



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΧΟΥΧΟΥΛΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΟΣΗ
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΜΕΤΣΟΒΟΥ,
Ν. ΗΠΕΙΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΜΗΕΑ (UAV).

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΑΡΙΝΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2019





ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΧΟΥΧΟΥΛΗ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ:5200

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΜΕΤΣΟΒΟΥ,
Ν. ΗΠΕΙΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΜΗΕΑ (UAV).

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωλογίας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΑΡΙΝΟΣ

© Χουχούλη Κωνσταντίνα, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΟΣΗ
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΜΕΤΣΟΒΟΥ,
Ν. ΗΠΕΙΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΜΗΕΑ (UAV)

– Διπλωματική Εργασία

© Chouchouli Konstantina, School of Geology, Dept. of Geology, 2019

All rights reserved.

ENGINEERING GEOLOGY ASSESMENT AND MAPPING OF LANDSLIDE
PHENOMENON IN THE REGION OF METSOVO, S. EPIRUS WITH THE HELP OF
UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV)

– 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.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο Έρευνα και Ανάλυση Κατολισθητικών Φαινομένων στην περιοχή του Μετσόβου με τη βοήθεια Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στο τμήμα Γεωλογίας το έτος 2019.

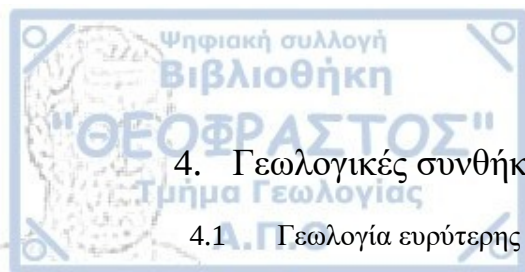
Πρώτα απ' όλα θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή, αναπληρωτή καθηγητή, κύριο Βασίλη Μαρίνο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και μου ανέθεσε την παραπάνω διπλωματική εργασία όπως επίσης και για την άρτια καθοδήγηση του, τις ουσιώδεις συμβουλές του και τον πολύτιμο χρόνο του που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας, διότι αποτέλεσε πρότυπο και πηγή έμπνευσης για εμένα.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος Γεωλογίας, Ευστράτιο Καραντανέλλη για την συνεχή καθοδήγησή και υποστήριξή του, την πληθώρα γνώσεων που μου μετέδωσε και τις ανεκτίμητες συμβουλές του κατά τη διάρκεια της εργασίας μου καθώς επίσης και την αδιάκοπη ενθάρρυνση που μου παρείχε σε όλο αυτό το διάστημα.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
2. Κατολισθήσεις	13
2.2 Ταξινόμηση κατά Varnes	14
2.2.1 Ανατροπές	14
2.2.2 Καταπτώσεις.....	15
2.2.2.1 Αναγνώριση καταπτώσεων και ανατροπών στο ύπαιθρο.....	20
2.2.3 Ολισθήσεις	16
2.2.3.1 Περιστροφικές ολισθήσεις.....	21
2.2.3.2 Μεταθετικές ολισθήσεις.....	23
2.2.4 Πλευρικές εξαπλώσεις.....	20
2.2.5	
Ροές.....	25
2.2.6 Σύνθετες μετακινήσεις πρανών	23
2.3 Παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων	25
2.4 Ιστορικό κατολισθήσεων στην ευρύτερη περιοχή.....	26
3. Τηλεπισκόπηση.....	29
3.1 Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ).....	30
3.2 Ιστορική αναδρομή.....	30
3.3 Τεχνολογία και Κατηγορίες ΣμηΕΑ.....	32
3.4 Σχέδιο πτήσης.....	39
3.5 Τεχνολογία Structure From Motion	37
3.6 Η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών στις κατολισθήσεις.	39
3.7 Περιπτώσεις μελέτης αστοχιών με την βοήθεια ΣμηΕΑ.....	40
3.7.1 Διαχρονική Ανάλυση μετακινήσεων στην Κόκκινη Παραλία της Σαντορίνης.....	40
3.7.2 Το ΣμηΕΑ ως βασικό σύστημα παρακολούθησης σε επείγουσες καταστάσεις.....	43
3.7.3 Χαρτογράφηση κατολίσθησης χρησιμοποιώντας σύστημα μη επανδρωμένων αεροσκαφών με σταθερό πτερύγιο	48
3.7.4 Παρακολούθηση της κατολίσθησης Gallenzerkogel στην περιοχή Hollestein της Αυστρίας.....	51



4. Γεωλογικές συνθήκες της ερευνώμενης περιοχής.....	54
4.1 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής έρευνας.....	54
4.2 Γεωλογία στενής περιοχής έρευνας.....	61
4.3 Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση φλύσχη	59
4.4 Υδρογεωλογία περιοχής μελέτης.....	60
4.5 Κλίμα περιοχής Μετσόβου.....	61
4.6 Σεισμικότητα περιοχής.....	67
5. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες	67
5.1 Επί τόπου παρατηρήσεις στην περιοχή της αστοχίας.....	67
5.2 Τεχνικογεωλογικές ενότητες	78
5.2.1 Τεχνικογεωλογική ενότητα 1.....	80
5.2.2 Τεχνικογεωλογική ενότητα 2	82
5.2.3 Τεχνικογεωλογική ενότητα 3.....	84
5.3 Χρήση ΣμηΕΑ στην περιοχή μελέτης.....	87
5.4 Μηχανισμός αστοχίας	90
6. Συμπεράσματα	92
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	99

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατολίσθηση είναι ένα καταστροφικό και αρκετά συχνό φαινόμενο στις μέρες μας το οποίο κατηγοριοποιείται σε διάφορες μορφές όπως βραχοκαταπτώσεις, ανατροπές βράχων περιστροφικές ολισθήσεις, λασποροές και άλλα. Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την μελέτη και ανάλυση της αστοχίας με μορφή κατολίσθησης στην περιοχή του Μετσόβου με τη βοήθεια συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

Η έρευνα αυτή για να εκπονηθεί χρειάζεται ένα θεωρητικό υπόβαθρο όσον αφορά αρχικά το φαινόμενο της κατολίσθησης. Εκτός από αυτό, τα δεδομένα της ευρύτερης περιοχής του Μετσόβου αλλά και της στενής περιοχής της αστοχίας είναι εξίσου σημαντικά. Με άλλα λόγια, η γεωλογία και η γεωτεκτονική θέση της περιοχής, το κλίμα, η υδρογεωλογία και η σεισμική επικινδυνότητα είναι δεδομένα που είναι απαραίτητα για την παρούσα έρευνα και αναλύονται παρακάτω. Επιπλέον εξετάζεται λεπτομερώς η τεχνολογία των συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών και το πώς αυτά συνέβαλλαν σε αυτήν την εργασία.

Επιπροσθέτως, αναφορικά με το ερευνητικό κομμάτι της διπλωματικής οι εργασίες που ακολούθησαν είναι η επι τόπου παρατήρηση της περιοχής μελέτης και η ανάλυση σε βάθος των στοιχείων που βρέθηκαν, η τεχνικογεωλογική αξιολόγηση της περιοχής που ερευνάται σε συνδυασμό με τη μελέτη του ήδη ψηφιοποιημένου γεωλογικού χάρτη της περιοχής σε περιβάλλον GIS και η επεξεργασία των δεδομένων-εικόνων που έχουν παραχθεί από το σύστημα μη επανδρωμένων αεροσκαφών (uav) μέσω του λογισμικού PIX4D. Ο σκοπός όλων αυτών των εργασιών είναι η εξέταση του μηχανισμού αστοχίας που προκάλεσε το κατολισθητικό αυτό φαινόμενο.

Συμπερασματικά, αναγράφηκε η ανάγκη για την αναζήτηση ενός γεωερευνητικού προγράμματος όσον αφορά μία επόμενη έρευνα της περιοχής της αστοχίας καθώς και η εύρεση μέτρων προστασίας του οικισμού του Μετσόβου με σκοπό τη μείωση της επικινδυνότητας αλλά και της διακινδύνευσης.



ABSTRACT

The term of landslide is a catastrophic and very frequent phenomenon in contemporary world, which is classified on several forms such as rockfalls, slope failures, rotational slide, mudflows etc. The present thesis is related on a detailed examination of a landslide failure in the region of Metsovo regarding the help of unmanned aerial vehicles.

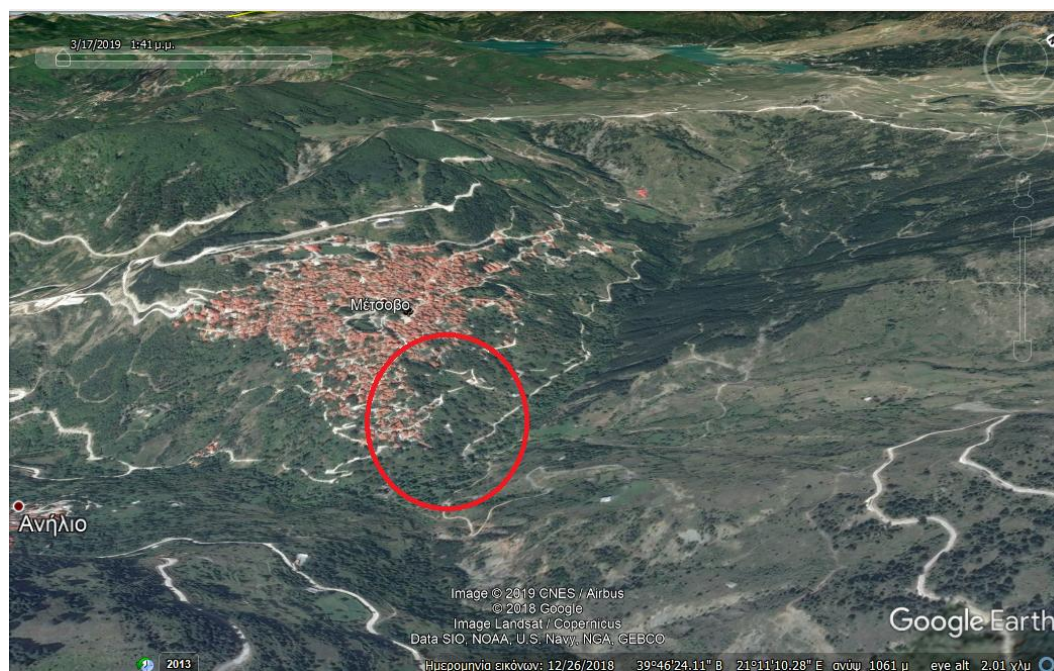
A theoretical background of landslide phenomenon has been a crucial factor in order this research to be achieved. Besides that, the data of the study area of Metsovo have played an equal vital role. In other words, geology and geotectonical position, weather, hydrogeology and also seismic risk have been the essential data for this thesis and they have analyzed below. Furthermore, the technology of unmanned aerial vehicles has been fully examined, as well as how they have assisted in this report.

Moreover, concerning the research part of thesis, the following processes are field investigation of this particular region along with the analysis of data which have been established. Apart from that, another procedure is engineering geological conditions of the area of interest coupled with the study of an already digitalized map on GIS environment and finally the editing of data-images which have produced from unmanned aerial vehicles (uav) through PIX4D software. The purpose of all these operations is the examination of failure mechanism in this specific area of interest which has caused this landslide phenomenon.

Summarizing, an engineering geology research program is mandatory regarding possible next researches in this region of failure, hence the discovery of a good-many measures relating to the protection Metsovo village in order for the reduction of risk.

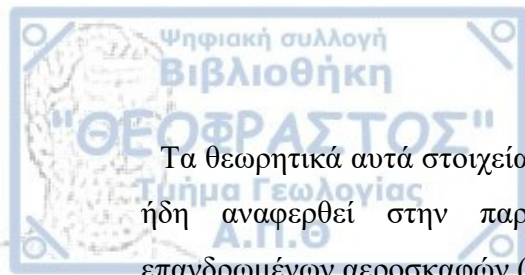
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει διεξαχθεί στον οικισμό του Μετσόβου (Σχήμα 1) και ο σκοπός της είναι η μελέτη ενός κατολισθητικού φαινομένου στην περιοχή, με τη βοήθεια συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Να σημειωθεί πως η περιοχή αυτή έχει πολύ υψηλή διακινδύνευση λόγω της τουριστικής της κίνησης, οπότε η εκδήλωση κατολισθήσεων είναι αρκετά επικίνδυνη.



Σχήμα 1 Μετσόβο όπου απεικονίζεται η περιοχή μελέτης μέσα στον κόκκινο κύκλο (Google earth)

Η διπλωματική ακολουθεί την εξής μεθοδολογία και χωρίζεται σε τρία κομμάτια. Το πρώτο κομμάτι αφορά το θεωρητικό μέρος το οποίο περιλαμβάνει θεωρητικά δεδομένα όσον αφορά το φαινόμενο της κατολίσθησης και την ταξινόμηση των διάφορων κατηγοριών της ανάλογα με τον τρόπο εκδήλωσής τους. Στη συνέχεια αναλύεται η περιοχή έρευνας (Σχήμα 1) (γεωτεκτονική θέση της περιοχής μελέτης, οι γεωλογικοί σχηματισμοί, η υδρογεωλογία κ.α) η οποία βρίσκεται νοτιοανατολικά του οικισμού του Μετσόβου, παρόλ'αυτα ένα μέρος της αστοχίας βρίσκεται μέσα στον οικισμό.



Τα θεωρητικά αυτά στοιχεία επηρεάζουν άμεσα την μελέτη του φαινομένου. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκαν τα συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ).

Το δεύτερο μέρος συνθέτεται από τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε όσον αφορά το ερευνητικό κομμάτι το οποίο αποτελείται από την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των στοιχείων που βρέθηκαν στην επι τόπου έρευνα της περιοχής. Ακόμη μέσω του λογισμικού GIS ψηφιοποιήθηκε ο χάρτης της περιοχής από το ΙΓΜΕ ο οποίος συντέλεσε στην κατανόηση της γεωλογίας και την ψηφιακή επεξεργασία. Στη συνέχεια από το ΣμηΕΑ παρήχθησαν εικόνες οι οποίες επεξεργάστηκαν μέσω του λογισμικού PIX4D για να αποτυπωθεί η ακριβής εικόνα και οριοθέτηση της αστοχίας. Τέλος εξετάστηκε και γράφτηκε ο μηχανισμός αστοχίας της ερευνώμενης περιοχής.

Συμπερασματικά, στο τρίτο και τελευταίο μέρος επεξηγούνται τα συμπεράσματα όλης αυτής της έρευνας, η σημαντικότητα της αλλά και το πώς αυτή μπορεί να βοηθήσει σε επόμενες μελέτες.

2. Κατολισθήσεις

Το φαινόμενο των κατολισθήσεων αποτελεί εξαιρετικό κίνδυνο ο οποίος ως αποτέλεσμα επιδρά σε τεχνικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, κατολίσθηση ορίζεται ως 'κάθε αλλαγή, της επιφάνειας μίας πλαγιάς, συνοδευόμενη με μετακίνηση υλικού, που προέρχεται από δυνάμεις βαρύτητας και οφείλεται σε φυσικά ή τεχνητά αίτια.

2.1 Ιστορική αναδρομή

Πολλοί ερευνητές έχουν ταξινομήσει τις κατηγορίες των κατολισθήσεων. Ο πρώτος ο οποίος διαχώρισε τις κατολισθήσεις σε πτώσεις ολισθήσεις και ροές ήταν ο ελβετός Baltzer το 1875. Οι Heim(1932) και Zuraba, Mencl (1969) ταξινόμησαν τις κατολισθήσεις ανάλογα με το υλικό από το οποίο αποτελούνταν. Στη συνέχεια ο Αυστριακός Stini (1910) με την κλασσική εκφραση 'die muren' διαχώρισε τις κατολισθήσεις των ορεινών περιοχών που συμβαίνουν λόγω πλημμύρας, ενώ αργότερα ο Bull(1964) περιέγραψε τις κατολισθήσεις που πραγματοποιούνται σε ξηρά κλίματα. Στην Αμερική ο Sharpe (1938) διαχώρισε τις κατολισθήσεις ανάλογα με τον τύπο και την κίνηση του υλικού το οποίο κατολισθαίνει όπως επίσης και την ταχύτητα της κατολίσθησης. Την θεωρία αυτή την ερεύνησαν και τροποποίησαν ο Varnes(1954,1978) αλλά και οι Cruden και Varnes (1996). Τον όρο της ροής εδάφους τον εισήγαγαν στην Αμερική οι Keefer και Johnson (1983) ενώ στην Βρετανία ο Hutchinson (1988), ο οποίος επικεντρώθηκε στον μηχανισμό της αστοχίας. Τον όρο 'ολίσθηση σφήνας' τον εισήγαγε ο Londe (1965) και οι Hoek και Bray (1981).(Hung, Leroueil, & Picarelli, 2014)

2.2 Ταξινόμηση κατά Varnes

Όπως προαναφέρθηκε η ταξινόμηση κατά Varnes βασίζεται στον τύπο της κίνησης και το είδος του υλικού που μετακινείται. Ανάλογα με τον τύπο της κίνησης οι κατολισθήσεις διαχωρίζονται σε πτώσεις, ανατροπές, ολισθήσεις, πλευρικές εξαπλώσεις, ροές και τέλος σύνθετες μετακινήσεις. Ενώ το είδος του υλικού μπορεί να είναι είτε βραχώδες είτε εδαφικό.

Το εδαφικό υλικό διακρίνεται σε κορήματα των οποίων οι περισσότεροι κόκκοι είναι μεγαλύτεροι των 2mm και σε γαίες των οποίων οι περισσότεροι κόκκοι έχουν μέγεθος μικρότερο των 2mm. (Γεωλογία Τεχνικών Έργων Γεώργιος Χ Κούκης , Νικόλαος Στ Σαμπατακάκης).

2.2.1 Ανατροπές

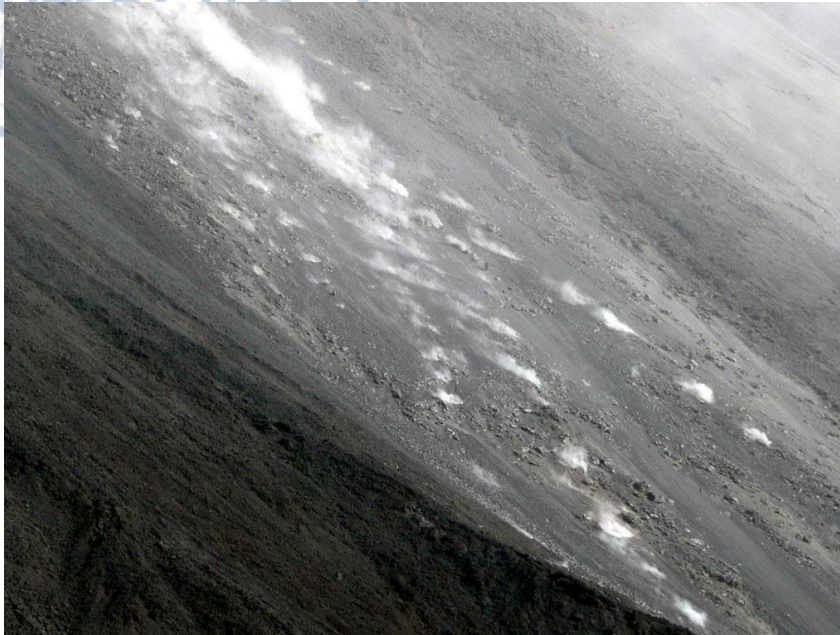
Στις ανατροπές η κίνηση είναι περιστροφική προς τα έξω ενός βραχώδους υλικού γύρω από έναν άξονα περιστροφής που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους του κινούμενου υλικού. (Γεωλογία Τεχνικών Έργων Γεώργιος Χ Κούκης , Νικόλαος Στ Σαμπατακάκης). Η μετακίνηση μπορεί να είναι αργή αλλά τα τελευταία στάδια της αστοχίας γίνονται με μεγάλη ταχύτητα. Η διαφορά της ανατροπής λόγω κάμψης και της ανατροπής τεμαχών προτάθηκε από τους Goodman και Bray (1976) και των Hoek και Bay (1977) . Η ανατροπή τεμαχών συνδέεται με την παρουσία ενός δεύτερου συστήματος ασυνεχειών κάθετα στα αρχικά μεγάλου μεγέθους τεμάχια. Ένα παράδειγμα της ανατροπής τεμαχών έχει περιγραφεί από τους Schumm και Chorley (1964) όπου στο Chaco Canyon του Μεξικού ο σχιστόλιθος για περίπου δέκα χρόνια παραμορφωνόταν με πολύ αργές κινήσεις ενώ ξαφνικά ένα τέμαχος έπεσε και κατέστρεψε τον αρχαιολογικό χώρο. Στην περίπτωση της ανατροπής λόγω κάμψης όταν το υλικό έχει μεγάλη σκληρότητα και είναι παχυστρωματώδες υπάρχει υποκατακόρυφο σύστημα ασυνεχειών και το ανώτερο τέμαχος του σχηματισμού αστοχεί. Όταν το υλικό από το οποίο αποτελείται ο σχηματισμός είναι λεπτοστρωματώδες τότε αρχικά παρατηρείται κάμψη του υλικού και στη συνέχεια ολίσθηση.

2.2.2 Καταπτώσεις

Οι καταπτώσεις είναι ένα πολύ συχνό φαινόμενο. Το υλικό μπορεί να είναι εδαφικό ή βραχώδες και απότομο. Ένα τέμαχος αποσπάται από το πρανές κατά μήκος μιας επιφάνειας ολίσθησης. Η πτώση γίνεται με μεγάλη ταχύτητα κυρίως με κύλιση ή αναπήδηση και ελεύθερα. Συνήθως έχουν προηγηθεί μικρότερες μετακινήσεις. Στη περίπτωση όπου το πρανές έχει γωνία κλίσης μικρότερη των 45 μοιρών τότε δεν πραγματοποιείται πτώση αλλά κύλιση. Στην Εικόνα 2.1 παρατηρούνται καταπτώσεις βραχωδών πρανών ενώ στην Εικόνα 2.2 φαίνονται τα θραύσματα των βραχωδών πρανών.



Εικόνα 2.1 Βραχοκαταπτώσεις (Marinos, n.d.)



Εικόνα 2.2 Θραύσματα βραχώδων πρανών (O. Hungr)

2.2.2.1 Αναγνώριση καταπτώσεων και ανατροπών στο ύπαιθρο

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των καταπτώσεων και των ανατροπών είναι η συγκέντρωση βραχώδους ή αποσαθρωμένου εδαφικού υλικού το οποίο δεν ανήκει στο υποκείμενο πρανές. Στις παραπάνω αστοχίες η επιφάνεια του πρανούς είναι απότομη, καθώς μετά την θραύση είναι ανώμαλη και συνήθως χωρίς βλάστηση, όταν οι αστοχίες είναι συχνές, ή με εμφανή στοιχεία στην υπάρχουσα βλάστηση. (όπως σπασίματα και χτυπήματα στους κορμούς των δέντρων).

2.2.3 Ολισθήσεις

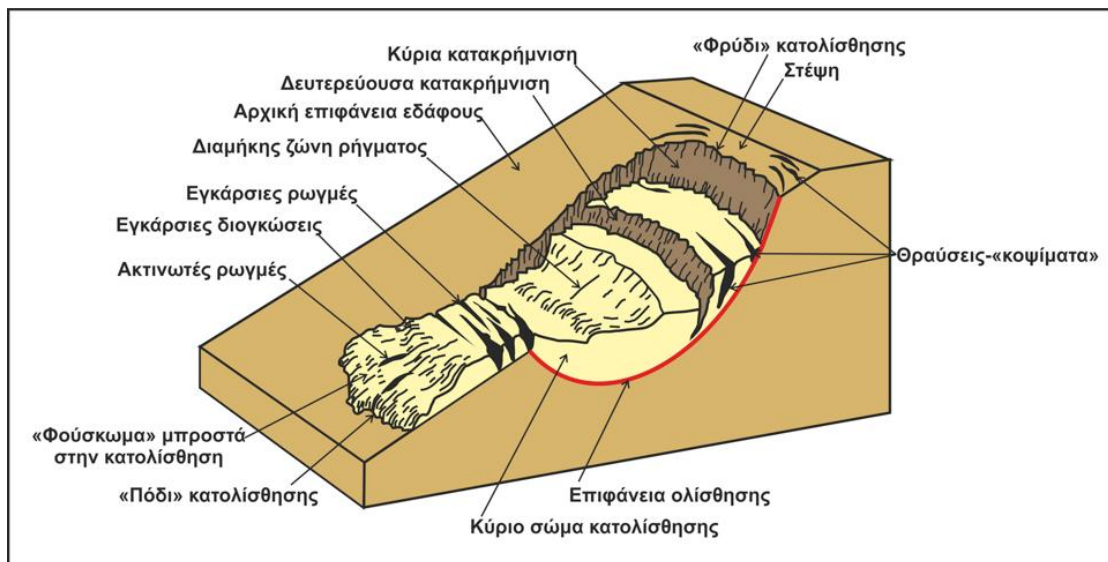
Στις ολισθήσεις οι επιφάνειες ασυνεχειών προκαλούν τη θραύση του υλικού το οποίο είναι είτε ομογενές και εδαφικό είτε βραχώδες κατακερματισμένο υλικό, με διατμητική παραμόρφωση. Η διάτμηση μπορεί να πραγματοποιείται ταυτόχρονα σε όλη την επιφάνεια του πρανούς αλλά μπορεί να επεκτείνεται και διαδοχικά από το σημείο της αρχικής θραύσης. (Γεωλογία Τεχνικών Έργων Γεώργιος Χ Κούκης , Νικόλαος Στ Σαμπατακάκης). Οι ολισθήσεις είναι είτε περιστροφικές είτε μεταθετικές. Όταν το πρανές αποτελείται από ασθενές υλικό τότε το υλικό ολισθαίνει περιστροφικά και συνήθως με αργή ταχύτητα (Εικόνα 2.3). Το μήκος των περιστροφικών ολισθήσεων είναι 3-7 φορές περισσότερο από το πάχος τους.



Εικόνα 2.3 Περιτροφική ολίσθηση (O. Hungr)

2.2.3.1 Περιτροφικές ολισθήσεις

Σε μια ιδεατή περιτροφική ολίσθηση παρατηρούνται τα εξής χαρακτηριστικά (εικόνα 2.4)



Εικόνα 2.4 Χαρακτηριστικά περιτροφικής ολίσθησης "ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ 6 ο Μάθημα Ευστάθεια πρανών," n.d.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά είναι: η στέψη της κατολίσθησης η οποία είναι το ανώτερο τμήμα του εδαφικού υλικού που βρίσκεται πιο κοντά στην κύρια μετακίνηση, ενώ η κεφαλή αποτελεί τα ανώτερα τμήματα του κινούμενου υλικού. Η κύρια κατακρήμνιση αποτελεί το τμήμα εκείνο στο οποίο υπάρχει η πιο απότομη βύθιση του εδάφους καθώς η δευτερεύουσα το βύθισμα που έχει επηρεαστεί από πολλές μετακινήσεις της μάζας. Η κορυφή ορίζεται ως το ψηλότερο σημείο της κατολίσθησης ενώ ο πόδας τη μάζα του εδάφους που έχει μετακινηθεί πιο μακριά. Το φούσκωμα μπροστά από την κατολίσθηση αποτελεί το εδαφικό υλικό το οποίο υπέρκειται της αρχικής επιφάνειας του. Ένα παράδειγμα περιστροφικής ολίσθησης στο Folkestone Warren το 1915 και στις κεντρικές Άλπεις όπου χαρακτηρίστηκε η τέταρτη πιο θανατηφόρα κατολίσθηση στην ιστορία της Ευρώπης. (D'Alessandro et al.2002) (Εικόνα 2.5). Στο ύπαιθρο παρατηρείται η ολίσθηση από το χαρακτηριστικό φρύδι που υποδηλώνει την αρχή της μετακίνησης και συνδέεται με απότομα βυθίσματα και τις «τάφρους κάθησης». Οι τάφροι αυτές είναι εδαφικά τεμάχια τα οποία αποσυμπιέστηκαν και τελικά ευθύνονται για τον επερχόμενο εφελκυσμό, την θραύση του πρηνούς και την κάθηση του. Το υλικό είναι συνήθως εδαφικό και έντονα κερματισμένο, ενώ διακρίνεται η περιστροφή του. Στο ανώτερο τμήμα επίσης της κατολίσθησης υπάρχουν εφελκυστικές ρωγμές παράλληλα προς την κύρια κατακρήμνιση. Τα τοιχώματα των ρωγμών έχουν μια ελαφριά καμπυλότητα κατά την διεύθυνση της μετακίνησης. Επιπλέον το σχήμα των ρωγμών είναι πεταλοειδές. Όταν οι ρωγμές του εδαφικού υλικού που μετακινείται αποσφηνώνονται σε βάθος τότε το κινούμενο τέμαχος παρουσιάζει κατακόρυφη μετακίνηση. Συνήθως η φυτοκάλυψη απουσιάζει, το έδαφος είναι γυμνό και διακρίνονται οι γραμμώσεις οι οποίες δείχνουν και την διεύθυνση της κύριας κίνησης. Στο κατώτερο τμήμα της κατολίσθησης (πόδας) παρατηρείται εφελκυσμός και ανύψωση του υλικού ενώ ακριβώς πριν κυριαρχεί συμπιεστική τεκτονική και καθόλου ρωγμώσεις. Ετσι η επιφάνεια του εδάφους είναι ανώμαλη με ανυψώσεις και βυθίσματα.

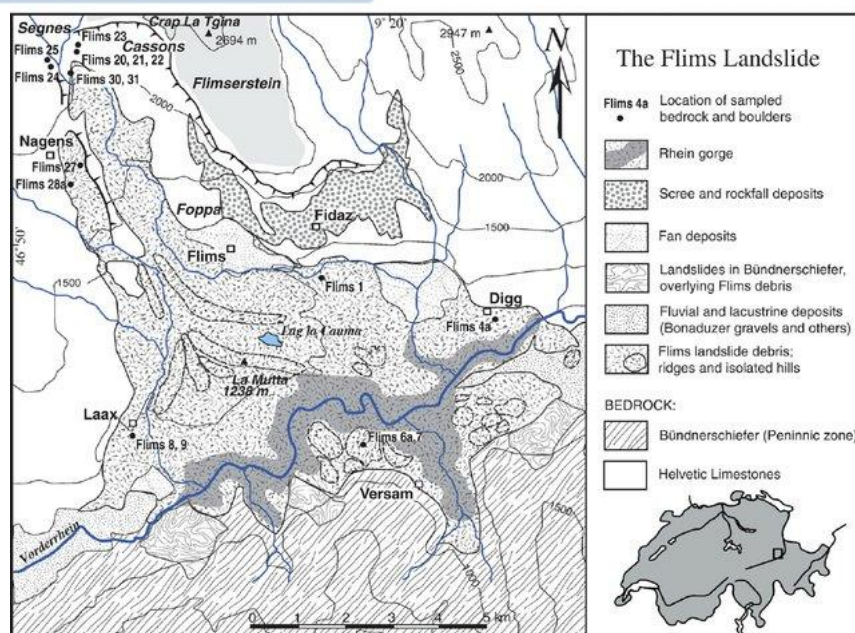


Εικόνα 2.5 Η τέταρτη πιο θανατηφόρα κατολίσθηση (the landslide blog)

2.2.3.2 Μεταθετικές Ολισθήσεις

Μεταθετικές ολισθήσεις πραγματοποιούνται όταν η κίνηση του πρανούς γίνεται προς τα έξω κατά μήκος μιας επίπεδης ή ελαφρώς κυματοειδούς επιφάνειας με ελάχιστη ή καθόλου περιστροφική κίνηση ή κάμψη. Πολλές φορές οι μεταθετικές ολισθήσεις μεταβαίνουν σε εδαφικές ροές λόγω της συνεχούς παραμόρφωσης του εδαφικού υλικού. Οι παραπάνω ολισθήσεις είναι πιο αβαθείς από τις περιστροφικές και το μήκος τους είναι μεγαλύτερο από το βάθος κατά το δεκαπλάσιο. Hutchinson (1988). Όταν η ολίσθηση γίνεται κατά μήκος μιας προυπάρχουσας ασυνέχειας τότε είναι ανισότροπη και ονομάζεται επίπεδη ολίσθηση. Στην περίπτωση που η ολίσθηση γίνεται κατά μήκος δυο τεμνόμενων ασυνεχειών τότε η ολίσθηση ονομάζεται σφηνοειδής. Κάποια παραδείγματα μεγάλων κατολισθήσεων είναι στα βουνά του Ζάγκρος στο Ιραν Roberts και Evans (2013) και η ολίσθηση βράχων στις Άλπεις Heim (1932) (Εικόνα 2.6) Ενώ στην εικόνα 8 φαίνεται ο μηχανισμός μιας μεταθετικής ολίσθησης. Οι μεταθετικές ολισθήσεις αναγνωρίζονται στο ύπαιθρο από τον πλευρικό τεμαχισμό του μετακινούμενου εδαφικού υλικού με σύγχρονη κατακόρυφη μετατόπιση από κατακόρυφες ρωγμές. Οι ρωγμές του εδαφικού τέμαχους που ολισθαίνει έχουν σταθερό πλάτος από το ανώτερο μέχρι και το κατώτερο τμήμα της ολίσθησης και δεν αποσφηνώνονται σε βάθος όπως στις περιστροφικές. Επίσης είναι κατά κύριο λόγο γραμμικές και παράλληλες προς τη διεύθυνση του πρανού. Αυτό συμβαίνει διότι η αστοχία είναι προϊόν εφελκυστικής τεκτονικής και προχωράει προοδευτικά προς την επιφάνεια.

Όταν η μεταθετική ολίσθηση πραγματοποιείται σε βραχώδη πρηνή η αστοχία είναι μικρού πάχους και συμβαίνει κατά μήκος υπαρχόντων ασυνεχειών



Εικόνα 2.6 Κατολίσθηση στα βουνά Ζάγκρος του Ιραν (Ivy-ochs, Ivy-ochs, Poschinger, Synal, & Maisch, 2009)

2.2.4 Πλευρικές εξαπλώσεις

Στις περιπτώσεις αυτές λαμβάνει χώρα η πλευρική κίνηση του υλικού που διευκολύνεται από εφελκυστικές ή διατμητικές ρωγμές (Εικόνα 2.7). Συνήθως η αστοχία αυτή συμβαίνει σε ζώνες υψηλής πίεσης πόρων σε ομογενές εδφικό υλικό (Varnes, 1945). Παράδειγμα της ολίσθησης αυτής είναι στην Αλάσκα το 1964 και στον Καναδά. Οι πλευρικές εξαπλώσεις στο ύπαιθρο αναγνωρίζονται όταν στο πρηνές υπάρχει θραύση σε μικρά τεμάχια τα οποία κινούνται λόγω της ροής ρευστοποίησης που κυριαρχεί στον υποκείμενο γεωλογικό σχηματισμό. Διακρίνονται επίσης διασταυρούμενες ρωγμές στην επιφάνεια του πρηνούς. Ο μηχανισμός της αστοχίας αποτελείται από περιστροφική, μεταθετική ολίσθηση αλλά και ροή εδάφους.



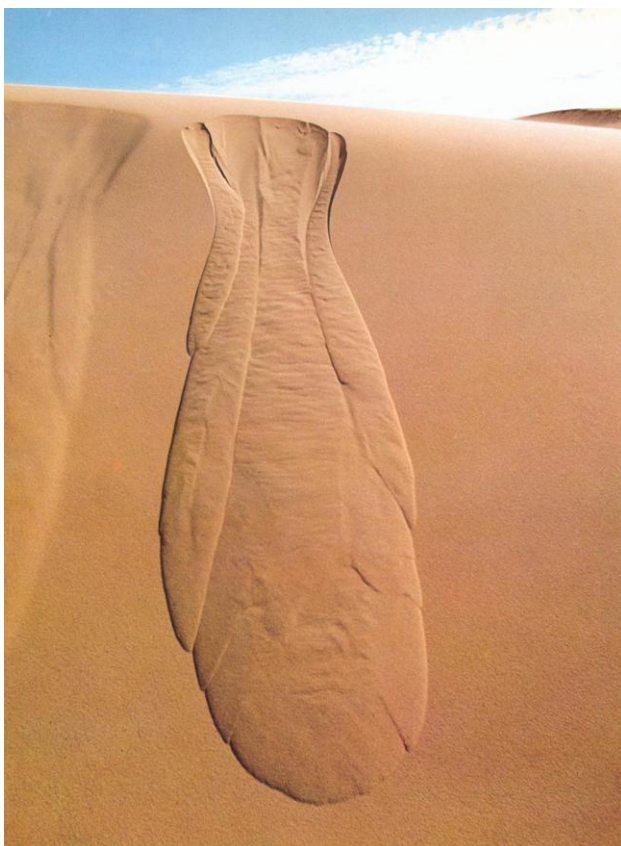
Εικόνα 2.7 Πλευρική εξάπλωση (Hungr, Leroueil, & Picarelli, 2014)

2.2.5 Ροές

Οι ροές εκδηλώνονται συνήθως σε εδαφικά χαλαρά υλικά. Στην περίπτωση που είναι αρκετά αργές και συνεχείς κατατάσσονται στον ερπυσμό. Ο ερπυσμός λαμβάνει χώρα στο σύνολο της πλαγιάς, είναι επιφανειακός και εμφανίζει μορφολογικές κυματώσεις. Το βάθος της μετακίνησης περιορίζεται σε 2-3m. Το όριο μεταξύ της μετακινούμενης μάζας και της μη μετακινούμενης μπορεί να ξεχωρίζει ή μπορεί να αποτελεί μια ζώνη πλαστικής ροής. Συνήθως η ροή εδάφους σχετίζεται με την παρουσία νερού, υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου το έδαφος είναι αρκετά έως τελείως ξηρό (Εικόνα 2.8). Ένα παράδειγμα ολίσθησης βράχου που εξελίχθηκε σε ροή είναι στο Gros Ventre Valley στο Wyoming (Alden, 1928) (Εικόνα 2.9). Οι υγρές ροές συναντώνται κατά κύριο λόγο σε εδαφικά λεπτόκοκκα υλικά τα οποία κινούνται εξαιτίας της παρουσίας νερού (Εικόνα 2.10). Συνήθως έχουν αρκετά μεγάλο μήκος ομοιόμορφη κλίση και δεν παρατηρούνται ρωγμές και όταν σε κάποιες περιπτώσεις συναντώνται είναι εφελκυστικές και κυρτές ως προς την διεύθυνση της κύριας κίνησης. Οι ξηρές ροές συναντώνται σε ομοιογενή εδαφικά υλικά και μερικές φορές παρατηρούνται γραμμές ροής. Ο πόδας της ολίσθησης τις περισσότερες φορές δεν είναι ευδιάκριτος



Εικόνα 2.8 ροή στο Gros Ventre Valley (UCGS)



Εικόνα 2.9 Ξηρή ροή (Hungri, Leroueil, & Picarelli, 2014)



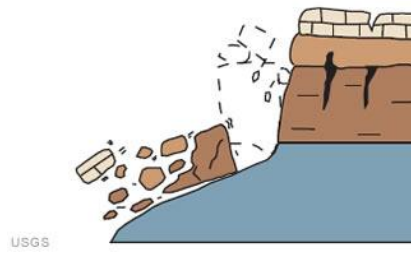
Εικόνα 2.10 3Υγρή ροή (Hungr, Leroueil, & Picarelli, 2014)

2.2.6 Σύνθετες μετακινήσεις πρανών

Παρόλο που η κατηγορία αυτή των κατολισθήσεων δεν περιέχει κάποια καινούρια κατηγορία περιλαμβάνει όμως συνδυασμό ήδη υπάρχοντων κατηγοριών (Πίνακας 2.1). Αποτελούν δηλαδή τις διαφορετικές ολισθήσεις που πραγματοποιούνται σε διαφορετικά σημεία της εδαφικής μάζας. Η κατηγορία αυτή είναι και η πλέον συχνή κατηγορία στη φύση. Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου της κατολίσθησης μελετήθηκε από τον Deline (2011) στην περιοχή Mont Blanc της Ιταλίας.

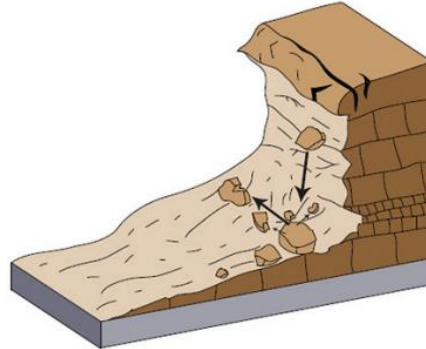
Μηχανισμός αστοχίας Ανατροπή

Εικόνα



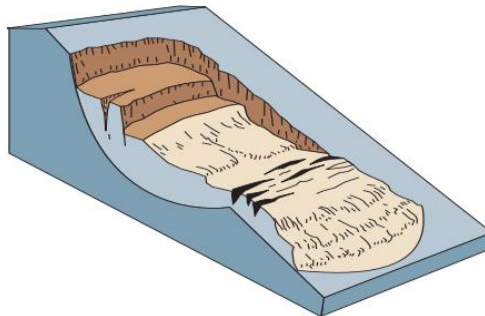
Εικόνα 2.1.1 (weatherwizkids.com)

Κατάπτωση



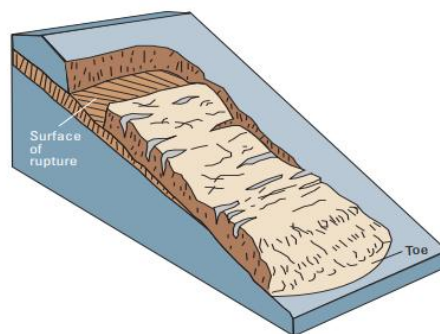
Εικόνα 2.1.2(Highland, States, & Survey, n.d.)

Περιστροφική ολίσθηση

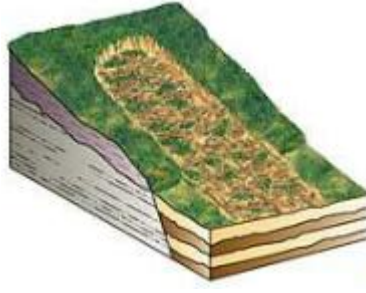


Εικόνα 2.1.3(Highland et al., n.d.)

Μεταθετική ολίσθηση

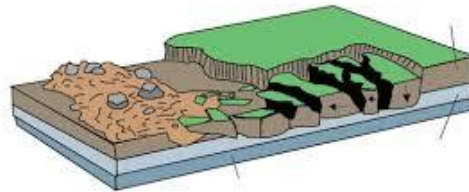


Εικόνα 2.1.4 (Highland, States, & Survey, n.d.)



Εικόνα 2.1.5 (geocaching.com)

Πλευρική εξάπλωση



Εικόνα 2.1.6 (Highland, States, & Survey, n.d.)

Πίνακας 2.1

2.3 Παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων

Η διαδικασία της κατολίσθησης αποτελεί μια σειρά από συνεχόμενα γεγονότα από την αιτία μέχρι το αποτέλεσμα (Varnes, 1945). Μερικές κατολισθήσεις μπορεί να λαμβάνουν χώρα μόνο για μερικά δευτερόλεπτα ενώ άλλες μπορεί να διαρκούν και χρόνια. Στις περισσότερες περιπτώσεις πολλές αιτίες που προκαλούν τα κατολισθητικά φαινόμενα συμβαίνουν ταυτόχρονα και έτσι δεν γίνεται να απαντηθεί ποια ακριβώς αιτία τα δημιούργησε. Ο πιο συνηθισμένος παράγοντας εκδήλωσης κατολισθήσεων είναι η αφαίρεση της πλευρικής υποστήριξης η οποία μπορεί να προκληθεί από την επιφανειακή διάβρωση ποταμών, παγετώνων, κυμάτων και ατμοσφαιρικών αποσαθρώσεων, ή από την υπόγεια διάβρωση και διάλυση των υλικών ή τέλος από την σύνθλιψη του εδαφικού υλικού και τις ανθρώπινες δραστηριότητες όπως υποσκαφή του πόδα ή αφαίρεση έργων αντιστήριξης.

Ένας άλλος παράγοντας είναι η επιφόρτιση του γεωλογικού υλικού φυσικής ή ανθρώπινης δράσης.

Οι σεισμικές κινήσεις επίσης πολλές φορές προκαλούν καταστροφικές μετακινήσεις, όπως και η τεκτονική ανύψωση του εδάφους. Τέλος η πλευρική πίεση συμβάλλει έντονα στην εκδήλωση των κατολισθήσεων όπως είναι η παρουσία ή το πάγωμα του νερού στις διακλάσεις και ρωγμές των πετρωμάτων είτε η παρουσία του ανυδρίτη που έχει σαν αποτέλεσμα την διόγκωση του εδάφους. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στην εκδήλωση κατολισθήσεων είναι η μείωση της διατμητικής αντοχής λόγω της παρουσίας νερού στους πόρους και στις ρωγμές των γεωλογικών σχηματισμών. Η πίεση του νερού των πόρων μειώνει την ενεργή τάση, καθώς η υδροστατική πίεση η οποία αναπτύσσεται μέσα στις ασυνέχειες των πετρωμάτων συμβάλλει στην αστοχία των βραχώδων πρηνών.

2.4 Ιστορικό κατολισθήσεων στην ευρύτερη περιοχή

Στην ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου έχουν σημειωθεί και άλλες αστοχίες. Ένα παράδειγμα είναι στην περιοχή της Μηλιάς όπου μια έντονη βροχόπτωση είχε ως αποτέλεσμα την κατολίσθηση του πρανούς και το κλείσιμο του δρόμου σε εκείνο το σημείο (Εικόνα 2.11).



Εικόνα 2.11 Κατολίσθηση στην περιοχή της Μηλιάς (artabest.net)

Ένα ακόμη παράδειγμα είναι η μεγάλη αστοχία που πραγματοποιήθηκε λίγο έξω από το χωρίο Βοτονόσι, στο 51^ο χιλιόμετρο της παλιάς εθνικής οδού Ιωαννίνων-Μετσόβου όπου εξαφανίστηκε ο δρόμος για περίπου 200 μέτρα σύμφωνα με τις τοπικές ιστοσελίδες (Εικόνα 2.12, Εικόνα 2.13). Οι συνέπειες ήταν αξιοσημείωτες διότι ο δρόμος αυτός χρησιμοποιούταν για μετακίνηση από τους κατοίκους του χωριού αλλά και από τα τοπικά λεωφορεία.



Εικόνα 2.12 Βραχοκατάπτωση στο Βοτονόσι (typos-i.g)



Εικόνα 2.13 Βραχοκατάπτωση στο Βοτονόσι(tyros-i.g)

3. Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση και οι μεθοδολογίες της έχουν μια πολύ σημαντική χρήση στην έρευνα και τη μελέτη των κατολισθήσεων. Η τηλεπισκόπηση έχει στόχο την συλλογή διάφορων δεδομένων της Γης χωρίς να έρχονται σε άμεση επαφή με αυτήν.(Scaioni, Longoni, Melillo, & Papini, 2014). Η ερμηνεία των κατολισθήσεων γίνεται μέσω αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων. Πριν την εμφάνιση των δορυφορικών εικόνων η αναγνώριση και μελέτη των κατολισθήσεων γινόταν κυρίως μέσω των αεροφωτογραφιών. Οι αεροφωτογραφίες χρησιμοποιούνταν ευρέως διότι μέσω αυτών οριοθετείται πολύ εύκολα η ολίσθηση, εκτιμάται η ποιότητα και η τεκτονική του πρανούς και ο μηχανισμός της αστοχίας προσφέρουν μια γενική εικόνα της περιοχής μελέτης και μπορούν να συγκριθούν με παλαιότερες αεροφωτογραφίες για τον εντοπισμό διάφορων μεταβολών. Σήμερα υπάρχει μεγάλη ανάπτυξη ενός άλλου συστήματος αναγνώρισης και μελέτης των κατολισθήσεων για πιο εύκολη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων. Στις μέρες μας είναι διαθέσιμοι πολλοί και διαφορετικοί αισθητήρες τηλεπισκόπησης οι οποίοι μπορεί να περιέχουν γεωλογικές, γεωδαιτικές, γεωτεχνικές και άλλες πληροφορίες. Μερικά αναγνωριστικά σημάδια κατολισθητικών φαινομένων είναι διακριτά από τις δορυφορικές εικόνες, έτσι με τη βοήθεια γεωλογικών στοιχείων αλλά και στοιχείων από παλαιότερες κατολισθήσεις γίνεται η μελέτη.

Για την αναγνώριση των κατολισθήσεων υπάρχουν τέσσερα κύρια είδη τηλεπισκόπησης, οπτική και θερμική, οι οποίες συνήθως επιτυγχάνονται μόνο σε αερομεταφερόμενες και διαστημικές πλατφόρμες ενώ οι εικόνες ραντάρ μικροκυμάτων και τα δεδομένα σάρωσης με λέιζερ συναντώνται σε αερομεταφερόμενες, διαστημικές και επίγειες πλατφόρμες. Η τεχνολογία της τηλεπισκόπησης στην αναγνώριση των κατολισθήσεων έχει προχωρήσει με τις εξής μεθοδολογίες: την δημιουργία και εκμετάλλευση των υψηλής ανάλυσης ψηφιακών μοντέλων εδάφους, την εξαγωγή και ανάλυση των εικόνων (παγχρωμικών, πολυφασματικών, υπερφασματικών και συνθετικών δεδομένων ραντάρ) και την ενσωμάτωση διαφόρων ειδών τηλεπισκόπησης.

3.1 Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ)

Τα συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV unmanned aerial vehicle) αποτελούν αεροσκάφη χωρίς πιλότο επί του σκάφους. Η πτήση τους τροφοδοτείται από έναν παλινδρομικό κινητήρα και μπορεί να γίνει αυτόματα. Τα συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών χρησιμοποιούνται ευρέως για στρατιωτικούς σκοπούς αλλά και για προσωπική χρήση (Εικόνα)

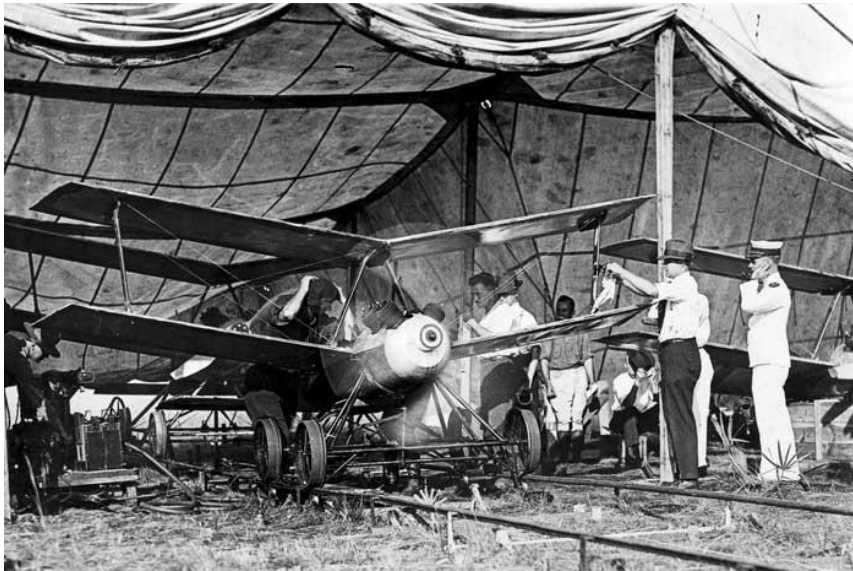


Εικόνα 3.1 ΣμηΕΑ (unmannedsystemstechnology.com)

3.2 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη εμφάνιση των συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) βρέθηκε στην Ιταλία το 1849 στην μάχη για την ανεξαρτησία της από την Αυστρία. Το επόμενο μη κυβερνητικό αεροσκάφος παρατηρήθηκε στον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο το 1918.(Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.) Στη συνέχεια εμφανίστηκε το 1935 οπότε επεξεργάστηκε από τα γραφεία Havilland και έγινε γνωστό με το όνομα «Queen Bee» (Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.3.3). Συνεχίζοντας τα παραπάνω συστήματα χρησιμοποιήθηκαν ευρέως για στρατιωτικούς σκοπούς αλλά συχνά ήταν αρκετά αναξιόπιστα (Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.). Η ακόμη μεγαλύτερη γνωστοποίηση του έγινε το 2006 όπου η υπηρεσία τελωνείων και προστασίας των συνόρων των ΗΠΑ εισήγαγε ΣμηΕΑ για την παρακολούθηση των συνόρων των ΗΠΑ και του Μεξικού.

Στα τέλη του 2012 ο Chris Anderson δημιούργησε μια εταιρία όπου ειδικευόταν στην ανάπτυξη συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών για προσωπική χρήση. Στη συνέχεια ακολούθησαν και άλλες εταιρίες, ώσπου τώρα είναι ευρέως διαδεδομένο. Τα συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς σκοπούς και για προσωπική χρήση αλλά και για εμπορική σε επιχειρήσεις.



Εικόνα 3.2 Kettering Bug σχεδιάστηκε για να μεταφέρει αέριο φωσφόρου κατά τη διάρκεια του πρώτου παγκοσμίου πολέμου(vintagewings.ca)



Εικόνα 3.3 Queen Bee (vintagewings.ca)



Εικόνα 3.4 ΣμηΕΑ χρησιμοποιούμενο σε στρατιωτικούς σκοπούς (mydronelab.com)

3.3 Τεχνολογία και Κατηγορίες ΣμηΕΑ

Τα ΣμηΕΑ αποτελούνται από σύνθετα υλικά έτσι ώστε να μειώνεται το βάρος τους και να αυξάνεται η λειτουργικότητα και η ευελιξία. Είναι σχεδιασμένα για να απορροφούν τους κραδασμούς και να ελαχιστοποιείται ο παραγόμενος θόρυβος.

Αποτελούνται από υπέρυθρες κάμερες, GPS και λέιζερ. Ο έλεγχος των αεροσκαφών γίνεται από τα απομακρυσμένα συστήματα ελέγχου εδάφους (GSC).

Ένα τυπικό ΣμηΕΑ αποτελείται από δυο κομμάτια, το αεροσκάφος αυτό κάθε αυτό και το σύστημα ελέγχου. Τα συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών διακρίνονται σε πιο απλές εκδόσεις όπου η πτήση ελέγχεται από τον άνθρωπο, αλλά και σε πιο ανεπτυγμένα συστήματα τα οποία λειτουργούν αυτόματα, δηλαδή περιλαμβάνουν σταθεροποίηση της ταχύτητας, συγκεκριμένο σχέδιο πτήσης και κάποιες λειτουργίες πλοήγησης. Τα ΣμηΕΑ χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τους έλικες που μπορεί να είναι ένας ή περισσότεροι και ανήκουν τα συστήματα τρικόπτερα τετρακόπτερα και εξακόπτερα (Εικόνα , Εκόνα 3.6, Εικόνα 3.7). Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα ΣμηΕΑ με σταθερά πτερύγια όπως τα αεροπλάνα τα οποία δεν χρειάζονται διαδρόμους διότι απογειώνονται και προσγειώνονται κάθετα.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα vtol (Vertical Take-Off and Landing) (Εικόνα). Τα συστήματα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών περιλαμβάνουν κάποιους βασικούς τύπους. Αυτοί είναι οι εξής:

- Τύπος αναγνώρισης, ο οποίος χρησιμοποιείται για πληροφορίες του πεδίου μάχης
- Τύπος μάχης, όπου χρησιμοποιείται για αποστολές υψηλού κινδύνου
- Τύπος έρευνας και ανάπτυξης, ο οποίος χρησιμοποιείται για την έρευνα και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ΣμηΕΑ
- Τύπος αστικών και εμπορικών ΣμηΕΑ, που είναι συστήματα ειδικά σχεδιασμένων συστημάτων για εμπορικές εφαρμογές
- Τύπος δολώματος και στόχευσης, όπου περιλαμβάνει ένα πυροβόλο όπλο και ένα στόχο που προσομοιώνει ένα εχθρικό αεροσκάφος ή πυραύλων

Τα ΣμηΕΑ είναι εξοπλισμένα με το σύστημα αποφυγής συγκρούσεων. Τα συστήματα αυτά δηλαδή χρησιμοποιούν αισθητήρες ανίχνευσης εμποδίων που σαρώνουν το περιβάλλον, καθώς οι αλγόριθμοι λογισμικού και η τεχνολογία SLAM (Ball, Cook, Levin, & Rajamani, 2004) παράγουν τις εικόνες σε χάρτες 3D επιτρέποντας στον ελεγκτή πτήσης να αντιλαμβάνεται και να αποφεύγει το αντικείμενο.



Εικόνα 3.5 (Farhah, Hamid, & Ahmad, 2014)

Τρικόπτερο ΣμηΕΑ



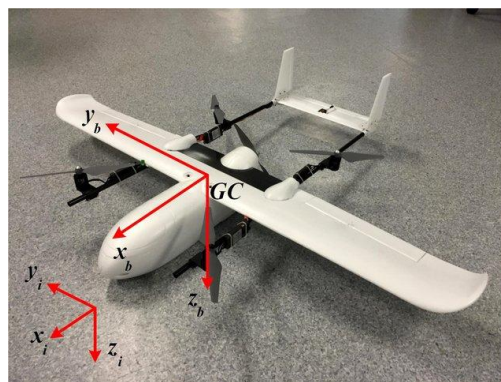
Εικόνα 3.6 (droneradioshow.com)

Τετρακόπτερο ΣμηΕΑ

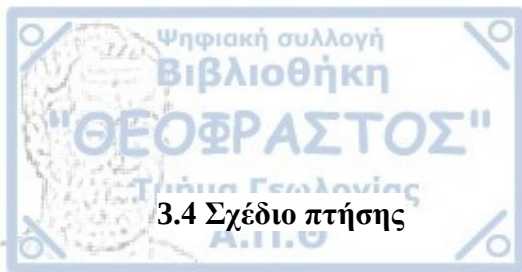


Εικόνα 3.7 (dronezon.com)

Vtol ΣμηΕΑ



Εικόνα 3.8(Vtol et al., 2017)



Το σχέδιο πτήσης είναι πολύ βοηθητικό για τον σχεδιασμό της ακριβούς περιοχής πτήσης, τον αριθμό και την επικάλυψη των φωτογραφιών μεταξύ τους. Το λογισμικό του σχεδίου πτήσης χρησιμοποιείται στο κινητό και στον υπολογιστή αρκεί να είναι συμβατά με τους χάρτες όπως (Google Maps). Μερικές περιπτώσεις δεν χρειάζονται αυτοματοποιημένη πτήση αλλά μπορούν να γίνουν και ελεγχόμενα από τον διαχειριστή του ΣμηΕΑ. Όταν όμως η πτήση γίνεται σε πολύ μεγάλες περιοχές τότε είναι σχεδόν απαραίτητο το αυτόματο σχέδιο πτήσης. Η διάρκεια της κάθε πτήσης είναι περίπου 15 λεπτά. Για την ασφαλή χρήση των συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών υπάρχουν κάποιες προϋποθέσεις σύμφωνα με το ΦΕΚ 2017 (Εικόνα 3.9). Αυτές είναι:

- Ο χειριστής του ΣμηΕΑ πρέπει να είναι κάτοχος άδειας συγκεκριμένης κατηγορίας ΣμηΕΑ από το πρόγραμμα θεωρητικής και πρακτικής εκπαίδευσης σε αδειοδοτημένο εκπαιδευτικό κέντρο
 - Η πτήση των ΣμηΕΑ να είναι μακριά από αεροδρόμια και αεροπλάνα
 - Το μέγιστο ύψος πτήσης να είναι 400 πόδια
 - Να υπάρχει συνεχής παρατήρηση των ΣμηΕΑ

UAV PRE-FLIGHT CHECKLIST			
Pilot in command:		Observer:	Location:
Date:			
Google Earth:		Authorization:	Weather: Visibility $\geq$ 1km, Wind $\leq$ 15mph, Precipitation - None
		Slope Steepness:	
Pre-start checklist			
1	UAV Battery	Sufficient for intended flight, not less than 90%	
2	Controller Battery	Sufficient for intended flight, not less than 90%	
3	Display Device Battery	Sufficient for intended flight, not less than 70%	
4	Memory card	Installed, sufficient memory space	
5	Take-off airspace	Sufficient space for take-off & landing	
6	Camera Gimbal Lock	Removed	
7	Propellers	Install the propellers	
8	UAV & Controller power	On	
9	UAV Status lights	Flashing GREEN	
10	Compass Calibration	UAV compass calibration for current location	
11	Camera Check	On	
12	Satellites check	Make sure enough GPS satellites are locked	
13	"Return-to-Home"	Make sure the Return-To-Home altitude is set	
14	Antennas adjustment	Position your antennas properly	
Manual flight		Automated flight	
1	Start DJI App		Checkpoints
2	Camera angle	Set the camera angle for acquisition for current location	Waypoints for area acquisition
3	Camera time shooting	Set the camera time shot for data acquisition	Set the camera angle for acquisition for current location
4	Flight Mode Switch	Check your flight mode switch to be in the correct position	Overlap set
5	Fly check	Fly within range of any interference & recheck all controls and stability	Set frontlap & sidelap
		Altitude	Check your flight mode switch to be in the correct position
			Set altitude flight acquisition
READY FOR FLIGHT			
NOTES:			

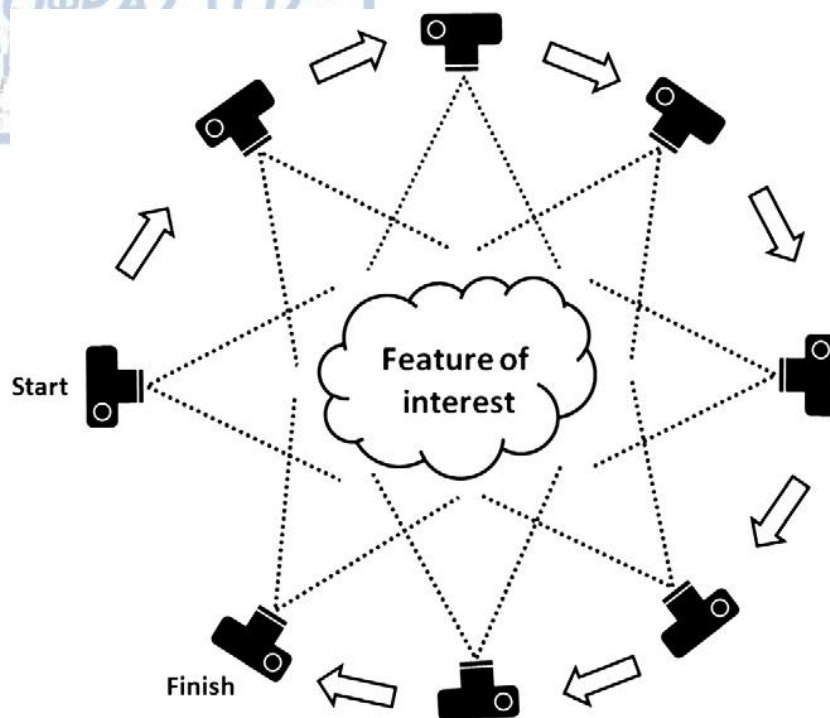
Laboratory of Engineering Geology & Hydrogeology, AUTH



Εικόνα 3.9 Σχέδιο πτήσης (Karantanellis, 2018)

3.5 Τεχνολογία Structure From Motion

Η μεθοδολογία Structure From Motion είναι βασισμένη στην φωτογραμμετρία και χρησιμοποιείται για την παραγωγή εικόνας υψηλής ανάλυσης της τοπογραφίας της περιοχής μελέτης (Εικόνα). Το παραπάνω λογισμικό δημιουργεί την τοπογραφία της περιοχής από αλληλεπικαλυμμένες φωτογραφίες και αποτελείται από τρία στάδια. Το πρώτο είναι η ανίχνευση των σημείων κλειδιού το δεύτερο η αντιστοίχιση των εικόνων και η προσαρμογή δέσμης σημείων και το τρίτο η εφαρμογή των προηγούμενων δύο σε ένα πλήρως αυτοματοποιημένο λογισμικό. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τριγωνική τοποθέτηση των σημείων δημιουργώντας ένα νέφος σημείων. Η ακρίβεια της παραπάνω τεχνολογίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η ποιότητα και η παραμόρφωση της εικόνας, η ποιότητα της κάμερας, αν υπάρχει ή όχι βλάστηση και η ακρίβεια των σημείων ελέγχου του εδάφους (GCPs) (Εικόνα). Επειδή οι εικόνες που βγαίνουν από την κάμερα του ΣμηεΑ δεν σχετίζονται με την ακριβή τοποθεσία γι αυτό απαιτείται η ύπαρξη των σημείων εδάφους (GCPs). Τα σημεία αυτά είναι μεγάλοι στόχοι αποτυπωμένοι στο έδαφος της περιοχής μελέτης και έχουν συντεταγμένες από το GPS. Για την ποσοτικοποίηση του αποτελέσματος της θέσης των σημείων εδάφους, τα σύνολα των δεδομένων που λαμβάνονται με το ίδιο εστιακό βάθος συγκρίνονται με το μοντέλο εδάφους (DEM) των διαφορών. Αποτέλεσμα της τεχνολογίας Structure from Motion είναι η ορθοφωτογραφία η οποία αντικατοπτρίζει την ακρίβεια του τελικού προϊόντος. Είναι ένα είδος εύκολα κατασκευαζόμενου χάρτη όπου εκτελούνται μετρήσεις και μπορεί να επικαλυφθεί με άλλους χάρτες που περιέχουν άλλα στοιχεία. Για περισσότερη ακρίβεια στην παραγωγή μοντέλου επιφάνειας (DSM) από την 3D επιφάνεια του νέφους σημείων χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή. Το γεωχωρικό πλέγμα του μοντέλου επιφάνειας (DSM) αναπαριστά ένα σύνολο δεδομένων από την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 3.10 Structure from motion (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey, & Reynolds, 2012)



Εικόνα 3.11 Τεχνητά σημεία εδάφους για ακρίβεια τοποθεσίας (blog.dronedeploy.com)

3.6 Η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών στις κατολισθήσεις.

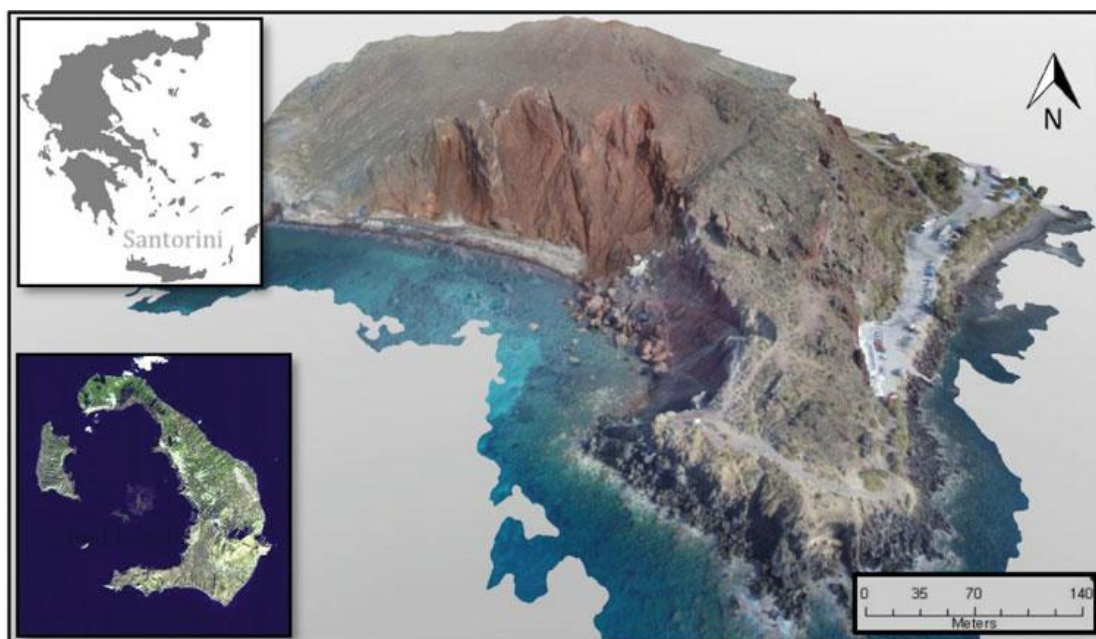
Η κατολίσθηση αποτελεί ένα παγκόσμιο φαινόμενο που έχει δραματικές επιπτώσεις (Lindner, Schraml, Mansberger, & Hübl, 2016). Με την χρήση ΣμηεΑ στις κατολισθήσεις μελετώνται το φαινόμενο και η εξέλιξη της κατολίσθησης, οι αλλαγές στην επιφάνεια του εδάφους και οι πιθανές ζημιές σε κατασκευές. Η παρακολούθηση των κατολισθήσεων απαιτεί την συνεχή επίβλεψη της μετατόπισης του εδάφους, αξιολόγηση της τοπογραφίας και την ανίχνευση ρωγμών. Οι μετρήσεις των κατακόρυφων και οριζόντιων μετατοπίσεων διευκολύνουν την κατανόηση του μηχανισμού αστοχίας. (Turner, Lucieer, & Jong, 2015). Η μελέτη των κατολισθητικών φαινομένων μέσω των ΣμηεΑ βοηθάει στις χωρικές και χρονικές μετρήσεις, όπως και τα ποσοστά μετατόπισης της επιφανειακής τοπογραφίας. Η παραπάνω προσέγγιση είναι πιο βοηθητική σε αστικές περιοχές όπου οι αστοχίες περιλαμβάνουν κατοικίες, δρόμους και άλλες κατασκευές (Giordan et al., 2015). Τα συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή των 3D μοντέλων επιφάνειας και εδάφους έτσι ώστε να εκτιμηθεί το μέγεθος του κινδύνου και αν χρειάζεται να γίνει εκκένωση της περιοχής ή μπορεί να ξεκινήσει η αποκατάσταση. Η ορθοφωτογραφία είναι πολύ χρήσιμο απόκτημα διότι βοηθάει στην ταξινόμηση του μηχανισμού αστοχίας. Η πρώτη κατηγοριοποίηση που γίνεται είναι η περίπτωση της αστοχίας να είναι σε πρηνή με μεγαλύτερη από 40 μοίρες γωνία κλίσης, οπότε η αστοχία είναι κατάπτωση βράχου ή ανατροπή και η πτήση του ΣμηεΑ γίνεται με την κάμερα να είναι στραμμένη οριζόντια προς το πρηνές και με κλίση περίπου 50 μοίρες προς τα κάτω. Στις περιπτώσεις αυτές συνήθως η πτήση ελέγχεται από τον άνθρωπο διότι το σύστημα βρίσκεται πολύ κοντά στο βραχώδες πρηνές και προτιμάται το ΣμεΑ με πολλαπλούς έλικες. Όταν η γωνία κλίσης του πρηνούς είναι μικρότερη από 40 μοίρες τότε η αστοχίες είναι συνήθως ολισθήσεις, ροές και πλευρικές εξαπλώσεις τότε το κατάλληλο ΣμεΑ μπορεί να είναι με σταθερό πτερύγιο είτε με πολλαπλούς έλικες. Ο τύπος του ΣμεΑ που χρησιμοποιείται επηρεάζει όχι μόνο την πτήση του συστήματος αλλά και την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων.

Πλεονέκτημα της χρήσης του ΣμηΕΑ για την μελέτη της αστοχίας είναι το χαμηλό κόστος του συστήματος και η παραγωγή δεδομένων τηλεπισκόπισης υψηλής ανάλυσης. Επίσης δεν είναι αναγκαία η προσέγγιση του μελετητή σε επικίνδυνες περιοχές αλλά μπορεί να βρίσκεται σε κάποια ασφαλή απόσταση.

3.7 Περιπτώσεις μελέτης αστοχιών με την βοήθεια ΣμηΕΑ

3.7.1 Διαχρονική Ανάλυση μετακινήσεων στην Κόκκινη Παραλία της Σαντορίνης

Η Σαντορίνη ανήκει στην Ελλάδα στα νησιά των Κυκλάδων και αποτελείται από ηφαιστειακά υλικά και απόκρημνα βράχια ευαίσθητα σε διεργασίες διάβρωσης και αποσάθρωσης. Το παραπάνω έχει σαν αποτέλεσμα η εκδήλωση κατολισθήσεων να είναι συχνό φαινόμενο στην δυτική πλευρά του νησιού (Karantanellis, Marinos, & Parathanassiou, 2019) (Εικόνα 3.12). Η περιοχή μελέτης ονομάζεται Κόκκινη Παραλία και αποτελείται από κόκκινο υλικό σκωρίας. Το υλικό αυτό είναι κόκκινο λόγω της οξείδωσής του, αρκετά συμπαγές και συνεκτικό.



Εικόνα 3.12(Κόκκινη παραλία(Karantanellis et al., 2019)

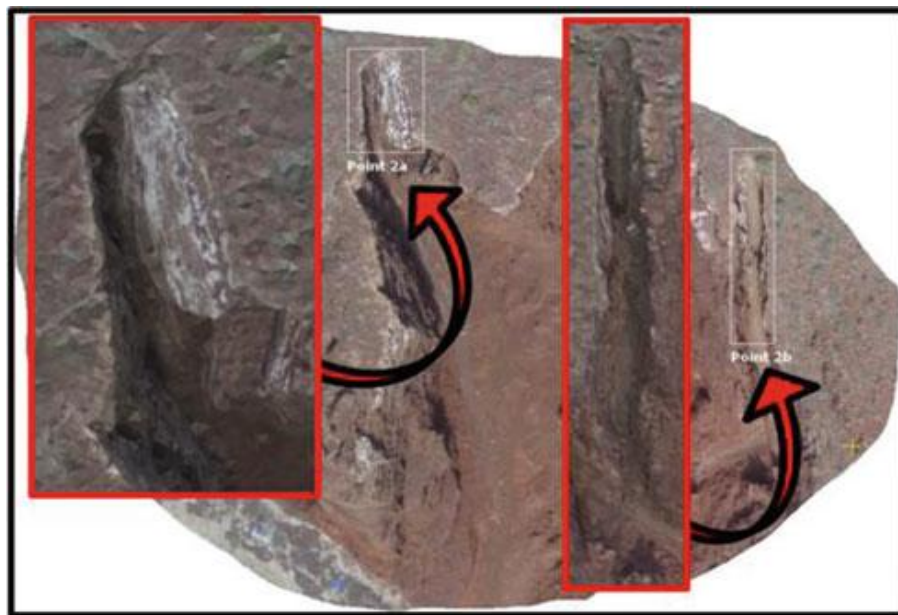
Ο σκοπός της μελέτης ήταν αρχικά η ποσοτική ανάλυση του όγκου του μετακινούμενου υλικού και οι δομικές αλλαγές μεταξύ των δύο περιόδων. (Φεβρουάριος και Σεπτέμβριος). Για τη μελέτη της κατολίσθησης χρησιμοποιήθηκε σύστημα μη επανδρωμένων αεροσκαφών τετρακόπτερο με σταθεροποιημένη κάμερα για την παραγωγή 3D μοντέλου εδάφους και ορθοφωτογραφίας. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης τα σημεία ελέγχου εδάφους (GCPs) για τη δημιουργία συστήματος συντεταγμένων. Η κατωφέρεια της Κόκκινης Παραλίας έχει μήκος 300 μέτρα και ύψος περίπου 50 μέτρα. Για να επιτευχθεί η πλήρης κάλυψη της περιοχής, η πτήση του ΣμηΕΑ ήταν αυτόματη καθώς κατά το 75% η πτήση γινόταν από το πλάι ενώ κατά το 80% το ΣμηΕΑ πετούσε από μπροστά. Το νέφος σημείων και η δημιουργία της εικόνας παράχθηκαν μέσω ενός λογισμικού φωτογραμμετρίας. Η δημιουργία των μοντέλων εδάφους και των εικόνων 2D και 3D αποτέλεσαν καθοριστικούς παράγοντες στην αναγνώριση και τη μελέτη των αστοχιών στην Κόκκινη Παραλία της Σαντορίνης (Εικόνα 3.13). Καθοριστική ήταν η σύγκριση και ευθυγράμμιση των δεδομένων των δύο εποχών έτσι ώστε να αποφευχθεί κάθε τυχόν θόρυβος. Για την ανάλυση και τη μελέτη της αστοχίας η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε τρεις επιμέρους περιοχές.

Το αποτέλεσμα της μελέτης ανάμεσα στις δύο εποχές σε διάστημα έξι μηνών είναι για την πρώτη περιοχή ο μετακινούμενος όγκος να είναι αρκετά μεγάλος περίπου στα 150 κυβικά μέτρα ενώ στις άλλες δύο περιοχές περιορίζεται στα 39 και 58 αντίστοιχα κυβικά μέτρα. Ο πιο συνήθης μηχανισμός αστοχίας είναι η πτώση βράχου από ανατροπή και αυτό δικαιολογείται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή όπως επιφανειακή διάβρωση λόγω έντονων και σύντομων βροχοπτώσεων. Επίσης συμπεραίνεται πως η περιοχή έχει φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά. Αστοχία τύπου πλευρικής εξάπλωσης παρατηρείται στις ψηλότερες περιοχές των πρανών της Κόκκινης Παραλίας.



Εικόνα 3.13 Περιοχές υψηλού κινδύνου Κόκκινης παραλίας (Karantanellis et al., 2019)

Είναι άξιο να σημειωθούν οι δύο ρωγμές που παρατηρήθηκαν στην περιοχή μελέτης. Η ύπαρξη των δύο αυτών ρωγμών ξεκίνησε το 2013 και μέσα στους έξι μήνες της μελέτης η πρώτη αυξήθηκε σε μήκος 70 εκατοστά και σε πλάτος 25 εκατοστά, με αποτέλεσμα το συνολικό της άνοιγμα να είναι 50 εκατοστά και το μήκος 120 εκατοστά, καθώς το μήκος της δεύτερης υπολογίζεται στα 35 εκατοστά ενώ το πλάτος της 10 εκατοστά. (Εικόνα 3.14)



Εικόνα 3.14 Ρωγμές της περιοχής μελέτης (Karantanellis et al., 2019)

3.7.2 Το ΣμηΕΑ ως βασικό σύστημα παρακολούθησης σε επείγουσες καταστάσεις

Είναι πολύ σημαντικό σε φυσικές καταστροφές οι οποίες είναι επείγουσες να υπάρχει ένα σύστημα παρακολούθησης έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται τα ατυχήματα σε ανθρώπινο επίπεδο αλλά και σε ιδιοκτησίες. (Choi, Lee, Mapping, Georeferencing, & Zealand, 2011).

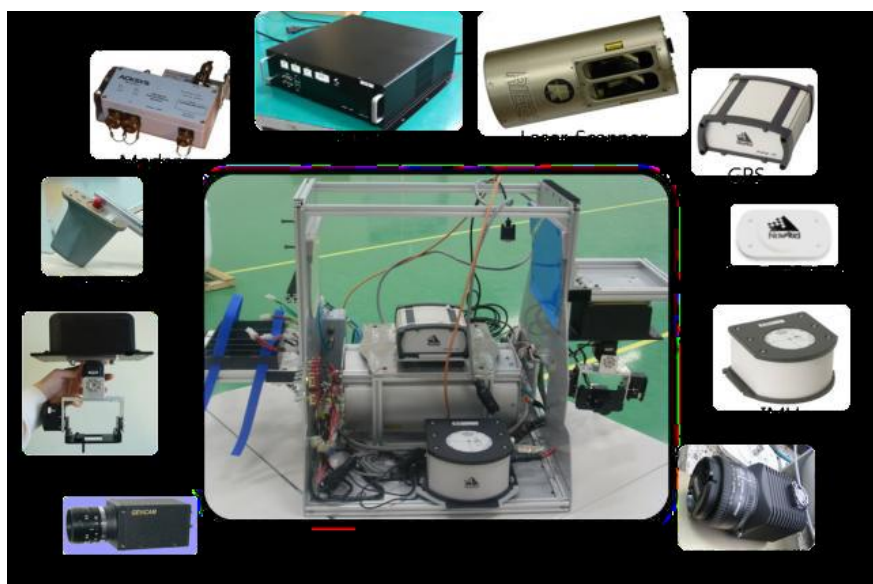
Οι απαιτήσεις αυτές επιτυγχάνονται με την γνώση χωρικών πληροφοριών της εκάστοτε περιοχής. Η γνώση αυτή επέρχεται από πλατφόρμες με δεδομένα αισθητήρων όπως εικόνες, σαρωτές λέιζερ, δεδομένα GPS κ.α. Μια τέτοια πλατφόρμα είναι και το σύστημα μη επανδρωμένων αεροσκαφών, το οποίο υπερέχει των άλλων διότι παράγει δεδομένα υψηλής ανάλυσης της περιοχής και πετάει αυτοματοποιημένα σε χαμηλό υψόμετρο. Μέσω δηλαδή της χρήσης του ΣμηΕΑ παράγονται ορθοφωτογραφίες, μοντέλα εδάφους και επιφάνειας μιας προκαθορισμένης περιοχής. Συμπερασματικά τα συστήματα αυτά έχουν συγκεκριμένα όρια τα οποία συνδέονται άμεσα με παρακολούθηση της περιοχής, εκτίμηση του ποσοστού βλάβης ακόμα και εκκένωση της έτσι ώστε να προλαμβάνονται οι επείγουσες καταστάσεις.

Οι προϋποθέσεις του συστήματος μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι η ύπαρξη αισθητήρων ή πλατφόρμων μεγάλης ακρίβειας μετάδοσης της χωρικής πληροφορίας, ενώ η ποιότητα του βίντεο δεν χρειάζεται να είναι πολύ υψηλή (Εικόνα 3.15)



Εικόνα 3.15 ΣμηΕΑ για αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων (Choi et al., 2011)

Το προτεινόμενο ΣμηΕΑ για έκτακτες καταστάσεις είναι βασισμένο σε ένα σύστημα γρήγορης εναέριας παρακολούθησης σε κοντινές αποστάσεις και αποτελείται από δύο τομείς τον επίγειο και τον εναέριο. Ο εναέριος τύπος αποτελείται από το σύστημα ΣμηΕΑ, τους αισθητήρες όπως κάμερα, λέιζερ σκάνερ GPS και την υποστήριξη τους (Εικόνα 3.16) Η πλατφόρμα του ΣμηΕΑ αποτελείται από αυτόνομο σχέδιο πτήσης το οποίο μας βοηθά σε υψηλής ανάλυσης αποτελέσματα και μέγιστο βάρος ωφέλιμου φορτίου το οποίο δεν πρέπει να ξεπερνά το βάρος των αισθητήρων και του συστήματος υποστήριξης τους. Οι αισθητήρες του συστήματος πρέπει να είναι σχετικά ελαφροί και χαμηλού κόστους. Σε περίπτωση ανακρίβειας των αισθητήρων υπάρχει αλγόριθμος που διορθώνει τα σφάλματα Τα δεδομένα των αισθητήρων στέλνονται στον επίγειο τύπο. Η υποστήριξη των αισθητήρων γίνεται μέσω ενός συστήματος κινούμενου υπολογιστή (Εικόνα 3.17), αντίβαρου και τροφοδοτικού. Ο υπολογιστής αυτός αποτελείται από αισθητήρες ελέγχου που ελέγχουν όλους τους μεμονωμένους αισθητήρες σύμφωνα με τις εντολές του τύπου εδάφους, σύστημα αποθήκευσης όλων των δεδομένων των αισθητήρων, συγχρονισμό του χρόνου, συμπίεση των εικόνων λόγω του μεγάλου όγκου τους και τέλος μετάδοση όλων των παραπάνω δεδομένων. Το σύστημα αντίβαρου χρησιμοποιείται για να ελαχιστοποιήσει τους κραδασμούς της κάμερας και τον προσανατολισμό αυτής σε συγκεκριμένο σημείο κατά τη διάρκεια της πτήσης.



Εικόνα 3.16 Αισθητήρες στον εναέριο τύπο (Kyoungah Choi et al., 2011)



Εικόνα 3.17 Κινούμενος υπολογιστής

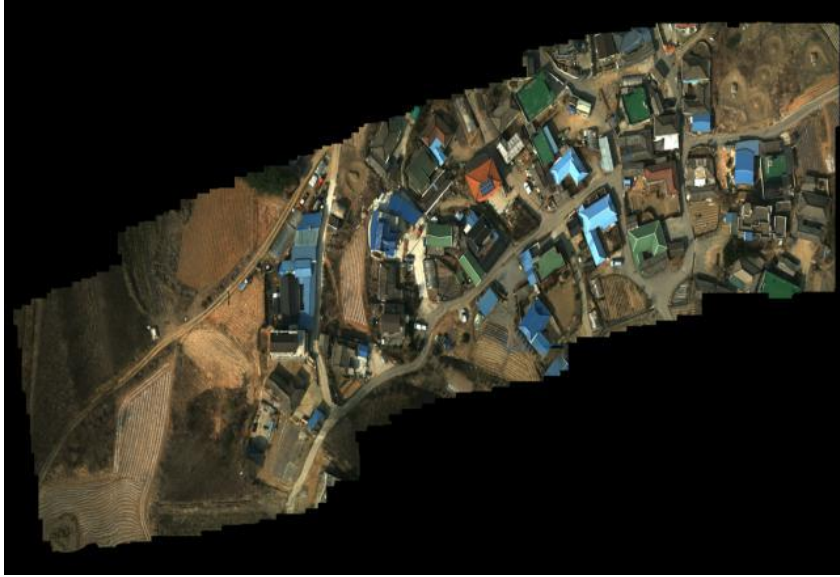
Ο επίγειος τύπος αποτελείται από ένα κινητό όχημα και το σύστημα λήψης και επεξεργασίας. Ο στόχος του επίγειου τύπου είναι να λαμβάνει τα δεδομένα των αισθητήρων του εναέριου τύπου ώστε να παράγει χωρικές πληροφορίες μέσω των ορθοφωτογραφιών και των μοντέλων εδάφους.

Η κατασκευή του τύπου αυτού γίνεται με την αναδιαμόρφωση ενός φορτηγού 2,5 τόνων και την πλήρωσή του με το σύστημα λήψης και επεξεργασίας (Εικόνα 3.18). Το σύστημα λήψης-αρχειοθέτησης αποτελείται από ένα υποσύστημα ελέγχου των αισθητήρων και λήψης των δεδομένων τους. Το υποσύστημα αυτό καθορίζει τις λειτουργικές παραμέτρους του συστήματος ελέγχου κατά τη διάρκεια της πτήσης. Το σύστημα αρχειοθέτησης, αρχειοθετεί τα δεδομένα από τον εναέριο τύπο. Το σύστημα επεξεργασίας γεωαναφέρει τα δεδομένα αισθητήρα και παράγει μοντέλα εδάφους και ορθοφωτογραφίες.

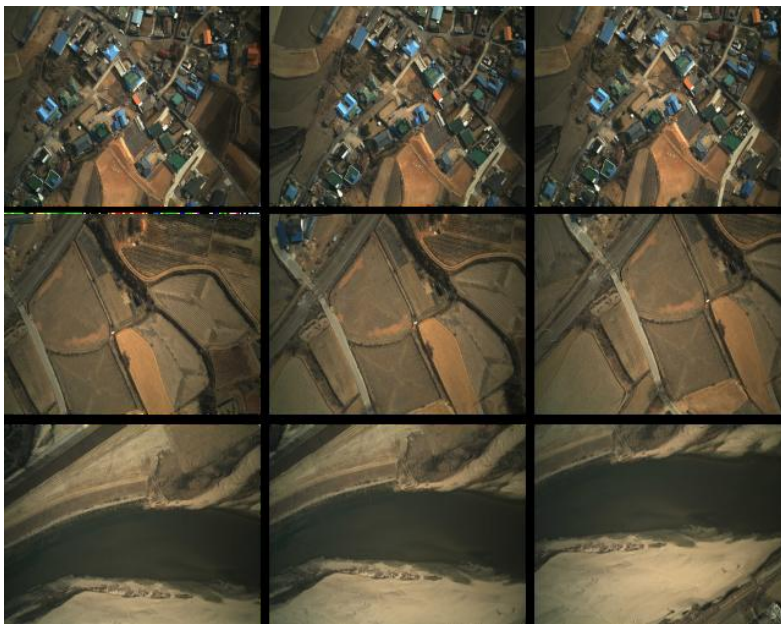


Εικόνα 3.18 Επίγειος τύπος (Kyoungah Choi et al., 2011)

Η δοκιμή ολοκλήρωσης περιλαμβάνει ένα παράδειγμα της Κορέας που περιλαμβάνει κατοικήσιμη και μη περιοχή (Εικόνα). Συλλέχθηκαν 200 εικόνες, περίπου 2000000 σημεία λέιζερ 192 δεδομένα GPS. Ο φακός της κάμερας είχε εστιακό μήκος 50 mm και το ύψος πτήσης ήταν στα 200m, ενώ η απόσταση από τη δειγματοληψία εδάφους ήταν στα 3cm. Το νέφος σημείων από το lidar ήταν στα 4.16 σημεία το τετραγωνικό μέτρο. Διάφορες εικόνες που παράχθηκαν φαίνονται στην Εικόνα . Οι χωρικές πληροφορίες που παράχθηκαν ήταν χρήσιμες για την διαχείριση πολλών καταστάσεων.



Εικόνα 3.19 Παράδειγμα Κορέας (Kyoungah Choi et al., 2011)



Εικόνα 3.20 Ορθοφωτογραφίες της περιοχής (Kyoungah Choi et al., 2011)

3.7.3 Χαρτογράφηση κατολίσθησης χρησιμοποιώντας σύστημα μη επανδρωμένων αεροσκαφών με σταθερό πτερύγιο

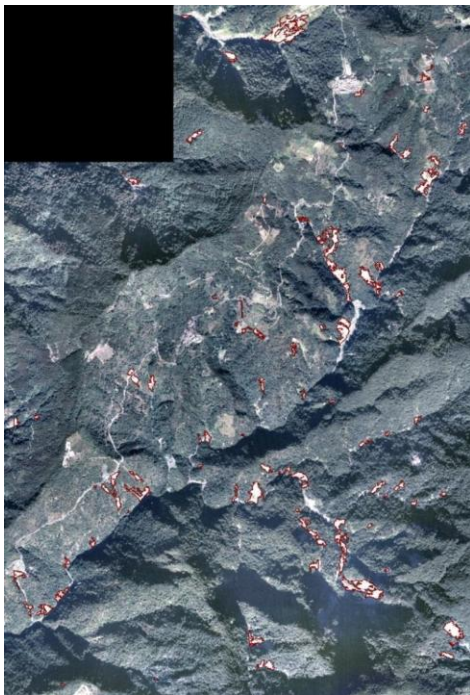
Η περιοχή μελέτης είναι το Ταιβάν της δημοκρατίας της Κίνας το οποίο συνοδεύεται από καταστροφικούς τυφώνες σε συνδυασμό με ισχυρές βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου και ο συνδυασμός αυτός ευθύνεται για πολλές κατολίσθήσεις. Για παράδειγμα ο τυφώνας Morakot προκάλεσε κατολίσθήσεις μεγέθους μέχρι και 396 τετραγωνικών μέτρων (Rau, Jhan, Lo, & Lin, 2011). Στόχος της παρακάτω μελέτης είναι η ανίχνευση κατολίσθησεων μέσω της χρήσης του ΣμηΕΑ. Παρόλο που το ΣμηΕΑ δεν διαρκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα και έχει σχετικά μικρή εδαφική κάλυψη για μικρές περιοχές είναι πιο οικονομικό σε σχέση με άλλες πλατφόρμες. Το σύστημα μη επανδρωμένων αεροσκαφών που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη της κατολίσθησης στο Ταιβάν ήταν με σταθερά πτερύγια διότι επιφέρει εικόνες υψηλής ανάλυσης σε σύγκριση με δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες. Επίσης αποτελούταν από ψηφιακή κάμερα, υπολογιστή ελέγχου πτήσης, δέκτη GPS και ένα σύστημα αναφοράς (AHRS). Ο χρόνος διάρκειας πτήσης ήταν περίπου δύο ώρες, ζύγιζε τρία κιλά και ήταν απαραίτητη η παρουσία σταθμού ελέγχου εδάφους (Εικόνα3.21).



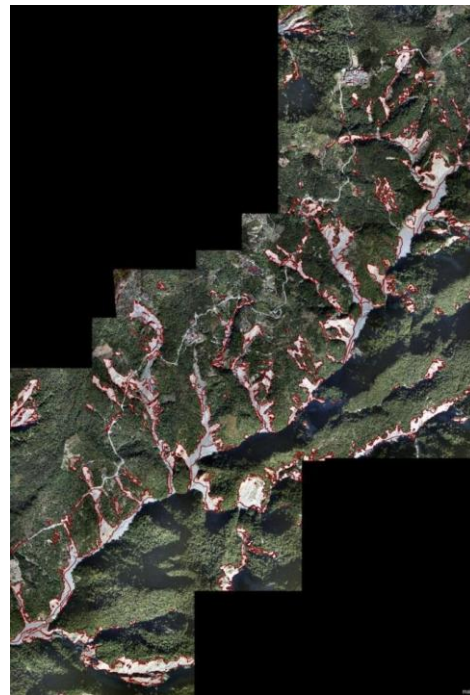
Εικόνα 3.21 ΣμηΕΑ μελέτης κατολίσθησης στο Ταιβάν(Rau et al., 2011)

Η διαδικασία που εφαρμόστηκε ελαχιστοποιεί την ετερογένεια της εικόνας μέσω ενός αλγορίθμου που συγχωνεύει τα εικονοστοιχεία των εικόνων μεταξύ τους με βάση την κλίμακα και άλλες παραμέτρους.

Για την ανίχνευση της κατολίσθησης ταξινομήθηκαν εδαφικά στοιχεία σε περιοχές που κατολισθαίνουν και σε περιοχές που δεν κατολισθαίνουν και έλαβε χώρα μια σειρά διαδικασιών που ονομάζεται (GRVI). Θεωρώντας πως η κατολίσθηση είναι μια μαζική κίνηση του εδάφους ένα 3D απεικόνιση της περιοχής χρησιμοποιείται για τη σύγκριση της ορθοφωτογραφίας επάνω από το μοντέλο εδάφους. Η περιοχή που έδρασε ο τυφώνας Morakot ήταν στο νότιο τμήμα του Ταιβάν σε ορεινή περιοχή. Το τμήμα που μετακινήθηκε πριν από την δράση του τυφώνα φαίνεται στην Εικόνα 2, ενώ στην Εικόνα 3.23 φαίνονται οι κατολισθήσεις μετά την δράση του τυφώνα. Συμπεραίνεται πως τα υλικά της κατολίσθησης μετά τον τυφώνα επικάλυψαν τα υλικά που ήδη είχαν κατολισθήσει από πριν. Παρατηρήθηκαν επίσης λασποροές στην περιοχή.



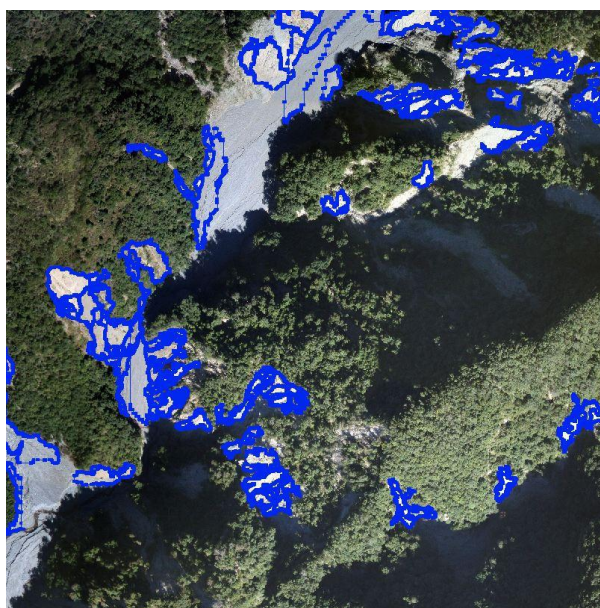
Εικόνα 3.22 Κατολισθήσεις πριν την δράση το τυφώνα(Rau et al., 2011)



Εικόνα 3.23 Κατολίσθηση μετά την δράση το τυφώνα(Rau et al., 2011)

Παρόμοια φασματικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά έχουν οι δρόμοι μεταξύ τους όταν το έδαφος είναι γυμνό και οι αγροτικές περιοχές οι οποίες επίσης δεν επικαλύπτονται από φυτά. Πολλές φορές αντιμετωπίστηκαν προβλήματα λόγω της φυτοκάλυψης και έτσι στο αποτέλεσμα της εικόνας φαίνονται κάποιες σκιές. Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στην Εικόνα .

Τέλος συμπεραίνεται πως με τη δράση του τυφώνα η περιοχή μετακίνησης ήταν 3.7 φορές μεγαλύτερη από ότι πριν την δράση του.



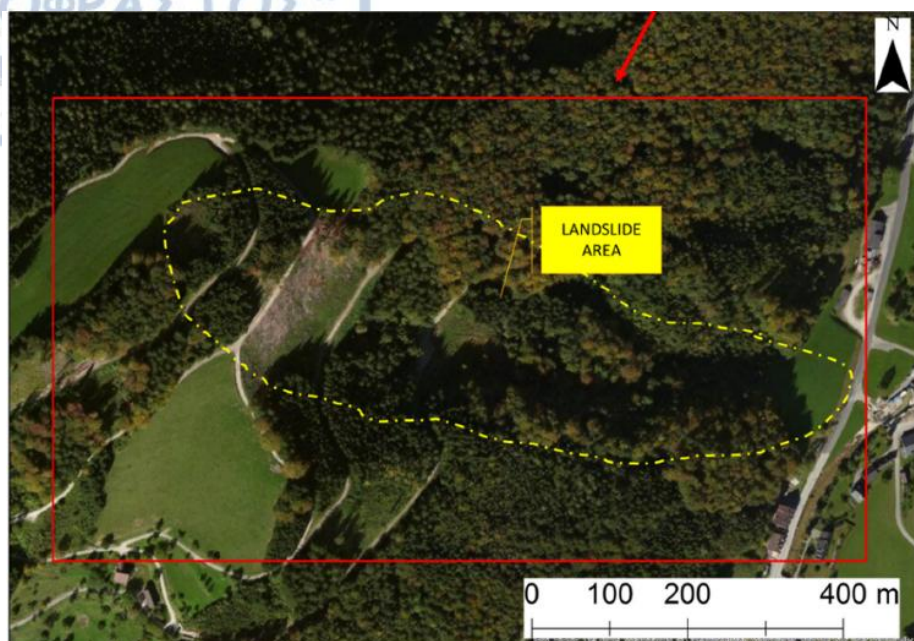
Εικόνα 3.24 Σκιές λόγω φυτοκάλυψης(Rau et al., 2011)

3.7.4 Παρακολούθηση της κατολίσθησης Gallenzerkogel στην περιοχή Hollestein της Αυστρίας

Η περιοχή της κατολίσθησης (Εικόνα 3.25) Gallenzerkogel βρίσκεται στην νότια Αυστρία (Εικόνα 3.26). Στην περιοχή αυτή πρωτοεμφανίστηκαν στοιχεία κατολίσθησης το 1899 με μετακίνηση 7500 κυβικών μέτρων υλικού. Οι εργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την διαδικασία της παρακολούθησης έχουν την εξής ακολουθία. Πρώτα γίνεται η προετοιμασία εκτός του πεδίου όπως οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής μελέτης, η τοπογραφία κ.α. Στην περίπτωση μας ο καιρός στην Hollestein της Αυστρίας αποτελείται από νεφφοκάλυψη και καθόλου άνεμο και βροχή.



Εικόνα 3.25 Κατολίσθηση Gallenzerkogel (Eker, Ayd, & Hübl, 2018)



Εικόνα 3.26 Περιοχή μετακίνησης (Eker et al., 2018)

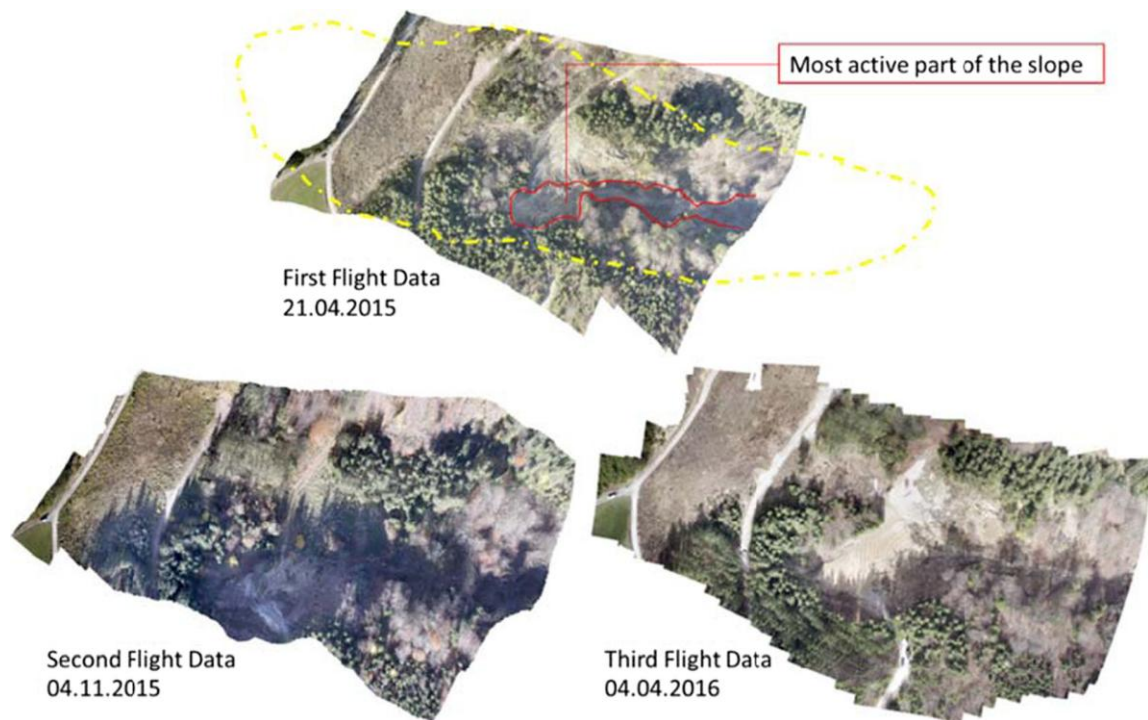
Στη συνέχεια ακολουθεί η προετοιμασία εντός του τόπου της έρευνας σε συνδυασμό με την συλλογή των εικόνων από το σύστημα μη επανδρωμένων αεροσκαφών και τις εργασίες πεδίου. Τα σημεία εδάφους είναι απαραίτητα για την επεξεργασία των εικόνων οσον αφορά την ακριβή τους τοποθεσία. Πιο συγκεκριμένα οι πτήσεις των ΣμηΕΑ επάνω από την περιοχή της αστοχίας ήταν τρεις, εκ των οποίων ανάμεσα στις πρώτες δύο μεσολάβησαν 197 ημέρες και ανάμεσα στην δεύτερη και την τρίτη 152 ημέρες, όλες είχαν διάρκεια 15 λεπτά και το ΣμηΕΑ που χρησιμοποιήθηκε ήταν οκτακόπτερο (Εικόνα 3.27).

Οι φωτογραφίες που παράχθηκαν ήταν 396 από την πρώτη πτήση, 116 από την δεύτερη και 94 από την τρίτη (Εικόνα 3.28).

Τέλος λαμβάνει χώρα η επεξεργασία όλων των παραπάνω και περιλαμβάνει την γεωαναφορά των εικόνων χρησιμοποιώντας και τα σημεία εδάφους, όπως επίσης και την παραγωγή νέφους σημείων, μοντέλου εδάφους και ορθοφωτογραφίας με την τεχνολογία structure from motion. Η επιπλέον επεξεργασία έγινε με τη χρήση ενός προγράμματος του GIS.



Εικόνα 3.27 ΣμηΕΑ που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη (Eker et al., 2018)



Εικόνα 3.28 Οι τρεις πτήσεις με τις τρεις ορθοφωτογραφίες (Eker et al., 2018)

Συμπερασματικά η χρήση του ΣμηΕΑ για την μελέτη των κατολισθήσεων είναι πολύ οικονομική, εύκολη και αποτελεσματική λύση. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι παράγονται δεδομένα που παρουσιάζεται η αστοχία ολοκληρωμένη με όλες τις λεπτομέρειες που απαιτούνται για την ανάλυση. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η τοποθέτηση των σημείων εδάφους και αυτό διότι πρώτον είναι πολύ χρονοβόρο και δεύτερον στις κατολισθήσεις είναι αρκετά επικίνδυνη εργασία.

4. Γεωλογικές συνθήκες της ερευνώμενης περιοχής

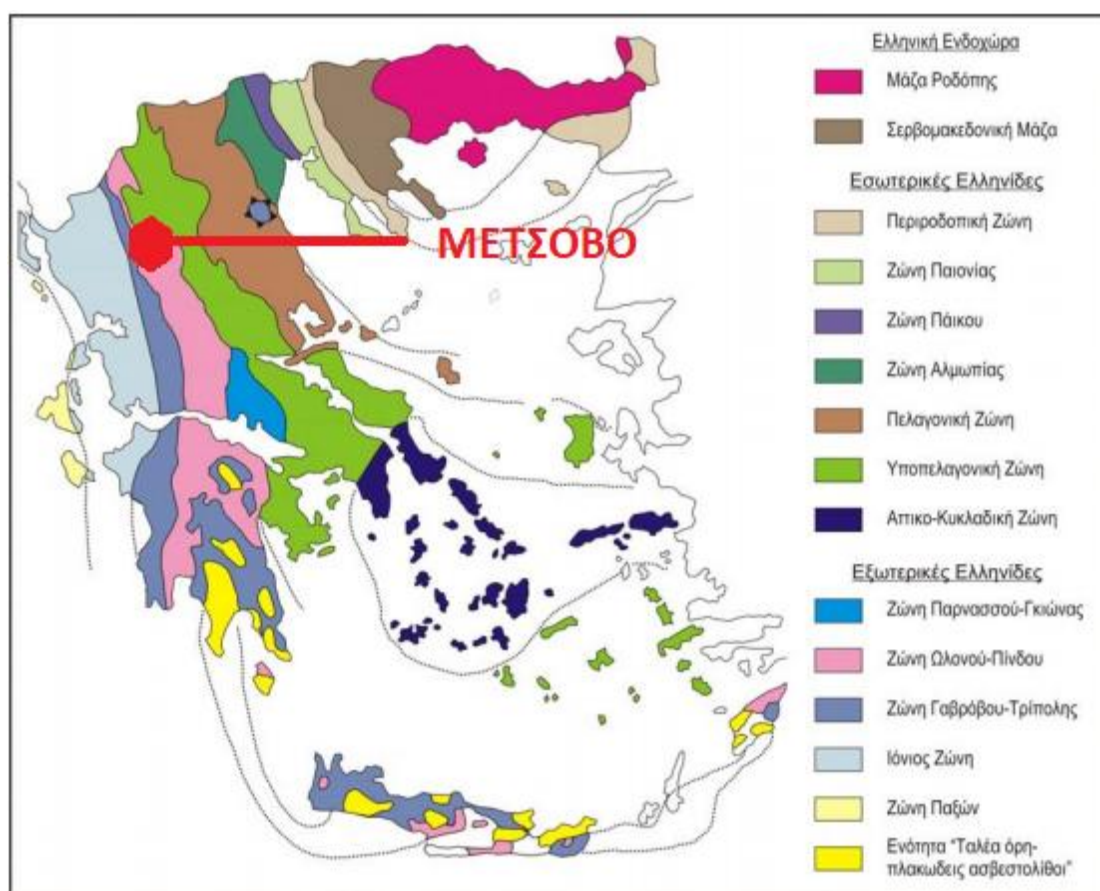
4.1 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής έρευνας

Η Ελλάδα χωρίζεται σε κάποιες ζώνες οι οποίες μεταξύ τους έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά όπως λιθολογικά, τεκτονική συμπεριφορά και στρωματογραφική εξέλιξη. Αξίζει λοιπόν να σημειωθεί η ζώνη που ανήκει η περιοχή του Μετσόβου. Όλες οι ελληνικές ζώνες ανήκουν στον Διναρικό κλάδο του Αλπικού. Η θεωρία του Aubouin (1965) αναφέρει χαρακτηριστικά πως ο ελληνικός χώρος είχε στον πυθμένα του εναλλασσόμενες υποθαλάσσιες ράχες και αύλακες οι οποίες τροποποιήθηκαν κατά την Αλπική ορογένεση. Αποτέλεσμα αυτής της τροποποίησης είναι ο διαχωρισμός του ελληνικού αυτού χώρου σε ζώνες. Οι κύριες ελληνικές γεωτεκτονικές ζώνες είναι δώδεκα και είναι οι παρακάτω (Εικόνα 4.1).

1. Μάζα Ροδόπης
2. Σερβομακεδονική Μάζα
3. Περιοδοπική Ζώνη
4. Ζώνη Αξιού
5. Πελαγονική Ζώνη
6. Αττικοκυκλαδική Ζώνη
7. Υποπελαγονική Ζώνη
8. Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας
9. Ζώνη Ολονού-Πινδου
10. Ζώνη Γαββρόβου-Τρίπολης
11. Αδριατικοϊόνιος Ζώνη
12. Ζώνη Παξών

Εκτός από τις παραπάνω κύριες ζώνες υπάρχουν και τρεις δευτερεύουσες. Η ενότητα Πλακωδών ασβεστόλιθων-Ταλέα Ορη η οποία εντάσσεται στην Αδριατικοϊόνιο Ζώνη, η ενότητα Βιοτίας η οποία εντάσσεται στην Υποπελαγονική Ζώνη και η ενότητα Φυλλιτών Χαλαζιτών που μελετάται σαν ανεξάρτητη ενότητα πετρωμάτων και συναντάται στην Κρήτη. Οι γεωτεκτονικές ζώνες διαχωρίζονται στην Ελληνική Ενδοχώρα και σε Εσωτερικές και Εξωτερικές Ελληνίδες.

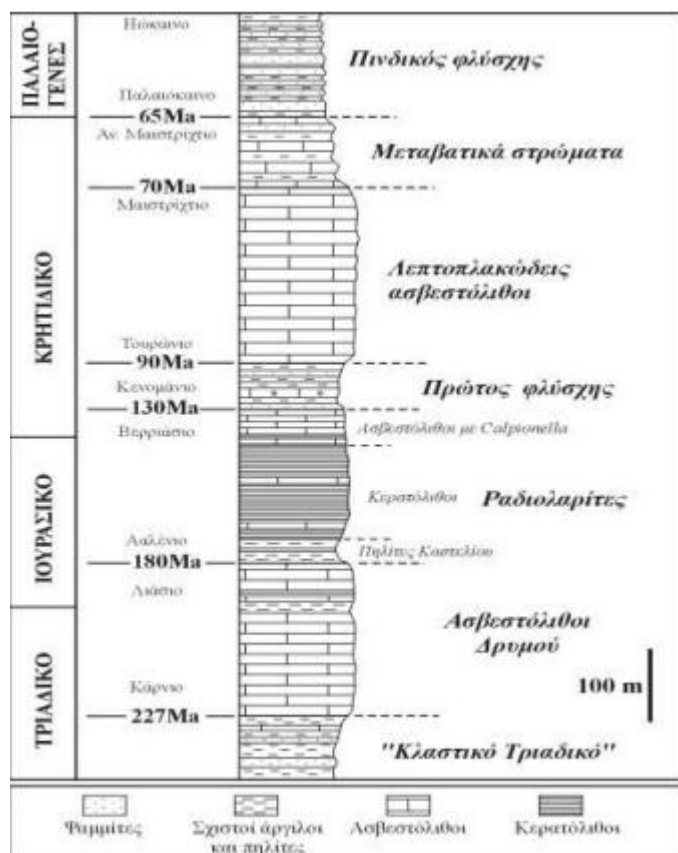
Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται διότι οι Εσωτερικές ελληνίδες έχουν υποστεί την τεκτονική δράση της Άνω Ιουρασικής-Κάτω Κρητιδικής ορογένεσης η οποία δεν έχει επηρεάσει τις εξωτερικές ζώνες. Την ελληνική ενδοχώρα την αποτελούν οι Μάζα της Ροδόπης και η Σερβομακεδονική Μάζα. Τις Εσωτερικές Ελληνίδες αποτελούν οι ζώνες: Περιροδοπική, Αζιού, Πελαγονική, Αττικοκυκλαδική, Υποπελαγονική. Ενώ οι Εξωτερικές Ελληνίδες θεωρούνται οι ζώνες: Παρνασσού-Γκιώνας, Ολονού-Πίνδου, Γαββρόβου-Τρίπολης, Αδριατικοϊόνιος και Παξών. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδος.



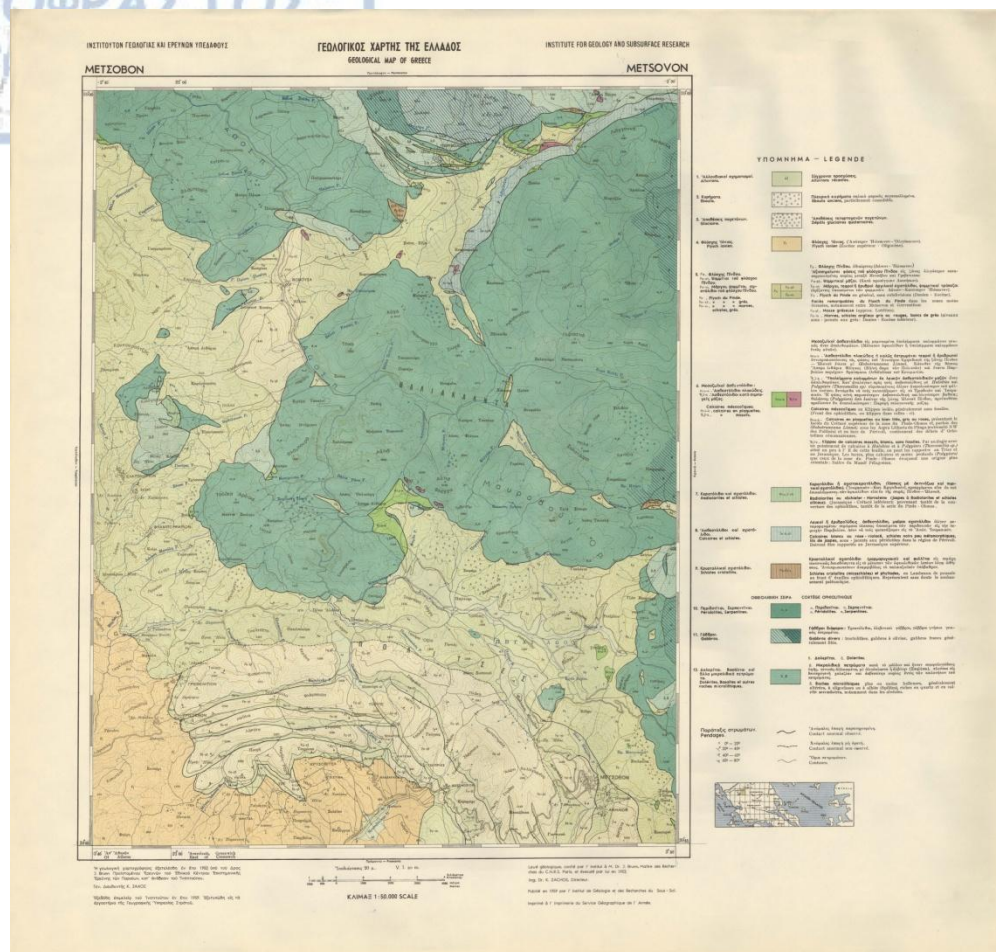
Εικόνα 4.1 Γεωτεκτονικές Ζώνες της Ελλάδας (Μουντράκης, 1985)

Η περιοχή η οποία θα μελετηθεί στην συνέχεια ανήκει στις εξωτερικές ελληνίδες και στην ζώνη Ολονού-Πίνδου (Εικόνα 4.2). Η ζώνη αυτή θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει τον παλιό κατεστραμμένο ωκεανό της Νέο-Τυθύος. Παλαογεωγραφικά όμως αντιπροσώπευε μια αύλακα ανάμεσα στα υβώματα της Πελαγονικής και της ζώνης Γαββρόβου.

Όπως βλέπουμε και στον χάρτη η περιοχή μας (Εικόνα 4.3) καλύπτεται κατά βάση από φλύσχη και από οφιόλιθους αλλά και δευτερευόντως απο ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και σχιστόλιθους. Στην ζώνη της Πίνδου διακρίνονται δυο ειδών φλύσχη, ο πρώτος ο οποίος είναι ηλικίας Κάτω Κρητιδικού και ο δεύτερος ο οποίος είναι ηλικίας Τριτογενούς. Οι οφιόλιθοι οι οποίοι καλύπτουν την βόρεια πλευρά της Πίνδου βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένοι επάνω στον Τριτογενή φλύσχη. Η επώθηση αυτή προκλήθηκε από μια εφελκυστική τεκτονική Ολιγοκαίνου οπου (Α.Ηώκαινο) λεπιώθηκε ο φλύσχη. Στην εικόνα φαίνεται η στρωματογραφική τομή της ζώνης Πίνδου.



Εικόνα 4.2 Στρωματογραφική στήλη ζώνης Πίνδου (Γεωλογία Ελλάδος Ιωάννιος Κουκουβέλας)

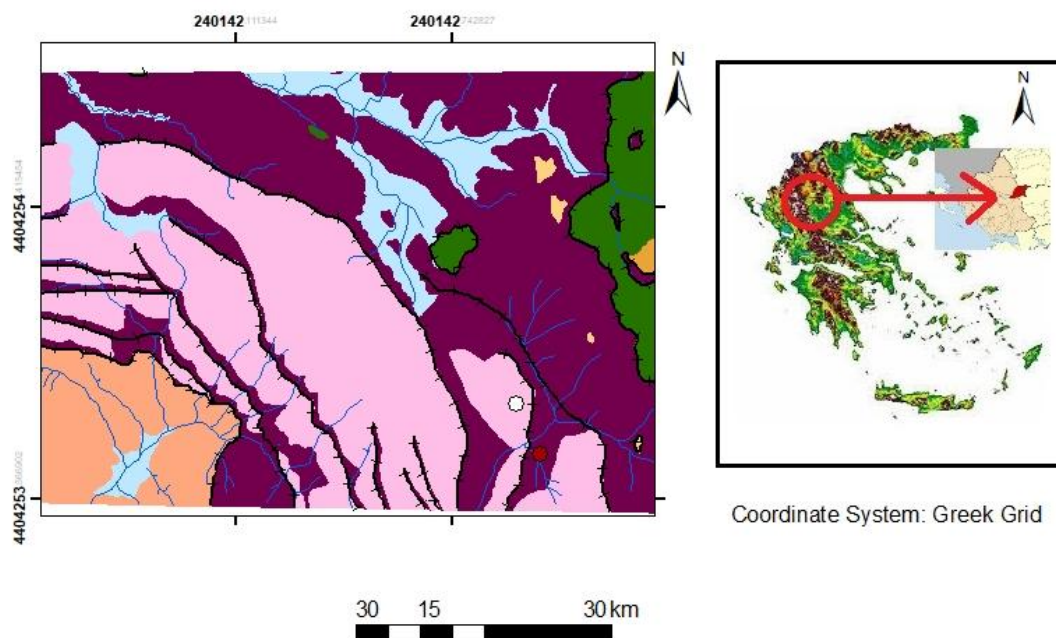


Εικόνα 4.3 Γεωλογικός χάρτης Μετσόβου (ΙΓΜΕ)

4.2 Γεωλογία στενής περιοχής έρευνας

Στην παρακάτω εικόνα 4.4 αποτυπώθηκε μέσω μιας διαδικασίας από το πρόγραμμα Gis η γεωλογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης η οποία αποτελείται κυρίως από φλυσχικούς σχηματισμούς με συνεχείς εναλλαγές στρωμάτων. Πιο συγκεκριμένα η ζώνη των ερυθροπηλιτών έχει εκτιμηθεί ότι φτάνει το πάχος των 60 μέτρων, οι ιλυόλιθοι τα 50 ενώ οι ψαμμίτες ξεπερνούν τα 200 μέτρα (Rumplet, T. Et al). Όπως φαίνεται η περιοχή βρίσκεται στην βορειοδυτική πλευρά της Ελλάδας και είναι αρκετά ορεινή. Η τεκτονική δραστηριότητα είναι πολύ έντονη ενώ κυριαρχούν ρήγματα επιρριπείσεων και πτυχωμένοι γεωολογικοί σχηματισμοί στην περιοχή. Όσον αφορά το υδρολογικό δίκτυο είναι αρκετά πυκνό.

Γεωλογικός Χάρτης Μετσόβου



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Οικισμοί

- Ανήλιο
- Μέτσοβο
- +— Τεκτονική Επαφή
- Ποτάμι

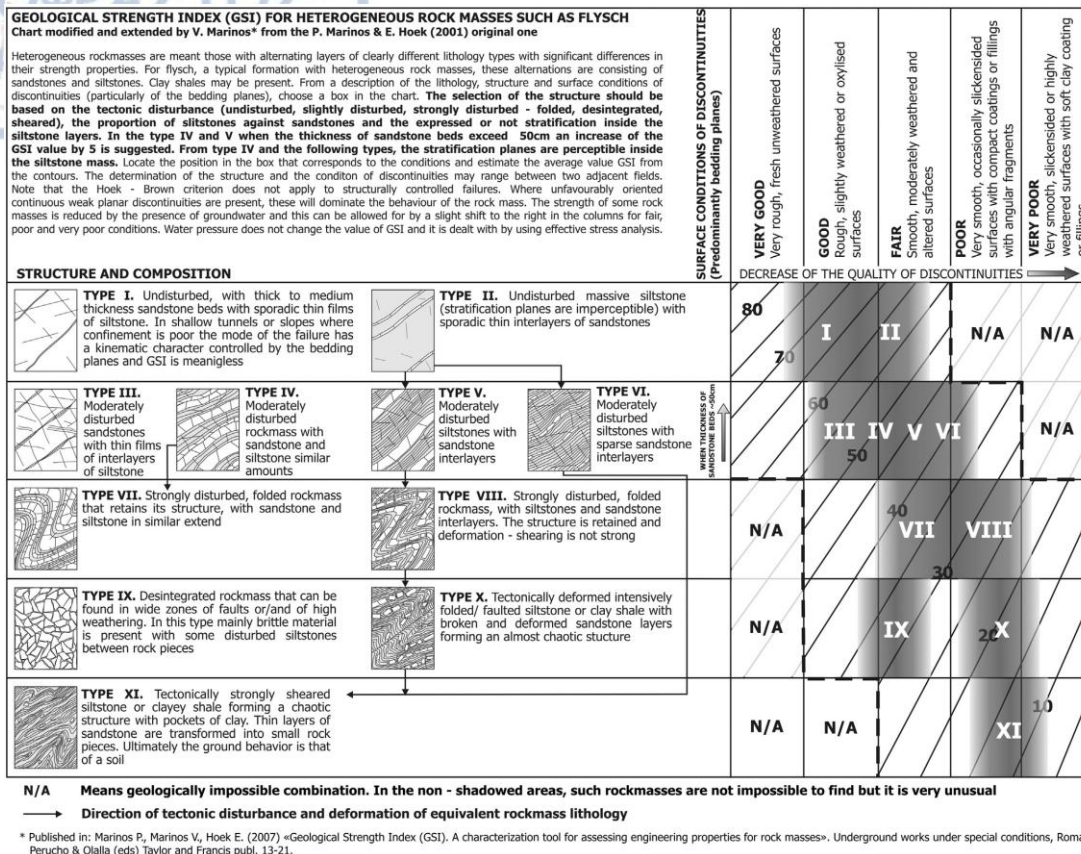
Γεωλογικοί σχηματισμοί

- Αλλουβιακές Προσχώσεις
- Δολερίτες
- Φλύσχης Ιόνιου Ζώνης
- Φλύσχης Πίνδου με περισσότερες ενστρώσεις Ιλυολίθου
- Φλύσχης Πίνδου με περισσότερες ενστρώσεις Ψαμμιτη
- Γάββροι
- Μεσοζωικοί Ασβεστόλιθοι
- Περιδοτίτες

Εικόνα 4.4 Γεωλογικός χάρτης Μετσόβου ΙΓΜΕ ψηφιοποιημένος από τη συγγραφέα

4.3 Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση φλύσχη

Ο φλύσχη αποτελεί ένα ετερογενές υλικό το οποίο σηματοδοτεί την ολοκλήρωση ενός κύκλου ιζηματογένεσης και σχηματίζεται πίσω από την ορογένεση. Περιέχει εναλλαγές ψαμμίτη (σχετικά καλή αντοχή) και ιλυολίθου (σχετικά χαμηλή αντοχή) με διαφορετικά πάχη και αναλογία μεταξύ τους. Επομένως σχηματίζονται δύο διακριτές ομάδες βραχομαζών, οι σύνθετες και οι ασθενείς. Οι σύνθετες βραχομάζες αποτελούνται από αξιοσημείωτη εναλλαγή διαφόρων παχών στρωμάτων ικανοποιητικής αντοχής ψαμμίτη και μικρής αντοχής ιλυολίθου με πιθανή δημιουργία τεκτονικών μιγμάτων και χαοτικών δομών. Σε αντίθεση η κατηγορία της ασθενούς βραχομάζας αποτελείται τόσο από έντονη τεκτονική καταπόνηση ολόκληρου του σχηματισμού των αργιλικών πετρωμάτων όσο και από έντονη αποσάθρωση συγκεκριμένα του ιλυολίθου με αποτέλεσμα να βρίσκεται σε κατάσταση σχάσης. Σε αυτήν την περίπτωση το νερό επιδρά αρνητικά στην ποιότητα του γεωυλικού. Σύμφωνα με τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά έχει συνταχθεί ένα σύστημα ταξινόμησης GSI δημιουργημένο από τον (Marinos, 2017) συγκεκριμένα για τον φλύσχη όπου διαχωρίζει τον σχηματισμό σε 11 διαφορετικούς τύπους βραχομαζας (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5 Σύστημα ταξινόμησης του φλύσχη (Marinos ,2017)

4.4 Υδρογεωλογία περιοχής μελέτης.

Ο γεωλογικός σχηματισμός επηρεάζει άμεσα την υδρογεωλογία, άρα θα πρέπει να εξεταστεί η περατότητα του σχηματισμού για να βρεθεί το ποσοστό κατείσδυσης ή επιφανειακής απορροής. Η περιοχή του Μετσόβου καλύπτεται κυρίως από φλύσχη. Ο φλύσχη αποτελεί έναν αδιαπέρατο σχετικά σχηματισμό εξαιτίας της παρουσίας ιλυολίθου με μεγάλο συντελεστή επιφανειακής απορροής και μικρό συντελεστή κατείσδυσης. Παρόλα αυτά πολλές φορές παρατηρούνται τοπικές υδροφορίες εξαιτίας της παρουσίας διεργηγμένων ψαμμιτικών τεμαχών.

Στην περιοχή δύο κατηγορίες φλύσχη επικρατούν: ιλυολιθικός και ψαμμιτικός. Ο ιλυόλιθος ως σχηματισμός είναι εντελώς αδιαπέρατος. Αντιθέτως ο ψαμμίτης στην περιοχή της αστοχίας έχει αρκετές διαρρήξεις και ρωγμές οπότε πρακτικά είναι αρκετά περατός κάτι το οποίο φαίνεται σε πολλές αναβλύσεις νερού στην περιοχή.

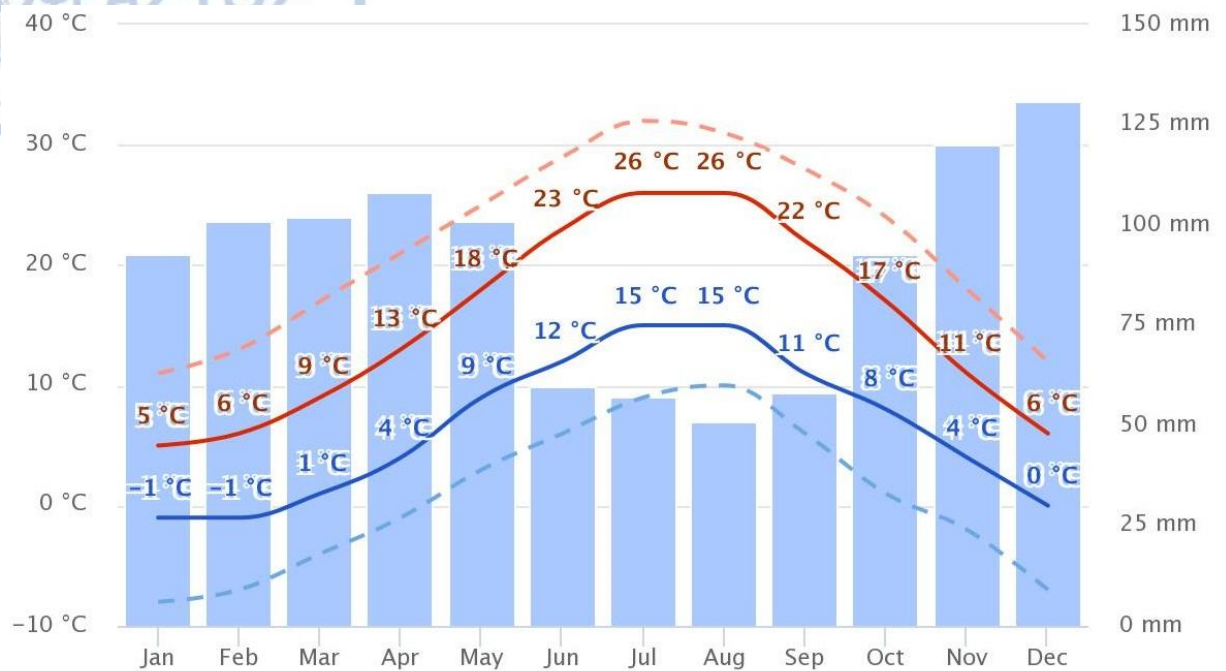
Αναλυτικότερα το νερό περνάει από τον ψαμμίτη που είναι περατός λόγω δευτερογενούς πορώδους και εγκλωβίζεται στον ιλυόλιθο ο οποίος είναι εντελώς αδιαπέρατος. Πιο συγκεκριμένα οι δύο κατηγορίες φλύσχη που κυριαρχούν στην περιοχή έχουν δύο διαφορετικά πορώδη. Στον ψαμμιτικό φλύσχη η περατότητα είναι μεγαλύτερη ενώ σε αντίθεση στον ιλυολιθικό το νερό δεν μπορεί να εισχωρήσει και ως αποτέλεσμα δημιουργούνται υποπίεσεις.

Ο υδροφόρος ορίζοντας όπως έχει παρατηρηθεί κινείται περίπου όπως η μορφολογία του εδάφους και σε κάποια σημεία που εμφανίζεται το νερό ανεβαίνει στην επιφάνεια είναι δηλαδή σχετικά ψηλά. Όλα τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται αστράγγιστες συνθήκες και να αυξάνονται κατά πολύ οι πιέσεις πόρων με συνέπεια την ταπείνωση των ενεργών τάσεων και κατ' επέκταση την αντοχή της βραχομάζας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το νερό να αποτελεί έναν παράγοντα που είναι το κύριο έναυσμα για την ολίσθηση.

4.5 Κλίμα περιοχής Μετσόβου

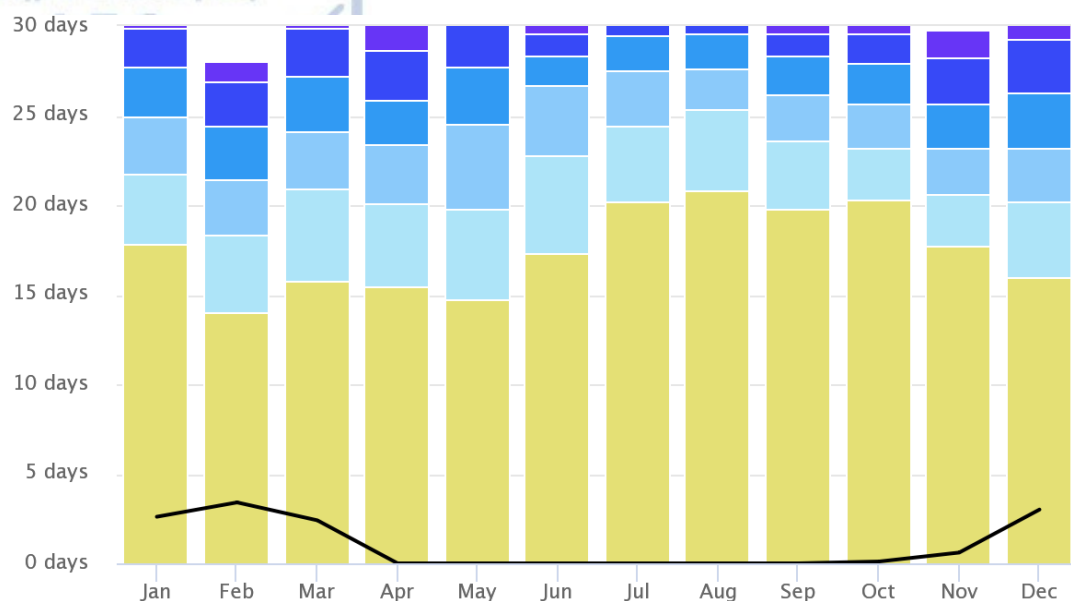
Το κλίμα της περιοχής επηρεάζει κατά κύριο λόγο την αστάθεια του εδάφους και αποτελεί αίτιο κατολισθητικών φαινομένων.(Marinos, n.d.) Αυτό συμβαίνει διότι στις έντονες βροχοπτώσεις η κατείσδυση του νερού γίνεται με πολύ μεγάλη ταχύτητα, οπότε αυξάνεται η πίεση των πόρων και σαν αποτέλεσμα υπάρχει μείωση της διατμητικής αντοχής του εδάφους.

Είναι άξιο να σημειωθεί ότι και το ποσοστό χιονόπτωσης επηρεάζει επίσης την κατολίσθηση διότι το νερό από το λιώσιμο του χιονιού είναι σε μεγάλες ποσότητες οπότε πολύ εύκολα αποσαθρώνει τις επιφάνειες των πετρωμάτων άρα επηρεάζει τη μετακίνηση. Για τους παραπάνω λόγους αξίζει να ερευνηθεί το κλίμα της περιοχής του Μετσόβου.



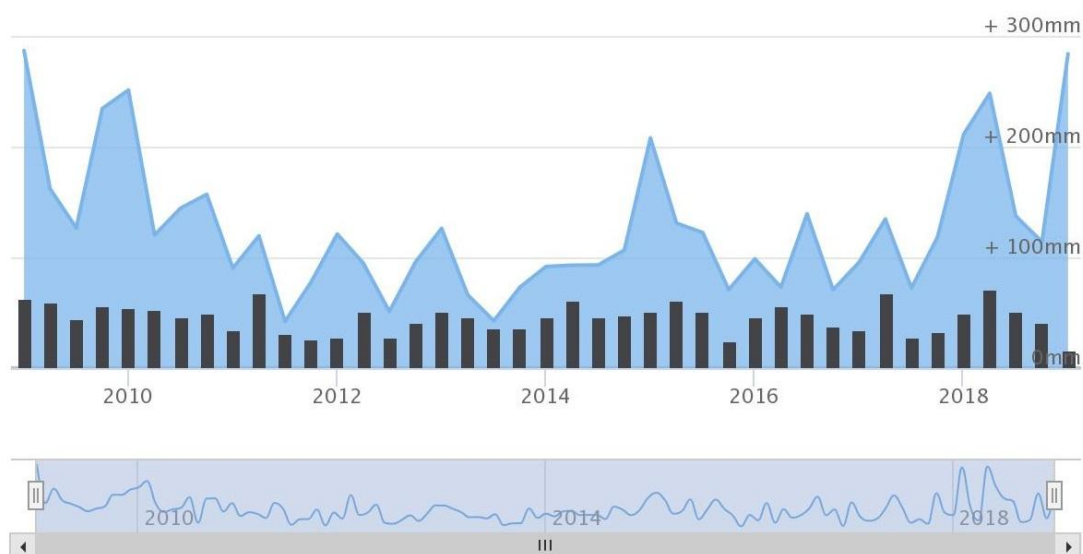
Εικόνα 4.6 Διαγράμμα θερμοκρασιών (meteoblue).

Στο παραπάνω διάγραμμα οι μπλε στήλες αντιπροσωπεύουν τις κατακρημνίσεις στην περιοχή του Μετσοβου. Η κόκκινη έντονη γραμμή αποτελεί την μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία ενώ η έντονη μπλε την ελάχιστη. Η διακεκομμένη κόκκινη δείχνει τις θερμότερες ημέρες του κάθε μήνα ενώ η διακεκομμένη μπλε τις ψυχρότερες για τα τελευταία τριάντα χρόνια. Στο σχήμα φαίνεται πως οι θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος με μια μέση θερμοκρασία 26 βαθμούς Κελσίου ενώ οι ψυχρότεροι μήνες φαίνεται να είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος με μια μέση θερμοκρασία 5 και 6 βαθμούς Κελσίου. Επίσης οι περισσότερες κατακρημνίσεις είναι τον Δεκέμβρη με περίπου 125mm.



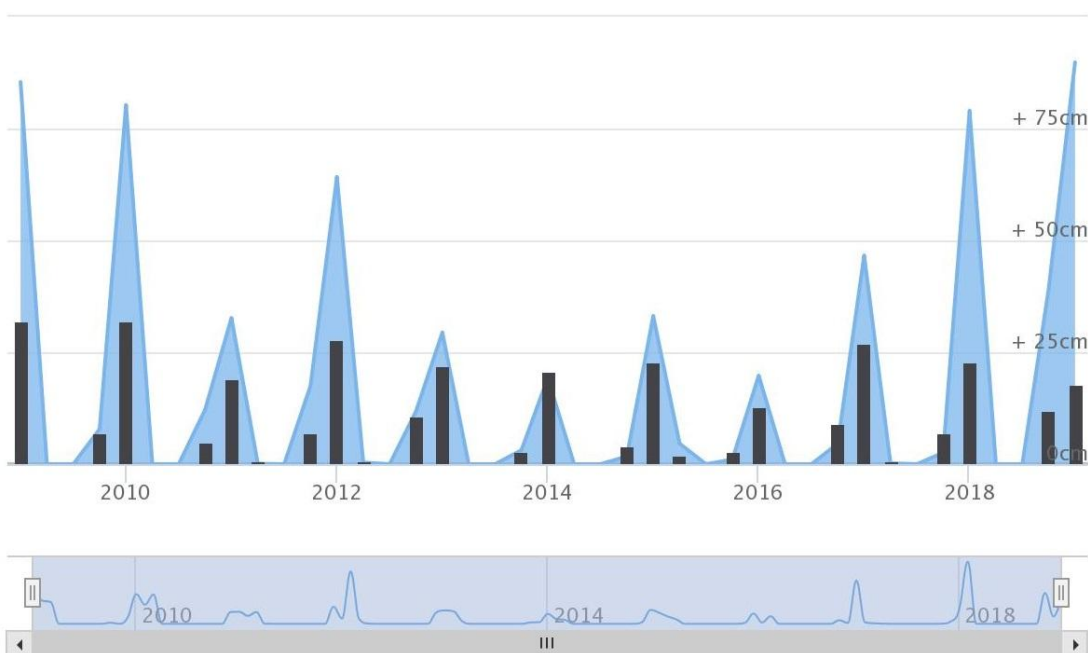
Εικόνα 4.8 Διάγραμμα ξηρασίας-κατακρημνίσεων.(meteoblue)

Στο παραπάνω διάγραμμα με μπεζ χρώμα απεικονίζεται το ποσοστό της ξηρασίας ανά μήνα ενώ με μπλε το ποσοστό των κατακρημνίσεων(ανοικτό μπλε ελάχιστες κατακρημνίσεις 2-5mm) ενώ όσο σκουραίνει οι κατακρημνίσεις αυξάνονται(σκούρο μπλε 20-50mm).Ακόμη το μωβ χρώμα απεικονίζει το μέγιστο ποσοστό κατακρημνίσεων(50-100mm). Η έντονη μαύρη γραμμή αποτελεί την χιονόπτωση στην περιοχή του Μετσόβου η οποία παίρνει την μέγιστη τιμή της τον Φεβρουάριο ενώ η τιμή της είναι μηδενική από τα μέσα του Απρίλη μέχρι και τα μέσα του Νοέμβρη. Από ότι φαίνεται στην παραπάνω εικόνα ο ξηρότερος μήνας είναι ο Αύγουστος ενώ ο μήνας με τις περισσότερες κατακρημνίσεις είναι ο Απρίλης.



Εικόνα 4.9 Ποσοστό βροχόπτωσης (worldweatheronline)

Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται το ποσοστό της βροχόπτωσης τα τελευταία οκτώ χρόνια.



Εικόνα 4.10 Ποσοστό χιονόπτωσης (worldweatheronline)

Στο παραπάνω διάγραμμα με μπλε χρώμα φαίνονται οι μέρες που εκδηλώνεται η χιονόπτωση τα τελευταία οκτώ χρόνια. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό χιονόπτωσης εκδηλώθηκε το 2010 και το 2018.

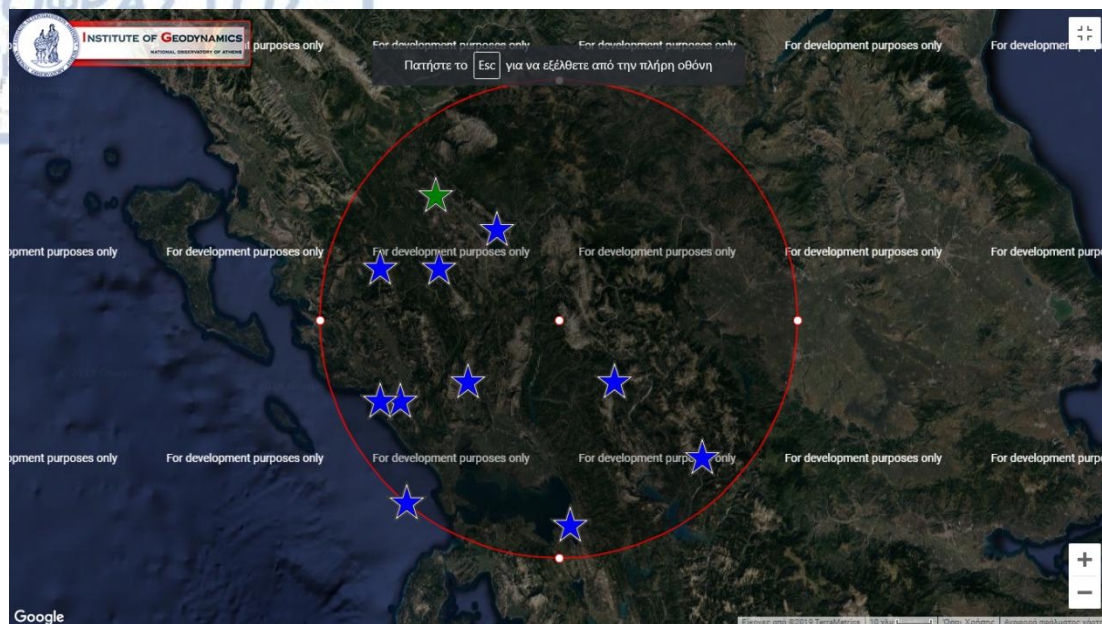
4.6 Σεισμικότητα περιοχής

Οι σεισμοί οφείλονται στις κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών. Η Αφρικανική πλάκα τείνει να βυθιστεί κάτω από την Ευρασιατική γι αυτό και στην Ελλάδα συναντάται έντονη σεισμική επικινδυνότητα (Εικόνα 4.11). Με τις σεισμικές δονήσεις μεταβάλλονται οι τάσεις και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεταβολή της ισορροπίας των γεωλογικών υλικών.

Στα πρανή με μεγάλη γωνία κλίσης οι αστοχίες είναι συνήθως ανισότροπες όπως καταπτώσεις βράχων ή ολισθήσεις, ενώ στα πράνη που η γωνία κλίσης είναι σχετικά μικρή οι αστοχίες είναι συνήθως πλευρικές εξαπλώσεις και περιστροφικές, μεταθετικές ολισθήσεις. Στην παρακάτω εικόνα 4.12 φαίνονται οι σεισμοί της Ελλάδας από τον Ιανουάριο του 1964 έως το Μάρτιο του 2019 σε απόσταση κάτω των 70χμ από την περιοχή της έρευνας και με μέγεθος άνω των 5ml ενώ στον πίνακα 4.1.



Εικόνα 4.11 Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας (www.oasp.gr)



Εικόνα 4.12 Σεισμικός χάρτης για την περίοδο 01/1964-03/2019(www.gein.noa.gr)

ΧΡΟΝΟΣ ΓΕΝΝΕΣΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΕΙΣΜΟΥ
2019/02/05,02:26:09 (GMT)	69.1 χμ	5.2 ML
2016/10/15,20:14:49 (GMT)	60.2 χμ	5.2 ML
1993/06/13,23:26:40 (GMT)	51.2 χμ	5.4 ML
1981/07/03,21:42:54 (GMT)	53.8 χμ	5.3 ML
1981/03/10,15:16:18 (GMT)	31.3 χμ	5.3 ML
1969/10/13,01:02:32 (GMT)	37.7 χμ	5.6 ML
1968/03/28,16:37:50 (GMT)	56.6 χμ	5.4 ML
1967/05/01,09:50:00 (GMT)	31.7 χμ	5.0 ML
1966/05/04,06:36:50 (GMT)	24.7 χμ	5.5 ML
1966/02/05,02:01:42 (GMT)	58.8 χμ	5.9 ML

Πίνακας 3.1 Αναγραφή σεισμών από το έτος 1964 μέχρι και το 2019

5. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες

5.1 Επί τόπου παρατηρήσεις στην περιοχή της αστοχίας

Για τον εντοπισμό της αστοχίας στην περιοχή του Βορειοανατολικού Μετσόβου έγινε λεπτομερής παρατήρηση στην ύπαιθρο. Η κατολίσθηση που εντοπίστηκε είναι της μορφής περιστροφικής ή μεταθετικής ολίσθησης με εύρος σε ύψος περίπου 760 μέτρα και σε μήκος περίπου 400 μέτρα. Η έρευνα της αστοχίας στην περιοχή του Μετσόβου πραγματοποιήθηκε σε δύο ημέρες, όπου η πρώτη αφορούσε κυρίως την μελέτη του φαινομένου μέσα στον οικισμό και αποτελούταν από την αποτύπωση του ενός πλευρικού ορίου, το ανώμαλο έδαφος σε κάποια σημεία, την εμφάνιση πηγών αλλά και τις ρωγμές σε διάφορα σπίτια, ενώ η δεύτερη αφορούσε κυρίως την αποτύπωση των χαρακτηριστικών της κατολίσθησης εκτός των ορίων του οικισμού.

Η αναγνώριση στην ύπαιθρο από διάφορα στοιχεία όπως για παράδειγμα φρύδια μικρότερων κατολισθήσεων, ρωγμές, συγκεντρώσεις νερού, ανώμαλες επιφάνειες-αναβαθμίδες. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η θραύση του εδάφους στον κήπο της εκκλησίας που συνεχίζει στον τοίχο με την ίδια κατεύθυνση (Εικόνα 5.1, Εικόνα 5.2) όπως επίσης κατεβαίνει και στον τοίχο κάτω από την εκκλησία (Εικόνα 5.3) και πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές του έτους 2013. Τα παραπάνω αποτελούν σύμφωνα με έρευνες και το δυτικό πλευρικό όριο της κατολίσθησης.



Εικόνα 5.1 Στην εικόνα αυτή φαίνεται μια θραύση εδάφους στον κήπο της εκκλησίας



Εικόνα 5.2 Η ρωγμή η οποία συνεχίζει προς τον εσωτερικό τοίχο της εκκλησίας



Εικόνα 5.3 Ρωγμή στον τοίχο κάτω από την εκκλησία

Στη συνέχεια αποτυπώθηκαν κάποιες αστοχίες στα σπίτια του οικισμού του Μετσόβου (Εικόνα 5.4, βλ παράρτημα:Εικόνα 5.5, Εικόνα 5.6)



Εικόνα 5.4 Ρωγμή σε σπίτι

Παρατηρήθηκε πως οι αστοχίες αυτές στα κτίρια του Μετσόβου μπορεί να οφείλονται στην μετακίνηση που υπάρχει όπως φαίνεται και από την έντονη ανωμαλία που κυριαρχεί στο έδαφος και τον ερπυσμό των δέντρων ακριβώς δίπλα στα σπίτια αλλά και σε πιο απομακρυσμένα μέρη (Εικόνα 5.7) (βλ παράρτημα Εικόνα 5.8, Εικόνα 5.9) .



Εικόνα 5.7 Έντονες αναβαθμίδες πιο απομακρυσμένα από τον οικισμό όπου φαίνεται η έντονη διαβάθμιση

Τέλος όσον αφορά την πορεία μέσα στον οικισμό βρέθηκαν διάφορα είδη υδάτινων πηγών είτε χτιστές (Εικόνα 5.10), είτε απλές εκροές νερού σε διάφορα σημεία



Εικόνα 5.10 Χτιστές πηγές στον οικισμό του Μετσόβου

Την δεύτερη ημέρα η παρατήρηση έγινε στα όρια του οικισμού του Μετσόβου με σκοπό την εύρεση του ανατολικού πλευρικού ορίου και του ποδιού της κατολίσθησης. Θεάθηκαν διάφορα στοιχεία αναγνώρισης της αστοχίας όπως έχουν ήδη αναφερθεί. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ερπυσμός των δέντρων, εμφανίσεις πηγών-συγκεντρώσεων νερού, αλλεπάλληλες αναβαθμίδες κ.α. Όσον αφορά τη μορφολογία της ερευνώμενης περιοχής παρατηρήθηκαν αλλεπάλληλες αναβαθμίδες (Εικόνα 5.11) και ανώμαλες επιφάνειες με τεμάχια σκληρού ψαμμίτη (Εικόνα 5.12) (βλ παράρτημα Εικόνα 5.13).



Εικόνα 5.11 Αναβαθμίδες όπου κατανοείται η κίνηση του υλικού



Εικόνα 5.12 Μεγάλα τεμάχη ψαμμίτη που ολισθαίνουν

Στην ανατολική πλευρά του Μετσόβου και κατά πάσα πιθανότητα στο πλευρικό όριο της κατολίσθησης βρέθηκε ένα φρύδι το οποίο συμπεριλαμβάνεται στην μεγαλύτερη κατολίσθηση του Μετσόβου. Στην Εικόνα 5.14, εκτός από το φρύδι φαίνεται και η αστοχία που υπάρχει στο τοιγάκι εξαιτίας της μετακίνησης. Το ίδιο συμβαίνει και στην Εικόνα 5.15 (βλ. παράρτημα) όπου υπάρχει η ίδια αστοχία στο τοιγάκι εξαιτίας της μετακίνησης.



Εικόνα 5.14 Φρύδι μικρότερης κατολίσθησης και αστοχία στο φράχτη

Στην εικόνα 5.15 φαίνεται η αστοχία στον δρόμο όπου έχει φύγει ένα μεγάλο κομμάτι δρόμου. Αυτό σημαίνει ότι η κατολίσθηση συνεχίζει και κάτω από τον δρόμο. Το παραπάνω φαινόμενο παρατηρείται σε πολλά σημεία της περιοχής (βλ. παράρτημα Εικόνα 5.16).



Εικόνα 5.15 Αστοχία στον δρόμο

Την συνέχιση της κατολίσθησης κάτω από τον δρόμο την επιβεβαιώνουν πολλά μορφολογικά χαρακτηριστικά όπως η ανώμαλη επιφάνεια που υπάρχει και κάτω από το δρόμο (Εικόνα 5.17) και το φούσκωμα στο τέλος (Εικόνα 5.18)



Εικόνα 5.17 Ανώμαλη επιφάνεια κάτω απο τον δρόμο



Εικόνα 5.18 Φούσκωμα στο ρέμμα της περιοχής

Όσον αφορά την εκροή νερού στην περιοχή μελέτης βρέθηκαν διάφορες πηγές (βλ. παράρτημα Εικόνα 5.19), κάποια ρυάκια (βλ. παράρτημα Εικόνα 5.20) και κάποιες μικρές λίμνες ανά διαστήματα (Εικόνα 5.21).



Εικόνα 5.21 Συγκέντρωση νερού σαν λίμνη

Τέλος παρατηρήθηκαν κάποιες θραύσεις στον δρόμο οι οποίες επιβεβαιώνουν μετακίνηση του υλικού και συνέχιση αυτής και κάτω από το δρόμο (Εικόνα 5.22).

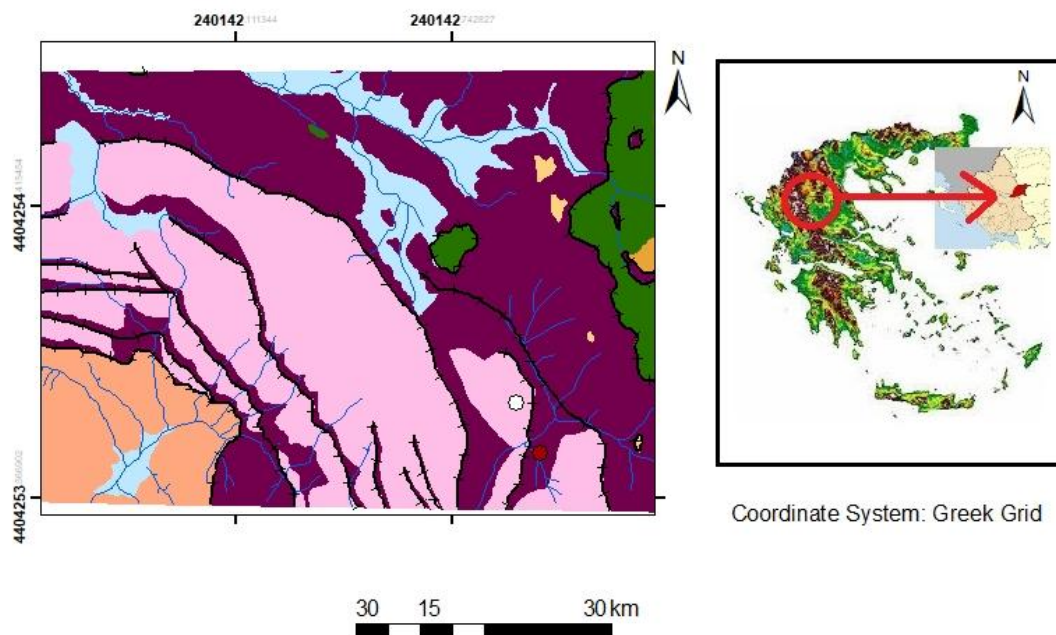


Εικόνα 5.22 Θραύσεις στον δρόμο

5.2 Τεχνικογεωλογικές ενότητες

Η περιοχή μελέτης αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ιλυολιθικό και ψαμμιτικό φλύσχη του οποίου οι εναλλαγές διακρίνονται στην Εικόνα 5.31 ενώ το υδρολογικό δίκτυο είναι αρκετά πυκνό. Οι τεκτονικές επαφές που διακρίνονται είναι κυρίως εφιπεύσεις.

Γεωλογικός Χάρτης Μετσόβου



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Οικισμοί

- Ανήλιο
- Μέτσοβο
- +— Τεκτονική Επαφή
- Ποτάμι

Γεωλογικοί σχηματισμοί

- Αλλουβιακές Προσχώσεις
- Δολερίτες
- Φλύσχης Ιόνιου Ζώνης
- Φλύσχης Πίνδου με περισσότερες ενστρώσεις Ιλυολίθου
- Φλύσχης Πίνδου με περισσότερες ενστρώσεις Ψαμμιτη
- Γάββροι
- Μεσοζωϊκοί Ασβεστόλιθοι
- Περιδοτίτες

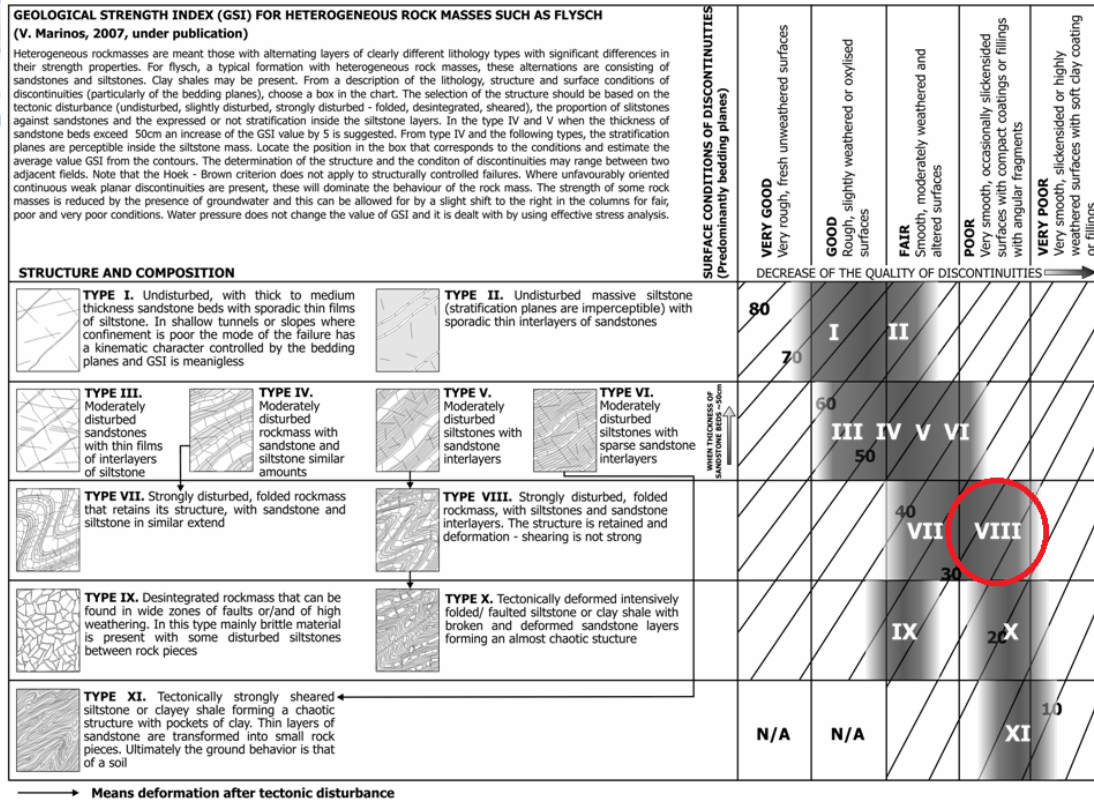
Εικόνα 5.23 Γεωλογικός χάρτης στενής περιοχής μελέτης

5.2.1 Τεχνικογεωλογική ενότητα 1



Εικόνα 5.24 Εμφάνιση έντονα διαταραγμένου ανοικτού καφέ ιλυολιθικού φλύσχη. Τοπικά εμφανίζονται αποσαθρωμένα τεμάχια ψαμμίτη.

Η πρώτη τεχνικογεωλογική ενότητα (Εικόνα 5.24) αποτελείται από βραχώμαζα ιλυόλιθου με ενστρώσεις ψαμμίτη πολύ έντονα διαταραγμένη η οποία διατηρεί την δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό. Όσον αφορά τις ασυνέχειες είναι αρκετά λείες και ολισθηρές σε συνδυασμό με την παρουσία υλικού πλήρωσης. Το GSI (δείκτης γεωλογικής αντοχής σε ετερογενείς βραχομάζες σε περιβάλλον φλύσχη) για αυτή την εμφάνιση του φλύσχη είναι τύπος VIII και πιο συγκεκριμένα 25-35 διότι φαίνεται η πτύχωση, τα τεμάχια του ψαμμίτη είναι λιγότερα αναλογικά και ο ιλυόλιθος φαίνεται έντονα διαταραγμένος (Εικόνα 5.25).



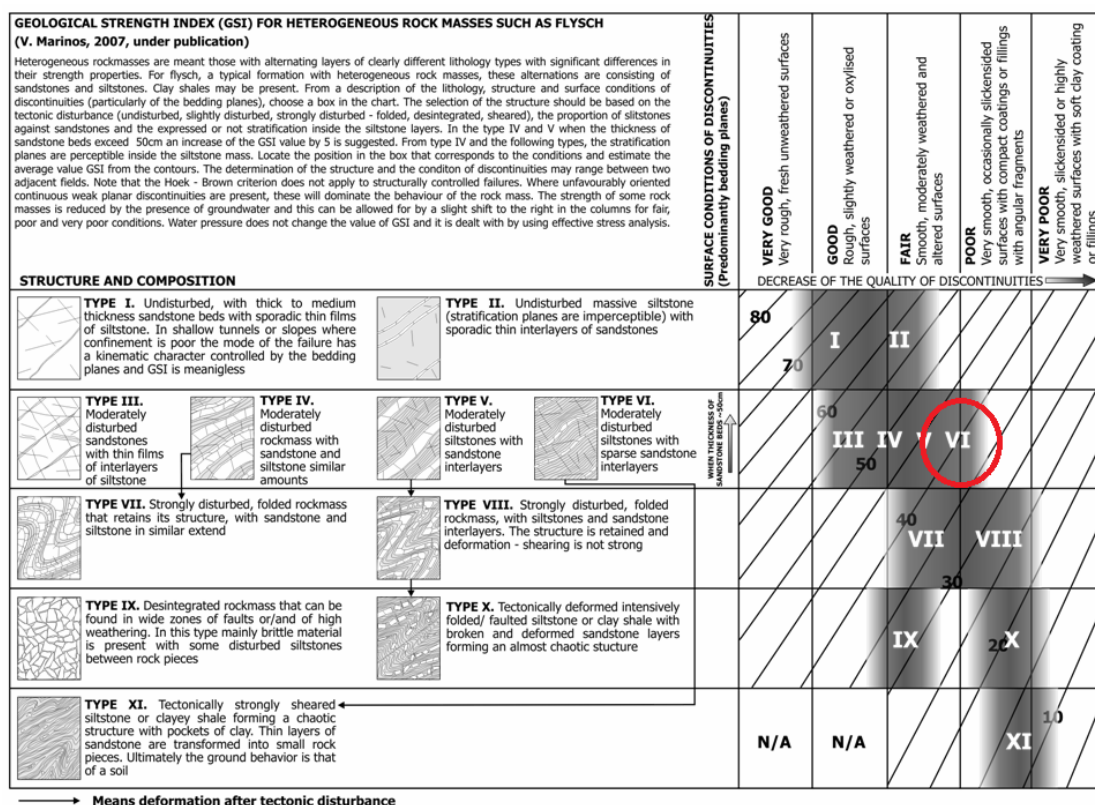
Εικόνα 5.25 GSI για την πρώτη εμφάνιση του φλύσχη (Marinos, Marinos, & Hoek, 2010)

5.2.2 Τενικογεωλογική ενότητα 2



Εικόνα 5.26 Δεύτερη εμφάνιση φλύσχη ιλιολιθικού φλύσχη χρώματος ανοικτό γκρι έντονα διαταραγμένου. Ο ψσμίτης σε αυτή τη περίπτωση εμφανίζεται με μικρά πολύ αποσαθρωμένα και φυλλοποιημένα τεμάχια ή τοπικά με μεγαλύτερα και επίσης αποσαθρωμένα

Όσον αφορά την δεύτερη εμφάνιση του φλύσχη (Εικόνα 5.26) στην περιοχή παρατηρείται ένας μέτρια διαταραγμένος ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη. Οι ασυνέχειες είναι αρκετά ολισθηρές με υλικό πλήρωσης ανάμεσα. Το GSI θα είναι τύπου V και ίσο με 35-45 διότι υπάρχουν αρκετά τεμάχη ψαμμίτη και αναγνωρίζεται κάποια μονοκλινή δομή (Εικόνα 5.27).



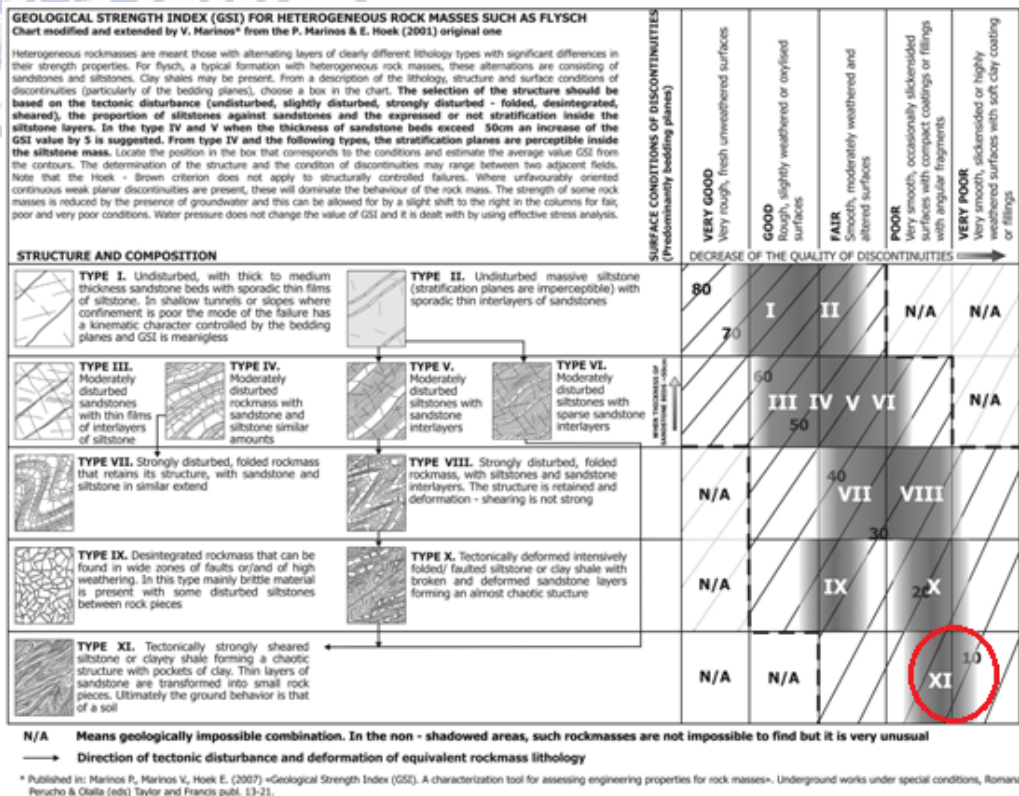
Εικόνα 5.27 GSI για την δεύτερη εμφάνιση φλύσχη (Marinos et al., 2010)

5.2.3 Τεχνικογεωλογική ενότητα 3



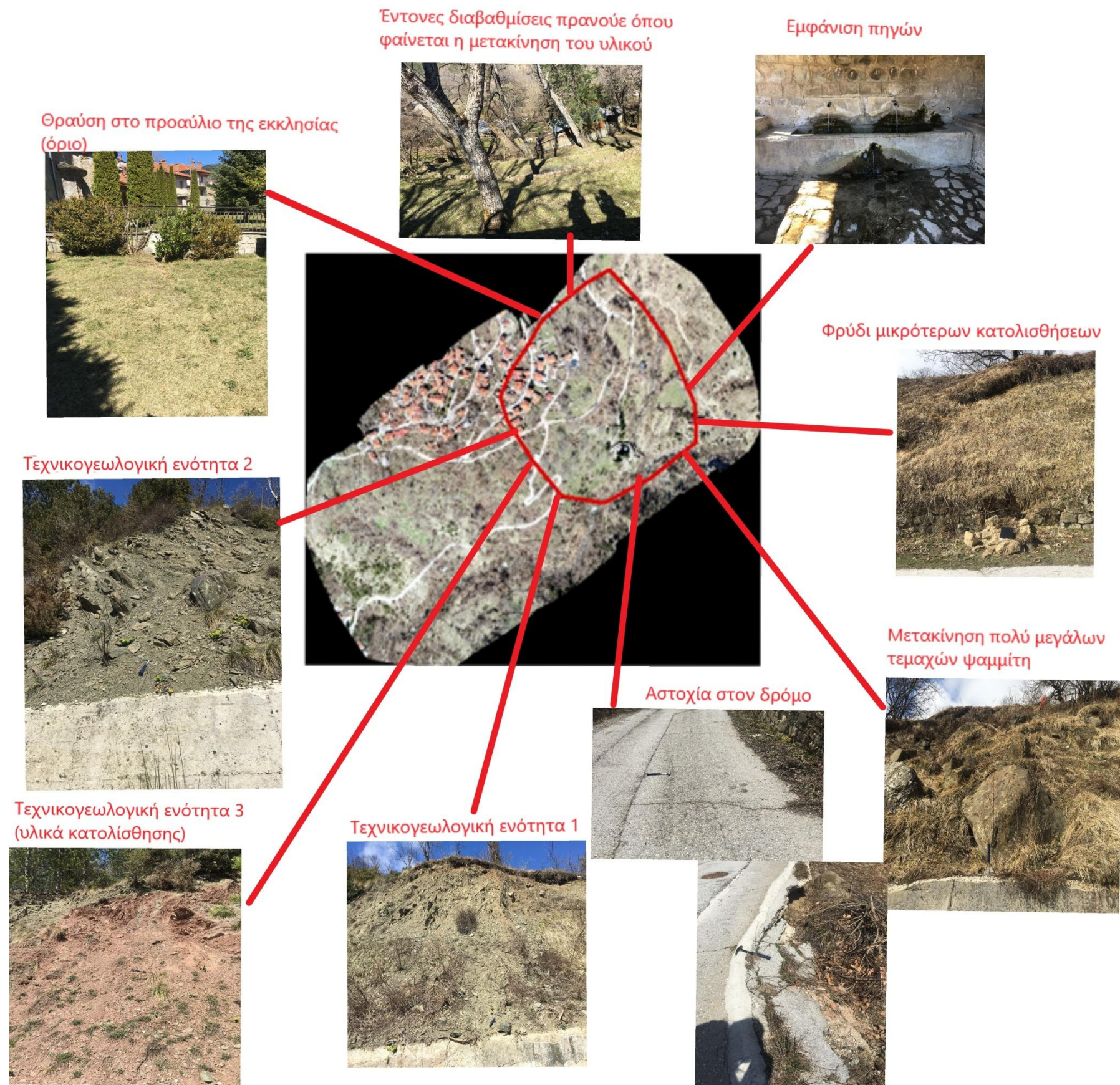
Εικόνα 5.28 Τεχνικογεωλογική ενότητα 3 όπου παρατηρείται κοκκινωπό εδαφικό υλικό-ιλυόλιθος προϊόν κατολίσθησης με χαοτική δομή

Στην τεχνικογεωλογική ενότητα 3 παρατηρείται το υλικό της κατολίσθησης το οποίο αποτελεί πλέον εδαφικό υλικό οπότε δεν υφίσταται τιμή GSI (Εικόνα 5.28). Παρόλα αυτά σε ένα μέρος όπου παρατηρείται κάποια δομή θα μπορούσε να αναφερθεί ότι ο ιλυόλιθος φαίνεται τεκτονικά πολύ ισχυρά διατμημένος σε χαοτική κυρίως δομή ενώ ο ψαμμίτης είναι κατακερματισμένος. Οι ασυνέχειες είναι πολύ αποσασθρωμένες. Το GSI που θα μπορούσε να δοθεί είναι τύπος XI και η τιμή του είναι 5-15 (Εικόνα 5.29).



Εικόνα 5.29 GSI για την δεύτερη εμφάνιση φλύσχη (Marinos et al., 2010)

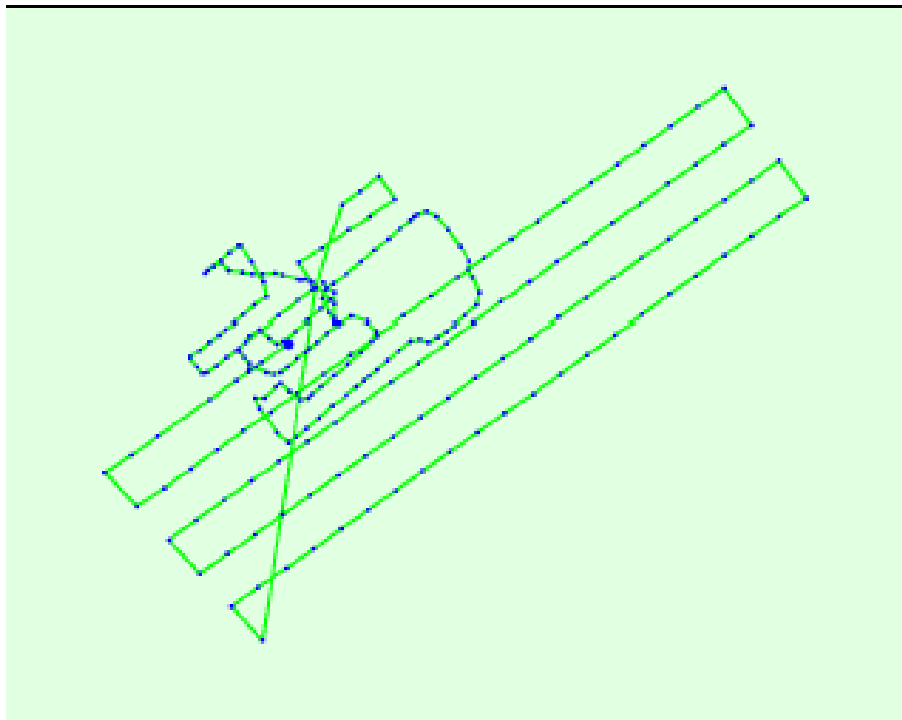
Συνοπτικά οι παραπάνω επι τόπου παρατηρήσεις της κατολίσθησης εμφανίζονται στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1 Χάρτης επι τόπου παρατηρήσεων στην περιοχή της αστοχίας

5.3 Χρήση ΣμηΕΑ στην περιοχή μελέτης

Στην περιοχή της αστοχίας τα δεδομένα συλλέχθηκαν από την επι τόπου παρατήρηση στο πεδίο και από την χρήση ΣμηΕΑ. Χρησιμοποιήθηκε τετρακόπτερο ΣμηΕΑ. Προέκυψαν 245 εικόνες και καλύφθηκαν 289 τετραγωνικά μέτρα. Η πτήση διήρκεσε 27 λεπτά και 15 δευτερόλεπτα και ακολούθησε το εξής σχέδιο (Εικόνα 5.30). Έπειτα αποτέλεσμα της τεχνολογίας structure for motion ήταν το νέφος σημείων, το μοντέλο εδάφους (Εικόνα 5.31) και η ορθοφωτογραφία (Εικόνα 5.32).



Εικόνα 5.30 Σχέδιο πτήσης



Εικόνα 5.31 Μοντέλο εδάφους

Ορθοφωτογραφία περιοχής μελέτης



Υπόμνημα

Περιοχή μελέτης

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 34N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500.000.0000
False Northing: 0.0000
Central Meridian: 21.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

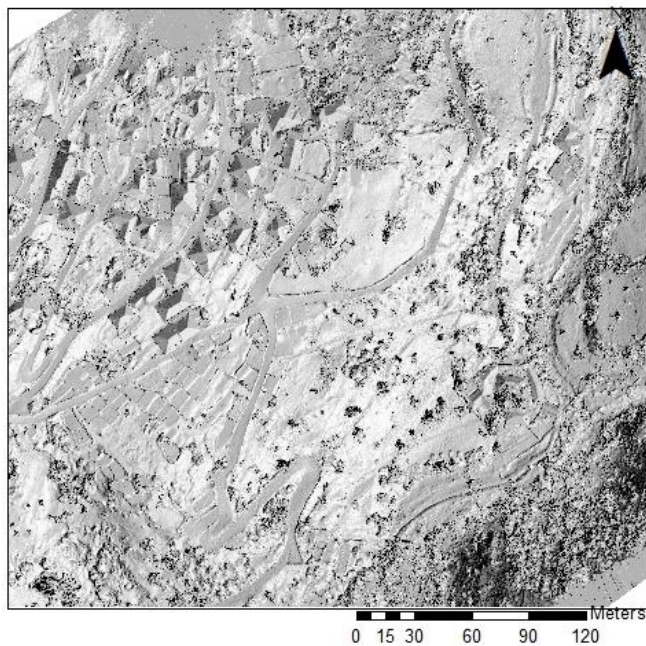
Εικόνα 5.32 Ορθοφωτογραφία

Στην Εικόνα 5.30 παρατηρείται το ανάγλυφο και η οριοθέτηση της κατολίσθησης μέσω μιας συγκεκριμένης διαδικασίας κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο εδάφους της περιοχής που ερευνάται, το οποίο παράχθηκε από την πτήση του ΣμηΕΑ, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σε συνδυασμό με εργαλεία από κάποιο πρόγραμμα GIS. Τα όρια της κατολίσθησης έχουν φανεί κυρίως από τις επιφανειακές παρατηρήσεις των πρόσφατων θραύσεων και της έλλειψης γεωλογικών σχηματισμών υποβάθρου και έχουν βρεθεί στο σημείο της εκκλησίας ενώ ολόκληρη η κατολίσθηση έχει 100 μέτρα μήκος και 300 μέτρα εύρος (Τσόκας Γ. et al., 2013).

Η περιοχή της αστοχίας καλύπτεται εκ ολοκλήρου όπως έχει αναφερθεί από έναν πολύ χαμηλής ποιότητας τεκτονικά καταπονημένο και διατμημένο φλύσχη. Σε πολλά σημεία μέσα στον οικισμό φαίνονται ρωγματώσεις που υποδηλώνουν την μετακίνηση του εδάφους. Η αστοχία της περιοχής μελέτης αποτελεί μια σύνθετη κατολίσθηση η οποία περιλαμβάνει την περιστροφική ολίσθηση αλλά και τον ερπυσμό του εδάφους.

Το έναυσμα της κατολίσθησης τόσο από τις έρευνες που έχουν ήδη πραγματοποιηθεί όσο και από την μελέτη της περιοχής φαίνεται πως είναι τα καιρικά φαινόμενα και η μορφολογία της περιοχής. Όπως έχει προαναφερθεί οι πιο βροχεροί μήνες είναι ο Νοέμβρης και ο Απρίλης καθώς βροχοπτώσεις παρατηρούνται γενικά σε όλη την διάρκεια του χειμώνα. Η βροχή δηλαδή κατεισδύει στον φλύσχη ο οποίος αποτελείται από αδιαπέρατο ιλυόλιθο και ψαμμίτη και δημιουργεί πιέσεις πόρων στον ιλυόλιθο οι οποίες σαν αποτέλεσμα κατεβάζουν σε πολύ χαμηλό επίπεδο τις ενεργές τάσεις. Επίσης το ποτάμι υποσκάπτει συνεχώς το πόδι της κατολίσθησης. Ο συνδυασμός των υποπιέσεων που αναπτύσσονται στον ιλυόλιθο λόγω της παρατεταμένης βροχόπτωσης και η συνεχής διάβρωση της βάσης του πρσανούς τελικά μειώνει κατά πολύ την αντοχή ολόκληρης της βραχώμαζας και σε συνδυασμό με το ανάγλυφο το οποίο έχει αρκετά μεγάλη κλίση πραγματοποιείται η αστοχία.

Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου Μετσόβου



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 34N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500.000.0000
False Northing: 0.0000
Central Meridian: 21.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

Εικόνα 5.38 Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου Μετσόβου

6. Συμπεράσματα

Η περιοχή του Μετσόβου αποτελεί έναν αρκετά μεγάλο οικισμό και μια από τις κύριες τουριστικές επιλογές οπότε ο κίνδυνος η διακινδύνευση μιας ακόμη μεγαλύτερης αστοχίας είναι πολύ μεγάλος. Γι αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η μελέτη και η κατανόηση του φαινομένου καθώς και η κατασκευή μέτρων αντιμετώπισης της κατολίσθησης.

Με λίγα λόγια, η παραπάνω εργασία αποτελεί μια έρευνα για την εξέταση του φαινομένου της κατολίσθησης στον οικισμό του Μετσόβου. Η εξέταση αυτή καθιστούσε απαραίτητη την πολύ καλή γνώση της περιοχής της αστοχίας όσον αφορά την τεχνικογεωλογική και γεωλογική αξιολόγηση των σχηματισμών, την υδρογεωλογία, το κλίμα και το ποσοστό των σεισμικών δονήσεων. Επίσης αναγκαία ήταν η γνώση του φαινομένου της κατολίσθησης και των κατηγοριών που ταξινομείται αλλά και η τεχνολογία των ΣμηΕΑ και πως αυτά βοηθούν στην μελέτη ενός φυσικού φαινομένου όπως μια κατολίσθηση. Όλα τα παραπάνω βοήθησαν στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων από την επι τόπου παρατήρηση της αστοχίας και των εικόνων που παρήχθησαν από την πτήση του ΣμηΕΑ για να αποτυπωθεί και να οριοθετηθεί εντέλει η κατολίσθηση, όπως επίσης και να εξεταστεί ο μηχανισμός που συντέλεσε στην αστοχία.

Όπως έχει αναφερθεί από τον Terzaghi (1950), όταν ένα πρανές έχει ξεκινήσει να μετακινείται, πρέπει να προσαρμοσθούν τα μέσα για την διακοπή της αστοχίας στον παράγοντα που ξεκίνησε την ολίσθηση. Η κατασκευή των μέτρων αντιστήριξης εξαρτάται από την οικονομική δυνατότητα, την κοινωνική και την περιβαλλοντική αποδοχή. Προτείνεται η διευθέτηση του θέματος της αποστράγγισης τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών. Ο φλύσχος όπως έχει ήδη αναφερθεί αποτελεί ένα γεωυλικό το οποίο έχει αυξημένες πιέσεις πόρων άρα όσον αφορά την εκτόνωση των πιέσεων των υπόγειων νερών απαραίτητη είναι η δημιουργία υπόγειων σηράγγων ή γεωτρήσεων.

Τέλος, η επιφανειακή αποστράγγιση είναι εξίσου σημαντική καθώς ο ρόλος τους είναι να μην επιτευχθεί η διαδικασία της κατεΐσδυσης. Η αντιμετώπιση της αστοχίας γίνεται επίσης με την δημιουργία ενεργητικών μέτρων αντιστήριξης, δηλαδή μείωση των πιθανοτήτων της μετακίνησης του πρανούς. Στην περίπτωση του Μετσόβου αυτό μπορεί να γίνει είναι η προσθήκη γεωυλικού στο πόδι της κατολίσθησης για να μην μπορεί να διαβρωθεί από το ποτάμι



. Φυσικά απαραίτητη είναι η παρακολούθηση του φαινομένου λόγω της διακυνδύνευσης που διαθέτει, αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη κλισιομέτρων αλλά και πιεζομέτρων.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν διάφορα εργαλεία για την καλύτερη και πιο ακριβή έρευνα της περιοχής. Το πρόγραμμα Gis φάνηκε αρκετά χρήσιμο όσον αφορά την εύκολη και σχετικά γρήγορη χαρτογράφηση των γεωλογικών σχηματισμών του υδρολογικού δικτύου αλλά και των τεκτονικών επαφών της περιοχής μελέτης. Επιπλέον τα εξαγόμενα δεδομένα βρίσκονται πλέον σε ψηφιακή μορφή το οποίο διευκολύνει αρκετά και επόμενες πιθανές έρευνες στην περιοχή. Τέλος όλες οι αναλύσεις γίνονται με αντικειμενικό τρόπο και τα αποτελέσματα παράγονται αυτόματα.

Ένα ακόμη εργαλείο με πολλαπλά οφέλη είναι το σύστημα μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ). Το σύστημα αυτό βοηθά στην μελέτη μεγάλων η πολύ δύσκολα προσβάσιμων εκτάσεων γης σε πολύ λίγο χρόνο ενώ ο όγκος των δεδομένων που συλλέγονται είναι πολύ μεγάλος και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε έρευνα οποιαδήποτε στιγμή. Επίσης δεν απαιτείται η φυσική παρουσία πολλών ερευνητών και η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί και από μόνο ένα χρήστη. Στην παρούσα μελέτη το μοντέλο εδάφους και η ορθοφωτογραφία φάνηκαν αρκετά χρήσιμα δεδομένα για την μελέτη του μηχανισμού αστοχίας της περιοχής.

Κλείνοντας η παρούσα μελέτη έχει ως στόχο την ακριβή κατανόηση του φαινομένου, η δημιουργία ενός γεωερευνητικού προγράμματος με σκοπό την περαιτέρω έρευνα της περιοχής που κατολίσθησε αλλά και τη και την πρόσθεσή του σε έναν ακόμη μεγαλύτερο χάρτη της Ελλάδος με τις ενεργές κατολισθήσεις.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ



Εικόνα 5.5 Αστοχία σε σπίτι



Εικόνα 5.6 Ρωγμή σε σπίτι του Μετσόβου



Εικόνα 5.8 Ανωμαλίες εδάφους δίπλα στον οικισμό



Εικόνα 5.9 Έντονη ανωμαλία εδάφους που δείχνει την μετακίνηση



Εικόνα 5.13 Λοφώδεις επιφάνειες με τεμάχ
γαμμίτη όπου φαίνεται έντονα η μετακίνηση



Εικόνα 5.15 Αστοχία στο τοιγάκι



Εικόνα 5.16 Αστοχία στον δρόμο



Εικόνα 5.19 Πηγή στα όρια του οικισμού το Μετσόβου



Εικόνα 5.20 Ρυάκι πίσω από το φούσκωμα



Ball, T., Cook, B., Levin, V., & Rajamani, S. K. (2004). *SLAM and Static Driver Verifier : Technology Transfer of Formal Methods inside Microsoft*. 1–2.

Choi, K., Lee, I., Mapping, R., Georeferencing, R., & Zealand, N. (2011). *A UAV BASED CLOSE-RANGE RAPID AERIAL MONITORING SYSTEM FOR. XXXVIII*(September), 14–16.

Eker, R., Ayd, A., & Hübl, J. (2018). *Unmanned aerial vehicle (UAV) -based monitoring of a landslide : Gallenzerkogel landslide (Ybbs-Lower Austria) case study*.

Giordan, D., Manconi, A., Tannant, D. D., Allasia, P., Giordan, D., Manconi, A., & Allasia, P. (2015). *UAV : low-cost remote sensing for high-resolution investigation of landslides*. (July).
<https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7327042>

Highland, B. L. M., States, U., & Survey, G. (n.d.). *The Landslide Handbook — A Guide to Understanding Landslides*.

Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167–194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>

Karantanellis, E. (n.d.). *SK_RemoteSensing*.

Karantanellis, E., Marinos, V., & Papathanassiou, G. (2019). *Multitemporal Landslide Mapping and Quantification of Mass Movement in Red Beach, Santorini Island Using Lidar and UAV Platform* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93124-1>

Lindner, G., Schraml, K., Mansberger, R., & Hübl, J. (2016). UAV monitoring and documentation of a large landslide. *Applied Geomatics*, 8(1), 1–11.
<https://doi.org/10.1007/s12518-015-0165-0>

Marinos, V. (n.d.). *ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ 6 ο Μάθημα Ευστάθεια πρανών*.

Marinos, V., Marinos, P., & Hoek, E. (2010). Geological Strength Index (GSI). A characterization tool for assessing engineering properties for rock masses.

Underground Works under Special Conditions, (July), 13–21.

<https://doi.org/10.1201/noe0415450287.ch2>

Rau, J. Y., Jhan, J. P., Lo, C. F., & Lin, Y. S. (2011). *LANDSLIDE MAPPING USING IMAGERY ACQUIRED BY A FIXED-WING UAV*. XXXVIII(September), 14–16.

Scaioni, M., Longoni, L., Melillo, V., & Papini, M. (2014). *Remote Sensing for Landslide Investigations: An Overview of Recent Achievements and Perspectives*. 1–53. <https://doi.org/10.3390/rs60x000x>

Turner, D., Lucieer, A., & Jong, S. M. De. (2015). *Time Series Analysis of Landslide Dynamics Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. 1736–1757. <https://doi.org/10.3390/rs70201736>

Varnes, D. J. (1945). *Landslide Types and Processes*.

Vtol, L., Aerial, U., Uav, V., Gu, H., Lyu, X., Li, Z., ... Zhang, F. (2017). *Development and Experimental Verification of a Hybrid Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. (November). <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2017.7991420>

Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). Geomorphology ‘ Structure-from-Motion ’ photogrammetry : A low-cost , effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

Ελληνική Βιβλιογραφία

Κούκης, Σαμπατακάκης, (2007). Γεωλογία Τεχνικών Έργων.: Εκδόσεις Παπασωτηρίου
Μουντράκης Δ.Μ, (2010) Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδόσεις:
University Studio Press



Διαδικτυακές Πηγές

<https://altigator.com/digital-orthophotography-orthophoto-or-orthoimage/>

<https://blog.dronedeploy.com/what-are-ground-control-points-gcps-and-how-do-i-use-them-4f4c3771fd0b>

<https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/what-is-drone-technology-or-how-does-drone-technology-work/>

<http://droneradioshow.com/yi-technologys-sleek-tri-copter-drone-ye-song-co-founder-yi-technology/><https://www.photomodeler.com/kb/uav-drone-flight-planning-control/>

<https://www.theuav.com/>

<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/drone>

<http://mydronelab.com/blog/types-of-military-drones.html>

<http://www.vintagewings.ca/VintageNews/Stories/tabid/116/articleType/ArticleView/articleId/484/The-Mother-of-All-Drones.aspx>

https://www.geocaching.com/geocache/GC66XNX_nisene-marks-landslide

http://geophysics.geo.auth.gr/ss/REAL_TIME_MAPS/index.htm

<http://historyofgeology.fieldofscience.com/2010/09/11-september-1881-landslide-of-elm.html>

<https://www.mdpi.com/2072-4292/7/2/1736/htm>

https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/climatemodelled/metsovo_greece_257083

http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/5146/4/Nimertis_Laggouras-Tsolka%28geo%29.pdf

http://www.weatherwizkids.com/?page_id=1326

<https://www.unmannedsystemstechnology.com/2018/04/new-commercial-quadcopter-uav-features-40-minute-flight-time/>

https://3dparks.wr.usgs.gov/grte/html/gros_ventre_slide133.htm

