάφους)		
Σύνθετη		Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων			

1.3 Παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων

Για την προστασία μιας περιοχής ή ενός πρανούς από κατολισθητικά φαινόμενα είναι απαραίτητο να εκτιμηθούν όλοι οι παράγοντες που δημιουργούν συνθήκες οριακής ισορροπίας και τελικά συντελούν στην αστοχία. (Παπαθανασίου Γ. 2022) Η αστοχία αυτή είναι απόρροια του συνδυασμού παραγόντων καθώς είναι σπάνιο το γεγονός εκδήλωσης ενός κατολισθητικού φαινομένου λόγω της δράσης ενός μόνο παράγοντα.

Η πρώτη διάκριση, αφορά τα αποτελέσματα της επίδρασης των παραγόντων στην ευστάθεια των πρανών. Συγκεκριμένα, οι παράγοντες ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007):

• Προκαταρκτικοί παράγοντες (preparatory factors) οι οποίοι συντελούν προοδευτικά στην αστάθεια του πρανούς χωρίς, όμως, να έχει γίνει έναρξη της μετακίνησης. Σε αυτούς συγκαταλέγονται εκείνες οι διαδικασίες οι οποίες δρουν σε αργό ή και γρήγορο γεωλογικό χρόνο και με διαρκή δράση απομείωσης των πρωτογενών χαρακτηριστικών του σχηματισμού δημιουργούν συνθήκες ενός οριακά σταθερού πρανούς.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

 Παράγοντες εναύσματος/πυροδότησης μετακίνησης (triggering factors) οι οποίοι προκαλούν την έναρξη της μετακίνησης και ουσιαστικά μετατρέπουν ένα οριακά σταθερό πρανές σε ενεργά ασταθές.

Αν και μπορούν να ταξινομηθούν και στις δύο κατηγορίες, οι παράγοντες οι οποίοι ουσιαστικά συντελούν στην εκδήλωση της αστοχίας ενός εδαφικού ή βραχώδους πρανούς είναι:

a) Η έντονη και μικρής διάρκειας βροχόπτωση, όπου μεγάλες ποσότητες νερού κατεισδύουν γρήγορα μέσα στην αδύναμη μάζα, με αποτέλεσμα να αυξάνουν τόσο το βάρος της όσο και την πίεση των πόρων, κάτι το οποίο συνεπάγεται μείωση της διατμητικής αντοχής.

β) **Η τήξη χιονιού**, όπου στην περίπτωση που γίνεται γρήγορα το λιώσιμο του χιονιού, τροφοδοτεί με νερό τους σχηματισμούς, με αποτέλεσμα τη μετακίνησή τους με τον ίδιο μηχανισμό, όπως παραπάνω.

γ) **Η μεταβολή στη στάθμη του υπόγειου νερού** σε ένα πρανές, όπου λόγω ανόδου της στάθμης σε ταμιευτήρες ή λόγω βροχόπτωσης αυξάνεται η πίεση του νερού των πόρων και μειώνεται η διατμητική αντοχή των σχηματισμών.

δ) Τέλος, **η σεισμική δραστηριότητα** η οποία αλλάζει την ισορροπία των πρανών με προσωρινή μεταβολή των τάσεων λόγω των σεισμικών κυμάτων.

Με βάση το γεγονός ότι το χαρακτηριστικό των κατολισθητικών φαινομένων είναι η αστοχία από διάτμηση κατά μήκος μιας επιφάνειας, ο Varnes (1978) πρότεινε την ταξινόμηση σε τρεις ομάδες των παραγόντων, που την προκαλούν:

- Σε εκείνους που συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής τάσης.
- Στους παράγοντες οι οποίοι συμβάλλουν στη χαμηλή διατμητική αντοχή του υλικού.

• Σε εκείνους οι οποίοι συντελούν στην απομείωση της διατμητικής αντοχής του υλικού

Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της διατμητικής τάσης προκαλείται από τις ακόλουθες καταστάσεις: 1. Αφαίρεση υποστήριξης του πρανούς, 2. Πρόσθετη φόρτιση, 3.Μεταβολή της κλίσης του πρανούς, 4. Πλευρική πίεση.

Η χαμηλή διατμητική αντοχή του υλικού μπορεί να οφείλεται ή να προκληθεί από: 1. Λιθολογική σύσταση του υλικού, 2. Δομή πετρώματος, τεκτονική καταπόνηση και γεωμετρία πρανούς, 3. Παρουσία νερού, 4. Δράση χλωρίδας και πανίδας.



Σχήμα 2. Επίδραση του ριζικού συστήματος στη διαμόρφωση επιδεκτικών προς κατάπτωση τεμαχών βραχώδους σχηματισμού (περιοχή Μονοδένδρι, Ιωάννινα).(Φωτογραφία από προσωπικό αρχείο)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ

2.1.1. Αποτύπωση κατολισθητικών φαινομένων σε κλίμακα περιφέρειας

Η αξιολόγηση της επιδεκτικότητας αποτελεί κρίσιμη φάση στην ολιστική ανάλυση της επικινδυνότητας γεωλογικών φαινομένων και της σχετικής διακινδύνευσης για το ανθρωπογενές περιβάλλον. Σύμφωνα με τον Brabb (1984), ο όρος επιδεκτικότητα κατολισθήσεων (Susceptibility) αναφέρεται στη «πιθανότητα εκδήλωσης κατολίσθησης σε μια περιοχή, βασισμένη στις τοπικές συνθήκες, όπως η γεωλογία, η γεωμορφολογία και οι φυσικές διεργασίες που επικρατούν». Ο όρος αυτός δε περιλαμβάνει τις έννοιες του χρόνου και του μεγέθους της κατολίσθησης επομένως, χρησιμοποιείται κυρίως για να

φαινομένου, με στόχο τη δημιουργία ζωνών υψηλής επιδεκτικότητας για κατολίσθηση (Brabb, 1984, Guzzetti et al., 1999).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στον χάρτη επιδεκτικότητας πραγματοποιείται ζωνοποίηση της επιφάνειας σε περιοχές με διαφορετικές πιθανότητες (ποιοτική αξιολόγηση) εκδήλωσης ενός φαινομένου. Ως ζωνοποίηση χαρακτηρίζεται η διαδικασία κατά την οποία, σε μια χαρτογράφηση της επιδεκτικότητας, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των θέσεων, οι οποίες χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες τιμές επιδεκτικότητας. Στη διαδικασία η οποία ακολουθείται για την αξιολόγηση της επιδεκτικότητας, μια περιοχή θεωρείται πιθανή για εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων όταν οι εδαφικές συνθήκες της περιοχής αυτής μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά με μια περιοχή όπου έχει εκδηλωθεί αστοχία στο παρελθόν (Van Westen et al., 2003, Corominas et al., 2014).

Η αποτύπωση και η αξιολόγηση κατολισθήσεων σε κλίμακα περιφέρειας αποτελεί ένα πολύ σπουδαίο εργαλείο για τη στρατηγική διαχείριση και την ελαχιστοποίηση της επικινδυνότητας που οφείλεται σε κατολισθητικά φαινόμενα σε εκτεταμένες γεωγραφικές περιοχές.

Οι προσεγγίσεις για την αξιολόγηση της επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα ενσωματώνουν ένα ευρύ φάσμα τεχνικών και μεθόδων, οι οποίες περιλαμβάνουν ποιοτική, ημι-ποσοτική και ποσοτική ανάλυση, καθώς και προχωρημένες τεχνικές μοντελοποίησης (Guzzetti et al., 1999, Fell et al., 2008).

Η εκτίμηση της επιδεκτικότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί με δυο κύριες προσεγγίσεις:

a) μέσω μεθόδων που βασίζονται στην άμεση ανάλυση του πεδίου, όπου συλλέγονται πρωτογενή δεδομένα από το πεδίο, όπως η γεωλογία, η γεωμορφολογία, η υδρολογία και άλλοι φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν την πιθανότητα εκδήλωσης κατολίσθησης. Η επιτόπια εξέταση επιτρέπει την άμεση αξιολόγηση των συνθηκών που καθορίζουν την επιδεκτικότητα μιας περιοχής σε κατολισθήσεις, προσφέροντας ακριβή και συγκεκριμένα αποτελέσματα για το υπό μελέτη πεδίο (Guzzetti et al., 1999).

β) μέσω συνδυαστικών μεθόδων που χρησιμοποιούν δείκτες επιδεκτικότητας με την υποστήριξη παραμετρικών χαρτών και γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (GIS). Τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (GIS) επιτρέπουν τη συστηματική ανάλυση και την πολυπαραγοντική εκτίμηση της επιδεκτικότητας, καθιστώντας δυνατή τη δημιουργία χωρικών μοντέλων και την πρόβλεψη περιοχών υψηλού κινδύνου (Fell et al., 2008).

Οι προσεγγίσεις αυτές διαφοροποιούνται περαιτέρω σε τεχνικές που βασίζονται στην εμπειρία και την εξειδικευμένη γνώση των ειδικών (He & Beighley, 2008), προσφέροντας έτσι ευελιξία και προσαρμοστικότητα στη διαχείριση του κινδύνου σε διαφορετικά γεωμορφολογικά πλαίσια.

2.1.2. Χωρικά δεδομένα για την εκτίμηση της επικινδυνότητας κατολισθήσεων

Η αξιόπιστη και ακριβής αξιολόγηση της επιδεκτικότητας και της επικινδυνότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα απαιτεί την ενδελεχή συλλογή και την επεξεργασία χωρικών

δεδομένων. Στη σύγχρονη εποχή της ψηφιακής χαρτογραφίας, η ποιοτική αξιολόγηση του βαθμού έκθεσης σε κίνδυνο μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS), τα οποία αποτελούν ουσιώδη εργαλεία για τη συστηματική συλλογή, ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων με πολυδιάστατο και πολυεπίπεδο τρόπο (Burrough & McDonnell, 1998).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Συγκεκριμένα, σε ένα επίπεδο του GIS καταγράφεται η πληροφορία που αφορά το αποτύπωμα του κινδύνου, δηλαδή η χωρική κατανομή του κατολισθητικού φαινομένου. Σε ένα δεύτερο επίπεδο αποτυπώνονται τα υπό διακινδύνευση στοιχεία, όπως οι υποδομές, οι οικισμοί και οι περιοχές οικονομικής δραστηριότητας. Η υπέρθεση αυτών των δυο επιπέδων μέσα σε ένα περιβάλλον GIS παράγει έναν συνολικό χάρτη επικινδυνότητας, ο οποίος επιτρέπει την ολοκληρωμένη αξιολόγηση της ευπάθειας μιας περιοχής σε κατολισθητικά φαινόμενα, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η βροχόπτωση, οι σεισμικές δονήσεις και οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυτοί οι παράγοντες, λειτουργώντας ως έναυσμα για την εκδήλωση κατολισθήσεων, επηρεάζουν σημαντικά την κατανομή και την ένταση των φαινομένων (van Westen, 2000). Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων σε επίπεδο διαχείρισης κινδύνου, αλλά και προάγει την αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων πόρων για την πρόληψη και τον μετριασμό των επιπτώσεων από κατολισθητικά φαινόμενα (Carrara et al., 1995).

Η πολυεπίπεδη πληροφορία που συλλέγεται εισάγεται σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), όπου υποβάλλεται σε ενδελεχή ανάλυση με διάφορες μεθόδους, με σκοπό τη δημιουργία χαρτών επιδεκτικότητας και επικινδυνότητας.

Τα χωρικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις αναλύσεις χωρίζονται συνήθως σε τρεις κύριες κατηγορίες:

α) Τοποθεσίες κατολισθητικών φαινομένων: Αυτή η κατηγορία αποτελεί την κύρια πηγή πληροφοριών, καθώς η ακρίβεια και η πληρότητα των δεδομένων σχετικά με τις τοποθεσίες των κατολισθήσεων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία των παραγόμενων χαρτών (Guzzetti et al., 2000). Η καταγραφή των θέσεων των κατολισθήσεων μπορεί να γίνει είτε με επιτόπιες παρατηρήσεις στο πεδίο μετά από ένα γεγονός, είτε μέσω της συλλογής δεδομένων από δημοσιευμένες μελέτες και έρευνες.

β) **Περιβαλλοντικοί παράγοντες:** Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει δεδομένα που σχετίζονται με τη γεωλογία, τη γεωμορφολογία, την υδρολογία και το κλίμα της περιοχής. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες αποτελούν κρίσιμα στοιχεία στην κατανόηση των διαδικασιών που οδηγούν στην ενεργοποίηση κατολισθήσεων (Ayalew & Yamagishi, 2005).

γ) **Παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργοποίηση:** Η βροχόπτωση, οι σεισμοί και οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως οι κατασκευές και οι αλλαγές στη χρήση γης, μπορούν να αυξήσουν την πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων. Η εκτίμηση της επιρροής αυτών των παραγόντων είναι ζωτικής σημασίας για την ακριβή εκτίμηση της επικινδυνότητας (Lee & Pradhan, 2007). Η καταγραφή των θέσεων των κατολισθήσεων, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, ενισχύεται σημαντικά μέσω της χρήσης τεχνικών τηλεπισκόπησης, όπως η ανάλυση και επεξεργασία δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών. Αυτές οι τεχνολογίες έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμες στη δημιουργία λεπτομερών χαρτών απογραφής κατολισθητικών φαινομένων, οι οποίοι βελτιώνουν την κατανόηση και τη διαχείριση του κινδύνου (Παπαθανασίου Γ. 2022).

2.2 ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ (Landslide Inventory Map)

2.2.1. Τύποι χαρτών απογραφής

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η αποτύπωση των κατολισθήσεων μέσω χαρτών αποτύπωσης (inventory map) αποτελεί ζωτικό μέρος της διαχείρισης και πρόληψης αυτών των φαινομένων για αυτό αποτελούν και το πρώτο επίπεδο πληροφορίας που δημιουργείται. Σ 'ένα χάρτη απογραφής δεν αποτυπώνεται απλά η δραστηριότητα του φαινομένου αλλά μας παρέχει πληροφορίες αναφορικά με τη θέση, τον τύπο αλλά και την ημερομηνία της αστοχίας. (Παπαθανασίου Γ. 2022)

Οι χάρτες απογραφής, σύμφωνα με τις πληροφορίες που μας παρέχουν μπορούν να χωριστούν σε τρείς επιμέρους κατηγορίες :

- Απλούς (event inventory), όπου αναφέρονται απλά τα αποτελέσματα ενός γεγονότος.
- Διαχρονικούς (multi temporal inventory), όπου συλλέγονται όλες οι ιστορικές πληροφορίες για την εκδήλωση του γεγονότος στη συγκεκριμένη περιοχή.

• Εποχικούς , όταν το φαινόμενο που μελετάται έχει καθορισμένη (περίοδο επανάληψης) διάρκεια εκδήλωσης.



Σχήμα 3. Χάρτης αποτύπωσης κατολισθήσεων. Οι τύποι των κατολισθήσεων είναι ταξινομημένοι σύμφωνα με τον Varnes (1978). (Santangelo et al., 2013).

2.2.2. Τρόποι αποτύπωσης κατολισθήσεων

Η αποτύπωση των κατολισθητικών φαινομένων κατά τη διαδικασία της χαρτογράφησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση σημείων, πολυγώνων και προσανατολισμένων πολυγραμμών, καθένας εκ των οποίων προσφέρει διακριτά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η μέθοδος αποτύπωσης μέσω σημείων είναι γρήγορη και απλή, ωστόσο παρέχει περιορισμένες πληροφορίες, καθώς αποτυπώνει μόνο τη γεωγραφική θέση της κατολίσθησης χωρίς περαιτέρω δεδομένα. Αντιθέτως, η χαρτογράφηση με τη χρήση πολυγώνων θεωρείται η πιο αξιόπιστη μέθοδος, καθώς επιτρέπει την ακριβή καταγραφή των ορίων της κατολίσθησης. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και απαιτεί εκτεταμένη ανάλυση για την αποτύπωση των λεπτομερειών του φαινομένου (Guzzetti et al., 2000).

Η χρήση προσανατολισμένων πολυγραμμών παρέχει μια ενδιάμεση λύση, προσφέροντας σημαντική πληροφορία σχετικά με τη γεωμετρία και τη δυναμική της

κατολίσθησης σε σχετικά λιγότερο χρόνο. Σε αυτή τη μέθοδο, το πρώτο σημείο της πολυγραμμής αναπαριστά το κέντρο της πηγής της κατολίσθησης, ενώ η γραμμή αντιπροσωπεύει τον κεντρικό άξονα της κίνησης της κατολίσθησης, καθώς και τις πληροφορίες σχετικά με την κατεύθυνση και την απόσταση που διένυσε η κινούμενη μάζα (Malamud et al., 2004).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Σχήμα 4. Οι κατολισθήσεις έχουν χαρτογραφηθεί με τη βοήθεια πολυγραμμών. Το μαύρο σημείο είναι η αρχή της κατολίσθησης και ακολουθεί η ροζ γραμμή που δείχνει την απόσταση μεταφοράς Η εικόνα αυτή είναι από μια έρευνα που έγινε στη Βόρεια Ισλανδία για τον τυφώνα Gebrielle ο οποίος ενεργοποίησε τουλάχιστον 140.000 κατολισθήσεις. (Massey C, Leith K. 2023)

Σε σύγχρονες πρακτικές χαρτογράφησης, είναι πλέον αναγκαίο οι αστοχίες να απεικονίζονται με τη μορφή πολυγώνων παρά σημείων, καθώς αυτό επιτρέπει την πιο ολοκληρωμένη και ακριβή καταγραφή των γεωλογικών φαινομένων. Επιπλέον, συνιστάται η δημιουργία θεματικών χαρτών (όπου είναι δυνατόν) που καταγράφουν τις αστοχίες ανά κατηγορία, όπως βραχοκαταπτώσεις, εδαφικές ολισθήσεις και ροές. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου είναι δυνατόν, θα πρέπει να διαχωρίζεται η περιοχή τροφοδοσίας (source zone) της αστοχίας από το κύριο σώμα των κατολισθήσεων, ώστε να διευκολύνεται η αναγνώριση του είδους και της ταχύτητας κίνησης της κινούμενης μάζας. Αυτή η προσέγγιση, όπως επισημαίνεται στη βιβλιογραφία, επιτρέπει όχι μόνο την τεκμηρίωση των κατολισθητικών φαινομένων αλλά και τη μελέτη της χωρικής κατανομής και του τύπου των ζημιών που σχετίζονται με γεωμορφολογικούς και γεωλογικούς παράγοντες, καθώς και την ανάλυση της εξέλιξης των περιοχών που πλήττονται από κατολισθήσεις (Hungr et al., 2001, Παπαθανασίου Γ. 2022).

Η κλίμακα που χρησιμοποιείται για να κατασκευαστεί ο χάρτης εξαρτάται τόσο από το υπό μελέτη φυσικό φαινόμενο αλλά και από την χωρική κατανομή των στοιχείων υπό διακινδύνευση. Επίσης καθοριστικής σημασίας είναι η αξιοπιστία των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Σύμφωνα με τον Παπαθανασίου Γ. (2022), για τους χάρτες απογραφής κατολισθητικών φαινομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

 Μικρής (εθνικής) κλίμακας χάρτες <1:200.000, όπου η συλλογή δεδομένων γίνεται μέσω βιβλιογραφικής αναζήτησης

 Μέσης (περιφέρειας) κλίμακας με εύρος 1:25.000 έως 1:200.000, εδώ η συλλογή δεδομένων πραγματοποιείται μέσω αεροφωτογραφιών και ιστορικών πληροφοριών

 Μεγάλης (τοπικής) κλίμακας >1:25.000, όπου στα δεδομένα μπορούν να προστεθούν αεροφωτογραφίες, υψηλής ανάλυσης δορυφορικές εικόνες και εργασίες υπαίθρου (χαρτογράφηση)

Η ποιότητα ενός χάρτη απογραφής κατολισθήσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πληρότητα και την ορθότητα των πληροφοριών που περιλαμβάνει, καθιστώντας τον ένα κρίσιμο εργαλείο για τη γεωλογική χαρτογράφηση και την ανάλυση επικινδυνότητας (Guzzetti et al., 2012). Η πληρότητα των δεδομένων σχετίζεται με το ποσοστό των πραγματικών κατολισθήσεων που έχουν καταγραφεί και αποτυπωθεί στο χάρτη σε σχέση με τις πραγματικές συνθήκες του πεδίου. Πρέπει να διευκρινιστεί πως στους διαχρονικούς χάρτες απογραφής είναι πιθανό να παραληφθούν κάποιες αστοχίες, ειδικά σε περιπτώσεις όπου μικρότερα γεγονότα έχουν υπερκαλυφθεί ή αλλοιωθεί από μεγαλύτερα, μεταγενέστερα συμβάντα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της πρόκλησης είναι η δυσκολία χαρτογράφησης μικρών κατολισθήσεων, οι οποίες συχνά ενσωματώνονται σε γειτονικές, μεγαλύτερες κατολισθήσεις, μειώνοντας έτσι την ακρίβεια της αποτύπωσης.

Η ορθότητα ενός χάρτη απογραφής, από την άλλη πλευρά, αφορά την πιστότητα με την οποία η γραφική αναπαράσταση μιας κατολίσθησης στο χάρτη ανταποκρίνεται στη θέση, το μέγεθος και το σχήμα της πραγματικής αστοχίας στο πεδίο Αυτό το στοιχείο είναι κρίσιμο για την ακριβή εκτίμηση των επιπτώσεων και για τη μετέπειτα αξιολόγηση των κινδύνων που συνδέονται με τα κατολισθητικά φαινόμενα. Για παράδειγμα, οι Santangelo et al. (2010) επισημαίνουν ότι η ακρίβεια της χωρικής αναπαράστασης είναι καθοριστική για την αξιόπιστη εκτίμηση της επικινδυνότητας και την ανάπτυξη κατάλληλων στρατηγικών μετριασμού των επιπτώσεων.

2.3 ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ (Landslide Susceptibility Map)

Οι χάρτες επιδεκτικότητας καθώς και οι σχετικές ερευνητικές μελέτες, αποσκοπούν στην ανάλυση και κατανόηση των φυσικών παραγόντων που ευθύνονται για την ενεργοποίηση κατολισθητικών φαινομένων. Αυτοί οι χάρτες παρουσιάζουν τις περιοχές όπου είναι πιο επιδεκτικές στην πιθανότητα εμφάνισης κατολισθήσεων, βασιζόμενοι στη συσχέτιση παραγόντων που έχουν προκαλέσει προηγούμενα κατολισθητικά συμβάντα. Αποτελούν, ουσιαστικά, μια εξέλιξη του χάρτη απογραφής, προσφέροντας μια πιο λεπτομερή ανάλυση του χωρικού καταμερισμού του κινδύνου (Guzzetti et al., 2012).

Η έννοια της επιδεκτικότητας λαμβάνει διάφορους ποιοτικούς χαρακτηρισμούς, όπως υψηλή, μέση ή χαμηλή επιδεκτικότητα, οι οποίοι εκφράζουν τον βαθμό έκθεσης μιας περιοχής σε κατολισθητικά φαινόμενα (Shahri et al., 2019)

Η δημιουργία των χαρτών επιδεκτικότητας, στηρίζεται στην υιοθέτηση δυο θεμελιωδών παραδοχών: πρώτον, ότι οι γεωλογικές αστοχίες του παρελθόντος και του παρόντος αποτελούν αξιόπιστα δεδομένα για την πρόβλεψη μελλοντικών αστοχιών και δεύτερον, ότι οι γεωλογικές αστοχίες τείνουν να εκδηλώνονται σε παρόμοιες γεωλογικές, γεωμορφολογικές, υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες (Fell, et al., 2008).

Βασική αρχή των χαρτών επιδεκτικότητας αποτελεί ο καθορισμός των συσχετίσεων μεταξύ των κατολισθήσεων και της τοπογραφίας, της γεωλογίας, της υδρολογίας και των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της προς έρευνα περιοχής, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η χρονική διάσταση του φαινομένου (Fell, et al., 2008).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι χάρτες επιδεκτικότητας παρουσιάζουν ορισμένους περιορισμούς ως προς την πληροφορία που παρέχουν. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να γίνει πρόβλεψη μόνο της θέσης εκδήλωσης και όχι του αριθμού των αστοχιών. Επιπλέον, οι χάρτες επιδεκτικότητας ενδέχεται να μην καταγράφουν την ύπαρξη πολλών μικρής κλίμακας αστοχιών ή μιας ενιαίας, μεγάλης κατολίσθησης σε μια θέση. Επίσης, δεν παρέχουν πληροφορίες αναφορικά με τη συχνότητα εμφάνισης των αστοχιών ή το μέγεθός τους. Συνεπώς, η ερμηνεία των χαρτών επιδεκτικότητας πρέπει να γίνεται με προσοχή και να βασίζεται μόνο στην πληροφορία που παρέχους γεωεπιστήμονες, λαμβάνοντας υπόψη τα επιμέρους επίπεδα πληροφορίας τα οποία αναλύθηκαν για την παραγωγή του συγκεκριμένου χάρτη (Guzzetti et al., 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η Περιφερειακή Ενότητα Τρικάλων, μια από τις τέσσερις περιφερειακές ενότητες της Θεσσαλίας, παρουσιάζει ποικίλες γεωγραφικές, κοινωνικοοικονομικές και πολιτιστικές πτυχές που την καθιστούν σημαντική για την περιφερειακή ανάπτυξη της Θεσσαλίας.



Σχήμα 5. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. **Rh**: Μάζα της Ροδόπης, **Sm**: Σερβομακεδονική μάζα, **CR**: Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιανίας, **Pa**: Ζώνη Πάικου, **Al**: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, **Pl**: Πελαγονική ζώνη, **Ac**: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, **Sp**: Υποπελαγονική ζώνη, **Pk**: Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, **P**: Ζώνη Πίνδου, **G**: Ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης, **I**: Ιόνιος ζώνη, **Px**: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, **Au**: Ενότητα "Ταλέα όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθοι" πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Κατά Mountrakis et al. 1983). Με κόκκινο επισημαίνεται η περιοχή έρευνας.



Σχήμα 6. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης που δημιουργήθηκε από τη συρραφή 13 φύλλων χάρτη (φύλλο "Αγιόφυλλο", φύλλο "Δεσκάτη", φύλλο "Καλαμπάκα", φύλλο "Καρδίτσα", φύλλο "Μέτσοβο", φύλλο "Μουζάκιον", φύλλο "Παναγιά", φύλλο "Τρίκαλα", φύλλο "Φαρκαδών", φύλλο "Καστανέα", φύλλο "Μυρόφυλλων" φύλλο "Πράμαντα", φύλλο "Άγναντα") που στη συνέχεια επεξεργάστηκαν.

3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗ

Η ΠΕ Τρικάλων καλύπτει μια έκταση περίπου 3.387 τετραγωνικών χιλιομέτρων, γεγονός που την καθιστά μία από τις μεγαλύτερες περιφερειακές ενότητες στη Θεσσαλία (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2021). Το έδαφός της είναι κυρίως ορεινό και ημιορεινό, με το ορεινό τμήμα να καταλαμβάνει το δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα της, όπου δεσπόζουν τα Άγραφα και τα Τζουμέρκα, ενώ το ανατολικό τμήμα χαρακτηρίζεται από την πεδιάδα των Τρικάλων, που διασχίζεται από τον Ληθαίο ποταμό. Η περιφερειακή ενότητα αποτελείται από τέσσερις δήμους: Τρικκαίων, Καλαμπάκας, Πύλης και Φαρκαδόνας.



Σχήμα 7. Χάρτης της Ελλάδας που σκιαγραφεί την θέση της Περιφερειακής Ενότητας Τρικάλων (Pitichinaccio (2007), Wikipedia)

3.2 ΟΙΚΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η ΠΕ Τρικάλων περιλαμβάνει τόσο αστικούς όσο και αγροτικούς οικισμούς. Η πόλη των Τρικάλων, που είναι η πρωτεύουσα και το μεγαλύτερο αστικό κέντρο της ενότητας, φιλοξενεί σημαντικό μέρος του πληθυσμού, ενώ σημαντικοί οικισμοί είναι επίσης η Καλαμπάκα, που είναι γνωστή για τα Μετέωρα, και η Πύλη, που αποτελεί σημαντικό συγκοινωνιακό κόμβο. Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή, η ΠΕ Τρικάλων έχει πληθυσμό περίπου 130.000 κατοίκων, με την πλειονότητα να κατοικεί στην πόλη των Τρικάλων και στους γύρω οικισμούς (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2021).

3.3 ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Το οδικό δίκτυο της Περιφερειακής Ενότητας Τρικάλων είναι καλά αναπτυγμένο, με την Εθνική Οδό 6 (ΕΟ6) να διασχίζει την περιοχή, συνδέοντας την πόλη των Τρικάλων με άλλες μεγάλες πόλεις της Θεσσαλίας και της Ηπείρου. Επιπλέον, η Εγνατία Οδός, που βρίσκεται βόρεια της ενότητας, συνδέει τα Τρίκαλα με την υπόλοιπη βόρεια Ελλάδα, παρέχοντας πρόσβαση σε σημαντικούς εμπορικούς και τουριστικούς προορισμούς (Panebianco & Schürmann, 2002.). Το οδικό δίκτυο εντός της περιοχής εξυπηρετεί τόσο τη μεταφορά αγαθών όσο και την καθημερινή κυκλοφορία των κατοίκων και των επισκεπτών. Το σιδηροδρομικό δίκτυο, αν και περιορισμένο, συνδέει τα Τρίκαλα με την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη μέσω του ΟΣΕ, παρέχοντας μια εναλλακτική λύση για τη μετακίνηση.

3.4 ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η πολιτιστική κληρονομιά της ΠΕ Τρικάλων είναι πλούσια και πολυδιάστατη. Τα Μετέωρα, αναγνωρισμένα ως Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς από την UNESCO, αποτελούν το κύριο τουριστικό αξιοθέατο της περιοχής. Η πόλη των Τρικάλων διαθέτει επίσης πολλά ιστορικά και πολιτιστικά μνημεία, όπως το κάστρο της πόλης και τη συνοικία Βαρούσι με τα παραδοσιακά αρχοντικά (Kleidonopoulos, 2003).

Η ΠΕ Τρικάλων, με τον πλούτο της σε φυσικούς πόρους, πολιτιστική κληρονομιά και γεωλογική ποικιλομορφία, αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους πυλώνες ανάπτυξης της Θεσσαλίας, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στην εθνική οικονομία και στην προώθηση της πολιτιστικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας.

3.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ

Η ΠΕ Τρικάλων παρουσιάζει ένα σύνθετογεωλογικό υπόβαθρο, το οποίο έχει διαμορφωθεί από τις διάφορες γεωλογικές διαδικασίες που έλαβαν χώρα στη περιοχή κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων ετών. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από την παρουσία ιζηματογενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων που σχηματίστηκαν από τη σύγκρουση των τεκτονικών πλακών. Τα Μετέωρα, ένα από τα πιο εντυπωσιακά γεωλογικά μνημεία της περιοχής, αποτελούνται από συμπαγείς αμμοχάλικες της Ανώτερης Κρητιδικής περιόδου (Mercier et al., 1972). Αυτοί οι γεωλογικοί σχηματισμοί έχουν δημιουργηθεί από διεργασίες διάβρωσης, αποσάθρωσης και κατακόρυφης ανύψωσης, αποτέλεσμα των τεκτονικών κινήσεων που έχουν επηρεάσει την περιοχή. Οι αποθέσεις του Ληθαίου ποταμού, που διασχίζει την πεδιάδα των Τρικάλων, έχουν δημιουργήσει γόνιμες πεδινές εκτάσεις, ενώ τα μεταμορφωμένα πετρώματα όπως οι σχιστόλιθοι και οι γνεύσιοι που διαθέτει η περιοχή, έχουν αναδυθεί λόγω τεκτονικών κινήσεων της Παλαιοζωικής και Μεσοζωικής περιόδου (Le Pichon & Angelier, 1979). Η παρουσία θερμομεταλλικών πηγών υποδηλώνει ενεργή γεωθερμική δραστηριότητα, ενισχύοντας τη γεωλογική πολυπλοκότητα της περιοχής.

3.6 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΟΓΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ

Κλιματολογικά, η ΠΕ Τρικάλων χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα με ήπιους χειμώνες και θερμά, ξηρά καλοκαίρια. Οι βροχοπτώσεις είναι συχνότερες τους χειμερινούς μήνες ενώ η θερινή περίοδος παρουσιάζει έντονη ξηρασία. Οι κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά την υδρογεωλογία της περιοχής, με τις υδάτινες πηγές να αποτελούν το κύριο στοιχείο για την αγροτική παραγωγή και την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών. Το υδρογεωλογικό σύστημα της περιοχής περιλαμβάνει τον Ληθαίο ποταμό και τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι τροφοδοτούνται από τις βροχοπτώσεις και τις απορροές των γύρω ορεινών περιοχών (Papaioannou et al., 2007). Η διαχείριση των υδάτινων πόρων χρήζει ιδιαίτερης προσοχής καθώς θα πρέπει να διατηρείται ισορροπία μεταξύ χρήσης και ανανέωσης των υδάτων, ιδιαίτερα ενόψει των κλιματικών αλλαγών που μπορεί να επηρεάσουν τα υδρολογικά πρότυπα της περιοχής.

3.7 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

Η ΠΕ Τρικάλων χαρακτηρίζεται από ένα γεωλογικό υπόβαθρο το οποίο έχει διαμορφωθεί από μια ποικιλία προαλπικών και αλπικών σχηματισμών, ηλικίας που εκτείνεται από το

Παλαιοζωικό έως το Ηώκαινο, καθώς και μεταλπικών σχηματισμών που χρονολογούνται από το Ηώκαινο έως τη σύγχρονη εποχή. Οι αλπικοί σχηματισμοί του υποβάθρου ανήκουν σε τέσσερις κύριες λιθοστρωματογραφικές ενότητες του Ελληνικού γεωλογικού χώρου. Αυτές οι ενότητες, από τις πιο εξωτερικές προς τις πιο εσωτερικές, περιλαμβάνουν:

- Την Ενότητα της Πίνδου, η οποία αντιπροσωπεύει την εξωτερικότερη γεωλογική δομή.
- Την Υπερπινδική Ενότητα (γνωστή και ως Σειρά Κόζιακα), η οποία καλύπτει την περιοχή του ορεινού όγκου του Κόζιακα.
- Την Υποπελαγονική Ενότητα, η οποία αποτελεί μια μεσαία γεωλογική ζώνη.
- Την Πελαγονική Ενότητα, που συνιστά την πιο εσωτερική και αρχαιότερη γεωλογική ζώνη της περιοχής.

Εκτός από τους σχηματισμούς που αντιστοιχούν στις παραπάνω λιθοστρωματογραφικές ενότητες, σημαντικό μέρος του νομού καλύπτεται από μεταλπικά ιζήματα. Αυτά περιλαμβάνουν τους μολασσικούς σχηματισμούς της Μεσοελληνικής Αύλακας και τις τεταρτογενείς αποθέσεις της Θεσσαλικής πεδιάδας, οι οποίες έχουν καθοριστική σημασία για την υδρογεωλογική και γεωμορφολογική διαμόρφωση της περιοχής (Mercier et al., 1972).

3.7.1. Ζώνη Πίνδου

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η πρώτη συστηματική μελέτη και ονοματοδοσία της Ζώνης Πίνδου έγινε από τον Philippson (1898), με τη μετέπειτα σημαντική συμβολή του Aubouin (1959), ο οποίος διαίρεσε τη ζώνη σε τρεις παλαιογραφικές υποζώνες. Η ζώνη της Πίνδου αντιπροσωπεύει μια βαθιά υποθαλάσσια λεκάνη και οι σχηματισμοί που προήλθαν από αυτήν επωθήθηκαν προς τα δυτικά, δημιουργώντας ένα εκτεταμένο τεκτονικό κάλυμμα (Μουντράκης, 2010).

Οι σχηματισμοί της Ζώνης Πίνδου χαρακτηρίζονται από υψηλή πλαστικότητα, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την έντονη πτύχωση και λεπίωση των πετρωμάτων. Η γεωλογική δομή της ζώνης κυριαρχείται από πολλαπλές πτυχές, καθώς και από εσωτερικές εφιππεύσεις και ανάστροφα ρήγματα, τα οποία αποτελούν τυπικά γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής (Μουντράκης, 2010).

Πάνω στα στρώματα της ζώνης Πίνδου βρίσκονται επωθημένες οι οφιολιθικές μάζες της Υποπελαγονικής καθώς και οι σχηματισμοί της Υπερπινδικής υποζώνης η γεωτεκτονική εξέλιξη της οποίας είναι ανάλογη με αυτή της ζώνης Ωλονού- Πίνδου.

Συνολικά, τα πρώτα Αλπικά ιζήματα σε όλη την έκταση της ζώνης Πίνδου χρονολογούνται από το Μέσο έως το Άνω Τριαδικό. Από τους παλαιότερους προς τους νεότερους σχηματισμούς, η ζώνη Πίνδου αποτελείται από:

Μέσο – Άνω Τριαδικό: Πελαγικοί ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις πυριτολίθων.

Ιουρασικό: Σχιστοκερατολιθική διάπλαση, η οποία συγκροτείται από ψαμμίτες, ραδιολαρίτες και ασβεστόλιθους με Calpionella.

Κάτω Κρητιδικό: 1ος Φλύσχης Πίνδου.

Μέσο – Άνω Κρητιδικό: Ασβεστόλιθοι, όπου στα τέλη του Κρητιδικού η ιζηματογένεση γίνεται περισσότερο ασβεστομαργαϊκή και μεταβαίνει προς τον φλύσχη.

Άνω Ηώκαινο: 2ος Φλύσχης.

.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η διαδοχική αυτή ιζηματογένεση απεικονίζει την γεωτεκτονική εξέλιξη της ζώνης και την επίδραση των τεκτονικών διαδικασιών που διαμόρφωσαν την περιοχή κατά τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης (Μουντράκης, 2010).

Μια τυπική στρωματογραφική ακολουθία παρουσιάζεται στο σχήμα 8.



Σχήμα 8. Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη, αντιπροσωπευτική της ζώνης Ωλονού – Πίνδου, 1:δολομίτες, 2: πλακώδεις ασβεστόλιθοι, 3: αργιλοψαμμίτες, 4: ηφαιστειοϊζηματογενή υλικά, 5:κερατόλιθοι, 6:ασβεστόλιθοι με πυριτικές ενστρώσεις, 7:λατυποπαγή, 8: ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι, 9: σχηματισμός φλύσχη, Τριτογενούς. (Μουντράκης, 2010)

3.7.2. Υπερπινδική Ενότητα

Η παλαιογεωγραφική διάρθρωση της ανατολικής παρυφής της Πίνδου έχει μακρά ιστορία μελέτης και ανάλυσης, με την Υπερπινδική Ενότητα (ή Ενότητα Κόζιακα) να αναγνωρίζεται ως σημαντικός γεωλογικός σχηματισμός από τους πρώιμους γεωλόγους (Phillipson, 1898, Renz, 1930, Aubouin, 1959). Η ενότητα αυτή είχε αρχικά θεωρηθεί ως μεταβατική ζώνης ανάμεσα στη Ζώνη Πίνδου και την Υποπελαγονική Ζώνη, ωστόσο οι σύγχρονες γεωλογικές έρευνες έχουν αναδείξει την αυτοτελή γεωτεκτονική της σημασία.

Η Υπερπινδική Υποζώνη αποτελείται από δύο σειρές σχηματισμών: τη σειρά Κόζιακα και τη σειρά Ουμιάματος. Η Σειρά Ουμιάματος, η οποία εκτείνεται από το Ανώτερο Τιθώνιο μέχρι το Ηώκαινο, επωθήθηκε προς τα δυτικά επάνω στον πινδικό φλύσχη, ενώ πάνω σε αυτήν επωθήθηκε η Σειρά Κόζιακα, η οποία περιλαμβάνει σχηματισμούς που χρονολογούνται από το Τριαδικό έως το Κάτω κρητιδικό (Aubouin, 1959). Παλαιότερα, στη σειρά του Κόζιακα είχαν περιληφθεί και τα οφιολιθικά πετρώματα, τα οποία τελικά αποδείχθηκε ότι έχουν προέλθει από τον ωκεανό που βρισκόταν δυτικά του Πελαγονικού υβώματος, υπογραμμίζοντας την περίπλοκη γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής (Aubouin, 1959).

Σύμφωνα με τους Papanikolaou & Sideris (1979), Jaeger (1979, 1980), Fleury (1980) και Λέκκας (1988), η Σειρά Κόζιακα αποτελείται από τις ακόλουθες στρωματογραφικές μονάδες, ταξινομημένες από τα κατώτερα προς τα ανώτερα στρώματα:

Ανώτερο Τριαδικό: Πελαγικοί ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις πυριτολίθων, κυρίως του Νόριου. Σε ορισμένες θέσεις, οι ασβεστόλιθοι αυτοί περιλαμβάνουν λατυποπαγείς ή/και ωολιθικούς ασβεστόλιθους.

Ιουρασικό: Ασβεστόλιθοι ωολιθικοί ή ψευδοωλιθικοί, καθώς και ραδιολαρίτες.

Κατώτερο Κρητιδικό: Ασβεστόλιθοι λατυποπαγείς με εγκλείσματα οφιολίθων και ραδιολαριτών.

Η στρωματογραφική αυτή διαδοχή αποκαλύπτει τη γεωλογική εξέλιξη της Υπερπινδικής Υποζώνης, η οποία αντανακλά τις περίπλοκες τεκτονικές διεργασίες που έλαβαν χώρα κατά την Αλπική ορογένεση και επηρέασαν βαθιά τη γεωλογική ιστορία της περιοχής.

3.7.3. Υποπελαγονική Ζώνη

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Ο όρος "Υποπελαγονική" εισήχθη από τον Aubouin (1959) για να τονίσει τη στενή γεωτεκτονική συσχέτιση αυτής της ζώνης με την Πελαγονική Ζώνη. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της Υποπελαγονικής Ζώνης είναι η παρουσία μεγάλων οφιολιθικών μαζών, συνοδευόμενων από εκτεταμένες σχιστοκερατολιθικές διαπλάσεις, οι οποίες υποδεικνύουν σημαντικές γεωλογικές διεργασίες που συνδέονται με τον ωκεάνιο φλοιό και την μεσοωκεάνια εξάπλωση.

Η στρωματογραφική διαδοχή της Υποπελαγονικής Ζώνης στον ελλαδικό χώρο αποκαλύπτει μια σύνθετη γεωλογική ιστορία, η οποία από τα κατώτερα προς τα ανώτερα στρώματα περιλαμβάνει τα εξής:

- Παλαιοζωικό κρυσταλλικό υπόβαθρο: Το κρυσταλλικό υπόβαθρο της περιοχής είναι κατάλοιπο των παλαιοζωικών μεταμορφικών διεργασιών και αποτελεί το θεμέλιο της ζώνης.
- Νεοπαλαιοζωικοί ημιμεταμορφωμένοι σχηματισμοί: Αυτοί οι σχηματισμοί είναι κυρίως κλαστικοί και αντιπροσωπεύουν τα προϊόντα της διάβρωσης και μεταφοράς υλικού κατά τη διάρκεια του Νεοπαλαιοζωικού.

3. Σχηματισμοί του Κατώτερου-Μέσου Τριαδικού: Περιλαμβάνουν κλαστικούς σχηματισμούς, εκρηξιγενή πετρώματα και ασβεστόλιθους, οι οποίοι καταγράφουν τις γεωδυναμικές διαδικασίες αυτής της περιόδου, συνδεόμενες με την τεκτονική δραστηριότητα και την ηφαιστειότητα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- 4. Ανθρακικοί σχηματισμοί του Μέσου-Ανώτερου Τριαδικού και Ανώτερου Ιουρασικού: Αυτοί οι μη μεταμορφωμένοι σχηματισμοί αντιπροσωπεύουν μια περίοδο σταθερότητας και καταβύθισης που ευνόησε την απόθεση ανθρακικών ιζημάτων σε ευρεία θαλάσσια περιβάλλοντα.
- 5. Επωθημένες οφιολιθικές μάζες: Οι οφιολιθικές μάζες που επωθήθηκαν πάνω στους προηγούμενους σχηματισμούς αποτελούν μαρτυρία της σύνθετης τεκτονικής ιστορίας της περιοχής, υποδεικνύοντας διαδικασίες υποβύθισης και σύγκρουσης τεκτονικών πλακών.
- 6. Επικλυσιγενείς ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι: Αυτοί οι ασβεστόλιθοι, που αποτέθηκαν κατά την περίοδο της επικλυσιγένεσης, μαρτυρούν την τελική σταθεροποίηση και ανύψωση της περιοχής.
- 7. Ιζήματα φλύσχη: Τα ιζήματα αυτά, που αποτελούν το τελευταίο στάδιο της γεωλογικής εξέλιξης της Υποπελαγονικής Ζώνης, υποδεικνύουν την οριστική ανάδυση της ζώνης, η οποία ολοκληρώθηκε στο τέλος του Ηωκαίνου με την παύση της απόθεσης του φλύσχη.

Η γεωλογική αυτή διαστρωμάτωση προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την κατανόηση της τεκτονικής και γεωλογικής ιστορίας της περιοχής, ενώ η μελέτη της Υποπελαγονικής Ζώνης συνεχίζει να αποτελεί αντικείμενο ερευνητικού ενδιαφέροντος.



Σχήμα 9. "Τυπική στρωματογραφική στήλη της Υποπελαγονικής ζώνης". 1: φλύσχης Άνω Μαιστριχτίου - Ηωκαίνου, 2: ασβεστόλιθοι μαργαϊκοί Άνω Κρητιδικού, 3: ασβεστόλιθοι με ρουδιστές, 4: επικλυσιγενές κροκαλοπαγές βάσης του Κενομανίου, 5: ψαμμίτες, 6: αργιλικοί σχιστόλιθοι, μάργες, 7: ασβεστόλιθοι λατυποπαγείς Μέσου - Άνω Ιουρασικού, 8: πλακώδεις ασβεστόλιθοι, 9: κερατολιθικές ενστρώσεις, 10: ασβεστόλιθοι "bird eye" Λιασίου, 11: ασβεστόλιθοι με φύκη, 12: ωολιθικοί ασβεστόλιθοι, 13: ασβεστόλιθοι Ammonitico Rosso Μέσο – Άνω τριαδικού, 14: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, 15: οφιόλιθοι και συνοδά ιζήματα, 16: λατεριτικά σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα. (Μουντράκης, 2010)

3.7.4. Πελαγονική Ζώνη

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Οι σύγχρονες γεωλογικές απόψεις αναγνωρίζουν την Πελαγονική ως ένα μεγάλο ηπειρωτικό τέμαχος, το οποίο αποτελεί τμήμα της Κιμμερικής ηπείρου. Η Κιμμερική αυτή ήπειρος αποσπάσθηκε από την υπερήπειρο Gondwana κατά τη διάρκεια της Παλαιοζωικής εποχής. Στη συνέχεια, εκατέρωθεν του Πελαγονικού τεμάχους αναπτύχθηκαν δύο σημαντικές ωκεάνιες λεκάνες: η Παλαιο-Τηθύς (ζώνη Αξιού) και η Νέα Τηθύς (Υποπελαγονική-Πίνδου). Οι ωκεάνιες αυτές λεκάνες υπήρξαν οι γεωτεκτονικές περιοχές από τις οποίες προήλθαν, μέσω επωθήσεων, οι οφιολιθικές μάζες που σήμερα εμφανίζονται κατά θέσεις να καλύπτουν τη ζώνη αυτή (Mountrakis, 1983, Mountrakis, 2010).

Η γεωλογική δομή της Πελαγονικής Ζώνης συγκροτείται από ένα κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Παλαιοζωικής ηλικίας, το οποίο είναι διακριτό στα περιθώρια του Πελαγονικού τεμάχους. Σε αυτό το υπόβαθρο επικαλύπτονται ηφαιστειοϊζηματογενείς σειρές που χρονολογούνται από την Πέρμιο-Τριαδική περίοδο, καθώς και γνευσιομένοι γρανίτες. Η υπερκείμενη στρωματογραφία περιλαμβάνει νηριτικά ανθρακικά πετρώματα του Τριαδικού και Ιουρασικού, τα οποία καλύπτονται από επικλυσιγενή ιζήματα του Μέσου Κρητιδικού. Αυτή η ανθρακική ιζηματογένεση συνεχίζεται μέχρι το Μαιστρίχτιο, όπου παρατηρείται σταδιακή μετάβαση σε φλυσχικούς σχηματισμούς που χαρακτηρίζουν το Άνω Μαιστρίχτιο και το Κάτω Παλαιοκαίνου (Mountrakis, 2010).



Σχήμα 10. "Συνοπτική λιθοστρωματογραφική- τεκρονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης". (1-5): Επικλυσιγενή ιζήματα Μέσου- Άνω Κρητιδικού. 1:Φλύσχης Άνω Μαιστριχτίου - Κάτω Παλαιοκαίνου, 2: ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου, 3: μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, 4: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλο-λατυποπαγή της βάσης, 6: οφειόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα, (7-9): πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού-Ιουρασικού, 7: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σιπολίνες, (10-14): πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου- Κάτω Τριαδικού, 10: μετά-πελίτες, φυλλίτες, 11: χαλαζιακά μετά-κροκαλοπαγή, 12: μετά-ψαμμίτες, μετά-αρκόζες, 13: φακοί ασβεστολίθων, 14: μετά-ρυόλιθοι, μετά-τόφφοι, 15: γνευσιομένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, (16-20): πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου Παλαιοζωικής ή και προ-Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι (χλωριτικοί, μαρμαρυγιακοί, αμφιβολιτικοί, επιδοτιτικοί), 17: διμαρμαρυγιακοί-γρανατούχοι σχιστόλιθοι, 18: αμφιβολίτες, 19: γνεύσιοι, 20: οφθαλμογνεύσιοι. (Μουντράκης, 2010)

3.8 ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Ο Ελληνικός χώρος βρίσκεται στην περιοχή σύγκλισης δυο σημαντικών λιθοσφαιρικών πλακών: της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής. Αυτή η γεωλογική πραγματικότητα δημιουργεί έντονη ενεργό τεκτονική, η οποία δικαιολογεί την αυξημένη σεισμικότητα, την παραμόρφωση των πετρωμάτων και τα ηφαιστειακά φαινόμενα που παρατηρούνται στην περιοχή. Η ζώνη σύγκλισης αυτή αποτελεί μία από τις πιο ενεργές σεισμικά περιοχές στον κόσμο, με τις συνέπειες αυτής της τεκτονικής δραστηριότητας να γίνονται αισθητές τόσο σε τοπικό όσο και σε περιφερειακό επίπεδο (Goldsworthy et al., 2002).

3.8.1. Σεισμική Επιδεκτικότητα της Περιφερειακής Ενότητας Τρικάλων

Η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας αποτελεί μια περιοχή με μέτρια έως υψηλή σεισμικά δραστηριότητα. Όπως φαίνεται στον χάρτη του σχήματος 12, ο οποίος παρουσιάζει τις Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας του Ελλαδικού χώρου, σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 2000, τα Τρίκαλα κατατάσσονται στη Ζώνη ΙΙ της Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας.



Σχήμα 11. Απλοποιημένος τεκτονικός χάρτης της Θεσσαλίας Τα κύρια τεταρτογενή ρήγματα παρουσιάζονται με παχιές μαύρες γραμμές, με τα δόντια να υποδεικνύουν το άνω τέμαχος. (Caputo and Pavlides, 1993).

Ωστόσο, το 2003, ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός τροποποιήθηκε και οι ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας μειώθηκαν κατά μια. Έτσι, στη νέα κατάταξη, όπως φαίνεται στο σχήμα 13, ο νομός των Τρικάλων κατατάσσεται στις Ζώνες Ι και ΙΙ της Σεισμικής Επικινδυνότητας.



Σχήμα 12. Χάρτης ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδος (ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ, 2000). Με κόκκινο επισημαίνεται η περιοχή έρευνας.

Σχήμα 13. Χάρτης ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδος (ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ, 2003). Με κόκκινο επισημαίνεται η περιοχή έρευνας.

Η περιοχή έχει ιστορικό σημαντικών σεισμικών γεγονότων, αν και η σεισμικότητα δεν είναι τόσο έντονη όσο σε άλλες περιοχές της Ελλάδας, όπως το Ιόνιο. Ωστόσο, οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι τα σεισμικά γεγονότα που συμβαίνουν στην περιοχή μπορούν να είναι ιδιαίτερα επιζήμια λόγω της φύσης των εδαφών και των ρηγμάτων που επηρεάζουν τον νομό. Η ύπαρξη αρκετών κανονικών ρηγμάτων, τα οποία έχουν την τάση να ενεργοποιούνται υπό την επίδραση των εφελκυστικών τάσεων που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου, καθιστά τον νομό Τρικάλων ευάλωτο σε σεισμικά φαινόμενα. Σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση της σεισμικής επιδεκτικότητας παίζει επίσης η γεωμορφολογία της περιοχής, καθώς και η φύση των υποκείμενων γεωλογικών σχηματισμών, οι οποίοι επηρεάζουν τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων και, κατ' επέκταση, την ένταση των σεισμών (Papazachos, 1988, Caputo, 1990).

Η ύπαρξη αρκετών κανονικών ρηγμάτων, τα οποία έχουν την τάση να ενεργοποιούνται υπό την επίδραση των εφελκυστικών τάσεων που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου, καθιστά τον νομό Τρικάλων ευάλωτο σε σεισμικά φαινόμενα. Σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση της σεισμικής επιδεκτικότητας παίζει επίσης η γεωμορφολογία της περιοχής, καθώς και η φύση των υποκείμενων γεωλογικών σχηματισμών, οι οποίοι επηρεάζουν τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων και, κατ' επέκταση, την ένταση των σεισμών (Παπαζάχος κ.ά., 1989, Caputo, 1990).

Οι τάσεις εφελκυσμού που επικρατούν στον χώρο του Αιγαίου καθώς και τα κανονικά ρήγματα, έχουν σημαντικό ρόλο στη γένεση μεγάλων σεισμών. Σύμφωνα με τις μελέτες των McKenzie (1972), Mercier et al. (1989) και Doutsos et al. (1993), οι εφελκυστικές

τάσεις στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου συνδέονται άμεσα με τους σεισμογόνους μηχανισμούς. Επιπλέον, οι γεωλογικές και σεισμολογικές παρατηρήσεις υποδεικνύουν ότι η ενεργός τεκτονική της Θεσσαλίας χαρακτηρίζεται κυρίως από οριζόντιες τεκτονικές κινήσεις, ενώ κυριαρχεί μία τάση εφελκυσμού με διεύθυνση Βορρά-Νότου (Caputo, 1990, Caputo & Pavlides, 1993).

Η συσχέτιση αυτών των δεδομένων υπογραμμίζει τη σύνθετη φύση της τεκτονικής δραστηριότητας στην περιοχή και την ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση και επικαιροποίηση των αντισεισμικών κανονισμών, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι από μελλοντικά σεισμικά γεγονότα.



Σχήμα 14. Χάρτης με επίκεντρα ιστορικών σεισμών για τον νομό Θεσσαλίας με τον παλαιότερο να καταγράφεται το 1544 με μέγεθος 6,4 (κόκκινο χρώμα) και τον νεότερο να καταγράφεται το 2021 με μέγεθος 6,3 (κίτρινο χρώμα). Ο χάρτης έχει δημιουργηθεί μέσω της ιστοσελίδας του σεισμολογικού σταθμού του ΑΠΘ και η διαβάθμιση στα μεγέθη των πορτοκαλί κουκίδων υποδηλώνει τα μεγέθη των σεισμών με τη μεγαλύτερη να αντιστοιχεί σε μέγεθος 7 και τη μικρότερη σε μέγεθος 6.

3.9 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Μεταξύ των κύριων παραμέτρων του φυσικού περιβάλλοντος που επιβεβαιωμένα επηρεάζουν τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής, και ειδικότερα την ευστάθεια των γεωλογικών σχηματισμών της, και την αλληλεπίδραση μεταξύ θεμελίωσης και κατασκευών, οι υδρομετεωρολογικές συνθήκες κατέχουν εξέχουσα θέση (Taylor et al., 2019). Αυτές περιλαμβάνουν τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και την υγρασία, οι οποίες διαμορφώνουν το τεχνικογεωλογικό τοπίο και κατ' επέκταση την ευστάθεια των υποδομών.

3.9.1. Κλιματολογικά Χαρακτηριστικά της Θεσσαλίας και του Νομού Τρικάλων

Το κλίμα της Θεσσαλίας και ειδικότερα της ΠΕ Τρικάλων χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, με έντονες εποχιακές διακυμάνσεις που επηρεάζουν τις υδρογεωλογικές και τεχνικογεωλογικές συνθήκες. Τα καλοκαίρια είναι ζεστά και ξηρά, με θερμοκρασίες που συχνά ξεπερνούν τους 35°C, ενώ οι χειμερινοί μήνες χαρακτηρίζονται από ήπιες
θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 5°C έως 10°C. Η ατμοσφαιρική υγρασία είναι χαμηλότερη κατά τη θερινή περίοδο, ενώ τα κύρια ποσοστά βροχοπτώσεων καταγράφονται από τον Νοέμβριο έως τον Μάρτιο, με μέσο ετήσιο ύψος βροχής μεταξύ 500 και 700 mm (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Giannakopoulos et al., 2009).

Η τοπογραφία και η γεωγραφική ποικιλομορφία της Θεσσαλίας δημιουργούν μικροκλιματικά φαινόμενα που ποικίλλουν μεταξύ των πεδινών και ορεινών περιοχών. Οι ορεινές περιοχές, όπως η οροσειρά της Πίνδου, παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά βροχοπτώσεων και χαμηλότερες θερμοκρασίες, γεγονός που επηρεάζει σημαντικά την ευστάθεια των γεωλογικών σχηματισμών και την σταθερότητα των κατασκευών, ιδιαίτερα σε περιόδους έντονης βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης (Karagiannids et al., 2023). Αντίθετα, οι πεδινές περιοχές, όπως η Θεσσαλική πεδιάδα, επηρεάζονται περισσότερο από τις υψηλές θερινές θερμοκρασίες και την ξηρασία, γεγονός που οδηγεί σε προβλήματα όπως η ξήρανση του εδάφους και η μείωση της ευστάθειάς του.

3.9.2. Επιπτώσεις των Υδρομετεωρολογικών Συνθηκών στην Τεχνικογεωλογική Σταθερότητα

Οι υδρομετεωρολογικές συνθήκες έχουν άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στη γεωτεχνική ευστάθεια της περιοχής. Οι βροχοπτώσεις επηρεάζουν την υδροστατική πίεση και την εδαφική υγρασία, στοιχεία που είναι κρίσιμα για την ευστάθεια των πρανών και των θεμελίων των κατασκευών (Li et al., 2013). Επίσης, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας επιφέρουν μεταβολές στα φυσικά χαρακτηριστικά των υλικών, όπως είναι η αλλοίωση των εδαφών, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ρωγμές και υηποσκαφές στις κατασκευές, θέτοντας σε κίνδυνο τη στατικότητα και την ασφάλειά τους.

Η κατανόηση των κλιματικών και υδρομετεωρολογικών παραμέτρων, είναι ζωτικής σημασίας για τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβλητότητας στη φυτική παραγωγή, όπως καταδεικνύουν μελέτες για την περιοχή (del Pozo et al., 2019).

3.10 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η υδρογεωλογία των Τρικάλων, επηρεάζεται κυρίως από τους γεωλογικούς σχηματισμούς και τα υδρολογικά χαρακτηριστικά τους. Το υδρογεωλογικό πλαίσιο της περιοχής κυριαρχείται από τη Θεσσαλική πεδιάδα, η οποία χαρακτηρίζεται από ένα συνδυασμό αλλουβιακών αποθέσεων και ιζηματογενών πετρωμάτων, όπως κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και μάργες. Αυτές οι αποθέσεις συνήθως παρεμβάλλονται με αργιλικά στρώματα, δημιουργώντας πολύπλοκα συστήματα υδροφόρων οριζόντων που ποικίλλουν ως προς τη διαπερατότητα και την αποθηκευτική ικανότητα (Daskalaki & Voudouris, 2008). Η οροσειρά της Πίνδου στα δυτικά λειτουργεί ως σημαντική περιοχή εμπλουτισμού, με τα κατακρημνίσματα να διεισδύουν μέσα από ρωγμές και διακλάσεις στα ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα, συμβάλλοντας τόσο σε ρηχά όσο και σε βαθιά υδροφόρα στρώματα (Dimitriou & Zacharias, 2006). Αυτό το γεωλογικό περιβάλλον διευκολύνει σημαντικά τη ροή των υπόγειων υδάτων προς τις πεδιάδες, καθιστώντας τα υπόγεια ύδατα έναν κρίσιμο υδάτινο πόρο για γεωργικές, οικιακές και βιομηχανικές χρήσεις στην ΠΕ Τρικάλων.

Τα υπόγεια ύδατα στην περιοχή των Τρικάλων εξάγονται τόσο από ελεύθερους όσο και από υπό πίεση υδροφορείς, με τους πρώτους να είναι πιο ευαίσθητοι στις εποχιακές διακυμάνσεις και τη μόλυνση. Οι ελεύθεροι υδροφορείς, που βρίσκονται κυρίως στις αλλουβιακές αποθέσεις της Θεσσαλικής πεδιάδας, εμπλουτίζονται με άμεση διήθηση από τις βροχοπτώσεις και τις ποτάμιες διαρροές, ιδίως από τον Πηνειό ποταμό και τους παραποτάμους του (Alexakis et al., 2012). Οι υδροφορείς αυτοί είναι ζωτικής σημασίας για τη γεωργική άρδευση, η οποία είναι εντατική σε αυτή την εύφορη περιοχή. Οι υπό πίεση υδροφορείς, που βρίσκονται σε μεγαλύτερα βάθη και συχνά μέσα στους ιζηματογενείς σχηματισμούς των πετρωμάτων, παρέχουν πιο σταθερά αποθέματα νερού. Ωστόσο, είναι λιγότερο προσβάσιμοι και απαιτούν πιο προηγμένες τεχνικές εξόρυξης. Η υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων, ιδίως για την άρδευση, έχει οδηγήσει σε μείωση της στάθμης των υδάτων και σε ανησυχίες σχετικά με τη βιωσιμότητα αυτών των συστημάτων υδροφόρων οριζόντων (Loukas & Vasiliades, 2014). Οι αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης είναι απαραίτητες για την εξισορρόπηση της ζήτησης και των ρυθμών αναπλήρωσης, εξασφαλίζοντας τη μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα των υπόγειων υδατικών πόρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ DANIEL ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΡΙΚΑΛΩΝ

4.1 Αντικείμενο και περιοχή έρευνας

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Το φαινόμενο του Μεσογειακού Κυκλώνα (Medicane) Daniel, που έπληξε την Ελλάδα στις αρχές Σεπτεμβρίου 2023, ήταν ένα ασυνίθηστο και καταστροφικό φαινόμενο το οποίο προκάλεσε αξιοσημείωτες καταστροφές και εκτεταμένες πλημμύρες, ιδιαίτερα στις περιοχές της Θεσσαλίας, της Κεντρικής Ελλάδας και σε τμήματα της Μακεδονίας. Οι Medicanes, είναι κυκλώνες που εμφανίζονται στη Μεσόγειο και έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τους τροπικούς κυκλώνες αλλά, συνήθως, μικρότερη ένταση και διάρκεια. Ωστόσο, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά καιρικά φαινόμενα, όπως έντονες βροχοπτώσεις και ισχυρούς ανέμους (Mavroulis et al., 2024).



Σχήμα 15. Ο χάρτης της Περιφέρειας Θεσσαλίας με τις περιφερειακές ενότητες της Λάρισας, της Μαγνησίας, των Τρικάλων και της Καρδίτσας, που επλήγησαν από το φαινόμενο Daniel και τις επακόλουθες πλημμύρες. Η Θεσσαλική πεδιάδα διαιρείται σε δύο μικρότερες πεδιάδες: την πεδιάδα της Λάρισας (LP) στα ανατολικά και την πεδιάδα της Καρδίτσας (KP) στα δυτικά. Και οι δύο πεδιάδες, οι οποίες περιβάλλονται από βουνά, επλήγησαν σοβαρά από τα καταστροφικά γεγονότα των αρχών Σεπτεμβρίου 2023. Η έκταση των πλημμυρών παρασχέθηκε από την Υπηρεσία Διαχείρισης Έκτακτης Ανάγκης Copernicus (EMS) μέσω Χαρτογράφησης Ταχείας Αντίδρασης στις 9 Σεπτεμβρίου 2023. ΤG: Θερμαϊκός Κόλπος; PG: Παγασητικός Κόλπος; PM: Όρος Πήλιο; MM: Όρος Μαυροβούνι; OSM: Όρος Όσσα; OLM: Όρος Όλυμπος; AMS: Αντιχάσια Όρη; ZM: Όρος Ζάκρος; TM: Όρος Τίτανος; CM: Όρος Χαλκιδόνιο; KL: Λίμνη Κάρλα. Πηγές του χάρτη βάσης: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN και η κοινότητα χρηστών GIS. (Mavroulis et al., 2024)

4.2 Γεωφυσικές και κλιματικές παράμετροι του Medicane Daniel

Η διαμόρφωση και η εξέλιξη του Daniel συνδέονται με συγκεκριμένες μετεωρολογικές και κλιματικές συνθήκες που επηρέασαν την περιοχή. Το φαινόμενο προκλήθηκε από τις υψηλές θερμοκρασίες στην επιφάνεια της θάλασσας, που προσέφεραν την αναγκαία θερμότητα και υγρασία για την ενίσχυση του συστήματος. Οι θερμές επιφανειακές θερμοκρασίες της θάλασσας, που αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για τον σχηματισμό και την ενίσχυση τέτοιων κυκλώνων, ήταν σημαντικά υψηλότερες από τον μέσο όρο, γεγονός που πιθανότατα επιδεινώθηκε από την κλιματική αλλαγή, επιτρέποντας στο σύστημα να ενισχυθεί και να δημιουργήσει μεγάλες ποσότητες βροχοπτώσεων και ισχυρών ανέμων (Lionello et al., 2017). Η ορεινή τοπογραφία της Θεσσαλίας, και ειδικότερα η οροσειρά της Πίνδου, επιδρά σημαντικά στην ενίσχυση των πλημμυρικών φαινομένων μέσω της ορογραφικής ανύψωσης. Αυτή η διαδικασία, κατά την οποία ο υγρός αέρας ανυψώνεται καθώς διέρχεται από τις ορεινές περιοχές, οδηγεί σε αυξημένη συμπύκνωση και, συνεπώς, σε εντονότερες βροχοπτώσεις. Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται αύξηση της πιθανότητας πλημμυρών στις γειτονικές πεδινές περιοχές, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τις έρευνες των Mavroulis et al. (2024).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

4.3 Επιπτώσεις στις περιοχές της Θεσσαλίας και της Περιφερειακής Ενότητας Τρικάλων

Οι πρωτοφανείς βροχοπτώσεις που προκάλεσε ο Daniel κατέκλυσαν τα ποτάμια συστήματα και τις υποδομές αποστράγγισης, οδηγώντας σε εκτεταμένες πλημμύρες αστικών και αγροτικών περιοχών (Lekkas et al., 2023). Σημειώθηκαν αρκετές τοποθεσίες με ιδιαίτερα υψηλές ποσότητες βροχόπτωσης και όπου αναφέρθηκαν σοβαρές επιπτώσεις από πλημμύρες στο μέσα ενημέρωσης. Ένα παράδειγμα αποτελεί η Πορταριά όπου σημειώθηκαν 762 χιλιοστά βροχής μέσα σε μία ημέρα (5 Σεπτεμβρίου) ενώ συνολικά στην περιοχή της Ζαγοράς σημειώθηκαν 1.096 χιλιοστά μέσα σε τέσσερις ημέρες (5-8 Σεπτεμβρίου). Οι πλημμύρες στον Ελλάδα ήταν πολύ εκτεταμένες, λόγω βροχοπτώσεων πολλών ημερών, και επικεντρώθηκαν στη περιοχή της Θεσσαλίας στην κεντρική Ελλάδα (Hewson T. et al., 2024).



Σχήμα 16. Οι καταστροφικές πλημμύρες που προκλήθηκαν από το φαινόμενο Daniel έλαβαν χώρα εντός της λεκάνης απορροής του Πηνειού (PCA). Το πλημμυρισμένο τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας παρουσιάζεται μαζί με τον Πηνειό ποταμό (PIR) και τους κύριους παραποτάμους του. Η

έκταση της πλημμύρας παρασχέθηκε από την υπηρεσία Χαρτογράφησης Ταχείας Αντίδρασης του Copernicus EMS στις 9 Σεπτεμβρίου 2023. Η έκταση της λεκάνης απορροής του Πηνειού βασίζεται στα στοιχεία της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων. ΤR: Ποταμός Τιταρήσιος; NR: Ποταμός Νεοχωρίτης; LR: Ποταμός Ληθαίος; POR: Ποταμός Πορταϊκός; PAR: Ποταμός Παμισός; KR: Ποταμός Καλέντζης; RR: Ποταμός Ρεντινιώτικος; OR: Ποταμός Ονόχωνος; FR: Ποταμός Φαρσαλιώτικος; ER: Ποταμός Ενιπέας (οι υπόλοιπες συντομογραφίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 15). Πηγές του χάρτη βάσης: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN και η κοινότητα χρηστών GIS. (Mavroulis et al., 2024)

4.4 Συμπεράσματα

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Ο Μεσογειακός Κυκλώνας Daniel αποτελεί ένδειξη των αυξανόμενων προκλήσεων της κλιματικής κρίσης που πλήττει όλο και συχνότερα τη Μεσόγειο. Οι καταστροφές στη Θεσσαλία, και συγκεκριμένα στη Περιφερειακή Ενότητα Τρικάλων, έχουν πυροδοτήσει έντονες συζητήσεις σχετικά με τις ανάγκες ενίσχυσης των αντιπλημμυρικών υποδομών και αναδεικνύουν την ανάγκη για καλύτερη προετοιμασία και προσαρμογή στις κλιματικές προκλήσεις (Mavroulis et al., 2024).



Σχήμα 17. Το γράφημα υποδηλώνει επαλήθευση πρόβλεψης βροχόπτωσης μικρής εμβέλειας 4 ημερών (4-7 Σεπτεμβρίου) (Hewson, T. et al., 2024). Με κόκκινο επισημαίνεται η περιοχή έρευνας.

Μία από τις σοβαρότερες συνέπειες της κακοκαιρίας Daniel ήταν η εμφάνιση πολυάριθμων κατολισθήσεων, ιδιαίτερα στις ορεινές και λοφώδεις περιοχές της Θεσσαλίας και της Κεντρικής Ελλάδας. Οι έντονες και παρατεταμένες βροχοπτώσεις διαπότισαν το έδαφος, μειώνοντας την ευστάθειά του και προκαλώντας κατολισθήσεις που οδήγησαν σε εκτεταμένες αστοχίες σε δρόμους, γέφυρες και κτήρια. Αυτές οι

κατολισθήσεις όχι μόνο προκάλεσαν άμεσες καταστροφές, αλλά δυσχέραναν επίσης τις προσπάθειες διάσωσης, καθώς μπλόκαραν βασικές οδούς μεταφοράς και απομόνωσαν κοινότητες. Οι Dimitriou et al. (2024) υποστηρίζουν ότι ο κίνδυνος κατολισθήσεων αυξήθηκε περαιτέρω λόγω της αποψίλωσης των δασών και των αλλαγών στη χρήση γης που είχαν προηγουμένως αποσταθεροποιήσει τις πλαγιές, καθιστώντας τες πιο επιδεκτικές σε κατάρρευση κάτω από έντονες βροχοπτώσεις. Ο συνδυασμένος αντίκτυπος των πλημμυρών και των κατολισθήσεων οδήγησε σε σημαντικές απώλειες ανθρώπινων ζωών, εκτοπισμό κατοίκων και μακροπρόθεσμες οικονομικές προκλήσεις για τις πληγείσες περιοχές (Dimitriou et al., 2024).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ GIS

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) αποτελούν σύνθετα συστήματα που απαρτίζονται από εργαλεία συλλογής, αποθήκευσης, ανάκτησης, ανάλυσης και απόδοσης χωρικών και μη – χωρικών δεδομένων.

Οι ιδιότητες που εμφανίζουν τα Γ.Σ.Π. περιστρέφονται γύρω από τρεις βασικούς άξονες:

- Την εισαγωγή και αποθήκευση δεδομένων
- Τη δυνατότητα χωρικής ανάλυσης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

• Τη δημιουργία βάσης δεδομένων

Ένα Γ.Σ.Π. μπορεί να περιγράψει δεδομένα τόσο χώρου όσο και χρόνου και υποστηρίζεται από μηχανικό υπολογιστικό εξοπλισμό αλλά και κατάλληλο λογισμικό (Τσαγγαράτος, 2012).

Οι ερευνητές χρησιμοποιούν τα Γ.Σ.Π. για μια ευρείας γκάμας εφαρμογών, όπως στη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος και των πόρων του, στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη νέας υποδομής για οικισμούς, στις θαλάσσιες και επίγειες μεταφορές όπως και σε δίκτυα ύδρευσης, αποχέτευσης, όπου διευκολύνεται η παρακολούθηση και διαχείρισή τους.

Σε μια διανυσματική αναπαράσταση όλες οι γραμμές αποτυπώνονται ως σημεία, τα οποία συνδέονται με ευθείες γραμμές. Μια επιφάνεια αποτυπώνεται ως μια σειρά σημείων ή κορυφών (vertices) συνδεδεμένων με ευθείες. Οι ευθείες ακμές μεταξύ των κορυφών εξηγούν γιατί στη διανυσματική αναπαράσταση οι επιφάνειες συχνά ονομάζονται πολύγωνα.

Τα εργαλεία της Τηλεπισκόπησης μπορούν φυσικά να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός χάρτη απογραφής ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και η εμπειρία του γεωεπιστήμονα που έχει αναλάβει τη σύνταξη του χάρτη απογραφής.

Πιο συγκεκριμένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε πολύ υψηλής ανάλυσης (VHR) είτε υψηλής ανάλυσης (HR) δορυφορικές εικόνες με εύρος ανάλυσης από 0,3-2 m έως 5-20 m (Sentinel-2, Landsat 7/8/9 κλπ.), αεροφωτογραφίες, υψηλής ανάλυσης ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου με 2 μέτρα ανάλυση και προϊόντα προερχόμενα από σάρωση της περιοχής με LiDAR (Light Detection and Ranging). (Παπαθανασίου Γ. 2022). Η επιλογή της ανάλυσης των χρησιμοποιούμενων μέσων εξαρτάται τόσο από την κλίμακα του χάρτη όσο και από το ποσό που μπορεί να διατεθεί για την αγορά τους. Για χάρτες απογραφής μεγάλης κλίμακας χρησιμοποιούνται αντίστοιχα υψηλής ανάλυσης προϊόντα, τα οποία κοστίζουν αρκετά. Αντίθετα, για μέσης κλίμακας χάρτες, πλέον χρησιμοποιούνται δορυφορικές εικόνες Sentinel-2, Landsat 7/8/9, οι οποίες προσφέρονται δωρεάν. Παράδειγμα μιας τέτοιας εφαρμογής αποτελεί ο χάρτης απογραφής κατολισθήσεων, οι οποίες εκδηλώθηκαν στην περιοχή των Τρικάλων τον Σεπτέμβριο του 2023, ως συνέπεια της κακοκαιρίας Daniel (Σχήμα 18). Ο συγκεκριμένος χάρτης δημιουργήθηκε με βάση την ανάλυση και επεξεργασία δορυφορικών εικόνων Sentinel-2, με ημερομηνία λήψης 10 Σεπτεμβρίου 2023.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Σχήμα 18. Χάρτης απογραφής κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή των Τρικάλων που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Με κίτρινο χρώμα σημειώνονται τα όρια των κατολισθήσεων με εμβαδόν μεγαλύτερο από 2.500 m² ενώ με μπλε οροθετούνται όσες έχουν εμβαδόν μικρότερο από 2.500 m².



Ημερομηνία λήψης 21/08/2023





Σχήμα 19, 20. Δορυφορικές εικόνες sentinel-2 που αφορούν τη δυτική Θεσσαλία και στις οποίες αποτυπώνεται η ίδια περιοχή πριν και μετά την κακοκαιρία Daniel. Στη δεύτερη εικόνα και με μπλε βέλη προβάλλονται οι κατολισθήσεις που προκλήθηκαν μετά το γεγονός. Η ημερομηνία λήψης της εικόνας 19 είναι: 21/08/2023 και της εικόνας 20: 10/09/2023.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΔΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΗ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν όλες οι διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες USGS Landsat 8/9 (15 μέτρα ανάλυση εδάφους) και Copernicus Sentinel-2 (10 μέτρα ανάλυση εδάφους), για ημερομηνίες πριν και μετά την κακοκαιρία Daniel που έπληξε την Ελλάδα και ιδιαίτερα τη Θεσσαλία, αλλά και την περιοχή μελέτης, στις αρχές του Σεπτεμβρίου 2023. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης δορυφορικές εικόνες Planet (3-4 μέτρα ανάλυση εδάφους) και VHR (Very High Resolution) για λεπτομερέστερη χαρτογράφηση των θέσεων των κατολισθήσεων και των πολυγώνων.

Το πρώτο βήμα που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία του χάρτη απογραφής ήταν η δημιουργία πολυγώνων σε περιβάλλον QGIS για την αποτύπωση των κατολισθήσεων. Από την εναλλαγή των αεροφωτογραφιών πριν και μετά το γεγονός που μας ενδιαφέρει, διακρίνονται οι κατολισθήσεις που έχουν δημιουργηθεί και καταγράφονται με τη χρήση πολυγώνων ακολουθώντας τα εξής βήματα:

Στο περιβάλλον του QGIS επιλέγουμε

- 1. Layer
- 2. Create Layer
- 3. New Shapefile Layer

	<u>L</u> ayer	<u>S</u> ettings	<u>P</u> lugins	Vect <u>o</u> r	<u>R</u> aster	<u>D</u> atabase	<u>W</u> eb	<u>M</u> esh	Pro <u>c</u> essing	<u>H</u> elp		
]	🥠 D	<u>)</u> ata Source	Manager			Ctrl+L) 🔁 🛛 🔍	🗱 🜞 Σ	-	- 🖓 🧟 -
	C	reate Layer					•	餐 New	v GeoPackage	e Layer		Ctrl+Shift+N
3	A	dd Layer					►	V Nev	v Shapefile La	ayer		
-	E	mbed Laye	rs and Gr	oups				Rev New	v SpatiaLite L	ayer		
	A	dd from La	ayer Defin	ition File	·			🖏 Nev	v Temporary	Scratch Laye	r	
ł	# G	ieoreference	er					🕌 Nev	v Mesh Layer.			
	P C	opy Style						ter 🔚 🖫	v GPX Layer			
1	Ē P	aste Style						🔀 Nev	v Virtual Laye	r		

Ανοίγει ένα παράθυρο επεξεργασίας. Στην επιλογή **File Name** γράφουμε το όνομα του αρχείου που θέλουμε να δημιουργήσουμε και στη θέση **Geometry Type** επιλέγουμε **Polygon**. Πατάμε **ok** και το καινούργιο αρχείο είναι έτοιμο για επεξεργασία.

Bill "OEO	ριακή σ βλιοθ δ D Δ Q New	аллоуф Э́цкц Stapefile Lay	5 "				×		
	File name	5	Landslides				≪		
N Street I al	File encod	ling 2	UTF-8				•		
	Geometry Additiona	type I dimensions	No Gee ° Point ° MultiP	 No Geometry Point MultiPoint 					
	New Fie	ld	V LineStr	√ [∞] LineString					
	Name Type	abc Text (strin	ng)	n					
	Length	80	Precision	Add to Field	s List				
	Fields Li	st							
	Name	-	Гуре	Length	Precision				
	id		nteger	10		Rem	ove Field		
					(OK Cancel	Help		

Για να επεξεργαστούμε το καινούργιο shapefile το επιλέγουμε από την καρτέλα με τα Layers και χρησιμοποιούμε το εργαλείο για την επεξεργασία **toggle editing**,



και add polygon feature.



Χρησιμοποιώντας αυτήν την επιλογή εμφανίζεται στον δείκτη του ποντικιού το σταυρόνημα ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία αποτύπωσης.

id NULL
OK Cancel

Με το τέλος της διαδικασίας, αποτυπώθηκαν περισσότερες από 3.000 κατολισθήσεις για μία έκταση 27.000 km² στο ορεινό τμήμα της Δυτικής Θεσσαλίας (Valkaniotis, S. et al., 2024) και περίπου **1.350 κατολισθήσεις** από αυτές βρέθηκαν στην Περιφερειακή Ενότητα Τρικάλων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΧΑΡΤΩΝ

Η ψηφιοποίηση δεδομένων χαρτών στο QGIS (Quantum Geographic Information System) είναι μια θεμελιώδης διαδικασία στη γεωχωρική ανάλυση που περιλαμβάνει τη μετατροπή αναλογικών χαρτών ή δορυφορικών εικόνων σε ψηφιακές μορφές. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη για διάφορους λόγους:

1. Ενσωμάτωση και ανάλυση δεδομένων

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η ψηφιοποίηση δεδομένων χαρτών επιτρέπει την ενσωμάτωση διαφόρων τύπων χωρικών δεδομένων, διευκολύνοντας την ολοκληρωμένη ανάλυση. Με τη μετατροπή χαρτών σε ψηφιακές μορφές, μπορούν να επικαλυφθούν και να αναλυθούν μαζί διαφορετικά επίπεδα γεωχωρικών πληροφοριών, όπως η τοπογραφία, η χρήση γης και οι υποδομές. Αυτή η ενοποίηση είναι ζωτικής σημασίας για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε τομείς όπως ο αστικός σχεδιασμός, η περιβαλλοντική διαχείριση και η αντιμετώπιση καταστροφών (QGIS Documentation, n.d.).

2. Ακρίβεια και σαφήνεια των δεδομένων

Οι ψηφιακοί χάρτες που δημιουργούνται μέσω ψηφιοποίησης παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια και σαφήνεια σε σύγκριση με τους αντίστοιχους αναλογικούς χάρτες. Αυτή η βελτιωμένη ακρίβεια είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές που απαιτούν λεπτομερείς χωρικές πληροφορίες, όπως η κτηματογράφηση και η ανάπτυξη υποδομών (Longley et al., 2015).

3. Διαχείριση και αποθήκευση δεδομένων

Τα δεδομένα ψηφιακών χαρτών μπορούν εύκολα να αποθηκευτούν, να διαχειριστούν και να διαμοιραστούν. Τα ψηφιοποιημένα δεδομένα μπορούν να δημιουργηθούν αντίγραφα ασφαλείας, να αντιγραφούν και να έχουν πρόσβαση σε αυτά πολλοί χρήστες ταυτόχρονα, ενισχύοντας τη συνεργασία και διασφαλίζοντας τη διατήρηση των δεδομένων. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική για κυβερνητικές υπηρεσίες, ερευνητικά ιδρύματα και οργανισμούς που συμμετέχουν σε χωρικά έργα μεγάλης κλίμακας (QGIS User Guide, 2022).

Για τη συγκεκριμένη διπλωματική χρειάστηκε να ψηφιοποιηθούν τέσσερα (4) φύλλα χάρτη από το Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους (ΙΓΜΕ). Τα φύλλα αυτά ήταν:

1.Φύλλο "Καστανέα"

- 2.Φύλλο "Μυρόφυλλων"
- 3.Φύλλο "Πράμαντα"

4.Φύλλο "Άγναντα"

Για την ψηφιοποίηση, αρχικά φορτώνουμε τα γεω-αναφερμένα φύλλα στο περιβάλλον του QGIS και ακολουθούμε την ίδια διαδικασία που χρησιμοποιήσαμε για την αποτύπωση των κατολισθήσεων μόνο που σε αυτήν την περίπτωση, προσθέτουμε ένα επιπλέον πεδίο κατά τη δημιουργία του shapefile.

	2	map1.shp					×
File enco	ding	UTF-8					
Geometry	y type	🗁 Polyge	on				
Additiona	al dimensions	None		🔵 Z (+ M	4 values)	O M values	
		Project CF	Project CRS: EPSG:2100 - GGRS87 / Greek Grid				
New Fie	ld						
Name FORM_CODE							
Туре	abc Text (string	g)					
Length	80	Precision					
		_ (🔚 Add to Fi	elds List	2		
Fields L	ist			Add field	<mark>to list</mark>		
Name	Т	уре	Length	F	Precision		
id	li	nteger	10				

Ονομάζουμε το νέο πεδίο **FORM_CODE** και ουσιαστικά εκεί θα καταγράφεται το σύμβολο του κάθε σχηματισμού όπως αυτό αναγράφεται στο υπόμνημα του χάρτη.

Θα πρέπει δηλαδή, όταν δημιουργείται το κάθε πολύγωνο, να αναγνωρίζεται στο υπόμνημα του χάρτη ο εκάστοτε σχηματισμός και να χρησιμοποιείται το αντίστοιχο σύμβολο.

Για παράδειγμα, όταν θα δημιουργήσουμε αυτό το πολύγωνο



θα πρέπει να μεταβούμε στο υπόμνημα του χάρτη του φύλλου που επεξεργαζόμαστε, να βρούμε τον σχηματισμό και να χρησιμοποιήσουμε το αντίστοιχο σύμβολο.



Έτσι, στο πεδίο που θα εμφανιστεί μετά την χάραξη του πολυγώνου, στο πεδίο FORM_CODE θα πληκτρολογήσουμε 'σ'.

map1 - Feature	e Attributes ×
id	NULL
FORM_CODE	σ
•	•
	OK Cancel

Για τη δημιουργία πολυγώνου για τον διπλανό σχηματισμό πρέπει να είναι ενεργοποιημένη η επιλογή '**Avoid Overlap on Active Layer**' από την καρτέλα 'Snapping Toolbar' ώστε να αποφεύγεται η επικάλυψη των πολυγώνων.

3 🦌 📜 12	ф рх		$\mathscr{R} \star \star \times \mathscr{D}$
Browser		ØX V	💎 Allow Overlap
🗔 😂 🝸 🖆 🕖		E? M.	💎 Avoid Overlap on Active Layer
Favorites			😵 Follow Advanced Configuration

Αυτή η διαδικασία γίνεται για όλους τους σχηματισμούς και για τα τέσσερα φύλλα. Τελικά, μαζί με τα ψηφιοποιημένα φύλλα "Αγιόφυλλο", "Δεσκάτη", "Καλαμπάκα", "Καρδίτσα", "Μέτσοβο", "Μουζάκιον", "Παναγιά", "Τρίκαλα", "Φαρκαδών", δημιουργείται ένας ενιαίος χάρτης στον οποίο εμφανίζεται η γεωλογία της περιοχής.



Τα σύμβολα των σχηματισμών είναι:

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

%	Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	19
"G		ΒΑΣΙΚΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ
1345	R R	ΛΑΒΕΣ ΚΥΡΙΩΣ ΒΑΣΑΛΤΙΚΕΣ
0		ΛΕΥΚΟΚΡΑΤΙΚΟΣ ΓΡΑΝΙΤΗΣ
	v-an	ΓΝΕΥΣΙΟΓΡΑΝΙΤΗΣ
	v1	ΑΣΒΕΣΤΑΛΚΑΛΙΚΟΣ ΓΡΑΝΙΤΗΣ
	θ	ΜΕΤΑΓΑΒΒΡΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΙΑΒΑΣΕΣ
	μν	ΧΑΛΑΖΙΑΚΟΣ ΜΟΝΖΟΝΙΤΗΣ
	οφ	ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗ ΣΕΙΡΑ
i i	π	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΩΜΕΝΟΙ ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ
	σ	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ
	σπ,δ,hn	ΣΠΗΛΙΤΕΣ, ΔΙΑΒΑΣΕΣ, ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ
	al	ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ
	al-sc	ΚΟΡΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΦΑΤΑ
	al-sc1	ΚΟΡΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΦΑΤΑ
	dl-c1	ΚΑΤΩΤΕΡΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣ
	dl-c2	ΑΝΩΤΕΡΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣ
	E.m	ΜΑΡΓΕΣ ΡΙΖΩΜΑΤΟΣ
	ek	ΟΡΓΑΝΟΓΕΝΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΤΗΣ ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ
	Es.c1	ΜΟΛΑΣΣΑ ΚΡΑΜΑΣ
	Es.c2	ΜΟΛΑΣΣΑ ΚΡΑΜΑΣ
	Es.st,m	ΜΟΛΑΣΣΑ ΚΡΑΜΑΣ
	F.o	ΦΛΥΣΧΗΣ
	fo	ΦΛΥΣΧΗΣ
	Fo	ΦΛΥΣΧΗΣ
	fo-st	ΦΛΥΣΧΗΣ ΠΙΝΔΟΥ
	fo.m	ΦΛΥΣΧΗΣ ΠΙΝΔΟΥ
	FS fr	ΦΛΥΣΧΗΣ
		ΦΛΥΣΧΗΣ ΑΔΙΑΙΡΕΤΟΣ
		ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΚΟΙΤΕΣ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ
[H.t	ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ
	Ht.1	ΠΟΤΑΜΙΕΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΕΣ

X	Ψηφιακή συλλογ Βιβλιοθήκ	n 8
"G	TAD DA 51	KEDATOAIOOI
105	J-Ki	
2	J-Ki.ch	
	J.k	
	J11-K1.k	
_	J11-K1.st	
	Ji-s.ch	ΣΕΙΡΑ ΚΟΖΙΑΚΑ
	Ji-s.k	ΣΕΙΡΑ ΚΟΖΙΑΚΑ
	Jm-s.h	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΟΙ
	Jm-sch	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ
	Js-Ks.k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΘΕΟΠΕΤΡΑΣ
	K1-7.fl	ΠΡΩΤΟΣ ΦΛΥΣΧΗΣ ΚΑΙ ΕΡΥΘΡΕΣ ΜΑΡΓΕΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΟΖΩΑ
	K3-4	ΜΙΚΡΟΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΙΣ ΡΟΔΟΧΡΟΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
	K6-8.k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
	K7-9.k	ΑΝΩΚΡΗΤΙΔΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
	K7-Pc	ΑΝΩΚΡΗΤΙΔΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΑ ΦΛΥΣΧΗ
	K8	ΠΕΛΑΓΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
	K8-k	ΠΕΛΑΓΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
	K9-Pc	ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ
	Ki-s.k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΘΥΜΙΑΜΑΤΟΣ
	Ki.k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
	Ks	ΡΟΥΔΙΣΤΟΦΟΡΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΑΣΤΡΩΤΟΙ
	Ks.k	ΠΕΛΑΓΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
	ls	ΖΩΝΕΣ ΕΡΠΥΣΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ
	M.m	ΚΑΤΩΤΕΡΑ ΣΕΙΡΑ ΜΕΤΕΩΡΩΝ
	M.m1	ΑΝΩΤΕΡΑ ΣΕΙΡΑ ΜΕΤΕΩΡΩΝ
	M1-3.c	ΣΕΙΡΑ ΤΣΟΤΥΛΙΟΥ
	M1-3.st,m	ΣΕΙΡΑ ΤΣΟΤΥΛΙΟΥ
	M1.c	ΣΕΙΡΑ ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΥ
	MG	ΛΙΘΩΝΕΣ ΠΑΓΕΤΩΝΩΝ
	MG1	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΠΑΓΕΤΩΝΩΝ
	MG2	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΠΑΓΕΤΩΝΩΝ
	-	

X	- Βι	φιακή συλλογή βλιοθήκη	~
"G	En	BDAST(ΑΝΟΤΕΡΗ ΣΕΙΡΑ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΟΝ
Jan		/II.C	Ο ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕΣΟΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΥΛΑΚΑΣ
0		/II.K	ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕΣΟΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΥΛΑΚΑΣ
		/II.III	ΧΑΛΑΖΙΑΚΟΣ ΔΙΟΡΙΤΗΣ
)	ΟΦΙΟΛΙΘΟΙ
) le	ΣΕΙΡΑ ΕΠΤΑΧΩΡΙΟΥ
)lm-s.c	ΣΕΙΡΑ ΕΠΤΑΧΩΡΙΟΥ
		0lm-s.c1	ΣΕΙΡΑ ΕΠΤΑΧΩΡΙΟΥ
)lm-s.st,m	ΣΕΙΡΑ ΕΠΤΑΧΩΡΙΟΥ
[p	bl	ΚΛΑΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΧΕΡΣΑΙΑΣ ΠΡΟΕΥΛΕΥΣΗΣ
	P	l-Pt	ΠΟΤΑΜΙΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ
[P	t.c	ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ
	P	t.gl	ΛΙΘΩΝΕΣ ΠΑΓΕΤΩΝΩΝ
	P	t.s,tr	ΧΕΡΣΑΙΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ
	P	z-Tm.gn	ΓΝΕΥΣΙΟΙ – ΣΧΙΣΤΟΓΝΕΥΣΙΟΙ
[P	z-Tm.sch	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ
[P	z,gn	ΓΝΕΥΣΙΟΙ
[P	zs.ab,sch	ΑΚΤΙΝΟΛΙΘΙΚΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ
	P	zs.sch.mi	ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΚΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ
[0).sc,cs	ΚΟΡΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΩΝΟΙ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ
[s	c1	ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΠΛΕΥΡΙΚΑ ΚΟΡΗΜΑΤΑ
[s	c1,cs1	ΚΩΝΟΙ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΑ ΚΟΡΗΜΑΤΑ
	S	c2	ΚΩΝΟΙ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ
	S	c2,cs2	ΚΩΝΟΙ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΑ ΚΟΡΗΜΑΤΑ
	s	ch	ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ
	s	ch,ab	ΠΡΑΣΙΝΙΤΙΚΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΔΟΤΟΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ
	Т	-J.mr	МАРМАРА
	Т	.k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
	T	ï-m.ag	ΗΜΙΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΣΕΙΡΑ ΤΟΥ ΠΕΛΑΓΙΚΟΥ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ
	T	k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ

110	Ψηφιακή συλλο Βιβλιοθήι	κή κη
<u>OE</u>	<u>Ό</u> ΦΡΑΣ	ΤΟΣ"
	Tm-Jm	ΚΑΤΩΤΕΡΗ ΣΕΙΡΑ ΚΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ
1.00	Tm-Jm.k	ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΚΥΡΙΩΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ
	Tm-s.fl	ΚΛΑΣΤΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ
	Tm.s-Ji.k	ΗΜΙΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
	Ts-Ji.k,h	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΚΑΙ ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΟΙ
	Ts-k	ΤΕΦΡΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΕ ΙΑΣΠΙ
	Ts.k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
	Water	NEPO

Μετά την αντιστοιχία του κάθε εμφανιζόμενου σχηματισμού στην περιοχή μελέτης με το όνομα και την ηλικία του στο υπόμνημα των χαρτών προέκυψε η ομαδοποίηση κατά:

1 α,β,β,οφ,π,σ,σπ,δ,hn,ο
2 γ-gn,γ1,γ,θ,Pz-Tm.gn,Pz,gn
3 μν
al,al-sc,al-sc1,dl-c1,dl-c2,H.cs,H.sc,H.t,Ht.1,ls,Pt.gl,Q.sc,cs,sc1,sc1,cs1,sc2,sc2,cs2
5 E.m
6 ek
7 Es.c1,Es.c2,Es.st,m
8 F.o,fo,Fo,Fs,J11-K1.k,J11-K1.st,Js-Ks.k,K1-7.fl
9 fo-st,fo.m,ft
10 J-Ki,J-Ki.ch,J.k,Ji-s.ch,Ji-s.k,Jm-s.h,Ts-Ji.k,h
11 Jm-sch,Pz-Tm.sch,Pzs.ab,sch,Pzs.sch.mi,sch,sch,ab
12 K3-4,K6-8.k,K7-9.k,K7-Pc,K8,K8-k,K9-Pc,Ki-s.k,Ki.k,Ks,Ks.k
13 M.m,M.m1,M1-3.c,M1-3.st,m,M1.c
14 MG,MG1,MG2
15 Mi.c
16 Mi.k,Mi.m
17 n
18 Ol.e,Olm-s.c,Olm-s.c1,Olm-s.st,m
19 pl,Pl-Pt,Pt.c,Pt.s,tr
20 T-J.mr,Ti-m.ag
21 T.k, Tk, Tm-Jm, Tm-Jm.k, Tm-s.fl, Tm.s-Ji.k, Ts-k, Ts.k
22 Water

Τις κατηγορίες των σχηματισμών μπορούμε να τις ονομάσουμε: 1: οφιόλιθοι, 2: γρανίτες, 3: χαλαζιακός μονζονίτης, 4: αλλουβιακές αποθέσεις, 5: μάργες ριζώματος, 6: οργανογενείς ασβεστόλιθοι της Βασιλικής, 7: μολάσσα Κράμας, 8: Φλύσχης, 9: φλύσχης Πίνδου, 10: κερατόλιθοι, 11: σχιστόλιθοι, 12: ασβεστόλιθοι Κρητιδικού, 13: σειρά Μετεώρων/Τσοτυλίου/Πενταλόφου, 14: αποθέσεις παγετώνων, 15: ανώτερη σειρά κροκαλοπαγών, 16: μολασσικοί σχηματισμοί μεσοελληνικής αύλακας, 17: χαλαζιακός διορίτης, 18: σειρά Επταχωρίου, 19: πλειστοκαινικές αποθέσεις, 20: μάρμαρα, 21: ασβεστόλιθοι Τριαδικού, 22: νερό.

Έτσι, προκύπτει ο παρακάτω χάρτης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

8.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Στη μελέτη των φυσικών καταστροφών, τα χαρακτηριστικά του εδάφους όπως η κλίση (Slope) και ο προσανατολισμός (Aspect), παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανόηση και την πρόβλεψη των κατολισθητικών φαινομένων. Η κλίση, αναφέρεται στο βαθμό κλίσης μια επιφάνειας και είναι καθοριστικός παράγοντας για τη σταθερότητα των χερσαίων μαζών. Οι απότομες πλαγιές είναι εγγενώς πιο επιδεκτικές σε βαρυτικές αστοχίες, ειδικά κάτω από ορισμένες συνθήκες όπως έντονη βροχόπτωση ή σεισμική δραστηριότητα (Guzzetti et al., 1999). Ο προσανατολισμός, από την άλλη, αντιπροσωπεύει την κατεύθυνση της πυξίδας προς την οποία είναι στραμμένη μια πλαγιά και επηρεάζεται από παράγοντες όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η έκθεση στον άνεμο και η κατακράτηση υγρασίας, οι οποίοι μπορούν έμμεσα να αλλάξουν στην σταθερότητα της πλαγιάς (Yalcin, 2008). Συνδυαστικά, τα χαρακτηριστικά αυτά, προσφέρουν σημαντική πληροφορία για το πού και γιατί είναι πιθανό να υπάρξουν κατολισθήσεις. Η ανάλυση εδάφους με τη χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) προσφέρει μια ισχυρή προσέγγιση για την ενσωμάτωση αυτών των παραγόντων σε μοντέλα επιδεκτικότητας κατολισθήσεων.

8.2 ΚΛΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΣΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΒΑΣΕΙ GIS

Σε λογισμικό όπως το QGIS, η κλίση και ο προσανατολισμός προέρχονται εύκολα από τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα DEM (Digital Elevation Model) και μπορούν να ενσωματωθούν σε μοντέλα πρόβλεψης για την αξιολόγηση του κινδύνου κατολισθήσεων (Ayalew & Yamagishi, 2005).

Έτσι, δημιούργησα αρχεία κατολισθήσεων μαζί με στοιχεία κλίσης και προσανατολισμού ώστε να βρεθεί πού πέφτουν οι κατολισθήσεις αλλά και να μετρηθεί σωστά το εμβαδόν τους. Τα βήματα που ακολουθούνται για αυτή τη διαδικασία είναι:

8.2.1. SLOPE:

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

1. Στο λογισμικό του ArcGIS και στο πεδίο search αναζητούμε το εργαλείο "slope (spatial) analysis".

🔇 Untitled - ArcMap		- ð X
File Edit View Bookmarks Insert Selection	an Geoprocessing Customize Windows Help	
🗋 🔁 🖶 🖕 👘 🛍 x । भ ल । 🔶 -		
€ € 🐑 🥝 💥 🖸 + → 🕸 - 🖾 k	: 💿 🖉 🗩 📇 🐥 🔟 🗔 🖕	\frown
Table Of Contents P ×		Search 🕹 🗙 词
Se 🔍 😓 🛛		💠 🥻 🍣 🗄 👻 Local Search 🗸 🔓
≝ L ayers		ALL Mass Data Tools Imases slope X Q Any Extent *
		Search returned 11 items Sort By
		Surface Slope (3D Analyst) (Tool) Creates polygon features that represent r toolboxes/system toolboxes/3d analyst to
		Slope (3D Analyst) (Tool) Identifies the slope (gradient or steepnes toolboxes\system toolboxes\3d analyst to
		Slope (Spatial Analyst) (Tool) Identifies the slope (gradient or steepnes toolboxes\system toolboxes\spatial analys
		Aspect (3D Analyst) (Tool) Derives the aspect from each cell of a ras toolboxes/system toolboxes/3d analyst to
		Aspect (Spatial Analyst) (Tool) Derives the aspect from each cell of a ras toolboxes\system toolboxes\spatial analys
		Surface Aspect (3D Analyst) (Tool) Creates polygon features that represent a toolboxes/system toolboxes/3d analyst to
		Curvature (3D Analyst) (Tool) Calculates the curvature of a raster surfac toolboxes\system toolboxes\3d analyst to

2. Στο παράθυρο που ανοίγει, στο πεδίο "input raster" επιλέγουμε από τα αρχεία μας το αρχείο DEM της περιοχής έρευνας και πατάμε ok.

Slope	_		×
Input raster			
C:\Users\domna\OneDrive\Ynoλογιστής\DANIEL 10_KTHMA_DSM_TRIKALA_GGRS	87.tif		2
Output raster			
C: \Users \domna \OneDrive \`Eyypaqa \ArcGIS \Default.gdb \Slope_tif1			2
Output measurement (optional)			
DEGREE			\sim
Method (optional)			
PLANAR			\sim
Z factor (optional)			
			1
Z unit (optional)			
METER			~
\bigcirc			
OK Cancel Environ	nments	Show H	elp >>



Σχήμα 21. Χάρτης μορφολογικών κλίσεων για την περιοχή έρευνας που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcMap στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής.

 Χρησιμοποιούμε το εργαλείο "reclassify" για να ομαδοποιήσουμε και να ορίσουμε κλάσεις που ανταποκρίνονται στα δεδομένα μας. Στο πεδίο "input raster" επιλέγουμε το αρχείο που δημιουργήσαμε στο προηγούμενο βήμα.

Βιβλ	κή συλλογή Διοθήκη ΡΑΣΤΟΣ"			
Tunuc	🔨 Reclassify			– 🗆 🗙
x	Input raster Slope_tif1			. 🖻 ^
T	Reclass field			
	Reclassification Old values 0 - 5,561714 5,561714 - 13,20907 13,20907 - 19,813605 19,813605 - 25,722926 25,722926 - 31,632247 31,632247 - 38,236782 38,236782 - 46,926959 46,926959 - 65,002529	New values 1 2 3 4 5 6 7 8	Classify Unique Add Entry Delete Entries	
	Load Save Output raster C:\Users\domna\OneDrive\\Eyyp	Reverse New Values	Precision	e *
		ОК	Cancel Environments	s Show Help >>

Οι κλάσεις είναι οι εξής :

Πίνακας 2. Πίνακας κλάσεων κλίσεων και τιμών κλίσεων.

gridcode	values
1	0 - 5,58
2	5,58 - 13,26
3	13,26 - 19,89
4	19,89 - 25,82
5	25,82 - 31,75
6	31,75 - 38,38
7	38,38 - 47,11
8	47,11 - 65,60
9	65,60- 88,98

4. Επειδή χρειαζόμαστε αρχείο σε μορφή πολύγονου για να προβάλουμε τις κατολισθήσεις πάνω του, το μετατρέπουμε με το εργαλείο "raster to polygon". Στο πεδίο "input raster" επιλέγουμε το Reclassified αρχείο που δημιουργήθηκε στο βήμα 3.

			~
įπτμήι	Kaster to Polygon —		
	Input raster Reclass_Slop3	• 2	
	Field (optional)		
	Output polygon features		
	C:\Users\domna\OneDrive\Eyypaφa\ArcGIS\Default.gdb\RasterT_Reclass5	2	
	Simplify polygons (optional)		
	Create multipart features (optional)		
	Maximum vertices per polygon feature (optional)		
			~

5. Φορτώνουμε στο περιβάλλον του ArcGIS το αρχείο των κατολισθήσεων.



Σχήμα 22. Χάρτης κατολισθήσεων και μορφολογικών κλίσεων για την περιοχή έρευνας που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcMap στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής.

6. Δημιουργούμε ένα αρχείο το οποίο θα αποτελείται από τα κέντρα των πολυγώνων των κατολισθήσεων. Χρησιμοποιούμε το εργαλείο "Feature to point" και στο πεδίο "Input Features" επιλέγουμε το αρχείο των κατολισθήσεων.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Seature To Point	_		×
Input Features			
LS\LS_Trik_cl		-	2
Output Feature Class			
C:\Users\domna\OneDrive\'Eyypaφa\ArcGIS\Default.gdb\LS_Trik_d_FeatureToPoint1			2
Inside (optional)			
			~
OK Cancel Environment	s	Show He	elp >>

 Χρειαζόμαστε ένα αρχείο που να περιέχει τις κατολισθήσεις στην περιοχή έρευνας και τα στοιχεία κλίσης. Αυτό το αρχείο μπορεί να δημιουργηθεί με την επιλογή "Joins and Relates" και "Join".

IS Trik		
Ē	Сору	man
×	Remove	All 3 16 Ball Some
	Open Attribute Table	
	Joins and Relates	Join
	Zoom To Layer Zoom To Make Visible Visible Scale Range Use Symbol Levels Selection Label Features Edit Features Convert Labels to Annotation	Remove Join(s) Relate Remove Relate(s) Join Join data to this layer or standalone table based on a common attribute, spatial location or existing relationship class.
%= 	Convert Features to Graphics Convert Symbology to Representation Data Save As Layer File Create Layer Package Properties	

8. Στο πεδίο "What do you want to join to this layer?" επιλέγουμε "Join data from another layer based on spatial location" και στο πεδίο νούμερο "1." Επιλέγουμε το αρχείο που δημιουργήσαμε στο βήμα 4. Επιπλέον τσεκάρουμε την επιλογή "It falls inside".

Ψηφιακή συλλογή	6		
βιβλιοθήκη			
ΜΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ	- 11		
	Join Data		×
Α.Π.Θ	Join lets you append additional data to this lat for example, symbolize the layer's features us	yer's attribute table so y sing this data.	you can,
	What do you want to join to this layer?		
	Join data from another layer based on spatia	llocation	~
	1. Choose the layer to join to this layer, o	or load spatial data from	disk:
	RasterT_Slope	-] 🖻
	2. You are joining: Polygons to Points		
	Select a join feature class above. You options based on geometry types of th and the join feature class.	will be given different e source feature class	
	Each point will be given all the attributes	of the polygon that:	
	If a point falls inside more than one p because the layer being joined conta the attributes of the first polygon fo	polygon (for example, ains overlapping polygor und will be joined.	ıs)
) is dosest to it.		
	A distance field is added showing ho the units of the target layer). A poly inside is treated as being dosest to t of 0).	w close the polygon is (i gon that the point falls he point (i.e. a distance	n :
	3. The result of the join will be saved into	a new layer.	
	Specify output shapefile or feature class	for this new layer:	
	C:\Users\domna\OneDrive\Ynoλογισ	τής\DANIEL\slope+asp	2
	About joining data	ОК	Cancel

9. Στο τελικό αρχείο ανοίγουμε τον "Attribute table" και με δεξί κλικ στο "gridcode" επιλέγουμε το "summarize".



10. Στο βήμα "2." επιλέγουμε "AREA" και "Sum" για να μας δώσει το άθροισμα της έκτασης των κατολισθήσεων σε κάθε κλάση.



Δημιουργείται τελικά ένας πίνακας δεδομένων τον οποίο κάνουμε εξαγωγή στο Excel και είναι :

gridcode	values	Count_gridcode	Sum_AREA (m ²)
1	0 - 5,58	24	49227
2	5,58 - 13,26	111	337050
3	13,26 - 19,89	195	553936
4	19,89 - 25,82	235	459990
5	25,82 - 31,75	255	685466
6	31,75 - 38,38	266	458254
7	38,38 - 47,11	117	291910
8	47,11 - 65,60	19	70440
9	65,60- 88,98	1	265

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτού του πίνακα που καταγράφονται καλύτερα στο παρακάτω γράφημα, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο εμβαδόν (685.466 m²) κατολισθήσεων εμφανίζεται σε εύρος κλίσεων από 25,82° έως 31,75° (μοίρες).



Γράφημα 1. Γράφημα στο οποίο απεικονίζονται στον οριζόντιο άξονα οι κλάσεις των κλίσεων και στον κατακόρυφο το εμβαδόν των κατολισθήσεων.

Οι κλάσεις είναι: 1: 0 - 5,58, 2: 5,58 - 13,26, 3: 13,26 - 19,89, 4: 19,89 - 25,82, 5: 25,82 - 31,75, 6: 31,75 - 38,38, 7: 38,38 - 47,11, 8: 47,11 - 65,60, 9: 65,60 - 88,98.

8.2.2. ASPECT:

Για τον προσανατολισμό επαναλαμβάνονται τα ίδια βήματα που ακολουθήθηκαν για την κλίση.



64

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Σχήμα 23. Χάρτης προσανατολισμού (διεύθυνσης μορφολογικών κλίσεων) για την περιοχή έρευνας που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcMap στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής.

Οι κλάσεις για το βήμα 3. είναι:

gridcode	values
1	0 - 30
2	30 - 70
3	70 - 120
4	120 - 220
5	220 - 270
6	270 - 290
7	290 - 310
8	310 - 360

Πίνακας 3. Πίνακας κλάσεων προσανατολισμού και τιμών κλάσεων.

Ο χάρτης του βήματος 5 είναι:



Σχήμα 24. Χάρτης κατολισθήσεων και διευθύνσεων μορφολογικών κλίσεων για την περιοχή έρευνας που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcMap στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής.

Ο τελικός πίνακας είναι:

Ψηφιακή Βιβλια	συλλογή Οθήκη			
"OEOPP	ΑΣΤΟΣ"			
Non-201	gridcode	values	Count_gridcode	Sum_AREA (m ²)
Protecting and	εωλογίας	0 - 30	75	179618
AI	2 /0	30 - 70	189	386063
	3	70 - 120	250	588560
	4	120 - 220	383	767067
	5	220 - 270	159	420049
	6	270 - 290	36	85551
	7	290 - 310	36	223458
	8	310 - 360	95	256172

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτού του πίνακα που καταγράφονται καλύτερα στο παρακάτω γράφημα, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο εμβαδόν κατολισθήσεων (767.067 m²) εμφανίζεται στη κλάση με εύρος προσανατολισμού 120° - 220° (μοίρες).



Γράφημα 2. Γράφημα στο οποίο απεικονίζονται στον οριζόντιο άξονα οι κλάσεις του προσανατολισμού και στον κατακόρυφο το εμβαδόν των κατολισθήσεων. Οι κλάσεις είναι: 1: 0 - 30, 2: 30 - 70, 3: 70 - 120, 4: 120 - 220, 5: 220 - 270, 6: 270 - 290, 7: 290 - 310, 8: 310 - 360.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ QGIS

Η ενσωμάτωση δεδομένων κατολισθήσεων και δεδομένων γεωλογικών σχηματισμών στο περιβάλλον του QGIS είναι κρίσιμη καθώς βελτιώνει την ακρίβεια της αξιολόγησης της επιδεκτικότητας των κατολισθήσεων και τις στρατηγικές μείωσης της επικινδυνότητας. Συνδυάζοντας δεδομένα απογραφής κατολισθήσεων με γεωλογικές πληροφορίες, οι γεωλόγοι μπορούν να αποκτήσουν ουσιαστικότερες γνώσεις για το πώς ορισμένοι τύποι πετρωμάτων, δομές εδάφους και τεκτονικά χαρακτηριστικά συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Αυτή η συνδυασμένη ανάλυση προσφέρει ακριβέστερες προβλέψεις και προωθεί την ανάπτυξη ισχυρών μέτρων προστασίας σε ευάλωτες περιοχές.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί, συμπεριλαμβανομένου του τύπο βράχου, της σύνθεσης του εδάφους και των τεκτονικών δομών έχουν άμεση επιρροή στη σταθερότητα του πρανούς και στην πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων. Οι Guzzetti et al. (1999) τόνισαν ότι οι εκτιμήσεις επικινδυνότητας κατολισθήσεων βελτιώνονται σημαντικά με την ενσωμάτωση διαφόρων θεματικών επιπέδων, ιδιαίτερα της γεωλογίας, στις αναλύσεις GIS.

Επιπλέον, η ενοποίηση γεωλογικών σχηματισμών με δεδομένα κατολισθήσεων στο QGIS επιτρέπει τη δημιουργία πιο λεπτομερών χαρτών επικινδυνότητας. Οι χάρτες αυτοί μπορούν να επισημάνουν συγκεκριμένες γεωλογικές μονάδες που είναι περισσότερο επιδεκτικές σε κατολισθήσεις, επιτρέποντας στους γεωλόγους και τους μηχανικούς να επικεντρώσουν τις προσπάθειες μετριασμού σε ζώνες υψηλού επικινδυνότητας. Στη μελέτη τους, οι Ayalew και Yamagishi (2005) απέδειξαν ότι οι χάρτες επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις στο σημαντικά από τη συμπερίληψη γεωλογικών παραγόντων. Η ανάλυσή τους με βάση το GIS στα όρη Kakuda-Yahiko της Ιαπωνίας διαπίστωσε ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ των γεωλογικών συνθηκών και των αιτίων κατολισθήσεων, όπως οι βροχοπτώσεις ή οι σεισμοί, ήταν το κλειδί για την κατανόηση και την πρόβλεψη των κατολισθητικών φαινομένων. Η ικανότητα οπτικοποίησης αυτών των αλληλεπιδράσεων στο QGIS προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τη μείωση του κινδύνου καταστροφών και τον αστικό σχεδιασμό.

Ήταν λοιπόν απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα αρχείο που θα ενσωμάτωνε τις κατολισθήσεις που προκλήθηκαν στην περιοχή έρευνας και τους γεωλογικούς σχηματισμούς για να αξιολογηθεί η τοποθεσία των κατολισθήσεων αλλά και το εμβαδόν τους. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για αυτή τη διαδικασία ήταν τα παρακάτω.

 Για το πρώτο βήμα χρειάζεται να μετατρέψουμε το αρχείο του γεωλογικού χάρτη σε αρχείο raster. Χρησιμοποιούμε το εργαλείο "polygon to raster (conversion)". Στο πεδίο "input features" επιλέγουμε το αρχείο του γεωλογικού χάρτη, στο πεδίο "value field" επιλέγουμε "Form_code" και στο πεδίο "cellsize" χρησιμοποιούμε το νούμερο 10.

\Geology_Trikala_f er Dataset omna\OneDrive\Έγγραφα\ArcGIS\Default.gdb\Geology_Trikala_f_PolygonToR1 ent type (optional)	1 🖻
er Dataset omna\OneDrive\Έγγραφα\ArcGIS\Default.gdb\Geology_Trikala_f_PolygonToR1 ent type (optional)	
er Dataset omna \OneDrive \Έγγραφα \ArcGIS \Default.gdb \Geology_Trikala_f_PolygonToR 1 ent type (optional)	
omna\OneDrive\Έγγραφα\ArcGIS\Default.gdb\Geology_Trikala_f_PolygonToR1 ent type (optional)	~
ent type (optional)	
ent type (optional)	
ED	
	~
(optional)	
	~
onal)	
	_ 🖻
ER (optio onal)	onal)

 Σε αυτό το βήμα πρέπει να ομαδοποιήσουμε εκ νέου το αρχείο για να ανταποκρίνεται στις κλάσεις που μας ικανοποιούν. Χρησιμοποιούμε το εργαλείο "reclassify (spatial analysis)".

Reclassify		_		×
Input raster				^
1 GEOLOGY\Geology_Trikala_	f_PolygonToR		-	2
Reclass field				
2 Form_code				~
Reclassification				
Old values	New values			
σ	0	Classify		
K8-k	1			
J-Ki	2	Onique		
fo	3			
K3-4	4	Add Entry		
pi	6	Delete Entrine		
dl-c2	7	Delete Entries		
Load Save	Reverse Nev	w Values Precision		1
Output raster				U
C: \Users \domna \OneDrive \'Ey	γραφα\ArcGIS\Defau	lt.gdb\Reclass_Geol2		2
	ОК	Cancel Environments	Show H	elp >>

Στο πεδίο "input raster" επιλέγουμε το αρχείο που δημιουργήσαμε στο προηγούμενο βήμα και στο πεδίο "reclass field" επιλέγουμε κατανομή με βάση το "form_code". Στη στήλη "new values" αντιστοιχούμε με αριθμούς τον κάθε

σχηματισμό της πρώτης στήλης στην κλάση που θέλουμε να τον τοποθετήσουμε σύμφωνα με την ομαδοποίηση που κάναμε και για τον γεωλογικό χάρτη.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

3. Για να προβάλλω τις κατολισθήσεις χρειάζομαι αρχείο με πολύγωνα οπότε πρέπει να ξαναγίνει μετατροπή. Χρησιμοποιούμε το εργαλείο "raster to polygon (conversion)". Στο πεδίο "input raster" επιλέγουμε το αρχείο που δημιουργήσαμε στο προηγούμενο βήμα και στο πεδίο "field (optional)" επιλέγουμε κατανομή με βάση το "form_code".

GEOLOGY\Reclass_	Jeoli				<u> </u>	
Form_code						\sim
Dutput polygon featur	es					
C:\Users\domna\One	Drive\Έγγραφα\	ArcGIS\Default.g	gdb\RasterT_Rec	lass6		2
Simplify polygons (Create multipart fea faximum vertices per	optional) itures (optional) polygon feature ((optional)				
Simplify polygons (Create multipart fea laximum vertices per	ptional) Itures (optional) polygon feature	(optional)				
Simplify polygons (ptional) tures (optional) polygon feature ((optional)				
Simplify polygons (ptional) tures (optional) polygon feature ((optional)				

4. Φορτώνουμε στο περιβάλλον του ArcGIS το αρχείο των κατολισθήσεων.



Σχήμα 25. Χάρτης κατολισθήσεων και γεωλογίας για την περιοχή έρευνας που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcMap στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Α.Π.Θ

5. Δημιουργούμε ένα αρχείο το οποίο θα αποτελείται από τα κέντρα των πολυγώνων των κατολισθήσεων. Χρησιμοποιούμε το εργαλείο "Feature to point" και στο πεδίο "Input Features" επιλέγουμε το αρχείο των κατολισθήσεων.

Seature To Point	_		×	
Input Features				
LS\LS_Trik_cl		-	2	
Output Feature Class				
C: \Users\domna \OneDrive \Eyypaфa \ArcGIS \Default.gdb \LS_Trik_d_FeatureToPoint1			2	
Inside (optional)				
				/
OK Cancel Environments	s	Show H	elp >>	

 Χρειαζόμαστε ένα αρχείο που να περιέχει τις κατολισθήσεις στην περιοχή έρευνας και τα στοιχεία κλίσης. Αυτό το αρχείο μπορεί να δημιουργηθεί με την επιλογή "Joins and Relates" και "Join".



7. Στο πεδίο "What do you want to join to this layer?" επιλέγουμε "Join data from another layer based on spatial location" και στο πεδίο νούμερο "1." Επιλέγουμε το αρχείο που δημιουργήσαμε στο βήμα 3. Επιπλέον τσεκάρουμε την επιλογή "It falls inside".



Στο τελικό αρχείο ανοίγουμε τον "Attribute table" και με δεξί κλικ στο "gridcode" επιλέγουμε το "summarize".



8. Στο βήμα "2." επιλέγουμε "AREA" και "Sum" για να μας δώσει το άθροισμα της έκτασης των κατολισθήσεων σε κάθε κλάση.

E TEMELITING I CUAUVIU	C	
А.П.Ө	Summarize creates a new table containing one recor of the selected field, along with statistics summarizing	d for each unique value any of the other fields
	1. Select a field to summarize:	
	gridcode	~
	 OBJECTID id AREA Minimum Maximum Average Sum Standard Deviation Variance 	

About summarizing data

Δημιουργείται τελικά ένας πίνακας δεδομένων τον οποίο κάνουμε εξαγωγή στο Excel και είναι:

OK

Cancel

gridcode	values	Count_gridcode	Sum_AREA (m ²)
1	σ/α,β/οφ/β/π/ο/σπ,δ,hn	36	67280
4	dl-c1/dl-c2/al/al-sc/al-sc1/sc1/sc2/H.sc/H.t/H.cs/Pt.gl/Q.sc,cs/ls/Ht.1/sc1,cs1/sc2,cs2	35	68417
5	E.m	16	9546
6	ek	1	2590
8	fo/J11-K1.k/K1-7.fl/J11-K1.st/F.o/Js-Ks.k/Fs	692	1429369
10	J-Ki/Jm-s.h/Ts-Ji.k,h/Ji-s.ch/Ji-s.k/J-Ki.ch/J.k	116	388248
11	K8-k/K3-4/K8/K7-9.k/K9-Pc/Ki-s.k/K7-Pc/Ks/Ks.k/Ki.k/K6-8.k	241	717475
12	M.m1/M.m/M1-3.st,m/M1-3.c/M1.c	14	9751
13	MG2/MG1/MG	16	104414
14	Mi.c	3	2541
15	Mi.m/Mi.k	12	49553
18	pl/Pl-Pt/Pt.c/Pt.s,tr	4	7095
19	Jm-sch/Pz-Tm.sch/sch,ab/Pzs.ab,sch/Pzs.sch.mi/sch	29	36314
22	Ts-k/Tm-s.fl/Ts.k/Tm-Jm/Tm-Jm.k/Tk/Tm.s-Ji.k/T.k	7	11702
24	Tsh	1	2243

Από τις 22 σχηματισμένες κλάσεις, κάποιες απουσιάζουν από τα αποτελέσματα του πίνακα καθώς σε αυτές δεν υπάρχει κάποια σχηματισμένη κατολίσθηση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτού του πίνακα που καταγράφονται καλύτερα στο παρακάτω γράφημα, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο εμβαδόν κατολισθήσεων (1.429.369 m²) εμφανίζεται σε φλυσχικούς σχηματισμούς.


Γράφημα 3. Γράφημα στο οποίο απεικονίζονται στον οριζόντιο άξονα οι κλάσεις των σχηματισμών και στον κατακόρυφο το εμβαδόν των κατολισθήσεων.

Oι κλάσεις είναι 1: $\sigma/\alpha,\beta/o\phi/\beta/\pi/o/\sigma\pi,\delta,hn$, 4: dl-c1/dl-c2/al/al-sc/al-sc1/sc1/sc2/H.sc/H.t/H.cs/Pt.gl/Q.sc,cs/ls/Ht.1/sc1,cs1/sc2,cs2, 5: E.m, 6: ek, 8: fo/J11-K1.k/K1-7.fl/J11-K1.st/F.o/Js-Ks.k/Fs, 10: J-Ki/Jm-s.h/Ts-Ji.k,h/Ji-s.ch/Ji-s.k/J-Ki.ch/J.k, 11: K8-k/K3-4/K8/K7-9.k/K9-Pc/Ki-s.k/K7-Pc/Ks/Ks.k/Ki.k/K6-8.k, 12: M.m1/M.m/M1-3.st,m/M1-3.c/M1.c, 13: MG2/MG1/MG, 14: Mi.c, 15: Mi.m/Mi.k, 18: pl/Pl-Pt/Pt.c/Pt.s,tr, 19: Jm-sch/Pz-Tm.sch/sch,ab/Pzs.ab,sch/Pzs.sch.mi/sch, 22: Ts-k/Tm-s.fl/Ts.k/Tm-Jm/K/Tk/Tm.s-Ji.k/T.k, 24: Tsh

Η παρούσα εργασία κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι κατολισθήσεις αποτελούν έναν πολυπαραγοντικό γεωλογικό κίνδυνο που επηρεάζει άμεσα το περιβάλλον και τις υποδομές. Τα κατολισθητικά φαινόμενα που προκλήθηκαν στην Περιφερειακή Ενότητα Τρικάλων από το φαινόμενο Daniel, αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα μετεωρολογικά επαγόμενων κατολισθήσεων.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη, παρέχει σαφή ποσοτικά αποτελέσματα σχετικά με την κατανομή των κατολισθητικών φαινομένων στη Δυτική Θεσσαλία με τη χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) να αναδεικνύει ζώνες υψηλής επικινδυνότητας. Σύμφωνα με τα ποσοτικά αποτελέσματα, το μεγαλύτερο εμβαδόν κατολισθήσεων, που ανέρχεται σε 685.466 m², σημειώθηκε σε περιοχές με κλίσεις από 25,82° έως 31,75°. Επιπλέον, η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι το μεγαλύτερο εμβαδόν κατολισθήσεων, 767.067 m², εμφανίστηκε σε περιοχές με προσανατολισμό από 120° έως 220°, γεγονός που επισημαίνει τη σημαντική επίδραση του προσανατολισμού των πρανών στην ενεργοποίηση κατολισθήσεων. Επιπρόσθετα, το μεγαλύτερο εμβαδόν κατολισθήσεων, συνολικού μεγέθους 1.429.369 m², καταγράφηκε σε περιοχές με φλυσχικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, γεγονός που υπογραμμίζει τη γεωλογική ευπάθεια αυτών των σχηματισμών υπό την πίεση ακραίων καιρικών

Αυτά τα δεδομένα προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για τη χωρική κατανομή και την ένταση των κατολισθήσεων, ενισχύοντας την κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την εκδήλωση αυτών των φαινομένων και παρέχοντας σημαντικά εργαλεία για τη μελλοντική πρόληψη και διαχείριση.

Τέλος, η εργασία επιβεβαιώνει ότι η συστηματική χαρτογράφηση και ανάλυση των γεωκινδύνων δύναται να συμβάλει στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των κατολισθητικών φαινομένων και στη μείωση των επιπτώσεών τους στην τοπική κοινότητα. Ταυτόχρονα, δεν πρέπει να απουσιάζει η συνεχής παρακολούθηση των κατολισθητικών ζωνών ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις από μελλοντικές φυσικές καταστροφές.

74



- Adamopoulos, I., Frantzana, A. and Syrou, N. (2024). Climate crises associated with epidemiological, environmental, and ecosystem effects of a storm: Flooding, landslides, and damage to urban and rural areas (extreme weather events of Storm Daniel in Thessaly, Greece).
- Alexakis, D., Gkiougkis, I., Pavlou, A., & Stamatis, G. (2012). Assessment of groundwater pollution in Trikala region, central Greece. Environmental Earth Sciences, 66(2), 537-548.
- Angra, D., Sapountzaki K. (2019). CLIMATE CHANGE IMPACTS IN THREE REGIONS OF GREECE: INTERCONNECTIONS WITH REGIONAL PUBLIC PERCEPTIONS AND PLANNING POLICIES
- Aubouin, J. (1959). Contribution a l'etude geologique de la Grece Seprentrional: les confins de l'Epire et de la Thessalie. These, Sciences, Univ., Paris, 1958 et Ann. Geol. Pays Hellen. 10: 1-525.
- Ayalew, L., & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan.
 Geomorphology, 65(1-2), 15-31. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010
- Brabb, E. E. (1984). Innovative Approaches to Landslide Hazard Mapping. Proceedings of 4th International Symposium on Landslides, 1, 307-324.
- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, Oxford.
- Caputo, R. (1990). Geological and structural study of the recent and active brittle deformation of the Neogene-Quaternary Basins of Thessaly (Central Greece). Ph. D. Thesis, Aristot. Univ. Thessaloniki.
- Caputo, R., & Pavlides, S. B. (1993). Late Cainozoic geodynamic evolution of Thessaly and surroundings (central-northern Greece). Tectonophysics, 223: 339-362.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. In Carrara, A., & Guzzetti, F. (Eds.), Geographical

Information Systems in Assessing Natural Hazards (pp. 135-175). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-015-8404-3_8

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Chatzipetros, A., Pavlides, S., Foumelis, M., Sboras, S., Galanakis, D., Pikridas, C., Bitharis, S., Kremastas, E., Chatziioannou, A., & Papaioannou, I. (2021). The northern Thessaly strong earthquakes of March 3 and 4, 2021, and their neotectonic setting. Bulletin of the Geological Society of Greece, 58, 222. DOI: https://doi.org/10.12681/BGSG.27225

Coates, D. (1977). Landslide perspectives. Geol. Soc. of Am., Revies in Eng. Geology, Vol. 3.

- Corominas, J., van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.P., Fotopoulou, S., et al. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73, 209-263. DOI: https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8
- Crozier, M. J. (1986). Landslides: Causes, Consequences and Environment. Croom Helm.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. In Turner, A.K. & Schuster, R.L. (Eds.), Landslides: Investigation and Mitigation (pp. 36-75). National Academy Press.
- Dai, F. C., Lee, C. F., & Ngai, Y. Y. (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. Engineering Geology, 64(1), 65–87. DOI: https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00093-X
- Daskalaki, P., & Voudouris, K. (2008). Groundwater quality of porous aquifers in Greece: A synoptic review. Environmental Geology, 54(3), 505-513. DOI: https://doi.org/10.1007/s00254-007-0843-2
- del Pozo, A. et al. (2019). Climate change impacts and adaptation strategies of agriculture in Mediterranean-Climate Regions (mcrs), MDPI. Available at: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2769 (Accessed: 06 September 2024). DOI: <u>https://doi.org/10.3390/su11102769</u>
- Dimitriou, E., Efstratiadis, A., Zotou, I., Papadopoulos, A., Iliopoulou, T., Sakki, G. K.,
 Mazi, K., Rozos, E., Koukouvinos, A., Koussis, A. D., Mamassis, N., and
 Koutsoyiannis. D. (2024). Post-analysis of Daniel extreme flood event in Thessaly,

Central Greece: Practical lessons and the value of state-of-the-art water monitoring networks, Water, 16 (7), 980, DOI: <u>https://doi.org/10.3390/w16070980</u>

- Dimitriou, E., & Zacharias, I. (2006). Groundwater vulnerability and risk mapping in a geologically complex area by using stable isotopes, remote sensing and GIS techniques. Environmental Geology, 51(2), 233-248. DOI: https://doi.org/10.1007/s00254-006-0328-8
- Doutsos, T., Pe-Piper, G., Boronkay, K. & Koukouvelas, I. (1993). Kinematics of the Central Hellenides. Tectonics, 12/4: 936-953

Erskine C.F. 1973. Landslide in the vicinity of the Fort Randall reservoir.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

European Climate Assessment & Dataset. (n.d.). Retrieved from https://www.ecad.eu/

- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. Z. (2008).
 Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning.
 Engineering Geology, 102(3-4), 85-98. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. Z. (2008).
 Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning.
 Engineering Geology, 102(3-4), 99-111. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.014
- Fleury, J.J. (1980). "Les zones de Gavrovo- Tripolitza et du Pinde Olonos. Evolution d' une plate – forme et d' un basin dans leur cadre alpin. Publ. Soc. Geol. Nord, 4, 648p.." Bulletin de la Société Géologique de France, 22(4), 557-566.
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (2008). Comparing landslide inventory maps. Geomorphology, 94(3–4), 268–289. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2006.09.023</u>
- García-Rodríguez, M. J., Malpica, J. A., Benito, B., & Díaz, M. (2008). Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression. Geomorphology, 95(3–4), 172–191. DOI: https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2007.06.001

Giannakopoulos, C., Le Sager, P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E., &

Glade, T., Anderson, M. G., & Crozier, M. J. (Eds.). (2005). Landslide Hazard and Risk. Wiley.

DOI: https://doi.org/10.1002/9780470012659

Goldsworthy, M., Jackson, J., & Haines, J. (2002). The continuity of active fault systems in Greece. Tectonophysics, 444(1-4), 109-146. DOI: 10.1046/j.1365-246X.2002.01609.x

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Goodess, C. M. (2009). Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global warming. Global and Planetary Change, 68(3), 209-224. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.06.001
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., & Ardizzone, F. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. Geomorphology, 72(1-4), 272-299. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.002</u>
- 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, 31(1-4), 181-216. DOI: https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00078-1
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K. T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. Earth-Science Reviews, 112(1-2), 42-66. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001</u>.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C. P. (2008). The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: An update. Landslides, 5(1), 3-17. DOI: <u>https://doi.org/10.1007/s10346-007-0112-1</u>
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., & Galli, M. (2006). Estimating the quality of landslide susceptibility models. Geomorphology, 81(1–2), 166–184.

DOI: https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2006.04.007

- Hatzfeld, D., Ziazia, M., Kementzetzidou, D., Hatzidimitriou, P., Panagiotopoulos, D., Makropoulos, K., Papadimitriou2, P., & Deschamps4, A. (1999). Microseismicity and focal mechanisms at the western termination of the North Anatolian Fault and their implications for continental tectonics. Geophys. J. Int, 137, 891–908.
- Hearn, G. J., & Griffiths, J. S. (2001). Landslide hazard mapping and risk assessment.
 Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 18(1), 43–52.
 DOI: <u>https://doi.org/10.1144/GSL.ENG.2001.018.01.07</u>
- He, Y., & Beighley, R. E. (2008). GIS-based regional landslide susceptibility mapping: A case study in southern California. Natural Hazards, 45(1), 53-72.

DOI: <u>https://doi.org/10.1002/esp.1562</u>

Hellenic National Meteorological Service. (n.d.). Retrieved from <u>http://www.hnms.gr/hnms/english/index_html</u>

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Hewson, T., Ashoor, A., Boussetta, S., et al. (2024). Medicane Daniel: An extraordinary cyclone with devastating impacts, ECMWF. Available at: https://www.ecmwf.int/en/newsletter/179/earth-system-science/medicanedaniel-extraordinary-cyclone-devastating-impactsb

- Hungr, O., Evans, S. G., Bovis, M. J., & Hutchinson, J. N. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. Environmental & Engineering Geoscience, 7(3), 221-238. DOI: <u>https://doi.org/10.2113/gseegeosci.7.3.221</u>.
- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides, 11(2), 167-194. DOI: https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y
- Iverson, R. M. (2000). Landslide triggering by rain infiltration. Water Resources Research, 36(7), 1897-1910. DOI: <u>https://doi.org/10.1029/2000WR900090</u>
- Jaeger, P. (1979). Geologie du massif du Koziakas et de la chaine du Pinde face a Mouzaki (Grece continentale). These 3eme Cycle, Univ. Paris, VI.
- Karagiannids, A., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Galanaki, E. (2023). Analysis of current and future heating and cooling degree days over Greece using observations and regional climate model simulations, MDPI. Available at: https://www.mdpi.com/2673-4931/26/1/149 (Accessed: 06 September 2024). DOI: https://doi.org/10.3390/environsciproc2023026149
- Keefer, D.K. and others (1987). Real-time landslide warning during heavy rainfall: Science, 238: 921-925.
- Kleidonopoulos, G., 2002-2003. Varousi, our cultural identity. Calendar of Trikala.
- Korup, O. (2005). Geomorphic imprint of landslides on alpine river systems, southwest New Zealand. Earth Surface Processes and Landforms, 30(7), 783–800. DOI: <u>https://doi.org/10.1002/ESP.1171</u>
- Le Pichon, X., & Angelier, J. (1979). The Hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. Tectonophysics, 60(1-2), 1-42.

Lee, S., & Pradhan, B. (2007). Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. Landslides, 4(1), 33-41. DOI: https://doi.org/10.1007/s10346-006-0047-y

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Leivadiotis, E., Kohnová, S., & Psilovikos, A. (2024). Evaluating flood events caused by Medicane "Daniel" in the Thessaly District (Central Greece) using remote sensing data and techniques. Acta Hydrologica Slovaca, 25(1), 115–126. DOI: https://doi.org/10.31577/AHS-2024-0025.01.0013

Lekkas E., Diakakis M., Mavroulis S., (2023). The early September 2023 Daniel storm in Thessaly Region (Central Greece). DOI: <u>https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22015.18089</u>

- Li, W. C., Lee, L. M., Cai, H., Li, H. J., Dai, F. C., Wang, M. L. (2013). Combined roles of saturated permeability and rainfall characteristics on surficial failure of homogeneous soil slope. Engineering Geology, 153(8), 105–113. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.11.017
- Lionello, P., Abrantes, F., Gacic, M., Planton, S., Trigo, R., & Ulbrich, U. (2014). The climate of the Mediterranean region: research progress and climate change impacts.
 Regional Environmental Change, 14(5), 1679–1684. DOI: https://doi.org/10.1007/S10113-014-0666-0/METRICS
- Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R., Alpert, P., Artale, V., Li, L., Luterbacher, J., May, W., Trigo, R., Tsimplis, M., Ulbrich, U., & Xoplaki, E. (2006). The Mediterranean climate: An overview of the main characteristics and issues. Developments in Earth and Environmental Sciences, 4(C), 1–26. DOI: https://doi.org/10.1016/S1571-9197(06)80003-0
- Lionello, P., Emin Özsoy b, Serge Planton c, Giovanni Zanchetta (2017). Climate Variability and Change in the Mediterranean Region. Global and Planetary Change, 151, 1–3. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.04.005</u>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). Geographic Information Systems & Science. John Wiley & Sons.
- Loukas, A., & Vasiliades, L. (2014). Climate change impacts on the hydrological response of a medium-sized catchment in Greece. Hydrological Processes, 28(16), 4509-4520.

Loukas, A., Vasiliades, L., Tzabiras J. (2007). Evaluation of Climate Change on Drought Impulses in Thessaly, Greece. European Water, 17, 17–28.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Massey C, Leith K. (2023). Cyclone Gabrielle landslide response and recovery GNS Science | Te Pū Ao. From https://www.gns.cri.nz/news/cyclone-gabrielle-inducedlandslide-mapping-project/
- Matsakou, A., Papathanassiou, G., Marinos, V., Ganas, A., & Valkaniotis, S. (2021).
 Development of the coseismic landslide susceptibility map of the island of Lefkada,
 Greece. Environmental Earth Sciences, 80(13), 457. DOI: https://doi.org/10.1007/s12665-021-09741-0
- Malamud, B. D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (2004). Landslide inventories and their statistical properties. Earth Surface Processes and Landforms, 29(6), 687-711. DOI: <u>https://doi.org/10.1002/esp.1064</u>
- Mavroulis, S., Mavrouli, M., Lekkas, E., Tsakris, A. (2024). Impact of the September 2023 Storm Daniel and Subsequent Flooding in Thessaly (Greece) on the Natural and Built Environment and on Infectious Disease Emergence DOI: https://doi.org/10.3390/environments11080163
- Mckenzie, D.P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean Region. Geoph. J. R. astr. Soc., 30: 109 - 185.
- Mersha, T., & Meten, M. (2020). GIS-based landslide susceptibility mapping and assessment using bivariate statistical methods in Simada area, northwestern Ethiopia. Geoenvironmental Disasters, 7(1), 1–22. DOI: https://doi.org/10.1186/S40677-020-00155-X/FIGURES/11
- Mercier, J. and Vergely, P. (1972). "Les melanges ophiolitiques de Macedoine (Greece):decrochements d'age ante Cretace superieur. Z. Deutsch. Geol. Ges.
- Mercier, J.L., Sorel, D., Vergely, P. & Simeakis, K.(1989). Extensional tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic. Basin Res., 2: 49-71.
- Mountrakis, D. (2010). Tectonics and the Geological Evolution of the Hellenides. Geotectonic Review, 45(2), 145-161.
- Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., & Sonmez, H. (2008). An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. Engineering Geology, 97(3–4), 171–191. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/J.ENGGEO.2008.01.004</u>

Papaioannou, A., Plageras, P., Dovriki, E., et al. (2007). Groundwater quality and location of productive activities in the region of Thessaly (Greece) DOI: https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.03.610

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Papanikolaou, D. & Sideris, C. (1979). Sur la signification des zones "ultrapindique" et "beotienne" d'epres la geologie de la region de karditsa: l'unite de Thessalie Occidentale. Ecl. Geol. Helv. 72/1: 251-261.
- Papathanassiou, G., Valkaniotis, S., & Ganas, A. (2021). Spatial patterns, controlling factors, and characteristics of landslides triggered by strike-slip faulting earthquakes: case study of Lefkada island, Greece. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 80(5), 3747–3765. DOI: <u>https://doi.org/10.1007/s10064-021-02181-x</u>
- Papazachos, B. (1988). The seismic zones in the Aegean and surrounding area. Europ. Seism. Com., XXI Gen. Assem., Sofia, Bulgaria, August 23 - 27, 1 - 6.
- Panebianco, S., and Schürmann, C. (2002). "The Egnatia Motorway–a chance for Northern Greece to catch up?." 42nd Congress of the European Regional Science Association. Vol. 2731.
- Parise, M. (2001). Landslide mapping techniques and their use in the assessment of the landslide hazard. Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science, 26(9), 697–703.

Philippson, A. (1898). "La tectonique de l'Egeide". Annales de Geographie Paris.

QGIS Documentation. (n.d.). Retrieved from <u>https://www.qgis.org/en/docs/index.html</u>

- QGIS User Guide. (2022). Retrieved from https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/user_manual/
- Renz, C. (1930). Geologische Reisen im griechschen Pindosgebirge. Ecl. Geol., Helv., 23: 301-377.
- Santangelo, M., Cardinali, M., Rossi, M., Mondini, A. C., & Guzzetti, F. (2010). Remote landslide mapping using a laser rangefinder binocular and GPS. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10(12), 2539-2546. DOI: <u>https://doi.org/10.5194/nhess-10-2539-2010</u>.
- Santangelo, M., Gioia, D., Cardinali, M., Guzzetti, F., & Schiattarella, M. (2013). Interplay between mass movement and fluvial network organization: An example from

southern Apennines, Italy. Geomorphology, 188, 54–67. DOI: https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2012.12.008

- Shahri, A., Spross, J., Johansson, F., & Larsson, S. (2019). Landslide susceptibility hazard map in southwest Sweden using artificial neural network DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.10422
- Sharpe, D. R. (1939). The study of landslides. Geological Society of America Bulletin, 50(5), 859-880.
- Skordas, K., Papastergios, G., Tziantziou, L., Neofitou, N., & Neofitou, C. (2013). Groundwater hydrogeochemistry of Trikala municipality, central Greece. Environmental Monitoring and Assessment, 185(1), 81–94. DOI: <u>https://doi.org/10.1007/S10661-012-2535-Y/METRICS</u>
- Soeters, R. and van Westen, C.J. (1996). Slope Instability Recognition Analysis and Zonation. In: Turner K.T. and Schuster, R.L., Eds., Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report No. 247, Transportation Research Board National Research Council, Washington DC, 129-177
- Taylor, S., Angelier, J., & Le Pichon, X. (2019). Geodynamic implications of the active fault pattern in Greece: Tectonic stress and crustal deformation. Tectonophysics.
- Tien Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., & Dick, O. B. (2012). Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS. Computers and Geosciences, 45, 199–211. DOI: https://doi.org/10.1016/J.CAGEO.2011.10.031
- Turner, A. K., & Schuster, R. L. (Eds.). (1996). Landslides: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board Special Report 247.

National Research

Ψηφιακή συλλογή

- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 1996. Landslides: Investigation and Mitigation. Washington, DC: The National Academies Press. DOI: <u>https://doi.org/10.17226/11057</u>.
- UNESCO World Heritage Centre. "Meteora." UNESCO. URL: <u>https://whc.unesco.org/en/list/455</u>
- Valkaniotis, S., Taftsoglou, M., Papathanassioy, G., Samara, D., Zei, C., Chatzitheodosiou, T. (2024). Development of a medicane-induced landslide inventory; case study of 2023 cyclone Daniel, Central Greece.

- Van Westen, C. J. (2000). The modelling of landslide hazards using GIS. Surveys in Geophysics, 21(2-3), 241-255. DOI: <u>https://doi.org/10.1023/A:1006794127521</u>
- van Westen, C. J., Castellanos, E., & Kuriakose, S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. Engineering Geology, 102(3–4), 112–131. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/J.ENGGEO.2008.03.010</u>
- Van Westen, C.J., Rengers, N., & Soeters, R. (2003). Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment. Natural Hazards, 15(2-3), 399-419. DOI: <u>https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000007097.42735.9e</u>
- Varnes, J.D. (1958). Landslide types and processes. In Landslides and Engineering Practice. (Eckel, E.B., ed.), H.R.B., Special Rept. 29, 20-47.
- Varnes, J.D. (1978). Slope movement types and processes. In Landslides: Analysis and Control (Schuster and Krizec, eds.), National Academy of Sciences, Special Report. 176, 11-33, Washington, D.C.
- Voudouris, K., Kazakis, N., Polemio, M., & Kareklas, K. (2000). Assessment of intrinsic vulnerability using the DRASTIC model and GIS in the Kiti aquifer, Cyprus. European water (2010).
- Xu, C. (2015). Preparation of earthquake-triggered landslide inventory maps using remote sensing and GIS technologies: Principles and case studies. Geoscience Frontiers, 6(6), 825–836. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/j.gsf.2014.03.004</u>
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. CATENA, 72(1), 1–12. DOI: https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2007.01.003
- Zaruba, Q. & Mencl, V. (1969). Landslides and their control. Developments in Geotechnical Engineering, Vol. 2, Elsevier, Amsterdam.
- Zaruba, Q., & Mencl, V. (1976). Landslides and their control (2nd ed.). Elsevier Publishing Company.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Ελληνική Στατιστική Αρχή (2021). Απογραφή Πληθυσμού 2021. Αθήνα: ΕΛΣΤΑΤ.

Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν. (2007). Γεωλογία Τεχνικών Έργων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου. Αθήνα. 575 σελ.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Κούκης Γ., Ρόζος Δ. (1982). Γεωτεχνικές συνθήκες και κατολισθητικές κινήσεις στον ελληνικό χώρο σε σχέση με τη γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη. Ορυκτός πλούτος, τ. 16.
- Κυριακίδου, Α. Κ. (2019). Τεχνικογεωλογική αποτύπωση κατολίσθησης και έρευνα επί των συνθηκών ευστάθειας στην περιοχή Περιστέρι Μετσόβου. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 104 σελ..
- Λέκκας, Ε. (1988). Γεωλογική δομή και γεωδυναμική εξέλιξη της οροσειράς του Κόζιακα (Δυτική Θεσσαλία). Γεωλογικές μονογραφίες, Νο 1, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Παν/μιο Αθηνών, Αθήνα.
- Μούκιου, Κ. (2017). ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΚΥΜΗΣ. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Τομέας Γεωτεχνολογίας. Αθήνα.
- Μουντράκης, Δ. (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγινικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. Πραγματεία για Υφηγεσία, Πανεπ. Θεσσαλονίκης, 289 σελ.
- Μπαθρέλλος, Γ. (2005). Γεωλογική, γεωμορφολογική και γεωγραφική μελέτη των αστικών περιοχών του νομού Τρικάλων - Δυτικής Θεσσαλίας. DOI: https://doi.org/10.12681/EADD/22373
- Παπαζάχος, Β. & Παπαζάχου, Κ. (1989). Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 356σελ.
- Παπαθανασίου, Γ. (2022). Τεχνική Γεωλογία και Γεωλογικοί Κίνδυνοι [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. DOI: https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-96

(PDF) Assessment of intrinsic vulnerability using DRASTIC model and GIS in Kiti aquifer, Cyprus. (n.d.). Retrieved July 19, 2024, from <u>https://www.researchgate.net/publication/48329848_Assessment_of_intrinsic_vul</u> <u>nerability_using_DRASTIC_model_and_GIS_in_Kiti_aquifer_Cyprus</u>

(PDF) Geological map of Western Thessaly - Trikala Prefecture. (n.d.). Retrieved May 29, 2024, from

https://www.researchgate.net/publication/263215804_Geological_map_of_Wester n_Thessaly_-_Trikala_Prefecture

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

(PDF) Νεοτεκτονική δομη και εξέλιξη της Θεσσαλίας = Neotectonics and structural evolution of Thessaly. (n.d.). Retrieved May 29, 2024, from https://www.researchgate.net/publication/27227142_Neotektonike_dome_kai_exe lixe_tes_Thessalias_Neotectonics_and_structural_evolution_of_Thessaly