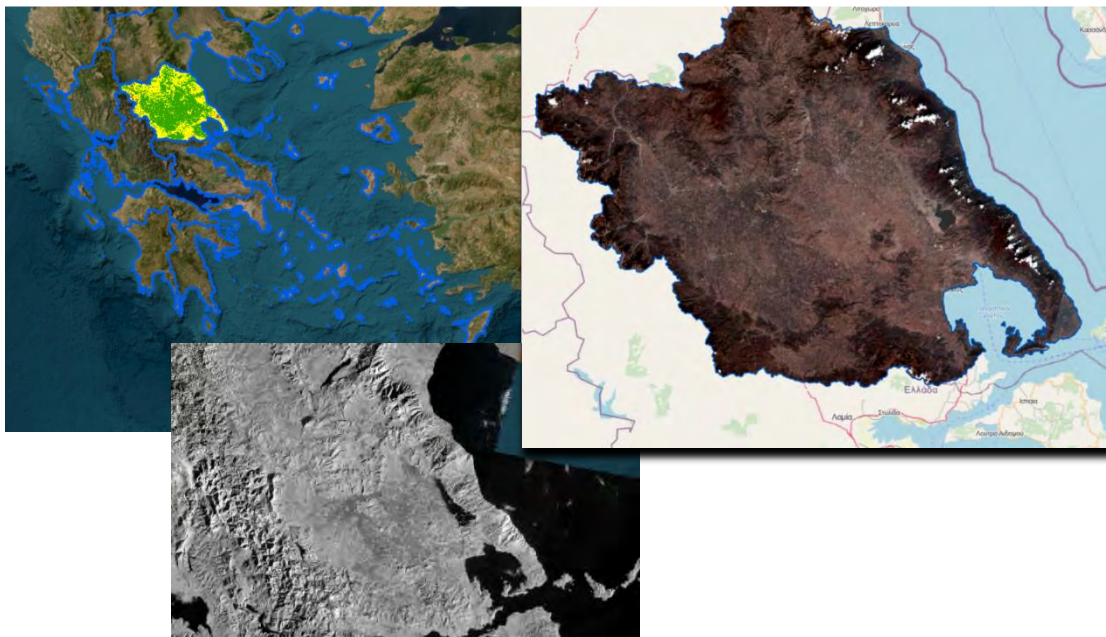




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων»



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Συλβιάννα Ερεσσίου

ΑΓΜ: M061923022

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Νικόλαος Αλαμανής, Αν. Καθηγητής

Ευαγγελία Φαρσιρώτου, Καθηγήτρια

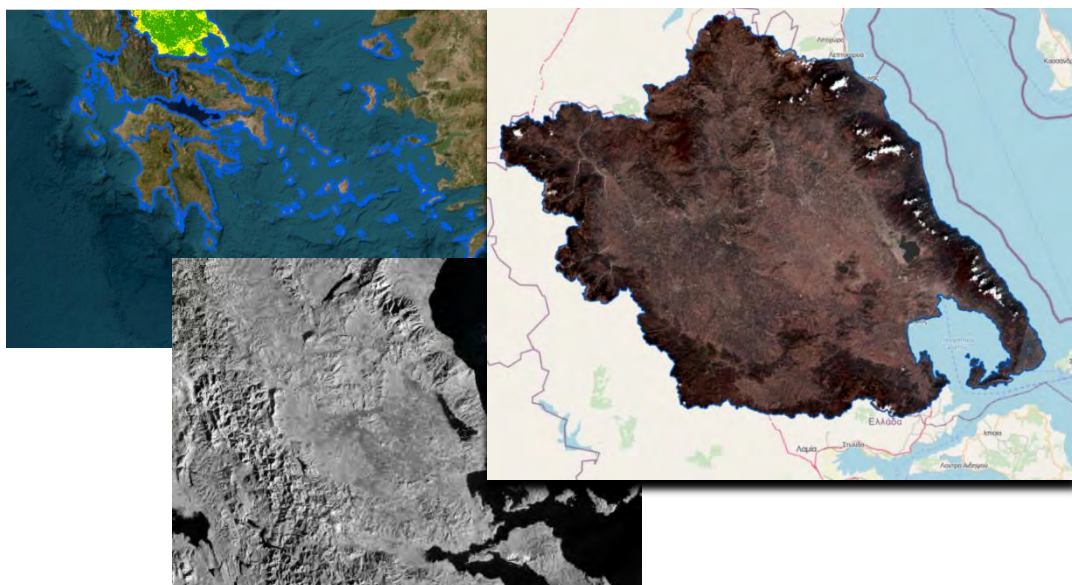
Βόλος, Οκτώβριος 2024



UNIVERSITY OF THESSALY

INTERDEPARTMENTAL POSTGRADUATE STUDIES PROGRAMME

“Advanced Technologies for Enviromental Risk Management”



POSTGRADUATE MASTER’S THESIS

Assessment of Landslide Susceptibility Using Geographic Information Systems and Remote Sensing Data

Sylvianna Eressiou

PN: M061923022

Supervisors:

Dr. Nikolaos Alamanis, Professor (Associate)

Dr. Evangelia Farsirotou, Professor

Volos, October 2024

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS (EN)

Assessment of Landslide Susceptibility Using Geographic Information Systems and
Remote Sensing Data

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Οκτώβριο 2024

Επιβλέποντες:

Δρ. Νικόλαος Αλαμανής

Αναπληρωτής Καθηγητής

Δρ. Ευαγγελία Φαρσιρώτου

Καθηγήτρια

.....
Ον/μο Μέλους Δ.Ε.Π

Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π

Μέλος

.....
Ον/μο Μέλους Δ.Ε.Π

Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π

Μέλος

Συλβιάννα Ερεσσίου

Μηχανικός Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής

Copyright © Συλβιάννα Ερεσσίου, (2024)

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 στο συγγραφέα.

Το περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας εκφράζει τις απόψεις της συγγραφέα και ουδεμία ευθύνη για το περιεχόμενο φέρουν ο/η επιβλέπων/ουσα, και η εξεταστική επιτροπή για αυτό.

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στη Διπλωματική μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Μεταπτυχιακού Τίτλου των Μεταπτυχιακών Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Μ.Δ.Ε. προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Ονοματεπώνυμο Συγγραφέα: Σουλβιάννα Ερεσσίου

Υπογραφή:

Ημερομηνία: 23.10.2024

Στη μητέρα μου.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας αυτής, Δρ. κ. Νικόλαο Αλαμανή και τον πολιτικό μηχανικό και υποψήφιο Διδάκτορα κ. Νικόλαο Ξαφούλη για την καθοδήγηση τους, την πολύτιμη βοήθειά τους και τη διαρκή υποστήριξή τους.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τη Μηχανικό Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης κα Καλλιόπη Κουτσονάκου, για τη συνεισφορά της στην παρούσα εργασία με την εύρεση χωρικών δεδομένων από τη Μελέτη Περιφερειακού Χωροταξικού Πλαισίου Θεσσαλίας του ΥΠΕΝ.

Δε θα μπορούσα να παραλείψω, τον Δρ. Δημήτριο Μπότση, για τη συμβολή και τη συμβουλή του για να συνεχίσω αυτό το ταξίδι της γνώσης.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στη μητέρα μου και στους ανθρώπους που ήταν ή έγιναν δικοί μου αυτό διάστημα, για την αμέριστη υποστήριξη, υπομονή και συμπαράσταση για την επίτευξη αυτού του στόχου.

1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Αντικείμενο και Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας	1
1.2	Ανθρώπινες Επιπτώσεις.....	2
1.3	Οικονομικές Επιπτώσεις.....	2
1.4	Τεχνολογικές Εξελίξεις στη Διαχείριση Κατολισθήσεων	3
1.5	Γενικός Ορισμός και Χαρακτηριστικά των Κατολισθήσεων	3
1.5.1	Κατηγοριοποίηση Κατολισθήσεων	3
1.5.2	Σημασία της Έρευνας Κατολισθητικών Φαινομένων	3
1.5.3	Ανθρώπινες Παρεμβάσεις και Επιπτώσεις.....	3
2	Θεωρητικό υπόβαθρο.....	5
2.1	Κατολισθητικά Φαινόμενα	5
2.2	Τύποι Κατολισθήσεων.....	7
2.2.1	Πτώσεις Λίθων (Falls).....	7
2.2.2	Ολισθήσεις (Slides).....	8
2.2.3	Ροές (Flows).....	9
2.2.4	Ανατροπές (Topples).....	10
2.2.5	Πλευρικές Εξαπλώσεις (Lateral Spreads)	11
2.2.6	Σύνθετες Κατολισθήσεις (Complex Slides).....	11
2.3	Αιτίες Κατολισθήσεων	12
2.3.1	Φυσικές Αιτίες.....	13
2.3.2	Γεωλογικοί Παράγοντες	13
2.3.3	Τοπογραφικοί Παράγοντες.....	13
2.3.4	Υδρολογικοί Παράγοντες.....	13
2.3.5	Ανθρωπογενείς Αιτίες	14
2.3.6	Κλιματολογικές Συνθήκες.....	14
2.3.7	Μηχανισμοί Ενεργοποίησης	14
2.4	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ)	14
2.4.1	Ανάλυση των Κατολισθητικών Φαινομένων με Χρήση των ΓΣΠ	15
2.4.2	Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DEM).....	15
2.5	Πρόβλεψη και Χαρτογράφηση Κατολισθητικής Επικινδυνότητας.....	16

2.6	Συμβολή των Τεχνολογιών Τηλεπισκόπησης	16
2.7	Αντιμετώπιση της Αβεβαιότητας	16
2.8	Τηλεπισκοπικά Δεδομένα και Εφαρμογές.....	16
2.8.1	Landsat 8	17
2.9	Τεχνολογίες τηλεπισκόπησης και είδη δεδομένων.....	18
	Πολυφασματικά και υπερφασματικά δεδομένα.....	18
2.9.1	Εφαρμογές τηλεπισκόπησης στην ανίχνευση και παρακολούθηση κατολισθήσεων	19
2.10	Προηγούμενες Μελέτες.....	20
2.10.1	Μελέτες Ευαισθησίας Κατολισθητικών Φαινομένων στη Θεσσαλία.....	21
2.10.2	Ευαισθησία Κατολισθητικών Φαινομένων στην Ελλάδα.....	21
2.10.3	Συμπεράσματα.....	22
3	Περιοχή Έρευνας.....	23
3.1	Γεωγραφική Τοποθεσία	23
3.2	Γεωλογία της Θεσσαλίας και οι Επιπτώσεις της στις Κατολισθήσεις	23
3.2.1	Σεισμική Δραστηριότητα και Κατολισθήσεις.....	23
3.2.2	Εδαφολογικά Χαρακτηριστικά και Ευαισθησία σε Κατολισθήσεις	24
3.2.3	Κλίση και Επιρροή της Μορφολογίας στις Κατολισθήσεις.....	24
3.2.4	Υδροφορείς και Υδρογεωλογικές Συνθήκες	24
3.3	Ιστορικό Κατολισθήσεων και Τεχνολογίες Παρακολούθησης	25
3.4	Χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας	26
3.4.1	Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας.....	26
3.4.2	Λεκάνες Απορροής.....	27
3.4.3	Κλιματικές Συνθήκες	28
3.4.4	Γεωλογικές και εδαφολογικές συνθήκες στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας	29
3.4.5	Εδαφολογικά Χαρακτηριστικά και Κατηγορίες Διαβρωσιμότητας.....	31
3.4.6	Κλίση και Υδατοπερατότητα	33
3.4.7	Χρήσεις Γης στην Περιοχή Έρευνας: CORINE Land Cover	34
3.5	Υδρογεωλογικές Συνθήκες.....	36
4	Μεθοδολογία.....	37
4.1	Δεδομένα Υψομέτρου (DEM)	37

4.2	Δορυφορικές Εικόνες	37
4.3	Δεδομένα Χρήσης Γης.....	38
4.4	Εδαφικά Δεδομένα	39
4.5	Διοικητικά Δεδομένα και Υποδομές	40
4.6	Επεξεργασία Δεδομένων και Ανάλυση με GIS	40
4.6.1	Landslide Susceptibility Mapping (Χαρτογράφηση Ευαισθησίας Κατολισθήσεων)	40
4.6.2	Landslide Detection (Ανίχνευση Κατολισθήσεων).....	42
4.6.3	Landslide Hazard Mapping (Χαρτογράφηση Κινδύνου Κατολισθήσεων)	42
4.7	Αποτελέσματα	43
4.7.1	Ανάλυση του Χάρτη Ευαισθησίας Κατολισθήσεων για το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας.....	43
4.7.2	Landslide Detection (Ανίχνευση Κατολισθήσεων).....	46
4.7.3	Landslide Hazard Mapping (Ανίχνευση Κατολισθήσεων)	50
4.8	Συνδυαστική Ανάλυση των Χαρτών	54
4.8.1	Κοινά Σημεία:.....	54
4.8.2	Συμπεράσματα:	54
4.9	Συγκριτική Αξιολόγηση με Προηγούμενες Μελέτες	54
5	ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	55
5.1	Περιορισμοί της Έρευνας.....	55
5.2	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και βελτιώσεις στις μεθοδολογίες.	55
6	Συμπεράσματα	56
6.1	Κύρια Συμπεράσματα.....	56
6.2	Συστάσεις Πολιτικής και Διαχείρισης	56
7	Βιβλιογραφία	57
8	Παράρτημα.....	68

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Ορολογία σύνθετης μετακίνησης Πηγή: Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.	6
Εικόνα 2 Πτώση, Πηγή : Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.	8
Εικόνα 3 Περιστροφικές Ολισθήσεις Πηγή: Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.	8
Εικόνα 4 Μεταθετικές Ολισθητικές, Πηγή : Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.	9
Εικόνα 5 Ανατροπές Πηγή: Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.	10
Εικόνα 6 Πλευρικές Εξαπλώσεις, Πηγή: Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.	11
Εικόνα 7 Τύποι μετακίνησης πρανών κατά Varnes (1978). Πηγή U.S. Geological Survey....	11
Εικόνα 8 Landsat 8. Πηγή: https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-image-7	17
Εικόνα 9 Landsat 8, χαρακτηριστικά φασματικών καναλιών. Πηγή: USGS.....	17
Εικόνα 10 Τα φασματικά κανάλια. Πηγή: https://gisgeography.com/wp-content/uploads/2019/10/Landsat-Bands.jpg	18
Εικόνα 11 Απεικόνιση Οικισμών στο ΥΔ Θεσσαλίας	26
Εικόνα 12 Απεικόνιση Αναγλύφου κατά Dikau	27
Εικόνα 13 : Λεκάνες Απορροής Ποταμών στο ΥΔ Θεσσαλίας (EL08) Λεκάνη Απορροής Πηνειού (EL0816). Πηγή: 2 η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του ΥΔ Θεσσαλίας (EL08) https://wfdver.ypeka.gr/	28
Εικόνα 14 Γεωλογικός Χάρτης ΥΔ Θεσσαλίας (απόσπασμα Χάρτη «Γεωλογικοί Σχηματισμοί κατά BGR», Παράρτημα).....	30
Εικόνα 15 Χάρτης Διαβρωσιμότητας(απόσπασμα Χάρτη «Διαβρωσιμότητα Εδαφών κατά ESDAC», Παράρτημα).....	32
Εικόνα 16 Χάρτης AWC(απόσπασμα Χάρτη «Ικανότητα αποθήκευσης νερού ανώτερης εδαφικής στρώσης κατά ESDAC», Παράρτημα)	32
Εικόνα 17 Χάρτης DIMP(απόσπασμα Χάρτη «Βάθος Αδιαπέρατης Στρώσης κατά ESDAC», Παράρτημα)	33
Εικόνα 18 Ταξινόμηση Κλίσεων κατά Demek (απόσπασμα Χάρτη «Ταξινόμηση Κλίσεων κατά Demek», Παράρτημα).....	33
Εικόνα 19 Απεικόνιση Χρήσεων Γης (απόσπασμα Χάρτη «Χρήσεις Γης Corine Land Cover», Παράρτημα)	35
Εικόνα 20 Εισαγωγή tif αρχείου σε περιβάλλον ArcGIS	37
Εικόνα 21 Εισαγωγή δορυφορικών εικόνων Landsat8	38
Εικόνα 22 Εισαγωγή CLC εικόνας πριν κατηγοροποιηθεί	38
Εικόνα 23 Απεικόνιση Εδαφικών Δεδομένων της ESDAC	39
Εικόνα 24 Απεικόνιση Γεωλογικών Δεδομένων της BGR	39
Εικόνα 25 Απεικόνιση Διοικητικών Δεδομένων (Δρόμων και Οδικού Δικτύου)	40

Εικόνα 26 Ανάλυση Κατανομής Περιοχών σε (απόσπασμα Χάρτη «χαρτογράφηση Περιοχών με ευαισθησία Κατολισθήσεων στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας», Παράρτημα).....	43
Εικόνα 27 Δεδομένα Landsat8, Ιούνιος 2019 (αριστερά) - Οκτώβριος 2023 (δεξιά)	46
Εικόνα 28 Η απεικόνιση αλλαγών (με κίτρινο και κόκκινο χρώμα) από την επεξεργασία των εικόνων (απόσπασμα Χάρτη «Ανίχνευση κατολισθήσεων Στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας», Παράρτημα)	46
Εικόνα 29 Δεδομένα Landsat8, Αύγουστος 2022 (αριστερά) - Οκτώβριος 2023 (δεξιά)	48
Εικόνα 30 Η απεικόνιση αλλαγών (με κίτρινο και κόκκινο χρώμα) από την επεξεργασία των εικόνων (απόσπασμα Χάρτη «Ανίχνευση κατολισθήσεων Στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας», Παράρτημα)	48
Εικόνα 31 Κατολισθήση Δρόμου Αγριάς - Δράκειας. Πηγή: <a href="https://www.onlarissa.gr/2023/09/06/magnisia-epese-o-dromos-kai-sti-drakeia-deite-eikones-
apo-tin-katastrofiki-katolisthisi-foto/">https://www.onlarissa.gr/2023/09/06/magnisia-epese-o-dromos-kai-sti-drakeia-deite-eikones- apo-tin-katastrofiki-katolisthisi-foto/	48
Εικόνα 32 Απεικόνιση Χάρτη Κατολισθήσεων (απόσπασμα Χάρτη «Χαρτογράφηση Κινδύνου κατολισθήσεων Στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας», Παράρτημα).....	50
Εικόνα 33 Απεικόνιση Χάρτη Κατολισθήσεων (απόσπασμα Χάρτη «Χαρτογράφηση Κινδύνου κατολισθήσεων Στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας», Παράρτημα).....	52

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Σχήμα 1 Γεωλογική Σύνθεση ΥΔ Θεσσαλίας.....	30
Σχήμα 2 Χρήσεις Γης CLC	35
Σχήμα 3 Σύνολο Περιοχών σε Κίνδυνο	44
Σχήμα 4 Κατανομή Επικινδυνότητας Ανά Νομό.....	44
Σχήμα 5 Οι οικισμοί σε κίνδυνο ανά νομό.....	51
Σχήμα 6 Οικισμοί σε κίνδυνο ανά Νομό.....	53

ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΕΑΓΜΕ: Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

ΕΛΣΤΑΤ: Ελληνική Στατιστική Αρχή

ΥΠΕΝ: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

BGR: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

CLC: CORINE Land Cover

DEM: Digital Elevation Mode

ESDAC: European Soil Data Centre

FAO: Food and Agriculture Organization

GIS: Geographical Information System

LiDAR: Light Detection And Ranging

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

USGS: United States Geological Survey

Περίληψη

Η παρούσα έρευνα εστιάζει στη διερεύνηση της ευαισθησίας κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας, χρησιμοποιώντας σύγχρονα εργαλεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και δεδομένα τηλεπισκόπησης. Με στόχο τη λεπτομερή καταγραφή και ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την ευαισθησία σε κατολισθήσεις, εφαρμόστηκαν προηγμένες τεχνικές χωρικής ανάλυσης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν δορυφορικές εικόνες από το Landsat 8, τη βάση δεδομένων CORINE Land Cover, και το DEM (Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρου), ενώ ενσωματώθηκαν επίσης δεδομένα γεωλογικής σύστασης και υδρολογικών συνθηκών από έγκυρες βάσεις δεδομένων.

Πραγματοποιώντας ανάλυση χαρτογράφησης ευαισθησίας κατολισθήσεων (Landslide Susceptibility Mapping) για τον εντοπισμό των περιοχών που είναι περισσότερο ευάλωτες σε κατολισθήσεις. Στη συνέχεια για τη μεθοδολογία ανίχνευσης κατολισθήσεων (Landslide Detection), χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα πριν και μετά από καταγεγραμμένα κατολισθητικά γεγονότα. Η χαρτογράφηση κινδύνου κατολισθήσεων (Landslide Hazard Mapping) ολοκλήρωσε έρευνα, καταδεικνύοντας τις περιοχές όπου οι συνθήκες είναι ιδανικές για την εκδήλωση κατολισθήσεων, καθώς και τις επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία, τις υποδομές και το φυσικό περιβάλλον.

Η ανάλυση αποκάλυψε ότι οι περιοχές με έντονες κλίσεις, φτωχή βλάστηση και έντονες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, όπως κατασκευές και δρόμοι, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ευαισθησία σε κατολισθήσεις. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη χωρική κατανομή των κατολισθήσεων κοντά σε οικισμούς, αναδεικνύοντας την ανάγκη για ενίσχυση των μέτρων προστασίας. Τα αποτελέσματα της έρευνας προσφέρουν πολύτιμα δεδομένα για τη χάραξη στρατηγικών διαχείρισης γεωκινδύνων και συμβάλλουν στη βελτίωση των συστημάτων πρόληψης κατολισθητικών φαινομένων, ενισχύοντας την ασφάλεια των τοπικών πληθυσμών και των υποδομών στην περιοχή της Θεσσαλίας.

Λέξεις - κλειδιά: Κατολισθήσεις, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), Τηλεπισκόπηση, Landsat 8, Χαρτογράφηση Ευαισθησίας Κατολισθήσεων, Χαρτογράφηση Κινδύνου Κατολισθήσεων, Θεσσαλία, Χρήσεις Γης, Δορυφορικά Δεδομένα, Γεωκίνδυνοι

Abstract

This study focuses on the assessment of landslide susceptibility in the Thessaly Water District using advanced Geographic Information Systems (GIS) tools and remote sensing data. The study aims to identify and analyze the factors contributing to landslide susceptibility through the application of spatial analysis techniques. The data used include satellite images from Landsat 8, the CORINE Land Cover database, and a Digital Elevation Model (DEM), complemented by geological composition and hydrological data from authoritative sources.

Initially, a Landslide Susceptibility Mapping analysis was conducted to identify areas most vulnerable to landslides. This was followed by a Landslide Detection methodology, utilizing satellite data from pre- and post-recorded landslide incidents. Finally, Landslide Hazard Mapping was implemented, indicating areas where conditions are most ideal for landslides and assessing the impact on local communities, infrastructure, and the natural environment.

The analysis revealed that areas with steep slopes of sparse vegetation, and significant human interventions, such as construction and road networks, are the most susceptible to landslides incidents. Particular emphasis was given to the spatial distribution of landslides near settlements, highlighting the need for enhanced protective measures. The results of the research provide valuable insights for the development of geohazard management strategies and contribute to improving landslide prevention systems, ultimately enhancing the safety of local population and infrastructure in the region of Thessaly.

Keywords: Landslides, Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing, Landsat 8, Landslide Susceptibility Mapping, Landslide Hazard Mapping, Thessaly, Land Use, Satellite Data, Geohazards

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κατολισθήσεις αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους γεωλογικούς κινδύνους, με σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή, τις υποδομές και το περιβάλλον. Προκαλούνται από φυσικά γεγονότα όπως οι έντονες βροχοπτώσεις, οι σεισμοί και οι ηφαιστειακές εκρήξεις, προκαλώντας σημαντικές οικονομικές απώλειες και, συχνά, ανθρώπινες απώλειες σε παγκόσμια κλίμακα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης και των κινδύνων κατολισθήσεων στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, με έμφαση στη χαρτογράφηση της ευαισθησίας σε κατολισθήσεις (Landslide Susceptibility Mapping), την ανίχνευση κατολισθητικών φαινομένων (Landslide Detection) και τη χαρτογράφηση κινδύνου κατολισθήσεων (Landslide Hazard Mapping). Η έρευνα αξιοποιεί δεδομένα από διάφορες αξιόπιστες πηγές και τεχνικές GIS, ενσωματώνοντας δορυφορικές εικόνες, γεωχωρικά και κοινωνικοοικονομικά δεδομένα.

Η χρήση δεδομένων από το Landsat 8 και το DEM της USGA παρέχει βασικές πληροφορίες για την ανάλυση του υψομέτρου και της μορφολογίας της περιοχής, οι οποίες ενισχύουν την ανίχνευση και την απεικόνιση κατολισθητικών φαινομένων. Τα δεδομένα αυτά επιτρέπουν τη λεπτομερή ανάλυση των περιοχών με υψηλή ευαισθησία σε κατολισθήσεις, ενώ το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου χρησιμοποιείται για την αναγνώριση περιοχών με έντονες κλίσεις, όπου η πιθανότητα κατολισθήσεων είναι μεγαλύτερη (Psomiadis et al., 2020).

Για τη χαρτογράφηση της χρήσης γης και των ανθρωπογενών παραμέτρων, χρησιμοποιείται η βάση δεδομένων CORINE Land Cover (CLC), η οποία παρέχει κατηγοριοποιημένες πληροφορίες για τη χωροταξική οργάνωση και τις αλλαγές στη χρήση γης. Η ανάλυση των δεδομένων του CLC συμβάλλει στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν την ευαισθησία σε κατολισθήσεις και τον συνολικό γεωλογικό κίνδυνο. Η βάση δεδομένων Geodata.gov.gr σε συνδυασμό με τα ψηφιακά χαρτογραφικά δεδομένα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (<https://www.statistics.gr/digital-cartographical-data>) επιτρέπουν την ενσωμάτωση ακριβών τοπογραφικών και δημογραφικών στοιχείων στην ανάλυση, εντοπίζοντας ζώνες υψηλής επικινδυνότητας σε σχέση με οικισμούς και υποδομές.

Συγκεκριμένα, η χαρτογράφηση της ευαισθησίας σε κατολισθήσεις (Landslide Susceptibility Mapping) εστιάζει στον εντοπισμό περιοχών που είναι ευάλωτες σε κατολισθήσεις, χρησιμοποιώντας μοντέλα λογιστικής παλινδρόμησης και μηχανικής μάθησης για την ανάλυση

γεωμορφολογικών δεδομένων και ιδιοτήτων εδάφους. Αυτή η μέθοδος επιτυγχάνει ακρίβεια 0,84, όπως αναφέρουν οι Dashbold et al. (2022), ενώ η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεραρχίας (AHP) ενισχύει την αξιολόγηση των παραγόντων ευαισθησίας και την υποστήριξη στον σχεδιασμό χρήσης γης (Roccati et al., 2021).

Η ανίχνευση κατολισθήσεων (Landslide Detection) βασίζεται στην ανάλυση πολυχρονικών δορυφορικών εικόνων από το Landsat 8 και το DEM, καθώς και σε τεχνικές GIS για την παρακολούθηση αλλαγών στη μορφολογία του εδάφους. Με αυτόν τον τρόπο, οι πρόσφατες κατολισθήσεις μπορούν να εντοπιστούν και να καταγραφούν, υποστηρίζοντας την έγκαιρη αντίδραση και διαχείριση κινδύνου (Psomiadis et al., 2020).

Η χαρτογράφηση κινδύνου κατολισθήσεων (Landslide Hazard Mapping) συνδυάζει δεδομένα υγρασίας εδάφους και υδρολογικές πληροφορίες για την πρόβλεψη περιοχών όπου υπάρχει αυξημένος κίνδυνος κατολισθήσεων. Αυτή η μεθοδολογία όταν επικειρώνεται με ιστορικά δεδομένα και ενισχύει την ακρίβεια της ανάλυσης κινδύνου (Dashbold et al., 2022). Η χρήση γεωχωρικών εργαλείων, όπως το ArcGIS Pro, επιτρέπει την επεξεργασία και την ανάλυση των χωρικών δεδομένων, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή μέτρων πρόληψης σε περιοχές υψηλού κινδύνου.

Συνολικά, η παρούσα εργασία ενσωματώνει αυτά τα δεδομένα και εργαλεία για να δημιουργήσει λεπτομερείς χάρτες ευαισθησίας, ανίχνευσης και κινδύνου κατολισθήσεων, ενισχύοντας την κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη διάβρωση και την ευαισθησία της περιοχής του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας σε γεωλογικές καταστροφές. Η προσέγγιση αυτή συμβάλλει στον σχεδιασμό στρατηγικών διαχείρισης των φυσικών κινδύνων, παρέχοντας ουσιαστικές πληροφορίες για την προστασία των εδαφών και την ασφάλεια των υποδομών στην περιοχή έρευνας..

1.2 ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι κατολισθήσεις ευθύνονται για χιλιάδες θανάτους ετησίως, κυρίως λόγω τραυματισμών και ασφυξίας (Egorov, 2024). Ενδεικτικά, στο Νεπάλ, καταστροφικές κατολισθήσεις έχουν καταστρέψει ολόκληρες κοινότητες, προκαλώντας σοβαρές υλικές ζημιές και ψυχολογική επιβάρυνση στους πληγέντες πληθυσμούς (Shrestha, 2022).

1.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι οικονομικές συνέπειες των κατολισθήσεων είναι εξίσου σημαντικές. Στις ΗΠΑ, οι ζημιές που προκαλούνται από κατολισθήσεις εκτιμώνται σε περίπου 2 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως (Egorov, 2024). Αυτές οι ζημιές περιλαμβάνουν την καταστροφή κρίσιμων υποδομών όπως δρόμοι, γέφυρες και δίκτυα κοινής ωφέλειας, επιβραδύνοντας τις προσπάθειες

ανάκαμψης και επηρεάζοντας τη μακροπρόθεσμη οικονομική σταθερότητα των πληγείσων περιοχών.

1.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Η πρόοδος σε τεχνολογίες, όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) και η χρήση τεχνολογίας InSAR, έχει βελτιώσει τις δυνατότητες παρακολούθησης και πρόβλεψης κατολισθήσεων. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν τη χαρτογράφηση περιοχών κινδύνου, την ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και τη δημιουργία στρατηγικών μετριασμού των επιπτώσεων (Gokceoglu et al., 2024).

1.5 ΓΕΝΙΚΟΣ ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Κατολίσθηση ορίζεται ως κάθε αλλαγή στην επιφάνεια μιας βουνοπλαγιάς, συνοδευόμενη από τη μετακίνηση υλικών λόγω βαρύτητας. Οι μετακινήσεις αυτές μπορεί να είναι αργές ή αιφνίδιες και προκαλούνται από φυσικά ή ανθρωπογενή αίτια. Το φαινόμενο κατολίσθησης αντικατοπτρίζει μια νέα ισορροπία του εδάφους, προσφέροντας δυνατότητες ανθρώπινης παρέμβασης για την επιβράδυνση ή παύση της διαδικασίας.

1.5.1 Κατηγοριοποίηση Κατολισθήσεων

Ο όρος κατολίσθηση δεν καλύπτει πλήρως τη γενικότερη φαινόμενη κατάσταση, καθώς περιλαμβάνει και άλλες μορφές μετακίνησης, όπως πτώσεις, ανατροπές και ροές. Ο όρος "μετακίνηση μαζών", όπως προτείνεται από τον Varnes (1978), είναι καταλληλότερος για να περιγράψει όλες τις βαρυτικές μετακινήσεις υλικών προς τα κατόντη.

1.5.2 Σημασία της Έρευνας Κατολισθητικών Φαινομένων

Η έρευνα των κατολισθητικών φαινομένων έχει καθοριστική σημασία τόσο για την προστασία του περιβάλλοντος όσο και για τη διαχείριση της ανθρώπινης δραστηριότητας. Εστιάζοντας στην αλληλεπίδραση μεταξύ φυσικών διεργασιών και ανθρωπογενών παραγόντων, προσφέρεται η δυνατότητα διαχείρισης και μετριασμού των κινδύνων που απορρέουν από τα φαινόμενα αυτά. Η κατανόηση αυτής της δυναμικής είναι απαραίτητη για τη βιώσιμη διαχείριση της γης και την προστασία των ανθρώπινων κοινοτήτων και υποδομών.

1.5.3 Ανθρώπινες Παρεμβάσεις και Επιπτώσεις

Η ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως η αποψίλωση των δασών, η εξόρυξη και η αστικοποίηση, αυξάνει σημαντικά την ευαισθησία της περιοχής σε κατολισθητικά φαινόμενα. Στην Ανατολική Αφρική, οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, όπως οι εξορυκτικές δραστηριότητες και η

κατασκευή δρόμων, έχουν αυξήσει τον κίνδυνο κατολισθήσεων (Depicker et al., 2024). Παρομοίως, στην Πουέμπλα, Μεξικό, οι αλλαγές χρήσης γης και οι ανασκαφές έχουν επιδεινώσει τις επιπτώσεις των έντονων βροχοπτώσεων, προκαλώντας κατολισθήσεις που πλήττουν ευάλωτες κοινότητες (Andrés, 2023).

2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Η κατάταξη και ορισμός των κατολισθήσεων καλύπτει διάφορες μορφές γεωλογικών μετατοπίσεων, που περιλαμβάνουν τόσο οριζόντιες όσο και κατακόρυφες κινήσεις της εδαφικής μάζας. Όταν οι μετατοπίσεις είναι αποκλειστικά κατακόρυφες και το έδαφος υποχωρεί προς τα κάτω, το φαινόμενο ονομάζεται "καθίζηση" ή "κατάρρευση" και συνδέεται με την απώλεια της υποστήριξης του εδάφους. Στις πιο αργές περιπτώσεις καθίζησης, αυτή η απώλεια στήριξης προκύπτει λόγω της βαθμιαίας αφαίρεσης υλικών από τα βαθύτερα στρώματα του υπεδάφους. Στην περίπτωση της κατάρρευσης, η ύπαρξη κενών σε ρηχά βάθη είναι ο κύριος παράγοντας που οδηγεί σε αυτή τη γεωλογική αλλαγή (Σουλιώτης, 2018).

Όταν η εδαφική ή βραχώδης μάζα κινείται μόνο κατακόρυφα, το φαινόμενο ονομάζεται καθίζηση ή κατάπτωση. Αν όμως συνυπάρχει και οριζόντια μετατόπιση, και η διατμητική αντοχή του εδάφους ή της βραχομάζας ξεπεραστεί, τότε το φαινόμενο κατατάσσεται ως κατολίσθηση.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση των Zaruba & Mencl (1969), βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κατανόηση των γεωλογικών κινήσεων περιλαμβάνουν:

- ο **Βαρύτητα:** Ο κύριος παράγοντας που προκαλεί τα κατολισθητικά φαινόμενα.
- ο **Ταχύτητα:** Οι γρήγορες κινήσεις κατατάσσονται στις κατολισθήσεις, ενώ οι αργές κινήσεις όπως ο ερπυσμός δεν θεωρούνται κατολισθητικά φαινόμενα.
- ο **Τύπος κίνησης:** Οι κινήσεις μπορεί να εκδηλωθούν με πτώση, ολίσθηση ή ροή.
- ο **Ζώνη κίνησης:** Δεν πρέπει να ταυτίζεται με γεωλογικό ρήγμα.
- ο **Κατεύθυνση κίνησης:** Οι μετατοπίσεις πρέπει να είναι τόσο προς τα κάτω όσο και προς τα έξω, δημιουργώντας ελεύθερη επιφάνεια.
- ο **Υλικό:** Το μετακινούμενο υλικό προέρχεται από λοφώδεις ή ορεινές περιοχές και περιλαμβάνει βραχομάζα ή μέρος του αποσαθρωμένου εδάφους.
- ο **Παγωμένες περιοχές:** Οι ολισθήσεις που οφείλονται σε φαινόμενα παγετού δεν κατατάσσονται στις κατολισθήσεις.

Η ταξινόμηση των κατολισθήσεων βασίζεται επίσης σε παραμέτρους όπως:

- Ο μηχανισμός της ολίσθησης.
- Το είδος του υλικού που μετακινείται.
- Η περιεκτικότητα σε υγρασία.

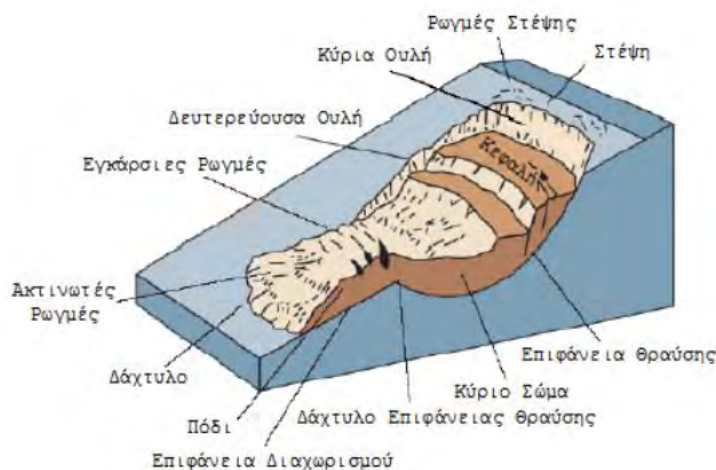
- Ο τύπος και η ταχύτητα της κίνησης (π.χ. κατάπτωση, ολίσθηση, ροή).
- Η μορφολογία και γεωμετρία του πρανούς.
- Η σχέση ολίσθησης με την επιφάνεια ολίσθησης (επίπεδη ή περιστροφική).
- Τα αίτια (σεισμοί, πίεση νερού, ανθρώπινες παρεμβάσεις).
- Οι κλιματολογικές συνθήκες και το περιβαλλοντικό πλαίσιο.
- Η τοποθεσία της εκδήλωσης (ξηρά, θάλασσα, λίμνες).

Ανάλογα με την κατάσταση σταθερότητας, οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε:

- **Ενεργές:** Αυτές που δεν έχουν σταθεροποιηθεί.
- **Πρόσφατα ενεργές:** Κατολισθήσεις που εμφανίζουν νέες μετακινήσεις μετά από σταθεροποίηση.
- **Πρόσφατα ενεργοποιημένες:** Φαινόμενα που έχουν δείξει πρόσφατες κινήσεις.
- **Σταθεροποιημένες:** Κατολισθήσεις που δεν παρουσιάζουν ενδείξεις πρόσφατης ενεργοποίησης.

Οι πιο συνηθισμένες κατολισθήσεις εντοπίζονται σε περιοχές με κατακερματισμένα πετρώματα, και αποτελούνται από συγκεκριμένα τμήματα όπως:

- **Κύρια ουλή:** Μια απότομη επιφάνεια αδιατάρακτου εδάφους που προκύπτει από την απομάκρυνση του ολισθαίνοντος υλικού.
- **Κεφαλή:** Το ανώτερο τμήμα της κατολίσθησης.
- **Πόδι:** Το κάτω μέρος του μετατοπισθέντος υλικού.
- **Δάκτυλο:** Το χαμηλότερο τμήμα που έχει μετακινηθεί μακριά από το κύριο μέτωπο της κατολίσθησης.



Εικόνα 1 Ορολογία σύνθετης μετακίνησης Πηγή: Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.

Τέλος, σύμφωνα με τους Schroeder (1971) και Varnes (1978), το υλικό σε μια κατολίσθηση μπορεί να είναι είτε βράχος είτε έδαφος.

Οι κατολισθήσεις είναι πολύπλοκα γεωλογικά φαινόμενα που επηρεάζονται από μια σειρά παραγόντων, όπως η τοπογραφία, η γεωλογία, το υδρογραφικό δίκτυο και οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Η κατανόηση των τύπων και των αιτίων των κατολισθήσεων, καθώς και των παραγόντων που επηρεάζουν την ευαισθησία τους, είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση των κινδύνων και την πρόληψη των επιπτώσεων που μπορεί να προκαλέσουν σε ανθρώπινες ζωές, περιουσίες και υποδομές.

Η εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων οφείλεται σε συνδυασμό παραγόντων, οι οποίοι δρουν είτε μόνιμα είτε παροδικά και καθορίζουν την επιδεκτικότητα μιας περιοχής σε γεωλογική αστάθεια. Η μορφολογία του ανάγλυφου, τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και η παρουσία υδρογραφικών δικτύων αποτελούν σταθερούς παράγοντες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση των ζωνών ευαισθησίας. Παροδικά δρώντες παράγοντες, όπως οι έντονες βροχοπτώσεις, οι σεισμικές δονήσεις και οι ανθρώπινες επεμβάσεις, ενεργοποιούν κατολισθήσεις σε ήδη επιδεκτικές περιοχές (Brunsden, 1984).

Με τον όρο "κινήσεις γεωλογικών μαζών" αναφερόμαστε στα αποτελέσματα φυσικών διεργασιών και γεωδυναμικών-τεκτονικών αλλαγών που συμβαίνουν σε μικρά βάθη από την επιφάνεια της γης. Τα φαινόμενα αυτά περιλαμβάνουν όχι μόνο κατολισθήσεις, αλλά και καθιζήσεις, καρστικές κατακρημνίσεις και ισχυρές διαβρώσεις (Varnes, 1978). Οι μετακινήσεις αυτές προκαλούν σημαντικές αλλοιώσεις στο φυσικό περιβάλλον, επηρεάζοντας την τοπική γεωλογία, τη βλάστηση και τις υδρολογικές συνθήκες.

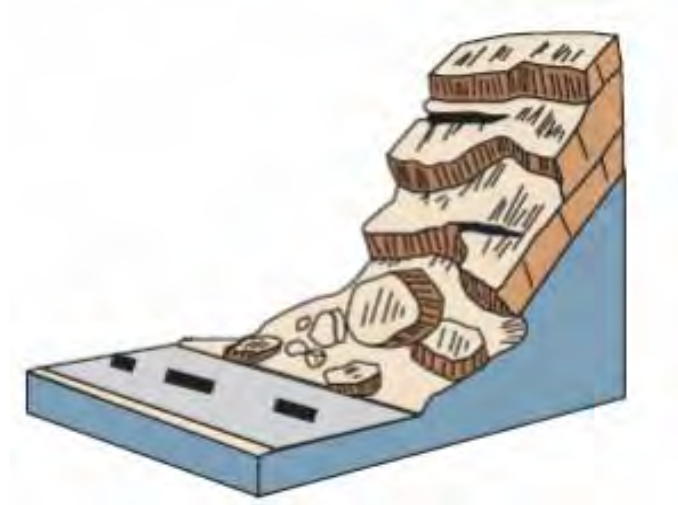
2.2 ΤΥΠΟΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε διάφορους τύπους, ανάλογα με τον μηχανισμό κίνησης και το υλικό που εμπλέκεται (Varnes, 1978). Η πολυπλοκότητα των φαινομένων αυτών επιδεινώνεται από τη δυνατότητα συνδυασμού διαφορετικών μορφών μετακινήσεων, ενώ η ένταση και η ταχύτητα των φαινομένων καθορίζονται από τις γεωλογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής.

2.2.1 Πτώσεις Λίθων (Falls)

Οι πτώσεις λίθων συμβαίνουν κυρίως σε απότομες επιφάνειες όπου η βαρύτητα προκαλεί την απότομη αποκόλληση βράχων ή στερεών υλικών, συχνά μετά από βροχοπτώσεις, σεισμούς ή διαβρώσεις. Οι αποκολλήσεις υλικών δημιουργούν συσσωρεύσεις στη βάση των πρανών, σχηματίζοντας κώνους κορημάτων (Záruba & Mencl, 1982). Αυτός ο τύπος κατολίσθησης

μπορεί να είναι ιδιαίτερα επικίνδυνος για κατοικημένες περιοχές που βρίσκονται κοντά σε απότομες πλαγιές.

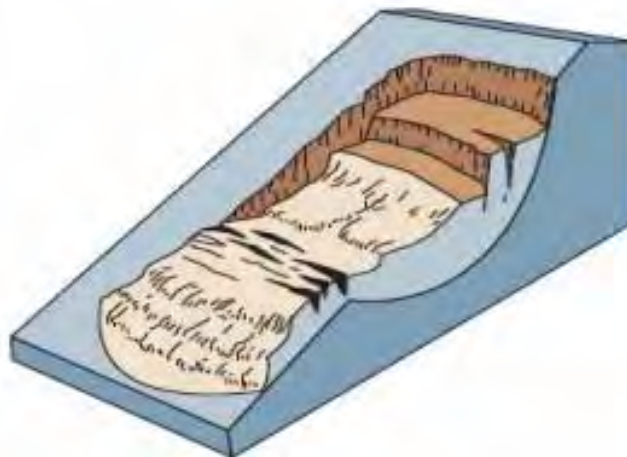


Εικόνα 2 Πτώση, Πηγή : Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.

2.2.2 Ολισθήσεις (Slides)

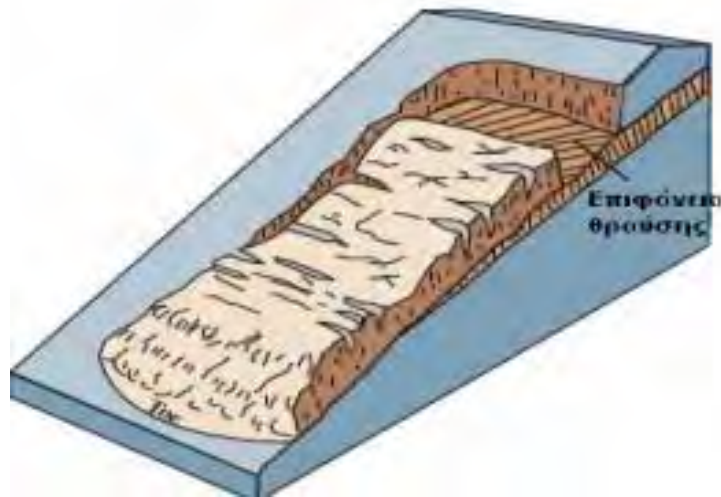
Οι ολισθήσεις είναι ένας από τους πιο συνηθισμένους τύπους κατολισθήσεων, όπου η μετακίνηση συμβαίνει κατά μήκος ενός επιπέδου διάτμησης. Οι ολισθήσεις διακρίνονται σε περιστροφικές και μεταθετικές.

- **Περιστροφικές Ολισθήσεις (Rotational Slides):** Στις περιστροφικές ολισθήσεις, τα υλικά κινούνται κατά μήκος μιας κοίλης προς τα πάνω επιφάνειας, και παρατηρείται ανύψωση στον πόδα της μάζας. Παρουσιάζονται συχνά σε ομοιογενή εδάφη και είναι χαρακτηριστικές περιοχών με βαθιές γεωλογικές αστοχίες (Skempton & Hutchinson, 1969). Η εκδήλωση τέτοιων ολισθήσεων μπορεί να είναι σταδιακή, δίνοντας ενδείξεις αστάθειας πριν την πλήρη αποκόλληση της μάζας.



Εικόνα 3 Περιστροφικές Ολισθήσεις Πηγή: Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.

- **Μεταθετικές Ολισθήσεις (Translational Slides):** Στις μεταθετικές ολισθήσεις, η μετακίνηση συμβαίνει κατά μήκος μιας επίπεδης ή κυματοειδούς επιφάνειας, χωρίς σημαντική εσωτερική παραμόρφωση της μάζας. Αυτές οι ολισθήσεις εμφανίζονται κυρίως σε βραχώδεις σχηματισμούς, όπως στον Φλύσχη του Πηλίου, όπου τα γεωλογικά στρώματα έχουν δυσμενή κλίση (Hoek & Bray, 1977).



Εικόνα 4 Μεταθετικές Ολισθητικές, Πηγή : Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.

2.2.3 Ροές (Flows)

Οι ροές είναι γεωλογικά φαινόμενα που συμβαίνουν όταν τα υλικά ενός πρανού αναμιγνύονται με νερό και κινητοποιούνται υπό την επίδραση της βαρύτητας, προκαλώντας συχνά καταστροφικές συνέπειες. Αυτές οι ροές, όπως οι λασποροές και οι ροές κορημάτων, χαρακτηρίζονται από την ταχύτητα και την ένταση με την οποία τα υλικά μετακινούνται κατά μήκος των πλαγιών (Meister, 2016). Οι ροές κορημάτων, ιδιαίτερα, παρατηρούνται συχνά μετά από έντονες βροχοπτώσεις σε περιοχές με περιορισμένη φυτοκάλυψη, όπου το έδαφος δεν μπορεί να απορροφήσει επαρκώς τα νερά, προκαλώντας τη διάβρωση και την κινητοποίηση του χαλαρού υλικού.

Οι ροές εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά και αποτελούν μία μη αναστρέψιμη παραμόρφωση υλικών, η οποία συμβαίνει ως αντίδραση στην ασκούμενη πίεση. Στις περιπτώσεις όπου η ταχύτητα είναι από πολύ αργή έως αργή, οι ροές ταξινομούνται ως ερπυσμός (creep). Η μετατόπιση είναι δυσδιάκριτη, αλλά μπορεί να εντοπιστεί μέσω ενδείξεων όπως η κλίση δέντρων και στύλων ή η χαρακτηριστική θέση θραυσμάτων γεωλογικών οριζόντων. Όταν οι ροές είναι ταχύτερες, παρατηρείται μεγαλύτερη παραμόρφωση των υλικών και οι επιφάνειες ολίσθησης γίνονται λιγότερο ορατές.

Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των ροών, αυτές διακρίνονται ως εξής:

➤ **Ροές βραχώδους υποβάθρου (rock flows):** Στις ροές αυτές παρατηρούνται παραμορφώσεις που κατανέμονται μεταξύ μεγάλων ή μικρών ρωγμών, χωρίς να παρατηρείται μετατόπιση κατά μήκος μιας συγκεκριμένης επιφάνειας.

➤ **Ροές κορημάτων (debris flows):** Οι ροές κορημάτων περιλαμβάνουν μείγματα από χώμα, πέτρες, οργανικά στοιχεία και νερό, τα οποία κινούνται σαν ρευστός πηλός κάτω από την επίδραση της βαρύτητας. Η έντονη βροχόπτωση ή το γρήγορο λιώσιμο του χιονιού, σε συνδυασμό με την απουσία φυτοκάλυψης, προκαλούν την κινητοποίηση του χαλαρού υλικού. Όταν η ταχύτητα είναι μεγάλη και τα πρηνή έχουν μεγάλη κλίση, η ροή μπορεί να εξελιχθεί σε «χιονοστιβάδα κορημάτων» (debris avalanche), μεταφέροντας μεγάλες ποσότητες υλικών κατά μήκος της πλαγιάς (Nealli, 1976).

➤ **Ροές γαιών (earth flows):** Αυτές οι ροές συμβαίνουν όταν τα γαιώδη υλικά είναι αρκετά διαβρεγμένα και ρέουν με σχετικά γρήγορο ρυθμό, περιέχοντας τουλάχιστον 50% άμμο, ιλύ και άργιλο. Οι ροές αυτές ονομάζονται λασποροές (mudflows), όταν περιέχουν υψηλή υγρασία, ενώ σε ξηρές συνθήκες με κυρίαρχο το κλάσμα της άμμου, ονομάζονται ξηρές ροές άμμου (dry sand flows) (Κάβουρα, 2013).

Η κατανόηση της δυναμικής των ροών είναι κρίσιμη για την εκτίμηση των κινδύνων σε περιοχές επιρρεπείς σε κατολισθήσεις, καθώς οι γεωμετρικές και υδρολογικές συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά την ένταση και την έκταση των φαινομένων αυτών.

2.2.4 Ανατροπές (Topples)

Οι ανατροπές περιλαμβάνουν την περιστροφική κίνηση των βράχων γύρω από έναν άξονα, συνήθως λόγω αστάθειας που προκαλείται από γεωλογικές ασυνέχειες, όπως ρήγματα ή στρωματογραφικές διακλάσεις.



Εικόνα 5 Ανατροπές Πηγή: Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.

2.2.5 Πλευρικές Εξαπλώσεις (Lateral Spreads)

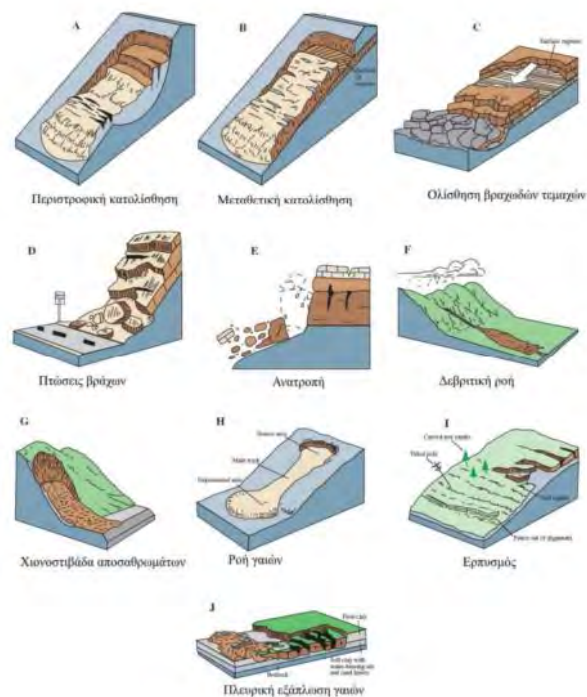
Οι πλευρικές εξαπλώσεις χαρακτηρίζονται από την οριζόντια μετατόπιση υλικών λόγω αστάθειας στα υποκείμενα στρώματα, που συχνά προκαλείται από φαινόμενα ρευστοποίησης. Τέτοιες μετακινήσεις είναι συχνές σε περιοχές με μαλακά αργιλικά εδάφη, όπου οι σεισμικές δονήσεις μπορούν να οδηγήσουν σε απότομη πτώση της σταθερότητας (Cruden & Varnes, 1996).



Εικόνα 6 Πλευρικές Εξαπλώσεις, Πηγή: Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.

2.2.6 Σύνθετες Κατολισθήσεις (Complex Slides)

Οι σύνθετες κατολισθήσεις περιλαμβάνουν συνδυασμούς διαφορετικών τύπων μετακινήσεων, όπως ολίσθηση και ροή. Αυτό συμβαίνει συχνά σε περιοχές με ποικίλες γεωλογικές συνθήκες και μπορεί να προκαλέσει ιδιαίτερα καταστροφικές επιπτώσεις, αφού οι διαδοχικές φάσεις της κίνησης επηρεάζουν μεγαλύτερες εκτάσεις (Dikau, 1996).



Εικόνα 7 Τύποι μετακίνησης πρανών κατά Varnes (1978). Πηγή U.S. Geological Survey

Πίνακας 1 Σύντομη ταξινόμηση των κατολισθητικών κινήσεων Varnes (1978), Cruden & Varnes,(1996).

Τύπος Μετακίνησης	Τύπος Υλικού		
	Υπόβαθρο (Βραχώδεις Σχηματισμοί)	Εδάφη	
		Ανδρομερή Υλικά (Κορήματα)	Λεπτόκοκκα Υλικά (Γαίες)
Πτώσεις	Πτώσεις βράχων	Πτώσεις κορημάτων	Πτώσεις γαιών
Ανατροπές	Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις - περιστροφικές και μεταθετικές	Περιστροφή βράχων Ολίσθηση βραχομάζας Ολίσθηση τεμάχους	Περιστροφή κορημάτων Ολίσθηση κορημάτων	Περιστροφή γαιών Ολίσθηση γαιών
Πλευρικές εκτάσεις	Έκταση βράχων	Έκταση κορημάτων	Έκταση γαιών
Ροές	Ροή βράχων	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών (ή ροή ιλύος)
Σύνθετες	Συνδυασμός δύο ή περισσότερων κύριων τύπων μετακινήσεων		

2.3 ΑΙΤΙΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Οι κατολισθήσεις προκαλούνται από έναν συνδυασμό φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων, οι οποίοι μπορούν είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά να αποσταθεροποιήσουν τις πλαγιές. Στο παρόν υποκεφάλαιο αναλύονται οι βασικές αιτίες που συμβάλλουν στην εκδήλωση του φαινομένου, καθώς και οι μηχανισμοί ενεργοποίησής τους.

2.3.1 Φυσικές Αιτίες

Οι φυσικές αιτίες κατολισθήσεων είναι συνήθως συνδεδεμένες με υδρολογικές, σεισμικές και γεωλογικές διαδικασίες. Οι έντονες βροχοπτώσεις και το απότομο λιώσιμο του χιονιού αυξάνουν (Kolathayaret al., 2022). Οι σεισμοί προκαλούν δονήσεις που διαταράσσουν την ισορροπία των γεωλογικών στρωμάτων, αυξάνοντας τον κίνδυνο ρευστοποίησης και αστοχίας των πλαγιών (Olivera, 2023).

Επίσης, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι αλλαγές στη στάθμη των υπογείων υδάτων μπορούν να προκαλέσουν απότομες μεταβολές στην ευστάθεια των πρανών (Δημόπουλος, 1986). Η δράση των φυσικών διεργασιών όπως η διάβρωση από ποτάμια και θάλασσες, η δράση του ανέμου και η αποσάθρωση λόγω πάγου, μπορεί να αποδυναμώσει τα πρανή και να προκαλέσει κατολισθήσεις (Zaruba & Mencl, 1969).

2.3.2 Γεωλογικοί Παράγοντες

Οι γεωλογικοί παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά την εκδήλωση κατολισθήσεων. Ο τύπος και η δομή του εδάφους, η ύπαρξη ρηγμάτων και ασυνεχειών, καθώς και η παρουσία βραχομάζας με δυσμενή προσανατολισμό αυξάνουν την πιθανότητα αστοχίας (Varnes, 1978). Πετρώματα όπως ο φλύσχης και τα αργιλικά εδάφη είναι πιο ευάλωτα λόγω των φυσικών τους ιδιοτήτων, ενώ η παρουσία πολλών ετερογενών στρωμάτων δημιουργεί πολλαπλές πιθανές επιφάνειες ολίσθησης.

2.3.3 Τοπογραφικοί Παράγοντες

Η γεωμετρία και η τοπογραφία των πρανών είναι κρίσιμοι παράγοντες που καθορίζουν την ευστάθεια μιας περιοχής. Πλαγιές με απότομες κλίσεις, υψόμετρο και κατευθύνσεις προς ευάλωτα σημεία της γεωγραφικής τους θέσης είναι πιο επιρρεπείς σε κατολισθήσεις (Cui et al., 2024). Περιοχές με υψηλή διάβρωση ή απότομα πρανή βρίσκονται σε μεγαλύτερο κίνδυνο, ειδικά όταν υπάρχουν ασταθή στρώματα στο υπέδαφος.

2.3.4 Υδρολογικοί Παράγοντες

Η παρουσία και η διαχείριση του νερού διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην αστάθεια των πλαγιών. Η αυξημένη στάθμη των υπόγειων υδάτων, η παρουσία επιφανειακών υδάτων και οι μεταβολές στη ροή του νερού επιδεινώνουν την ευστάθεια, μειώνοντας τη συνοχή των υλικών. Το νερό, μειώνοντας την τριβή μεταξύ των σωματιδίων του εδάφους, μπορεί να οδηγήσει σε ρευστοποίηση και μετακίνηση των υλικών (Meister, 2016).

2.3.5 Ανθρωπογενείς Αιτίες

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες συχνά ενισχύουν την αστάθεια των πρανών. Η αποψίλωση των δασών, η υπερβολική άρδευση, οι εκσκαφές και οι κατασκευές φραγμάτων και κτιρίων ασκούν πίεση στις πλαγιές και μπορούν να προκαλέσουν κατολισθήσεις. Η αλλαγή χρήσης γης σε αστικές ή βιομηχανικές περιοχές αυξάνει το βάρος στα πρανή και δημιουργεί συνθήκες ευνοϊκές για την εκδήλωση κατολισθήσεων (Patel & Bakshi, 2024). Επιπλέον, η αποψίλωση δασών και η κακή διαχείριση του υδροφόρου ορίζοντα μειώνουν την ικανότητα συγκράτησης του εδάφους.

2.3.6 Κλιματολογικές Συνθήκες

Οι κλιματολογικές συνθήκες είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας, καθώς επηρεάζουν την ποσότητα υγρασίας στο έδαφος. Οι έντονες βροχοπτώσεις, οι εναλλαγές θερμοκρασίας και η συνολική υγρασία μπορούν να επηρεάσουν τη σταθερότητα των πλαγιών, ειδικά σε περιοχές όπου η διάβρωση είναι έντονη (Culshaw et al., 1997).

2.3.7 Μηχανισμοί Ενεργοποίησης

Οι μηχανισμοί ενεργοποίησης των κατολισθήσεων περιλαμβάνουν εξωγενείς και ενδογενείς παράγοντες. Στους εξωγενείς περιλαμβάνονται παράγοντες όπως η αύξηση του βάρους του εδάφους λόγω βροχοπτώσεων ή η κλίση των πρανών. Οι σεισμικές δονήσεις και οι δονήσεις από μηχανήματα μπορούν επίσης να προκαλέσουν αστοχίες. Ενδογενείς παράγοντες, όπως η αύξηση της πίεσης του νερού στους πόρους και η μείωση της συνοχής και της τριβής, μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία των πρανών (Carrara et al., 1999).

Με τη συνδυαστική δράση αυτών των παραγόντων, η εκδήλωση των κατολισθήσεων γίνεται ένα πολύπλοκο φαινόμενο, το οποίο απαιτεί λεπτομερή ανάλυση και στρατηγική πρόληψης.

2.4 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΓΣΠ)

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) παίζουν έναν κεντρικό ρόλο στην ανάλυση και παρακολούθηση των κατολισθητικών φαινομένων, επιτρέποντας την εκτίμηση του κινδύνου και την κατανόηση των γεωλογικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων που συμβάλλουν σε τέτοιες καταστροφές. Σύμφωνα με τον Κουτσόπουλο (2005), τα ΓΣΠ αποτελούν μια οργανωμένη συλλογή μηχανημάτων και λογισμικών που συνδυάζουν χωρικά δεδομένα για την αναπαράσταση γεωγραφικών πληροφοριών, διευκολύνοντας την ανάλυση και διαχείριση περιβαλλοντικών φαινομένων.

2.4.1 Ανάλυση των Κατολισθητικών Φαινομένων με Χρήση των ΓΣΠ

2.4.1.1 Συλλογή και Οργάνωση Δεδομένων

Τα ΓΣΠ επιτρέπουν τη συλλογή και οργάνωση διαφορετικών τύπων δεδομένων που είναι απαραίτητα για την ανάλυση των κατολισθήσεων. Αυτά περιλαμβάνουν δεδομένα τοπογραφίας, γεωλογικών χαρτών, βροχοπτώσεων, χρήσης γης και τύπων εδάφους (Αστάρης & Οικονομίδης, 2007). Τα δεδομένα αυτά μπορούν να εισαχθούν σε μια βάση δεδομένων GIS με τη μορφή θεματικών επιπέδων, τα οποία περιγράφουν διαφορετικές γεωμορφολογικές και κλιματικές μεταβλητές που συμβάλλουν στις κατολισθήσεις. Τα χωρικά δεδομένα, όπως αναφέρθηκε, μπορούν να περιλαμβάνουν σημειακές, γραμμικές και επιφανειακές πληροφορίες. Για παράδειγμα, τα σημεία που δείχνουν τις θέσεις προηγούμενων κατολισθήσεων, οι γραμμές που αντιπροσωπεύουν ρήγματα ή υδρογραφικά δίκτυα, και τα πολύγωνα που αντιστοιχούν σε γεωλογικές ζώνες ή περιοχές υψηλού κινδύνου (Αστάρης & Οικονομίδης, 2007).

2.4.1.2 Διαστρωμάτωση και Ανάλυση Χωρικών Δεδομένων

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των ΓΣΠ είναι η δυνατότητα διαστρωμάτωσης χωρικών πληροφοριών από διάφορες πηγές και η ανάλυσή τους σε συνδυασμό. Στην περίπτωση των κατολισθήσεων, τα ΓΣΠ επιτρέπουν τη δημιουργία μοντέλων κινδύνου με τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης. Για παράδειγμα, τα δεδομένα για την κλίση του εδάφους, την πυκνότητα των ρωγμών και τις βροχοπτώσεις μπορούν να συνδυαστούν για να εκτιμηθεί η ευαισθησία μιας περιοχής σε κατολισθήσεις (Αστάρης & Οικονομίδης, 2007). Σύμφωνα με τον Κουτσόπουλο (2005), τα ΓΣΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συσχέτιση διαφορετικών γεωμορφολογικών δεδομένων, όπως κλίση και χρήση γης, μέσω θεματικών επιπέδων που εισάγονται σε μια βάση δεδομένων. Αυτή η πολυδιάστατη προσέγγιση επιτρέπει την ανάλυση του συνδυασμένου κινδύνου και παρέχει στους ερευνητές μια συνολική εικόνα του φαινομένου.

2.4.2 Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DEM)

Τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DEM) αποτελούν ένα βασικό εργαλείο στα ΓΣΠ για την ανάλυση κατολισθήσεων. Αυτά τα μοντέλα παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για την κλίση και το ανάγλυφο μιας περιοχής, κρίσιμες μεταβλητές που συνδέονται άμεσα με την ευαισθησία σε κατολισθήσεις (Χαλκιάς, 2007). Οι κλίσεις με έντονα μορφολογικά χαρακτηριστικά, όπως βραχώδεις πλαγιές, αποτελούν σημεία υψηλού κινδύνου. Τα DEM επιτρέπουν τη λεπτομερή χαρτογράφηση του ανάγλυφου μιας περιοχής και την πρόβλεψη του τρόπου με τον οποίο το νερό ρέει κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων βοηθά στην

εκτίμηση των πιθανών περιοχών κατολισθήσεων και στον σχεδιασμό μέτρων πρόληψης, όπως στρατηγικές αποστράγγισης (Χαλκιάς, 2007).

2.5 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Ένα GIS παρέχει επίσης τη δυνατότητα πρόβλεψης μελλοντικών κατολισθητικών φαινομένων μέσω της χαρτογράφησης επικινδυνότητας. Η χαρτογράφηση βασίζεται σε στατιστικά μοντέλα και ιστορικά δεδομένα, τα οποία αποθηκεύονται και αναλύονται στο σύστημα. Οι χάρτες που δημιουργούνται μπορούν να βοηθήσουν τις αρχές να εντοπίσουν περιοχές υψηλού κινδύνου και να προσαρμόσουν τις στρατηγικές πολιτικής προστασίας (Ασάρας & Οικονομίδης, 2007).

2.6 ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Η τηλεπισκόπηση συνδέεται άμεσα με τα GIS, καθώς δίνει τη δυνατότητα ανίχνευσης και παρακολούθησης κατολισθητικών φαινομένων μέσω δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών. Οι δορυφόροι συλλέγουν δεδομένα από απόσταση, επιτρέποντας την παρακολούθηση μεγάλων περιοχών και την ανίχνευση μεταβολών στο ανάγλυφο (Καρτάλης & Φεΐδας, 2013). Αυτά τα δεδομένα μπορούν να ενσωματωθούν στα GIS για την ακριβέστερη εκτίμηση του κινδύνου.

2.7 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Παρά τα πλεονεκτήματα της χρήσης των ΓΣΠ, η ανάλυση των κατολισθητικών φαινομένων δεν είναι πάντα απαλλαγμένη από αβεβαιότητες. Η πολυπλοκότητα των γεωλογικών διεργασιών και η έλλειψη ακριβών δεδομένων μπορεί να περιορίσουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Η αντιμετώπιση αυτών των αβεβαιοτήτων αποτελεί έναν από τους βασικούς στόχους της σύγχρονης έρευνας, με την ανάπτυξη πιο προηγμένων μοντέλων και τεχνολογιών, όπως τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Ercanoglu & Gokceoglu, 2002).

Συνολικά, τα ΓΣΠ παρέχουν σημαντικά εργαλεία για την ανάλυση των κατολισθητικών φαινομένων, συνδυάζοντας τη χωρική ανάλυση, τα δεδομένα τηλεπισκόπησης και τις στατιστικές προβλέψεις για να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση και πρόληψη αυτών των φυσικών καταστροφών.

2.8 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η τηλεπισκόπηση είναι μια επιστήμη που επιτρέπει την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με την επιφάνεια της γης από απόσταση, χωρίς την ανάγκη φυσικής επαφής με το αντικείμενο. Οι πληροφορίες συλλέγονται μέσω της αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας και στη συνέχεια αναλύονται για εφαρμογές που

σχετίζονται με τη γεωλογική ανάλυση, περιβαλλοντική παρακολούθηση και τη διαχείριση κινδύνων, όπως οι κατολισθήσεις (Gupta, 2017; Avery & Berlin, 1992).

2.8.1 Landsat 8

Το πρόγραμμα Landsat αποτελεί μία από τις πιο αξιόπιστες και μακροχρόνιες πηγές τηλεπισκοπικών δεδομένων. Ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970 από τη NASA και την Υπηρεσία Γεωλογικής Έρευνας των Η.Π.Α. (USGS) και έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη συλλογή δορυφορικών δεδομένων για διάφορους τομείς.

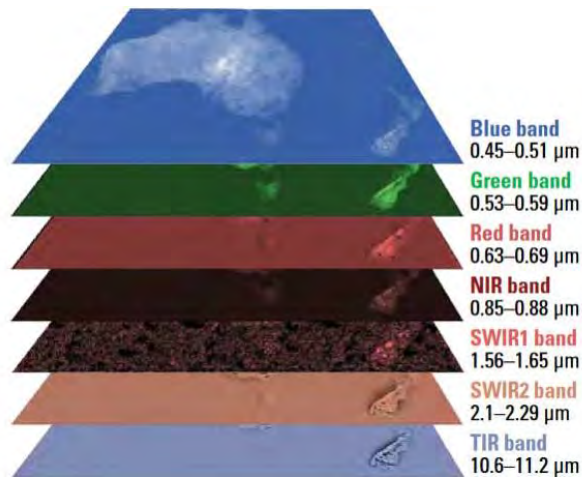


Εικόνα 8 Landsat 8. Πηγή: <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-image-7>

Ο Landsat 8, ο οποίος εκτοξεύτηκε το 2013, φέρει δύο αισθητήρες: τον Operational Land Imager (OLI) και τον Thermal Infrared Sensor (TIRS). Ο OLI καταγράφει δεδομένα στο ορατό και υπέρυθρο τμήμα του φάσματος με χωρική ανάλυση 30 m, ενώ ο TIRS συλλέγει θερμικά δεδομένα με ανάλυση 100 m, καθιστώντας τον Landsat 8 εξαιρετικά χρήσιμο για την ανάλυση της γήινης επιφάνειας.

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Launched February 11, 2013	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Εικόνα 9 Landsat 8, χαρακτηριστικά φασματικών καναλιών. Πηγή: USGS



Εικόνα 10 Τα φασματικά κανάλια. Πηγή: <https://gisgeography.com/wp-content/uploads/2019/10/Landsat-Bands.jpg>

Ο Landsat 8 ακολουθεί ηλιοσύγχρονη τροχιά σε ύψος 705 km πάνω από τη Γη και καλύπτει την επιφάνεια του πλανήτη κάθε 16 ημέρες, επιτρέποντας τη συνεχή παρακολούθηση αλλαγών στην επιφάνεια της γης, όπως οι γεωλογικές μεταβολές. Η χρήση των πολυφασματικών εικόνων του Landsat 8 σε συνδυασμό με άλλες τηλεπισκοπικές τεχνολογίες προσφέρει δυνατότητες για τον εντοπισμό κατολισθητικών φαινομένων, την ανίχνευση αλλαγών στη βλάστηση και την κάλυψη γης, καθώς και την εκτίμηση κινδύνου φυσικών καταστροφών (USGS n.d.).

Οι εικόνες του Landsat 8 αποτελούν κρίσιμο στοιχείο για την παρακολούθηση της γης σε πολλές περιοχές, συμπεριλαμβανομένων των επικίνδυνων περιοχών κατολισθήσεων, ενώ τα δεδομένα του χρησιμοποιούνται ευρέως στη γεωργία, τη γεωλογία, και την παρακολούθηση περιβαλλοντικών καταστροφών.

2.9 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι τεχνολογίες τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούν διάφορους αισθητήρες που ανιχνεύουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διαφορετικά τμήματα του φάσματος (ορατό, υπέρυθρο, μικροκύματα) για να συλλέξουν δεδομένα που μπορούν να αξιοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές.

Πολυφασματικά και υπερφασματικά δεδομένα: Αυτά τα δεδομένα είναι απαραίτητα για την ανάλυση της γήινης κάλυψης και της βλάστησης, επιτρέποντας τη λήψη πληροφοριών σε διαφορετικά μήκη κύματος, τα οποία είναι κρίσιμα για περιβαλλοντικές μελέτες και την παρακολούθηση αλλαγών στη χρήση γης (Meng, 2023). Οι υπερφασματικές εικόνες καταγράφουν δεκάδες φασματικές ζώνες μικρού εύρους, προσφέροντας εξαιρετική ανάλυση και ευαισθησία (Lillesand & Kiefer, 2000).

➤ **Δεδομένα LiDAR:** Η τεχνολογία LiDAR χρησιμοποιεί παλμούς λέιζερ για να δημιουργήσει τρισδιάστατα μοντέλα της γήινης επιφάνειας με υψηλή ακρίβεια. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται ευρέως για τοπογραφική χαρτογράφηση, καθώς παρέχει ακριβή δεδομένα για την κλίση, το υψόμετρο και τις αλλαγές στη μορφολογία του εδάφους, παράγοντες που είναι κρίσιμοι για την αξιολόγηση κινδύνου κατολισθήσεων (Meng, 2023; Li et al., 2024).

➤ **Δεδομένα από UAV (Unmanned Aerial Vehicles) και TLS (Terrestrial Laser Scanning):** Τα UAV και τα συστήματα επίγειας σάρωσης λέιζερ χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της μορφολογίας του εδάφους σε δύσβατες περιοχές, όπως ορεινές πλαγιές. Αυτά τα δεδομένα προσφέρουν υψηλή ακρίβεια, επιτρέποντας τη λεπτομερή παρακολούθηση γεωλογικών αλλαγών με χαμηλό κόστος και αυξημένη ασφάλεια (Zhou et al., 2024; Strzabala et al., 2024).

➤ **Δεδομένα από Street View:** Αν και η χρήση δεδομένων από Street View περιορίζεται κυρίως σε αστικά περιβάλλοντα, μπορούν επίσης να προσφέρουν πολύτιμα δεδομένα για την παρακολούθηση και ανάλυση της κατασκευής υποδομών που επηρεάζουν την ευαισθησία σε κατολισθήσεις (Meng, 2023).

2.9.1 Εφαρμογές τηλεπισκόπησης στην ανίχνευση και παρακολούθηση κατολισθήσεων

Η τηλεπισκόπηση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ανίχνευση και παρακολούθηση κατολισθήσεων, επιτρέποντας τη συνεχή παρακολούθηση παραμορφώσεων του εδάφους, τη συλλογή δεδομένων για την αξιολόγηση κινδύνου και την ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης (EWS). Τεχνολογίες όπως το LiDAR, το InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) και οι δορυφορικές εικόνες παρέχουν κρίσιμα δεδομένα για την ανάλυση της σταθερότητας των πλαγιών και την ανίχνευση προδρόμων κατολισθήσεων (Strzabala et al., 2024).

➤ **Μελέτες Περίπτωσης:** Μελέτες από το Himachal Pradesh στην Ινδία έχουν δείξει την πρακτική εφαρμογή της τηλεπισκόπησης στη χαρτογράφηση της ευαισθησίας κατολισθήσεων σε σύνθετα γεωλογικά περιβάλλοντα, όπου οι παραδοσιακές μέθοδοι παρακολούθησης δεν είναι εφικτές (Janaki et al., 2024).

➤ **Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης (EWS):** Αυτά τα συστήματα βασίζονται σε δεδομένα τηλεπισκόπησης για να εντοπίσουν τις πρώιμες αλλαγές στο έδαφος που μπορεί να οδηγήσουν σε κατολισθήσεις. Το InSAR, συγκεκριμένα, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την

ανίχνευση μικρών μετακινήσεων του εδάφους που μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες γεωλογικές αστοχίες (Soleimani et al., 2024).

➤ **Ενσωμάτωση με Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και Μηχανική Μάθηση (ML):** Ο συνδυασμός τηλεπισκοπικών δεδομένων με AI και ML βελτιώνει την ακρίβεια στην ανάλυση κατολισθήσεων. Οι προηγμένοι αλγόριθμοι, όπως οι αρχιτεκτονικές U-Net, επιτρέπουν την επεξεργασία μεγάλων συνόλων δεδομένων για την ανίχνευση μοτίβων και την πρόβλεψη γεωλογικών φαινομένων (Akosah et al., 2024; Lampert et al., 2024).

➤ **Δορυφορικές Τεχνολογίες και Παρακολούθηση Γεωλογικών Αλλαγών:** Οι δορυφορικές εικόνες παίζουν καίριο ρόλο στην παρακολούθηση της δυναμικής του εδάφους, επιτρέποντας την εξαγωγή κρίσιμων δεικτών όπως ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI), που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της οργανικής ύλης στο έδαφος και τη συσχέτισή της με την ευαισθησία στις κατολισθήσεις (Hong et al., 2007).

Προκλήσεις και Μέλλον της Τηλεπισκόπησης

Παρά τα σημαντικά οφέλη που προσφέρουν οι τεχνολογίες τηλεπισκόπησης, υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις που σχετίζονται με την ακρίβεια των δεδομένων και την ικανότητα επεξεργασίας τους σε πραγματικό χρόνο. Οι μεταβολές στις καιρικές συνθήκες, η διαλειτουργικότητα των διαφορετικών αισθητήρων και η ανάγκη για δεδομένα υψηλής ανάλυσης αποτελούν κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα αυτών των τεχνολογιών (Lillesand & Kiefer, 2000; Zhao et al., 2023). Εξελίξεις, όπως η χρήση υπολογιστικού νέφους και οι βελτιωμένες δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων, αναμένεται να βελτιώσουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης (Integration of Remote Sensing Data in a Cloud, 2023).

2.10 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Οι κατολισθήσεις αποτελούν ένα συχνό γεωλογικό φαινόμενο στην Ελλάδα και ιδιαίτερα στη Θεσσαλία, με σοβαρές περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Η ευαισθησία των περιοχών σε τέτοιου είδους φαινόμενα επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η γεωλογία, οι κλίσεις των εδαφών, οι κλιματολογικές συνθήκες και οι ανθρώπινες παρεμβάσεις. Οι μελέτες που εστιάζουν στη Θεσσαλία αλλά και την υπόλοιπη Ελλάδα παρέχουν χρήσιμα δεδομένα και υποδείξεις για τη διαχείριση αυτών των φαινομένων και την πρόληψη μελλοντικών κινδύνων.

2.10.1 Μελέτες Ευαισθησίας Κατολισθητικών Φαινομένων στη Θεσσαλία

Μελέτη Bathrellos et al.

Στη μελέτη των Bathrellos et al. (2008), εξετάζεται η ευαισθησία των περιοχών της Δυτικής Θεσσαλίας και συγκεκριμένα του νομού Τρικάλων. Η μελέτη αναλύει γεωμορφολογικά και γεωλογικά στοιχεία, εστιάζοντας στις αστικές περιοχές. Η ανάλυση βασίζεται σε γεωλογικά δεδομένα και προχωρά στην κατάρτιση χαρτών ευαισθησίας κατολισθήσεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν υψηλή ευαισθησία σε περιοχές με μεγάλες κλίσεις, όπου η γεωλογική δομή ενισχύει τον κίνδυνο κατολισθήσεων.

Μελέτη Λέκκα et al. (1991)

Η μελέτη των Λέκκα, Βασιλοπούλου και Χατζηνακού (1991) εστιάζει επίσης στην Ανατολική Θεσσαλία, καταγράφοντας τις κατολισθήσεις σε περιοχές υψηλού κινδύνου. Η ανάλυση δείχνει ότι οι μεταθετικές και περιστροφικές κατολισθήσεις κυριαρχούν στην περιοχή, με τις πιο σοβαρές επιπτώσεις να παρατηρούνται σε κατασκευές και υποδομές, όπως το οδικό δίκτυο. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν την ανάγκη για στοχευμένα μέτρα πρόληψης, όπως αποφορτώσεις πρανών και διευθετήσεις χειμάρρων. Μελέτες Ευαισθησίας Κατολισθητικών Φαινομένων στην Ελλάδα.

2.10.2 Ευαισθησία Κατολισθητικών Φαινομένων στην Ελλάδα

Μελέτη Τζαφτάνη Φ.

Η διδακτορική διατριβή της Τζαφτάνη (2013) αποτελεί μια ολοκληρωμένη ανάλυση των αιτίων και του μηχανισμού εκδήλωσης των κατολισθήσεων στις ορεινές λεκάνες απορροής της Ελλάδας. Η μελέτη επικεντρώνεται στις χειμαρρικές λεκάνες της Ηπείρου, της Δυτικής Μακεδονίας και άλλων περιοχών της χώρας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι γεωλογικές συνθήκες, σε συνδυασμό με τις έντονες βροχοπτώσεις, αποτελούν τους κύριους παράγοντες που αυξάνουν την ευαισθησία σε κατολισθήσεις. Επιπλέον, προτείνονται μέτρα για τη διαχείριση των φερτών υλικών και την αποτροπή περαιτέρω διαβρώσεων.

Μελέτη Μπαθρέλλος, Γ. Α., Σκυλοδήμου, Χ., & Καλύβας, Δ. (2007)

Η χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) στην εκτίμηση της ευαισθησίας κατολισθήσεων εξετάζεται στη μελέτη των Μπαθρέλλος et al. (2006). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περιοχές με έντονες κλίσεις και σαθρά πετρώματα παρουσιάζουν αυξημένο κίνδυνο κατολισθήσεων, ενώ προτείνονται μέτρα για την καλύτερη διαχείριση αυτών των περιοχών.

Μελέτη Λέκκα et al. (1998)

Στη μελέτη των Λέκκα et al. (1998), αναλύονται τα γεωτεχνικά δεδομένα από το χωριό Ροπωτό Τρικάλων, το οποίο έχει επανειλημμένα πληγεί από κατολισθήσεις. Η έρευνα προτείνει μέτρα πρόληψης και διαχείρισης, όπως αποστραγγιστικά έργα και τεχνικά φράγματα, για την αποτροπή περαιτέρω επιπτώσεων.

2.10.3 Συμπεράσματα

Η Θεσσαλία αποτελεί μια από τις περιοχές της Ελλάδας με αυξημένη ευαισθησία σε κατολισθητικά φαινόμενα, κυρίως λόγω της γεωμορφολογίας και των κλιματολογικών συνθηκών. Οι επιστημονικές μελέτες υποδεικνύουν ότι οι ορεινές και ημιορεινές περιοχές είναι ιδιαίτερα ευάλωτες σε τέτοιου είδους φαινόμενα, ενώ η ανάγκη για κατάλληλα μέτρα πρόληψης και διαχείρισης είναι επιτακτική. Οι αντίστοιχες μελέτες για την υπόλοιπη Ελλάδα επιβεβαιώνουν ότι ο γεωλογικός χαρακτήρας της χώρας και οι έντονες βροχοπτώσεις ενισχύουν την ευαισθησία σε κατολισθήσεις, καθιστώντας τη χρήση τεχνολογιών GIS και τη λήψη τεχνικών μέτρων κρίσιμη για την πρόληψη καταστροφών.

3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ

Η Θεσσαλία βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της ηπειρωτικής Ελλάδας και είναι γνωστή για το εύφορο γεωργικό της τοπίο. Η περιοχή περιλαμβάνει δύο μεγάλες πεδιάδες που αποστραγγίζονται από τον ποταμό Πηνειό, εκτείνονται από τον Όλυμπο έως το όρος Οίτη και φιλοξενούν πολλές πόλεις-κράτη κατά την αρχαιότητα, όπως η Λάρισα, ο Φάρσαλος και οι Φεραί. Οι δύο βασικές πεδιάδες της περιοχής, η πεδιάδα Τρικάλων-Καρδίτσας στα δυτικά και η πεδιάδα της Λάρισας στα ανατολικά, χωρίζονται από τη λοφοσειρά Χαλκοδόνια. Η Θεσσαλία περιβάλλεται από σημαντικούς ορεινούς όγκους, όπως ο Όλυμπος στα βόρεια, η Πίνδος στα δυτικά, και το Πήλιο στα ανατολικά, ενώ η ανατολική ακτή της βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος.

Ο συνολικός πληθυσμός της Θεσσαλίας, σύμφωνα με την απογραφή του 2021, ανέρχεται σε 688.255 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2021). Η περιοχή καλύπτει έκταση 14.037 km², που αντιστοιχεί περίπου στο 11% της συνολικής έκτασης της Ελλάδας, και αποτελείται από τους νομούς Λάρισας, Μαγνησίας, Καρδίτσας και Τρικάλων.

Η υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων για αρδευτικούς σκοπούς έχει οδηγήσει σε φαινόμενα καθίζησης, ειδικά στα νοτιοανατολικά τμήματα, γεγονός που δημιουργεί αυξημένο κίνδυνο γεωλογικής αστάθειας και επιτείνει την ευαισθησία σε κατολισθήσεις (Argyrakis et al., 2020).

3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

Η γεωλογία της Θεσσαλίας είναι πολυσύνθετη και επηρεάζει άμεσα την ευαισθησία της περιοχής σε φυσικά φαινόμενα, όπως οι κατολισθήσεις. Η περιοχή διαθέτει πλούσια γεωλογική ποικιλία, καθώς βρίσκεται ανάμεσα στις εσωτερικές και εξωτερικές ζώνες των Ελληνίδων και περιλαμβάνει σχηματισμούς από τη Ζώνη Πίνδου, τη Ζώνη Πελαγονικής και τη Μαλιακή Ζώνη (Apostolidis & Koukis, 2013). Οι τεκτονικές κινήσεις που σχετίζονται με αυτές τις ζώνες έχουν δημιουργήσει μια μοναδική δομή με έντονη τεκτονική δραστηριότητα και παρουσία ρηγμάτων, που ευνοούν την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων.

3.2.1 Σεισμική Δραστηριότητα και Κατολισθήσεις

Η σεισμική δραστηριότητα αποτελεί σημαντικό παράγοντα κινδύνου για την περιοχή της Θεσσαλίας. Οι πρόσφατοι σεισμοί του Μαρτίου 2021 ανέδειξαν την ύπαρξη νέων, μη χαρτογραφημένων ρηγμάτων και πεδίων εκτατικής τάσης, υπογραμμίζοντας τη γεωδυναμική

αστάθεια της περιοχής (Sboras et al., 2022; Kontoes et al., 2022). Η τεκτονική δραστηριότητα, συνδυασμένη με την υπερεκμετάλλευση των υδάτινων πόρων στις λεκάνες απορροής, οδηγεί σε καθιζήσεις και ρωγμές, επιδεινώνοντας την ευαισθησία σε κατολισθήσεις (Alexopoulos et al., 2019).

3.2.2 Εδαφολογικά Χαρακτηριστικά και Ευαισθησία σε Κατολισθήσεις

Η γεωλογική σύνθεση της περιοχής περιλαμβάνει ποικίλα ιζηματογενή, μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα, που επηρεάζουν την ευαισθησία σε κατολισθητικά φαινόμενα. Συγκεκριμένα, τα ιζηματογενή πετρώματα, όπως ο ασβεστόλιθος και η μολάσσα, καθώς και ο φλύσχης, είναι περισσότερο ευάλωτα στη διάβρωση και στη δημιουργία ασταθών συνθηκών. Ο φλύσχης, με τις εναλλασσόμενες στρώσεις αργίλου και ψαμμίτη, είναι ιδιαίτερα επιρρεπής σε αστάθειες και αποτελεί σημαντικό παράγοντα κινδύνου σε πολλές περιοχές της Θεσσαλίας (Pettijohn, 1975).

Τα εδάφη της Θεσσαλίας κατατάσσονται σε πέντε βασικές κατηγορίες διαβρωσιμότητας από το European Soil Data Centre (ESDAC), με τις κατηγορίες 4 και 5 (Υψηλή και Πολύ Υψηλή Διαβρωσιμότητα) να είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στις κατολισθήσεις. Στις περιοχές όπου τα εδάφη χαρακτηρίζονται από υψηλή διαβρωσιμότητα, η ασταθής εδαφική δομή επιτείνεται σε συνθήκες έντονων βροχοπτώσεων, αυξάνοντας την πιθανότητα γεωλογικών μετακινήσεων.

3.2.3 Κλίση και Επιρροή της Μορφολογίας στις Κατολισθήσεις

Η κλίση του εδάφους παίζει κρίσιμο ρόλο στην ανάλυση της διάβρωσης και των κατολισθήσεων. Οι απότομες κλίσεις, ειδικά σε συνδυασμό με χαλαρά ή κατακερματισμένα εδάφη, ενισχύουν τη ροπή για αστοχίες και καθιστούν τη Θεσσαλία ευάλωτη σε κατολισθήσεις. Οι κλίσεις στις περιοχές της Δυτικής Θεσσαλίας κυμαίνονται από 200 μέτρα έως πάνω από 2.000 μέτρα, δημιουργώντας διαφορές που οδηγούν σε έντονη υδρολογική δραστηριότητα και αυξημένο κίνδυνο γεωλογικών μετατοπίσεων (Apostolidis & Koukis, 2013).

3.2.4 Υδροφορείς και Υδρογεωλογικές Συνθήκες

Η Θεσσαλία διαθέτει δύο κύριες υδροφορίες στη δυτική και ανατολική πεδιάδα, οι οποίες περιλαμβάνουν τεταρτογενείς αποθέσεις και καρστικούς υδροφορείς. Αυτές οι υδροφορίες εξυπηρετούν τις γεωργικές και αστικές ανάγκες της περιοχής, όμως η αυξημένη εξόρυξη έχει προκαλέσει υποχώρηση του υδροφόρου ορίζοντα, δημιουργώντας καθιζήσεις που συμβάλλουν στη γεωλογική αστάθεια. Οι καθιζήσεις αυτές, σε συνδυασμό με τις υδρολογικές συνθήκες των καρστικών υδροφορέων, αυξάνουν τον κίνδυνο κατολισθήσεων σε περιοχές με υψηλή

υδροφορία και ασταθή πετρώματα (1η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του ΥΔ Θεσσαλίας, 2017)

3.3 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Η Θεσσαλία, και ιδιαίτερα το υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας, έχει μακρά ιστορία κατολισθητικών φαινομένων, τα οποία συχνά συνδέονται με έντονες βροχοπτώσεις, τη διάβρωση του εδάφους και τη σεισμική δραστηριότητα. Η ανάλυση της περιοχής με τη χρήση γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (GIS) και τηλεπισκοπικών δεδομένων έχει συμβάλει στην καταγραφή και χαρτογράφηση των ζωνών κινδύνου, εντοπίζοντας περιοχές υψηλής ευαισθησίας σε κατολισθήσεις. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, όπως οι αυξημένες βροχοπτώσεις, ενισχύουν περαιτέρω τον κίνδυνο κατολισθήσεων στην περιοχή (Adamopoulos et al., 2024).

Σύμφωνα με τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στα Δελτία Κατολισθήσεων, το 2020 η Περιφέρεια Θεσσαλίας επλήγη περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη περιφέρεια της χώρας, καταγράφοντας το 62.82% των συνολικών κατολισθήσεων. Το 2021, παρόλο που σημειώθηκε μείωση του συνολικού αριθμού των καταγεγραμμένων περιστατικών, η Θεσσαλία εξακολουθεί να εμφανίζει υψηλό ποσοστό κατολισθητικών φαινομένων, καταλαμβάνοντας το 13.76% των καταγραφών (Ε.Α.Γ.Μ.Ε., 2022).

Το υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας είναι ιδιαίτερα ευάλωτο σε γεωλογικές και κλιματικές επιδράσεις. Η κεντρική και δυτική Θεσσαλία καταγράφει υψηλά ποσοστά κατολισθητικής δραστηριότητας, με πάνω από το 80% των κατολισθήσεων στην περιοχή να αποδίδονται σε συνδυασμό μετεωρολογικών και γεωλογικών συνθηκών (Koukis et al., 2005). Οι συχνές βροχοπτώσεις, σε συνδυασμό με την ιδιαίτερη γεωμορφολογία της περιοχής, δημιουργούν ένα περιβάλλον αυξημένου κινδύνου για την εκδήλωση κατολισθήσεων, ιδιαίτερα στις ορεινές και ημιορεινές περιοχές.

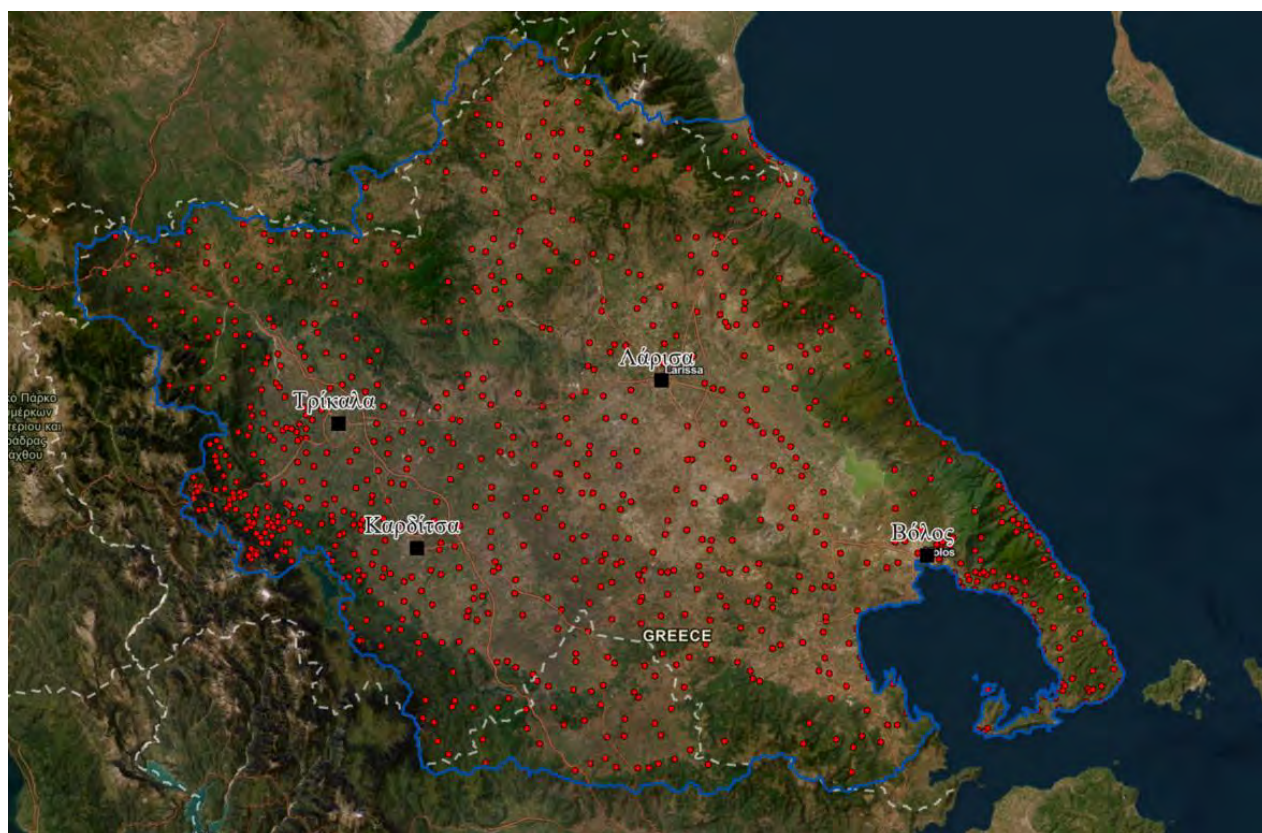
Η Ανατολική Θεσσαλία, συγκεκριμένα οι νομοί Λάρισας και Μαγνησίας, έχουν πληγεί κατ' επανάληψη από κατολισθητικά φαινόμενα, τα οποία έχουν προκαλέσει σοβαρές ζημιές στις υποδομές, κυρίως στο οδικό δίκτυο, και έχουν επηρεάσει την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Τα δεδομένα δείχνουν ότι η καταγραφή και ανάλυση αυτών των φαινομένων είναι κρίσιμη για την κατανόηση των μηχανισμών τους και τη λήψη μέτρων πρόληψης και σταθεροποίησης (Αποστολίδης και Κούκης, 2013).

Η κατανόηση και πρόληψη των κατολισθητικών φαινομένων στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των μελετών και χαρτογραφήσεων, συμβάλλει ουσιαστικά στην ανάπτυξη μέτρων για τη μείωση των κινδύνων και την προστασία των τοπικών κοινωνιών και υποδομών.

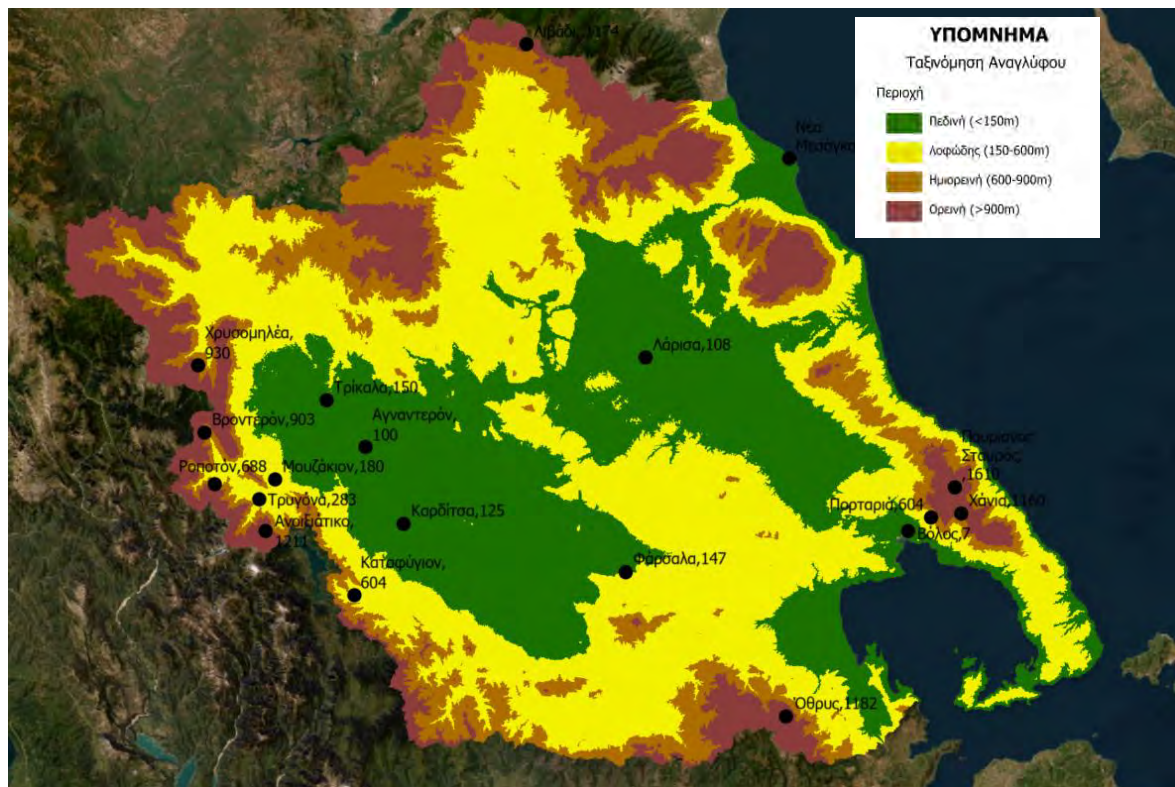
3.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

3.4.1 Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας

Το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας (EL08) είναι ένα από τα 14 υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας, με συνολική έκταση 13.136,57 km². Εκτείνεται στο μεγαλύτερο μέρος της Περιφέρειας Θεσσαλίας, καλύπτοντας τους νομούς Λάρισας, Μαγνησίας, Τρικάλων και Καρδίτσας, ενώ περιλαμβάνει και τμήματα της Φθιώτιδας, της Πιερίας και των Γρεβενών (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008). Η γεωμορφολογική εικόνα του διαμερίσματος είναι χαρακτηριστικά απλή, με ορεινές περιοχές περιμετρικά και πεδινές εκτάσεις στο κεντρικό τμήμα. Το Θεσσαλικό Πεδίο, που καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση, αποτελεί τεκτονικό βύθισμα, περιβαλλόμενο από τις οροσειρές του Ολύμπου, της Πίνδου, του Όθρυος και του Πηλίου (Koukis et al., 2005).



Εικόνα 11 Απεικόνιση Οικισμών στο ΥΔ Θεσσαλίας



Εικόνα 12 Απεικόνιση Αναγλύφου κατά Dikai

3.4.2 Λεκάνες Απορροής

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από δύο κύριες λεκάνες απορροής :

Τη λεκάνη του Πηνειού, τη λεκάνη του Πηνειού και τη λεκάνη των ρεμάτων Αλμυρού-Πηλίου. Η λεκάνη του Πηνειού καλύπτει έκταση 11.061,64 km², με τον ποταμό Πηνειό να αποτελεί τον τρίτο μεγαλύτερο ποταμό της Ελλάδας. Κυριότεροι παραπόταμοι του Πηνειού είναι οι Ενιπέας, Φαρσαλιώτης, Πάμισος και Πορταϊκός, ενώ οι λίμνες της περιοχής περιλαμβάνουν τη λίμνη Σμοκόβου, Αργυροπουλίου και την ανασυσταθείσα λίμνη Κάρλα, η οποία καλύπτει έκταση περίπου 11.061,64 km². Οι κυριότεροι παραπόταμοι του Πηνειού είναι οι Ενιπέας, Φαρσαλιώτης, Σοφαδίτης, Πάμισος και Πορταϊκός, ενώ σημαντικοί παραπόταμοι είναι επίσης ο Ληθαίος, ο Νεοχωρίτης και ο Τιταρήσιος.

Η λεκάνη των ρεμάτων Αλμυρού-Πηλίου, η οποία εκτείνεται σε έκταση 2.074,93 km² και εντοπίζεται κυρίως στις ανατολικές περιοχές της Θεσσαλίας και καταλήγει κυρίως στον Παγασητικό κόλπο (Τσεκούρας, 2021). Παράλληλα, μικρό τμήμα της λεκάνης του Ταυρωπού (Μέγδοβα) βρίσκεται στο διαμέρισμα της Θεσσαλίας, αν και υδρολογικά ανήκει στην λεκάνη του Αχελώου.



Εικόνα 13 : Λεκάνες Απορροής Ποταμών στο ΥΔ Θεσσαλίας (ΕΛ08) Λεκάνη Απορροής Πηνειού (ΕΛ0816). Πηγή: 2 η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του ΥΔ Θεσσαλίας (ΕΛ08) <https://wfdver.ypeka.gr/>

3.4.3 Κλιματικές Συνθήκες

Το κλίμα στη Θεσσαλία διαφέρει ανάλογα με την περιοχή. Οι ανατολικές παράκτιες και ορεινές περιοχές παρουσιάζουν μεσογειακό κλίμα, οι κεντρικές πεδινές περιοχές έχουν ηπειρωτικό κλίμα, ενώ τα δυτικά ορεινά διαθέτουν ορεινό κλίμα (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008). Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16°C έως 17°C, με το ετήσιο θερμομετρικό εύρος να ξεπερνά τους 22°C. Οι πιο θερμοί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, ενώ οι πιο ψυχροί είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος. Οι παγετοί είναι συχνοί κατά την περίοδο Νοεμβρίου-Απριλίου (Κουτσογιάννης, 1988).

Οι βροχοπτώσεις διαφέρουν επίσης ανά περιοχή. Στην πεδιάδα της Λάρισας η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 468 mm, στον Τύρναβο 550 mm, ενώ στο ορεινό Μουζάκι φτάνει τα 1.142 mm. Οι πιο βροχεροί μήνες είναι από τον Οκτώβριο έως τον Ιανουάριο, ενώ οι πιο ξηροί είναι

ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Χιονοπτώσεις εμφανίζονται κυρίως στα ορεινά, εντονότερες στα βόρεια και δυτικά τμήματα της περιοχής (ΥΠΑΝ, 2004).

3.4.4 Γεωλογικές και εδαφολογικές συνθήκες στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας

Η γεωλογία της Θεσσαλίας είναι πολυσύνθετη και περιλαμβάνοντας ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών. Στις πεδινές εκτάσεις συναντώνται κυρίως τεταρτογενείς αποθέσεις, οι οποίες αποτελούνται από αλλουβιακά υλικά, φερτές ύλες και κώνους κορημάτων που σχηματίζονται από τα ποτάμια και τους χειμάρρους της περιοχής. Αυτές οι αποθέσεις είναι κοκκώδους φύσεως και το πάχος τους ποικίλει, φτάνοντας ακόμη και τα 400 μέτρα σε ορισμένα σημεία.

Γεωτεκτονικά, η περιοχή καλύπτεται από διάφορες ζώνες, όπως η Ζώνη Πίνδου, η Πελαγονική Ζώνη και η Μαλιακή Ζώνη, ενώ σε ορισμένες περιοχές συναντώνται επίσης νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις. Αυτές οι γεωλογικές ζώνες επηρεάζουν σημαντικά τη σταθερότητα του εδάφους και τη μορφολογία της περιοχής.

3.4.4.1 Τύποι Πετρωμάτων και Γεωλογική Σύνθεση

Η γεωλογική σύνθεση της περιοχής περιλαμβάνει σημαντικά ιζηματογενή, μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα, όπως περιγράφονται παρακάτω:

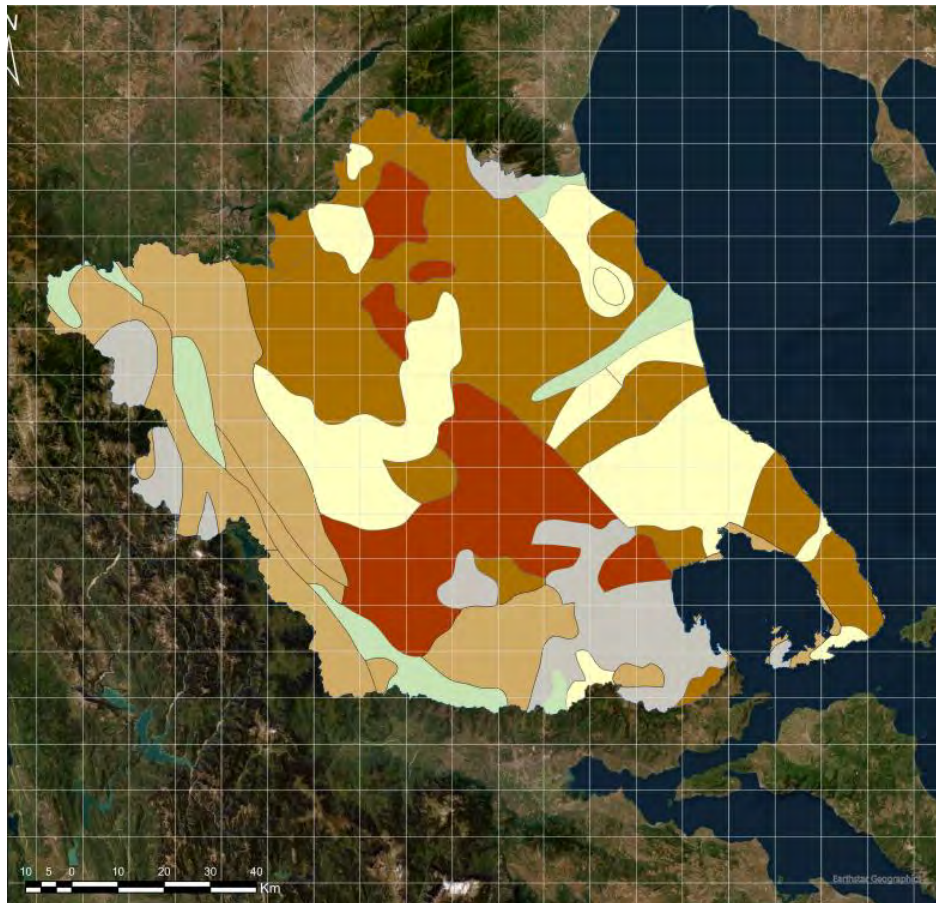
➤ **Ιζηματογενή Πετρώματα:** Τα κυριότερα ιζηματογενή πετρώματα περιλαμβάνουν τον ασβεστόλιθο (limestone) και τη μολάσσα (molasse). Ο ασβεστόλιθος, ο οποίος σχηματίζεται από ανθρακικό ασβέστιο, είναι γνωστός για τη δημιουργία καρστικών μορφών που συμβάλλουν στην αποθήκευση και ροή των υπόγειων υδάτων. Η μολάσσα αποτελείται από αμμοχάλικα και άργιλο και σχηματίζεται από την απόθεση υλικών που μεταφέρονται από ορεινές περιοχές κατά τη διάρκεια τεκτονικών κινήσεων (Lyell, 1830; Pettijohn, 1975).

➤ **Μεταμορφωμένα Πετρώματα:** Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής περιλαμβάνουν τον σχιστόλιθο (schist) και το μάρμαρο (marble). Ο σχιστόλιθος προέρχεται από αργίλικα ιζήματα που έχουν υποστεί μεταμόρφωση, ενώ το μάρμαρο, το οποίο προέρχεται από μεταμόρφωση ασβεστολιθικών πετρωμάτων, είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό και πυκνό, με ευρεία χρήση στην αρχιτεκτονική και την κατασκευή (Blatt et al., 2006; Marinos et al., 1997).

➤ **Οφιολιθικά Συμπλέγματα:** Η παρουσία οφιολιθικών συμπλεγμάτων, που περιλαμβάνουν πετρώματα όπως ο περιδοτίτης (peridotite) και ο βασάλτης (basalt), υποδεικνύει ότι η περιοχή έχει επηρεαστεί από ωκεάνια τεκτονική και τη μεταφορά ωκεάνιου φλοιού στην ηπειρωτική λιθόσφαιρα. Αυτοί οι σχηματισμοί είναι χαρακτηριστικοί του

Αλπικού Ορογενετικού κύκλου και είναι σημαντικοί για τη γεωλογική κατανόηση της σύγκλισης ωκεάνιων και ηπειρωτικών πλακών (Wilson, 2001; Fossen, 2016).

➤ **Φλύσχος (Flysch):** Ο φλύσχος, ο οποίος αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα αργίλου, ψαμμίτη και μαργών, είναι ενδεικτικός των ορογενετικών ζωνών και σχηματίζεται σε περιοχές έντονης τεκτονικής δραστηριότητας. Τα στρώματα αυτά είναι ευάλωτα στη διάβρωση και συχνά σχετίζονται με κατολισθήσεις (Pettijohn, 1975).



Εικόνα 14 Γεωλογικός Χάρτης ΥΔ Θεσσαλίας (απόσπασμα Χάρτη «Γεωλογικοί Σχηματισμοί κατά BGR», Παράρτημα)



Σχήμα 1 Γεωλογική Σύνοψη ΥΔ Θεσσαλίας

Στην εικόνα 14 παρατηρείται η γεωλογική ποικιλομορφία της περιοχής, από ασβεστόλιθους, μάρμαρα και οφιόλιθους μέχρι φλυσικά ιζήματα, καθώς και η πολυπλοκότητα του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας. Αυτοί οι γεωλογικοί σχηματισμοί καθορίζουν επίσης τη διαθεσιμότητα των υδάτων, τις υδρολογικές συνθήκες και την επικινδυνότητα κατολισθήσεων της περιοχής.

3.4.5 Εδαφολογικά Χαρακτηριστικά και Κατηγορίες Διαβρωσιμότητας

Τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά που καταγράφονται από το European Soil Data Centre (ESDAC) παρουσιάζουν ποικιλομορφία, ιδιαίτερα ως προς τη διαβρωσιμότητα (erodibility) των εδαφών της περιοχής. Οι κατηγορίες διαβρωσιμότητας διαμορφώνονται ως εξής:

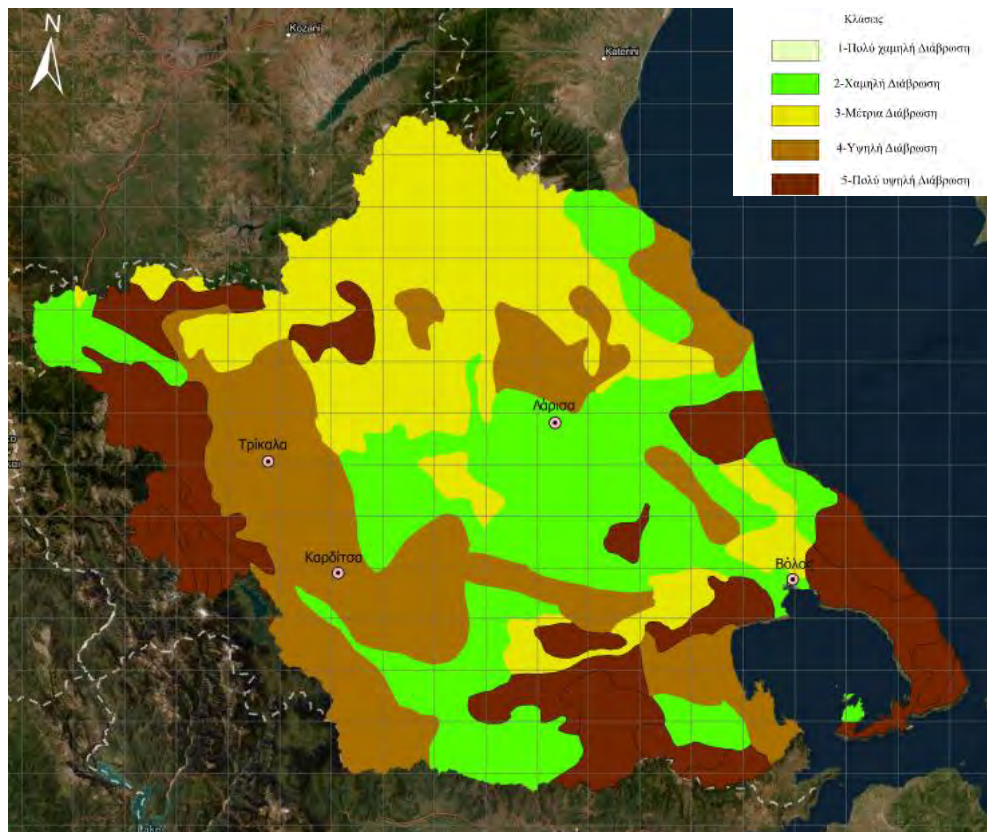
➤ **Πολύ Χαμηλή Διαβρωσιμότητα** (Κλάση 1): Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει εδάφη με πολύ σταθερή δομή, που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στη διάβρωση ακόμα και σε συνθήκες υψηλής βροχόπτωσης ή μεγάλης κλίσης. Τα εδάφη αυτά συμβάλλουν στη διατήρηση της επιφάνειας του εδάφους και περιορίζουν τη διάβρωση στο ελάχιστο.

➤ **Χαμηλή Διαβρωσιμότητα** (Κλάση 2): Τα εδάφη αυτής της κατηγορίας είναι σχετικά ανθεκτικά στη διάβρωση και μπορούν να αντέξουν υπό κανονικές συνθήκες, χωρίς να απαιτούνται ειδικά μέτρα προστασίας.

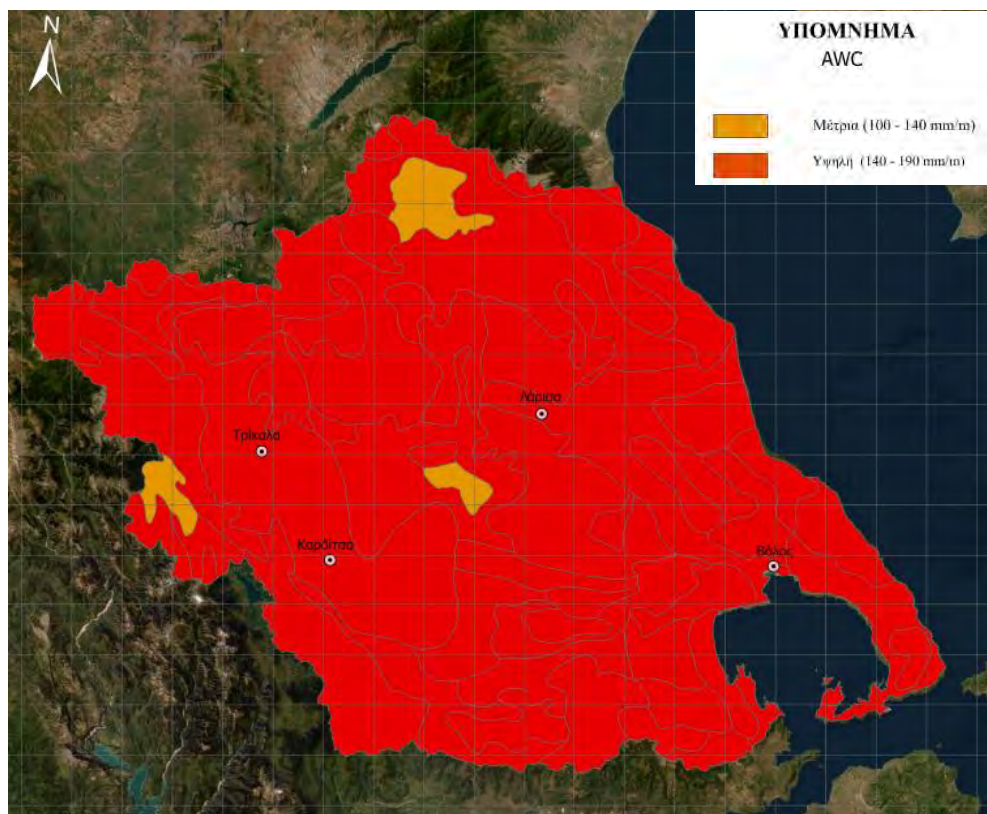
➤ **Μέτρια Διαβρωσιμότητα** (Κλάση 3): Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει εδάφη που είναι πιο ευαίσθητα στη διάβρωση, ειδικά σε συνδυασμό με υψηλές κλίσεις ή αυξημένη βροχόπτωση. Χρειάζονται κάποια προστατευτικά μέτρα για τη μείωση του κινδύνου διάβρωσης.

➤ **Υψηλή Διαβρωσιμότητα** (Κλάση 4): Περιλαμβάνει εδάφη που διαβρώνονται εύκολα και είναι ιδιαίτερα ευάλωτα σε περιοχές με έντονες κλίσεις. Η χρήση προστατευτικών μέτρων είναι απαραίτητη για να μειωθεί η διάβρωση.

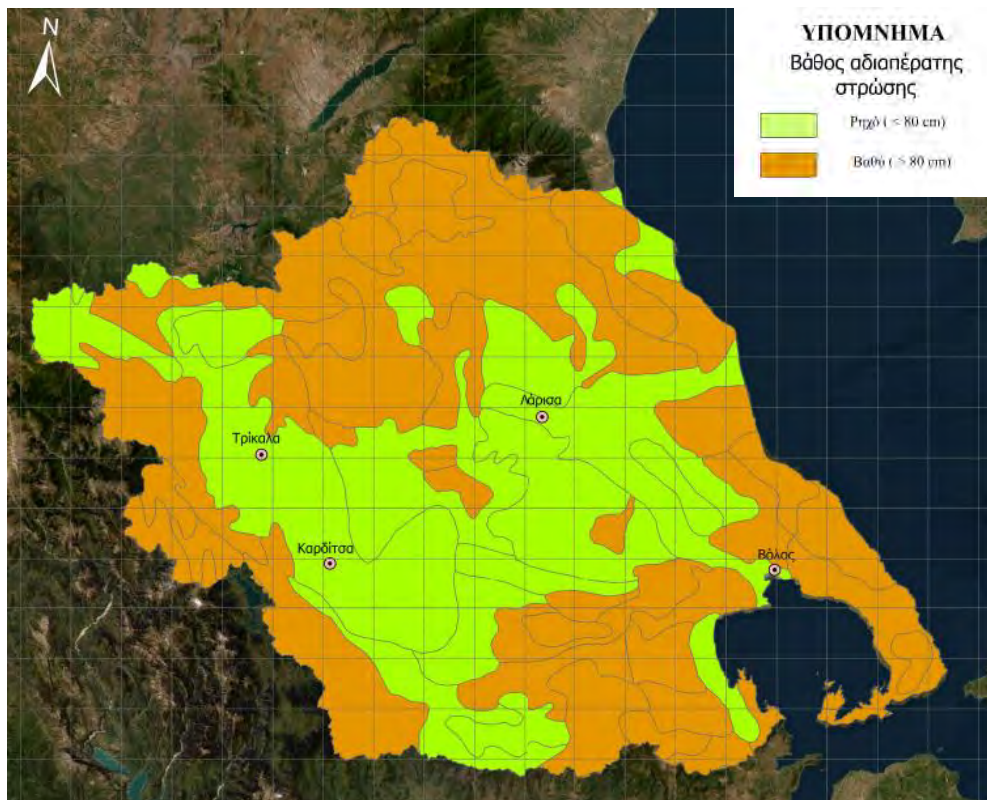
➤ **Πολύ Υψηλή Διαβρωσιμότητα** (Κλάση 5): Εδάφη με εξαιρετικά υψηλή διαβρωσιμότητα, που χρήζουν άμεσων μέτρων προστασίας, ιδίως σε επικλινείς περιοχές. Σε αυτήν την κατηγορία, η διάβρωση μπορεί να επιφέρει σοβαρά προβλήματα, όπως κατολισθήσεις, ιδιαίτερα υπό ακραία καιρικά φαινόμενα (ESDAC, JRC).



Εικόνα 15 Χάρτης Διαβρωσιμότητας(απόσπασμα Χάρτη «Διαβρωσιμότητα Εδαφών κατά ESDAC», Παράρτημα)



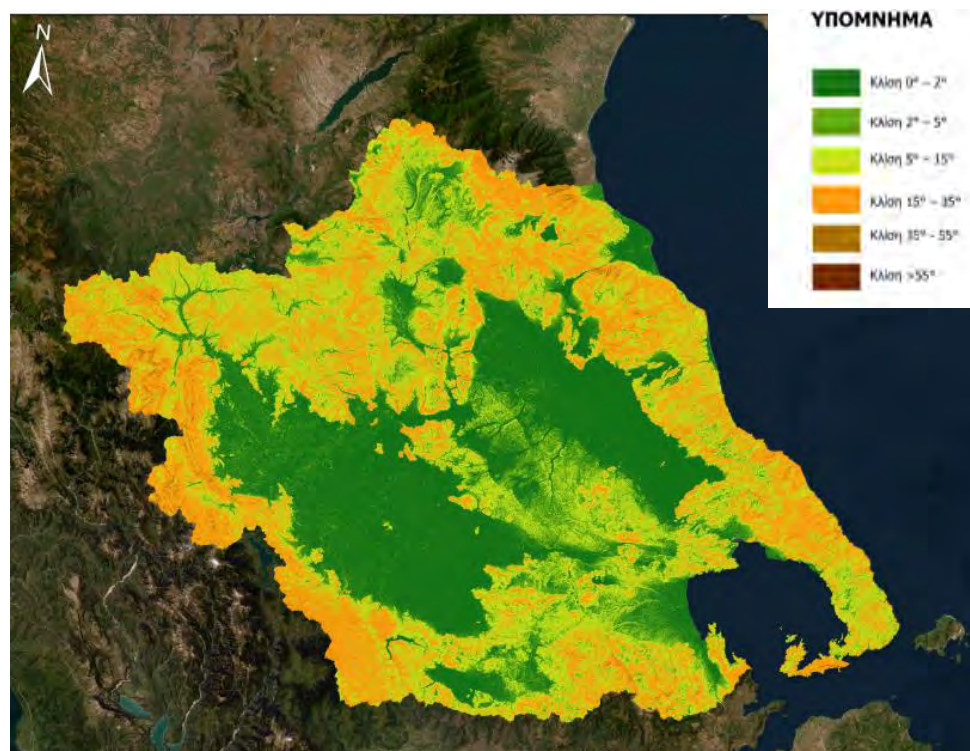
Εικόνα 16 Χάρτης AWC(απόσπασμα Χάρτη «Ικανότητα αποθήκευσης νερού ανώτερης εδαφικής στρώσης κατά ESDAC», Παράρτημα)



Εικόνα 17 Χάρτης DIMP (απόσπασμα Χάρτη «Βάθος Αδιαπέρατης Στρώσης κατά ESDAC», Παράρτημα)

3.4.6 Κλίση και Υδατοπερατότητα

Η κλίση του εδάφους είναι κρίσιμος παράγοντας στην ανάλυση της διάβρωσης και της ευαισθησίας στις κατολισθήσεις.



Εικόνα 18 Ταξινόμηση Κλίσεων κατά Demek (απόσπασμα Χάρτη «Ταξινόμηση Κλίσεων κατά Demek», Παράρτημα)

Περιοχές με υψηλή κλίση και ασταθή εδάφη (όπως φλύσχης) εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στη διάβρωση και τις κατολισθήσεις. Επιπλέον, η παρουσία αδιαπέρατων στρωμάτων (Impermeable Layers - IL) ενισχύει την επιφανειακή συγκέντρωση νερού, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα διάβρωσης (Fossen, 2016; BGR).

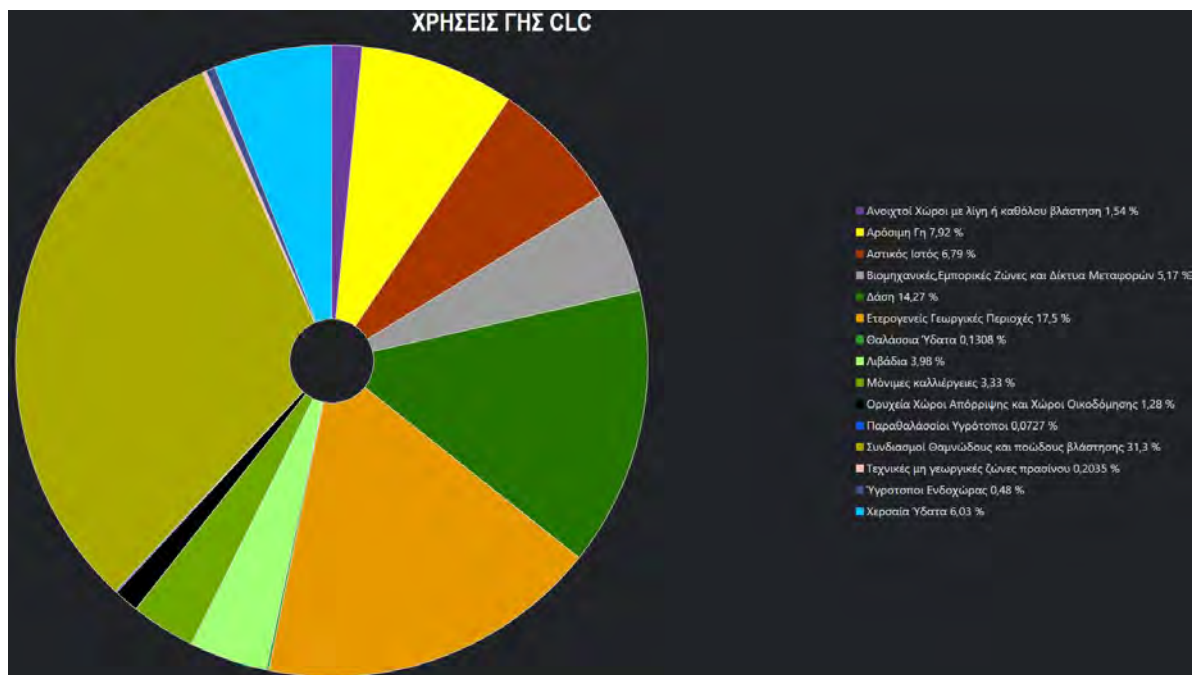
Η περιοχή της Θεσσαλίας εμφανίζει πλούσιο γεωλογικό και εδαφολογικό υπόβαθρο, το οποίο περιλαμβάνει πετρώματα με διαφορετικές ιδιότητες διαβρωσιμότητας και δομικής σταθερότητας. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν την περιοχή ιδιαίτερα ευαίσθητη σε διάβρωση και κατολισθήσεις, ιδίως σε περιοχές με ευαίσθητα στρώματα και υψηλή κλίση. Η κατανόηση αυτών των χαρακτηριστικών είναι απαραίτητη για τη διαχείριση και προστασία του εδάφους της περιοχής, και επιτρέπει την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων προστασίας.

3.4.7 Χρήσεις Γης στην Περιοχή Έρευνας: CORINE Land Cover

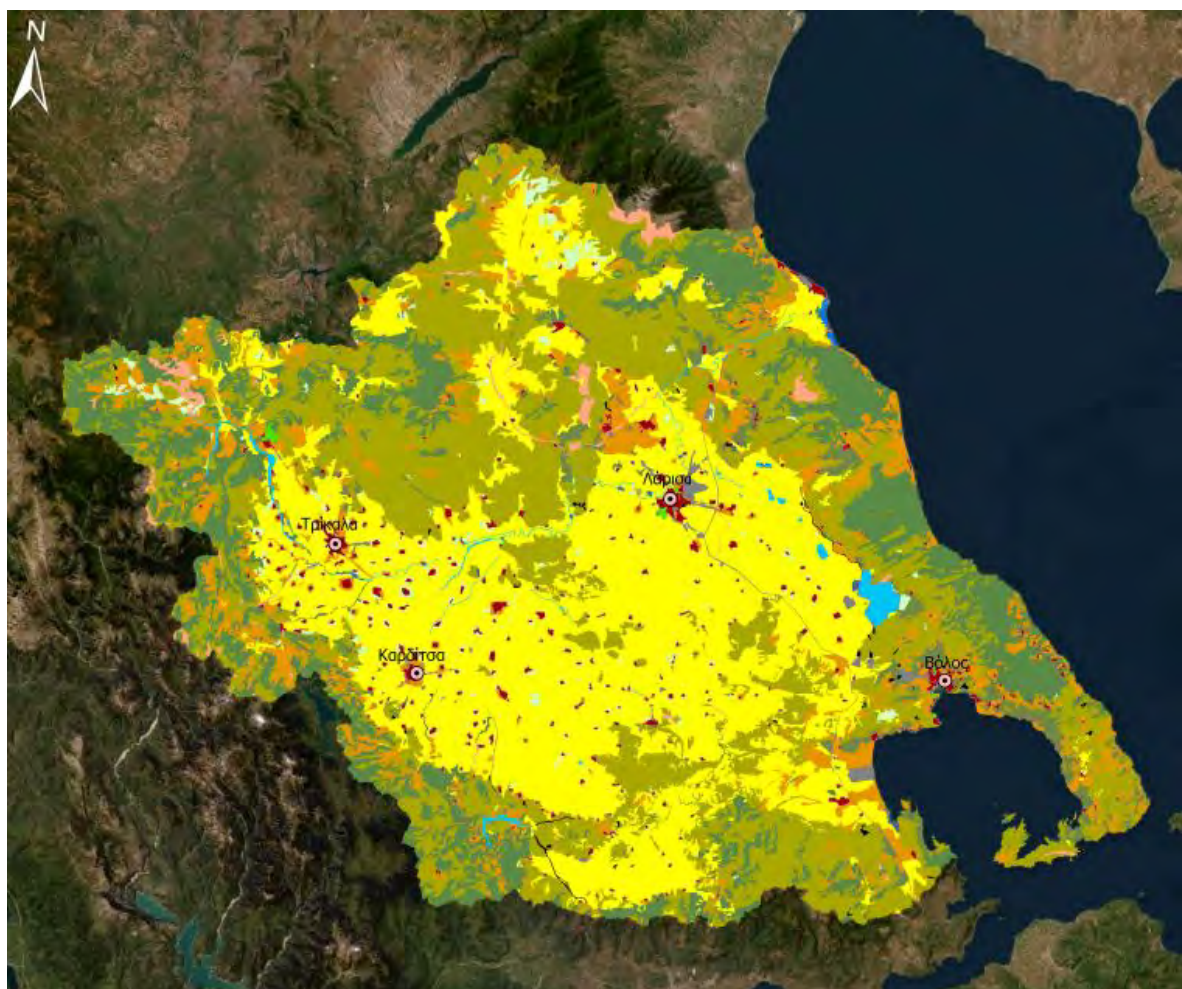
Η βάση δεδομένων CORINE Land Cover (CLC) αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για την κατανόηση της χρήσης γης στη Θεσσαλία, προσφέροντας τυποποιημένα και υψηλής ποιότητας δεδομένα, που είναι ζωτικής σημασίας για την περιβαλλοντική πολιτική και τον χωροταξικό σχεδιασμό. Το CLC διακρίνει τη γη σε 44 κατηγορίες, περιλαμβάνοντας τεχνητές επιφάνειες, γεωργικές εκτάσεις, δασικές περιοχές και υγρότοπους, διευκολύνοντας την παρακολούθηση και ανάλυση των αλλαγών στη χρήση γης με την πάροδο του χρόνου. Στην περιοχή της Θεσσαλίας, οι μελέτες δείχνουν ότι τα δεδομένα CLC έχουν υψηλή ακρίβεια, φτάνοντας το 89% για το σύνολο δεδομένων του 2012, γεγονός που υποδεικνύει την αξιοπιστία τους στην παρακολούθηση της κάλυψης γης (Manakos et al., 2017).

Η εξέλιξη του CLC μέσω διαδοχικών εκδόσεων από τη δεκαετία του 1990 έως σήμερα, με την τελευταία ενημέρωση να ενσωματώνει σύγχρονες δορυφορικές εικόνες και ημιαυτοματοποιημένες μεθόδους ταξινόμησης (Büttner, 2014; Wehrmann, 2007), επιτρέπει την ακριβή αποτύπωση των δυναμικών αλλαγών στη χρήση γης. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση συμβάλλει ουσιαστικά στους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης της περιοχής ("Using the European CORINE Land Cover Database: A 2011–2021 Specific Review", 2023).

Παρά την αξιοπιστία του, το CLC ενδέχεται να μην καταγράφει πλήρως τις μικρές, τοπικές διακυμάνσεις στη χρήση γης, καθιστώντας αναγκαία τη χρήση συμπληρωματικών πηγών για μια λεπτομερή ανάλυση των μεταβολών του τοπίου στο υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας.



Σχήμα 2 Χρήσεις Γης CLC



Εικόνα 19 Απεικόνιση Χρήσεων Γης (απόσπασμα Χάρτη «Χρήσεις Γης Corine Land Cover», Παράρτημα)

3.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Στη Θεσσαλία αναπτύσσονται δύο κύρια υδρογεωλογικά κοκκώδη συστήματα: της δυτικής και της ανατολικής πεδιάδας. Αυτά τα υδροφόρα συστήματα αποτελούν σημαντικές πηγές νερού, ιδίως για γεωργική και αστική χρήση. Οι τεταρτογενείς αποθέσεις φιλοξενούν υπόγεια υδροφορίες υψηλού δυναμικού, ενώ καρστικοί υδροφορείς αναπτύσσονται στην περιφέρεια των πεδινών εκτάσεων, ειδικά σε περιοχές όπως το Πήλιο, ο Κάτω Όλυμπος και τα Χάσια.

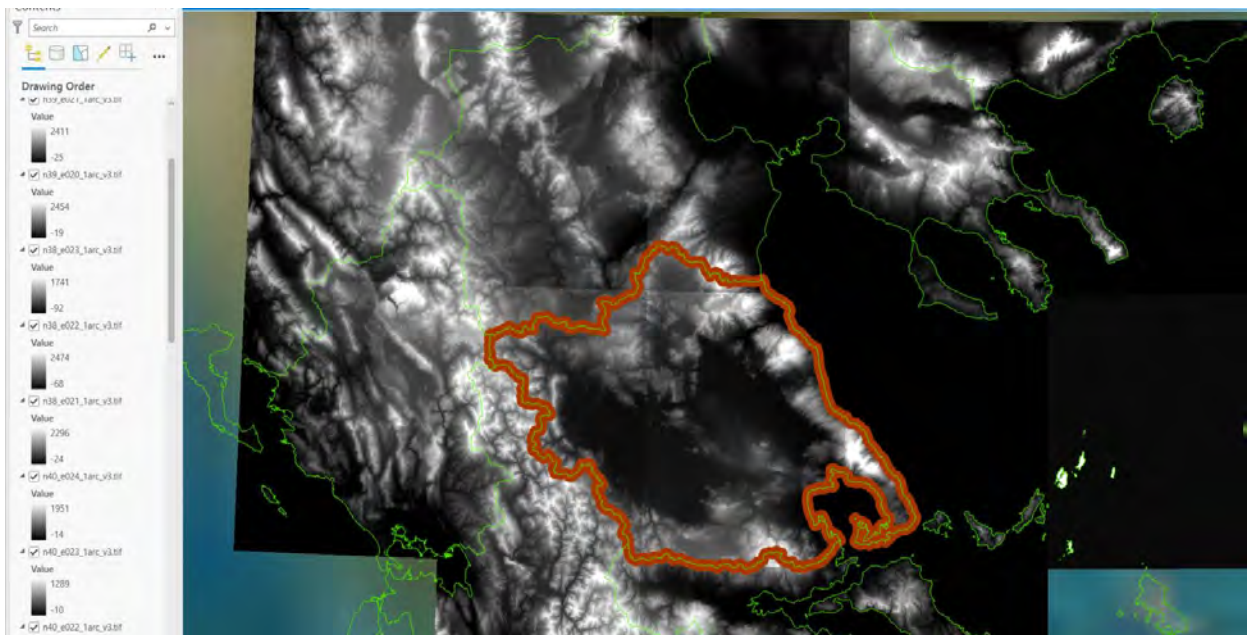
Η δυναμικότητα των υδροφορέων ποικίλει σημαντικά, ανάλογα με την κοκκομετρία των υλικών και τον βαθμό καρστικοποίησης των σχηματισμών. Οι καρστικοί υδροφορείς εκφορτίζονται μέσω πηγών που τροφοδοτούν τοπικές ανάγκες νερού. Στα αλλούβια, η δυναμικότητα εξαρτάται επίσης από την κοκκομετρία των υλικών και τη δυνατότητα τροφοδοσίας των υδροφορέων από τις βροχοπτώσεις. (1η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του ΥΔ Θεσσαλίας (EL 08), 2017).

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την πραγματοποίηση της παρούσας ανάλυσης και χαρτογράφησης των κινδύνων κατολισθήσεων στην περιοχή έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από μια σειρά αξιόπιστων πηγών, τα οποία επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Τα δεδομένα καλύπτουν ευρύ φάσμα γεωχωρικών πληροφοριών, όπως υψομετρικά δεδομένα, δεδομένα εδαφικών χαρακτηριστικών, χρήσεις γης και δορυφορικές εικόνες.

4.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ (DEM)

Τα δεδομένα ψηφιακού υψομέτρου (DEM) προήλθαν από τον USGS Earth Explorer (SRTM), τα οποία προσφέρουν υψηλή ακρίβεια για την περιοχή έρευνας. Τα αρχεία αυτά ήταν σε μορφή .tif και χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της κλίσης και της μορφολογίας του εδάφους, κρίσιμα στοιχεία για την εκτίμηση της ευαισθησίας στις κατολισθήσεις. USGS



Εικόνα 20 Εισαγωγή tif αρχείου σε περιβάλλον ArcGIS

4.2 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

Για την ανάλυση των αλλαγών της γης και την ανίχνευση κατολισθήσεων, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα δορυφορικών εικόνων από τον δορυφόρο Landsat 8, που προσφέρουν πολυφασματικές εικόνες υψηλής ανάλυσης. Τα δεδομένα αυτά αποτέλεσαν τη βάση για την παρακολούθηση των μεταβολών του τοπίου και τη χαρτογράφηση επικίνδυνων περιοχών.: USGS Landsat 8.



Εικόνα 21 Εισαγωγή δορυφορικών εικόνων Landsat8

4.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ

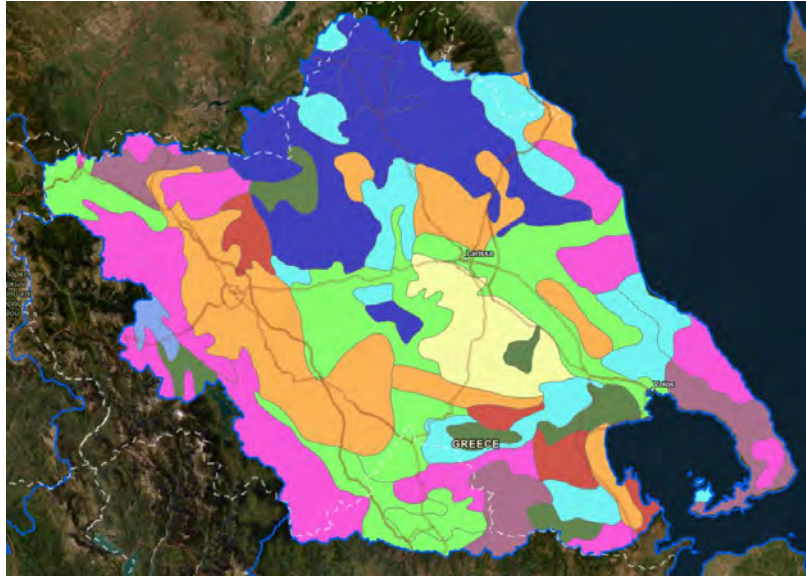
Τα δεδομένα χρήσης γης αντλήθηκαν από το CORINE Land Cover (CLC) 2018, το οποίο παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις κατηγορίες χρήσης γης στην Ευρώπη. Τα δεδομένα ήταν διαθέσιμα σε μορφή .tif και χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της ανθρωπογενούς παρέμβασης και των αλλαγών στη χρήση γης. Land Copernicus



Εικόνα 22 Εισαγωγή CLC εικόνας πριν κατηγοριοποιηθεί

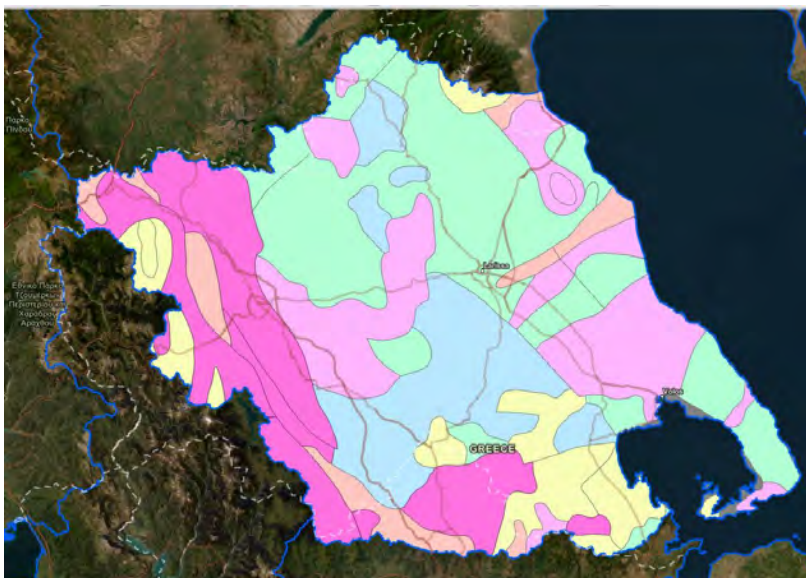
4.4 ΕΛΔΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα εδαφικά δεδομένα, λήφθηκαν από την ESDAC και βασίστηκαν στη FAO Soil Classification Database, η οποία αξιοποιεί την ταξινόμηση εδαφών FAO-UNESCO (τροποποιημένη CEC 1985). Τα δεδομένα αυτά ήταν σε μορφή shapefile και χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της σταθερότητας των εδαφών και της διάβρωσης.



Εικόνα 23 Απεικόνιση Εδαφικών Δεδομένων της ESDAC

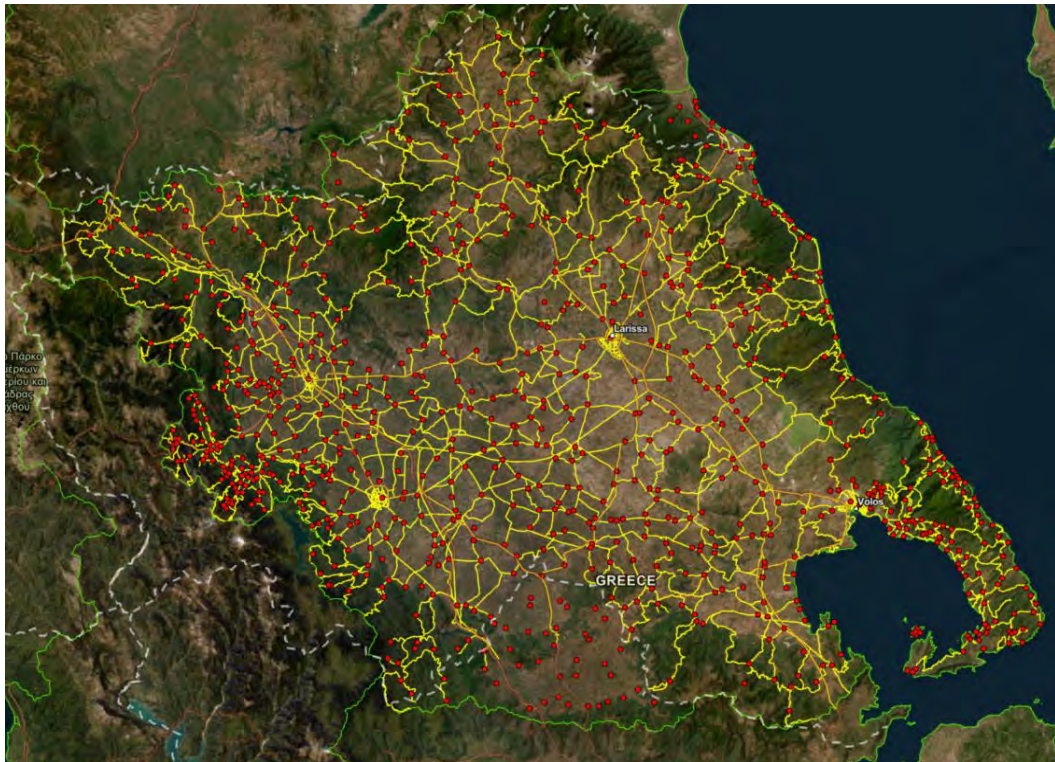
Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον χάρτη The 1:5 Million International Geological Map of Europe and Adjacent Areas, ο οποίος παρέχει πληροφορίες για τη γεωλογική σύσταση της περιοχής έρευνας. Αυτά τα δεδομένα, από την Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe χρησιμοποιήθηκαν για την κατανόηση των γεωλογικών δομών και της ευαισθησίας της περιοχής σε γεωλογικές αστάθειες και κατολισθήσεις.



Εικόνα 24 Απεικόνιση Γεωλογικών Δεδομένων της BGR

4.5 ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

Τα διοικητικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των υδατικών διαμερισμάτων και των θέσεων οικισμών, λήφθηκαν από την πλατφόρμα Geodata.gov.gr και την ΕΛΣΤΑΤ, σε μορφή shapefile, το οδικό δίκτυο από το ΥΠΕΝ. Αυτά τα δεδομένα ήταν ζωτικής σημασίας για τη χαρτογράφηση του ανθρώπινου παράγοντα και της επίδρασής του στις φυσικές διαδικασίες κατολισθήσεων.



Εικόνα 25 Απεικόνιση Διοικητικών Δεδομένων (Δρόμων και Οδικού Δικτύου)

4.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ GIS

Η διαδικασία ανάλυσης των γεωχωρικών δεδομένων για την εκτίμηση της ευαισθησίας, της ανίχνευσης και της χαρτογράφησης κινδύνου κατολισθήσεων στηρίζεται στην ενσωμάτωση δεδομένων τηλεπισκόπησης, δεδομένων χρήσεων γης και γεωλογικών πληροφοριών μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro.

4.6.1 Landslide Susceptibility Mapping (Χαρτογράφηση Ευαισθησίας Κατολισθήσεων)

Η χαρτογράφηση ευαισθησίας κατολισθήσεων επικεντρώνεται στον εντοπισμό περιοχών που είναι πιο επιρρεπείς σε κατολισθητικά φαινόμενα. Αυτή η διαδικασία γίνεται μέσω της ανάλυσης περιβαλλοντικών παραγόντων όπως η γεωμορφολογία, η υδρογραφία, η κλίση του εδάφους, και τα οδικά δίκτυα.

Διαδικασία

Συλλογή Δεδομένων:

➤ **DEM (Digital Elevation Model):** Το DEM είναι το βασικό ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου που εξάγει δεδομένα κλίσης. Χρησιμοποιήθηκε DEM από το USGS Earth Explorer (SRTM) σε μορφή tif για την εξαγωγή των απαραίτητων χωρικών πληροφοριών σχετικά με την τοπογραφία της περιοχής έρευνας.

➤ **Δορυφορικά δεδομένα Landsat 8:** Οι μπάντες 4 και 5 του Landsat 8 χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή του NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), που βοηθά στην ανάλυση της βλάστησης και της κάλυψης γης.

➤ **Οδικά και Υδρογραφικά δεδομένα:** Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Geodata.gov.gr για το οδικό δίκτυο και την υδατικό διαμέρισμα ς, καθώς και τα δεδομένα CORINE Land Cover για τις χρήσεις γης.

Επεξεργασία Δεδομένων:

➤ **Κλίση Εδάφους (Slope):** Η κλίση του εδάφους εξήχθη από τα DEM δεδομένα (Digital Elevation Model). Η κλίση αποτελεί έναν από τους κρίσιμους παράγοντες για την εκδήλωση κατολισθήσεων, καθώς οι περιοχές με μεγαλύτερες κλίσεις έχουν αυξημένο κίνδυνο αστοχίας.

➤ **Διανυσματικές Ροές (Stream to Feature):** Για να υπολογιστεί η απόσταση από τα υδάτινα ρεύματα, δημιουργήθηκαν διανυσματικές ροές. Η εγγύτητα σε υδάτινα ρεύματα είναι σημαντική, καθώς επηρεάζει τόσο τη διάβρωση όσο και την πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων.

➤ **Δείκτης Βλάστησης (NDVI):** Ο δείκτης NDVI υπολογίστηκε μέσω των Landsat 8 φασματικών περιεχόν. Οι περιοχές με χαμηλή κάλυψη βλάστησης έχουν αυξημένη ευαισθησία σε διάβρωση και κατολισθήσεις, καθιστώντας τη βλάστηση κρίσιμο παράγοντα ανάλυσης.

➤ **Απόσταση από το Οδικό Δίκτυο (Euclidean Distance):** Η μέθοδος Euclidean Distance χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της απόστασης από το οδικό δίκτυο. Οι περιοχές κοντά σε δρόμους παρουσιάζουν αυξημένο κίνδυνο κατολισθήσεων, λόγω των ανθρώπινων παρεμβάσεων και των επιπτώσεων που έχουν οι κατασκευές στη σταθερότητα του εδάφους.

Ανάλυση και Επιθυμητό Αποτέλεσμα:

Με τη χρήση της μεθόδου Weighted Overlay, όλοι οι παράγοντες (κλίση, βλάστηση, απόσταση από υδάτινα ρεύματα και δρόμους) συνδυάστηκαν, δημιουργώντας τον χάρτη ευαισθησίας κατολισθήσεων. Οι περιοχές ταξινομήθηκαν σε ζώνες ευαισθησίας από χαμηλή έως υψηλή, διευκολύνοντας τον εντοπισμό περιοχών υψηλού κινδύνου.

4.6.2 Landslide Detection (Ανίχνευση Κατολισθήσεων)

Η ανίχνευση κατολισθήσεων βασίζεται στην παρακολούθηση γεωμορφολογικών μεταβολών μέσα από δορυφορικά δεδομένα πολλαπλών χρονικών στιγμών για τον εντοπισμό περιοχών όπου έχουν συμβεί ή υπάρχουν ενδείξεις κατολισθητικών φαινομένων.

Διαδικασία

Συλλογή Δεδομένων:

Χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Landsat 8 pre-event και post-event για να εξεταστούν αλλαγές στη βλάστηση και στη μορφολογία του εδάφους. Αυτή η σύγκριση έγινε για την ανίχνευση αλλαγών που υποδηλώνουν κατολισθήσεις.

Επεξεργασία Δεδομένων:

Ανάλυση Δείκτη Βλάστησης (NDVI): Χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της βλάστησης στις περιοχές ενδιαφέροντος, καθώς οι αλλαγές στη βλάστηση μπορεί να υποδηλώνουν την παρουσία κατολισθητικών φαινομένων.

Ανίχνευση Αλλαγών (Change Detection): Η διαδικασία ανίχνευσης αλλαγών βασίστηκε στη σύγκριση των δεικτών NDVI και NBR σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Η ανάλυση των δεδομένων πριν και μετά από ένα συμβάν βοήθησε στον εντοπισμό σημαντικών γεωμορφολογικών αλλαγών στις περιοχές, όπως μεταβολές που σχετίζονται με κατολισθήσεις.

Ανάλυση και Επιθυμητό Αποτέλεσμα: Ο συνδυασμός δεικτών NDVI, και DEM βοηθάει στην ανίχνευση περιοχών με μεγάλες γεωμορφολογικές αλλαγές, οι οποίες πιθανόν να αντιπροσωπεύουν κατολισθήσεις. Η χρήση του DEM δίνει τη δυνατότητα να επιβεβαιώσει τις αλλαγές στο υψόμετρο και στη μορφολογία.

4.6.3 Landslide Hazard Mapping (Χαρτογράφηση Κινδύνου Κατολισθήσεων)

Η χαρτογράφηση κινδύνου κατολισθήσεων επικεντρώνεται στην πρόβλεψη των μελλοντικών κατολισθήσεων, συνδυάζοντας ιστορικά δεδομένα, γεωμορφολογικούς παράγοντες, και κλιματικά δεδομένα.

Διαδικασία

Συλλογή Δεδομένων:

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα Landsat 8, DEM και ιστορικά δεδομένα κατολισθήσεων. Επίσης, το CORINE Land Cover παρείχε δεδομένα κάλυψης γης, ενώ το Geodata.gov.gr παρείχε πληροφορίες για το οδικό δίκτυο.

Επεξεργασία Δεδομένων:

Ανάλυση Γεωμορφολογικών Παραγόντων: Οι παράγοντες που αναλύθηκαν περιλαμβάνουν τη μορφολογία του εδάφους, την παρουσία υδάτινων συστημάτων, καθώς και την απόσταση από υδάτινα ρεύματα και οδικά δίκτυα, τα οποία επηρεάζουν την πιθανότητα κατολισθήσεων.

Κατηγοριοποίηση των Περιοχών Κινδύνου: Η μέθοδος Weighted Overlay εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό των ζωνών κινδύνου. Οι περιοχές κατηγοριοποιήθηκαν σε ζώνες χαμηλού, μεσαίου και υψηλού κινδύνου, με περιοχές που διαθέτουν απότομες κλίσεις και βρίσκονται κοντά σε υδάτινα ρεύματα να αξιολογούνται ως υψηλότερου κινδύνου για εκδήλωση κατολισθήσεων.

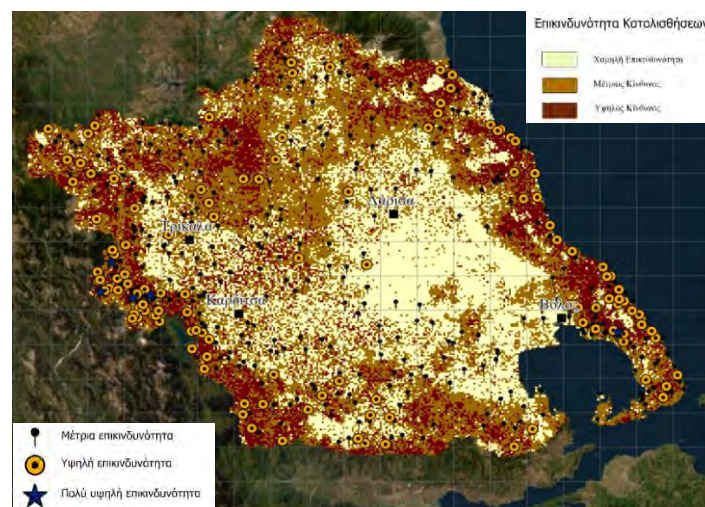
Ανάλυση και Επιθυμητό Αποτέλεσμα:

Ο χάρτης κινδύνου κατολισθήσεων που προέκυψε ταξινομεί τις περιοχές με βάση την πιθανότητα εκδήλωσης μελλοντικών κατολισθήσεων. Οι ζώνες κινδύνου βοηθούν στην κατεύθυνση πολιτικών πρόληψης και στην ενίσχυση της ασφάλειας της περιοχής.

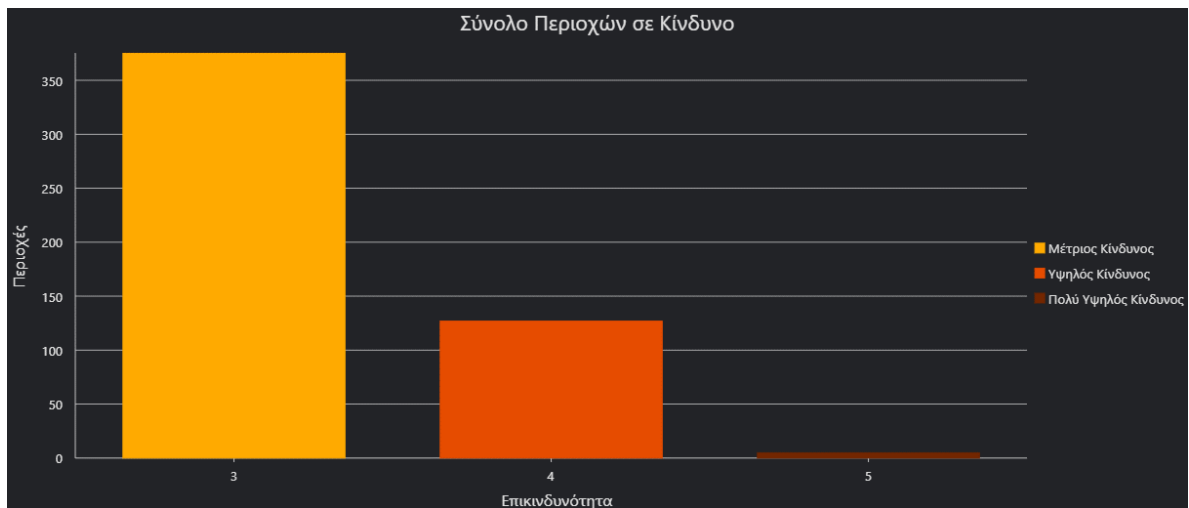
4.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.7.1 Ανάλυση του Χάρτη Ευαισθησίας Κατολισθήσεων για το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας

Η ανάλυση του χάρτη ευαισθησίας κατολισθήσεων για το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας βασίζεται στην κατανομή των περιοχών κινδύνου, όπως απεικονίζεται στα επίπεδα χαμηλού, μεσαίου και υψηλού κινδύνου. Χρησιμοποιώντας γεωχωρικά δεδομένα και την προσέγγιση GIS, κατατάσσονται οι διάφορες περιοχές και οικισμοί σε κατηγορίες κινδύνου κατολισθήσεων.



Εικόνα 26 Ανάλυση Κατανομής Περιοχών σε (απόσπασμα Χάρτη «χαρτογράφηση Περιοχών με ευαισθησία Κατολισθήσεων στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας», Παράρτημα)



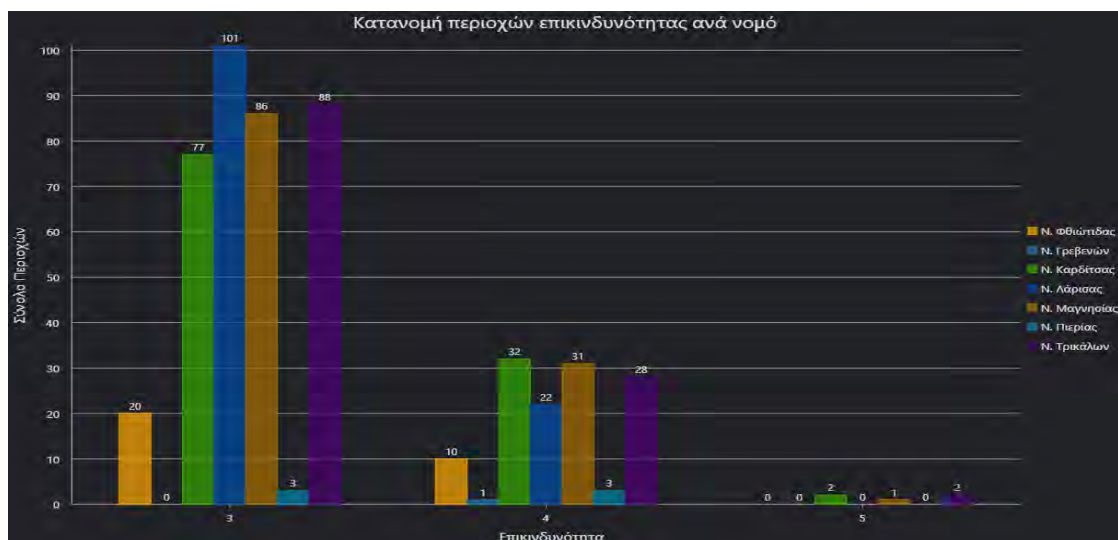
Σχήμα 3 Σύνολο Περιοχών σε Κίνδυνο

Το παραπάνω σχήμα (Σχήμα 3) παρουσιάζει τη συνολική κατανομή των περιοχών σε διάφορα επίπεδα κινδύνου:

➤ **Μετρίου Κινδύνου (3):** Αυτή είναι η κυρίαρχη κατηγορία κινδύνου, με πάνω από 350 περιοχές να κατατάσσονται σε αυτήν. Περιλαμβάνει κυρίως οικισμούς σε περιοχές με ήπιες κλίσεις και μετριοπαθή περιβαλλοντική ευαισθησία.

➤ **Υψηλού Κινδύνου (4):** Περίπου 125 περιοχές κατατάσσονται στην κατηγορία υψηλού κινδύνου, γεγονός που υποδεικνύει την αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης κατολισθήσεων. Οι περιοχές αυτές έχουν υψηλές κλίσεις και πιθανώς συνδυάζονται με ανθρώπινες δραστηριότητες που επιβαρύνουν τη φυσική σταθερότητα του εδάφους.

➤ **Πολύ Υψηλού Κινδύνου (5):** Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει λιγότερες από 10 περιοχές, κυρίως σε περιοχές με απότομες κλίσεις και γεωλογικές συνθήκες που προδιαθέτουν για κατολισθήσεις. Οι περιοχές αυτές είναι ιδιαίτερα ευάλωτες και θα πρέπει να παρακολουθούνται στενά.



Σχήμα 4 Κατανομή Επικινδυνότητας Ανά Νομό

Το Σχήμα 4 αναλύει την κατανομή των περιοχών υψηλού κινδύνου του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας ανά νομό (Λάρισα, Καρδίτσα, Τρικάλων, Μαγνησίας, Φθιώτιδας, Γρεβενών και Πιερίας):

- **Νομός Λάρισα:** Έχει την υψηλότερη κατανομή περιοχών με μεσαίο κίνδυνο, και συγκεκριμένα 101 περιοχές βρίσκονται στην κατηγορία κινδύνου 3. Παράλληλα, καταγράφονται και περιοχές υψηλού κινδύνου.
- **Νομός Μαγνησίας:** Παρουσιάζει 88 περιοχές με μεσαίο κίνδυνο και αρκετές με υψηλό κίνδυνο. Λόγω του ορεινού τοπίου και της κλίσης του εδάφους, ο νομός αυτός παρουσιάζει αρκετές περιοχές σε κίνδυνο.
- **Νομοί Καρδίτσας και Τρικάλων:** Με 77 και 86 περιοχές αντίστοιχα στην κατηγορία μεσαίου κινδύνου, οι περιοχές αυτές επηρεάζονται από τις γεωμορφολογικές συνθήκες της ορεινής περιοχής, ενώ η χαμηλότερη πυκνότητα περιοχών πολύ υψηλού κινδύνου καταδεικνύει πιο ήπιες συνθήκες σε σύγκριση με τους υπόλοιπους νομούς.

Οι 5 Οικισμοί με τη Μεγαλύτερη Επικινδυνότητα

Οι περιοχές που κατατάσσονται στην κατηγορία του πολύ υψηλού κινδύνου (5) είναι οι εξής:

- **Βυζίτσα, Ν. Μαγνησίας (494 m υψόμετρο):** Βρίσκεται στην κορυφή της λίστας με βαθμολογία επικινδυνότητας 5, λόγω των γεωλογικών χαρακτηριστικών της και των απότομων κλίσεων της περιοχής.
- **Τσαρούχι, Ν. Καρδίτσας (696 m υψόμετρο):** Επίσης στην κατηγορία του πολύ υψηλού κινδύνου, με βαθμολογία 5, κυρίως λόγω των κλίσεων του εδάφους και της γεωμορφολογίας της περιοχής.
- **Μελιγός, Ν. Καρδίτσας (397 m υψόμετρο):** Μια περιοχή με επικινδυνότητα 5, που συνδυάζει υψηλή κλίση και ασταθές έδαφος.
- **Ξυλοχώρι, Ν. Τρικάλων (801 m υψόμετρο):** Μια άλλη περιοχή με πολύ υψηλό κίνδυνο, που επηρεάζεται από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και την κλίση της περιοχής.
- **Άνω Παλαιοκαρυά, Ν. Τρικάλων (711 m υψόμετρο):** Βρίσκεται επίσης στην κατηγορία του πολύ υψηλού κινδύνου, με συνθήκες που ευνοούν την εμφάνιση κατολισθήσεων.

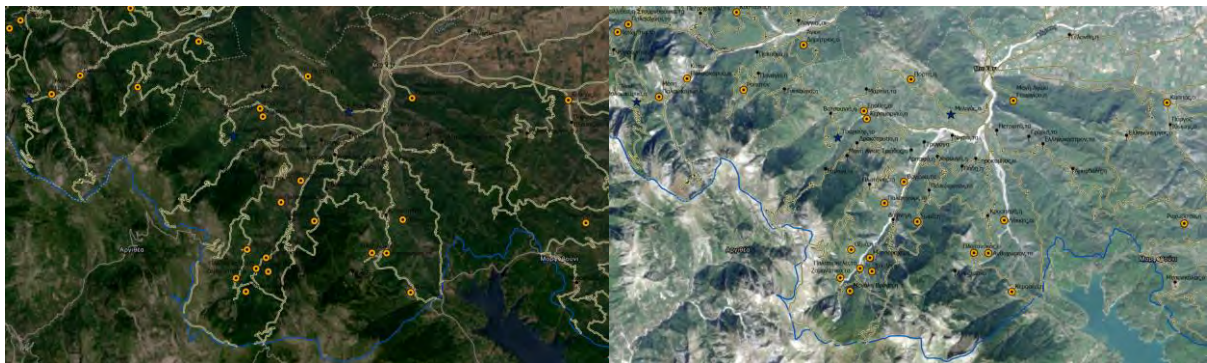
Αυτές οι περιοχές, λόγω της γεωλογικής τους δομής, της απότομης κλίσης και της ευαισθησίας του εδάφους, παρουσιάζουν τον υψηλότερο κίνδυνο για κατολισθήσεις και χρήζουν ειδικής διαχείρισης και παρακολούθησης.

4.7.2 Landslide Detection (Ανίχνευση Κατολισθήσεων)

Για την κατανόηση της ανίχνευσης κατολισθήσεων στην περιοχή της Θεσσαλίας, έγινε αναζήτηση στο ΕΑΓΜΕ, καθώς και σε τοπικές εφημερίδες, οι οποίες περιείχαν αναφορές σχετικά με τις χρονικές στιγμές και τις περιοχές των κατολισθήσεων. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων που συλλέχθηκαν πριν και μετά τις καταγεγραμμένες κατολισθήσεις. Σκοπός ήταν η ακριβής ανίχνευση των μεταβολών που προκλήθηκαν από αυτά τα φαινόμενα, προκειμένου να εντοπιστούν οι περιοχές που επηρεάστηκαν περισσότερο.

4.7.2.1 Ανίχνευση κατολισθήσεων στους Νομούς Καρδίτσας-Τρικάλων

Τα δορυφορικά δεδομένα συλλέχθηκαν από δύο χρονικές στιγμές: μία πριν την εκδήλωση των κατολισθήσεων και μία μετά. Η σύγκριση αυτών των δεδομένων μας επιτρέπει να εντοπίσουμε τις περιοχές που υπέστησαν σημαντικές μεταβολές, όπως είναι οι πλαγιές και οι καλλιεργούμενες εκτάσεις.



Εικόνα 27 Δεδομένα Landsat8, Ιούνιος 2019 (αριστερά) - Οκτώβριος 2023 (δεξιά)



Εικόνα 28 Η απεικόνιση αλλαγών (με κίτρινο και κόκκινο χρώμα) από την επεξεργασία των εικόνων (απόσπασμα Χάρτη «Ανίχνευση κατολισθήσεων Στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας», Παράρτημα)

Οι πιο έντονες αλλαγές εντοπίστηκαν στις πλαγιές κοντά στη λίμνη Ταυρωπου, που εάν και δεν ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, επηρεάζει το συστημά της, καθώς και στις περιοχές γύρω από κατοικημένες ζώνες και αγροτικές εκτάσεις. Συγκεκριμένα:

- **Πλαγιές κοντά στη λίμνη:** Εμφανίζουν σημαντική διάβρωση λόγω της μετακίνησης υλικών.
- **Κατοικημένες ζώνες:** Οι ζώνες αυτές υπέστησαν έντονες αλλαγές, κυρίως λόγω διάβρωσης από βροχοπτώσεις και μετακίνηση φερτών υλικών.
- **Καλλιέργειες:** Οι καλλιέργειες επηρεάστηκαν από την κατολίσθηση, με πολλές περιοχές να εμφανίζουν μεταβολές στη βλάστηση και τη μορφολογία του εδάφους.
- **Οδικό δίκτυο:** Οι κατολισθήσεις σε αρκετά σημεία επηρέασαν δρόμους, καθιστώντας τους επικίνδυνους ή μη προσβάσιμους. Η ανίχνευση αλλαγών έδειξε ότι πολλές από αυτές τις περιοχές έχουν υποστεί σημαντικές ζημιές λόγω της κίνησης των φερτών υλικών και της διάβρωσης στις άκρες των δρόμων.

Συμπέρασμα

Η ανίχνευση αλλαγών στη Θεσσαλία αποδεικνύει τη σημαντικότητα της χρήσης δορυφορικών δεδομένων για την ακριβή αποτύπωση των καταστροφών από τις κατολισθήσεις. Οι χάρτες ανίχνευσης προσφέρουν κρίσιμες πληροφορίες για την αξιολόγηση των περιοχών υψηλού κινδύνου, και οι αλλαγές που καταγράφηκαν παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την καλύτερη διαχείριση και πρόληψη μελλοντικών καταστροφών.

4.7.2.2 Περίπτωση Δράκειας, Σεπτέμβριος 2023

Οι κατολισθήσεις που έλαβαν χώρα στην περιοχή της Δράκειας, αξιοποιώντας επίσης δορυφορικά δεδομένα για την καταγραφή των μεταβολών στη γεωμορφολογία της περιοχής.

Δεδομένα Πριν και Μετά

Τα δορυφορικά δεδομένα που συλλέχθηκαν δείχνουν τις έντονες μεταβολές στη μορφολογία του εδάφους, ιδιαίτερα στις πλαγιές γύρω από την περιοχή της Δράκειας. Οι αλλαγές αυτές ερμηνεύονται ως αποτέλεσμα των ισχυρών κατολισθήσεων, που προκάλεσαν σημαντική διάβρωση του εδάφους και απομάκρυνση της βλάστησης.

Ανάλυση Αλλαγών

Οι πιο έντονες αλλαγές εντοπίζονται:

➤ **Στις πλαγιές γύρω από τη Δράκεια:** Η μετακίνηση εδάφους και οι διαβρώσεις είναι εμφανείς, επιβεβαιώνοντας τις αναφορές των τοπικών εφημερίδων.

➤ **Διαβρώσεις στις περιοχές με έντονη κλίση:** Οι αλλαγές στη βλάστηση και η διάβρωση του εδάφους είναι έντονες, καθιστώντας τις περιοχές αυτές ευάλωτες σε μελλοντικές κατολισθήσεις.

Συμπέρασμα

Η περιοχή της Αγριάς - Δράκειας υπέστη σημαντικές γεωμορφολογικές αλλαγές, όπως αποδεικνύεται από τους χάρτες ανίχνευσης. Η ακριβής καταγραφή των περιοχών που επηρεάστηκαν περισσότερο ενισχύει την κατανόηση των κατολισθήσεων και βοηθά στην ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης για την προστασία των υποδομών και την πρόληψη μελλοντικών καταστροφών.

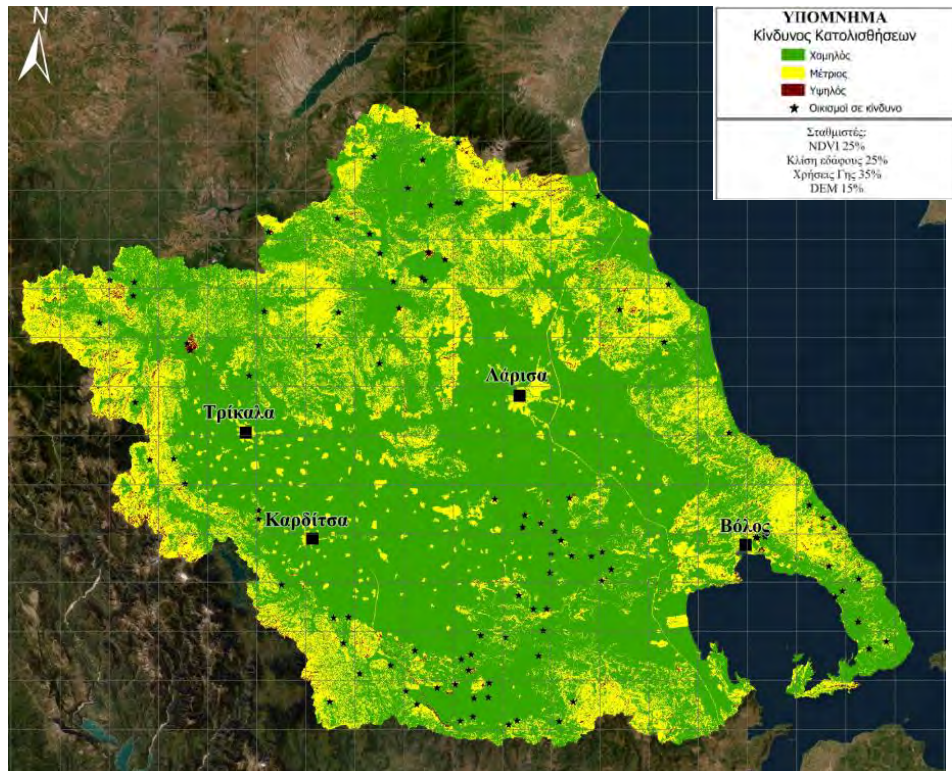
Συνολική Σύγκριση και Ανάλυση

Και στις δύο περιπτώσεις, στη Δράκεια και στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας, παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά στις γεωμορφολογικές αλλαγές που καταγράφηκαν από τα δορυφορικά δεδομένα. Ωστόσο, η ένταση των φαινομένων διαφέρει, με τη Δράκεια να εμφανίζει πιο έντονες τοπικές αλλαγές. Η ανίχνευση των κατολισθήσεων μέσω της σύγκρισης δεδομένων πριν και μετά από τα γεγονότα αποδεικνύεται ένα ισχυρό εργαλείο για την παρακολούθηση των επιπτώσεων των φαινομένων αυτών και την ανάδειξη των περιοχών υψηλού κινδύνου.

Με αυτή την προσέγγιση, επιτυγχάνεται τη σημασία της ανάλυσης των χαρτών και της αξιοποίησης δεδομένων από διαφορετικές πηγές για την καλύτερη κατανόηση και διαχείριση των κατολισθήσεων.

4.7.3 Landslide Hazard Mapping (Ανίχνευση Κατολισθήσεων)

1^η Περίπτωση



Εικόνα 32 Απεικόνιση Χάρτη Κατολισθήσεων (απόσπασμα Χάρτη «Χαρτογράφηση Κινδύνου κατολισθήσεων Στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας», Παράρτημα)

Ο χάρτης (Εικόνα32) απεικονίζει τον κίνδυνο κατολισθήσεων στην περιοχή της Θεσσαλίας, με τα δεδομένα να βασίζονται σε γεωμορφολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως:

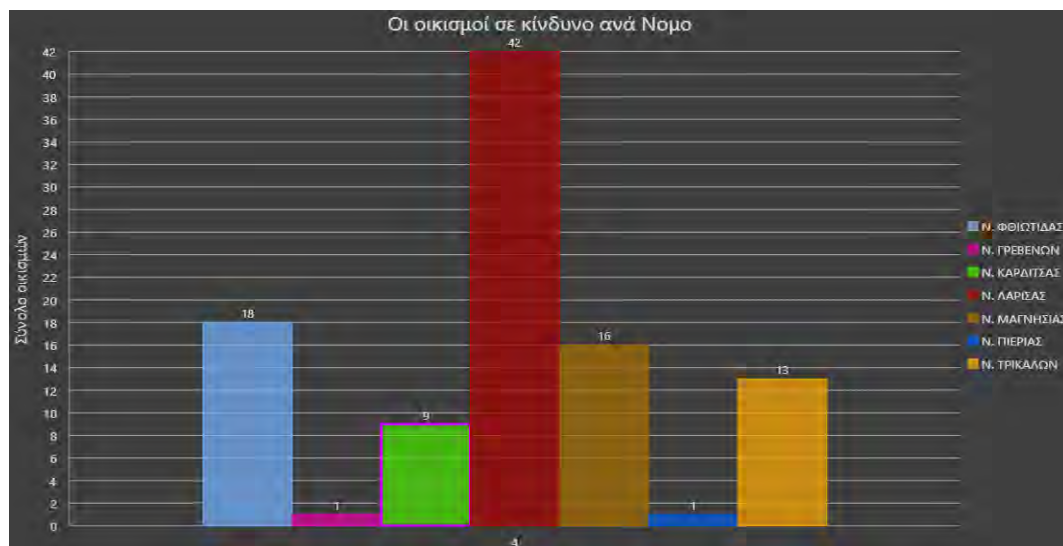
- **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**, με συντελεστή 25%
- **Κλίση εδάφους**, με συντελεστή 25%
- **Χρήσεις γης**, με συντελεστή 35%
- **Υψομετρικό μοντέλο (DEM)**, με συντελεστή 15%

Ανάλυση των περιοχών κινδύνου

Οι περιοχές χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- **Χαμηλός κίνδυνος** (πράσινο χρώμα)
- **Μέτριος κίνδυνος** (κίτρινο χρώμα)
- **Υψηλός κίνδυνος** (κόκκινο χρώμα)

Στο χάρτη της **εικόνας 32**, διακρίνονται οι οικισμοί που βρίσκονται σε περιοχές υψηλού κινδύνου. Ο μεγαλύτερος αριθμός οικισμών σε κίνδυνο εντοπίζεται στο νομό Λάρισας (42 οικισμοί), ακολουθούμενος από τους νομούς Μαγνησίας (16 οικισμοί) και Τρικάλων (13 οικισμοί).



Σχήμα 5 Οι οικισμοί σε κίνδυνο ανά νομό

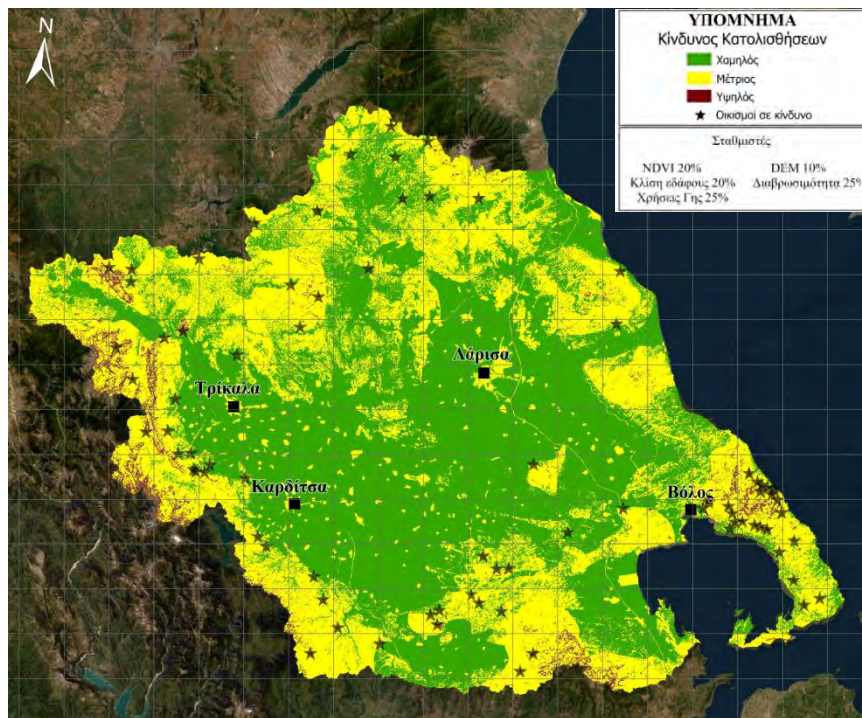
Πίνακας 2 Οικισμών σε κίνδυνο

Οικισμός	Υψόμετρο (m)	Νομός	Οικισμός	Υψόμετρο (m)	Νομός
Δεσκάτη	866	N. Γρεβενών	Ανάβρα	802	N. Μαγνησίας
Ρεντίνα	140	N. Καρδίτσας	Κεραμίδιον	305	N. Μαγνησίας
Αμπελικόν	268	N. Καρδίτσας	Μουρέσιον	366	N. Μαγνησίας
Παλιούριον	231	N. Καρδίτσας	Αργαλαστή	258	N. Μαγνησίας
Λουτρόν	230	N. Καρδίτσας	Νεοχώριον	453	N. Μαγνησίας
Λουτροπηγή	742	N. Καρδίτσας	Ανήλιον	316	N. Μαγνησίας
Κάτω Κτιμένη	413	N. Καρδίτσας	Ανακασία	171	N. Μαγνησίας
Θραψίμιον	623	N. Καρδίτσας	Ζαγορά	536	N. Μαγνησίας
Κανάλια,τα	343	N. Καρδίτσας	Αφέται	225	N. Μαγνησίας
Φανάριον	249	N. Καρδίτσας	Προμύριον	235	N. Μαγνησίας
Καλόν Νερό	301	N. Λάρισας	Κατωχώριον	482	N. Μαγνησίας
Ρήγγιον	319	N. Λάρισας	Πορταριά	604	N. Μαγνησίας
Θετίδιον	321	N. Λάρισας	Αφυσκος	15	N. Μαγνησίας
Ασπρόγεια	241	N. Λάρισας	Λαύκος	299	N. Μαγνησίας
Άγιος Αντώνιος	422	N. Λάρισας	Άνω Βόλος	245	N. Μαγνησίας
Κοκκινοπηλός	1152	N. Λάρισας	Μηλιές	522	N. Μαγνησίας
Σπαρμός	544	N. Λάρισας	Χρυσομηλέα	930	N. Τρικάλων
Δολίχη	581	N. Λάρισας	Καλαμπάκα	341	N. Τρικάλων
Σαραντάπορον	840	N. Λάρισας	Οξύνεια	527	N. Τρικάλων
Ερέτρια	291	N. Λάρισας	Αγρελιά	720	N. Τρικάλων
Μέγα Ελευθεροχώριον	422	N. Λάρισας	Καλομοίρα	755	N. Τρικάλων
Δίλοφον	362	N. Λάρισας	Κονισκός	818	N. Τρικάλων
Ναρθάκιον	327	N. Λάρισας	Ξηρόκαμπος	419	N. Τρικάλων
Πολυδάμειον	277	N. Λάρισας	Ελάτη	843	N. Τρικάλων
Κάτω Βασιλικά,τα	258	N. Λάρισας	Πιάλεια	207	N. Τρικάλων
Δασόλοφος	204	N. Λάρισας	Πύλη	218	N. Τρικάλων
Άγιος Κωνσταντίνος	240	N. Λάρισας	Καστράκιον	275	N. Τρικάλων
Δομένικον	289	N. Λάρισας	Κακοπλεύριον	879	N. Τρικάλων
Κυπάρισσος	260	N. Λάρισας	Πλάτανος	194	N. Τρικάλων
Αχίλλειον	63	N. Λάρισας	Λεύκα	528	N. Φθιώτιδας
Κρανέα Ελασσόνας	761	N. Λάρισας	Μακρυρράχη	541	N. Φθιώτιδας
Μεγαλόβρυσον	579	N. Λάρισας	Παναγία	518	N. Φθιώτιδας
Σκοτούσσα	293	N. Λάρισας	Περιβόλιον	491	N. Φθιώτιδας
Καλλιθέα	525	N. Λάρισας	Νέα Μάκριση	461	N. Φθιώτιδας
Καρυά	906	N. Λάρισας	Πάλαμάς	709	N. Φθιώτιδας
Ολυμπιάς	565	N. Λάρισας	Κορομηλέα	486	N. Φθιώτιδας
Σπηλιά	793	N. Λάρισας	Πουρνάριον	202	N. Φθιώτιδας
Χαρά	220	N. Λάρισας	Πετροτόν	668	N. Φθιώτιδας
Ευαγγελισμός	204	N. Λάρισας	Αγραπιδιά	269	N. Φθιώτιδας
Στεφανόβουνον	277	N. Λάρισας	Μεταλλείον	476	N. Φθιώτιδας
Βαλανίδα	324	N. Λάρισας	Γαβρύνια,τα	223	N. Φθιώτιδας
Κεφαλόβρυσον	261	N. Λάρισας	Θαυμακόν	221	N. Φθιώτιδας
Καρτίτσα	272	N. Λάρισας	Νεοχώριον	763	N. Φθιώτιδας
Γαλανόβρυση	282	N. Λάρισας	Ξυνιάς	489	N. Φθιώτιδας
Σκοπιά	450	N. Λάρισας	Μακρολίβαδον	589	N. Φθιώτιδας
Τσαρίτσανη	310	N. Λάρισας	Ομβριακή	572	N. Φθιώτιδας
Ελασσών	309	N. Λάρισας	Δομοκός	561	N. Φθιώτιδας
Λιβόδι	1174	N. Λάρισας	Νέος Παντελεήμων	137	N. Πιερίας
Βερδικούσσα	884	N. Λάρισας			
Αμπελεία	207	N. Λάρισας			
Γεράνια,τα	464	N. Λάρισας			
Χαλκιάδες	268	N. Λάρισας			

Συμπέρασμα

Η ανάλυση του Χάρτη δείχνει ότι οι περιοχές με μεγαλύτερη κλίση εδάφους και λιγότερη βλάστηση είναι πιο επιρρεπείς σε κατολισθήσεις. Οι οικισμοί που βρίσκονται κοντά σε αυτές τις περιοχές, ειδικά σε περιοχές με έντονες κλίσεις και σε ορεινά περιβάλλοντα, χρειάζονται ειδική διαχείριση για την αποφυγή καταστροφών.

2^η Περίπτωση



Εικόνα 33 Απεικόνιση Χάρτη Κατολισθήσεων (απόσπασμα Χάρτη «Χαρτογράφηση Κινδύνου κατολισθήσεων Στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας», Παράρτημα)

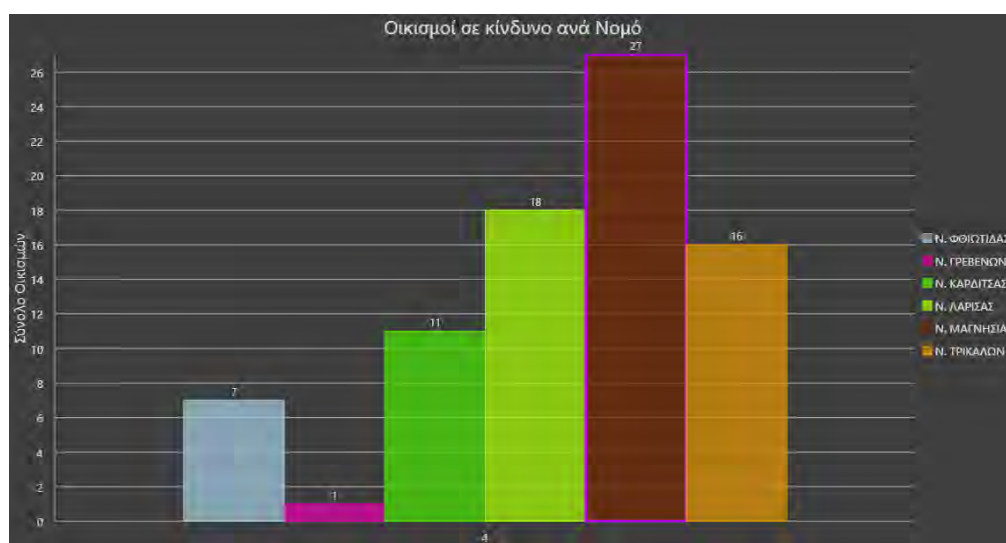
Ο δεύτερος χάρτης παρουσιάζει έναν ακόμη καταμερισμό των κινδύνων κατολισθήσεων με παρόμοιους συντελεστές, αλλά με διαφοροποιήσεις στους παράγοντες διαβρωσιμότητας και χρήσης γης:

- **NDVI** (Δείκτης Βλάστησης): 20%
- **Κλίση εδάφους**: 20%
- **Χρήσεις γης**: 25%
- **DEM**: 10%
- **Διαβρωσιμότητα**: 25%

Ανάλυση περιοχών υψηλού κινδύνου

Ο χάρτης διατηρεί την ίδια δομή με τον πρώτο, αλλά παρατηρούνται διαφορές στις περιοχές υψηλού κινδύνου, με τον αριθμό των οικισμών σε κίνδυνο να διαφέρει ανά νομό. Εδώ, οι νομοί

Μαγνησίας και Λάρισας παρουσιάζουν σημαντικό αριθμό οικισμών που βρίσκονται σε υψηλό κίνδυνο, ενώ υπάρχουν και άλλοι νομοί με λιγότερους οικισμούς σε κίνδυνο, όπως η Φθιώτιδα και τα Τρίκαλα.



Σχήμα 6 Οικισμοί σε κίνδυνο ανά Νομό

Πίνακας 3 Πίνακας οικισμών σε κίνδυνο

Οικισμός	Υψόμετρο (m)	Νομός	Οικισμός	Υψόμετρο (m)	Νομός
Άγιος Βλάσιος	312	N. Μαγνησίας	Καρυά	906	N. Λάρισας
Άγιος Γεώργιος Νηλείας	605	N. Μαγνησίας	Κατωχώριον	482	N. Μαγνησίας
Άγιος Γεώργιος Φερών	113	N. Μαγνησίας	Κισσός	541	N. Μαγνησίας
Άγιος Γεώργιος	282	N. Καρδίτσα	Κλεινόν	857	N. Τρικάλων
Άγιος Δημήτριος	295	N. Μαγνησίας	Κοκκινοπηλός	1152	N. Λάρισας
Άγιος Ιωάννης	10	N. Μαγνησίας	Κρανέα Ελασσόνας	761	N. Λάρισας
Άγιος Λαυρέντιος		N. Μαγνησίας	Λαύκος	299	N. Μαγνησίας
Αγρελιά	720	N. Τρικάλων	Λιβάδι	1174	N. Λάρισας
Άλλη Μεριά	172	N. Μαγνησίας	Λογγά	961	N. Τρικάλων
Αμπελικόν	268	N. Καρδίτσα	Λουτροπηγή	742	N. Καρδίτσα
Ανάβρα	802	N. Μαγνησίας	Μακρυρράχη	541	N. Φθιώτιδας
Ανήλιον	316	N. Μαγνησίας	Μακρυρράχη	541	N. Μαγνησίας
Άνω Λεχώνια,τα	62	N. Μαγνησίας	Μαυρομμάτιον	146	N. Καρδίτσα
Αργαλαστή	258	N. Μαγνησίας	Μεγαλόβρυσον	579	N. Λάρισας
Ασπρόγεια	241	N. Λάρισας	Μηλιές	522	N. Μαγνησίας
Ασπροκκλησιά	589	N. Τρικάλων	Μουζάκιον	180	N. Καρδίτσα
Αφέται	225	N. Μαγνησίας	Μουρέσιον	366	N. Μαγνησίας
Αχίλλειον	63	N. Λάρισας	Μύρα,τα	274	N. Λάρισας
Αχλαδέα	520	N. Φθιώτιδας	Ναρθάκιον	327	N. Λάρισας
Βερδικούσσα	884	N. Λάρισας	Νεοχώριον	453	N. Μαγνησίας
Βυζίτσα	494	N. Μαγνησίας	Νεοχώριον	763	N. Φθιώτιδας
Γελάνθη	139	N. Καρδίτσα	Ξηρόκαμπος	419	N. Τρικάλων
Γεώργιος Καραϊσκάκης	157	N. Καρδίτσα	Ξορύχιον	508	N. Μαγνησίας
Δεσκάτη	866	N. Γρεβενών	Οξύνεια	527	N. Τρικάλων
Διάβα	254	N. Τρικάλων	Παλαιομονάστηρον	164	N. Τρικάλων
Δίλοφον	362	N. Λάρισας	Παλιούριον	231	N. Καρδίτσα
Δολίχη	581	N. Λάρισας	Πετρωτόν	668	N. Φθιώτιδας
Δομοκός	561	N. Φθιώτιδας	Πιάλεια	207	N. Τρικάλων
Δράκεια	510	N. Μαγνησίας	Πινακάτες	607	N. Μαγνησίας
Ελάτη	843	N. Τρικάλων	Πλάτανος	194	N. Τρικάλων
Ευαγγελισμός	204	N. Λάρισας	Πορταριά	604	N. Μαγνησίας
Ζαγορά	536	N. Μαγνησίας	Πουρνάριον	202	N. Φθιώτιδας
Θαυμακόν	221	N. Φθιώτιδας	Πρίνος	151	N. Τρικάλων
Θραψίμιον	623	N. Καρδίτσα	Προμύριον	235	N. Μαγνησίας
Κακοπλεύριον	879	N. Τρικάλων	Πύλη	218	N. Τρικάλων
Καλαμπάκα	341	N. Τρικάλων	Ρεντίνα	140	N. Καρδίτσα
Καλλιθέα	525	N. Λάρισας	Σαραντάπορον	840	N. Λάρισας
Καρίτσα	272	N. Λάρισας	Σκοπιά	450	N. Λάρισας
Φανάριον	249	N. Καρδίτσα	Σπαρμός	544	N. Λάρισας
Χρυσομηλέα	930	N. Τρικάλων	Τσαγκαράδα	437	N. Μαγνησίας

Συμπέρασμα

Παρατηρείται ότι η διαβρωσιμότητα παίζει σημαντικό ρόλο στη χαρτογράφηση των περιοχών κατολισθήσεων. Οι περιοχές με υψηλή διαβρωσιμότητα παρουσιάζουν αυξημένο κίνδυνο για κατολισθήσεις, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με τη χρήση γης και τις γεωμορφολογικές παραμέτρους. Αυτό δείχνει ότι η διάβρωση του εδάφους και οι χρήσεις γης είναι κρίσιμοι παράγοντες για την εκτίμηση του κινδύνου κατολισθήσεων.

4.8 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ

4.8.1 Κοινά Σημεία:

Και οι δύο χάρτες παρέχουν χρήσιμα δεδομένα για τον εντοπισμό των περιοχών υψηλού κινδύνου στη Θεσσαλία. Οι περιοχές με έντονες κλίσεις και η διαβρωσιμότητα παίζουν κρίσιμο ρόλο στην εκτίμηση του κινδύνου κατολισθήσεων. Οι οικισμοί σε αυτές τις περιοχές εμφανίζονται ιδιαίτερα ευάλωτοι σε φαινόμενα κατολισθήσεων.

4.8.2 Συμπεράσματα:

Η συνολική ανάλυση δείχνει την ανάγκη για εφαρμογή στρατηγικών πρόληψης και διαχείρισης σε περιοχές με αυξημένο κίνδυνο κατολισθήσεων, ιδιαίτερα στους οικισμούς που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από ορεινές και διαβρωμένες περιοχές.

4.9 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Η παρούσα έρευνα συγκρίνεται με προηγούμενες μελέτες που ασχολούνται με την ευαισθησία κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή της Θεσσαλίας αλλά και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας. Οι ομοιότητες στα ευρήματα καταδεικνύουν ότι οι περιοχές με μεγάλες κλίσεις, περιορισμένη βλάστηση, έντονη και έντονες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, όπως κατασκευές και δρόμοι, παρουσιάζουν αυξημένη ευαισθησία σε κατολισθήσεις. Χρησιμοποιώντας δεδομένα DEM και GIS, έγινε χαρτογράφηση της ευαισθησίας. Από τη βιβλιογραφία, οι περισσότερες μελέτες συμφωνούν ότι οι παράγοντες αυτοί, σε συνδυασμό με την έντονη βροχόπτωση, ενισχύουν την πιθανότητα κατολισθήσεων. Οι διαφορές που καταγράφονται στις επιμέρους μελέτες οφείλονται στη χρήση διαφορετικών μεθοδολογιών, όπως η χρήση μοντέλων προσομοίωσης και η βαρύτητα που αποδίδεται σε κάθε παράγοντα κινδύνου. Η σύγκριση αυτή επιβεβαιώνει την εγκυρότητα της παρούσας έρευνας και προσφέρει μια σαφή εικόνα για την αξιολόγηση του κινδύνου κατολισθήσεων στη Θεσσαλία.

5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΈΡΕΥΝΑΣ

Η έρευνα αυτή αντιμετώπισε ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι ενδέχεται να επηρέασαν τα τελικά αποτελέσματα. Ένας σημαντικός περιορισμός αφορά τη διαθεσιμότητα δεδομένων. Αν και χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης, η χρονική κάλυψη των εικόνων δεν ήταν πάντα επαρκής για την παρακολούθηση όλων των κατολισθητικών φαινομένων. Επιπλέον, υπήρχαν αβεβαιότητες στη χρήση των εργαλείων GIS, καθώς η ανάλυση των δεδομένων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια των DEM και άλλων γεωλογικών χαρτών.

Η έλλειψη μετεωρολογικών δεδομένων, ειδικά για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, αποτέλεσε έναν επιπλέον περιορισμό, καθώς ορισμένα φαινόμενα μπορεί να μην καταγράφηκαν με επαρκή ακρίβεια. Αυτό επηρεάζει τη συνολική ακριβολογία της ανάλυσης, καθώς τα διαθέσιμα δεδομένα δεν ήταν πάντα ικανά να καλύψουν όλες τις περιοχές και τις χρονικές στιγμές της έρευνας.

Τέλος, οι γεωγραφικοί περιορισμοί της έρευνας, που εστιάστηκαν σε περιοχές της Θεσσαλίας, ενδέχεται να μην επιτρέπουν τη γενίκευση των αποτελεσμάτων σε άλλες περιοχές της Ελλάδας ή διεθνώς.

5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ.

Μελλοντικές έρευνες μπορούν να εστιάσουν στη βελτίωση της ακρίβειας των μοντέλων εκτίμησης κινδύνου κατολισθήσεων, ενσωματώνοντας πιο πρόσφατα και λεπτομερή τηλεπισκοπικά δεδομένα, όπως δεδομένα από drones ή αισθητήρες υψηλής ανάλυσης. Επίσης, η εκτεταμένη χρήση δεδομένων πεδίου για την επαλήθευση των μοντέλων GIS μπορεί να ενισχύσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε επίσης να επεκταθεί σε άλλες περιοχές της Ελλάδας ή διεθνώς, για να αξιολογηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της μεθοδολογίας σε διαφορετικά γεωμορφολογικά και κλιματικά περιβάλλοντα. Τέλος, προτείνεται η διεξαγωγή περισσότερων επιτόπιων μελετών σε περιοχές υψηλού κινδύνου για την καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών εκδήλωσης των κατολισθήσεων.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 ΚΥΡΙΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα έρευνα ανέδειξε τη σημαντική συμβολή των τεχνολογιών τηλεπισκόπησης και των εργαλείων GIS στην ανίχνευση και εκτίμηση της ευαισθησίας κατολισθητικών φαινομένων. Οι περιοχές υψηλού κινδύνου που εντοπίστηκαν με ακρίβεια στη Θεσσαλία επιβεβαιώνουν τη σημασία των γεωμορφολογικών παραγόντων, όπως η κλίση του εδάφους και η βλάστηση, στην πρόβλεψη των κατολισθήσεων. Η χρήση της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε επιβεβαιώνει ότι οι γεωμορφολογικοί παράγοντες, σε συνδυασμό με τις κλιματικές συνθήκες, είναι καθοριστικοί για την εκδήλωση κατολισθήσεων. Τα συμπεράσματα της έρευνας υπογραμμίζουν την ανάγκη για συστηματική παρακολούθηση των ευάλωτων περιοχών και τη λήψη προληπτικών μέτρων.

6.2 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

- Βάσει των ευρημάτων της έρευνας, προτείνονται τα εξής μέτρα για την πρόληψη και διαχείριση των κατολισθητικών κινδύνων:
 - Εφαρμογή προληπτικών έργων υποδομής, όπως αποστραγγιστικά έργα και τεχνικά φράγματα, σε περιοχές υψηλού κινδύνου.
 - Ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για κατολισθήσεις, βασισμένων σε δεδομένα παρακολούθησης της γεωλογικής και μετεωρολογικής κατάστασης.
 - Ευαισθητοποίηση και εκπαίδευση των τοπικών αρχών και του πληθυσμού σχετικά με τους κινδύνους από κατολισθήσεις και τα απαραίτητα μέτρα πρόληψης.
 - Ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων της χαρτογράφησης ευαισθησίας κατολισθήσεων στον πολεοδομικό σχεδιασμό και τις πολιτικές διαχείρισης γης.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Ασάρας Θ. & Οικονομίδης Δ. 2007. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Σημειώσεις στο Μάθημα: «Ψηφιακή Χαρτογραφία & Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών» - Ηλεκτρονική έκδοση - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ. Διαθέσιμο στο: <http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge656e/>

Καρτάλης, Κ., & Φείδας, Χ. (2013). Αρχές και εφαρμογές δορυφορικής τηλεπισκόπησης. *Εκδ. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη*.

Κοψαχείλη, Μ. (2008). Κατολισθήσεις: μορφές, μηχανισμοί ενεργοποίησης, μέθοδοι αποκατάστασης και σταθεροποίησης (Bachelor's thesis).

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.

Κούκης, Γ., & Σαμπατακάκης, Ν. (2007). Γεωλογία τεχνικών έργων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 575.

Κουτσόπουλος Κ.(2005). Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών & ανάλυση χώρου. Αθήνα, Παπασωτηρίου.

Κωνσταντινίδης Α.(2011). Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους Και Εφαρμογές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Σημειώσεις στο Μάθημα Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΤΕΙ Σερρών, Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας

Λέκκας Ε., Χατζηνάκος Ι., Βασιλείου Ι.(1991). Τα καλαιοσθητικά φαινόμενα της ανατολικής Θεσσαλίας (καταγραφή, ταξινόμηση, αίτια, επιπτώσεις, αντιμετώπιση), 71-72, Πανεπιστήμιο Πάτρας. Τμήμα Γεωλογίας,

Μαρίνος Π., Κούκης Γ., Στουρνάρας Γ., & Σκιά Σ., (1986)Κατολισθητικά φαινόμενα από τους σεισμούς των Αλκωνιδών 1981.Σύνδεση με τα ενεργά ρήγματα και χωροταξικός σχεδιασμός της περιοχής, Δελτίο ΚΕΔΕ, 3-4, 93-105.

Μπαθρέλλος, Γ. (2005). Γεωλογική, γεωμορφολογική και γεωγραφική μελέτη των αστικών περιοχών του Νομού Τρικάλων-Δυτικής Θεσσαλίας (Doctoral dissertation, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας).

Μπαθρέλλος, Γ. Δ., & Σκυλοδήμου, Χ. Δ. (2006). Γεωμορφολογικοί κίνδυνοι και καταστροφές. Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 39(3), 96-103.

Μπαθρέλλος, Γ. Δ., Σκυλοδήμου, Χ., & Καλύβας, Δ. (2007). Χαρτογράφηση περιοχών επικίνδυνων σε κατολισθήσεις με μοντέλα βασισμένα σε κανόνες λογικής= Landslides hazard mapping using gis-models based on logical rules. *Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών, 1*, 138-148.

Παναγιωτοπούλου, Π. Α. (2023). Κατολισθήσεις πρανών υπό στατικές και δυναμικές φορτίσεις, καθώς και ανάλογα μέτρα προστασίας (Master's thesis).

Παπαναστασίου, Α. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ.

Παπαχαρισίου, Σ. Θ. (2009). Φυσικοί κίνδυνοι. Διαχείριση φυσικών κινδύνων. Εφαρμογή εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).

Πατσίκας, Χ. (2017). Έρευνα εκτίμησης-πρόβλεψης της βροχόπτωσης στην περιοχή της Θεσσαλίας. Study of rainfall estimation-prediction in the area of Thessaly. Προ/Μεταπτυχιακές Διατριβές στη Βιβλιοθήκη Θεόφραστος του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ.

Πέππας, Α. (2001). Προσομοίωση υδατικών πόρων και χρήσεων νερού στη Θεσσαλία. Διπλωματική εργασία, 150.

Σουλιώτης, Ν. (2018). Στοιχεία κινδύνου πλημμυρών και κατολισθήσεων στο Δήμο Καρπενησίου. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Τεχνική Γεωλογία Ι, Ηλεκτρονικές Σημειώσεις Ασκήσεων, 6^η διάλεξη, «Κατολισθήσεις, ευστάθεια πρανών – καθιζήσεις Α», (2005), Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.

Τζαφτάνη, Φ. Σ. (2013). Τα αίτια και ο μηχανισμός λειτουργίας των κατολισθητικών φαινομένων στις ορεινές λεκάνες απορροής των χειμαρρικών ρευμάτων του Ελλαδικού χώρου (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Adamopoulos, I., Frantzana, A., & Syrou, N. (2024, May). 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). In *Medical Sciences Forum* (Vol. 25, No. 1, p. 7). MDPI.

Adolphe, K., Gonçalves, A. O., Gampio, M. U., Florent, B., & Lacaba, R. G. (2022). Environmental Protection Measures Against Landslides Impacts Caused by Slope Instability. *International Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 4(1), 7-15.

Akosah, S., Gratchev, I., Kim, D. H., & Ohn, S. Y. (2024). Application of Artificial Intelligence and Remote Sensing for Landslide Detection and Prediction: Systematic Review. *Remote Sensing*, 16(16), 2947.

Alamanis, N., & Chouliaras, I. (2018). Environmental Impacts of Slope Failure: Protection Measures Against Landslides. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, 5(3), 176-191.

Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58, 21-44.

Alexopoulos, J., Dilalos, S., Mitsika, G. S., Vassilakis, E., & Poulos, S. E. (2019, September). A geophysical approach to the phenomenon of ground fissures at the East Thessaly basin (Greece). In *25th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics* (Vol. 2019, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.

Apostolidis, E., & Koukis, G. (2013). Engineering-geological conditions of the formations in the Western Thessaly basin, Greece. *Open Geosciences*, 5(3), 407-422.

Argyarakis, P., Ganas, A., Valkaniotis, S., Tsioumas, V., Sagias, N., & Psiloglou, B. (2020). Anthropogenically induced subsidence in Thessaly, central Greece: new evidence from GNSS data. *Natural Hazards*, 102, 179-200.

Bathrellos, G. D., Kalivas, D. P., & Skilodimou, H. D. (2009). GIS-based landslide susceptibility mapping models applied to natural and urban planning in Trikala, Central Greece. *Estud Geol*, 65(1), 49-65.

Bibentyo, T. M., Dille, A., Depicker, A., Smets, B., Vanmaercke, M., Nzolang, C., ... & Dewitte, O. (2024). Landslides, bedrock incision and human-induced environmental changes in an extremely rapidly formed tropical river gorge. *Geomorphology*, 449, 109046.

Blatt, H., Tracy, R. J., & Owens, B. E. (2006). *Petrology: Igneous, Sedimentary, and Metamorphic*. W.H. Freeman.

Bobrowsky, P., & Highland, L. (2013). *The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides: A landmark publication for landslide education and preparedness* (pp. 75-84). Springer Berlin Heidelberg.

Büttner, G. (2014). CORINE land cover and land cover change products. In *Land use and land cover mapping in Europe: practices & trends* (pp. 55-74). Dordrecht: Springer Netherlands.

Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard. *Natural Hazards*.

Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*.

Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996), *Landslide Types and Processes*, Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247: 36-75

Cuanalo Campos Oscar Andrés, Gabriel Polanco Sotomayor (2023) Landslides Rainfall One of the Main Triggering Factors in the Mountainous Regions of Puebla, Mexico. *Journal of Civil Engineering Research & Technology*. SRC/JCERT-148. DOI: [doi.org/10.47363/JCERT/2023\(5\)147](https://doi.org/10.47363/JCERT/2023(5)147)

Cui, Y., Chen, C., Zhu, L., Xu, C., Xu, M., & Zheng, J. (2024). Spatial distribution law of landslides and landslide susceptibility assessment in the Eastern Himalayan Syntaxis Region. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, qjegh2023-144.

Culshaw, M. G. (1997). *Engineering Geology and the Environment*, Marinos, Koukis, Tsiambaos & Stournaras (Eds.) © 2001 Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 90 5410 882 7 *Engineering geology in urban planning and management: A review. Engineering Geology and the Environment*, 5, 3729.

Depicker, A., Govers, G., Jacobs, L., Vanmaercke, M., Uwihirwe, J., Campforts, B., ... & Dewitte, O. (2024). Mobilization rates of landslides in a changing tropical environment: 60-year record over a large region of the East African Rift. *Geomorphology*, 454, 109156.

Dikau, R. (1996). *Landslide recognition: identification, movement and courses*. (No Title).

Ercanoglu M, Gokceoglu C, Van Asch TVJ (2004) Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Nat Hazards* 32.

Fossen, H. (2016). *Structural Geology*. Cambridge University Press.

Gallardo, M., & Cocero, D. (2023). Using the European CORINE Land Cover Database: A 2011–2021 Specific Review. In *Sustainable Development Goals in Europe* (pp. 303-325). Springer, Cham.

Ganas, A., Valkaniotis, S., Briole, P., Serpetsidaki, A., Kapetanidis, V., Karasante, I., ... & Sokos, E. (2021). Domino-style earthquakes along blind normal faults in Northern Thessaly (Greece): Kinematic evidence from field observations, seismology, SAR interferometry and GNSS. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 58, 37-86.

Gupta, R. P. (2017). *Remote sensing geology*. Springer.

Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). *The landslide handbook-A guide to understanding landslides* (No. 1325). US Geological Survey.

Hong, Y., Adler, R. & Huffman, G. Use of satellite remote sensing data in the mapping of global landslide susceptibility. *Nat Hazards* 43, 245–256 (2007).
<https://doi.org/10.1007/s11069-006-9104-z>

Janaki, V. & Reddy, M. & Kumar, K. & Chandra, B. & Bindu, O.S.D.. (2024). Remote Sensing based Early Warning Systems for Detection and Assessment of Landslides: A Case Study of Himachal Pradesh, India. *Disaster Advances*. 17. 48-60. 10.25303/173da048060.

Kaushal, A., & Sehgal, V. K. (2023, August). Landslide Susceptibility Detection Using ResNet. In *2023 3rd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON)* (pp. 1-5). IEEE.

Kavoura, K., Nikolakopoulos, K. G., & Sabatakakis, N. (2014, October). Landslide monitoring using airphotos time series and GIS. In *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications V* (Vol. 9245, pp. 24-31). SPIE.

Kavoura, K., & Sabatakakis, N. (2020). Investigating landslide susceptibility procedures in Greece. *Landslides*, 17(1), 127-145.

King, D., Jamagne, M., Daroussin, J., Vanmechelen, L., Van Ranst, E., Hollis, J.M., Thomasson, A.J. and Jones, R.J.A., A geographical knowledge database on soil properties for environmental studies. Final Report of EC Contract No. 3392004 November 1994 DGXI, Brussels.

Klein, C., & Philpotts, A. (2012). *Earth Materials: Introduction to Mineralogy and Petrology*. Cambridge University Press.

Klose, M. (2015). *Landslide databases as tools for integrated assessment of landslide risk*. Springer.

Konti, C., & Vatalis, K. I. (2022). A Geospatial Assessment Framework of Seismic and Landslide Risk Using GIS. *International Journal of Applied Geospatial Research (IJAGR)*, 13(1), 1-22.

Kokotini, F., Alamanis, N., Papageorgiou, G., Paschalis, E., & Chrysanidis, T. (2021, November). In site geotechnical investigations in the city of Larissa and influence on the construction environment. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 899, No. 1, p. 012034). IOP Publishing.

Kontoes, C., Alatza, S., Chousianitis, K., Svigkas, N., Loupasakis, C., Atzori, S., & Apostolakis, A. (2022). Coseismic surface deformation, fault modeling, and Coulomb stress changes of the March 2021 Thessaly, Greece, earthquake sequence based on InSAR and GPS data. *Seismological Society of America*, 93(5), 2584-2598.

Kyriou, A., & Nikolakopoulos, K. (2018). Assessing the suitability of Sentinel-1 data for landslide mapping. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 402-411.

Lampert, J., Pham, L., Le, C., Schlögl, M., & Schindler, A. (2024). Utilizing deep neural networks for landslide detection and segmentation in remote sensing imagery (No. EGU24-20698). Copernicus Meetings.

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

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons Inc, New York.

Lyell, C. (1830). *Principles of Geology*. John Murray.

Ma, P., Chen, L., Yu, C., Zhu, Q., & Ding, Y. (2023). Dynamic landslide susceptibility mapping over recent three decades to uncover variations in landslide causes in subtropical urban mountainous areas. *arXiv preprint arXiv:2308.11929*.

Manakos, I., Karakizi, C., Gkinis, I., & Karantzalos, K. (2017). Validation and inter-comparison of spaceborne derived global and continental land cover products for the Mediterranean region: the case of Thessaly. *Land*, 6(2), 34.

Matziaris, V., Ferentinou, M., Angelopoulou, O., Karanasiou, S., & Sakellariou, M. (2007). Landslide hazard analysis-a case study in Kerasia village (prefecture of Karditsa). *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 40(4), 1710-1721.

Marinos, A. G., Koukis, G., Tsiambaos, G., & Stournaras, G. (Eds.). (1997). *Engineering Geology and the Environment*. Balkema.

Marte, R., Ausweger, G., Schweiger, H. F., Seiwald, S., Kainz, F., & Breymann, H. (2021). Sicherheitsbetrachtungen für einen durch eine Massenbewegung beeinträchtigten Speicher. *Geomechanics and Tunnelling*, 14(2), 158-172.

Martinello, C., Delchiaro, M., Iacobucci, G., Cappadonia, C., Rotigliano, E., & Piacentini, D. (2024). Exploring the geomorphological adequacy of the landslide susceptibility maps: A test for different types of landslides in the Bidente river basin (northern Italy). *Catena*, 238, 107835.

Meng, Q. (2023). Remote Sensing Data Preprocessing Technology. In *Remote Sensing of Urban Green Space* (pp. 9-26). Singapore: Springer Nature Singapore.

Miccadei, E., Carabella, C., & Paglia, G. (2022). Landslide Hazard and Environment Risk Assessment. *Land*, 11(3), 428.

Ntelis, G., Maria, S., & Efthymios, L. (2019). Landslide susceptibility estimation using GIS. Evritania prefecture: a case study in Greece. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 7(8), 206-220.

Panagos P., Van Liedekerke M., Jones A., Montanarella L., “European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements”; (2012) *Land Use Policy*, 29 (2), pp. 329-338. doi:10.1016/j.landusepol.2011.07.003

Panagos, P., Van Liedekerke, M., Borrelli, P., Köninger, J., Ballabio, C., Orgiazzi, A., Lugato, E., Liakos, L., Hervas, J., Jones, A. Montanarella, L. (2022). European Soil Data Centre 2.0: Soil data and knowledge in support of the EU policies. *European Journal of Soil Science*, 73(6), e13315. DOI: 10.1111/ejss.13315

European Soil Data Centre (ESDAC), esdac.jrc.ec.europa.eu, European Commission, Joint Research Centre

- Papatheodorou, K., Tzanou, E., Maftai, C., Aksoy, H., Kirca, O., & Adler, M. J. (2015). Earthquake, Landslide and Flood Disaster Prevention: the SciNetNatHaz project.
- Patel, A. B., & Bakshi, V. (2024). Determining Land Induced Factors for Landslide Susceptibility in Indian Cities. In *Landslide: Susceptibility, Risk Assessment and Sustainability: Application of Geostatistical and Geospatial Modeling* (pp. 243-266). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Prior, D. B., & Coleman, J. M. (1984). Submarine slope instability. In "Slope Instability" (D. Brunsten, and DB Prior, eds.).
- Sato, H. P., Hasegawa, H., Fujiwara, S., Tobita, M., Koarai, M., Une, H., & Iwahashi, J. (2007). Interpretation of landslide distribution triggered by the 2005 Northern Pakistan earthquake using SPOT 5 imagery. *Landslides*, 4, 113-122.
- Sboras, S., Pavlides, S., Kiliass, A., Galanakis, D., Chatziioannou, A., & Chatzipetros, A. (2022). The geological structure and tectonic complexity of northern Thessaly that hosted the March 2021 seismic crisis. *Geotechnics*, 2(4), 935-960.
- Singh, P., Maurya, V., & Dwivedi, R. (2021, July). Pixel based landslide identification using Landsat 8 and GEE. In *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS* (pp. 8444-8447). IEEE.
- Skempton, A. W., & Hutchinson, J. (1969). Stability of natural slopes and embankment foundations. In *Soil Mech & Fdn Eng Conf Proc/Mexico/*.
- Strzabala, K., Cwiakala, P., & Puniach, E. (2024). Identification of Landslide Precursors for Early Warning of Hazards with Remote Sensing. *Remote Sensing*, 16(15), 2781.
- Soleimani, F., Shirani, K., Asgari, S., & Hazbavi, Z. (2024). Landslide detection and monitoring using remote sensing approach. In *Remote Sensing of Soil and Land Surface Processes* (pp. 345-355). Elsevier.
- Tiwari, B., Sassa, K., Bobrowsky, P. T., & Takara, K. (Eds.). (2020). Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk: Volume 4 Testing, Modeling and Risk Assessment. Springer Nature.
- Varnes, D. J. (1978). Landslides-Analysis and Control. *National Academy of Sciences, Transportation Board Special Report, 176*, 11-33.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. *Special report, 176*, 11-33.

Varnes D.J., (1984). "Landslide Hazard Zonation: a renew of principles and practice", Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards No 3.

Von Terzaghi, K. (1950). Mechanisms of landslides. Geotechnical Society of America, Berkeley, 83-125.

Wehrmann, T. (2007). Automatisierte Klassifikation von Landnutzung durch Objekterkennung am Beispiel von CORINE Land Cover (Doctoral dissertation, Universität Würzburg).

Wilson, M. (2001). Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach. Springer.

Zachos, J. C., Pagani, M., Sloan, L. C., Thomas, E., & Billups, K. (2001). "Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present." *Science*, 292(5517), 686-693.

Zaruba G., Mencl V., (1976). Engineering geology. Elsevier. Amsterdam. 504pp.

Záruba, Q., & Mencl, V. (1982). Landslides and their control. *Developments in Geotechnical Engineering*, 31, 324.

Zhao, M., Zhong, Z., He, K., Ren, H., & Zhou, H. (2023, July). Design and Implementations of Management System of Satellite Remote Sensing Data. In 2023 International Conference on Data Science and Network Security (ICDSNS) (pp. 1-6). IEEE.

European Soil Data Centre (ESDAC). European Soil Database. Joint Research Centre (JRC).

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Geological and Soil Data Resource

Ιστοσελίδες

[Οικισμοί Θεσσαλία 0-250 - Übersicht \(arcgis.com\)](#) Κέντρο Ψηφιακής Γεωγραφικής Εκπαίδευσης - ΠΤΔΕ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη. (Δεδομένα: Shapefile Οικισμών)

<https://www.thessaly.gov.gr/>

<https://census2021results.statistics.gr/perifereies/thessalia>

<https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html>

<https://land.copernicus.eu/en/map-viewer?dataset=0407d497d3c44bcd93ce8fd5bf78596a>

Copernicus (Δεδομένα: tif μ για Χρήσεις γης)

<https://geodata.gov.gr/en/group/boundaries>

<https://geodata.gov.gr/en/dataset/orthophotographies-gia-to-sunolo-tes-ellados>

<https://geodata.gov.gr/en/dataset/oria-demon-kapodistriakoi>

<https://geodata.gov.gr/en/dataset/udrographiko-diktuo>

<https://earthexplorer.usgs.gov/> U.S. Geological Survey (Δεδομένα: .tif, για DEM και δορυφορικές εικόνες Landsat8)

<https://geodata.gov.gr/dataset/udatika-diamerismata-eidike-grammateia-udaton> Ειδική Γραμματεία Υδάτων (Δεδομένα: shapefile Υδατικά Διαμερίσματα)

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/legend-files> European Soil Data Centre (ESDAC). European Soil Database. Joint Research Centre (JRC). (Δεδομένα: shapefile γεωλογικά δεδομένα)

https://esdac.jrc.ec.europa.eu/tmp_dataset_access_req_89743#tabs-0-filters=1

<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-reference-grids-2/gis-files/greece-shapefile>

[Σημειώσεις Ασκήσεων Τεχνική Γεωλογία Ι, Ε.Μ.Π.](#)

https://data.humdata.org/dataset/hotosm_grc_roads?

<https://www.hotosm.org/>

<https://geodata.gov.gr/en/dataset/oikismoι>

<https://www.statistics.gr/digital-cartographical-data>

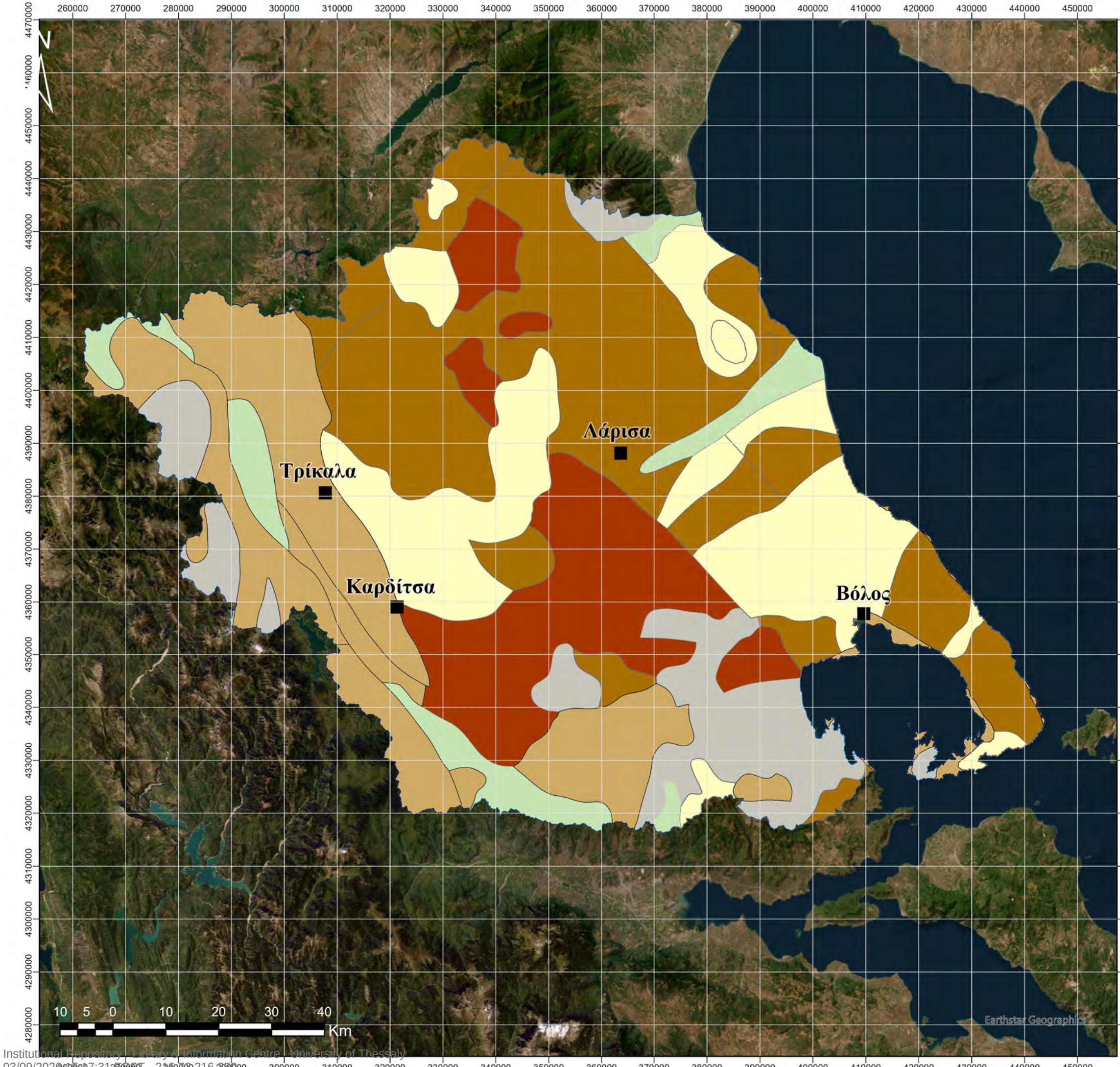
<https://www.bgr.bund.de/> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).
Geological and Soil Data Resource (Δεδομένα: shapefile γεωλογικά δεδομένα)

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/gisco_Geographical_information_maps/introduction

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem>

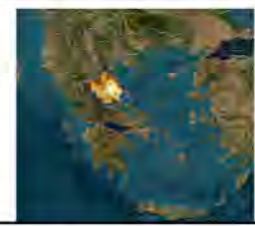
<https://wfdver.ypeka.gr/el/home-gr/>

8 Παράρτημα



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δ.Π.Μ.Σ
Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης
Περιβαλλοντικών Κινδύνων

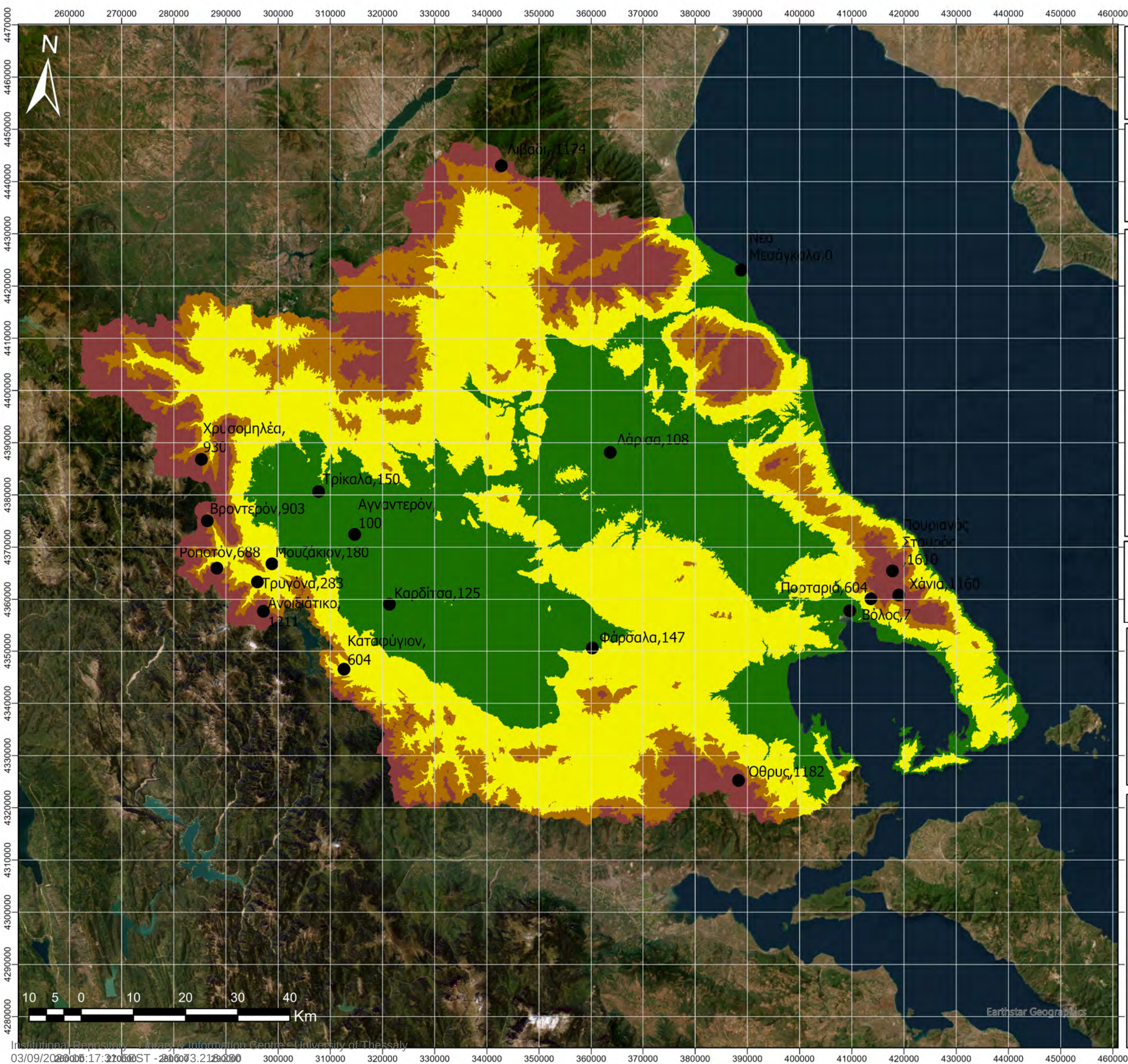
Χάρτης:
Γεωλογικοί Σχηματισμοί
κατά BGR (Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe)



ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
Γεωλογικοί σχηματισμοί	
	Κροκαλοπαγή
	Ασβεστόλιθος
	Μαρμαροπαγή
	Περιδοτίτης
	Γνευσιοσχιστολιθικά
	Μη διακριτά

Κλίμακα 1:70000
Σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ'87

Διπλωματική Εργασία
Διερεύνηση ευαισθησίας κατολισθητικών
φαινομένων με χρήση γεωγραφικών
συστημάτων πληροφοριών και
τηλεπισκοπικών δεδομένων
Ονοματεπώνυμο: Σουλβιάννα Ερεσίου
ΑΜ: 00041
Βόλος Οκτώβριος 2024





Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δ.Π.Μ.Σ
Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης
Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Χάρτης: Ταξινόμηση Αναγλύφου κατά Dikau

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Ταξινόμηση Αναγλύφου

Περιοχή

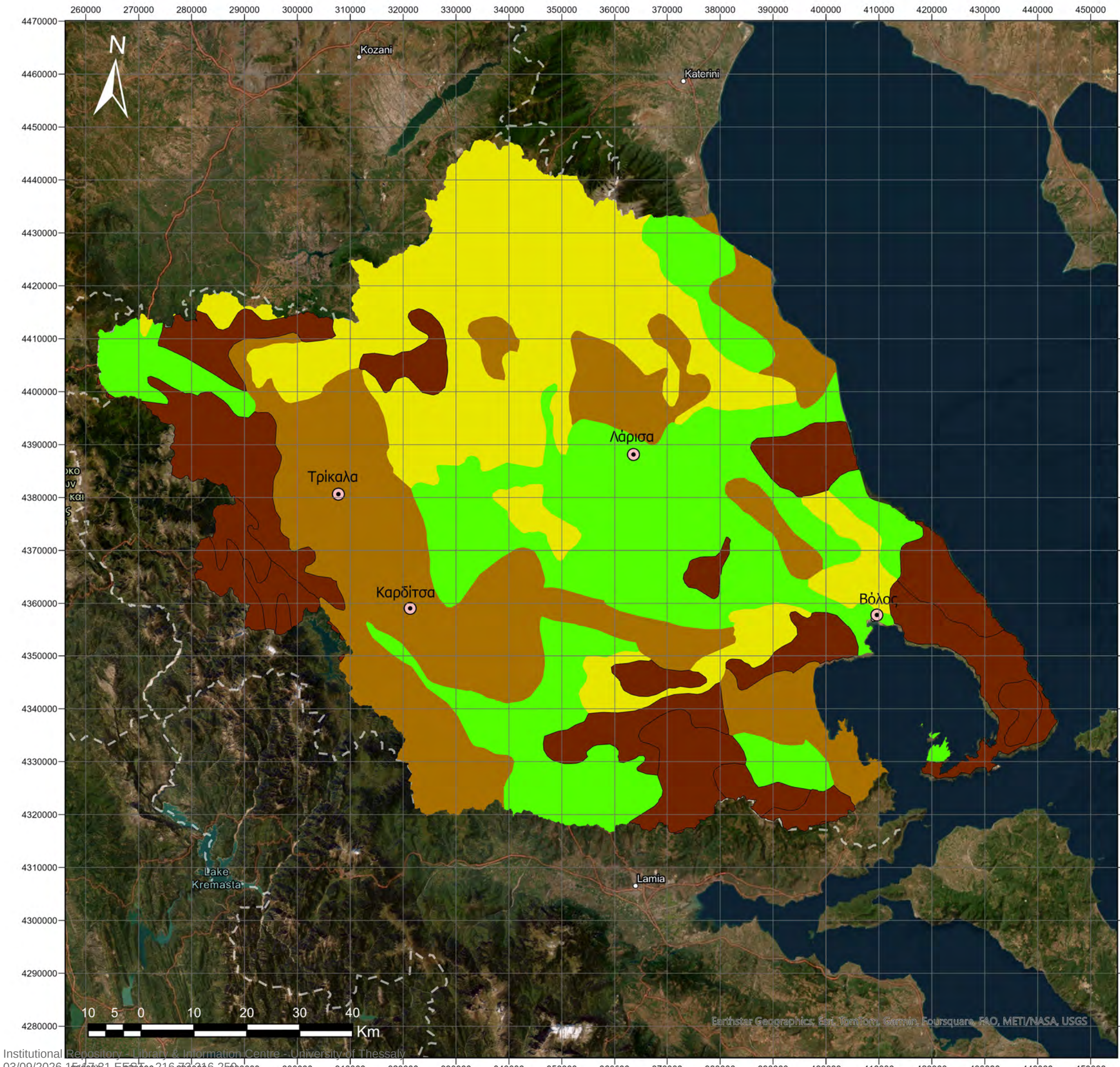
	Πεδινή (<150m)
	Λοφώδης (150-600m)
	Ημιορεινή (600-900m)
	Ορεινή (>900m)

Κλίμακα 1:70000
Σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ'87



Διπλωματική Εργασία
Διερεύνηση ευαισθησίας
κατολισθητικών φαινομένων με
χρήση γεωγραφικών συστημάτων
πληροφοριών και τηλεπισκοπικών
δεδομένων

Ονοματεπώνυμο: Σουλβιάννα Ερεσσίου
ΑΜ: 00041
Λάρισα 2023-2024



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δ.Π.Μ.Σ
Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης
Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Χάρτης:
Διαβρωσιμότητα εδαφών
κατά
European Soil Data Centre
(ESDAC)

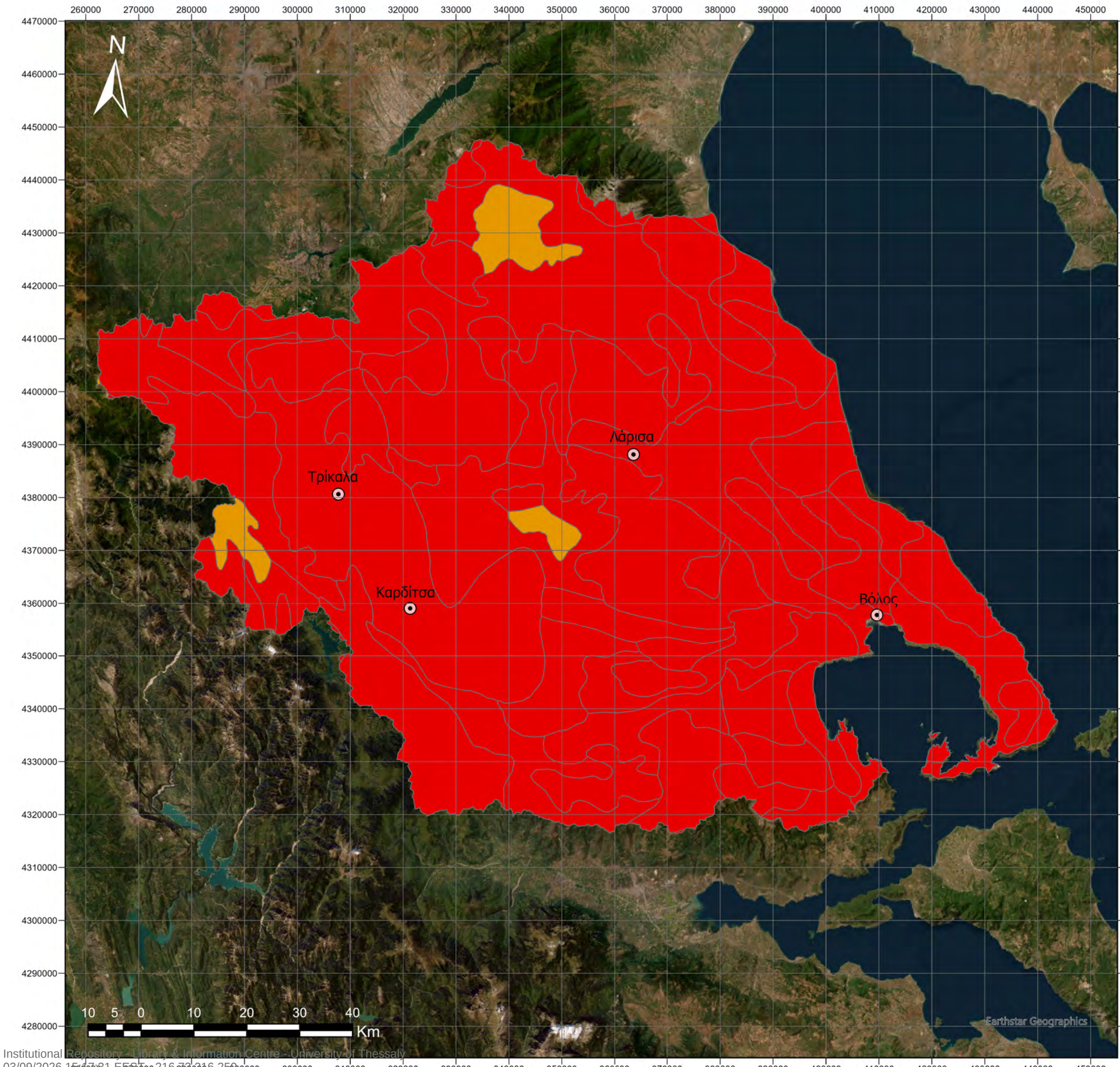
ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Διάβρωση
Κλάσεις

	1-Πολύ χαμηλή Διάβρωση
	2-Χαμηλή Διάβρωση
	3-Μέτρια Διάβρωση
	4-Υψηλή Διάβρωση
	5-Πολύ υψηλή Διάβρωση

Κλίμακα 1:70000
Σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ'87

Διπλωματική Εργασία
Διερεύνηση ευαισθησίας κατολισθητικών
φαινομένων με χρήση γεωγραφικών
συστημάτων πληροφοριών και
τηλεπισκοπικών δεδομένων

Ονοματεπώνυμο: Σουλβιάννα Ερεσσίου
ΑΜ: 00041
Βόλος Οκτώβριος 2024





Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δ.Π.Μ.Σ
Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης
Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Χάρτης:
AWC :
Ικανότητα αποθήκευσης νερού
ανώτερης εδαφικής στρώση
κατά ESDAC

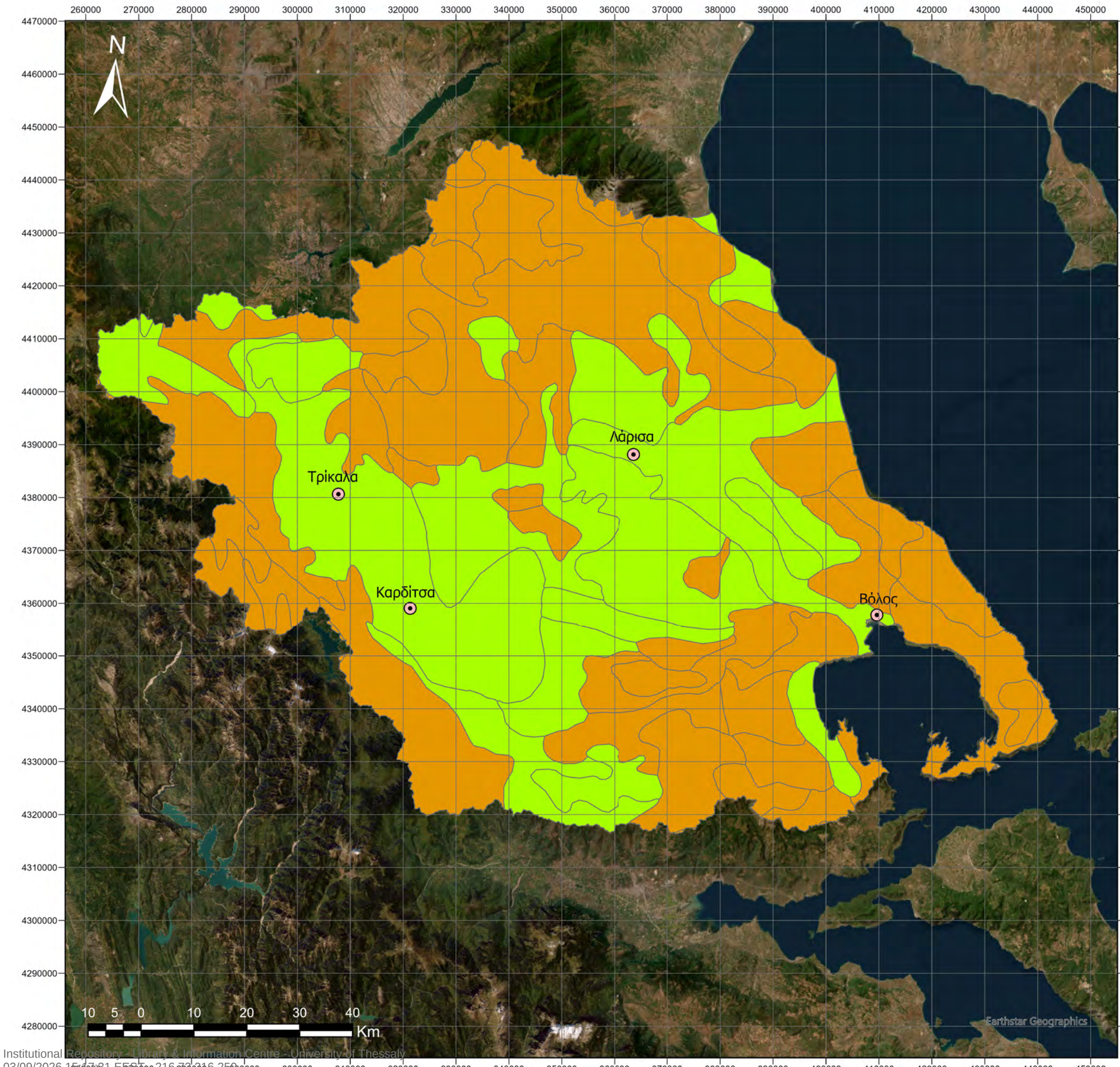
ΥΠΟΜΝΗΜΑ
AWC

	Μέτρια (100 - 140 mm/m)
	Υψηλή (140 - 190 mm/m)

Κλίμακα 1:70000
Σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ'87

Διπλωματική Εργασία
Διερεύνηση ευαισθησίας κατολισθητικών
φαινομένων με χρήση γεωγραφικών
συστημάτων πληροφοριών και
τηλεπισκοπικών δεδομένων

Ονοματεπώνυμο: Σουλβιάννα Ερεσσίου
ΑΜ: 00041
Βόλος Οκτώβριος 2024



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δ.Π.Μ.Σ
Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης
Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Χάρτης:
Βάθος της αδιαπέρατης
στρώσης σε cm
κατά
European Soil Data Centre



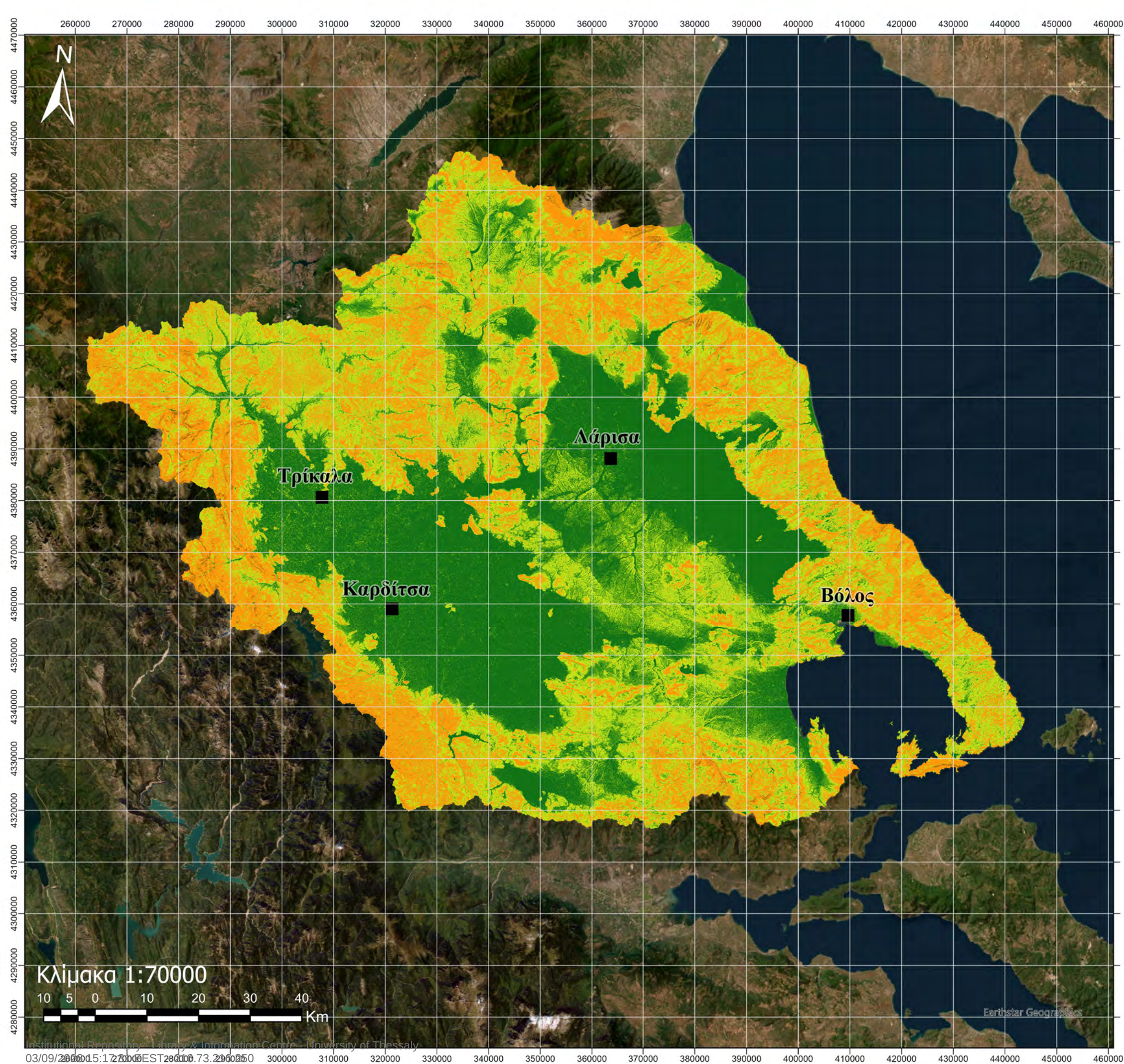
ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Βάθος αδιαπέρατης
στρώσης

Ρηχό (< 80 cm)

Βαθύ (> 80 cm)

Κλίμακα 1:70000
Σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ'87

Διπλωματική Εργασία
Διερεύνηση ευαισθησίας κατολισθητικών
φαινομένων με χρήση γεωγραφικών
συστημάτων πληροφοριών και
Ονοματεπώνυμο: Σουλβιάννα Ερεσσίου
ΑΜ: 00041
Βόλος Οκτώβριος 2024



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δ.Π.Μ.Σ
Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης
Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Χάρτης:
Ταξινόμηση κλίσεων
κατα Demek



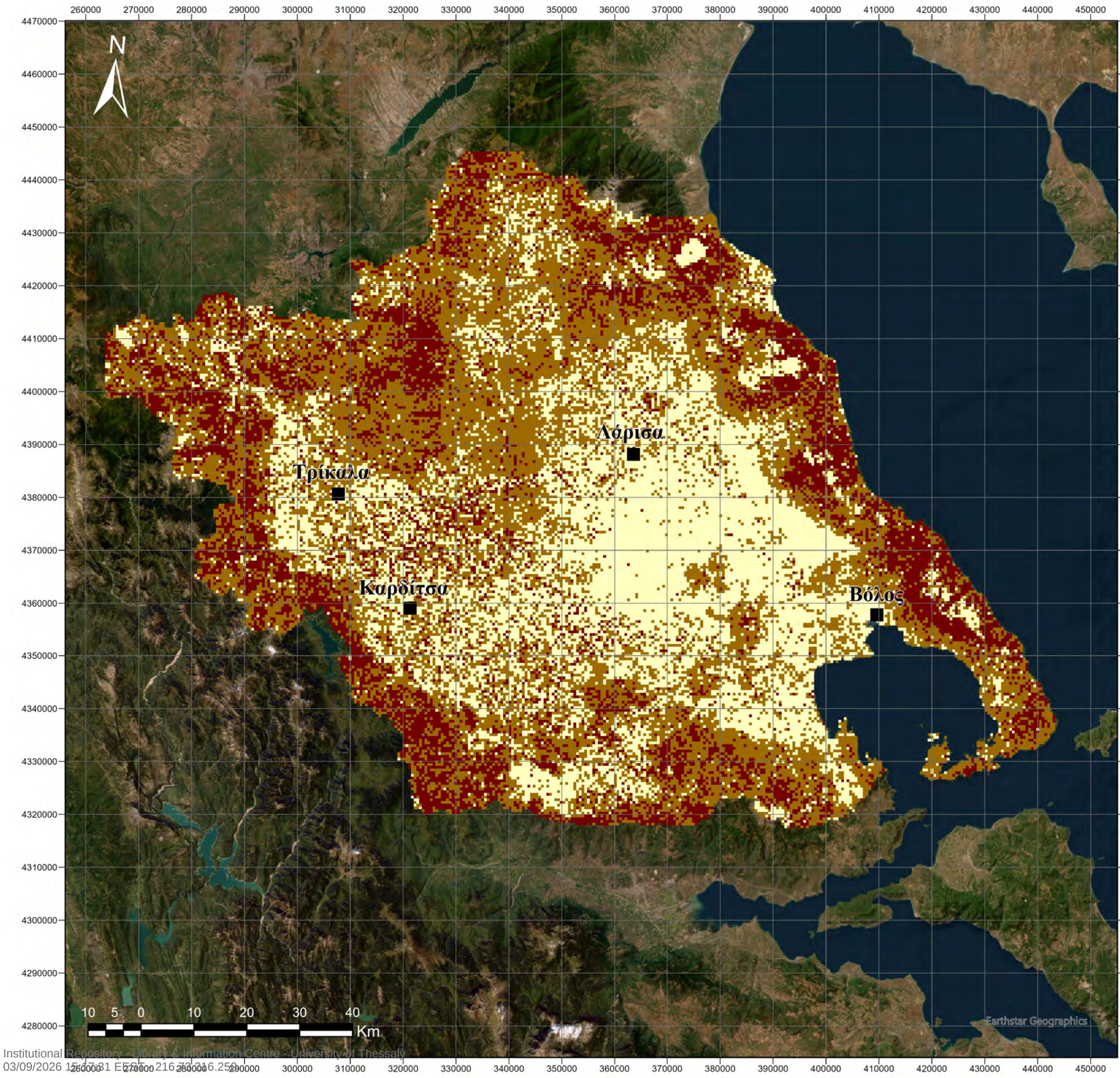
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	Κλίση 0° – 2°
	Κλίση 2° – 5°
	Κλίση 5° – 15°
	Κλίση 15° – 35°
	Κλίση 35° - 55°
	Κλίση >55°

Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση ευαισθησίας
κατολισθητικών φαινομένων με χρήση
γεωγραφικών συστημάτων
πληροφοριών και τηλεπισκοπικών
δεδομένων

Ονοματεπώνυμο: Σουλβιάννα Ερεσσίου
ΑΜ: 00041
Λάρισα 2023-2024



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δ.Π.Μ.Σ
Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης
Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Χαρτογράφηση Ευαισθησίας
Κατολισθήσεων
στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας

Landslide Susceptibility Mapping



ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Επικινδυνότητα Κατολισθήσεων

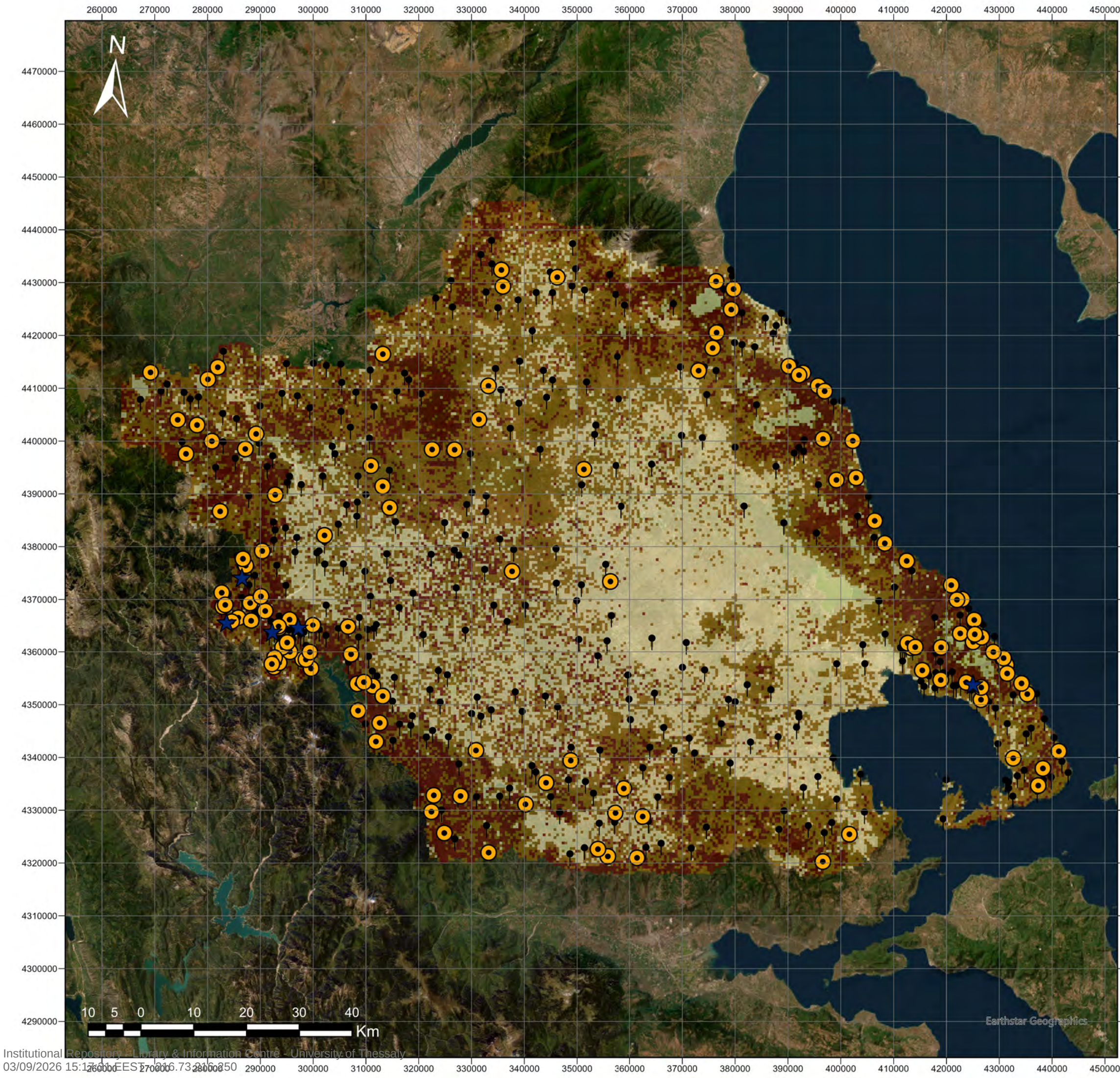
	Χαμηλή Επικινδυνότητα
	Μέτριος Κίνδυνος
	Υψηλός Κίνδυνος

Κλίμακα 1:70000

Σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ'87

Διπλωματική Εργασία
Διερεύνηση ευαισθησίας κατολισθητικών
φαινομένων με χρήση γεωγραφικών
συστημάτων πληροφοριών και
τηλεπισκοπικών δεδομένων

Ονοματεπώνυμο: Σουλβιάννα Ερεσσίου
ΑΜ: 00041
Βόλος Οκτώβριος 2024



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δ.Π.Μ.Σ
Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης
Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Χαρτογράφηση Περιοχών με
Ευαισθησίας Κατολισθήσεων
στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας

Landslide Susceptibility Mapping



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Περιοχές
Επικινδυνότητα Κατολισθήσεων

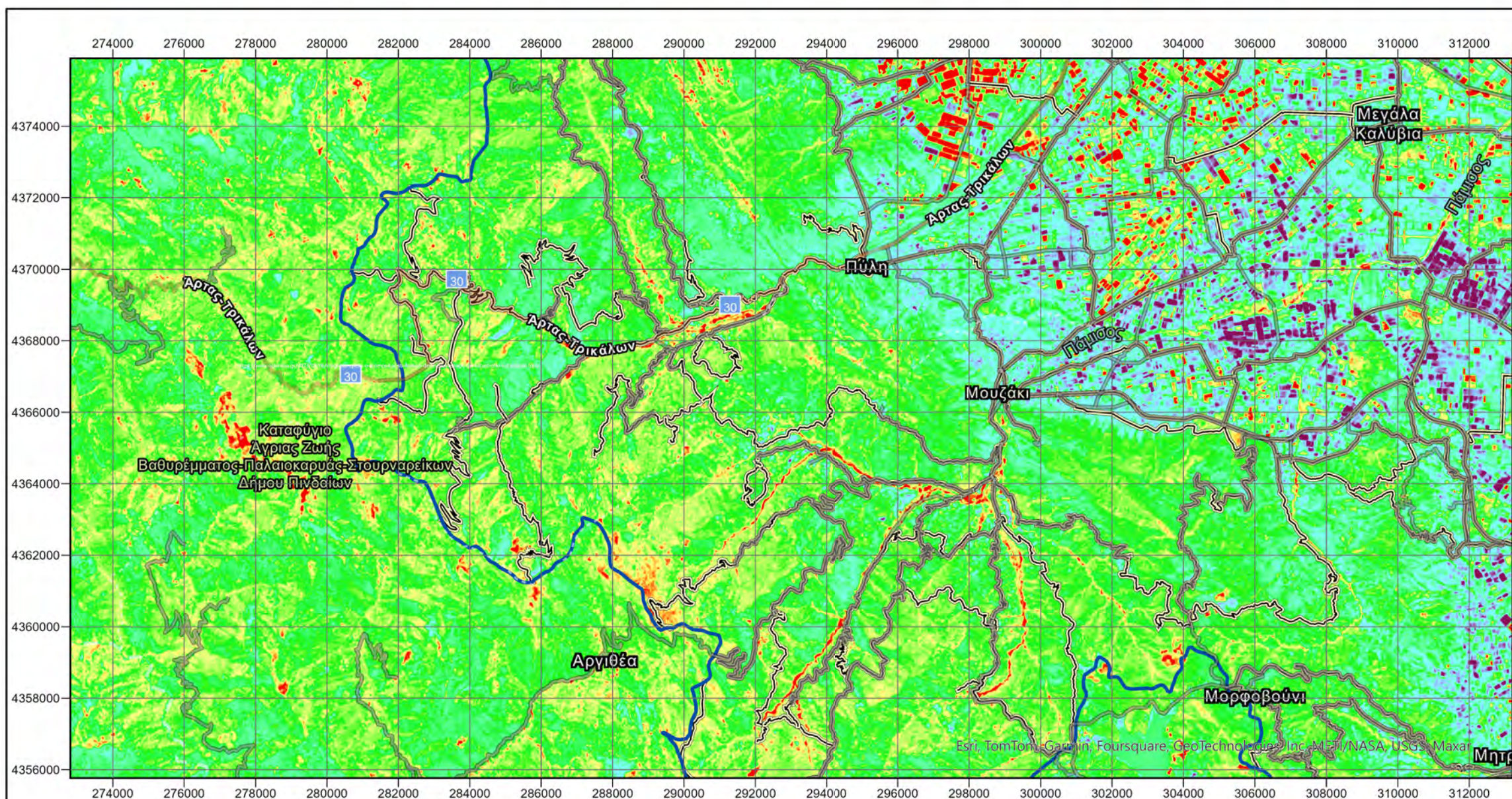
- Μέτρια επικινδυνότητα
- Υψηλή επικινδυνότητα
- ★ Πολύ υψηλή επικινδυνότητα

Κλίμακα 1:70000

Σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ'87

Διπλωματική Εργασία
Διερεύνηση ευαισθησίας κατολισθητικών
φαινομένων με χρήση γεωγραφικών
συστημάτων πληροφοριών και
τηλεπισκοπικών δεδομένων

Ονοματεπώνυμο: Σουλβιάννα Ερεσσίου
ΑΜ: 00041
Βόλος Οκτώβριος 2024



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δ.Π.Μ.Σ
Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης
Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Ανίχνευση Κατολισθήσεων
στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας
Εμφάνιση κατολισθήσεων χρονικής
περιόδου 2019/2023

Landslide Detection



ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Ανίχνευση Κατολίσθησης

 Κατολίσθηση

Κλίμακα 1:140000

Σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ'87

Διπλωματική Εργασία
Διερεύνηση ευαισθησίας κατολισθητικών
φαινομένων με χρήση γεωγραφικών
συστημάτων πληροφοριών και
τηλεπισκοπικών δεδομένων

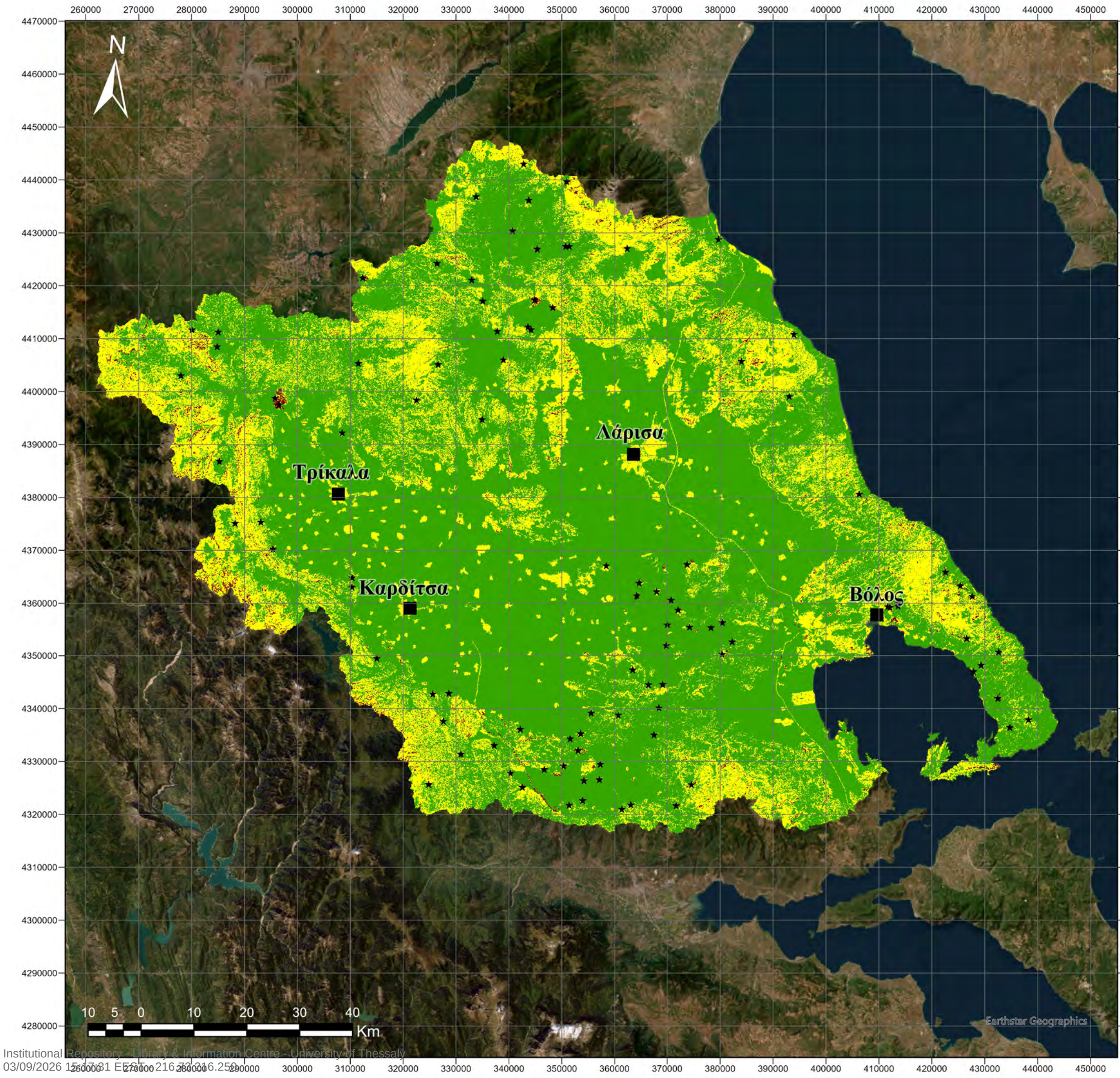
Ονοματεπώνυμο: Σουλβιάννα Ερεσσίου
ΑΜ: 00041
Βόλος Οκτώβριος 2024



Ιούνιος 2019



Οκτώβριος 2023





Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δ.Π.Μ.Σ
Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης
Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Χαρτογράφηση Κινδύνου
Κατολισθήσεων
στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας

Landslide Hazard Mapping



ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Κίνδυνος Κατολισθήσεων

Χαμηλός

Μέτριος

Υψηλός

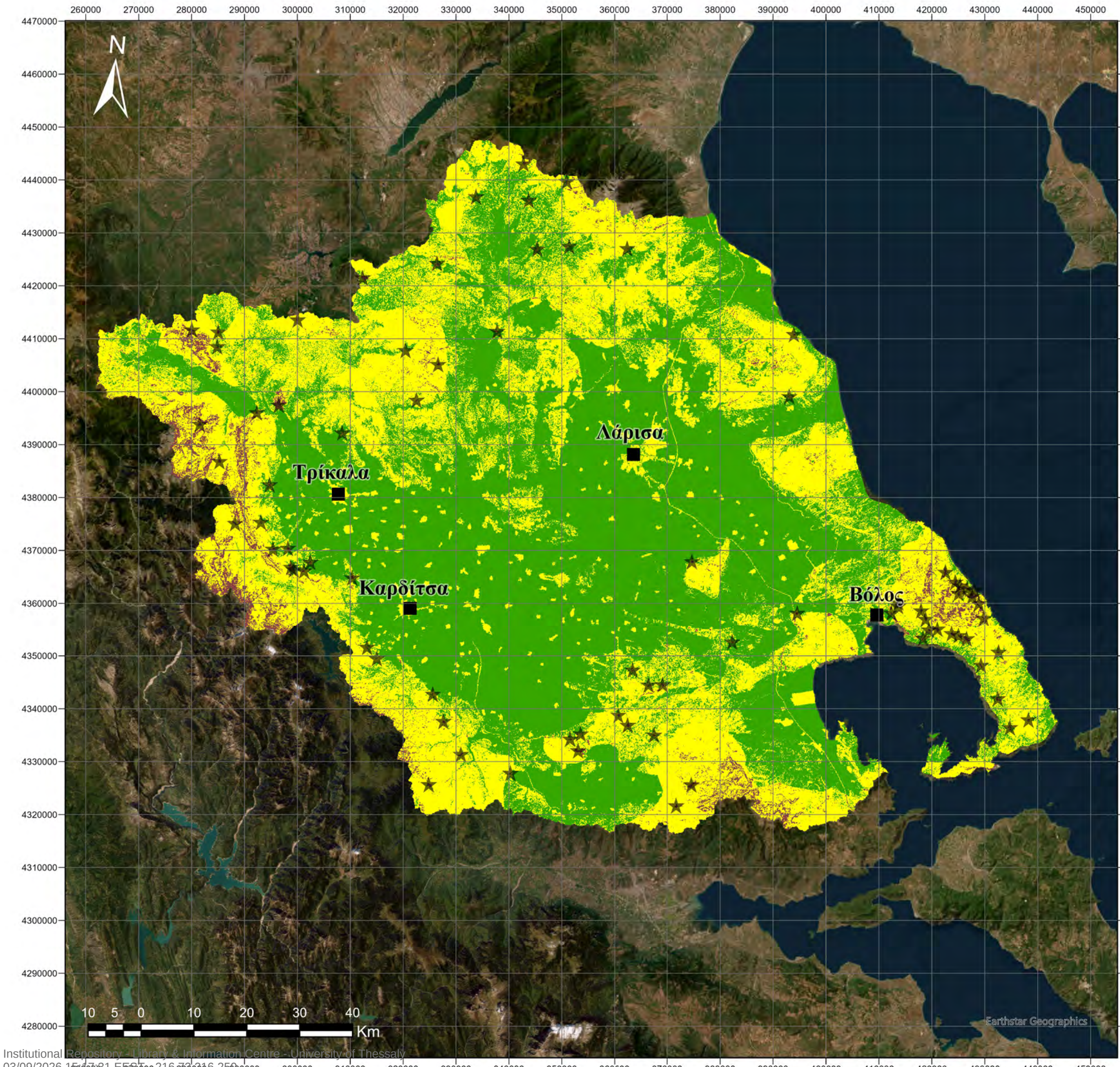
★ Οικισμοί σε κίνδυνο

Σταθμιστές:
NDVI 25%
Κλίση εδάφους 25%
Χρήσεις Γης 35%
DEM 15%

Κλίμακα 1:70000
Σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ'87

Διπλωματική Εργασία
Διερεύνηση ευαισθησίας κατολισθητικών
φαινομένων με χρήση γεωγραφικών
συστημάτων πληροφοριών και
τηλεπισκοπικών δεδομένων

Ονοματεπώνυμο: Σουλβιάννα Ερεσσίου
ΑΜ: 00041
Βόλος Οκτώβριος 2024



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δ.Π.Μ.Σ
Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης
Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Χαρτογράφηση Κινδύνου
Κατολισθήσεων
στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας
Landslide Hazard Mapping



ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Κίνδυνος Κατολισθήσεων

- Χαμηλός
- Μέτριος
- Υψηλός
- ★ Οικισμοί σε κίνδυνο

Σταθμιστές

NDVI 20%	DEM 10%
Κλίση εδάφους 20%	Διαβρωσιμότητα 25%
Χρήσεις Γης 25%	

Κλίμακα 1:70000
Σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ'87

Διπλωματική Εργασία
Διερεύνηση ευαισθησίας κατολισθητικών
φαινομένων με χρήση γεωγραφικών
συστημάτων πληροφοριών και
τηλεπισκοπικών δεδομένων

Ονοματεπώνυμο: Σουλβιάννα Ερεσσίου
ΑΜ: 00041
Βόλος Οκτώβριος 2024