

# Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Γεωλογίας

---

*Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας*

*Διπλωματική Εργασία:*

*Αποτύπωση θέσεων κατολισθητικών φαινομένων στο νησί της  
Λευκάδας πριν και μετά το σεισμό της 17<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2015*



ΓΛΑΡΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΕΜ:4873

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :

ΜΑΡΙΝΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΔΙΔΑΚΤΩΡ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017



# Πίνακας περιεχομένων

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....                                                                                         | 2  |
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....                                                                                         | 3  |
| <b>1. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ</b> .....                                                 | 4  |
| 1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ VARNES.....                                                                               | 5  |
| 1.1.1 Καταπτώσεις ( falls) .....                                                                              | 8  |
| 1.1.2 Ανατροπές .....                                                                                         | 10 |
| 1.1.3 Ολισθήσεις.....                                                                                         | 12 |
| 1.1.4 Πλευρικές εξαπλώσεις .....                                                                              | 16 |
| 1.1.5 Ροές.....                                                                                               | 18 |
| <b>2. ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ</b> .....                                                                      | 21 |
| <b>3. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ</b> .....                                                                          | 23 |
| <b>4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ</b> .....                              | 25 |
| <b>5. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ</b> .....                                         | 30 |
| <b>6. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΟΝΗΣΕΙΣ</b> .....                                         | 33 |
| <b>7. ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΟΥ 2015 ΣΤΗ ΛΕΥΚΑΔΑ</b> .....                                                                  | 36 |
| 7.1. Γεωλογία του Νησιού.....                                                                                 | 38 |
| <b>8. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GOOGLE EARTH ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΟΥ 2015</b> ..... | 40 |
| <b>9. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΚΑΛΟΥΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΟΝΗΣΗ ΤΟΥ 2015</b> .....   | 54 |
| <b>10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....                                                                                 | 60 |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....                                                                                     | 61 |



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια προπτυχιακού επιπέδου στη κατεύθυνση Εφαρμοσμένη Γεωλογία του τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου το έτος 2016-2017.

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους αυτούς που βοήθησαν στην ολοκλήρωση της και ιδιαίτερα:

Τον επιβλέπων διδάκτωρ του τμήματος Γεωλογίας Γεώργιο Παπαθανασίου για τη διαρκή βοήθεια και καθοδήγηση της εργασίας αλλά και για τη συνεχή υποστήριξη που έδειξε στο πρόσωπο μου και τον καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας Βασίλειο Μαρίνο για τις χρήσιμες συμβουλές του στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου και όλους τους κοντινούς μου φίλους για κάθε βοήθεια και συμπαράσταση που μου έδειξαν σε όλο αυτό το χρόνο εκπόνησης της εργασίας.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η αποτύπωση θέσεων κατολισθητικών φαινομένων στο νησί της Λευκάδας από το σεισμό της 17<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2015 και η εκτίμηση του όγκου που μετακινήθηκε συγκρίνοντας τις θέσεις πριν και μετά το σεισμό. Τα διαθέσιμα στοιχεία για τη συγκεκριμένη εργασία αποτελούνται από αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες του προγράμματος Google Earth.

Η εργασία αυτή αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο περιέχει πληροφορίες σχετικά με τη βιβλιογραφία του συγκεκριμένου θέματος και στο δεύτερο μέρος παραθέτονται ο τρόπος εργασίας και δεδομένα κατολισθήσεων στο νησί της Λευκάδας πριν και μετά το σεισμό της 17<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2015. Το πρώτο μέρος αποτελείται από 7 κεφάλαια. Στο πρώτο δίνεται η έννοια της κατολίσθησης και πως ορίστηκε από ερευνητές του αντικειμένου αλλά και την ταξινόμηση αυτών. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο τρόπο ταξινόμησης των κατολισθήσεων σύμφωνα με τον Varnes που σήμερα χρησιμοποιείται η δική του ταξινόμηση. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ενεργότητα των κατολισθήσεων και τον προσδιορισμό των στοιχείων που κρίνουν την ενεργότητα μιας κατολίσθησης. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται η ταχύτητα των κατολισθήσεων και τι σημασία έχει για τον ανθρωπογενές περιβάλλον. Στο πέμπτο αναφέρονται τρόποι αποτύπωσης και οριοθέτησης κατολισθήσεων και πως η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει βοηθήσει τα τελευταία χρόνια σε αυτόν το τομέα. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση μιας κατολίσθησης και στο 7<sup>ο</sup> γίνεται συγκεκριμένη αναφορά στις κατολισθήσεις που προκλήθηκαν από σεισμικές δονήσεις.

Στο 2<sup>ο</sup> μέρος γίνεται αναφορά στη σεισμική δόνηση της 17ης Νοεμβρίου και αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη περιοχή της Λευκάδας και ο τρόπος εκτίμησης της διαστάσεων αυτών χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Google Earth.

## 1. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Ο όρος 'κατολίσθηση' όπου στην αγγλική βιβλιογραφία αναφέρεται ως 'Landslide' δεν ανταποκρίνεται σε αυτό που πραγματικά πρεσβεύει διότι εκτός από ολισθήσεις (slide) περιλαμβάνει στην έννοια του τη πτώση, την ανατροπή και τη ροή. Επίσης μπορεί να συμβεί και σε λιμναίο ή και θαλάσσιο περιβάλλον εκτός από τη ξηρά(land). Χαρακτηριστικοί ορισμοί και περιγραφές της έννοιας της κατολίσθησης όπως υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία είναι οι ακόλουθοι:

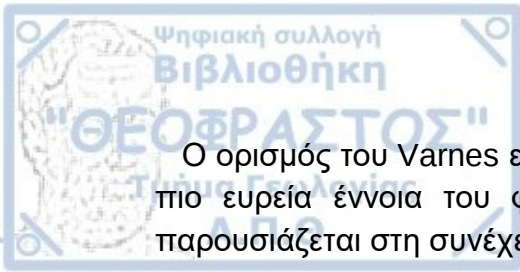
Ο Terzaghi (1950) όρισε την κατολίσθηση ως <<μία γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω>>

Οι Zaruba και Mencl (1969) όρισαν την κατολίσθηση ως <<μία γρήγορη κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση ενός τμήματος πρανούς, το οποίο διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μία καλά καθορισμένη επιφάνεια>>

Ο Coates(1977) έδωσε τις παρακάτω προϋποθέσεις για την ταξινόμηση μιας εδαφικής μάζας στις κατολίσθήσεις :

- Η βαρύτητα είναι η δύναμη που κατέχει πρωτεύοντα ρόλο,
- Η ταχύτητα της κίνησης πρέπει να είναι σχετικά μεγάλη (άρα δεν συμπεριλαμβάνεται ο ερπυσμός),
- Η κίνηση μπορεί να εκδηλώνεται με πτώση, ολίσθηση ή ροή,
- Η ζώνη ή το επίπεδο της κίνησης δεν ταυτίζεται με γεωλογικό ρήγμα,
- Η κίνηση πρέπει να γίνεται προς τα κάτω και προς τα έξω με τη δημιουργία ελεύθερης επιφάνειας (άρα δεν συμπεριλαμβάνονται οι καθιζήσεις),
- Το μετακινούμενο υλικό έχει καθορισμένα όρια και αποτελεί συνήθως περιορισμένο τμήμα μιας ορεινής ή λοφώδους έκτασης,
- Το μετακινούμενο υλικό περιλαμβάνει μέρος του μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων ή μέρος του μητρικού πετρώματος ή και τα δύο,
- Ολισθήσεις που οφείλονται σε φαινόμενα παγετού συνήθως δε συμπεριλαμβάνονται στις ολισθήσεις.>>

Ο Varnes (1978) έδωσε τον όρο μετακίνηση μαζών (mass movements), όπου περιλαμβάνει κάθε μετακίνηση τμήματος, σε αντίθεση με τον όρο κατολίσθηση, οι περιπτώσεις των: ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμός. Σε αυτήν την έννοια δε συμπεριλαμβάνονται οι χιονοστιβάδες και οι καθιζήσεις του εδάφους.



Ο ορισμός του Varnes είναι σήμερα παγκοσμίως αποδεκτός καθώς δίνει μια πιο ευρεία έννοια του φαινομένου με συγκεκριμένη ταξινόμηση η οποία παρουσιάζεται στη συνέχεια.

### **1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ VARNES**

Το 1978 ο Varnes πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης των κατολισθήσεων, που εξελίχτηκε στην πορεία του χρόνου, το οποίο περιλαμβάνει όλους τους τύπους των εδαφικών μετακινήσεων που θα μπορούσαν να παρατηρηθούν σε πρανή, εκτός των καθιζήσεων.

Τα βασικά κριτήρια της ταξινόμησης είναι:

- α) ο τύπος- μορφή της μετακίνησης και
- β) το είδος του μετακινούμενου υλικού.

Ανάλογα με τον τύπο της κίνησης διακρίνουμε :

- . τις καταπτώσεις (falls)
- . τις ανατροπές (topples)
- . τις ολισθήσεις (slides)
- . τις πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)
- . τις ροές (flows)
- . τις σύνθετες κινήσεις (complex)

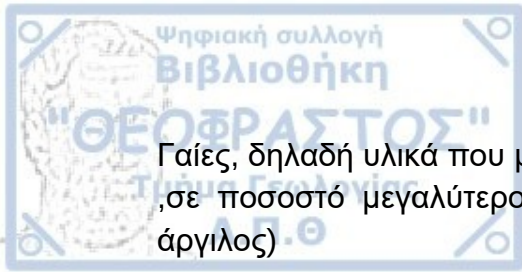
Η τελευταία ομάδα περιλαμβάνει μετακινήσεις που αποτελούν συνδυασμό περισσοτέρων τύπων μετακινήσεων.

Ανάλογα με τον τεχνογεωλογικό τύπο του υλικού που μετακινείται διακρίνονται σε αυτές που εκδηλώνονται σε :

- . βραχώδες υπόβαθρο (bedrock) και
- . επιφανειακούς σχηματισμούς (engineering soils) που διαχωρίζονται σε κορήματα (debris) και σε γαίες (earth).

Σαν βραχώδες υπόβαθρο ορίζεται ένα σκληρό και συνεκτικό πέτρωμα, ενώ σαν έδαφος ορίζονται τα χαλαρά ή ασθενώς συνδεδεμένα συσσωματώματα ορυκτών και πετρωμάτων.

Τα εδάφη διακρίνονται σε :



Γαίες, δηλαδή υλικά που με βάση τη μηχανική τους ταξινόμηση έχουν μέγεθος, σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80%, μικρότερο των 2mm. ( άμμος, ιλύς και άργιλος)

Κορήματα, υλικά που περιέχουν σε ποσοστό 20-80% χονδρόκοκκα υλικά μεγέθους μεγαλύτερου των 2mm (χαλίκια, κροκάλες, ογκόλιθους, λατύπες), και το υπόλοιπο ποσοστό λεπτόκοκκα υλικά.

Πίνακας 1. Ταξινόμηση κατά Varnes

| ΤΥΠΟΣ<br><br>ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ<br>(αστοχίας)  |                                      | ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ (πριν την κίνηση)                                               |                                                           |                                                        |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                         |                                      | Βραχώδης<br>σχηματισμός                                                      | Εδαφικός σχηματισμός                                      |                                                        |
|                                         |                                      |                                                                              | Επικρατούν τα αδρο-<br>μερή υλικά,<br>κορήματα (debris)   | Επικρατούν τα<br>λεπτόκοκκα<br>υλικά, γαίες<br>(earth) |
| Πτώσεις                                 |                                      | Πτώσεις<br>βράχων                                                            | Πτώσεις κορημάτων                                         | Πτώσεις γαιών                                          |
| Ανατροπές                               |                                      | Ανατροπές<br>βράχων                                                          | Ανατροπές<br>κορημάτων                                    | Ανατροπές<br>γαιών                                     |
| Ολισθήσεις                              | Περιστροφικές                        | μικρή καθίζηση<br>(αρχικά) και<br>Περιστροφή<br>βράχων                       | μικρή καθίζηση<br>(αρχικά) και<br>Περιστροφή<br>κορημάτων | μικρή καθίζηση<br>(αρχικά) και<br>Περιστροφή<br>γαιών  |
|                                         | Μεταθετικές<br>(ή<br>στρωματοειδείς) | Ολίσθηση<br>ενιαίας<br>βραχομάζας<br><br>(με παρουσία<br>ή μη<br>διακλάσεων) | Ολίσθηση<br>κορημάτων                                     | Ολίσθηση γαιών                                         |
| Πλευρικές εκτάσεις (lateral<br>spreads) |                                      | Πλευρική<br>έκταση<br>βράχων                                                 | Πλευρική<br>έκταση<br>κορημάτων                           | Πλευρική<br>έκταση<br>γαιών                            |

|          |                                                 |               |           |
|----------|-------------------------------------------------|---------------|-----------|
| Ροές     | Ροή βράχων                                      | Ροή κορημάτων | Ροή γαιών |
| Σύνθετες | Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων μετακίνησης |               |           |

Με βάση την περιεχόμενη υγρασία τα υλικά των καταλισθήσεων διακρίνονται σε :

- . ξηρά ( όταν δεν περιέχουν υγρασία)
- . διαβρεγμένα ( όταν περιέχουν κάποιο ποσοστό υγρασίας)
- . υγρά ( όταν περιέχουν μεγάλες ποσότητες νερού, ώστε να παρουσιάζουν συμπεριφορά ρευστού)

### 1.1.1 Καταπτώσεις ( falls)

Κατάπτωση συμβαίνει όταν τμήμα βραχομάζας ή συμπαγούς εδάφους 'ξεκολλάει' από το υπόλοιπο πέτρωμα και κινείται σε μία επιφάνεια η οποία έχει σχεδόν μηδενική διατμητική αντοχή. Συνήθως αυτή η κίνηση είναι ελεύθερη πτώση ή ελεύθερη πτώση σε συνδυασμό κάποιου είδους κύλιση στην επιφάνεια του πρσανούς. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα συνηθισμένο σε απότομα πρνή που διαβρώνονται από θαλάσσια κύματα, ρεύματα ποταμών ή από ανθρώπινη παρέμβαση.

Κλίση πρσανούς μεγαλύτερη από 76 μοίρες συμβαίνει ελεύθερη πτώση τεμαχών

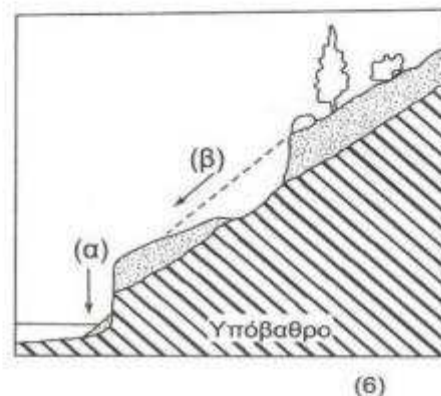
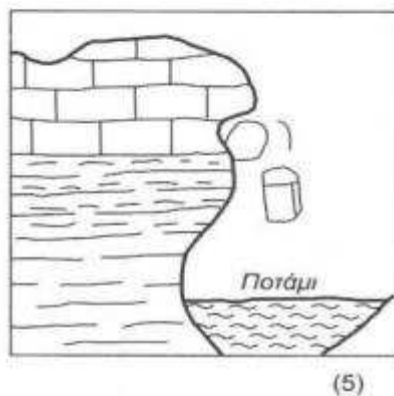
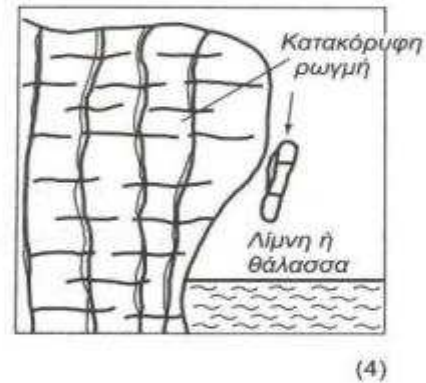
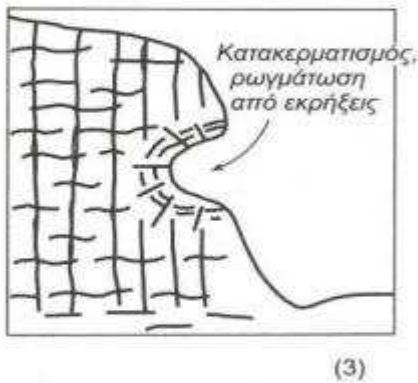
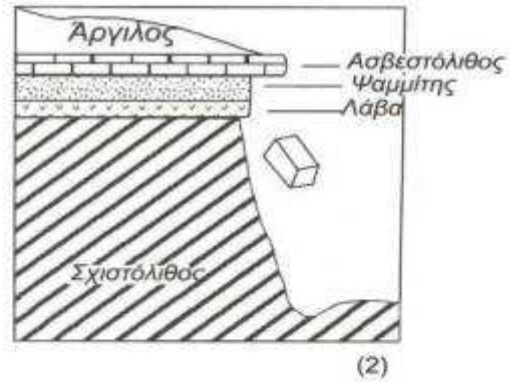
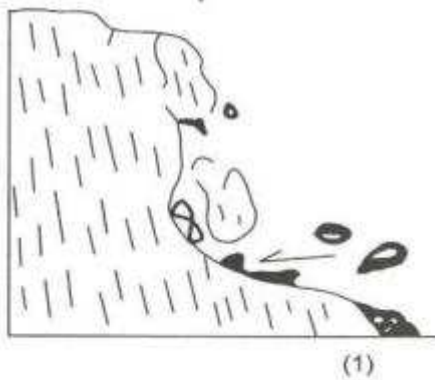
Κλίση πρσανούς μεταξύ 45 και 76 μοιρών συμβαίνει αναπήδηση των τεμαχών.

Κλίση πρσανούς μικρότερη των 45 μοιρών πραγματοποιείται κύλιση τεμαχών.

Σε ένα πρνή που παρουσιάζει μεταβολές στην κλίση του, παρουσιάζεται συνδυασμός των παραπάνω κινήσεων.

Οι καταπτώσεις επιπλέον διακρίνονται σε:

- . καταπτώσεις βράχων
- . καταπτώσεις κορημάτων και
- . καταπτώσεις γαιών.



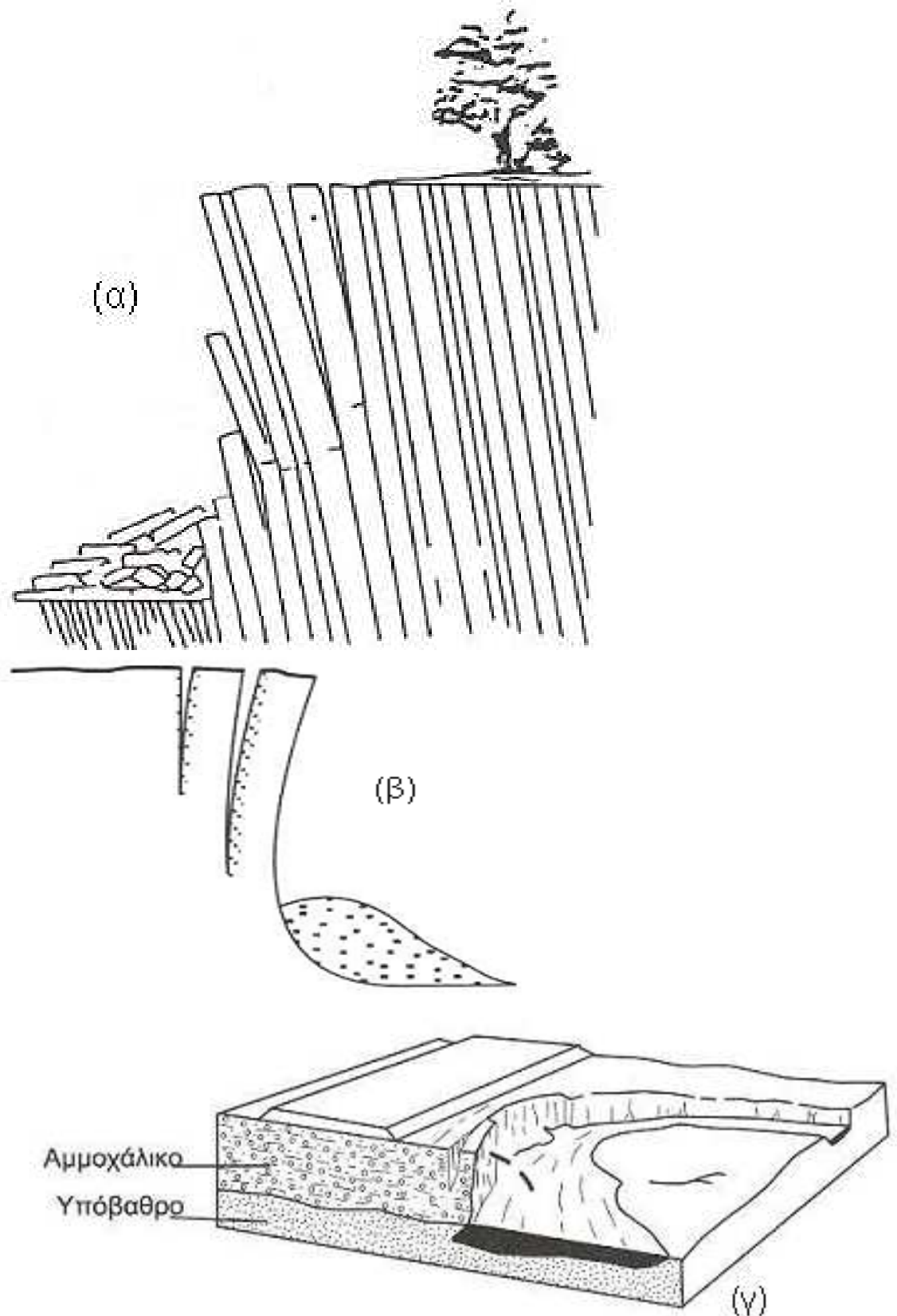
Σχήμα 1. Καταπτώσεις βράχων, κορημάτων και γαιών: (1) τυπική κατάπτωση βράχων (VARNES 1978), (2) κατάπτωση λόγω διαφορετικής αποσάθρωσης (LETOURNEUR and MICHEL 1971), (3) λόγω φυσικού κατακερματισμού ή από εκρήξεις, (4) λόγω ρωγμών και διαφορετικής διάβρωσης από το κύμα, (5) λόγω ρωγμών και διαφορετικής διάβρωσης από το ποτάμι (VARNES 1978), (6) (α) άμεση κατάπτωση γαιών- εδάφους ή (β) μετά από ολίσθηση (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Ανατροπή συμβαίνει όταν κομμάτι της βραχομάζας αποκολλείται και αυτό περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα ο οποίος βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μάζας που έχει αποκολληθεί. Η κύρια αιτία που προκαλεί τις ανατροπές είναι η βαρύτητα. Από εκεί και πέρα συμβάλουν σε αυτές και οι πλευρικές δυνάμεις που ασκούνται από την ίδια τη βραχομάζα αλλά και από τη πίεση του νερού όταν αυτό εισέρχεται σε υπάρχουσες ρωγμές. Η μετέπειτα κίνηση εξαρτάται από τη κλίση του πρσανούς, τη μετακινούμενη μάζα και την επιφάνεια αποκόλλησης και αναλόγως με αυτά τα κριτήρια θα ακολουθήσει ή πτώση ή ολίσθηση. Σε αυτή τη περίπτωση οι ταχύτητες έχουν μεγάλο εύρος από πολύ αργές που συνήθως είναι στην αρχή της μετακίνησης μέχρι πολύ γρήγορες προς το τέλος της κίνησης της μάζας. Οι ανατροπές ταξινομούνται σε :

- Ανατροπή λόγω κάμψης (flexural toppling)
- Ανατροπή τεμαχίων (block toppling)
- Ανατροπή τεμαχίων λόγω κάμψης (block- flexural toppling)

Δευτερογενείς ανατροπές :

- ο Ανατροπή του πόδα λόγω ολίσθησης των ανωτέρων στρωμάτων (slide toe toppling)
- ο Ανατροπή της βάσης λόγω ολίσθησης (side base toppling)
- ο Ανατροπή των ανωτέρων στρωμάτων λόγω ολίσθησης ( slide head toppling)
- ο Ανατροπή λόγω της παρουσίας εφελκυστικών ρωγμών (tension crack toppling)
- ο Κυκλοειδής ολίσθηση και ανατροπή (toppling and slumping)



Σχήμα 2. (α) Ανατροπή λόγω κάμψης, (β) Ανατροπή λόγω παρουσίας εφελκυστικών ρωγμών, (γ) Ανατροπή εδαφικών υλικών (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Στη περίπτωση της ολίσθησης η κίνηση της μάζας που αποκολλάται γίνεται πάνω σε μία ή περισσότερες επιφάνειες συνήθως έντονης διάτμησης. Αυτή η μετακίνηση εκδηλώνεται ή προοδευτικά ή συμβαίνει ταυτόχρονα σε όλη την επιφάνεια θραύσης. Διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα το μηχανισμό μετακίνησης αλλά και τη μορφή επιφάνειας (Varnes, 1978) (Χρήστου, 2013) :

- (a) Τις περιστροφικές
- (b) Τις μεταθετικές

Στη πρώτη περίπτωση οι ολισθήσεις συμβαίνουν κατά μήκος κοίλων προς τα πάνω επιφανειών που συνήθως δεν προϋπήρχαν και η διατμητική τάση είναι χαμηλή. Αυτές οι μορφές εκδηλώνονται όταν η διατμητική τάση που ασκείται στο σώμα είναι μεγαλύτερη από την διατμητική αντοχή του και οι ταχύτητες μπορεί να είναι από εξαιρετικά αργές έως εξαιρετικά γρήγορες. Αυτή η μορφή μπορεί αποδίδεται και με τον όρο "slump".

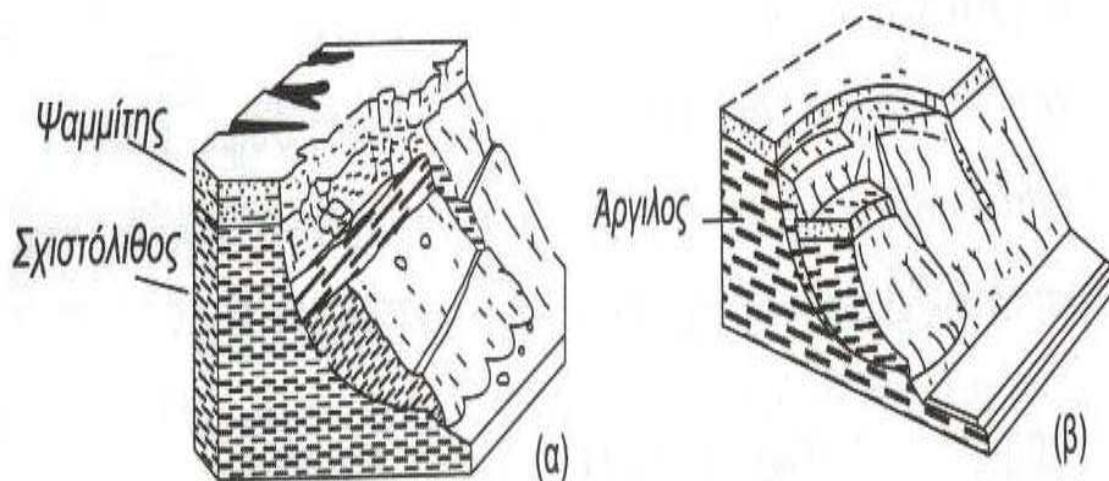
Οι πρώτες ενδείξεις πριν το περιστατικό μιας περιστροφικής ολίσθησης είναι η εμφάνιση τοξοειδών ρωγμών στο έδαφος , στις οποίες αναπτύσσεται η κύρια κατολίσθηση. (Μπλιώνα, 2008)

Στις μεταθετικές ολισθήσεις η κίνηση της μάζας γίνεται πάνω σε μία επίπεδη επιφάνεια (ή κυματοειδή σε κάποιες περιπτώσεις) οι οποίες έχουν πολύ μικρό ή μηδενικό περιστροφικό δείκτη. <<Σε πολλές περιπτώσεις στις μεταθετικές ολισθήσεις η μάζα που ολισθαίνει διαχωρίζεται σε πολλές ημιανεξάρτητες μονάδες και καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε νερό η μάζα μπορεί να μεταβληθεί σε εδαφική ροή>> (Μπλιώνα, 2008). Τέλος, οι μεταθετικές βραχώδεις ολισθήσεις (translational rock slides), ανάλογα με την μορφή της αστοχίας που πραγματοποιείται σ' αυτές, χωρίζονται σε ολισθήσεις με αστοχία μορφής σφήνας και σε ολισθήσεις με αστοχία επίπεδης μορφής (Varnes, 1978, Χρήστου, 2013) Οι μεταθετικές ολισθήσεις είναι γενικά πιο ρηχές από τις περιστροφικές και συνήθως το μήκος τους υπερβαίνει το δεκαπλάσιο του βάθους τους. (Μπλιώνα, 2008)

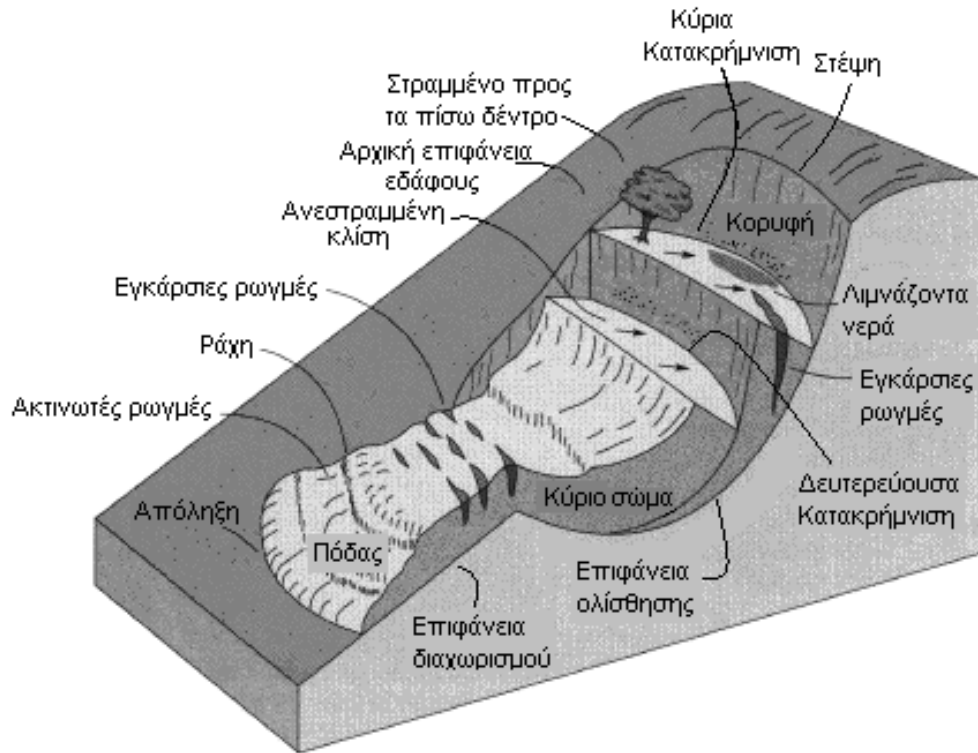
Στους εδαφικούς σχηματισμούς η κίνηση ελέγχεται από τα υποκείμενα πυκνότερα ή συνεκτικότερα εδαφικά στρώματα ενώ στους βραχώδεις σχηματισμούς ο έλεγχος γίνεται από τη παρουσία των ασυνεχειών στη βραχώμαζα (διακλάσεις , σχιστότητα , επίπεδα στρώσεις , κάθε είδους ρωγμές). Μεταθετικές ολισθήσεις κατά μήκος συγκεκριμένης ασυνέχειας σε ασυνεχείς βραχώμαζες ονομάζονται ολισθήσεις τεμάχους κατά Panet(1969) , ή επίπεδες ολισθήσεις κατά Hoek and Bray (1977). Ενώ στη περίπτωση που υπάρχουν δύο τεμνόμενες επιφάνειες και η ολίσθηση συμβαίνει στη τομή τους αυτή ονομάζεται σφηνοειδής ολίσθηση. Επίσης όταν η μετακινούμενη μάζα

αποτελείται από πολλές ημιανεξάρτητες μονάδες που ολισθαίνουν τότε ονομάζεται κερματισμένη ολίσθηση. (Μπλιώνα, 2008)

Σχήμα 3. Περιστροφικές ολισθήσεις κατά VARNES 1978

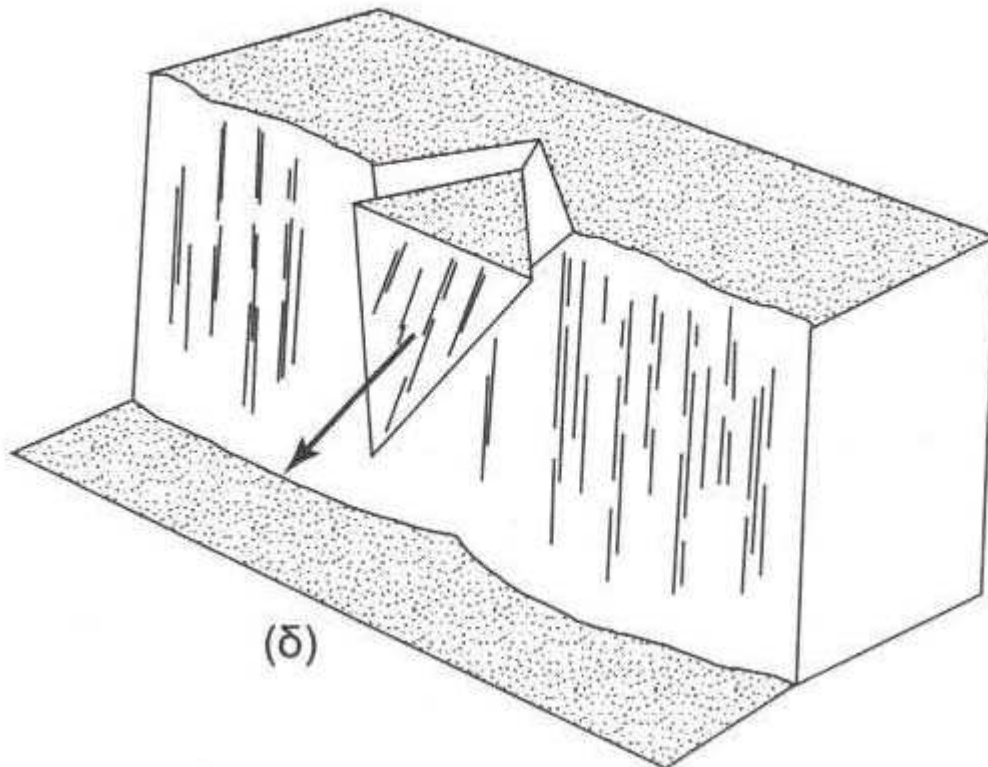
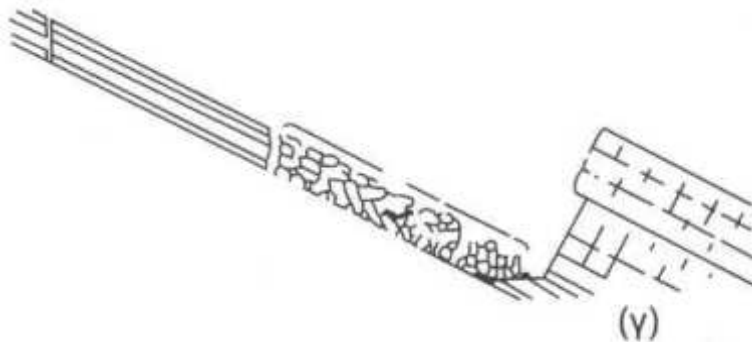
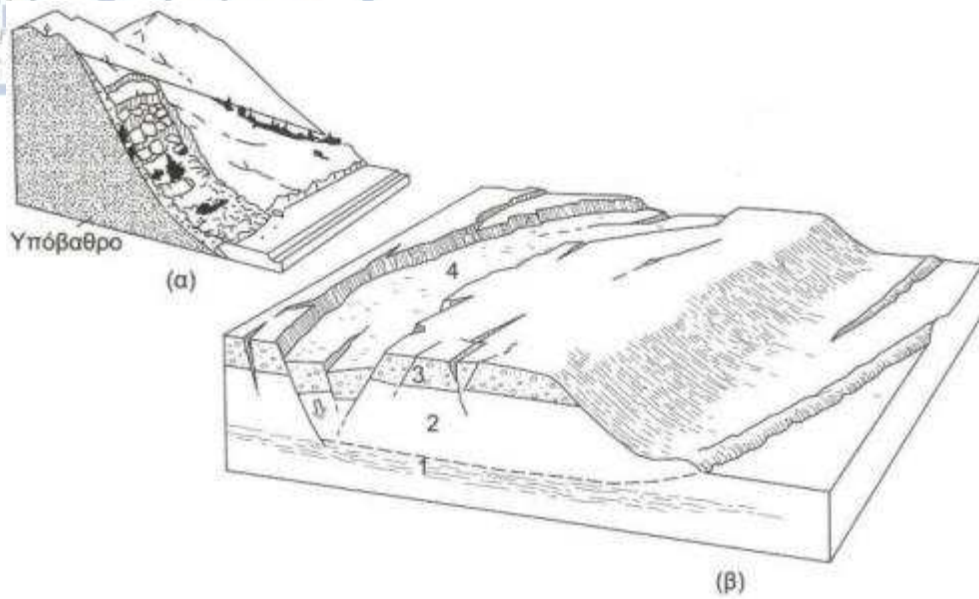


: (α) βραχώδους υποβάθρου, (β) γαιών (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)



Σχήμα 4. Ιδεατό σχέδιο και ονοματολογία μιας περιστροφικής ολίσθησης (VARNES, 1978) (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007) : Α.) Στέψη (crown): το ανώτερο σταθερό τμήμα του φυσικού εδάφους, το πλησιέστερο προς την κύρια κατακρήμνιση. Β.) Κύρια κατακρήμνιση (main scarp): απότομο βύθισμα της επιφάνειας του φυσικού εδάφους στο ανώτερο τμήμα της ολίσθησης (στέψη). Γ.) Κορυφή (tor): το υψηλότερο σημείο επαφής της μετακινούμενης μάζας και της κύριας κατακρήμνισης. Δ.) Κεφαλή (head): τα ανώτερα τμήματα της κατολίσθησης κατά μήκος της επαφής της μετακινούμενης μάζας και της κύριας κατακρήμνισης. Ε.) Δευτερεύουσα κατακρήμνιση (minor scarp): δευτερεύουσα επιφάνεια θραύσης της μετακινούμενης μάζας που προκλήθηκε από διαφορικές μετακινήσεις της μάζας αυτής. Στ.) Κύριο σώμα (main body): το τμήμα της μετακινούμενης μάζας που υπέρκειται της επιφάνειας ολίσθησης, μεταξύ της κύριας κατακρήμνισης και της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης. Ζ.) Άκρο (tip): το σημείο της απόληξης που απέχει τη μεγαλύτερη απόσταση από την κορυφή της κατολίσθησης. Η.) Απόληξη (toe): το κατώτερο, συνήθως κυρτό όριο, της μετακινούμενης μάζας. Θ.) Πόδας (foot): το τμήμα της κατολίσθησης που έχει μετακινηθεί πέραν της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης και το οποίο υπέρκειται της αρχικής επιφάνειας του εδάφους. Ι.) Επιφάνεια ολίσθησης (surface of rupture): η επιφάνεια που αποτελεί επέκταση της κύριας κατακρήμνισης κάτω από τη μετακινούμενη μάζα, πάνω στην οποία έγινε η κατολίσθηση. Κ.) Επιφάνεια διαχωρισμού (surface of separation): το τμήμα της αρχικής επιφάνειας του φυσικού εδάφους που καλύπτεται από τον πόδα της κατολίσθησης. Λ.) Αρχική επιφάνεια εδάφους (original ground surface): η

επιφάνεια του εδάφους πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης.



Σχήμα 5. Μεταθετικές ολισθήσεις (HANSEN 1965 και VARNES 1978) (α) αποσαθρωμάτων, (β) εδαφικού τεμάχους, (γ) επίπεδη, (δ) σφηνοειδής. (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

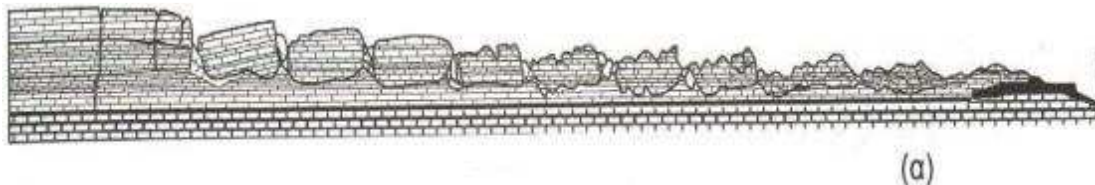
#### 1.1.4 Πλευρικές εξαπλώσεις

Σε αυτή τη κατηγορία κατολίσθησης η κίνηση που επικρατεί είναι η πλευρική διάσταση του υλικού όπου οι διατμητικές ή εφελκυστικές ρωγμές διευκολύνουν τη κίνηση του. Οι Terzaghi and Peck (1948) πρότειναν τον όρο "εξάπλωση" για να περιγραφθούν οι απότομες μετακινήσεις υδροφόρων στρωμάτων άμμου ή ιλύος στα οποία υπήρχαν υπερκείμενα ομογενή στρώματα αργίλου ή φορτίστηκαν από επιχώματα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μετακίνηση των στρωμάτων αργίλου σε πολύ ομαλό ανάγλυφο.

Διακρίνονται οι παρακάτω βασικοί τύποι πλευρικών εξαπλώσεων:

##### (α) Εξάπλωση τεμαχών (block spreads)

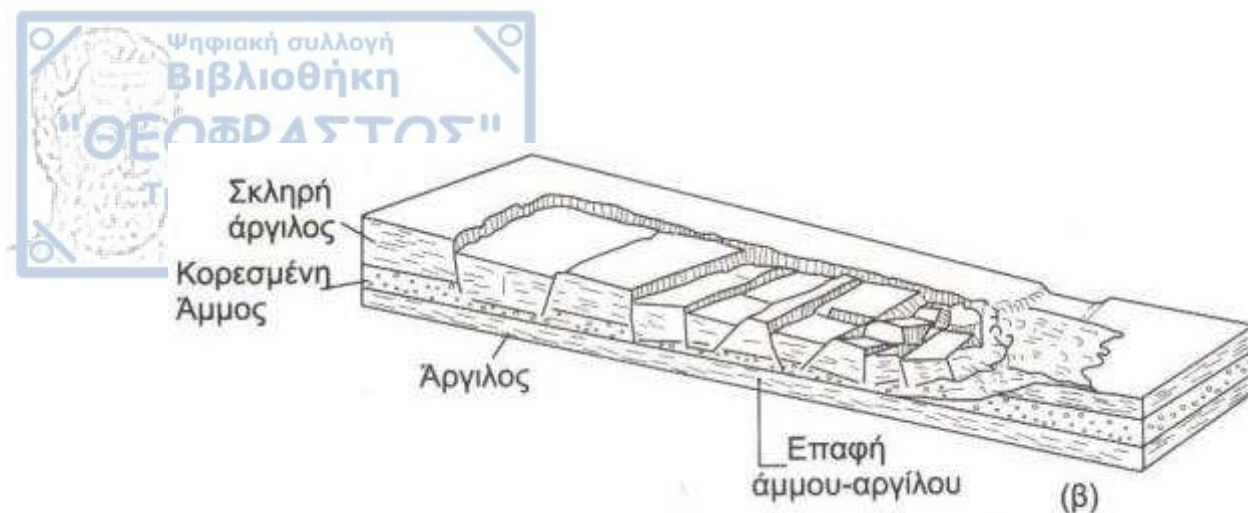
Σε αυτή τη περίπτωση οι βραχώδεις σχηματισμοί είναι υπερκείμενοι άλλων ασθενέστερων και γίνεται διαχωρισμός αυτών γίνεται σε τεμάχη βραχώμαζας από κατακόρυφες ρωγμές. Το ασθενές υποκείμενο υλικό συνθλίβεται και συχνά γεμίζει τις ρωγμές που δημιουργούνται (Γρένδας, 2016). Η μετατόπιση κατανέμεται σε όλη την εκτεινόμενη μάζα. (Γρένδας, 2016) (Μπλιώνα, 2008)



Σχήμα 6. Πλευρική εξάπλωση ασβεστολιθικών τεμαχών που υπέρκεινται μαλακότερων σχηματισμών (VARNES 1978) (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007) .

##### (β) Εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης (liquefaction spreads)

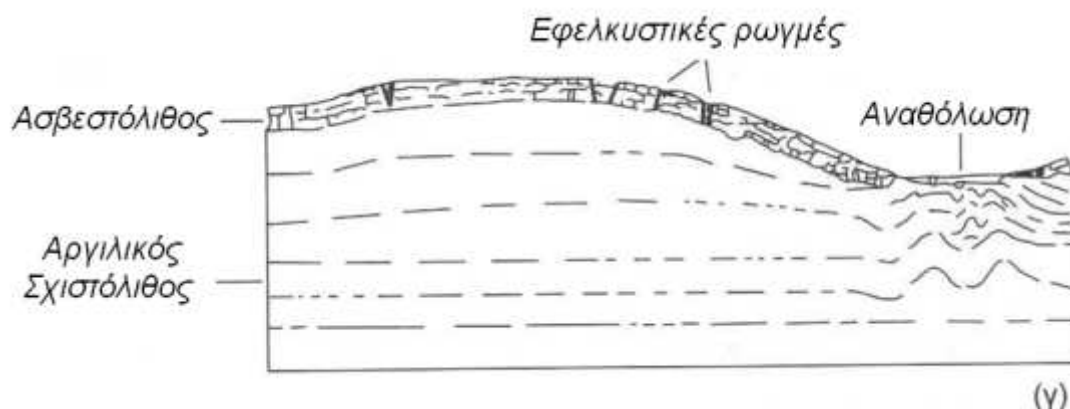
Δημιουργούνται κυρίως σε ιλύες και ευαίσθητες αργίλους που όταν διαταραχθούν αλλοιώνεται η αρχική τους δομή και παρουσιάζουν απώλεια αντοχής. Η θραύση είναι βαθμιαία και ξεκινά συνήθως με μια εκτεταμένη καθίζηση και προοδευτικά επεκτείνεται αντίστροφα, δηλαδή από την αρχική θραύση προς τα πίσω. Η κύρια μετακίνηση είναι μεταθετική και η κίνηση αιφνίδια χωρίς προειδοποίηση και εξελίσσεται με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Να τονίσουμε ότι οι κύριες καταστροφές στους ισχυρούς σεισμούς προκαλούνται από τέτοιου τύπου ολισθήσεις.



Σχήμα 7. Πλευρική εξάπλωση αργίλου που υπέρκειται ρευστοποιημένου στρώματος άμμου και ιλύος (VARNES 1978) (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007) .

#### (γ) Σύνθετες πλευρικές εξαπλώσεις (complex spreads)

Είναι παραμορφώσεις που εκδηλώνονται σε οριζόντια επιφανειακά σκληρά πετρώματα ,τα οποία υπέρκεινται στρωμάτων σκληρών αργίλων οι οποίοι έχουν ρωγματοωθεί ή μαλακών σχιστόλιθων τα οποία υπέρκεινται του σκληρού βραχώδους υπόβαθρου (Μπλιώνα, 2008) (Γρένδας, 2016). Οι μετακινήσεις αυτές παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά στην κατασκευή φραγμάτων το 19<sup>ο</sup> αιώνα στην Αγγλία. (Κούκης – Σαμπτακάκης, 2007)



Σχήμα 8. Σύνθετη ολίσθηση: Πλευρική εξάπλωση ασβεστόλιθων και αναθόλωση των υποκείμενων αργιλικών σχιστόλιθων (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007).

Είναι μετακινήσεις που εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά είτε είναι υγρές ή ξηρές είτε γρήγορες ή αργές. Σε βραχώδεις υπόβαθρο όμως παρατηρούνται πολύ αργές παραμορφώσεις που κατανέμονται ανάμεσα σε ρωγμές καθώς επίσης και σε αυτές που παρατηρούνται μέσα στη μάζα του πετρώματος και προέρχονται από πτύχωση, κάμψη ή διόγκωση. Η ταχύτητα μετακίνησης σε πολλές περιπτώσεις πλησιάζει εκείνη των ιξωδών ρευστών.

Οι αργές ροές ταξινομούνται από το Varnes και από άλλους ερευνητές στον ερπυσμό, που είναι κατά κανόνα μια αργή και δυσδιάκριτη κίνηση του επιφανειακού μανδύα του εδάφους και συντελείται στα τρία παρακάτω στάδια:

- Το πρωτογενές ( επιβραδυνόμενη παραμόρφωση)
- Το δευτερογενές ( σταθερή ταχύτητα παραμόρφωσης)
- Το τριτογενές (επιτάχυνση της παραμόρφωσης μέχρι τη θραύση)

Ο όρος 'ερπυσμός' πρέπει να περιορίζεται στις αργές και συνεχείς στο χώρο παραμορφώσεις. (Μπλιώνα, 2008)

### *Ροές βραχώδους υποβάθρου*

Αναφέρονται σε παραμορφώσεις της βραχομάζας που κατανέμονται ανάμεσα σε πολλές μικρές ή μεγάλες ρωγμές χωρίς να εντοπίζεται η μετατόπιση κατά μήκος μιας συγκεκριμένης επιφάνειας. Είναι μετακινήσεις εξαιρετικά αργές και σχετικά σταθερές στο χρόνο. Παρατηρούνται σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και προέρχονται από πτυχώσεις, κάμψεις, διογκώσεις ή άλλες πλαστικές παραμορφώσεις.

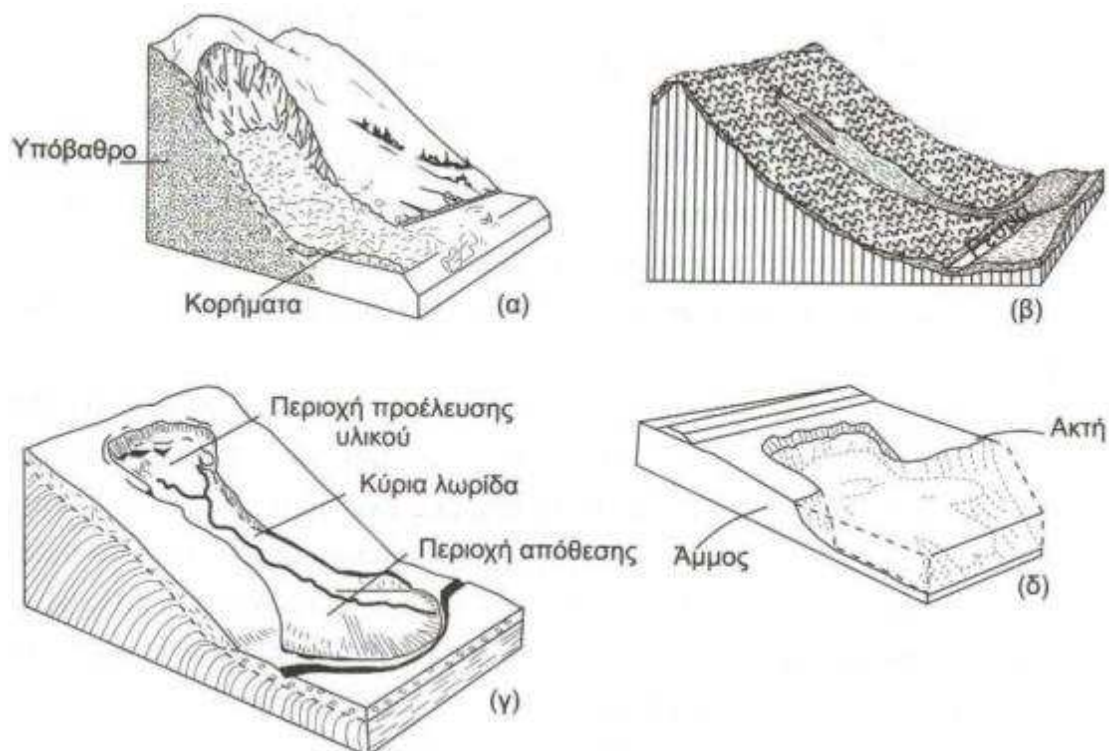
### *Ροές κορημάτων*

Είναι μετακινήσεις σημαντικά μεγαλύτερες και πολύ πιο ευκρινείς σε σχέση με αυτές του βραχώδους υποβάθρου γιατί οι ροές στα χαλαρά υλικά αναγνωρίζονται εύκολα. Το όριο ανάμεσα στη μετακινούμενη μάζα και στο υλικό που δεν μετακινείται είναι σαφές και εντοπίζεται εύκολα. Η εσωτερική παραμόρφωση του υλικού που ρέει είναι πολύ μεγάλη.



Ο Kurdin (1973) ταξινόμησε τις ροές λάσπης με βάση :

- Τη φύση της πηγής του νερού και του στερεού υλικού
- Τη φύση του μέσου μεταφοράς (ελεύθερο νερό ή ιξωδοπλαστική μάζα νερού και λεπτομερή στοιχεία)
- Τη σύνθεση της λάσπης (από νερό και στοιχεία λεπτότερα από 1mm ή από λάσπη μαζί με χαλίκια , κροκάλες , ογκόλιθους και θραύσματα πετρωμάτων)
- Τα ποσοτικοποιημένα δυναμικά χαρακτηριστικά της λάσπης (όγκος , ρυθμός παροχής , διαβρωτική και καταστροφική ισχύς)



Σχήμα 9.(α)Πολύ γρήγορη ροή – (β) Ροή κορημάτων, (γ) Ροή γαιών, (δ) Ροή άμμου – ιλύος  
(Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

## 2. ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Σημαντικό ρόλο στη μελέτη των κατολισθήσεων είναι ο προσδιορισμός της ενεργότητας του όπου η ομάδα εργασίας της UNESCO ( WP/WLI, 1993) πρότεινε τις παρακάτω παραμέτρους για τον προσδιορισμό της ενεργότητας των κατολισθήσεων :

- Το καθεστώς ενεργότητας που αναφέρεται στο χρονικό των μετακινήσεων
- Την κατανομή ενεργότητας με την οποία περιγράφεται ποια τμήματα της κατολίσθησης μετακινούνται
- Τον τύπο ενεργότητας με τον οποίο καθορίζεται ο τρόπος που εκδηλώνονται οι διαφορετικές μετακινήσεις μέσα στην ίδια τη μάζα της κατολίσθησης

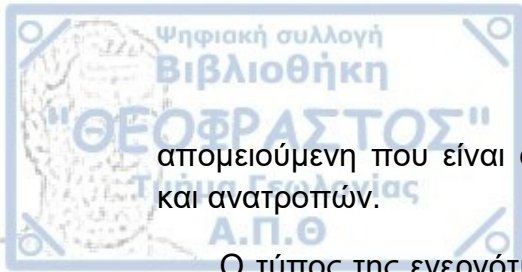
Ενεργές χαρακτηρίζονται οι κατολισθήσεις οι οποίες έχουν παρουσιάσει πρόσφατες κινήσεις και οι μορφολογικοί τους χαρακτήρες αναγνωρίζονται εύκολα στην ύπαιθρο ενώ οι διεργασίες της αποσάθρωσης δεν έχουν αλλοιώσει τα χαρακτηριστικά τους.

Από αυτές κάποιες εκδηλώνονται πρώτη φορά ενώ κάποιες επανενεργοποιούνται μετά από μία περίοδο ανενεργότητας. Συνήθως αυτές μετακινούνται πάνω σε επιφάνειες ολίσθησης όπου υπήρχαν από πριν και η διατμητική του αντοχή πλησιάζει τη παραμένουσα. Υπάρχει και η κατηγορία των παροδικά ανενεργών κατολισθήσεων όπου μετακινούνται ανά εποχικούς κύκλους.

Στις ανενεργές κατατάσσονται οι κατολισθήσεις οι οποίες παραμένουν σταθερές παραπάνω από ένα χρόνο. Η κατολίσθηση θα βρίσκεται σε λανθάνουσα κατάσταση εφόσον τα αίτια που συντελούν στην εκδήλωση της παραμένουν σταθερά. Αν όμως τα αυτά τα αίτια έχουν εκλείψει τότε πρόκειται για μη ενεργοποιήσιμη κατολίσθηση (abandoned). Στη περίπτωση που έχουν παρθεί μέτρα προστασίας τότε θεωρείται σταθεροποιημένη. Επίσης υπάρχει και η κατηγορία των απολιθωμένων κατολισθήσεων που τις περισσότερες φορές έχουν θαφτεί κάτω από νεώτερα ιζήματα.

Πολύ συχνά η μακροσκοπική διάκριση είναι αδύνατη για τον προσδιορισμό της κατηγορίας και απαιτείται εγκατάσταση τοπογραφικού δικτύου για τη παρακολούθηση μετακινήσεων.

Στη περίπτωση όπου μία κατολίσθηση επεκτείνεται προς τα κατόντι τότε θεωρείται ότι η κατολίσθηση είναι προωθούμενη ενώ όταν οι θραύσεις και η ολίσθηση επεκτείνονται προς τα ανάντη τότε είναι ανάδρομη. Γενικότερα άμα η κατολίσθηση παίρνει μεγαλύτερες διαστάσεις με το χρόνο τότε ονομάζεται μεγεθυνόμενη και αντιθέτως άμα μικραίνει σε διαστάσεις ονομάζεται



απομειούμενη που είναι οι περιπτώσεις των περιστροφικών κατολισθήσεων και ανατροπών.

Ο τύπος της ενεργότητας των κατολισθήσεων μπορεί να καθοριστεί από τον τρόπο που οι διαφορετικές μετακινήσεις μέσα στη μάζα της κατολίσθησης κατανέμονται.

Σύνθετες κατολισθήσεις καθορίστηκαν από τον Varnes αυτές που εκδηλώνονται με τουλάχιστον δύο διαφορετικούς τύπους μετακίνησης (π.χ ανατροπή και κατάπτωση) . Γενικά στη βιβλιογραφία ο όρος 'σύνθετη' περιγράφει κατολίσθηση στην οποία γίνονται διαφορετικού τύπου μετακινήσεις σε διαφορετικές περιοχές της κατολισθαίνουσας μάζας μερικές φορές ταυτόχρονα (Cruden and Varnes 1996).

Τέλος μια απλή κατολίσθηση εκδηλώνεται πάντα με έναν τύπο μετακίνησης χωρίς η μάζα της κατολίσθησης να χωρίζεται σε μέλη που κινούνται ανεξάρτητα και με διαφορετικό τρόπο μεταξύ τους.

### 3. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

Η παράμετρος της ταχύτητας είναι πολύ σημαντική ως προς τον άνθρωπο επειδή από αυτή εξαρτώνται οι επιπτώσεις που θα υπάρχουν σε ανθρωπινές ζωές, βλάβες σε έργα και κτίρια αλλά και σε απώλεια γης.

Η τελευταία ταξινόμηση των κατολισθήσεων με βάση τη ταχύτητα τους έγινε από την Unesco το 1995

| Χαρακτηρισμός ταχύτητας | Εξαιρετικά γρήγορη |
|-------------------------|--------------------|
| Εξαιρετικά αργή         | <16 mm/year        |
| Πολύ αργή               | >16 mm/year        |
| Αργή                    | >1,6 mm/year       |
| Μέτρια                  | >13 m/month        |
| Γρήγορη                 | >1,8 m/hour        |
| Πολύ γρήγορη            | >3m/min            |
| Εξαιρετικά γρήγορη      | >5m/sec            |

Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα τόσο πιο επικίνδυνη είναι και οι απώλειες και οι επιπτώσεις εντονότερες. Βέβαια είναι δύσκολο να μετρηθεί με ακρίβεια γιατί η ταχύτητα της κατολίσθησης μεταβάλλεται στα διάφορα στάδια εξέλιξης της και γίνεται ακόμη πιο δύσκολος ο προσδιορισμός της ταχύτητας όταν πρόκειται για σύνθετη κατολίσθηση.

Ο παρακάτω πίνακας καταγράφει τις πιθανές βλάβες ανάλογα με την ταχύτητα κίνησης (WP/WLI 1995)

| Κατηγορία<br>μετακίνησης | ταχύτητας | Πιθανές βλάβες                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7                        |           | Καταστροφές κτιρίων λόγω έντονων μετακινήσεων ή πρόσκρουσης της μετακινούμενης μάζας, πολλοί θάνατοι, απίθανη η ύπαρξη επιζώντων.                                                                |
| 6                        |           | Μερικοί θάνατοι, περιορισμένος χρόνος για ασφαλή φυγή όλων των κατοίκων.                                                                                                                         |
| 5                        |           | Δυνατή η ασφαλής φυγή των κατοίκων. Σπίτια, εγκαταστάσεις και δίκτυα υποδομής με μεγάλες βλάβες ή κατεστραμμένα                                                                                  |
| 4                        |           | Μερικές από τις προσωρινές εγκαταστάσεις είναι δυνατό να διατηρηθούν.                                                                                                                            |
| 3                        |           | Δυνατή η λήψη μέτρων προστασίας κατά την ενεργοποίηση. Μερικές φορές καλά σχεδιασμένες εγκαταστάσεις μπορεί να διατηρηθούν με κατάλληλη συντήρηση, αν δεν υπάρξει ξαφνική επιτάχυνση της κίνησης |
| 2                        |           | Μερικές από τις μόνιμες κατασκευές παραμένουν ανέπαφες                                                                                                                                           |
| 1                        |           | Η μετακίνηση προσδιορίζεται μόνο με ενόργανες μετρήσεις λόγω του μικρού μεγέθους της. Οι κατασκευές δεν υφίστανται βλάβες, όταν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα                                   |

#### 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Υπάρχει η ανάγκη της δημιουργία χαρτών στους οποίους αποτυπώνονται οι δομές των κατολισθήσεων , πράγμα σύνθετο και δύσκολο.

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν πολλοί μέθοδοι για την αποτύπωση και οριοθέτηση των κατολισθήσεων. Βέβαια για τη σωστή αποτύπωση πρέπει να ακολουθούνται παραπάνω από μίας μεθόδου (Guzzetti et al, 2012) ώστε να μπορεί να υπάρχει σύγκριση από την επιστημονική κοινότητα.

Να σημειωθεί εδώ ότι για το ίδιο σεισμικό γεγονός, οι χάρτες αποτύπωσης κατολισθήσεων που έχουν δημιουργηθεί από τους ερευνητές μπορεί να έχουν εμφανείς διαφορές, καθώς δεν υπάρχουν σταθερά κριτήρια για την προετοιμασία και κατασκευή τέτοιων χαρτών (Γρένδας, 2016).

Σημαντικό ρόλο στο παραπάνω εγχείρημα έχουν τα ψηφιακά συστήματα απεικόνισης όπως το GIS, GLONASS. Με αυτά ο ερευνητής μπορεί να κάνει έναν συσχετισμό μεταξύ αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων δίνοντας του τη δυνατότητα να εντοπίσει στοιχεία που να υποδηλώνουν την ύπαρξη μιας κατολισθητικής δομής.

Ο Guzzetti (2012) έδωσε πολύ έμφαση για τη σωστή κατασκευή ενός τέτοιου χάρτη, στη κατασκευή του υπομνήματος πριν από τη μελέτη στην ύπαιθρο ώστε το υπόμνημα να είναι συμβατό με τις τεχνικές λήψης πληροφοριών. Οπότε ορίστηκε από τον Guzzetti (2012) μία βάση παραδοχών για την έρευνα των κατολισθητικών φαινομένων (Guzzetti et al., 2012) (από Γρένδας, 2016):

- 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

Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό των κατολισθήσεων σε μια περιοχή. Πχ, αν σε μία περιοχή υπάρχει κοιλότητα προς τα ανάντη και καμπύλωση προς τα κατόντη θα υποθέσουμε ότι υπάρχει ένα αλλουβιακό ριπίδιο ή γίνεται απόθεση μιας ροής (debris flow). Ενώ αν παρατηρηθεί στη βάση ενός βραχώδους υποβάθρου ένα πρανές με ομαλή κλίση, θα θεωρηθεί ότι συμβαίνει απόθεση αποσαθρωμένου υλικού. Επίσης ο προσανατολισμός των πρανών είναι σημαντικός παράγοντας καθώς μπορεί να συνδέεται με τη γεωμετρία μιας επιφάνειας ολίσθησης ή με τις συνθήκες υπογείου νερού (Guzzetti et al., 2012, Jibson & Keefer, 1993).

Κατά την υπαίθρια μελέτη υπάρχει η περίπτωση λόγω αναπτυγμένης φυτοκάλυψης να είναι αδύνατο να εντοπιστούν οι κατολισθητικές επιφάνειες και σε συνδυασμό με τη κλίμακα της κατολίσθησης (μεγάλη κλίμακα), ο ερευνητής να μην είναι σε θέση να τις εντοπίσει. Σε αυτή τη περίπτωση πρέπει να γίνει χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων.

Σχετικά με τη σωστή διαδικασία έρευνας και αποτύπωσης πρέπει να υπολογίζεται η κλίμακα της μελέτης και επομένως η κλίμακα του χάρτη. Ο Guzzetti et al. (2012), πρότεινε 3 περιπτώσεις χαρτών ανάλογα με τη κλίμακα τους. (από Γρένδας, 2016)

- 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

Η εξέλιξη της τεχνολογίας με συνδυασμό αυτές τις νέες απόψεις έχουν βοηθήσει σε πολύ μεγάλο βαθμό στον εντοπισμό των κατολισθήσεων, ειδικά της μεγάλης κλίμακας. Ο Guzzetti (2012) αναφέρει 3 μεθοδολογίες :

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

Τα DEM κατασκευάζονται από μέσω χρήσης δορυφορικών εικόνων και συστήματα όπως LiDaR (Light Detection and Ranging). Σε αυτή τη περίπτωση γίνεται χρήση laser η οποία προσκρούει σε ένα σημείο και στη συνέχεια ανακλάτε πίσω στον πομπό. Έτσι δημιουργείται ένα σύνολο σημείων το οποίο περιλαμβάνει τα πάντα, από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι και τη φυτοκάλυψη. Το πλεονέκτημα στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ότι μπορούν να αφαιρεθούν τα σημεία τα οποία αποτελούν τη φυτοκάλυψη και να παραμείνει μόνο το 'καθαρό' κομμάτι του εδάφους.

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

Είναι μία εύκολη πρόσβαση στη μελέτη των κατολισθήσεων η χρήση δορυφορικών εικόνων από google earth το οποίο είναι ελεύθερο στο κοινό και παρέχει αληθινά χρώματα (RGB), όπως έγινε και σε αυτή την εργασία, όπου η μελέτη τους μπορεί να δώσει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην εύρεση κατολισθήσεων (Xu et al., 2014).

Κατά την κατολίσθηση προκαλείται αλλαγή στη μορφολογία του εδάφους γιατί τα υλικά δέχονται νερό στη μάζα τους και διαταράσσονται καθώς επίσης και η φιλοξενούμενη πανίδα παύει να υπάρχει. Έτσι το οπτικό φάσμα που ανακλάται είναι διαφορετικό από αυτό που προϋπήρχε πριν την κατολίσθηση.

Η χρήση τέτοιων εικόνων βοηθά στον εντοπισμό σημείων που προδιαθέτουν κατολισθήσεις, δεν μπορούν όμως να αντικαταστήσουν την υπαίθρια έρευνα ούτε να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή χαρτών αποτύπωσης κατολισθήσεων.

Η ανάλυση αεροφωτογραφιών έχει γίνει η κύρια μέθοδος έρευνας και ανάλυσης των κατολισθήσεων, γιατί είναι εύκολος ο τρόπος χαρτογράφησης των θέσεων και των ορίων των κατολισθήσεων.

Να αναφέρουμε ότι οι εικόνες από το ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR) χρησιμοποιούνται κυρίως για την παρακολούθηση κατολισθήσεων με πού αργό ρυθμό μετακίνησης.

- Χαρτογράφηση υπαίθρου με σύγχρονα γεωλογικά εργαλεία

Οι προϋποθέσεις που πρέπει να λαμβάνονται για τη μελέτη της υπαίθρου έρευνας των κατολισθήσεων είναι :

- 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 υπαίθρου έρευνας είναι ελλιπής (Χυ, 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 (Χυ, 2014)

Αυτή η γνώση εμπλουτίζεται με όλα τα εργαλεία που έχει δώσει η εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια, εργαλεία όπως φωτογραφικές μηχανές με ενσωματωμένο πομπό GPS, φορητά όργανα μέτρησης της αντοχής των πετρωμάτων ή εδαφών, ψηφιακές γεωλογικές πυξίδες αλλά και χρήση των Tablets και κινητών ως μικροί και φορητοί υπολογιστές υπαίθρου οι οποίοι μπορούν να συνδυάσουν GPS, χάρτες, φωτογραφική μηχανή, περιβάλλον GIS, ψηφιακή γεωλογική πυξίδα, ψηφιακή μέτρηση απόστασης και οτιδήποτε άλλη εφαρμογή που μπορεί να δημιουργηθεί και να χρησιμοποιηθεί από τον ερευνητή στο πεδίο.

Ιδιαίτερα με τα συστήματα GIS μπορούν να κατασκευαστούν χάρτες αποτύπωσης κατολισθήσεων (Jibson et al., 2000) όπου τα δεδομένα συλλέγονται είτε μέσω της υπαίθρου έρευνας είτε μέσω πινάκων καταγραφής των συντεταγμένων κατολισθητικών δομών από επιστημονικά άρθρα για την εκάστοτε περιοχή.

Όταν συμβεί ένα ισχυρό σεισμικό γεγονός ένας μεγάλος αριθμός κατολισθήσεων ενεργοποιείται που δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν από υπαίθρια έρευνα οπότε γίνεται χρήση δορυφορικών εικόνων στον εντοπισμό

και οριοθέτηση. Σύμφωνα με τον Χυ (2014) οι προϋποθέσεις που πρέπει να ακολουθηθούν είναι οι παρακάτω (Χυ et al., 2014, Χυ, 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

## 5. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Μία κατολίσθηση δε μπορεί να δικαιολογηθεί μόνο από ένα αίτιο. Η διαδικασία της κατολίσθησης ουσιαστικά αρχίζει από το σχηματισμό του γεωλογικού υλικού το οποίο αποτελεί το πρηνές που με τη σειρά του έχει κάποιες φυσικές ιδιότητες. Αυτές οι ιδιότητες είναι αυτές που διαμορφώνουν τα γεγονότα της μετακίνησης, της διάβρωσης και της αποσάθρωσης.

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων υπάρχουν πολλά αίτια που οδηγούν στην κατολίσθηση. Ο τελικός παράγοντας της εκδήλωσης μπορεί να είναι μία ασήμαντη δράση που προκάλεσε την αρχή της εκδήλωσης της κατολίσθησης που αυτό ονομάζεται έναυσμα μετακίνησης. Δε μπορεί σε καμία περίπτωση ο τελικός παράγοντας να θεωρηθεί η αιτία της κατολίσθησης καθώς αυτό θα ήταν τεράστιο σφάλμα.

Ο Terzaghi (1950) υποδιαιρεί τα αίτια των κατολισθήσεων σε δύο κατηγορίες:

- Τα εξωγενή τα οποία προκαλούν αύξηση της επιβαλλόμενης διατμητικής τάσης στο πρηνές
- Τα ενδογενή που προκαλούν μείωση της διατμητικής αντοχής που υλικού

Ο Varnes (1978) κατηγοριοποίησε τους παράγοντες σε τρεις κατηγορίες:

- Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής τάσης που επιδρά πάνω στο υπό μετακίνηση υλικό
- Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην πιθανή χαμηλή διατμητική αντοχή του υλικού
- Οι παράγοντες που συντελούν στη μείωση της διατμητικής αντοχής του υλικού

Καλό είναι να τονιστεί ότι η επαρκής γνώση του μηχανισμού της κατολίσθησης είναι απαραίτητη για το σωστό και λογικό σχεδιασμό μέτρων προστασίας και αποκατάστασης.

Η ομάδα της UNESCO (1994) πρότεινε μία ταξινόμηση που υποδιαιρεί τους παράγοντες που προκαλούν τις κατολισθήσεις ανάλογα :

- Με το αποτέλεσμα και το βαθμό επίδρασης τους σε :  
(α) Προκαταρκτικούς και (β) εναύσματος μετακίνησης,
- Τη προέλευση τους, στους παράγοντες που αναφέρονται (α) στις εδαφικές συνθήκες , (β) στις γεωμορφολογικές διεργασίες, (γ) στις φυσικές διεργασίες και (δ) στις ανθρώπινες διεργασίες. Αναλυτική περιγραφή των επιμέρους παραγόντων δίνεται παρακάτω.

Αυτοί οι παράγοντες είναι οι :

Εδαφικές συνθήκες που επικρατούν

- Πλαστικό χαμηλής αντοχής υλικό
- Ευαίσθητο υλικό
- Υλικό επιρρεπές σε θραύση
- Αποσαθρωμένο υλικό
- Διατμημένο υλικό
- Ρωγματωμένο η διακλασμένο υλικό
- Βραχώμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών
- Διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα
- Διαφοροποιήσεις στη δυσκαμψία

Γεωμορφολογικές διεργασίες που συμβαίνουν όπως :

- Τεκτονική ανύψωση
- Ανύψωση λόγω ηφαιστειών
- Επίδραση παγετώνων
- Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρανούς
- Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρανούς
- Διάβρωση της βάσης του πρανούς από παγετώνα
- Διάβρωση των πλευρών του πρανούς
- Εσωτερική διάβρωση
- Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέψη του πρανούς
- Απομάκρυνση φυτοκάλυψης

Φυσικές διεργασίες που συμβαίνουν όπως :

- Έντονη, μικρής διάρκειας βροχόπτωση
- Γρήγορο λιώσιμο χιονιού
- Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση
- Γρήγορη πτώση στάθμης νερού μετά από πλημμύρες, παλίρροιες ή διάρρηξη φυσικών φραγμάτων
- Σεισμοί
- Εκρήξεις ηφαιστειών
- Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαίστειων
- Λιώσιμο παγωμένου εδάφους
- Αποσάθρωση λόγω παγετού
- Αποσάθρωση από διόγκωση και συρρίκνωση εδαφών

Αλλά και Ανθρωπογενείς διεργασίες που μπορεί να συμβάλουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων όπως :

- Εκσκαφές στη βάση του πρηνούς
- Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρηνούς
- Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμιευτήρες
- Άρδευση
- Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων
- Διαρροή νερών από τεχνικά έργα
- Αποψίλωση
- Λατομεία και μεταλλεία
- Δημιουργία χωματερών
- Τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανών, τοποθέτηση πασσάλων κτλ)

Ο Varnes (1978) ομαδοποίησε τους παράγοντες σε δύο κατηγορίες:

Τους παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής τάσης, οι οποίοι είναι :

- Αφαίρεση της υποστήριξης
- Επιφόρτιση. (Μπορεί να προκληθεί είτε από φυσικές είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες.)
- Παροδικές τάσεις
- Τοπική ανύψωση
- Πλευρική πίεση
- Ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Και τους παράγοντες που συντελούν στη μείωση της διατμητικής αντοχής, που είναι :

- Λιθολογική σύσταση και υφή (Ασύνδετα, αποσαθρωμένα, κατακερματισμένα πετρώματα)
- Δομή των πετρωμάτων και γεωμετρία του πρηνούς (Απότομα πρηνή)
- Αποσάθρωση και άλλες φυσικοχημικές διαδικασίες
- Μεταβολές των ενεργών τάσεων λόγω του νερού των πόρων και των ρωγμών
- Έναυσμα κίνησης που μπορεί να δωθεί από έντονη βροχόπτωση, γρήγορο λιώσιμο του χιονιού,
- μεταβολές στη στάθμη του νερού που μπορεί να προέλθουν από σεισμική και ηφαιστειακή δραστηριότητα.

## 6. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΟΝΗΣΕΙΣ

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) (από Γρένδας, 2016)

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). Ο Keefer (1984, 2002) έδωσε τους παρακάτω παράγοντες:

- 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

Πολλές μελέτες δείχνουν ότι περιοχές με απότομη μορφολογία ενισχύουν τη κίνηση του εδάφους πχ. Απότομες ράχες, ενώ περιοχές με ομαλή μορφολογία η κίνηση του εδάφους αποσβένεται χωρίς βέβαια να υπάρχουν αποδείξεις για αυτό το συμπέρασμα (Harp et al., 2014).

Ο Keefer (1984 , 2002) μετά από μελέτη 40 σεισμών που συνέβησαν ανά τον κόσμο πρότεινε προϋποθέσεις κατολίσθησης Keefer (2006) από (Γρένδας, 2016):

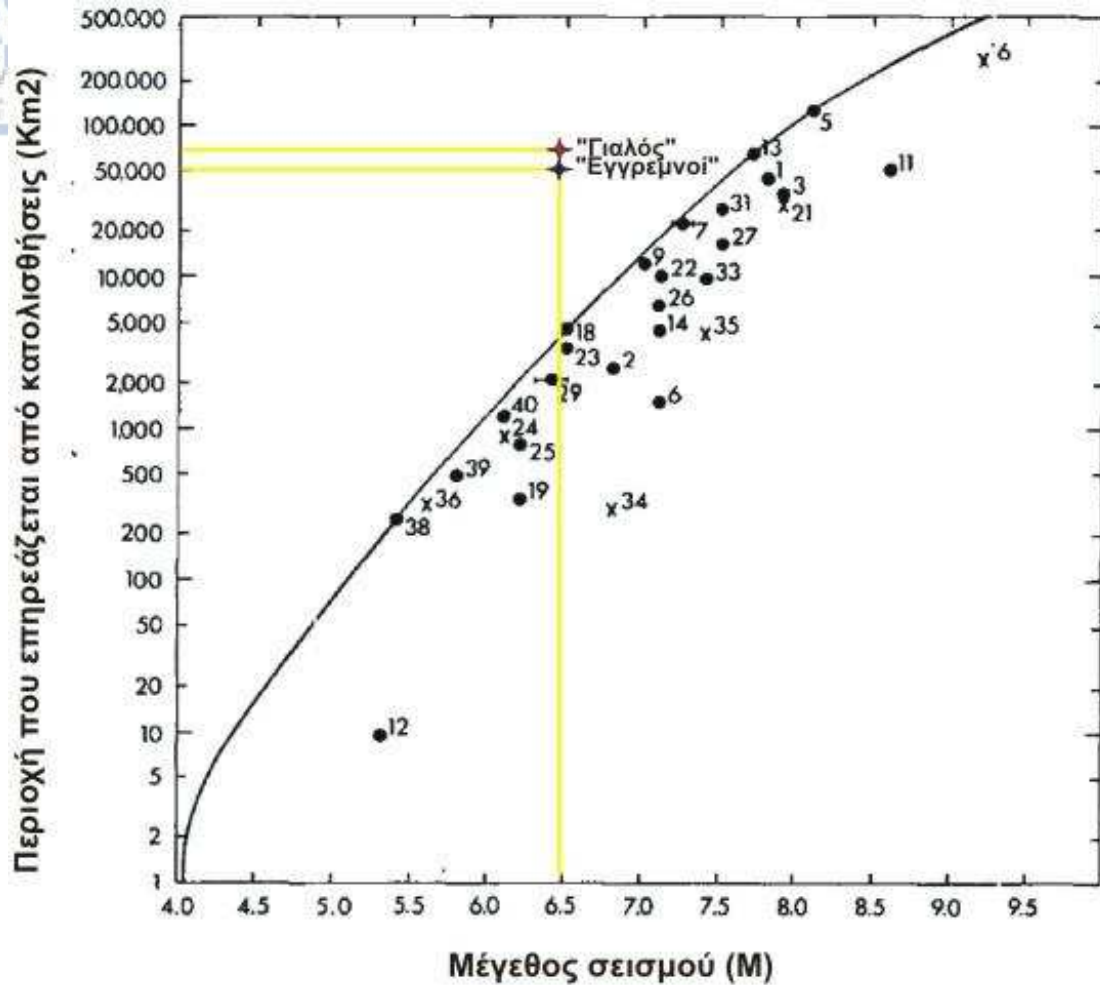
- Η ύπαρξη ασθενούς και παραμορφωμένου γεωλογικού υλικού (Harp & Jibson, 2002)
- Εξαιρετικά υψηλή στάθμη υπόγειου νερού τόσο σε βάθος όσο και στα ανώτερα στρώματα
- Υψηλές τιμές ισχυρής εδαφικής κίνησης

Αρχικά το πρώτο συμπέρασμα αφορά τα υλικά που αποτελούν τα πιο επιδεκτικά σε κατολισθήσεις από σεισμικές δονήσεις, όπως φτωχά συγκολλημένοι βραχώδεις σχηματισμοί, βραχώδεις σχηματισμοί με μεγάλης εμμονής ασυνέχειες οι οποίες ανατέλλουν στο πρηνές, ηφαιστειακά εδάφη τα οποία περιέχουν ασθενείς αργίλους, αιολικές αποθέσεις (loess), συγκολλημένα εδάφη, κοκκώδη αλλούβια εδάφη, κοκκώδεις δελταϊκές αποθέσεις και κοκκώδεις τεχνητές επιχώσεις (Keefeer, 1984) (από Γρένδας, 2016).

Παρατηρήθηκε ακόμη ότι λίγες υπάρχουσες κατολισθήσεις ενεργοποιήθηκαν από ισχυρές σεισμικές δονήσεις (Jibson et al., 2000, Keefeer, 1984) (από Γρένδας, 2016). Εξήγηση για αυτό το φαινόμενο έδωσε το Jibson et al. (1994) όπου μαζί με την ομάδα του μελέτησαν σεισμό στη δημοκρατία της Γεωργίας το 1991 όπου διαπίστωσαν ότι ο υδροφόρος ορίζοντας ήταν κοντά στο έδαφος αφού βρήκαν στάσιμο νερό στις ρωγμές των κατολισθήσεων εβδομάδες μετά την αρχική σεισμική δόνηση. Επομένως κατέληξαν πως ο συντελεστής ασφαλείας ήταν σε θέσεις παλαιών κατολισθήσεων βρισκόταν άνω της μονάδας ακόμη και με την άνοδο του νερού και έτσι δεν ενεργοποιούνταν οι παλαιές κατολισθήσεις. (από Γρένδας, 2016)

Σύμφωνα με τον Keefeer (1984) και μέσω της μελέτης των 40 μεγάλων και καταστροφικών σεισμών εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα: (από Γρένδας, 2016):

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



(Keefer, 1984 τροποποιημένο από Γρένδα, 2016, η εμφάνιση αυτών των οι τοποθεσιών έγινε λόγω μελέτης από Γρένδα στις συγκεκριμένες θέσεις)

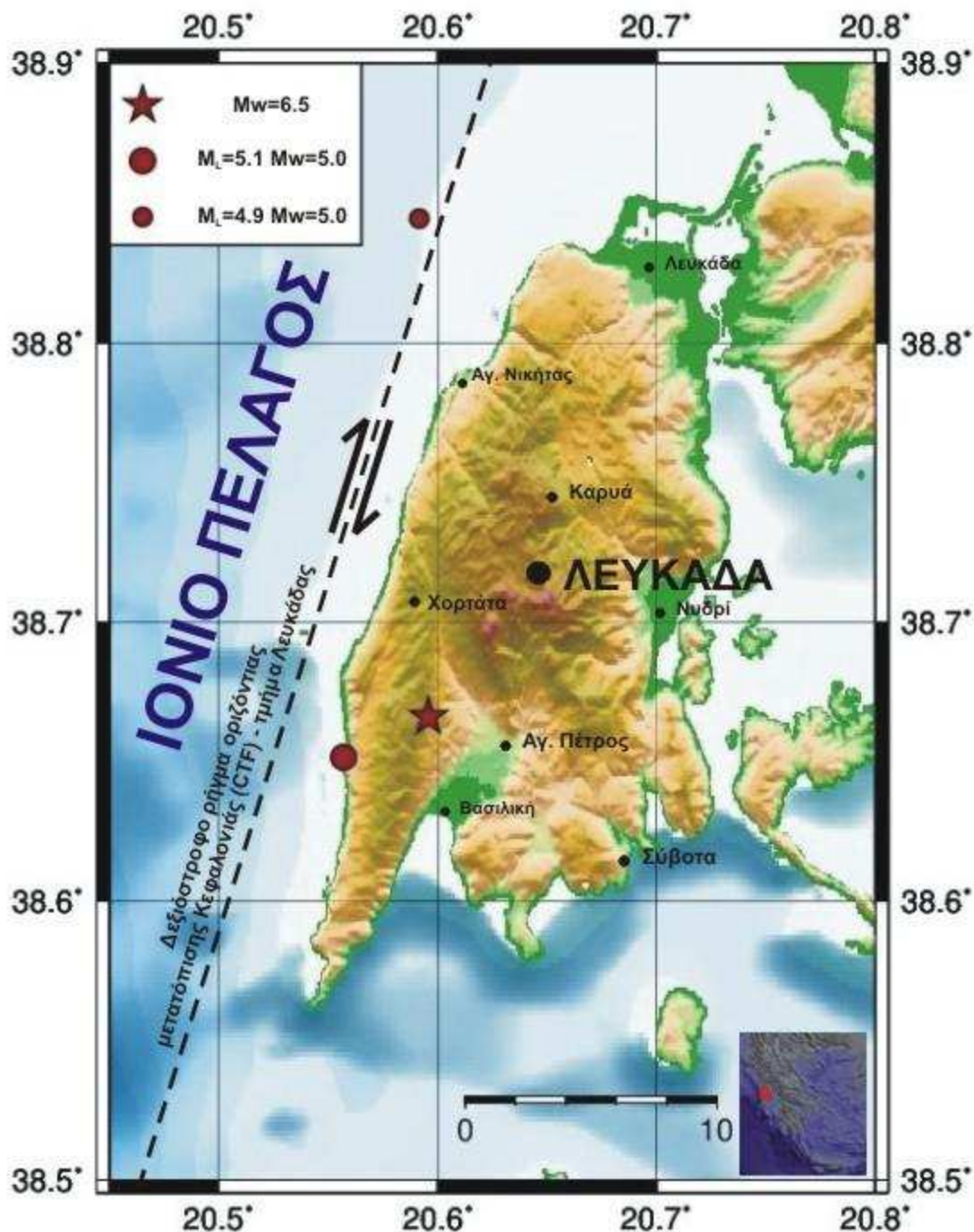
Στο σχήμα μπορούμε να παρατηρήσουμε την συσχέτιση του μεγέθους σεισμού με την έκταση η οποία επηρεάζεται από κατολισθήσεις.

## 7. ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΟΥ 2015 ΣΤΗ ΛΕΥΚΑΔΑ

Ο σεισμός της Λευκάδας συνέβη στις 17 Νοεμβρίου 2015, 9:10:07 τοπική ώρα, , προκλήθηκαν πολλές ζημιές στο νότιο τμήμα και χάθηκαν 2 ανθρώπινες ζωές. Είχε μικρό εστιακό βάθος περίπου 5km.

Το επίκεντρο του σεισμού ήταν 23 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της πόλης της Λευκάδας, ανάμεσα στα χωριά Αθάνι και Δράγανο και η διάρκεια του σεισμού ήταν 20 δευτερόλεπτα. Μετά τον κύριο σεισμό ακολούθησαν δύο μετασεισμικές δονήσεις με μέγεθος  $ML=5,1$  βαθμών και  $ML=4,9$  βαθμών και πάνω από 1.000 μετασεισμικές δονήσεις μικρότερης έντασης.

Σύμφωνα με το σεισμολογικό σταθμό του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου το επίκεντρο του σεισμού είχε 10km εστιακό βάθος. Το μέγεθος της σεισμικής ροπής ήταν  $M_w=6.5$  (Ganas et al., 2016) (Papathanassiou et al., 2016) ενώ το επιφανειακό μέγεθος ήταν  $ML=6.0$  σύμφωνα με το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Αθηνών. Μετά το κύριο σεισμό, την ίδια μέρα με τοπική ώρα 10:33 συνέβη μετασεισμός επιφανειακού μεγέθους  $ML=5.1$  και σεισμικής ροπής  $M_w=5.0$ , ενώ το εστιακό βάθος του σεισμού ήταν 9km. Στις 18/11/2015 και τοπική ώρα 14:15 πραγματοποιήθηκε ο δεύτερος μετασεισμός με μέγεθος σεισμού  $ML=4.9$ , μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=5.0$  και εστιακό βάθος ίσο με 17 Km (Kalogeras & Melis, 2015).



Στο παραπάνω χάρτη φαίνονται τα επίκεντρα του κύριου σεισμού και των 2 σημαντικών μετασεισμών (Γρένδας, 2016).

Το ρήγμα που προκάλεσε τους σεισμούς είναι το οριζόντιο ρήγμα της Κεφαλονιάς όπου έχει προκαλέσει στο παρελθόν πολλά καταστροφικά σεισμικά γεγονότα όπως ο σεισμός του 2003 στη Λευκάδα με μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.3$  (Papathanassiou, et al 2005). Το ρήγμα αυτό αποτελείται, το λιγότερο από 2 τμήματα. Το βόρειο το οποίο έχει παράταξη BBA-NNΔ και έχει μήκος περίπου 40 Km (τμήμα Λευκάδας) και το νότιο τμήμα το οποίο έχει παράταξη BA-NΔ και έχει μήκος περίπου 60 Km (τμήμα

Κεφαλλονιάς από (Rondoyanni et al., 2012). Το ρήγμα που προκάλεσε τις δονήσεις έχει διεύθυνση  $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$  προς τα ΒΒΑ και κλίνει προς τα Ανατολικά (Ganas et al., 2013). Το ρήγμα αυτό μπορεί να δώσει σεισμούς μεγέθους έως και  $M_w=7.4$  (Papazachos, 1990; Louvari et al., 1999)

Για τους σεισμούς της Λευκάδας υπάρχουν χρονολογημένα καταγεγραμμένες καταστροφές από το Μάιο του 1612 με αναλυτικές περιγραφές για τις καταστροφές που προήλθαν από τους σεισμούς (Papathanassiou, et al 2005).

Για το σεισμό του 2015 η πρώτη καταγραφή που έγινε αναφέρει πολλές ζημιές στο οδικό δίκτυο στα δυτικά του νησιού, ενώ μεγάλο πρόβλημα παρουσιάζεται στα χωριά Αθάνι και Δράγανο, όπου έχουν σημειωθεί σοβαρές ζημιές σε πολλά σπίτια. Στη παραλία των Εγκρεμνών σημειώθηκε εκτεταμένη κατολίσθηση με αποτέλεσμα το σημείο να έχει καλυφθεί από κομμάτια βραχομάζας τα οποία αποκολλήθηκαν από τη κύρια βραχόμαζα καθώς και ο δρόμος που οδηγούσε στο σημείο είχε κλείσει από καταπτώσεις βράχων και ροές κορημάτων και κατακερματισμένων ανθρακικών πετρωμάτων. Να σημειωθεί εδώ ότι εξαιτίας του σεισμού η Λευκάδα μετακινήθηκε κατά 36 εκατοστά προς το νότο.

### **7.1. Γεωλογία του Νησιού**

Το νησί της Λευκάδας ανήκει στις εξωτερικές ελληνίδες ζώνες και συγκεκριμένα στην Αδριατικοϊόνιο ζώνη η οποία έχει Β-Ν διεύθυνση. Η ζώνη περιλαμβάνει το μεγαλύτερο κομμάτι της δυτικής ηπειρωτικής Ελλάδας και κάποια κομμάτια των Ιονίων νησιών.

Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη, όπως και οι υπόλοιπες εξωτερικές ελληνίδες χαρακτηρίζονται από τη συνεχή ιζηματογένεση κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού. Ως παλαιότερα θεωρούνται οι εβαπορίτες περμοτριάδικής ηλικίας, ενώ πάνω τους έχουν αποτεθεί μαύροι ασβεστόλιθοι ηλικίας Μέσο-Άνω Τριαδικού.

Πάνω στους μαύρους ασβεστολίθους αποτέθηκαν κατά το Μέσο Ιουρασικό μία νηριτική σειρά δολομιτικών ασβεστολίθων. Κατά τη περίοδο του Άνω Ιουρασικού γίνεται μια απόθεση πελαγικού ασβεστολίθου με κερατολίθους να υπάρχουν σε ενστρώσεις δηλώνοντας ιζηματογένεση βαθιάς θάλασσας. Αυτή η ιζηματογένεση κράτησε όλο το Κρητηδικό αλλά και μέχρι το τέλος του Ηωκαίνου όπου μετέπειτα άρχισε η απόθεση του φλύσχη πάνω σε αυτούς. Στη περίοδο του Τριτογενούς όλα τα παραπάνω πτυχώθηκαν από την Αλπική ορογένεση, καθώς και εκ νέου απόθεση κλαστικών και ανθρακικών ιζημάτων. (Μουντράκης, 2010)

Συγκεκριμένα στο νησί της Λευκάδας μπορούμε να εντοπίσουμε αλπικούς, μεταλπικούς και μολασικούς σχηματισμούς. Στο νοτιοδυτικό κομμάτι του νησιού εντοπίζονται αλπικοί σχηματισμοί όπου είναι επί το πλείστον είναι ανθρακικά πετρώματα που ανήκουν στην ενότητα των Παξών η οποία βρίσκεται δυτικά της Ιονίου. Αυτά τα πετρώματα διαμορφώνουν τις χαρακτηριστικές απότομες ακτές της Λευκάδας όπως το Πόρτο Κατσίκι. Τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας των Παξών έχουν δεχτεί μεταλπικό τεκτονισμό με αποτέλεσμα να εντοπίζουμε νεοτεκτονικά ρήγματα.

Στην Ιονία ζώνη ανήκουν τα ανθρακικά ιζήματα ηλικίας Άνω Τριαδικού μέχρι Ολιγόκαινο οι οποίοι είναι έντονα κατακερματισμένοι και πάνω τους απωθημένος ο φλύσχος. Όλοι οι παραπάνω σχηματισμοί έχουν πολύ χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά λόγω τεκτονισμού και αποσάθρωσης με αποτέλεσμα να δημιουργούνται κατολισθητικά φαινόμενα. Τέλος και οι μολασικοί σχηματισμοί αν και χαρακτηρίζονται από ηρεμία τεκτονισμού, λόγω λιθολογίας τους έχουν επίσης χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά. (Λέκκας, et al 2001)

Επίσης οι μεταλπικοί σχηματισμοί που αποτελούνται από σύγχρονα κλαστικά ιζήματα έχουν μικρή γωνία εσωτερικής τριβής (δηλαδή ότι είναι ασύνδετα μεταξύ τους) αλλά και ότι είναι απωθημένα σε απότομες πλαγιές τα καθιστούν και αυτά επικίνδυνα σε κατολισθητικά φαινόμενα.

## **8. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GOOGLE EARTH ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΟΥ 2015**

Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε αποτύπωση κατολισθήσεων μέσω του Google earth που δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης της μορφολογίας της επιφάνειας σε διάφορες χρονικές στιγμές, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η σύγκριση πριν και μετά από ένα σεισμικό γεγονός, όπως ο σεισμός του 2015 στη Λευκάδα.

Η αναγνώριση των κατολισθήσεων γίνεται μέσω αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων με τη βοήθεια πολλών παραμέτρων όπως χρώμα, τόνο και υφή του εδάφους. Οι φρέσκες ενεργοποιημένες κατολισθήσεις μπορούν να αναγνωριστούν εύκολα καθώς δεν θα έχουν φυτοκάλυψη, όπως βέβαια περνάει ο χρόνος τα φυτά αρχίζουν και καλύπτουν την κατολίσθηση. Τα όρια της επίσης είναι πολύ ευδιάκριτα και εύκολα να χαρτογραφηθούν αλλά ανθρωπογενής παράγοντες μπορεί να αλλοιώσουν αυτά τα όρια

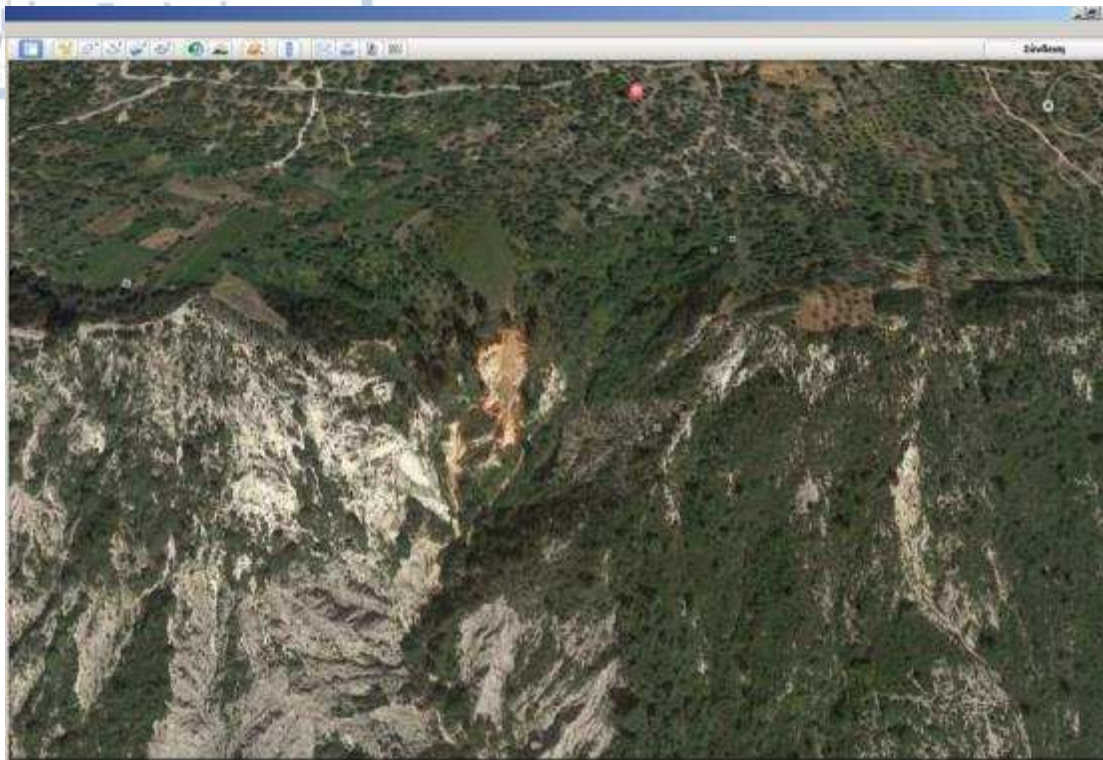
Παρακάτω παραθέτονται χαρακτηρίστηκες κατολισθήσεις που ενεργοποιήθηκαν μετά το σεισμό του 2015 στη περιοχή της Λευκάδας.

Η οριοθέτηση και επιλογή των κατολισθήσεων έγινε χρησιμοποιώντας τη δυνατότητα της εμφάνισης ιστορικών εικόνων πριν το σεισμό του 2015 στη περιοχή της Λευκάδας και στη συνέχεια σύγκριση της ίδιας περιοχής με μία συγκεκριμένη ημερομηνία μετά το σεισμό του 2015. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρθηκαν προηγούμενος.

Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει η περίπτωση Pre 2015 η κατολίσθηση δεν είναι ευδιάκριτη από τις εικόνες του google earth.

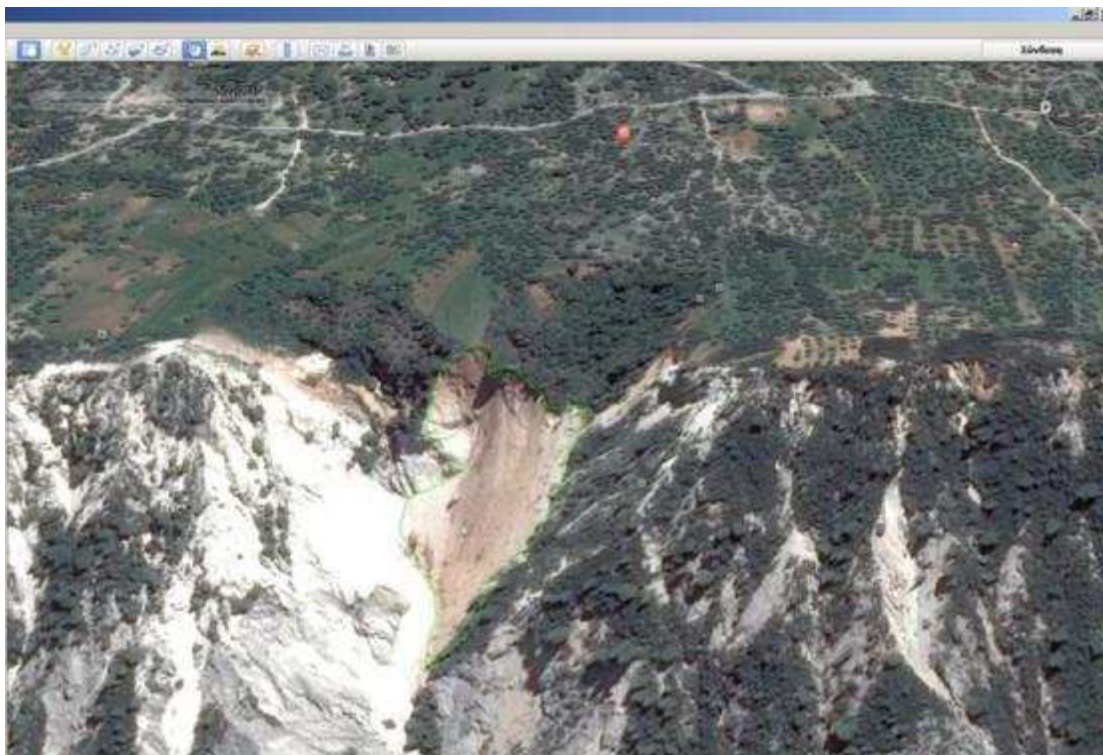
Το κόκκινο χρώμα χρησιμοποιήθηκε για να οριστούν τα όρια των κατολισθήσεων πριν το 2015 και το πράσινο μετά το σεισμό του 2015

Landslide 1 Pre 2015:



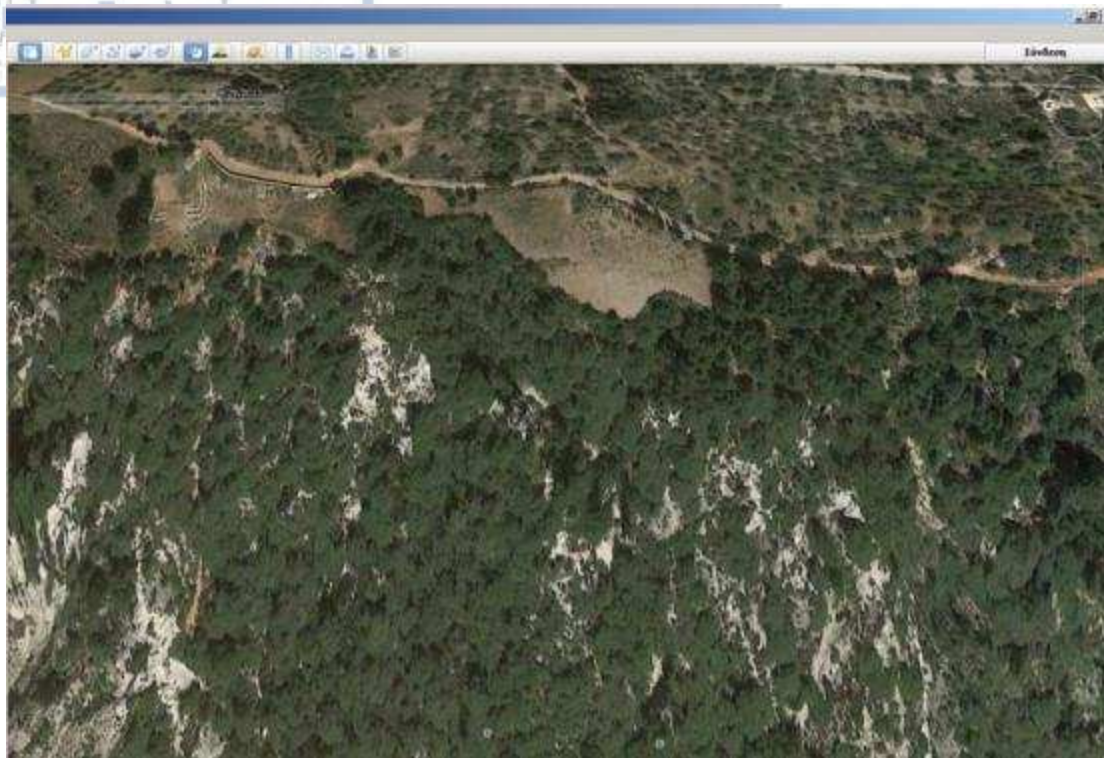
Εικόνα 2.3.1 (Περιοχή της κατολίσθησης 1 πριν το 2015)

Post 2015:



Εικόνα 2.3.2 (Περιοχή της κατολίσθησης 1 μετά το 2015)

Landslide 2 Pre 2015:



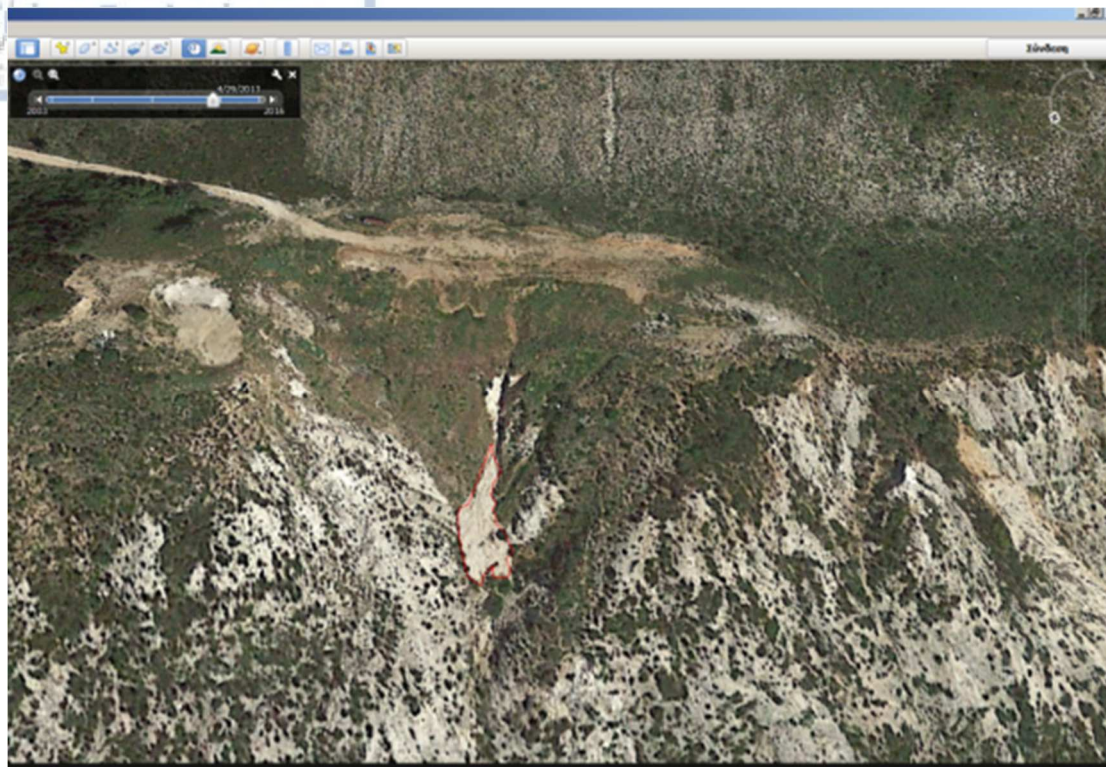
Εικόνα 2.3.3 (Περιοχή της κατολίσθησης 2 πριν το 2015)

Post 2015:



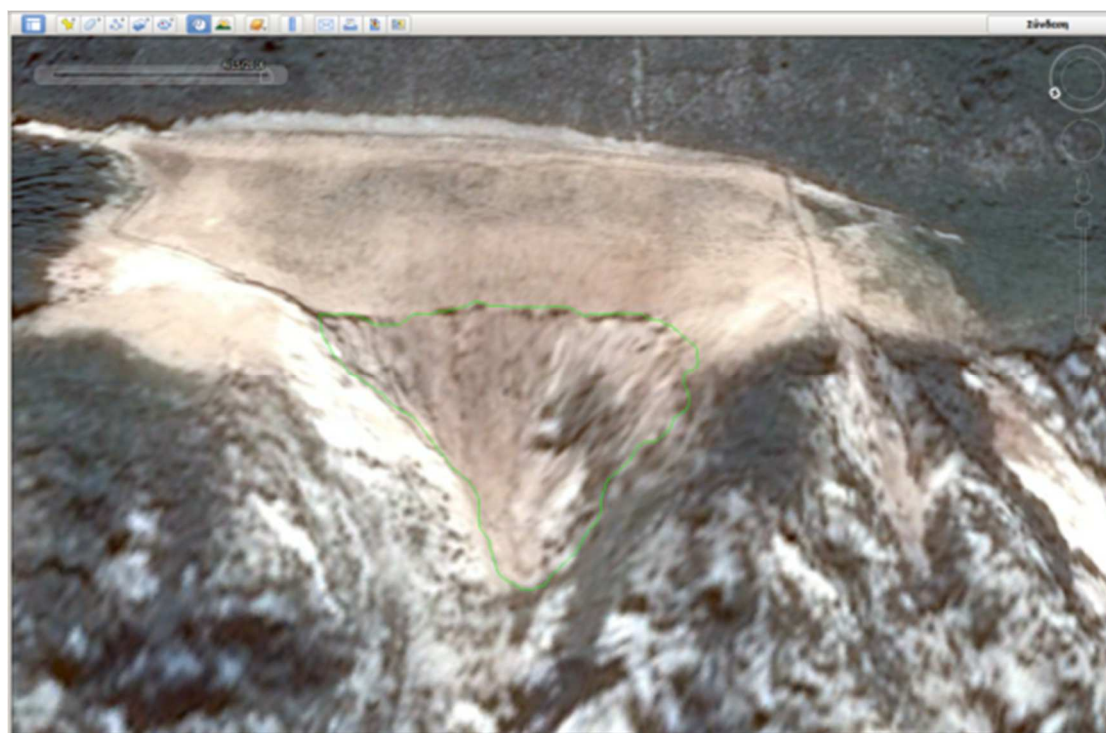
Εικόνα 2.3.4 (Περιοχή της κατολίσθησης 2 πριν το 2015)

Landslide 3 Pre 2015:



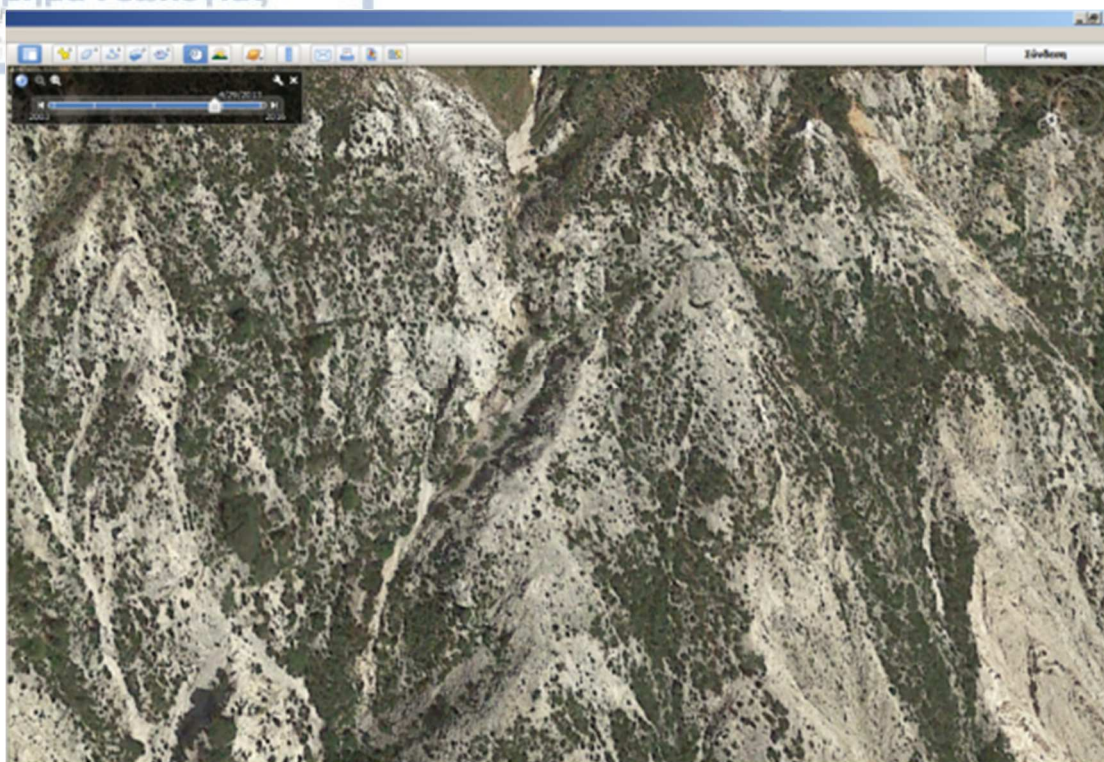
Εικόνα 2.3.5 (Περιοχή της κατολίσθησης 3 πριν το 2015)

Post 2015:



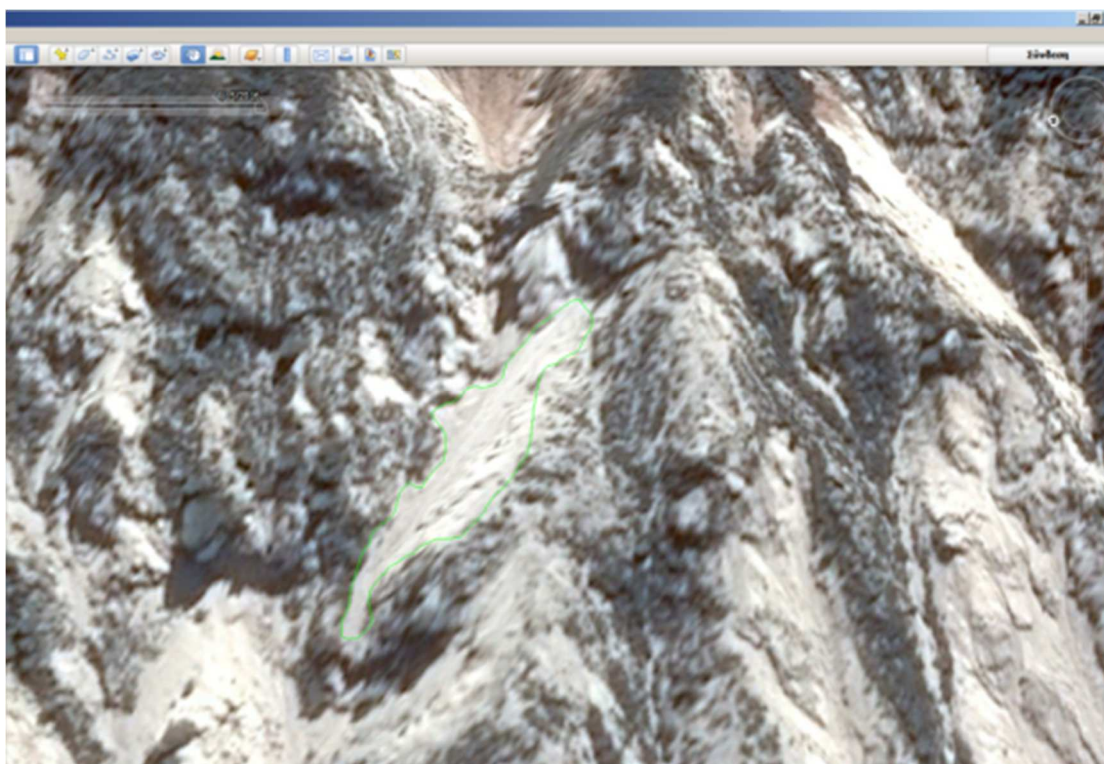
Εικόνα 2.3.6 (Περιοχή της κατολίσθησης 3 μετά το 2015)

Landslide 4 Pre 2015:



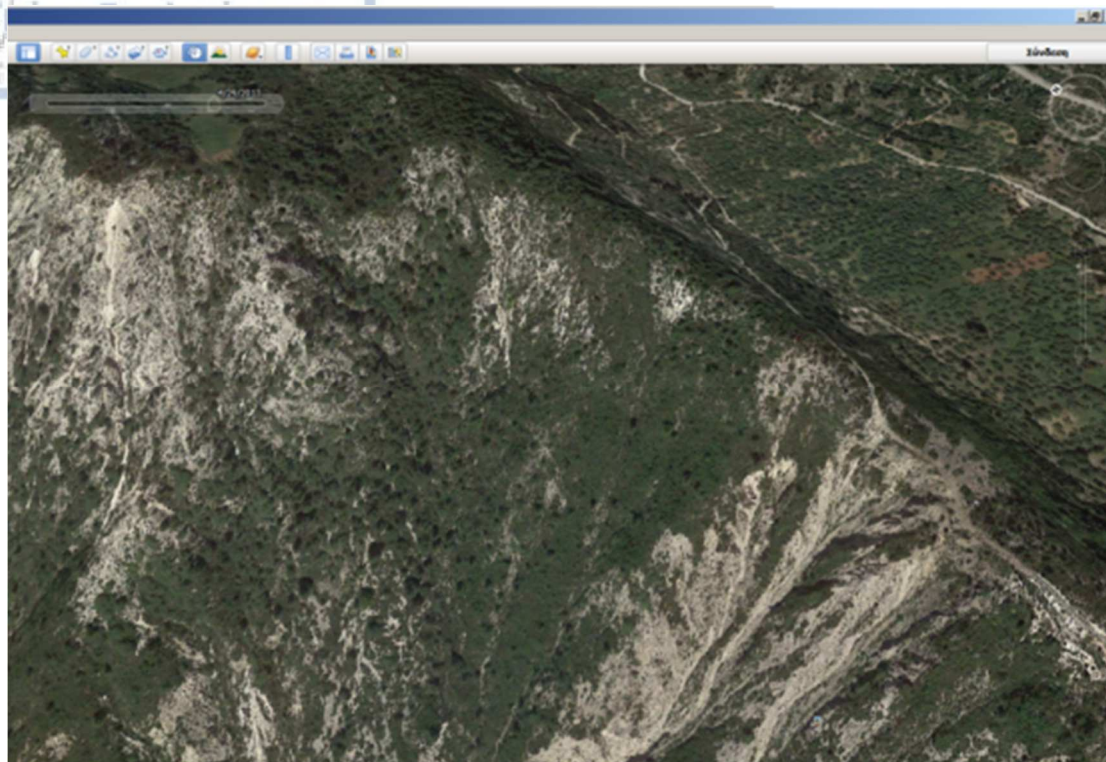
Εικόνα 2.3.7 (Περιοχή της κατολίσθησης 4 πριν το 2015)

Post 2015:



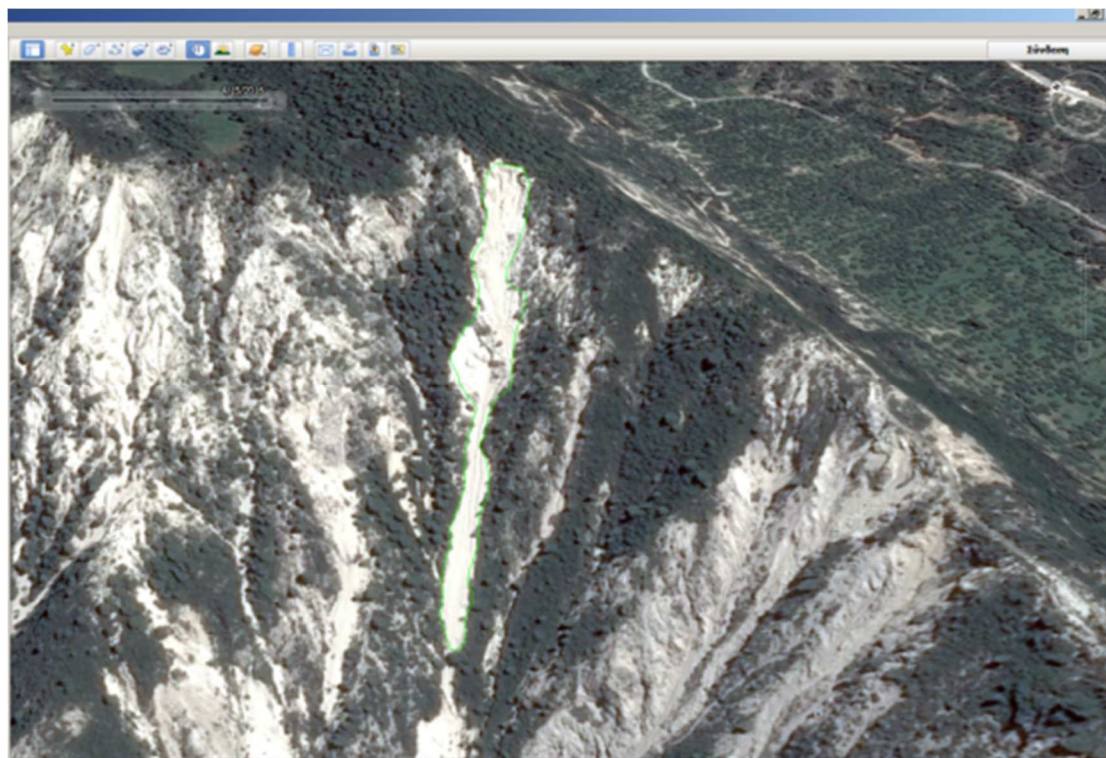
Εικόνα 2.3.8 (Περιοχή της κατολίσθησης 4 μετά το 2015)

Landslide 5 Pre 2015:



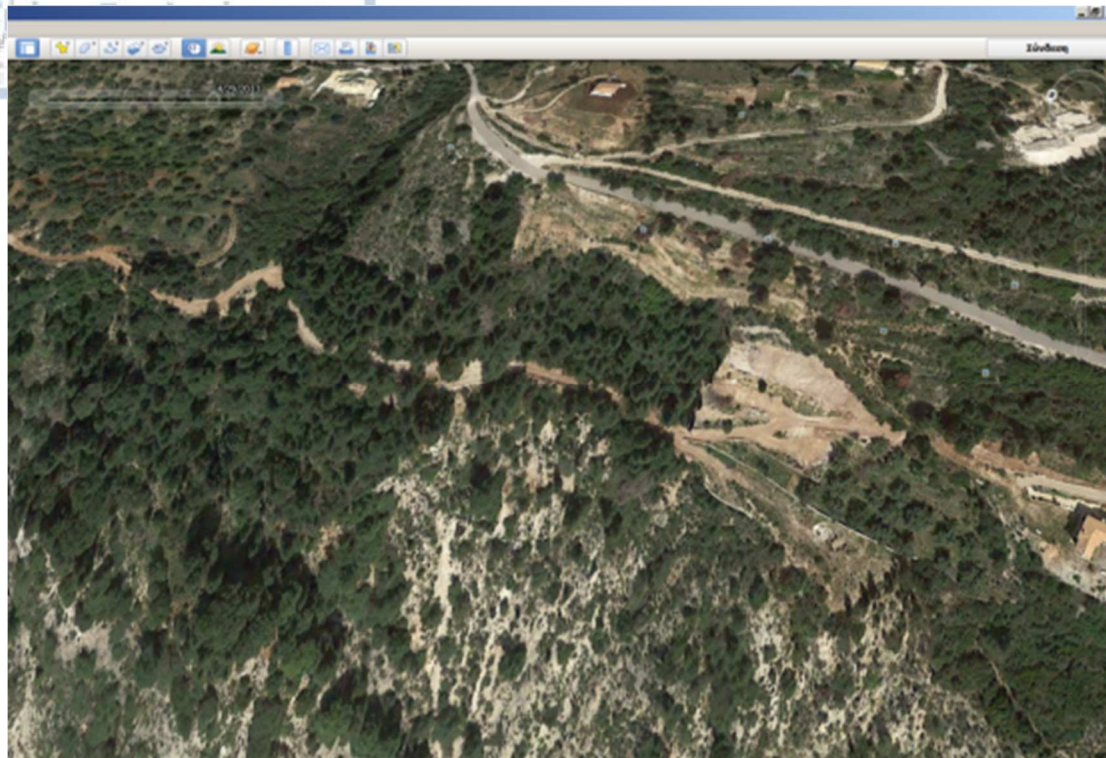
Εικόνα 2.3.9 (Περιοχή της κατολίσθησης 5 πριν το 2015)

Post 2015:



Εικόνα 2.3.10 (Περιοχή της κατολίσθησης 5 μετά το 2015)

Landslide 6 Pre 2015:



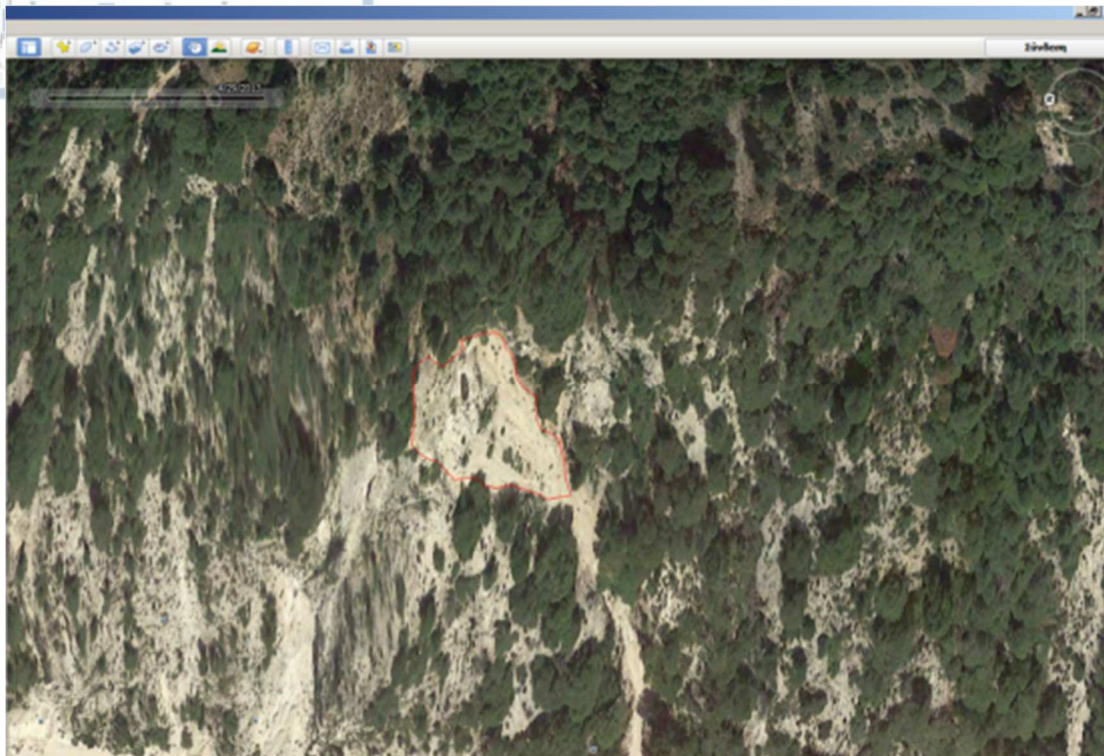
Εικόνα 2.3.11 (Περιοχή της κατολίσθησης 6 πριν το 2015)

Post 2015:



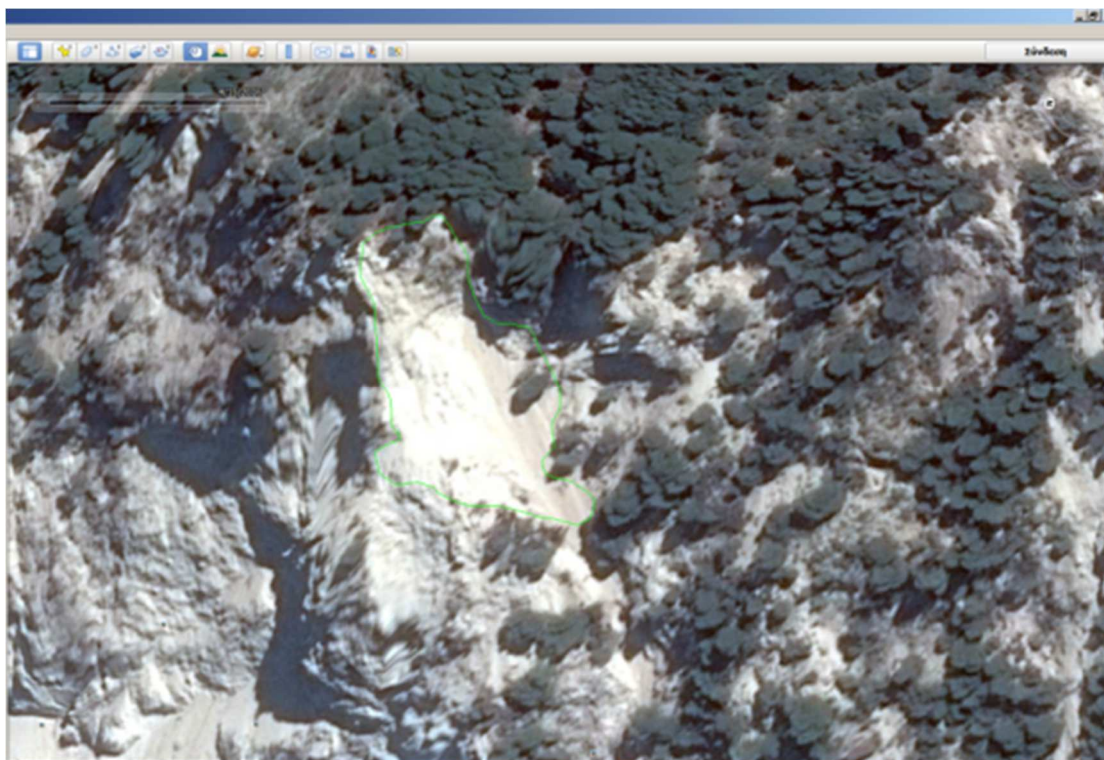
Εικόνα 2.3.12 (Περιοχή της κατολίσθησης 6 μετά το 2015)

Landslide 7 Pre 2015:

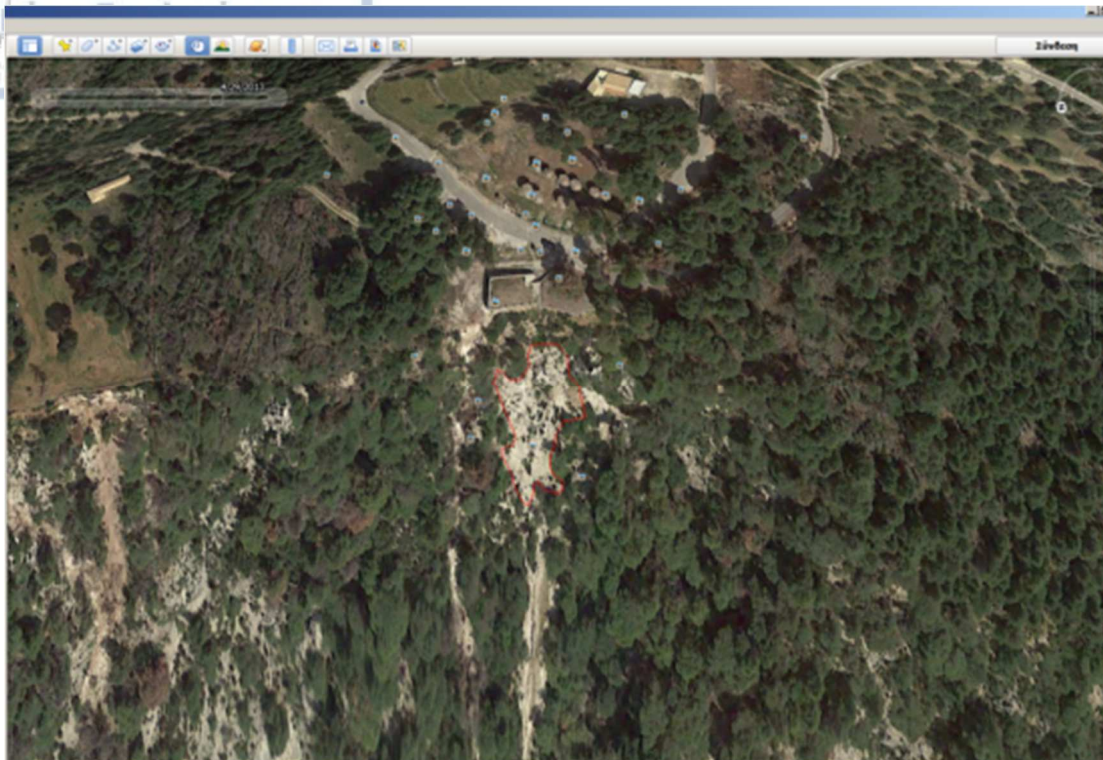


Εικόνα 2.3.13 (Περιοχή της κατολίσθησης 7 πριν το 2015)

Post 2015:

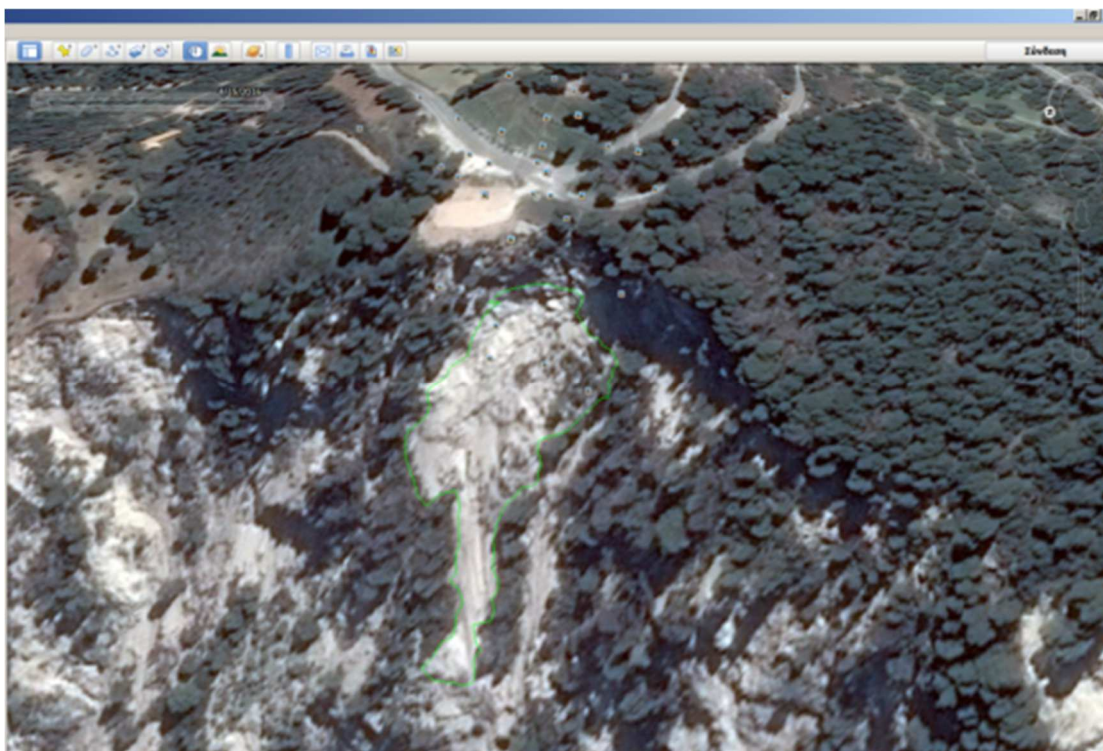


Εικόνα 2.3.14 (Περιοχή της κατολίσθησης 7 μετά το 2015)



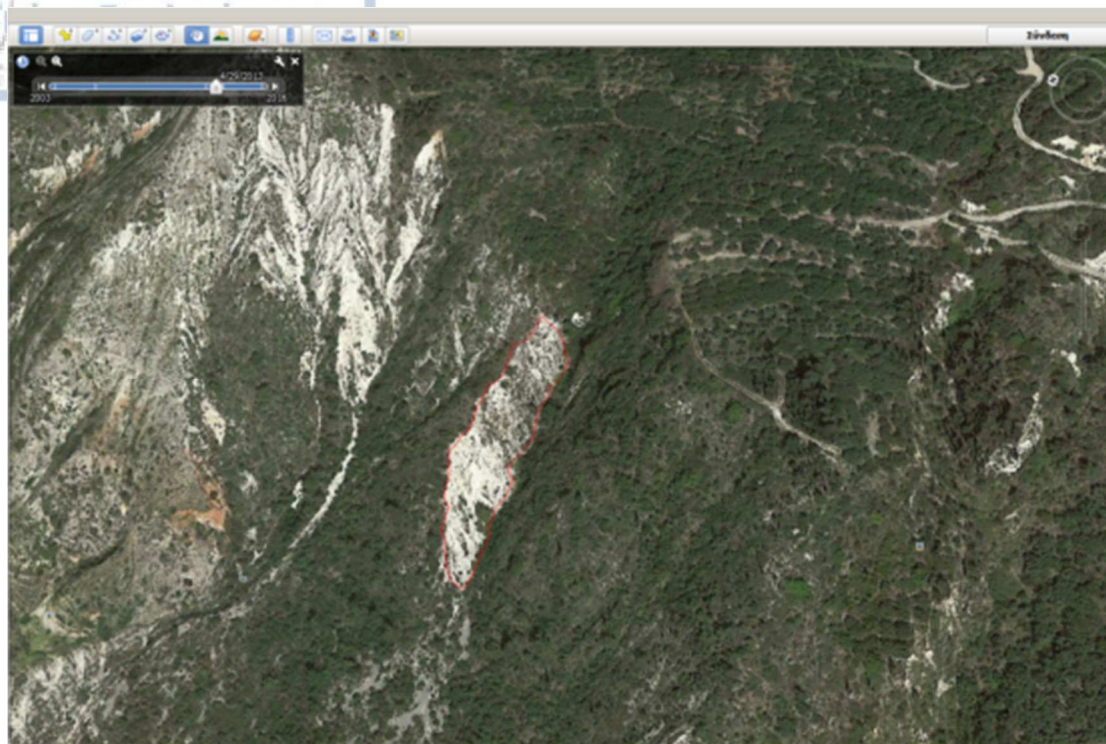
Εικόνα 2.3.15 (Περιοχή της κατολίσθησης 8 πριν το 2015)

Post 2015:



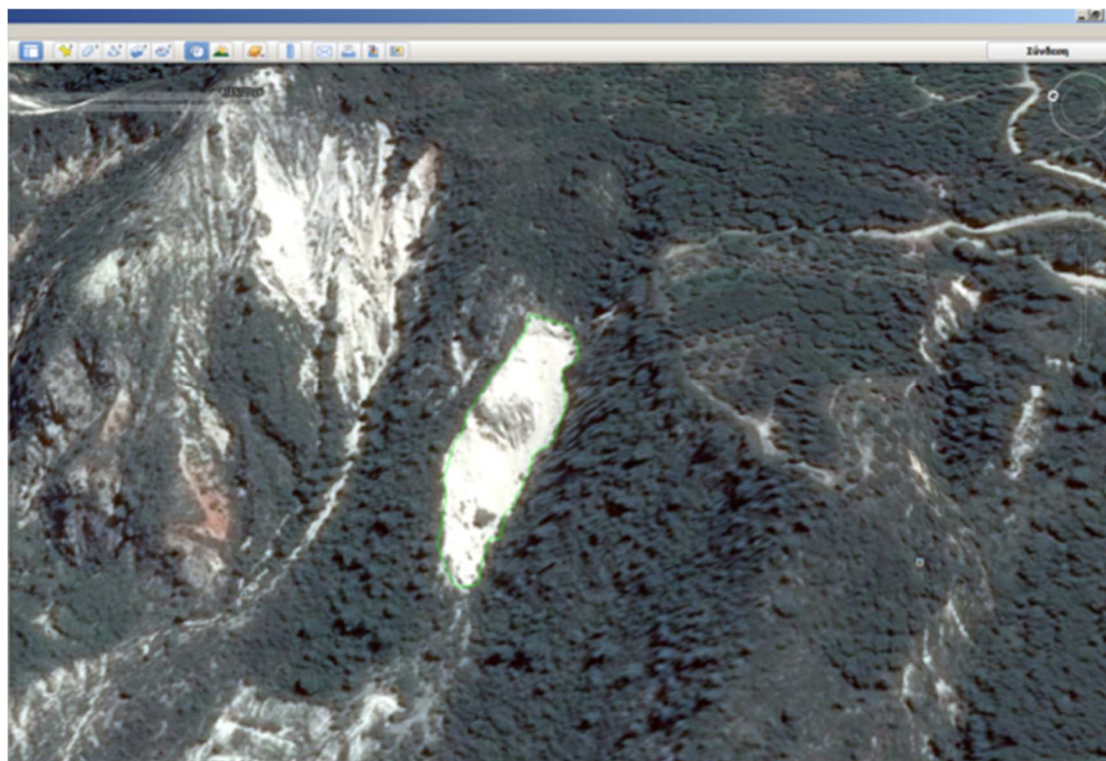
Εικόνα 2.3.16 (Περιοχή της κατολίσθησης 8 μετά το 2015)

Landslide 9 Pre 2015:



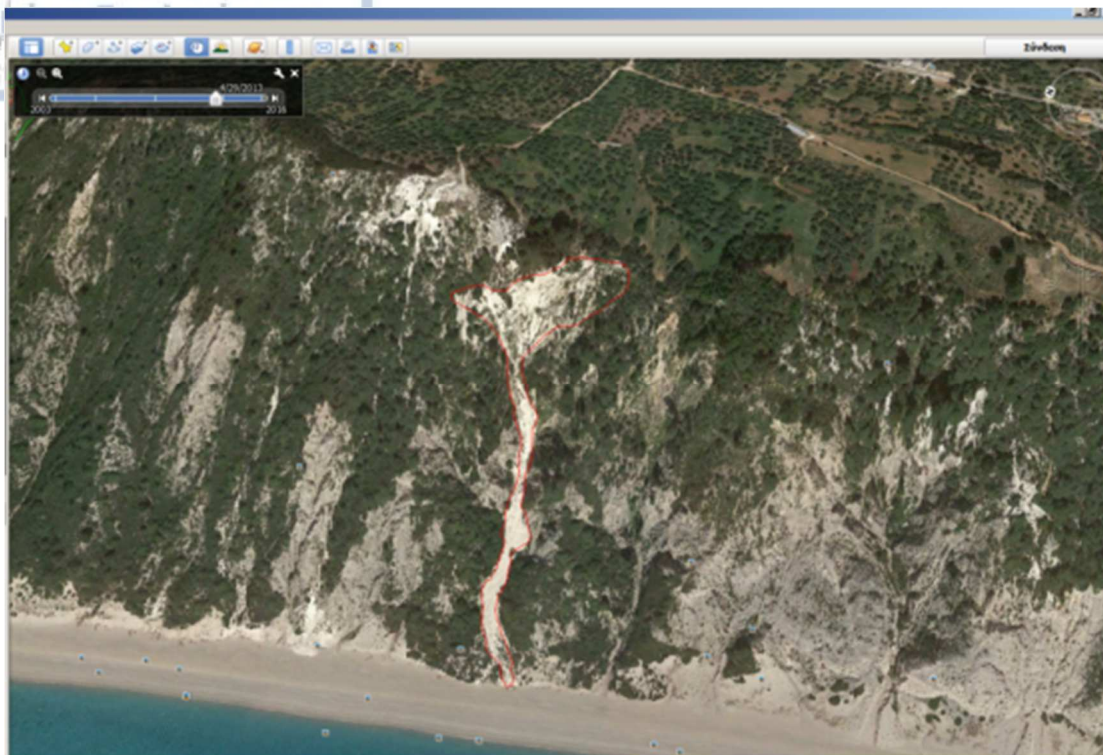
Εικόνα 2.3.17 (Περιοχή της κατολίσθησης 9 πριν το 2015)

Post 2015:



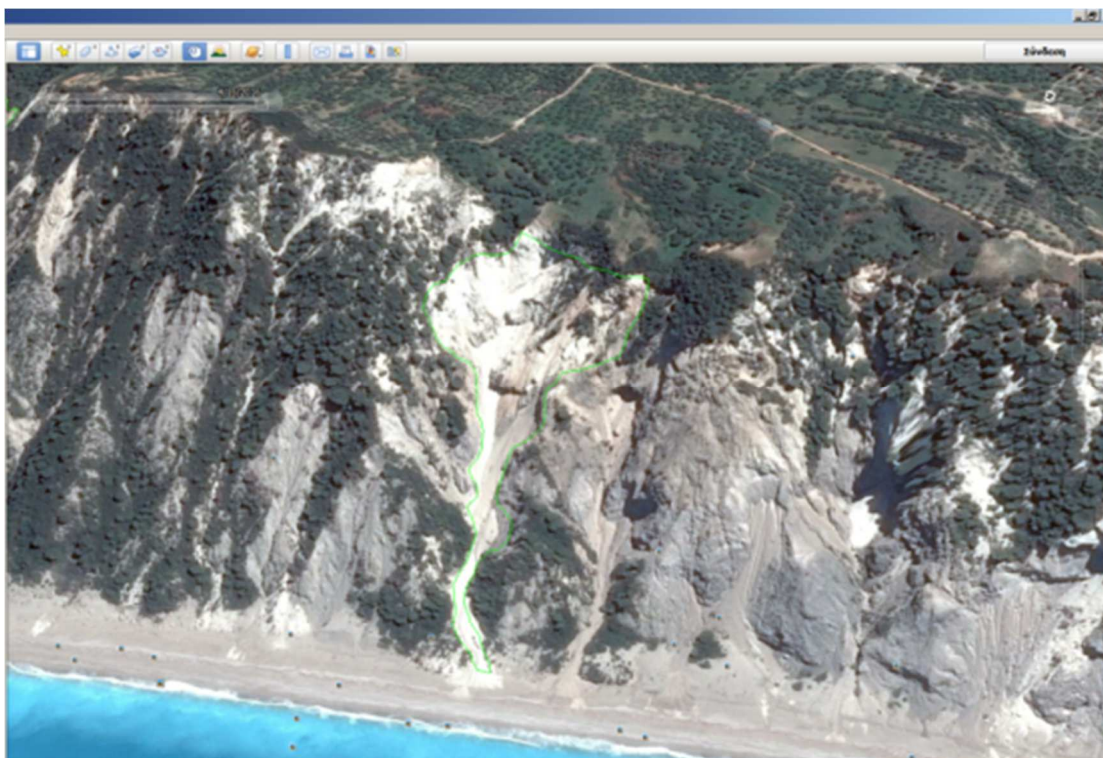
Εικόνα 2.3.18 (Περιοχή της κατολίσθησης 9 μετά το 2015)

Landslide 10 Pre 2015:

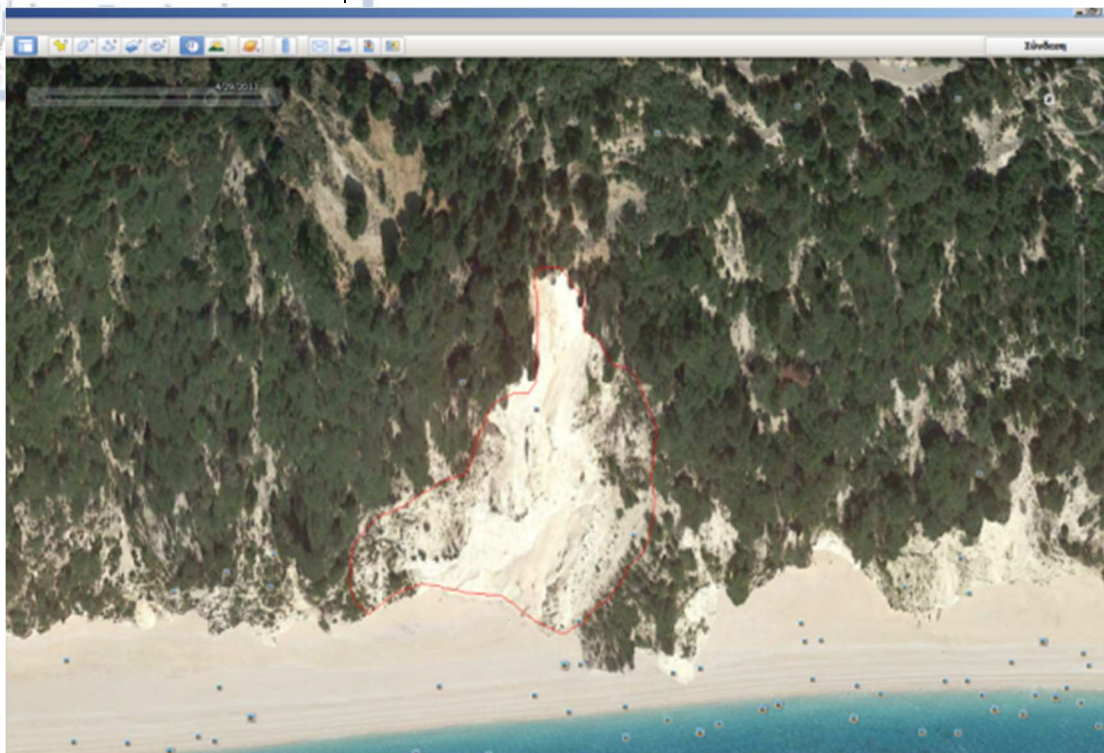


Εικόνα 2.3.19 (Περιοχή της κατολίσθησης 10 πριν το 2015)

Post 2015:

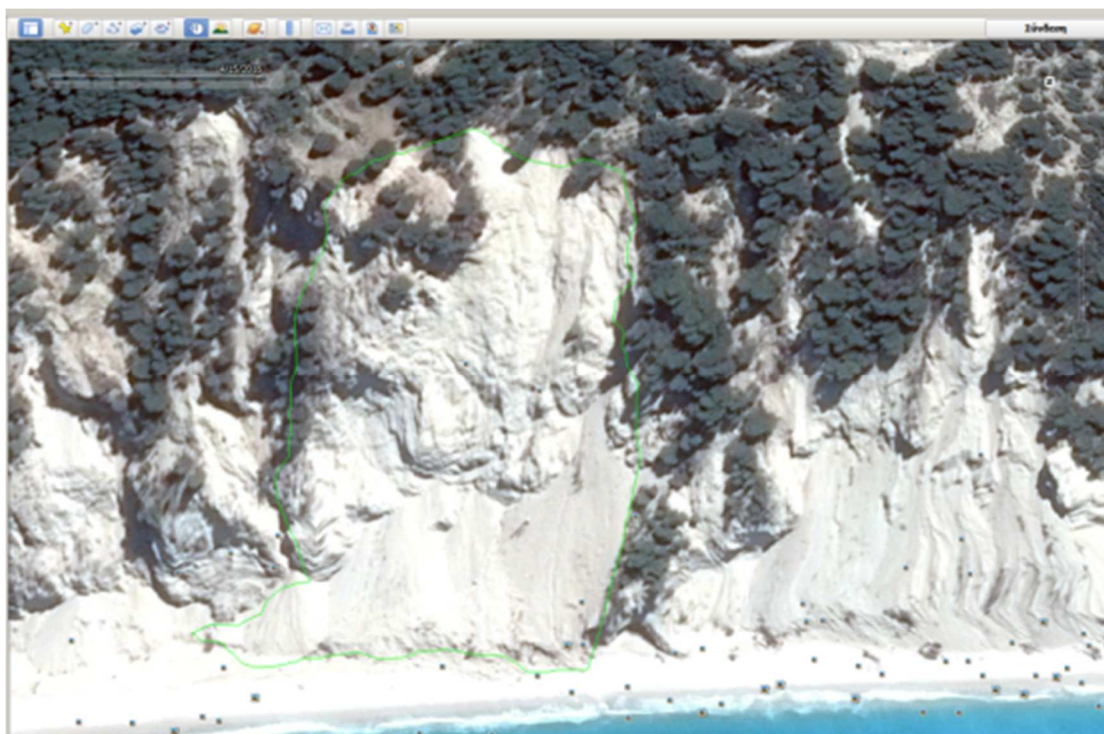


Εικόνα 2.3.20 (Περιοχή της κατολίσθησης 10 μετά το 2015)



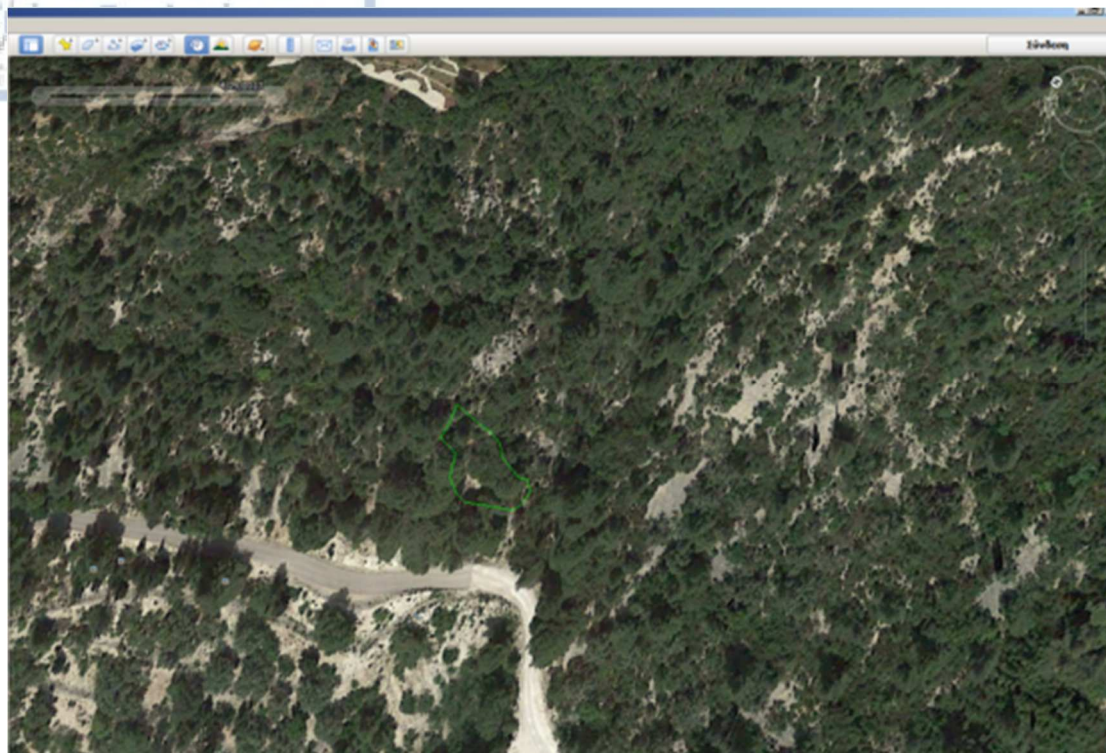
Εικόνα 2.3.21 (Περιοχή της κατολίσθησης 11 πριν το 2015)

Post 2015:



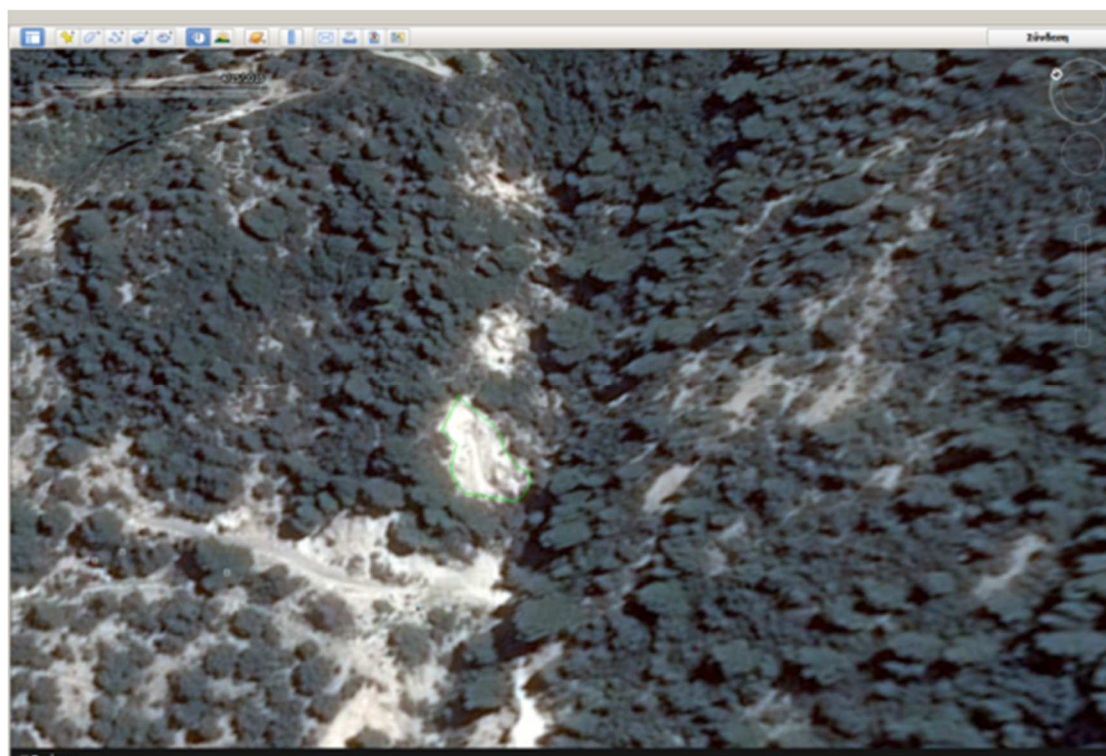
Εικόνα 2.3.22 (Περιοχή της κατολίσθησης 11 μετά το 2015)

Landslide 12 Pre 2015:



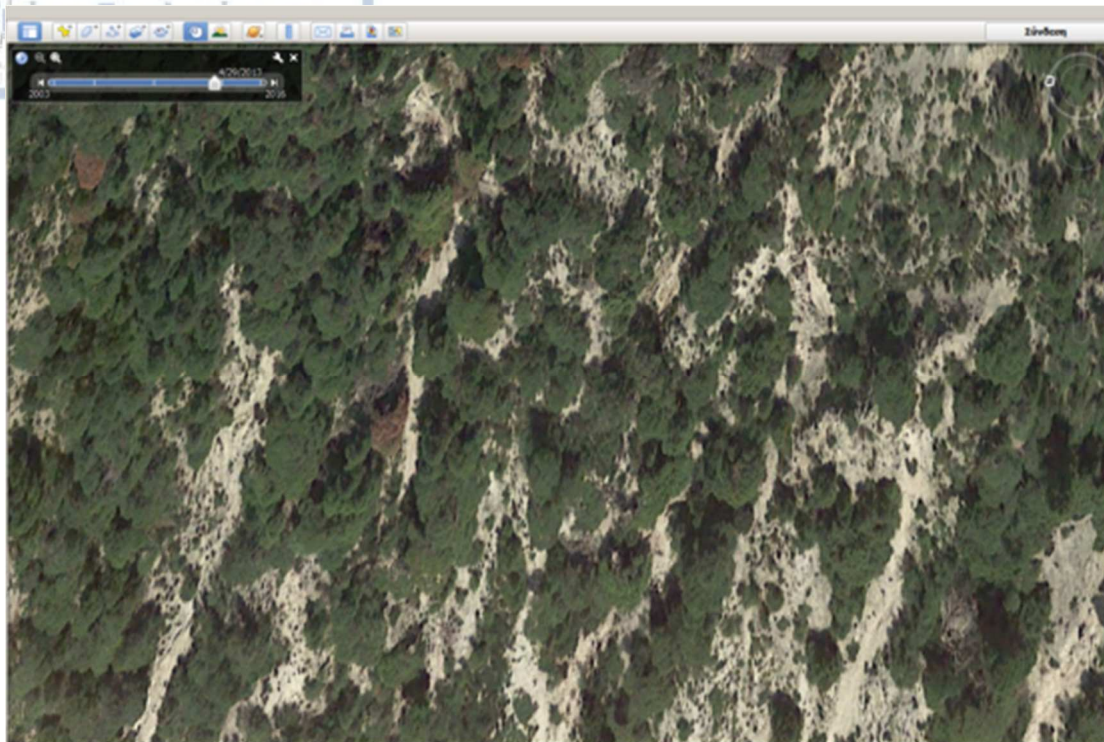
Εικόνα 2.3.23 (Περιοχή της κατολίσθησης 12 πριν το 2015)

Post 2015:



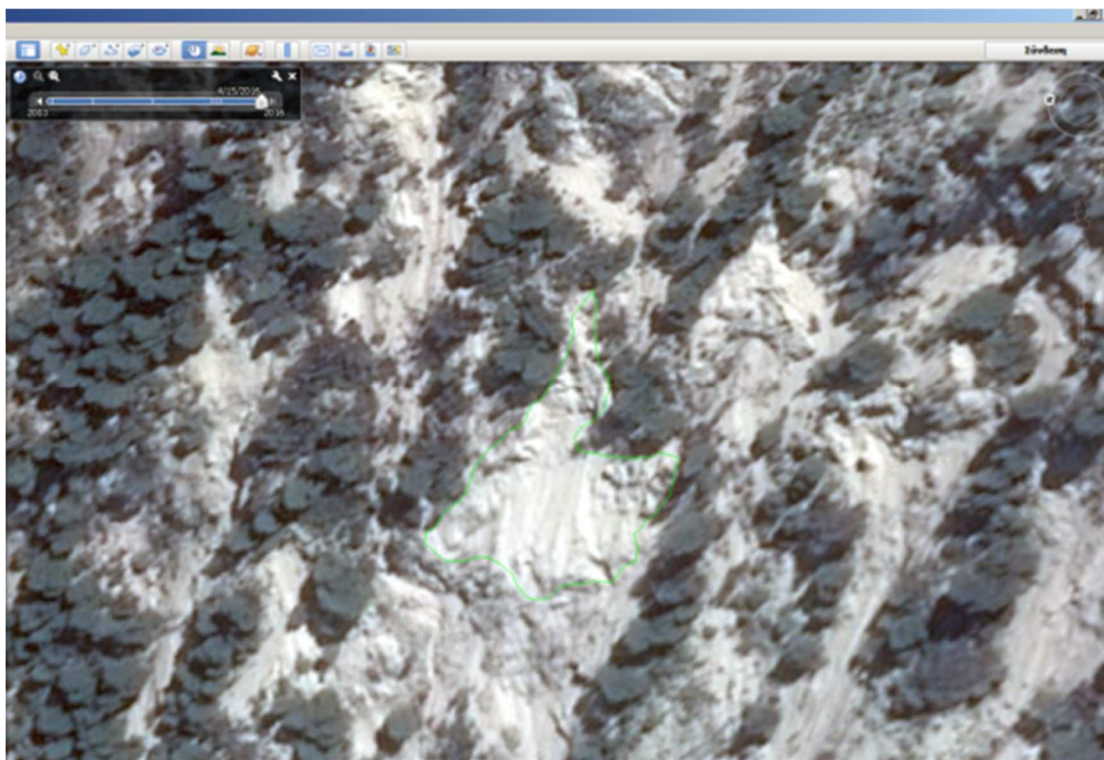
Εικόνα 2.3.24 (Περιοχή της κατολίσθησης 12 μετά το 2015)

Landslide 13 Pre 2015:



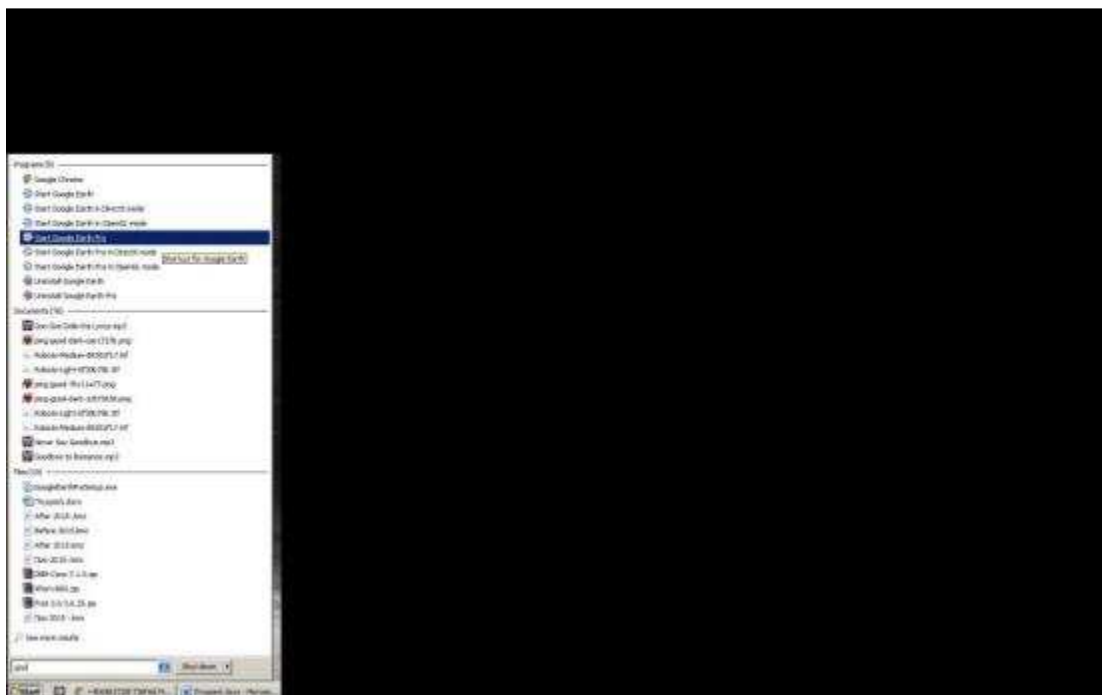
Εικόνα 2.3.25 (Περιοχή της κατολίσθησης 13 πριν το 2015)

Post 2015:



Εικόνα 2.3.26 (Περιοχή της κατολίσθησης 13 μετά το 2015)

Αρχικά κάνουμε εκκίνηση το πρόγραμμα Google Earth όπως φαίνεται παρακάτω:

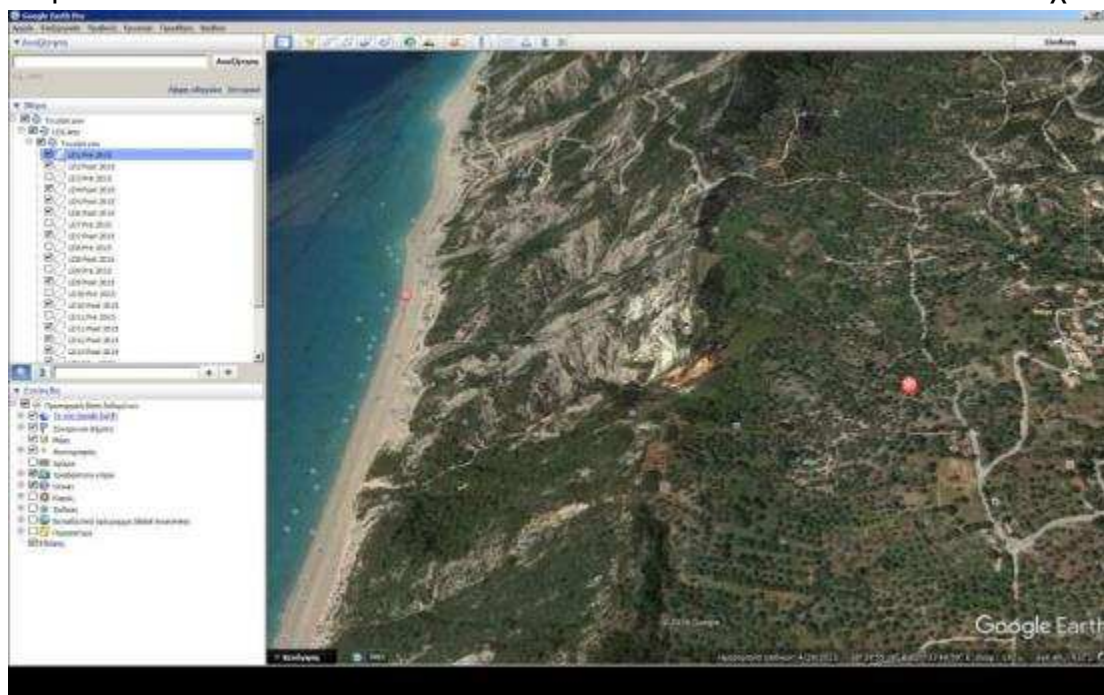


Στη συνέχεια επιλέγουμε με διπλό click την κατολίσθηση που έχουμε επιλέξει και το Google Earth μας μεταφέρει στη περιοχή



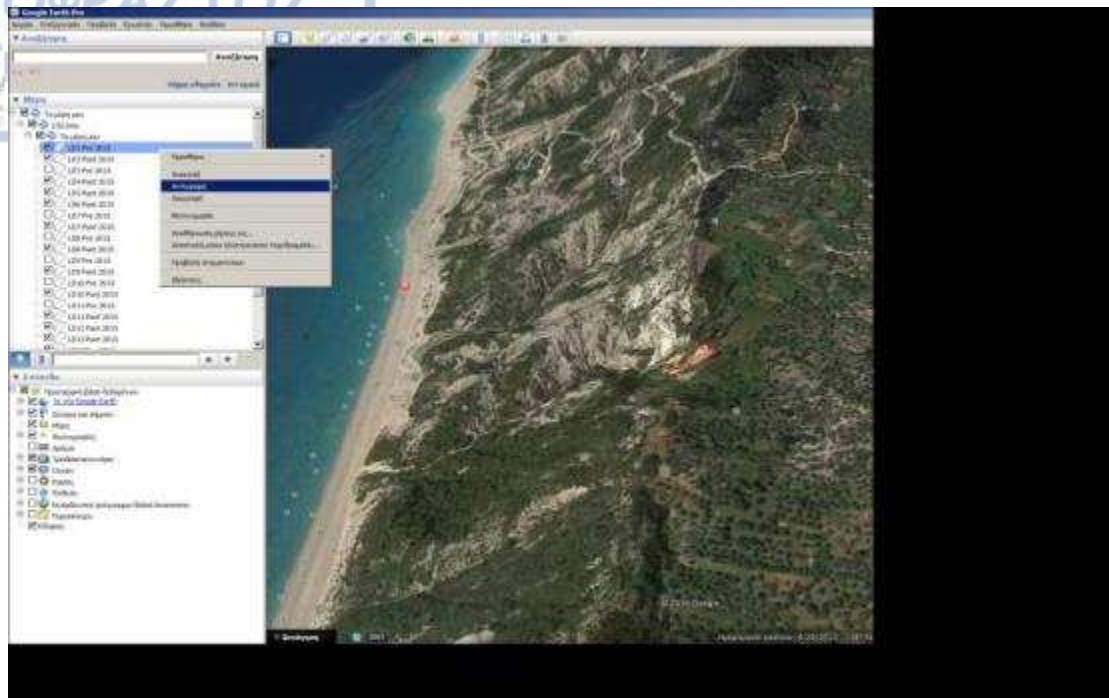
Στη

συνέχεια:

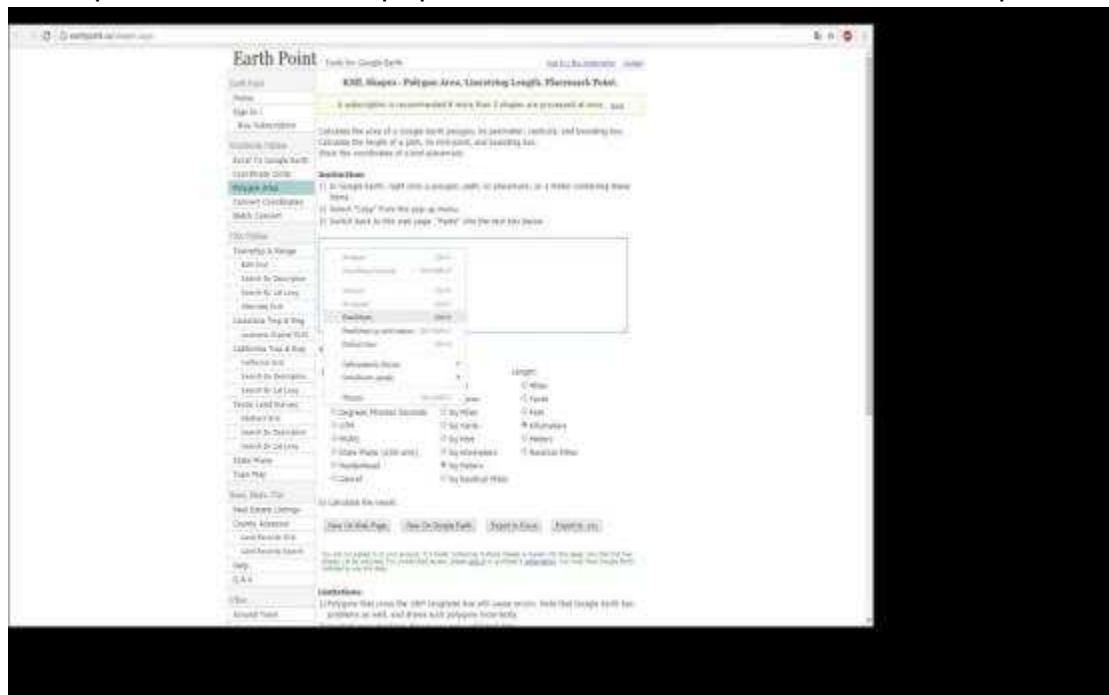


Το επόμενο βήμα είναι να ανοίξουμε τον Internet browser και να μπούμε στην ιστοσελίδα : <http://earthpoint.us/shapes.aspx>

Στη συνέχεια κάνουμε αντιγραφή την κατολίσθηση που μας ενδιαφέρει ( Στη συγκεκριμένη περίπτωση LS1 Pre 2015)



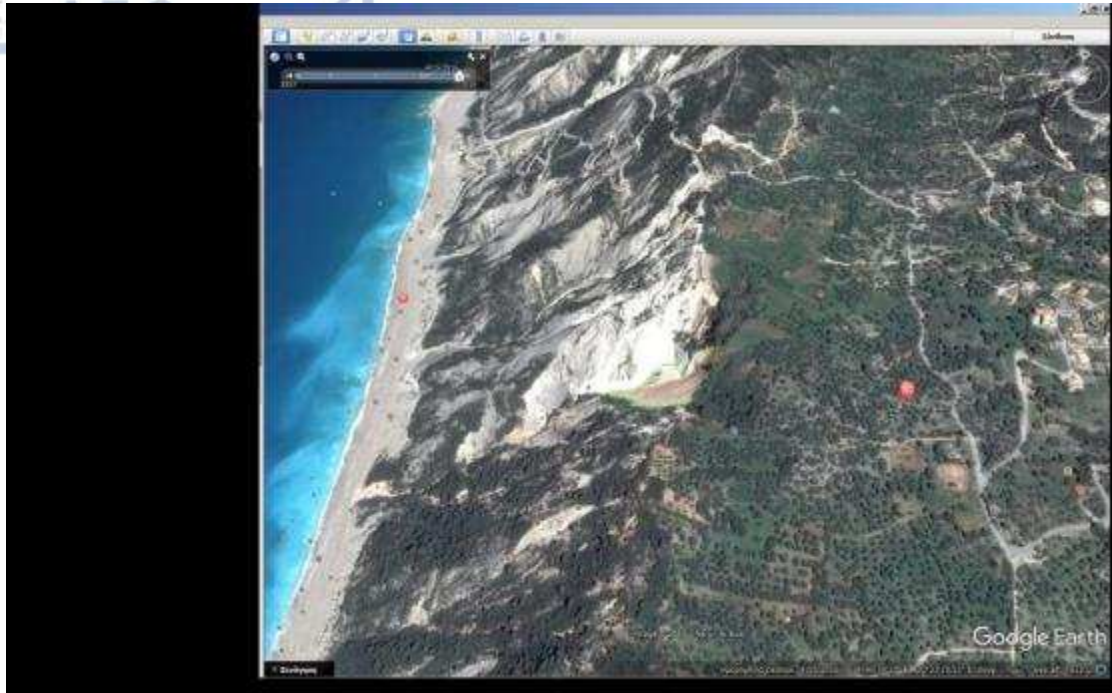
Στη συνέχεια έχοντας επιλεγμένα τις μονάδες μέτρησης που μας ενδιαφέρουν κάνουμε επικόλληση στο πεδίο παρακάτω:



Τέλος κάνουμε εξαγωγή σε αρχείο excel και λαμβάνουμε με αυτό τον τρόπο πληροφορίες για την επιλεγμένη κατολίσθηση όπως η περίμετρος και η επιφάνεια της.

Με το παραπάνω τρόπο υπολογίζονται και οι υπόλοιπες κατολισθήσεις και μας δίνεται η δυνατότητα με αυτό τον τρόπο της σύγκρισης κατολισθήσεων πριν και μετά από ένα σεισμικό γεγονός

Η επιλογή του χρόνου γίνεται στο Google Earth από πάνω αριστερά όπως εικονίζεται παρακάτω:



|                           | Εμβαδόν<br>Κατολίσθησ<br>ης<br>(τμ <sup>2</sup> ) | Περίμετρος<br>Κατολίσθησ<br>ης<br>(μ) | Γεωλογία<br>θέσης                                                | Τυπος<br>Κατολίσθησ<br>ης                | Γεωγραφικέ<br>ς<br>συντεταγμέν<br>ες        |
|---------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>LD1 Pre 2015</b>       | <b>1.228</b>                                      | <b>188</b>                            | <b>Ανθρακικ<br/>ά/<br/>Κορήματ<br/>α</b>                         | <b>Καταπτώσει<br/>ς βράχων/<br/>Ροές</b> | <b>38°39'53" B<br/>20°33'47" E</b>          |
| <b>LD1 Post<br/>2015</b>  | <b>11.499</b>                                     | <b>534</b>                            |                                                                  |                                          |                                             |
| <b>LD2 Post<br/>2015</b>  | <b>481</b>                                        | <b>133</b>                            | <b>Χαλαρά<br/>Ανθρακικ<br/>ά</b>                                 | <b>Ροή</b>                               | <b>38°39'13" B<br/>20°33'43" E</b>          |
| <b>LD3 Pre 2015</b>       | <b>167</b>                                        | <b>75</b>                             | <b>Κλαστικά<br/>ιζήματα</b>                                      | <b>Ροή/<br/>Πλευρική<br/>εξάπλωση</b>    | <b>38°41'59" B<br/>20°34'25" E</b>          |
| <b>LD3 Post<br/>2015</b>  | <b>2.041</b>                                      | <b>201</b>                            |                                                                  |                                          |                                             |
| <b>LD4 Post<br/>2015</b>  | <b>1.556</b>                                      | <b>231</b>                            | <b>Χαλαρά<br/>Ανθρακικ<br/>ά</b>                                 | <b>Ροή</b>                               | <b>38°42'00.27'<br/>' B<br/>20°34'25" E</b> |
| <b>LD5 Post<br/>2015</b>  | <b>6.148</b>                                      | <b>621</b>                            | <b>Χαλαρά<br/>Ανθρακικ<br/>ά</b>                                 | <b>Ροή</b>                               | <b>38°40'41" B<br/>20°33'54" E</b>          |
| <b>LD6 Post<br/>2015</b>  | <b>3.253</b>                                      | <b>306</b>                            | <b>Πλευρικά<br/>κορήματα<br/>/<br/>Χαλαρά<br/>Ανθρακικ<br/>ά</b> | <b>Ροή/<br/>Πλευρική<br/>εξάπλωση</b>    | <b>38°39'01" B<br/>20°33'43" E</b>          |
| <b>LD7 Pre 2015</b>       | <b>1.709</b>                                      | <b>183</b>                            | <b>Ανθρακικ<br/>ά</b>                                            | <b>Καταπτώσει<br/>ς βράχων/<br/>Ροές</b> | <b>38°37'59" B<br/>20°33'35" E</b>          |
| <b>LD7 Post<br/>2015</b>  | <b>4.042</b>                                      | <b>306</b>                            |                                                                  |                                          |                                             |
| <b>LD8 Pre 2015</b>       | <b>717</b>                                        | <b>141</b>                            | <b>Χαλαρά<br/>Ανθρακικ<br/>ά</b>                                 | <b>Ροή/<br/>Πλευρική<br/>εξάπλωση</b>    | <b>38°37'43" B<br/>20°33'39" E</b>          |
| <b>LD8 Post<br/>2015</b>  | <b>3.712</b>                                      | <b>366</b>                            |                                                                  |                                          |                                             |
| <b>LD9 Pre 2015</b>       | <b>2.283</b>                                      | <b>256</b>                            | <b>Ανθρακικ<br/>ά</b>                                            | <b>Πλευρική<br/>εξάπλωση</b>             | <b>38°45'53" B<br/>20°35'53" E</b>          |
| <b>LD9 Post<br/>2015</b>  | <b>3.124</b>                                      | <b>277</b>                            |                                                                  |                                          |                                             |
| <b>LD10 Pre<br/>2015</b>  | <b>8.509</b>                                      | <b>903</b>                            | <b>Ανθρακικ<br/>ά/<br/>Κορήματ<br/>α</b>                         | <b>Ροή/<br/>Πλευρική<br/>εξάπλωση</b>    | <b>38°39'31" B<br/>20°33'40" E</b>          |
| <b>LD10 Post<br/>2015</b> | <b>19.202</b>                                     | <b>972</b>                            |                                                                  |                                          |                                             |

|                           |               |            |                                                      |                                          |                                    |
|---------------------------|---------------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
| <b>LD11 Pre<br/>2015</b>  | <b>8.524</b>  | <b>433</b> | <b>Ανθρακικ<br/>ά/<br/>Χαλαρά<br/>Ανθρακικ<br/>ά</b> | <b>Καταπτώσει<br/>ς βράχων/<br/>Ροές</b> | <b>38°38'26" Β<br/>20°33'33" Ε</b> |
| <b>LD11 Post<br/>2015</b> | <b>25.171</b> | <b>705</b> |                                                      |                                          |                                    |
| <b>LD12 Post<br/>2015</b> | <b>384</b>    | <b>85</b>  | <b>Χαλαρά<br/>Ανθρακικ<br/>ά</b>                     | <b>Ροή/<br/>Πλευρική<br/>εξάπλωση</b>    | <b>38°38'15" Β<br/>20°33'43" Ε</b> |
| <b>LD13 Post<br/>2015</b> | <b>1.709</b>  | <b>232</b> | <b>Χαλαρά<br/>Ανθρακικ<br/>ά</b>                     | <b>Ροή/<br/>Πλευρική<br/>εξάπλωση</b>    | <b>38°37'49" Β<br/>20°33'34" Ε</b> |

Πίνακας 2.3.1 : Στοιχεία των κατολισθήσεων πριν και μετά το σεισμό του 2015

Στο παραπάνω πίνακα είναι υπόλογισμένες οι διαστάσεις της επιφάνειας και της περιμέτρου των κατολισθήσεων καθώς και η γεωλογία της θέσης και οι γεωγραφικές συντεταγμένες αλλά και μια πρόδρομη αξιολόγηση του τύπου της κατολισθήσης από τις εικόνες του Google Earth οι οποίες είναι εικονιζόμενες στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Συμπερασματικά φαίνεται ότι το μέγεθος των κατολισθήσεων αυξήθηκε μετά το σεισμό στις προϋπάρχουσες ενεργές κατολισθήσεις αλλά και ενεργοποίησε κατολισθήσεις που πριν δεν φαινόταν κάποιου είδους κίνηση από τις αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες που παρέχει το Google Earth.

## 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία αποτελείται από επεξεργασία δεδομένων που πάρθηκαν από δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες μέσω του προγράμματος Google Earth Pro. Η περιοχή της Λευκάδας πλήττεται σε μεγάλο βαθμό από σεισμικά γεγονότα που στη παρούσα εργασία έγινε μελέτη για το σεισμό του Νοεμβρίου του 2015. Ο σεισμός αυτός προκάλεσε εκτεταμένες κατολισθήσεις στο νησί με αποτέλεσμα τον αποκλεισμό περιοχών του νησιού και καταστροφή του υπάρχοντος οδικού δικτύου, ειδικά στο δυτικό κομμάτι του όπου τα πετρώματα είναι τεκτονικά καταπονημένα και αποσαθρωμένα, τα οποία ανήκουν στον ασβεστολιθικό υπόβαθρο της ζώνης Παξών.

Παρατηρείτε ότι οι επικρατούσες κατολισθήσεις είναι τύπου καταπτώσεις βραχών και ροές/πλευρικές εξαπλώσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί το ασβεστολιθικό υπόβαθρο είναι κατακερματισμένο με χαμηλές τιμές στο κλίμακα GSI, ενώ τα κλαστικά ιζήματα που αποτέθηκαν μετέπειτα έδωσαν τις ροές και πλευρικές εξαπλώσεις. Ο ακριβής διαχωρισμός των υλικών απαιτεί επί τόπου παρατήρηση καθώς οι εικόνες που ήταν διαθέσιμες στη παρούσα έρευνα δεν είναι ικανές να δώσουν περαιτέρω πληροφορίες.

Ως αποτέλεσμα της μελέτης αυτής, στις περιοχές στις οποίες υπήρξε δημιουργία νέας ή επανενεργοποίηση υπάρχουσας κατολίσθησης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από την τοπική κοινωνία για την αντιμετώπιση των μελλοντικών κατολισθητικών φαινομένων

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Chong Xu., Xiwei Xu. (2014) The spatial distribution pattern of landslides triggered by the 20 April 2013 Lushan earthquake of China and its implication to identification of the seismogenic fault

Coates, D.R (1977). Landslide Perspectives. In Landslides, ed. D.R. Coates, pp. 3-28 Washington DC : Geological Society of America

Cushing (1985) : Structural evolution of north west Hellenique ( Levkas island)

Guzzetti Fausto, Mondini Cesare Alessandro, Cardinali Mauro, Fiorucci Federica, Santangelo Michele, Chang Kang-Tsung, (2012) : Landslide inventory maps: New tools for an old problem

Harp L. Edwin, Godt W. Jonathan , Coe A. Jeffrey,. Kean W. Jason , Rex L. Baum, Jones S. Eric, Staley M. Dennis, and Barnhart D. William (2014) : Landslides in the Northern Colorado Front Range Caused by Rainfall

Havenith Hans-Balder., Almaz Torgoev., Anika Braun., Romy Schlögel., Mihai Micu : A new classification of earthquake-induced landslide event sizes based on seismotectonic, topographic, climatic and geologic factors

Hoek Evert, Bray D. Jonathan (1981) : Rock Slope Engineering: Third Edition

Jibson, DK Keefer (1993): Analysis of the seismic origin of landslides: examples from the New Madrid seismic zone

Jibson, R.W., Harp, E.L., and Michael, J.A., (2000): A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps: Engineering Geology, v. 58, p. 271-289

Kurdin, R. D. Classification of Mudflows (1973) : Soviet Hydrology, Vol. 12, No. 4, pp. 310-316

Louvari E., Kiratzi A., Papazachos B.C (1999): The Cephalonia Transform Fault and its extension to western Lefkada Island (Greece)

Mihir M. and Malamud B.(2014) : Identifying Landslides Using Google Earth

Papathanassiou, G., Pavlides, Sp., 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, Volume 82, Issue 1, Pages 12-3

Papazachos, B.C. (1990) :Seismicity of the Aegean and surrounding area, Tectonophysics, Vol. 178, pp.287–308

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

Terzaghi, K. (1943), Theoretical Soil Mechanics, John Wiley and Sons, New York

Terzaghi, K., Peck, R. B. and Mesri, G. (1996) :Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd Ed. Wiley-Interscience

WP/ WLI (1990) : A Suggested Method for Reporting a Landslide

Záruba Q. Mencl V. (1969) : Landslides and Their Control, Elsevier, Amsterdam, 205 pp., 155 illus., Dfl. 40.00

Γρένδας Α. Νικόλαος (2016) : Τεχνικογεωλογική Χαρτογράφηση και Αποτύπωση Κατολισθήσεων στο Δυτικό Τμήμα Της Λευκάδας

Ευθυμίου Μαρία : Κατολισθήσεις στην Κύπρο και οι συνέπειες τους στο Δομημένο Περιβάλλον

Κούκης Γεώργιος – Σαμπατακάκης Νικόλαος (2007) : Γεωλογία Τεχνικών Έργων

Λαζοκίσιος Βασίλης : Η Γεωλογική Δομή της Ευρύτερης περιοχής του Αγίου Ηλία Λευκάδος

Λέκκας Ε., Βερυκίου Ε., Δανάμος Γ., Λόζιος Σ., Σκούρτσος Ε. : Η Γεωγραφική κατανομή των κατολισθήσεων στον σεισμό της Λευκάδας (14 Αυγούστου 2003) και παράγοντες που ευνοούν την εκδήλωσή τους

Λουπασάκης Κωνσταντίνος (2013-2014) : 'Τεχνική Γεωλογία 1'

Μουντράκης Δ., (2010), Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδος

Μπλιώνα Μ. (2008) : Ανάπτυξη Βάσης Δεδομένων Κατολισθήσεων στον Ελληνικό Χώρο

Μπίρος Δημήτριος (2014) : Τεχνικογεωλογική Αξιολόγηση Γνευσιακών Βραχομάζων στην Ευστάθεια Τεχνητών πρανών Οδοποιίας. Τύποι Βραχώμαζας – Μηχανισμοί Αστοχίας – Αναλύσεις Ευστάθειας

Μπουντίνια Νικολλέτα (2012) : Ανάλυση των κατολησθητικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο που ενεργοποιούνται από Βροχοπτώσεις

Πολυκρέτης Χρήστος (2013) : Ανάπτυξη Μοντέλων Εκτίμησης της Επιδεκτικότητας για Εκδήλωση Κατολίσθησης με τη χρήση μεθόδων Γεωπληροφορικής και τεχνητής νοημοσύνης.



Τόλιος Ιωάννης (2013) : Είδη, αίτια και τρόποι αντιμετώπισης των κατολισθήσεων