ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α. ΓΡΕΝΔΑΣ
Πτυχιούχος Γεωλογίας

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2016

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α. ΓΡΕΝΔΑΣ
Πτυχιούχος Γεωλογίας

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού προγράμματος Σπουδών «Εφαρμοσμένη και περιβαλλοντική γεωλογία»
Τομέας Γεωλογίας

Ημερομηνία προφορικής εξέτασης: 20/12/2016

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή

Μαρίνος Βασίλειος, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Επιβλέπων
Δρ. Γκανάς Αθανάσιος, Διευθυντής Ερευνών, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
Παπαθανασίου Γεώργιος, Ερευνητής, Τμήμα Γεωλογίας

Μέλη εξεταστικής επιτροπής

Μαρίνος Βασίλειος, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Επιβλέπων
Χρηστάρας Βασίλειος, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας
Δρ. Γκανάς Αθανάσιος, Διευθυντής Ερευνών, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Νº

© Νικόλαος Α. Γρένδας, 2016
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

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.

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ **5**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ **6**

ABSTRACT **7**

1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ **8**

1.1. Ταξινόμηση αστοχιών κατά Varnes 10

2. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΟΝΗΣΕΙΣ **14**

2.1. Μελέτη περίπτωσης «Ο σεισμός του Wenchuan, Κίνα» 21

2.2. Μελέτη περίπτωσης «Σεισμός Αϊτής» 22

2.3. Μελέτη περίπτωσης “Σεισμός στην Aratozawa, Ιαπωνία” 24

2.4. Μελέτη περίπτωσης “Οι σεισμοί του 2014 στην Κεφαλονιά, Ελλάδα” 27

2.5. Μελέτη περίπτωσης “Ο σεισμός του 2003 στην Λευκάδα, Ελλάδα” 28

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ **30**

4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ «Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΟΥ 2015 ΣΤΗΝ ΛΕΥΚΑΔΑ» **40**

4.1. Γεωλογικές αστοχίες προκαλούμενες από την σεισμική δόνηση του 2015 43

5. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ **46**

5.1. Γεωλογικά στοιχεία 46

5.2. Τεκτονικά στοιχεία 49

6. ΜΕΘΟΔΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ UAV (Unmanned Aerial Vehicle – Μη Επανδρωμένο Αερόχημα) **52**

6.1. Φωτογραμμετρία με την χρήση UAV για την περίπτωση της Λευκάδας 54

6.2. Επεξεργασία των φωτογραφιών που λήφθηκαν μέσω της χρήσης UAV για την περίπτωση της Λευκάδας 55

7. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ **58**

7.1. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή «Γιαλός» 58

7.1.1. Γεωλογικές συνθήκες 58

7.1.2. Υδρογεωλογικές συνθήκες 59

7.1.3. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες 59

7.2. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή «Εγγρεμνοί» 68

7.2.1. Γεωλογικές συνθήκες 68
7.2.2. Υδρογεωλογικές συνθήκες 68
7.2.3. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες 68

8. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΤΗΝ ΛΕΥΚΑΔΑ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΓΓΡΕΜΝΟΙ ΚΑΙ ΓΙΑΛΟΣ 77

8.1. Σύστημα ταξινόμηση GSI (Geological Strength Index) 78

8.2. Βαθμός αποσάθρωσης βραχόμαζας 80

8.3. Σύστημα ταξινόμησης αντοχής IRS (Intact Rock Strength) 81

8.6.1. Δριμύτητα αστοχιών 93

8.7.1. Δριμύτητα αστοχιών 107

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 110

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 114

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 121

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης, στο τμήμα γεωλογίας, στον τομέα γεωλογίας (εργαστήριο τεχνικής γεωλογίας και υδρογεωλογίας). Μέσω του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών μου δόθηκε η δυνατότητα να εντρυφήσω σε έννοιες της τεχνικής γεωλογίας τις οποίες μελέτησα για πρώτη φορά κατά το προπτυχιακό επίπεδο, στο μάθημα της τεχνικής γεωλογίας. Οι γνώσεις και οι εμπειρίες τις οποίες απέκτησα κατά το διάστημα του μεταπτυχιακού προγράμματος είναι πλέον «εργαλεία» για την μετέπειτα σταδιοδρομία μου στον επαγγελματικό κλάδο.

Για τους παραπάνω λόγους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βασίλη Μαρίνο για τις γνώσεις, την συμπαράσταση και βοήθεια που μου παρείχε κατά την διάρκεια των σπουδών αλλά και της εκπόνησης της παρούσας εργασίας, τόσο σε ακαδημαϊκό όσο και σε περισσότερο οικείο επίπεδο. Θα ήθελα να τονίσω επίσης ότι κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών, ο κ. Βασίλης Μαρίνος μου εμπιστεύθηκε την ανάθεση τμημάτων εργασιών τα οποία οδηγήθηκαν σε δημοσίευση, πράγμα για το οποίο είμαι ιδιαίτερα χαρούμενος και ευγνώμων. Γι' αυτόν το λόγο δούλεψα σκληρά και με όρεξη ώστε να αποδώσω ένα υπέρ του δέοντος ικανοποιητικό κομμάτι εργασίας.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αθανάσιο Γκανά για τις πολλές και χρήσιμες γεωλογικές γνώσεις και πληροφορίες που μου παρείχε τόσο όσον αφορά την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας, Λευκάδα, όσο και σε γενικό γεωλογικό επίπεδο.

Επίσης, ευχαριστώ τον Καθηγητή κ. Χρηστάρα Βασίλειο για την συμμετοχή του στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Γιώργο Παπαθανασίου και τον Σωτήρη Βαλκανιώτη για την αμέριστη βοήθεια και συμβουλευτική δράση που μου παρείχαν τόσο κατά το στάδιο της υπαίθριας έρευνας όσο και κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Σημαντική υπήρξε, ακόμη, η βοήθεια του Γιάννου Γρένδα ο οποίος κατέχει την χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος *Generic Mapping Tools version 4.5.3 (www.soest.hawaii.edu/gmt, Wessel and Smith, 1998),* μέσω του οποίου μου παρείχε δεδομένα.

Τέλος, η εργασία αυτή δεν θα είχε πραγματοποιηθεί χωρίς την συμπαράσταση των γονιών μου Μπούλα και Σάκη και του αδερφού μου Γιάννου, οι οποίοι με στηρίζουν αδιάκοπα σε όλη την πορεία της σταδιοδρομίας μου.

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής για την περιοχή της Λευκάδας που εκπονήθηκε κατά τους θερινούς μήνες στα πλαίσια των μεταπτυχιακών σπουδών στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.) αφορά την τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση και την αποτύπωση κατολισθήσεων στις περιοχές «Εγγρεμνοί» και «Γιαλός» οι οποίες "πλήγηκαν" από τη ισχυρή σεισμική δόνηση της Λευκάδας στις 17 Νοεμβρίου, 2015. Η υπαίθρια συλλογή δεδομένων που πραγματοποιήθηκε αφορά στην γεωλογική χαρτογράφηση, τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση, αποτύπωση αστοχιών και των τύπων τους και χαρτογράφηση της δριμύτητάς τους. Επίσης εξετάστηκε η χρήση της τεχνολογίας UAV (Unmanned Aerial Vehicle) με σκοπό την πιο αναλυτική τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση και αποτύπωση δομών, κυρίως των κατολισθήσεων ή βραχοκαταπτώσεων.

Διαθέσιμα στοιχεία για την συγκεκριμένη εργασία αποτέλεσαν α) οι αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν μέσω του αεροχήματος DJI Phantom 3 Professional, β) τα δεδομένα τα οποία εξήχθησαν από αυτές και γ) οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν κατά την υπαίθρια έρευνα στο διάστημα 10-15/07/2016.

Η εργασία αυτή αποτελείται από 2 μέρη, εκ των οποίων το πρώτο μέρος εμπεριέχει βιβλιογραφική επισκόπηση ενώ το δεύτερο περιλαμβάνει την παράθεση νέων δεδομένων για την περιοχή της Λευκάδας.

Το πρώτο μέρος αποτελείται από 5 κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής αναφορά στις κατολισθήσεις ως φυσικό φαινόμενο και στην ταξινόμηση αυτών. Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στις κατολισθήσεις που προκαλούνται από σεισμικές δονήσεις και παρουσιάζονται παραδείγματα μελετών από περιστατικά σεισμικών δονήσεων ανά τον κόσμο. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται πληροφορίες όσον αφορά την μελέτη και έρευνα των κατολισθήσεων καθώς επίσης και μεθοδολογίες αποτύπωσης αυτών. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην μελέτη περίπτωσης του σεισμού του Νοεμβρίου του 2015 στην Λευκάδα και στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται βιβλιογραφικά γεωλογικά στοιχεία για την Λευκάδα.

Το δεύτερο μέρος αποτελείται από 5 κεφάλαια. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο σκοπό και στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Στο έβδομο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά το στάδιο της υπαίθριας έρευνας. Στο όγδοο κεφάλαιο αναφέρονται στοιχεία που αφορούν την μέθοδο χρήσης της τεχνολογίας UAV και στο ένατο κεφάλαιο αναλύονται τα τεχνικογεωλογικά στοιχεία για την περιοχή του «Γιαλού» και για την περιοχή των «Εγγρεμνών».

Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας ενώ στο παράρτημα παρουσιάζονται εικόνες που αφορούν τις θέσεις μελέτης.

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ABSTRACT

The subject of the present MSc Thesis is the detailed mapping of "Eggremnoi" and "Gialos" areas of the island of Lefkada. The field data collection which was performed regards the geological and engineering geological mapping, the mapping of failures and of their types and characterization of their severity. Moreover, it was examined the use of UAV technology (Unmanned Aerial Vehicle) aiming at a more detailed engineering geological and structure mapping, mainly of slope stability failures and of rock falls.

The available data for the specific project are a) aerial photographs which were taken through the drone DJI Phantom 3 Professional, b) information exported from those photographs, c) information collected through the outdoor research through the time period 10-15/07/2016.

This project consists of 2 parts, of which the first part includes bibliographical data while the second part includes the apposition of new data for Lefkada area.

The first part includes 5 chapters. In the first part is performed an extensive reference to landslides and their types. In the second chapter is performed a reference to landslides which caused by earthquakes and presented examples of case studies from international earthquakes events. In the third chapter data concerning study and research of landslides as methodologies for their mapping are presented. In the fourth chapter a reference for the case study of Lefkada landslide event in November 2015 is performed and in the fifth chapter, bibliographical geological data are presented for the island of Lefkada.

The second part includes 5 chapters. In the sixth part a reference on the aim and the subject of the present MSc Thesis is performed. In the seventh chapter the methodology which is performed at the stage of field research is descripted. In the eighth chapter, data concerning the usage method of UAV technology are presented and in the ninth chapter, engineering geological data for the "Gialos" and "Eggremnoi" area are analysed.

Eventually, the conclusions of the thesis are collocated while in the Appendix presented photographs concerning the study locations.

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

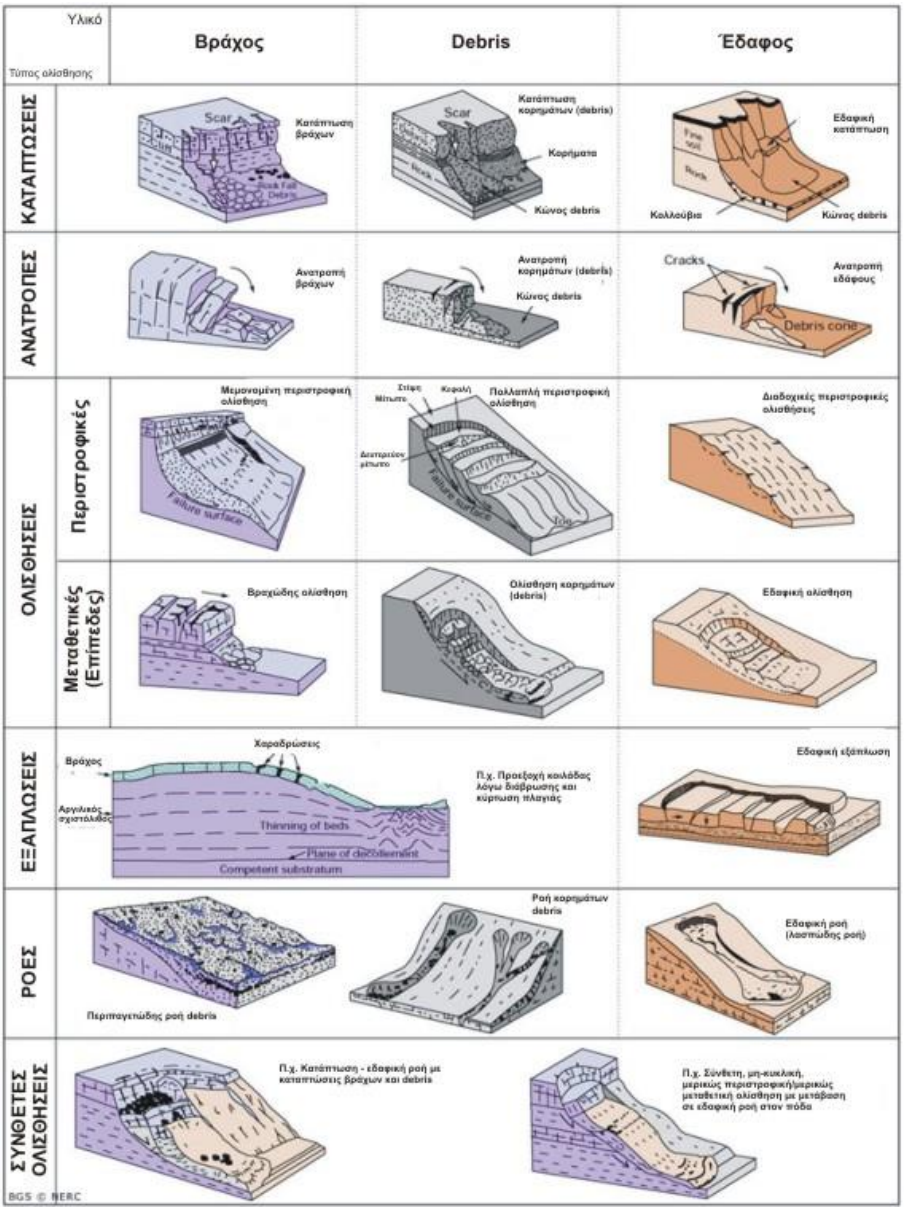
1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Η κατολίσθηση ως γεγονός αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο είναι δυνατό να πλήξει ανθρώπινες κατασκευές και το σημαντικότερο, ανθρώπινες ζωές. Η ανάγκη του ανθρώπου για την αντιμετώπισή της προκαλεί την εντατική μελέτη και εργασία των επιστημόνων και ερευνητών. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί θεωρίες και μοντέλα από διάφορους μελετητές τα οποία φαίνονται πολύ χρήσιμα για την επικείμενη μελέτη των κατολισθήσεων. Οι ανάστροφες αναλύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί για μεγάλες κατολισθήσεις του παρελθόντος, έχουν δώσει πλήθος δεδομένων τα οποία είναι προσβάσιμα στην διεθνή βιβλιογραφία και αποτελούν οδηγό και εργαλεία για την μελέτη των κατολισθήσεων.

Οι ορισμοί που έχουν προταθεί κατά καιρούς για τον όρο «κατολίσθηση» από διάφορους ερευνητές, προσπαθούν να προσεγγίσουν την πληρέστερη περιγραφή για αυτό το φυσικό φαινόμενο. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί ορισμοί για τον όρο «κατολίσθηση» μεταφρασμένοι από τους Κούκη & Σαμπατακάκη (2007):

- Σύμφωνα με τον Terzaghi (1950), η κατολίσθηση είναι «μία γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού (residual) εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω»
- Σύμφωνα με τους Zaruba και Mencl (1969) η κατολίσθηση είναι «μία γρήγορη κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση ενός τμήματος πρανούς που διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μία καλά καθορισμένη επιφάνεια»
- Σύμφωνα με τον Varnes (1978) η μετακίνηση μαζών (mass movements) είναι «η μετακίνηση τμήματος πρανούς που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό»

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί η ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes (1978) καθώς μέχρι σήμερα επικρατεί ως η πληρέστερη (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007). Παρακάτω παρουσιάζονται οι ορισμοί των κατολισθητικών φαινομένων όπως αναφέρονται από τον Varnes (1978) και μεταφράστηκαν από τους Κούκη & Σαμπατακάκη (2007). Η κατηγοριοποίηση βασίζεται κυρίως στην φύση του υλικού (βράχος, έδαφος) και στον τύπο μετακίνησης και δευτερευόντως, σε άλλους παράγοντες όπως η εσωτερική διατάραξη υλικού και το ποσό νερού που εμπεριέχεται (Varnes, 1978). Στο **Σχήμα 1** φαίνεται η κατάταξη κατά Varnes (1978).



Σχήμα 1. Τύποι κατολισθήσεων (Varnes 1978, τροποποιημένο από τους Cruden & Varnes 1996)

Με σκοπό την ανάλυση των κατολισθήσεων και την ταξινόμηση αυτών, είναι αναγκαίο να υπάρχει ένα βασικό επίπεδο για τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται, ώστε να αποκλείονται οι παρερμηνείες. Έτσι αρχικά, θα πρέπει να αναφερθεί ο ορισμός του υποβάθρου καθώς επίσης και του εδάφους σύμφωνα με τους Κούκη & Σαμπατακάκη (2007). Έτσι, υπόβαθρο (bedrock) ονομάζεται:

«Η μάζα εκείνη η οποία πριν από την εκδήλωση της κατολίσθησης ήταν ένα σκληρό συνεκτικό πέτρωμα που βρισκόταν από γεωλογική άποψη στην φυσική του θέση»

Ενώ έδαφος (soil) ονομάζεται:

«Τα χαλαρά ή ασθενώς συνδεδεμένα συσσωματώματα ορυκτών και πετρωμάτων που έχουν προκύψει από αποσάθρωση, διάβρωση και μεταφορά προϋπαρχόντων πετρωμάτων ή από την επί τόπου αποσάθρωσή τους»

1.1. Ταξινόμηση αστοχιών κατά Varnes

- **Καταπτώσεις βράχων (rock falls):** «*Μάζα (κυρίως πετρώματος αλλά και συνεκτικού εδάφους) οποιουδήποτε μεγέθους, αποσπάται από ένα απότομο εδαφικό ή βραχώδες πρανές, κατά μήκος μιας επιφάνειας, χωρίς ή ελάχιστη διατμητική μετατόπιση και η πτώση γίνεται κυρίως ελεύθερα, με αναπήδηση ή κύλιση στην επιφάνεια του πρανούς. Η μετακίνηση είναι πολύ έως εξαιρετικά γρήγορη και είναι δυνατόν να έχουν προηγηθεί αυτής μικρότερες μετακινήσεις που οδήγησαν στον προοδευτικό αποχωρισμό της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα*»

Οι καταπτώσεις βράχων πραγματοποιούνται σε πρανή των οποίων η κλίση κυμαίνεται από 4:1 έως 1:1 (ύψος πρανούς: βάση πρανούς), όπου για κλίση >4:1 πραγματοποιείται ελεύθερη πτώση (free falling) των τεμαχών ενώ όσο η κλίση μειώνεται, τα τεμάχη αναπηδούν (bouncing) και τέλος κυλούν (rolling). Πρέπει να αναφερθεί ακόμη ότι οι καταπτώσεις πραγματοποιούνται κυρίως σε σχηματισμούς με εναλλαγές πετρωμάτων (π.χ. εναλλαγές ιλυόλιθου – ψαμμίτη) καθώς η διαφορική διάβρωση των 2 σχηματισμών δημιουργεί εξάρματα τα οποία αποκολλώνται λόγω βαρύτητας. Δευτερευόντως, είναι πιθανή η αποκόλληση τεμαχών σε συμπαγή πετρώματα λόγω ρωγμών που προκύπτουν από προϋπάρχουσες ασυνέχειες και οι οποίες διευρύνονται λόγω της δράσης του νερού ή της αποτόνωσης της βραχόμαζας (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

- **Ανατροπές βράχων (rock topples):** «*Οι ανατροπές πραγματοποιούνται με μία περιστροφική κίνηση προς τα έξω της αποσπώμενης μάζας από ένα βραχώδες κυρίως πρανές, γύρω από σημείο ή άξονα περιστροφής που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας. Προκαλείται κυρίως από την βαρύτητα και από τις δυνάμεις που ασκούνται από γειτονικά τεμάχη ή από την επίδραση του νερού (υδροστατικές πιέσεις, παγετός) που γεμίζει τις ασυνέχειες και ρωγμές*»

Οι ανατροπές είναι δυνατόν να διακριθούν σε υποκατηγορίες, όσον αφορά τους βραχώδεις σχηματισμούς, καθώς σε κάθε περίπτωση ο μηχανισμός είναι διαφορετικός. (Hoek & Bray, 1977).
Έτσι, διακρίνεται i) η *ανατροπή λόγω κάμψης (flexural toppling)* η οποία πραγματοποιείται σε σκληρά πετρώματα όταν αυτά διαχωρίζονται σε κολώνες λόγω ενός μοναδιαίου συστήματος υποκατακόρυφων ασυνεχειών (ασβεστόλιθος, ψαμμίτης, ηφαιστίτης κ.α.). Διακρίνεται ii) η *ανατροπή τεμαχών (block toppling)* για την πραγματοποίηση της οποίας είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός υποκατακόρυφου συστήματος ασυνεχειών και ενός συστήματος ασυνεχειών κάθετο στο προηγούμενο. Διακρίνεται iii) η *ανατροπή τεμαχών λόγω κάμψης (block - flexural toppling)* η οποία πραγματοποιείται σε λεπτοστρωματώδη πετρώματα (π.χ. σχιστόλιθοι) όταν αυτά κάμπτονται σημαντικά κατά μήκος μίας καλά ορισμένης επιφάνειας ολίσθησης. Τέλος, διακρίνονται iv) οι *δευτερογενείς ανατροπές (secondary toppling)* οι οποίες έχουν ως εφαλτήριο την υποσκαφή της βάσης του πρανούς λόγω φυσικών διεργασιών. Η

αστοχία σε αυτήν την περίπτωση ξεκινά ως ολίσθηση και σε δεύτερο χρόνο εξελίσσεται σε ανατροπή (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

- **Ολισθήσεις (slides):** «*Στις ολισθήσεις, η μετακίνηση προϋποθέτει κυρίως διατμητική παραμόρφωση και μετατόπιση – θραύση του υλικού κατά μήκος μιας ή περισσότερων επιφανειών, που μπορεί να είναι ορατές ή όχι και να εκδηλώνονται μέσα σε μία σχετικά στενή ζώνη. Η μετακίνηση μπορεί να είναι προοδευτική, δηλαδή η διατμητική θραύση να μη συμβαίνει ταυτόχρονα σε όλη την επιφάνεια που θα αποτελέσει τελικά την επιφάνεια θραύσης, αλλά να επεκτείνεται διαδοχικά πέρα από την αρχική περιοχή τοπικής θραύσης. Η μάζα που μετατοπίζεται μπορεί να ολισθήσει προς τα κατάντη απομακρυνόμενη από την αρχική επιφάνεια θραύσης*»

Πρέπει να σημειωθεί ότι η επιφάνεια ολίσθησης είναι δυνατόν να δημιουργείται λόγω θραύσης του συμπαγούς υπάρχοντος υλικού ή ακόμη να είναι προκαθορισμένη χωρίς να παρατηρείται πρωτογενής θραύση του υλικού λόγω της ύπαρξης σχιστότητας ή στρώσης του γεωλογικού σχηματισμού. Έτσι η ολισθαίνουσα μάζα μπορεί να κινηθεί αναλλοίωτη επάνω στην προκαθορισμένη επιφάνεια ή ακόμη να διαχωριστεί σε επιμέρους τμήματα (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

Οι ολισθήσεις διακρίνονται σε περιστροφικές και μεταθετικές:

  - **Περιστροφικές ολισθήσεις (rotational slides):** «*Οι περιστροφικές ολισθήσεις πραγματοποιούνται συνήθως κατά μήκος κοίλων προς τα πάνω επιφανειών με μικρή παραμόρφωση στο εσωτερικό της μετακινούμενης μάζας. Το ανώτερο τμήμα της μετακινούμενης μάζας κινείται σχεδόν κατακόρυφα προς τα κάτω με μία μικρή κάμψη προς τα πίσω, λόγω της περιστροφικής κίνησης, ενώ στη βάση της μετακινούμενης μάζας παρατηρείται ανύψωση (φούσκωμα). Οι περιστροφικές ολισθήσεις ονομάζονται και slumps*»

Όσον αφορά τις περιστροφικές ολισθήσεις, πρέπει να αναφερθεί ότι η ολίσθηση πραγματοποιείται σε μία κυλινδρική επιφάνεια και ότι το μήκος της έχει σχέση με το βάθος 3:1 - 7:1. Ακόμη, σε ιδιαίτερα ασυνεχείς βραχόμαζες, δηλαδή βραχόμαζες με πολλά συστήματα ασυνεχειών, είναι δυνατόν να παρατηρηθεί αυτός ο τύπος αστοχίας καθώς η βραχόμαζα πλέον λειτουργεί ως ισότροπο υλικό (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

  - **Μεταθετικές ολισθήσεις (translational slides):** «*Στις μεταθετικές ολισθήσεις η μάζα που αποσπάται από το πρανές μετακινείται προς τα έξω, κατά μήκος μιας κατά προσέγγιση επίπεδης ή ομαλής – κυματοειδούς επιφάνειας με πολύ μικρή ή καθόλου περιστροφική κίνηση ή κάμψη. Συνήθως , η μετακινούμενη μάζα ολισθαίνει και μετακινείται παράλληλα πάνω στην επιφάνεια ολίσθησης*»

Η διάκριση των μεταθετικών ολισθήσεων από τις περιστροφικές είναι καίριας σημασίας καθώς οι μεταθετικές ολισθήσεις είναι δυνατόν να εκτείνονται σε μήκος λόγω της μικρής διατμητικής αντίστασης της επιφάνειας ολίσθησης σε σχέση με την δύναμη που ωθεί την ολίσθηση. Έτσι, σε μία μεταθετική ολίσθηση το μήκος της έχει σχέση με το βάθος 10:1 και το βάθος είναι μικρότερο της περιστροφικής ολίσθησης. Ακόμη, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η ποσότητα του νερού σε υλικά που προκαλούν μεταθετικές ολισθήσεις είναι σημαντική καθώς η αύξηση της περιεκτικότητας μπορεί να προκαλέσει την εξέλιξη της μεταθετικής ολίσθησης σε εδαφική ροή (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

- Οι βασικοί τύποι πλευρικών (lateral spreadings) εξαπλώσεων είναι οι εξής:

    - **Εξάπλωση τεμαχών (Block Spreads):** «*Οι βραχώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί που υπέρκεινται άλλων ασθενέστερων, διαχωρίζονται με κατακόρυφες ρωγμές σε τεμάχη. Το υποκείμενο υλικό συνθλίβεται και συχνά καλύπτει τις ρωγμές που δημιουργούνται. Η μετατόπιση κατανέμεται σε όλη την εκτεινόμενη μάζα, χωρίς όμως καλά καθορισμένη επιφάνεια διάτμησης ή κάποια ζώνη πλαστικής ροής που να ελέγχει τη μετακίνηση, η οποία τις περισσότερες φορές είναι εξαιρετικά αργή αλλά η επιφάνειά της κατά κανόνα πολύ μεγάλη (λωρίδες αρκετών χιλιομέτρων)*»

    - **Εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης (liquefaction spreads):** «*Πλευρικές μετατοπίσεις δημιουργούνται λόγω ολισθητικών κινήσεων υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών πάνω σε ρευστοποιημένα στρώματα είτε προς τα κάτω λόγω βαρύτητας, σε πρανή με κλίση μικρότερη των τριών μοιρών (Youd και Garris, 1995), είτε προς την κατεύθυνση ελεύθερης όψης, όπως σε θέσεις αναχωμάτων ποταμών (Kramer, 1996). Οι κινήσεις αυτές λαμβάνουν χώρα όταν η αντοχή του ρευστοποιήσιμου σχηματισμού δεν αρκεί για να αντισταθμίσει τις πλευρικές δυνάμεις οι οποίες ενεργούν στο υπερκείμενο μη ρευστοποιήσιμο επιφανειακό στρώμα (Kramer, 1996; Cooke και Mitchell, 1999)*» (Papathanassiou, 2006)

    - **Σύνθετες πλευρικές εξαπλώσεις (complex spreads):** «*Το φαινόμενο αυτό εκδηλώνεται ως έντονη παραμόρφωση σε σχεδόν οριζόντια επιφανειακά σκληρά και διερρηγμένα πετρώματα που υπέρκεινται παχιών στρωμάτων σκληρών ρωγματωμένων αργίλων ή μαλακών σχιστόλιθων τα οποία με τη σειρά τους υπέρκεινται κάποιου σκληρού βραχώδους υπόβαθρου*»

- Ροές εδαφών (flows): «*Οι ροές, υγρές ή ξηρές, γρήγορες ή αργές εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά. Αντίθετα, στο βραχώδες υπόβαθρο, οι αντίστοιχες μετακινήσεις περιλαμβάνουν τις πολύ αργές παραμορφώσεις που κατανέμονται ανάμεσα σε πολλές, κοντινές ρωγμές – διακλάσεις, καθώς και εκείνες που*

παρατηρούνται μέσα στη μάζα του πετρώματος και προέρχονται από κάμψη, πτύχωση ή διόγκωση»

Μία υποκατηγορία των ροών εδαφών η οποία όμως δεν ταξινομείται στις κύριες αστοχίες, είναι ο ερπυσμός (creep) εδάφους. Αυτού του τύπου η μετακίνηση αφορά συνήθως τα πρώτα 2-3 cm του εδάφους όμως σε λιγότερες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει τα 2-3 m και οφείλεται στην δράση της βαρύτητας (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).
Υπογραμμίζεται ακόμη ότι οι ροές αφορούν την μετακίνηση κάποιου ρευστού, συνεπώς το υλικό θα πρέπει να περιέχει ικανή ποσότητα νερού ώστε να συμπεριφέρεται ως ρευστό. Έχουν παρατηρηθεί όμως και ροές υλικών σε εντελώς ξηρούς σχηματισμούς, αστοχίες οι οποίες περιγράφονται ως πολύ καταστροφικές (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

- **Ροές βραχώδους υποβάθρου (bedrock flows):** «*Περιλαμβάνουν παραμορφώσεις της βραχόμαζας που κατανέμονται ανάμεσα σε πολλές και μικρές ή μεγάλες ρωγμές – διακλάσεις ή ακόμη μικρορωγμές, χωρίς εντοπισμό της μετατόπισης κατά μήκος μιας συγκεκριμένης επιφάνειας. Οι μετακινήσεις είναι εξαιρετικά αργές και λίγο πολύ σταθερές στο χρόνο*»

- **Ροές κορημάτων (debris flows):** «*Στα χαλαρά υλικά οι ροές αναγνωρίζονται αρκετά εύκολα σε σχέση με εκείνες στο βραχώδες υπόβαθρο, καθόσον οι μετατοπίσεις είναι σημαντικά μεγαλύτερες και πολύ πιο ευκρινείς. Επιφάνειες ολίσθησης μέσα στη μετακινούμενη μάζα δεν είναι ορατές*»

- **Σύνθετες μετακινήσεις πρανών (composite slides):** «*Σαν σύνθετες ολισθήσεις ταξινομούνται αυτές στις οποίες διαφορετικού τύπου μετακινήσεις γίνονται σε διαφορετικές περιοχές της ολισθαίνουσας μάζας, μερικές φορές ταυτόχρονα*»

Όσον αφορά τις σύνθετες μετακινήσεις πρανών, σημειώνεται ότι ιδιαίτερα επικίνδυνες είναι οι γρήγορες πτώσεις και ολισθήσεις βράχων – ροές κορημάτων, αστοχίες που αναφέρονται και ως *«χιονοστιβάδα από καταπτώσεις βράχων» (rock avalanches)* και μπορούν να φτάσουν τα 300 km/h. Ακόμη, εξαιρετικά σημαντικές είναι οι περιστροφικές ή μεταθετικές ολισθήσεις οι οποίες μεταπίπτουν σε ροές εδαφών και οι οποίες είναι πολύ συνηθισμένες στον ελληνικό χώρο (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

Από τις παραπάνω κατολισθητικές δομές επισημαίνεται ότι οι καταπτώσεις και οι ολισθήσεις διαταραγμένων εδαφών ενεργοποιούνται με μη ισχυρή σεισμική δόνηση ενώ οι βαθιές ολισθήσεις υλικών, οι πλευρικές εξαπλώσεις και οι ροές υλικών απαιτούν ισχυρότερες σεισμικές δονήσεις (Keefer, 1984).

2. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΟΝΗΣΕΙΣ

Πολύ τύποι εδαφικών αστοχιών σχετίζονται με μέτριου ή μεγάλου μεγέθους σεισμούς όπως επιφανειακές διαρρήξεις ρηγμάτων, κατολισθήσεις και ρευστοποιήσεις εδαφών (Papadopoulos & Plessa, 2000). Οι κατολισθήσεις είναι ένα από τα πιο καταστροφικά συνοδά φαινόμενα των ισχυρών σεισμικών δονήσεων ενώ πολλές φορές η καταστροφή που προκαλείται από τις κατολισθήσεις είναι πιο έντονη από την καταστροφή που προκαλείται από την ίδια την σεισμική δόνηση (Jibson et al., 2000).

Η μελέτη των κατολισθήσεων που προκαλούνται από σεισμικά γεγονότα προσανατολίζονται σε μεγάλο βαθμό στον συσχετισμό του μεγέθους της σεισμικής δόνησης (Magnitude-M) με διάφορους παράγοντες ή ακόμη στην συσχέτιση των διάφορων παραγόντων μεταξύ τους (Keefer, 1984, 2002, Xu et al. 2014, Havenith et al. 2016). Τέτοιοι παράγοντες είναι οι εξής (Keefer, 1984, 2002):

- Η έκταση της περιοχής που επηρεάζεται από κατολισθήσεις λόγω της σεισμικής δόνησης
- Η μέγιστη απόσταση των κατολισθήσεων από το επίκεντρο
- Η μέγιστη απόσταση των κατολισθήσεων από την επιφανειακή διάρρηξη του ρήγματος
- Η ελάχιστη σεισμική ένταση κατά την οποία προκαλούνται οι κατολισθήσεις

Πολλοί ερευνητές σε μελέτες τους όσον αφορά κατολισθήσεις που προκαλούνται από σεισμό, έχουν τονίσει την σύνδεση ανάμεσα στην κατανομή των κατολισθήσεων με τοπογραφικούς παράγοντες όπως απότομες ράχες. Μέσω της παρατήρησης της κατανομής των κατολισθήσεων μετά από σεισμό εξάγεται το συμπέρασμα ότι η προκαλούμενη ισχυρή εδαφική κίνηση ενισχύεται σε περιοχές με απότομη μορφολογία (Harp & Jibson, 2002, Jibson et al., 2000) ενώ αποσβένεται σε περιοχές με τη μορφή κοιλάδας όμως δεν υπάρχει ακόμη ενόργανη απόδειξη για το προαναφερόμενο συμπέρασμα (Harp et al., 2014).

Η μελέτη 40 μεγάλων και καταστροφικών σεισμών που συνέβησαν ανά τον κόσμο από τον Keefer (1984; 2002) βοήθησε στην εξαγωγή συμπερασμάτων και συσχετίσεων με τους προαναφερόμενους παράγοντες. Σύμφωνα με το Kieffer et al. (2006), οι προϋποθέσεις για την πραγματοποίηση κατολίσθησης είναι οι εξής:

- Η ύπαρξη ασθενούς και παραμορφωμένου γεωλογικού υλικού (Harp & Jibson, 2002)
- Εξαιρετικά υψηλή στάθμη υπόγειου νερού τόσο σε βάθος όσο και στα ανώτερα στρώματα
- Υψηλές τιμές ισχυρής εδαφικής κίνησης

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Σε πρώτο στάδιο, εξήχθη ένα συμπέρασμα όσον αφορά τα υλικά τα οποία είναι πιο επιδεκτικά σε κατολίσθηση προκαλούμενη από σεισμική δόνηση (Keefer, 1984). Έτσι, τέτοια υλικά είναι οι φτωχά συγκολλημένοι βραχώδεις σχηματισμοί, μεγαλύτερης αντοχής βραχώδεις σχηματισμοί με μεγάλης εμμονής ασυνέχειες οι οποίες ανατέλλουν στο πρανές, ακόρεστες υπολειμματικές και κολλούβιες άμμοι, ηφαιστειακά εδάφη τα οποία περιέχουν ασθενείς αργίλους, αιολικές αποθέσεις (loess), συγκολλημένα εδάφη, κοκκώδη αλλούβια εδάφη, κοκκώδεις δελταϊκές αποθέσεις και κοκκώδεις τεχνητές επιχώσεις (Keefer, 1984). Παρατηρήθηκε ακόμη ότι λίγες υπάρχουσες κατολισθήσεις ενεργοποιήθηκαν από ισχυρές σεισμικές δονήσεις (Jibson et al., 2000, Keefer, 1984). Μία εξήγηση για το προαναφερόμενο φαινόμενο δίνεται από τον Jibson et al. (1994) ο οποίος μαζί με την ομάδα του μελέτησαν κατολισθήσεις οι οποίες προκλήθηκαν από τον σεισμό του Racha (Δημοκρατία της Γεωργίας) στις 29 Απριλίου του 1991. Διαπιστώθηκε ότι το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα σε θέσεις παλιών κατολισθήσεων βρισκόταν αρκετά κοντά στην επιφάνεια του εδάφους καθώς εντόπισαν, για διάστημα μερικών εβδομάδων μετά την σεισμική δόνηση, στάσιμο νερό σε ανοικτές ρωγμές των κατολισθήσεων. Συνεπώς εξήχθη το συμπέρασμα ότι κατά την διάρκεια της σεισμικής δόνησης, ο συντελεστής ασφάλειας[1] σε θέσεις παλαιών κατολισθήσεων βρισκόταν ελαφρώς άνω της μονάδας ακόμη και με την άνοδο της στάθμης του υπόγειου ύδατος, με αποτέλεσμα να μην ενεργοποιηθούν οι παλαιές κατολισθήσεις.

Όσον αφορά τις προαναφερόμενες συσχετίσεις, η περιοχή που επηρεάζεται από κατολισθήσεις λόγω της σεισμικής δόνησης μπορεί να υπολογιστεί μέσω του **Σχήμα** 2 (Keefer, 1984). Μέσω του διαγράμματος μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι περιοχές αρχίζουν να επηρεάζονται για μέγεθος σεισμού M>4 ενώ η μέγιστη έκταση περιοχής είναι 500.000 Km^2 για M=9.2. Το συγκεκριμένο σχήμα έχει χρησιμοποιηθεί από ερευνητές για την μελέτη νεότερων σεισμών (Jibson & Harp, 2011, Jibson et al., 2004). Η εκάστοτε περιοχή που ορίζεται με βάση το προαναφερόμενο διάγραμμα, αποτελεί ένα συνολικό όριο γύρω από τις περιοχές οι οποίες εμφάνισαν κατολισθητικά φαινόμενα. Πρέπει να αναφερθεί ότι οι περιοχές αυτές είναι στις περισσότερες περιπτώσεις ασύμμετρες και ακαθόριστες στο σχήμα, κάτι το οποίο οφείλεται στην τεκτονική δομή της περιοχής (ρήγματα) και στο επίκεντρο (Keefer, 1984).

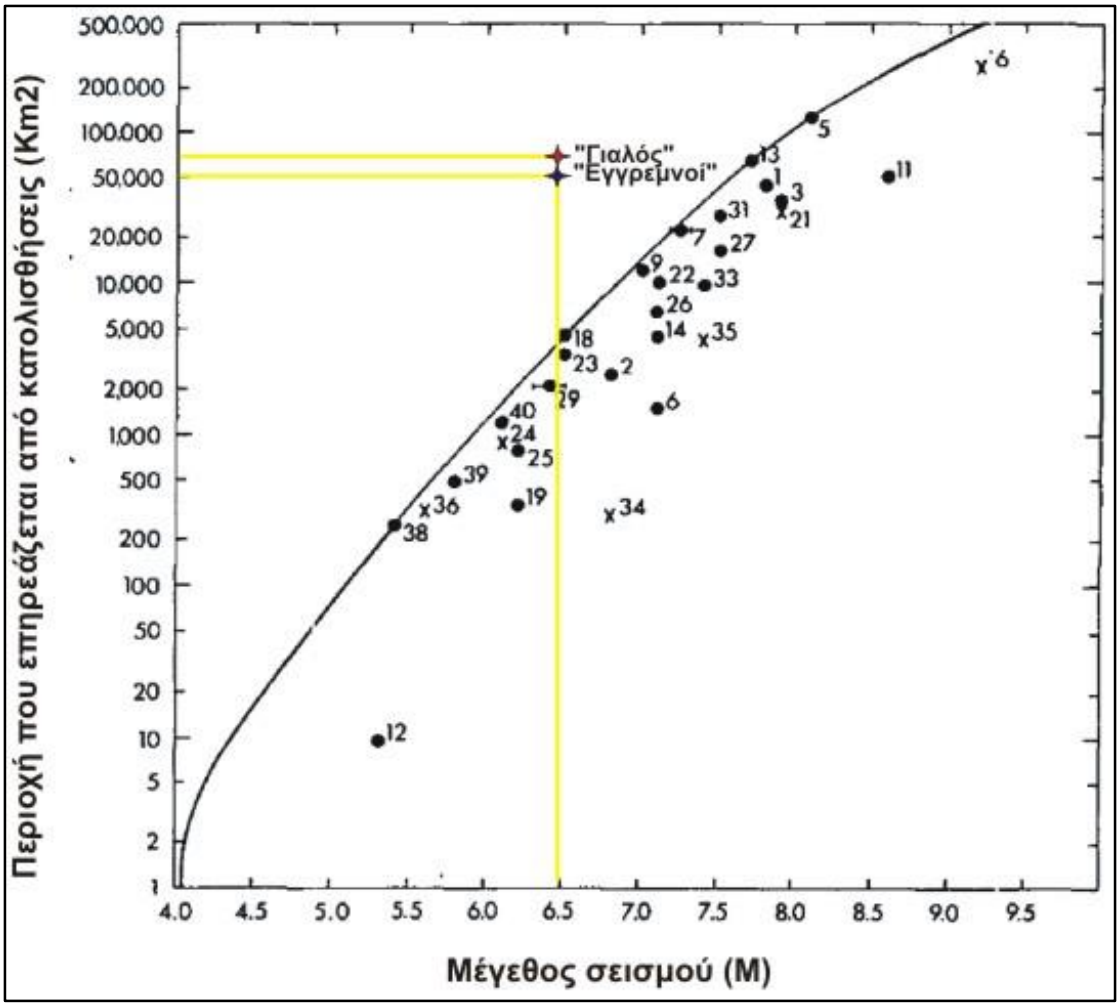
Σύμφωνα με τον Keefer (1984) και μέσω της μελέτης των 40 μεγάλων και καταστροφικών σεισμών εξήχθησαν τα παρακάτω συμπέρασμα:

- Για μέγεθος σεισμού M=4 προκαλούνται κυρίως καταπτώσεις βράχων, ολισθήσεις βράχων, εδαφικές καταπτώσεις και ολισθήσεις διαταραγμένων εδαφών

[1] Συντελεστής ασφάλειας ορίζεται ως ο λόγος με αριθμητή τις δυνάμεις ή τις συνιστώσες που αντιστέκονται σε ολίσθηση και παρονομαστή το σύνολό των δυνάμεων ή συνιστωσών που ωθούν σε ολίσθηση

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- Για μέγεθος σεισμού M=4.5 προκαλούνται κυρίως καθιζήσεις εδαφών και ολισθήσεις εδαφικών τεμαχών
- Για μέγεθος σεισμού M=5 προκαλούνται κυρίως καταπτώσεις βράχων, ολισθήσεις βραχωδών τεμαχών, αργές εδαφικές ροές, πλευρικές εδαφικές εξαπλώσεις, ακαριαίες ροές εδαφών και υποθαλάσσιες κατολισθήσεις
- Για μέγεθος σεισμού M=6 προκαλούνται κυρίως ροές βραχωδών υλικών
- Για μέγεθος σεισμού M=6.5 προκαλούνται εδαφικές ροές



Σχήμα 2. Στο σχήμα μπορούμε να παρατηρήσουμε την συσχέτιση του μεγέθους σεισμού με την έκταση η οποία επηρεάζεται από κατολισθήσεις. Το δείγμα για την εξαγωγή αυτού του σχήματος είναι 40 μεγάλοι και καταστροφικοί σεισμοί και η καμπύλη προσδιορίζει το άνω όριο της επηρεαζόμενης περιοχής. Παράλληλα παρατηρούμε την προβολή των δεδομένων για την παρούσα εργασία *(Keefer, 1984 τροποποιημένο από τον συγγραφέα, 2016)*

Στο **Σχήμα 3** μπορούμε να παρατηρήσουμε την συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων τύπων κατολισθήσεων με την απόστασή τους από το επίκεντρο του σεισμού (Keefer, 1984; 2002) ενώ στο **Σχήμα 4** παρατηρούμε την συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων ειδών κατολισθήσεων με την απόστασή τους από το ρήγμα – περιοχή διάρρηξης. Στο **Σχήμα 3** και **Σχήμα 4 (**περιοχή D) φαίνεται η σύγκριση μεταξύ των ανώτερων ορίων των αποστάσεων από το επίκεντρο και από το ρήγμα – περιοχή διάρρηξης, αντίστοιχα,

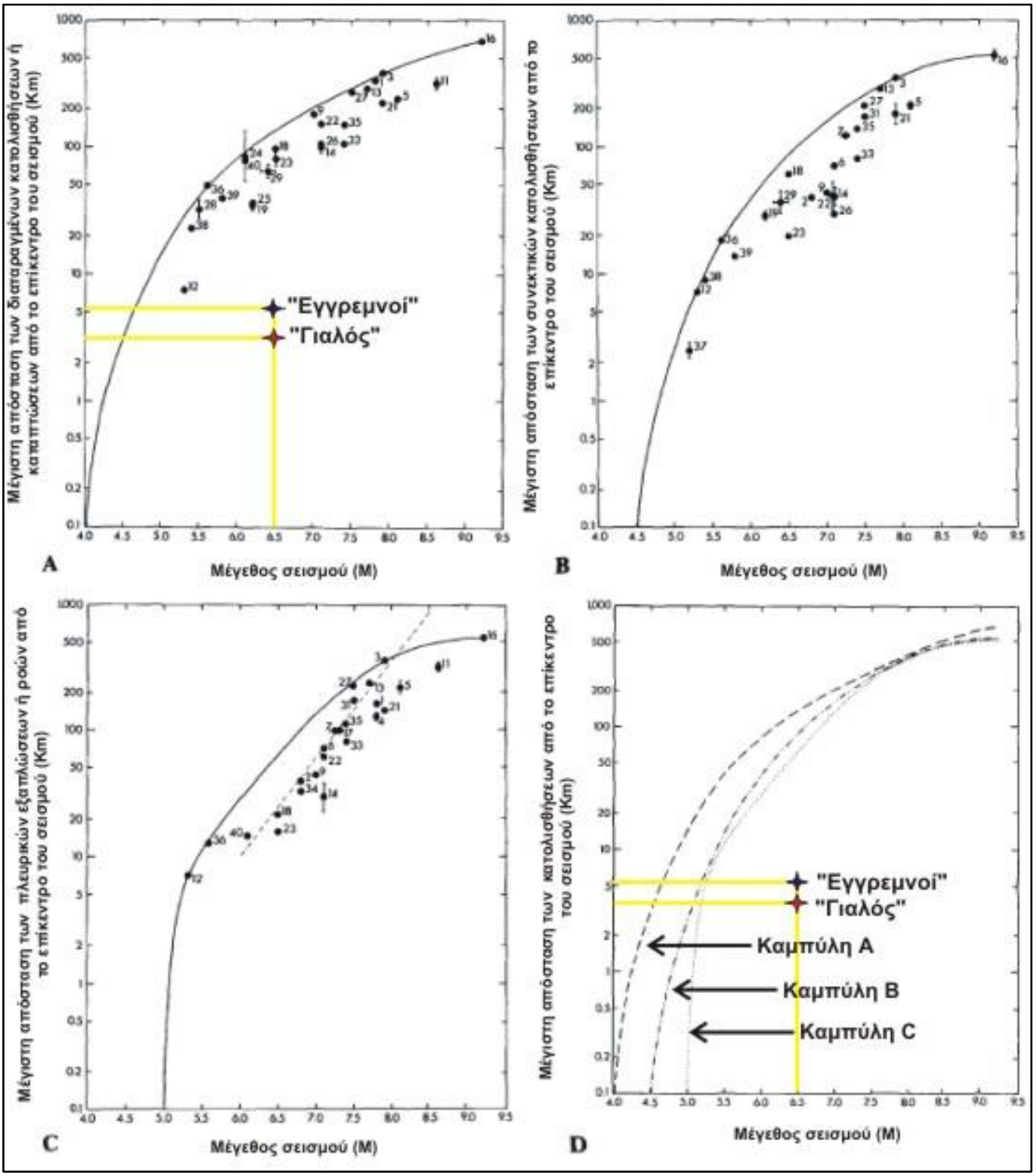
για τα κατολισθητικά γεγονότα. Έτσι παρατηρούμε ότι οι ολισθήσεις διαταγμένων υλικών και οι καταπτώσεις προκαλούνται από μικρότερες, σε μέγεθος, σεισμικές δονήσεις από τις ολισθήσεις συνεκτικών υλικών και ότι οι ολισθήσεις συνεκτικών υλικών προκαλούνται από μικρότερες σεισμικές δονήσεις από τις πλευρικές εξαπλώσεις και τις ροές.
Στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε προσπάθεια προβολής των δεδομένων για την περίπτωση της Λευκάδας στο **Σχήμα 2** και στα διαγράμματα του **Σχήμα 3** και πιο συγκεκριμένα στο διάγραμμα που αφορά τις διαταραγμένες κατολισθήσεις. Για την προβολή των σημείων υπολογίστηκαν οι αποστάσεις των περιοχών μελέτης από το επίκεντρο του σεισμού οι οποίες είναι 3.4 km για την περιοχή «Γιαλός» και 5.1 km για την περιοχή «Εγγρεμνοί». Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στο **Σχήμα 2** και στο **Σχήμα 3,** τα δεδομένα δεν βρίσκονται μέσα στο σύννεφο σημείων των 40 μελετημένων σεισμών, συνεπώς η χρήση των συγκεκριμένων διαγραμμάτων θα ήταν αναξιόπιστη για τις περιοχές μελέτης της παρούσας εργασίας. Σημειώνεται ότι δεν πραγματοποιήθηκε προβολή των δεδομένων στα διαγράμματα του **Σχήμα 4** καθώς δε θα ήταν αξιόπιστη η μέγιστη απόσταση των περιοχών μελέτης από τη διάρρηξη του ρήγματος.

Θα πρέπει να αναφερθεί επίσης η αντίστοιχη μελέτη των Papadopoulos & Plessa (2000) οι οποίοι μελέτησαν 47 περιπτώσεις σεισμών στον ελληνικό χώρο (1960 – 1996). Κατέληξαν στο διάγραμμα το οποίο συνδέει την επικεντρική απόσταση των κατολισθήσεων που προκαλούνται από σεισμό με το μέγεθος του σεισμού. Η εξίσωση της ευθείας είναι η εξής:

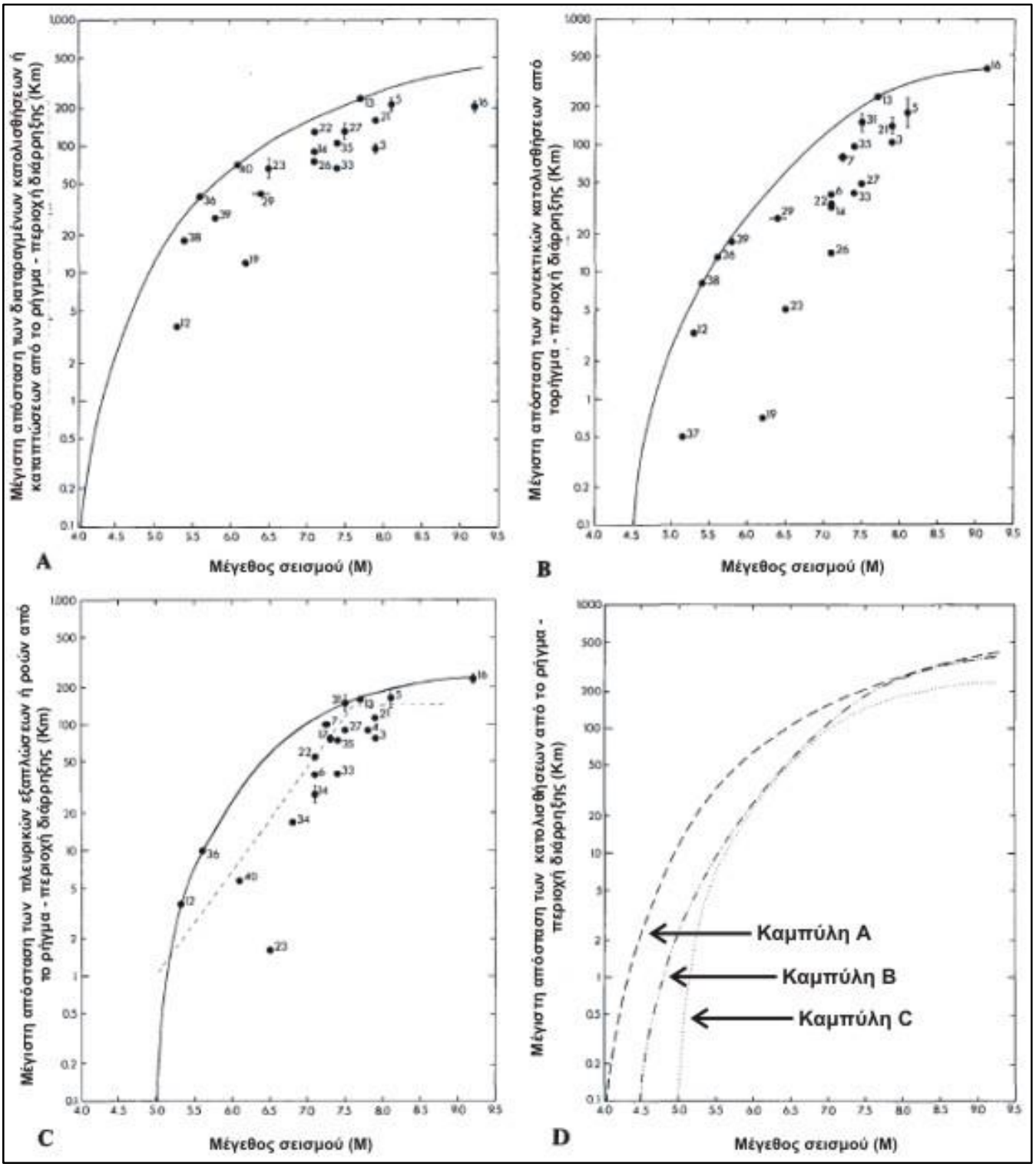
$$\log(Re)=-2.98+0.75Ms \qquad (1)$$

όπου Re είναι η απόσταση από το επίκεντρο εκφρασμένη σε χιλιόμετρα και Ms είναι το επιφανειακό μέγεθος του σεισμού

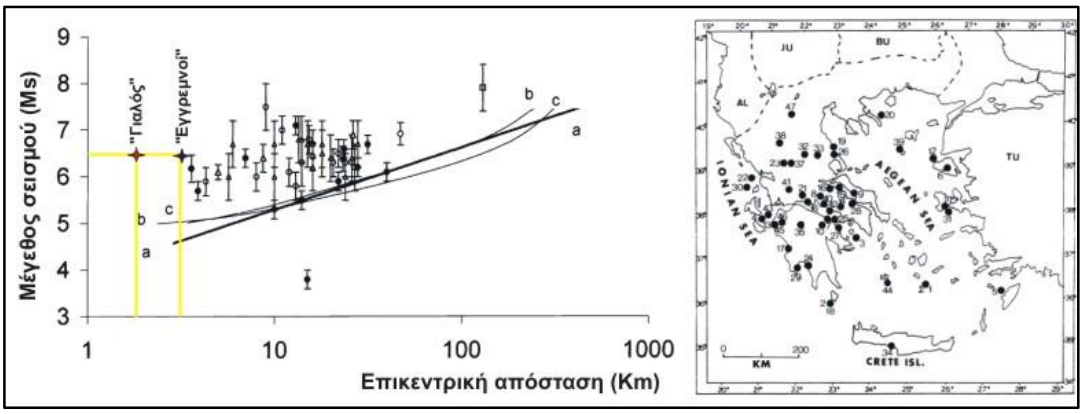
Οι αναφερμένοι σεισμοί έχουν μέγεθος το οποίο κυμαίνεται από 5.3 έως 7.9 Έπειτα, πραγματοποίησαν σύγκριση με τις ήδη υπάρχουσες εργασίες άλλων ερευνητών όπως του και του Keefer (1984) και του Ambraseys (1988). Στο **Σχήμα 5** παρατηρούμε ότι για μέγεθος σεισμού ίσο με 7, η ευθεία "a-a" συμπίπτει απόλυτα με την ευθεία του "c-c" του Keefer (1984) (Papadopoulos & Plessa, 2000).
Αντίστοιχα με την περίπτωση των **Σχήμα 3** πραγματοποιήθηκε προβολή των δεδομένων για τις περιοχές μελέτης. Παρατηρούμε ότι τα δεδομένα βρίσκονται κοντά στο σύννεφο των σημείων όμως η εξαγωγή συμπερασμάτων μέσω των υπολογισμένων καμπυλών δε θα έδινε αξιόπιστα αποτελέσματα.



Σχήμα 3. Μπορούμε να παρατηρήσουμε 4 διαφορετικά σχήματα τα οποία αφορούν την συσχέτιση διαφορετικών κατολισθητικών φαινομένων με την απόστασή τους από το επίκεντρο του σεισμού (δείγμα μελέτης – 40 σεισμοί). Στο σχήμα D φαίνεται η σύγκριση μεταξύ των ανώτερων ορίων των αποστάσεων από το επίκεντρο για τα κατολισθητικά γεγονότα. Παράλληλα παρατηρούμε την προβολή των δεδομένων για την παρούσα εργασία *(Keefer, 1984 τροποποιημένο από τον συγγραφέα, 2016)*

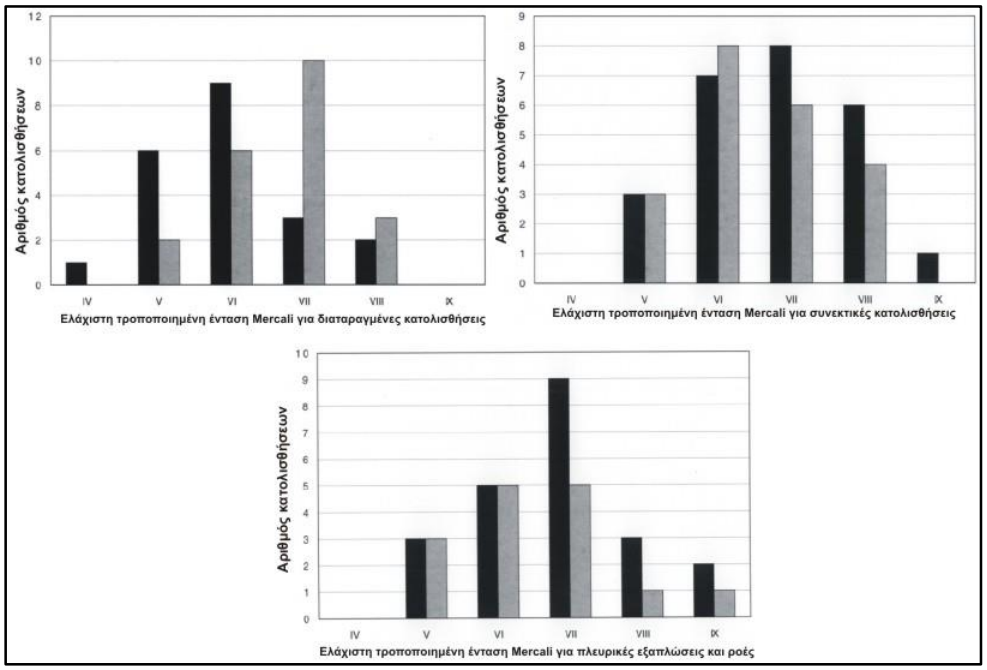


Σχήμα 4. Μπορούμε να παρατηρήσουμε 4 διαφορετικά σχήματα τα οποία αφορούν την συσχέτιση διαφορετικών κατολισθητικών φαινομένων με την απόστασή τους από το ρήγμα – περιοχή διάρρηξης (δείγμα μελέτης – 40 σεισμοί). Στο σχήμα D φαίνεται η σύγκριση μεταξύ των ανώτερων ορίων των αποστάσεων από το ρήγμα – περιοχή διάρρηξης για τα κατολισθητικά γεγονότα. Παράλληλα παρατηρούμε την προβολή των δεδομένων για την παρούσα εργασία *(Keefer, 1984 τροποποιημένο από τον συγγραφέα, 2016)*



Σχήμα 5. Αριστερά μπορούμε να παρατηρήσουμε το διάγραμμα που συσχετίζει την επικεντρική απόσταση των κατολισθήσεων που προκαλούνται από σεισμούς με το μέγεθος του σεισμού. Η γραμμή "a-a" αφορά το κατώτερο όριο των αναφερόμενων περιπτώσεων. Η γραμμή "b-b" εξ΄΄εξήχθη από τον *Ambraseys, 1988* ενώ η γραμμή "c-c" εξήχθη από τον *Keefer, 1984.* Το δείγμα αφορά 47 περιπτώσεις σεισμών για τον Ελληνικό χώρο. Δεξιά παρατηρούμε την κατανομή των 47 σεισμικών επικέντρων στην Ελλάδα. Παράλληλα παρατηρούμε την προβολή των δεδομένων για την παρούσα εργασία (*Papadopoulos & Plessa, 2000 τροποιημένο από τον συγγραφέα, 2016)*

Στο **Σχήμα 6** μπορούμε να παρατηρήσουμε την συσχέτιση των διάφορων κατολισθητικών φαινομένων με την τροποποιημένη κλίμακα Mercali (MMI) με τα δεδομένα 40 σεισμών (Keefer, 1984). Αυτή η συσχέτιση αποτελεί σημαντική προσπάθεια καθώς μέσω των ισόσειστων χαρτών είναι δυνατός ο προσδιορισμός των περιοχών στις οποίες πραγματοποιήθηκαν συγκεκριμένα κατολισθητικά γεγονότα. Το συμπέρασμα από την παραπάνω συσχέτιση και με βάση διάφορους ερευνητές (Keefer, 1984, Rodriguez et al. 1999), είναι ότι οι κατολισθήσεις διαταραγμένων ή συνεκτικών υλικών πραγματοποιούνται κυρίως σε ένταση σεισμού VI και VII ενώ οι πλευρικές εξαπλώσεις και οι ροές πραγματοποιούνται κυρίως σε ένταση σεισμού VII.



Σχήμα 6. Το παραπάνω σχήμα προσδιορίζει την μέγιστη ένταση στην τροποποιημένη κλίμακα Mercali (MMI) για την οποία έχουμε τους περισσότερους σεισμούς στους οποίους πραγματοποιήθηκαν συγκεκριμένα κατολισθητικά γεγονότα. Με μαύρη μπάρα φαίνονται τα δεδομένα του Keefer, 1984 ενώ με γκρι μπάρα εμφανίζονται τα δεδομένα του Rodriguez et al., 1999. *(Keefer, 2002)*

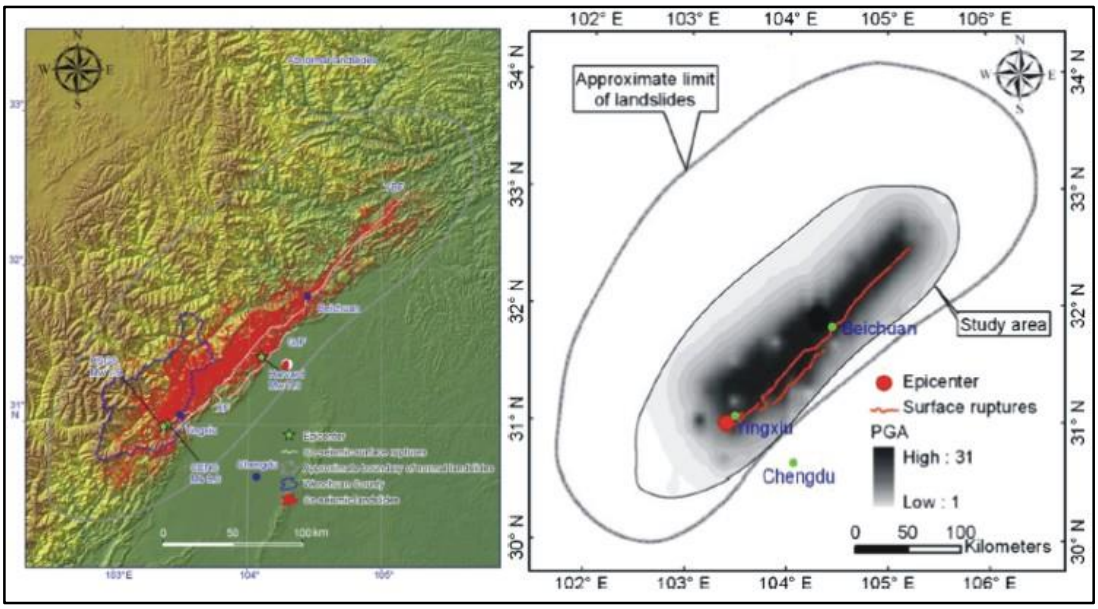
Ένα ερώτημα που προκύπτει κατά την μελέτη των κατολισθήσεων που προκαλούνται από σεισμό είναι το εξής: «Αν δε γνωρίζαμε ότι η πραγματοποίηση κατολισθήσεων σε μια περιοχή προέρχεται από σεισμική δόνηση, θα μπορούσε η ανάλυση των κατολισθήσεων να υποδείξει τον παράγοντα πρόκλησης;» (Jibson & Keefer, 1993). Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα είναι ότι στην πραγματικότητα, η περίπτωση να πραγματοποιηθεί κατολίσθηση σε ασεισμικές συνθήκες καταλαμβάνει μικρό ποσοστό πιθανοτήτων και θα πρέπει ο παράγοντας πρόκλησης να είναι άλλος (π.χ. βροχόπτωση) ενώ η στατική ανάλυση των κατολισθήσεων μπορεί να υποδείξει την ελάχιστη σεισμική ένταση που απαιτείται για την πραγματοποίηση μίας κατολίσθησης (Jibson & Keefer, 1993).

Χαρακτηριστικές περιπτώσεις ισχυρών σεισμών που έχουν προκαλέσει πολυάριθμες συγκεντρώσεις κατολισθήσεων αποτελούν ο σεισμός του 2008 στο Wenchuan (Κίνα), ο σεισμός του 2004 στη Niigata (Ιαπωνία), και ο σεισμός του 2010 στην Αϊτή. Παρακάτω θα παρουσιαστούν ορισμένα παραδείγματα από μελέτες των παραπάνω περιπτώσεων και άλλων εξίσου σημαντικών.

2.1. Μελέτη περίπτωσης «Ο σεισμός του Wenchuan, Κίνα»

Στις 12 Μαΐου του 2008 πραγματοποιήθηκε σεισμική δόνηση μεγέθους M=7.9 στο Wenchuan της Κίνας, προκαλώντας περίπου 197.481 κατολισθήσεις σε περιοχή έκτασης 110.000 km^2, γύρω από την ευρύτερη περιοχή του σεισμικού ρήγματος. Το ρήγμα που ενεργοποιήθηκε βρίσκεται σε μία σειρά ρηγμάτων που έχουν διαμορφώσει την οροσειρά του Longmen Shan (μήκους 500 km και πλάτους 30 km), είναι ανάστροφα ρήγματα, έχουν γενική παράταξη ΒΑ-ΝΔ ενώ η κλίση τους είναι ΒΔ (Shugen et al., 2013). Ο σεισμός προκάλεσε τον προαναφερόμενο αριθμό κατολισθήσεων στην ορεινή περιοχή του Wenchuan καθώς αυτή χαρακτηρίζεται από απότομη μορφολογία με χαραδρώσεις. Τονίζεται ότι οι 10.000 κατολισθήσεις εντοπίστηκαν κατά την πρώτη και άμεση φάση έρευνας ακριβώς μετά τον σεισμό (Xu, 2014).

Η αποτύπωση των κατολισθήσεων βασίστηκε κυρίως στην ανάλυση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων με ανάλυση 1-5 m και διήρκησε 4 χρόνια από την πραγματοποίηση του σεισμού. Ως αποτέλεσμα εξήχθη ο χάρτης κατανομής των κατολισθήσεων γύρω από την περιοχή που "πλήγηκε" από τον σεισμό **(Εικόνα 1**). Παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κατολισθήσεων έλαβε χώρα στο επικρεμάμενο τέμαχος του σεισμικού ρήγματος, το οποίο χαρακτηρίζεται ως ανάστροφο (Xu, 2014). Αυτή η πληροφορία είναι αναμενόμενη καθώς, όπως παρατηρούμε στην **Εικόνα 1,** οι τιμές του PGA είναι μεγαλύτερες στο επικρεμάμενο τέμαχος του ρήγματος. Ακόμη παρατηρείται ότι στο δυτικό τμήμα του ρήγματος, οι κατολισθήσεις καταλαμβάνουν μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με το ανατολικό τμήμα (Xu, 2014).

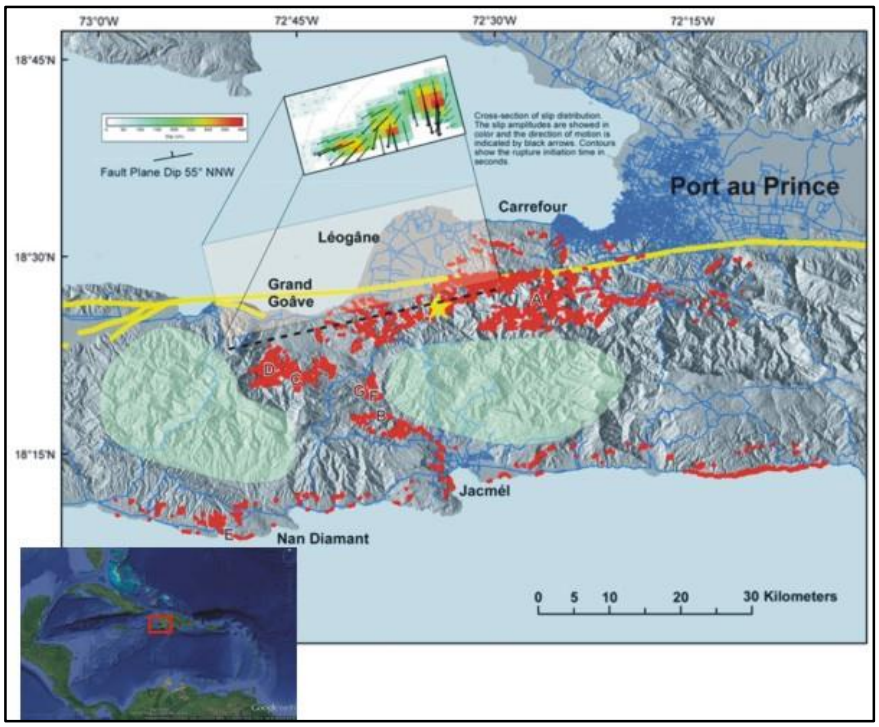


Εικόνα 1. Στην αριστερή εικόνα παρατηρούμε με κόκκινο χρώμα την κατανομή των κατολισθήσεων γύρω από το ρήγμα που προκάλεσε τον σεισμό του Wenchuan στις 12 Μαΐου του 2008. Με γκρι γραμμή φαίνεται το όριο της ευρύτερης περιοχής που πλήγηκε από κατολισθητικές δομές λόγω του σεισμού *(Xu, 2014)*. Στην δεξιά εικόνα παρατηρούμε την κατανομή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης γύρω από την σεισμογόνο περιοχή (Xu et al., 2014)

2.2. Μελέτη περίπτωσης «Σεισμός Αϊτής»

Στις 12 Ιανουαρίου του 2010 πραγματοποιήθηκε σεισμική δόνηση μεγέθους M=7.0 στην Αϊτή, προκαλώντας πάνω από 7000 κατολισθήσεις νότια της περιοχής του Port-au-Prince σε έκταση 50 km ανατολικά και δυτικά του επικέντρου καθώς επίσης και προς τις νότιες ακτές (Harp et al., 2013). Ο σεισμός προκλήθηκε από τη ρηξιγενή ζώνη Enriquillo-Plantain Garden fault zone (EPGFZ) η οποία αποτελεί ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης με αριστερόστροφη συνιστώσα, με κλίση 55^{o} προς τα ΒΒΔ (Rathje et al., 2010). Η ρηξιγενής ζώνη προκαλεί μετακίνηση ≈7mm/yr και φαίνεται με κίτρινη γραμμή στην **Εικόνα 2.**

Το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθο και αποσαθρωμένο βασάλτη. Έτσι, αστοχίες που πραγματοποιήθηκαν αφορούν κυρίως βραχώδεις και εδαφικές ολισθήσεις σε πρανή με κλίση 25^{o} – 65^{o}. Οι όγκοι των κατολισθήσεων κυμαίνονται από μερικές δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες κυβικά μέτρα ενώ υπήρξαν και 20 με 30 κατολισθήσεις των οποίων οι όγκοι υπερέβαιναν τα 10000 κυβικά μέτρα (Harp et al., 2013).



Εικόνα 2. Στην εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε την συγκέντρωση των κατολισθήσεων (κόκκινες τελείες) γύρω από το σεισμικό ρήγμα (κίτρινη γραμμή) και κατά μήκος των νότιων ακτών της Αϊτής. *(Harp et al., 2013)*

Για την καταγραφή των κατολισθήσεων χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες από αεροφωτογραφίες, από πηγές όπως το Google Earth, το Digital Globe's QuickBird, το Geoeye, το WorldView 2, το National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA), με χωρική διακριτική ικανότητα 60 – 100 εκατοστά. Η διαδικασία αφορούσε την οριοθέτηση των κατολισθήσεων όπως φαίνονται στις αεροφωτογραφίες μέσω συστήματος GIS (Geographic Information System) και την εξαγωγή του επιπέδου πληροφορίας κατολισθητικών δομών για περαιτέρω χρήση (Harp et al., 2013).

Οι περισσότερες κατολισθήσεις πραγματοποιήθηκαν σε πολύ διαταραγμένη βραχόμαζα, κυρίως σε απότομα πρανή τα οποία δημιουργούν βαθιές χαραδρώσεις από τις οποίες διέρχονται ρέματα, ή απότομοι παράκτιοι γκρεμοί. Οι αστοχίες στον ασβεστόλιθο αποτελούνται από καταπτώσεις και ολισθήσεις βράχων μεγάλου μεγέθους οι οποίοι έχουν προκύψει από προϋπάρχουσες παλιές κατολισθήσεις. Αντίθετα, οι αστοχίες στον αποσαθρωμένο βασάλτη αφορούν κυρίως καταπτώσεις και ολισθήσεις του επιφανειακού αποσαθρωμένου μανδύα του βασάλτη ή των κολλούβιων υλικών που φιλοξενεί, με τα τεμάχη τα οποία έχουν ολισθήσει να κυμαίνονται σε μέγεθος από χαλίκια έως μικρά τεμάχη. Ακόμη, σε ορισμένες περιοχές του Port-au-Prince παρατηρήθηκαν πλευρικές εξαπλώσεις (Harp et al., 2013).

Ο αριθμός των κατολισθήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης βρίσκεται στο άνω όριο του διαγράμματος «Μέγεθος σεισμού – Πλήθος κατολισθήσεων» το οποίο κατασκεύασε ο Keefer (2002) με βάση μεγάλου μεγέθους σεισμούς που έχουν πραγματοποιηθεί ανά τον κόσμο. Πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι

η συγκέντρωση των κατολισθήσεων δεν πραγματοποιείται σε μία ομοιόμορφα κατανεμημένη περιοχή γύρω από το επίκεντρο του σεισμού (Harp et al., 2013).
Ένα μεγάλο μέρος των κατολισθήσεων πραγματοποιήθηκαν νότια και δυτικά του σεισμικού ρήγματος το οποίο αποτελεί το κάτω τέμαχος του ρήγματος, ενώ στο άνω τέμαχος η συγκέντρωση των κατολισθήσεων ήταν ελάχιστη. Αυτή η πληροφορία έρχεται σε αντίθεση με άλλες συγκεντρώσεις κατολισθήσεων από άλλους σεισμούς σε ρήγματα επώθησης όπου το μεγαλύτερο μέρος των κατολισθήσεων πραγματοποιήθηκε στο άνω τέμαχος. Οι κατολισθήσεις συγκεντρώνονται σε περιοχές όπου παράγοντες όπως η μορφολογία, η κλίση των πρανών, οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες και το μέγεθος της σεισμικής επιτάχυνσης δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες όσον αφορά την πραγματοποίηση της κατολίσθησης, όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και στην **Εικόνα 2** (Harp et al., 2013)

2.3. Μελέτη περίπτωσης "Σεισμός στην Aratozawa, Ιαπωνία"

Στις 14 Ιουνίου του 2008 πραγματοποιήθηκε σεισμική δόνηση μεγέθους M=7.2 στην Ιαπωνία, η οποία έπληξε τα ανατολικά τμήμα των βουνών Ohu, κοντά στην περιοχή του Tohoku. Ο σεισμός αυτός αποτελεί σημαντικό γεγονός καθώς προκάλεσε την δραστηριοποίηση κατολίσθησης στην περιοχή όπου είναι θεμελιωμένο το φράγμα Aratozawa, κατολίσθηση με όγκο 67 εκατομμύρια κυβικά μέτρα και θεωρείται μία από τις πιο καταστροφικές κατολισθήσεις στην Ιαπωνία τα τελευταία 100 χρόνια. Στην περιοχή του φράγματος, το μέγιστο της σεισμικής επιτάχυνσης κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα κοντά στο 1g ή άνω από αυτό, γεγονός που θεωρείται βασικός παράγοντας για την πραγματοποίηση της κατολίσθησης. Τα κατολισθέντα υλικά που εισήλθαν μέσα στην τεχνητή λίμνη του φράγματος δεν ξεπερνούν το 1.5 εκατομμύριο κυβικά μέτρα (Miyagi et al., 2011).

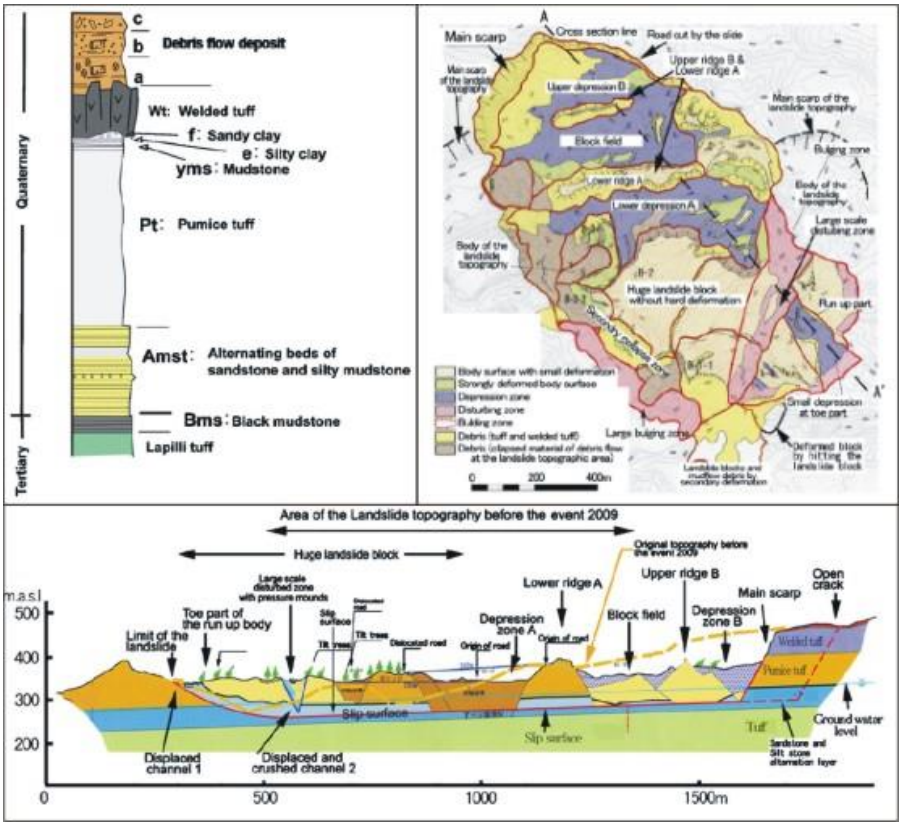
Η γεωλογία της περιοχής μελέτης αποτελείται από ηφαιστειακά και τοφικά ιζήματα ρηχής θάλασσας, καθώς η περιοχή βρίσκεται στην σύγκλιση 2 τεκτονικών πλακών και τα ηφαιστειογενή υλικά κυριαρχούν, και από λιμναία ιζήματα ηλικίας Μειόκαινου – μέσου Πλειόκαινου. Πιο συγκεκριμένα, στην στενή περιοχή μελέτης, τα γεωλογικά υλικά αποτελούνται από τοφίτες, μαύρους ιλυόλιθους, εναλλαγές στρωμάτων ψαμμίτη, ιλυόλιθου, τοφιτών και κίσσηρης, ιγκνιμβρίτες με καλά ανεπτυγμένο σύστημα κατακόρυφων ασυνεχειών ψύξης (ηφαιστειακές κολώνες) καθώς επίσης και αποθέσεις κορημάτων (debris) (Miyagi et al., 2011).

Η μορφολογία της περιοχής χαρακτηρίζεται από απότομο ανάγλυφο με ομαλά πρανή καθώς επίσης παρατηρούνται χαραδρώσεις. Η μορφολογία έχει πάρει την τωρινή της μορφή λόγω των παλιών κατολισθητικών φαινομένων μεγάλης κλίμακας, τα οποία δημιούργησαν πλατώματα και επιφάνειες με αλλουβιακά υλικά. Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω αυτής της μορφολογίας, κατά την διάρκεια του προαναφερόμενου σεισμού πραγματοποιήθηκαν πάνω από 3000 κατολισθήσεις και αστοχίες πρανών σε μία ζώνη πλάτους 10 km και μήκους 30 km κυρίως στο άνω τέμαχος του ρήγματος που προκάλεσε την σεισμική δόνηση. Στην **Εικόνα 3** μπορούμε να παρατηρήσουμε την αλλαγή της μορφολογίας μέσω 2 δορυφορικών εικόνων που ελήφθησαν πριν και μετά

την κατολίσθηση. Η κατολίσθηση είναι ευδιάκριτη και ακόμη μπορεί να φανεί το τμήμα της τεχνητής λίμνης το οποίο γέμισε με υλικά κατολίσθησης (Miyagi et al., 2011).

Με σκοπό τη μελέτη της κατολίσθησης πραγματοποιήθηκε ερευνητικό πρόγραμμα με 13 γεωτρήσεις σε όλη τη μάζα της κατολίσθησης και μία γεώτρηση πίσω από την στέψη της. Οι 7 από τις 13 γεωτρήσεις έδειξαν την ύπαρξη μιας ζώνης ολίσθησης και την έντονη παραμόρφωση των λεπτών στρωμάτων πολύ λεπτόκοκκης άμμου σε βάθος 70 με 80 μέτρα. Η κατανομή του βάθους της επιφάνειας ολίσθησης στις γεωτρήσεις όπου βρέθηκε αυτό, επιβεβαιώνει ότι η κατολίσθηση αφορά μία μεταθετική ολίσθηση η οποία πραγματοποιήθηκε σε μία φάση και επάνω σε επιφάνεια ολίσθησης με κλίση 20^{o} (Miyagi et al., 2011).

Εικόνα 3. Στην εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε την μορφολογία της περιοχής όπου είναι θεμελιωμένο το φράγμα Aratozawa πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τον σεισμό. Η περιοχή μελέτης φαίνεται κάτω και αριστερά από την εικόνα *(Miyagi et al., 2011)*



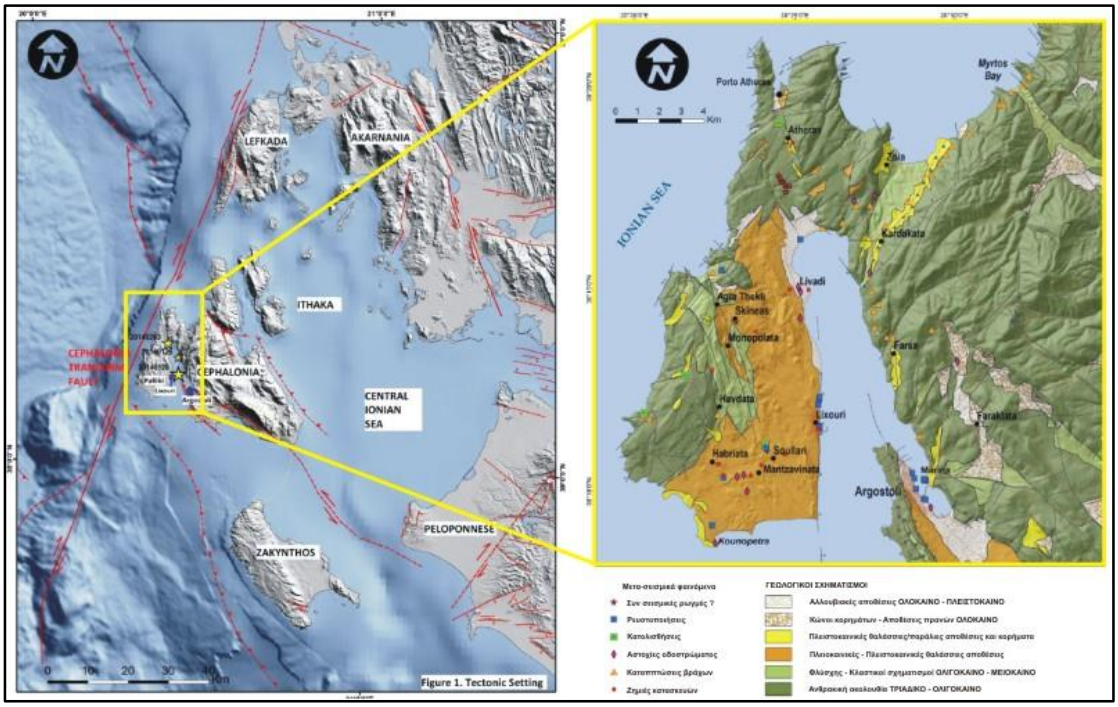
Εικόνα 4. Στην εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε την χαρακτηριστική στρωματογραφική στήλη της περιοχής μελέτης (επάνω αριστερά), τον τεχνικογεωλογικό χάρτη της κατολίσθησης (επάνω δεξιά) και την δισδιάστατη τεχνικογεωλογική τομή Α-Α' η οποία ορίζεται στον τεχνικογεωλογικό χάρτη *(Miyagi et al., 2011)*

Στο χρονικό διάστημα μετά την πραγματοποίηση της κατολίσθησης, εμφανίστηκαν εκφορτίσεις στην επαφή της κύριας κατακρήμνισης με τις κορηματικές αποθέσεις (debris) και τα στρώματα τόφων καθώς επίσης και στη βάση των καλά συγκολλημένων τόφων. Σημειώνεται ότι το φράγμα ως κατασκευή έμεινε ανέπαφο από την δράση της κατολίσθησης ενώ η πτώση των κατολισθέντων υλικών στην τεχνητή λίμνη δημιούργησε τσουνάμι ύψους 2.7 μέτρων (Miyagi et al., 2011).

Η κατολίσθηση έχει μήκος 1300 μέτρα, πλάτος 900 μέτρα και μέσο πάχος 150 μέτρα. Με βάση την μορφολογία, η περιοχή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως πεδίο παλιάς κατολίσθησης μεγάλης κλίμακας με ηλικία 50.000 χρόνια. Με δεδομένο αυτό, θεωρείται ότι η κατολίσθηση αποτελεί επαναδραστηριοποίηση της παλιάς κατολίσθησης η οποία δημιούργησε το αντίστοιχο ανάγλυφο. Στην **Εικόνα 4** μπορούμε να παρατηρήσουμε την τεχνικογεωλογική αποτύπωση της κατολίσθησης σε κάτοψη όπως επίσης και σε δισδιάστατη τομή. Στην τεχνικογεωλογική αποτύπωση φαίνονται καθαρά η κύρια κατακρήμνιση καθώς επίσης και οι δευτερεύουσες, τα 2 διαφορετικά τμήματα της κατολίσθησης και οι διαφορετικές τεχνικογεωλογικές ενότητες (Miyagi et al., 2011).

2.4. Μελέτη περίπτωσης "Οι σεισμοί του 2014 στην Κεφαλονιά, Ελλάδα"

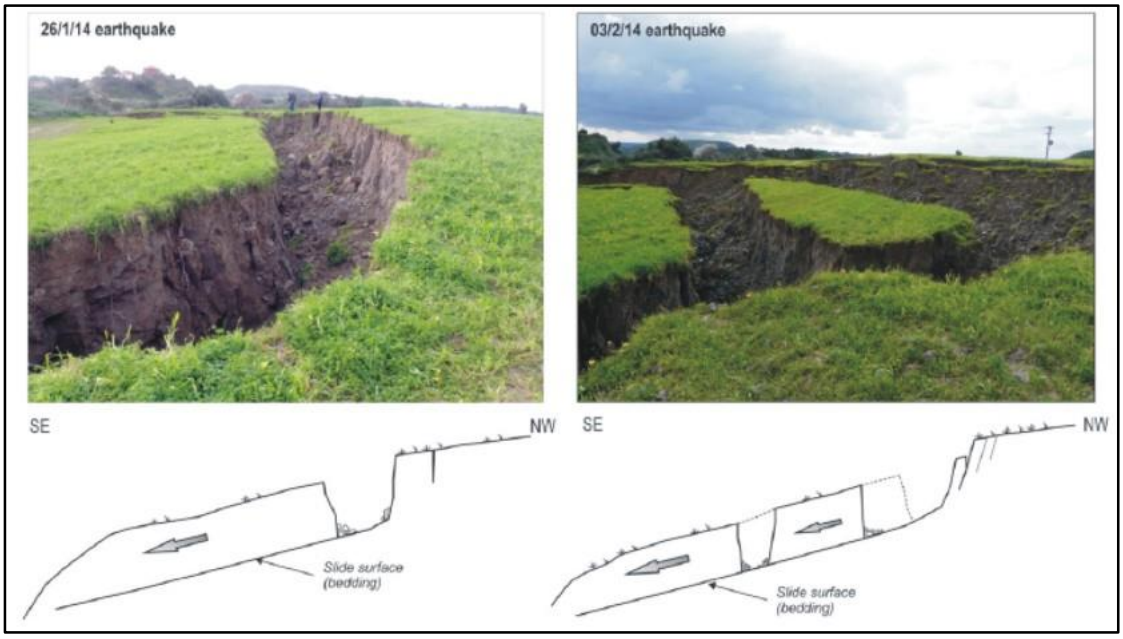
Στις 26 Ιανουαρίου και στις 3 Φεβρουαρίου του 2014 πραγματοποιήθηκαν δύο ισχυρές σεισμικές δονήσεις μικρού βάθους στο νησί της Κεφαλονιάς, μεγέθους Mw=6.0 και Mw=6.1 αντίστοιχα (σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών - ΝΟΑ), οι οποίες έπληξαν κυρίως το δυτικό και κεντρικό τμήμα του νησιού. Οι δύο προαναφερόμενοι σεισμοί προκάλεσαν καταπτώσεις βράχων, αστοχίες οδοστρωμάτων, ρευστοποιήσεις, μικρού έως μεσαίου μεγέθους κατολισθήσεις και αστοχίες σε πέτρινα τοιχία (Valkaniotis et al., 2014). Τονίζεται ότι στο βόρειο και ανατολικό τμήμα του νησιού παρατηρήθηκαν ελάχιστες καταπτώσεις βράχων και κατολισθήσεις μόνο σε πολύ φτωχής ποιότητας γεωυλικά (Valkaniotis et al., 2014).



Εικόνα 5. Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε (αριστερά) το ψηφιακό μοντέλο εδάφους για την περιοχή των νησιών του Ιονίου Πελάγους, τα επίκεντρα των 2 σεισμών της Κεφαλλονιάς κατά το 2014 καθώς επίσης και τις κύριες τεκτονικές δομές που επηρεάζουν την περιοχή. Δεξιά παρατηρούμε το δυτικό τμήμα της Κεφαλονιάς, τους γεωλογικούς σχηματισμούς από τους οποίου αποτελείται και σημειακά, τις παρατηρήσεις υπαίθρου *(Valkaniotis et al., 2014, τροποποιημένο από συγγραφέα, 2016)*

Ακόμη πραγματοποιήθηκαν αστοχίες πρανών οι οποίες εντοπίστηκαν κυρίως σε ακτίνα περί τα 10 km γύρω από το επίκεντρο του πρώτου σεισμού στις 26 Ιανουαρίου (Valkaniotis et al., 2014). Οι αστοχίες που πραγματοποιήθηκαν απέκλεισαν το οδικό δίκτυο για αρκετές μέρες προκαλώντας κυκλοφοριακό πρόβλημα (Valkaniotis et al., 2014). Συγχρόνως, οι μικρού έως μεσαίου μεγέθους κατολισθήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, παρατηρήθηκαν επίσης και σε κλαστικούς σχηματισμούς του Μειοκαινικού φλύσχη (Valkaniotis et al., 2014). Η πιο εντυπωσιακή περίπτωση κατολίσθησης κατά τον σεισμό της Κεφαλονιάς είναι αυτή που προκλήθηκε στο Σουλλάρι σε ομογενοποιημένα Πλειοκαινικά – Πλειστοκαινικά ιζήματα (Valkaniotis et al., 2014). Οι διαστάσεις της κατολίσθησης είναι οι εξής: 20 μέτρα μήκος και 30 μέτρα πλάτος. Παρατηρήθηκε ότι η στέψη της

κατολίσθησης είναι παράλληλη σε προϋπάρχουσες δομές συστημάτων ασυνεχειών διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ ενώ επαναδραστηριοποιήθηκε κατά τον δεύτερο σεισμό (Valkaniotis et al., 2014).



Εικόνα 6. Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε την μεγάλη κατολίσθηση στο Σουλλάρι μετά τον πρώτο και μετά τον δεύτερο σεισμό του 2014 στην Κεφαλλονιά όπως επίσης και δισδιάστατα σχήματα για κάθε περίπτωση *(Valkaniotis et al., 2014)*

2.5. Μελέτη περίπτωσης "Ο σεισμός του 2003 στην Λευκάδα, Ελλάδα"

Στις 14 Αυγούστου του 2003 (05:14:53.9 GMT, 08:14:54 τοπική ώρα) πραγματοποιήθηκε ισχυρή σεισμική δόνηση βορειοδυτικά (ΒΔ) του νησιού της Λευκάδας, μεγέθους Ms=6.4, Mw=6.2 (σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών - ΝΟΑ) (Papathanassiou et al., 2005). Σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, οι συντεταγμένες του επίκεντρου του σεισμού είναι 38.79^{o} Β και 20.56^{o} Α και το εστιακό βάθος είναι 12 Km. Τον κύριο σεισμό ακολούθησαν 3 ισχυρά σεισμικά γεγονότα στις επόμενες 24 ώρες με μεγέθη Mw=4.7, Mw=5.2 και Mw=5.4 ενώ η μεγαλύτερη σεισμική ένταση και η μεγαλύτερη τιμή της οριζόντιας μέγιστης εδαφική επιτάχυνσης (PGA[2]) καταγράφηκε στην πόλη της Λευκάδας με Io=VIII (EMS) και α=0.42g, αντίστοιχα. (Papathanassiou et al., 2005). Ο προαναφερόμενος σεισμός προκάλεσε καταπτώσεις βράχων, ρευστοποιήσεις, καθιζήσεις, συμπυκνώσεις, εδαφικές ρωγμές και κατολισθήσεις (Papathanassiou et al., 2005).

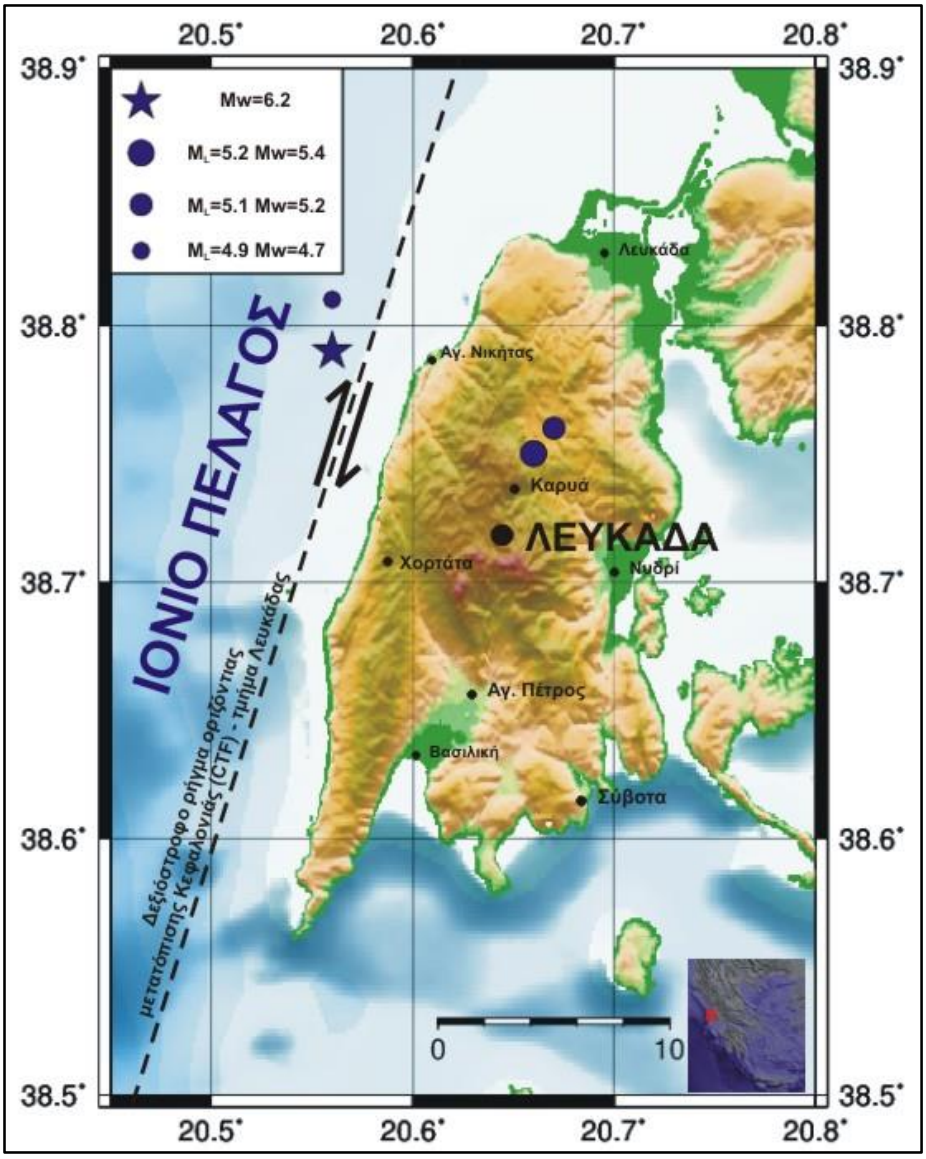
Σύμφωνα με τους Papathanassiou et al. (2005), οι καταπτώσεις βράχων εντοπίζονται κυρίως στο βορειοδυτικό και κεντρικό τμήμα του νησιού τόσο σε φυσικά όσο και σε τεχνητά πρανή. Οι καταπτώσεις οφείλονται στις προϋπάρχουσες τεκτονικές ασυνέχειες και στα απότομα πρανή του ασβεστόλιθου της Ιονίου ζώνης. Τονίζεται ότι κατά μήκος του δρόμου Τσουκαλάδες – Άγιος Νικήτας οι πεσμένοι βράχοι είχαν διάμετρο που

[2] PGA=Peak Ground Acceleration (Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση)

ξεπερνούσε τα 4 m οι οποίοι συνοδεύονται από μικρότερους βράχους και εδαφικές ολισθήσεις.

Στην αμμώδη παραλία του χωριού Πευκούλια, βόρεια του χωριού Αγ. Νικήτας παρατηρήθηκαν 4 κρατήρες διαμέτρου 1-3 m και βάθους 0.4-2 m, πιθανότατα λόγω της συμπύκνωσης των ανώτερων αμμωδών στρωμάτων (Papathanassiou et al., 2005).

Όσον αφορά την ρευστοποίηση, το φαινόμενο παρατηρήθηκε στην πόλη της Λευκάδας κυρίως στην περιοχή κοντά στην θάλασσα και προκάλεσε καταστροφές στα τοιχία και στο οδόστρωμα ενώ ένα λεπτό στρώμα ιλυοαμμώδους υλικού κάλυψε το οδόστρωμα, το οποίο ξεχύθηκε από τις ρωγμές του εδάφους (Papathanassiou et al., 2005).



Εικόνα 7. Στον παραπάνω χάρτη μπορούμε να παρατηρήσουμε τα επίκεντρο του κύριου σεισμού του 2003 καθώς επίσης και τα επίκεντρα των 3 κυριότερων μετασεισμών

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι κατολισθήσεις μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τον τρόπο μετακίνησης του υλικού και την φύση του υλικού. Έτσι, οι κατολισθήσεις ταξινομούνται ως καταπτώσεις και ανατροπές βράχων, περιστροφικές και μεταθετικές ολισθήσεις, πλευρικές εξαπλώσεις, ροές εδαφών και σύνθετες ολισθήσεις (Varnes, 1978).

Με βάση αυτή την γνώση δημιουργείται η ανάγκη της κατασκευής και ύπαρξης χαρτών αποτύπωσης αυτών των δομών οι οποίες τις περισσότερες φορές είναι σύνθετες παρά απλές. Συνεπώς, σε πρώτο επίπεδο, θα πρέπει να πραγματοποιείται μία λεπτομερής και περιεκτική αποτύπωση των κατολισθήσεων που προκαλούνται από σεισμό με σκοπό την ανάλυση της χωρικής κατανομής των κατολισθήσεων και την εκτίμηση της επικινδυνότητας (Xu et al., 2014, Guzzetti et al., 2012). Έτσι, η κατασκευή ενός τέτοιου χάρτη θα πρέπει να εμπεριέχει την τοποθεσία των υπαρχουσών κατολισθήσεων, την χρονική στιγμή πραγματοποίησής τους, των τύπο της κατολίσθησης και τα ίχνη που δημιούργησε στην επιφάνεια της γης (Guzzetti et al., 2012).

Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες, ανά την βιβλιογραφία, για τον ορθό τρόπο κατασκευής ενός χάρτη αποτύπωσης κατολισθήσεων και είναι σημαντικό να τονιστεί ότι θα πρέπει να ακολουθούνται παραπάνω από μία μεθοδολογίες από τους ερευνητές που ασχολούνται με την μελέτη των κατολισθήσεων (Guzzetti et al., 2012). Αυτό αναφέρεται καθώς είναι σημαντικό να υπάρχουν διαφορετικές μεθοδολογίες στην διεθνή βιβλιογραφία με σκοπό την σύγκριση αυτών από την επιστημονική κοινότητα. Οι διάφορες μεθοδολογίες αφορούν τον σκοπό της έρευνας, την έκταση της υπό μελέτης περιοχής, την κλίμακα του υπάρχοντος χάρτη, την κλίμακα των κατολισθήσεων, την ανάλυση και τα χαρακτηριστικά των υπαρχόντων εικόνων (δορυφορικές, αεροφωτογραφίες κ.τ.λ.) και την εμπειρία και την ικανότητα του εκάστοτε ερευνητή (Guzzetti et al., 2012). Η πιο συνήθης διαδικασία είναι η κατασκευή χάρτη στον οποίο αποτυπώνονται όλοι οι τύποι των κατολισθήσεων όμως υπάρχει και η δυνατότητα κατασκευής ξεχωριστών χαρτών εκ των οποίων ο κάθε ένας προβάλλει έναν συγκεκριμένο τύπο κατολίσθησης (Guzzetti et al., 2012). Τονίζεται ότι για το ίδιο σεισμικό γεγονός, οι διάφοροι χάρτες αποτύπωσης κατολισθήσεων που κατασκευάζονται από τους ερευνητές μπορεί να έχουν εμφανείς διαφορές και αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της έλλειψης σταθερών κριτηρίων όσον αφορά την προετοιμασία και την κατασκευή τέτοιων χαρτών (Guzzetti et al., 2012, Xu, 2014).

Σημαντικό ρόλο στην έρευνα των κατολισθήσεων παίζουν τα λογισμικά (GIS - γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών) με τα οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί επεξεργασία και συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων. Με την χρήση των προαναφερόμενων συστημάτων είναι δυνατόν να εντοπιστούν στοιχεία που προσανατολίζουν στην ύπαρξη κατολισθητικής δομής όπως (Guzzetti et al., 2012):

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- Κατακρημνίσεις από όπου θα μπορούσαν να έχουν προκύψει πεσμένα τεμάχη βράχων ή κορηματικές ροές (debris flows)
- Αλλουβιακά ριπίδια και κώνοι κορημάτων, σημεία στα οποία καταλήγουν τα υλικά κατολισθήσεων μέσω της δράσης του νερού
- Διαβρώσεις σε πρανή οι οποίες δημιουργούν την εικόνα ενός πολύ αποσαθρωμένου εδάφους (τύπου badland) και οι οποίες προκαλούν επιφανειακές αστοχίες στα πρανή
- Αλλουβιακές αποθέσεις σε κοιλάδες ή οροπέδια όπου δεν υπάρχουν πληροφορίες για ύπαρξη κατολίσθησης ή δεν αναμένεται

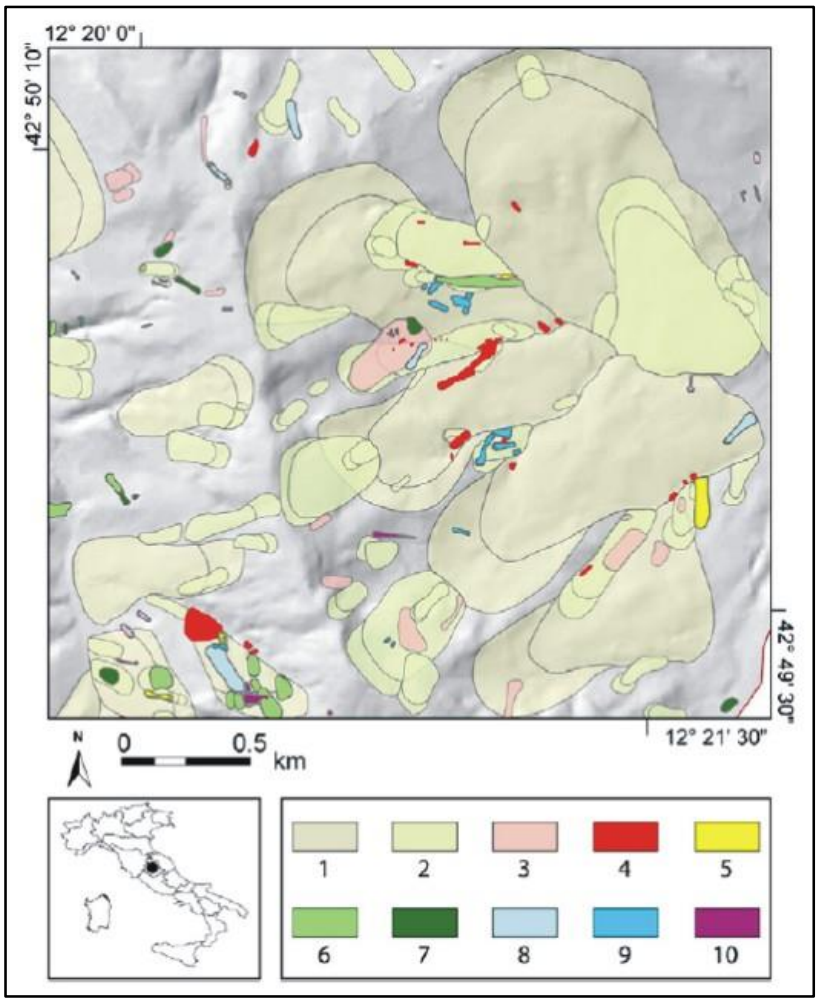
Σύμφωνα με τον Guzzetti (2012), πολύ σημαντικό ρόλο στην ορθή κατασκευή ενός χάρτη αποτύπωσης κατολισθήσεων καταλαμβάνει η σχεδίαση του υπομνήματος πριν από την φάση της υπαίθριας μελέτης ή της εργασίας γραφείου. Αυτό συμβαίνει καθώς ο σχεδιασμός του υπομνήματος πρέπει να είναι συμβατός με τον τρόπο μελέτης και με τις τεχνικές λήψης των πληροφοριών. Με βάση τις παραπάνω πληροφορίες θα μπορούσαμε να ορίσουμε την βάση παραδοχών της έρευνας των κατολισθητικών φαινομένων (Guzzetti et al., 2012):

- Οι κατολισθήσεις αφήνουν ίχνη στην επιφάνεια της γης τα οποία μπορούν να παρατηρηθούν (μέσω υπαίθριας παρατήρησης και ανάλυσης δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών) και να χαρτογραφηθούν καθώς μεταβάλλουν την μορφολογία του εδάφους με συγκεκριμένο τρόπο

- Κάθε τύπος κατολίσθησης δημιουργεί τέτοια μεταβολή στην επιφάνεια της γης η οποία είναι συγκεκριμένη και διαφέρει από τους άλλους τύπους κατολίσθησης. Οι διαφορές είναι μικρές όμως εξειδικευμένοι μελετητές στον τομέα της τοπογραφίας και της γεωλογίας μπορούν να τις διακρίνουν επάνω στον τοπογραφικό χάρτη

- Οι κατολισθήσεις δεν πραγματοποιούνται τυχαία στον χώρο. Η ύπαρξή τους είναι αποτέλεσμα φυσικών και γεωλογικών συνθηκών (κλίση και ύψος πρανών, κατακερματισμός πετρώματος κ.α.). Οι προαναφερόμενοι παράγοντες επηρεάζουν επίσης τον τύπο, το μέγεθος και το σχήμα της κατολίσθησης

- «Το παρόν και το παρελθόν είναι το κλειδί για το μέλλον». Δηλαδή, οι κατολισθήσεις που θα συμβούν στο μέλλον είναι πιθανότερο να πραγματοποιηθούν υπό τις συνθήκες που συνέβησαν στο παρελθόν



Εικόνα 8. Στην εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε την αποτύπωση κατολισθήσεων σε περιοχή της Ιταλίας μέσω της σύγκρισης 2 αεροφωτογραφιών με διαφορά 56 χρόνων και υπαίθριας μελέτης. Οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε 1) Μη ενεργή κατολίσθηση, 2) Πολύ παλιά κατολίσθηση, 3) Κατολίσθηση πριν το 1941, 4) Ενεργή κατολίσθηση κατά το 1941, 5) Ενεργή κατολίσθηση κατά το 1954, 6) Κατολίσθηση ενεργή κατά την περίοδο 1955-1976, 7) Ενεργή κατολίσθηση κατά το 1977, 8) Κατολίσθηση ενεργή κατά την περίοδο 1978-1984, 9) Ενεργή κατολίσθηση κατά το 1985, 10) Κατολίσθηση χαρτογραφημένη κατά την υπαίθρια έρευνα το 2010 *(Guzzetti et al., 2012)*

Ένας σημαντικός παράγοντας για τον εντοπισμό των κατολισθήσεων είναι η «τοπογραφική θέση» και αφορά τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Αντανακλά την υψομετρική διαφορά, την κλίση και τον προσανατολισμό των πρανών και την ύπαρξη κοιλοτήτων ή καμπυλώσεων στην περιοχή (Guzzetti et al., 2012). Έτσι, οι μορφολογικές ανωμαλίες σε μια περιοχή μπορούν να προσδιορίζουν μία κατολισθητική δομή και οι προαναφερόμενες τοπογραφικές ανωμαλίες χαρακτηρίζονται από την «τοπογραφική θέση». Συνεπώς, αν σε μία περιοχή παρατηρηθεί κοιλότητα προς τα ανάντη και καμπύλωση προς τα κατάντη, θα πρέπει να θεωρηθεί η ύπαρξη ενός αλλουβιακού ριπιδίου ή η απόθεση μιας κορηματικής ροής (debris flow). Αντίθετα, ένα πρανές με ομαλή κλίση στη βάση ενός βραχώδους υποβάθρου πρέπει να θεωρηθεί ως απόθεση αποσαθρωμένου υλικού. Ακόμη, σημαντικό παράγοντα αποτελεί ο προσανατολισμός των πρανών καθώς μπορεί να συνδέεται με την γεωμετρία μιας επιφάνειας ολίσθησης ή με τις συνθήκες υπόγειου νερού. (Guzzetti et al., 2012, Jibson & Keefer, 1993)

Οι κατολισθητικές δομές δεν είναι πλήρως διακριτές στο πεδίο μέσω της υπαίθριας έρευνας καθώς η ανεπτυγμένη χλωρίδα (θάμνοι, δέντρα κ.τ.λ.) σε συνδυασμό με την κλίμακα της κατολίσθησης (π.χ. κλίμακα πλαγιάς) μπορούν να δημιουργήσουν εικόνες οι οποίες δεν είναι ευδιάκριτες από τον άνθρωπο. Γι' αυτό τον λόγο πρέπει να χρησιμοποιούνται αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες οι οποίες με κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να αποκαλύψουν δομές που σε άλλη περίπτωση θα ήταν δυσδιάκριτες (Guzzetti et al., 2012). Πρέπει να τονιστεί ότι μετά από κάποιο γεγονός που προκαλεί κατολισθήσεις, οι δομές αυτές φαίνονται ξεκάθαρα τόσο στο πεδίο όσο και στις αεροφωτογραφίες ή τις δορυφορικές εικόνες (Guzzetti et al., 2012).

Όσον αφορά την ορθή διαδικασία έρευνας κατολισθήσεων και την κατασκευή του χάρτη αποτύπωσής τους, θα πρέπει να συνυπολογιστεί η κλίμακα μελέτης και αντίστοιχα η κλίμακα του χάρτη. Σύμφωνα με τον Guzzetti et al. (2012), οι χάρτες κατολισθήσεων ταξινομούνται σε 3 στάδια με βάση την κλίμακά τους:

- **Μικρής κλίμακας** (<1:200.000) χάρτες, οι οποίοι είναι χάρτες που αναδεικνύουν την γενικότερη εικόνα μιας περιοχής όσον αφορά την συγκέντρωση των κατολισθήσεων και προέρχονται από δεδομένα επιστημονικών περιοδικών, εφημερίδων, τεχνικών και επιστημονικών περιοδικών ή από συνεντεύξεις ειδικών στο θέμα των κατολισθήσεων. Η δημιουργία τέτοιου είδους χαρτών βασίζεται στην ανάλυση δεκάδων αεροφωτογραφιών

- **Μεσαίας κλίμακας** (1:25.000 - 1:200.000) χάρτες, οι οποίοι κατασκευάζονται με βάση την ανάλυση αεροφωτογραφιών κλίμακας 1:60.000 έως 1:10.000 καθώς επίσης και με την υπαίθρια έρευνα κατολισθητικών δομών με βάση ιστορικές πληροφορίες

- **Μεγάλης κλίμακας** (>1:25.000) χάρτες, οι οποίοι κατασκευάζονται με βάση την ανάλυση αεροφωτογραφιών κλίμακας μεγαλύτερης από 1:20.000, δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης, ψηφιακά μοντέλα εδάφους και εκτεταμένων υπαίθριων ερευνών

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες για την έρευνα και μελέτη των κατολισθήσεων. Οι νέες απόψεις καθώς και η χρήση των νέων τεχνολογιών έχουν βοηθήσει αρκετά στον εντοπισμό κατολισθητικών δομών κυρίως σε μεγάλες περιοχές. Οι 3 μεθοδολογίες που αναφέρονται με βάση τον Guzzetti et al. (2012) είναι οι εξής:

- **Ανάλυση της επιφανειακής μορφολογίας κυρίως μέσω της χρήσης πολύ υψηλής ανάλυσης ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DEM)**

  Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEM) μπορούν να κατασκευαστούν μέσω της χρήσης εναέριων συστημάτων LiDaR (Light Detection and Ranging) και από δορυφορικές εικόνες (π.χ. Ganas, 1998, 2000; Ganas et al., 1997; 2001; 2005). Η συγκεκριμένη τεχνολογία βασίζεται στην χρήση ακτινών laser οι οποίες

εκπέμπονται από τον πομπό, προσκρούουν επάνω σε σημειακό στόχο, ανακλώνται και επιστρέφουν στον πομπό. Μέσω αυτής της διαδικασίας υπολογίζεται ο χρόνος που διένυσαν οι ακτίνες και έπειτα η απόσταση του σημειακού στόχου από τον πομπό. Έτσι δημιουργείται ένα σύννεφο σημείων στο χώρο το οποίο περιλαμβάνει την επιφάνεια του εδάφους καθώς επίσης και ό,τι βρίσκεται επάνω στο έδαφος (δέντρα, θάμνοι, σπίτια κ.α.). Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι η δυνατότητα αποκοπής όλων των στοιχείων που αποτελούν «εμπόδιο» (π.χ. δέντρα), με σκοπό να παραμείνει μόνο η καθαρή επιφανειακή μορφολογία. Το εξαγόμενο ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι πολύ υψηλής ανάλυσης και βοηθάει στον εντοπισμό και την μελέτη των κατολισθήσεων. Χρησιμεύει επίσης στην κατασκευή τοπογραφικού χάρτη υψηλής ακρίβειας, στην κατασκευή χάρτη κλίσεων και προσανατολισμού πρανών όπως επίσης και στην εύρεση της τραχύτητας του εδάφους.
Τονίζεται ότι μία αναπτυσσόμενη μέθοδο αποτελεί ο υπολογισμός των όγκων των μαζών οι οποίες μετακινήθηκαν λόγω της δράσης κατολισθητικών δομών, μέσω της σύγκρισης διαφορετικών ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DEMs) για μία περιοχή. Τα DEMs που χρησιμοποιούνται ονομάζονται *DEMs διαφορών* και εκμεταλλεύονται την διαφορά υψομέτρου με σκοπό τον τελικό υπολογισμό του όγκου της μάζας που μετακινήθηκε (Gallousi & Koukouvelas, 2007). Πρέπει να σημειωθεί ότι τα *DEMs διαφορών* είναι καλό να χρησιμοποιούνται με την ίδια ανάλυση και ακρίβεια των αντίστοιχων ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DTMs) (Gallousi & Koukouvelas, 2007).

Πρέπει να αναφερθεί ότι πλέον είναι αρκετά διαδεδομένη μία νέα τεχνολογία η οποία βασίζεται στην χρήση αεροφωτογραφιών με αλληλοεπικάλυψη και γεωαναφορά με σκοπό την σύνθεσή τους και με τελικό αποτέλεσμα την εξαγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) πολύ υψηλής ακρίβειας. Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε η προαναφερόμενη τεχνολογία. Δηλαδή, μέσω της χρήσης μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος UAV λήφθηκε πλήθος αεροφωτογραφιών για την κάθε περιοχή μελέτης, οι οποίες με ειδική επεξεργασία μετατράπηκαν σε ψηφιακό μοντέλο εδάφους και ορθομωσαικό. Περαιτέρω ανάλυση της μεθοδολογίας θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

- **Ανάλυση και ερμηνεία δορυφορικών, πολυφασματικών και παγχρωματικών εικόνων και από ραντάρ συνθετικού διαφράγματος (SAR)**

  Όσον αφορά την μελέτη των κατολισθήσεων, η εύκολη πρόσβαση σε δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης αποτελεί τον πιο ικανοποιητικό τρόπο εύρεσης και οριοθέτησής τους (Xu et al., 2014). Ένα τέτοιο μέσο αποτελεί το Google Earth το οποίο είναι άμεσα δωρεάν διαθέσιμο στο κοινό και παρέχει δορυφορικές φωτογραφίες αληθινών χρωμάτων (RGB), η μελέτη των οποίων εξάγει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, τουλάχιστον όσον αφορά την εύρεση των κατολισθήσεων (Xu et al., 2014).

Κατά την πραγματοποίηση κατολίσθησης, η αλλαγή της μορφολογίας προκαλεί αλλαγή στις οπτικές ιδιότητες του εδάφους. Δηλαδή, κατά την πραγματοποίηση μιας κατολίσθησης το υλικό διαταράσσεται και δέχεται νερό στη μάζα του καθώς επίσης η χλωρίδα που φιλοξενούνταν παύει να υπάρχει. Έτσι, το οπτικό φάσμα που ανακλάται από την συγκεκριμένη δομή είναι διαφορετικό από το ίδιο στην πρότερη κατάστασή του. Αυτά τα χαρακτηριστικά διακρίνονται μέσω διαφορετικών χρωμάτων και αποτελούν διαφορές στην λιθολογία, αλλαγή στην υγρασία του εδάφους, αλλαγή της πανίδας κ.α. (Guzzetti et al., 2012). Η θεώρηση αυτή αποτέλεσε την βάση για την ερμηνεία εικόνων που προέρχονται από σύγχρονα μέσα λήψης πληροφοριών (Guzzetti et al., 2012).

Η χρήση τέτοιου είδους εικόνων δεν αντικαθιστά την υπαίθρια έρευνα ούτε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα για την κατασκευή χαρτών αποτύπωσης κατολισθήσεων. Αντίθετα, η χρήση τέτοιων μέσων βοηθά στον εντοπισμό χαρακτηριστικών που προδιαθέτουν την ύπαρξη κατολίσθησης, όπως έλλειψη χλωρίδας, περιοχή με αυξημένη υγρασία κ.τ.λ.

Η ανάλυση αεροφωτογραφιών έχει γίνει η κύρια μέθοδος ανάλυσης και έρευνας κατολισθήσεων καθώς μέσω αυτής της μεθόδου μπορούν εύκολα να χαρτογραφηθούν οι θέσεις και τα όρια των κατολισθήσεων. Τονίζεται ότι η χρήση αεροφωτογραφιών βοηθά στον εντοπισμό κατολισθήσεων μικρής κλίμακας από τον τελικό εξαγόμενο χάρτη, όμως ο συνδυασμός της υπαίθριας έρευνας με την προαναφερόμενη διαδικασία εξάγει τα πιο έγκυρα αποτελέσματα (Xu, 2014, Jibson & Keefer, 1989).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι εικόνες που προκύπτουν από ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR), χρησιμοποιούνται κυρίως για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση κατολισθήσεων με πολύ αργό ρυθμό μετακίνησης.

- **Χαρτογράφηση υπαίθρου με σύγχρονα γεωλογικά εργαλεία**

  Η παραδοσιακή χαρτογράφηση υπαίθρου όσον αφορά τις κατολισθήσεις βασίζεται κυρίως στην εμπειρία του μελετητή και στις γνώσεις που κατέχει, με σκοπό την πλήρη καταγραφή των κατολισθητικών δομών της περιοχής. Όσον αφορά την μελέτη των κατολισθήσεων μέσω της υπαίθριας έρευνας θα πρέπει να επισημανθούν οι προϋποθέσεις που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν:

  - Η έρευνα κατολισθήσεων με βάση την υπαίθρια έρευνα στοχεύει στην αναζήτηση κατολισθήσεων μεγάλου ή μεσαίου μεγέθους (κλίμακας πλαγιάς) καθώς οι υπόλοιπες κατολισθήσεις μικρού μεγέθους συχνά αγνοούνται (Guzzetti et al., 2012)

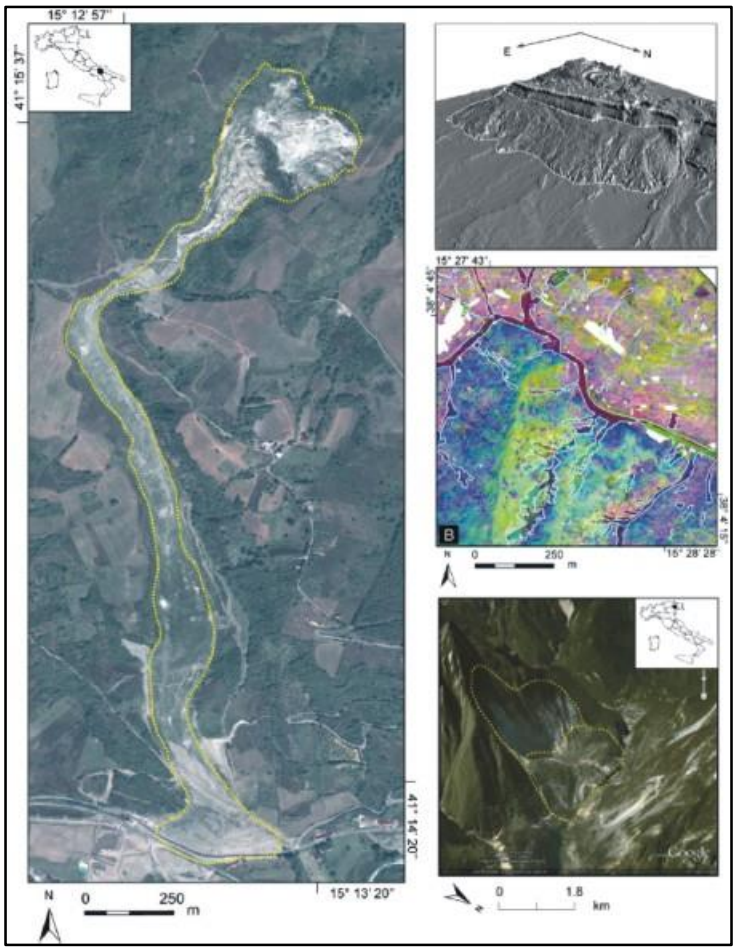
  - Οι κατολισθήσεις που προκαλούνται από σεισμό είναι γενικώς ευρέως κατανεμημένες και μεγάλης πυκνότητας στην περιοχή που έχει πληγεί από τον σεισμό και συνεπώς η αποτύπωση των κατολισθήσεων μόνο μέσω της υπαίθριας έρευνας είναι ελλιπής (Xu, 2014)

- Το αποτέλεσμα των χαρτών κατανομής κατολισθήσεων που προκαλούνται από σεισμική δόνηση και βασίζονται στην παραπάνω μέθοδο καθώς επίσης σε τοπογραφικό και γεωλογικό επίπεδο, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για την εύρεση του αριθμού των κατολισθήσεων, την χωρική κατανομή τους ή την επιδεκτικότητα της περιοχής σε κατολισθήσεις (Xu, 2014)

Η προαναφερόμενη γνώση και εμπειρία εμπλουτίζεται με την χρήση ορισμένων εργαλείων όπως γεωλογικό σφυρί, γεωλογική πυξίδα, δεκάμετρο, GPS χειρός κ.τ.λ.

Με την πάροδο των χρόνων και με την τεχνολογική εξέλιξη, η γεωλογική εργασία όπως και πολλές άλλες υποβοηθούνται μέσω της χρήσης εξελιγμένων εργαλείων. Τέτοια εργαλεία αποτελούν οι φωτογραφικές μηχανές με ενσωματωμένο πομπό GPS, ψηφιακές γεωλογικές πυξίδες, φορητά όργανα μέτρησης της αντοχής των πετρωμάτων ή εδαφών. Φυσικά πλέον είναι πολύ διαδεδομένη η χρήση των Tablets ως μικροί και φορητοί υπολογιστές υπαίθρου οι οποίοι μπορούν να συνδυάσουν GPS, χάρτες, φωτογραφική μηχανή, περιβάλλον GIS, ψηφιακή γεωλογική πυξίδα, ψηφιακή μέτρηση απόστασης και οποιαδήποτε άλλη γεωλογική εφαρμογή δημιουργείται και μπορεί ο κάθε χρήστης να προμηθευτεί.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι μέσω της εξέλιξης των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS) μπορούν να κατασκευαστούν χάρτες αποτύπωσης κατολισθήσεων (Jibson et al., 2000). Τα δεδομένα αυτών των χαρτών λαμβάνονται είτε μέσω της υπαίθριας έρευνας είτε μέσω πινάκων καταγραφής των συντεταγμένων κατολισθητικών δομών από επιστημονικά άρθρα για την εκάστοτε περιοχή. Τα αποτελέσματα τέτοιων προσπαθειών μπορούν να είναι η χωρική κατανομή των κατολισθήσεων σε μια περιοχή η οποία πλήττεται από σεισμό, η εκτίμηση της επικινδυνότητας καθώς επίσης και η εξέλιξη των μορφολογικών δομών έπειτα από ένα μεγάλο σεισμικό γεγονός (Xu, 2014).



Εικόνα 9. Στην εικόνα παρατηρούμε μία δορυφορική εικόνα (αριστερά), ένα ψηφικό μοντέλο αναγλύφου-DEM (επάνω δεξιά), μία πολυφασματική εικόνα (μέση δεξιά) και μία δορυφορική εικόνα μέσω Google Earth *(Guzzetti et al., 2012)*

Κατά την πραγματοποίηση μιας ισχυρής σεισμικής δόνησης σε περιοχές επιδεκτικές σε κατολισθήσεις, λαμβάνει χώρα ένας μεγάλος αριθμός κατολισθήσεων οι οποίες δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν εξ' ολοκλήρου μόνο με την επί τόπου έρευνα. Όπως προαναφέρθηκε, οι δορυφορικές εικόνες αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τον εντοπισμό και την οριοθέτηση των κατολισθήσεων. Οι παραδοχές και προϋποθέσεις που ακολουθούνται όσον αφορά την ορθή χρήση των δορυφορικών εικόνων για την μελέτη των κατολισθήσεων που προκαλούνται από σεισμικές δονήσεις δίνονται ιεραρχικά παρακάτω (Xu et al., 2014, Xu, 2014):

- Χαρτογραφούνται όλες οι κατολισθήσεις που φαίνονται σε μία δορυφορική εικόνα
- Χαρτογραφούνται τα όρια και οι θέσεις των κατολισθήσεων
- Οι σύνθετες κατολισθήσεις πρέπει να διαχωριστούν σε ανεξάρτητες κατολισθήσεις
- Μία κατολίσθηση που δεν υπάρχει σε δορυφορική φωτογραφία πριν τον σεισμό αλλά υπάρχει σε δορυφορική φωτογραφία μετά από αυτόν, θεωρείται κατολίσθηση που προκλήθηκε από τον σεισμό

- Αν υπάρχουν παραπάνω από μία δορυφορικές φωτογραφίες μετά από τον σεισμό, μία κατολίσθηση που υπάρχει σε νεότερες φωτογραφίες αλλά δεν υπάρχει σε παλιότερες μετά από τον σεισμό, θεωρείται ότι προκλήθηκε από άλλα αίτια εκτός του σεισμού (βροχόπτωση κ.τ.λ.)

- Αν μία κατολίσθηση υπάρχει σε 2 δορυφορικές φωτογραφίες πριν και μετά από τον σεισμό και έχει την ίδια μορφολογική αποτύπωση και σχήμα, τότε θεωρείται ότι έχει πραγματοποιηθεί πριν από τον σεισμό και δεν επηρεάστηκε από αυτόν

Πολλές φορές είναι αναγκαίο η έρευνα των κατολισθήσεων να κυμανθεί σε πιο λεπτομερές επίπεδο. Αυτό συμβαίνει όταν το εκάστοτε ερευνητικό πρόγραμμα το απαιτεί ή πρόκειται για τον σχεδιασμό ενός τεχνικού έργου. Έτσι η μεθοδολογία που θα πρέπει να ακολουθηθεί απαντάει στα προαναφερόμενα βήματα όμως επεκτείνεται και στα εξής επόμενα (Jibson et al., 2000, Jibson & Keefer, 1993;1989):

- Συλλογή των δεδομένων καταγραφής ισχυρών εδαφικών κινήσεων της ευρύτερης περιοχής που "πλήγηκε" από τον σεισμό

- Γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής σε μεγάλη κλίμακα όπου θα συμπεριλαμβάνονται οι θέσεις κατολισθήσεων

- Κατασκευή ή εύρεση ψηφιακού μοντέλου εδάφους υψηλής ανάλυσης μετά τον σεισμό, όπου θα διακρίνονται ευκρινώς τα όρια των κατολισθήσεων

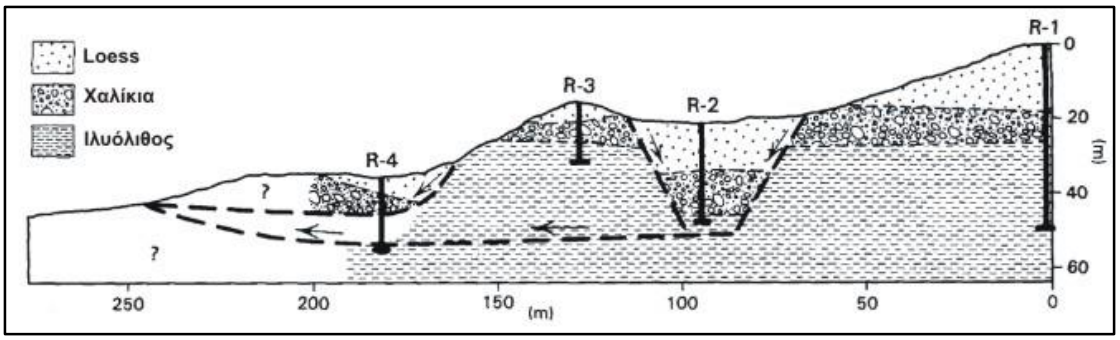
- Γεωτρητικό πρόγραμμα σε ενεργές κατολισθήσεις με σκοπό τον προσδιορισμό της στρωματογραφίας των γεωλογικών σχηματισμών

- Επί τόπου μέτρηση των ιδιοτήτων του εδάφους

- Λήψη δειγμάτων για εργαστηριακές δοκιμές (κοκκομετρική ανάλυση, όρια Atterberg, φυσική υγρασία, διατμητική αντοχή)

- Ανάστροφη ανάλυση με σκοπό την εύρεση των ιδιοτήτων του εδάφους πριν κατολισθήσει

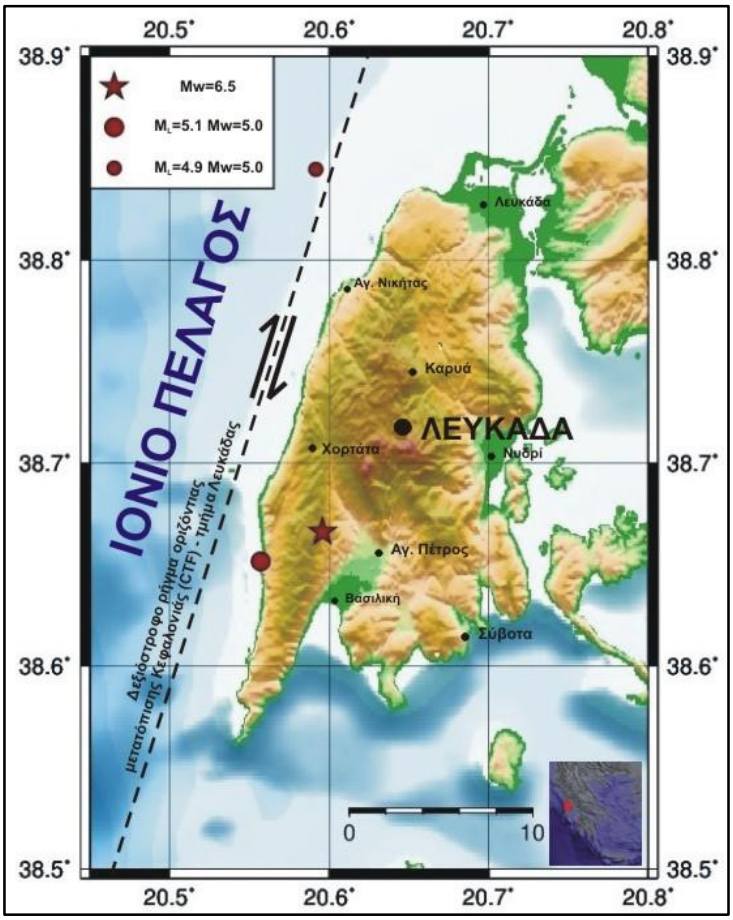
- Μοντελοποίηση και στατική ανάλυση του πρανούς για διάφορες καταστάσεις του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με σκοπό την εύρεση του κύκλου ολίσθησης και του συντελεστή ασφάλειας



Σχήμα 7. Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ένα παράδειγμα ενός σωστού γεωτρητικού προγράμματος σε μία θέση κατολίσθησης. Με τον χαρακτήρα "R" φαίνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων (Jibson & Keefer, 1993)

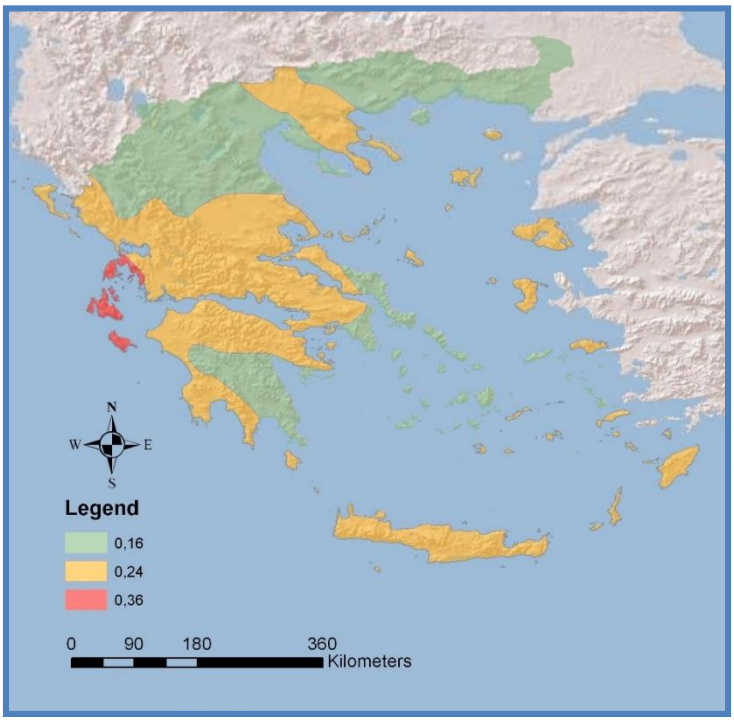
4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ «Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΟΥ 2015 ΣΤΗΝ ΛΕΥΚΑΔΑ»

Στις 17 Νοεμβρίου του 2015 και ώρα 7:10 GMT πραγματοποιήθηκε ισχυρή σεισμική δόνηση, μικρού βάθους στο νησί του Ιονίου Πελάγους, Λευκάδα. Σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο (N.O.A., www.gein.noa.gr) το επιφανειακό μέγεθος του σεισμού είναι M_L=6.0, το μέγεθος σεισμικής ροπής είναι Mw=6.5 (Ganas et al., 2016) και το εστιακό βάθος είναι ίσο με 11 Km. Το επίκεντρο του σεισμού έχει συντεταγμένες (38.6655^o N, 20.6002^o E) (N.O.A., www.gein.noa.gr). Συγχρόνως, με βάση τον σεισμολογικό σταθμό του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης (http://geophysics.geo.auth.gr), το επίκεντρο του σεισμού έχει συντεταγμένες (38.669^o N, 20.535^o E) και εστιακό βάθος 10 km (Papathanassiou et al., 2016). Την ίδια μέρα και ώρα 8:33 GMT πραγματοποιήθηκε ισχυρός μετασεισμός με μέγεθος σεισμού M_L=5.1, μέγεθος σεισμικής ροπής Mw=5.0 και εστιακό βάθος είναι ίσο με 9 Km ενώ στις 18/11/2015 και ώρα 12:15 GMT πραγματοποιήθηκε δεύτερος μετασεισμός με μέγεθος σεισμού M_L=4.9, μέγεθος σεισμικής ροπής Mw=5.0 και εστιακό βάθος ίσο με 17 Km (Kalogeras & Melis, 2015). Τα επίκεντρα του κύριου σεισμού, του πρώτου και δεύτερου μετασεισμού τοποθετούνται στο Νοτιοδυτικό και Βορειοδυτικό τμήμα του νησιού **(Εικόνα 10).**



Εικόνα 10. Στον παραπάνω χάρτη μπορούμε να παρατηρήσουμε τα επίκεντρο του κύριου σεισμού του 2015 καθώς επίσης και τα επίκεντρα των 2 κυριότερων μετασεισμών

Το Ιόνιο Πέλαγος, στο οποίο τοποθετείται η Λευκάδα, χαρακτηρίζεται ως η πιο ενεργή, τεκτονικά, περιοχή της Ευρώπης (Ganas et al., 2015). Σημειώνεται ότι η Λευκάδα ανήκει στην ζώνη 3 (0.36g) του χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδος, σύμφωνα με τον Οργανισμό Αντισεισμικής Προστασίας (ΟΑΣΠ), 2004 **(Σχήμα 8)**

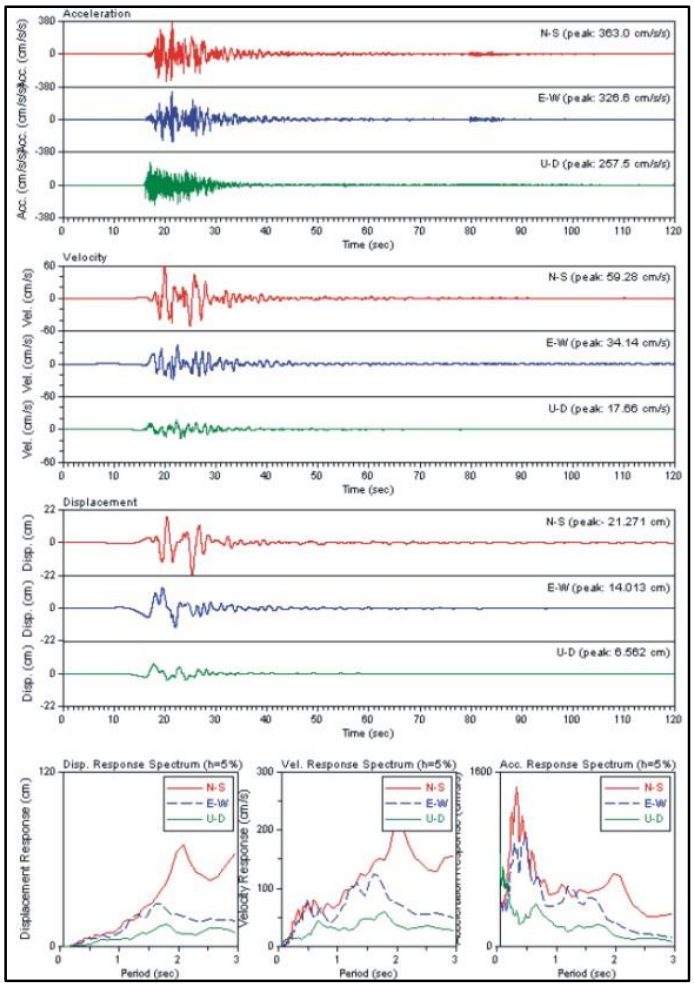


Σχήμα 8. Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδος *(Οργανισμός Αντισεισμικής Προστασίας, 2004)*

Το ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης της Κεφαλλονιάς (Cephalonia Transform Fault – CTF ή Kefalonia-Lefkada Transform Fault - KLTF) αποτελεί την κυριότερη και πιο ενεργή τεκτονική δομή της περιοχής μελέτης **(Εικόνα 10)** η οποία έχει προκαλέσει επαναλαμβανόμενα καταστροφικά σεισμικά γεγονότα (Louvari, 1999, Rondoyanni et al., 2012, Ganas et al., 2015) συμπεριλαμβανομένου και του καταστροφικού σεισμού του 2003 στην Λευκάδα με μέγεθος σεισμικής ροπής Mw=6.2 ή Mw=6.3, αντίστοιχα (Rondoyanni et al., 2012, Papathanassiou et al., 2005, Papadimitriou et al., 2006). Το ρήγμα CTF περιλαμβάνει, το λιγότερο, 2 τμήματα. Το βόρειο το οποίο έχει παράταξη ΒΒΑ-ΝΝΔ και έχει μήκος περίπου 40 Km (τμήμα Λευκάδας) και το νότιο τμήμα το οποίο έχει παράταξη ΒΑ-ΝΔ και έχει μήκος περίπου 60 Km (τμήμα Κεφαλλονιάς) (Rondoyanni et al., 2012). Ο σεισμός του 2003 οφείλεται σε επαναδραστηριοποίηση του βόρειου συστήματος ρηγμάτων (Rondoyanni et al., 2012, Papathanassiou et al., 2005). Το ρήγμα CTF έχει διεύθυνση 10^{o}-20^{o} προς τα ΒΒΑ και κλίνει προς τα Ανατολικά (Ganas et al., 2013). Επισημαίνεται ότι το ρήγμα CTF είχε κατά τον σεισμό του 1983 της Κεφαλλονιάς ανάστροφη συνιστώσα ενώ κατά τον σεισμό του 2003 της Λευκάδας είχε κανονική συνιστώσα (Rondoyanni et al., 2012). Ακόμη αναφέρεται ότι όσον αφορά την Λευκάδα, υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα τα οποία δηλώνουν ότι έχουν πραγματοποιηθεί τουλάχιστον 23 καταστροφικά σεισμικά γεγονότα από το 1612 μέχρι σήμερα, τα οποία προκάλεσαν σφοδρές εδαφικές αστοχίες (Papathanassiou et al., 2005).

Στο νησί της Λευκάδας έχουν χαρτογραφηθεί πολλά κανονικά νεοτεκτονικά ρήγματα με σημαντική δεξιόστροφη οριζόντια συνιστώσα, παράταξης ΒΒΑ-ΝΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ (Papathanassiou et al., 2005) και ορισμένα δευτερεύοντα κανονικά νεοτεκτονικά ρήγματα με αριστερόστροφη συνιστώσα παράταξης ΒΔ-ΝΑ, χωρίς την πλήρη γνώση όσον αφορά την ενεργότητα αυτών (Ganas et al., 2013), δεδομένο το οποίο απαιτεί περαιτέρω έρευνα. Σύμφωνα με αυτήν την πληροφορία, πρέπει να αναφερθεί ότι κατά την περίοδο 2007-2010 πραγματοποιήθηκαν συνεχείς μετρήσεις από τον δίκτυο GPS του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (NOANET) τα αποτελέσματα των οποίων έδειξαν βράχυνση του φλοιού στον νησί της Λευκάδας με ρυθμό 2-3 mm/yr, γεγονός το οποίο συνδέθηκε με την συσσώρευση ενέργειας κατά μήκος (πιθανώς) ρήγματος οριζόντιας μετατόπισης κάτω από την Λευκάδα (Ganas et al., 2013).

Όσον αφορά τις σεισμικές επιταχύνσεις (PGA) που καταγράφθηκαν στο νησί κατά τον σεισμό του 2015, η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση καταγράφθηκε στον σεισμολογικό σταθμό της Βασιλικής με PGA=0.36g (ΙΤΣΑΚ, 2015). Ακόμη, η φασματική επιτάχυνση της συνιστώσας Βορράς-Νότος που καταγράφθηκε για τον ίδιο σταθμό είχε μέγιστο SA=1.4g για ιδιοπερίοδο ίση με 0.4 sec, ενώ η φασματική επιτάχυνση της συνιστώσας Ανατολή-Δύση είχε μέγιστο SA=1.0g για ιδιοπερίοδο ίση με 0.5 sec.



Εικόνα 11. Στην εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε την καταγραφή του επιταχυνσιογράφου όσον αφορά τον σεισμό του 2015 στην Λευκάδα για τον σταθμό της Βασιλικής (επάνω) και τις καταγραφές της φασματικής επιτάχυνσης για τον ίδιο σταθμό (κάτω) *(ΙΤΣΑΚ, 2015)*

4.1. Γεωλογικές αστοχίες προκαλούμενες από την σεισμική δόνηση του 2015

Κατά την μελέτη στο πεδίο από γεωλόγους μετά την σεισμική δράση, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα (Ganas et al., 2015). Οι σεισμικές δονήσεις που πραγματοποιήθηκαν προκάλεσαν γεω-περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις όπως επιφανειακές ή μεγαλύτερου βάθους κατολισθήσεις, βραχοκαταπτώσεις, αστοχίες επιχωμάτων στο οδικό δίκτυο και μικρού μεγέθους ρευστοποιήσεις, φαινόμενα τα οποία καταγράφθηκαν κυρίως στο δυτικό τμήμα του νησιού ενώ η δριμύτητα αυτών μειώνεται καθώς μετακινούμαστε ανατολικά (Papathanassiou et al., 2016). Τονίζεται ότι τα μέτρα προστασίας και αντιμετώπισης των κατολισθήσεων που κατασκευάστηκαν μετά τον σεισμό του 2003 όπως τοιχία ή φράχτες ανάσχεσης, μπορούν να χαρακτηριστούν ως ικανοποιητικά καθώς η δριμύτητα των αστοχιών στο κεντρικό οδικό δίκτυο μειώθηκε αρκετά κατά τον σεισμό του 2015 (Papathanassiou et al., 2016). Το μεγαλύτερο ποσοστό κατολισθήσεων και βραχοκαταπτώσεων τοποθετείται κατά την παράκτια διαδρομή Εγγρεμνοί-Γιαλός έως το Πόρτο Κατσίκι και κατά την διαδρομή 6 χιλιομέτρων Τσουκαλάδες - Άγιος Νικήτας (Papathanassiou et al., 2016) καθώς καθόλη αυτή τη διαδρομή τα πρανή έχουν μεγάλο ύψος (>150 m) και μεγάλη γωνία κλίσης (>70^{o}) και η περιοχή δομείται από κατακερματισμένο ασβεστόλιθο λόγω της τεκτονικής που υφίσταται η περιοχή και πλευρικά κορήματα. Επιφανειακές κατολισθήσεις και βραχώδεις ολισθήσεις παρατηρήθηκαν σε περιοχές όπου το κλαστικό υλικό έχει καλύψει πλήρως το ασβεστολιθικό υπόβαθρο ή σε περιοχές με έντονη τεκτονική καταπόνηση (Papathanassiou et al., 2016). Κατά το ανατολικό τμήμα του νησιού στην διαδρομή από το Νυδρί έως την Βασιλική εντοπίστηκαν ελάχιστες αστοχίες πρανών συμπεριλαμβανομένων βραχοκαταπτώσεις μικρού μεγέθους και επίπεδες ολισθήσεις (Papathanassiou et al., 2016). Πρέπει να τονιστεί ότι στο βόρειο τμήμα του νησιού και στην πόλη της Λευκάδας δεν παρατηρήθηκαν γεω-περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις σε αντίθεση με τον σεισμό του 2003 κατά τον οποίο στην πόλη της Λευκάδας σημειώθηκαν ρευστοποιήσεις και αστοχίες στο οδόστρωμα (Papathanassiou et al., 2016, Papathanassiou et al., 2005). Επισημαίνεται ότι δεν παρατηρήθηκε καμία επιφανειακή εκδήλωση ρηγμάτων λόγω της σεισμικής δόνησης.

Οι αστοχίες πρανών που προκλήθηκαν στο νησί της Λευκάδας συμπεριλαμβάνουν επιφανειακές κατολισθήσεις κυρίως σε κορηματικά υλικά και κατακερματισμένο ασβεστόλιθο, μετακινήσεις μαζών καθώς επίσης βραχοπτώσεις μικρού (<1m^3) ή μεγάλου μεγέθους (2-7m^3). Πρέπει να αναφερθεί ότι ο δρόμος Τσουκαλάδες-Άγιος Νικήτας υπέστη ζημιές λόγω των αστοχιών στα πρανή του δρόμου καθώς επίσης η βόρεια είσοδος του χωριού Άγιος Νικήτας υπέστη κατασκευαστικές αστοχίες τόσο λόγω αστοχιών των πρανών όσο και λόγω αστοχιών του οδοστρώματος. Ακόμη, στο ανατολικό τμήμα του νησιού οι περιοχές που υπέστησαν ζημιές είναι τα χωριά Κομήλιο, Δράγανο και Αθάνι (Papathanassiou et al., 2016).
Η περιοχή «Εγγρεμνοί» υπέστη αστοχίες καθώς δημιουργήθηκε βαθιά κατολίσθηση ενώ μετακινήθηκε προς τα κατάντη μεγάλη ποσότητα κορηματικού υλικού (debris) επηρεάζοντας το οδόστρωμα που οδηγεί στην παραλία (Papathanassiou et al., 2016).

Χαρακτηριστική είναι η κατασκευαστική αστοχία ενός πολυτελούς ξενοδοχείου το οποίο θεμελιώθηκε σε περιοχή η οποία επηρεάστηκε έντονα από μετακίνηση υλικού. Στις ζημιές που υπέστη το ξενοδοχείο συμπεριλαμβάνεται η ολίσθηση υλικού κάτω από την κατασκευή με αποτέλεσμα να μείνει μετέωρη κατά ένα τμήμα **(Εικόνα 12).** Ως επιφάνεια ολίσθησης έδρασε η επιφάνεια ρήγματος η οποία αποκαλύφθηκε πλήρως πίσω από την κατασκευή (Papathanassiou et al., 2016).

Εικόνα 12. Στην παραπάνω φωτογραφία παρατηρούμε τις βλάβες που προκλήθηκαν σε πολυτελές ξενοδοχείο κοντά στην παραλία των Εγγρεμνών λόγω βαθιάς κατολίσθησης (η φωτογραφία έχει άποψη προς ΝΔ και λήφθηκε στις 8/4/2016 από τον *συγγραφέα*)

Βορειότερα της περιοχής «Εγγρεμνοί» τοποθετείται η περιοχή «Γιαλός» η οποία πλήγηκε εξίσου έντονα από κατολισθητικά φαινόμενα. Παρατηρήθηκε πλήθος βραχωδών ολισθήσεων και ολίσθηση κορηματικού υλικού καθώς επίσης λίγες επιφανειακές κατολισθήσεις. Σημαντική αστοχία είναι η βαθιά κατολίσθηση που επηρέασε σε μεγάλο βαθμό το οδόστρωμα το οποίο οδηγεί στην παραλία **(Εικόνα 13).** Τονίζεται ότι στις περιπτώσεις αστοχιών των περιοχών «Εγγρεμνοί» και «Γιαλός» και όπως θα αναφερθεί σε ειδικό κεφάλαιο, ως επιφάνειες ολίσθησης δρουν κατά κύριο λόγο οι επιφάνειες προυπαρχόντων ρηγμάτων (Papathanassiou et al., 2016).

Εικόνα 13. Στην παραπάνω φωτογραφία παρατηρούμε την βαθιά κατολίσθηση που απέκοψε τον δρόμο πρόσβασης στην παραλία του Γιαλού (η φωτογραφία έχει άποψη προς Ν και λήφθηκε στις 8/4/2016 από τον *συγγραφέα*)

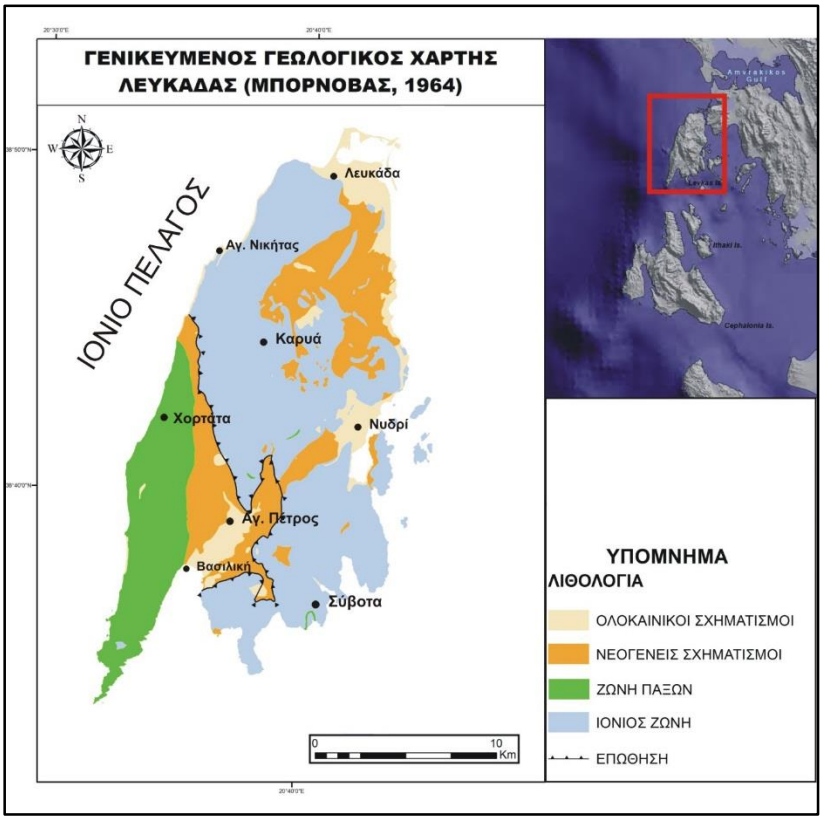
Κατά την διαδρομή από το χωριό Αθάνι έως το Πόρτο Κατσίκι παρατηρήθηκαν βραχώδεις και κορηματικές ολισθήσεις μικρού μεγέθους καθώς επίσης και λίγες επιφανειακές κατολισθήσεις. Εμφανίστηκαν επίσης ρωγμές στο οδόστρωμα πάχους 5-10 cm και ταπείνωση έως 4 cm. Επίσης η παραλία "Πόρτο Κατσίκι" καλύφθηκε τοπικά από βραχώδες και ολισθένον υλικό (Papathanassiou et al., 2016).

Κατά μήκος του δρόμου από το χωριό Τσουκαλάδες έως το χωριό Άγιος Νικήτας παρατηρήθηκαν εκτεταμένες αστοχίες πρανών όπως βραχοκαταπτώσεις και ολισθήσεις βραχώδους υλικού. Αυτό συμβαίνει επειδή η περιοχή δομείται από κατακερματισμένο ασβεστόλιθο καθώς επίσης επειδή κατά τόπους το υλικό έχει απομειωμένη συνοχή. Οι βράχοι οι οποίοι έχουν ολισθήσει έχουν διάμετρο από 30 cm έως 4 m (Papathanassiou et al., 2016). Ακόμη, θα πρέπει να γίνει αναφορά στην περιοχή «Κάθισμα» η οποία βρίσκεται νοτιοανατολικά του χωριού Άγιος Νικήτας και στην οποία παρατηρήθηκαν βράχοι με όγκο έως και 6 cm^3 (Papathanassiou et al., 2016).

5. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

5.1. Γεωλογικά στοιχεία

Η γεωλογία της Λευκάδας έχει μελετηθεί από τον Μπορνόβα (1964) και από τον Cushing (1985) ενώ στοιχεία της αναφέρονται σε επιστημονικά άρθρα (Rondoyanni et al., 2012, Papathanassiou et al., 2005,2015, Ganas et al., 2016). Στο μεγαλύτερο τμήμα της Λευκάδας συναντάται η Ιόνιος ζώνη ενώ το δυτικότερο μέρος καταλαμβάνεται από την ζώνη Παξών (Μπορνόβα, 1964, Cushing, 1985). Η ζώνη Παξών αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθους και δολομίτες ενώ καλύπτεται από Νεογενή κλαστικά ιζήματα κυρίως ψαμμιτικής και μαργαϊκής σύστασης. Η Ιόνιος ζώνη αποτελείται από ασβεστόλιθους και πυριτικούς σχιστόλιθους ενώ ένα τμήμα της καλύπτεται από φλύσχη ηλικίας Ολιγόκαινου – Μ. Μειόκαινου. Τονίζεται ότι η Ιόνιος ζώνη αποτελείται και από εβαπορίτες οι οποίοι όμως δεν έχουν επιφανειακή εμφάνιση στην Λευκάδα. Τα Νεογενή ιζήματα που παρατηρούνται στην Ιόνιο ζώνη αποτελούνται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Σε αντίθεση με τα άλλα νησιά του Ιουνίου, τα Τεταρτογενή ιζήματα της Λευκάδας έχουν μικρή εξάπλωση. Σημειώνεται ότι Πλειστοκαινικά και Ολοκαινικά ιζήματα έχουν μεγάλη εξάπλωση στο βόρειο τμήμα της Λευκάδας όπου τοποθετείται και η πόλη της Λευκάδας, στην περιοχή της Βασιλικής και στην παράλια περιοχή της περιοχής «Νυδρί» (Rondoyanni et al., 2012, Papathanassiou et al., 2005).



Εικόνα 14. Στην εικόνα φαίνεται ο απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της Λευκάδας *(Μπορνόβας, 1964)*

Η Ιόνιος ζώνη θεωρείται, με βάση τις νεότερες απόψεις, ως «μία ηπειρωτική λεκάνη με ημιπελαγική – πελαγική ιζηματογένεση» (Mountrakis et al., 2010).
Τα πετρώματα της συγκεκριμένης ζώνης είναι αποκλειστικά Αλπικά ιζήματα ενώ δεν παρατηρείται Προαλπικό υπόβαθρο. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ως πρώτα αλπικά ιζήματα θεωρούνται οι εβαπορίτες, περμοτριαδικής ηλικίας, των οποίων το πάχος θεωρήθηκε περίπου 1500 m μέσω γεωτρήσεων. Αυτοί συνοδεύονται από ασβεστόλιθους και ασβεστολιθικά λατυποπαγή (Mountrakis et al., 2010).

Κατά τον Μπορνόβα (1964) η γεωλογικοί σχηματισμοί της Ιονίου ζώνης είναι οι εξής, από τον παλαιότερο προς τον νεότερο:

- Καρνικοί ασβεστόλιθοι, πάχους 50-100 m
- Τεφροί έως λευκοί δολομίτες του Κατώτερου Νορίου με κυμαινόμενο πάχος
- Ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα (ομώνυμο όρος της Κέρκυρας) με πάχος 400 - 800 m ηλικίας Κατώτερου Νορίου – Ανώτερου Λιασίου. Όταν εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση, διαμορφώνουν καρστικές περιοχές οι οποίες εκδηλώνονται επιφανειακά με δολίνες και οχετούς. Ακόμη, είναι συχνό το φαινόμενο της δευτερογενούς δολομιτίωσης των ασβεστόλιθων του Παντοκράτορα ενώ η επιφάνεια του αρχικού πετρώματος από το δολομιτιωμένο είναι πάντα ανώμαλη.
- Παχυστρωματώδης τεφροκίτρινος ασβεστόλιθος με πυριτικούς κόνδυλους ηλικίας Δομέριου, πάχους 20 – 40 m. Νότια του χωριού Εξάνθια εμφανίζονται ως μαργαϊκοί υποκίτρινοι ασβεστόλιθοι ενώ ΒΔ του χωριού Άγιος Ηλίας εμφανίζονται στιφροί με βολβούς πυριτόλιθων.
- Ammonitico Rosso ηλικίας Ανώτερου Λιάσιου – Κατώτερου Δογγέριου. Κατά ένα τμήμα το ammonitico Rosso αντικαθίσταται από σχιστόλιθους με Posidonia πάχους 20 – 40 m. Οι αμμωνιτοφόρες αποθέσεις προσδιορίζουν περιβάλλον βαθιάς θάλασσας ενώ οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί προσδιορίζουν κρηπιδαίους σχηματισμούς. Ένα μεγάλο τμήμα της Λευκάδας καταλαμβάνεται από Ammonitico Rosso ενώ οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί περιορίζονται κυρίως στις ανατολικές ακτές του νησιού.
  Το Ammonitico Rosso χαρακτηρίζεται από έγχρωμους κονδυλώδεις και συνήθως μαργαϊκούς ασβεστόλιθους με αμμωνίτες, οι οποίοι εναλλάσσονται με στρώματα αργίλου ή μάργας. Το πάχος των στρωμάτων του ασβεστόλιθου κυμαίνεται μεταξύ 5-20 cm.
- Πλακώδεις αμμωνιτοφόροι ασβεστόλιθοι ηλικίας Μέσου Δογγέριου.
- Ασβεστόλιθοι Βιγλών (λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι με πυριτικούς κόνδυλους) ηλικία Ανώτερου Ιουρασικού – Κατώτερου Σενώνιου, πάχους 500 m. Το πάχος των ασβεστολιθικών πλακών κυμαίνεται από 2 έως 10 cm. Νοτιοανατολικά του οροπεδίου «Καλοκαιρινό», οι ασβεστόλιθοι Βιγλών

επικάθονται στους ασβεστόλιθους άνευ παρεμβολής τεκτονικού λατυποπαγούς και άνευ κροκαλοπαγούς επίκλησης.

- Κυρίως νοτίως της περιοχής «Πόρος» (παλαιότερα προς νεότερα), έχουμε τους εξής ασβεστολιθικούς σχηματισμούς ηλικίας Μαιστρίχτιου – Ηώκαινου, πάχους 200 – 250 m (το μεγαλύτερο πάχος που έχει παρατηρηθεί στο νησί της Λευκάδας):

    - Στρωματώδεις μικρολατυποπαγείς ή μικροκροκαλοπαγείς ασβεστόλιθοι με αραιές ενστρώσεις πυριτόλιθων ηλικίας Ανώτερου Σενωνίου, πάχους 60 m.

    - Πελαγικοί ασβεστόλιθοι με αραιές ενστρώσεις πυριτόλιθων οι οποίοι μεταπίπτουν πλευρικά σε μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους, ηλικίας Παλαιόκαινου, πάχους 60 m.

    - Πελαγικοί ασβεστόλιθοι ακολουθούμενοι από μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους, ηλικίας Υπρέσιου, πάχους 20 – 30 m.

- Φλύσχης ηλικίας Ανώτερου Ηωκαίνου. Ο φλύσχης αποτελείται κατά τα κατώτερα στρώματα από μάργες και κατά τα ανώτερα από ψαμμίτες ενώ στα ενδιάμεσα στάδια παρατηρούνται στρώματα γύψου, τα οποία ανήλθαν λόγω ρηγμάτων. Αναφέρεται ότι ο Ιόνιος φλύσχης εμφανίζεται στο νησί της Λευκάδας κυρίως κατά τα ΝΑ ως σύγκλινο ενώ στο υπόλοιπο νησί, οι εμφανίσεις του φλύσχη είναι λίγες και επιμήκεις.

Η ζώνη Παξών χαρακτηρίζεται από την συνεχή ανθρακική ιζηματογένεση και την απουσία του φλύσχη (Mountrakis et al., 2010). Τα πιο παλιά πετρώματα που παρατηρούνται σε αυτή την ενότητα είναι οι εβαπορίτες, οι δολομίτες και οι νηριτικοί ασβεστόλιθοι ηλικίας Άνω Τριαδικού (Mountrakis et al., 2010). Έπειτα εμφανίζονται νηριτικοί ασβεστόλιθοι του Κάτω-Μέσου Ιουρασικού ενώ στους ασβεστόλιθους του Άνω Ιουρασικού εμφανίζονται μαργαϊκές και κερατολιθικές ενστρώσεις (Mountrakis et al., 2010). Κατά το Κρητιδικό έως το Νεογενές, η ιζηματογένεση συνεχίσθηκε χωρίς διακοπή με απόθεση νηριτικών και μαργαϊκών ασβεστόλιθων (Mountrakis et al., 2010).

Κατά τον Μπορνόβα (1964) η γεωλογικοί σχηματισμοί της ζώνης Παξών είναι οι εξής, από τον παλαιότερο προς τον νεότερο:

- Από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά (παλαιότερα προς νεότερα), κυρίως ανάμεσα στα χωριά Δράγανο και Αθάνι της Λευκάδας, έχουμε τους εξής σχηματισμούς Ιουρασικής ηλικίας:

    - Τεφρόχροοι δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι χωρίς απολιθώματα, πάχους 150 m

    - Μαύροι βιτουμενιούχοι σχιστόλιθοι με ενστρώσεις ασβεστόλιθων

- Πελαγικοί παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι με αραιές ενστρώσεις πυριτόλιθων

- Πελαγικοί στρωματώδεις ασβεστόλιθοι με αραιές-λεπτές ενστρώσεις πυριτόλιθων πάχους 2-5 cm, ηλικίας Κατώτερου Κρητιδικού – Ανώτερου Σενώνιου. Αντιπροσωπεύουν την, προς τα δυτικά, εξέλιξη των ασβεστόλιθων Βίγλας και έχουν πάχος περίπου 100 m. Κατά τα ανώτερα στρώματα, οι παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι εναλλάσσονται με πελαγικούς πλακώδεις ασβεστόλιθους με σπάνιους πυριτόλιθους. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι αυτοί οι ασβεστόλιθοι είναι πιο αδρομερείς από τους αντίστοιχους της Ιονίου ζώνης. Αυτοί οι ασβεστόλιθοι εξαπλώνονται κατά το μεγαλύτερο μέρος της Λευκάδας και αποτελούν την μεγαλύτερη εμφάνιση του Άνω-κρητιδικού του νησιού

- Πλακώδεις μαργαϊκοί μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι χωρίς πυριτόλιθους πάχους 20-30 m και Ολιγοκαινικής ηλικίας

- Κλαστικά ιζήματα Μειοκαινικής ηλικίας με τα οποία κλείνει ο κύκλος της κανονικής ιζηματογένεσης στο νησί της Λευκάδας. Η εμφάνιση των ιζημάτων τοποθετείται νότια του χωριού Καλαμίτσι έως τις ακτές της Βασιλικής. Η βάση της κλαστικής σειράς ξεκινά με ασβεστόλιθους του Ακουιτάνιου με πάχος που φτάνει τα μερικά μέτρα. Έπειτα, η σειρά συνεχίζει με κλαστικά ιζήματα πάχους 700 m, εκ των οποίων τα πρώτα 250 m αποτελούνται από μάργες με αραιές λεπτές ενστρώσεις μικρολατυποπαγών ασβεστόλιθων ενώ τα υπόλοιπα 400 – 500 m αποτελούνται από ψαμμούχες μάργες με αραιές ενστρώσεις ψαμμιτών και φυλλώδεις παρεμβολές λιγνιτών

5.2. Τεκτονικά στοιχεία

Η υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική, η οποία λαμβάνει χώρα στο Νότιο τμήμα της Ελλάδας, μεταπίπτει στην Αδριατική σύγκρουση προς τα βόρεια μέσω του δεξιόστροφου ρήγματος της Κεφαλονιάς (CTF ή KLTF) (Rondoyanni et al., 2012). Η έντονη σεισμικότητα καθώς και η νεοτεκτονική δομή της Λευκάδας οφείλεται στο προαναφερόμενο ρήγμα.

Η Ιόνιος ζώνη χαρακτηρίζεται από πτυχωσιγενή τεκτονική η οποία πραγματοποιήθηκε κατά το Κάτω Μειόκαινο λόγω της συμπιεστικής τεκτονικής του Τριτογενούς. Η συμπιεστική τεκτονική υποβοηθήθηκε και από τα πολύ πλαστικά στρώματα γύψου της συγκεκριμένης ζώνης καθώς επίσης κατά την φάση της πτύχωσης δημιουργήθηκαν συνεχείς επωθήσεις ή εφιππεύσεις και λεπιώσεις (Mountrakis, 2010).
Οι μεγαπτυχές που δημιουργήθηκαν λόγω της προαναφερόμενης συμπιεστικής τεκτονικής έχουν αξονική διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ έως ΒΔ-ΝΑ («Διναρική διεύθυνση»). Σημαντικής σπουδαιότητας είναι τα μεγάλα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης τα οποία έχουν γενική διεύθυνση Α-Δ ή ΑΒΑ-ΔΝΔ και σχηματίσθηκαν κατά την διάρκεια της τελική πτύχωσης κάθετα στους άξονες των μεγαπτυχών. Επίσης παρατηρούνται

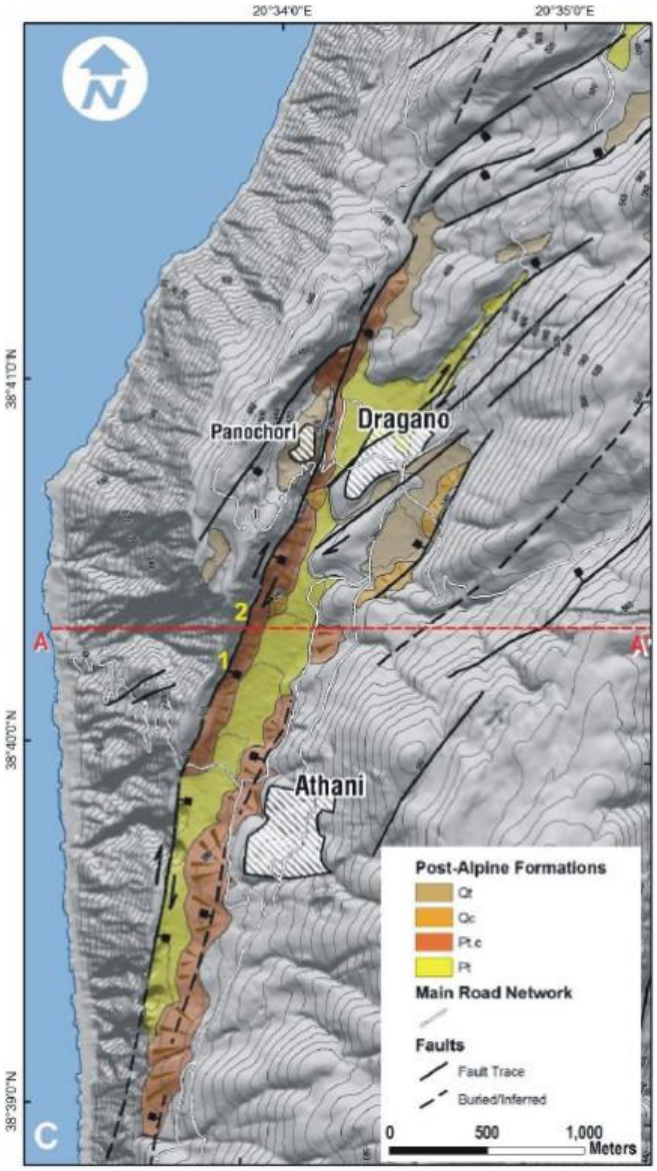
01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

μεγάλα επιμήκη ανάστροφα και κανονικά ρήγματα διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ (Mountrakis, 2010).

Όσον αφορά την τεκτονική της ζώνης Παξών, δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία, κυρίως λόγω των μικρών εμφανίσεων της ζώνης. Πρέπει όμως να τονισθεί ότι η ιζηματογένεση δεν τελείωσε με την ανάδυση του φλύσχη όπως συμβαίνει συνήθως, δεδομένο που μας κατευθύνει στην περίπτωση της ορογενετικής διαδικασίας και έπειτα στην δράση κανονικών ρηγμάτων τα οποία καταβυθίζουν την περιοχή, με αποτέλεσμα να συνεχίζεται η ιζηματογένεση (Mountrakis, 2010).

Η περίπλοκη τεκτονική δομή της Λευκάδας σχετίζεται κατά ένα μεγάλο τμήμα με τις έντονες συμπιεστικές κινήσεις που έλαβαν χώρα λόγω της επώθησης της Ιόνιας ζώνης στην Προ-Απούλια ζώνη ή ζώνη Παξών. Συνεπώς, οι πολυπληθείς αντικλινικές και συγκλινικές δομές όπως και τα επωθητικά ρήγματα οφείλονται στο νεοτεκτονικό στάδιο της προαναφερόμενης επώθησης (Rondoyanni et al., 2012).
Οι κυριότερες δομές που λαμβάνουν χώρα στο νησί της Λευκάδας είναι επωθητικά ρήγματα παράταξης ΒΑ-ΝΔ κυρίως στον ασβεστόλιθο της Ιονίου ζώνης ο οποίος επωθείται στα Μειοκαινικά μάρμαρα της ζώνης Παξών (Μπορνόβας, 1964) όπως επίσης και στις Μειοκαινικές μάργες (Papathanassiou et al., 2005). Ακόμη, παρατηρείται ένα σύστημα ρηγμάτων (Μπορνόβας, 1964) παράταξης ΒΑ-ΝΔ έως ΒΒΑ-ΝΝΔ τα οποία είναι κυρίως κανονικά ρήγματα με σημαντική δεξιόστροφη συνιστώσα ενώ υπάρχουν και δευτερεύοντα κανονικά ρήγματα τα οποία έχουν παράταξη ΒΔ-ΝΑ με αριστερόστροφη συνιστώσα (Cushing, 1985). Στην περιοχή δρουν τυπικές μορφές κανονικών ρηγμάτων με παράταξη ΑΒΑ-ΔΝΔ και Β-Ν εκ των οποίων πολλά μπορούν να χαρακτηριστούν ως ενεργά, πληροφορία βασιζόμενη σε μορφοτεκτονικά κριτήρια (Papathanassiou et al., 2016, Papathanassiou et al., 2005).

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η τεκτονική δομή διαμορφώνεται επίσης και μέσω του παράλληλου ρήγματος στο δεξιόστροφο ρήγμα της Κεφαλονιάς (CTF ή KLTF), το ρήγμα Αθανίου - Δραγάνου. Το συγκεκριμένο ρήγμα αποτελεί ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ ενώ κλίνει προς τα Ανατολικά και φαίνεται εμφανώς σε δορυφορικές φωτογραφίες ή αεροφωτογραφίες (Papathanassiou et al., 2016). Από λιθολογική άποψη το ρήγμα τέμνει τους ασβεστόλιθους και δολομίτες της περιοχής (Rondogianni & Tsiambaos, 2008) και πιο συγκεκριμένα διαχωρίζει τους κρητιδικούς ασβεστόλιθους (δυτικά) από Πλειστοκαινικές χερσαίες αποθέσεις όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 15** (Papathanassiou et al., 2016). Κατά την δράση του δημιούργησε ένα σύστημα κανονικών ρηγμάτων το οποίο έδρασε πιθανώς κατά το Α. Πλειόκαινο έως το Μ. – Α. Πλειστόκαινο (Cushing, 1985).



Εικόνα 15. Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε το ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης Αθανίου – Δραγάνου (μαύρη γραμμή με βέλη εκατέρωθεν) καθώς επίσης και του γεωλογικούς σχηματισμούς που παρατηρούνται στην περιοχή (Papathanassiou et al., 2016)

6. ΜΕΘΟΔΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ UAV (Unmanned Aerial Vehicle – Μη Επανδρωμένο Αερόχημα)

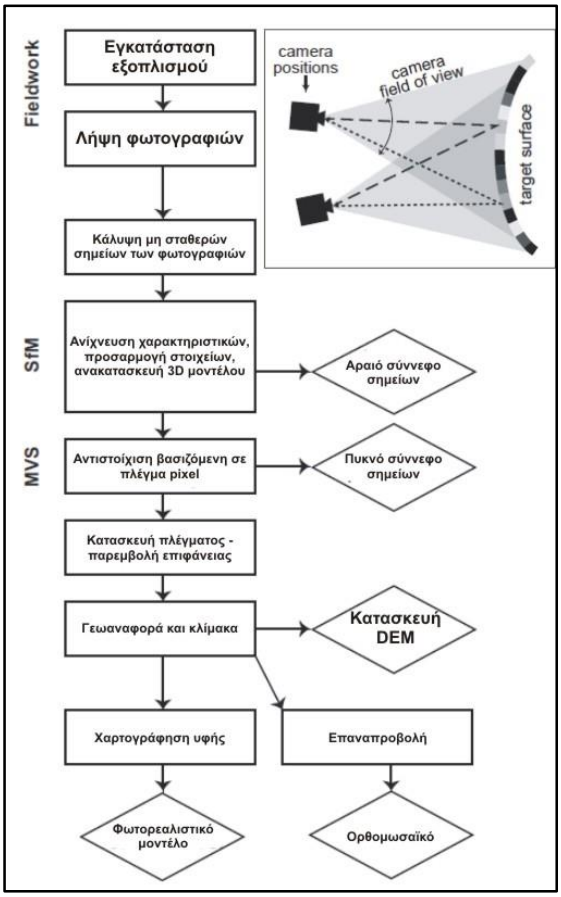
Μέσω της παρούσας εργασίας εξετάζεται η χρήση νέων σύγχρονων μεθόδων με σκοπό την πιο αποτελεσματική γεωλογική και τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση. Λόγω της δυνατότητας χρήσης εργαλείων όπως το UAV (Unmanned Aerial Vehicle), πραγματοποιήθηκε λήψη αεροφωτογραφιών για τις περιοχές μελέτης οι οποίες έπειτα αναλύθηκαν με την χρήση της φωτογραμμετρίας. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα βασικά στοιχεία όσον αφορά την φωτογραμμετρία.

Φωτογραμμετρία ονομάζεται «Η τεχνική κατά την οποία λαμβάνονται τρισδιάστατες (3D) πληροφορίες χαρακτηριστικών μέσω 2 ή περισσότερων φωτογραφιών του ίδιου αντικειμένου, λαμβανόμενες από διαφορετικές γωνίες» (Vasuki et al., 2014). Ήδη η εξέλιξη των νέων τεχνολογικών επιτευγμάτων έχει οδηγήσει στην λήψη τρισδιάστατων πληροφοριών υψηλής ανάλυσης, τεχνολογίες που βασίζονται στην σάρωση επιφανειών με την χρήση laser (Bemis et al., 2014). Η συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελεί διαδικασία υψηλού κόστους καθώς τα εργαλεία που πραγματοποιούν την λήψη δεδομένων είναι εξαιρετικά ακριβά και η διαδικασία λήψης των δεδομένων χρονοβόρα. Ως αποτέλεσμα, οι γεωεπιστήμονες χρησιμοποιούν λογισμικά που εκμεταλλεύονται την φωτογραμμετρία, μεμονωμένα ή σε συνδυασμό με τα προαναφερόμενα συστήματα (Bemis et al., 2014).
Οι νέες τεχνολογικές μέθοδοι και η εξέλιξη αυτών σε σχέση με τα μη επανδρωμένα αέρια οχήματα (UAVs) παράγουν δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή δισδιάστατων και τρισδιάστατων εικόνων υψηλής ανάλυσης εδάφους και επιφανειών (Vasuki et al., 2014). Τα μη επανδρωμένα αέρια συστήματα (UAS) έχουν λάβει διάφορα ονόματα (π.χ. aerial robots) όμως πλέον είναι γνωστά με τον όρο UAV (Unmanned Aerial Vehicle) ή με τον όρο drones (Colomina & Molina, 2014, Siebert & Teizer, 2014). Τέτοια συστήματα δημιουργήθηκαν και αναπτύχθηκαν για στρατιωτικούς σκοπούς όμως στα τέλη της δεκαετίας του 1970, οι ερευνητές ξεκίνησαν να τα χρησιμοποιούν ανακαλύπτοντας τις χαρτογραφικές δυνατότητες που παρείχαν (Colomina & Molina, 2014). Τα τελευταία χρόνια η χρήση τους έχει αυξηθεί πολύ καθώς επίσης και η πληροφόρηση για τέτοιου είδους συστήματα και λογισμικά που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των δεδομένων (Colomina & Molina, 2014).

Τα μη επανδρωμένα αέρια οχήματα (UAV) έχουν εγκατεστημένους αισθητήρες όπως μονάδες αδρανειακής κίνησης (IMU) και γυροσκόπια, οι οποίοι εντοπίζουν και διαμορφώνουν την ευθυγράμμιση και την θέση του αεροχήματος (Colomina & Molina, 2014, Siebert & Teizer, 2014, Vasuki et al., 2014). Ακόμη, η δυνατότητα παροχής υψηλής ακρίβειας και χαμηλού κόστους Παγκόσμιου Συστήματος Γεωαναφοράς (GPS), είναι ένα στοιχείο το οποίο χρησιμεύει για τον εντοπισμό της θέσης του αεροχήματος σε πραγματικό χρόνο σε οποιοδήποτε σημείο της Γης (Siebert & Teizer, 2014, Colomina & Molina, 2014, Bemis et al., 2014). Η χρήση ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών ή καμερών παραγωγής βίντεο, χαμηλού βάρους σε συνδυασμό με την ζωντανή απεικόνιση των λαμβανόμενων πληροφοριών σε μία

απομακρυσμένη βάση όπως επίσης και σε συνδυασμό με την χρήση GPS, παρέχει την δυνατότητα λήψης γεωαναφερμένων δεδομένων υψηλής ακρίβειας σε πραγματικό χρόνο για μεγάλες αποστάσεις (Siebert & Teizer, 2014, Bemis et al., 2014). Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των UAVs είναι ότι μπορούν να παρέχουν γρήγορα στον άνθρωπο φωτογραφίες από χαρακτηριστικά τα οποία είναι δύσκολο να εντοπιστούν με γυμνό μάτι (Vasuki et al., 2014, Bemis et al., 2014).

Τελικό αποτέλεσμα μέσω της χρήσης τέτοιων συστημάτων είναι η κατασκευή τρισδιάστατων (3D) εικόνων στις οποίες είναι δυνατό να φαίνεται η τοποθεσία, η λεπτομερής επιφανειακή γεωμετρία και ο προσανατολισμός. Έτσι λοιπόν είναι δυνατόν να κατασκευαστεί ένα τρισδιάστατο σύννεφο σημείων (3D point cloud) μέσω του οποίου θα εξαχθεί τελικά το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) με σκοπό την δημιουργία ενός φωτομωσαϊκού ή της υφής της επιφάνειας (Vasuki et al., 2014). Η λεπτομερής οπτικοποίηση της επιφάνειας της Γης σε μεγάλη κλίμακα οδηγεί στην κατασκευή λεπτομερών τοπογραφικών χαρτών αεροφωτογραφιών με αλληλοεπικάλυψη (Bemis et al., 2014). Ο συνδυασμός τέτοιων εικόνων με τους γεωλογικούς χάρτες μπορεί να οδηγήσει στην κατασκευή οπτικών μοντέλων τόσο όσον αφορά την κλασσική γεωλογία όσο την τεχνική γεωλογία και την γεωφυσική (Vasuki et al., 2014). Τονίζεται ότι μέσω της εξέλιξης της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι πλέον δυνατό να ληφθούν μεγάλες ποσότητες ψηφιακών δεδομένων ακρίβειας εκατοστού, σε μερικά μόλις λεπτά (Vasuki et al., 2014).



Σχήμα 9. Στο παραπάνω διάγραμμα ροής παρουσιάζεται η μεθοδολογία φωτογραμμετρίας που αναλύθηκε παραπάνω, σε συγκεκριμένα βήματα. Επάνω δεξιά φαίνεται ο σωστός τρόπος αλληλοεπικάλυψης 2 διαδοχικών φωτογραφιών *(Bemis et al., 2014).*

Η πλήρης γνώση ενός γεωεπιστήμονα σε σχέση με τις ικανότητες της φωτογραμμετρίας θα πρέπει να συνδυάζεται και με την γνώση ανάλογου λογισμικού για την σωστή επεξεργασία των δεδομένων που παρέχονται από συστήματα UAVs (Bemis et al., 2014). Τέτοια λογισμικά υπάρχουν στην αγορά τόσο μέσω πληρωμής όσο και σε ελεύθερης πρόσβασης λογισμικό. Παρακάτω θα αναλυθεί η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης της Λευκάδας όπως επίσης και τα όργανα και λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν.

6.1. Φωτογραμμετρία με την χρήση UAV για την περίπτωση της Λευκάδας

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η παραγωγή δεδομένων φωτογραμμετρίας για τις περιοχές Γιαλός και Εγγρεμνοί πραγματοποιήθηκε με σύστημα UAV. Ένα τέτοιο σύστημα αγοράστηκε πρόσφατα από το τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.) με σκοπό την εφαρμογή μεθόδων φωτογραμμετρίας όμως και απλής φωτογράφησης περιοχών που είναι δύσβατες, από όλους τους τομείς του τμήματος Γεωλογίας.

Το συγκεκριμένο σύστημα παρέχεται μέσω της εταιρίας DJI και ονομάζεται Phantom 3 Professional **(Εικόνα 16)**. Τα 3 μεγάλα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι τα εξής:

- Καταγραφή βίντεο και ζωντανή μετάδοση στον χειριστή (μέσω κινητού τηλεφώνου ή tablet) έως και 4K και λήψη γεωαναφερμένων φωτογραφιών με ανάλυση έως και 12 MegaPixel

- Αυτονομία σε κανονικές συνθήκες (π.χ. ασθενής άνεμος, αραιή λήψη φωτογραφιών κ.τ.λ.) έως 23 λεπτά ενώ η αυτονομία μειώνεται στα 15 λεπτά με πλήρη χρήση των δυνατοτήτων ή/και με εντονότερο άνεμο.

- Προκαθορισμός σημείων και λειτουργία αυτόματου πιλότου

Για κάθε περιοχή λήφθηκε ένα πλήθος φωτογραφιών (χειριστής αεροχήματος: Γιώργος Παπαθανασίου) το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την τελική κατασκευή των ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DEM) και των ορθομωσαϊκών. Για την περιοχή Γιαλός λήφθηκαν 139 φωτογραφίες ενώ για την περιοχή Εγγρεμνοί λήφθηκαν 144 φωτογραφίες, όλες με την υψηλότερη ανάλυση (12 MegaPixel).

Η διαδικασία χειρισμού και πτήσης του συγκεκριμένου εργαλείου απαιτεί την γνώση και εμπειρία από τον χειριστή με σκοπό την καλύτερη και πληρέστερη λήψη δεδομένων. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι με όσο πιο ορθό τρόπο ληφθούν οι αεροφωτογραφίες τόσο η αλληλοεπικάλυψή τους θα είναι πιο ολοκληρωμένη και συνεπώς τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEM) και τα ορθομωσαϊκά θα είναι πιο λεπτομερή και ακριβέστερα.

Εικόνα 16. Στη φωτογραφία παρατηρούμε την διαδικασία πτήσης του drone DJI Phantom 3 Professional, κατά την έρευνα κατολισθήσεων στην Λευκάδα κατά το χρονικό διάστημα 10-15/07/2016. Σε κίτρινο πλαίσιο φαίνεται σε μεγέθυνση το drone όπως επίσης και το χειριστήριό του (η φωτογραφία λήφθηκε στις 12/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

6.2. Επεξεργασία των φωτογραφιών που λήφθηκαν μέσω της χρήσης UAV για την περίπτωση της Λευκάδας

Όπως προαναφέρθηκε, οι φωτογραφίες που λαμβάνονται μέσω της χρήσης UAV είναι δυνατό να επεξεργαστούν με ειδικό λογισμικό και να μετατραπούν σε φωτομωσαϊκό ή ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM). Εφόσον οι φωτογραφίες είναι γεωαναφερμένες ή έχει πραγματοποιηθεί γεωαναφορά αργότερα κατά την επεξεργασία, τότε τα αποτελέσματα που εξάγονται μπορούν να εισαχθούν σε περιβάλλον GIS για περαιτέρω επεξεργασία και σύγκριση με άλλα επίπεδα πληροφοριών.

Ένα τέτοιο λογισμικό, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην προκειμένη περίπτωση είναι το Agisoft Photoscan Professional μέσω του οποίου επεξεργάστηκαν οι αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν για τις περιοχές Γιαλός και Εγγρεμνοί. Το συγκεκριμένο λογισμικό παρέχει ένα πολύ προσιτό και εύκολο στη χρήση περιβάλλον, πλεονέκτημα το οποίο εναρμονίζεται πλήρως με τα υψηλής ποιότητας αποτελέσματα που παρέχει στον χρήστη. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των φωτογραφιών, μέσω του συγκεκριμένου λογισμικού, αναλύεται παρακάτω ενώ το οπτικό αποτέλεσμα φαίνεται στην **Εικόνα 18**:

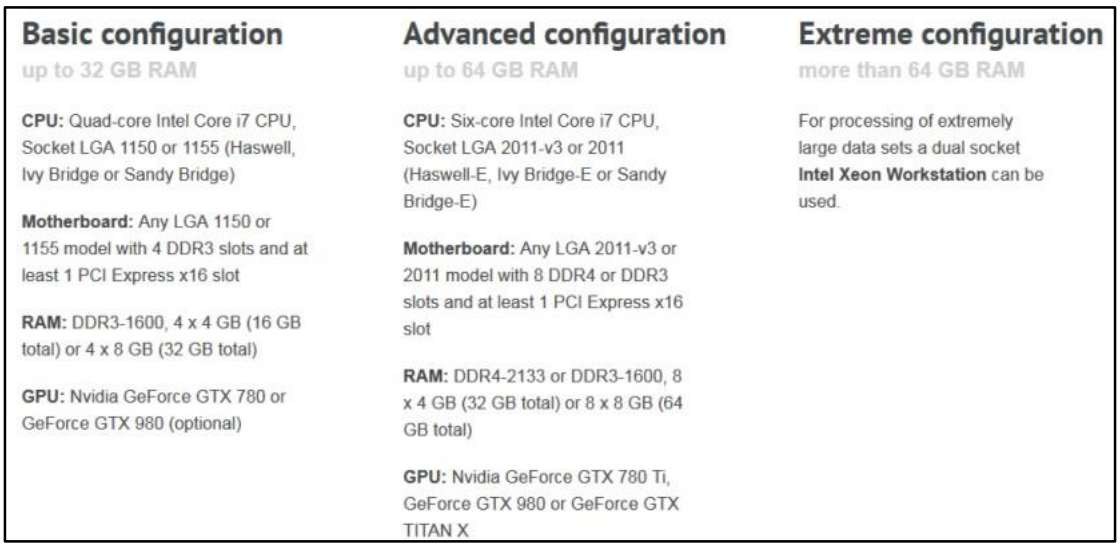
- Εισαγωγή όλων των γεωαναφερμένων φωτογραφιών για συγκεκριμένη περιοχή
- Επιλογή των περιοχών των φωτογραφιών που πρέπει να επεξεργαστούν και αποκοπή των περιοχών που δε χρησιμεύουν στην ανάλυση (ουρανός, θάλασσα κ.τ.λ.) μέσω ειδικού εργαλείου που παρέχει το λογισμικό

- Εύρεση κοινών σημείων μεταξύ των φωτογραφιών. (Για την περιοχή του Γιαλού, το σύνολο των κοινών σημείων είναι 23.502 ενώ για την περιοχή των Εγγρεμνών είναι 31.975)

- Κατασκευή του πυκνού σύννεφου σημείων (Για την περιοχή του Γιαλού, το σύνολο των κοινών σημείων είναι 43.032.781 ενώ για την περιοχή των Εγγρεμνών είναι 39.868.217)

- Κατασκευή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM)

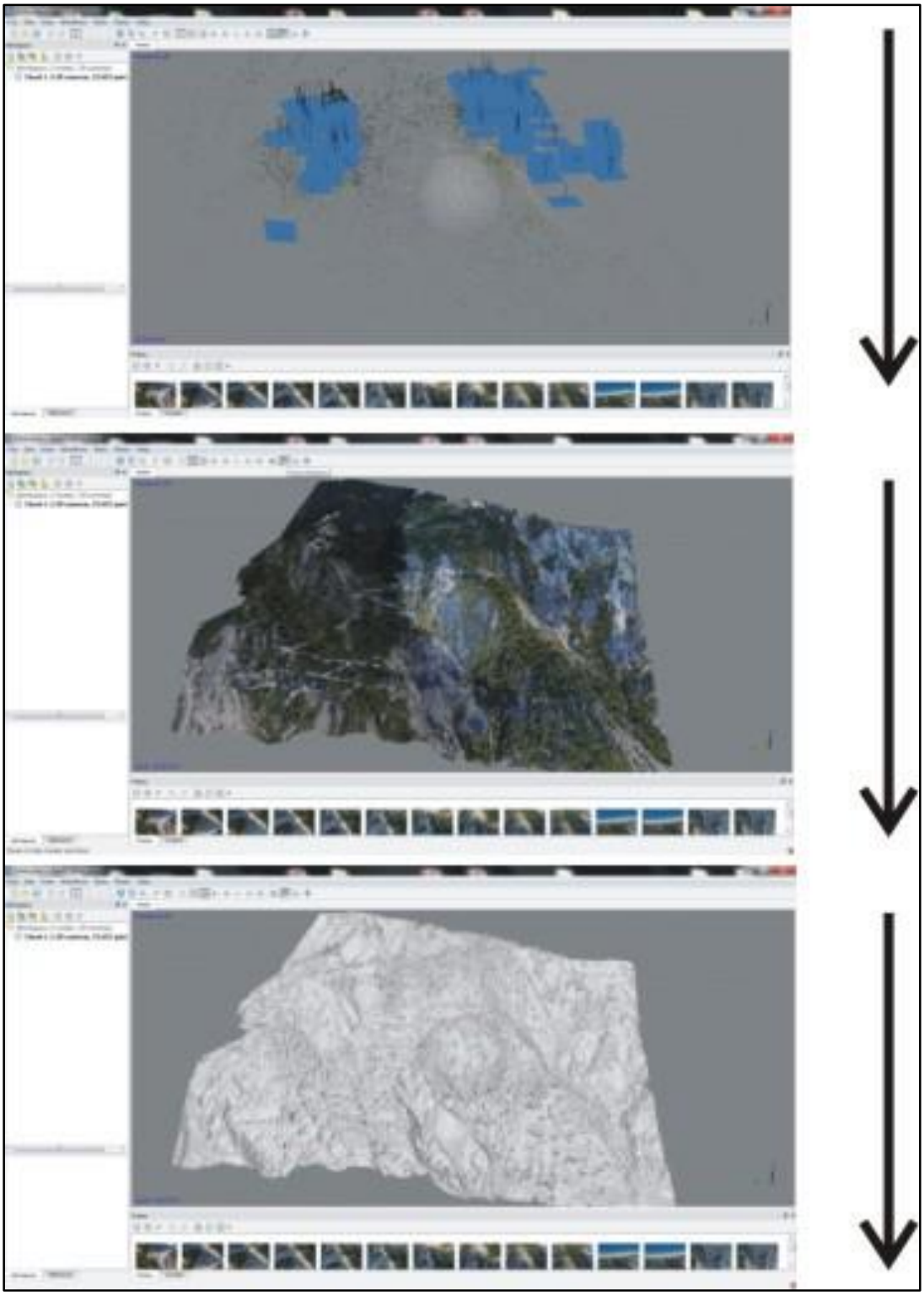
Πρέπει να επισημανθεί ότι η χρήση τέτοιων λογισμικών απαιτεί και τις ανάλογες δυνατότητες από τα υπολογιστικά συστήματα που χρησιμοποιούνται. Στην **Εικόνα 17** φαίνονται οι προτεινόμενες απαιτήσεις συστήματος (http://www.agisoft.com) για βασική, προηγμένη και ακραία επεξεργασία. Είναι φυσικό και αναμενόμενο ότι ένας απλός προσωπικός υπολογιστής που δεν πληροί απόλυτα αυτές τις προϋποθέσεις, θα αντιμετωπίσει δυσκολία σε ό,τι αφορά την επεξεργασία πολλών φωτογραφιών και μάλιστα υψηλής ανάλυσης και μάλιστα δεν θα υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων υψηλής ακρίβειας.



Εικόνα 17. Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε τις προτεινόμενες απαιτήσεις συστήματος για βασική, προηγμένη και ακραία επεξεργασία, μέσω του προγράμματος Agisoft Photoscan Professional *(http://www.agisoft.com)*

Θα πρέπει να τονιστεί ότι το συγκεκριμένο λογισμικό είναι ικανό να δημιουργήσει σύννεφα σημείων και κατ' επέκταση ψηφιακά μοντέλα εδάφους και ορθομωσαϊκά, όμως υπάρχει ένας σοβαρός περιορισμός στις περιπτώσεις έντονης φυτοκάλυψης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το υπόβαθρο και οι δομές που καλύπτονται από την φυτοκάλυψη δεν είναι δυνατό να αναπαραχθούν ούτε υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής της πληροφορίας της χλωρίδας όπως μπορεί να γίνει με την χρήση άλλων οργάνων και λογισμικών (LiDaR). Συνεπώς θα πρέπει να επιλέγεται κατάλληλα η περιοχή η οποία θα φωτογραφηθεί ούτως ώστε τα σημεία ενδιαφέροντος να είναι εμφανή και να μη καλύπτονται από εμπόδια. Στην περίπτωση του Γιαλού, η φυτοκάλυψη δεν είναι πολύ έντονη με αποτέλεσμα το εξαγόμενο μοντέλο εδάφους και το ορθομωσαϊκό να είναι

ικανοποιητικής ποιότητας καθώς φαίνονται πλήρως όλες οι δομές. Αντίθετα, το μοντέλο εδάφους και το ορθομωσαϊκό για την περιοχή των Εγγρεμνών παρουσιάζει μεγάλα κενά και έντονη πλευρική παραμόρφωση ενώ οι περισσότερες δομές που έχουν χαρτογραφηθεί κατά το στάδιο εργασίας υπαίθρου φαίνονται αμυδρά έως δύσκολα.



Εικόνα 18. Στην παραπάνω εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε οπτικά τα βήματα που πραγματοποιήθηκαν για την επεξεργασία των φωτογραφιών που λήφθηκαν με την χρήση UAV, μέσω του προγράμματος Agisoft Photoscan Professional. Επάνω φαίνεται το σύννεφο κοινών σημείων, έπειτα φαίνεται το πυκνό σύννεφο σημείων και τέλος φαίνεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM)

7. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

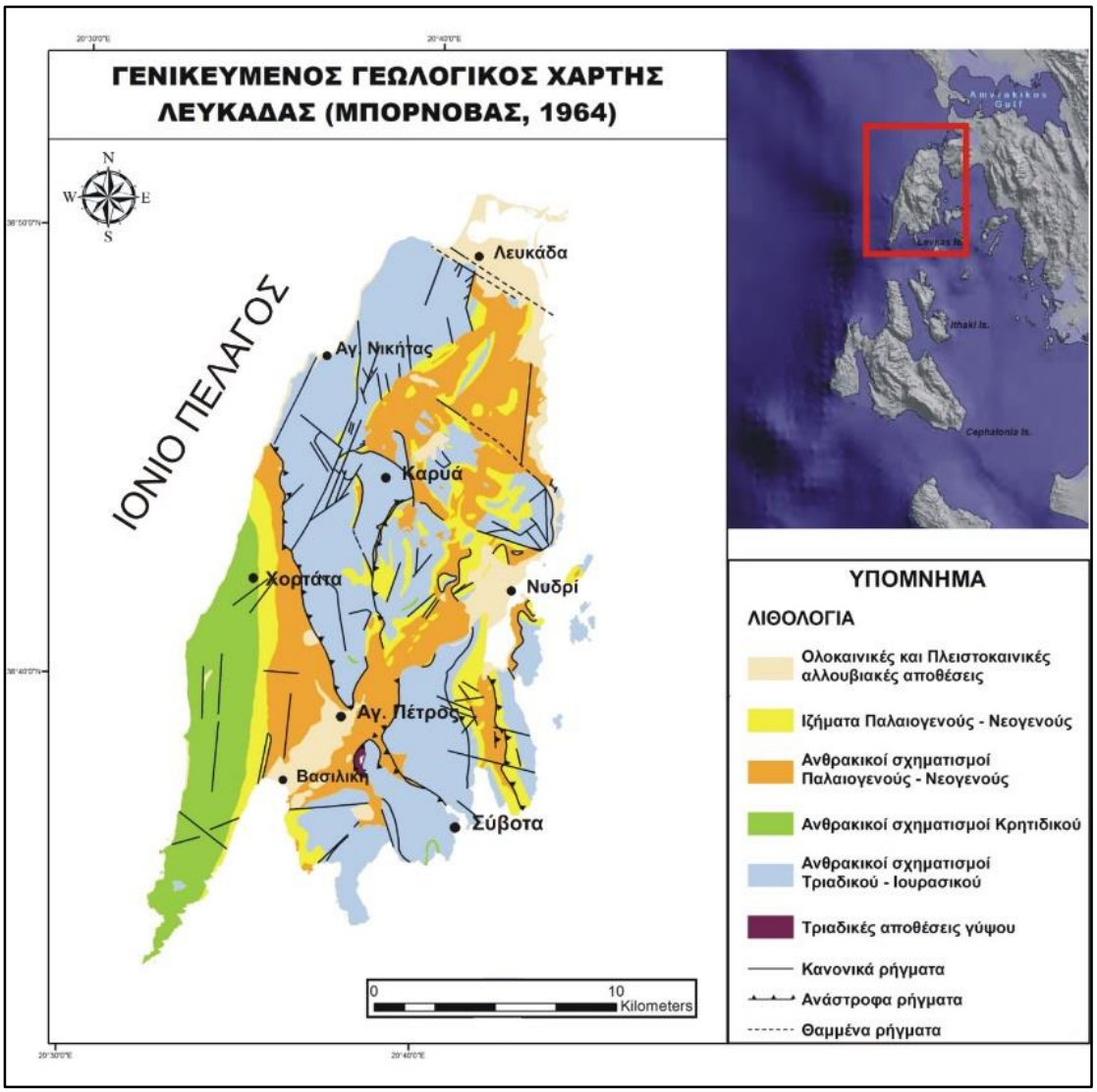
Κατά την τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα 10-15/07/2016 λήφθηκαν δεδομένα όσον αφορά την γεωλογία των περιοχών μελέτης (Εγγρεμνοί, Γιαλός), τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες που διέπουν τις περιοχές, τα είδη των αστοχιών καθώς επίσης και την δριμύτητα αυτών. Επίσης, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των αεροφωτογραφιών που λήφθηκαν για τις περιοχές και έγινε σύγκριση των δεδομένων υπαίθρου με τα ψηφιακά μοντέλα που κατασκευάστηκαν. Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν για τις δύο περιοχές μελέτης.

7.1. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή «Γιαλός»

7.1.1. Γεωλογικές συνθήκες

Κατά τον Μπορνόβα (1964) η περιοχή αποτελείται από αμμωνιτοφόρους ασβεστόλιθους και μαύρους βιτουμενιούχους σχιστόλιθους της ζώνης Παξών, ηλικίας Ανώτερου Ιουρασικού (Κιμμερίδιο – Τιθώνιο).
Όπως παρατηρήθηκε κατά την χαρτογράφηση υπαίθρου, στην στενή περιοχή μελέτης δεν απαντώνται μαύροι βιτουμενιούχοι σχιστόλιθοι ενώ ως υπόβαθρο συναντάται μαργαϊκός απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος ο οποίος σε αρκετές περιπτώσεις έχει την μορφή ενός ασβεστολιθικού λατυποπαγούς (breccia). Παρατηρήθηκε ακόμη η μετάβασή του σε εναλλαγές ιλυοαμμώδους υλικού με ασβεστολιθικές ενστρώσεις, γεγονός που αποδίδεται στην τοπική διαφοροποίηση της ιζηματογένεσης. Ακόμη στην περιοχή παρατηρούνται ασβεστολιθικά κορηματικά υλικά ασύνδετα ή καλά συγκολλημένα με ιλυοαμμώδες υλικό συγκόλλησης.

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Εικόνα 19. Στον παραπάνω γεωλογικό χάρτη παρατηρούμε τους γεωλογικούς σχηματισμούς της Λευκάδας καθώς επίσης και τα ρήγματά της όπως χαρτογραφήθηκαν από το ΙΓΜΕ *(Μπορνόβας, 1964)*

7.1.2. Υδρογεωλογικές συνθήκες

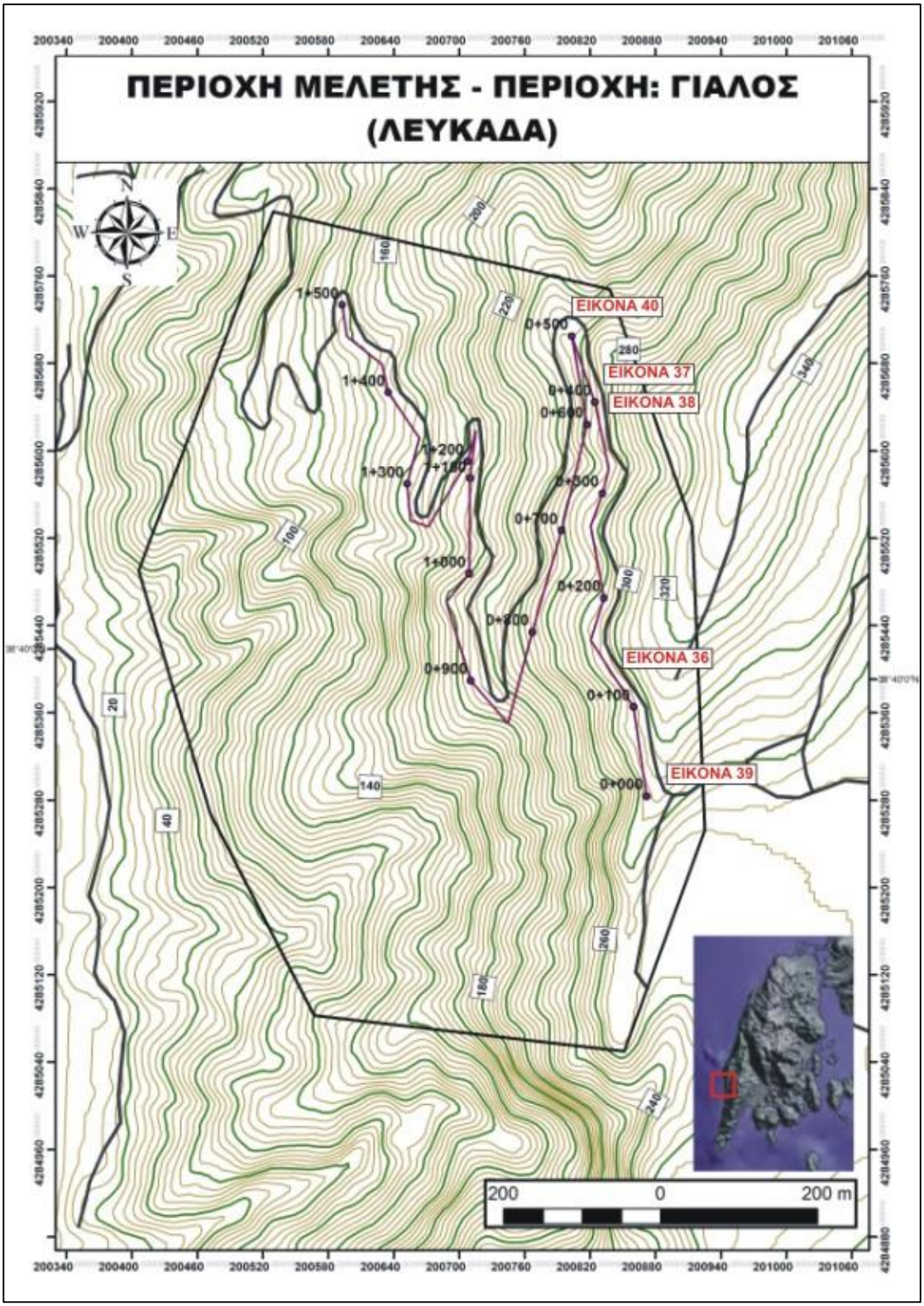
Στην περιοχή μελέτης δεν παρατηρούνται φυσικές εκφορτίσεις ενώ αντίθετα παρατηρούνται οι επιφανειακές διαδρομές των όμβριων υδάτων οι οποίες δημιουργούν μία υποτυπώδη και σε πρωταρχικό στάδιο, λεκάνη απορροής. Κατά την περίοδο της υπαίθριας μελέτης, η οποία πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο, δεν πραγματοποιήθηκε βροχόπτωση καθώς επίσης η θερμοκρασία ήταν πολύ υψηλή και τα ρέματα της περιοχής ήταν ξηρά.

7.1.3. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες

Σε τεχνικογεωλογικό επίπεδο, το ασβεστολιθικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται κυρίως κατακερματισμένο και αποδομημένο λόγω της τεκτονικής καταπόνησης που έχει υποστεί. Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι δυνατόν να ανιχνευθεί η στρώση του σχηματισμού ενώ στις λιγοστές περιπτώσεις, όπου ήταν δυνατό να ανιχνευθεί, μετρήθηκαν τα χαρακτηριστικά της κλίσης και της διεύθυνσης

κλίσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται συμπαγής χωρίς έντονη τεκτονική καταπόνηση όμως αυτές οι εμφανίσεις είναι περιορισμένες. Αυτή η μορφή του υποβάθρου δεν παρουσιάζει αστοχίες. Ακόμη πρέπει να τονιστεί ότι δεν παρατηρήθηκαν αστοχίες κινηματικής φύσης λόγω της απουσίας συστημάτων ασυνεχειών με συχνότητα και εμμονή.
Τα ασβεστολιθικά κορήματα της περιοχής αποτελούν κατά κύριο λόγω συγκολλημένα υλικά ενώ υπάρχει και μία μικρή εμφάνιση χαλαρών, μέτρια συγκολλημένων κορημάτων.

Όσον αφορά το τεχνικογεωλογικό πρότυπο της περιοχής μελέτης, ο προσδιορισμός των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων πραγματοποιήθηκε, για τους βραχώδεις σχηματισμούς, με βάση την εκτίμηση του βαθμού GSI (Geological Strength Index), το βαθμό αποσάθρωσης και τον δείκτη IRS (Intact Rock Strength) ενώ όσον αφορά τους εδαφικούς σχηματισμούς, η διαφοροποίηση πραγματοποιήθηκε με τον βαθμό συνεκτικότητάς τους. Έτσι, η περιοχή διαχωρίστηκε σε 6 τεχνικογεωλογικές ενότητες. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση περιορίστηκε μέχρι την χιλιομέτρηση 1+400 m, διότι τόσο από την υπαίθρια παρατήρηση καθώς όσο και μέσω της χρήσης του Drone φάνηκε ότι οι αστοχίες σταματούν να υφίστανται εντελώς στην συγκεκριμένη χιλιομέτρηση.

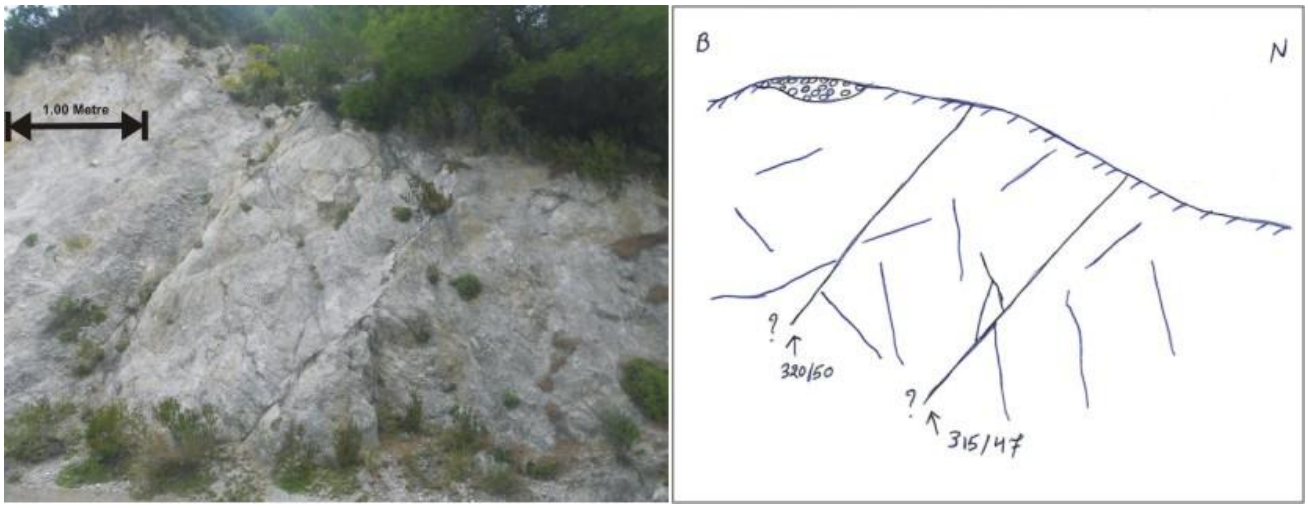


Σχήμα 10. Τοπογραφικός χάρτης περιοχής μελέτης «Γιαλός» όπου φαίνεται η περιοχή που μελετήθηκε καθώς επίσης η χιλιομέτρηση

Οι 6 τεχνικογεωλογικές ενότητες είναι οι εξής:

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 1

  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+500-0+540, 0+640-0+660, 1+150-1+170, 1+340-1+370 και πρόκειται για το ασβεστολιθικό υπόβαθρο και ένα μικρό τμήμα ασβεστολιθικού λατυποπαγούς (breccia) με GSI=60-70. Η αποσάθρωση δεν έχει επηρεάσει σε βάθος τον σχηματισμό καθώς περιορίζεται μόνο σε αποχρωματισμό των επιφανειών, δηλαδή το υλικό είναι ελαφρώς αποσαθρωμένο και ανήκει στον τύπο ΙΙ. Τα συστήματα των ασυνεχειών είναι εμφανή και δημιουργούν μεγάλα τεμάχη τα οποία είναι ευδιάκριτα. Αυτά τα τεμάχη δημιουργούν καλό «αλληλοκλείδωμα» με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πρανή με μεγάλη γωνία κλίσης. Επίσης είναι δύσκολη η θραύση του γεωυλικού με την χρήση του γεωλογικού σφυριού, δηλαδή το υλικό είναι πολύ σκληρό και ανήκει στην κατηγορία R5. Αφορά τον, ποιοτικά, καλύτερο βραχώδη σχηματισμό στον οποίο δεν παρατηρούνται αστοχίες ενώ τα πρανή έχουν ύψος 5 – 10 μέτρα και διατηρούν κλίση >70^{o}. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε αυτήν την τεχνικογεωλογική ενότητα παρατηρήθηκε ως επί το πλείστον η στρώση του ασβεστόλιθου.

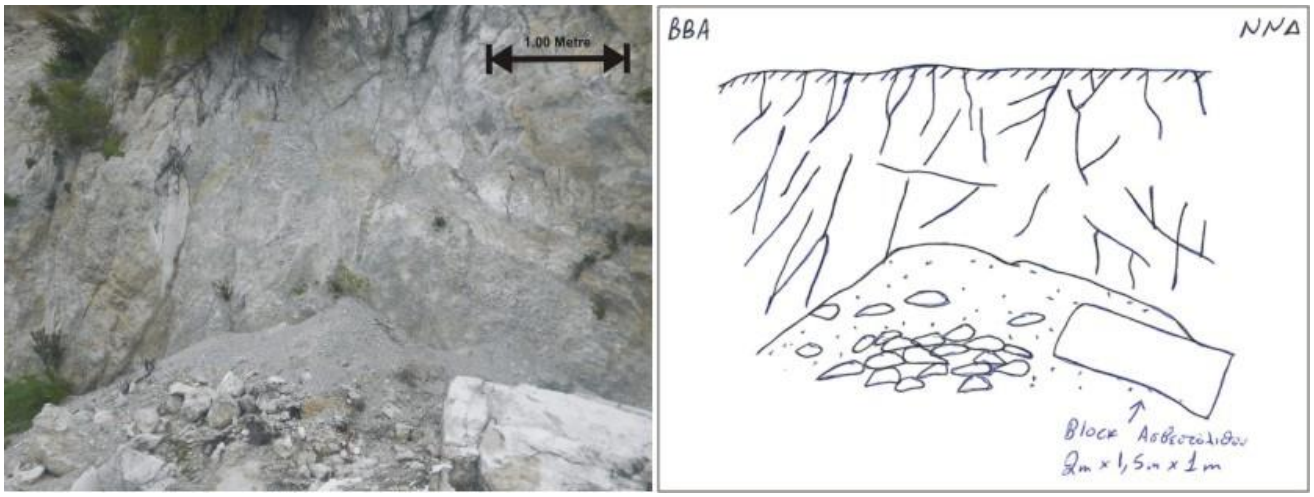


Εικόνα 20. Αριστερά παρατηρούμε το ασβεστολιθικό υπόβαθρο με GSI=60-70. Δεξιά φαίνεται η σχηματική απεικόνιση της αριστερής εικόνας όπου παρατηρούμε έναν συμπαγή ασβεστόλιθο με λίγες ασυνέχειες και 2 τεκτονικές ζώνες (η φωτογραφία λήφθηκε στις 13/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 2

  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+930-1+000 και πρόκειται για το ασβεστολιθικό υπόβαθρο με GSI=55-60. Τα πρανή έχουν ύψος 15-20 μέτρα και διατηρούν κλίση 40^{o}-50^{o}. Το υλικό εμφανίζεται ελαφρώς έως μέτρια αποσαθρωμένο (II-III) ενώ η αντοχή της βραχόμαζας κατατάσσεται στην κατηγορία R4 (δυνατό) ενώ τοπικά μεταπίπτει στην κατηγορία R3 (Μέτρια δυνατό). Οι αστοχίες που παρατηρούνται σε αυτήν την τεχνικογεωλογική ενότητα είναι μεμονωμένες βραχώδεις ολισθήσεις (Rock Slides) και συνδυασμός βραχωδών ολισθήσεων και καταπτώσεων βράχων (Rock Slides &

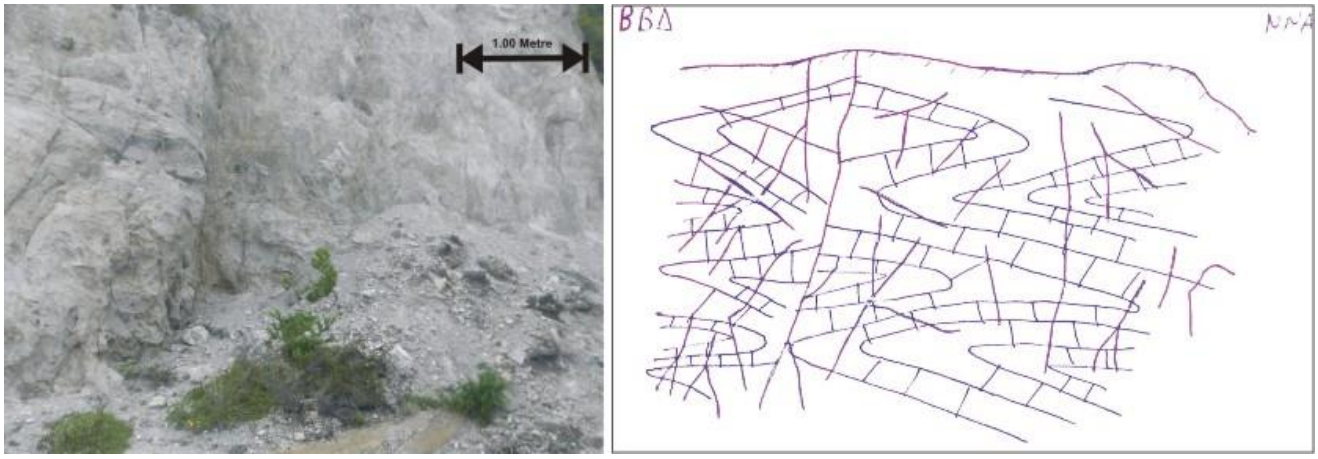
Rock Falls). Σημειώνεται ότι οι καταπτώσεις βράχων που παρατηρούνται μπορεί να έχουν μέγεθος 10 έως 30 εκατοστά όμως παράλληλα εμφανίζονται τεμάχη μεγάλου μεγέθους, ακτίνας ή ακμής έως και 1,5 μέτρο. Στην **Εικόνα 20** μπορούμε να παρατηρήσουμε τον συνδυασμό αστοχιών που προαναφέρθηκε. Παρατηρούμε ακόμη ότι η βραχόμαζα τέμνεται από ασυνέχειες οι οποίες όμως φαίνονται δυσδιάκριτα λόγω του αποχρωματισμού του υλικού.



Εικόνα 21. Αριστερά παρατηρούμε το ασβεστολιθικό υπόβαθρο με GSI=55-60. Δεξιά φαίνεται η σχηματική απεικόνιση της αριστερής εικόνας όπου παρατηρούμε έναν συμπαγή ασβεστόλιθο με πολλές ασυνέχειες, μία βραχώδη ολίσθηση και ένα μπλοκ ασβεστόλιθου (η φωτογραφία λήφθηκε στις 13/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 3

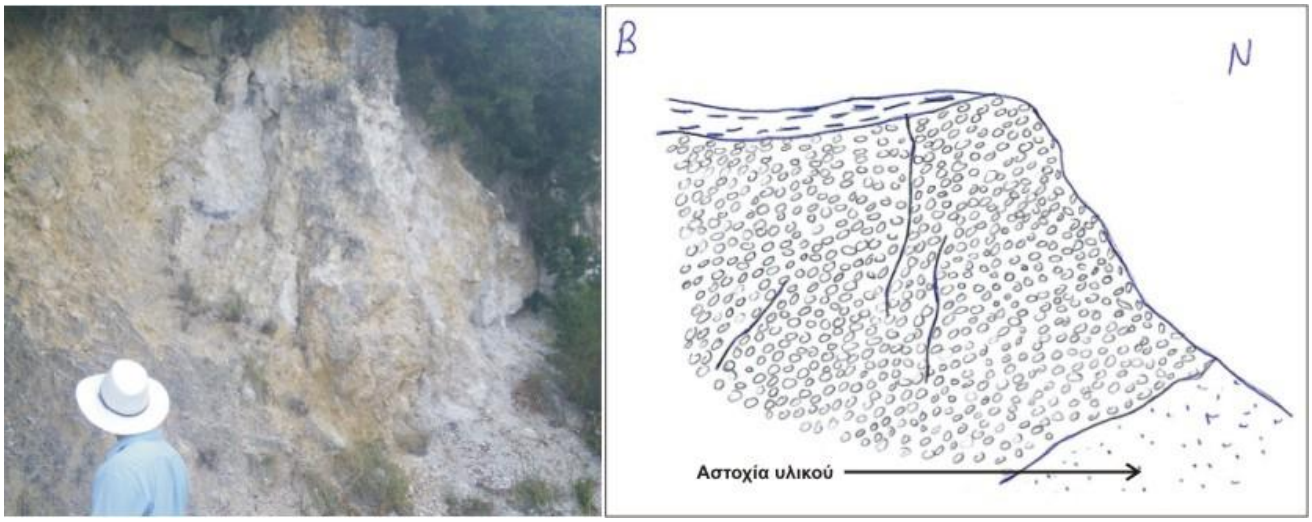
  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+190-0+230, 0+290-0+310, 0+190-0+230, 0+630-0+640, 0+690-0+800, 0+190-0+230, 0+190-0+230 και πρόκειται για το ασβεστολιθικό υπόβαθρο με GSI=35-45. Τα πρανή έχουν ύψος 6 – 10 μέτρα και διατηρούν κλίση 60^{o}-70^{o}. Το υλικό εμφανίζεται μέτρια αποσαθρωμένο (III) ενώ η αντοχή της βραχόμαζας κατατάσσεται στην κατηγορία R3 (Μέτρια δυνατό). Οι ασυνέχειες είναι έντονα δυσδιάκριτες ενώ ορισμένες επιφάνειες που παρατηρούνται σχετίζονται κυρίως με παλιές τεκτονικές επιφάνειες στις οποίες παρατηρείται ολίσθηση. Οι αστοχίες που παρατηρούνται σε αυτήν την τεχνικογεωλογική ενότητα είναι κυρίως βραχώδεις ολισθήσεις και συνδυασμός βραχωδών ολισθήσεων και καταπτώσεις βράχων ενώ σε δευτερεύον επίπεδο παρατηρούνται βαθιές ολισθήσεις. Πρέπει να τονιστεί ότι οι καταπτώσεις βράχων περιορίζονται σε τεμάχη μεγέθους 10 έως 30 εκατοστών τα οποία περιβάλλονται τις περισσότερες φορές από το κοκκώδες υλικό που έχει ολισθήσει. Αυτό συμβαίνει καθώς το υλικό εμφανίζεται κατακερματισμένο. Συνεπώς, στην περίπτωση κατά την οποία ένα τέμαχος μεγέθους έως και 1 με 2 μέτρα ολισθήσει, δεν θα καταφέρει να φτάσει στον πόδα του πρανούς χωρίς να καταστραφεί και θα κατακερματιστεί σε υλικό κοκκώδες διαμέτρου 5 – 10 εκατοστά. Πολύ σπάνια θα εμφανιστούν τεμάχη που ξεπερνούν τα 10 εκατοστά όμως αφορούν τεμάχη συμπαγούς ασβεστόλιθου που διατήρησε την δομή του.



Εικόνα 22. Αριστερά παρατηρούμε το ασβεστολιθικό υπόβαθρο με GSI=35-45. Δεξιά φαίνεται η σχηματική απεικόνιση της αριστερής εικόνας όπου παρατηρούμε το πτυχωμένο ασβεστολιθικό υπόβαθρο, τις ασυνέχειες του υλικού και μία βραχώδη ολίσθηση (η φωτογραφία λήφθηκε στις 13/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 4

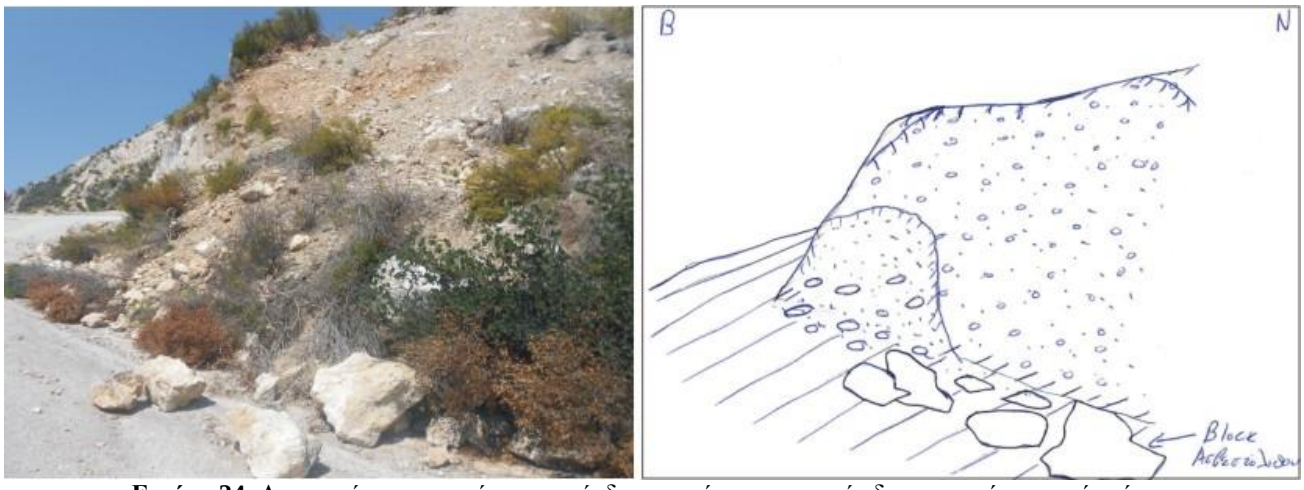
  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+050-0+100, 0+230-0+280, 0+460-0+500, 0+800-0+930, 1+000-1+070, 1+490-1+500 και πρόκειται για το ασβεστολιθικό υπόβαθρο με GSI=15-20. Η δομή του ασβεστόλιθου έχει αλλοιωθεί πλήρως και η τεκτονική παραμόρφωση που έχει δεχθεί έχει μετατρέψει τον άλλοτε συμπαγή ασβεστόλιθο, σε κατακερματισμένο και αδόμητο, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εύκολη εκσκαφή του με γεωλογικό σφυρί. Το υλικό εμφανίζεται πολύ αποσαθρωμένο (IV) ενώ η αντοχή της βραχόμαζας κατατάσσεται στην κατηγορία R2 (αδύναμο) ενώ τοπικά μεταπίπτει στην κατηγορία R1 (Πολύ αδύναμο). Τα συστήματα ασυνεχειών που παρατηρούνται σε άλλα σημεία με μεγαλύτερο GSI, δεν υφίστανται στην συγκεκριμένη μορφή. Τα πρανή έχουν ύψος 3 – 10 μέτρα και διατηρούν κλίση 40^{o}-45^{o}. Αφορά τον, ποιοτικά, κατώτερο βραχώδη σχηματισμό στον οποίο οι αστοχίες που παρατηρούνται σε αυτήν την τεχνικογεωλογική ενότητα είναι μεμονωμένες βραχώδεις ολισθήσεις και συνδυασμός βραχωδών ολισθήσεων και καταπτώσεις βράχων καθώς επίσης παρατηρούνται και βαθιές ολισθήσεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι κυρίως σε αυτήν την τεχνικογεωλογική ενότητα, οι αστοχίες που πραγματοποιήθηκαν προκάλεσαν την δημιουργία κώνων κορημάτων οι οποίοι με τη σειρά τους απέκλεισαν πλήρως την οδό. Ακόμη, η βαθιά ολίσθηση που συναντάται στην χιλιομέτρηση 0+000-0+080 προκάλεσε ταπείνωση του οδοστρώματος κατά 45 cm, όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην **Εικόνα 13.**



Εικόνα 23. Αριστερά παρατηρούμε το ασβεστολιθικό υπόβαθρο με GSI=15-20. Δεξιά παρατηρούμε την σχηματική απεικόνιση της αριστερής εικόνας όπου φαίνεται ο ασβεστόλιθος σε κατακερματισμένη μορφή (η φωτογραφία λήφθηκε στις 13/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 5

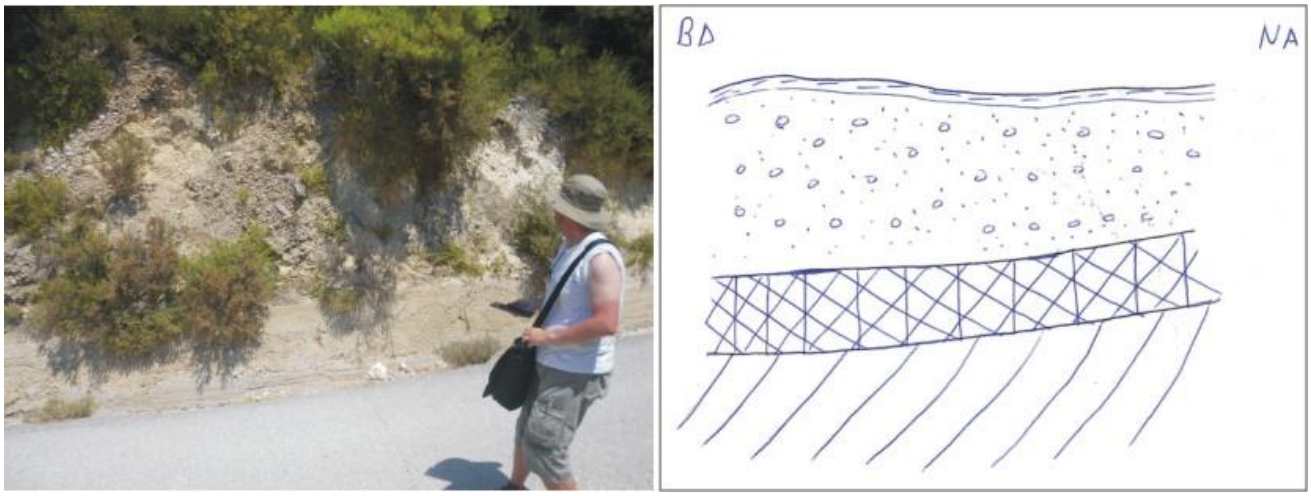
  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+530-0+580 και πρόκειται για τα χαλαρά ασβεστολιθικά κορήματα με ιλυοαμμώδες συνδετικό υλικό. Τα πρανή έχουν ύψος 6 – 10 μέτρα και διατηρούν κλίση 40^o-50^o. Οι αστοχίες που παρατηρούνται σε αυτήν την τεχνικογεωλογική ενότητα είναι αστοχίες τύπου κορηματικών ολισθήσεων (debris slides). Το υλικό μπορεί να εκσκαφθεί πολύ εύκολα με το γεωλογικό σφυρί δεδομένο που παραπέμπει στην ελλιπή διαγένεση που έχει δεχθεί και κατ' επέκταση στην μικρή γεωλογικά ηλικία του υλικού. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η μάζα του κορηματικού υλικού (debris) εμπεριέχει τεμάχη ασβεστολιθικού υλικού έως και 0.5 μέτρα. Αυτά τα τεμάχη είναι υλικά τα οποία ολίσθησαν μέσα στα ασβεστολιθικά κορήματα κατά τη φάση απόθεσής τους και πιθανότατα σχετίζονται με παλιότερα κατολισθητικά φαινόμενα. Στην **Εικόνα 24** παρατηρούμε το προαναφερόμενο φαινόμενο. Το πλάτος αυτών των αστοχιών αυτών δεν ξεπερνά τα 10 με 15 μέτρα.



Εικόνα 24. Αριστερά παρατηρούμε τα ασύνδετα κορήματα τα οποία δημιουργούν αστοχία τύπου κορηματικών ολισθήσεων (debris slides). Δεξιά παρατηρούμε την σχηματική απεικόνιση της αριστερής εικόνας (η φωτογραφία λήφθηκε στις 13/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 6

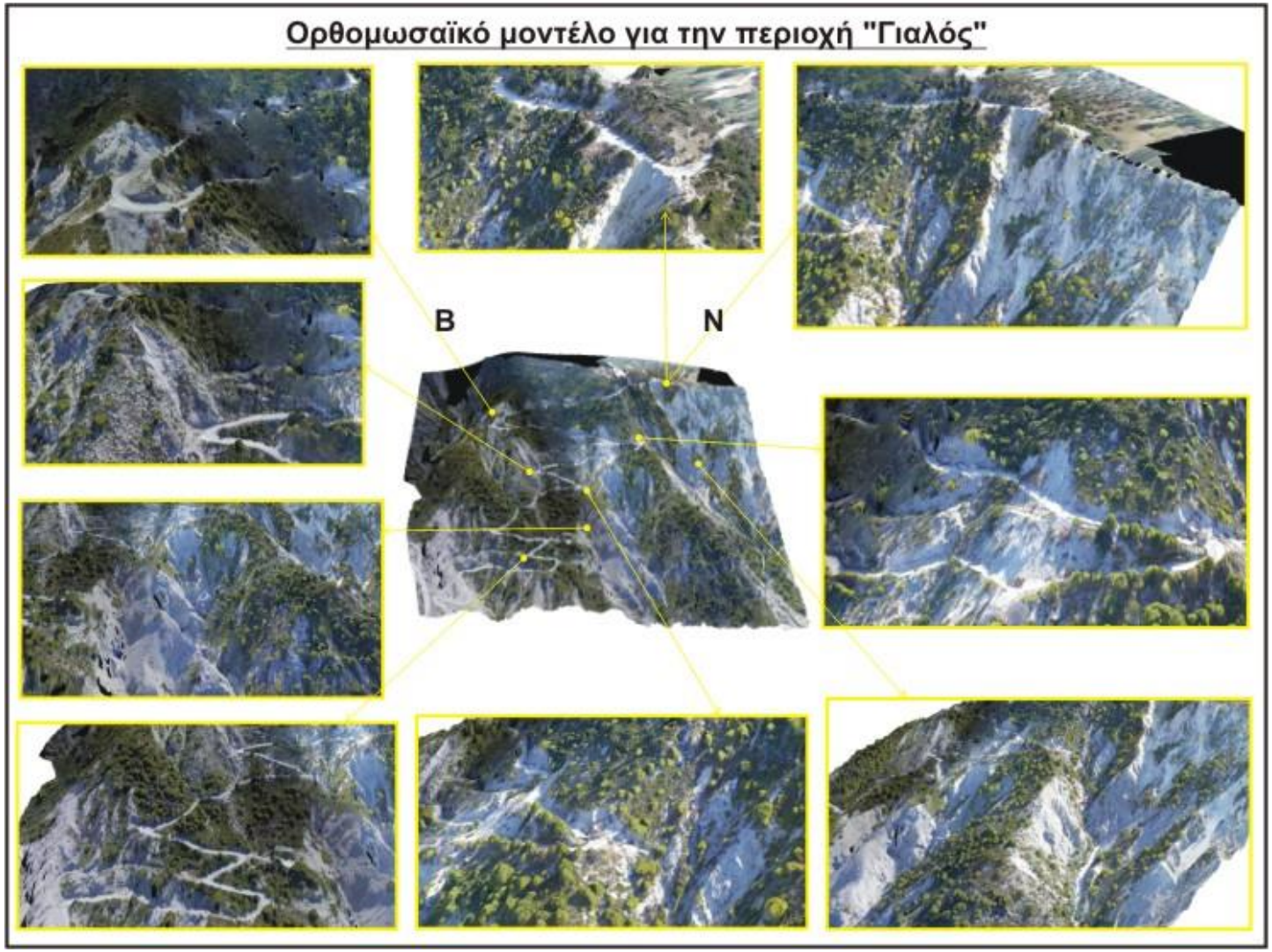
  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+000-0+040, 0+100-0+180, 0+420-0+050, 0+580-0+640, 0+660-0+690, 1+070-1+150, 1+170-1+340, 1+370-1+490 και πρόκειται για τα καλά συγκολλημένα ασβεστολιθικά κορήματα με ιλυοαμμώδες συνδετικό υλικό καθώς επίσης και για το ασβεστολιθικό λατυποπαγές λόγω της τεκτονικής δράσης. Τα πρανή έχουν ύψος 6 – 10 μέτρα και διατηρούν κλίση 60^o-70^o. Το χαρακτηριστικό αυτής της τεχνικογεωλογικής ενότητας είναι ότι παρουσιάζει λίγες και μικρές σε μέγεθος αστοχίες καθώς η μηχανική συμπεριφορά της προσομοιάζει αυτήν της τεχνικογεωλογικής ενότητας 1.



Εικόνα 25. Αριστερά παρατηρούμε τα καλά συγκολλημένα κορήματα τα οποία δημιουργούν λίγες και μικρές σε μέγεθος αστοχίες. Δεξιά παρατηρούμε την σχηματική απεικόνιση της αριστερής εικόνας (η φωτογραφία λήφθηκε στις 13/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

Στην **Εικόνα 26** παρατηρούμε το ορθομωσαϊκό μοντέλο για την περιοχή «Γιαλός». Η χρήση του συγκεκριμένου μοντέλου καθίσταται εξαιρετικά χρήσιμη καθώς μέσω αυτού είναι δυνατό να εντοπιστούν και να χαρτογραφηθούν κατολισθητικές δομές οι οποίες δεν είναι πλήρως εντοπίσιμες μόνο με την εργασία υπαίθρου. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ορθομωσαϊκού μοντέλου είναι τα εξής:

- Διαστάσεις: 12639 pixel (πλάτος) x 16032 pixel (ύψος)
- Ανάλυση: 96 dpi (οριζόντια και κατακόρυφη)
- Μέγεθος πλέγματος (grid size): $6.5106442*10^{-7}$, $5.1044*10^{-7}$
- Μέγεθος: 772.97 MB



Εικόνα 26. Ορθομωσαϊκό μοντέλο για την περιοχή «Γιαλός»

7.2. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή «Εγγρεμνοί»

7.2.1. Γεωλογικές συνθήκες

Κατά τον Μπορνόβα, 1964 η περιοχή αποτελείται από ασβεστόλιθους στρωματώδεις και μικρολατυποπαγείς της ζώνης Παξών, ηλικίας Άνω Κρητιδικού (Κενομάνιο – Μαιστρίχτιο).
Όπως παρατηρήθηκε κατά την χαρτογράφηση υπαίθρου, στην στενή περιοχή μελέτης ως υπόβαθρο συναντάται μαργαϊκός απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος ο οποίος σε αρκετές περιπτώσεις έχει την μορφή ενός ασβεστολιθικού λατυποπαγούς (breccia). Ακόμη στην περιοχή παρατηρούνται ασβεστολιθικά κορηματικά υλικά ασύνδετα ή καλά συγκολλημένα με ιλυοαμμώδες υλικό συγκόλλησης όπου σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζεται μεγάλο πάχος και στρώση. Το δεδομένο της ύπαρξης στρώσης παραπέμπει στην χρόνια απόθεση αυτών των υλικών λόγω της ύπαρξης ρέματος σε συνδυασμό με την απόθεση πλημμυρικών αποθέσεων και σε επόμενο στάδιο, στην ύπαρξη ριπιδίου αλλουβιακών αποθέσεων.

7.2.2. Υδρογεωλογικές συνθήκες

Στην περιοχή μελέτης δεν παρατηρούνται φυσικές εκφορτίσεις ενώ αντίθετα παρατηρούνται επιφανειακές διαδρομές των όμβριων υδάτων. Κατά την περίοδο της υπαίθριας μελέτης, η οποία πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο, δεν πραγματοποιήθηκε βροχόπτωση καθώς επίσης η θερμοκρασία ήταν πολύ υψηλή και τα ρέματα της περιοχής ήταν ξηρά.

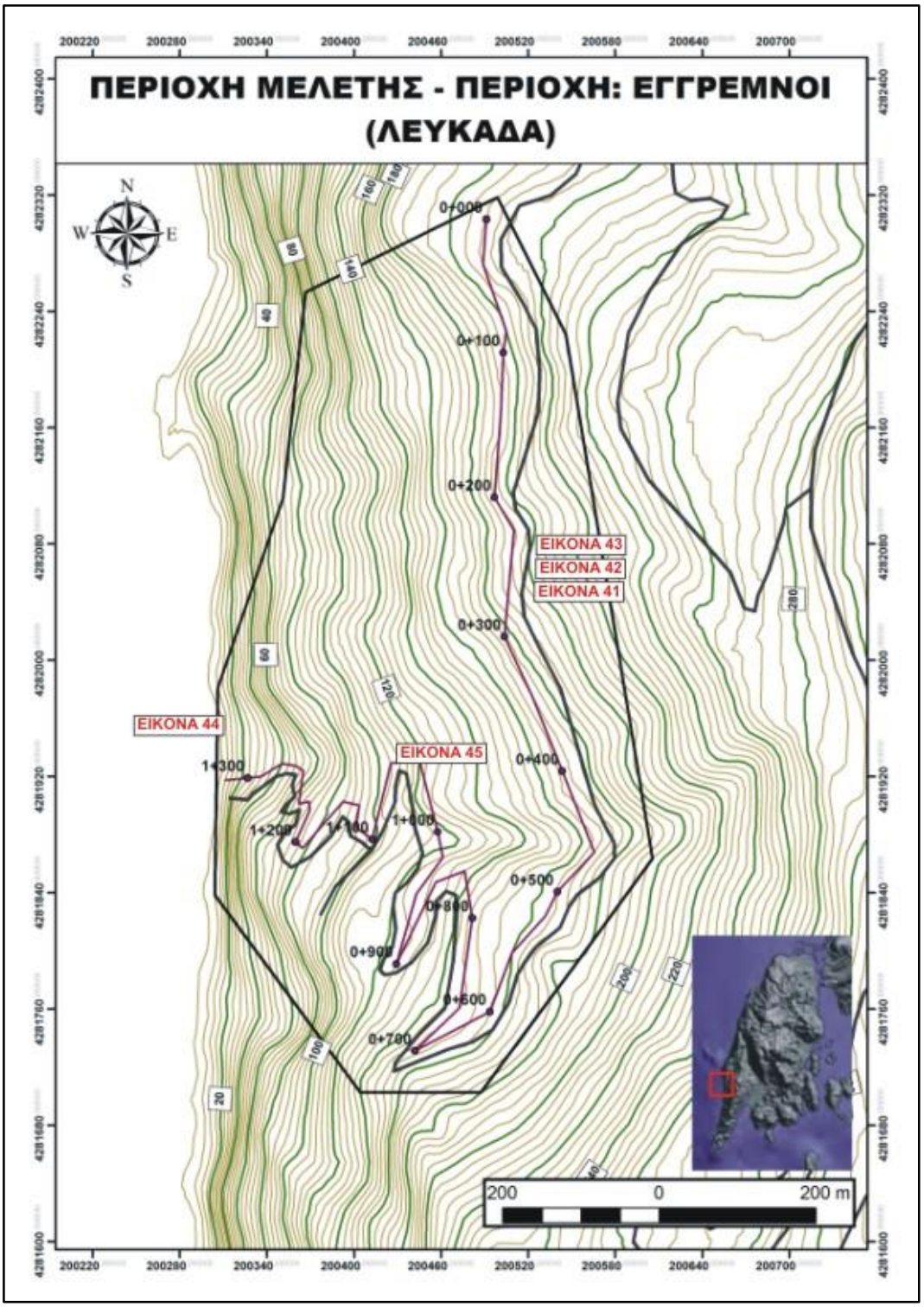
7.2.3. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες

Σε τεχνικογεωλογικό επίπεδο, το ασβεστολιθικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται κυρίως κατακερματισμένο και αποδομημένο λόγω της τεκτονικής καταπόνησης που έχει υποστεί. Η στρώση του σχηματισμού παρατηρήθηκε μόνο στις περιοχές όπου το ασβεστολιθικό υπόβαθρο είναι συμπαγές και μη τεκτονικά καταπονημένο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται ως συμπαγής χωρίς έντονη τεκτονική καταπόνηση όμως αυτές οι εμφανίσεις είναι περιορισμένες. Συνεπώς, λόγω δυσχέρειας πρόσβασης, η τεκτονικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν έγιναν από απόσταση με αποτέλεσμα συμπεριλαμβάνεται η πιθανότητα σφάλματος. Αυτή η μορφή του υποβάθρου δεν παρουσιάζει αστοχίες. Ακόμη πρέπει να τονιστεί ότι δεν παρατηρήθηκαν αστοχίες κινηματικής φύσης λόγω της απουσίας συστημάτων ασυνεχειών με συχνότητα και εμμονή.
Τα ασβεστολιθικά κορήματα της περιοχής αποτελούν κατά κύριο λόγο ασύνδετα και χαλαρά υλικά, υλικά που συνθέτουν το προαναφερόμενο αλλουβιακό ριπίδιο. Αυτός ο τύπος κορημάτων εμφάνισε τις αστοχίες οι οποίες θα αναφερθούν παρακάτω ενώ σε μικρότερη έκταση εμφανίζονται συνδεδεμένα κορήματα, τα οποία δεν εμφανίζουν αστοχίες.

Όσον αφορά το τεχνικογεωλογικό πρότυπο της περιοχής μελέτης, ο προσδιορισμός των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων πραγματοποιήθηκε, για τους βραχώδεις σχηματισμούς,

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

με βάση την εκτίμηση του βαθμού GSI (Geological Strength Index), το βαθμό αποσάθρωσης και τον δείκτη IRS (Intact Rock Strength) ενώ όσον αφορά τους εδαφικούς σχηματισμούς, η διαφοροποίηση πραγματοποιήθηκε με τον βαθμό συνεκτικότητάς τους. Έτσι, η περιοχή διαχωρίστηκε σε 7 τεχνικογεωλογικές ενότητες. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση περιορίστηκε μέχρι την χιλιομέτρηση 1+300 m όπου ο δρόμος τελειώνει και ξεκινά η παραλία.



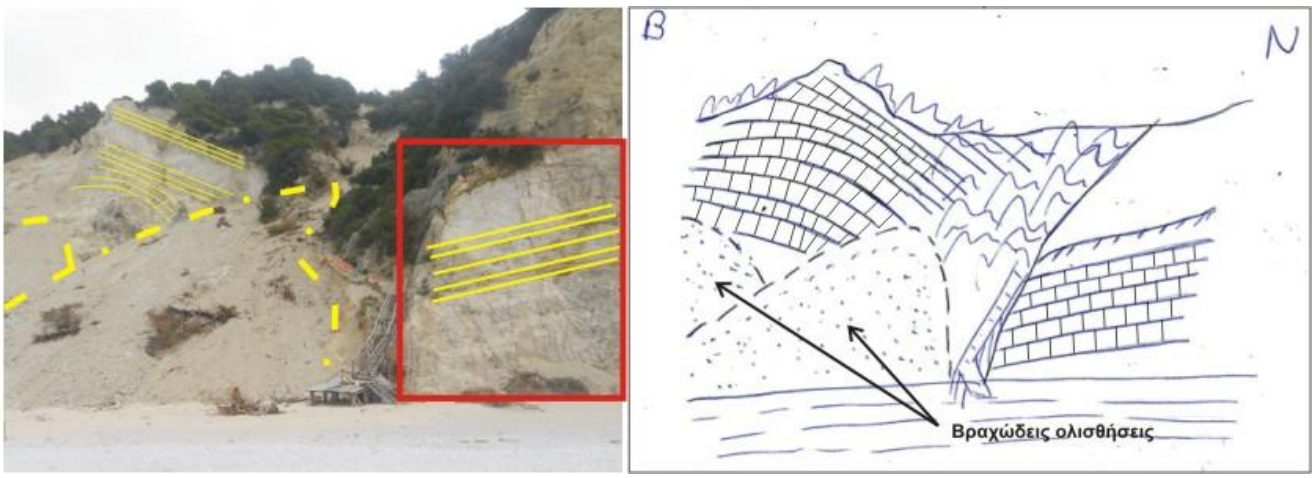
Σχήμα 11. Τοπογραφικός χάρτης περιοχής μελέτης «Γιαλός» όπου φαίνεται η περιοχή που μελετήθηκε καθώς επίσης η χιλιομέτρηση

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Οι 7 τεχνικογεωλογικές ενότητες είναι οι εξής:

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 1

  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+100-0+150, 0+440-0+480, 1+100-1+320 και χαρακτηρίζει το ασβεστολιθικό υπόβαθρο της περιοχής με GSI=60-70. Ο ασβεστόλιθος που συναντήθηκε σε αυτή την τεχνικογεωλογική ενότητα εμφανίζεται ελαφρώς πτυχωμένος και αποτελεί τον ποιοτικότερο και πιο συμπαγή σχηματισμό που ανιχνεύθηκε στην περιοχή των Εγγρεμνών **(Εικόνα 27)**. Η αποσάθρωση έχει επηρεάσει σε πολύ μικρό βαθμό τον σχηματισμό, καθώς οι επιφάνειες εμφανίζουν πολύ αμυδρά σημάδια οξείδωσης, δηλαδή το υλικό είναι ελαφρώς αποσαθρωμένο και ανήκει στον τύπο I-II. Επίσης είναι πολύ δύσκολη η θραύση του γεωυλικού με την χρήση του γεωλογικού σφυριού, δηλαδή το υλικό είναι πολύ σκληρό με μόνη την δυνατότητα αποφλοίωσης και ανήκει στην κατηγορία R6. Τα πρανή που δημιουργούνται σε αυτήν την γεωτεχνική ενότητα έχουν κλίση 80^{o}-85^{o} και ο παράγοντας που λαμβάνει σημαντικό ρόλο σε αυτό το γεγονός είναι ο προσανατολισμός και η κλίση της στρώσης, τα οποία δεν επιτρέπουν στον ασβεστόλιθο να αστοχεί με κινηματικό τρόπο (επίπεδη ολίσθηση, σφήνες ή ανατροπές). Τα συστήματα ασυνεχειών που παρατηρήθηκαν είναι κυρίως παρακατακόρυφα με τις ασυνέχειες να έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους, δεδομένο το οποίο συνδράμει στη δυσχέρεια του υλικού να αστοχήσει κινηματικά. Πρέπει να επισημανθεί ότι η λυόμενη κατασκευή καθώς επίσης και το τελευταίο τμήμα του δρόμου που οδηγεί στην παραλία εδράζονται σε αυτήν την τεχνικογεωλογική ενότητα και γι' αυτό τον λόγο δεν επηρεάστηκαν σε μεγάλο βαθμό συγκριτικά με τις αστοχίες που παρατηρήθηκαν στην υπόλοιπη περιοχή.

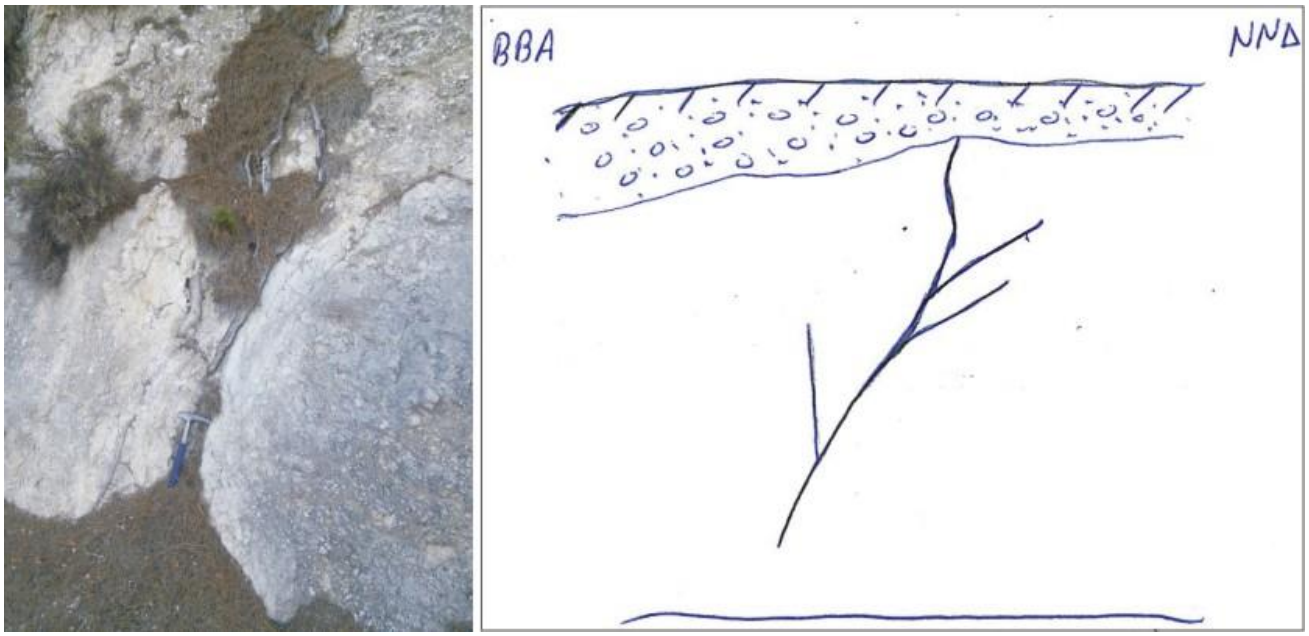


Εικόνα 27. Αριστερά παρατηρούμε σε κόκκινο πλαίσιο το ασβεστολιθικό υπόβαθρο της περιοχής «Εγγρεμνοί» με GSI=60-70. Με κίτρινες γραμμές παρατηρούμε την στρώση του ασβεστόλιθου ενώ με διακεκομμένη κίτρινη γραμμή φαίνονται βραχώδεις ολισθήσεις κλίμακας πλαγιάς οι οποίες σταματούν να υφίστανται στην επαφή με το συμπαγές ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Δεξιά παρατηρούμε την σχηματική απεικόνιση της αριστερής εικόνας (η φωτογραφία λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον *συγγραφέα)*

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 2

  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+620-0+670, 0+690-0+730 και χαρακτηρίζει το ασβεστολιθικό υπόβαθρο της περιοχής το οποίο παρατηρείται να έχει φτωχότερη ποιότητα από την τεχνικογεωλογική ενότητα 1 και με GSI=55-60. Το αξιοσημείωτο σε αυτήν την τεχνικογεωλογική ενότητα είναι ότι ενώ το GSI του σχηματισμού μειώνεται σχετικά λίγο σε σχέση με τις υπόλοιπες ενότητες, παρατηρείται αστοχία τύπου ολισθήσεων και καταπτώσεων βράχων, σε ένα μικρό τμήμα για χιλιομέτρηση 0+640-0+650. Στην **Εικόνα 28** παρατηρούμε τον σχηματισμό της τεχνικογεωλογικής ενότητας 2. Το γεωυλικό παρατηρείται ελαφρώς αποσαθρωμένο καθώς η αποσάθρωσης έχει επηρεάσει τις ασυνέχειες του ασβεστόλιθου και κατατάσσεται στην κατηγορία II. Επίσης είναι δύσκολη η θραύση του γεωυλικού με την χρήση του γεωλογικού σφυριού, δηλαδή το υλικό είναι σκληρό και ανήκει στην κατηγορία R5. Τα πρανή που δημιουργούνται σε αυτήν την γεωτεχνική ενότητα έχουν κλίση 80^{o}-85^{o}.

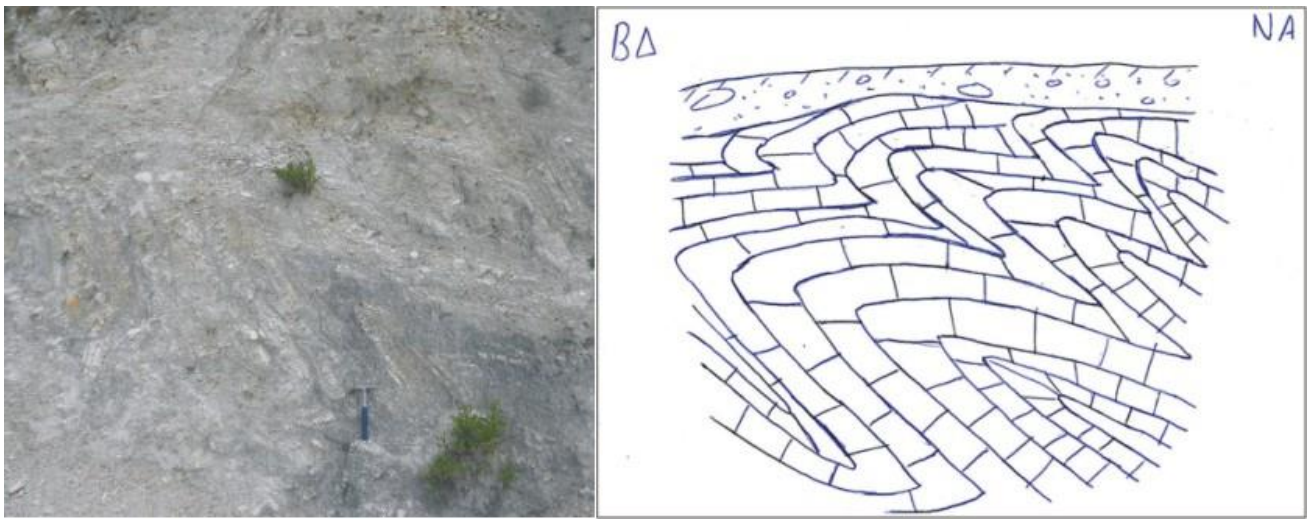


Εικόνα 28. Αριστερά παρατηρούμε το ασβεστολιθικό υπόβαθρο με GSI=55-60. Δεξιά παρατηρούμε την σχηματική απεικόνιση της αριστερής εικόνας όπου φαίνεται ένας συμπαγής ασβεστόλιθος με λίγες ασυνέχειες (η φωτογραφία λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 3

  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+000-0+070, 0+520-0+600, 0+770-0+810, 0+850-0+870, 0+940-0+950 και χαρακτηρίζει το ασβεστολιθικό υπόβαθρο της περιοχής με GSI=35-45. Η αποσάθρωση έχει επηρεάσει σε μικρό βαθμό τον σχηματισμό, καθώς η επιφάνειες εμφανίζουν σημάδια οξείδωσης, δηλαδή το υλικό είναι ελαφρώς αποσαθρωμένο και ανήκει στον τύπο II. Επίσης η θραύση του γεωυλικού είναι μετρίως δύσκολη με την χρήση του γεωλογικού σφυριού, δηλαδή το υλικό είναι μέτρια σκληρό και ανήκει στην κατηγορία R4. Τα πρανή που δημιουργούνται σε αυτήν την γεωτεχνική ενότητα έχουν κλίση 35^{o}-40^{o}. Το χαρακτηριστικό αυτής της τεχνικογεωλογικής ενότητας είναι ότι δεν

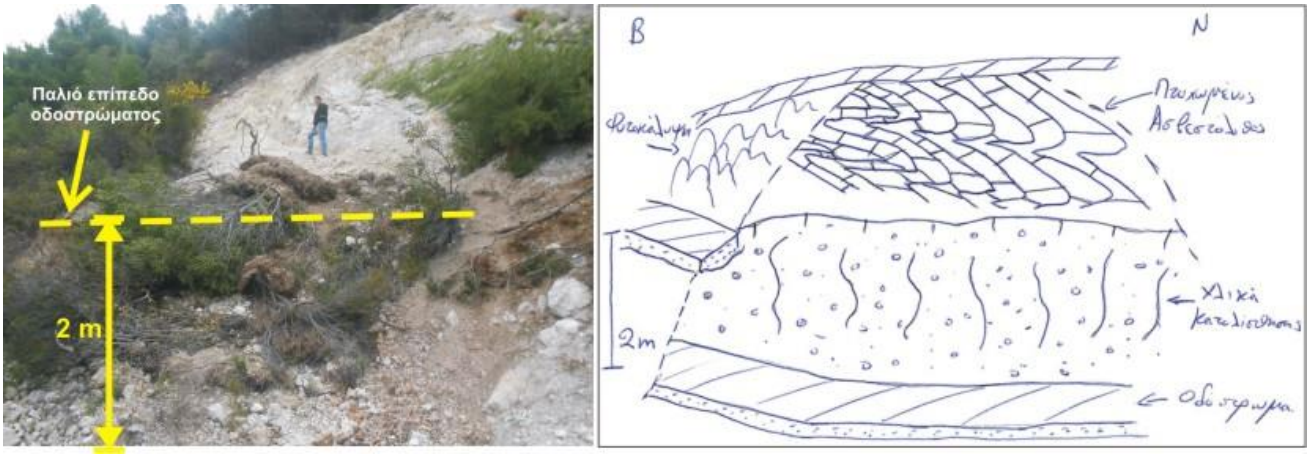
συναντώνται αστοχίες. Αυτό συμβαίνει καθώς το υλικό εμφανίζεται διαταραγμένο και στρωματώδες έως αποδιοργανωμένο και αυτό το δεδομένο συνδράμει στο καλό αλληλοκλείδωμα της βραχόμαζας από τα διάφορα μικρά τεμάχη που δημιουργούνται. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι σημαντικός παράγοντας στην μη ύπαρξη αστοχιών είναι η πτύχωση του σχηματισμού με χαρακτηριστικές πτυχωσιγενείς δομές τύπου Knick, καθώς αυτή εμποδίζει την ολίσθηση τεμαχών λόγω της περίπλοκης δομής που δημιουργεί.



Εικόνα 29. Στην εικόνα παρατηρούμε το γεωυλικό με GSI=35-45 καθώς επίσης φαίνεται η έντονη πτύχωση του σχηματισμού με χαρακτηριστικές πτυχές knick. Δεξιά παρατηρούμε την σχηματική απεικόνιση της αριστερής εικόνας (η φωτογραφία λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 4

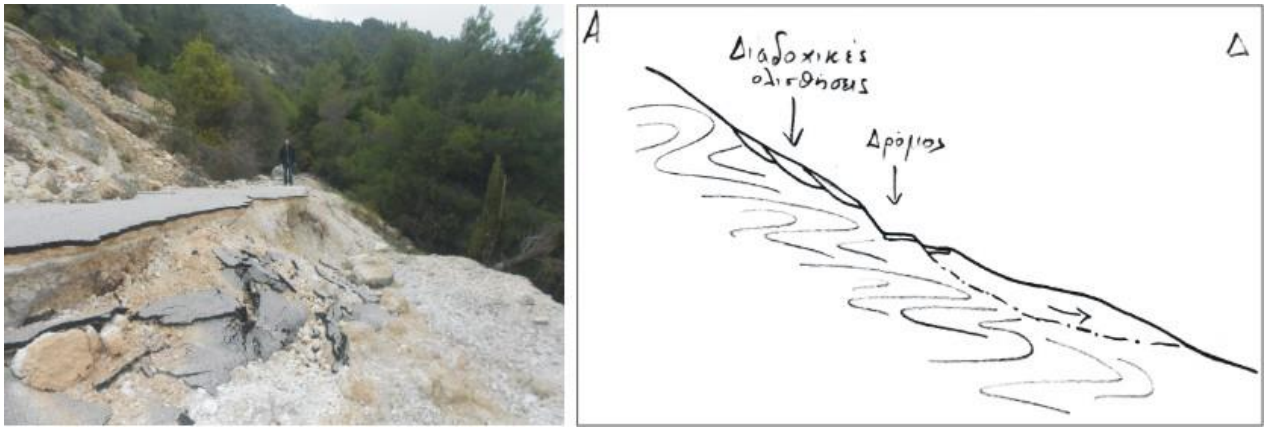
  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+150-0+200, 1+100-1+150’ και πρόκειται για το ασβεστολιθικό υπόβαθρο με GSI=25-30. Η δομή του ασβεστόλιθου έχει επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από την τεκτονική δράση όμως είναι δυνατόν να παρατηρηθεί ακόμη η στρώση του σχηματισμού σε ορισμένα σημεία. Η αποσάθρωση έχει επηρεάσει μετρίως τον σχηματισμό, καθώς η επιφάνειες εμφανίζονται αποχρωματισμένες και το υλικό είναι μέτρια σαθρό, δηλαδή το υλικό είναι μέτρια αποσαθρωμένο και ανήκει στον τύπο ΙΙΙ. Επίσης η θραύση του γεωυλικού είναι εύκολη με την χρήση του γεωλογικού σφυριού, δηλαδή το υλικό είναι μέτρια αδύναμο και ανήκει στην κατηγορία R3. Τα πρανή που δημιουργούνται σε αυτήν την γεωτεχνική ενότητα έχουν κλίση 35^{o}-40^{o}. Στην συγκεκριμένη ενότητα εμφανίζονται παλιές επιφάνειες ρηγμάτων οι οποίες δρουν ως επιφάνειες ολίσθησης του γεωυλικού. Έτσι, στην συγκεκριμένη ενότητα εμφανίζονται καταπτώσεις βράχων όμως το πιο αξιοσημείωτο δεδομένο είναι η ύπαρξη βαθιάς ολίσθησης η οποία συνοδεύεται από βραχώδεις ολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων. Η βαθιά ολίσθηση που παρατηρήθηκε προκάλεσε ταπείνωση του οδοστρώματος κατά 2 m. Οι προαναφερόμενες επιφάνειες ολίσθησης είναι πολύ πιθανόν να λειτούργησαν συνολικά ως μία ενιαία επιφάνεια με αποτέλεσμα την δράση της βαθιάς ολίσθησης.



Εικόνα 30. Στην εικόνα παρατηρούμε το ασβεστολιθικό πτυχωμένο υπόβαθρο με GSI=25-30 (άνω) και την ταπείνωση 2 μέτρων του οδοστρώματος λόγω της βαθιάς ολίσθησης. Δεξιά παρατηρούμε την σχηματική απεικόνιση της αριστερής εικόνας (η φωτογραφία λήφθηκε στις 8/4/2016 από τον *συγγραφέα*)

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 5

  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+090-0+100, 0+200-0+440, 0+480-0+500, 1+040-1+050 και πρόκειται για το ασβεστολιθικό υπόβαθρο με GSI=15-20. Η δομή του ασβεστόλιθου έχει εξαφανιστεί πλήρως και η τεκτονική παραμόρφωση που έχει δεχθεί έχει μετατρέψει τον άλλοτε συμπαγή ασβεστόλιθο, σε κατακερματισμένο και αδόμητο (breccia ή brecciated limestone), έτσι ώστε να είναι δυνατή η εύκολη εκσκαφή του με γεωλογικό σφυρί. Το υλικό εμφανίζεται μέτρια έως πολύ αποσαθρωμένο (III-IV) ενώ η αντοχή της βραχόμαζας κατατάσσεται στην κατηγορία R2 (αδύναμο) ενώ τοπικά μεταπίπτει στην κατηγορία R1 (Πολύ αδύναμο). Τονίζεται ότι δεν είναι δυνατή η παρατήρηση συστημάτων ασυνεχειών καθώς η τεκτονική δομή του υλικού έχει εξαφανίσει κάθε ίχνος τέτοιων δομών. Στην συγκεκριμένη τεχνικογεωλογική ενότητα παρατηρείται η μεγαλύτερη δριμύτητα αστοχιών καθώς, λόγω της φύσης του υλικού, διαμορφώνονται ολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων. Οι αστοχίες σε αυτήν την τεχνικογεωλογική ενότητα δημιούργησαν και τις εντονότατες αστοχίες στο οδόστρωμα.

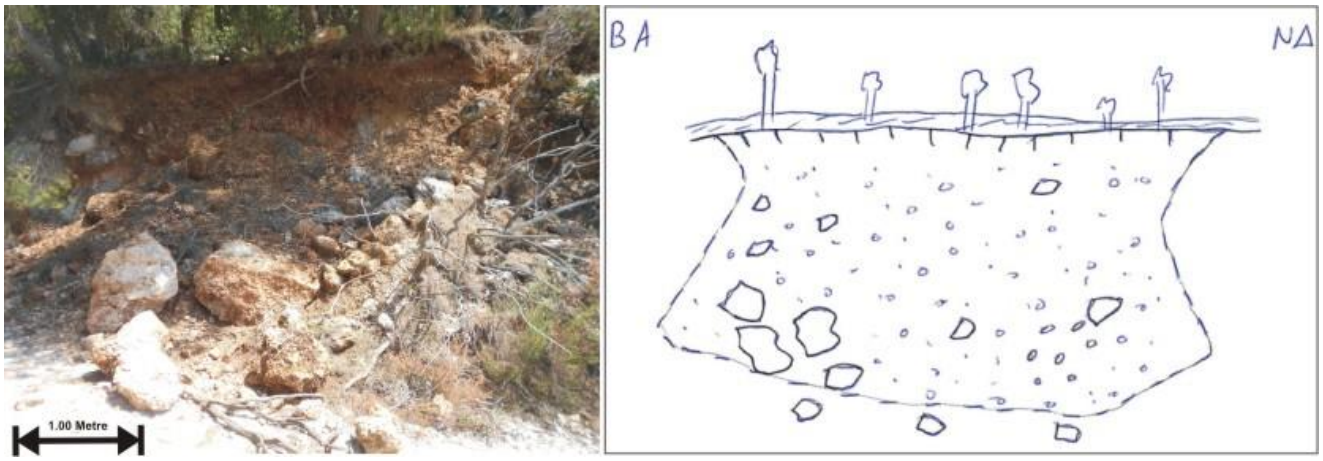


Εικόνα 31. Αριστερά παρατηρούμε το γεωυλικό το οποίο χαρακτηρίζεται ως ασβεστολιθικό λατυποπαγούς (breccia) καθώς επίσης και τις έντονες αστοχίες του οδοστρώματος που προκλήθηκαν

λόγω των αστοχιών στο συγκεκριμένο υλικό. Δεξιά παρατηρούμε σχηματικά τις αστοχίες που επηρέασαν το οδόστρωμα (η φωτογραφία λήφθηκε στις 8/4/2016 από τον *συγγραφέα*)

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 6

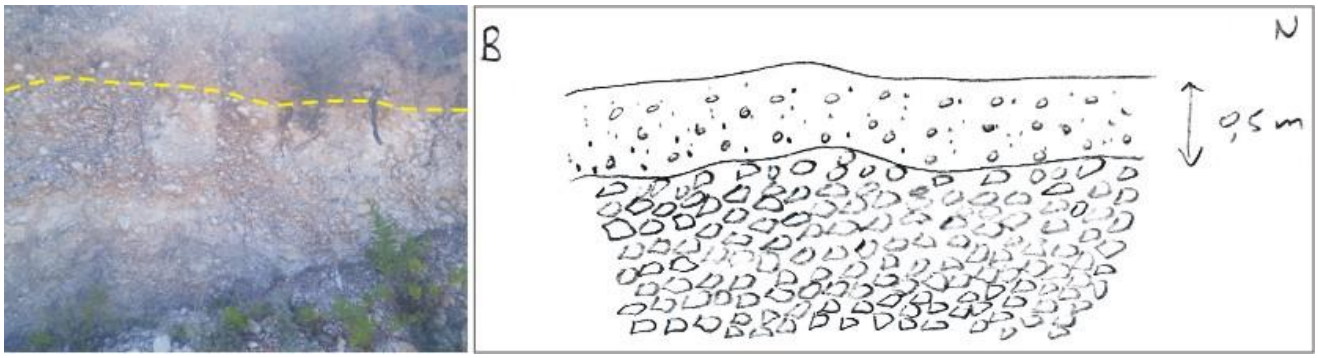
  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+600-0+620, 0+670-0+690, 0+730-0+770, 0+810-0+850, 0+870-0+940, 0+950-1+040, 1+050-1+100. Τα πρανή έχουν ύψος 7 – 10 μέτρα και διατηρούν κλίση 60^o-70^o. Οι αστοχίες που παρατηρούνται σε αυτήν την τεχνικογεωλογική ενότητα είναι αστοχίες τύπου κορηματικών ολισθήσεων (debris slides) και καταπτώσεις βράχων. Το υλικό μπορεί να εκσκαφθεί πολύ εύκολα με το γεωλογικό σφυρί δεδομένο που παραπέμπει στην φτωχή διαγένεση που έχει δεχθεί και κατ' επέκταση στην μικρή γεωλογικά υλικά του υλικού. Η μάζα των χαλαρών κορημάτων εμπεριέχει τεμάχη τα οποία ολίσθησαν μέσα στα ασβεστολιθικά κορήματα κατά τη φάση απόθεσής τους και πιθανότατα σχετίζονται με παλιότερα κατολισθητικά φαινόμενα. Συνεπώς κατά τις αστοχίες που παρατηρούνται σε αυτήν την τεχνικογεωλογική ενότητα, εμφανίζεται και ένας σημαντικός αριθμός τεμαχών ασβεστολιθικού υλικού τα οποία έχουν ολισθήσει μαζί με τη μάζα των χαλαρών κορημάτων. Στην **Εικόνα 32** παρατηρούμε το προαναφερόμενο φαινόμενο. Το πλάτος αυτών των αστοχιών αυτών δεν ξεπερνά τα 5-10 μέτρα. Πρέπει να αναφερθεί ακόμη ότι οι χιλιομετρήσεις 0+810-0+850, 0+950-1+040, 1+050-1+100 αφορούν ένα ριπίδιο κορημάτων ικανού μεγέθους το οποίο φαίνεται να δημιουργεί έντονο πρόβλημα αστοχιών καθώς βρίσκεται μέσα στην δημιουργημένη λεκάνη της περιοχής λόγω της δράσης του νερού και των κατολισθήσεων μετά από σεισμό. Τονίζεται ότι στο προαναφερόμενο ριπίδιο είναι δυνατό να παρατηρηθεί η στρώση του σχηματισμού, όχι όμως μεγάλα τεμάχη ασβεστολιθικού υλικού **(Εικόνα 45)**



Εικόνα 32. Στην εικόνα παρατηρούμε τα ασύνδετα κορηματικά υλικά στην περιοχή των Εγγρεμνών τα οποία εμπεριέχουν σημαντικό αριθμό ασβεστολιθικών τεμαχών και δημιουργούν ροή κορημάτων. Δεξιά παρατηρούμε την σχηματική απεικόνιση της αριστερής εικόνας (η φωτογραφία λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

- Τεχνικογεωλογική ενότητα 7

  Αφορά τις χιλιομετρικές θέσεις 0+070-0+090, 0+500-0+520 και πρόκειται για τα καλά συγκολλημένα ασβεστολιθικά κορήματα με ιλυοαμμώδες συνδετικό υλικό. Τα πρανή έχουν ύψος 6 – 10 μέτρα και διατηρούν κλίση 50^{o}-60^{o}. Στην συγκεκριμένη τεχνικογεωλογική ενότητα δεν παρατηρούνται αστοχίες εκτός από ορισμένες μικρές επιδερμικές ολισθήσεις οι οποίες είναι πολύ πιθανόν να προήλθαν μέσω έντονης βροχόπτωσης.



Εικόνα 33. Στην εικόνα παρατηρούμε τα συνδεδεμένα κορηματικά υλικά στην περιοχή των Εγγρεμνών τα οποία εμπεριέχουν σημαντικό αριθμό ασβεστολιθικών τεμαχών. Δεξιά παρατηρούμε την σχηματική απεικόνιση της αριστερής εικόνας όπου φαίνεται το κορηματικό υλικό και ο μισού μέτρου εδαφικός μανδύας (η φωτογραφία λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

Στην **Εικόνα 34** παρατηρούμε το ορθομωσαϊκό μοντέλο για την περιοχή «Εγγρεμνοί». Όπως προαναφέρθηκε, η χρήση του συγκεκριμένου μοντέλου φάνηκε ιδιαίτερα χρήσιμη σε σχέση με τον εντοπισμό αστοχιών και την ολοκλήρωση του γεωλογικού χάρτη και της ταξινόμησης της δριμύτητας των αστοχιών. Στην προκειμένη περίπτωση και συγκριτικά με το ορθομωσαϊκό μοντέλο της περιοχής «Γιαλός», η έντονη φυτοκάλυψη σε συνδυασμό με την όχι και τόσο καλή λήψη των φωτογραφιών, προκάλεσαν προβλήματα που αφορούν την ύπαρξη κενών ή την έντονη παραμορφωσιμότητα σε ορισμένες περιοχές. Συνεπώς, η απόδοση πληροφοριών που θα μπορούσε να παρέχει αυτό το μοντέλο μειώθηκε σημαντικά. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ορθομωσαϊκού μοντέλου είναι τα εξής:

- Διαστάσεις: 13052pixel (πλάτος) x 22910 pixel (ύψος)
- Ανάλυση: 96 dpi (οριζόντια και κατακόρυφη)
- Μέγεθος πλέγματος (grid size): 3.0576881*10^{-7}, 2.39823*10^{-7}
- Μέγεθος: 1.1 GB

Εικόνα 34. Ορθομωσαϊκό μοντέλο για την περιοχή «Εγγρεμνοί»

8. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΤΗΝ ΛΕΥΚΑΔΑ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΓΓΡΕΜΝΟΙ ΚΑΙ ΓΙΑΛΟΣ

Σύμφωνα με τα παραπάνω κεφάλαια, η κατασκευή ενός χάρτη αποτύπωσης κατολισθήσεων απαιτεί την μελέτη αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων όπως επίσης και την διαδικασία υπαίθριας έρευνας. Οι μεθοδολογίες που αναλύθηκαν παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλο βαθμό όσον αφορά την μελέτη των κατολισθήσεων στην Λευκάδα. Παρακάτω θα αναφερθεί η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε όσον αφορά την υπαίθρια έρευνα αλλά και όσον αφορά την περαιτέρω εργασία γραφείου σε σχέση με την επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων.
Οι περιοχές που μελετήθηκαν ήταν οι Εγγρεμνοί και ο Γιαλός διότι αυτές οι περιοχές "πλήγηκαν" σε μεγάλο βαθμό από την σεισμική δόνηση στις 17 Νοεμβρίου του 2015 λόγω των κατολισθητικών φαινομένων. Η κάθε περιοχή μελετήθηκε ξεχωριστά ενώ αφιερώθηκαν αρκετές ώρες εργασίας υπαίθρου για την συλλογή των απαραίτητων στοιχείων. Η υπαίθρια έρευνα αποσκοπούσε στην λεπτομερή χαρτογράφηση των περιοχών τόσο σε γεωλογικό επίπεδο όσο και σε τεχνικογεωλογικό με την χρήση χαρτών μεγάλης κλίμακας (1:3000 και 1:5000). Οι εργασίες υπαίθρου πραγματοποιήθηκαν κατά το χρονικό διάστημα 10-15/07/2016. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε περιοχή πραγματοποιήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

1. Γεωλογική χαρτογράφηση
2. Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση
3. Αποτύπωση κατολισθήσεων με βάση την ταξινόμηση του Varnes (1978)
4. Χαρτογράφηση δριμύτητας αστοχιών
5. Χρήση μη επανδρωμένου αέριου οχήματος (UAV) με σκοπό την φωτογράφηση της περιοχής από αέρος, την κατασκευή λεπτομερούς ψηφιακού μοντέλου εδάφους και την πληρέστερη μελέτη και ανάλυση των αστοχιών που εντοπίστηκαν.

<u>Γεωλογική χαρτογράφηση</u>

Η γεωλογική χαρτογράφηση αφορά την αποτύπωση των γεωλογικών υλικών όπως επίσης και των τεκτονικών δομών που παρατηρήθηκαν. Τα υλικά που εμφανίζονται στην Λευκάδα αφορούν τις γεωτεκτονικές ζώνες Ιόνιο και Παξών. Οι περιοχές μελέτης ανήκουν εξ' ολοκλήρου στην ζώνη Παξών και τα πετρώματα που συναντώνται αφορούν κυρίως τα νηριτικά ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Παξών. Έτσι, τα γεωλογικά υλικά διαχωρίστηκαν ως εξής, με βάση την υπαίθρια παρατήρηση και τους γεωλογικούς χάρτες της Λευκάδας (Cushing, 1985, Μπορνόβας, 1964):

- Μαργαϊκός απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος της ζώνης Παξών

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- Κορήματα ασβεστολιθικά συνδεδεμένα με ιλυοαμμώδες υλικό Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας

- Εναλλαγές ιλυοαμμώδους υλικού με ασβεστολιθικούς πάγκους της ζώνης Παξών

- Ασβεστολιθικό λατυποπαγές (breccia), το οποίο αφορά το τεκτονικά καταπονημένο ασβεστολιθικό υπόβαθρο της ζώνης Παξών και δημιουργήθηκε λόγω της τεκτονικής που έχει δράσει στην περιοχή της Λευκάδας από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα.

- Τεκτονικό ασβεστολιθικό λατυποπαγές, το οποίο δημιουργήθηκε λόγω της δράσης κανονικών ρηγμάτων

Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση

Η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε βασίστηκε στα χαρακτηριστικά του εδάφους και του βραχώδους υλικού και στην ταξινόμηση αυτών με διάφορα συστήματα.
Όσον αφορά το βραχώδες υλικό, η ταξινόμησή του βασίστηκε στο σύστημα GSI (Geological Strength Index), στον βαθμό αποσάθρωσής του και στην αντοχή του με βάση το σύστημα IRS. Αντίθετα, τα εδαφικά υλικά ταξινομήθηκαν με βάση τον βαθμό εκσκαψιμότητάς και συγκόλλησής τους. Όσον αφορά τον εκσκαψιμότητας των υλικών, δεν αποτελεί μία επίσημη κλίμακα όμως είναι μία ποιοτική εκτίμηση η οποία εφαρμόστηκε κατά την εργασία υπαίθρου για τον διαχωρισμό των εδαφικών υλικών. Πρέπει να τονιστεί ότι αυτή η εκτίμηση φάνηκε ιδιαίτερα χρήσιμη στην συσχέτιση των αστοχιών με τις τεχνικογεωλογικές ενότητες.

8.1. Σύστημα ταξινόμηση GSI (Geological Strength Index)

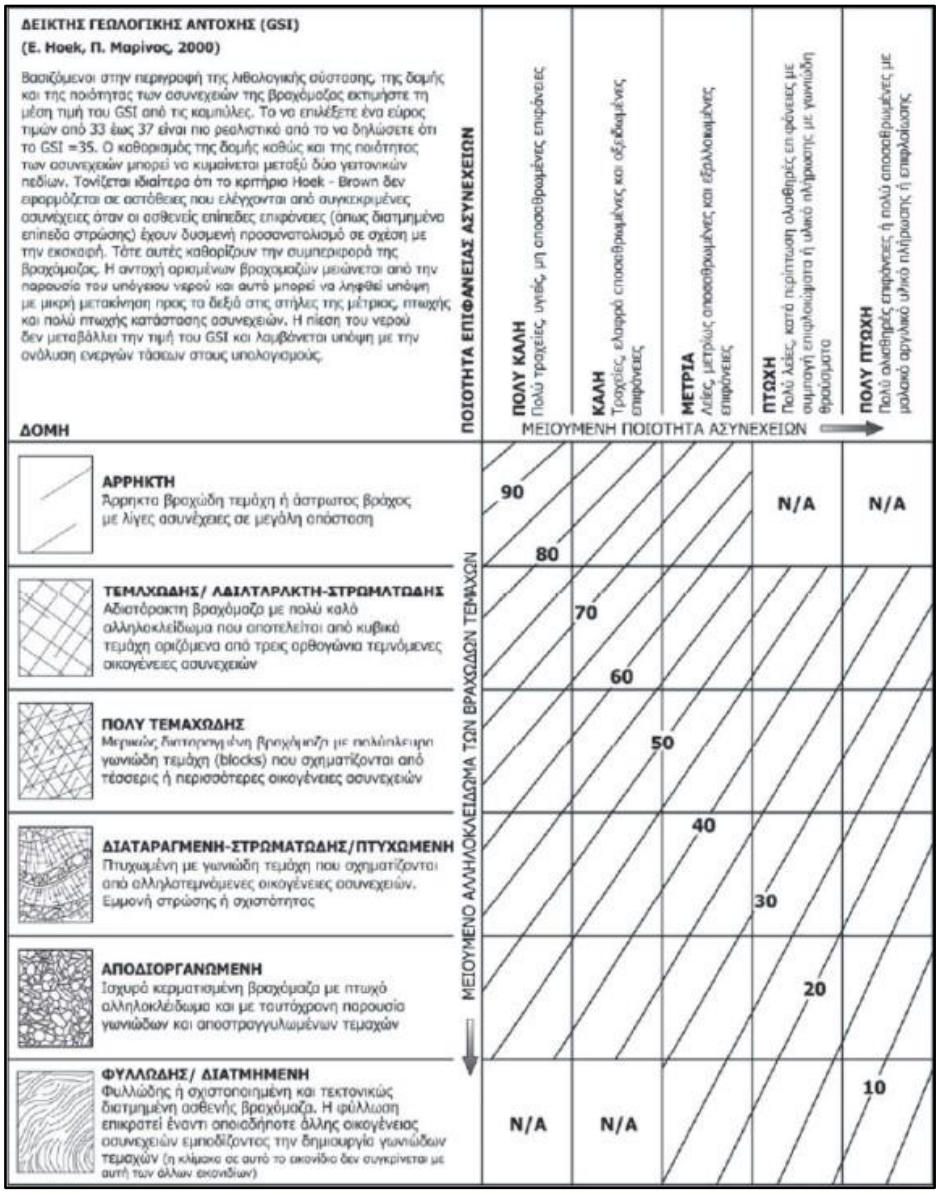
Σύμφωνα με τους Marino & Hoek (2000) «Ο δείκτης GSI βασίζεται στην αξιολόγηση της δομής της βραχόμαζας και της κατάστασης της επιφάνειας των ασυνεχειών της». Αποτελεί ένα από τα συστήματα ταξινόμησης βραχόμαζας που υπάρχουν διαθέσιμα όπως το RMR και το Q, όμως στοχεύει περισσότερο στην βαθμονόμηση της βραχόμαζας χωρίς τον άμεσο προσδιορισμό μέτρων υποστήριξης.

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και στο **Σχήμα 12**, το σύστημα ταξινόμησης GSI συνδυάζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά με σκοπό την βαθμονόμηση της βραχόμαζας (Marino & Hoek, 2000):

- *Δομή της βραχόμαζας,* η οποία χαρακτηρίζει την αλληλεμπλοκή των βραχωδών τεμαχών

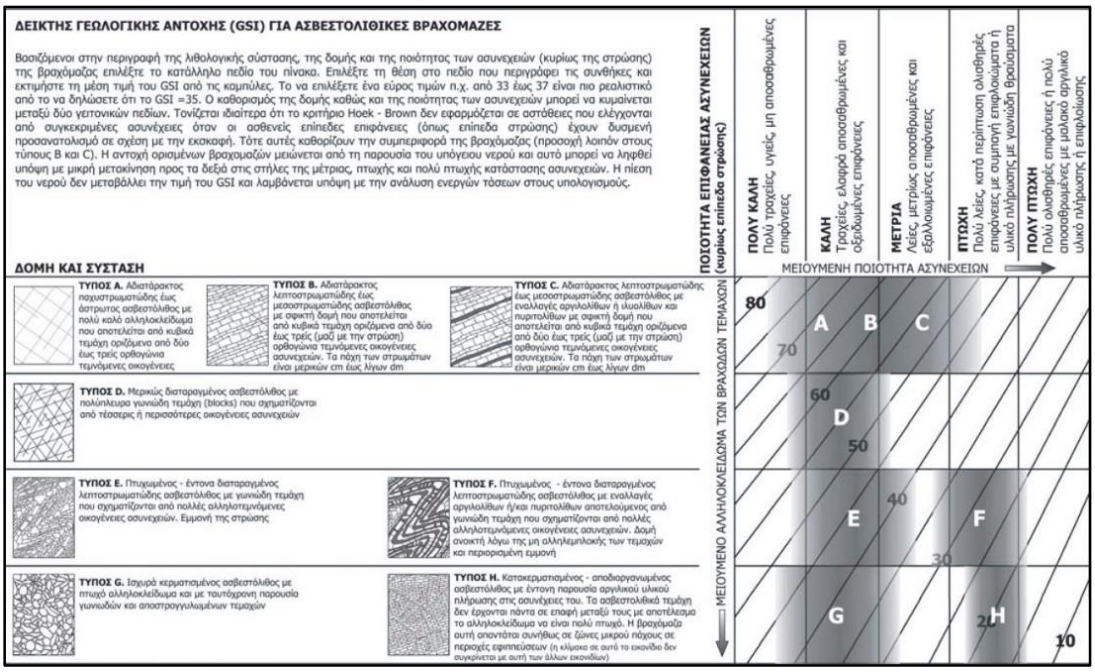
- *Κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών,* η οποία χαρακτηρίζει την διατμητική αντοχή των ασυνεχειών

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 12. Στο παραπάνω σχήμα μπορούμε να παρατηρήσουμε το γενικευμένο σύστημα ταξινόμησης βραχόμαζας GSI (Geological Strength Index) (*Marinos & Hoek, 2000).*

Το γενικευμένο σύστημα GSI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε βραχόμαζα όμως ο περιορισμός που δημιουργήθηκε λόγω των έντονα ετερογενών βραχομαζών οδήγησε στην κατασκευή συστημάτων GSI για κάθε ετερογενή βραχόμαζα όπως ο φλύσχης, η μολλάσα και ο ασβεστόλιθος (Μαρίνος, 2007). Η περιοχές που μελετήθηκαν (Εγγρεμνοί, Γιαλός) αποτελούνται εξ' ολοκλήρου από ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Συνεπώς, η χρήση του διαγράμματος GSI που αφορά τον ασβεστόλιθο είναι πιο αξιόπιστη οπότε και χρησιμοποιήθηκε. Παρακάτω στο παρουσιάζεται το σύστημα GSI του ασβεστόλιθου.

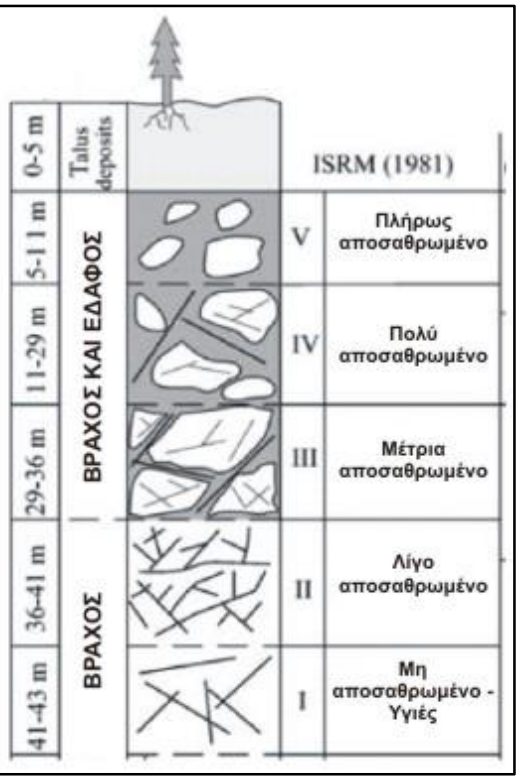


Σχήμα 13. Στο παραπάνω σχήμα μπορούμε να παρατηρήσουμε το σύστημα ταξινόμησης βραχόμαζας GSI (Geological Strength Index) για ασβεστολιθικές βραχόμαζες όπως ο ασβεστόλιθος (*Μαρίνος, 2007)*

8.2. Βαθμός αποσάθρωσης βραχόμαζας

Για τον χαρακτηρισμό της αποσάθρωσης της βραχόμαζας χρησιμοποιήθηκε το σύστημα βαθμονόμησης κατά ISRM, 1981 κατά το οποίο το βραχώδες υλικό ταξινομείται σε 6 τάξεις με βάση της αποσάθρωσή του όπου για τάξη I έχουμε τον υγιή βράχο ενώ για τάξη VI έχουμε το υπολειμματικό έδαφος. Στον **Πίνακας 1** παρατηρούμε την αντίστοιχη ταξινόμηση καθώς επίσης και μία σχηματική απεικόνιση της αποσάθρωσης σε σχέση με το βάθος. Μέσω του σχήματος είναι προφανές ότι η αποσάθρωση μεταβάλλεται ανάλογα με το βάθος και πιο συγκεκριμένα το σχήμα ορίζει ότι ο υγιής βράχος αρχίζει να εμφανίζεται μετά τα 35 μέτρα. Πρέπει να τονιστεί ότι αυτή η σχέση βάθους-αποσάθρωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός όμως μεταβάλλεται ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρισκόμαστε, συνεπώς θα πρέπει να είμαστε αρκετά προσεκτικοί με την χρήση του.

Βαθμονόμηση	Ορισμός	Περιγραφή
VI	Υπολειμματικά και κολλοειδώς εδάφη	Όλο το βραχώδες υλικό έχει μετατραπεί σε έδαφος. Η πρωτογενής βραχώδης δομή έχει καταστραφεί πλήρως. Η μυτερή άφη του γεωλογικού σφυριού διεισδύει εύκολα σε βάθος. Όταν το γεωλογικό σφυρί κρούει στο βραχώδες υλικό δεν παράγεται ήχος.
V	Ένα λίγο αποσαθρωμένο βραχώδες υλικό	Όλο το βραχώδες υλικό έχει αποχρωματιστεί πλήρως και έχει μετατραπεί σε έδαφος όμως η αρχική βραχώδης δομή είναι ακόμη ορατή. Η μυτερή άφη του γεωλογικού σφυριού δεν διεισδύει εύκολα σε βάθος. Όταν το γεωλογικό σφυρί κρούει στο βραχώδες υλικό παράγεται ένας υπόκωφος ήχος.
IV	Πολύ αποσαθρωμένο βραχώδες υλικό	Όλο το βραχώδες υλικό έχει αποχρωματιστεί. Η αρχική βραχώδης δομή είναι ορατή και σε μεγάλο βαθμό άρρηκτη. Η μυτερή άφη του γεωλογικού σφυριού δεν διεισδύει εύκολα σε βάθος. Όταν το γεωλογικό σφυρί κρούει στο βραχώδες υλικό παράγεται ένας υπόκωφος ήχος.
III	Μέτρια αποσαθρωμένο βραχώδες υλικό	Όλο το βραχώδες υλικό έχει αποχρωματιστεί όμως τοπικά το πρωτογενές χρώμα είναι ορατό. Η αρχική βραχώδης δομή έχει συντηρηθεί σε μεγάλο βαθμό. Η μυτερή άφη του γεωλογικού σφυριού μπορεί να δώσει την βραχώδη επιφάνεια. Όταν το γεωλογικό σφυρί κρούει στο βραχώδες υλικό παράγεται ένας μέτρια κωδωνιστός ήχος.
II	Ελαφρώς αποσαθρωμένο βραχώδες υλικό	Ο αποχρωματισμός παρατηρείται μόνο κοντά στις επιφάνειες των διακλάσεων. Η αρχική βραχώδης δομή έχει συντηρηθεί πλήρως. Η μυτερή άφη του γεωλογικού σφυριού μπορεί να δώσει την βραχώδη επιφάνεια με δυσκολία. Όταν το γεωλογικό σφυρί κρούει στο βραχώδες υλικό παράγεται ένας κωδωνιστός ήχος.
I	Υγιές βράχος	Η βραχώδης μάζα δεν έχει αποχρωματιστεί καθόλου και διατηρεί την πρωτοταγή της όψη. Η μυτερή άφη του γεωλογικού σφυριού μπορεί να δώσει την βραχώδη επιφάνεια με μεγάλη δυσκολία. Όταν το γεωλογικό σφυρί κρούει στο βραχώδες υλικό παράγεται ένας κωδωνιστός ήχος.



Πίνακας 1. Αριστερά παρατηρούμε τον πίνακα με την ταξινόμηση για την αποσάθρωση της βραχόμαζας ενώ δεξιά παρατηρούμε την σχηματική απεικόνισή της *(ISRM, 1981)*

8.3. Σύστημα ταξινόμησης αντοχής IRS (Intact Rock Strength)

Το σύστημα ταξινόμησης αντοχής IRS είναι ένας εύκολος τρόπος ταξινόμησης της αντοχής του άρρηκτου βράχου στο πεδίο ο οποίος μπορεί να συγκριθεί με την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη UCS (Unified Compressive Strength) (Hack & Huisman, 2002*)*. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι χρειάζονται αρκετές δοκιμές πεδίου ώστε να εξαχθεί ένα ικανοποιητικό συμπέρασμα όσον αφορά την αντοχή της βραχόμαζας και εάν είναι δυνατό θα πρέπει να πραγματοποιούνται και εργαστηριακές δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης με σκοπό να ελεγχθεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων *(Hack & Huisman, 2002)*. Η ταξινόμηση IRS φαίνεται στον **Πίνακας 2.**

Αντοχή άρρηκτου βράχου - Intact Rock Strength (IRS)	Έλεγχος αντοχής με σφυρί βάρους 1 Kg	Περιγραφή υλικού	Τύπος
<1.25 MPa	θρυμματίζεται στο χέρι	Πάρα πολύ αδύναμο	R0
1.25 - 5 MPa	Μια λεπτή βραχώδης πλάκα σπάει εύκολα με το χέρι	Πολύ αδύναμο	R1
5 - 12.5 MPa	Μια λεπτή βραχώδης πλάκα σπάει δύσκολα με το χέρι	Αδύναμο	R2
12.5 - 50 MPa	Μία βραχώδης μάζα σπάει με ελαφριά χτυπήματα σφυριού	Μέτρια δυνατό	R3
50 - 100 MPa	Μία βραχώδης μάζα σπάει με δυνατά χτυπήματα σφυριού	Δυνατό	R4
100 -200 MPa	Δυνατά χτυπήματα σφυριού δημιουργούν θραύσματα	Πολύ σκληρό	R5
>200 MPa	Δυνατά χτυπήματα σφυριού δημιουργούν ήχο χωρίς θραύσματα	Πάρα πολύ σκληρό	R6

Πίνακας 2. Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε την ταξινόμηση της αντοχής του άρρηκτου βράχου μέσω του ελέγχου με την κρούση σφυριού (Burnett, 1975).

8.4. Αποτύπωση κατολισθήσεων με βάση την ταξινόμηση του *Varnes, 1978*

Σύμφωνα με το προαναφερόμενο σύστημα οι κατολισθήσεις που παρατηρήθηκαν αποτυπώθηκαν στον χάρτη ταξινόμησης αστοχιών κατά μήκος του δρόμου στις

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

περιοχές μελέτης. Ο κύριος τύπος αστοχιών που παρατηρήθηκε ήταν ολισθήσεις βραχώδους υλικού (Rock Slides). Αυτό συμβαίνει διότι κατά την σεισμική δόνηση, τα τεμάχη ασβεστόλιθου που αποκολλιούνται, θραύονται λόγω του αποδομημένου χαρακτήρα του υλικού, δημιουργώντας τις χαρακτηριστικές σάρες λατύπων ασβεστόλιθου. Ακόμη παρατηρούνται συνδυασμοί από ολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων (Rock Slides και Rock Falls) σε ποιοτικά καλύτερο ασβεστόλιθο όπου ορισμένα τεμάχη δεν είναι δυνατόν να θραυτούν περαιτέρω. Σημειώνεται ότι δεν παρατηρήθηκαν μεμονωμένες καταπτώσεις βράχων (Rock Falls). Πιο σπάνια περίπτωση αποτελούν οι βαθιές ολισθήσεις (Deep Seated Slides).
Όσον αφορά τα συγκολλημένα κορήματα, αυτά δεν παρουσιάζουν αστοχίες λόγω της συνεκτικότητας που έχουν αποκτήσει από το ιλυοαμμώδες συνδετικό υλικό. Αντίθετα, στα χαλαρά κορήματα (εκσκάβονται εύκολα με γεωλογικό σφυρί), οι αστοχίες που πραγματοποιούνται είναι τύπου κορηματικών ροών (debris flows).

8.5. Χαρτογράφηση δριμύτητας αστοχιών

Η χαρτογράφηση της δριμύτητας των αστοχιών βασίστηκε ποιοτικά στην έκταση των αστοχιών και στο ποσοστό που αυτές καλύπτουν το οδόστρωμα. Ο στόχος αυτής της χαρτογράφησης ήταν μία πρόδρομη ταξινόμηση της περιοχής μελέτης με βάση καθαρά τις υπάρχουσες αστοχίες έτσι ώστε να γίνουν εμφανείς οι περιοχές που πλήττονται περισσότερο και να συσχετιστούν αν είναι εφικτό με τις τεχνικογεωλογικές ενότητες. Τονίζεται ότι δεν ορίζεται στην ταξινόμηση ο βαθμός "Καμία αστοχία" καθώς η υπαίθρια μελέτη λαμβάνει χώρα μετά το σεισμικό γεγονός, συνεπώς δεν μπορούμε να γνωρίζουμε εάν σε αυτές τις περιοχές πραγματοποιήθηκαν αστοχίες έστω μικρής κλίμακας. Έτσι, η ταξινόμηση είναι η εξής:

- *Χαμηλή έως πολύ χαμηλή δριμύτητα.* Αφορά τις περιοχές όπου κατά την έρευνα πεδίου δεν παρατηρήθηκαν καθόλου αστοχίες ή εντοπίστηκαν τοπικά πολύ μικρές σε μέγεθος, καταπτώσεις.

- *Μέση δριμύτητα.* Αφορά τις περιοχές όπου το υλικό που ολίσθησε, κάλυψε ένα πολύ μικρό τμήμα του οδοστρώματος.

- *Υψηλή δριμύτητα.* Αφορά τις περιοχές όπου το υλικό που ολίσθησε, κάλυψε το οδόστρωμα έως τη μέση του.

- *Πολύ υψηλή δριμύτητα.* Αφορά τις περιοχές όπου το υλικό που ολίσθησε, εκτείνεται για αρκετά μέτρα και καλύπτει όλο το οδόστρωμα. Επίσης εμφανίζονται εκτεταμένες αστοχίες στο ίδιο το οδόστρωμα.

Οι παραπάνω πληροφορίες εντοπίστηκαν στην ύπαιθρο και έπειτα χαρτογραφήθηκαν σε χάρτη κλίμακας 1:3000. Για την πραγματοποίηση της χαρτογράφησης και του διαχωρισμού της περιοχής σε τμήματα, η κάθε περιοχή οδομετρήθηκε με την αρχή και το τέλος της χιλιομέτρησης να ορίζεται από το σημείο όπου ξεκίνησε η χαρτογράφηση έως το σημείο όπου τελείωσε, αντίστοιχα. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι πλέον δυνατόν πλέον να διαχωριστούν οι

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

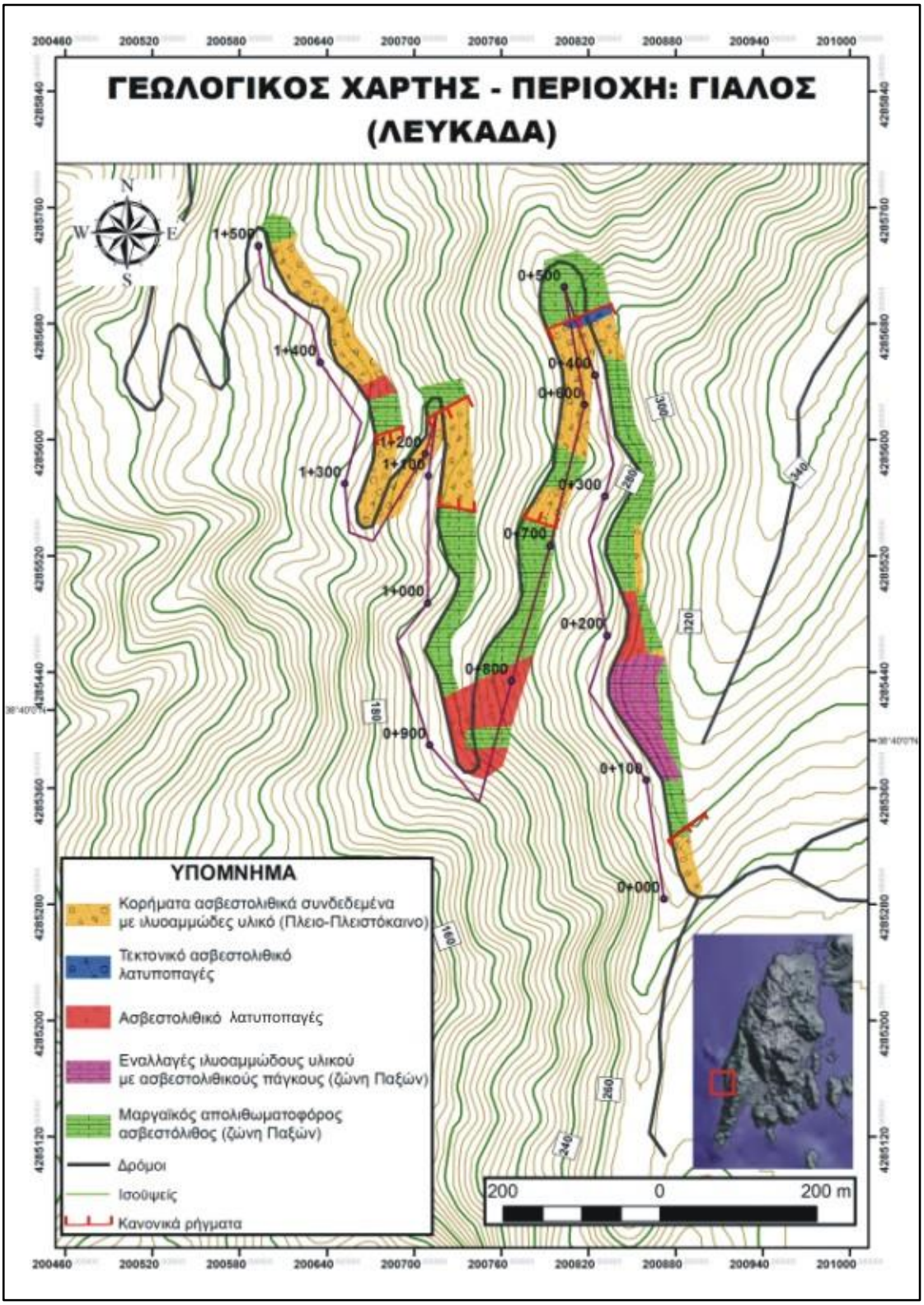
τεχνικογεωλογικές ενότητες που κατασκευάστηκαν και να οριστούν με βάση την αρχή και το τέλος της χιλιομέτρησης όπου βρίσκονται (Π.χ. τεχνικογεωλογική ενότητα 1: 0+000 – 1+000).

Παρακάτω παρατίθενται οι χάρτες που κατασκευάστηκαν με τα δεδομένα που λήφθηκαν από την εργασία υπαίθρου κατά το χρονικό διάστημα 10-15/07/2016. Οι χάρτες συνδυάζουν τόσο τα δεδομένα μέσω της κλασσικής γεωλογικής εργασίας υπαίθρου όσο και τα δεδομένα που λήφθηκαν μέσω του αεροχήματος. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που εμφανίζονται στους παρακάτω χάρτες αναλύονται εκτενώς σε επόμενο κεφάλαιο.

8.6. Χάρτες πληροφοριών – Περιοχή: «Γιαλός»

Στο **Σχήμα 14** μπορούμε να παρατηρήσουμε τους γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι συναντήθηκαν και χαρτογραφήθηκαν κατά την εργασία υπαίθρου καθώς επίσης με κόκκινες γραμμές φαίνονται οι τεκτονικές δομές της περιοχής. Η κατασκευή του ολοκληρωμένου γεωλογικού χάρτη πραγματοποιήθηκε τόσο μέσω των γεωλογικών γνώσεων και κανόνων όμως ενισχύθηκε σημαντικά με την λεπτομερή παρατήρηση του τρισδιάστατου μοντέλου (ορθομωσαϊκό & DEM) της περιοχής. Στο προαναφερόμενο μοντέλο φαίνονται οι κύριες τεκτονικές δομές και ορισμένες εμφανείς διαφορές στη λιθολογία τόσο λόγω χρώματος υλικού όσο και λόγω διαφοράς στην χλωρίδα. Ο ολοκληρωμένος γεωλογικός χάρτης φαίνεται στο **Σχήμα 15** όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι στην περιοχή έχουν δράσει 2 κανονικά ρήγματα τα οποία έχουν δημιουργήσει μία τεκτονική τάφρο και η οποία έχει πληρωθεί με ασβεστολιθικά κορήματα. Αντίστοιχα, παρατηρούμε την περιοχή η οποία δομείται από ιλυοαμμώδες υλικό σε εναλλαγές με ασβεστολιθικές ενστρώσεις, περιοχή που θεωρήθηκε ότι δημιουργήθηκε λόγω τοπικής διαφοροποίησης της ιζηματογένεσης.

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 14. Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης «Γιαλός» με βάση τη χαρτογράφηση υπαίθρου

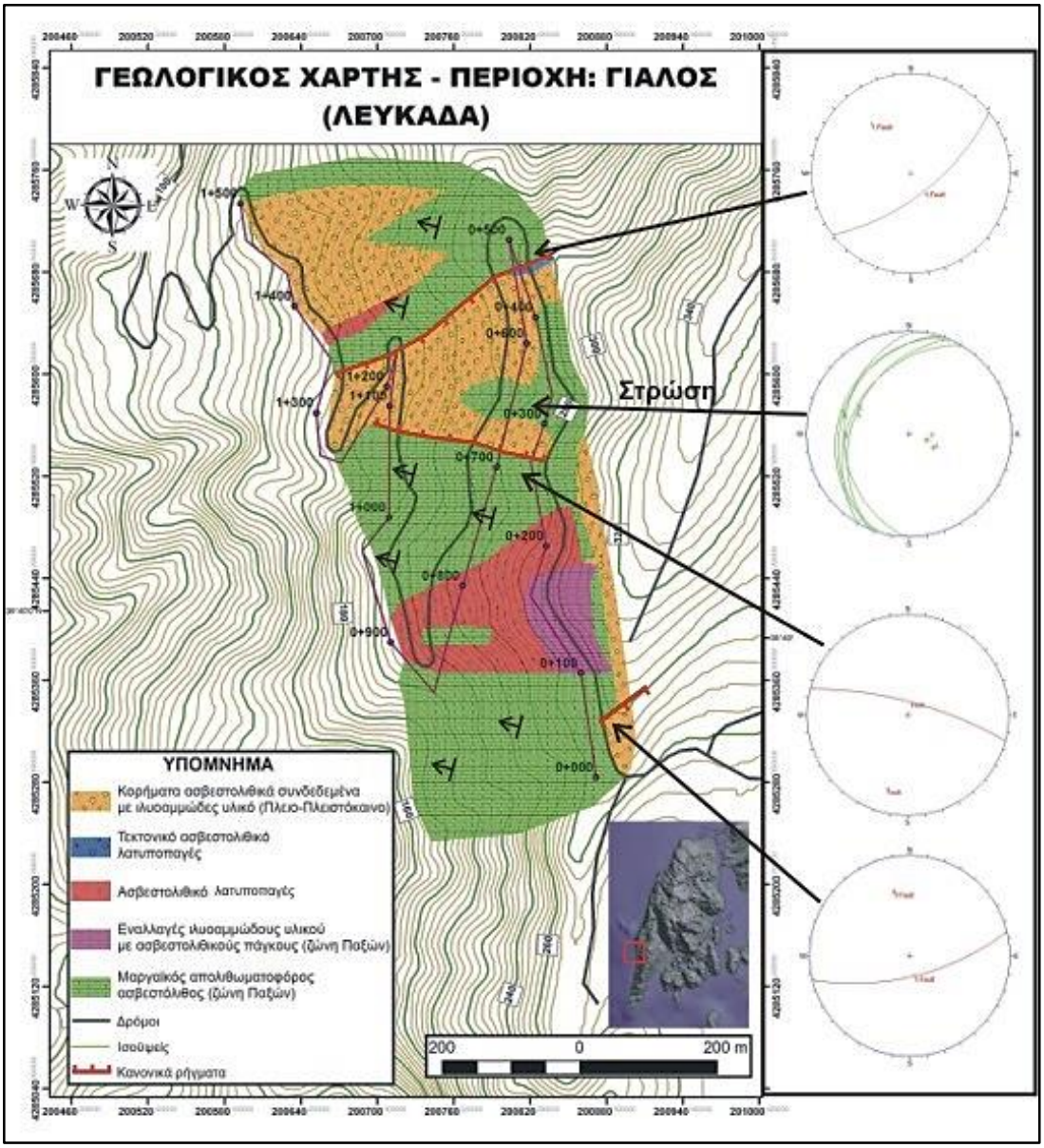
Οι τεκτονικές μετρήσεις που λήφθηκαν αφορούν την στρώση του ασβεστολιθικού υπόβαθρου, όπου αυτή ήταν εμφανής, καθώς επίσης τις κύριες τεκτονικές δομές που συναντήθηκαν. Στην περιοχή του Γιαλού, το ασβεστολιθικό υπόβαθρο συναντάται σε αρκετές περιοχές στρωματώδες συνεπώς ήταν εφικτή η λήψη μέτρησης της στρώσης

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

σε 5 σημεία. Σε όλα τα κανονικά ρήγματα που εντοπίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν βρέθηκαν γραμμές προστριβής οι οποίες υπέδειξαν οριζόντια συνιστώσα.

Περιοχή: Γιαλός		
Χαρακτηριστικά	**Τεκτονικά στοιχεία (κλίση/διεύθυνση κλίσης)**	**Χιλιομετρικές θέσεις**
Στρώση	20/290	0+520
	25/272	0+540
	30/300	0+650
	22/288	1+340
	32/293	0+950
Κανονικό ρήγμα	50/140	0+470
Κανονικό ρήγμα	75/015	0+690
Κανονικό ρήγμα	67/166	0+050

Πίνακας 3. Τεκτονικά στοιχεία για την περιοχή «Γιαλός»

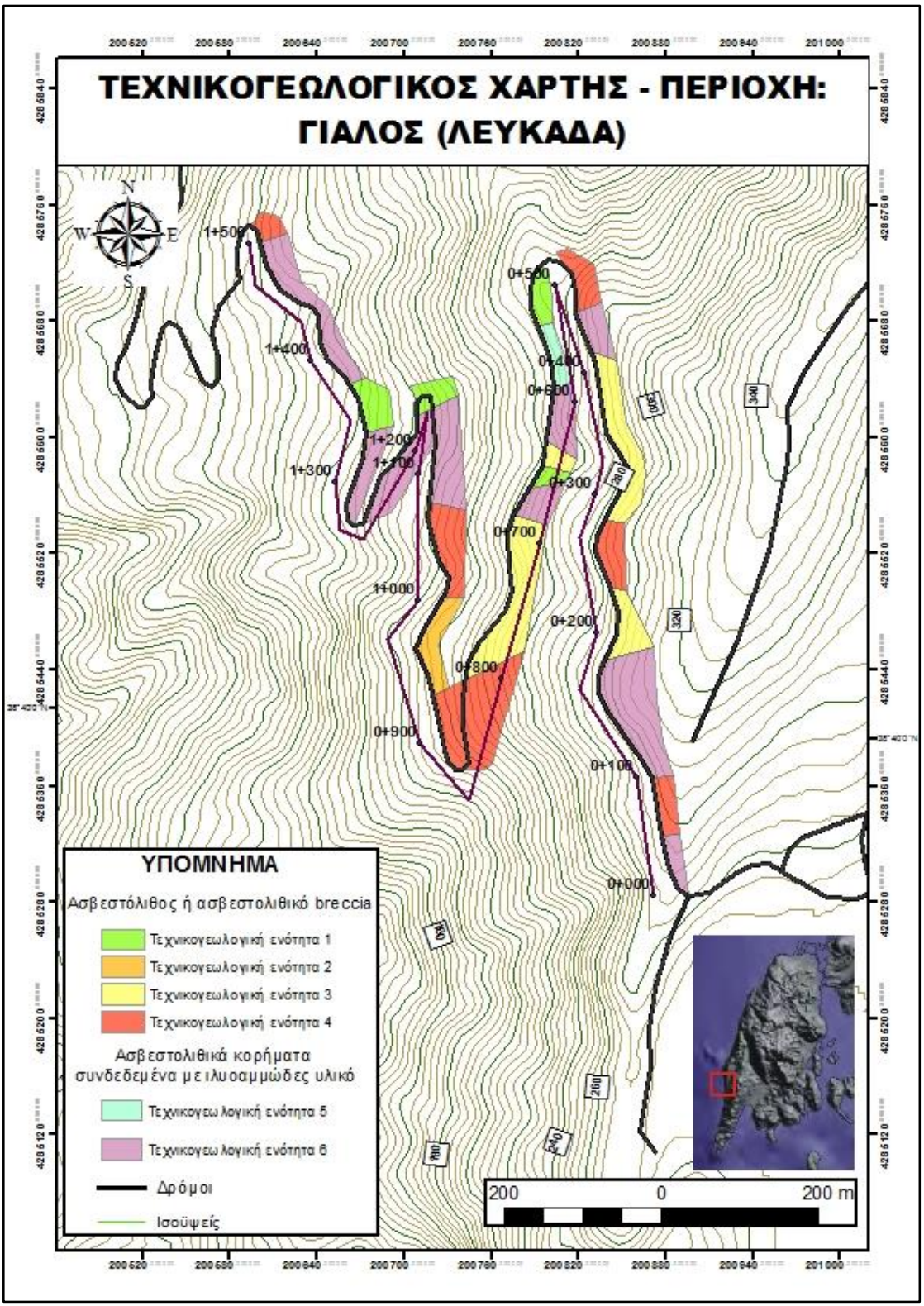


Σχήμα 15. Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης «Γιαλός» μετά την παρατήρηση του ορθομωσαϊκού

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

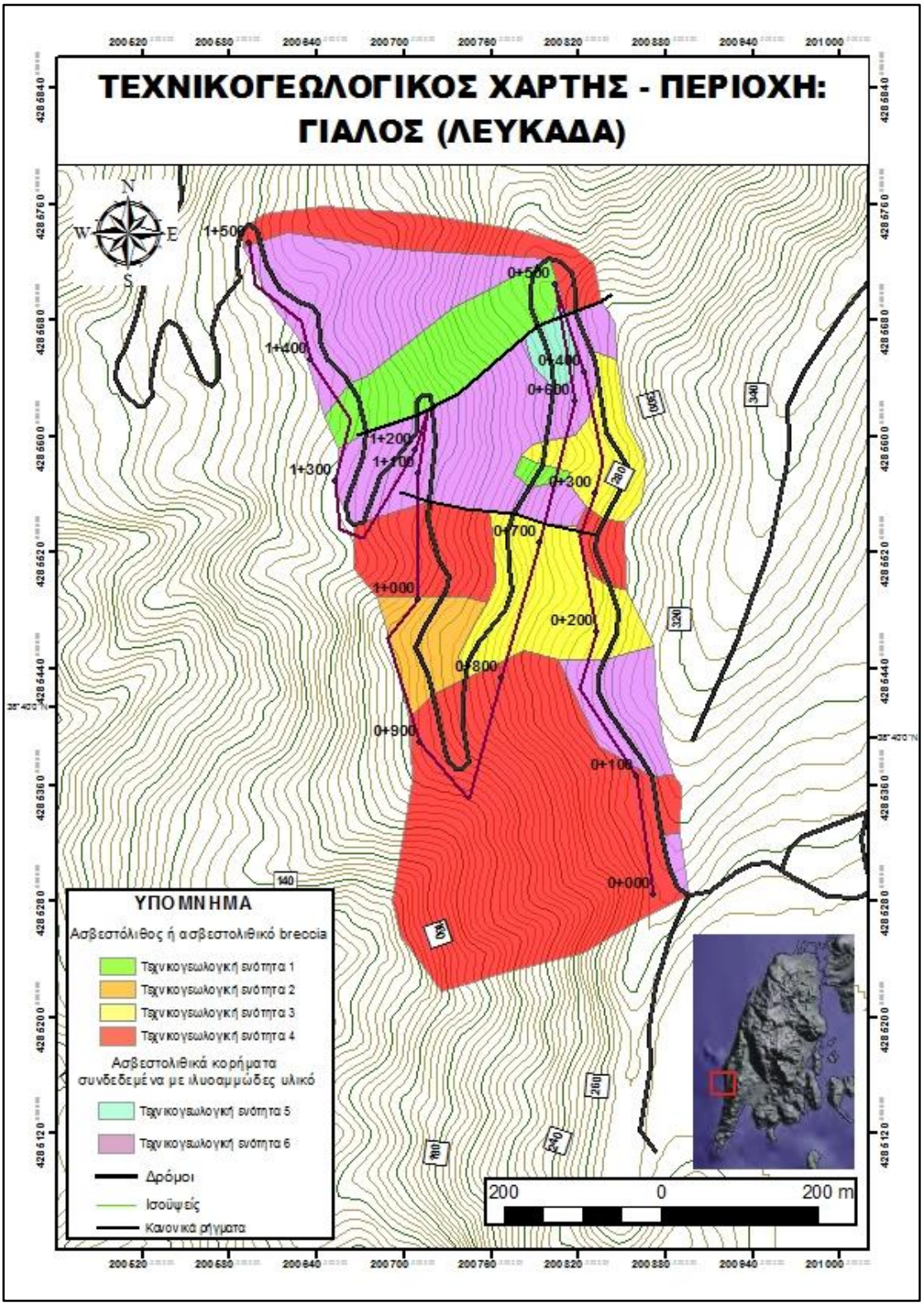
Στο **Σχήμα 16** μπορούμε να παρατηρήσουμε τους τεχνικογεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι συναντήθηκαν και χαρτογραφήθηκαν κατά την εργασία υπαίθρου. Η ανάπτυξη των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων στη μετέπειτα κατασκευή του ολοκληρωμένου τεχνικογεωλογικού χάρτη βασίστηκε εξ' ολοκλήρου στη σύνδεση των τεχνικογεωλογικών σχηματισμών μεταξύ τους σε αλληλεπίδραση με την παρατήρηση του γεωλογικού χάρτη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει να τονιστεί ότι δε καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων μέσω της χρήσης των τρισδιάστατων μοντέλων που κατασκευάστηκαν καθώς η φύση της ταξινόμησης των βραχωδών και εδαφικών γεωυλικών έχει ως προϋπόθεση την επί τόπου παρατήρηση. Συνεπώς θα ήταν σφάλμα να εξάγουμε συμπεράσματα για τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες της περιοχής παρατηρώντας τα τρισδιάστατα μοντέλα. Ο ολοκληρωμένος τεχνικογεωλογικός χάρτης φαίνεται στο **Σχήμα 17** όπου εμφανίζονται και οι τεκτονικές δομές της περιοχής μελέτης.

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 16. Τεχνικογεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης «Γιαλός» με βάση τη χαρτογράφηση υπαίθρου

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 17. Τεχνικογεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης «Γιαλός»

Στο **Σχήμα 18** μπορούμε να παρατηρήσουμε τον χάρτη ταξινόμησης αστοχιών οι οποίες χαρτογραφήθηκαν κατά την εργασία υπαίθρου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η χρήση του ορθομωσαϊκού καθίσταται εξαιρετικά χρήσιμη καθώς είναι δυνατή η αποτύπωση όλων των αστοχιών ανεξαρτήτως τύπου ακόμα και σε περιοχές οι οποίες δεν ήταν εμφανείς κατά την εργασία υπαίθρου. Τονίζεται ότι, εκτός από ορισμένες

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

περιπτώσεις όπου ο τύπος της αστοχίας είναι μερικώς εμφανής, στη συντριπτική πλειοψηφία των αστοχιών που αποτυπώθηκαν ήταν αδύνατος ο προσδιορισμός του τύπου ή η αβεβαιότητα ήταν εξαιρετικά μεγάλη. Συνεπώς, στο **Σχήμα 19** μπορούμε να παρατηρήσουμε τον χάρτη αποτύπωσης των αστοχιών ανεξαρτήτως τύπου. Η σύνδεση των δύο παραπάνω χαρτών έδωσε τη δυνατότητα κατασκευής ενός τρίτου χάρτη **(Σχήμα 20**) ο οποίος πλέον αποδίδει την ταξινόμηση των αστοχιών σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης, τόσο με τα πραγματικά τους όρια όσο και με τον τύπο αστοχίας όπου αυτός ήταν δυνατό να προσδιοριστεί. Θα πρέπει να τονιστεί ότι βρέθηκε ότι οι αστοχίες που χαρτογραφήθηκαν είναι 30.

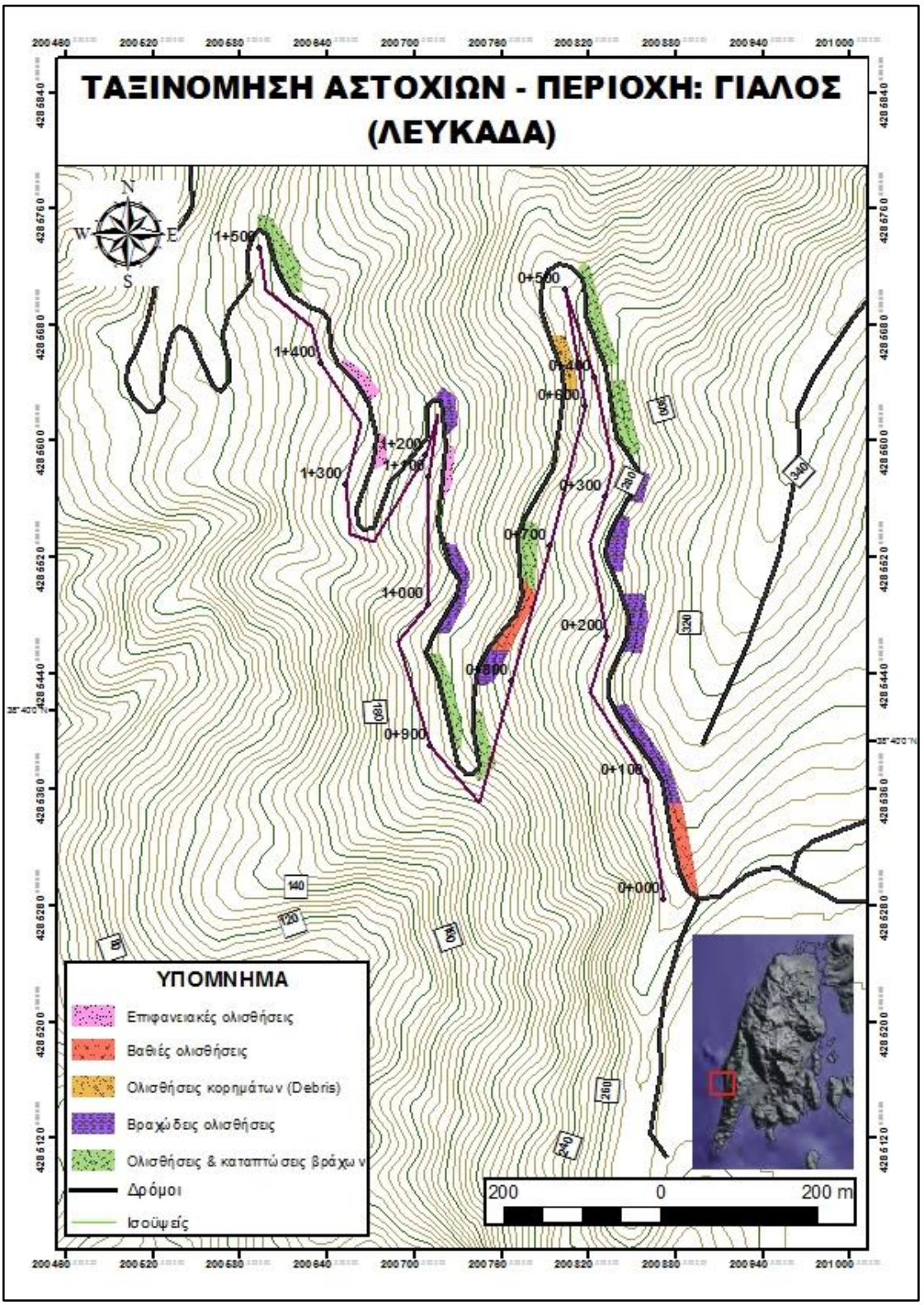
Η περιοχή οι οποία μελετήθηκε έχει έκταση 303915 m^2. Μέσω αυτής της πληροφορίας και της γνώσης της έκτασης της κάθε αστοχίας είναι δυνατό να βρεθεί η επί τοις εκατό έκταση που καλύπτουν οι αστοχίες στην περιοχή και κατ' επέκταση το κάθε είδος των αστοχιών στην περιοχή. Έτσι, βρέθηκε ότι οι αστοχίες στην περιοχή «Γιαλός» καλύπτουν το 26% ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό καλύπτουν οι σύνθετες ολισθήσεις (11.2%) και ακολουθούν οι βαθιές ολισθήσεις (9.7%).

Αντίστοιχα, έγινε προσπάθεια εκτίμησης του όγκου των μαζών οι οποίες μετακινήθηκαν. Μέσω των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην ύπαιθρο εξήλθε το συμπέρασμα ότι οι επιφανειακές ολισθήσεις έχουν μέσο βάθος 0.30 m, οι βραχώδεις ολισθήσεις, οι ολισθήσεις & καταπτώσεις και οι ολισθήσεις κορημάτων έχουν μέσο πάχος 1 m ενώ πραγματοποιήθηκε η παραδοχή ότι οι βαθιές ολισθήσεις έχουν μέσο πάχος 2 μέτρα. Συνεπώς, η εκτίμηση του όγκου των μαζών που μετακινήθηκαν είναι ≈126325 m^3. Στον **Πίνακας 4** φαίνονται συγκεντρωτικά οι εκτάσεις και οι όγκοι της περιοχής μελέτης.

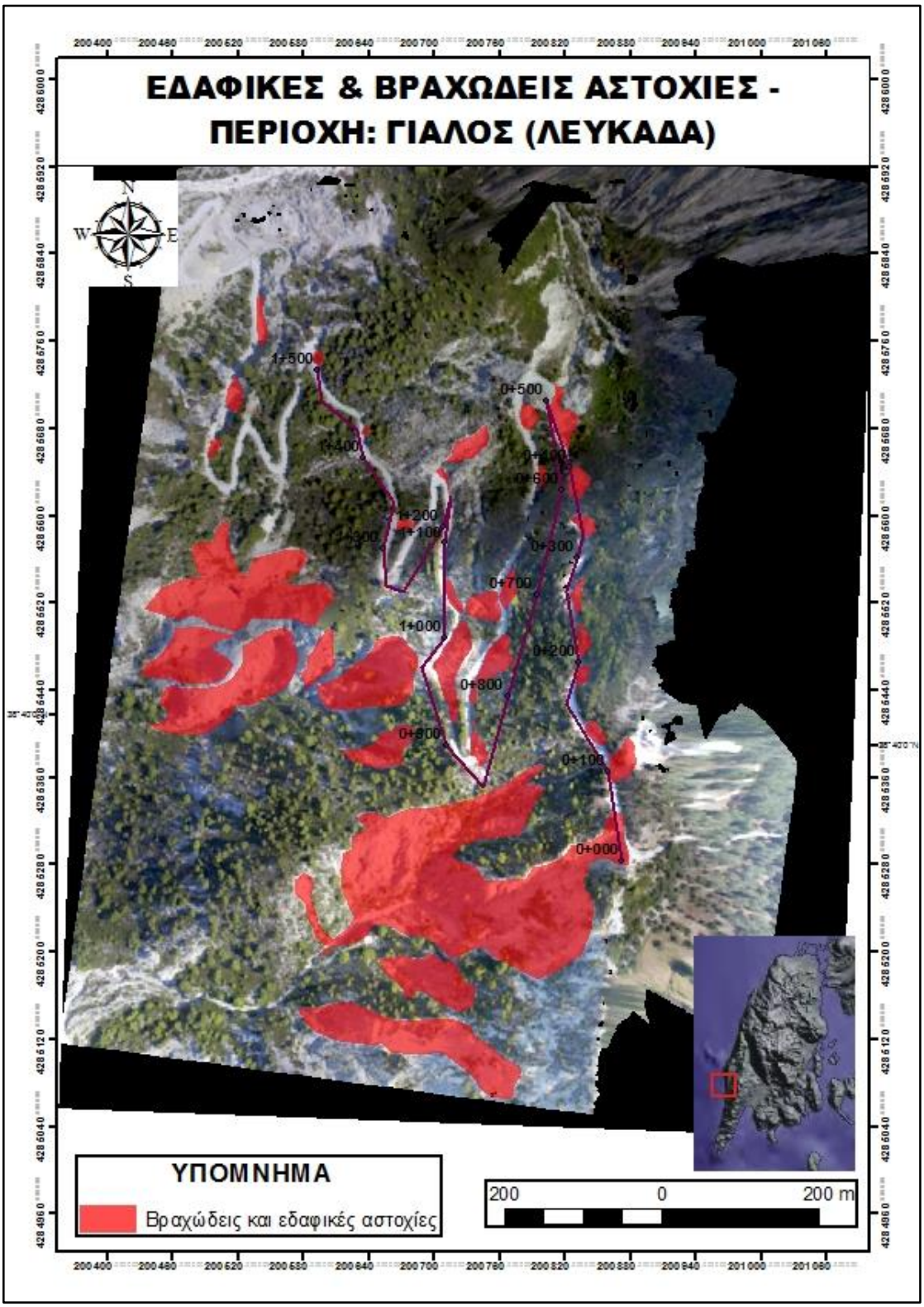
Περιοχή "ΓΙΑΛΟΣ"						
Τύπος αστοχίας	**Βαθιές ολισθήσεις**	**Επιφανειακές ολισθήσεις**	**Βραχώδεις ολισθήσεις**	**Ολισθήσεις & Καταπτώσεις**	**Ολισθήσεις κορημάτων**	**Σύνθετες ολισθήσεις**
Έκταση αστοχιών (m^2)	28273	502	454	1490	1124	318
	1105	408	624	1344		362
		36	728	2014		128
			1308	1338		3981
			1410	891		1383
			1630			721
			1702			2702
						6612
						5671
						8392
						2979
						903
Συνολική έκταση αστοχιών (m^2)	**29378**	**946**	**7856**	**7077**	**1124**	**34152**
Έκταση περιοχής μελέτης (m^2)	**303915**					
Έκταση αστοχιών (%)	**9.7**	**0.3**	**2.6**	**2.3**	**0.4**	**11.2**
Συνολική έκταση αστοχιών (%)	**26**					
Όγκος (m^3) = Συνολική έκταση*Βάθος	**58756**	**284**	**7856**	**7077**	**1124**	**51228**
Συνολικός όγκος (m^3)	**126325**					

Πίνακας 4. Συγκεντρωτικός πίνακας έκτασης και όγκου των τύπων αστοχίας για την περιοχή «Γιαλός»

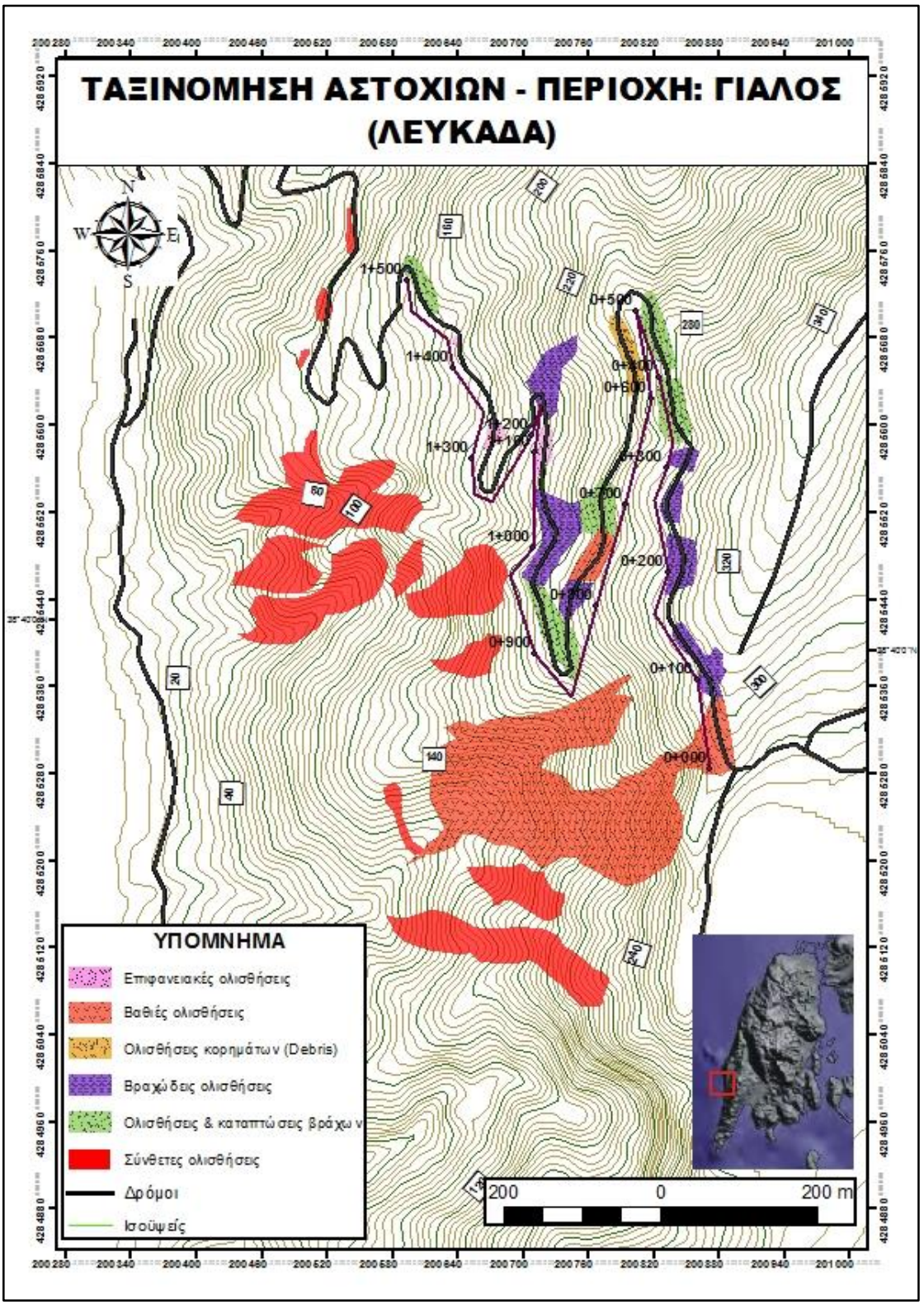
01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 18. Χάρτης ταξινόμησης αστοχιών περιοχής μελέτης «Γιαλός» με βάση τη χαρτογράφηση υπαίθρου



Σχήμα 19. Εύρεση βραχωδών και εδαφικών αστοχιών στο ορθομωσαϊκό της περιοχής «Γιαλός»



Σχήμα 20. Χάρτης ταξινόμησης αστοχιών περιοχής μελέτης «Γιαλός» με βάση τον συνδυασμό της χαρτογράφησης υπαίθρου και την παρατήρηση των αστοχιών του ορθομωσαϊκού

8.6.1. Δριμύτητα αστοχιών

Με σκοπό τον συσχετισμό της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης με την χαρτογράφηση των τύπων αστοχιών, πραγματοποιήθηκε ένα ακόμη επίπεδο πληροφορίας το οποίο αφορά την αξιολόγηση της δριμύτητας των αστοχιών στην περιοχή μελέτης. Η ποιοτική ταξινόμηση της δριμύτητας διαχωρίστηκε στα εξής τέσσερα στάδια: Πολύ υψηλή δριμύτητα, Υψηλή δριμύτητα, Μέση δριμύτητα και Χαμηλή έως πολύ χαμηλή δριμύτητα. Αυτό το επίπεδο πληροφορίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σκοπό την αντιμετώπιση των περιοχών με Υψηλή και Πολύ υψηλή δριμύτητα, με πιο ικανά μέτρα αντιστήριξης από τις αντίστοιχες περιοχές με χαμηλότερη δριμύτητα. Ο χάρτης δριμύτητας αστοχιών με βάση τις παρατηρήσεις υπαίθρου, φαίνεται στο **Σχήμα 21.** Η παρατήρηση του ορθομωσαϊκού στο οποίο προβλήθηκαν οι αστοχίες σε συνδυασμό με τον προαναφερόμενο χάρτη δριμύτητας, συνετέλεσε στην εξαγωγή του τελικού χάρτη δριμύτητας. Σύμφωνα με αυτόν τον χάρτη που φαίνεται στο **Σχήμα 22** μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η δριμύτητα των αστοχιών μειώνεται χαρακτηριστικά προς τα βόρεια, κάτι το οποίο μπορεί να οφείλεται κυρίως στην επικράτηση των καλά συγκολλημένων κορημάτων και στην αύξηση του GSI του υποβάθρου. Οι χιλιομετρικές θέσεις στις οποίες συναντάται ο εκάστοτε βαθμός δριμύτητας είναι οι εξής:

- Πολύ υψηλή δριμύτητα: 0+000-0+070, 0+260-0+270, 0+340-0+370, 0+400-0+500, 0+530-0+570, 0+750-0+810, 0+830-0+860, 0+890-0+940.

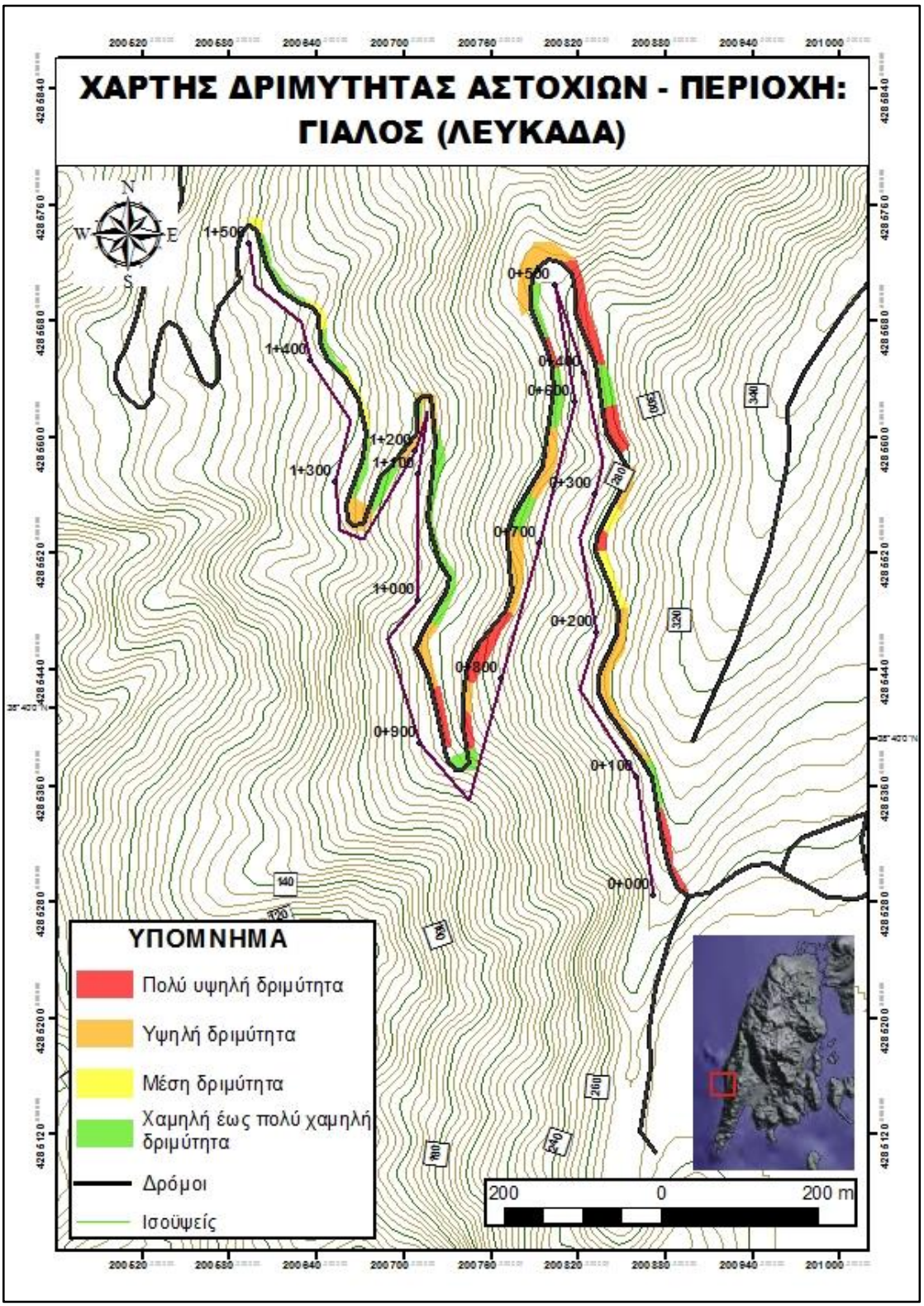
- Υψηλή δριμύτητα: 0+110-0+220, 0+300-0+330, 0+500-0+520, 0+620-0+670, 0+700-0+750, 0+810-0+830, 0+940-0+980, 1+140-1+160, 1+700-1+210, 1+250-1+290

- Μέση δριμύτητα: 0+220-0+260, 0+280-0+300, 1+340-1+380, 1+420-1+440

- Χαμηλή έως πολύ χαμηλή δριμύτητα: 0+070-0+110, 0+370-0+400, 0+520-0+530, 0+570-0+620, 0+670-0+700, 0+860-0+890, 0+980-1+140, 1+160-1+170, 1+210-1+250, 1+290-1+340, 1+380-1+420, 1+440-1+500.

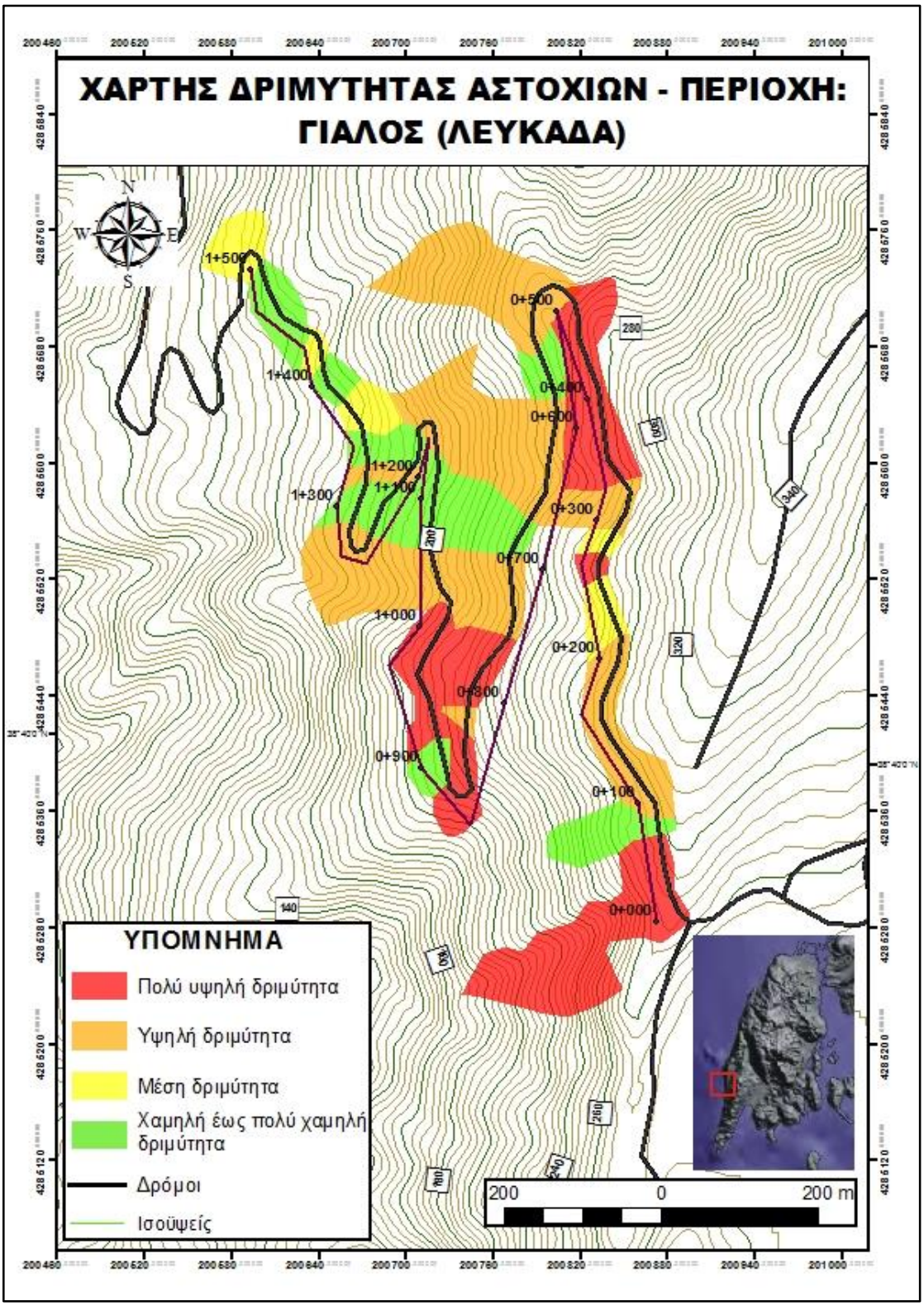
Με σκοπό την εύρεση των παραγόντων οι οποίοι διαμορφώνουν τα στάδια της δριμύτητας των αστοχιών, πραγματοποιήθηκε σύνδεση της δριμύτητας με τις μορφολογικές κλίσεις. Παρατηρήθηκε ότι η πολύ υψηλή δριμύτητα εμφανίζεται σε περιοχές με κλίση πρανών κυρίως 40^o-45^o και δευτερευόντως σε κλίση 60^o-70^o. Η υψηλή δριμύτητα εμφανίζεται σε περιοχές με κλίση πρανών κυρίως 60^o-70^o και δευτερευόντως σε κλίση 40^o-45^o ενώ η μέση και η χαμηλή έως πολύ χαμηλή δριμύτητα παρουσιάζονται σε ένα εύρος κλίσεων πρανών από 40^o έως 75^o.

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 21. Χάρτης δριμύτητας αστοχιών περιοχής μελέτης «Γιαλός» με βάση τη χαρτογράφηση υπαίθρου

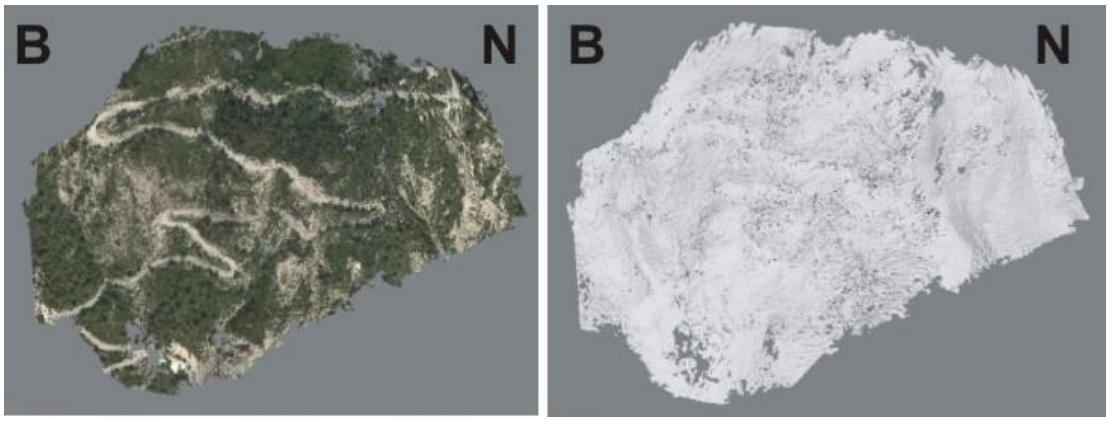
01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 22. Χάρτης δριμύτητας αστοχιών περιοχής μελέτης «Γιαλός» με βάση τον συνδυασμό της χαρτογράφησης υπαίθρου και την παρατήρηση των αστοχιών του ορθομωσαϊκού

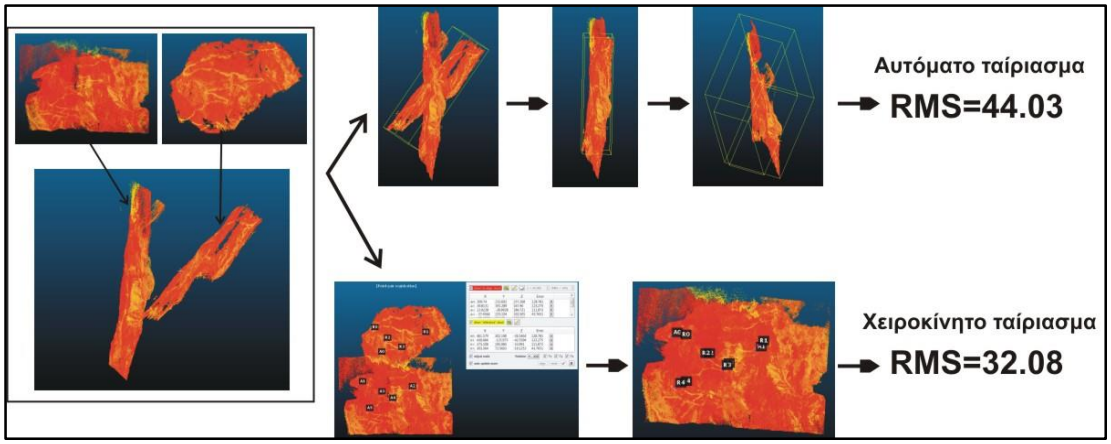
8.6.2. Σύγκριση σύννεφων σημείων (point clouds) πριν και μετά το σεισμό

Με σκοπό την πραγματοποίηση σύγκρισης μοντέλων σύννεφων σημείων πριν και μετά το σεισμό αντλήθηκαν φωτογραφίες του 2013 μέσω της εφαρμογής Google Earth τόσο σε κάτοψη όσο και σε άποψη. Οι φωτογραφίες εισήχθησαν στο λογισμικό Agisoft με αποτέλεσμα την εξαγωγή του μοντέλου που φαίνεται στην **Εικόνα 35** ενώ τα σημεία του μοντέλου είναι 783.412.



Εικόνα 35. Σύννεφο σημείων για την περιοχή «Γιαλός» με και χωρίς χρώμα, μέσω φωτογραφιών της εφαρμογής Google Earth, πριν το σεισμό.

Η σύγκριση των μοντέλων που κατασκευάστηκαν με α) φωτογραφίες του αεροχήματος και β) με φωτογραφίες της εφαρμογής Google Earth, πραγματοποιήθηκε μέσω της εφαρμογής CloudCompare (http://www.danielgm.net/cc/). Έγινε δοκιμή της σύγκρισης με 2 τρόπους. Πρώτον, με αυτόματο ταίριασμα των μοντέλων μέσω της δυνατότητας που παρέχει το λογισμικό και δεύτερον χειροκίνητα με επιλογή κοινών σημείων. Παρατηρήθηκε ότι και στις 2 περιπτώσεις, το RMS (Root Mean Square) ήταν αρκετά μεγάλο και κυμαινόταν από 30 έως 50. Αυτή η πληροφορία δηλώνει την αδυναμία σύγκρισης των μοντέλων και την μετέπειτα αδυναμία υπολογισμού των όγκων οι οποίοι μετακινήθηκαν και της κατανομής της μετατόπισης.



Σχήμα 23. Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε την σύγκριση των 2 σύννεφων σημείων για την περιοχή «Γιαλός» με τη χρήση του CloudCompare.

Επισημαίνεται, ότι εφόσον στην περίπτωση της περιοχής «Γιαλός», στην οποία το σύννεφο σημείων δεν παρουσιάζει μεγάλες παραμορφώσεις και κενά, δεν ήταν εφικτή

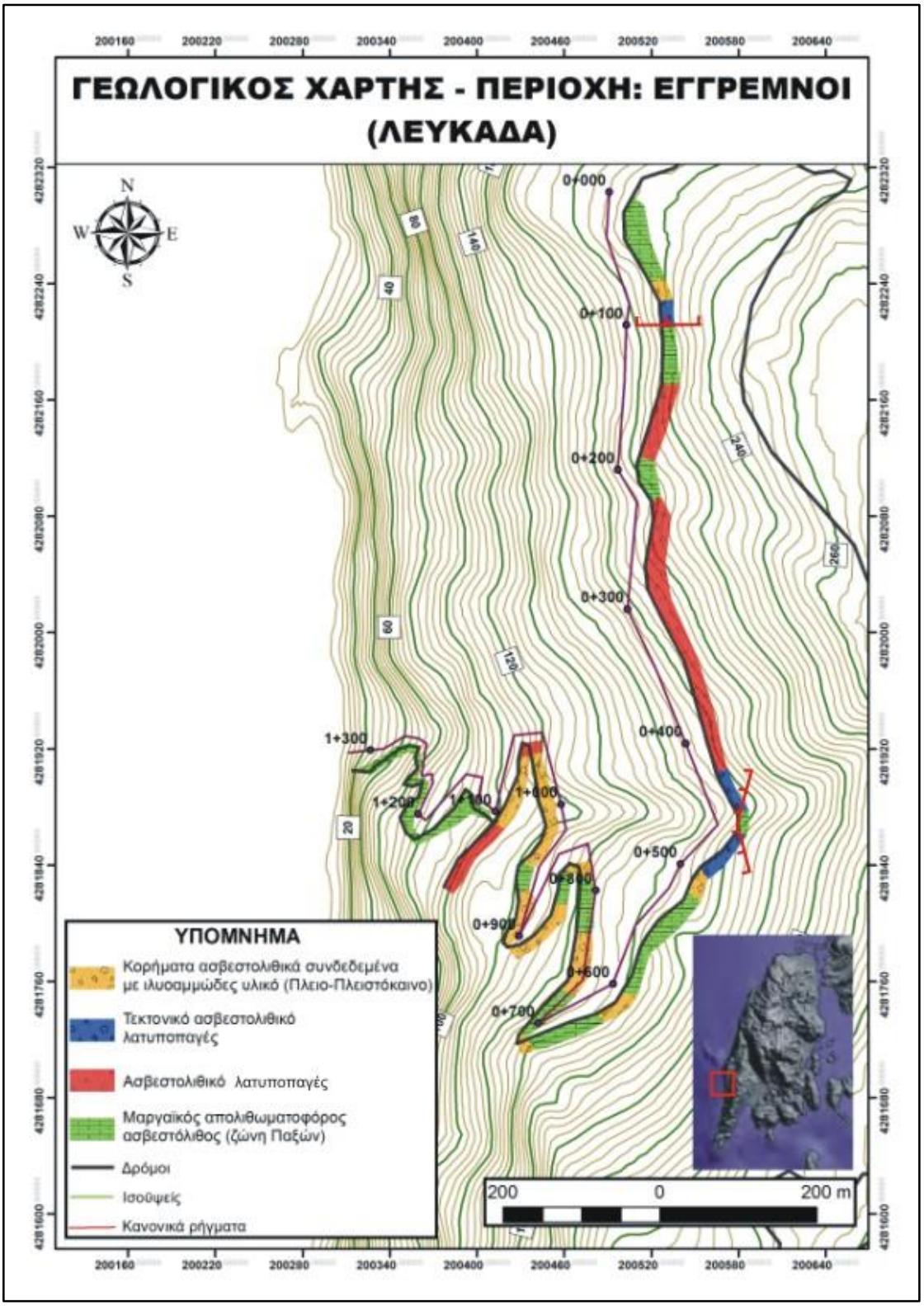
η σύγκριση των 2 διαφορετικών σύννεφων σημείων, δεν πραγματοποιήθηκε αντίστοιχη σύγκριση για την περιοχή των Εγγρεμνών καθώς το σύννεφο σημείων παρουσιάζει μεγάλη παραμόρφωση και κενά.

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

8.7. Χάρτες πληροφοριών – Περιοχή: «Εγγρεμνοί»

Στο **Σχήμα 24** μπορούμε να παρατηρήσουμε τους γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι συναντήθηκαν και χαρτογραφήθηκαν κατά την εργασία υπαίθρου καθώς επίσης με κόκκινες γραμμές φαίνονται οι τεκτονικές δομές της περιοχής. Αντίστοιχα με την περιοχή «Γιαλός», ο ολοκληρωμένος γεωλογικός χάρτης κατασκευάστηκε τόσο με τους γεωλογικούς κανόνες όσο και με τη βοήθεια του τρισδιάστατου μοντέλου (ορθομωσαϊκό & DEM) της περιοχής. Στο προαναφερόμενο μοντέλο είναι δυνατό να παρατηρήσουμε ορισμένες διαφοροποιήσεις στη λιθολογία όμως τονίζεται ότι συγκριτικά με το τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής «Γιαλός», η ποιότητα του συγκεκριμένου μοντέλου είναι χαμηλότερη λόγω μεγάλων κενών που διακρίνονται, παραμορφωσιμότητας και έλλειψης φωτογραφιών σε σημεία ενδιαφέροντος. Ο ολοκληρωμένος γεωλογικός χάρτης φαίνεται στο **Σχήμα 25** όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ένα κανονικό ρήγμα υποβιβάζει την περιοχή δημιουργώντας τεκτονικό ασβεστολιθικό λατυποπαγές ενώ κατά ένα μεγάλο μέρος η περιοχή δομείται από ασβεστολιθικό λατυποπαγές (breccia).

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 24. Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης «Εγγρεμνοί» με βάση τη χαρτογράφηση υπαίθρου

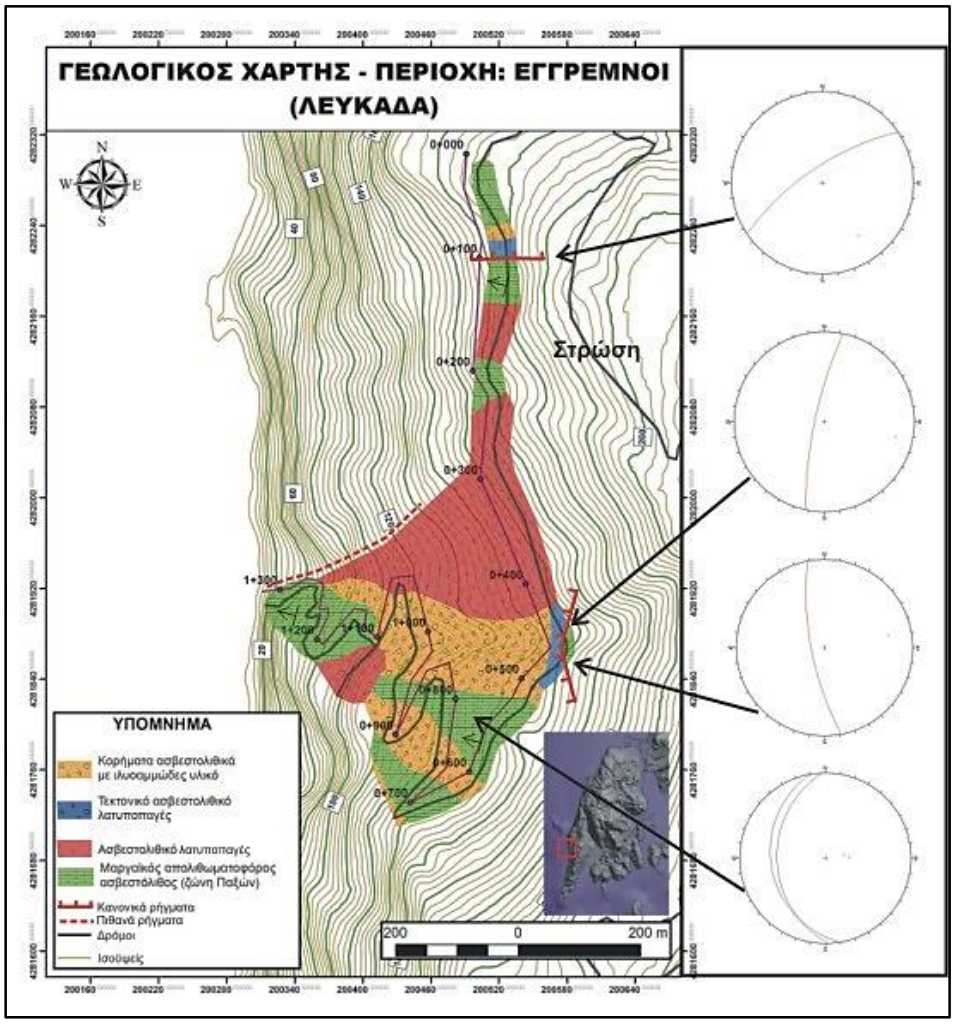
Παρακάτω παρουσιάζονται οι τεκτονικές μετρήσεις που αφορούν την περιοχή των Εγγρεμνών. Το ασβεστολιθικό υπόβαθρο παρουσιάζεται κατά κύριο λόγο έντονα τεκτονισμένο και διατμημένο ενώ σε 2 περιοχές όπου η στρώση ήταν εμφανής, λήφθηκε μέτρηση. Επίσης, λήφθηκε μέτρηση των τριών τεκτονικών δομών που εντοπίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν. Στα δύο τελευταία ρήγματα του **Πίνακα 5**

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

εντοπίστηκαν γραμμές προστριβής οι οποίες υπέδειξαν τον τύπο των ρηγμάτων ενώ στο ρήγμα της χιλιομέτρησης 0+100 δεν εντοπίστηκαν γραμμές προστριβής. Στο συγκεκριμένο ρήγμα εντοπίστηκε χαρακτηριστικό τεκτονικό λατυποπαγές καθώς επίσης και τα ιζήματα που το διαδέχονται.

Περιοχή: Εγγρεμνοί		
Χαρακτηριστικά	**Τεκτονικά στοιχεία (κλίση/διεύθυνση κλίσης)**	**Χιλιομετρικές θέσεις**
Στρώση	25/260	0+050
	31/268	0+210
Κανονικό ρήγμα	70/326	0+100
Κανονικό ρήγμα	78/282	0+440
Κανονικό ρήγμα	73/259	0+460

Πίνακας 5. Τεκτονικά στοιχεία για την περιοχή «Εγγρεμνοί»

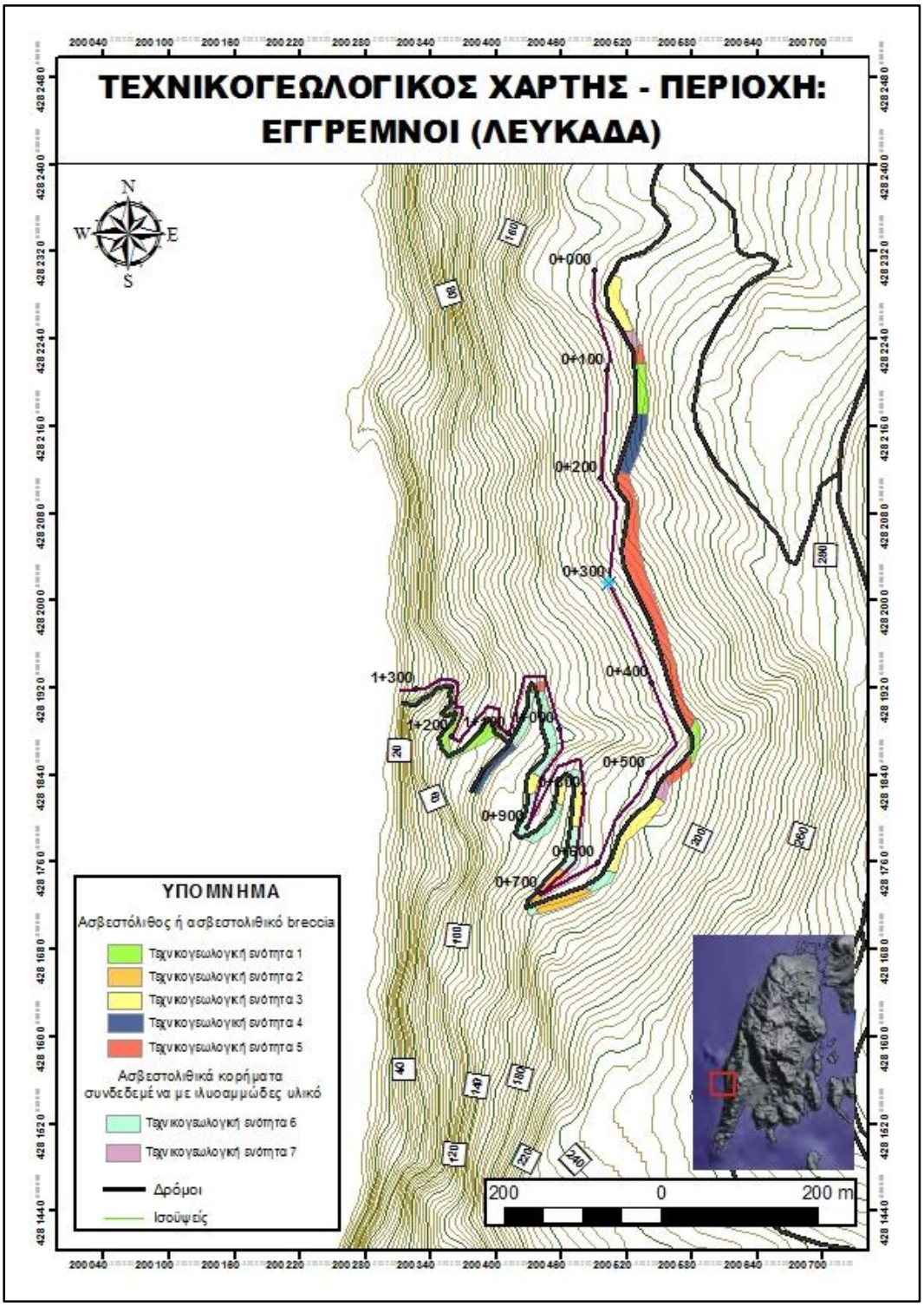


Σχήμα 25. Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης «Εγγρεμνοί» μετά την παρατήρηση του ορθομωσαϊκού

Στο **Σχήμα 26** μπορούμε να παρατηρήσουμε τους τεχνικογεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι συναντήθηκαν και χαρτογραφήθηκαν κατά την εργασία υπαίθρου. Όπως έχει προαναφερθεί και στην περίπτωση της περιοχής «Γιαλός», είναι αδύνατη η σύνδεση των τρισδιάστατων μοντέλων με την εκτίμηση της ποιότητας του υλικού. Συνεπώς, και

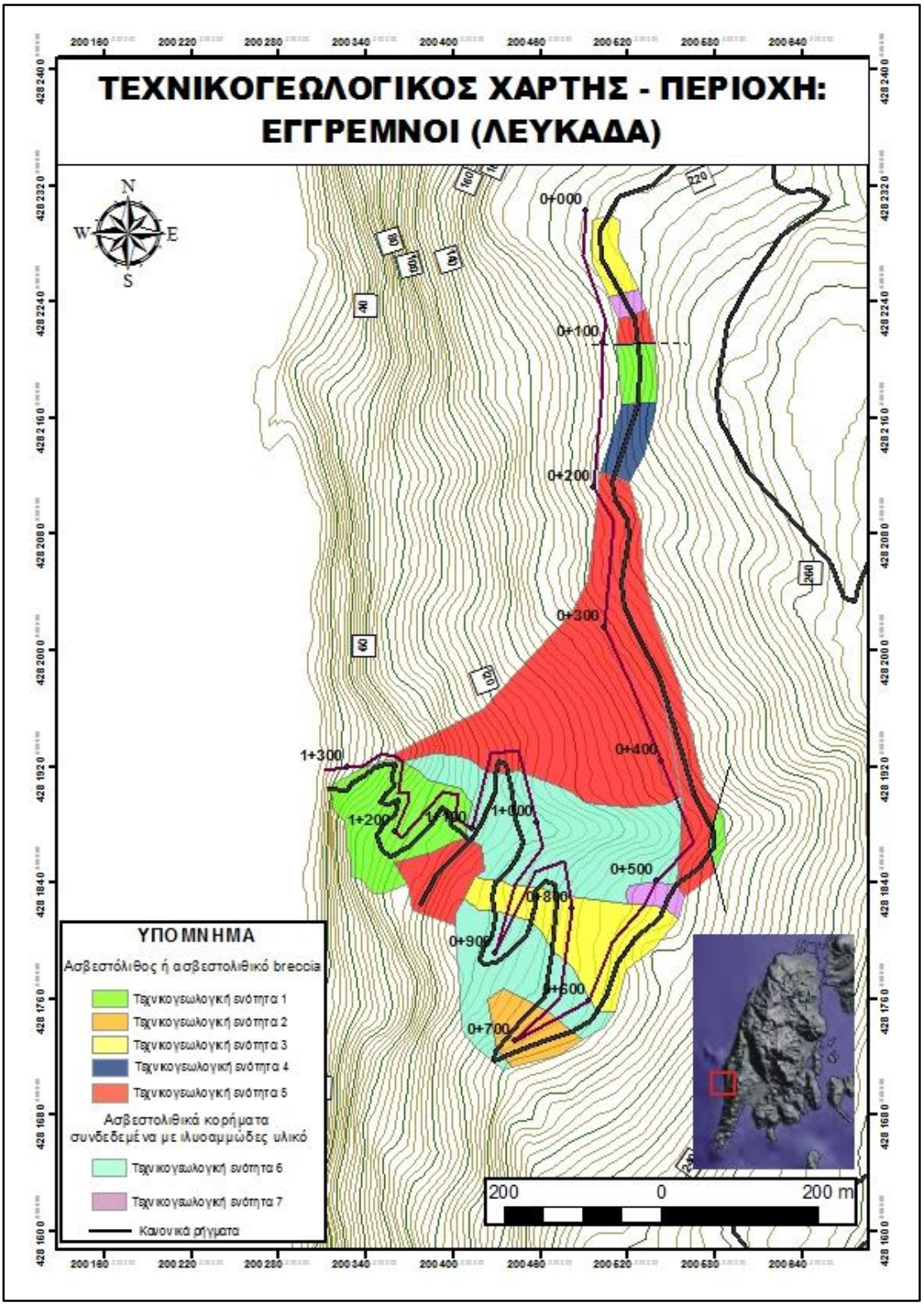
01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

σε αυτή τη περίπτωση η σύνδεση των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων πραγματοποιήθηκε με βάση την παρατήρηση του γεωλογικού χάρτη και με την μέθοδο της παρεμβολής. Δηλαδή, οι περιοχές που χαρτογραφήθηκαν κατά μήκος του δρόμου ενώνονται ανά δύο ακολουθώντας κυρίος τα όρια των γεωλογικών σχηματισμών. Ο ολοκληρωμένος τεχνικογεωλογικός χάρτης φαίνεται στο **Σχήμα 27** όπου εμφανίζονται και οι τεκτονικές δομές της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 26. Τεχνικογεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης «Εγγρεμνοί» με βάση τη χαρτογράφηση υπαίθρου

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 27. Τεχνικογεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης «Εγγρεμνοί»

Στο **Σχήμα 28** μπορούμε να παρατηρήσουμε τον χάρτη ταξινόμησης αστοχιών οι οποίες χαρτογραφήθηκαν κατά την εργασία υπαίθρου. Αντίστοιχα με την περίπτωση της περιοχής «Γιαλός», η χρήση του ορθομωσαϊκού καθίσταται εξαιρετικά χρήσιμη ενώ δεν ήταν αδύνατος ο προσδιορισμός του τύπου ή η αβεβαιότητα ήταν εξαιρετικά μεγάλη. Συνεπώς, στο **Σχήμα 29** μπορούμε να παρατηρήσουμε τον χάρτη αποτύπωσης

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

των αστοχιών, ανεξαρτήτως τύπου. Ο χάρτης ταξινόμησης των αστοχιών με τα πραγματικά όρια, σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης, φαίνεται στο **Σχήμα 30** ενώ οι αστοχίες που χαρτογραφήθηκαν είναι 20.

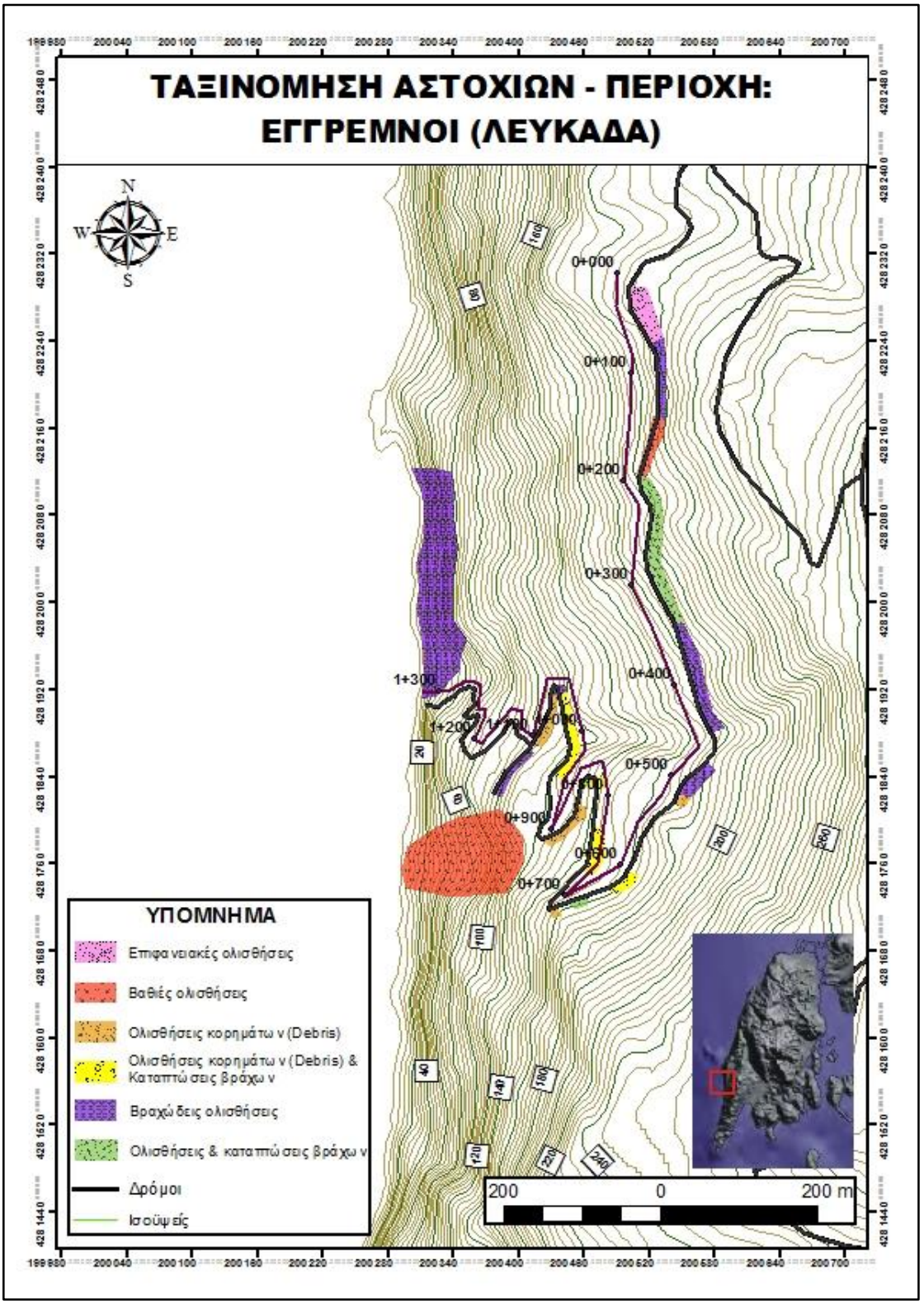
Η περιοχή οι οποία μελετήθηκε έχει έκταση 131369 m^2. Συνεπώς, βρέθηκε ότι οι αστοχίες στην περιοχή «Εγγρμενοί» καλύπτουν το 41% ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό καλύπτουν οι βραχώδεις ολισθήσεις (17.4%) και ακολουθούν οι σύνθετες ολισθήσεις (6.9%).

Για την εκτίμηση του όγκου των μαζών που μετακινήθηκαν, θα χρησιμοποιηθούν οι παραδοχές που λήφθηκαν στην περίπτωση της περιοχής «Γιαλός». Άρα, οι επιφανειακές ολισθήσεις έχουν μέσο βάθος 0.30 m, οι βραχώδεις ολισθήσεις, οι ολισθήσεις & καταπτώσεις και οι ολισθήσεις κορημάτων έχουν μέσο πάχος 1 m ενώ πραγματοποιήθηκε η παραδοχή ότι οι βαθιές ολισθήσεις έχουν μέσο πάχος 2 μέτρα. Συνεπώς, η εκτίμηση του όγκου των μαζών που μετακινήθηκαν είναι ≈65027 m^3. Στον **Πίνακα 6** φαίνονται συγκεντρωτικά οι εκτάσεις και οι όγκοι της περιοχής μελέτης.

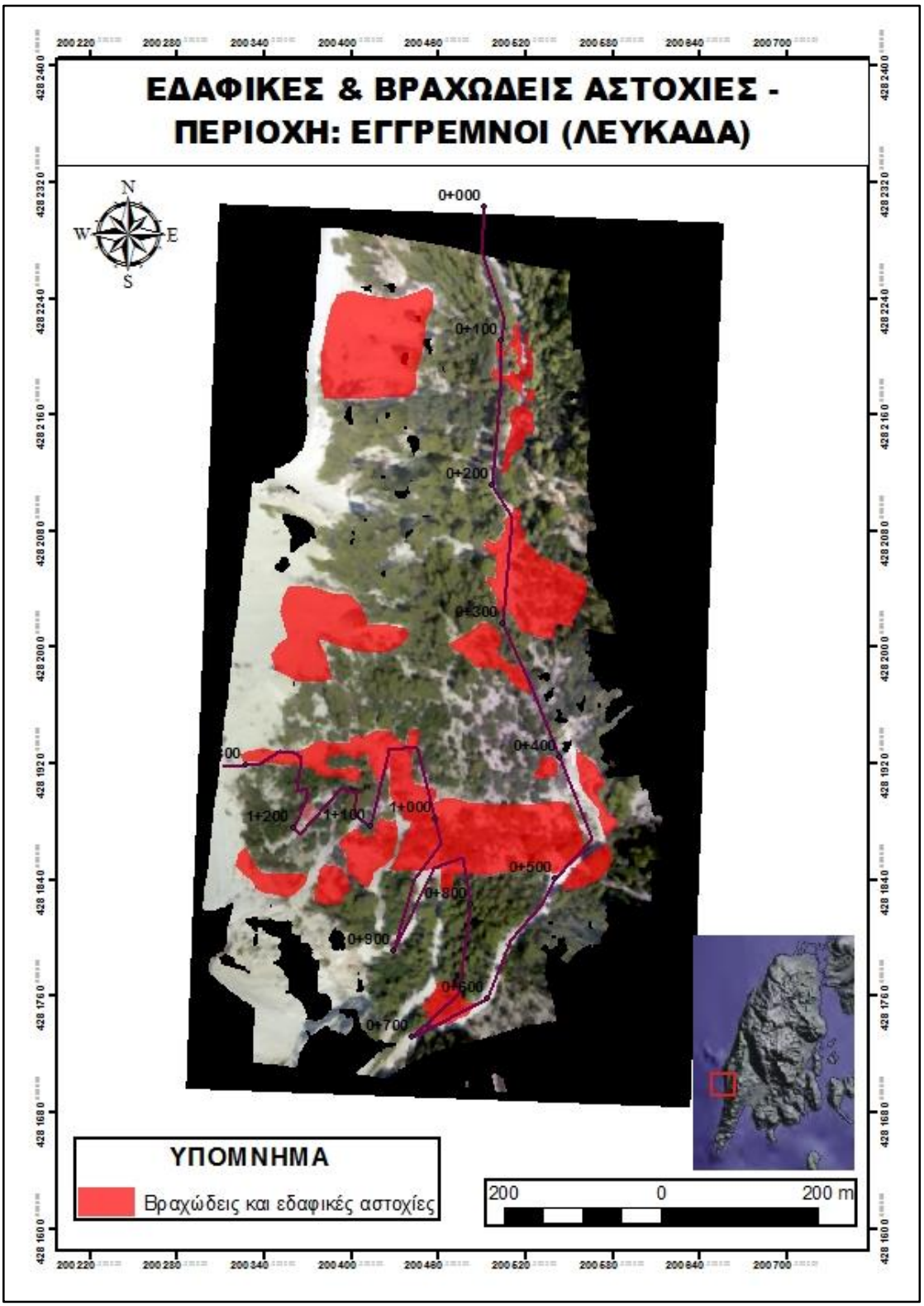
Περιοχή "ΕΓΓΡΕΜΝΟΙ"							
Τύπος αστοχίας	**Βαθιές ολισθήσεις**	**Επιφανειακές ολισθήσεις**	**Βραχώδεις ολισθήσεις**	**Ολισθήσεις & Καταπτώσεις βράχων**	**Ολισθήσεις κορημάτων**	**Ολισθήσεις κορημάτων & καταπτώσεις**	**Σύνθετες ολισθήσεις**
Έκταση (m^2)	1103	1604	1892	5085	874	1810	4823
	6926		1986		321	3147	768
			2532		862		197
			2892				182
			13581				676
							2358
Συνολική έκταση αστοχιών (m^2)	**8029**	**1604**	**22883**	**5085**	**2057**	**4957**	**9004**
Έκταση περιοχής μελέτης (m^2)	**131369**						
Έκταση αστοχιών (%)	**6.1**	**1.2**	**17.4**	**3.9**	**1.6**	**3.8**	**6.9**
Συνολική έκταση αστοχιών (%)	**41**						
Όγκος (m^3) = Συνολική έκταση*Βάθος	**16058**	**481**	**22883**	**5085**	**2057**	**4957**	**13506**
Συνολικός όγκος (m^3)	**65027**						

Πίνακας 6. Συγκεντρωτικός πίνακας έκτασης και όγκου των τύπων αστοχίας για την περιοχή «Εγγρεμνοί»

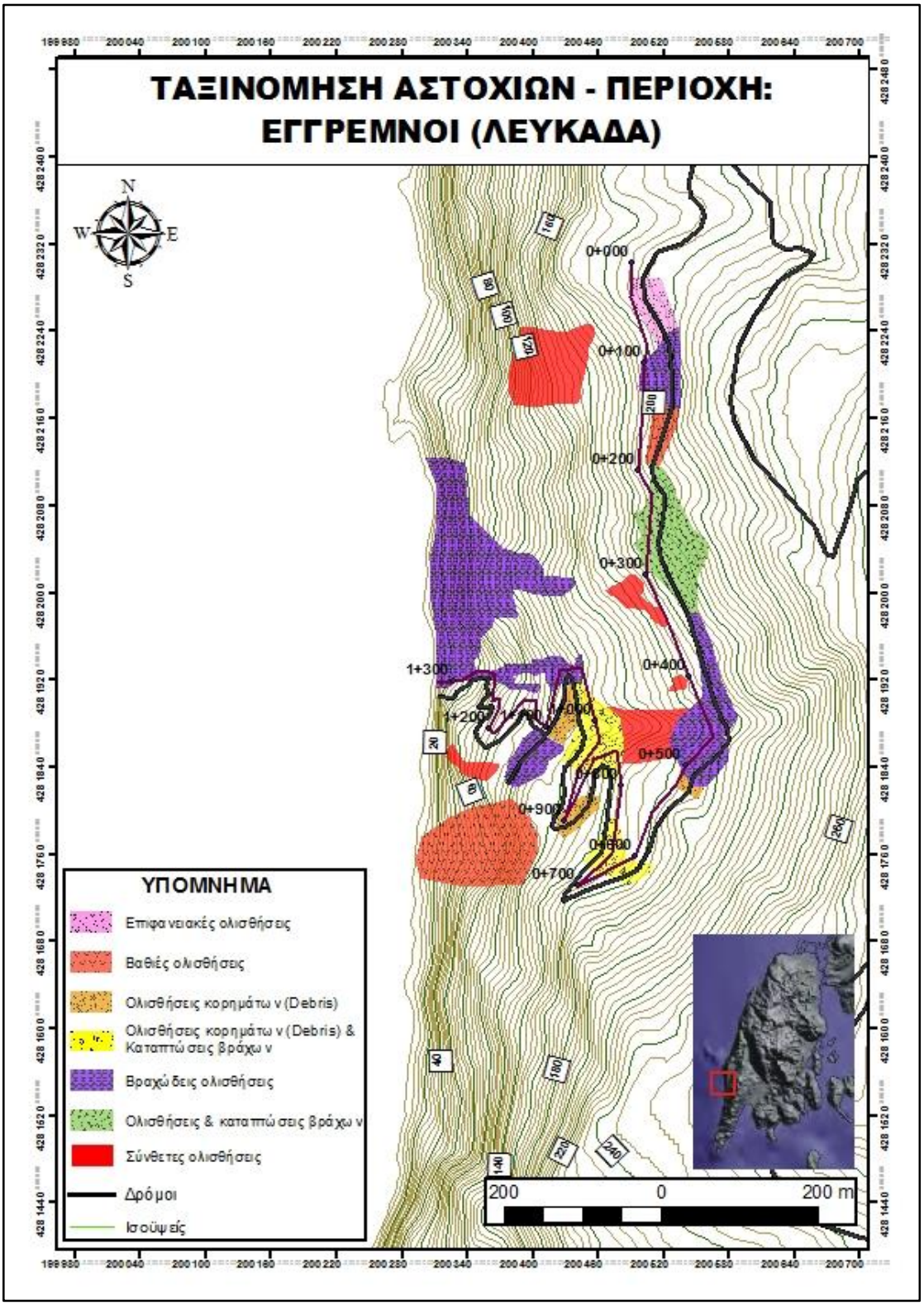
01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 28. Χάρτης ταξινόμησης αστοχιών περιοχής μελέτης «Εγγρεμνοί» με βάση τη χαρτογράφηση υπαίθρου



Σχήμα 29. Εύρεση βραχωδών και εδαφικών αστοχιών στο ορθομωσαϊκό της περιοχής «Εγγρεμνοί»



Σχήμα 30. Χάρτης ταξινόμησης αστοχιών περιοχής μελέτης «Εγγρεμνοί» με βάση τον συνδυασμό της χαρτογράφησης υπαίθρου και την παρατήρηση των αστοχιών του ορθομωσαϊκού

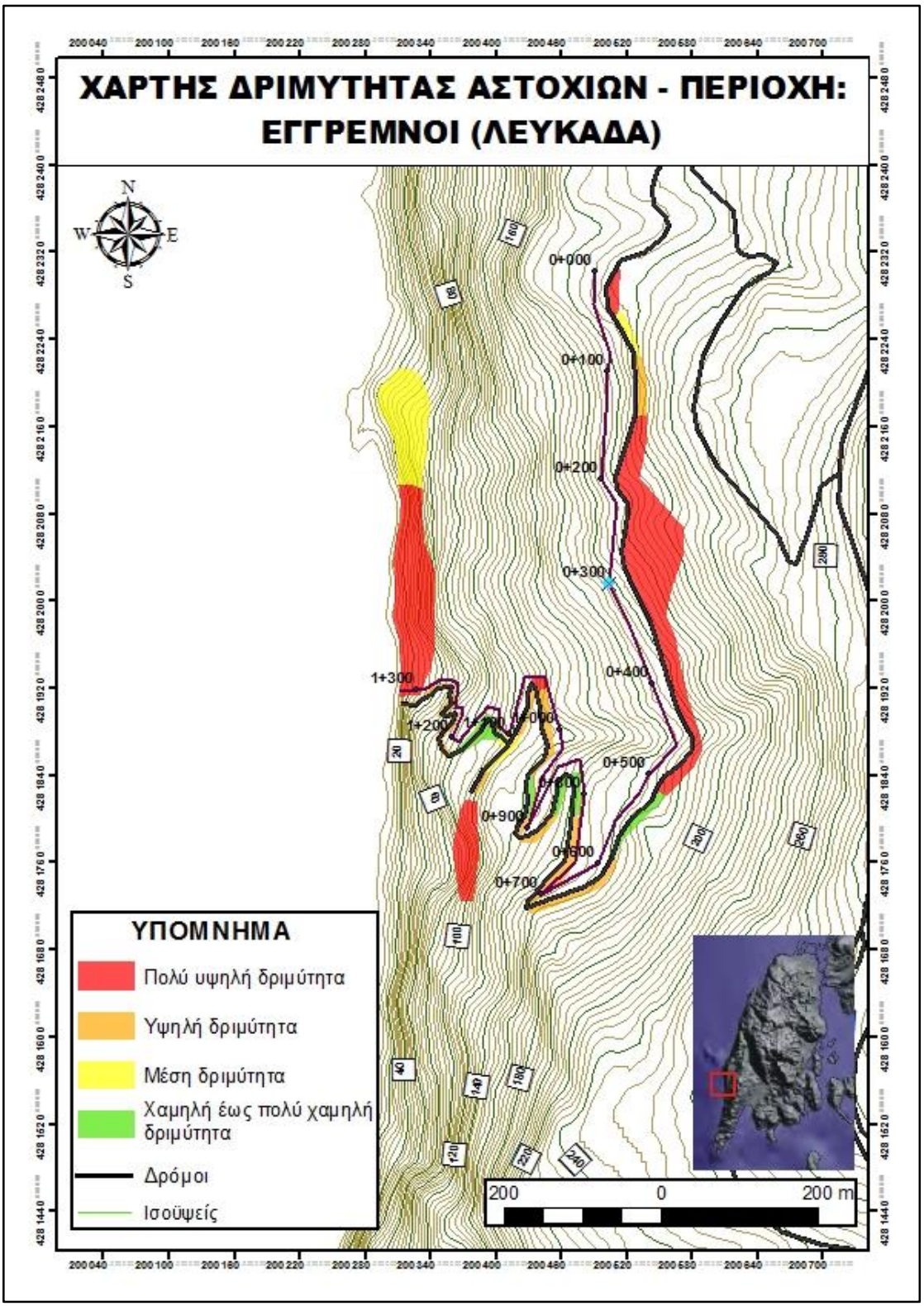
8.7.1. Δριμύτητα αστοχιών

Ο χάρτης δριμύτητας αστοχιών με βάση τις παρατηρήσεις υπαίθρου, φαίνεται στο **Σχήμα 31.** Η παρατήρηση του ορθομωσαϊκού στο οποίο προβλήθηκαν οι αστοχίες σε συνδυασμό με τον προαναφερόμενο χάρτη δριμύτητας, συνετέλεσε στην εξαγωγή του τελικού χάρτη δριμύτητας. Σύμφωνα με αυτόν τον χάρτη που φαίνεται στο **Σχήμα 32** μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η δριμύτητα των αστοχιών μειώνεται χαρακτηριστικά προς τα βορειοδυτικά, το οποίο οφείλεται πιθανότατα στην αύξηση της ποιότητας των γεωυλικών, δηλαδή στην αύξηση του GSI ή στην αύξηση της συγκόλλησης των κορηματικών υλικών. Οι χιλιομετρήσεις στις οποίες συναντάται ο εκάστοτε βαθμός δριμύτητας είναι οι εξής:

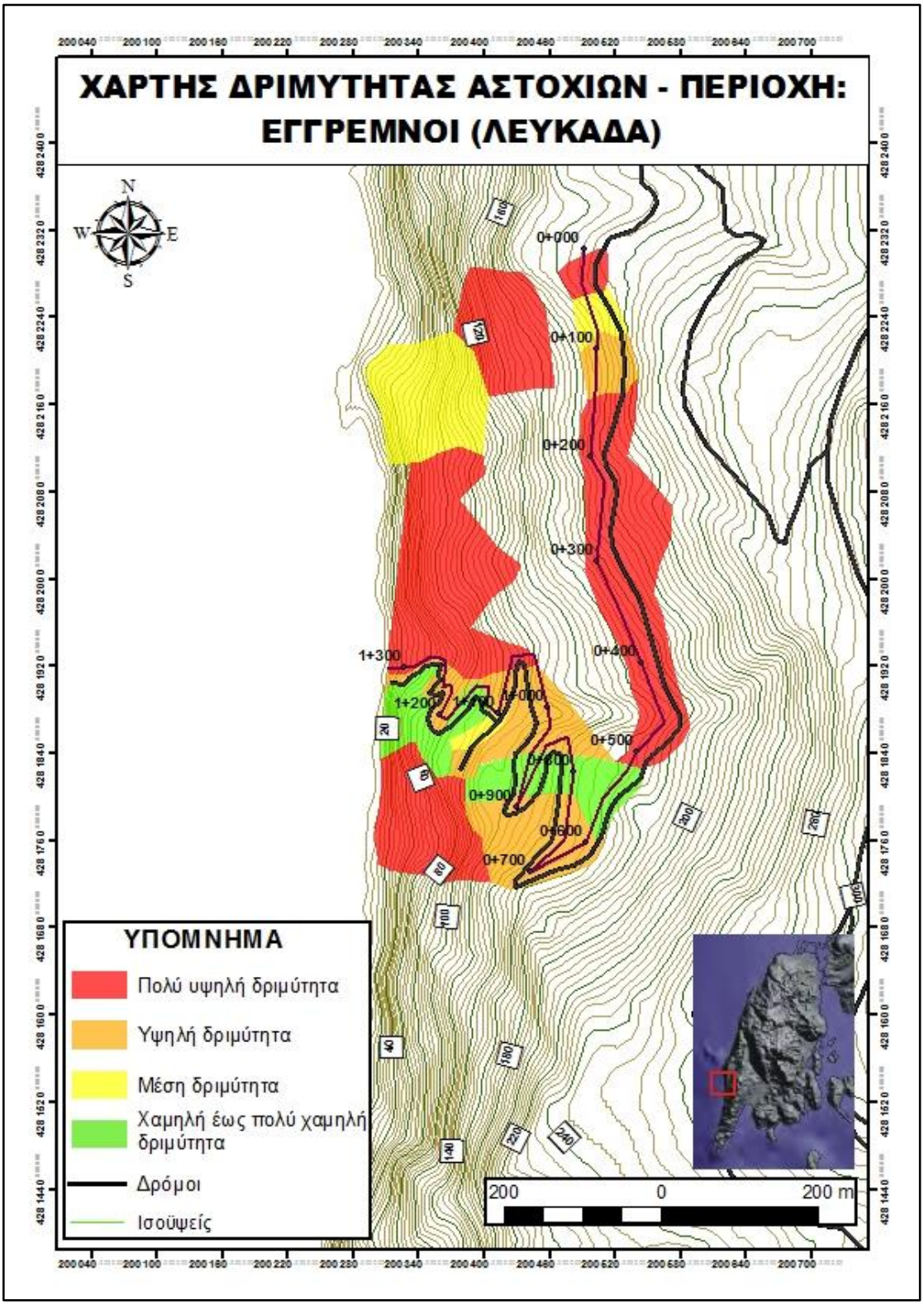
- Πολύ υψηλή δριμύτητα: 0+000-0+040, 0+140-0+510, 1+040-1+050
- Υψηλή δριμύτητα: 0+090-0+140, 0+590-0+790, 0+880-0+910, 0+950-1+040, 1+050-1+090, 1+130'-1+150', 1+190-1+310
- Μέση δριμύτητα: 0+040-0+090, 1+090-1+130', 1+190-1+310
- Χαμηλή έως πολύ χαμηλή δριμύτητα: 0+510-0+690, 0+790-0+880, 0+910-0+950, 1+110-1+190

Με σκοπό την εύρεση των παραγόντων οι οποίοι διαμορφώνουν τα στάδια της δριμύτητας των αστοχιών, πραγματοποιήθηκε σύνδεση της δριμύτητας με τις μορφολογικές κλίσεις. Παρατηρήθηκε ότι η πολύ υψηλή δριμύτητα εμφανίζεται σε περιοχές με κλίση πρανών κυρίως 35^{o}-40^{o}. Η υψηλή δριμύτητα εμφανίζεται σε περιοχές με κλίση πρανών κυρίως 60^{o}-70^{o} και δευτερευόντως σε κλίση 30^{o}-40^{o}. Η μέση δριμύτητα εμφανίζεται σε περιοχές με κλίση πρανών κυρίως 30^{o}-35^{o} ενώ η χαμηλή έως πολύ χαμηλή δριμύτητα παρουσιάζονται σε ένα εύρος κλίσεων πρανών από 30^{o} έως 70^{o}.

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 31. Χάρτης δριμύτητας αστοχιών περιοχής μελέτης «Εγγρεμνοί» με βάση τη χαρτογράφηση υπαίθρου



Σχήμα 32. Χάρτης δριμύτητας αστοχιών περιοχής μελέτης «Εγγρεμνοί» με βάση τον συνδυασμό της χαρτογράφησης υπαίθρου και την παρατήρηση των αστοχιών του ορθομωσαϊκού

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία αποτελεί την συνδυαστική επεξεργασία δεδομένων που λήφθηκαν τόσο μέσω της τεχνικογεωλογικής παρατήρησης υπαίθρου όσο και μέσω νέων τεχνολογιών τηλεπισκόπησης, όσον αφορά τις περιοχές «Εγγρεμνοί» και «Γιαλός» στην Λευκάδα. Ειδικότερα, τα αποτελέσματα αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν με σκοπό την κατασκευή θεματικών χαρτών οι οποίοι αφορούν γεωλογικά και τεχνικογεωλογικά στοιχεία. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εν λόγο επεξεργασία των δεδομένων.

- Η συγκεκριμένη εργασία χαρακτηρίζεται από την κατασκευή τεσσάρων ειδών χαρτών όπως α) γεωλογικό χάρτη, β) τεχνικογεωλογικό χάρτη, γ) χάρτη αποτύπωσης αστοχιών και δ) χάρτη δριμύτητας αστοχιών. Οι χάρτες αποτύπωσης και δριμύτητας αστοχιών ενισχύθηκαν μέσω των ορθομωσαϊκών και ψηφιακών μοντέλων εδάφους για κάθε περιοχή με αποτέλεσμα να κατασκευαστούν οι εξελιγμένες εκδοχές των προαναφερόμενων χαρτών. Πιο συγκεκριμένα:

    - Οι γεωλογικοί χάρτες δομήθηκαν με βάση την υπαίθρια παρατήρηση των γεωλογικών σχηματισμών και των τεκτονικών δομών σε συνδυασμό με του γεωλογικούς χάρτες των Μπορνόβα, 1964 και Cushing, 1985. Επίσης, οι χάρτες αυτοί ενισχύθηκαν και με διαγράμματα Schmidt όσον αφορά τεκτονικές μετρήσεις των τεκτονικών δομών και της στρώσης του υποβάθρου.

    - Οι τεχνικογεωλογικοί χάρτες προβάλλουν τις τεχνικογεωλογικές ενότητες για κάθε περιοχή μελέτης. Έτσι, όσον αφορά το ασβεστολιθικό υπόβαθρο οι τεχνικογεωλογικές ενότητες βασίστηκαν στην εκτίμηση του GSI (Marinos & Hoek, 2000), στον δείκτη IRS (Intact Rock Strength) και στον βαθμό αποσάθρωσης ενώ όσον αφορά τα κορηματικά υλικά, οι τεχνικογεωλογικές ενότητες βασίστηκαν στην εκτίμηση του βαθμού εκσκαψιμότητας και στον βαθμό συγκόλλησής τους.

    - Όσον αφορά την περιοχή «Γιαλός» διαχωρίστηκαν 4 τεχνικογεωλογικές ενότητες για το ασβεστολιθικό υπόβαθρο και 2 για τα κορηματικά υλικά. Αντίστοιχα, στην περιοχή «Εγγρεμνοί» διαχωρίστηκαν 5 τεχνικογεωλογικές ενότητες για το ασβεστολιθικό υπόβαθρο και 2 για τα κορηματικά υλικά. Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές που λήφθηκαν για τον βαθμό GSI είναι 60-70 και 15-20, αντίστοιχα.

    - Οι χάρτες ταξινόμησης αστοχιών προβάλλουν τις αστοχίες όπως αυτές παρατηρήθηκαν στην ύπαιθρο σε συνδυασμό με την ταξινόμηση κατά Varnes, 1978). Έτσι, οι αστοχίες διακρίθηκαν στις εξής:

        - Επιφανειακές ολισθήσεις

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- Βαθιές ολισθήσεις
- Ολισθήσεις κορημάτων
- Ολισθήσεις κορημάτων & καταπτώσεις βράχων
- Ολισθήσεις βράχων
- Ολισθήσεις & καταπτώσεις βράχων

Παρατηρήθηκε ότι και στις δύο περιοχές μελέτης, οι τύποι κατολισθήσεων που επικρατούν είναι ολισθήσεις βράχων και οι ολισθήσεις & καταπτώσεις βράχων. Αυτό συμβαίνει καθώς το υλικό που αστοχεί κατά κύριο λόγο είναι το ασβεστολιθικό λατυποπαγές (breccia) με GSI=35-45 ή GSI=15-20, το οποίο αποτελείται από μικρά ασβεστολιθικά τεμάχη. Αρκετές φορές στη μάζα του ασβεστολιθικού λατυποπαγούς παρατηρούνται και μεγαλύτερα πιο συμπαγή βραχώδη ασβεστολιθικά τμήματα με αποτέλεσμα να έχουμε τον τύπο αστοχίας «ολισθήσεις & καταπτώσεις βράχων».

- Οι χάρτες δριμύτητας αστοχιών βασίστηκαν α) στον βαθμό κατά τον οποίο οι αστοχίες καλύπτουν το οδόστρωμα και β) στην έκταση των αστοχιών. Έτσι, η δριμύτητα των αστοχιών διαχωρίστηκε στα εξής επίπεδα:

  - Πολύ υψηλή δριμύτητα
  - Υψηλή δριμύτητα
  - Μέση δριμύτητα
  - Χαμηλή έως πολύ χαμηλή δριμύτητα

- Οι θέσεις που μελετήθηκαν (Εγγρεμνοί, Γιαλός) αφορούν δύο περιοχές της Λευκάδας οι οποίες πλήττονται σε μεγάλο βαθμό από τα σεισμικά γεγονότα που λαμβάνουν χώρα. Στην προκειμένη περίπτωση, η σεισμική δόνηση του Νοεμβρίου του 2015 προκάλεσε τον αποκλεισμό της διέλευσης προς τις παραλίες και των δύο περιοχών λόγω εκτεταμένων κατολισθήσεων. Συνεπώς, η επικέντρωση της συγκεκριμένης εργασίας στις προαναφερόμενες περιοχές θα μπορούσε να εξάγει πληροφορίες που αφορούν την ευρύτερη τεχνική γεωλογία της περιοχής. Ως αποτέλεσμα, η γνώση που αφορά της περιοχές όπου η δριμύτητα των αστοχιών είναι αυξημένη, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από την τοπική κοινωνία με σκοπό την εφαρμογή μέτρων αντιμετώπισης των κατολισθητικών φαινομένων.

- Η γεωλογία της Λευκάδας αναπτύχθηκε κατά κύριο λόγο μέσω των διδακτορικών των Μπορνόβα, 1964 και Cushing, 1985. Συνεπώς πρέπει να τονιστεί ότι οι πληροφορίες που αφορούν τα γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία της Λευκάδας αντλήθηκαν από τις συγκεκριμένες εργασίες.
  Οι δύο περιοχές οι οποίες μελετήθηκαν, «Εγγρεμνοί και Γιαλός» χαρακτηρίζονται από το ίδιο ασβεστολιθικό υπόβαθρο Κρητιδικής ηλικίας της ζώνης Παξών. Ο ασβεστόλιθος αυτός εμφανίζεται έντονα μαργαϊκός, ιδίως

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

στην περιοχή «Γιαλός», καθώς επίσης στην μάζα του εμφανίζονται απολιθώματα. Το ίδιο ασβεστολιθικό υπόβαθρο εμφανίζεται και με την μορφή ασβεστολιθικού λατυποπαγούς (breccia) λόγω του τεκτονισμού που έχει υποστεί η περιοχή της Λευκάδας από την γενικότερη τεκτονική που δρα στο Ιόνιο πέλαγος από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα. Ακόμη εμφανίζεται ασβεστολιθικό λατυποπαγές λόγω της δράσης κανονικών ρηγμάτων. Όσον αφορά τα κοκκινωπά υλικά, αποτελούνται από ασβεστολιθικό υλικό συνδεδεμένο με ιλυοαμμώδες υλικό Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας, ανάλογα με τον βαθμό συγκόλλησής τους.

- Η παρούσα εργασία εισάγει δεδομένα μέσω της τεχνολογίας UAV (Unmanned Aerial Vehicle) κατά την οποία λάβαμε αεροφωτογραφίες υψηλής ανάλυσης για τις δύο περιοχές που μελετήθηκαν (Εγγρεμνοί, Γιαλός). Η σύζευξη του οργάνου αυτού σε σχέση με νέα λογισμικά, προσιτά στο ευρύ κοινό (Agisoft Photoscan Professional *(http://www.agisoft.com))*, έφερε ως αποτέλεσμα την δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους για τις δύο περιοχές καθώς επίσης κα την δημιουργία ορθομωσαϊκών, μέσω της φωτογραμμετρίας (αλληλοεπικάλυψη των αεροφωτογραφιών). Με αυτό τον τρόπο έγινε δυνατή η χαρτογράφηση των ορίων των αστοχιών και της δριμύτητας τους για την εκάστοτε περιοχή. Αυτή η λειτουργία έδωσε την δυνατότητα να χαρτογραφηθούν δομές οι οποίες δεν ήταν ορατές κατά το στάδιο την υπαίθριας μελέτης. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η εξέλιξη των χαρτών που κατασκευάστηκαν με τα δεδομένα της υπαίθρου, σε ανανεωμένους και πληρέστερους χάρτες.
  Η χρήση νέων οργάνων και λογισμικών σε συνδυασμό με παραδοσιακές μεθόδους χαρτογράφησης μπορεί να αποφέρει μεγάλο προβάδισμα στην προχώρηση της επιστημονικής έρευνας. Αυτό συμβαίνει διότι όσο πιο καινοτόμα και ρεαλιστικά είναι τα μοντέλα που κατασκευάζονται, τόσο πιο εύκολο θα είναι να χρησιμοποιούνται ως βάση δεδομένων τόσο σε επιστημονικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο κοινωνίας.

- Ο συνδυασμός των ορθομωσαϊκών ή ψηφιακών μοντέλων εδάφους με την χαρτογράφηση υπαίθρου μπορεί να οδηγήσει στην κατασκευή χαρτών που προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα. Συγκεκριμένα, σε ένα ορθομωσαϊκό είναι δυνατή η ακριβής χαρτογράφηση των ορίων των κατολισθήσεων. Αντίθετα στην χαρτογράφηση υπαίθρου είναι δυνατός ο προσδιορισμός του είδους της κατολίσθησης όχι όμως τα ακριβή όριά της. Έτσι, ο συνδυασμός αυτών των δύο μεθόδων οδηγεί στην κατασκευή χαρτών που δεν υστερούν σε καμία από τις δύο πληροφορίες. Αντίστοιχα, όσον αφορά την δριμύτητα των αστοχιών, είναι δυνατή η επέκταση και συμπλήρωση των ορίων των περιοχών με διαφορετική δριμύτητα αστοχιών. Είναι προφανές ότι όσον αφορά την τεχνικογεωλογική ταξινόμηση, μοντέλα όπως το DEM ή το ορθομωσαϊκό, μπορούν να δώσουν ελάχιστες πληροφορίες καθώς ο

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

διαχωρισμός των υλικών με τις υπάρχουσες μεθόδους απαιτεί την επί τόπου παρατήρηση.

- Η χρήση της μεθόδου UAV για εξαγωγή καλύτερων αποτελεσμάτων στην χαρτογράφηση των περιοχών, οδήγησε στην εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την χρήση του και λειτουργία του.

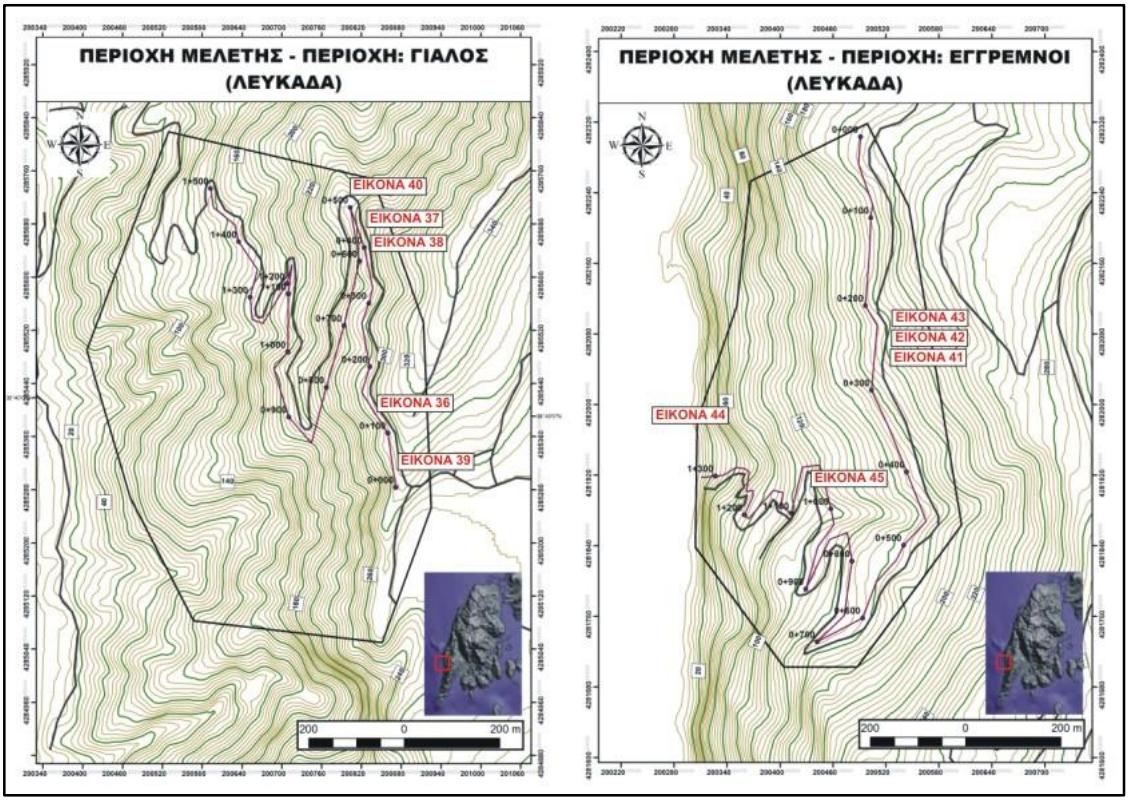
    - Παρατηρήθηκε ότι για να εξαχθεί ένα ικανοποιητικό ψηφιακό εδάφους ανάγλυφου θα πρέπει να ληφθούν φωτογραφίες οι οποίες καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή και επίσης θα πρέπει η αλληλοεπικάλυψη των φωτογραφιών να είναι τέτοια ώστε να μην δημιουργούνται κενά στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

    - Οι περιοχές που καλύπτονται από πυκνή συγκέντρωση δέντρων δεν ενδείκνυνται για την εφαρμογή της μεθόδου καθώς δεν είναι δυνατή η ορθή αποτύπωση της επιφάνειας του εδάφους, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους κατά τις οποίες είναι δυνατόν να εξαχθεί η πληροφορία της χλωρίδας (π.χ. LiDaR). Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η περιοχή «Εγγρεμνοί» καλύπτεται από μεγάλη συγκέντρωση δέντρων με αποτέλεσμα να είναι δυσδιάκριτες οι περισσότερες κατολισθητικές δομές, σε αντίθεση με την περιοχή «Γιαλός» στην οποία οι δομές αυτές ήταν πλήρως διακριτές.

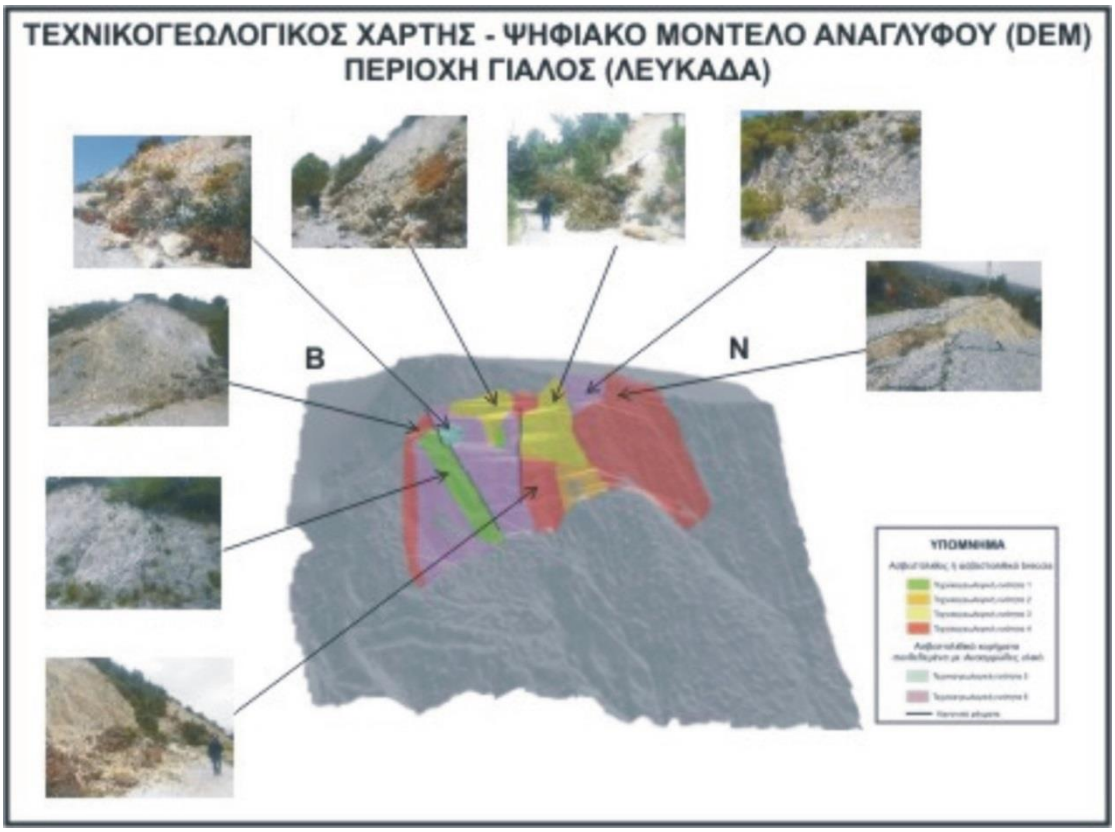
    - Κατά την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους ή του ορθομωσαϊκού υπάρχει αναγκαστική απώλεια πληροφορίας καθώς τα περιφερειακά τμήματα του μοντέλου λαμβάνουν εξαιρετικά μεγάλη παραμόρφωση (λόγω φτωχής αλληλοεπικάλυψης) με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η επεξεργασία τους. Συνεπώς, σε αυτά τα τμήματα πραγματοποιείται αποκοπή ώστε να παραμείνει η ωφέλιμη πληροφορία.

- Μέσω της χρήσης περιβάλλοντος GIS έγινε δυνατός ο υπολογισμός της συνολικής έκτασης που καλύπτουν οι αστοχίες στις περιοχές μελέτης. Έτσι, για την περιοχή «Γιαλός» η έκταση των αστοχιών καταλαμβάνει 20.841 m^2 ενώ για την περιοχή «Εγγρεμνοι» η έκταση των αστοχιών καταλαμβάνει 26.304 m^2.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Σχήμα 33. Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε τους τοπογραφικούς χάρτες των περιοχών μελέτης και τις θέσεις των φωτογραφιών του παραρτήματος

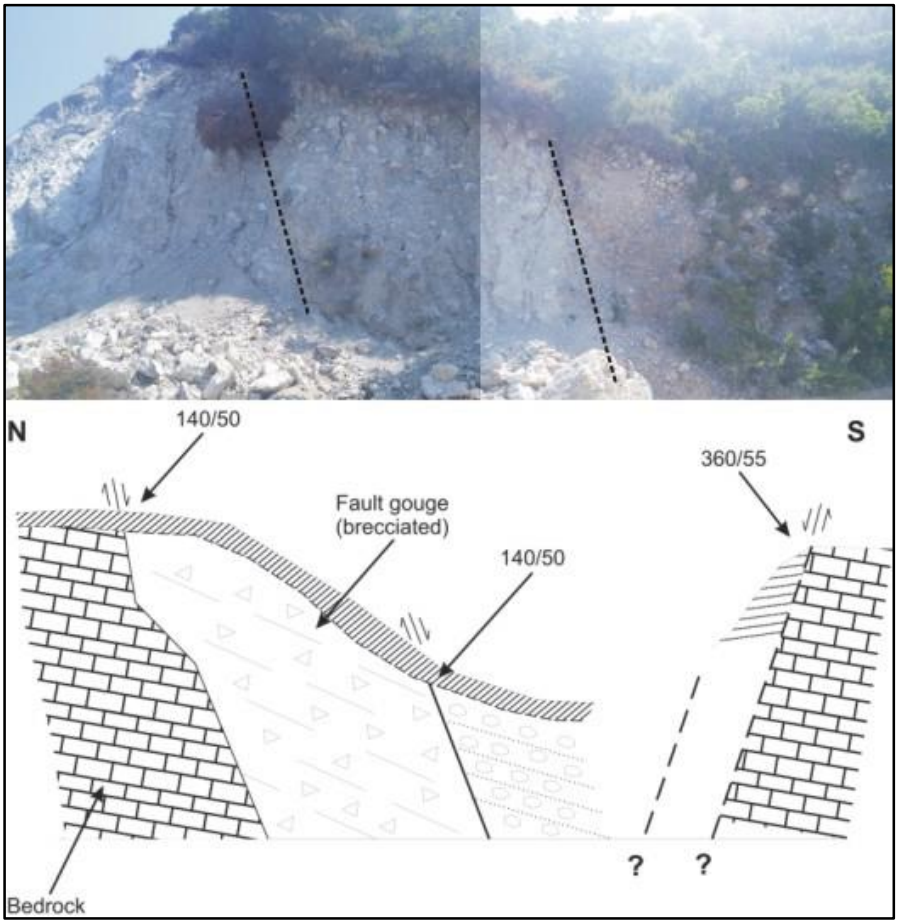


Σχήμα 34. Τεχνικογεωλογικός χάρτης - Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) για την περιοχή «Γιαλός»

Σχήμα 35. Τεχνικογεωλογικός χάρτης - Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) για την περιοχή «Εγγρεμνοί»

Εικόνα 36. Εναλλαγές ασβεστολιθικών πάγκων με ιλυοαμμώδες υλικό. Περιοχή «Γιαλός» (η φωτογραφία έχει άποψη προς Α και λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

Εικόνα 37. Αστοχία στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Περιοχή «Γιαλός» (η φωτογραφία έχει άποψη προς Ν και λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον *συγγραφέα*)



Εικόνα 38. Τεκτονική τάφρος στην περιοχή «Γιαλός» (η φωτογραφία λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον *συγγραφέα)*

Εικόνα 39. Βαθιά κατολίσθηση και καταστροφή του οδοστρώματος στην περιοχή «Γιαλός» (η φωτογραφία έχει άποψη προς ΝΔ και λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον Βαλκανιώτη Σ.)

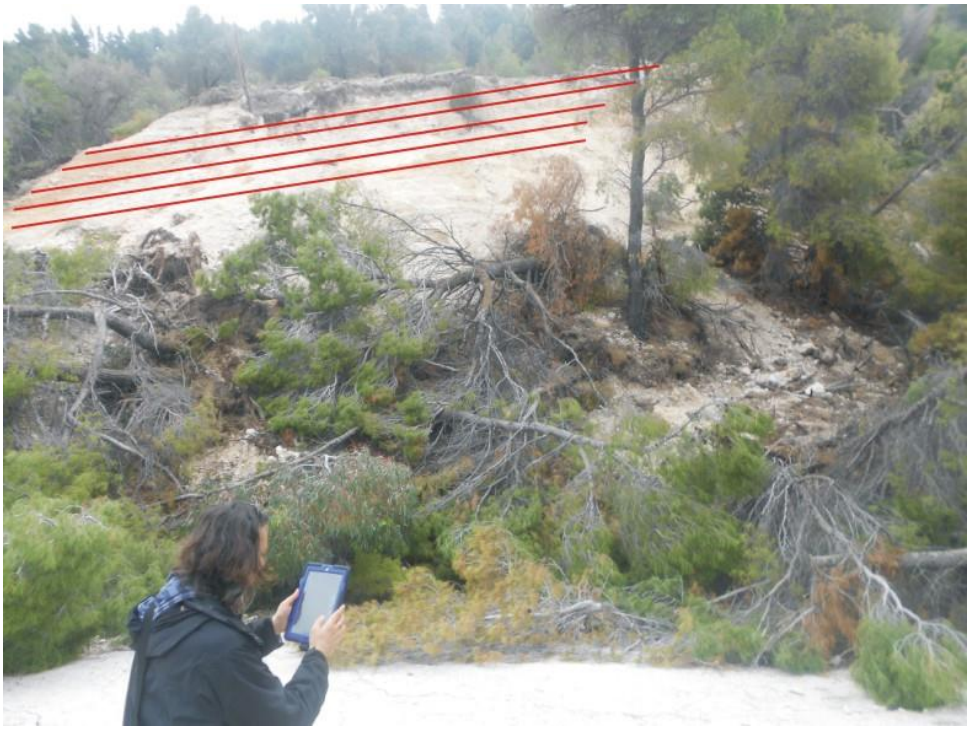
Εικόνα 40. Καταστροφή του οδοστρώματος στην περιοχή «Γιαλός» (η φωτογραφία έχει άποψη προς Δ και λήφθηκε στις 8/4/2016 από τον Γκανά Α.)

Εικόνα 41. Αστοχίες πρανούς και καταστροφή οδοστρώματος στην περιοχή «Εγγρεμνοί» (η φωτογραφία έχει άποψη προς Ν και λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον Βαλκανιώτη Σ.)

Εικόνα 42. Αστοχίες πρανούς (βραχώδεις ολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων) και καταστροφή οδοστρώματος στην περιοχή «Εγγρεμνοί» (η φωτογραφία έχει άποψη προς Ν και λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον Βαλκανιώτη Σ.)

Εικόνα 43. Αστοχίες πρανούς (βραχώδεις ολισθήσεις) και καταστροφή οδοστρώματος στην περιοχή «Εγγρεμνοί» (η φωτογραφία έχει άποψη προς ΝΑ και λήφθηκε στις 6/2/2016 από τον Παπανικολάου Μ.)

Εικόνα 44. Αστοχίες πρανούς (βραχώδεις ολισθήσεις) στην παραλία της περιοχής «Εγγρεμνοί» (η φωτογραφία έχει άποψη προς Α και λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον Βαλκανιώτη Σ.)



Εικόνα 45. Στην εικόνα παρατηρούμε το ριπίδιο κορημάτων που εμφανίζεται στην περιοχή των Εγγρεμνών. Με κόκκινες γραμμές φαίνεται η στρώση του σχηματισμού (η φωτογραφία έχει άποψη προς Β και λήφθηκε στις 11/7/2016 από τον *συγγραφέα*)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bemis S., Micklethwaite S., Turner D., James M., Akciz S., Thiele S., Bangash H., 2014. Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. Journal of Structural Geology v. 69, p. 163–178, doi: 10.1016/j.jsg.2014.10.007.

Cushing E., 1985. Evolution stucturale de la marge nord-ouest hellenique dans l'ile de Levkas et ses environs (Grece nord-occidentale). *PhD Thesis*

Eckhaut M., Reichenbach P., Guzzetti F., Rossi M., Poesen J., 2009. Combined landslide inventory and susceptibility assessment based on different mapping units: an example from the Flemish Ardennes, Belgium. *Natural Hazards and Earth System Science* Vol: 9, 507–521, http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/507/2009/nhess-9-507-2009.pdf.

Colomina I., Molina P., 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing:A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 92, pp. 79–97.

Gallousi Ch., Koukouvelas I., 2007. Quantifying geomorphic evolution of earthquake-triggered landslides and their relation to active normal faults. An example from the Gulf of Corinth, Greece. Tectonophysics, 440, 85- 104.

Ganas A., Elias P., Bozionelos G., Papathanassiou G., Avallone A., Papastergios A., Valkaniotis S., Parcharidis I., Briole P., 2016. Coseismic deformation, field observations and seismic fault of the 17 November 2015 M = 6.5, Lefkada Island, Greece earthquake. *Tectonophysics, 687, 210-222, ISSN 0040-1951, http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.08.012*
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040195116303377

Ganas A., Briole P., Papathanassiou G., Bozionelos G., Avallone A., Melgar D., Argyrakis P., Valkaniotis S., Mendonidis E., Moshou A., Elias P., 2015. A preliminary report on the Nov 17, 2015 M=6.4 South Lefkada earthquake, Ionian Sea, Greece. *EPPO*

Ganas A., Marinou A., Anastasiou D., Paradissis D., Papazissi K., Tzavaras P., Drakatos G., 2013. GPS-derived estimates of crustal deformation in the central and north Ionian Sea, Greece: 3-yr results from NOANET continuous network data. Journal of Geodynamics, 67, 62 71.http://dx.doi.org/10.1016/j.jog.2012.05.010

Ganas A., Oikonomou A., Tsimi Ch., 2013. NOAfaults: a digital database for active faults in Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. XLVII 2013*, p.518

Ganas, A., Papadopoulos, G. A., and Pavlides, S. B., 2001. The 7th September 1999 Athens 5.9Ms earthquake: remote sensing and digital elevation model inputs towards identifying the seismic fault. International Journal of Remote Sensing, 22 (1), 191-196.

01/31/2017 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ganas A., Parsons T., 2008. Three-dimensional model of Hellenic Arc deformation and origin of the Cretan uplift. *Journal of Geophysical Research.* VOL. 114, B06404, doi:10.1029/2008JB005599

Ganas, A, Pavlides, S, Karastathis, V., 2005. DEM-based morphometry of range-front escarpments in Attica, central Greece, and its relation to fault slip rates. Geomorphology, 65, 301–319

Ganas, A., White, K., & Wadge, G., 1997. The use of DEMs for fault segment mapping. EARSeL Advances in Remote Sensing Yearbook Vol. 5 - December 1997- pp/ 48-53.ISSN: 1017-4613 ISBN: 2-9908885-21-2.

Ganas, A., 1998. Mapping of active normal faults in the Lokris region (central Greece) using SPOT DEM data. Proceedings of the 8th International Congress of the Geological Society of Greece, pages 173-179. Patras 27-29 May 1998.

Ganas, A., 2000. Mapping Earthquake deformation and damage using satellite data and digital elevation models. In NATO Advanced Research Workshop Abstracts, Istanbul, 14-17 May 2000, page 88.

Guzzetti F., Mondini A., Cardinali M., Fiorucci F., Santangelo M., Chang K.-T., 2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews,* 112 (1), 42-66

Hack R., Huisman M., 2002. Estimating the intact rock strength of a rock mass by simple means. *Engineering Geology for Developing Countries*

Harp E., 2009. Landslide inventories: the essential part of seismic landslide hazard analyses. *An International Conference in Commemoration of 10th Anniversary of the Chi-Chi Earthquake*

Harp E., Hartzell S., Jibson R., Ramirez-Guzman L., Schmitt R., 2014. Relation of Landslides Triggered by the Kiholo Bay Earthquake to Modeled Ground Motion. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 104, No. 5, pp. 2529–2540, doi: 10.1785/0120140047

Harp E., Jibson R., 2002. Anomalous Concentrations of Seismically Triggered Rock Falls in Pacoima Canyon: Are They Caused by Highly Susceptible Slopes or Local Amplification of Seismic Shaking?. *Bulletin of the Seismological Society of America,* 92:3180-3189; doi:10.1785/0120010171

Harp E., Jibson R., Dart R., 2013. The Effect of Complex Fault Rupture on the Distribution of Landslides Triggered by the 12 January 2010, Haiti Earthquake. Landslide Science and Practice, p.625.

Havenith H.-B., Torgoev A., Braun A., Schlögel R., Micu M., 2016. A new classification of earthquake-induced landslide event sizes based on seismotectonic, topographic, climatic and geologic factors. Geoenvironmental Disasters, DOI: 10.1186/s40677-016-0041-1

Hinsbergen D., Meer D., Zachariasse W., Meulenkamp J., 2005. Deformation of western Greece during Neogene clockwise rotation and collision with Apulia. International Journal of Earth Sciences, 95 (3), (pp. 463-490) (28 p.).

Hungr O., Evans S., Bovis M., Hutchinson J., 2001. A review of the classification of landslides of the flow type. Environmental and Engineering Geoscience, 7 (3), 221-238

Hungr O., Leroueil S., Picarelli L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, Volume 11, Issue 2, pp 167–194.

Jibson R., Harp E., 2012. Extraordinary Distance Limits of Landslides Triggered by the 2011 Mineral, Virginia, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 106, p. 2368-2377

Jibson R., Harp E., Michael J., 2000. A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. *Engineering Geology*, v. 58, p. 271-289.

Jibson R., Harp E., 2011. Field Reconnaissance Report of Landslides Triggered by the January 12, 2010, Haiti Earthquake. *U.S. Geological Survey*

Jibson R., Keefer D., 1989. Statistical analysis of factors affecting landslide distribution in the New Madrid seismic zone, Tennessee and Kentucky. Engineering geology Volume. 27: 509-542.

Jibson R., Keefer D., 1993. Analysis of the seismic origin of landslides: Examples for the New Madrid seismic zone. *Geological Society of America Bulletin*, v. 105, no. 4, p. 521-536

Keefer D., 1984. Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, v. 95, p. 406-421

Keefer D., 2002. Investigating landslides caused by earthquakes – a historical review. *Surveys in Geophysics*, 23: 473. doi:10.1023/A:1021274710840

Kieffer D., Jibson R., Rathje E., Kelson K., 2006. Landslides Triggered by the 2004 Niigata Ken Chuetsu, Japan, Earthquake. *Earthquake Spectra*, DOI: 10.1193/1.2173021

Louvari E., Kiratzi A., Papazachos B., 1999. The Cephalonia Transform Fault and its extension to western Lefkada Island (Greece). *Tectonophysics*, 308 (1), 223-236

Miyagi T., Yamashina Sh., Esaka F., Abe S., 2011. Massive landslide triggered by 2008 Iwate–Miyagi inland earthquake in the Aratozawa Dam area, Tohoku, Japan. *Landslides*, 8:99–108

Mondini A., Viero A., Cavalli M., Marchi L., Herrera G., Guzzetti F., 2014. Comparison of event landslide inventories: The Pogliaschina catchment test case, Italy. *Natural Hazards and Earth System Science*, 14, 1749-1759

Papadimitriou P., Kaviris G., Makropoulos K., 2006. The MW=6.3 2003 Lefkada earthquake (Greece) and induced stress transfer changes. Tectonophysics, 423, 73-82

Papadopoulos G., Karastathis V., Ganas A., Pavlides S., Fokaefs A., Orfanogiannaki K., 2003. The Lefkada, Ionian Sea (Greece), Shock (Mw 6.2) of 14 August 2003: Evidence for the Characteristic Earthquake from Seismicity and Ground Failures, 55: 713. doi:10.1186/BF03352478

Papadopoulos G., Plessa A., 2000. Magnitude–distance relations for earthquake-induced landslides in Greece. Engineering Geology, v. 58, 377–386

Papathanassiou G., Pavlides S., 2007. Using the INQUA scale for the assessment of intensity: Case study of the 2003 Lefkada (Ionian Islands), Greece earthquake. *INQUA*, 173–174, 4–14

Papathanassiou G., Pavlides S., & Ganas A., 2005. The 2003 Lefkada earthquake: Field observations and preliminary microzonation map based on liquefaction potential index for the town of Lefkada. *Engineering Geology, 82, 12– 31*.

Papathanassiou G., Vakaniotis S., Ganas A., Grendas N., Kollia El., 2016. The November 17th, 2015 Lefkada, Greece earthquake; field mapping of generated failures and assessment of macroseismic intensity ESI-07. *Engineering Geology, Submitted*

Papathanassiou G., Valkaniotis S., Dimaras K., 2015. Validating the Classification of Earthquake-Induced Landslide Hazard Levels Based on Data Provided by Large Scale Mapping of Failures Induced by 2003 Lefkada, Greece Earthquake. *Engineering Geology for Society and Territory*

Rathje E., Bachhuber J., Cox B., French J., Green R., Olson S., Rix G., Wells D., Suncar O., 2010. Geotechnical engineering reconnaissance of the 2010 Haiti earthquake, Version 1, 97 pp.

Rondoyanni Th., Sakellariou M., Baskoutas J., Christodoulou N., 2012. Evaluation of active faulting and earthquake secondary effects in Lefkada Island, Ionian Sea, Greece: an overview. *Nat Hazards*, 61: 843. doi:10.1007/s11069-011-0080-6

Rondoyanni Th., Tsiambaos G., 2008. The Aghios Nikitas-Athani active fault and the geological hazard of Lefkada island. *Conference Paper*

Shugen L., Bin D., Zhiwu L., Luba J., Shun L., Guozhi W., Wei S., 2013. Geological Evolution of the Longmenshan Intracontinental Composite Orogen and the Eastern Margin of the Tibetan Plateau. Journal of Earth Science, Vol. 24, No. 6, p. 874–890, DOI: 10.1007/s12583-013-0391-5

Siebert S., Teizer J., 2014. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 1–14

Valkaniotis S., Ganas A., Papathanassiou G., Papanikolaou M., 2014. Field observations of geological effects triggered by the January–February 2014 Cephalonia (Ionian Sea, Greece) earthquakes. *Tectonophysics 630, 150-157*,

DOI:10.1016/j.tecto.2014.05.012
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040195114002601

Vasuki Y., Holden E.-J., Kovesi P., Micklethwaite S., 2014. Semi-automatic mapping of geological Structures using UAV-based photogrammetric data: An image analysis approach. *Computers & Geosciences, v.* 69, 22-32

Xu C., 2014. Preparation of earthquake-triggered landslide inventory maps using remote sensing and GIS technologies: Principles and case studies. *Geoscience Frontiers,* v. 6, 825-836

Xu C., Shyu J., Xu X., 2014. Landslides triggered by the 12 January 2010 Port-au-Prince, Haiti, Mw = 7.0 earthquake: visual interpretation, inventory compiling, and spatial distribution statistical analysis. *Natural Hazards and Earth System Science,* 14, 1789-1818

Xu C., Xu X., Yao X., Dai F., 2014. Three (nearly) complete inventories of landslides triggered by the May 12, 2008 Wenchuan Mw 7.9 earthquake of China and their spatial distribution statistical analysis. *Landslides,* 11, 441–461

Xu Ch., Xu X., Yu G., 2012. Earthquake triggered landslide hazard mapping and validation related with the 2010 Port-au-Prince, Haiti earthquake. *Disaster Advances*

Βογιατζής Δ., Δημητρίου Α., Παπαθανασίου Γ., Χρηστάρας Β., Καντηράνης Ν., Φιλιππίδης Α., Μωραΐτη Ε., 2004. Καταπτώσεις βράχων κατά το σεισμό της 14/8/03 και πιθανά μετρά προστασίας στο ανάντη πρανές του χωριού δρυμώνας του δήμου Σφακιωτων, Ν. Λευκάδας. *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI*

Καλογεράς Ι., Μελής Ν., 2015. Σεισμός της 17ης Νοεμβρίου 2015 στη Λευκάδα. *Προκαταρκτικό δελτίο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, Αστεροσκοπείο Αθηνών*

Παπαθανασίου Γ., 2006. Φαινόμενα ρευστοποίησης εδαφών στον ελληνικό χώρο. *Διδακτορική διατριβή*

Μαρίνος Β., 2007. Γεωτεχνική ταξινόμηση και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά ασθενών και σύνθετων γεωυλικών κατά τη διάνοιξη σηράγγων. *Διδακτορική διατριβή*

Μπορνόβας Ι., 1964. Η γεωλογία της νήσου Λευκάδος. *Διδακτορική διατριβή*

Παπαθανασίου Γ., Παυλίδης Σ., Χρηστάρας Β., Πιτιλάκης Κ., 2004. Φαινόμενα ρευστοποίησης που προκλήθηκαν από το σεισμό της Λευκάδας (14/08/03 μs=6.4). Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI

ΙΤΣΑΚ, 2015. Σεισμός Μ6.4 της 17/11/2015. *Προκαταρτική παρουσίαση*