Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΑΘΑΝΑΣΙΑ Δ. ΒΑΣΣΟΥ

Τεχνικογεωλογική θεώρηση και αποτύπωση κατολισθητικών φαινομένων στον οικισμό Ροποτού, Ν. Τρικάλων με τη χρήση ΣΜηΕΑ (UAV)»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2019

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΑΘΑΝΑΣΙΑ Δ. ΒΑΣΣΟΥ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5324

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΡΟΠΟΤΟΥ, Ν. ΤΡΙΚΑΛΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΜηΕΑ (UAV)

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας

Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

Επιβλέπων

Βασίλειος Μαρίνος

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ

© Αθανασία Δ. Βάσσου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2019 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΡΟΠΟΤΟΥ, Ν. ΤΡΙΚΑΛΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΜΗΕΑ (UAV)– *Διπλωματική εργασία*

© Athanasia D. Vassou, School of Geology, Dept. of Geology, 2019
All rights reserved.
Assessment on the engineering geological conditions and mapping of landslide phenomena with the use of UAV, in Ropoto village, Thessaly prefecture.
– *Bachelor Thesis*

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

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

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πρόλογος

Με την εργασία αυτή ολοκληρώνεται ένα σπουδαίο κεφάλαιο στη ζωή μου, μια δύσκολη αλλά και σημαντική περίοδος, καθώς στα πλαίσια απόκτησης του διπλώματος του Γεωλόγου μπόρεσα να αποκτήσω σημαντικές γνώσεις σε έννοιες της τεχνικής γεωλογίας

Κατ' αρχάς θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου και Αναπληρωτή Καθηγητή Τεχνικής Γεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου κ. Βασίλη Μαρίνο, για την ευκαιρία που μου έδωσε να εμπλουτίσω τις γνώσεις μου μέσα από την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας μαζί με την πολύτιμη βοήθειά και επίβλεψη του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της.

Ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα Καραντανέλλη Ευστράτιο που ήταν πρόθυμος να με βοηθήσει και να μου λύσει οποιαδήποτε απορία στην διπλωματική εργασία ιδιαίτερα σε θέματα διαχείρισης λογισμικών τα οποία ήταν απαραίτητα για την ολοκλήρωσή της.

Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ .Βαλκανιώτη Σωτήρη, Δρ. Γεωλόγο του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την πολύτιμη βοήθειά που μου παρείχε στην προχώρηση της διπλωματικής μου εργασίας καθώς οι οδηγίες και συμβουλές του υπήρξαν καταλυτικές στη διαχείριση και διεκπεραίωση των αποτελεσμάτων.

Τέλος έχω την ανάγκη να ευχαριστήσω την οικογένειά και τους φίλους μου για την στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια, καθώς χωρίς την βοήθειά τους δεν θα τα είχα καταφέρει.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Περίληψη

Η κατολίσθηση αποτελεί σημαντικό φυσικό κίνδυνο που περιλαμβάνει μαζική μετακίνηση εδάφους, πετρωμάτων και / ή λάσπης εξαιτίας της δύναμης της βαρύτητας. Τις περισσότερες φορές εκδηλώνονται σταδιακά, αλλά ορισμένες φορές η εκδήλωσή τους είναι απότομη. Είναι ένα φαινόμενο το οποίο, πολλές φορές, δεν είναι προβλέψιμο και δυστυχώς μπορεί να προκαλέσει σημαντικές ζημιές και ανυπολόγιστες οικονομικές απώλειες, επηρεάζοντας πολλές πτυχές της ανθρώπινης ζωής. Οι εκτεταμένες βροχοπτώσεις, οι σεισμοί, η δυσμενής γεωλογία και η ανθρώπινη παρέμβαση είναι μερικοί ενεργοποιητικοί παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν το φαινόμενο της κατολίσθησης. Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, είναι απαραίτητο να μετριαστεί ο κίνδυνος της κατολίσθησης για να διασφαλιστεί η βέλτιστη ασφάλεια. Ως αποτέλεσμα, απαιτούνται νέες μεθοδολογίες για την ανάπτυξη μιας καλύτερης αντίληψης των κινδύνων κατολίσθησης. Με τις πρόσφατες εξελίξεις της τεχνολογίας, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι τηλεανίχνευσης που παρέχουν χρήσιμα τοπογραφικά δεδομένα. Στην παρούσα εργασία, έχουν ληφθεί λεπτομερή δεδομένα εικόνων χρησιμοποιώντας Συστήματα μη Επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV). Τα UAV, επίσης γνωστά ως drones, είναι αεροσκάφη όπου μπορούν να λαμβάνουν εικόνες υψηλής ανάλυσης και να παράγουν μέσω φωτογραμμετρικού λογισμικού, νέφος τρισδιάστατων σημείων, ψηφιακά μοντέλα εδάφους αλλά και αντίστοιχες ορθοφωτογραφίες. Είναι πλέον μια πολύτιμη πηγή δεδομένων με εκτεταμένες εφαρμογές στην επιτήρηση, την επιθεώρηση, τη χαρτογράφηση και την τρισδιάστατη απεικόνιση. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η διερεύνηση και η ανίχνευση πιθανών τοπογραφικών μεταβολών μιας μεγάλης κατολίσθησης με τη χρήση πολλαπλών χρονικών δεδομένων UAV. Προκειμένου όμως να αξιολογηθεί η έκταση και η φύση του προβλήματος απαραίτητη ήταν η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής όπου μελετήθηκαν οι γεωλογικές συνθήκες σε σχέση με τον γεωλογικό χάρτης της περιοχής, το τεκτονικό καθεστώς αλλά εντοπίστηκαν και δομές που συνδέονται με την ολίσθηση. Η κατολίσθηση αυτή εκδηλώθηκε στην κοινότητα του Ροποτού και αποτελεί μεγάλο κίνδυνο, καθώς ένα μεγάλο μέρος του χωριού επηρεάστηκε (πλάτος περίπου 280 μ. και μήκος 750 μ.).Το χωριό Ροποτό ανήκει στον Δήμο Πύλης στο Νομό Τρικάλων στο κεντρικό τμήμα της Ελλάδας και σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη (1:50.000), με τον τίτλο «Μουζάκιον», ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη της Πίνδου (Μουντράκης, 1985). Η γεωλογία της περιοχής ενδιαφέροντος αποτελείται από τους ακόλουθους σχηματισμούς: τον σχηματισμό του φλύσχη ηλικίας Παλαιοκαίνου-Ηωκαίνου (μεταβατικά στρώματα φλύσχη σε αυτή την περίπτωση) που παρουσιάζουν υψηλή ετερογένεια (ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι, ιλυόλιθοι και ψαμμίτης με σχιστόλιθο (Μ. Μαιστρίχτιο-Κ. Παλαιόκαινο) και τον λεπτοστρωματώδη ασβεστόλιθο (Τουρώνιο-Μαιστρίχτιον). Η τεκτονική ανάπτυξη της περιοχής του Ροπότου επηρέασε όλους τους σχηματισμούς και κυρίως τους νεότερους (φλύσχη και μεταβατικούς σχηματισμούς), έτσι δημιουργήθηκαν ισοκλινείς πτυχές καθώς και ανάστροφα ρήγματα. Έτσι, ο σχηματισμός του φλύσχη επηρεάστηκε από τις δυνάμεις συμπίεσης που τον παραμόρφωσαν σε μεγάλο βαθμό. Ζώνες διάτμησης αλλά και μικρότερα ρήγματα παρουσιάζονται επίσης στην περιοχή λόγω της τεκτονικής διαταραχής. Αυτά τα γεωλογικά χαρακτηριστικά οδήγησαν στη δημιουργία πολύ αδύναμων σχηματισμών οι οποίοι συμβάλανε στην εκδήλωση της κατολίσθησης. Οι κερματισμένος ασβεστόλιθος δημιούργησε πολύ διαπερατές ζώνες, έτσι συχνά αναπτύσσονταν πολύ υψηλές πιέσεις νερού ωθώντας προς ολίσθηση. Το γεγονός αυτό, εξηγεί και την παρουσία νερού μεταξύ του φλύσχη και των σχηματισμών του ασβεστόλιθου τα οποία καλύπτονται από στρώματα πλευρικών κορημάτων. Αυτό είχε ως συνέπεια η κατολίσθηση να εκδηλωθεί μετά

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

από 12 ώρες έντονων βροχοπτώσεων με την αστοχούσα μάζα να φτάνει μέχρι και το βάθος των μεταβατικών στρωμάτων. Ως αποτέλεσμα, το μεγαλύτερο μέρος της κεντρικής υποδομής του χωριού κατέρρευσε.

Για την ανίχνευση των επιφανειακών μεταβολών λόγω την κατολίσθησης, απαιτείται έρευνα πεδίου και συνήθως περιλαμβάνει επιτόπου χαρτογράφηση για τον χαρακτηρισμό των γεωμορφολογικών συνθηκών. Επιπρόσθετα, υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που πρέπει να αξιολογούνται συνεχώς όπως είναι η έκταση της κατολίσθησης, η ανίχνευση των δομών που συνδέονται με αυτή όπως είναι οι ρωγμές του εδάφους καθώς και ο η ταχύτητα των μετατοπίσεων που μπορεί να σχετίζονται με την αστοχία. Το τελευταίο, ανάλογα με την κλίμακα του προβλήματος, μπορεί να πάρει πολύτιμο χρόνο, ενώ το ανώμαλο έδαφος μπορεί να περιορίσει την πρόσβαση, επομένως η εκτίμηση της κατολίσθησης δεν θα είναι ολοκληρωμένη. Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο μηχανισμός της κατολίσθησης, πρέπει να μετρηθούν τόσο οι οριζόντιες όσο και οι και κατακόρυφες μετατοπίσεις. Ορισμένες μέθοδοι τηλεανίχνευσης αποτελούν πολύτιμα εργαλεία για την αξιολόγηση αυτή. Επομένως, εκτός από την οπτική ερμηνεία, εικόνες υψηλής ανάλυσης αποτυπώθηκαν από UAV το οποίο παρέχει εξαιρετικά μεγάλη χωρική ανάλυση και ακρίβεια που απαιτείται για την παρακολούθηση μεταξύ διαφορετικών χρονικών αλλαγών. Στην κοινότητα του Ροποτού καταγράφηκαν αρκετές μετακινήσεις τις τελευταίες δεκαετίες. Η πρώτη μετακίνηση πραγματοποιήθηκε το 1963, ενώ η τελευταία επεισοδιακή κατολίσθηση συνέβη το 2012. Από τότε η κατολίσθηση εξελίσσεται σταδιακά χωρίς έντονες μετακινήσεις. Σε αυτή την έρευνα, προκειμένου να εντοπιστούν αυτές οι αλλαγές, συγκρίθηκαν ψηφιακά μοντέλα εδάφους από διαφορετικές χρονικές περιόδου της περιοχής.

Αρχικά, για τον εντοπισμό αυτών των μετακινήσεων απαιτούνται δεδομένα πριν από την καταστροφή. Τα δεδομένα αυτά διατέθηκαν από το Κτηματολόγιο της Ελλάδας όπου ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEM) - LSO (Large Scale Orthophotos) δημιουργήθηκαν με τη χρήση αεροσκαφών εξοπλισμένων με οπτικούς αισθητήρες υψηλής τεχνολογίας μεταξύ των ετών 2007 και 2009 με ανάλυση στα 5 μ. Αυτά τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους αποτελούν μια εξειδικευμένη βάση δεδομένων που αντιπροσωπεύει το τοπογραφικό ανάγλυφο της επιφάνεια μεταξύ σημείων γνωστού υψομέτρου. Με την παρεμβολή γνωστών στοιχείων υψομέτρου από πηγές όπως οι έρευνες εδάφους και η λήψη φωτογραμμετρικών δεδομένων, μπορεί να δημιουργηθεί ένα ορθογώνιο πλέγμα ψηφιακών μοντέλων. Με τον καθορισμό αυτών των φωτογραμμετρικών προϊόντων κάτω από δύο διαφορετικές διαδικασίες, εξάγονται δύο αποτελέσματα τα οποία και συγκρίνονται. Ως αποτέλεσμα, έχουμε δύο διαφορετικά DEM που αφορούν την ποσοτικοποίηση της ογκομετρικής μεταβολής μεταξύ αυτών των φωτογραμμετρικών προϊόντων που δείχνουν μέρη με πρόσθετο ή μειωμένο υλικό.

Η κατολίσθηση λοιπόν στην κοινότητα του Ροποτού αποτελεί μια ενεργή κατολίσθηση με σταδιακά εξελισσόμενες μετακινήσεις κατά τη διάρκεια των ετών. Ως εκ τούτου, η συνεχής παρακολούθηση της κατολίσθησης είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό της έκτασης, του μεγέθους και του μηχανισμού της, για αξιολογήσεις κινδύνου και ακόμη και για διαχείριση κινδύνου έκτακτης ανάγκης. Τέλος, η ανάγκη εφαρμογής μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) στις εκτιμήσεις των κινδύνων κατολίσθησης αυξάνεται διαρκώς, καθώς παρέχει έναν ασφαλή, γρήγορο και ένα πιθανώς ακριβέστερο τρόπο επιθεώρησης μεγάλων και δύσκολα προσβάσιμων περιοχών απαιτώντας ελάχιστους ανθρώπινους πόρους. Ωστόσο, για τη διεκπεραίωση αυτών των αποτελεσμάτων, η συμβολή και η κριτική αξιολόγηση ενός ειδικού είναι απαραίτητη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Abstract

A landslide constitutes a significant natural hazard that includes mass movement of soil, rocks and/or mud due to the pull of gravity, most of them occurring gradually, but some may be abrupt. It is a phenomenon which most of the times it is not predictable and unfortunately unavoidable and can cause significant casualties and immeasurable economic losses, effecting many aspects of human life. Extensive rainfall, earthquakes, unfavorable geology and human intervention are some potential triggering factors that can induce a landslide event. According the aforementioned, it is necessary to mitigate the landslide hazard to ensure optimum security. As a result, new methodologies are required to develop a better perception of landslide hazards. With the recent advances of technology, various remote sensing methods have been developed providing useful topographic data. In the current study, detailed imagery data has been obtained by using Unmanned Aerial Vehicles (UAV). The UAVs, also known as drones, are aircrafts where are capable of taking high-resolution images and producing via photogrammetric software, precise 3D point cloud, Digital Surface Models and respective Orthophoto. Valuable data source with extended applications on surveillance, inspection, mapping and 3D imaging are now available. The purpose of this study is to investigate and detect potential topographic changes of a mega-landslide by using multi-temporal UAV data. However, in order to estimate the extent of the problem, field mapping was needed, including geological mapping, defining the tectonic regime and also the structures related to the landslide. The landslide is induced at the community of Ropoto and constitutes a great risk while a large part of the village has been affected (approximately 280m wide and 750m long) (Figure 1). Ropoto village, belongs to the Municipality of Trikala in the Central part of Greece and according to the geological map (1:50.000), with the title “Mouzakion”, belongs to the geotectonic zone of Pindos (Mountrakis, 1985). The geology of the area of interest consists of the following formations: PaleoceneEocene flysch formations (transition flysch units in this case) that present a high heterogeneity (sandstones, conglomerates, limestones, siltstones, shales, marls), transition beds consisted of thick-bedded limestones with sandstone and shale (M. Maastrichtian-L. Paleocene) and the thin-bedded limestone formation (Turonian-M. Maastrichtian). The tectonic development of the Ropoto area affected all of the formations and mainly the newer ones (flysch and transition formations), thus isoclinal folds and thrust faults were created. Flysch has thus suffered from compressional forces being highly deformed. Shear zones and smaller faults are also present in the site specific area due to this tectonic disturbance. These geological characteristics produced very weak rock masses which presented the landslide. Brittle rock formations, such as limestones here, created very permeable zones, so very high pore water pressure is often developed triggering the landslide. The latter, explains the water presence between the flysch and thick-bedded limestone formations covered by scree. Consequently, the landslide occurred after 12 hours of intense rainfall within the weathered mantle of flysch depth of the transition beds. As a result, the greater part of the central village infrastructure massively collapsed.

For the detection of surface deformation due to landsliding, field investigation is requisite and typically involve field mapping to characterize the geomorphological conditions. Additionally, there is a number of factors that need to be continuously assessed: the extent of the landslide, detection of fissure structures, topography of the land and the rate of displacements that could be related to the fracture (Niethammer et al. 2010). The latter, depending on the scale of the problem, can take valuable time while rough terrain can constitute access restrictions, therefore the assessment of the landslide is deficient. In order to understand the mechanism of the

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ

landslide, horizontal and vertical displacements should be measured. A number of remote sensing methods are valuable tools towards this assessment. Therefore, except the visual interpretation, high resolution images were captured by the UAV while it provides ultra-high spatial resolution and accuracy that is needed to monitor temporal changes. At the community of Ropoto, several movements have been recorded during the last decades., First movement occurred in 1963, while the last episodic large landslide happened in 2012. Ever since the landslide is evolving gradually without perceivable movements. In this survey, in order to detect these changes multi-temporal digital elevation models of the area we quantified and compared.

Initially, for change the detection assessment, pre-disaster data is required. The reference data is provided by the Land Registry of Greece where Digital Elevation Models (DEM) - LSO (Large Scale Orthophotos) were created with the use of aircrafts equipped with high-end optical sensors between 2007 and 2009 with pixel resolution of 5 m. Those digital elevation models are specialized database that represents the topographic relief of a surface between points of known elevation. By interpolating known elevation data from sources such as ground surveys and photogrammetric data capture, a rectangular digital elevation model grid can be created. By setting these multi-temporal photogrammetric products under two different procedures, two deferent results were given. As a result, we have two DEM's of difference involving quantifying volumetric change between these multi-temporal photogrammetric products showing parts with gain or loss material.

Concluding, Ropoto landslide constitute an active landslide that shows gradually evolving movements through the years. As so, the continuous monitoring of the landslide in 6 months' period, it is required to determine the extent, magnitude and style of landslide movement, for risk and even emergency risk management assessments. Last but not least, the need of implementing Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in landslide risk assessments is constantly increasing while they provide a safe, quick and potentially more accurate way of inspecting large scale and difficult to access areas, requiring minimal human resources. However, in order to process these results, the contribution and critical evaluation of an expert is obligatory.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος 5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 12
1.1 Αντικείμενο και θέση έρευνας 12
1.2 Ιστορικό 13
1.3 Μεθοδολογία έρευνας 14
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ 15
2.1 Τι είναι κατολίσθηση 15
2.2 Τύποι κατολισθήσεων 16
2.3 Κύριοι παράγοντες αστάθειας και αιτίες κατολισθήσεων 16
2.4 Μέθοδοι Τηλεπισκόπησης και κατολισθήσεις 17
2.4.1 Συστήματα μη Επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) 19
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ..... ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ 23
3.1 Γεωμορφολογία 23
3.1.1 Γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής 23
3.1.2 Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης 24
3.2 Γεωλογία-Τεκτονική-Υδρογεωλογία 24
3.2.1 Γεωλογία 24
3.2.2 Τεκτονική 31
3.2.3 Υδρογεωλογία 31
3.3 Υδρομετεωρολογία 32
3.3.1 Τύπος κλίματος 32
3.3.2 Μετεωρολογικά στοιχεία περιοχής μελέτης 33
3.4 Στοιχεία σεισμικότητας 35
4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΤΟΥ ΡΟΠΟΤΟΥ. 37
4.1 Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση 37
4.2 Χαρακτηριστικά κατολίσθησης 47
4.2.1 Στοιχεία επιτόπου έρευνας 49
4.3 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες περιοχής 56
4.4 Μηχανισμός αστοχίας 67
4.5 Αποτύπωση της περιοχής έρευνας με τη χρήση ΣμηΕΑ 71
5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑΣ 82

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας

5.1 Περαιτέρω έρευνα 82
5.2 Μέτρα αντιστήριξης 82
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 87

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο και θέση έρευνας

Στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας διερευνάται η εξέλιξη των κατολισθητικών φαινομένων στην κοινότητα του Ροποτού, Ν. Τρικάλων που εκδηλώθηκαν για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1960. Πιο συγκεκριμένα η έρευνα περιλαμβάνει την τεχνικογεωλογική-γεωτεχνική εξέταση των φαινομένων αστάθειας που παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή καθώς και την αξιολόγηση της επικινδυνότητας που αυτά εγκυμονούν. Επιπρόσθετα για την καλύτερη χαρτογράφηση και αξιολόγηση αυτών των φαινομένων χρησιμοποιούνται συστήματα τελευταίας τεχνολογίας στο χώρο της παρακολούθησης προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η εξέλιξη της κατολίσθησης και οι περαιτέρω μετακινήσεις της ανάμεσα σε δύο χρονικά διαστήματα. Τέλος εξετάζεται η αποτελεσματικότητα και εγκυρότητα ορισμένων μεθόδων για την επίτευξη αυτής της διαδικασίας με τη βοήθεια συγκεκριμένων λογισμικών προκειμένου να προταθεί η πλέον κατάλληλη.

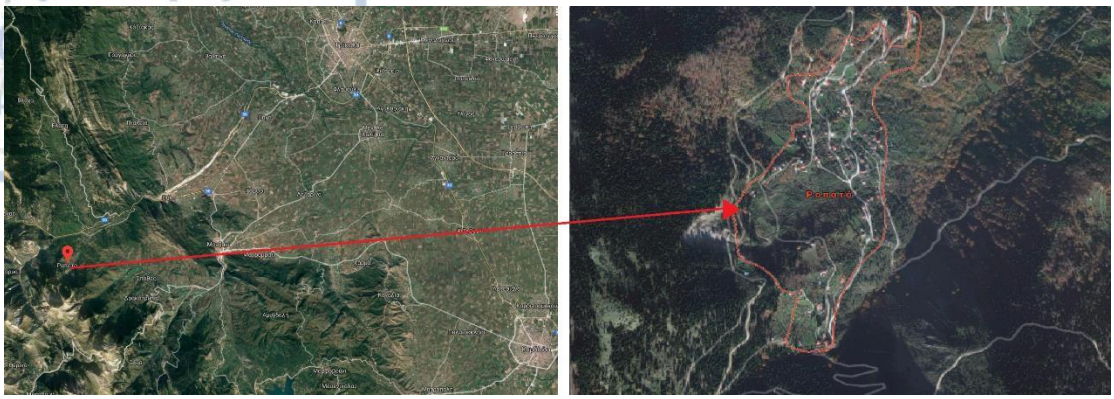
Όσον αφορά τη θέση της περιοχής έρευνας η κοινότητα του Ροποτού βρίσκεται Νοτιοδυτικά του νομού Τρικάλων και υπάγεται στον Δήμο Πύλης αποτελούμενη από τους εξής συνοικισμούς:

i. Κεντρικός συνοικισμός
ii. Σπύρου
iii. Τσεκούρα ή Αλέξη
iv. Άγιος Ιωάννης
v. Κατινέλι
vi. Δημητάκαινα
vii. Λογγίες

Χάρτης 1: Δήμος Πύλης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

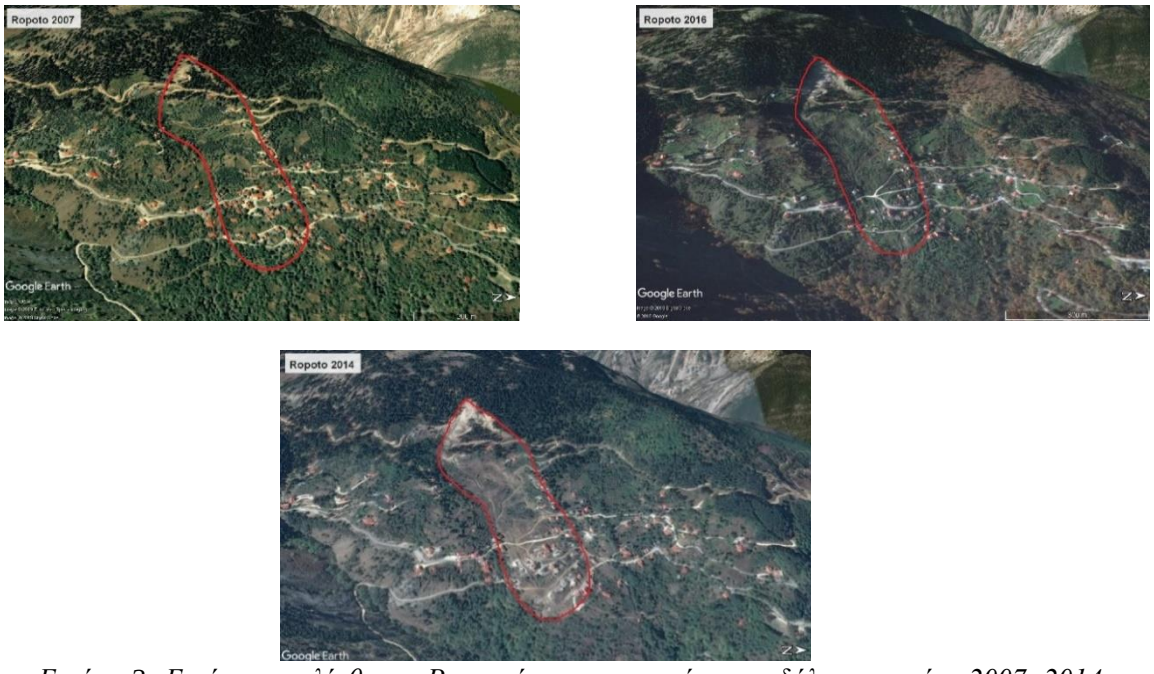


Εικόνα 1: Περιοχή μελέτης

1.2 Ιστορικό

Η ενεργοποίηση της αστοχίας στην περιοχή του Ροποτού πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1960 όπου δημιούργησε προβλήματα σε ολόκληρη την κοινότητα με τον Κεντρικό όμως οικισμό να δέχεται τα μεγαλύτερα πλήγματα καθώς σημειώθηκαν σοβαρές ζημιές σε σπίτια, δρόμους αλλά και καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Μεταγενέστερα το 1970 τα κατολισθητικά φαινόμενα έπληξαν για δύο ακόμη φορές (1976 και 1979) μέσα σε 3 χρόνια την κοινότητα του Ροποτού έχοντας ακόμη πιο σοβαρές επιπτώσεις στον Κεντρικό οικισμό. Έκτοτε σημειώθηκαν πολλές μικρομετακινήσεις με την πιο πρόσφατη και σημαντική εκδήλωσή της να σημειώνεται το 2012 πράγμα το οποίο υποδεικνύει την ενεργότητα της κατολίσθησης.



Εικόνα 2: Εικόνα κατολίσθησης Ροποτού πριν και μετά την εκδήλωση τα έτη 2007, 2014 και 2018

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

1.3 Μεθοδολογία έρευνας

Στα πλαίσια της πλήρους ανάλυσης και αποτύπωσης της ολοκληρωμένης εικόνας του φαινομένου αυτού, εκτελέσθηκε πλήθος εργασιών που αφορούν τόσο την κατανόηση του μηχανισμού και της γεωμετρίας του, όσο και την εξαγωγή αποτελεσμάτων για την ενεργότητα και εξέλιξή του.

Αρχικά, συγκεντρώθηκαν βιβλιογραφικά στοιχεία που σχετίζονται με την κατολίσθηση όπως, προγενέστερες μελέτες τόσο για το φαινόμενο όσο και για την ευρύτερη περιοχή αλλά και επιστημονικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν.

Στοιχεία που επίσης συγκεντρώθηκαν είναι κυρίως χάρτες τις περιοχής όπως γεωλογικοί (του Ι.Γ.Μ.Ε), σεισμικής επικινδυνότητας αλλά και υδρομετεωρολογικοί. Επιπρόσθετα, συλλέχθηκαν δορυφορικές εικόνες τις περιοχής για μια πρώτη αξιολόγηση της γεωμετρίας του φαινομένου πριν την επιτόπου παρατήρηση.

Εφόσον εξετάστηκαν τα παραπάνω στοιχεία, ακολούθησε επίσκεψη της περιοχής και εκπόνηση τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης περιλαμβάνοντας την αποτύπωση κυρίως της κατολίσθησης και των διάφορων αστοχιών στην περιοχή που σχετίζονται με αυτή, όπως μετατοπίσεις, ρωγμές, εξάρσεις αναγλύφου, παρουσία υδάτων αλλά και καθορισμός των ορίων της. Η επιτόπου έρευνα συμπεριλάμβανε και εντοπισμό των σχηματισμών της περιοχής σε σχέση με τους αντίστοιχους χάρτες σε συνδυασμό με μετρήσεις τεκτονικών στοιχείων και προσανατολισμού. Επιπρόσθετα σημειώθηκαν οι καταστροφές που έπληξαν την οικοδομική κοινότητα του Ροποτού επιδεικνύοντας τις οικονομικές συνέπειες αλλά και την μεγάλη επικινδυνότητα του φαινομένου.

Εξαιτίας της μεγάλης κλίμακας του φαινομένου αλλά και σημείων με περιορισμένη πρόσβαση, η περιοχή της κοινότητας του Ροποτού αποτυπώθηκε με τη βοήθεια σύγχρονων συστημάτων παρακολούθησης και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Το σύστημα αυτό γνωστό ως UAV αποτύπωσε την περιοχή μελέτης σε 340 φωτογραφίες δημιουργώντας επίσης ένα point cloud πυκνότητα 2400 points/m^3.

Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν ο εντοπισμός των μετακινήσεων κατά μήκος της κατολίσθησης αλλά και η ποσοτικοποίησή τους. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό το Κτηματολόγιο της Ελλάδας μας παρείχε στοιχεία του 2007 πριν την εκδήλωση της αστοχίας τα οποία συγκρίθηκαν με αυτά που αποτυπώθηκαν από την επιτόπου έρευνα. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η σύγκριση αυτή είναι απαραίτητη η κατάλληλη επεξεργασία αυτών των δεδομένων με τη βοήθεια λογισμικών. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά ArcGIS, Global Mapper και CloudCompare μέσω των οποίων εξήχθησαν μοντέλα εδάφους και υψομέτρου απεικονίζοντας την περιοχή σε αρχεία μορφής raster αλλά και point cloud.

Ακολουθώντας λοιπόν δύο διαφορετικές διαδικασίες, με την πρώτη να αφορά την εντολή Minus μέσω ArcGIS και η δεύτερη την εντολή M3C2 μέσω CloudCompare, έχουμε στη διάθεσή μας δύο raster πάνω στα οποία απεικονίζονται οι μετατοπίσεις του εδάφους σύμφωνα με τις αλλαγές του υψομέτρου. Από τα αποτελέσματα αυτά αντιλαμβανόμαστε κυρίως τα σημεία επικινδυνότητας στην περιοχή της κατολίσθησης αλλά και την συνεχή εξέλιξή της.

Αξιολογώντας τα παραπάνω προτείνονται επίσης έργα αντιμετώπισης και αντιστήριξης του φαινομένου αλλά και περαιτέρω έρευνα προκειμένου να κατανοηθεί πλήρως ο μηχανισμός της ολίσθησης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

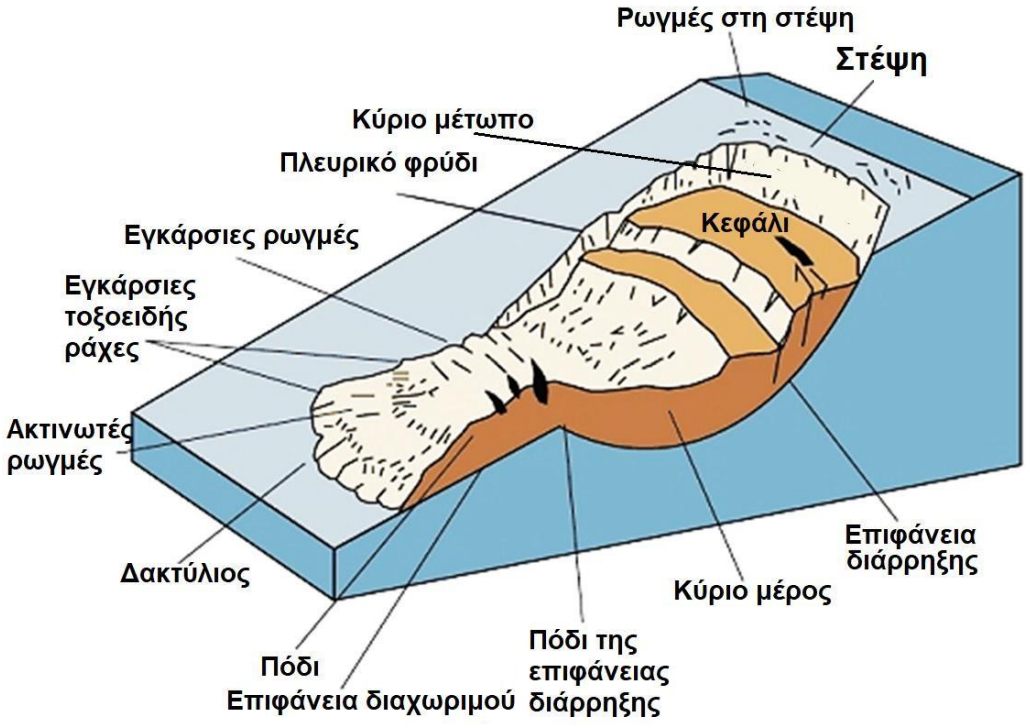
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

2.1 Τι είναι κατολίσθηση

Ο όρος κατολίσθηση χρησιμοποιείται για να περιγράψει την πτώση και την προς τα έξω μετακίνηση των σχηματισμών οι οποίοι μπορεί να αποτελούνται από βράχο, έδαφος, οργανικά υλικά ή και συνδυασμούς αυτών υπό την επήρεια της βαρύτητας και οφείλεται σε φυσικά ή τεχνητά αίτια (Highland & Bobrowsky, 2008). Η δύναμη της βαρύτητας επηρεάζει όλα τα αντικείμενα επάνω στη Γη από τα μεγαλύτερα βουνά μέχρι και τους μικρούς κόκκους άμμου, έλκοντας τα πάντα σε μια κατεύθυνση προς το κέντρο του πλανήτη (Nagel, 2004). Αυτές οι κινήσεις μάζας είναι αποτέλεσμα των διατμητικών τάσεων στις πλαγιές (προκαλούνται από τη βαρύτητα, το βάρος του υλικού και του νερού στο έδαφος) ξεπερνώντας την αντίσταση τον ίδιων των υλικών(όπως συνεκτικότητα και εσωτερική τριβή) (Hart, 1986). Σε γενικές γραμμές, οι επιστήμονες σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν πολλούς όρους για αυτό το φαινόμενο, όπως «κατολίσθηση», «ολίσθηση εδάφους», «βαρυτική κίνηση», «μαζική μετακίνηση» και «κεκλιμένη κίνηση» "(Terzaghi , 1950; Varnes, 1978) και εκφράζει ουσιαστικά το αποτέλεσμα της αναζήτησης μιας νέας κατάστασης ισορροπίας του εδάφους.

Μία κατολίσθηση αποτελείται από τα εξής μέρη τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω σχήμα:



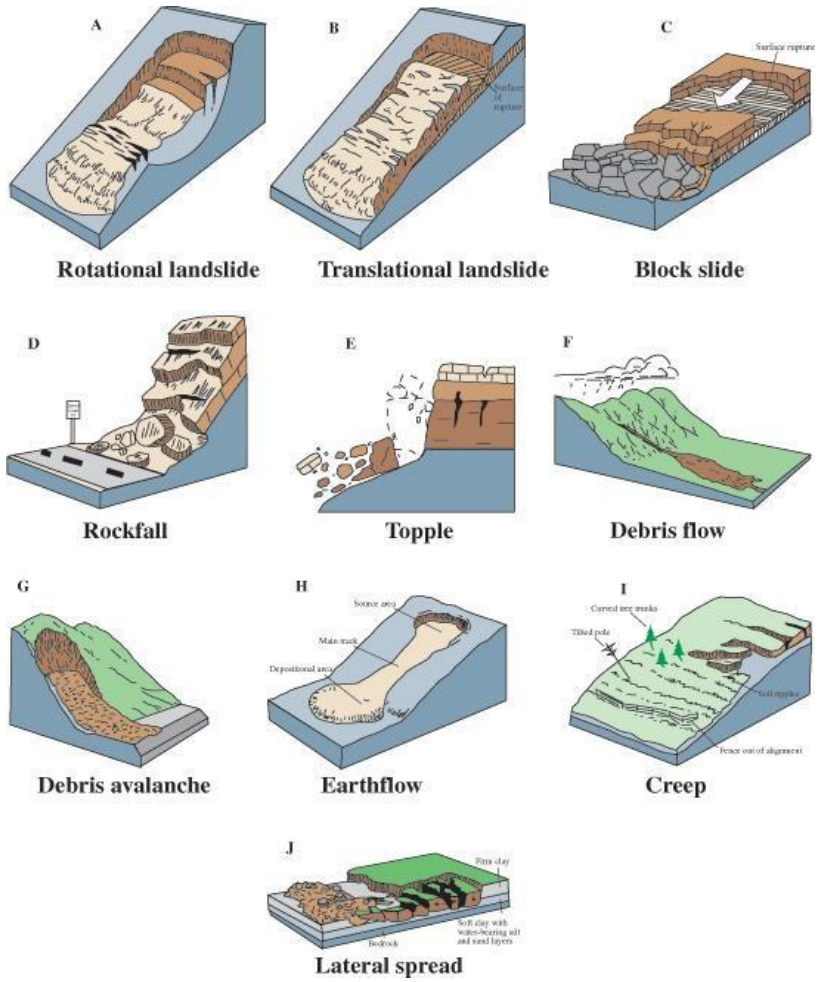
Σχήμα 1: Μέρη κατολίσθησης. Το σχήμα δείχνει μια περιστροφική ολίσθηση που έχει εξελιχθεί σε ροή εδάφους (τροποποιήθηκα από Varnes 1978)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

2.2 Τύποι κατολισθήσεων

Ο όρος "κατολίσθηση" περιγράφει μια μεγάλη ποικιλία διαδικασιών όπου ανάλογα με το είδος της κίνησης διακρίνονται σε: ανατροπές(toppling), πτώσεις(falls), ολισθήσεις(slides), ροές(flows) και εξαπλώσεις(spreads).Επίσης ανάλογα με το στάδιο εξέλιξης τους χαρακτηρίζονται: ενεργές, ανενεργές, επανεργοποιημένες αδρανείς και αρχαίες ή απολιθωμένες. Ένας μεγάλος αριθμός επιστημόνων έχει ταξινομήσει τις κατολισθήσεις και η παγκόσμια πλέον χρησιμοποιούμενη ταξινόμηση είναι η USGS (2004) και Varnes (1978) (Εικόνα 1).



Σχήμα 2: Τύποι κατολισθήσεων (τροποποιημένο απο USGS, 2004 & VARNES, 1978)

2.3 Κύριοι παράγοντες αστάθειας και αιτίες κατολισθήσεων

Πολλοί άλλοι παράγοντες, εκτός από τη βαρύτητα και το νερό, προκαλούν μαζικές μετακινήσεις (κατολισθήσεις), όπως η κλίση της επιφάνειας του εδάφους μαζί με την εσωτερική γεωμετρία του υλικού, η παρουσία υλικού αργιλικής συμπεριφοράς καθώς και η παρουσία υπόγειου και επιφανειακού νερού. Επίσης προβλήματα αστάθειας δημιουργεί ένα χαμηλής αντοχής, αποσαθρωμένο ή διατμημένο υλικό το οποίο είναι προϊόν παλαιότερης κατολίσθησης ή αποτέλεσμα τεκτονικής διαταραχής. Τέλος ο δυσμενής προσανατολισμός των διαφόρων τύπων ασυνεχειών (στρώση, διάκλαση,

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας

σχιστότητα, ρήγμα), ένας σεισμός καθώς και οι διάφορες ανθρώπινες παρεμβάσεις είναι εξίσου σημαντικοί παράγοντες.

Οι γενικές και πιθανές αιτίες των κατολισθήσεων είναι γεωλογικές φυσικές, γεωμορφολογικές και ανθρώπινες δραστηριότητες.

Στις γεωμορφολογικές διεργασίες εντάσσονται: η τεκτονική ανύψωση και η ανύψωση λόγω ηφαιστείων, η επίδραση παγετώνων, η διάβρωση της βάσης του πρανούς εξαιτίας ενός ποταμού ή της θάλασσας, η εσωτερική διάβρωση, η φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέψη του πρανούς και τέλος η απομάκρυνση της φυτοκάλυψης που μπορεί να είναι αποτέλεσμα πυρκαγιάς ή διάβρωσης.

Από την άλλη στις ανθρωπογενείς διαδικασίες περιλαμβάνονται: η διαρροή υδάτων από τεχνικά έργα, οι τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορίας οχημάτων, ανατινάξεις), οι εκσκαφές στη βάση του πρανούς, ο υποβιβασμός της στάθμης σε ταμιευτήρες, η αποψίλωση των δασών, η φόρτιση στο μέτωπο ή επάνω από τη στέψη του πρανούς, η άρδευση, τα λατομεία και τα μεταλλεία και η κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων.

Τέλος, στις φυσικές διεργασίες συμβάλλουν: η έντονη μικρής διάρκειας βροχόπτωση, η παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση, η αποσάθρωση λόγω παγετού ή από διόγκωση και συρρίκνωση των εδαφών και το γρήγορο λίωσιμο του χιονιού

2.4 Μέθοδοι Τηλεπισκόπησης και κατολισθήσεις

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπηση αφορά την απόκτηση μετρητικής και ποιοτικής πληροφορίας ενός φαινομένου ή ενός αντικειμένου από απόσταση, χωρίς δηλαδή φυσική επαφή με το υπό μελέτη φαινόμενο ή αντικείμενο. Στον Ελληνικό χώρο, η συμβολή της Τηλεπισκόπησης κρίνεται πολύ σημαντική τα τελευταία χρόνια με τα συχνά καταστροφικά φαινόμενα των κατολισθήσεων. Η λιθολογική σύσταση και η σχετικά μικρή ηλικία των περισσοτέρων σχηματισμών, η γεωμορφολογική εξέλιξη , η δράση πρόσφατων τεκτονικών δυνάμεων και οι υψηλές βροχοπτώσεις, δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες για την εκδήλωση συχνών αστοχιών πρανών ποικίλης κλίμακας και γι’ αυτό αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι σε επίπεδο διαχείρισης κρίσεων και λήψης αποφάσεων.

Η Τηλεπισκόπηση μπορεί να συμβάλει με τα εργαλεία, τα δεδομένα και τις μεθόδους της σε όλα τα στάδια του φαινομένου :

- Πρόβλεψη-Επικινδυνότητα περιοχής
- Ανίχνευση κατολίσθησης
- Παρακολούθηση κατολίσθησης
- Χαρτογράφηση περιοχής

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Πιο συγκεκριμένα τα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να εξυπηρετηθεί αυτός ο σκοπός είναι τα εξής:

Δορυφορικές εικόνες (Google earth)

Μέσω τις πλατφόρμας του Google earth δίνεται η δυνατότητα απόκτησης δωρεάν δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών από όλο τον κόσμο οι οποίες λαμβάνονται από κάμερες σε αεροσκάφη και δορυφόρους συλλέγοντας εικόνες σε συγκεκριμένη ώρα και ημερομηνία. Πιο συγκεκριμένα παρέχει στους χρήστες ένα μεγάλο πλήθος πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους τομείς από την προσωπική χρήση μέχρι την επιστημονική έρευνα.

Εικόνα 3: Περιοχή μελέτης

Αεροφωτογραφίες και ψηφιακά μοντέλα εδάφους από USGS και Κτηματολόγιο

Η βάση δεδομένων USGS (Earth Explorer) παρέχει στους χρήστες γεωγραφικά δεδομένα όπως δορυφορικές εικόνες Landsat, δεδομένα UAS, δεδομένα ραντάρ, ψηφιακά μοντέλα εδάφους, ψηφιακά δεδομένα Sentinel, αεροφωτογραφίες, ψηφιακά δεδομένα από τον Εθνικό Χάρτη αλλά και εμπορικές δορυφορικές εικόνες (IKONOS και OrbView3).

Το Ελληνικό Κτηματολόγιο δημιούργησε την Υπηρεσία Θέασης Ορθοφωτογραφιών προκειμένου να παρέχει στους πολίτες την δυνατότητα για δωρεάν περιήγηση στο χαρτογραφικό υλικό ολόκληρης της χώρας. Οι ορθοφωτογραφίες αυτές αφορούν το σύνολο της Ελληνικής Επικράτειας με εξαίρεση ορισμένες περιοχές (παραμεθόριες ή περιοχές που ισχύουν περιορισμοί και απαγορεύσεις από τις Αρμόδιες Αρχές και Υπηρεσίες). Η χωρική ανάλυση αυτών των εικόνων είναι 20 εκ. για αστικές περιοχές και 50 εκ. για τις υπόλοιπες περιοχές. Τα δεδομένα αυτά προέκυψαν από λήψεις της περιόδου 2007 έως 2009 και αποτελούν το πλέον πρόσφατα ενημερωμένο χαρτογραφικό υλικό με τη μεγαλύτερη δυνατή ανάλυση.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2.4.1 Συστήματα μη Επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV)

2.4.1.1 Τι είναι τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Κάθε πτυχή του αυτοματισμού είναι αποτέλεσμα της ολοένα αυξανόμενης ανάγκης του ανθρώπου να κάνει την ζωή του ευκολότερη, γεγονός που οδήγησε και στη δημιουργία των UAV (Unnamed Aerial Vehicle).

Εικόνα 4: Το UAV που χρησιμοποιήθηκε

Τα UAV λοιπόν, γνωστά και ως drones, είναι αεροσκάφη ή αλλιώς «μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα» τα οποία έχουν τη δυνατότητα λήψης φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης. Σήμερα αποτελούν μια πολύτιμη πηγή δεδομένων με εφαρμογές σε θέματα επιτήρησης, επιθεώρησης, χαρτογράφησης και τρισδιάστατης απεικόνισης. Σύμφωνα με τον ορισμό της UVS International, ένα UAV είναι ένα γενικό σχέδιο αεροσκάφους για να λειτουργεί χωρίς πιλότο.

Η χρήση τους είναι απλή και μπορεί να γίνει αυτόματα με προσχεδιασμένο σχέδιο πτήσης ή χειροκίνητα καθώς λειτουργούν αυτόνομα, κατευθυνόμενα από μονάδα GPS και γενικά από ένα IMU αισθητήρα. Με ένα τυπικό φωτογραμμετρικό αγωγό, μπορούν να παραχθούν, με έναν λογικό αυτοματοποιημένο τρόπο, 3D αποτελέσματα όπως το DSM / DTM, τα τρισδιάστατα μοντέλα, τα διανυσματικά δεδομένα κλπ. Τα UAV's είναι ένας απαραίτητος βοηθός σε πολλές εργασίες - χαρτογραφήσεις. Με την ενσωμάτωση ελαφριών φωτογραφικών μηχανών πάνω στο drone και τη συμβολή του GPS, καθίσταται δυνατή η συγκέντρωση ψηφιακής πληροφορίας για μια δεδομένη περιοχή. Η λήψη φωτογραφιών γίνεται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Εν συνεχεία ειδικοί επεξεργάζονται τις φωτογραφίες από το UAV και λαμβάνοντας υπόψη την κλίμακα μέτρησης και τις σωστές γεωγραφικές συντεταγμένες σχηματίζουν εντέλει μια ολοκληρωμένη εικόνα της περιοχής ενδιαφέροντος.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

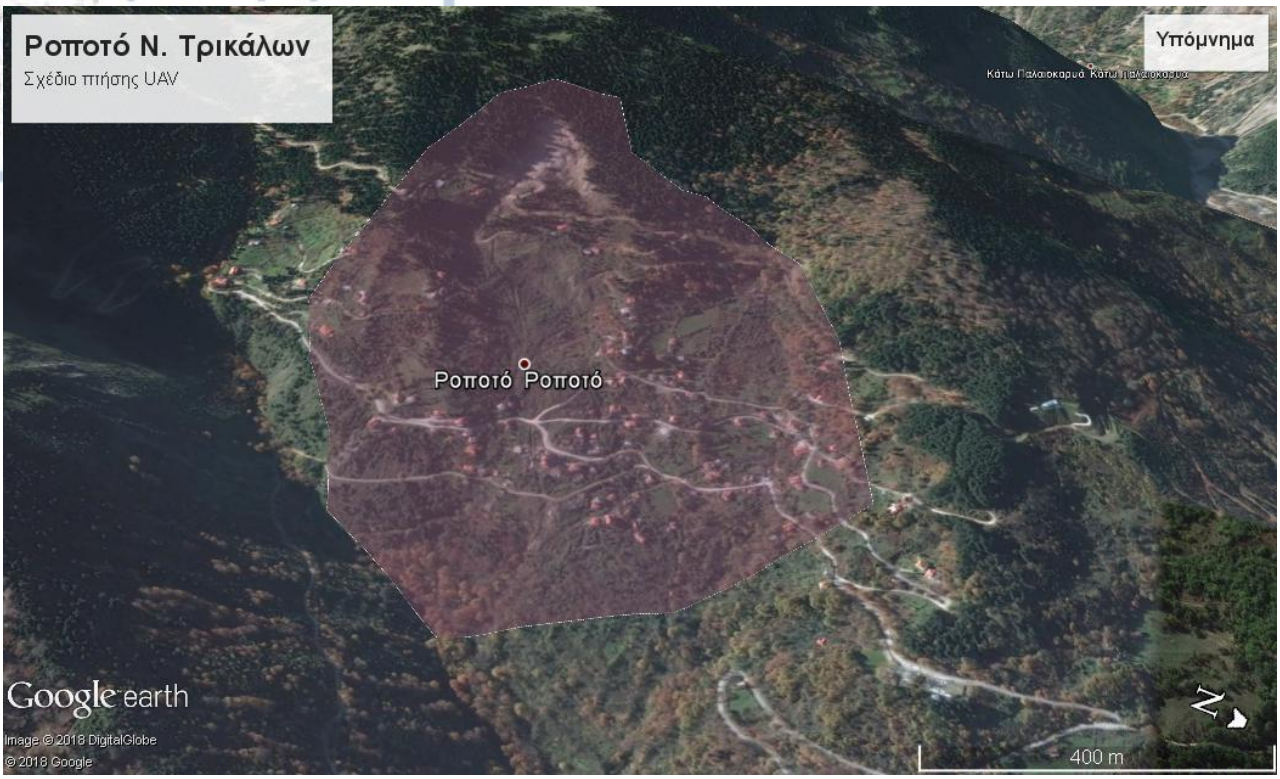
Σημαντικά πλεονεκτήματα των UAV σε σύγκριση με τα επανδρωμένα συστήματα αεροσκαφών είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καταστάσεις υψηλού κινδύνου χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ανθρώπινη ζωή όπως για παράδειγμα σε δυσπρόσιτες περιοχές, σε χαμηλό υψόμετρο και σε πτήσεις κοντά στα αντικείμενα όπου δεν μπορούν να πετάξουν επανδρωμένα συστήματα. Σε περιοχές όπου η πρόσβαση είναι δύσκολη και όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα επανδρωμένα αεροσκάφη ή ακόμη δεν χορηγείται άδεια πτήσης, η χρήση του UAV μερικές φορές η μόνη πρακτική και εναλλακτική λύση. Τέλος τα πρόσθετα πλεονεκτήματα είναι η ικανότητα απόκτησης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο έχοντας ταυτόχρονα δεδομένα εικόνας, βίντεο και προσανατολισμού.

Απαραίτητη είναι η αναφορά στον όρο φωτογραμμετρία. Η ψηφιακή φωτογραμμετρία με τη χρήση ψηφιακών καμερών πραγματοποιεί λήψη φωτογραφιών του αντικειμένου ή του χώρου από πολλές και διαφορετικές τοποθεσίες. Στη συνέχεια, οι εικόνες αυτές επεξεργάζονται με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού προκειμένου να καθοριστούν οι ακριβείς τοποθεσίες από τις οποίες έγινε η λήψη των φωτογραφιών. Έπειτα εξειδικευμένο λογισμικό ελέγχει για κοινά σημεία μεταξύ δύο ή και περισσότερων φωτογραφιών ώστε να καθοριστεί η θέση των αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο. Με την χρήση της αέριας φωτογραμμετρίας και την ενσωμάτωση της κάμερας στο UAV, με προσανατολισμό συνήθως κάθετα προς το έδαφος επιτυγχάνεται η δημιουργία τρισδιάστατων χαρτών. Σε περιπτώσεις τρισδιάστατης αποτύπωσης μνημείων ή αγαλμάτων η κάμερα τοποθετείται οριζόντια στο drone. Επίσης για την επίτευξη υψηλής κάλυψης η πτήση είναι απαραίτητο να είναι αυτόνομη. Το γεγονός αυτό είναι που καθιστά τελικώς απαραίτητη τη χρήση του UAV. Η φωτογραμμετρία έχει όμως τα θετικά της και τα αρνητικά της αποτελέσματα. Κάποια από τα πλεονεκτήματα που έχει είναι ο πολύ φθηνός εξοπλισμός της, η καλύτερη οπτική αναπαράσταση σε επιφάνειες υφής, οι δυνατότητες αναβάθμισης του λειτουργικού συστήματος επεξεργασίας όποτε δεν χρειάζεται καινούργιος εξοπλισμός για να ανταπεξέλθει σε νέες απαιτήσεις αποτύπωσης. Τα μειονεκτήματα που έχει είναι οι περιορισμοί ανάλυσης λόγω των φακών που χρησιμοποιούν οι κάμερες προκειμένου να διατηρήσουν την διαύγεια των αντικειμένων σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης μειονέκτημα αποτελούν και οι λιγότερες αυτοματοποιημένες διαδικασίες που οδηγούν σε μεγαλύτερα σφάλματα μέτρησης καθώς γίνεται μεγαλύτερη επεξεργασία δεδομένων από τον χρήστη με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγάλη εξειδίκευση για επίτευξη μικρότερων σφαλμάτων με συνεπακόλουθο τον περισσότερο χρόνος για τη λήψη χωρικών μετρήσεων.

Τέλος πριν από κάθε εφαρμογή, σχεδιάζεται στο εργαστήριο ένα σχέδιο πτήσης με ειδικό λογισμικό επιλέγοντας αρχικά την περιοχή ενδιαφέροντος (AOI), και στη συνέχεια την απαιτούμενη απόσταση από το έδαφος (GSD). Έχοντας λοιπόν καθορίσει την κλίμακα της εικόνας και το εστιακό μήκος της κάμερα έχουμε πλέον το ύψος της πτήσης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



Εικόνα 5: Περιοχή πτήσης

Στην παρούσα εργασία η χρήση του UAV κρίνεται απαραίτητη καθώς παρέχει χωρικά δεδομένα για ορθοφωτογραφίες ή μοντέλα εδάφους τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καλύτερη δυνατή μελέτη της κατολίσθησης.

2.4.1.2 Χρήση των μη Επανδρωμένων αεροσκαφών στη μελέτη Κατολισθήσεων

Η μελέτη της κατολίσθησης συνήθως απαιτεί την χαρτογράφηση πεδίου προκειμένου να χαρακτηριστούν οι γεωμορφολογικές συνθήκες και να εντοπιστούν τυχόν κίνδυνοι. Ανάλογα με την κλίμακα του προβλήματος, αυτό μπορεί να διαρκέσει αρκετό χρόνο και το έντονο ανάγλυφο μπορεί να περιορίσει την πρόσβαση σε ορισμένα σημεία. Οι γκρεμοί και οι απότομες πλαγιές μπορούν να μελετηθούν με τη χρήση σχοινιού (Hunter et. Al., 2009), ωστόσο η μέθοδος αυτή είναι αργή και απαιτεί σημαντικό κόστος. Συνήθως χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι τηλεανίχνευσης προκειμένου να πραγματοποιηθεί η χαρτογράφηση και μελέτη του πεδίου και μία από αυτές είναι η αέρια φωτογραμμετρία που επιτυγχάνεται με την χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών UAV.

Το UAV μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τηλεπισκόπηση και χαρτογράφηση αργών κατολισθήσεων καθώς αποτελεί χρήσιμο εργαλείο τόσο στην αναγνώριση όσο και στην μοντελοποίηση τους. Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους που δημιουργούνται παρέχουν σημαντικές πληροφορίες προκειμένου να κατασκευαστούν χάρτες επιδεκτικότητας κατολισθήσεων. Αρκετά σημαντική είναι η συμβολή των συστημάτων

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

UAV στην παρακολούθηση ενεργών κατολισθήσεων καθώς δίνεται οι δυνατότητα μέτρησης και εντοπισμού δυνητικών μετακινήσεων οι οποίες μπορούν να έχουν σοβαρό αντίκτυπο τόσο στο φυσικό ανάγλυφο όσο και στην ανθρώπινη ζωή. Επιπρόσθετα ο εξοπλισμός τηλεπαρακολούθησης υψηλής ευκρίνειας που είναι εγκατεστημένος σε UAV μπορεί εξίσου να χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή υπόγειων δεδομένων όπως η υγρασία του εδάφους και το μέγεθος του μεσαίου κόκκου (Niethammer et al., 2011).

Η δημιουργία των ψηφιακών μοντέλων εδάφους μέσω τον δεδομένων που συλλέγει το UAV δίνει τη δυνατότητα ανίχνευσης και αναγνώρισης παλαιότερων κατολισθήσεων παρατηρώντας τη μορφολογία τους εδάφους. Ενδείξεις παλαιότερων κατολισθήσεων μπορεί να είναι οι αιφνίδιες και απότομες αλλαγές τις κλίσης του εδάφους ή τοξοειδής ασυνέχειες που μπορεί να υποδηλώνουν τη στέψη ή το πόδι κάποιας παλαιότερης κατολίσθησης ή ακόμη και τα όρια της.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Γεωμορφολογία

3.1.1 Γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής

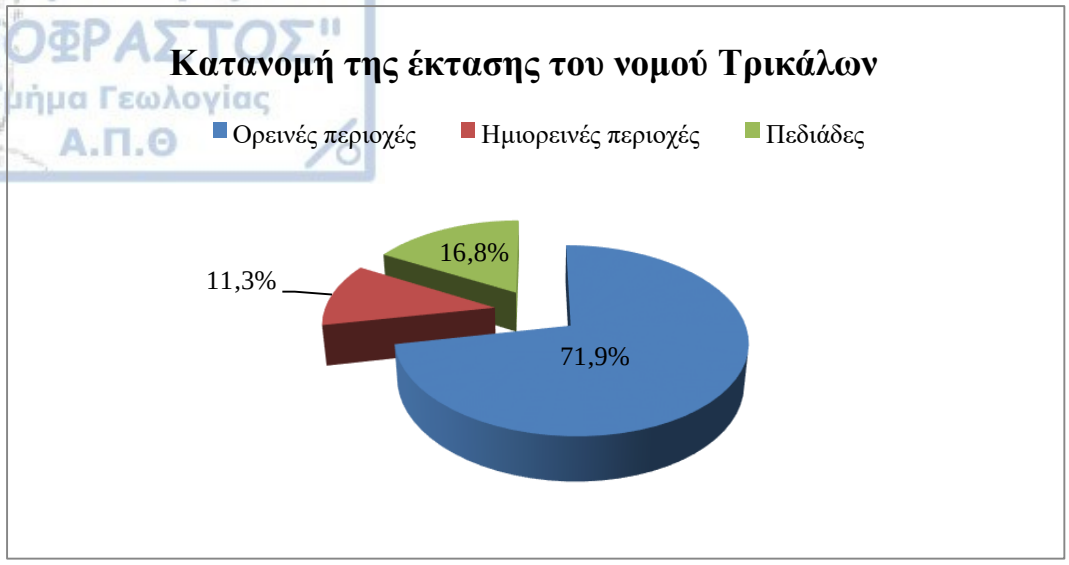
Χάρτης 2: Χάρτης της Ελλάδος-Νομός Τρικάλων

Η περιοχή μελέτης ανήκει στον Νομό Τρικάλων ο οποίος βρίσκεται στην Κεντρική Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στη Θεσσαλία αποτελώντας έναν από τους τέσσερις νομούς της. Η έκταση του είναι 3.384 τετραγωνικά χιλιόμετρα και αποτελεί το 24% της έκτασης της Περιφέρειας της Θεσσαλίας και το 2,6% της Ελλάδας με τον πληθυσμό του να ανέρχεται στους 140.000 κατοίκους. Ο νομός συνορεύει νότια με τον Νομό Καρδίτσας, βόρεια με τον Νομό Γρεβενών, ανατολικά με τον Νομό Λάρισας και δυτικά με τους Νομούς Ιωαννίνων και Άρτας.

Τα 4/5 περίπου του νομού είναι ορεινές (71,9%) και ημιορεινές περιοχές (11,3%) , με το Νοτιοανατολικό τμήμα του να αποτελεί μέρος της μεγάλης πεδιάδας της Θεσσαλίας (16,8%). Οι σημαντικότεροι ορεινοί όγκοι των Τρικάλων είναι η Κακαρδίτσα στα Αθαμανικά όρη ή Τζουμέρκα (2.429 m), ο Λάκμος ή Περιστέρι (2.295m), η Τριγγία (2.204m), το Αυγό (2.178m), και ο Κόζιακας ή Κερκέτιο (1.901m), τα οποία μαζί αποτελούν τμήματα της νότιας οροσειράς της Πίνδου. Βορειότερα του νομού βρίσκονται οι οροσειρές των Χασίων και των Αντιχασίων οι οποίες είναι και οι χαμηλότερες (1.564m). Τα κυριότερα ποτάμια που διασχίζουν την περιοχή είναι οι παραπόταμοι του Αχελώου και του Πηνειού και πηγάζουν από τα βουνά της Πίνδου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχήμα 1: Γράφημα κατανομής της έκτασης του νομού Τρικάλων

3.1.2 Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης

Ο κεντρικός οικισμός εντοπίζεται στο ανατολικό πρανές του αντερείσματος «Αλαταριές» με μέγιστο υψόμετρο τα 1.085m και με διεύθυνση Βορρά-Νότο με την οικοδομική περιοχή να βρίσκεται ανάμεσα στα 700 με 850 m. Στα 200 m κατάντη του οικισμού διέρχεται ανώνυμο ρέμα ΒΒΑ-ΝΝΔ/κης διεύθυνσης το οποίο καταλήγει στην κοιλάδα που δημιουργείται από το μεγάλο ρέμα «Πορταϊκός» ΑΒΑ/κης διεύθυνσης. Στο ανατολικό πρανές του αντερείσματος «Αλαταριές» οι μορφολογικές κλίσεις είναι της τάξης των 25°-50° ενώ στα υπόλοιπα αντερείσματα οι τιμές των κλίσεων φθάνουν έως τις 30°.

3.2 Γεωλογία-Τεκτονική-Υδρογεωλογία

3.2.1 Γεωλογία

3.2.1.1 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής

Οι σχηματισμοί του Ελληνικού χώρου είναι γνωστοί για τη σύνθετη γεωλογική δομή τους και την έντονη τεκτονική καταπόνηση, την οποία έχουν υποστεί λόγω τον επάλληλων ορογενετικών κινήσεων που έλαβαν χώρα στο παρελθόν. Η δημιουργία και η πτύχωση των Ελληνίδων οροσειρών είναι αποτέλεσμα της Αλπικής ορογένεσης ,ηλικίας Μεσοζωικού- Τριτογενούς, μαζί με τις κατακόρυφες μετακινήσεις του Τεταρτογενούς και τη δημιουργία απότομων ακτών κατά το Νεογενές με τις οποίες συνδέεται η έντονη σεισμικότητα των περιοχών αυτών (Κούκης, 1993).

Οι οροσειρές αυτές υποδιαιρούνται σε γεωτεκτονικές ζώνες οι οποίες ονομάζονται «Ελληνίδες ζώνες» και κάθε μια από αυτές διακρίνεται από ορισμένη στρωματογραφία,

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

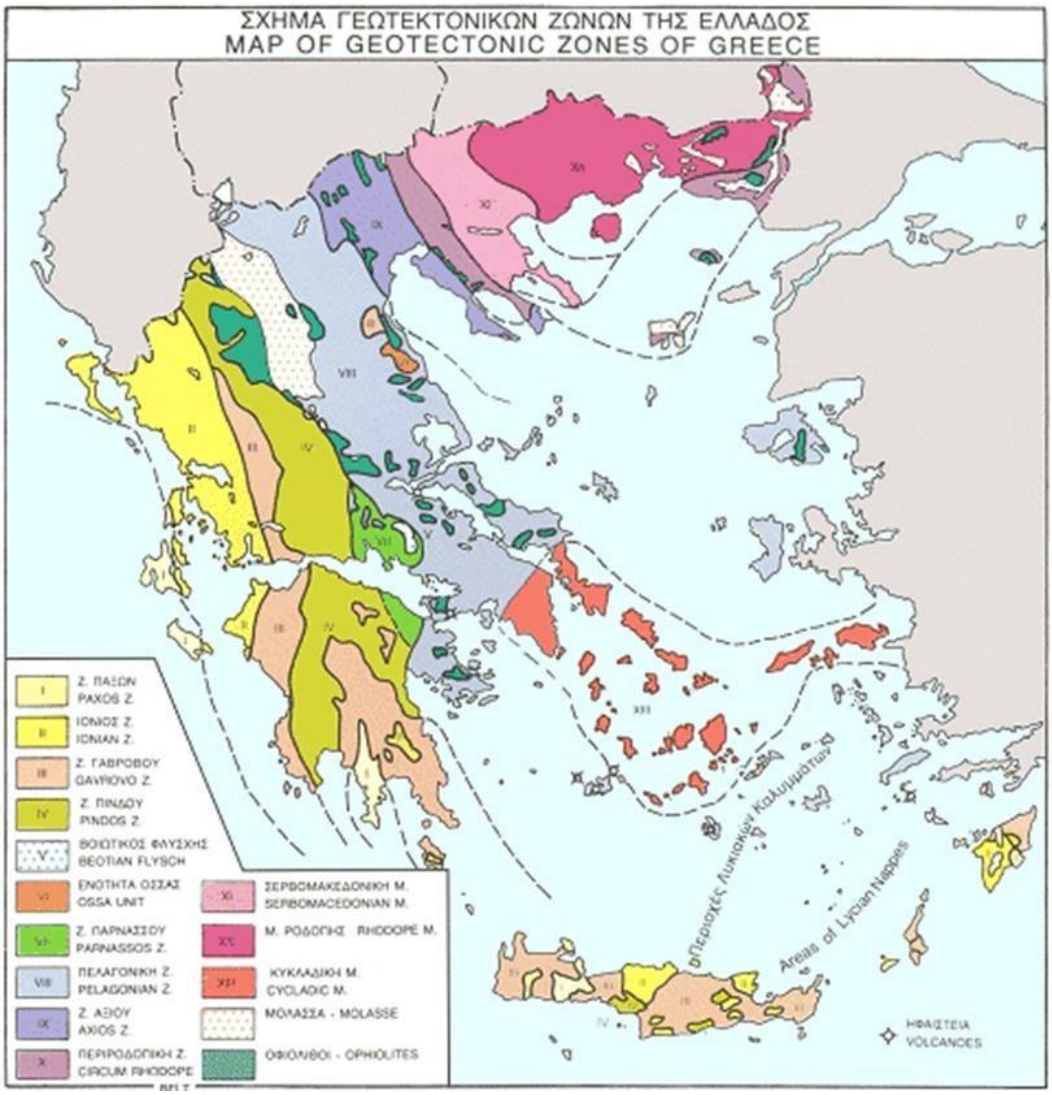
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

συγκεκριμένη τεκτονική συμπεριφορά και ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες, στοιχεία τα οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την παλαιογεωγραφική της θέση.

Στην ηπειρωτική Ελλάδα οι γεωτεκτονικές ζώνες έχουν διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και διακρίθηκαν από τον Brunn (1956) σε εξωτερικές και εσωτερικές

Στις εξωτερικές ζώνες ανήκουν: η ζώνη Παξών, Ιόνιος ζώνη, η ζώνη Γαβρόβου, η ζώνη Πίνδου και η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας.

Στις εσωτερικές ζώνες ανήκουν: η Πελαγονική ζώνη, η ζώνη Αξιού, η Σερβομακεδονική ζώνη και η μάζα της Ροδόπης. Η Υποπελαγονική ζώνη αποτελεί το όριο ανάμεσα στις εσωτερικές και εξωτερικές ζώνες.



Χάρτης 3: Διαίρεση του Ελληνικού χώρου σε γεωτεκτονικές ζώνες (Πηγή: mailto:https://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/geologia-elladas)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Px: ζώνη Παξών, **I**: Ιόνιος ζώνη, **G:** ζώνη Γαβρόβου, **P:** ζώνη Ωλονού Πίνδου, **Pk:** ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, **Sp:** Υποπελαγονική ζώνη, **Pg:** Πελαγονική ζώνη, ζώνη Αξιού ή Βαρδάρη (**Al:** ζώνη Αλμωπίας, **Pa:** ζώνη Πάϊκου,**Pe:** ζώνη Παιονίας), **Sm:**

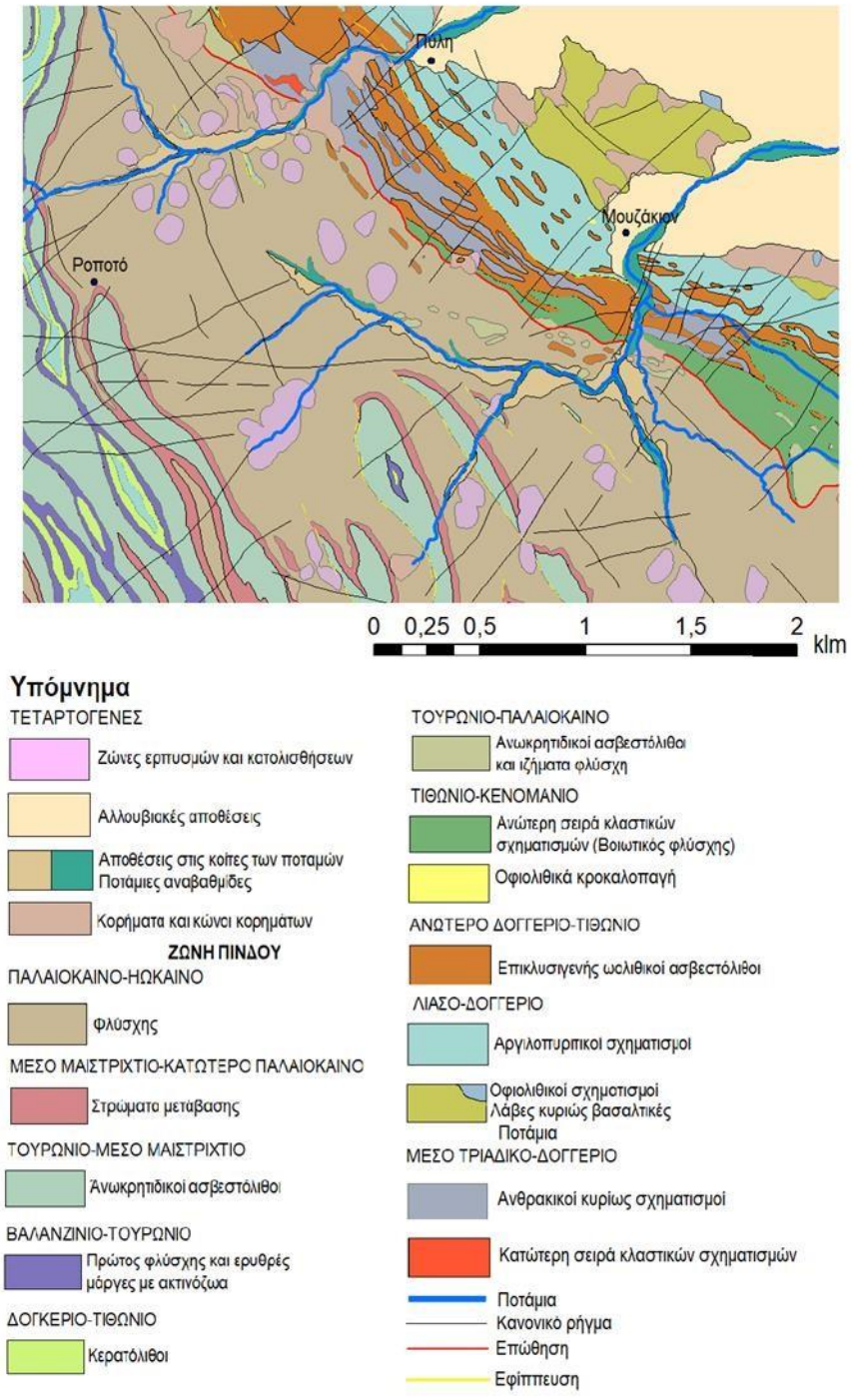
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Σερβομακεδονική μάζα ή ζώνη, **Rh:** ζώνη ή μάζα της Ροδόπης

3.2.1.1 Ευρύτερο γεωλογικό πλαίσιο

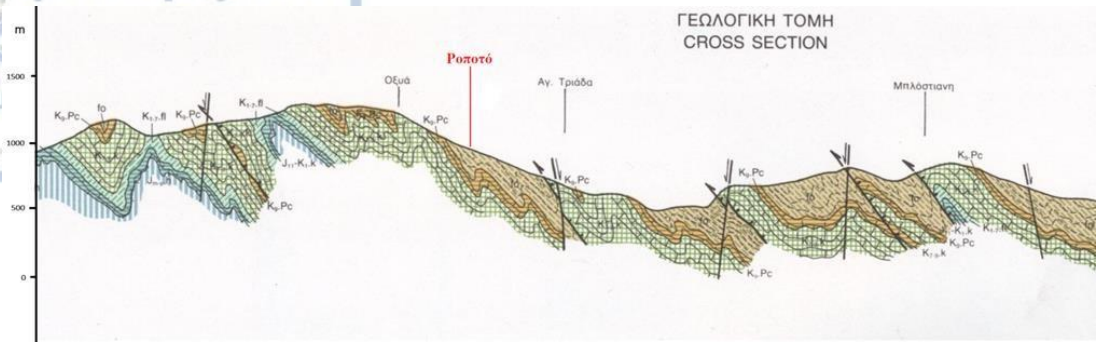
Σύμφωνα με το παρακάτω φύλλο χάρτη με την ονομασία «Μουζάκιον» οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην περιοχή ανήκουν στη ζώνη της Πίνδου.



Χάρτης 4: Ψηφιοποιημένος χάρτης περιοχής . Τροποποιημένο από Ι.ΓΜ.Ε φύλλο «Μουζάκιον»

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



Σχήμα 2: *Τμήμα γεωλογικής τομής από την περιοχή του Ροποτού από το Γεωλογικό φύλλο «Μουζάκιον» του Ι.Γ.Μ.Ε*

3.2.1.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Οι σχηματισμοί που ανήκουν στην γεωτεκτονική ζώνη της Πίνδου αποτελούν το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής και από πάνω προς τα κάτω συναντώνται 1) οι λιθολογικές φάσεις του φλύσχη 2) τα στρώματα «μετάβασης» και 3) οι λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι.

Οι λιθολογικές φάσεις του φλύσχη εναλλάσσονται μεταξύ των φάσεων των ψαμμιτών, όπου εμφανίζονται με την μορφή ψαμμιτικών πάγκων με πάχος περίπου 15 εκατοστά, των ασβεστιτικών ψαμμιτών και των αργιλικών σχιστολίθων. Οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί είναι πρακτικά στεγανοί εμφανίζοντας καλά μηχανικά χαρακτηριστικά, με τη σχιστότητά τους να είναι αντίρροπη ως προς το πρανές. Πρόκειται για ιζήματα έντονα πτυχωμένα από την τεκτονική των λεπίων και των εφιππεύσεων. Η ηλικία του φλύσχη εκτιμάται μεταξύ μέσου Μαιστρίχτιου και κατώτερου Παλαιόκαινου.

Εικόνα 6: Σχηματισμός φλύσχη στην περιοχή έρευνας- Ψαμμιτικοί πάγκοι

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Τη μετάβαση του φλύσχη προς τους υποκείμενους ασβεστόλιθους αποτελούν τα «στρώματα μετάβασης». Τα στρώματα αυτά, είναι έντονα πτυχωμένα και τεκτονικά καταπονημένα με το πάχος τους να εκτιμάται σε περίπου 40 μέτρα, είναι ιζηματογενείς σχηματισμοί με τους ψαμμίτες να επικρατούν στα ανώτερα μέλη ενώ βαθύτερα και με την σταδιακή αύξηση της περιεκτικότητας σε ασβέστιο μεταπίπτουν τελικά σε ασβεστολίθους.

Εικόνα 7: Μεταβατικά στρώματα στην περιοχή έρευνας

Οι στρωματογραφικώς υποκείμενοι σχηματισμοί των «στρωμάτων μετάβασης» είναιι οι λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι ηλικίας ανώτερο Κρητιδικό. Αποτελούνται κυρίως από πελαγικούς πλακώδεις ασβεστολίθους με μεγάλο ποσοστό πυριτολίθων ενώ λεπτές ενστρώσεις μαργών και αργιλικών σχιστολίθων παρατηρούνται κατά θέσεις. Πρόκειται για έναν ισχυρά πτυχωμένο και διερρηγμένο βραχώδη σχηματισμό με ικανοποιτική γεωμηχανική συμπεριφορά.. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται νότια και νοτιοανατολικά του κεντρικού οικισμού.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

Εικόνα 8: Λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος στην περιοχή έρευνας

Εκτός από του γεωλογικούς αυτούς σχηματισμούς που αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής, τη γεωλογική δομή συμπληρώνουν και δύο εδαφικοί σχηματισμοί.

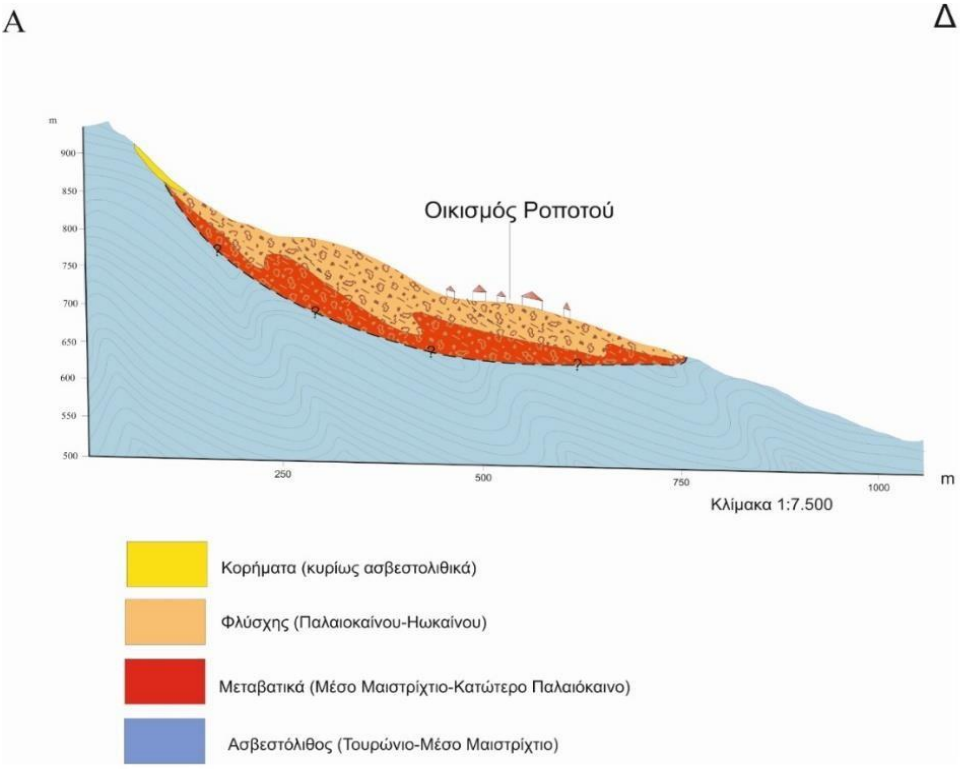
Ο πρώτος είναι ο μανδύας αποσάθρωσης του φλύσχη ο οποίος είναι αποτέλεσμα διάβρωσης και αποσάθρωσης των ψαμμιτικών και κυρίως των σχιστολιθικών στρωμάτων του φλύσχη. Το πάχος του διαφέρει κατά θέσεις φθάνοντας σε ορισμένες περιπτώσεις τα 10 μέτρα. Από κοκκομετρική άποψη αποτελείται από αργιλοϊλύ με λίγα θραύσματα μεγέθους χαλικών και με σημαντικό ποσοστό άμμου. Επιπρόσθετα χαρακτηρίζεται από υψηλή υδροαπορροφητικότητα, μέτρια υδροπερατότητα και χαμηλή συνεκτικότητα. Τέλος εμφανίζονται ανάντι του οικισμού αλλά και νοτιοανατολικά, εκτός της οικοδομημένης περιοχής.

Τον δεύτερο εδαφικό σχηματισμό αποτελούν τα κορήματα, τα οποία είναι αποτέλεσμα της διάβρωσης και της αποσάθρωσης των «στρωμάτων μετάβασης» καθώς και των ασβεστολίθων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟ
Τμήμα Γεωλογία
Α.Π.Θ

Εικόνα 9: Ασβεστολιθικά κορήματα



Σχήμα 3: Γεωλογική τομή παράλληλα της κατολίσθησης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3.2.2 Τεκτονική

Μαζί με την τελική ορογένεση και πτύχωση των στρωμάτων στο Ανώτερο ΗώκαινοΚάτω Ολιγόναινο αναδύθηκαν τα στρώματα της γεωτεκτονικής ζώνης της Πίνδου γεγονός που προκλήθηκε εξαιτίας της ηπειρωτικής σύγκρουσης της Απουλίας με την Ευρασία, σύγκρουση που είχε σαν αποτέλεσμα την ύπαρξη ισχυρών συμπιεστικών τάσεων. Οι τάσεις αυτές προκάλεσαν την πτύχωση και την ταυτόχρονη λεπίωση των στρωμάτων της ζώνης προς τα δυτικά έτσι ώστε τελικά να εφιπεύσει πάνω στην ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης. Η διεύθυνση που έχουν τα τεκτονικά αυτά λέπια της Πίνδου είναι Β-Ν έως ΒΒΔ-ΝΝΔ με κλίση προς τα Ανατολικά. Τα τεκτονικά αυτά λέπια τέμνονται εγκάρσια από έναν μεγάλο αριθμό ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης τα οποία δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της πτύχωσης.

Πιο συγκεκριμένα στην περιοχή εκτός από τις πτυχώσεις μεγάλης ακτίνας καμπυλότητας παρατηρούνται και πτυχώσεις μικρής ακτίνας καμπυλότητας, όπου έχουν δημιουργήσει σχεδόν κατακόρυφα ρήγματα με αποτέλεσμα οι στρωματογραφικές κλίσεις να είναι της τάξης των 30° -40° , προς διαφορετικές διευθύνσεις.

Στην κοινοτική περιοχή του Ροποτού και κυρίως κατά μήκος της κύριας ρεματιάς που οριοθετεί τα αντερείσματα «Καραμήτσου» και «Αλαταριές» είναι ορατά τα ρήγματα μεγάλων διαστάσεων ένα εκ των οποίων είναι κατακόρυφο με διεύθυνση Β30^o και φορά κλίσης προς τα Νοτιοανατολικά.

Ο φλύσχης και τα «στρώματα μετάβασης» είναι αυτά που έχουν επηρεαστεί περισσότερο από την τεκτονική. Συνέπεια αυτής της τεκτονικής είναι η δημιουργία χαλαρού τμήματος όπου σε συνδυασμό με την διάβρωση και την αποσάθρωση δημιουργούν ένα επιφανειακό τμήμα, το λεγόμενο μανδύα αποσάθρωσης, το οποίο φθάνει κατά θέσεις τα 10 μέτρα. Οι ίδιες διεργασίες στον ασβεστόλιθο έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία κορημάτων με σημαντική ανομοιογένεια και αρκετά χαμηλή συνεκτικότητα.

Τέλος, σύμφωνα με της αεροφωτογραφίες που καλύπτουν την περιοχή μελέτης, διαπιστώθηκε ότι εμφανίζονται δύο κύρια συστήματα διαρρήξεων με διευθύνσεις ΒΔ 320° – 345° και ΒΑ 50° -60°. Τα δύο αυτά συστήματα ρηγμάτων είναι σχεδόν κάθετα μεταξύ τους , με το πρώτο να είναι υπεύθυνο για την διαμόρφωση των κύριων υδρογραφικών αξόνων αλλά και των βυθισμάτων στην ευρύτερη περιοχή, ενώ το δεύτερο ευθύνεται για την δημιουργία των κύριων διαρρήξεων της περιοχής

3.2.3 Υδρογεωλογία

Στην περιοχή στην οποία βρίσκεται η κοινότητα του Ροποτού δημιουργούνται οι πλέον κατάλληλες υδρογεωλογικές συνθήκες για την συγκέντρωση και συγκράτηση του νερού. Οι συνθήκες αυτές δημιουργούνται από σχηματισμούς με φτωχά γεωτεχνικά χαρακτηριστικά, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων βρίσκεται στην περιοχή του Κεντρικού οικισμού. Εκτός της οικοδομικής ζώνης, δηλαδή ανάντι του Κεντρικού οικισμού, παρατηρούνται οι έντονα τεκτονισμένοι λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι σημαντικής υδροπερατότητας. Υπερκείμενος σχηματισμός και σε επαφή, πιθανόν τεκτονική, με τον ασβεστόλιθο είναι ο φλύσχης, ο οποίος σε πολλές θέσεις καλύπτεται από μανδύα αποσάθρωσης σημαντικού πάχους. Εξαιτίας της ικανοποιητικής

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας

στεγανότητας τους φλύσχη, το επιφανειακό νερό που κατεισδύει στο υδροπερατό στρώμα του μανδύα δημιουργεί έναν επικρεμάμμενο υδροφορέα οποίος δημιουργεί πηγές και εκφορτίζει σε διάφορες θέσεις μέσα στον κεντρικό οικισμό. Ο υδροφορέας αυτός εκφορτίζεται με δύο τρόπους, είτε σαν πηγή επαφής συνεχούς παροχής, είτε σαν διύγρανση του εδάφους με περιοδική εμφάνιση ανά έτος.

Σύμφωνα με την γεωτεχνική-υδρογεωλογική μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην κοινότητα του Ροποτού το 2011 από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών και Μελετών (Ι.Γ.Μ.Ε.Μ) οι σχηματισμοί της περιοχής μελέτης διακρίθηκαν σε τρεις υδρολιθολογικές ενότητες μετά από μετρήσεις του συντελεστή υδροπερατότητας k : 1. Σε περατούς

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα κορήματα, ο μανδύας αποσάθρωσης και οι πελαγικοί λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι της Πίνδου. Ο συντελεστής υδροπερατότητας k κυμαίνεται από $2,5x10^{-3}$ cm/sec έως $1,4x\ 10^{-1}$ cm/sec

2. Ημιπερατούς
   Στους ημιπερατούς σχηματισμούς περιλαμβάνονται τα στρώματα μετάβασης τα οποία αποτελούνται από εναλλαγές ασβεστολίθου (υδροπερατός) και λεπτών αργιλικών ενστρώσεων υψηλής στεγανότητας. Οι τιμές του συντελεστή υδροπερατότητας k κυμαίνονται από $1x\ 10^{-4}$ cm/ sec έως $1x10^{-2}$ cm/sec
3. Αδιαπέρατους ή πρακτικά στεγανούς σχηματισμούς
   Ο φλύσχης της ζώνης της Πίνδου, ανήκει σε αυτή την κατηγορία καθώς στο σύνολο του αποτελείται από ψαμμίτες και αργιλικούς σχιστολίθους που είναι πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί. Ο συντελεστής υδροπερατότητας k εκτιμάται ότι είναι μικρότερος από $1x10^{-4}$ cm/sec.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τις πηγές που εμφανίζονται στο οικισμό λόγω των παραπάνω υδρογεωλογικών συνθηκών, σημειώνεται ότι οι παροχές ορισμένων από αυτών είναι σημαντικές και αυτό οφείλεται πιθανόν στις πλευρικές εισροές που προέρχονται από τον ανάντι σχηματισμό του ασβεστολίθου.

3.3 Υδρομετεωρολογία

3.3.1 Τύπος κλίματος

Η Ελλάδα γενικά έχει ενταχθεί από ερευνητές στις μέτρια εύκρατες έως υποτροπικές ζώνες και αποτελείται από ένα τυπικό Μεσογειακό κλίμα. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού του κλίματος είναι οι ήπιοι και υγροί χειμώνες με σχετικά υψηλούς ανέμους και τα ξηρά και σχετικά θερμά καλοκαίρια με ήπιους ανέμους.

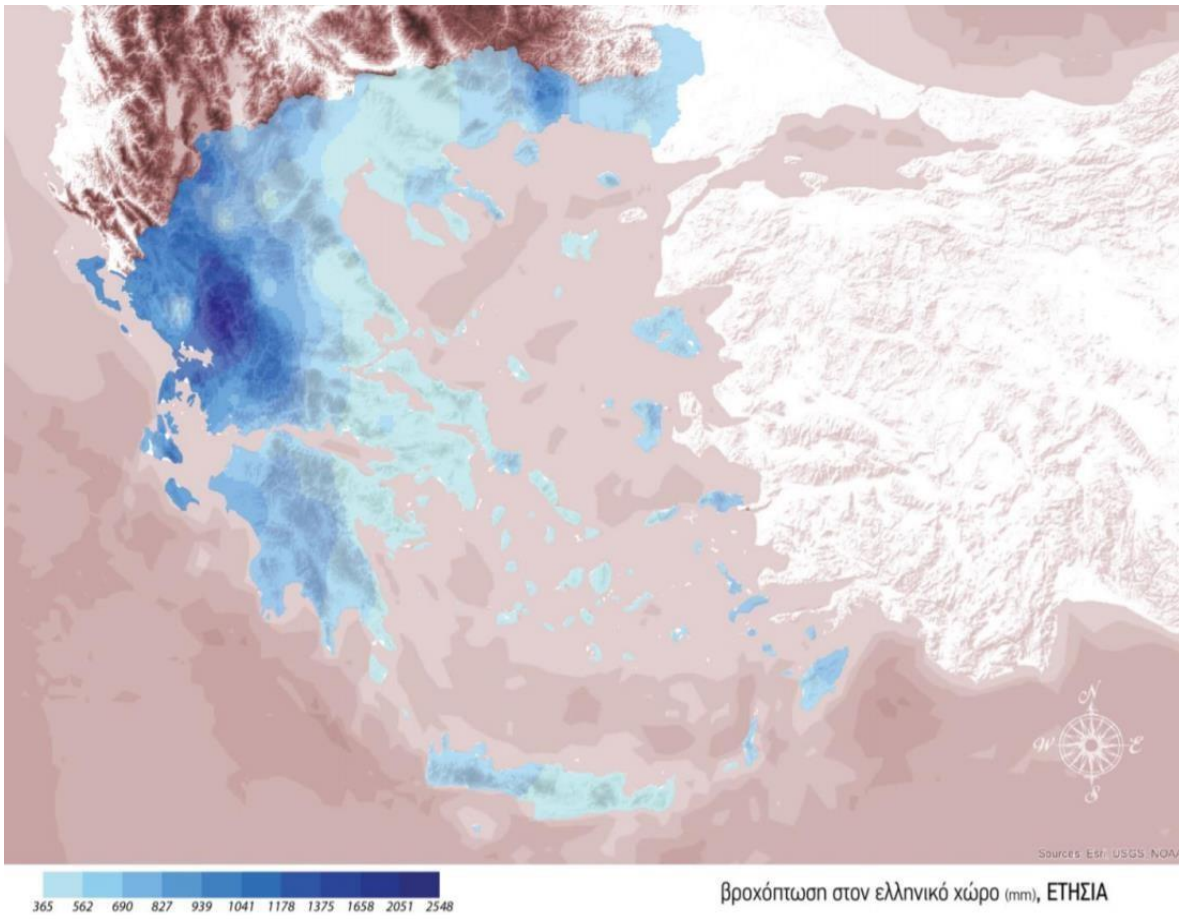
Εξαιτίας της έντονης τοπογραφικής διαμόρφωσης που παρουσιάζει η Ελλάδα, που οφείλεται στις μεγάλες οροσειρές και τους ορεινούς όγκους κατά μήκος της κεντρικής χώρας αλλά και στην εναλλαγή θάλασσας και ξηράς παρατηρείται μεγάλη ποικιλία του κλιματικού τύπου στις διάφορες περιοχές της.

Γενικότερα εάν χωρίσουμε το κλίμα της Ελλάδος σε δύο εποχές θα έχουμε την ψυχρή και υγρή εποχή που θεωρείται το διάστημα Οκτωβρίου- Μαΐου και την θερμή άνομβρη εποχή το διάστημα Μαΐου- Οκτωβρίου. Από θερμοκρασιακής πλευράς οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος ενώ οι θερμότεροι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Τέλος οι βροχοπτώσεις στη χώρα μας παρουσιάζουν μεγάλο ύψος και ένταση κυρίως πάνω από τις ορεινές και δυτικές περιοχές καθώς το ανάγλυφο παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην κατανομή τους.



Χάρτης 5: Ετήσια κατανομή της βροχόπτωσης στην Ελλάδα

Ειδικότερα, σύμφωνα με την κατάταξη τους κλίματος κατά Thornthwaite (Καρράς 1973) η περιοχή μελέτης μας παρουσιάζει ξηρό κλίμα με απόκλιση προς ημιυγρό με μικρό πλεόνασμα νερού κατά την περίοδο του χειμώνα με θερμική κατάσταση μεσόθερμου κλίματος. Οι περιοχές της δυτικής Θεσσαλίας και της κεντρικής Στερεάς Ελλάδας ανήκουν σε αυτή την κατηγορία (Χάρτης 2).

3.3.2 Μετεωρολογικά στοιχεία περιοχής μελέτης

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα δεδομένα που αφορούν το μέσο όρο της ετήσιας βροχόπτωσης από το σταθμό της Ελάτης για τα έτη 1982 έως 2011. Ο μέσος όρος των ετήσιων βροχοπτώσεων υπολογίστηκε στα 1412 mm.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Α.Π.Θ

Πίνακας 1: Μέσος όρος ετήσιας βροχόπτωσης-Σταθμός Ελάτη

Έτος	Ύψος βροχής (mm)
1981	2218,8
1982	1074,5
1983	1677,8
1984	1644,2
1985	1142,5
1986	1616,7
1987	1134,1
1988	1189,1
1989	1275,9
1990	1275,9
1991	1073,5
1992	1015
1993	1497,6
1994	1506,5
1995	1725
1996	1798
1997	1484
1998	1066
1999	843
2000	1054
2001	1115
2002	1550
2003	-
2004	1550
2005	471
2006	1260
2007	1256
2008	1180
2009	1737
2010	1658
2011	476

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

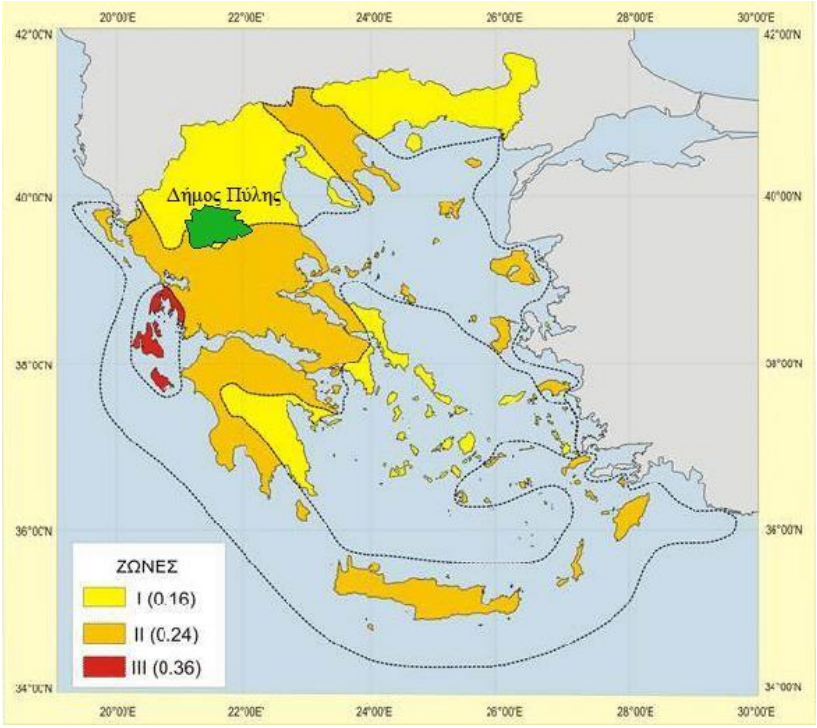
3.4 Στοιχεία σεισμικότητας

Το κύριο σύστημα ρηγμάτων που υπάρχει σε απόσταση 10 km από την περιοχή μελέτης μας είναι αυτό της Καρδίτσας με τα εξής στοιχεία:

Πίνακας 2: Από βάση δεδομένων GreDaSS

-	Παράμετρος	Στοιχεία
Ελάχιστος βάθος (km)	0	-
Μέγιστο βάθος (km)	14	-
Παράταξη (μοίρες)	260-280	-
Κλίση (μοίρες)	40-75	-
Διεύθυνση ολίσθησης	260-280	-
Μέγεθος μετατόπισης (mm/year)	0.3-0.6	Υπολογίστηκε από διάφορους γεωδαιτικούς χάρτες έντασης της ταχύτητας
Μέγιστο μέγεθος (Mw)	6.6	Υπολογίστηκε σεισμικές σχέσης κλιμάκωσης (Wells & Coppersmith 1994)

Σύμφωνα με τον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 7) η Ελλάδα χωρίζεται σε τρείς ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (I, II, III) όπου σε κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί και μία τιμή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους α. Η περιοχής μελέτης μας λοιπόν ανήκει στη μέτρια ζώνη σεισμικής επιτάχυνσης I με α= 0,16.



Σχήμα 4: Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδος(Πηγή:http://portal.tee.gr)

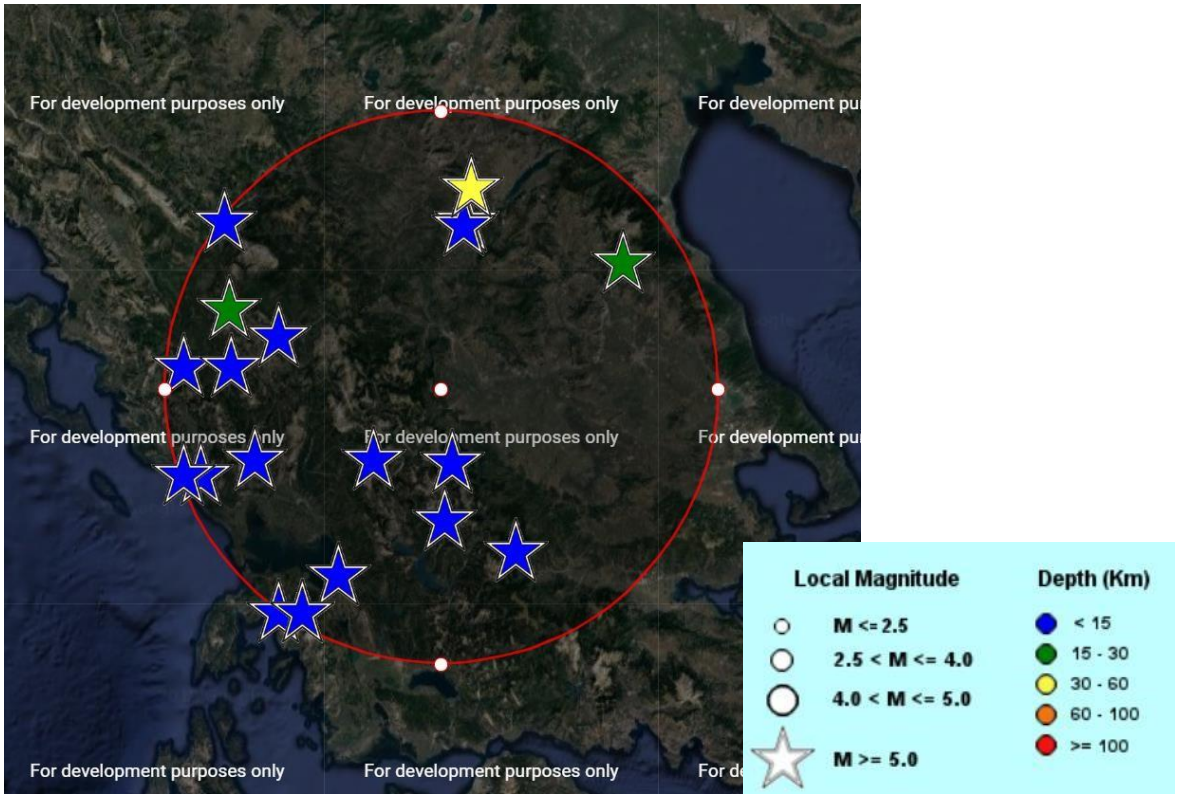
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	I	II	III
α	0,16	0,24	0,36

Πιο συγκεκριμένα τα μεγέθη των σεισμών που έχουν παρατηρηθεί στην περιοχή σε ακτίνα 100 χιλιομέτρων με μέγεθος μεγαλύτερο από 5.0 Richter παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα με το μεγαλύτερο μέγεθος σεισμού να είναι 6,1 Richter.

Στον παραπάνω χάρτη παρατηρούμε ότι τα περισσότερα σεισμικά επίκεντρα βρίσκονται στην περιοχή του νομού Θεσπρωτίας αλλά και στην περιοχή του Αμβρακικού κόλπου σε αντίθεση με τον δήμο Πύλης που είναι ελάχιστα.



Χάρτης 6: Χάρτης με τα επίκεντρα των σεισμών με μέγεθος >= 5.0 Richter από το 1966 μέχρι το 2018. Βάση δεδομένων από Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών- Γεωδυναμικό Ινστιτούτο

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΤΟΥ ΡΟΠΟΤΟΥ.

4.1 Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση

Εκτός από το γεωλογικό μοντέλο της περιοχής προκειμένου να κατανοήσουμε καλύτερα την συμπεριφορά ενός γεωλογικού σχηματισμού (βράχου ή βραχόμαζας) είναι απαραίτητο να προσδιορίσουμε τις επιτόπου συνθήκες που επικρατούν μαζί με τα βασικά χαρακτηριστικά αυτού αλλά και των αντίστοιχων δομών του.

Πιο συγκεκριμένα σε περιπτώσεις βραχόμαζας έχουμε ένα ασυνεχές με μεγάλη ετερογένεια μέσο πράγμα που οδηγεί σε μια περισσότερο περίπλοκη συμπεριφορά καθώς αποτελείται από έναν ή περισσότερους γεωλογικούς σχηματισμούς και τις περισσότερες φορές διατέμνεται από ασυνέχειες(διακλάσεις, ρωγμές, ρήγματα κ.α.). Επιπρόσθετα η εξαλλοίωση, η αποσάθρωση και ο βαθμός κερματισμού που την χαρακτηρίζουν διαφέρουν κάθε φορά. Εξετάζοντας τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά που επιδρούν πρωτογενώς και δευτερογενώς στη βραχόμαζα επηρεάζοντας την συνολική συμπεριφορά προκύπτει ότι πρέπει να προσδιοριστούν τα εξής:

1. Η γεωλογία

   Κάθε πέτρωμα χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες ιδιότητες που εξαρτώνται τόσο από τα ορυκτά από τα οποία αποτελείται αλλά και από τον τρόπο συγκόλλησης και συναρμολόγησής τους. Οι ιδιότητες αυτές καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο με τον οποίο θα συμπεριφερθεί ένα πέτρωμα τόσο σε φυσικές συνθήκες όσο και μετά από την επίδραση δευτερογενών διεργασιών.

2. Η μηχανική αντοχή του πετρώματος που δομεί τη βραχόμαζα

   Όταν ένα σώμα υποβάλλεται σε αυξανόμενη καταπόνηση ανάλογα με την μηχανική του συμπεριφορά θα παραμορφωθεί ή θα υποστεί θραύση μόλις ξεπεραστεί το όριο ελαστικότητάς του. Η συμπεριφορά του αυτή εξαρτάται από τη φέρουσα ικανότητά του δηλαδή την αντοχή του σε θραύση λόγω διατμητικών δυνάμεων.
   Η αντοχή μπορεί να προσδιοριστεί επιτόπου στην ύπαιθρο με :

   - Χρήση γεωλογικού σφυριού
   - Χρήση σφύρας Schmidt Δοκιμή σημειακής φορτίσεως

   Εκφράζεται με τον όρο **σci** και αποτελεί την αντοχή άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική θλίψη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα
ΑΠΘ

Πίνακας 2 : Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση την αντοχή (ISRM, 1981)

Αντοχή σci (Mpa)	**Κατηγορία πετρώματος**
>250	Εξαιρετικά ισχυρό
100-250	Πολύ ισχυρό
50-100	Ισχυρό
25-50	Μετρίως ισχυρό
5-25	Ασθενές
1-5	Πολύ ασθενές
<1	Εξαιρετικά Ασθενές

Επίσης μπορεί να υπολογιστεί μέσω του κριτηρίου αστοχίας Hoek & Brown :

Κριτήριο αστοχίας Hoek and Brown : Κριτήριο θραύσης με τριαξονικά δεδομένα σε όρους μέγιστης κύριας τάσης κατά την θραύση, έναντι ελάχιστης κύριας τάσης.
Υπολογίζεται μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$\sigma 1 = \sigma 3 + \sigma ci\ (mi\ \frac{\sigma 3}{\sigma ci} + 1)^{0.5}$$

Hoek & Brown, 2002

Όπου πρέπει να προσδιοριστεί η σταθερά του υλικού mi (εξαρτάται από τον βαθμό αλληλοκλειδώματος των κόκκων)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γ
Α.Π

Πίνακας 3: ***Σταθερά του υλικού mi (Hoek and Marinos, 2000)***

Τύπος		Ομάδα	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ			
			Χονδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ	Κλαστικό		Κροκαλοπαγή * Λατυποπαγή *	Ψαμμίτες 17 ± 4	Ιλυόλιθοι 7 ± 2 Γραουβάκες (18 ± 3)	Αργιλόλιθοι 4 ± 2 Αργ.σχιστόλιθοι (6 ± 2) Μάργες (7 ± 2)
	Μη κλαστικό	Ανθρακικά	Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι (12 ± 3)	Σπαριτικοί Ασβεστόλιθοι (10 ± 2)	Μικριτικοί Ασβεστόλιθοι (9 ± 2)	Δολομίτες (9 ± 3)
		Εβαπορίτες		Γύψος 8 ± 2	Ανυδρίτης 12 ± 2	
		Οργανικά				Κρητίς 7 ± 2
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ	Μη πτυχωμένα		Μάρμαρο 9 ± 3	Κερατόλιθοι (19 ± 4) Μεταψαμμίτες (19 ± 3)	Χαλαζίτες 20 ± 3	
	Ελαφρά πτυχωμένα		Μιγματίτες (29 ± 3)	Αμφιβολίτες 26 ± 6	Γνεύσιοι 28 ± 5	
	Πτυχωμένα**			Σχιστόλιθοι 12 ± 3	Φυλλίτες (7 ± 3)	Σχίστες 7 ± 4
Τύπος		Ομάδα	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ			
			Χονδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή
ΠΥΡΙΓΕΝΗ	Πλουτώνια	Ανοικτό-χρωμα	Γρανίτης 32 ± 3 Γρανοδιορίτης (29 ± 3)	Διορίτης 25 ± 5		
		Σκοτεινό-χρωμα	Γάββρος 27 ± 3 Νορίτης 20 ± 5	Δολερίτης (16 ± 5)		
	Υποαβυσσικά		Πορφύρης (20 ± 5)		Διαβάσης (15 ± 5)	Περιδοτίτης (25 ± 5)
	Ηφαιστειακά	Λάβα		Ρυόλιθος (25 ± 5) Ανδεσίτης 25 ± 5	Δακίτης (25 ± 3) Βασάλτης (25 ± 5)	
		Πυροκλαστικά	Κροκαλοπαγή (19 ± 3)	Ηφ.Λατυποπαγή (19 ± 5)	Τόφφοι (13 ± 5)	

Επιπρόσθετα σε συνδυασμό με τις παραπάνω παραμέτρους μπορούμε να εφαρμόσουμε τον Κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb:

Κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb: Κριτήριο θραύσης που εκφράζει την αντοχή σε διάτμηση με όρους ενεργών ορθών τάσεων που επενεργούν σε συγκεκριμένο επίπεδο ή ζώνη αδυναμίας.

Εκφράζεται από τις εξής παραμέτρους:

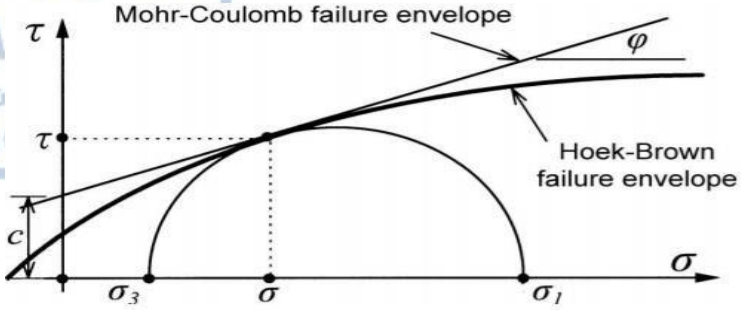
• Συνοχή c (Kpa): Εκφράζει το δέσιμο των κόκκων η των τεμαχών

• Γωνία εσωτερικής τριβής φ (^{o}) : Τριβή ανάμεσα στα ορυκτά ή στα τεμάχη που αντιστέκεται στη διάτμηση.

Υπολογίζεται μέσω ταύτισης των δύο καμπυλών θραύσης Hoek-Brown και Mohr-Coulomb για συγκεκριμένη σ3.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑ
Τμήμα Γεω
Α.Π.



Σχήμα 5 : Υπολογισμός παραμέτρων αντοχής c και φ

Γενικότερα στη φύση η αντοχή ενός πετρώματος είναι αρκετά μικρότερη από αυτή του άρρηκτου πετρώματος και αυτό οφείλεται στην παρουσία ασυνεχειών.

3. Ο βαθμός κερματισμού της βραχόμαζας-δείκτης RQD

Με τον όρο RQD (Rock Quality Designation) εννοούμε την μέθοδο με την οποία χαρακτηρίζεται μια βραχόμαζα με βάση τον κερματισμό της λόγω των διακλάσεων και των ασυνεχειών που την διατρέχουν. Εφαρμόζεται κυρίως σε πυρήνες γεωτρήσεων και εκφράζεται με τον λόγο του αθροίσματος των τεμαχών με μήκος >10cm προς το συνολικό μήκος του πυρήνα σε ποσοστό επί τοις εκατό (%).

Πίνακας 4: ***Ποιότητα βραχόμαζας ανάλογα με τον δείκτη RQD (Deere, 1989)***

RQD (%)	**Ποιότητα βραχόμαζας**
>90	Εξαιρετική
75-90	Καλή
50-75	Μέτρια
25-50	Πτωχή
<25	Πολύ πτωχή

4. Ο βαθμός αποσάθρωσης

Η αποσάθρωση είναι μια διεργασία που μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες στη φυσική και στην χημική.
Η φυσική αποσάθρωση έχει ως αποτέλεσμα τη μηχανική αλλοίωση πρωτογενών ορυκτών αλλά και τον κερματισμό τους δηλαδή την αλλοίωση του πετρώματος ως προς τις μηχανικές του ιδιότητες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους :
Νερό: Μηχανική τριβή, μεταφορά και απόθεση μικρών τεμαχίων
Παγετός: όταν το νερό μετατρέπεται σε πάγο έχει την ιδιότητα να αυξάνεται ο όγκος του
Παγετώνας: Μεγάλες τριβές και μεταφορικές ικανότητες
Άνεμος: διάβρωση και μεταφορά τεμαχίων
Θερμοκρασία: Άνισες πιέσεις λόγω διαφοράς της θερμοκρασίας => αποφλοίωση

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Η χημική αποσάθρωση από την άλλη οδηγεί στην χημική αλλοίωση των πρωτογενών ορυκτών καθώς δημιουργείται έλλειψη χημικής ισορροπίας νερού-ορυκτού. Αυτό επιτυγχάνεται με τους εξής τρόπους:

- Διάλυση
- Οξείδωση
- Αναγωγή
- Υδρόλυση
- Ενυδάτωση

Η παραπάνω διεργασίες λοιπόν μπορούν να επηρεάσουν και να ταπεινώσουν σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες ενός πετρώματος καθώς και την αντοχή του. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητος ο προσδιορισμός του βαθμού της αποσάθρωσης προκειμένου να έχουμε ολοκληρωμένη εικόνα της συμπεριφοράς του.

Πίνακας 5: Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση τον βαθμό αποσάθρωσης (σύμφωνα με την ISRM)

Κατηγορία πετρώματος	**Περιγραφή**	**Κατηγορία την κατά ISRM**
Υγιές	Χωρίς ίχνη αποσάθρωσης	I
Ελάχιστα αποσαθρωμένο	Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών	II
Λίγο αποσαθρωμένο	Έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφρά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού	III
Μέτρια αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα το υλικού χωρίς να παρουσιάζει ευθρυπτότητα του	IV
Έντονα αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα το υλικού με τοπική ευθρυπτότητά του	V
Πλήρως αποσαθρωμένο	Πλήρης αποσάθρωση και μεγάλη ευθρυπτότητα του υλικού με διατήρηση της υφής και της δομής του	VI
Έδαφος	Η υφή και η δομή το υλικού έχει καταστραφεί και το υλικό μπορεί να χαρακτηριστεί ως έδαφος (υπολειμματικός σχηματισμός)	-

5. Η δομή του πετρώματος (στρώση, σχιστότητα, πτύχωση διακλάσεις)

Τα ιζηματογενή και μεταμορφωμένα πετρώματα χαρακτηρίζονται από τις επιφάνειες της στρώσης και της σχιστότητας αντίστοιχα. Η δημιουργία της δομής αυτής οφείλεται σε πρωτογενής διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

τη διάρκεια σχηματισμού ή κρυστάλλωσης του πετρώματος. Οι επιφάνειες αυτές αποτελούν ζώνες αδυναμίας με μεγάλη εμμονή για τον εκάστοτε σχηματισμό καθώς διατρέχουν όλη την έκτασή του και δημιουργούν ετερογενής και μη συμπαγής οδηγώντας έτσι στην ανισότροπη συμπεριφορά του με τον προσανατολισμό τους να παίζει σημαντικό ρόλο.

Σε δεύτερο στάδιο καθώς τα πετρώματα αυτά θα επηρεαστούν από τις δυνάμεις της τεκτονικής (συμπίεση, εφελκυσμός) θα υποστούν αλλαγές στη δομή τους. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα το πέτρωμα να πτυχώνεται ή να δημιουργούνται ρήγματα (κανονικά ή ανάστροφα). Η δημιουργία των πτυχώσεων οδηγεί στην έντονη καταπόνηση του πετρώματος όπου ανάλογα με το μέτρο ελαστικότητάς του κάμπτεται ή κατακερματίζεται. Βέβαια, η πτύχωσή του αυτή οδηγεί στο αλληλοκλείδωμα τον τεμαχών του αποτρέποντας έτσι την εκδήλωση αστοχιών μεγάλων διαστάσεων.

Εκτός από τις βασικές δομές που αναφέρθηκαν παραπάνω σε ένα πέτρωμα μπορούν να δημιουργηθούν και μικρότερες δευτερογενής δομές όπως οι διακλάσεις με μικρή σχετικά εμμονή. Δημιουργούνται συνήθως σε πετρώματα με μικρό μέτρο ελαστικότητας καθώς μετά από έντονη δράση συμπίεσης ή εφελκυσμού επέρχεται η θραύση και ρωγμάτωσή τους.

6. Οι ασυνέχειες και τα βασικά χαρακτηριστικά τους

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Βραχομηχανικής (I.S.R.M, 1981) η μηχανική συμπεριφορά των ασυνεχειών καθορίζεται από τα εξής χαρακτηριστικά τους:

- Προσανατολισμός (Παράταξη-κλίσης- διεύθυνση κλίσης)
  Ο προσανατολισμός παίζει πολύ σημαντικό ρόλο ανάλογα με τη διεύθυνση κατασκευής του τεχνικού έργου (ορύγματος, σήραγγας κλπ.)

- Εμμονή
  Η εμμονή των ασυνεχειών καθορίζει την συμπεριφορά της βραχόμαζας καθώς όσο μεγαλύτερη είναι τόσο δυσμενέστερη η μηχανική της συμπεριφορά.

Πίνακας 6: ***Κατάταξη εμμονής ασυνεχειών σύμφωνα με την I.S.R.M , 1981***

Εμμονή ασυνέχειας	**Χαρακτηρισμός**
< 1 m	Πολύ μικρή
1-3 m	Μικρή
3 – 10 m	Μέτρια
10- 20 m	Μεγάλη
>20 m	Πολύ μεγάλη

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

- Απόσταση
  Η απόσταση των ασυνεχειών καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος και τις διαστάσεις των τεμαχών της βραχόμαζας που δύναται να αστοχήσουν.

Πίνακας 7: ***Κατάταξη απόστασης των ασυνεχειών σύμφωνα με την I.S.R.M, 1981***

Απόσταση	**Χαρακτηρισμός**
2 cm	Πάρα πολύ μικρή
2-6 cm	Πολύ μικρή
6-20 cm	Μικρή
20-60 cm	Μέση
60-200 cm	Μεγάλη
200-600 cm	Πολύ μεγάλη
>600 cm	Πάρα πολύ μεγάλη

- Τραχύτητα
  Με εξαίρεση τις επιφάνειες των ρηγμάτων, οι επιφάνειες των ασυνεχειών δεν είναι ποτέ λείες και επίπεδες αλλά αποτελούνται από μικρές κυματώσεις που χαρακτηρίζονται ως τραχύτητα. Η τραχύτητα των ασυνεχειών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη διατμητική αντοχή της βραχόμαζας καθώς η γωνίας τριβής της είναι ίση με τον άθροισμα της τριβής της λείας επιφάνειας (φb) , και της γωνίας της κυμάτωσης (i).
  Ο υπολογισμός της τραχύτητας γίνεται από τυποποιημένα προφίλ με τιμές JRC για το κάθε ένα από αυτά και εφαρμόζονται στον παρακάτω τύπο.

$$i = JRC \log 10 \left(\frac{JCS}{\sigma n}\right)$$

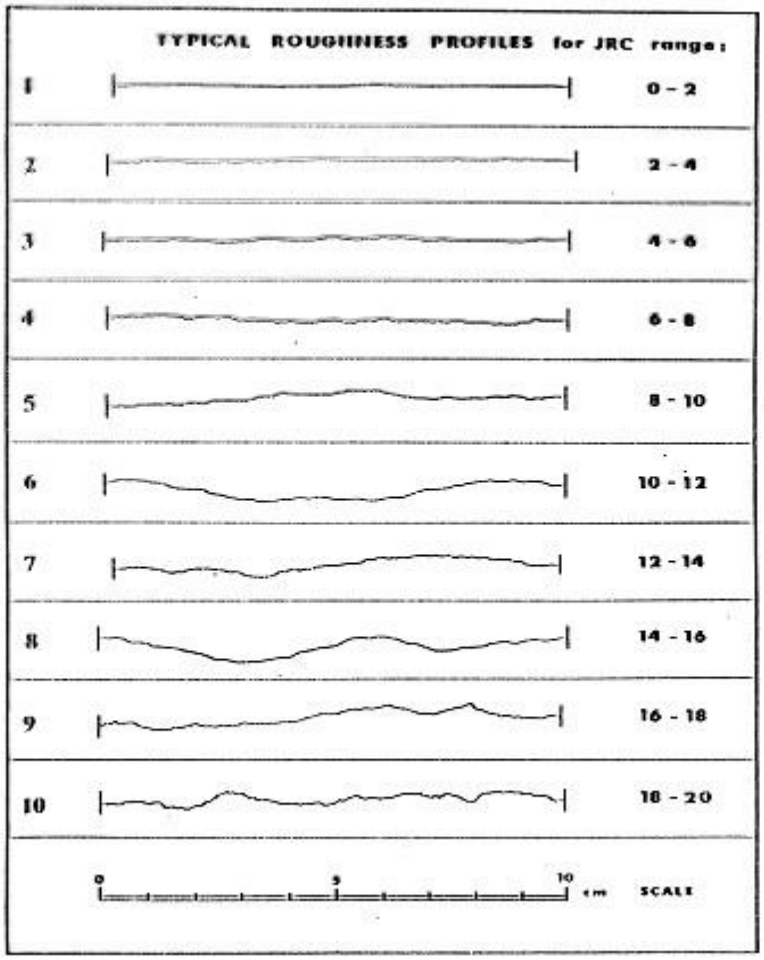
Barton & Choubey, 1977

JRC: συντελεστής τραχύτητας JCS:
αντοχή τοιχωμάτων (σφύρα Schmidt) σn:
ορθή τάση

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πίνακας 8: Κλασσική περιγραφή της τραχύτητας των ασυνεχειών κατά Barton. Σχηματικός πίνακας των "προφίλ" των ασυνεχειών και της τιμής τραχύτητας JRC.



- Αντοχή τοιχωμάτων
  Τις περισσότερες φορές εξαιτίας της αποσάθρωσης η αντοχή των τοιχωμάτων των ασυνεχειών είναι αρκετά μικρότερη από αυτή του άρρηκτου βράχου, Η εκτίμηση αυτή γίνεται επιτόπου με τη χρήση της σφύρας Schmidt ή με τη χρήση του γεωλογικού σφυριού.

Πίνακας 9: Κατάταξη αντοχής των ασυνεχειών σύμφωνα με την I.S.R.M, 1981

Αντοχή	**Χαρακτηρισμός**
<10 Mpa	Πολύ μαλακά
10-20 Mpa	Μαλακά
20-50 Mpa	Μέτρια
50-60 Mpa	Σκληρά
>60 Mpa	Πολύ σκληρά

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

- Υλικό πλήρωσης

  Το υλικό πλήρωσης μαζί με την τραχύτητα της επιφάνειας της ασυνέχειας καθορίζουν την αντοχή της. Τα χαρακτηριστικά του υλικού πλήρωσης που παίζουν ρόλο είναι:

  1) Το πάχος του. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του υλικού πλήρωσης τόσο και η διατμητική αντοχή της ασυνέχειας εξαρτάται από αυτό.
  2) Η σύσταση του. Για παράδειγμα αργιλικό υλικό πλήρωσης η διατμητική αντοχή της ασυνέχειας μειώνεται σε αντίθεση με τον ασβεστιτικό ή χαλαζιακό υλικό στο οποίο αυξάνεται

- Άνοιγμα

  Το άνοιγμα μίας ασυνέχειας ορίζεται μετρώντας την κάθετη απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων της. Με την αύξηση της απόστασης αυτής μειώνεται και η διατμητική αντοχή κατά μήκος της ασυνέχειας.

Πίνακας 10; Κατάταξη του ανοίγματος των ασυνεχειών σύμφωνα με την I.S.R.M , 1981

Άνοιγμα	**Χαρακτηρισμός**
< 0,1 mm	Πολύ κλειστές
0,1-0,25 mm	Κλειστές
0,25- 0,50 mm	Μερικά ανοικτές
0,50 -2,5 mm	Ανοικτές
2,5 -10 mm	Μέτρια πλατιές
>10 mm	Πλατιές
1-10 cm	Πολύ πλατιές
10-100 cm	Εξαιρετικά Πλατιές

7. Η παρουσία υπόγειου και επιφανειακού νερού

   Κατά μήκος των επιφανειών των ασυνεχειών μπορεί να έχουμε μείωση των ενεργών τάσεων εξαιτίας της παρουσίας του νερού. Με την αύξηση των υδροστατικών πιέσεων, οι οποίες δρουν με αντίθετη φορά στις ορθές τάσεις μειώνεται η διατμητική αντοχή των επιφανειών.

   Επιπρόσθετα τον νερό έχει την τάση να αποσαθρώνει, να διαβρώνει, να καρστικοποιεί και να διαλύει τη βραχόμαζα με αποτέλεσμα να μειώνει την αντοχή και τραχύτητα των επιφανειών και τελικά την διατμητική αντοχή του πετρώματος.

   Τέλος, εκτός από τις επιφάνειες των ασυνεχειών το νερό μπορεί να εισέλθει στο πέτρωμα ή τον σχηματισμό από την επιφάνεια ή το υπέδαφος διαμέσου το πρωτογενούς πορώδους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αναπτύσσονται υδροφορείς οδηγώντας στην εμφάνιση διαφυγών ή πηγών.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

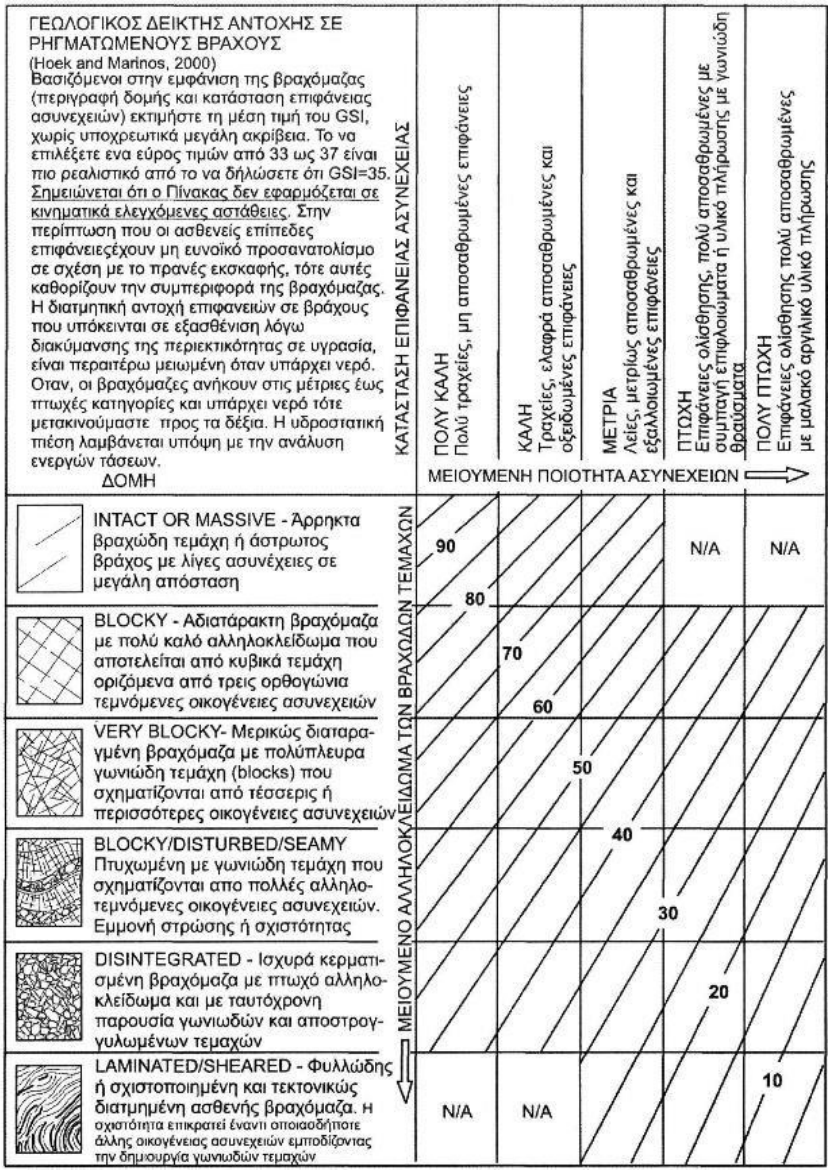
8. Οι γεωτεχνικές ταξινομήσεις

Γεωτεχνική ταξινόμηση GSI

Ο δείκτης GIS αποτελεί έναν γεωλογικό δείκτη αντοχής για το ποσοτικό χαρακτηρισμό μιας βραχόμαζας. Αρχικά προτάθηκε από τους Hoek, Wood και Shah (1992), έπειτα βελτιώθηκε και επεκτάθηκε για ασθενής βραχόμαζες από Hoek, Μαρίνο και Benissi (1998), παίρνοντας στη συνέχεια την τελική μορφή του από Hoek και Μαρίνο (2000). Ο δείκτης αυτός εκφράζει αριθμητικά την απομείωση των σταθερών του υλικού της βραχόμαζας ανάλογα με το πλήθος και το αλληλοκλείδωμα των ασυνεχειών μαζί με την κατάσταση των επιφανειών τους. Τέλος αποτελεί σημαντική παράμετρο για την επίλυση του κριτηρίου θραύσης Hoek & Brown.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της ταξινόμησης GSI είναι η βραχόμαζα να συμπεριφέρεται ισότροπα χωρίς η αστοχία να ελέγχεται από συγκεκριμένες ασυνέχειες (ανισότροπη αστοχία).

Πίνακας 11: Βασικό διάγραμμα Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής GSI (Hoek & Marinos, 2000)



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

4.2 Χαρακτηριστικά κατολίσθησης

Όπως αναφέρεται και στην παράγραφό 1.2 στην περιοχή υπάρχει ένα ιστορικό παλαιοτέρων μετακινήσεων από το 1963 με την κατολίσθηση αυτή να αποτελεί επαναδραστηριοποίηση παλαιότερης στον ίδιο χώρο με τα ίδια όρια και με την κατάσταση έκτοτε να έχει επιδεινωθεί σημαντικά επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό τόσο το τοπογραφικό ανάγλυφο όσο και την οικοδομική κοινότητα του Ροποτού.

Παρατηρώντας τη σημερινή εικόνα της κατολίσθησης τη βλέπουμε να εκτείνεται από τον ανώτερο δασικό δρόμο μέχρι και τα κατώτερα τοπογραφικώς σπίτια του οικισμού. Πιο συγκεκριμένα ο επιμήκης άξονας της κατολίσθησης αναπτύσσεται σχεδόν εγκάρσια ως προς την ανάπτυξη της οικοδομικής κοινότητας με διεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ, επηρεάζοντας μεγάλο κομμάτι της. Το μήκος της κατολίσθησης εκτιμάται στα 750 m με το πλάτος της να ποικίλει από 100 μέχρι και 280 m (Εικόνα 10). Το άνω ή ΔΒΔ όριο της κατολίσθησης (φρύδι) βρίσκεται σε υψόμετρο 940 m ενώ το κάτω ή ΑΒΑ όριο (πόδι) εκτιμάται ότι βρίσκεται στα 640 m.

Εικόνα 10: Συνολική εικόνα κατολίσθησης

Στο φρύδι της κατολίσθησης τα υλικά που επηρεάζονται και κατολισθαίνουν είναι κυρίως τα ασβεστολιθικά κορήματα (Εικόνα 11) μικρού πάχους. Τοπογραφικά χαμηλότερα, οι εδαφικές μάζες οι οποίες κατολισθαίνουν αποτελούνται από τον μανδύα αποσάθρωσης τόσο του υποκείμενου φλύσχη όσο και της μεταβατικής ζώνης (Εικόνα *12*)

Παρατηρούνται επίσης και ίχνη παλαιότερων αλλά και σύγχρονών εδαφικών μετακινήσεων και θραύσεων μικρής κλίμακας κυρίως σε περιοχές που δομούνται από τον σχηματισμό του φλύσχη οι οποίες όμως έχουν μικρό βάθος και περιορισμένη έκταση. Τα υλικά αυτά συμπεριφέρονται ως έδαφος το οποίο χαρακτηρίζεται εξαιρετικά ασταθές εξαιτίας των υδρογεωλογικών και μορφολογικών συνθηκών που επικρατούν καθώς η

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

κορεσμένη εδαφική μάζα ολισθαίνει πάνω στην υποκείμενη επιφάνεια του αδιαπέρατου φλύσχη.

Εικόνα 11: Ασβεστολίθικά κορήματα-φρύδι κατολίσθησης

Εικόνα 12: Μανδύας αποσάθρωσης-κέντρο κατολίσθηση

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

4.2.1 Στοιχεία επιτόπου έρευνας

Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο μηχανισμός της κατολίσθησης, πραγματοποιήθηκε τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής χρησιμοποιώντας ταξινομήσεις και ορολογία της δομικής γεωλογίας καθώς η γεωμετρία και οι διάφορες μετατοπίσεις μπορούν να προσδιοριστούν με ακρίβεια.

Αρχικά εντοπίστηκαν τα όρια της κατολίσθησης πράγμα το οποίο μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό από δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες καθώς παρουσιάζονται με ρήξη της επιφάνειας του εδάφους διαμορφώνοντας μια απότομη και καλά καθορισμένη επιφάνεια. Αρχικά παρατηρούμε το φρύδι της κατολίσθησης που αποτελεί και την επιφάνεια διάρρηξής της το οποίο έχει πλάτος περίπου 245 m (Εικόνα 13). Αποτέλεσμα της μετακίνησης των εδαφικών υλικών στην περιοχή του φρυδιού είναι κομμάτι της δασικής έκτασης να μετατοπιστεί με τα δέντρα να βρίσκονται πλέον σε αντίθετη κλίση από αυτή της πλαγιάς (Εικόνα 16). Στη συνέχεια εντοπίστηκαν και τα πλευρικά όρια της όπου εξαιτίας της απότομης μορφολογίας που δημιουργήθηκε παρατηρούμε και το υπόβαθρο της περιοχής με εμφάνιση των στρωμάτων του φλύσχη (Εικόνα 15).

Εικόνα 13: Φρύδι κατολίσθησης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦ
Τμήμα
Α.

Εικόνα 14: Ανεστραμμένα δέντρα

1

Εικόνα 15: Βόρειο πλευρικό όριο-φλύσχης

Παρατηρώντας μορφολογικά την κατολίσθηση περίπου στο κεντρικό τμήμα της δημιουργείται μια αναθόλωση η οποία εκτείνεται σε όλο το πλάτος της και οφείλεται στη συσσώρευση εδαφικού υλικού. Η συγκέντρωση αυτή των επιφανειακών εδαφικών υλικών εντοπίζεται και σε μια μικρότερης κλίμακας αναθόλωση και εμφανίζεται και στο κατώτερο τμήμα της κατολίσθησης κατάντι της εκκλησίας του χωριού με την μορφολογική κλίση να εκτιμάται περίπου 15°. Εκτός όμως από αυτές τις αναθολώσεις παρατηρούνται και μικρότερες εξάρσεις του αναγλύφου που προκάλεσαν καταστροφές σε παλαιότερες κατασκευές οι οποίες στόχευαν στην αντιμετώπιση της κατολίσθησης όπως για παράδειγμα την ανατροπή των σειρών από συρματοκιβώτια που λειτουργούσαν σαν αντίβαρο στις ολισθαίνουσες μάζες.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

(Εικόνα 18) αλλά και την καταστροφή της τσιμεντένιας αύλακας που εξυπηρετούσε στην εκτροπή των επιφανειακών υδάτων (Εικόνα 19).Στο κεντρικό κομμάτι της κατολίσθησης εντοπίστηκαν αρκετές εφελκυστικές ρωγμώσεις που αρχικά δημιουργήθηκαν από την κίνηση της κατολίσθησης και στη συνέχεια διευρύνθηκαν από την επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων όπως για παράδειγμα το νερό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα επιφανειακά ύδατα να εισχωρούν σε βάθος εντός των εδαφικών σχηματισμών.

Εικόνα 16: Κατεστραμμένα συρματοκιβώτια

Εικόνα 17: Κατεστραμμένη τάφρος αποστράγγισης

Λόγω λοιπόν της ενεργοποίησης της κατολίσθησης υπέστησαν πολλές καταστροφές και αρκετά οικοδομήματα της κοινότητας. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η καταστροφή των θεμελίων ενός σπιτιού το οποίο βρίσκεται ακριβώς πάνω στο βόρειο πλευρικό όριο της κατολίσθησης (Εικόνα 18). Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά όμως παραδείγματα που υποδεικνύουν το μέγεθος της κατολίσθησης είναι η μετατόπιση της εκκλησίας του χωρίου 50m από την αρχική της θέση όπου πλέον βρίσκεται σε κεκλιμένη επιφάνεια (Εικόνα 19).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα
Α

Εικόνα 18: Κατεστραμμένο οικοδόμημα

Εικόνα 19: Εκκλησία κοινότητας Ροποτού

Με την εκδήλωση αυτής της κατολίσθησης επηρεάστηκαν και περιοχές εκτός των ορίων της με την εκδήλωση μικρής κλίμακας εδαφικών μετακινήσεων και ρωγμώσεων στα πρανή εκατέρωθεν αυτής. Στα 250m βόρεια του φρυδιού της κατολίσθησης εντοπίστηκαν μικρότερης κλίμακας επιδερμικές κατολισθήσεις στον μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη οι οποίες οφείλονται στην χαλάρωση της φυσικής αντιστήριξης (Εικόνα 20 και Εικόνα 21).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

Εικόνα 20: Επιδερμική κατολίσθηση

Εικόνα 21: Επιδερμική κατολίσθηση

Βόρεια επίσης του φρυδιού της κατολίσθησης εντοπίστηκε ρωγμή μήκους 150 m με το άνοιγμά της να φτάνει περίπου το 1 m (Εικόνα 22)με τη δημιουργία της να συνδέεται με τη ρήξη του φρυδιού της κατολίσθησης. Η ρωγμή αυτή ξεκινάει από το ύψος του δασικού δρόμου (Εικόνα 24) και συνεχίζεται ανατολικά παράλληλα με τη διεύθυνση του φρυδιού όπου μετά τα πρώτα 100 m παρατηρούμε να διαχωρίζεται σε δύο μέρη με το πρώτο να εκτείνεται ΑΝΑ και το δεύτερο ΒΒΑ. Εξετάζοντας εσωτερικά την ρωγμή στο ύψος του δασικού δρόμου παρατηρούμε ότι το υλικό είναι αρκετά πτωχής ποιότητας με μεγάλο ποσοστό υγρασίας με τις σχιστολιθικές ενστρώσεις του φλύσχη να είναι αρκετά εξαλλοιωμένες (*Εικόνα 23*). Τέλος, βόρεια και εκτός των ορίων της κατολίσθησης κατά μήκος του δρόμου εντοπίσθηκε πηγή συνεχούς ροής (Εικόνα 25)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή

Εικόνα 22: Ρωγμή βόρεια του φρυδιού της κατολίσθησης

Εικόνα 23: Έντονα διατμημένες και επιφανειακά αποσαθρωμένες σχιστολιθικές ενστρώσεις εσωτερικά της ρωγμής

Εικόνα 24: Τέλος ρωγμής κατά μήκος του δασικού δρόμου

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

Εικόνα 25: Πηγή

Τέλος βόρεια της κύριας κατολίσθησης εντοπίστηκαν ενδείξεις ύπαρξης ενός παλαιότερου κατολισθητικού φαινομένου. Οι ενδείξεις αυτές αφορούν κυρίως την εμφανή και απότομη ταπείνωση της μορφολογίας αλλά και την ύπαρξη επιφανειών διάρρηξης τόσο στο φρύδι όσο και πλευρικά της περιοχής αυτή, στοιχεία που συνδέονται άμεσα με την οριοθέτηση της αστοχίας όπως για παράδειγμα είναι η ρωγμάτωση του δρόμου στη βόρεια είσοδο του χωριού (Εικόνα 26).

Εικόνα 26: Ρωγμή δρόμου-βόρειο πλευρικό όριο παλαιότερης κατολίσθησης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4.3 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες περιοχής

Όπως έχει αναφερθεί η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη γεωτεκτονική ζώνη της Πίνδου η οποία χαρακτηρίζεται από αλλεπάλληλα λέπια λόγω της έντονης τεκτονικής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι σχηματισμοί της περιοχής να είναι έντονα καταπονημένοι. Πιο αναλυτικά ο κάθε σχηματισμός διακρίνεται από τα εξής χαρακτηριστικά:

1) Πλευρικά κορήματα

Η εμφανίσεις των πλευρικών κορημάτων βρίσκονται κυρίως το ανατολικό πρανές και καλύπτουν εξ ολοκλήρου το φρύδι της κατολίσθησης. Προέρχονται από την αποσάθρωση και την διάβρωση των λεπτοπλακώδων ασβεστόλιθων καθώς και των στρωμάτων μετάβασης. Το βάθος τους κυμαίνεται από 1 έως 5 m και χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή συνεκτικότητα, ορυκτολογική ποικιλία και κοκκομετρική ανομοιογένεια.

Εικόνα 27: Πλευρικά κορήματα

2) Οι λιθολογικές φάσεις του φλύσχη

Ο σχηματισμός του φλύσχη που εμφανίζεται στην περιοχή αποτελείται κυρίως από τις εναλλασσόμενες φάσεις των ψαμμιτών, ιλυολίθων και των αργιλικών σχιστολίθων. Λόγω αυτής της ετερογένειας αποτελεί έναν ιδιαίτερο από τεχνικογεωλογικής άποψης σχηματισμό

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

καθώς παρουσιάζει μια πιο πολύπλοκη συμπεριφορά. Ένα παράδειγμα αυτής της διαφορετικής συμπεριφοράς είναι η ελαστικότητα αυτών των σχηματισμών απέναντι στη δύναμη της τεκτονικής και συγκεκριμένα της πτύχωσης, καθώς όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 28), ενώ ο ιλυολιθικός σχηματισμός κάμπτεται χωρίς καμία θραύση, ο ψαμμιτικός ,ενώ ακολουθεί την πτύχωση, θραύεται σε τεμάχη εξαιτίας της μικρής του ελαστικότητάς του. Επιπρόσθετα έντονα φαινόμενα διάβρωσης παρατηρούνται στα πρανή με αυξημένες μορφολογικές κλίσεις κυρίως στις ιλυολιθικές και αργιλικές ενστρώσεις του φλύσχη (Εικόνα 29).

Τέλος η σχιστότητά τους είναι τις περισσότερες φορές αντίρροπη ως προς το πρανές. Οι ψαμμιτικοί πάγκοι έχουν μέσο πάχος 15 cm ενώ σε ορισμένα σημεία φτάνουν και τα 30 cm.

Εικόνα 28: Πτυχή φλύσχη

Εικόνα 29: Διάβρωση ιλυολιθικών στρωμάτων

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦ
Τμήμα
Α.

Εικόνα 30: Αποσαθρωμένος σχιστόλιθος

Εξαιτίας αυτών των χαρακτηριστικών του φλύσχη δημιουργείται μανδύας αποσάθρωσης μεγάλου πάχους, έως και 10 m, ως αποτέλεσμα της διάβρωσης και της αποσάθρωσης τόσο των ψαμμιτικών μελών του φλύσχη όσο και των σχιστολιθικών στρωμάτων του. Ο μανδύας αυτός αποτελείται κυρίως από αργιλοϊλύ και θραύσματα μεγέθους χαλικιών, και βρίσκεται με μεγαλύτερη συσσώρευση σε περιοχές με μικρή κλίση. Τέλος εξαιτίας της μικρής συνεκτικότητάς του παρουσιάζει ικανοποιητική υδροπερατότητα δίνοντας έτσι τη δυνατότητα του επιφανειακού νερού να διεισδύσει σε βάθος και να μειώσει περισσότερο τα χαρακτηριστικά του.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού αυτού όπως προέκυψαν από εργαστηριακές δοκιμές που έγινα στα πλαίσια γεωτεχνικών μελετών του Ι.Γ.Μ.Ε στην περιοχή είναι τα εξής:

$\gamma = 23$ kPa
$\varphi = 35^{o}$
c = 10 Mpa

Παρά το γεγονός ότι ο φλύσχης αποτελεί το γεωλογικό υπόβαθρο σχεδόν σε όλη την περιοχή του Ροποτού, ολόκληρη η οικοδομική περιοχή του οικισμού αναπτύσσεται πάνω στον μανδύα αποσάθρωσής του.

3) <u>Τα στρώματα μετάβασης</u>

Τα στρώματα αυτά αποτελούν την μετάβαση του φλύσχη προς τους λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους. Ο σχηματισμός αυτός εξαιτίας της ετερομορφίας που παρουσιάζει στη σύστασή του μαζί με την έντονη τεκτονική που έχει υποστεί και έχει κατακερματίσει τα συμπαγή μέλη του συμπεριφέρεται γεωμηχανικά ανισότροπα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣ
Τμήμα Γεωλο
Α.Π.Θ

Εικόνα 31: Μεταβατικά

Οι λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι

4) Η τεκτονική καταπόνηση του σχηματισμού στην περιοχή είναι έντονη με αποτέλεσμα να σχηματίζει συγκεντρικές και ανεστραμμένες πτυχές. Ο ισχυρός κερματισμός σε συνδυασμό με την πτύχωση αυτή και την πλακώδη ανάπτυξή του συμβάλουν σε σχετική χαλάρωση της δομής του με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τοπικά καταπτώσεις ή αποκολλήσεις μικρών σχετικά βραχωδών τεμαχών. Η χαλάρωση αυτή της δομής του που συνοδεύεται με το άνοιγμα τον επιφανειών κατά μήκος της στρώσης του που οδηγεί στην διείσδυσή του νερού το οποίο με τη σειρά του διαβρώνει, καρστικοποιεί και τελικά μειώνει τις ενεργές τάσεις και τη διατμητική αντοχή του πετρώματος. Η διείσδυση αυτή του νερού επιφέρει επίσης και αύξηση της υδροπερατότητας του.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦ
Τμήμα
Α.

Εικόνα 32: Πτύχωση ασβεστολίθου

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού αυτού όπως προέκυψαν από εργαστηριακές δοκιμές που έγινα στα πλαίσια γεωτεχνικών μελετών του Ι.Γ.Μ.Ε στην περιοχή είναι τα εξής:

γ= 25 kN/m^3
$\varphi = 40^o$
c= 10 Mpa

Λόγω της επιδεκτικότητας του του σχηματισμού αυτού στην διάβρωση και την αποσάθρωση μαζί με το έντονα κερματισμένο στρώμα μετάβασης δημιουργούνται κορήματα.

Στα πλαίσια προσδιορισμού των τεχνικογεωλογικών συνθηκών της περιοχής πραγματοποιήθηκαν τεκτονικές μετρήσεις, μετρήσεις προσανατολισμού, χαρακτηρισμός της ποιότητας των σχηματισμών αλλά και ταξινόμησή αυτών προκειμένου τελικά να υπολογιστούν οι απαραίτητοι παράμετροι. Τα στοιχεία αυτά παρεντίθενται για τον κάθε σχηματισμό συνοπτικά στους παρακάτω πίνακες συνοδευόμενοι από δορυφορική εικόνα τις περιοχής με τις αντίστοιχες θέσεις των μετρήσεων.

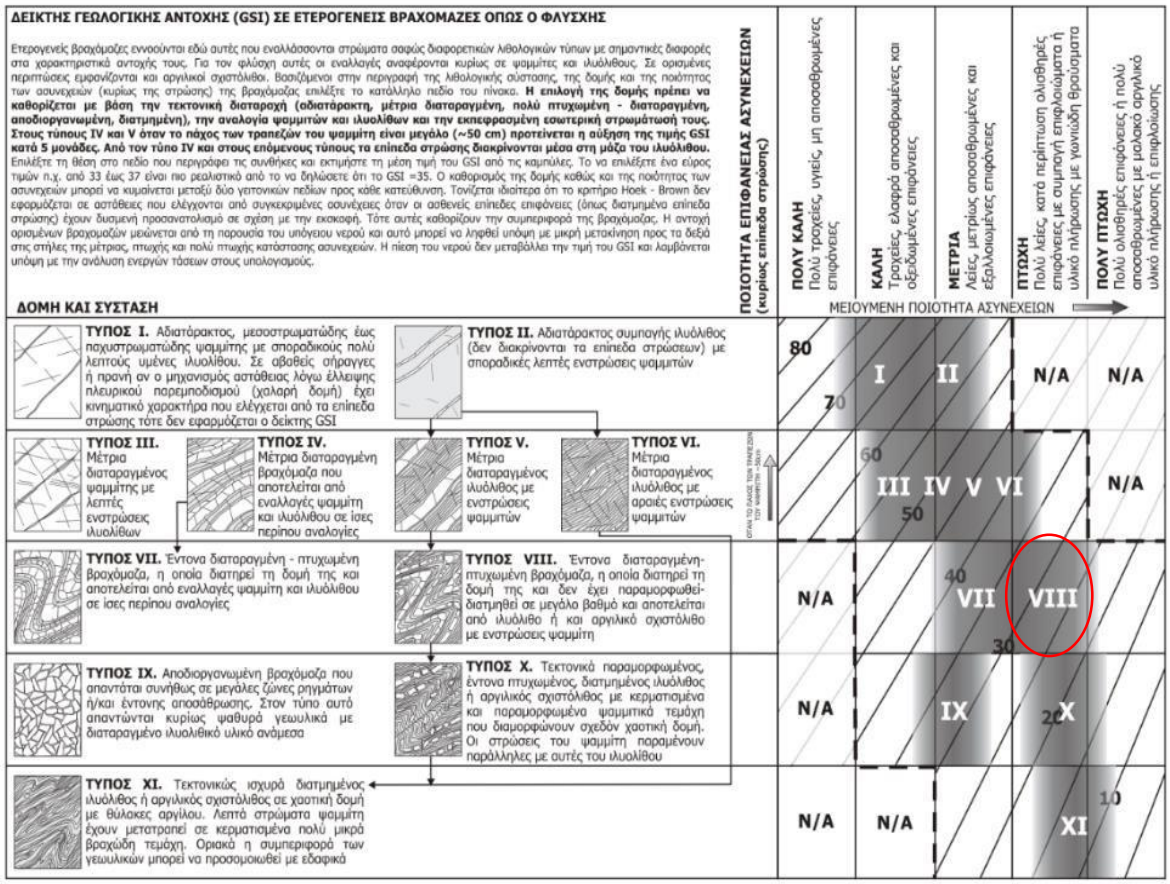
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πίνακας 12: Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά φλύσχη

Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση			
Προσανατολισμός	21° /270°	20 ° /300 °	20 ° /258 °
GIS (για ετερογενής βραχόμαζες όπως αυτή του φλύσχη- Μαρίνο Π., Μαρίνος Β., Hoek E. , 2007)	35-40	Τύπος VIII	
Βαθμός αποσάθρωσης (σύμφωνα με ISRM)	Βαθμός II-IV	Ελάχιστα αποσαθρωμένο έως μετρίως αποσαθρωμένο	
Βαθμός διαταραχής	0,7		
γ (kN/m3)	24	Μέτριο-Σκληρό πέτρωμα	
$σc_i$ (Mpa)	50-100	R4 Σκληρό	
m_i	16	80 % ψαμμίτης 20% ιλυόλιθος	
RocData-Rocscience			
c (Mpa)	2,452		
φ (°)	22,224		

Πίνακας 13: Ο Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής GSI για ετερογενείς βραχόμαζες όπως ο



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

Εικόνα 33: Πτυχωμένος και διατμημένος σχηματισμός φλύσχη 1α)Προσανατολισμός: 21º /270º , 2α) Προσανατολισμός: 20º /300º, 3α) Προσανατολισμός: 20º /258

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

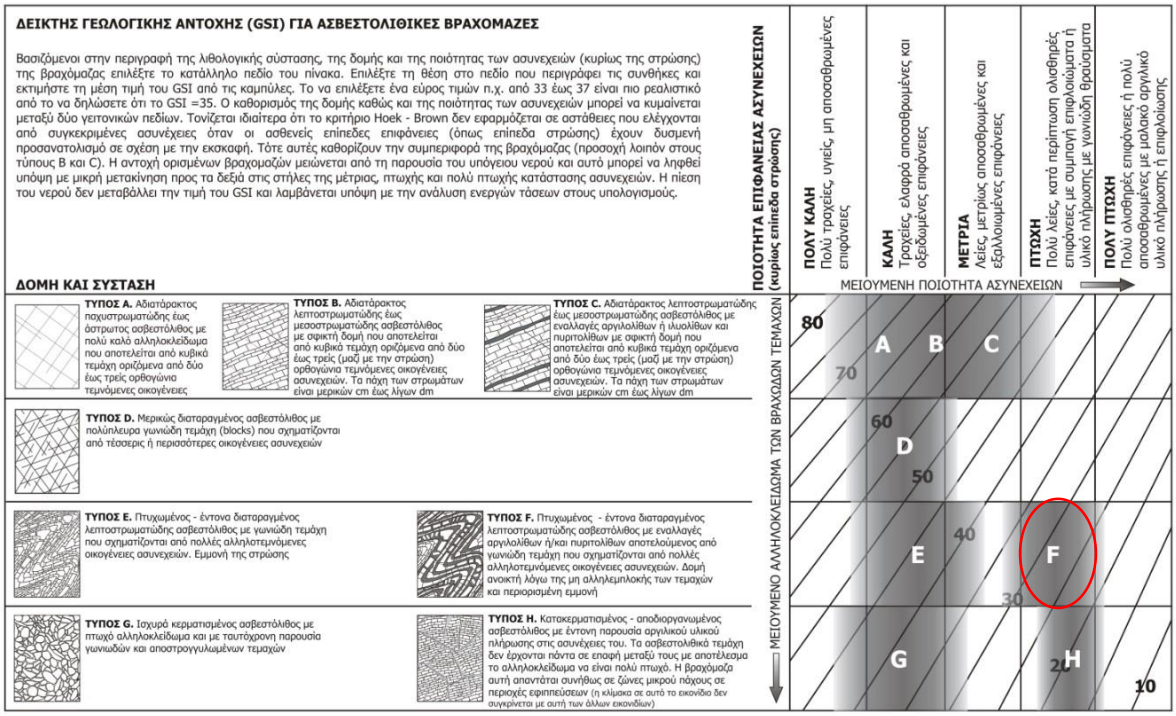
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ" Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

Εμφανίσεις του ασβεστολίθου παρατηρούμε κυρίως εκτός των ορίων της κατολίσθησης με τη δομή του να είναι αρκετά πτυχωμένη και αποδιοργανωμένη. Τα χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 14: Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά ασβεστόλιθου

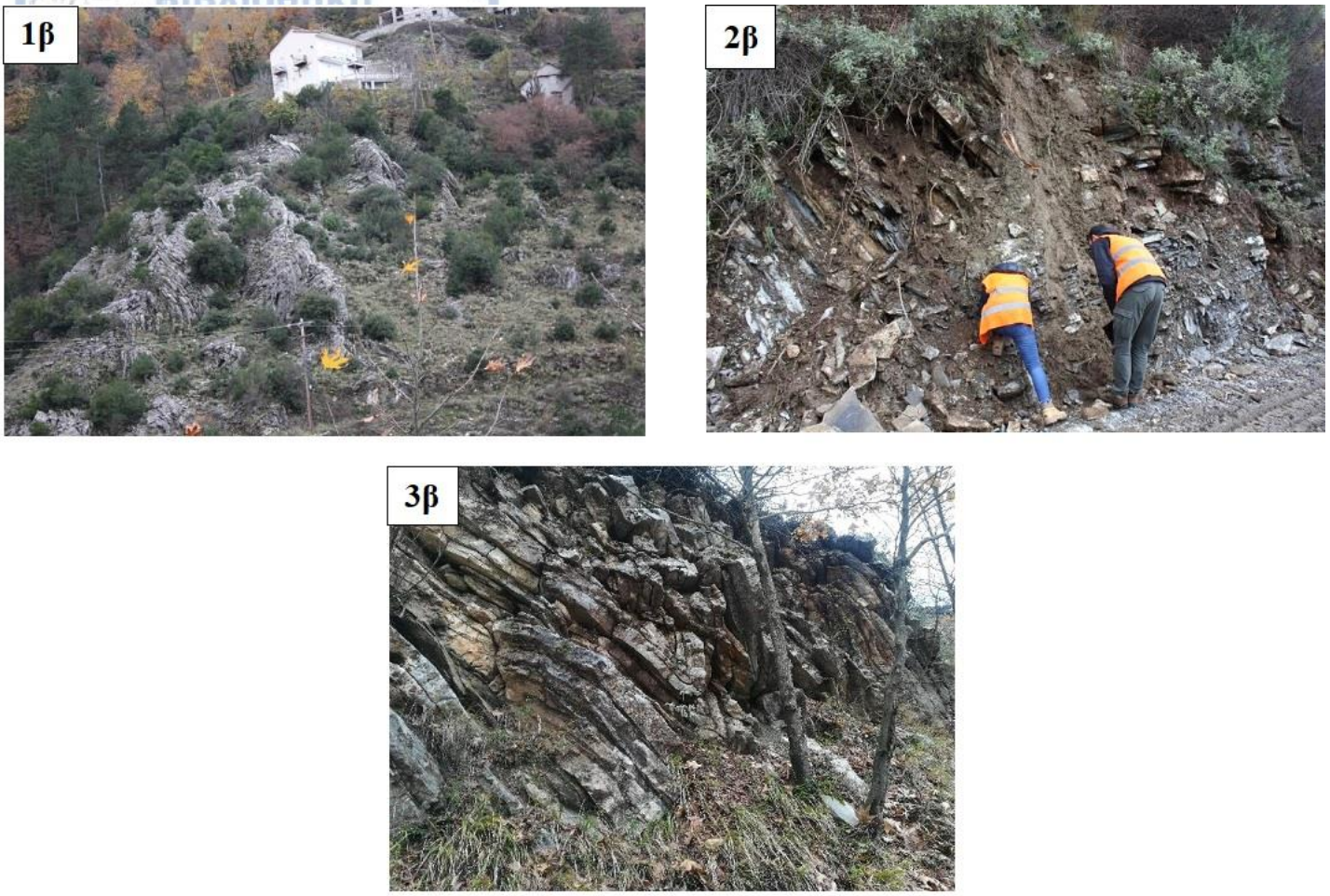
Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση			
Προσανατολισμός	17º /010º	55º /110º	58º /050º
GIS (για ασβεστόλιθους- Μαρίνο Π., Μαρίνος Β., Hoek E. , 2007)	30-35	Τύπος F	
Βαθμός αποσάθρωσης (σύμφωνα με ISRM)	Βαθμός IV-V	Έντονα-Πλήρως αποσαθρωμένο	
Βαθμός διαταραχής	0,7		
γ (kN/m3)	25	Μέτριο-Σκληρό πέτρωμα	
σci (Mpa)	50-100	R4-Σκληρό	
mi	11		
RocData-Rocscience			
c (Mpa)	1,612		
φ (°)	15,708		

Πίνακας 15: Δείκτης γεωλογικής αντοχής για ασβεστολιθικές βραχόμαζες

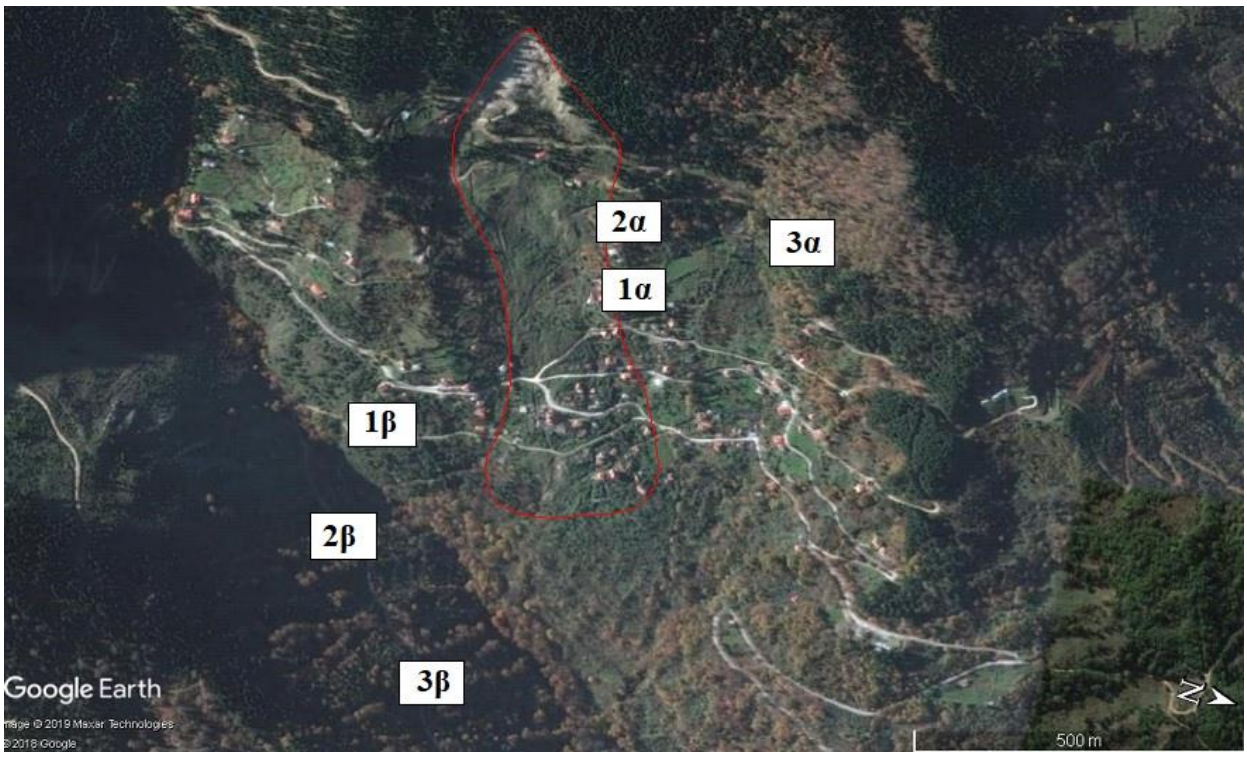


Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



Εικόνα 34: Ασβεστόλιθος



Εικόνα 35: Θέσεις μετρήσεων

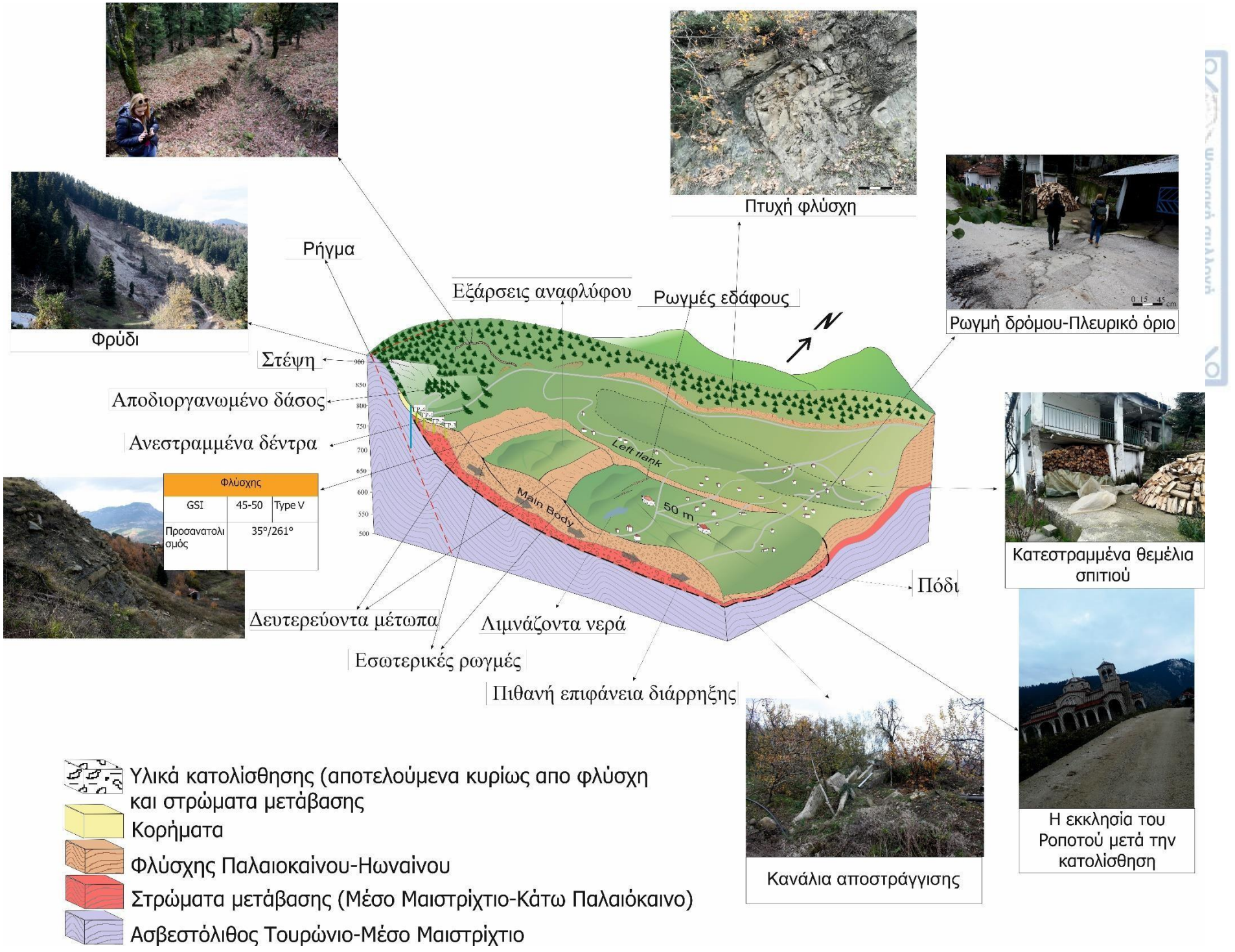
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ" ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω οι σχηματισμοί τις περιοχής έρευνας σύμφωνα με τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους διακρίνονται στις εξής τεχνικογεωλογικές ενότητες:

Τεχνικογεωλογική ενότητα	**Περιγραφή**	**GSI**		**Βαθμός αποσάθρωσης (ISRM)**		**σci (Mpa)**	
1	Λιθολογικές φάσεις του φλύσχη, παρουσιάζονται έντονα πτυχωμένες με τα συμπαγή ψαμμιτικά μέλη του να διατρέχονται από πλήθος ασυνεχειών	35-40	**Τύπος** VIII	**Βαθμός** II-IV	Ελάχιστα αποσαθρωμένο έως μετρίως αποσαθρωμένο	50-100	R4 Σκληρό
2	Στρώματα μετάβασης από τη φάση του φλύσχη σε αυτή του ασβεστολίθου. Πτυχωμένη, λεπτοστρωματώδης και έντονα κερματισμένη δομή	35-40	-	II-III	Ελάχιστα έως λίγο αποσαθρωμένο	25-50	R3 Μέσης Σκληρό-τητας
3	Λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι με αλλεπάλληλες πτυχώσεις και διαταραγμένη δομή	30-35	**Τύπος** F	**Βαθμός** IV-V	Έντονα-Πλήρως αποσαθρωμένο	50-100	R4 Σκληρό
4	Ασβεστολιθικά κορήματα και μανδύας αποσάθρωσης φλύσχη. Εδαφικά υλικά με χαμηλή συνοχή και συνεκτικότητα.	-	-	-	-	-	-

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Σχήμα 6: Τεχνικογεωλογικό προσομοίωμα της περιοχής μελέτης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

4.4 Μηχανισμός αστοχίας

Όπως αναφέρθηκε εξαιτίας της έντονης τεκτονικής οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής χαρακτηρίζονται από πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά καθώς είναι πλέον πολύ πτυχωμένοι και κερματισμένοι. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται ζώνες διάτμησης αλλά και μικρότερα ρήγματα τα οποία μαζί με τις μικρότερες ρωγμές που έχουν δημιουργηθεί δίνουν τη δυνατότητα στο επιφανειακό νερό να διεισδύσει μέσα σε αυτά απομειώνοντας περισσότερο τις μηχανικές τους ιδιότητες.

Γενικότερα, οι υδρολογικές συνθήκες μια περιοχής εκτός από τα γεωλογικά και τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της εξαρτώνται κυρίως από τα κλιματικάμετεωρολογικά στοιχεία της. Για το λόγο αυτό τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής ήταν απαραίτητο να μελετηθούν.

Η περιοχή λοιπόν χαρακτηρίζεται γενικότερα από υψηλές βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα να είναι αρκετά υψηλά. Στον Πίνακας 16μπορούμε να δούμε τις μετρήσεις της στάθμης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όπου οι τιμές είναι αρκετά ταπεινωμένες σε σχέση με τη χειμερινή περίοδο καθώς λόγω των υψηλών βροχοπτώσεων πιθανόν να φτάνει σε βάθος <10m, όπου επικρατούν τα πλευρικά κορήματα και ο μανδύας αποσάθρωσης του φλύσχη.

Πίνακας 16: Μετρήσεις στάθμη υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα

Ημερομηνία	Βάθος στάθμης (m)			
	ΓΡ-1	ΓΡ-2	ΓΡ-3	ΓΡ-4
29/07/2011	16,50	19,30	17,10	-
07/09/2011	-	10,50	13,50	16,00

Ο φλύσχης λοιπόν που επικρατεί στην περιοχή μελέτης μας αποτελεί μία σύνθετη και ασθενή βραχόμαζα εξαιτίας της ετερογένειάς του τόσο ως προς την σύστασή του όσο και ως προς την μηχανική συμπεριφορά των επιμέρους μελών του. Πιο συγκεκριμένα τα προβλήματα που παρατηρούνται σε φυσικές πλαγιές και πρανή είναι η εκδήλωση περιστροφικών ολισθήσεων κατά μήκος της στρώσης του αλλά και η ανάπτυξη μεγάλου πάχους μανδύα αποσάθρωσης με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων και εκτεταμένων κατολισθήσεων που πολλές φορές αποτελούν απειλή για οικισμούς, δρόμους αλλά και φράγματα.
Πιο συγκεκριμένα ο σχηματισμός του φλύσχη είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος απέναντι στο νερό παρόλο που γενικά αποτελεί έναν αδιαπέρατο σχηματισμό εξαιτίας της παρουσίας αργιλικών στρωμάτων. Η υδροπερατότητά του εξαρτάται από την παρουσία τεκτονικών ασυνεχειών μέσα στη μάζα του κυρίως κατά μήκος των ψαμμιτικών μελών του όπου στην προκειμένη περίπτωση εξαιτίας έντονης τεκτονικής το πλήθος τον ρωγμώσεων και των ασυνεχειών αυξάνεται. Εξαιτίας λοιπόν της ασβεστιτικής σύστασης των ψαμμιτικών μελών με την παρουσία μεγάλων ποσοτήτων νερού υπάρχει κίνδυνος καρστικής διάλυσής τους. Από την άλλη ευαίσθητα στο νερό είναι τόσο τα ιλυολιθικά όσο και τα αργιλικά μέλη της σειράς με τα πρώτα να παθαίνουν σχάση εξαιτίας της συνεχούς διύγρανσης και ξήρανσης τους ενώ τα δεύτερα να δημιουργούν προβλήματα εξαιτίας της μεγάλης συμπιεστότητας και διογκωσιμότητάς τους ενώ όταν βρίσκονται στην επιφάνειας αποσαθρώνονται εύκολα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

Εικόνα 36: Ψαμμιτικοί πάγκοι φλύσχη που διατρέχονται από πλήθος ασυνεχειών

Ο σχηματισμός τώρα του ασβεστολίθου χαρακτηρίζεται γενικά από ικανοποιητική αντοχή και σκληρότητα με τη στρωμάτωσή, τη διαταραχή αλλά και την παρουσία ενδιάμεσα λεπτών στρωμάτων μικρής αντοχής να αποτελούν σημαντικές παραμέτρους καθώς απομειώνουν αρκετά τις μηχανικές του ιδιότητες.
Ο ασβεστόλιθος λοιπόν της περιοχής αποτελεί έναν λεπτοστρωματώδη σχηματισμό με λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθου και μαργών με αποτέλεσμα να παρουσιάζει ανομοιομορφία στη συμπεριφορά του. Η λεπτωπλακώδης και κερματισμένη δομή του δημιουργεί αστάθεια στα πρανή καθώς αναπτύσσονται μεγάλες ζώνες κατακλαστικού υλικού. Ιδιαίτερα, η παρουσία αργιλικού υλικού έχει μεγάλη σημασία καθώς μειώνει την περατότητά του, αυξάνει την πίεση πόρων κατά μήκος των ασυνεχειών του και δρα ως θεμελιώδη μάζα και έτσι τα ασβεστολιθικά τεμάχη χάνουν την αλληλεμπλοκλή μεταξύ τους. Επιπλέον το πτωχό αλληλοκλείδωμα των τεμαχών του εξαιτίας της μικρότερης συνεκτικότητάς του δημιουργεί ευκολότερες συνθήκες περιστροφικής ολίσθησης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

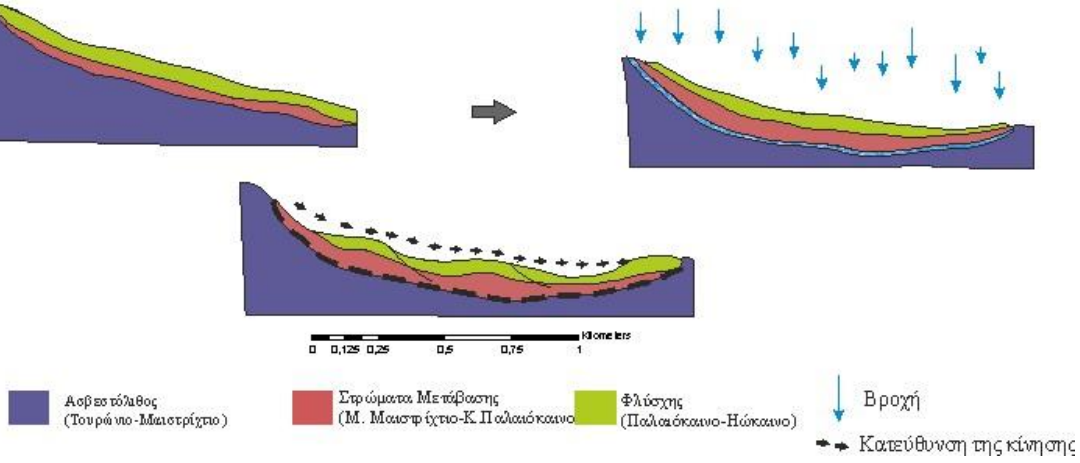
Εικόνα 37: Κατακερματισμένη δομή ασβεστολίθου

Εκδήλωση αστοχίας:

Τον Απρίλιο του 2012 μετά από 12 ώρες έντονης βροχόπτωσης το ποσοστό του ύψους της βροχής έφτασε μέσα σε δύο μέρες τα 400mm με αποτέλεσμα την άνοδο της επιφάνειας τους υδροφόρου ορίζοντα καθώς και την κατείσδυση μεγάλων ποσοτήτων νερού μέσα από τις ζώνες αδυναμίας των πετρωμάτων. Συνεπώς οι ακραίες αυτές καιρικές συνθήκες σε συνδυασμό με τις παραπάνω τεχνικογεωλογικές ιδιότητες των σχηματισμών δημιούργησαν τις πλέον κατάλληλες συνθήκες ώστε να εκδηλωθεί αστοχία.
Η κατολίσθηση λοιπόν πραγματοποιήθηκε σε υλικά του κώνου των ασβεστολιθικών κορημάτων στο φρύδι της κατολίσθησης αλλά και στον μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη με κατεύθυνση προς τα ανατολικά κατά μήκος βαθιάς επιφάνειας ολίσθησης. Ο μηχανισμός της αστοχίας χαρακτηρίζεται ως ισότροπος με την εκδήλωση περιστροφικής ολίσθησης ().
Πιο συγκεκριμένα το νερό τις βροχής εισήλθε στα εδαφικά υλικά του μανδύα αποσάθρωσης αλλά και στα βαθύτερα στρώματα των σχηματισμών διαμέσου των ζωνών αδυναμίας όπως ρωγμές, διακλάσεις, ρήγματα επιτυγχάνοντας ως αποτέλεσμα τον κορεσμό τους καθώς επίσης και την αύξηση της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα με το νερό πλέον να πληρώνει όλες τις ασυνέχειες. Συνέπεια αυτού ήταν η αύξηση της υδροστατικής πίεσης στις ασυνέχειες χωρίς υλικό πλήρωσής ενώ σε αυτές που ήταν πληρωμένες με αργιλικό υλικό οδήγησε σε μεγάλη αύξηση της πίεσης των πόρων. Μεγάλο ρόλο επίσης έπαιξε και η ήδη πτωχή ποιότητα του σχηματισμού του φλύσχη λόγω της φύσης του καθώς και των μεταβατικών στρωμάτων που χαρακτηρίζονται από μικρή διατμητική αντοχή. Επιπρόσθετα η ύπαρξη του ρέματος στη βάση της πλαγιάς στην οποία εδράζεται ο οικισμός, είχε σαν αποτέλεσμα την υποσκαφή της και τελικά τη μείωση σε σημαντικό βαθμό της φυσικής αντιστήριξης. Ακολούθησε λοιπόν η μείωση τις διατμητικής αντοχής των επιφανειών των ασυνεχειών αλλά και των ενεργών τάσεων και τελικά ολόκληρου του πετρώματος επιδρώντας έτσι στην εκδήλωση της αστοχίας μεγάλου όγκου εδαφικών υλικών αλλά και πετρωμάτων. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τη σχηματική απεικόνιση τις πλαγιάς στην οποία εκδηλώθηκε η κατολίσθηση σε συνδυασμό με την επίδραση της αστοχίας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



Σχήμα 7: Σχηματική απεικόνιση μηχανισμού αστοχίας

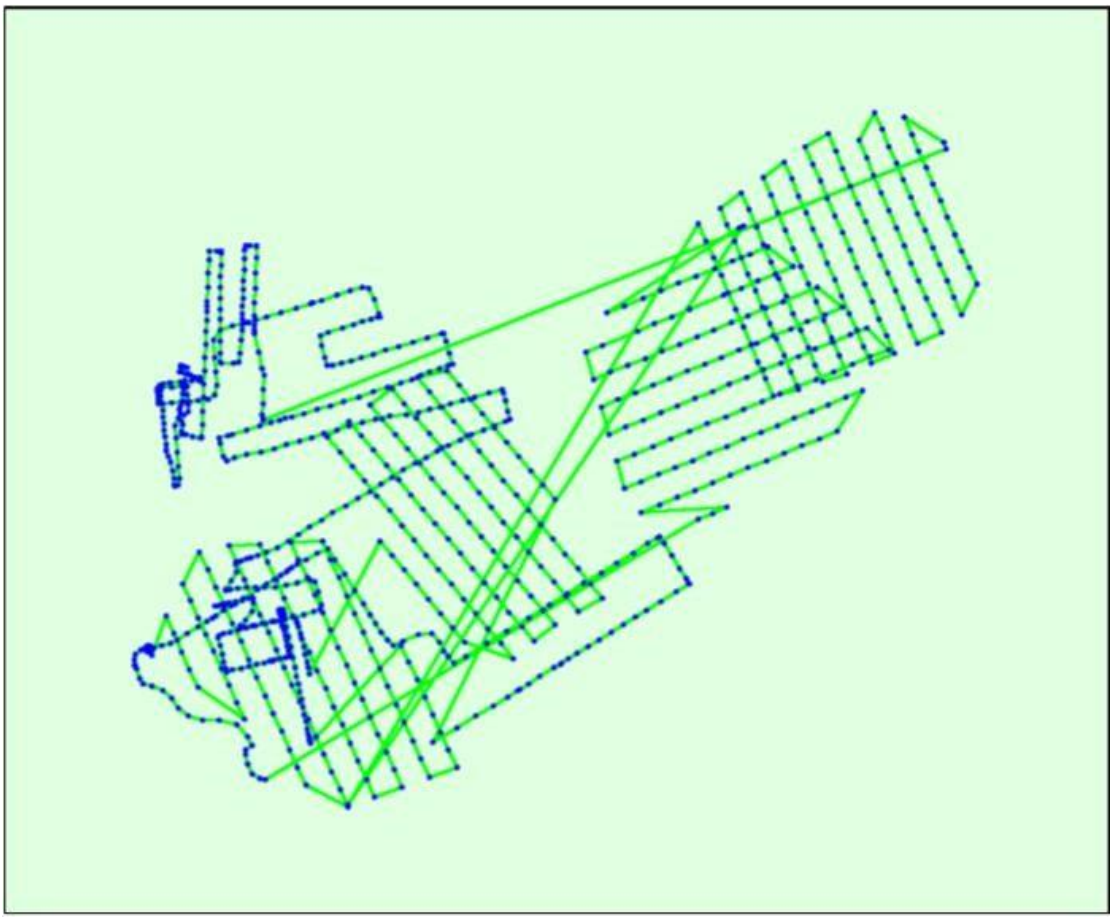
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

4.5 Αποτύπωση της περιοχής έρευνας με τη χρήση ΣμηΕΑ

Εκτός από την επιτόπου έρευνα εικόνες υψηλής ανάλυσης αποτυπώθηκαν με την πλατφόρμα ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους το οποίο σάρωσε την περιοχή μελέτης.

Αρχικά, σχεδιάστηκε στο εργαστήριο με ειδικό λογισμικό το σχέδιο πτήσης καθώς επίσης καθορίστηκαν και οι παράμετροι που είναι απαραίτητες για την απόκτηση των δεδομένων . Ξεκινώντας ορίστηκε η περιοχή ενδιαφέροντος μαζί με το Ground Sampling Distance (GSD) δηλαδή το μέγεθος του pixel που θα περιέχουν τα δεδομένα μας και στη συγκεκριμένη περίπτωση η τιμή του θα είναι 4,38cm λαμβάνοντας όμως υπόψιν και τα χαρακτηριστικά της ψηφιακής κάμερας. Επομένως καθορίζοντας την κλίμακα της εικόνας και το εστιακό μήκος της κάμερας προκύπτει το ύψος της πτήσης.



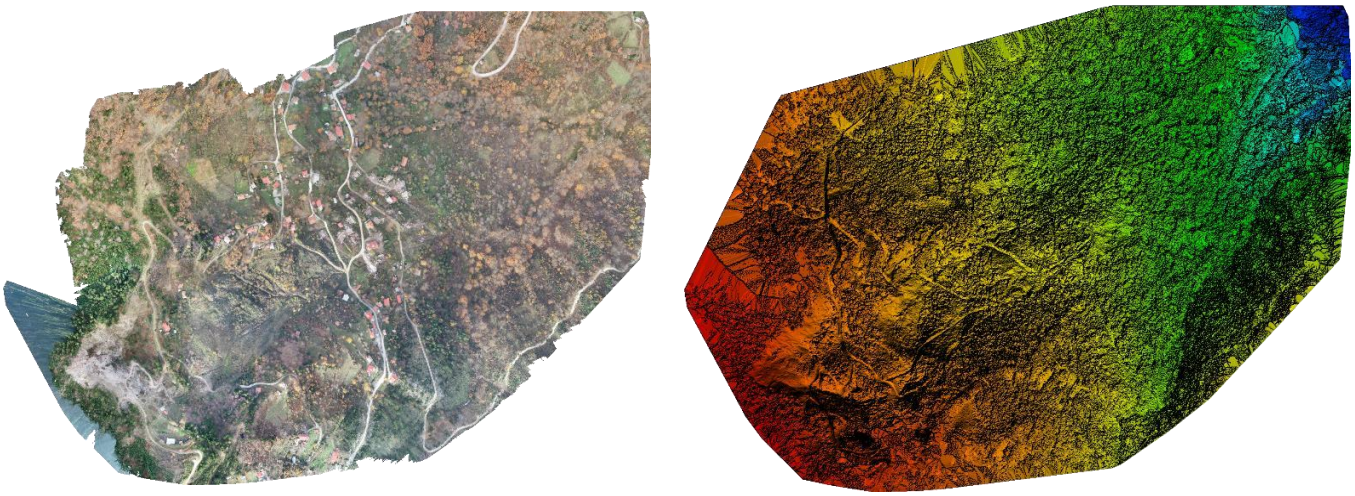
Σχήμα 8: Κάτοψη της αρχικής θέσης των εικόνων. Η πράσινη γραμμή ακολουθεί τη θέση των εικόνων στο χρόνο ξεκινώντας από τη μεγάλη μπλε κουκίδα

Ολοκληρώνοντας τις προηγούμενες ρυθμίσεις τελικά το UAV αποτύπωσε έκταση 0,867km^2 της περιοχή μελέτης σε 340 φωτογραφίες με 75% αλληλοεπικάλυψη μπρος και πίσω. Τα αποτελέσματα του quality control προκύπτουν με 0,1 pixel με Rms error 0,4 x,y και 0,7 z. Ο απαιτούμενος χρόνος για να ολοκληρωθεί το pointcloud του ορθωμωσαϊκού ψηφιακού μοντέλου εδάφους ήτανε 56 λεπτά με πυκνότητα 2400

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

points/m^3. Τέλος το σύστημα συντεταγμένων στο οποίο έγινε η γεωαναφόρα του μοντέλου είναι σε WGS 84 / UTM Zone 34N (EGM 96 Geoid).



Εικόνα 38: Ορθομωσαϊκό μοντέλο και το αντίστοιχο ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας πριν την επεξεργασία της πυκνότητας

Προκειμένου να επεξεργαστούν αυτά τα δεδομένα απαιτείτε ένα λογισμικό και στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε αυτό του GIS (ArcMap 10.5). Με την εισαγωγή των δεδομένων που αποκτήσαμε από το UAV στο GIS απαιτείται αρχικά η οπτικοποίηση του ψηφιακού μοντέλου δίνοντας σε αυτό βάθος και διάσταση με τη χρήση του Hillshade καθώς έτσι επιτυγχάνεται η τρισδιάστατη απεικόνιση του εδάφους με τη βοήθεια της σκιάς διευκολύνοντας έτσι την αναγνώριση των χαρακτηριστικών του τοπίου (Εικόνα 39).

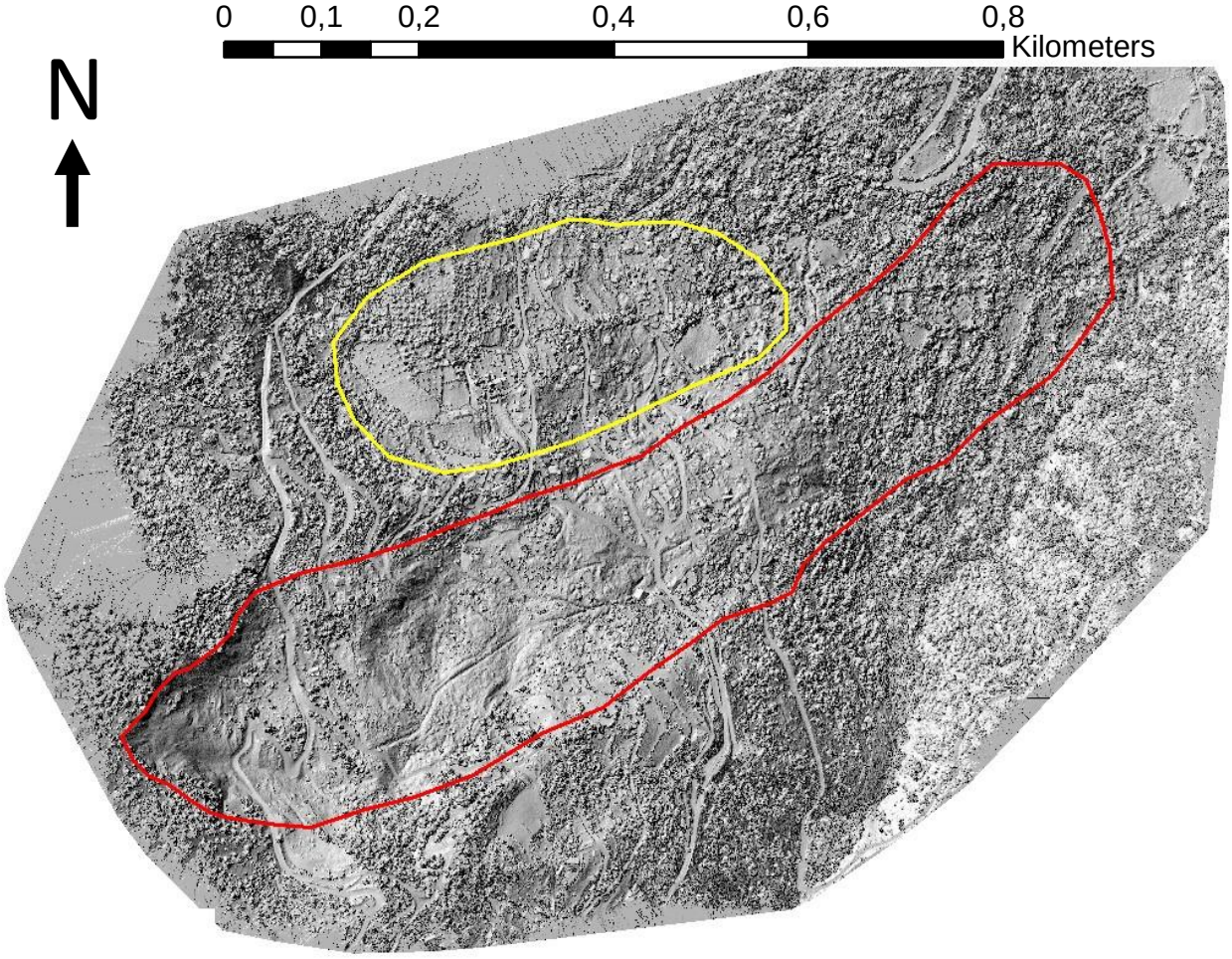
Εικόνα 39: 1) DSM πριν την εφαρμογή του Hillshade 2) DSM μετά της εφαρμογή του Hillshade

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Ακολουθώντας τη διαδρομή Spatial Analyst Tools--> Surface --> Hillshade, ως « Input raster» επιλέγουμε το αρχείο (DSM_Ropoto) και «Output raster» το όνομα του επεξεργασμένου αρχείου που θα προκύψει (Hillshade_Ropoto) . Το Αζιμούθιο και το υψόμετρο καθορίζουν την κατεύθυνση και το ύψος του Ηλίου ώστε να δημιουργηθεί το φαινόμενο της σκίασης με το πρώτο να ορίζεται στις 315° μετρώντας δεξιόστροφα από τον βορρά (0 έως 360) και το δεύτερο στις 45° (0 έως 90) . Δεδομένου ότι ή χωρική μας ανάλυση καθώς και οι τιμές του υψομέτρου είναι σε μέτρα ο παράγοντας Z ορίζεται ως 1.

Από το αποτέλεσμα τώρα του Hillshade είναι εύκολα να διακρίνουμε τα όρια της κατολίσθησης εξαιτίας καλά καθορισμένων και απότομων επιφανειών.



Εικόνα 40: Κόκκινη γραμμή: όρια κατολίσθησης , κίτρινη γραμμή: όρια παλαιότερης κατολίσθησης

4.3.1.1 Εντοπισμός των μετακινήσεων της κατολίσθησης ανάμεσα σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα

Μια σημαντική πτυχή της γεωμορφολογικής έρευνας είναι η ποσοτική παρακολούθηση της εξέλιξης της επιφάνειας της Γης. Η τεχνολογία UAV διευκολύνει την απόκτηση

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

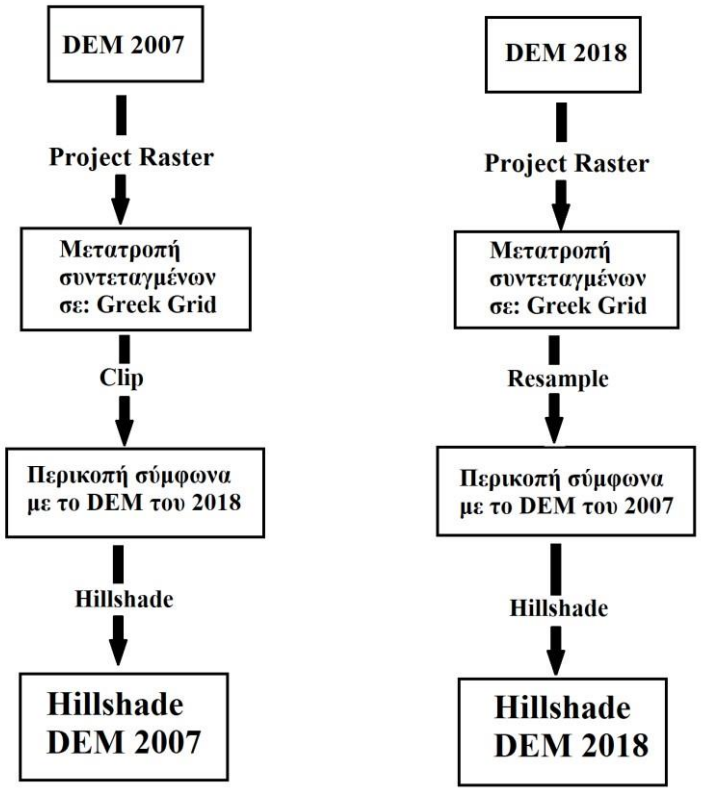
δεδομένων πολυετούς έρευνας τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή Ψηφιακών
Μοντέλων (Digital Elevation Models - DEMs). Η τεχνική παραγωγής ενός DEM of Difference (DoD) περιλαμβάνει τον ποσοτικό προσδιορισμό της ογκομετρικής μεταβολής μεταξύ διαδοχικών τοπογραφικών ερευνών. Ενώ η ουσία της τεχνικής είναι σχετικά απλή, η διάκριση μεταξύ της πραγματικής γεωμορφολογικής αλλαγής και του θορύβου της έρευνας απαιτεί κατάλληλες προσεγγίσεις για την ανάλυση σφάλματος, ώστε να διασφαλιστεί ότι τα DoD είναι αξιόπιστα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν έχουν κατασκευαστεί DEMs από συγχωνεύσεις δεδομένων που αποκτήθηκαν χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές έρευνας ή ανάλυσης, με αποτέλεσμα το κάθετο σφάλμα να είναι χωρικά και / ή προσωρινά μεταβλητό μεταξύ των συνιστωσών DEM..

Στη περίπτωση αυτή προκειμένου να δημιουργηθεί το ψηφιακό μοντέλο που θα ποσοτικοποιεί αυτές τις αλλαγές συγκρίναμε τα δεδομένα που αποτύπωσε το UAV κατά τη διάρκεια της επιτόπου έρευνας της κατολίσθησης το 2018 μαζί με δεδομένα της ευρύτερης περιοχής πριν από την τελευταία εκδήλωση της κατολίσθησης το 2007 που μας παρείχε το Κτηματολόγιο της Ελλάδος.

Απαραίτητο για τη δημιουργία αυτού του μοντέλου (DoD) είναι η επεξεργασία των δεδομένων που διαθέτουμε (2007 και 2018) προκειμένου να μοιράζονται την ίδια βάση δεδομένων. Η επεξεργασία αυτή πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS όπου αρχικά και τα δύο DEM με τη χρήση της εντολής Project Raster (Data Management) απέκτησαν κοινό σύστημα συντεταγμένων το Greek Grid. Με το εργαλείο αυτό το σφάλμα εξαιτίας της μετατροπής ελαττώνεται στο μισό ($^1/2$) pixel. Στη συνέχεια προκειμένου να αυξήσουμε την ακρίβεια των αποτελεσμάτων ήταν απαραίτητο να γίνει περικοπή του αρχείου του Κτηματολογίου, το οποίο καλύπτει μια πολύ μεγάλη περιοχή, σύμφωνα με το αρχείου του 2018 που περιορίζεται μόνο στην περιοχή ενδιαφέροντος. Η περικοπή αυτή έγινε με το εργαλείο Clip (Data Management). Επιπρόσθετα τα δεδομένα του Κτηματολογίου δημιουργήθηκαν με ανάλυση 5m ενώ τα καινούρια δεδομένα της περιοχής που αποτυπώθηκαν από την χαρτογράφηση του 2018 έχουν ανάλυση 0,1 m γεγονός που καθιστά τα δύο αυτά μοντέλα μη συγκρίσιμα καθώς τα κέντρα των κελιών τους δεν μπορούν να ταυτιστούν. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Resample (Data Managment) του GIS το οποίο μετατρέπει την χωρική ανάλυση του raster με το μικρότερο μέγεθος πίξελ σύμφωνα με την ανάλυση του raster που έχει το μεγαλύτερο μέγεθος πίξελ καθώς η ανάλυση ενός raster έχει τη δυνατότητα μόνο να μικρύνει και όχι να μεγαλώσει. Βέβαια μπορεί το μέγεθος του κελιού να αλλάζει η έκταση όμως που καλύπτει παραμένει η ίδια. Τέλος με την ολοκλήρωση όλων των προηγούμενων διεργασιών προκύπτουν δύο raster που μοιράζονται το ίδιο σύστημα συντεταγμένων και την ίδια χωρική ανάλυση και εφαρμόζοντας το εφέ του Hillshade τα δύο raster είναι έτοιμα προς σύγκριση.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη

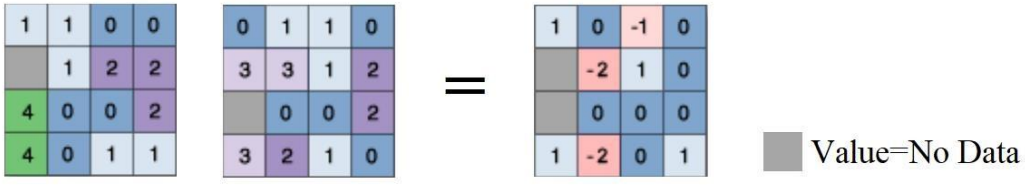


Σχήμα 9: Επεξεργασία δεδομένων για τη δημιουργία ενός DEM of Difference

4.3.1.1.1 Σύγκριση ψηφιακών μοντέλων με τη μέοδο Minus-ArcGIS

Η πρώτη μέθοδος αφορά την σύγκριση των δύο χρονικών περιόδων μέσω «αφαίρεσης» και πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον ArcGIS με την χρήση της εντολής Minus η οποία είναι μια εντολή χωρικής ανάλυσης.(*Arc Toolbox→ Spatial Analyst Tolls→Math→Minus*)

Το κάθε ψηφιακό μοντέλου υψομέτρου (raster) αποτελείται από pixel τα οποία αντιπροσωπεύουν μία τιμή υψομέτρου για τον χώρο στον οποίο αντιστοιχούν. Πιο συγκεκριμένα, εφόσον τα δύο raster είναι στο ίδιο προβολικό σύστημα και μοιράζονται τις ίδιες συντεταγμένες βρίσκονται σε αντιστοιχία και έτσι μέσω αυτής της εντολής πραγματοποιείτε αφαίρεση των τιμών του ενός από το άλλο σε μια διαδικασία σύγκρισης του κάθε pixel ξεχωριστά. Σαν αποτέλεσμα εξάγεται ένα raster το οποίο δημιουργήθηκε εκ νέου, αποτελούμενο από pixel με τιμές που αντιστοιχούν στη διαφορά των εισαγόμενων raster.

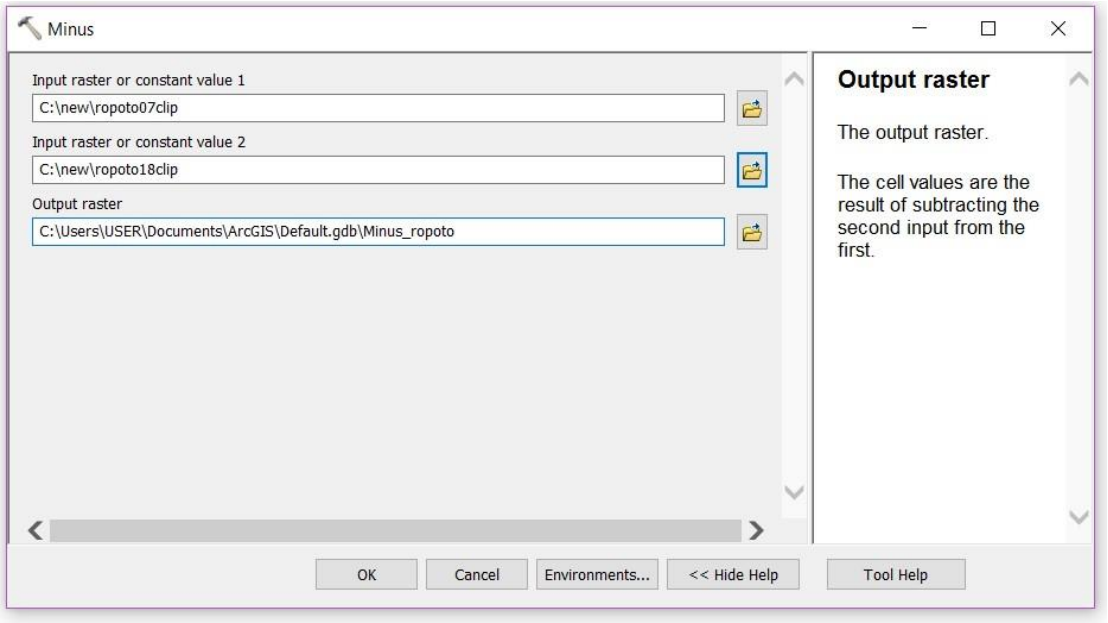


Σχήμα 10; Παράδειγμα που απεικονίζει την διαδικασία αφαίρεσης τιμών ανά pixel με την εντολή Minus

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Με σκοπό την επίτευξη των ακριβέστερων αποτελεσμάτων περιορίστηκε η περιοχή σύγκρισης με τη βοήθεια της εντολής Clip (*Data management Tools →Raster→Raster processing→Clip*) χρησιμοποιώντας ένα shapefile το οποίο ψηφιοποιήθηκε σύμφωνα με τα όρια της κατολίσθησης. Προέκυψαν έτσι δύο raster τα οποία εισήχθησαν στην πλατφόρμα της εντολής Minus (Εικόνα 41).



Εικόνα 41: Πλατφόρμας εισαγωγής δεδομένων για την εκτέλεση της εντολής Minus

Πρώτα λοιπόν εισάγουμε τα παλαιότερα δεδομένα του 2007 από τα οποία και θα αφαιρεθούν αυτά του 2018 λαμβάνοντας υπόψιν την ενεργότητα και την περαιτέρω εξέλιξη της κατολίσθησης μέσα σε αυτό το διάστημα των 11 χρόνων. Αυτό εξηγείται με το γεγονός ότι η προς τα κατάντι μετακίνηση του εδάφους έχει επηρεάσει την επιφάνεια με αποτέλεσμα να τροποποιηθεί η τιμή του υψομέτρου στα περισσότερα σημεία, τιμή η οποία χαρακτηρίζει το κάθε raster.

4.3.1.1.2 Σύγκριση ψηφιακών μοντέλων με τη μέθοδο M3C2 plugin-Cloud compare

Μία ακόμη μέθοδος για να συγκριθούν δυο ψηφιακά μοντέλα είναι μέσω του CloudCompare το οποίο είναι ένα λογισμικό γραφικών και παρέχει βασικά εργαλεία για την χειροκίνητη επεξεργασία και εξαγωγή τρισδιάστατων δεδομένων. Προκειμένου να επεξεργαστούν τα δεδομένα μας στο λογισμικό του CloudCompare είναι απαραίτητη η μετατροπή τους σε μορφή point cloud. Ένα αρχείο point cloud αποτελεί ουσιαστικά ένα σύνολο σημείων στο χώρο που παράγονται με τρισδιάστατους σαρωτές (π.χ. LiDar) οι οποίοι μετρούν σημεία στις επιφάνειες των αντικειμένων γύρω τους.

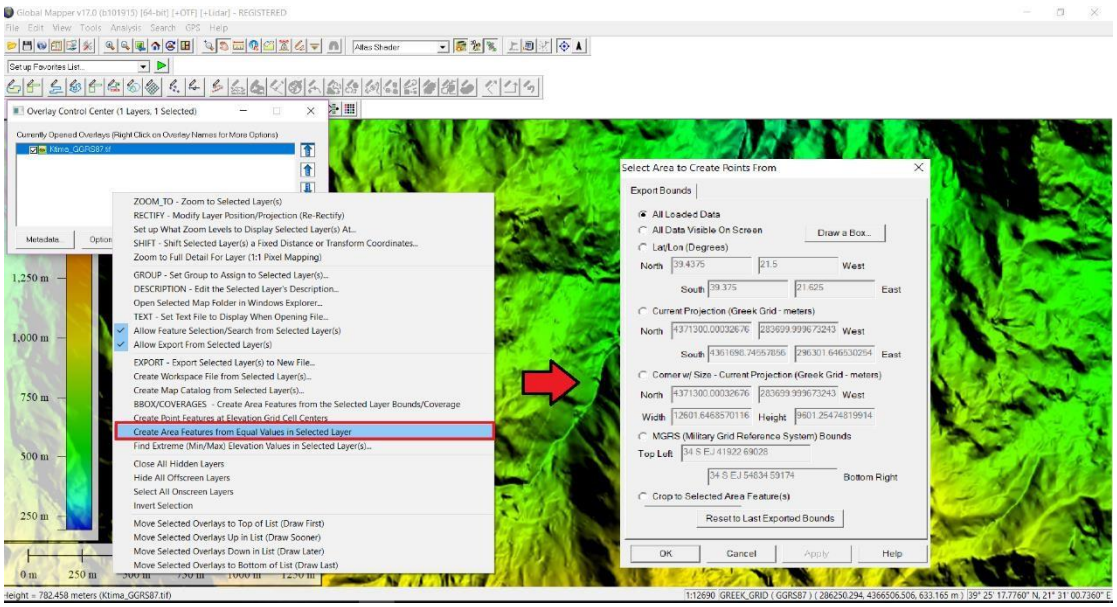
Απαραίτητη λοιπόν είναι η μετατροπή των δεδομένων του 2007 σε αρχείο point cloud καθώς τα δεδομένα του 2018 τα διαθέτουμε ήδη σε αυτή τη μορφή. Για τη μετατροπή

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
Θεόφραστος
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

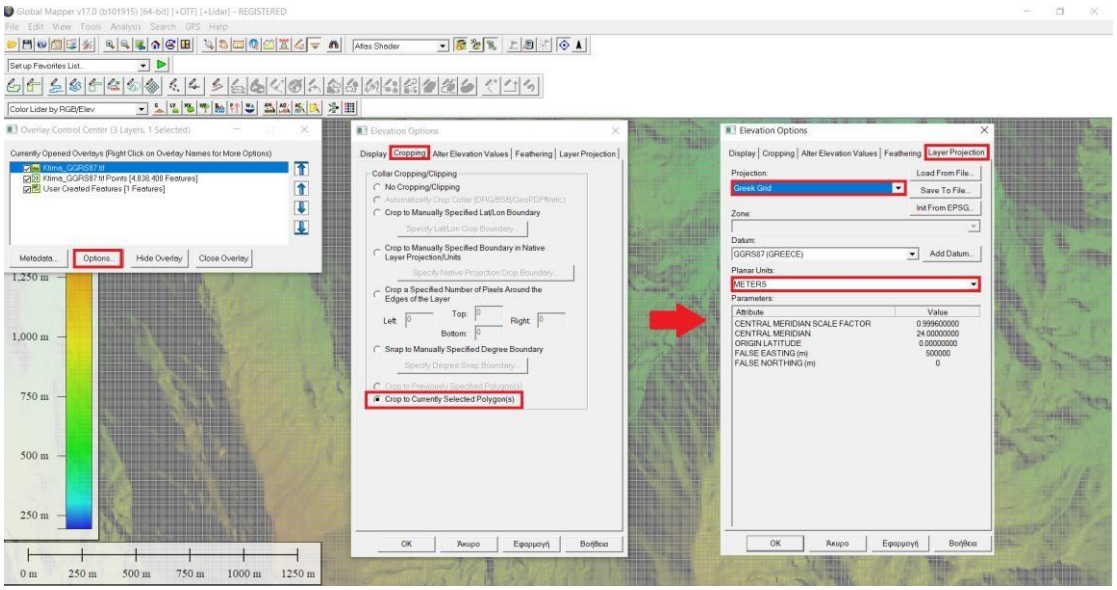
αυτή χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Global Mapper του GIS το οποίο είναι ένα εργαλείο διαχείρισης χωρικών δεδομένων και χαρτών.

Αρχικά εισάγουμε τα δεδομένα μας στην εφαρμογή και στη συνέχεια εκτελούμε την εντολή Create Point Features from Elevation Grid Cell Centers (Tools→Control center→ right click)(Εικόνα 42)



Εικόνα 42: Διαδικασία μετατροπής DEM σε αρχείο point cloud μέσω Global Mapper

Στη συνέχεια για να γίνει πιο σωστά η σύγκριση, κόβουμε το μεγαλύτερο αρχείο στις διαστάσεις περίπου του μικρότερου ορίζοντας την περιοχή δημιουργώντας ένα πολύγωνο. Επιπρόσθετα και στα δύο αρχεία το προβολικό σύστημα πρέπει να είναι σε μέτρα όποτε στη συγκεκριμένη περίπτωση μετατρέπουμε από WGS84 σε ΕΓΣΑ87 ή UTM.(Tools→Control Center→Options)(Εικόνα 43)



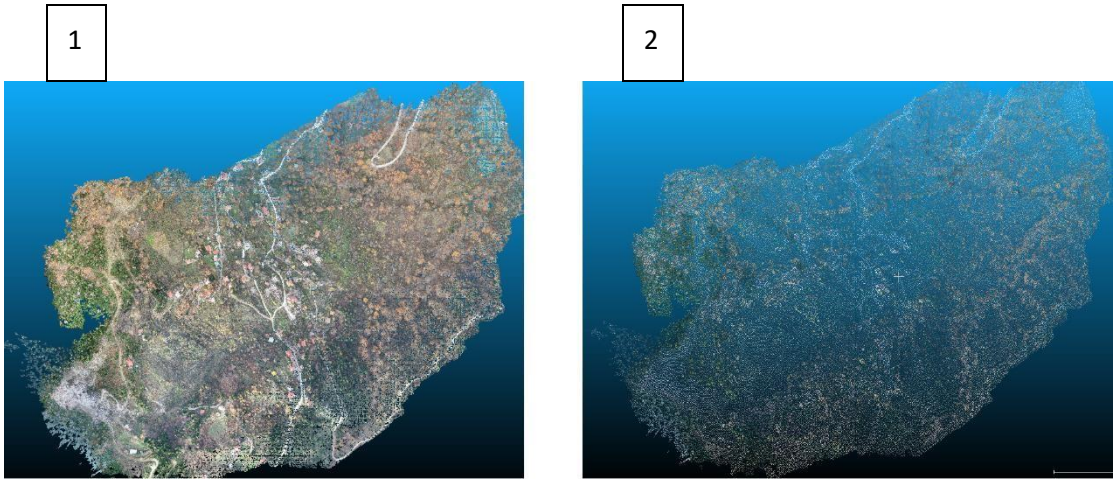
Εικόνα 43: Διαδικασία περικοπής και αλλαγής του προβολικού συστήματος του αρχείου point cloud

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Εισάγουμε λοιπόν τα δύο αυτά αρχεία στο CloudCompare διατηρώντας τις ίδιες τιμές στο Coordinate shift παράθυρο.

Αρχικά είναι απαραίτητο και τα δύο point cloud να μοιράζονται την ίδια ανάλυση ώστε να γίνει ορθή σύγκριση μεταξύ τους. Η ανάλυση όμως μόνο μπορεί να μικρύνει και για αυτό μειώνουμε αυτή του λεπτομερέστερου αρχείου, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το point cloud του 2018, όσο πιο κοντά γίνεται σε αυτή του Κτηματολογίου 2007 που είναι στα 5 μέτρα. Το λογισμικό του CloudCompare προσφέρει αυτή την δυνατότητα μέσω της εντολής Subsample Point Cloud που βρίσκεται στην μπάρα εργαλειών. Επιλέγοντας τη Random ή Space μέθοδο προσδιορίζουμε την ανάλυση στα 3 μέτρα έτσι ώστε τα δύο αρχεία να είναι σχετικά όμοια.



Εικόνα 44: Αποτελέσματα μετά από την εντολή Subsample: 1) Απόσταση σημείων 0,04 μέτρα, 2) Απόσταση σημείων 3 μέτρα

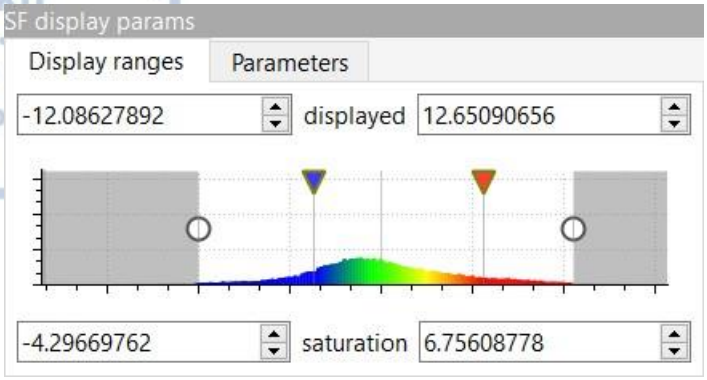
Στη συνέχεια κάνουμε την πρώτη ταύτιση των δύο επιφανειών με το εργαλείο Fine Registration στη μπάρα εργαλειών επιλέγοντας και τα δύο αρχεία και με επιφάνεια αναφοράς αυτή του Κτηματολογίου 2007.

Εφόσον τώρα οι δύο επιφάνειες είναι χοντρικά ταυτισμένες τρέχουμε την εντολή M3C2 plugin (Plugins→ M3C2 distance) όπου οι βασικές παράμετροι που αλλάζουν στο παράθυρο της εντολής είναι η σειρά των δύο point cloud δοκιμάζοντας και τις δύο παραλλαγές. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε ως cloud 1 το αρχείο του Κτηματολογίου 2007 και στην καρτέλα Output το αρχείο του 2018 ώστε τα αποτελέσματα να προβληθούν πάνω σε αυτό.

Για καλύτερη προβολή μεγαλώνουμε το point size σε 2 και στα properties απενεργοποιούμε το symmetrical color scale ώστε να είναι εφικτή η αλλαγή του min/max στα χρώματα. Στο SF display params ορίζουμε τις τιμές όπως στην Εικόνα 45

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣ
Τμήμα Γεωλο
Α.Π.Θ



Εικόνα 45: Παράμετροι υψομέτρου σε αντιστοιχία με το χρώμα

Εφόσον προσαρμοστεί η χρωματική κλίμακα και τα δεδομένα μετατρέπουμε το αρχείο point cloud σε μορφή raster (). Μετά την εξαγωγή έχουμε στη διάθεσή μας ένα geotiff raster το οποίο μπορεί πλέον εύκολα να χρησιμοποιηθεί πάνω σε χάρτες ή άλλα σχήματα.

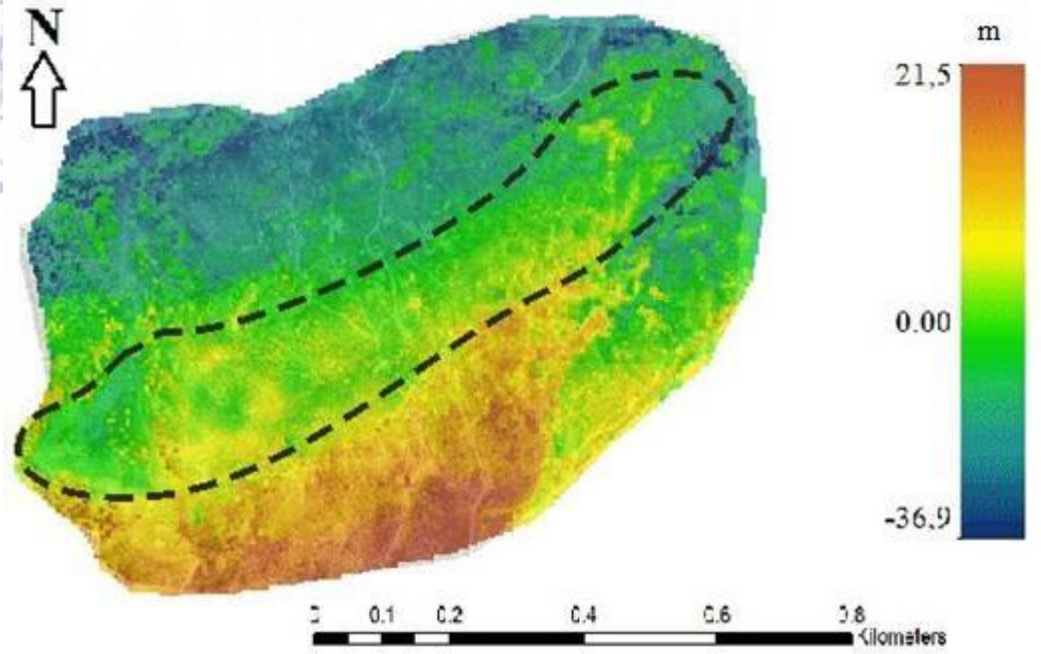
4.3.1.2 Αποτελέσματα

Τα τελικά τα αποτελέσματα που έχουμε στη διάθεση μας είναι καινούρια μοντέλα εδάφους στα οποία ποσοτικοποιούνται και απεικονίζονται οι μεταβολές του υψομέτρου της επιφάνειας στην περιοχής μελέτης. Οι μεταβολές αυτές διακρίνονται ανάλογα με το χρώμα πράγμα το οποίο εξαρτάται από το πρόσημων των τιμών δηλαδή το αποτέλεσμα της διαφοράς του υψομέτρου, όπου οι αρνητικές τιμές χαρακτηρίζουν περιοχές με απώλεια εδαφικών υλικών ενώ οι θετικές τιμές, περιοχές με απόκτηση υλικού.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της πρώτης μεθόδου στο Σχήμα 11 παρατηρούμε μια εικόνα που δεν αντιστοιχεί με την επιτόπου οπτική ερμηνεία του φαινομένου καθώς περιοχές με εμφανή μετακίνηση υλικού παρουσιάζονται ως περιοχές με αυξημένο υλικό αλλά και το αντίθετο. Πιο συγκεκριμένα στο νότιο πλευρικό όριο της κατολίσθησης παρατηρούμε αύξηση εδαφικού υλικού ύψους 20 μέτρων αλλά και εμφανής απώλεια υλικού στο πόδι της κατολίσθησης πράγμα το οποίο δεν αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα και έρχεται σε αντίθεση με τη διεύθυνση κίνησης της ολίσθησης. Επίσης σημαντικό σφάλμα παρουσιάζεται και στην περιοχή του φρυδιού της κατολίσθησης το οποίο δεν εμφανίζει την αναμενόμενη ποσότητα απώλειας υλικού.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



Σχήμα 11: Αποτελέσματα μεθόδου Minus-ArcGIS. Με κόκκινο απεικονίζονται οι θέσεις με πρόσθετο εδαφικό υλικό ενώ οι μπλε με μειωμένο εδαφικό υλικό.

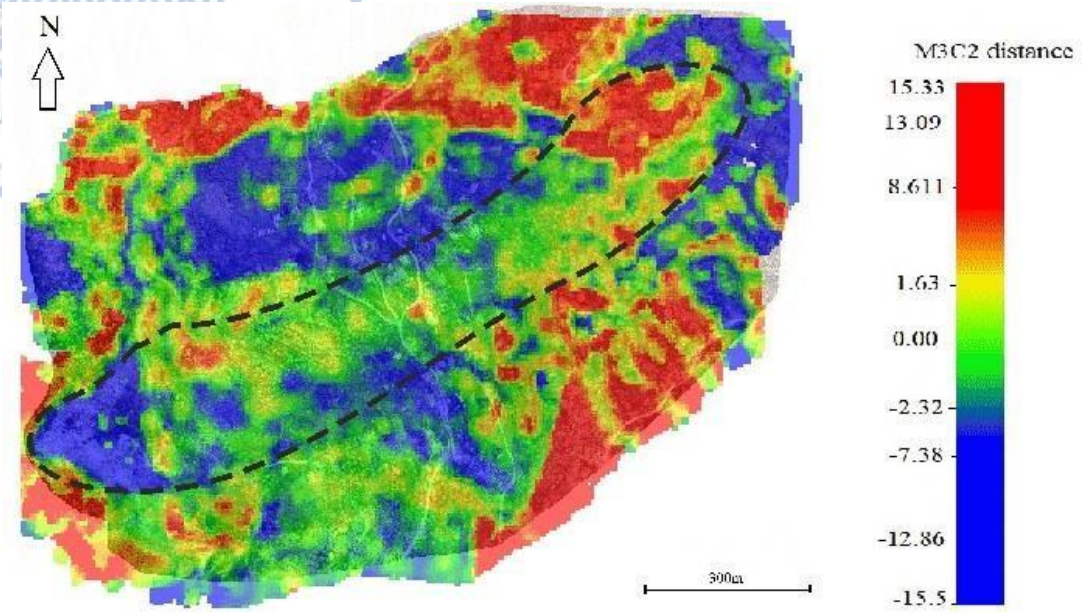
Τα σφάλματα αυτά οφείλονται στο γεγονός ότι οι τεχνικές αυτές μπορούν δώσουν ελλιπή δεδομένα εξαιτίας των «τυφλών σημείων» που οφείλονται κυρίως στη γεωμετρία και την κλίσης μιας πλαγιάς, έχοντας σαν αποτέλεσμα να υπάρχουν σημεία που δεν είναι ορατά και αυτό οφείλεται στην τραχύτητα της επιφάνειας του εδάφους αλλά και στη βλάστηση. Απαραίτητη είναι η επεξεργασία αυτών των δεδομένων με χρήση εξελιγμένων λογισμικών ώστε να διορθωθούν τυχόν κενά αλλά και η οπτική παραμόρφωση.

Από την άλλη πλευρά, παρατηρώντας τα αποτελέσματα της μεθόδου M3C2 του CloudCompare στο Σχήμα 12 διακρίνουμε μεγαλύτερη ποικιλομορφία στις μεταβολές εδαφικού υλικού οι οποίες απεικονίζονται σε αυτό και σύμφωνα με την επιτόπου οπτική ερμηνεία βρίσκονται σε αρκετά μεγάλη αντιστοιχία.

Πιο συγκεκριμένα, κατά μήκος του φρυδιού παρατηρούμε απώλεια υλικού της τάξης των 15 με 12 μέτρων η οποία υποδεικνύει την κύρια διάρρηξη της κατολίσθησης. Παρόμοιες τιμές διακρίνουμε και βόρεια της κύριας κατολίσθησης, περιοχή όπου αντιστοιχεί στην παλαιότερη κατολίσθηση, χαρακτηριστικά της οποίας εντοπίστηκαν κατά την επιτόπου τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση. Το τελευταίο αποτελεί δεδομένο το οποίο δεν γίνεται αντιληπτό στα αποτελέσματα της προηγούμενη μεθόδου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



Σχήμα 12: Αποτελέσματα μεθόδου M3C2-CloudCompare Με κόκκινο απεικονίζονται οι θέσεις με πρόσθετο εδαφικό υλικό ενώ οι μπλε με μειωμένο εδαφικό υλικό..

Συνεχίζοντας διακρίνεται επίσης στην περιοχή του ποδιού της κατολίσθησης αύξηση εδαφικού υλικού κατά 15 μέτρα ως αποτέλεσμα της κίνησης προς τα κατάντι και τελικά συσσώρευσης του. Τέλος παρατηρούμε και τις μικρότερες επιφανειακές διαρρήξεις κατά μήκος της βόρειας και νότιας πλευράς του φρυδιού.

Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους και τα αποτελέσματα που τελικά εξήχθησαν είναι εύκολα αντιληπτό ότι μέσω της μεθόδου M3C2 η σύγκριση των δύο αυτών διαφορετικών χρονικών περιόδων είναι ακριβέστερη και αποτελεσματικότερη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματική εξέλιξη του φαινομένου αποτυπώνονται με μεγαλύτερη ακρίβεια κατολισθητικά φαινόμενά τα οποία διαδραματίζονται στην περιοχή.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑΣ

5.1 Περαιτέρω έρευνα

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας δεν εξαντλήθηκαν πλήρως οι δυνατότητες μελέτης και ανάλυσης των στοιχειών που συνδέονται με την αστοχία. Για το λόγο αυτό, στην κοινότητα του Ροποτού, προκειμένου να κατανοηθεί πλήρως ο μηχανισμός της κατολίσθησης, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω έρευνα και παρακολούθησή της.

Αυτό περιλαμβάνει αρχικά τη λεπτομερέστερη χαρτογράφηση της περιοχής προκειμένου να εντοπιστούν τυχόν περισσότερα στοιχεία που συνδέονται με αυτή αλλά κυρίως να προσδιοριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια τόσο τα όρια όσο και το μέγεθός της, με αυτό να περιλαμβάνει επίσης της διαστάσεις καθώς και τον όγκο της κατολισθαίνουσας μάζας. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται η ανόρυξη περισσοτέρων γεωτρήσεων μεγαλύτερου βάθους κατά μήκος της κατολίσθησης ώστε να προσδιοριστεί καθ' όλη την έκτασή της το βάθος της ολίσθησης ή αλλιώς η επιφάνεια ολίσθησης.

Συγχρόνως, μεγάλης σημασίας είναι και η εξέλιξη της κατολίσθησης η οποία όπως αποδείχθηκε είναι ενεργή και αποτελεί απειλή για τους κατοίκους του χωριού. Για το λόγο αυτό η μελλοντική μετακίνησή της θα ήταν απαραίτητο να ελέγχεται με τη βοήθεια κατακόρυφων κλισιομέτρων τα οποία θα τοποθετηθούν κυρίως εντός των ορίων της. Εκτός των κλισιομέτρων για την καλύτερη παρακολούθηση της μετακίνησης αλλά και ακριβέστερης ποσοτικοποίησής της απαιτείται η πραγματοποίηση συχνών πτήσεων με τη βοήθεια των ΣμηΕΑ για περισσότερες από δύο χρονικές περιόδους έτσι ώστε να είναι εφικτό να υπολογιστεί τόσο η ταχύτητα όσο και το μέγεθος της μετακίνησης.

5.2 Μέτρα αντιστήριξης

Εφόσον η διακινδύνευση στην κοινότητα του Ροποτού είναι μεγάλη, καθώς υπάρχουν ακόμη κάτοικοι που διαμένουν σε αυτή, η αντιμετώπισή της οδηγεί στην αναγκαιότητα εγκατάστασης μέτρων αντιστήριξης. Με τη βοήθεια των μέτρων αντιστήριξης υπάρχει η δυνατότητα αποφυγής τους προβλήματος ή περιορισμού του. Η αντιστήριξη επιτυγχάνεται είτε ελαττώνοντας τις δυνάμεις που τείνουν να προκαλέσουν τη μετακίνηση είτε αυξάνοντας τις δυνάμεις που αντιστέκονται σε αυτή.

Τα μέτρα αντιστήριξης όμως ποικίλουν και η εφαρμογή τους εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος και τον μηχανισμό της αστοχίας.

Στην προκειμένη περίπτωση αντιμετωπίζουμε μια μεγάλης κλίμακας αστοχία η οποία συμπεριλαμβάνει κυρίως εδαφικά υλικά στην επιφάνειά της και αρκετά κερματισμένο υλικό στο βάθος με αποτέλεσμα να μην κυριαρχεί συγκεκριμένο σύστημα ασυνεχειών και η αστοχία να χαρακτηρίζεται ως ισότροπη. Γίνεται αντιληπτό, ότι η αντιμετώπισή

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

της εξαιτίας τους μεγέθους της ολίσθησης απαιτεί μεγαλύτερα έργα πράγμα το οποίο συνεπάγεται με μεγαλύτερο κόστος.

Αρχικά, εξετάζοντας τις δυνάμεις που ωθούν προς ολίσθηση, γνωρίζουμε ότι η ενεργοποίηση της κατολίσθησης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη δράση τόσο των επιφανειακών όσο και τον υπόγειων υδάτων. Για το λόγο αυτό η εγκατάσταση αποστραγγιστικών έργων θα ήταν καταλυτική απέναντι σε πιθανά ακραία καιρικά φαινόμενα, με σκοπό την αποτροπή σημαντικής ανόδου της υπόγειας στάθμης. Αυτό περιλαμβάνει πρώτα την επιφανειακή αποστράγγιση καθώς το επιφανειακό νερό τείνει να προκαλέσει διάβρωση καθώς αυξάνει και την πιθανότητα εκδήλωσης επιφανειακών αστοχιών. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με την τοποθέτηση μεγάλων περιμετρικών τάφρων για την απομάκρυνση των όμβριων υδάτων ώστε να μην εισχωρήσουν σε μεγάλες ποσότητες μέσα στο έδαφος και τελικά στο υπόβαθρο της περιοχής. Στη συνέχεια, για να είναι πραγματικά αποτελεσματικές οι παρεμβάσεις, αναλογισμένου του βάθους της ολίσθησης, απαιτείται ο έλεγχος τον υπόγειων υδάτων. Η υπόγεια αποστράγγιση αφορά κυρίως την εγκατάσταση σηράγγων αποστράγγισης οι οποίες κατευθύνουν την υπόγεια ροή σε περιοχές εκτός κινδύνου αλλά και την ανόρυξη υδρογεωτρήσεων μεγάλου βάθους περιμετρικά της πλαγιάς, οι οποίες θα αποστραγγίζουν τους υπόγειους υδροφορείς σε περίπτωση που τα παραπάνω μέτρα δεν είναι αρκετά ώστε να αποτρέψουν την μεγάλη άνοδό της στάθμης τους.

Σε συνδυασμό με τα παραπάνω μέτρα και σκοπό τώρα την αύξηση των δυνάμεων που αντιστέκονται στην ολίσθηση προτείνεται η τοποθέτηση επιχώματος στη βάση της κατολίσθησης προκειμένου να λειτουργήσει σαν αντίβαρο στην αστοχούσα μάζα, εμποδίζοντας δηλαδή και περαιτέρω εξάπλωσή της. Βέβαια το μετρό αυτό είναι αρκετά δύσκολο και δαπανηρό καθώς απαιτεί μεγάλες ποσότητες εδαφικού υλικού προκειμένου να αποτρέψει την αστοχίας εξαιτίας του μεγέθους και της έκτασης της ολίσθησης. Σημειώνεται επίσης ότι η τοποθέτηση πασσαλότοιχου εγκάρσια της ολισθαίνουσας μάζας θα ήταν αποτελεσματικό και θα προτεινόταν για μια ολίσθηση βάθους 20 μέτρων και στην προκειμένη περίπτωση αυτό δεν συμβαίνει καθώς το βάθος της ολίσθησης εκτιμάται ότι είναι πολύ μεγαλύτερο.

Τέλος, σημαντική είναι η εγκατάσταση συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης της κοινότητας τους Ροποτού σε περίπτωση εντοπισμού προβλήματος μεγάλης επικινδυνότητας εξαιτίας ανερχόμενων μετακινήσεων. Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τις μετακινήσεις και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη αφορούν την έγκαιρη πρόβλεψη δυνητικών ακραίων καιρικών φαινομένων αλλά και η δύναμη ενός πιθανού σεισμού. Αυτό για παράδειγμα περιλαμβάνει την τοποθέτηση κλισιομέτρων όπως αναφέρθηκε και παραπάνω καθώς και την εγκατάσταση πιεζομέτρων προκειμένου να ελέγχεται η στάθμη μέσα στις γεωτρήσεις. Τέλος απαραίτητη είναι και η λειτουργεία ενός νέου μετεωρολογικού σταθμού προκειμένου να διεξάγονται ακριβέστερες μετρήσεις των μετεωρολογικών συνθηκών της συγκεκριμένη περιοχής. Χρήσιμη θα ήταν και εγκατάσταση σεισμογράφου ο οποίος θα ελέγχει τις εδαφικές δονήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εξετάστηκαν κυρίως οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες των κατολισθητικών φαινομένων στον οικισμό του Ροποτού στο Νομό Τρικάλων σε συνδυασμό με τη χρήση Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) ανάμεσα σε δύο χρονικά διαστήματα 11 χρόνων (2007 και 2018).

Η κατολίσθηση που εκδηλώθηκε στην κοινότητα του Ροποτού αφορά μια μεγάλης κλίμακας ισότροπη-περιστροφική ολίσθηση η οποία επηρεάζει μεγάλο μέρος του χωριού καθώς εκτείνεται καθ' όλο το μήκος της πλαγιάς. Η συνέπειες, κυρίως στην οικοδομική κοινότητα του Ροποτού, ήταν καταστροφικές με αποτέλεσμα πολλά οικοδομήματα της περιοχής είτε να καταστραφούν ολοσχερώς, είτε να υποστούν σοβαρά προβλήματα καθώς η αστοχούσα μάζα τα παρέσερνε κατά την κίνησή της. Επίσης σημαντικές ενδείξεις της ολίσθησης παρατηρούμε και στα όρια της με αποτέλεσμα αρκετοί δρόμοι να ρωγματωθούν έντονα αλλά και το ανάγλυφο της περιοχής να αλλάξει.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε ένα εξαιρετικά καταπονημένο γεωλογικό υπόβαθρο κυρίως λόγω τεκτονικής , καθώς ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη της Πίνδου η οποία χαρακτηρίζεται από αλλεπάλληλα λέπια και επωθήσεις. Οι συνθήκες αυτές ταπείνωσαν σε μεγάλο βαθμό τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών της περιοχής επηρεάζοντάς τους σε όλο το μήκος τους με αποτέλεσμα ο ασβεστόλιθος του υποβάθρου να παρουσιάζεται με αλλεπάλληλες πτυχώσεις και να είναι έντονα κερματισμένος, γεγονός που οδήγησε στην ταπείνωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του. Ανεβαίνοντας στρωματογραφικά πιο πάνω συναντάμε τη φάση μετάβασης από τον ασβεστόλιθο στο φλύσχη, στρώματα τα οποία εμφανίζονται εξίσου κερματισμένα και πτυχωμένα. Ο υπερκείμενος φλύσχης, παρουσιάζεται επίσης πτυχωμένος και διατμημένος με τα συμπαγή μέλη του (ενστρώσεις ψαμμίτη) να διατρέχονται από πλήθος ασυνεχειών ενώ τα μαλακά του μέλη (αργιλικά και ιλυολιθικά) συμβάλουν στην αύξηση της πίεσης πόρων εξαιτίας της μικρής υδροπερατότητάς τους. Λόγω λοιπόν του έντονου αυτού τεκτονισμού οι σχηματισμοί αυτοί χαρακτηρίζονται πλέον από μικρό δείκτη στην κλίμακα GSI καθώς παρουσιάζουν πολυάριθμες ζώνες διάτμησης. Τα χαρακτηριστικά επίσης του φλύσχη οδηγούν στη δημιουργία ενός μεγάλου πάχους μανδύα αποσάθρωσης, ο οποίος καλύπτει σχεδόν όλη την έκταση της πλαγιάς, οδηγώντας στην ύπαρξη ενός ασταθούς εδάφους με μικρή συνεκτικότητα και αντοχή βοηθώντας έτσι στην μεγάλη εξάπλωση του φαινομένου.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψιν τις παραπάνω τεχνικογεωλογικές συνθήκες και σε συνδυασμό με τα ακραία καιρικά φαινόμενα που έπληξαν την περιοχή με ραγδαίες βροχοπτώσεις ,παρατηρήθηκαν έντονες μεταβολές των υδρογεωλογικών συνθηκών του υποβάθρου με συνέπεια την άνοδο της στάθμης των υπόγειων υδάτων. Σαν αποτέλεσμα το νερό, τόσο μέσω της πίεση των πόρων όσο και με την λιπαντική του δράση, οδήγησε στην ενεργοποίηση αλλά και στη βίαια εκδήλωση της κατολίσθησης τον Απρίλιο του 2012.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Η εκτίμηση των κατολισθητικών φαινομένων απαιτεί αρχικά επιτόπου τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση η οποία και πραγματοποιήθηκε τον Δεκέμβριο του 2018 όπου και έγινε εντοπισμός διαφόρων στοιχείων που συνδέονται άμεσα με την εκδήλωση της αστοχίας. Τέτοια στοιχεία είναι τα όρια της κατολίσθησης και οι διάφορες εξάρσεις και ρωγμές στην επιφάνεια του εδάφους κυρίως κατά μήκος της κατολισθαίνουσας μάζας. Παρόμοια στοιχεία εντοπίζονται και εκτός των ορίων της κύριας κατολίσθησης με ορισμένα από αυτά να συνδέονται με αυτή ενώ να άλλα υποδηλώνουν την ύπαρξη παλαιότερων κατολισθητικών φαινομένων. Όλα τα παραπάνω απεικονίζονται γραφικά στο τεχνικογεωλογικό προσομοίωμα της περιοχής μελέτης στο Σχήμα 16.

Επιπρόσθετα, η επιτόπου έρευνα της κατολίσθησης συμπεριλάμβανε και την αποτύπωση αυτής με τη βοήθεια εναέριας παρακολούθησης μέσω ΣμηΕΑ (UAV). Μετά από 56 λεπτά πτήσης ολοκληρώθηκε η σάρωση όπου αποτυπώθηκαν 340 φωτογραφίες της περιοχής μελέτης οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους (Σχήμα 11).

Προκειμένου να εξεταστεί η εξέλιξη της κατολίσθησης μέχρι σήμερα αλλά και η ποσοτικοποίηση αυτών των μεταβολών απαιτούνται και δεδομένα πριν την εκδήλωσή της. Τα δεδομένα αυτά, τα παρείχε το Κτηματολόγιο της Ελλάδας διαθέτοντας ψηφιακά μοντέλα εδάφους από το έτος 2007 τα οποία και συγκρίθηκαν με αυτά του 2018.

Μετά από απαραίτητη επεξεργασία των δεδομένων που είχαμε στη διάθεσή μας, προκειμένου να είναι εφικτή η σύγκριση των δύο ψηφιακών μοντέλων των δύο αυτών χρονικών περιόδων, επιλέχθηκαν δύο διαφορετικές μέθοδοι ώστε να εξεταστούν τα αποτελέσματά τους και τελικά να επιλεχθεί η πλέον ακριβέστερη.

Η πρώτη αφορά την επεξεργασία των δεδομένων σε περιβάλλον ArcGIS υπό την μορφή raster με την βοήθεια της εντολής Minus. Η δεύτερη πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού
CloudCompare όπου τα δεδομένα σε μορφή πλέον point cloud συγκρίθηκαν με τη μέθοδο M3C2.

Εξετάζοντας τελικά τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων καταλήγουμε στο γεγονός ότι η αποδοτικότερη μέθοδος είναι αυτή του M3C2 καθώς τα αποτελέσματά της ανταποκρίνονται με αρκετά μεγάλη ακρίβεια στην πραγματικότητα. Από την άλλη η μέθοδος Minus παρουσιάζει αρκετά σφάλμα εξαιτίας της γεωμετρίας του εδάφους καθώς υπάρχουν σημεία τα οποία δεν είναι ορατά κατά τη σάρωση και αυτό δημιουργεί εσφαλμένα δεδομένα, πράγμα το οποίο δεν είναι δυνατόν να διορθωθεί μέσω αυτής της μεθόδου.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψιν τα δεδομένα που μας έδωσε η σύγκριση των δύο αυτών χρονικών περιόδων μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε πως η κατολίσθηση στην κοινότητα του Ροποτού είναι μια ενεργή κατολίσθηση η οποία επηρεάζει μεγάλο μέρος της κοινότητας καθώς μέσα σε αυτό το διάστημα των 11

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

χρόνων παρουσιάζει μια εξελιγμένη μορφή ως αποτέλεσμα των σταδιακών μετακινήσεών της.

Για το λόγο αυτό, η συνεχή παρακολούθησή της κρίνεται απαραίτητη έτσι ώστε να προσδιοριστούν με ακρίβεια η έκταση, το μέγεθός καθώς και ο μηχανισμός της προκειμένου να αποτραπεί ή να αντιμετωπιστεί έγκαιρα μελλοντική μετακίνησή της η οποία θα έχει καταστροφικές συνέπειες για την κοινότητα.

Το παραπάνω γεγονός καθιστά ολοένα μεγαλύτερη την ανάγκη για χρήση των σύγχρονων συστημάτων παρακολούθησης τα οποία συνεχώς εξελίσσονται έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξημένες απαιτήσεις στον χώρο της έρευνας. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία η χρήση των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (UAV) είναι απαραίτητη, πράγμα που αποδεικνύει την σημαντικότητά τους σε εκτιμήσεις καταστροφών μεγάλου κινδύνου. Η αναγκαιότητά τους έγκειται στο γεγονός ότι παρέχουν ασφαλή και γρήγορη πρόσβαση τόσο σε μεγάλης κλίμακας φαινόμενα όσο και σε περιοχές περιορισμένης πρόσβασης απαιτώντας ελάχιστο ανθρώπινο δυναμικό.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Akcay O., (2015). Landslide Fissure Inference Assessment by ANFIS and Logistic Regression Using UAS-Based Photogrammetry. ISPRS International Journal of Geo-Information, 4, 21312158. doi:10.3390/ijgi4042131

Arbanas Z., Tofani V.,(2017) « Inntroduction: Landsnlide Monitoring»

Briesacher, A. (2014). Integrating Stereotype Threat into Identity and Social Identity Theory(Doctoral dissertation). Kent State University.

Brunn, J.H., 1956, Etude geologique du Pinde septentrional er de la Macedoine occider Ann. Geol. Pays Helleniques, v 7, p. 1-358

Brown, E., Ed., ISRM (1981) Rock Characterization Testing and Monitoring. Pergamon Press, Oxford, 211 p

Cano M., Tomas R., (2013) «Characterization of the Instability Mechanisms Affecting Slopes on Carbonating Flysch: Alicante (SE Spain), Case Study»

Christou, M., & Spyrou, S. (2012). Border Encounters: How Children Navigate Spaceand Otherness in an Ethnically Divided Society. Childhood19(3), 302-316.

Deere D.U., 1974. Geological considerations. Rock Mechanics in Engineering Practice

Deere D.U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechanics and Engineering Geology, 1, pp. 17-22.

Jaukovic I.,(2016) «Unmanned Aerial Vehicles: A new tool for risk assessment»

Marinos P., Marinos V., Hoek E., (2007) «Geological Strength Index (GSI). A Characterization Tool for Assessing Properties for Rock Masses

Marinos P.V., (2010) «The New, Revised, Geotechnical Classification GSI System for heterogeneous rock masses such as Flysch»

Marinos P., Marinos V., Hoek E., (2005) «The Geological Strength index: Applications and Limitations»

Marinos P.V., (2010) «New Proposed Classification Charts for Weak or Complex Rock Masses

Mora O., Lenzano G., Toth C., Grejner-Brzezinska D., Fayne J.(2018).Lanslide Change Detection Based on Multi-Temporal Airborne LiDAR-Derives DEMs. Geosciences, 8, 23

Niethammer U., Rothmund S., Schwaderer U., Zeman J., Joswig M. (2011). OPEN SOURCE IMAGE-PROCESSING TOOLS FOR LOW-COST UAV-BASED LANDSLIDE INVESTIGATIONS. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-1/C22, ISPRS, Zurich, Switzerland

Remondino F. et al: UAV Photogrammetry for Mapping and 3D modeling-current Status and Future Perspectives. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

USGS U.S. Geological Survey 2004. Landslide Types and Processes, Fact Sheet 20043072

Varnes DJ (1978) Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) Landslides, analysis and control, special report 176: transportation research board. National Academy of Sciences, Washington, DC., pp 11–33

Williams R. D., (2012). DEMs of Difference. Institute of Geography and Earth Science, Aberystwyth University

Yaprak, S. et al.: The role of unmanned Aerial Vehicles in Monitoring Rapidly Occurring Landslides, Geod. list 2018, 2, 113-132

Yaprak, S. et al.: The Role of Unmanned Aerial Vehicles in Monitoring Rapidly Occuring Lanslide, Geod. list 2018, 2, 113–132.

Αργυρόπουλος Ν., 2017. Χρήση Μη Επανδρωμένων Αέριων Οχημάτων (UAV) στη Γεωλογία.(Μεταπτυχιακή διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ελλάδα)

Αποστολίδης, Ε. (2014). Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στη λεκάνη της δυτική ΘεσσαλίασΓεωμηχανικά χαρακτηριστικά των τεταρτογενών αποθέσεων. (Διδακτορική Διατριβή)Πανεπιστήμιο Πατρών

Βαρούνης Α., Orr T., Βαρούνης Ν. (2007) ENGINEERING GEOLOGY MODELS AS APPLIED IN MICROZONATION MAPPING WITH A CASE HISTORY FOR THE TRIKALA AREA GREECE. 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Θεσσαλονίκη

Δημοσθένης Μ. Μουντράκης (2010) «Γεωλογίας και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας» University Studio Press

Καρράς, Γ. (1973). Κλιματική ταξινόμηση της Ελλάδος κατά Thornthmaite (Διδακτορική διατριβή). Διαθέσιμο στο Εθνικό Αρχείο Διδακροτικών διατριβών. Ανακτημένο απο://phdtheses.ekt.gr/eadd/handle/10442/40146.

Κροκίδης Σ. (2013). Ευστάθεια υψηλών πρανών στο φλύσχης: Η περίπτωση του δυτικού (Βόρειου) αντερείσματος του φράγματος Μόρνου.(Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Ελλάδα)

Μάρκου Γ., Νικολάου Σ.,(2011) Κλίμα και Δασική βλάστηση της Ελλάδας. Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθνών

Μπαθρέλου, Γ. (2005). Γεωλογική, Γεωμορφολογική και γεωγραφική μελέτη των αστικών περιοχών του νομού Τρικάλων-Δυτικής Θεσσαλίας (Διδακτορική Διατριβή). Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Σωτηρόπουλος Λ., Λυμοέρης Ε., Σιγάλας Α., Ντουρούπη Α., Προβιά Κ., Ντούνιας Γ.(2004) Κατολίσθηση στη περιοχή της Τσακώνας Ν. Αρκαδίας. Γεωλογικές συνθήκες και μηχανισμός ενεργοποίησης. 10ο Διεθνές Συνέδριο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας (1862-1871). Θεσσαλονίκη

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

mailto:https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7d/Nomos_Trikalon.png

mailto:https://www.buildinghow.com/el-

mailto:https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/%CE%B5%CE%B2%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%AC%CE%B4%CE%B1/%ce%a4%cf%81%ce%af%ce%ba%ce%b1%ce%bb%ce%b1_%ce%95%ce%bb%ce%bb%ce%b7%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ae-%ce%94%ce%b7%ce%bc%ce%bf%ce%ba%cf%81%ce%b1%cf%84%ce%af%ce%b1_252664 mailto:https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7d/Nomos_Trikalon.png

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης