

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΠΙ-
ΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ ΒΡΑΧΩΝ
ΣΤΗΝ ΤΟΠΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΥΚΙΑΣ ΦΩΚΙΔΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΤΑΜΟΣ

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Τσακίρη Μ, Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΠΙ-
ΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ ΒΡΑΧΩΝ
ΣΤΗΝ ΤΟΠΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΥΚΕΩΝ ΦΩΚΙΔΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΤΑΜΟΣ

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: ΤΣΑΚΙΡΗ ΜΑΡΙΑ

ΕΓΚΡΙΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΡΙΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

.....

.....

ΑΘΗΝΑ, 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κ. Μαρία Τσακίρη Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής για την καθοδήγηση κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χαρίλαο Ζαχαριάδη Αγρονόμο και Τοπογράφο Μηχανικό, ο οποίος συνέβαλλε στην διεκπεραίωση των εργασιών πεδίου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Παναγιώτη Μπάκα Αγρονόμο και Τοπογράφο Μηχανικό για την άμεση και ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχε σε εξοπλισμό αλλά και συμβουλές για την διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμη και την κυρία Λήδα Στάμου για την υποστήριξη και την καθοδήγηση σε θέματα που αφορούσαν την ανάλυση δεδομένων GIS.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους συμφοιτητές μου Αθηνά Ανδρεάδη, Παναγιώτη Κλουκίνα και Αποστόλη Τσουραπά για την βοήθεια που μου προσέφεραν σε διάφορα στάδια και οι οποίοι με βοήθησαν να ολοκληρώσω την διπλωματική μου εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου οι οποίοι υπήρξαν πάντα ένα μεγάλο στήριγμα για μένα καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τον τελευταίο καιρό, η συχνότητα και οι επιπτώσεις των κατολισθήσεων έχουν γίνει όλο και πιο έντονες, γεγονός που καθιστά αναγκαία την επείγουσα προσοχή για την πρόληψη, την παρακολούθηση και τον μετριασμό αυτών των γεωλογικών φαινομένων. Η αύξηση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές αλλαγές, έχει αυξήσει τον κίνδυνο κατολισθήσεων, καθιστώντας ζωτικής σημασίας τη χρήση εξειδικευμένων μέσων τόσο για την πρόβλεψη όσο και για την αντιμετώπιση.

Η πρόληψη των κατολισθήσεων απαιτεί μια πολύπλευρη προσέγγιση, η οποία περιλαμβάνει ολοκληρωμένες μελέτες κινδύνου για την κατανόηση της δυναμικής των ευάλωτων περιοχών. Οι μελέτες αυτές, απαραίτητες για τον αποτελεσματικό μετριασμό, αναλύουν παράγοντες όπως οι γεωλογικοί σχηματισμοί, τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τα πρότυπα βροχοπτώσεων και οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Ο προσδιορισμός των πιθανών εκλυτικών παραγόντων και των παραγόντων ευαισθησίας είναι ζωτικής σημασίας για τον σχεδιασμό στρατηγικών αποτροπής ή ελαχιστοποίησης των κατολισθήσεων.

Για την αποτελεσματική καταπολέμηση των κατολισθήσεων, τα συστήματα παρακολούθησης που είναι εξοπλισμένα με προηγμένα όργανα είναι απαραίτητα. Τα όργανα αυτά περιλαμβάνουν αισθητήρες κίνησης του εδάφους, δορυφορικές εικόνες και γεωτεχνικά όργανα ικανά να ανιχνεύουν λεπτές μετατοπίσεις στο τοπίο. Τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από αυτά τα όργανα όχι μόνο βοηθούν στα συστήματα έκτακτης προειδοποίησης αλλά παρέχουν επίσης πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την εξελισσόμενη φύση των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις.

Μια διαδικασία εκτίμησης κινδύνου περιλαμβάνει τη συνεργασία μεταξύ γεωλόγων, μετεωρολόγων και μηχανικών περιβάλλοντος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις μελέτες κατολισθήσεων κυμαίνονται από φυσικά στοιχεία όπως η τοπογραφία και το κλίμα έως ανθρωπογενείς επιδράσεις όπως η αποψίλωση των δασών και η αστικοποίηση. Η ενσωμάτωση αυτών των διαφορετικών στοιχείων σε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο κινδύνου επιτρέπει στις κοινότητες και τις αρχές να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τον σχεδιασμό της χρήσης γης, την ανάπτυξη των υποδομών και την ετοιμότητα σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Στην παρούσα διπλωματική θα παρουσιαστεί μια μελέτη επικινδυνότητας που αφορά στο πρανές Ξεροβούνι, στην περιοχή Συκιάς Φωκίδας. Αρχικά γίνεται κατηγοριοποίηση των κατολισθήσεων και θα γίνει αναφορά σε κατολισθητικά φαινόμενα στον ελλαδικό αλλά και στον διεθνή χώρο. Στην συνέχεια θα αναλυθούν τα εργαλεία παρατήρησης κατολισθητικών φαινομένων. Ακολούθως θα αναλυθούν οι γεωλογικοί και κλιματικοί παράγοντες της περιοχής μελέτης ενώ στην συνέχεια περιγράφονται οι εργασίες πεδίου. Επιπλέον πραγματοποιείται η ανάλυση και επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων στα αντίστοιχα λογισμικά και εξάγονται τα ζητούμενα αποτελέσματα, τα οποία αφορούν την ανάλυση των πιθανών διαδρομών κατά την κατάπτωση πέτρινων όγκων σε πρόγραμμα προσομοίωσης καταπτώσεων. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα απ' όλα τα στάδια της μελέτης παραθέτοντας και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα μέσω της χρήσης των προγραμμάτων και τεχνικών που αξιοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη διπλωματική.

ABSTRACT

In recent times, the frequency and impact of landslides have become increasingly intense, which makes urgent attention necessary to prevent, monitor and mitigate these geological phenomena. The increase in human activities, combined with environmental changes, has increased the risk of landslides, making it vital to use specialized means for both prediction and response.

Landslide prevention requires a multi-faceted approach, which includes integrated risk studies to understand the dynamics of vulnerable areas. These studies, essential for effective mitigation, analyze factors such as geological formations, soil characteristics, rainfall patterns and human activities. The identification of potential triggering and susceptibility factors is crucial for designing strategies to prevent or minimize landslides.

For effective landslide control, monitoring systems equipped with advanced instrumentation are essential. These instruments include ground motion sensors, satellite imagery and geotechnical instruments capable of detecting subtle shifts in the landscape. Real-time data from these instruments not only help early warning systems, but also provide valuable information on the evolution of the landscape.

Landslide prevention requires a multi-faceted approach, which includes comprehensive risk studies to understand the dynamics of vulnerable areas. These studies, essential for effective mitigation, analyze factors such as geological formations, soil characteristics, rainfall patterns and human activities. The identification of potential triggering and susceptibility factors is crucial for designing strategies to prevent or minimize landslides.

For effective landslide control, monitoring systems equipped with advanced instrumentation are essential. These instruments include ground motion sensors, satellite imagery and geotechnical instruments capable of detecting subtle shifts in the landscape. Real-time data from these instruments not only aids early warning systems but also provides valuable information on the evolving nature of landslide-prone areas.

For effective landslide control, monitoring systems equipped with advanced instruments are essential. These instruments include ground motion sensors, satellite imagery and geotechnical instruments capable of detecting subtle shifts in the landscape. Real-time data from these instruments not only aids early warning systems but also provides valuable information on the evolving nature of landslide-prone areas.

A risk assessment process involves collaboration between geologists, meteorologists and environmental engineers. Factors affecting landslide studies range from natural elements such as topography and climate to anthropogenic influences such as deforestation and urbanization. Integrating these different elements into an integrated risk model allows communities and authorities to make informed decisions on land use planning, infrastructure development and emergency preparedness.

This diploma thesis will present an integrated risk study for the landslide Xerovouni at the region of Sykia Fokidas. Firstly, a bibliographic review is given on the categorization of landslides also including the landslide phenomena in Greece and internationally. Then the tools for the observation of landslide phenomena are described. Regarding the case study, the geological and climatic factors of the area are analyzed, and the field work is described. The processing and analysis of the data is described and the results are extracted. Emphasis is given in the analysis of possible paths during the collapse of rock masses in a collapse simulation program. Finally, the results and conclusions from all stages of the study are presented and suggestions for further research are also provided.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	15
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	16
1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	17
2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ.....	18
2.1.1 Καταπτώσεις.....	19
2.1.2 Ανατροπές.....	20
2.1.3 Ολίσθηση.....	22
2.1.4 Ολίσθηση-Περιστροφική.....	22
2.1.5 Ολίσθηση-Επίπεδη	23
2.1.6 Αίτια κατολισθήσεων	23
2.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΩΣ	24
2.2.1 Κατολίσθηση στα Τέμπη	28
2.2.2 Κατολίσθηση στο Ζηρό και στην Άρτα.....	30
2.2.3 Κατολίσθηση στην Λίμνη Πλαστήρα	32
2.2.4 Κατολίσθηση στην Brienz.....	34
2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ.....	35
2.3.1 Οι γεωτεχνικές και κατασκευαστικές μέθοδοι	36
2.3.2 Γεωδαιτικές μέθοδοι.....	38
2.3.3 Απομακρυσμένες τεχνικές παρακολούθησης (Remote Sensing)	40
2.3.4 Τεχνικές αποτύπωσης με ΣμηΕΑ με δέκτες GNSS	41
2.3.5 Επίγειοι και εναέριοι Σαρωτές(LIDAR).....	47
2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΜΕ DRONE (CLIFF MAPPING WITH DRONE).....	50
2.4.1 Περίπτωση μελέτης Μόριας, Δυτική Ελλάδα.....	50
2.4.2 Περίπτωση μελέτης Αμύνταιου Βόρειο-Βορειοδυτική Ελλάδα.....	55
2.4.3 Περίπτωση Οικισμού Μύλοι	56
2.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΥΝΔΙΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕΣΩ GIS.....	58
2.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ.....	59
2.6.1 Περίπτωση μελέτης Εγκρεμών και Πόρτο Κατσίκι.....	60
2.6.2 Περίπτωση μελέτης Planguenoual Βρετάνη, Βορειοδυτική Γαλλία	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 (ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ).....	69
3.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	69
3.1.1 Υδρογραφικό δίκτυο	71
3.1.2 Κλίμα.....	72

3.1.3	Βροχοπτώσεις.....	73
3.2	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ.....	76
3.2.1	Σεισμοί.....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	79
4.1	ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΖΗΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΡΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	80
4.2	ΊΔΡΥΣΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΟΔΕΥΣΗΣ.....	82
4.3	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΤΗΝ ΤΟΠΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΥΚΙΑΣ ΦΩΚΙΔΑΣ.....	91
4.3.1	Ορισμός κλίμακας	92
4.3.2	Ορισμός Σχεδίου Πτήσης.....	93
4.3.3	Topcon GM 55.....	96
4.3.4	Δέκτης GNSS Hi Target v30 plus.....	97
4.4	Dji Mavic Air 2S	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	99
5.1	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΟ AGISOFT METASHAPE.....	101
5.1.1	Δημιουργία αραιού νέφους Σημείων (Sparse point cloud).....	101
5.1.2	Δημιουργία πυκνού νέφους Σημείων (Dense point cloud).....	101
5.1.3	Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους	102
5.2	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ CLOUD COMPARE....	103
5.2.1	Cloud Compare.....	103
5.2.2	Εφαρμογή φίλτρου SOR και Noise Filter.....	103
5.2.3	Εφαρμογή φίλτρου CSF (Cloth Simulation Filter).....	104
5.3	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ARCMAP.....	107
5.3.1	Υπολογισμός Ισοϋψών	107
5.3.2	Παραγωγή κλίσεων σε περιβάλλον ArcMap.....	109
5.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ DEM ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ	111
5.5	Εισαγωγή στο λογισμικό RocFall Analysis	114
5.5.1	RocFall 3	114
5.5.2	Εισαγωγή δεδομένων στο RocFall 3	115
5.5.3	Οριοθέτηση περιοχής επίδρασης και περιοχής αποκόλλησης.....	116
5.5.4	Ορισμός περιπτώσεων κατάπτωσης	116
5.5.5	Ορισμός μετώπων αποκόλλησης.....	120
5.6	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	121
5.6.1	Αξιολόγηση 1ης υποπερίπτωσης.....	121
5.6.2	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων 2 ^{ης} περίπτωσης.....	125
5.6.3	Γενικά Συμπεράσματα.....	129
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ	133
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	134

6.2	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	134
6.2.1	Συμπεράσματα από την συλλογή των δεδομένων	134
6.2.2	Συμπεράσματα από την επεξεργασία	134
6.2.3	Συμπεράσματα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων.....	135
6.3	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	135

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1	Κατολίσθηση στο Αίγιο, αποτέλεσμα των βροχοπτώσεων του Σεπτεμβρίου 2023. ΠΗΓΗ: https://www.naftemporiki.gr/wp-content/uploads/2023/09/sxisto-696x464.jpg	15
Εικόνα 2.1	Κατηγορίες Κατολισθήσεων(Σαμπατακάκης, 2007).....	19
Εικόνα 2.2	Καταπτώσεις ΠΗΓΗ: https://www.bgs.ac.uk/wp-content/uploads/2020/06/rock_fall.jpg	20
Εικόνα 2.3	Ανατροπή Βράχων (Topples) ΠΗΓΗ: https://www.bgs.ac.uk/wp-content/uploads/2020/06/rock-topple.jpg	21
Εικόνα 2.4	Ανατροπή βράχων στον ΒΟΑΚ ΠΗΓΗ: https://www.newsit.gr/topikes-eidhseis/kriti-kakokairia-xeimarros-o-voak-ptosi-vrachou-kai-anatropi-ix-video/2725640/	21
Εικόνα 2.5	Περιστροφική ολίσθηση ΠΗΓΗ: https://www.bgs.ac.uk/wp-content/uploads/2020/06/rock_slide.jpg	22
Εικόνα 2.6	Επίπεδη Ολίσθηση ΠΗΓΗ: https://www.bgs.ac.uk/wp-content/uploads/2020/06/translational_slides.jpg	23
Εικόνα 2.7	Χάρτης Θέσεων Κατολισθήσεων στον Ελλαδικό Χώρο για το έτος 2021 ΠΗΓΗ: https://proini.news/_site/wp-content/uploads/2022/09/xarths-katolisthiseis.png	25
Εικόνα 2.8	Κατανομή Επικινδυνότητας Κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο ΠΗΓΗ: https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/ndh-landslide-hazard-distribution	26
Εικόνα 2.9	Υπόμνημα Κατανομής επικινδυνότητας κατολισθήσεων ΠΗΓΗ: https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/ndh-landslide-hazard-distribution	27
Εικόνα 2.10	Χάρτης απεικόνισης συχνότητας κατολισθήσεων ανά 100 km ² στον ελλαδικό χώρο (ΠΗΓΗ: Μπλιώνα, 2008).....	28
Εικόνα 2.11	Αποτελέσματα κατολίσθησης στα Τέμπη(17/12/2009) ΠΗΓΗ: https://www.elekkas.gr/images/galleries/Tempi-2009/34_12.JPG	29
Εικόνα 2.12	Αποτελέσματα κατολίσθησης στα Τέμπη(16/10/2010) ΠΗΓΗ https://www.newsit.gr/wp-content/uploads/2017n/07/1490221.jpg	30
Εικόνα 2.13	Αστοχία πρανούς στην Ζήρο κα στην Άρτα ΠΗΓΗ: https://www.eagme.gr/uploads/gallery/22/152/large.jpg	31
Εικόνα 2.14	Κατολισθητικά φαινόμενα στην Ζήρο και στην Άρτα ΠΗΓΗ: https://www.eagme.gr/uploads/gallery/22/153/large.jpg	32
Εικόνα 2.15	Κατολισθητικά φαινόμενα στην περιοχή της λίμνης Πλαστήρα ΠΗΓΗ: https://www.eagme.gr/uploads/gallery/12/81/large.jpg	33
Εικόνα 2.16	Αποτελέσματα κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή της λίμνης Πλαστήρα ΠΗΓΗ: https://www.eagme.gr/uploads/gallery/12/82/large.jpg	34
Εικόνα 2.17	Αστοχία πρανούς στην περιοχή του Brienz της Ελβετίας ΠΗΓΗ: https://www.michanikos.gr/uploads/monthly_2023_05/brienz.jpg.c7b0a5bfd892c28ac44a2e2ae95fe86a.jpg 35	35
Εικόνα 2.18	Αντιπροσωπευτικά όργανα που χρησιμοποιούνται στις γεωτεχνικές και κατασκευαστικές μεθόδους I: (α). Εξελιγμένο αλφαδολάστιχο (β). Μηκυσιόμετρο (γ). Κλισίμετρο σε συνεργασία (ΠΗΓΗ: Δούκας και Ρωσσικόπουλος 2012).....	37
Εικόνα 2.19	Αντιπροσωπευτικά όργανα που χρησιμοποιούνται στις γεωτεχνικές και κατασκευαστικές (ΠΗΓΗ: Δούκας και Ρωσσικόπουλος 2012).....	38

Εικόνα 2.20 Σύγχρονα αντιπροσωπευτικά γεωδαιτικά όργανα που χρησιμοποιούνται στις γεωδαιτικές μεθόδους: (α). Γεωδαιτικός σταθμός χωρίς απαίτηση πρίσματος (β). Ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός (γ), (δ), και (ε). Διάφοροι τύποι Laser scanner (στ). Επίγεια φωτογραμμετρι.....	39
Εικόνα 2.21 Μέθοδοι τηλεπισκόπησης για την παρακολούθηση κατολισθήσεων ΠΗΓΗ: https://www.researchgate.net/publication/367002075/figure/fig3/AS:11431281112255329@1673370101270/site-monitoring-with-remote-sensing-techniques-Lidar-satellite-and-ground-based.png	40
Εικόνα 2.22 Διαδικασία επεξήγησης τεχνικής InSAR ΠΗΓΗ: https://insar.space/wp-content/uploads/2021/11/3705mau2.jpg	41
Εικόνα 2.23 Πτήση ΣμηΕΑ για την παραγωγή ορθομοσαϊκού ΠΗΓΗ: https://idrones.gr/wp-content/uploads/2022/04/Untitled-design-22.png	42
Εικόνα 2.24 Αποτύπωση περιοχής με ΣμηΕΑ και φορητό LIDAR ΠΗΓΗ: https://wingtra.com/wp-content/uploads/201909-lidar-plane-illustration-300x199.png	43
Εικόνα 2.25 Drone RTK κατά την διάρκεια αποτύπωσης.....	45
Εικόνα 2.26 Dji Matrice 300T ΠΗΓΗ: https://5.imimg.com/data5/SELLER/Default/2023/5/310142195/RI/UG/TA/90336028/dji-matrice-300-rtk.jpeg	46
Εικόνα 2.27 Dji Mavic 3E Multispectral ΠΗΓΗ: https://www.e-geosense.gr/1582-thickbox_default/mavic-3-multispectral.jpg	47
Εικόνα 2.28 Απεικόνιση εφαρμογής επίγειου LIDAR για την αποτύπωση πρανούς ΠΗΓΗ: https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-B9780444641779000072-f07-01-9780444641779.jpg)	48
Εικόνα 2.29 Αρχές λειτουργίας εναέριου LIDAR ΠΗΓΗ: https://www.researchgate.net/profile/Attila-Juhasz-2/publication/281646370/figure/fig1/AS:284486592942080@1444838297204/The-operation-principle-of-LiDAR-2.png	49
Εικόνα 2.30 Τοποθεσία της περιοχής μελέτης. Το πορτοκαλί χρώμα αντιπροσωπεύει τα όρια της περιοχής της Δυτικής Ελλάδας, ενώ η κόκκινη κουκκίδα και το μπλε ορθογώνιο απεικονίζουν τη θέση της πόλης της Πάτρας και της περιοχής μελέτης, αντίστοιχα. (ΠΗΓΗ: Κυρίου,2021).....	51
Εικόνα 2.31 Γεωμετρία λήψης εικόνων UAV. (α) Πλέγμα ναδιρικής προβολής. (β) Πλέγμα γωνιακών προβολής (γ) Συνέργεια ναδιρικών και γωνιακών εικόνων. (δ) Εικόνα προβολής από το ναδίρ. (ε) Εικόνα γωνιακής προβολής (ΠΗΓΗ: Κυρίου 2021).....	53
Εικόνα 2.32 (α) Σκίτσο που δείχνει τα διάφορα μέρη του πυλώνα που αποτελούνται από τη χαλύβδινη ράβδο και έναν σωλήνα PVC. Το σκίτσο δεν είναι υπό κλίμακα. (β) Φωτογραφία ενός αντιπροσωπευτικού πυλώνα (μνημείο) κατά τη διάρκεια της μελέτης του Ιουλίου 2017. (ΠΗΓΗ: Κυρίου, 2021).....	54
Εικόνα 2.33 Η κατανομή των σταθμών στην περιοχή της κατολίσθησης, κατά τη διάρκεια της έρευνας TLS (ΠΗΓΗ: Κυρίου,2021.)	55
Εικόνα 2.34 Ορθοφωτογραφία της περιοχής μελέτης μετά την εκδήλωση της πτώσης του βράχου με την κατανομή των μετρήσεων GNSS (κόκκινα σημεία). (ΠΗΓΗ: Κυρίου,2021).....	57
Εικόνα 2.35 Ορθοφωτογραφία της περιοχής μελέτης μετά την απομάκρυνση των βραχοτεμαχίων με την κατανομή των μετρήσεων GNSS (κόκκινα σημεία) (ΠΗΓΗ:Κυρίου,2021).....	58
Εικόνα 2.36 Τεκτονική και Γεωλογική ανάλυση της νήσου Λευκάδας καθώς και παρουσίαση ζωνών επικινδυνότητας για κατολισθήσεις στο νησί ΠΗΓΗ: https://www.mdpi.com/applsci/applsci-12-02193/article_deploy/html/images/applsci-12-02193-g002.png	61
Εικόνα 2.37 DSM- Ορθοεικόνα-Κάθετο Ορθομοσαϊκό ΠΗΓΗ: https://www.mdpi.com/applsci/applsci-12-02193/article_deploy/html/images/applsci-12-02193-g005-550.jpg	62
Εικόνα 2.38 Από αριστερά προς δεξιά: Το νέφος σημείων του γκρεμού στην ανηφόρα της παραλίας των Εγκρεμών, καθαρισμένο από το θόρυβο που προκαλεί η βλάστηση, η οποία μπορεί να αλλοιώσει την απότομη τοπογραφία του. Ταξινόμηση των εκχυλισμένων όψεων σύμφωνα με την υπολογιζόμενη κλίση τους σε μοίρες (β) και την κατεύθυνση της κλίσης κάθε μιας που είναι χρωματικά κωδικοποιημένη όσον αφορά τη στατιστική ανάλυση (γ). Ο γκρεμός κατατμήθηκε σε τρία τμήματα (βόρειο, μεσαίο και νότιο) και κάτω από κάθε ένα παρουσιάζεται η κινηματική ανάλυση της σφηνοειδούς ολίσθησης. ΠΗΓΗ: https://www.mdpi.com/applsci/applsci-12-02193/article_deploy/html/images/applsci-12-02193-g007-550.jpg)	63

Εικόνα 2.39 Κατολισθητικά φαινόμενα στην ακτογραμμή Planguenoual	65
Εικόνα 2.40 Sensefly eBee drone ΠΗΓΗ: https://ageagle.com/wp-content/uploads/2022/06/abee-x-flying-from-front.png	65
Εικόνα 2.41 Dji Phantom 3 Pro ΠΗΓΗ: https://www5.djicdn.com/assets/images/products/phantom-3-pro/index/phantom-3-pro-v2@2x-f5e6a62b37e6acd37a375f764ab2b6d9.jpg	66
Εικόνα 2.42 Απεικόνιση του DTM και του point cloud της εξεταζόμενης περιοχής (ΠΗΓΗ: https://assets.ctfassets.net/go54bjdzbrgi/5gprEExYrA13KEzjHS100m/50d6476daf89992179494e8bafc01af8/GEOCAPTURE_-_littoral.pdf)	67
Εικόνα 2.43 Ορθοφωτογραφία της εξεταζόμενης περιοχής (https://assets.ctfassets.net/go54bjdzbrgi/3jpfFc8UaJyD5gUAhZB3jpn/8ece1191285640c478c9f24514932359/GEOCAPTURE_-_risque_g_ologique.pdf)	68
Εικόνα 3.1 Περιφερειακή Ενότητα Φωκίδας	69
Εικόνα 3.2 Αεροφωτογραφία της Τ.Κ Συκιάς Φωκίδας με το Ξεροβούνι.....	70
Εικόνα 3.3 Υδρολογικό δίκτυο στην περιοχή Συκιάς Φωκίδας.....	72
Εικόνα 3.4 Κλιματικές ζώνες στην Π.Ε ΦΩΚΙΔΑΣ ΠΗΓΗ.....	73
Εικόνα 3.5 Κατανομή βροχοπτώσεων στον ελλαδικό χώρο ΠΗΓΗ: https://static.wixstatic.com/media/ffbdd4_e74df26dbaa24f79aca65b5de6bb63ca~mv2.jpg/v1/fill/w_640,h_664,al_c,q_85,usm_0.66_1.00_0.01,enc_auto/ffbdd4_e74df26dbaa24f79aca65b5de6bb63ca~mv2.jpg	74
Εικόνα 3.6 Χρονική εμφάνιση κατακρημνισμάτων ανά μήνα (σε ημέρες).....	75
Εικόνα 3.7 Γεωλογικός χάρτης Π.Ε ΦΩΚΙΔΑΣ(ΠΗΓΗ: Καραϊνδρου,2010)	77
Εικόνα 3.8 Κατηγοριοποίηση σεισμικής επιτάχυνσης του εδάφους	78
Εικόνα 3.9 Χάρτης Ζωνών Σεισμικότητας στον Ελλαδικό Χώρο ΠΗΓΗ: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ3UxlkC9Xyq-bkCrRC48TamJvEXMjU3RZaMXhmVqIMeA&s) 79	79
Εικόνα 4.1 Αεροφωτογραφία του Ξεροβουνίου	81
Εικόνα 4.2 Απεικόνιση της εξεταζόμενης περιοχής ΠΗΓΗ: https://gis.ktimanet.gr/gis/public/15dcebc4-9b43-4243-950a-e0b0b7ea0033.jpg	82
Εικόνα 4.3 Αναπαράσταση όδευσης κατά την επίλυση.....	83
Εικόνα 4.4 Αποτελέσματα επίλυσης της όδευσης	84
Εικόνα 4.5 Διαδικασία σήμανσης του κέντρου του φωτοσταθερού.....	85
Εικόνα 4.6 Ίδρυση κορυφής όδευσης και κέντρου του φωτοσταθερού	86
Εικόνα 4.7 Ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου	87
Εικόνα 4.8 Απεικόνιση του σημείου ελέγχου εδάφους S1 με βορειοανατολική κατεύθυνση.....	88
Εικόνα 4.9 Απεικόνιση σημείου ελέγχου εδάφους S2 με βορειοανατολική κατεύθυνση	89
Εικόνα 4.10 Σημείο Ελέγχου Εδάφους S3 (GCP) με βορειοανατολική κατεύθυνση (Η μαύρη λωρίδα στο φωτοσταθερό συμβολίζει τον βορρά).....	90
Εικόνα 4.11 Σημείο ελέγχου εδάφους S4 (GCP).....	91
Εικόνα 4.12 ίδρυση θέσεων σημείων ελέγχου εδάφους(GCPS)	92
Εικόνα 4.13 Αρχές Λειτουργίας του προγράμματος SRTM ΠΗΓΗ: https://eoportal.org/ftp/satellite-missions/s/SRTM_150921/SRTM_AutoA.jpeg)	94
Εικόνα 4.14 Εισαγωγή παραμέτρων για το σχέδιο πτήσης στο πρόγραμμα Dji Flight Planner	94
Εικόνα 4.15 Αναπαράσταση του σχεδίου πτήσης σε περιβάλλον Google Earth Pro	95
Εικόνα 4.16 Φωτοσταθερό	96
Εικόνα 4.17 Topcon GM55	97
Εικόνα 4.18 Hi Target v30 plus GNSS RTK Receiver ΠΗΓΗ: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQzWROjIpY_YPJoraZesj_El7qT4mGrsLAIwA&usqp=CAU	98
Εικόνα 4.19 Mavic Air 2s ΠΗΓΗ: https://dji-official-fe.djicdn.com/dps/deb96ea49797d1e6c5ef24efc633bee4.jpg	99
Εικόνα 5.1 Διάγραμμα Εργασιών για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.....	100
Εικόνα 5.2 Πυκνό νέφος σημείων σε περιβάλλον Agisoft Metashape.....	102
Εικόνα 5.3 DSM σε περιβάλλον Agisoft Metashape	103
Εικόνα 5.4 Εισαγωγή παραμέτρων για την εφαρμογή του φίλτρου SQR Filter	104

Εικόνα 5.5 Εισαγωγή παραμέτρων για την εφαρμογή της αφαίρεσης θορύβου	104
Εικόνα 5.6 Επεξήγηση της διαδικασίας κατά την εφαρμογή του φίλτρου CSF ΠΗΓΗ: https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/images/2/2b/CSF_principle.jpg	105
Εικόνα 5.7 Επεξήγηση της διαδικασίας κατά την εφαρμογή του φίλτρου CSF ΠΗΓΗ: https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/images/2/2b/CSF_principle.jpg	106
Εικόνα 5.8 Τροποποίηση παραμέτρων για το CSF Filter.....	107
Εικόνα 5.13 Στατιστικά στοιχεία για τις isoΰψεις προερχόμενες από το DTM του Agisoft Metashape	112
Εικόνα 5.14 Στατιστικά στοιχεία που αφορούν τις isoΰψεις για το DEM του Cloud Compare	112
Εικόνα 5.15 Στατιστικά στοιχεία για τις κλίσεις που αφορούν το DEM του Cloud Compare.....	113
Εικόνα 5.16 Στατιστικά στοιχεία για τις κλίσεις που αφορούν το DEM του Agisoft Metashape.....	114
Εικόνα 5.17 Ορισμός παραμέτρων για την κατηγορία υλικού Soft	115
Εικόνα 5.18 Ορισμός παραμέτρων για την κατηγορία υλικού HARD.....	115
Εικόνα 5.19 Τομή της περιοχής μελέτης και επισήμανση με πράσινο χρώμα της περιοχής κατάπτωσης	116
Εικόνα 5.20 Ορισμός αριθμού βραχοτεμαχίων για την πρώτη περίπτωση καταπτώσεων	117
Εικόνα 5.21 Ορισμός βάρους και πυκνότητας των βραχοτεμαχίων για την πρώτη περίπτωση καταπτώσεων	117
Εικόνα 5.22 Απεικόνιση των δύο περιπτώσεων με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους	118
Εικόνα 5.23 Ορισμός αρχικής ταχύτητας και γωνίας τάσης και των αντίστοιχων παραμέτρων κανονικής κατανομής.....	119
Εικόνα 5.24 Ορισμός αριθμού των βραχοτεμαχίων για την δεύτερη περίπτωση καταπτώσεων.....	119
Εικόνα 5.25 Ορισμός βάρους και πυκνότητας των βραχοτεμαχίων για την δεύτερη περίπτωση καταπτώσεων	120
Εικόνα 5.26 Ορισμός μετώπων αποκόλλησης πέτρινων όγκων.....	121
Εικόνα 5.27 Διαδρομές βράχων για την 1η υποπερίπτωση	122
Εικόνα 5.28 Διαδρομές βράχων για την 2η υποπερίπτωση με βάση την μέγιστη απόσταση που διανύουν ...	126

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 5.1 Αναπαράσταση isoΰψών από το DTM που προήλθε από το Agisoft Metashape σε περιβάλλον ArcMap με isoδιάσταση 15 μέτρα.	108
Χάρτης 5.2 Isoΰψεις προερχόμενες από το Cloud Compare	109
Χάρτης 5.3 Κλίσεις προερχόμενες από το DEM του Agisoft Metashape.....	110
Χάρτης 5.4 Κλίσεις προερχόμενες από το DEM του Cloud Compare.....	111
Χάρτης 5.5 Ανάδειξη των τελικών σημείων των καταπτώσεων εντός της περιοχής επίδρασης για την 1η υποπερίπτωση καταπτώσεων.....	130
Χάρτης 5.6 Ανάδειξη των περιοχών αντίκτυπου των καταπτώσεων εντός της περιοχής επίδρασης για την 1η περίπτωση καταπτώσεων.....	131
Χάρτης 5.7 Ανάδειξη τελικών σημείων των καταπτώσεων εντός της περιοχής επίδρασης για την 2η υποπερίπτωση καταπτώσεων.....	132
Χάρτης 5.8 Ανάδειξη περιοχών αντίκτυπου των καταπτώσεων εντός της περιοχής επίδρασης για την 2η υποπερίπτωση καταπτώσεων.....	133

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 5.1 Κατανομή της συχνότητας των διαδρομών σε m που ακολούθησαν οι πέτρινοι όγκοι για την 1η περίπτωση.....	123
Διάγραμμα 5.2 Κατανομή της συχνότητας των διαδρομών σε μέτρα για τους όγκους που αποκολλήθηκαν από τα 1000 m	124

Διάγραμμα 5.3 Κατανομή της συχνότητας των διαδρομών σε μέτρα για τους όγκους της 1ης υποπερίπτωσης, οι οποίοι αποκόλλησαν από τα 1100 m	125
Διάγραμμα 5.4 Κατανομή συχνότητας των διαδρομών σε μέτρα που ακολούθησαν οι πέτρινοι όγκοι για την 2η περίπτωση.....	127
Διάγραμμα 5.5 Διανομή της συνολικής απόστασης που διένυσαν οι όγκοι κατά την δεύτερη υποπερίπτωση για το μέτωπο αποκόλλησης στα 1000 m.....	128
Διαγραμμα 5.6 Συνολική απόσταση που διένυσαν οι όγκοι κατά την δεύτερη υποπερίπτωση για το μέτωπο αποκόλλησης των 1100 m	129

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Τα τελευταία χρόνια, η Ελλάδα αντιμετωπίζει μια αυξανόμενη απειλή που έχει αφήσει ανεξίτηλα σημάδια στα τοπία και τις κοινότητές της: τις κατολισθήσεις. Αυτά τα γεωλογικά φαινόμενα, που προκαλούνται από διάφορους παράγοντες, όπως οι έντονες βροχοπτώσεις, η σεισμική δραστηριότητα ή οι ανθρωπογενείς αλλαγές στο έδαφος, έχουν γίνει όλο και πιο διαδεδομένα σε ολόκληρη τη χώρα. Το ορεινό ανάγλυφο της Ελλάδας, ιδιαίτερα ευαίσθητο στις δυνάμεις διάβρωσης, επιτείνει την ευπάθεια ορισμένων περιοχών σε κατολισθήσεις. Καθώς η Ελλάδα παλεύει με τις πολύπλευρες προκλήσεις που θέτουν οι κατολισθήσεις, αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο η ανάγκη λήψης προληπτικών μέτρων για τη διασφάλιση τόσο των ανθρώπινων οικισμών όσο και της οικολογικής ισορροπίας αυτού του ιστορικά πλούσιου και γεωλογικά δυναμικού έθνους.

Η πρόκληση των κατολισθήσεων μπορεί να οφείλεται σε τεκτονικές, κλιματικές η και ανθρώπινες δραστηριότητες. Παρόλα αυτά με την επιδείνωση της κλιματικής αλλαγής και με την αύξηση της συχνότητας φαινομένων που ενισχύουν τα κατολισθητικά φαινόμενα, όπως η αύξηση των βροχοπτώσεων και το λιώσιμο των πάγων, η ανάγκη για πρόληψη τους κρίνεται επιτακτική. Ειδικότερα και στην Ελλάδα την περίοδο του Σεπτεμβρίου πραγματοποιήθηκαν καταρρακτώδης βροχές, οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις οδήγησαν σε κατολισθήσεις αποκόπτοντας την κυκλοφορία και προκαλώντας μεγάλες υλικές ζημιές. Μία από αυτές τις περιπτώσεις αποτελεί και η κατολίσθηση που έλαβε χώρα στην περιοχή του δήμου Αιγιαλείας. Η συγκεκριμένη κατολίσθηση προκλήθηκε από την δυνατή βροχόπτωση και χαλαζόπτωση και είχε ως αποτέλεσμα την διακοπή της κυκλοφορίας στο ένα τμήμα της Εθνικής Οδού, στο ρεύμα από Πάτρα προς Αθήνα (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.1 Κατολίσθηση στο Αίγιο, αποτέλεσμα των βροχοπτώσεων του Σεπτεμβρίου 2023. ΠΗΓΗ: <https://www.naftemporiki.gr/wp-content/uploads/2023/09/sxisto-696x464.jpg>

Βασικός παράγοντας για την πρόληψη του φαινομένου αποτελεί η συστηματική παρακολούθηση του με σύγχρονα μέσα και τεχνικές. Σε αυτό το σημείο καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει και ο τοπογράφος μηχανικός, ο οποίος με την χρήση εξοπλισμού ακριβείας και της τεχνογνωσίας που διαθέτει, είναι σε θέση να παράξει αποτελέσματα για την έγκαιρη πρόληψη τέτοιων φαινομένων.

Για την αποτελεσματική παρακολούθηση των κατολισθητικών φαινομένων ο τοπογράφος μηχανικός είναι σε θέση να αξιοποιήσει μια πληθώρα εργαλείων, τα οποία περιλαμβάνουν τεχνικές απομακρυσμένης παρακολούθησης και μετρήσεις επί του πεδίου. Ειδικότερα οι μέθοδοι παρακολούθησης των κατολισθητικών φαινομένων είναι οι εξής:

- Οι παραδοσιακές τοπογραφικές μέθοδοι, όπως οι μετρήσεις με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό, συμβάλλουν επίσης στην παρατήρηση κατολισθήσεων. Οι τοπογράφοι δημιουργούν σημεία αναφοράς και παρακολούθησης, χρησιμοποιώντας όργανα ακριβείας για τη μέτρηση των μεταβολών του υψομέτρου και της καθίζησης του εδάφους. Αυτές οι μέθοδοι, όταν συνδυάζονται με προηγμένες γεωδαιτικές τεχνολογίες, παρέχουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση της δυναμικής των κατολισθήσεων.
- Απομακρυσμένη ανίχνευση (Remote Sensing) : Οι δορυφορικές και εναέριες εικόνες, το LiDAR (Light Detection and Ranging) και η συμβολομετρία ραντάρ (InSAR) είναι πολύτιμα εργαλεία για την παρακολούθηση των αλλαγών στην επιφάνεια του εδάφους. Οι τεχνολογίες αυτές παρέχουν δεδομένα υψηλής ανάλυσης για τη χαρτογράφηση του εδάφους, τον εντοπισμό πιθανών περιοχών που είναι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις και την εκτίμηση της έκτασης των ζημιών μετά από ένα κατολισθητικό συμβάν.
- Αισθητήρες εδάφους: Τα κλινοόμετρα, τα πιεζόμετρα και τα εκτατόμετρα είναι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της κίνησης του εδάφους, της εδαφικής υγρασίας και της πίεσης των πόρων. Τα όργανα αυτά εγκαθίστανται σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις για την παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης και για ερευνητικούς σκοπούς.

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η εύρεση των περιοχών επικινδυνότητας που αφορούν το πρηνές Ξεροβούνι, το οποίο βρίσκεται βορειοανατολικά του οικισμού Συκιάς Φωκίδας με την χρήση νεφών σημείων από εικόνες. Για την επίτευξη αυτού το στόχου αξιοποιήθηκε ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος, τα αποτελέσματα του οποίου αξιολογήθηκαν από δύο προγράμματα για την εξαγωγή υψομετρικής πληροφορίας. Με αυτό τον τρόπο ελέγχθηκε τόσο η αξιοπιστία των μετρήσεων για πρηνή με μεγάλο εύρος υψομετρικής πληροφορίας, όσο και η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων των προγραμμάτων από τα οποία εξήχθησαν τα ΨΜΕ. Ακολούθως αναδείχθηκε η σημαντικότητα της διασύνδεσης των πρωτογενών δεδομένων που ελήφθησαν στο πεδίο, με τα συστήματα GIS μέσω της δημιουργίας ισοϋψών, κλίσεων και χαρτών για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Τέλος μέσω την χρήσης διάφορων προγραμμάτων έγινε εφικτό να πραγματοποιηθεί μια μελέτη επικινδυνότητας, η οποία με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν παρουσίασε τις περιοχές με το μεγαλύτερο ποσοστό κινδύνου στην περιοχή, άρα και τις περιοχές όπου πρέπει να επιστήσουν την προσοχή τους οι αρμόδιοι φορείς.

1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αρχικά στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής αναφορά στις κατηγορίες κατολισθήσεων και παρατίθενται παραδείγματα τόσο από τον ελληνικό χώρο όσο και από τον διεθνή.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα ιδιαίτερα μορφολογικά, γεωλογικά και κλιματικά στοιχεία της περιοχής όπου μελετάται για την περεταίρω κατανόηση της περιοχής.

Ακολούθως στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται εκτενής ανάλυση των διεργασιών, οι οποίες έλαβαν χώρα για τις μετρήσεις πεδίου. Ειδικότερα, αρχικό στάδιο αποτελεί η μελέτη της ζητούμενης περιοχής για την δημιουργία ενός σχεδίου πτήσης καθώς και για την τοποθέτηση φωτοσταθερών σημείων, ενώ περιγράφεται και ο εξοπλισμός ο οποίος αξιοποιήθηκε για την διεξαγωγή των μετρήσεων.

Στην συνέχεια, στο 5ο κεφάλαιο γίνεται εξαγωγή των πρωτογενών δεδομένων από την πτήση στο πρόγραμμα Agisoft Metashape όπου δημιουργείται το πυκνό νέφος σημείων, το οποίο στην συνέχεια υπόκειται σε επεξεργασία για την αφαίρεση θορύβου και την εξαγωγή των σημείων εδάφους στα προγράμματα Agisoft Metashape και Cloud Compare. Σκοπός αυτής της επεξεργασίας είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων για την εξαγωγή του ορθότερου υψομετρικά Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, η επιλογή του οποίου προκύπτει από μια σειρά παραγόντων που εξάγονται από το πρόγραμμα ArcGIS. Κατά την εισαγωγή των ΨΜΕ στο περιβάλλον ArcGIS, υπολογίζονται οι κλίσεις και οι ισοϋψείς από το κάθε ΨΜΕ, ενώ στην συνέχεια δημιουργούνται οι αντίστοιχοι χάρτες. Με την επιλογή του ορθότερου ΨΜΕ εισάγεται στο πρόγραμμα RocFall 3, το αντίστοιχο mesh, στο οποίο ορίζονται 4 περιπτώσεις κατάπτωσης από δύο διαφορετικά υψόμετρα στα οποία παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες κλίσεις. Επιπλέον ορίζεται και η περιοχή κατάπτωσης των βράχων, η οποία θα είναι στην περίπτωση της έρευνας ο οικισμός. Στην συνέχεια ορίστηκαν και οι παράμετροι των υλικών που θα καταπέσουν και τέλος προκύπτουν οι πιθανές διαδρομές που θα ακολουθήσουν οι πέτρινοι όγκοι από τις οποίες προκύπτουν και τα αποτελέσματα για τα ποσοστά επίδρασης των καταπτώσεων επί του οικισμού.

Τέλος, στο 6^ο και τελευταίο κεφάλαιο, εξάγονται συμπεράσματα τόσο για την πορεία της έρευνας όσο και για την επίδραση των αποτελεσμάτων στην τοπική κοινότητα και προτείνονται τρόποι περαιτέρω έρευνας και ανάλυσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Οι καταπτώσεις βράχων γενικά ξεκινούν από κάποιο κλιματικό ή βιολογικό γεγονός που προκαλεί αλλαγή στις δυνάμεις που δρουν σε έναν βράχο. Τα γεγονότα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν αυξήσεις της πίεσης των πόρων λόγω διείσδυση της βροχής, διάβρωση του περιβάλλοντος υλικού κατά τη διάρκεια ισχυρών καταιγίδων βροχής, πάγωμα-απόψυξη σε ψυχρά κλίματα, χημική αποδόμηση ή αποσάθρωση του πετρώματος, ανάπτυξη ριζών ή μόχλευση από ρίζες που κινούνται με ισχυρούς ανέμους. Σε ένα ενεργό κατασκευαστικό περιβάλλον, ή η πιθανότητα μηχανικής πρόκλησης βραχοπτώσεων θα είναι πιθανώς μία ή δύο τάξεις μεγέθους υψηλότερη από τα κλιματικά και βιολογικά γεγονότα που περιγράφονται παραπάνω. Μόλις ξεκινήσει η μετακίνηση ενός βράχου που βρίσκεται στην κορυφή ενός πρανούς, η πιο σημαντικός παράγοντας που ελέγχει την τροχιά πτώσης είναι η γεωμετρία του πρανούς. Ειδικότερα, οι επιφάνειες των πρανών με κλίση, όπως αυτές που δημιουργούνται από τους αρμούς των φύλλων στους γρανίτες, είναι σημαντικές επειδή προσδίδουν μια οριζόντια συνιστώσα στην πορεία που ακολουθεί ένας βράχος μετά την αναπήδησή του στο πρανές ή κυλιέται από το πρανές. Οι πιο επικίνδυνες από αυτές τις επιφάνειες λειτουργούν ως "άλματα του σκι" και προσδίδουν υψηλή οριζόντια ταχύτητα στο πέτρωμα που πέφτει, με αποτέλεσμα αυτό να αναπηδά σε μεγάλη απόσταση από το από τον πόδα της πλαγιάς. Οι καθαρές επιφάνειες από σκληρό μη αποσαθρωμένο βράχο είναι οι πιο επικίνδυνες, επειδή δεν επιβραδύνουν την κίνηση του πετρώματος που πέφτει ή κυλά σε σημαντικό βαθμό. Από την άλλη πλευρά, οι επιφάνειες που καλύπτονται από φλύσχη, γκρεμό ή χαλίκι απορροφούν σημαντικό μέρος της ενέργειας της πτώσης του βράχου και, σε πολλές περιπτώσεις, τη σταματούν εντελώς.

Δεδομένου λοιπόν ότι οι καταπτώσεις βράχων αποτελούν ένα αρκετά σημαντικό γεγονός, το οποίο έχει μελετηθεί και μαθηματικά, έχει προκύψει ένας μαθηματικός συντελεστής, ο οποίος ονομάζεται συντελεστής επαναφοράς και αναφέρεται στην ικανότητα επιβράδυνσης του επιφανειακού υλικού. Η τιμή του συντελεστή αυτού εξαρτάται από τη φύση του υλικών που σχηματίζουν την επιφάνεια πρόσκρουσης. Οι καθαρές επιφάνειες από σκληρό πέτρωμα έχουν υψηλούς συντελεστές επαναφοράς, ενώ το χώμα, το χαλίκι και ο πλήρως αποσαθρωμένος γρανίτης έχουν χαμηλούς συντελεστές επαναφοράς. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο τοποθετούνται στρώματα χαλικιού στα παγκάκια συλλογής προκειμένου να αποτραπούν περαιτέρω αναπήδηση των πετρών που πέφτουν.

Άλλοι παράγοντες, όπως το μέγεθος και το σχήμα των ογκόλιθων του βράχου, οι συντελεστές τριβής των επιφανειών των βράχων και το αν ο βράχος σπάει ή όχι σε μικρότερα κομμάτια κατά την πρόσκρουση είναι όλοι μικρότερης σημασίας από τη γεωμετρία του πρανούς και τους συντελεστές επαναφοράς που περιγράφονται ανωτέρω.

2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Η Ελλάδα λόγω της γεωγραφικής της θέσης αποτελεί μια χώρα με μεγάλη σεισμική δραστηριότητα καθώς και μεγάλη γεωμορφολογική και γεωλογική πολυμορφία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρούνται πολλά ατυχήματα λόγω εδαφικών κατολισθήσεων και βραχοπτώσεων τα οποία θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές.

Αρχικά ως κατολίσθηση ορίζεται κάθε αλλαγή, μικρή ή μεγάλη της επιφάνειας μιας βουνοπλαγιάς (κλιτύος), που συνοδεύεται από μετακίνηση υλικού με ρήξη ή όχι της συνέχειας της, αργή ή ξαφνική η οποία προέρχεται από τη δύναμη της βαρύτητας και οφείλεται σε φυσικά ή τεχνητά αίτια. Επιπρόσθετα η κατολίσθηση εκφράζει το αποτέλεσμα μιας νέας κατάστασης ισορροπίας του εδάφους και είναι δυνατή η ανθρώπινη επέμβαση για την επιβράδυνση ή και παύση του φαινομένου. Οι βασικοί παράγοντες που συντελούν στην δημιουργία μιας κατολίσθησης μπορούν να είναι γεωλογικοί όπως η φύση του εδάφους ή του πετρώματος που συναντάται σε μία περιοχή, όσο και τοπογραφικοί- γεωμορφολογικοί αλλά και υδρολογικοί, κλιματολογικοί και υδρογεωλογικοί (Ζούρος, 2020.).

Επιπλέον, σύμφωνα με τον Σαμπατακάκη (2007) η αστοχία πρανούς μπορεί να οφείλεται και σε έναν συνδυασμό παραγόντων όπως η αλλαγή στην κλίση της επιφάνειας του εδάφους, ορισμένες ανθρώπινες επεμβάσεις μέσω επιβολής πρόσθετων φορτίων στο πρανές αλλά και λόγω σεισμικών φορτίσεων.

Είναι σημαντικό να τονιστεί πως από το έτος 1978 και μέχρι σήμερα έχει επικρατήσει ο χαρακτηρισμός <<μετακίνηση μαζών>> και όχι κατολισθήσεις αφού οι μετακινήσεις από τις αστοχίες πρανών, διαχωρίζονται με βάση τα χαρακτηριστικά της μετακίνησής τους (Varnes, 1978), τα οποία αναλύονται παρακάτω (Σαμπατακάκη, 2007):

- Τον τύπο-είδος του υλικού της κατολίσθησης
- Την περιεχόμενη υγρασία του κατολισθαίνοντος υλικού
- Την κίνηση που παρουσιάζεται (κατάπτωση, ολίσθηση, ροή)
- Την ταχύτητα με την οποία συντελείται η κίνηση
- Το αίτιο της κίνησης (σεισμός, παράγοντας του νερού, ανθρώπινος παράγοντας)
- Την τοποθεσία όπου λαμβάνει χώρα το φαινόμενο (ξηρά, θάλασσα, λίμνη)
- Την γεωμετρία καθώς και την μορφολογία του πρανούς
- Τον μηχανισμό ολίσθησης
- Την σχέση ολίσθησης και την επιφάνεια στην οποία ολισθαίνει το υλικό

Οι βασικές μορφές κατολισθήσεων κατά (Cruden & Varnes, 1996) (Εικόνα 2.1) είναι οι εξής:

- Κατάπτωση βράχων
- Ανατροπή: Περιστροφή γύρω από τον άξονα που βρίσκεται κάτω από το κέντρο βάρους της μάζας
- Ολίσθηση-Περιστροφική: Σε αυτή την περίπτωση η βραχομάζα περιστρέφεται γύρω από ένα σημείο το οποίο βρίσκεται πάνω από το κέντρο βάρους της μάζας
- Ολίσθηση-Επίπεδη: Η διαφορά με την περιστροφική ολίσθηση είναι ότι η βραχομάζα κινείται κατά μήκος ενός επιπέδου
- Πλευρική εξάπλωση

- Ροή-σε βραχομάζα: Παρατηρούνται συνεχείς ερπυστικές μετακινήσεις τόσο στην επιφάνεια όσο και στο υπέδαφος οι οποίες χαρακτηρίζονται από τις αργές και διαφορικές μετατοπίσεις σχετικώς υγειών τεμαχίων
- Ροή-σε έδαφος: Η μετακινούμενη μάζα συμπεριφέρεται ως παχύρευστο υγρό
- Σύνθετες μορφές: Αποτελούν περιπτώσεις όπου παρατηρούνται συνδυασμοί δύο ή περισσότερων αστοχιών

Ταξινόμηση κατά Varnes (1978)

Τύπος κίνησης		Τύπος μετακινούμενου υλικού		
		Βραχώδης υπόβαθρο	Μηχανικά εδάφη	
			Χονδρόκοκκα	Λεπτόκοκκα
Κατάπτωση		Κατάπτωση βράχων	Κατάπτωση κορημάτων	Κατάπτωση γαιών
Ανατροπή		Ανατροπή βράχων	Ανατροπή κορημάτων	Ανατροπή γαιών
Ολίσθηση	Περιστροφική	Περιστροφική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Περιστροφική ολίσθηση κορημάτων	Περιστροφική ολίσθηση γαιών
	Μεταθετική	Μεταθετική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Μεταθετική ολίσθηση κορημάτων	Μεταθετική ολίσθηση γαιών
Πλευρική Εξάπλωση		Πλευρική εξάπλωση βραχώδους υποβάθρου	Πλευρική εξάπλωση κορημάτων	Πλευρική εξάπλωση γαιών
Ροή		Ροή βραχώδους υποβάθρου (ερπυσμός)	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
			(ερπυσμός εδάφους)	
Σύνθετη		Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων		

<p>Χονδρόκοκκα Κορήματα (debris) 20 - 80% >2mm (χαλίκια, κροκάλες, λατύπες, ογκόλιθοι)</p>	<p>Λεπτόκοκκα Γαίες earth) >80% <2mm (άμμος, ιλύς, άργιλος)</p>
--	--

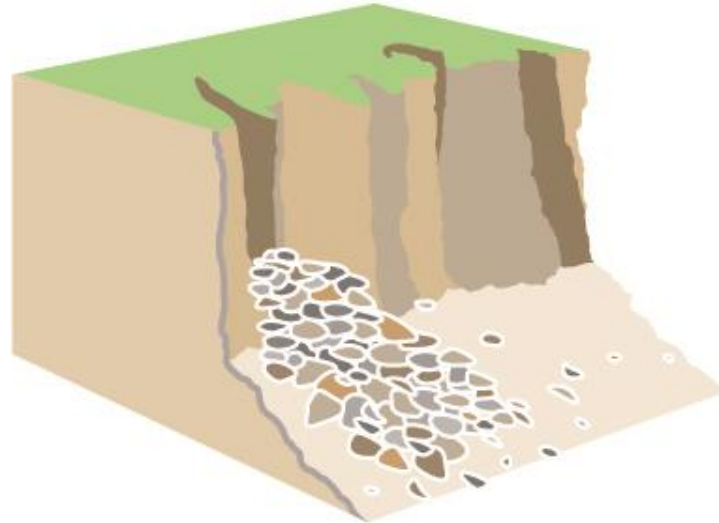
Εικόνα 2.1 Κατηγορίες Κατολισθήσεων (Σαμπατακάκης,2007)

2.1.1 Καταπτώσεις

Η περίπτωση των καταπτώσεων (Εικόνα 2.2) χαρακτηρίζεται από την μεγάλη ταχύτητα κίνησης του υλικού το οποίο αποτελείται κυρίως από βραχώδης μάζες. Οι καταπτώσεις επίσης αφορούν συγκεκριμένα πετρώματα και εδάφη, τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη συνοχή όπως για παράδειγμα σκληρές άργιλοι και μάργες.

Επιπλέον οι καταπτώσεις χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, την εναλλαγή άκαμπτων πετρωμάτων με λιγότερο συμπαγή και περισσότερο τρωτά στην αποσάθρωση η διάβρωση πετρώματα και στις καταπτώσεις, οι οποίες προκαλούνται από μια μη ευνοϊκή διάταξη των επιπέδων ασυνέχειας του πετρώματος. Έτσι στην πρώτη κατηγορία βασικός παράγοντας για την κατάπτωση αποτελεί η υποσκαφή της βάσης του άκαμπτου πετρώματος

από εξωγενείς γεωδυναμικούς παράγοντες, ενώ στην δεύτερη κατηγορία ο σχηματισμός ρωγμών λόγω ασυνέχειας στην γεωμετρία, σε συνδυασμό με την συνδρομή του νερού αλλά και των ριζών των δένδρων προκαλούν πρόσθετες τάσεις με συνέπεια την χαλάρωση των βράχων.

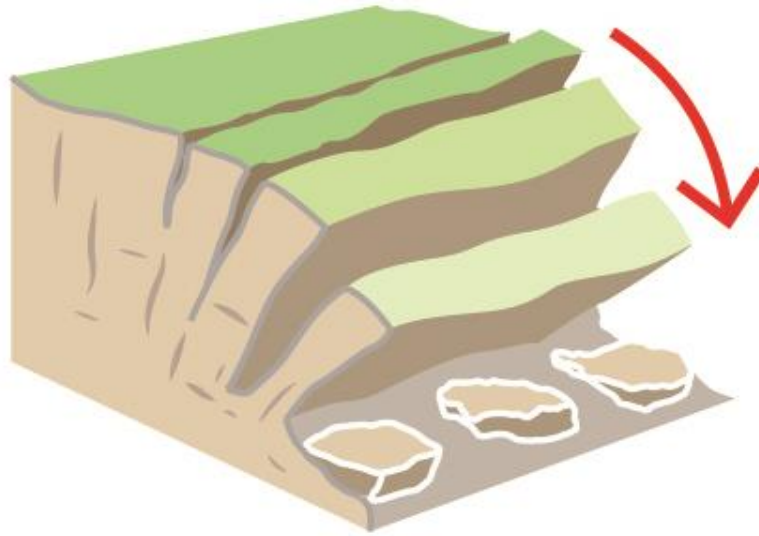


Rock fall

Εικόνα 2.2 Καταπτώσεις ΠΗΓΗ: https://www.bgs.ac.uk/wp-content/uploads/2020/06/rock_fall.jpg

2.1.2 Ανατροπές

Όσον αφορά τις ανατροπές (Εικόνα 2.3) όπως προαναφέρθηκε, η κίνηση γίνεται γύρω από σημείο που βρίσκεται κάτω από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας. Βασικοί παράγοντες για την πρόκλησή τους είναι η βαρύτητα από γειτονικά τεμάχια όπως επίσης και από υδροστατικές πιέσεις. Με την ανατροπή της μάζας, η αρχική κίνηση μεταβάλλεται συνήθως είτε σε πτώση, είτε σε ολίσθηση. Τέλος η ανατροπή είναι ένα είδος κίνησης το οποίο χαρακτηρίζεται από την εξαιρετικά αργή κίνηση στα αρχικά στάδια και στην εξαιρετικά γρήγορη κίνηση στα τελικά στάδια.



Rock topple

Εικόνα 2.3 Ανατροπή Βράχων (Topples) ΠΗΓΗ: <https://www.bgs.ac.uk/wp-content/uploads/2020/06/rock-topple.jpg>



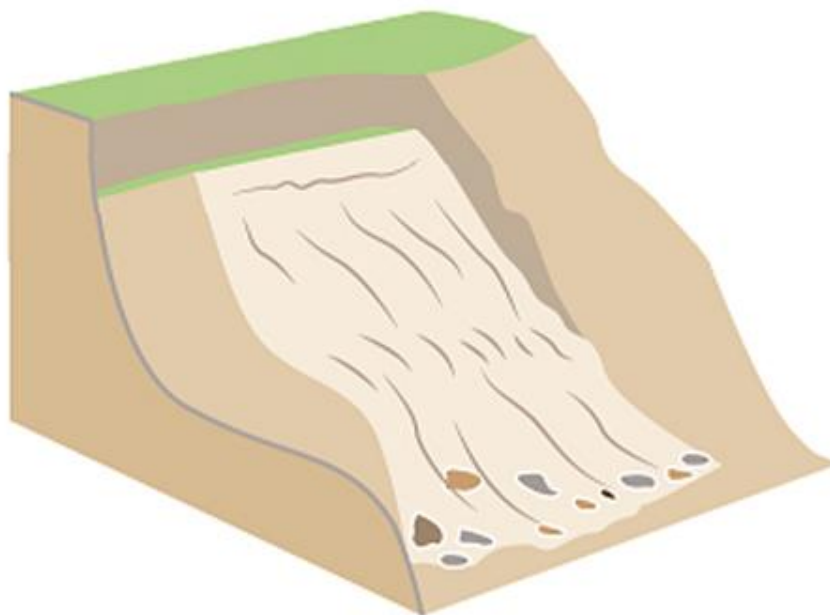
Εικόνα 2.4 Ανατροπή βράχων στον ΒΟΑΚ ΠΗΓΗ: <https://www.newsit.gr/topikes-eidhseis/kriti-kakokairia-xeimaros-o-voak-ptosi-vraxou-kai-anatropi-ix-video/2725640/>

2.1.3 Ολίσθηση

Κατά τον Varnes (1978), στην ολίσθηση, η κίνηση συνίσταται σε διατμητική παραμόρφωση και μετατόπιση κατά μήκος μιας ή περισσότερων επιφανειών που είναι ορατές ή μπορούν εύλογα να συναχθούν, ή εντός μιας σχετικά στενής ζώνης. Η μετακίνηση μπορεί να είναι προοδευτική, δηλαδή η διατμητική αστοχία μπορεί αρχικά να μην εμφανίζεται ταυτόχρονα σε αυτό που τελικά γίνεται μια καθορισμένη επιφάνεια ρήξης, αλλά να διαδίδεται από μια περιοχή τοπικής αστοχίας. Η μετατοπισμένη μάζα μπορεί να ολισθαίνει πέρα από την αρχική επιφάνεια διάρρηξης σε αυτό που ήταν η αρχική επιφάνεια του εδάφους, η οποία στη συνέχεια γίνεται επιφάνεια διαχωρισμού.

2.1.4 Ολίσθηση-Περιστροφική

Μια χαρακτηριστική περίπτωση περιστροφικής ολίσθησης (Εικόνα 2.5) είναι οι λιθορριπές, οι οποίες είναι ολισθήσεις κατά μήκος μιας επιφάνειας ρήγματος που είναι κυρτωμένη κοίλα προς τα πάνω. Η μετακίνηση στις καθιζήσεις λαμβάνει χώρα μόνο κατά μήκος εσωτερικών επιφανειών ολίσθησης. Οι εκτεθειμένες ρωγμές είναι ομόκεντρες σε κάτοψη και κοίλες προς την κατεύθυνση της κίνησης. Εάν η κατολίσθηση εκτείνεται για σημαντική απόσταση κατά μήκος του πρσανούς κάθετα προς τη διεύθυνση της κίνησης, μεγάλο μέρος της επιφάνειας ρήγματος μπορεί να προσεγγίσει το σχήμα ενός τομέα ενός κυλίνδρου του οποίου ο άξονας είναι παράλληλος προς το πρανές.



Εικόνα 2.5 Περιστροφική ολίσθηση ΠΗΓΗ: https://www.bgs.ac.uk/wp-content/uploads/2020/06/rock_slide.jpg

2.1.5 Ολίσθηση-Επίπεδη

Κατά την διάρκεια μιας μεταφορικής ολίσθησης (Εικόνα 2.6), η μετακινούμενη μάζα τείνει να μετακινηθεί προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση ή προς τα έξω ή προς τα κάτω και προς τα έξω κατά μήκος μιας λιγότερο επίπεδης επιφάνειας έχει ελάχιστα από την περιστροφική κίνηση ή την προς τα πίσω κλίση που χαρακτηρίζει την πτώση. Η κινούμενη μάζα ολισθαίνει συνήθως στην αρχική επιφάνεια του εδάφους. Επιπλέον μια μεταφορική ολίσθηση, ωστόσο, μπορεί να προχωρήσει επ' αόριστόν εάν η επιφάνεια στο στην οποία στηρίζεται είναι επαρκώς κεκλιμένη και εφόσον η διατμητική αντίσταση κατά μήκος αυτής της επιφάνειας παραμένει μικρότερη από την πιο σχεδόν σταθερή κινητήρια δύναμη. Μια μεταφορική ολίσθηση στην οποία η κινούμενη μάζα αποτελείται από μια ενιαία μονάδα που δεν είναι πολύ παραμορφωμένη ή μερικές στενά συνδεδεμένες μονάδες μπορεί να ονομαστεί ολίσθηση μπλοκ. Εάν η κινούμενη μάζα αποτελείται από πολλές ημιανεξάρτητες μονάδες, ονομάζεται σπασμένη ή διαταραγμένη, ολίσθηση. Η κίνηση των μεταφορικών ολισθήσεων συνήθως ελέγχεται δομικά από επιφάνειες αδυναμίας, όπως τα ρήγματα (Cruden & Varnes, 1996)



Εικόνα 2.6 Επίπεδη Ολίσθηση ΠΗΓΗ: https://www.bgs.ac.uk/wp-content/uploads/2020/06/translational_slides.jpg

2.1.6 Αίτια κατολισθήσεων

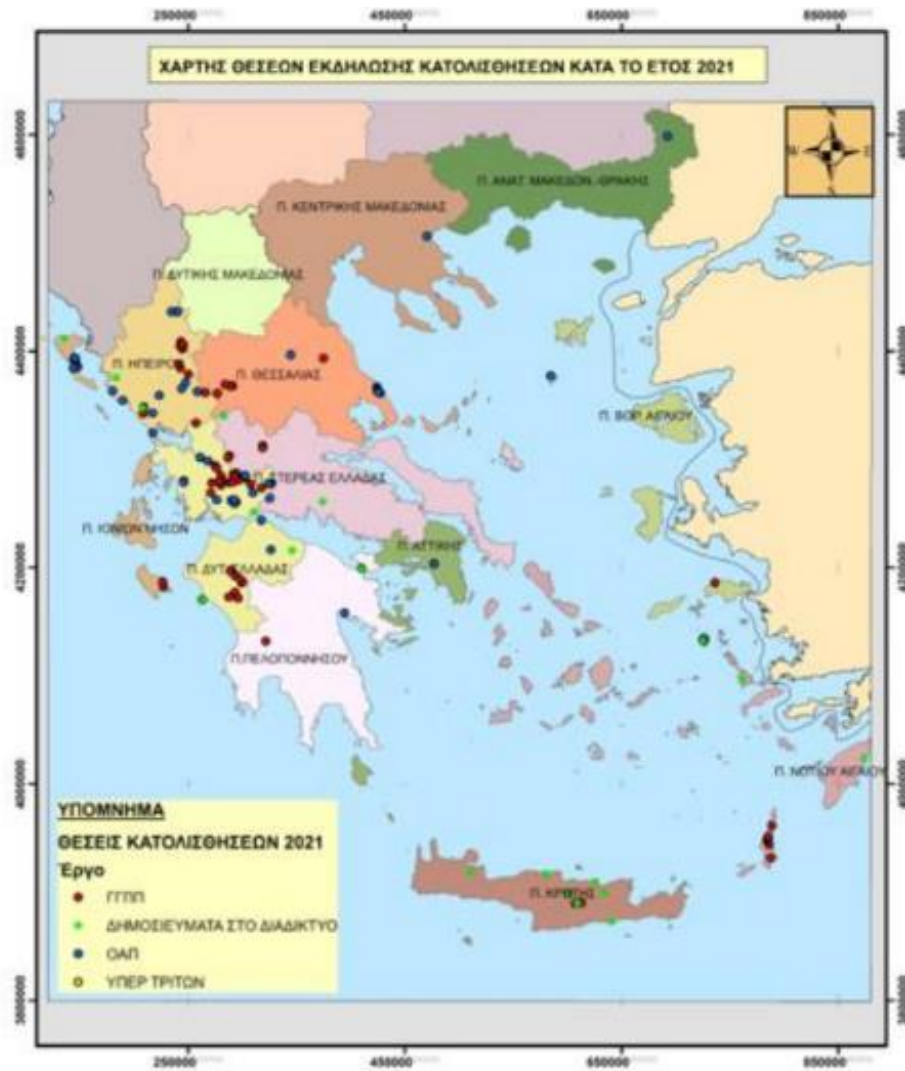
Είναι σημαντικό να αναφερθούν επίσης και οι βασικοί παράγοντες που συντελούν στην αστοχία ενός πρανούς οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω (Welcome to BGS - British Geological Survey, 2023):

- **Νερό:** η προσθήκη νερού στο υλικό μιας πλαγιάς αυξάνει την πιθανότητα κατολίσθησης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το νερό προσθέτει βάρος, μειώνει την αντοχή του υλικού και μειώνει την τριβή, διευκολύνοντας την κίνηση του υλικού προς τα κάτω.
- **Διαδικασίες διάβρωσης:** εάν ο πυθμένας μιας πλαγιάς διαβρώνεται συνεχώς, για παράδειγμα από τη θάλασσα ή ένα ποτάμι, η πλαγιά θα γίνει τελικά πολύ απότομη για να μπορέσει να κρατηθεί μόνη της.

- **Γωνία κλίσης (απότομη κλίση του πρανούς):** Η γωνία κλίσης είναι βασικός παράγοντας όσον αφορά τις κατολισθήσεις. Οποιαδήποτε αλλαγή σε αυτήν που την κάνει πιο απότομη (όπως η διάβρωση των ακτών) αυξάνει την πιθανότητα κατολίσθησης.
- **Τύπος πετρωμάτων:** ο τύπος των πετρωμάτων στο πρανές και ο συνδυασμός τους μπορεί να αυξήσει την πιθανότητα κατολίσθησης.
- **Σχήμα κόκκων:** το σχήμα των κόκκων που συνθέτουν ένα πέτρωμα μπορεί να επηρεάσει τον κίνδυνο κατολίσθησης.
- **Σύνδεση και προσανατολισμός των επιπέδων στρώσης.**
- **Διάταξη των στρωμάτων του πετρώματος.**
- **Διαδικασίες διάβρωσης:** για παράδειγμα, η ψύξη-απόψυξη μειώνει τη συνοχή ("κολλητικότητα") μεταξύ των κόκκων του πετρώματος.
- **Βλάστηση:** η βλάστηση συμβάλλει στη συγκόλληση των υλικών- η απομάκρυνση της βλάστησης αυξάνει την πιθανότητα κατολίσθησης.
- **Πλημμύρες.**
- **Ηφαιστεια και σεισμική δραστηριότητα σε κοντινή απόσταση.**
- **Ανθρώπινη δραστηριότητα:** η εξόρυξη, οι δονήσεις της κυκλοφορίας ή η αστικοποίηση αλλάζουν τα πρότυπα αποστράγγισης των επιφανειακών υδάτων.

2.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΩΣ

Λόγω της μορφολογίας της Ελλάδας, πολλοί οικισμοί και κυρίως τοπικές κοινότητες είναι χτισμένες σε πρόποδες μεγάλων ορεινών όγκων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τοποθεσία να εγκυμονεί κινδύνους για τους κατοίκους και την περιουσία τους. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το τμήμα Τεχνικής Γεωλογίας της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, το οποίο εκδίδει δελτία τύπου αναφορικά με τις κατολισθήσεις στον Ελλαδικό Χώρο, παρατηρείται αύξηση των κατολισθήσεων κατά την διετία 2020-2021(Εικόνα 2.7) με τα σοβαρά και αισθητικά φαινόμενα να φτάνουν τα 501. Τα 312 από αυτά καταγράφηκαν το 2020 με την περιφέρεια της Θεσσαλίας να έχει πληγεί περισσότερο σε ποσοστό 62.82%, ενώ για το έτος 2021 η περιφέρεια που επλήγη περισσότερο ήταν η περιφέρεια της δυτικής Στερεάς Ελλάδας με ποσοστό 35.45%.



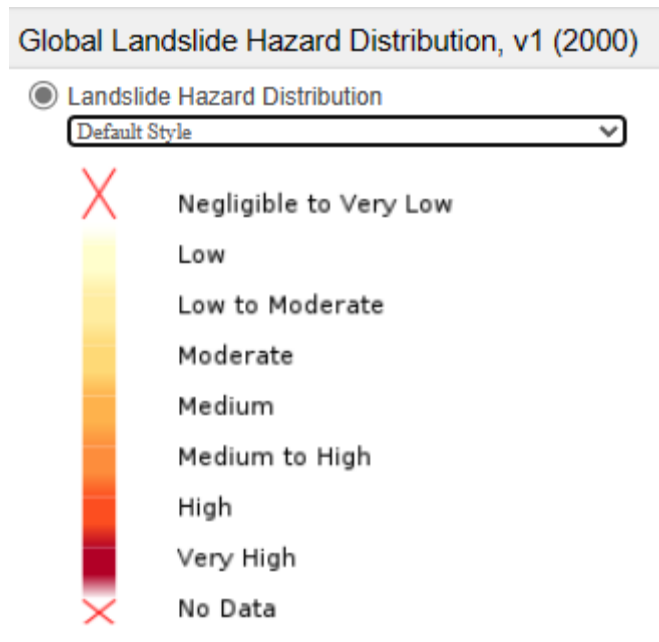
Εικόνα 2.7 Χάρτης Θέσεων Κατολισθήσεων στον Ελλαδικό Χώρο για το έτος 2021 ΠΗΓΗ: https://proini.news/_site/wp-content/uploads/2022/09/xarths-katolisthiseis.png

Προκειμένου να υπάρξει μια καλύτερη εικόνα όσον αφορά την κατηγοριοποίηση των κατολισθητικών φαινομένων, η NASA σε συνεργασία με το πανεπιστήμιο του Columbia (<https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/ndh-landslide-hazard-distribution>) δημιούργησαν μια βάση δεδομένων η οποία λειτουργεί ως ένα μέσο αξιολόγησης της σχετικής κατανομής και συχνότητας του παγκόσμιου

κινδύνου κατολισθήσεων (Εικόνα 2.8). Σύμφωνα με την συγκεκριμένη βάση δεδομένων η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως περιοχή μέτριου κινδύνου για την εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων (Εικόνα 2.9).

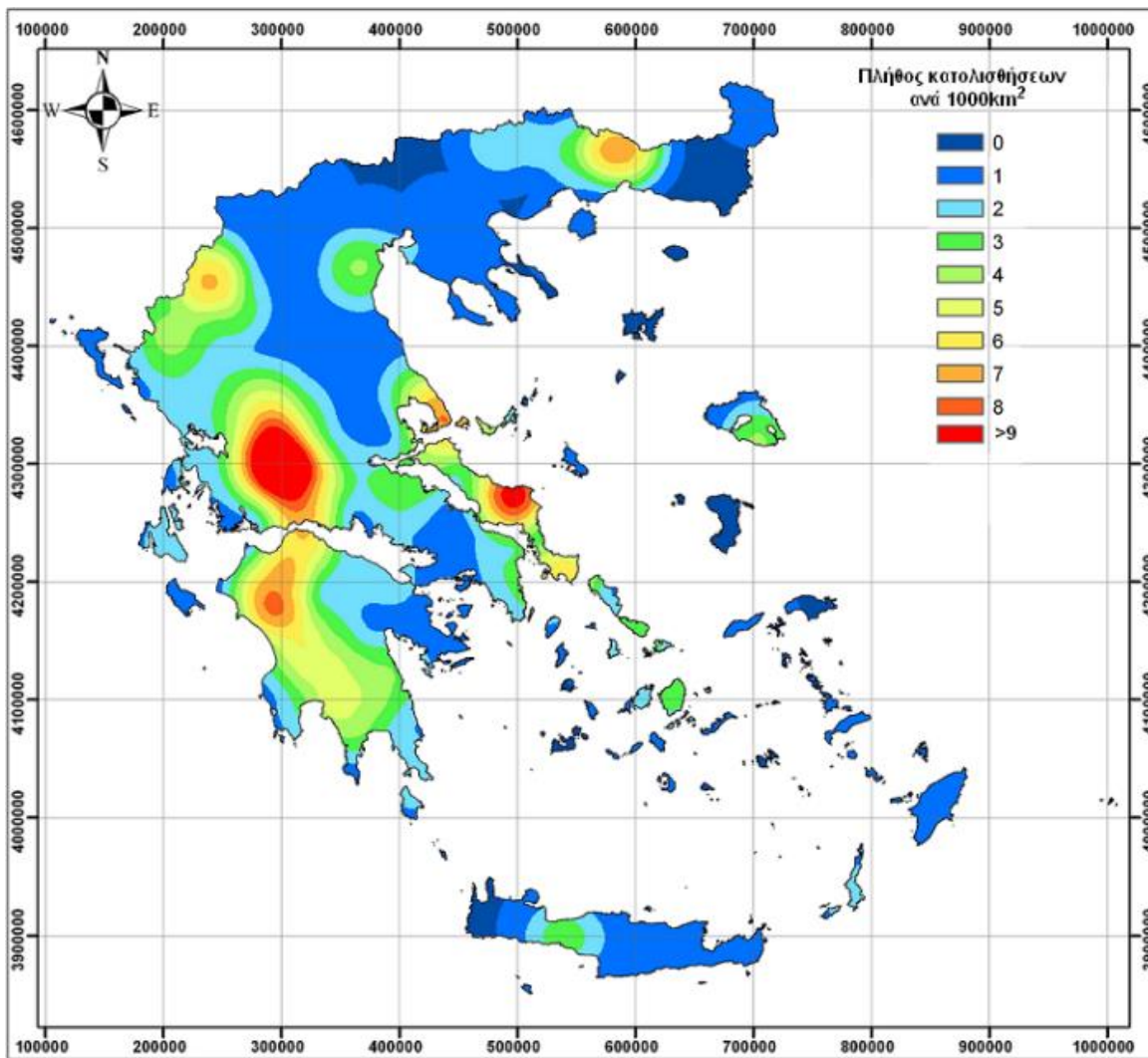


Εικόνα 2.8 Κατανομή Επικινδυνότητας Κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο ΠΗΓΗ: <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/ndh-landslide-hazard-distribution>



Εικόνα 2.9 Υπόμνημα Κατανομής επικινδυνότητας κατολισθήσεων ΠΗΓΗ: <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/ndh-landslide-hazard-distribution>

Η περιοχή της Δυτικής Ελλάδας, γνωστή για την άγρια τοπογραφία της, έχει βιώσει μια αξιοσημείωτη αύξηση των περιστατικών κατολισθήσεων (Εικόνα 2.10), αφήνοντας τα γραφικά τοπία της σηματοδομένα από τα σημάδια της αστάθειας. Οι επιπτώσεις επεκτείνονται πέρα από το φυσικό τίμημα, επηρεάζοντας τις τοπικές οικονομίες και υποδομές. Οι προσπάθειες για τον μετριασμό αυτών των κινδύνων περιλαμβάνουν έναν συνδυασμό συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης καθώς και εκτεταμένης παρακολούθησης και καταγραφής των φαινομένων.



Εικόνα 2.10 Χάρτης απεικόνισης συχνότητας κατολισθήσεων ανά 100 km² στον ελλαδικό χώρο (Μπλιώνα, 2008)

Κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα κατολισθήσεων που κατεγράφησαν στον ελλαδικό χώρο από την Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών καθώς και από διάφορες ενημερωτικές πηγές αναφέρονται παρακάτω.

2.2.1 Κατολίσθηση στα Τέμπη

Στις 17 Δεκεμβρίου 2009 συντελέστηκε στα Τέμπη Θεσσαλίας μια μεγάλη τραγωδία η οποία στοίχισε την ζωή στον τότε υπεύθυνο του έργου για την διάνοιξη της σήραγγας των Τεμπών Ιταλό μηχανικό. Ο άτυχος μηχανικός είχε μεταβεί στο σημείο, για να διερευνήσει μικρότερες κατολισθήσεις που είχαν προηγηθεί και την ώρα του συμβάντος επιχείρησε να προφυλαχθεί σε ΙΧ το οποίο καταπλακώθηκε από πέτρες. Η μεγάλη κατολίσθηση (Εικόνα 2.11) τότε είχε προκαλέσει την διακοπή της κυκλοφορίας από τα Τέμπη για το οδικό τμήμα δυσχεραίνοντας με αυτόν τον τρόπο την κυκλοφορία στην ΠΑΘΕ. Σύμφωνα με στοιχεία που προέκυψαν τα αίτια της. Αξίζει να σημειωθεί επίσης πως έλαβε χώρα μια ακόμα κατολίσθηση ένα χρόνο αργότερα (16/10/2010) στα

Τέμνη με αποτέλεσμα τον τραυματισμό ενός οδηγού ενός φορτηγού, τα αίτια της οποίας αποδόθηκαν στις έντονες βροχοπτώσεις καθώς και στην απουσία προστατευτικού πλέγματος στο σημείο από το οποίο αποκολλήθηκε ο βράχος (Εικόνα 2.12).



Εικόνα 2.11 Αποτελέσματα κατολίσθησης στα Τέμνη(17/12/2009) ΠΗΓΗ: https://www.elekkas.gr/images/galleries/Tempi-2009/34_12.JPG



Εικόνα 2.12 Αποτελέσματα κατολίσθησης στα Τέμπη(16/10/2010) ΠΗΓΗ <https://www.newsit.gr/wp-content/uploads/2017n/07/1490221.jpg>

2.2.2 Κατολίσθηση στο Ζηρό και στην Άρτα

Λόγω των έντονων βροχοπτώσεων οι οποίες είχαν σημειωθεί για αρκετές ημέρες στην περιοχή της Ηπείρου και της Αιτωλοακαρνανίας εκδηλώθηκαν κατολισθητικά φαινόμενα(εικόνα 2.13 και Εικόνα 2.14) τα οποία είχαν ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση του ΕΑΓΜΕ στην Περιφερειακή Μονάδα Ηπείρου(ΠΜΗ). Στόχος της ομάδας ήταν η εκτίμηση της επικινδυνότητας των φαινομένων και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων. Κλιμάκιο αποτελούμενο από ειδικούς επιστήμονες επισκέφθηκαν τους δήμους Πρέβεζας, Ζηρού και Αρταίων.

Ειδικότερα, στις 26 και 27 Ιανουαρίου 2021 πραγματοποιήθηκαν αυτοψίες από τους γεωλόγους της Περιφερειακής Μονάδας Ηπείρου της ΕΑΓΜΕ στην κατολίσθηση που εκδηλώθηκε στην Τ.Κ. Νικόπολης δίπλα από την κεντρική δεξαμενή ύδρευσης της Πρέβεζας. Οι γεωλόγοι της ΕΑΓΜΕ μετά από ενδελεχή εξέταση των φαινομένων έδωσαν οδηγίες για τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν στον τότε δήμαρχο Πρέβεζας και τον αντιδήμαρχο, ώστε να μην επιδεινωθεί η κατάσταση. Συνοψίζοντας το κλιμάκιο της ΕΑΓΜΕ έκρινε πως η κατάσταση βρίσκεται σε οριακό επίπεδο ασφαλείας αφού οι αποθέσεις υλικού και υδάτων από την κατολίσθηση απειλούσαν κρίσιμες υποδομές για την ασφάλεια των κατοίκων.



Εικόνα 2.13 Αστοχία πρανούς στην Ζήρο κα στην Άρτα ΠΗΓΗ: <https://www.eagme.gr/uploads/gallery/22/152/large.jpg>



Εικόνα 2.14 Κατολισθητικά φαινόμενα στην Ζήρο και στην Άρτα ΠΗΓΗ: <https://www.eagme.gr/uploads/gallery/22/153/large.jpg>

2.2.3 Κατολίσθηση στην Λίμνη Πλαστήρα

Στις 29 Δεκεμβρίου του 2020 ο οικισμός Αγία Μαρίνα της κοινότητας Καρίτσας Δολοπών στον δήμο Λίμνης Πλαστήρας, κηρύχθηκε σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης λόγω των εκτεταμένων κατολισθητικών φαινομένων (Εικόνα 2.15 και Εικόνα 2.16) που συντελέστηκαν στην περιοχή και μάλιστα σε εκτεταμένη ακτίνα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αποστολή κλιμακίου του ΙΓΜΕ με στόχο την εκτίμηση του φαινομένου αλλά και την υπόδειξη των αναγκαίων μέτρων για την ασφάλεια των κατοίκων.

Ειδικότερα, η Ομάδα Άμεσης Παρέμβασης της Ε.Α.Γ.Μ.Ε. πραγματοποίησε αυτοψία στον οικισμό της Αγίας Μαρίας όπου με βάση τις αρχικές εκτιμήσεις προέκυψε ότι βασικός παράγοντας για την κατολισθητική δραστηριότητα αποτέλεσε το γεωλογικό υπόβαθρο των Άγραφων σε συνδυασμό με τα έντονα καιρικά φαινόμενα του κυκλώνα «Ιανός».



Εικόνα 2.15 Κατολισθητικά φαινόμενα στην περιοχή της λίμνης Πλαστήρα ΠΗΓΗ: <https://www.eagme.gr/uploads/gallery/12/81/large.jpg>



Εικόνα 2.16 Αποτελέσματα κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή της λίμνης Πλαστήρα ΠΗΓΗ: <https://www.eagme.gr/uploads/gallery/12/82/large.jpg>

2.2.4 Κατολίσθηση στην Brienz

Κατολισθητικά φαινόμενα στον διεθνή χώρο αναφέρονται όπως η περίπτωση του χωριού Brienz, στο ανατολικό καντόνι Graubünden (Εικόνα 2.17), το οποίο έχει κριθεί ως περιοχή υψηλού γεωλογικού κινδύνου. Πιο συγκεκριμένα πάνω από δύο εκατομμύρια κυβικά μέτρα βράχου από το βουνό πρόκειται να αποκολληθούν και να πέσουν στην κοιλάδα μέσα στις επόμενες ημέρες. Το χωριό είναι χτισμένο σε έδαφος που υποχωρεί προς την κοιλάδα, με αποτέλεσμα η κορυφή της εκκλησίας να γέρνει και να εμφανίζονται μεγάλες ρωγμές στα κτίρια. Υπήρξε άμεση ειδοποίηση προς τους κατοίκους της περιοχής για το φαινόμενο με κάποιες αρχικές εργασίες να οδηγούν σε μερική επιβράδυνση του φαινομένου. Όμως, εν τω μεταξύ, η βουνοπλαγιά πάνω από το Brienz διαλυόταν και τα περιστατικά βραχοπτώσεων σε αυλές σπιτιών ήταν συνηθισμένο φαινόμενο. Οι γεωλόγοι προειδοποίησαν ότι η μετακίνηση των βράχων επιταχυνόταν. Καθώς Μέρος της βραχώδους επιφάνειας γλιστρούσε μέχρι το 2023 με ρυθμό 32 μέτρων κάθε χρόνο. Οι γεωλόγοι αναφέρουν ότι περίπου δύο εκατομμύρια κυβικά μέτρα βράχου του αναμένεται να πέσουν μέσα σε επτά έως 24 ημέρες.

Καθώς οι παγετώνες συρρικνώνονται και ο μόνιμος πάγος ψηλά στα βουνά αρχίζει να ξεπαγώνει, ο βράχος γίνεται ασταθής. Χαμηλότερα, οι ισχυρότερες βροχοπτώσεις που συνδέονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη προκαλούν διάβρωση και ολίσθηση, και αυτό φαίνεται να συνέβη στο Brienz. Οι προβλέψεις για περαιτέρω έντονες βροχοπτώσεις καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της εβδομάδας ήταν αυτές που οδήγησαν στην αιφνίδια απόφαση εκκένωσης.



Εικόνα 2.17 Αστοχία πρανούς στην περιοχή του Brienz της Ελβετίας ΠΗΓΗ: https://www.michanikos.gr/uploads/monthly_2023_05/brienz.jpg.c7b0a5bfd892c28ac44a2e2ae95fe86a.jpg

2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Χάρην στην αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας, οι μηχανικοί είναι σε θέση με την βοήθεια νέων πιο ευέλικτων μέσων να παρακολουθούν φυσικά φαινόμενα όπως οι κατολισθήσεις, οι σεισμοί και άλλες γεωλογικές διεργασίες. Η παρακολούθηση των κατολισθήσεων και των καταπτώσεων βράχων αποτελεί μια σημαντική διεργασία για την πρόληψη των παραπάνω φαινομένων καθώς και για την έγκαιρη ανίχνευση, εκτίμηση και αποτελεσματική διαχείριση του κινδύνου. Συνεπώς για την κατάλληλη πρόληψη χρησιμοποιούνται νέες τεχνολογίες καθώς και παραδοσιακές τεχνικές.

Οι μέθοδοι προσδιορισμού μικρομετακινήσεων και ανάλυσης των παραμορφώσεων αναφέρονται κατ' αρχήν στην επιφάνεια του εδάφους και σε θέματα που σχετίζονται με τις παραμορφώσεις στα όρια των τεκτονικών πλακών, καταλαμβάνοντας επάξια μια θέση υπεροχής ανάμεσα στις άλλες προσεγγίσεις στο σημαντικό πρόβλημα της πρόγνωσης των σεισμών (καθώς και σε θέματα που σχετίζονται π.χ. με τις κατολισθήσεις ή τις καθιζήσεις εξαιτίας π.χ. μεταλλευτικών εξορύξεων, ή αντλήσεων πετρελαίου, υπόγειων υδάτων κ.λπ.). Εκτός όμως από τη μελέτη των παραμορφώσεων του στερεού φλοιού της Γης το πρόβλημα αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία και στη μελέτη των παραμορφώσεων μεγάλων τεχνικών έργων όπως είναι τα φράγματα, οι γέφυρες, τα ψηλά κτίρια κ.ά., καθώς σχετίζεται άμεσα με την πιθανή κατάρρευση του έργου και την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής. Ο διαχρονικός έλεγχος των μνημείων είναι επίσης μια ουσιαστική εργασία, χρήσιμη για τις μελέτες συντήρησης και αποκατάστασής τους (Δούκας et al., 2012).

Για την μελέτη κατολισθητικών φαινομένων υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι, σύμφωνα με τον Δούκα (2012). Αυτές είναι οι γεωτεχνικές και κατασκευαστικές μέθοδοι (που θεωρούνται εδώ ως μια ομάδα λόγω μεγάλης

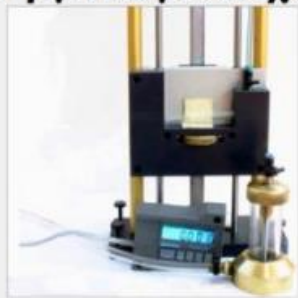
ομοιογένειας και συγγένειας) και οι γεωδαιτικές μέθοδοι προσδιορισμού μετακινήσεων και τέλος οι τηλεσκοπικοί μέθοδοι προσδιορισμού.

2.3.1 Οι γεωτεχνικές και κατασκευαστικές μέθοδοι

Μετρήσεις μεταβολών σχετικών υψόμετρων π.χ. με αλφαδολάστιχα ή παρόμοιες διατάξεις υδροστατικής χωροστάθμησης (water levels, water hose levels).

- Μετρήσεις μεταβολών γραμμικών διαστάσεων π. χ. με μηκυνσιόμετρα (extensometers).
- Μετρήσεις μεταβολών κλίσεων π.χ. με κλισίμετρα (inclinometers, tiltmeters).
- Μετρήσεις μεταβολών στην πίεση/στάθμη των υπόγειων υδάτων π.χ. με ειδικά πιεζόμετρα (piezometers).
- Μετρήσεις μεταβολών στην πίεση εδαφών π.χ. με ειδικές συσκευές (earth pressure cells).
- Μετρήσεις ταλαντώσεων και κραδασμών, αναφορικά με το έδαφος, με επιταχυνσιόμετρα (accelerometers).
- Μετρήσεις μεταβολών κλίμακας παραμορφώσεων (strain) π.χ. με σύρματα Invar, με ειδικούς μετρητές παραμορφώσεων (strainmeters) κ.λπ.
- Μετρήσεις μεταβολών κλίσεων - κατά την κατακόρυφη διεύθυνση - π.χ. με διατάξεις νήματος(ων) της στάθμης (plumb lines). Συνηθέστερα, χρησιμοποιούνται σε υψίκορμες κατασκευές (καμινάδες, πύργοι αεροδρομίων, φράγματα κ.λπ.).
- Μετρήσεις μεταβολών κλίσεων - κατά την οριζόντια διεύθυνση - π.χ. με κλισίμετρα. Συνηθέστερα, χρησιμοποιούνται σε εκτεταμένες οριζόντια κατασκευές όπως είναι π.χ. οι γέφυρες.
- Μετρήσεις ταλαντώσεων και δονήσεων, αναφορικά με κατασκευές, με επιταχυνσιογράφους (accelerometers) και LDV (Laser-Doppler Vibrometers). Οι γεωτεχνικές/κατασκευαστικές μέθοδοι μετρήσεων παραμορφώσεων, έχουν να κάνουν όπως είναι φανερό με άμεσες μετρήσεις.

Όργανα γεωτεχνικών - κατασκευαστικών μεθόδων I



(α)



(β)



(στ)



(γ)



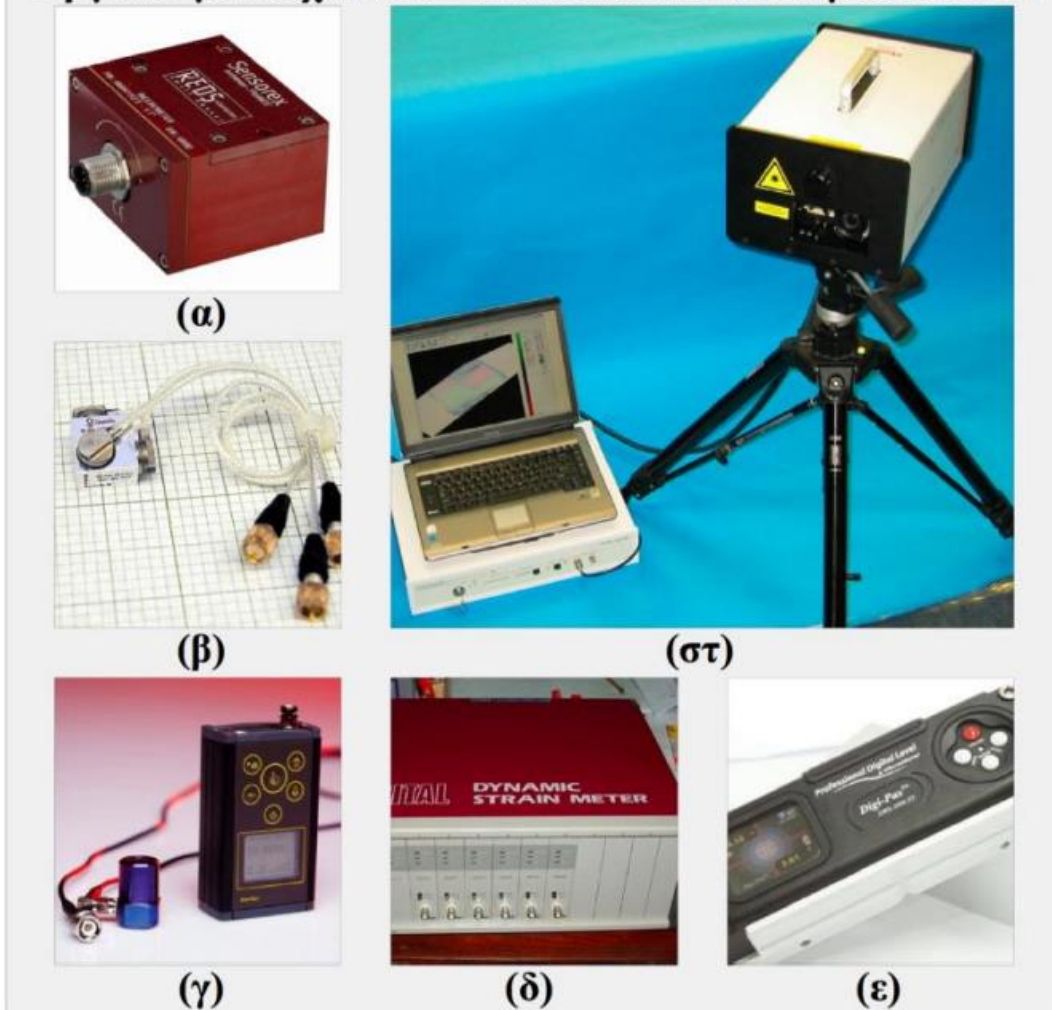
(δ)



(ε)

Εικόνα 2.18 Αντιπροσωπευτικά όργανα που χρησιμοποιούνται στις γεωτεχνικές και κατασκευαστικές μεθόδους I: (α). Εξελιγμένο αφαδολάστιχο (β). Μηκνισιόμετρο (γ). Κλισίμετρο σε συνεργασία (Δούκας et al., 2012)

Όργανα γεωτεχνικών - κατασκευαστικών μεθόδων II



Εικόνα 2.19 Αντιπροσωπευτικά όργανα που χρησιμοποιούνται στις γεωτεχνικές και κατασκευαστικές (Δούκας et al., 2012)

2.3.2 Γεωδαιτικές μέθοδοι

Οι γεωδαιτικές μέθοδοι παρακολούθησης χωρίζονται σε 2 υποκατηγορίες:

Έμμεσες γεωδαιτικές: Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στα λεγόμενα κλασικά γεωδαιτικά δίκτυα ελέγχου: μιας διάστασης (υψομετρικά), δύο διαστάσεων (οριζόντια) και τριών διαστάσεων (μικτά, υψομετρικά + οριζόντια). Επίσης, τα δίκτυα μπορεί να είναι φωτογραμμετρικά (επίγεια ή εναέρια), δορυφορικά (GPS/GNSS) ή οποιοσδήποτε συνδυασμός αυτών (ανάλογα με το είδος, τη θέση και φυσικά το μέγεθος-έκταση της υπό μελέτη κατασκευής).

Άμεσες γεωδαιτικές: Αυτές έχουν τα χαρακτηριστικά των γεωτεχνικών/κατασκευαστικών μεθόδων και χωρίζονται στις εξής υποκατηγορίες :

- Μετρήσεις μεταβολών σχετικών υψόμετρων π.χ. με ακριβείς υψομετρικές μεθόδους.

- Μετρήσεις μεταβολών μηκών π.χ. με EDM (ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης αποστάσεων), μεταλλικές μετροταινίες, σύρματα Invar.
- Μετρήσεις μεταβολών κλίσεων π.χ. με θεοδόλιχους ακριβείας 1" ή με οπτικούς κατακορυφωτές. (Δούκας et al., 2012)



Εικόνα 2.20 Σύγχρονα αντιπροσωπευτικά γεωδαιτικά όργανα που χρησιμοποιούνται στις γεωδαιτικές μεθόδους: (α). Γεωδαιτικός σταθμός χωρίς απαίτηση πρίσματος (β). Ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός (γ), (δ), και (ε). Διάφοροι τύποι Laser scanner (στ). Επίγεια φωτογραμμετρική κάμερα (Δούκας et al., 2012)

Οι έμμεσες γεωδαιτικές μέθοδοι προσδιορισμού μετακινήσεων στηρίζονται στη δημιουργία ενός γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου (control network) και στην ανάλυση των παρατηρήσεων (GPS, γωνιών, διευθύνσεων, αποστάσεων, υψομετρικών διαφορών κ.λπ.) για τον υπολογισμό του (γεωμετρικού) σχήματος του παραπάνω δικτύου για κάποιες εποχές και τη σύγκριση των σχημάτων μεταξύ τους στις διαφορετικές αυτές εποχές. Αναφορικά με τα εμπλεκόμενα γεωδαιτικά όργανα, αυτά μπορούν να καταταχθούν ως εξής:

Α. Όργανα/συστήματα μέτρησης γωνιών, αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών:

Για γωνίες: Θεοδόλιχοι (μηχανικοί ή συνηθέστερα σήμερα ηλεκτρομηχανικοί).

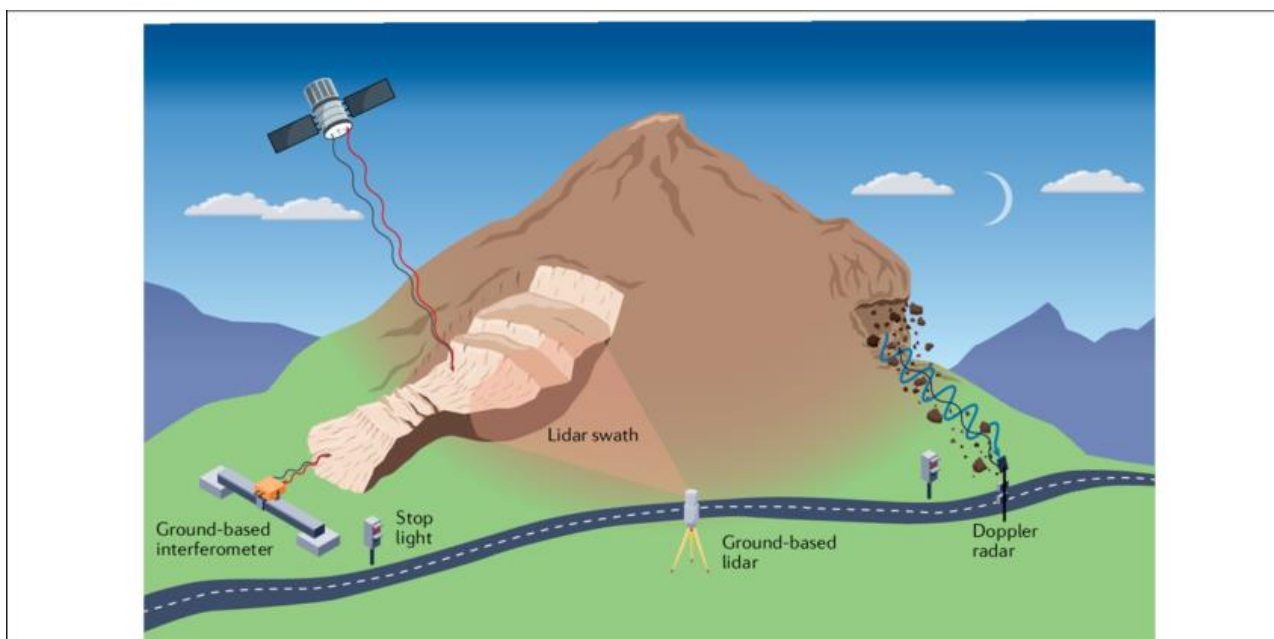
Για αποστάσεις: EDMΙ που χρησιμοποιούν υπέρυθη ακτινοβολία ή ακτινοβολία Laser (μονοχρωματική, πολυχρωματική). Στην κατηγορία υψίστης ακριβείας συναντώνται τα συμβολόμετρα Laser.

Για υψομετρικές διαφορές: Χωροβάτες (μηχανικοί ή συνηθέστερα σήμερα ηλεκτρομηχανικοί), στις δε κατηγορίες υψηλής ακριβείας συναντώνται και οι χωροβάτες με χρήση Laser, σε συνδυασμό με ειδικές σταδίες ραβδωτού κώδικα (barcode).

Γεωδαιτικά όργανα πολλαπλών χρήσεων: Εδώ συναντώνται οι γεωδαιτικοί σταθμοί (total stations) που συνδυάζουν μέτρηση γωνιών και EDMΙ. Τα τελευταία χρόνια υπάρχουν και οι αυτόματοι σταθμοί (ρομποτικοί-αυτοκινούμενοι) (Δούκας et al., 2012)

2.3.3 Απομακρυσμένες τεχνικές παρακολούθησης (Remote Sensing)

Οι τεχνολογίες τηλεπισκόπησης έχουν φέρει επανάσταση στην παρακολούθηση των κατολισθήσεων και των βραχοπτώσεων. Οι τεχνικές που βασίζονται σε δορυφόρους, όπως το ραντάρ συνθετικού ανοίγματος με συμβολομετρική ανάλυση (InSAR) σε επίγειους σαρωτές καθώς και σε ραντάρ επιστροφόμενου σήματος.



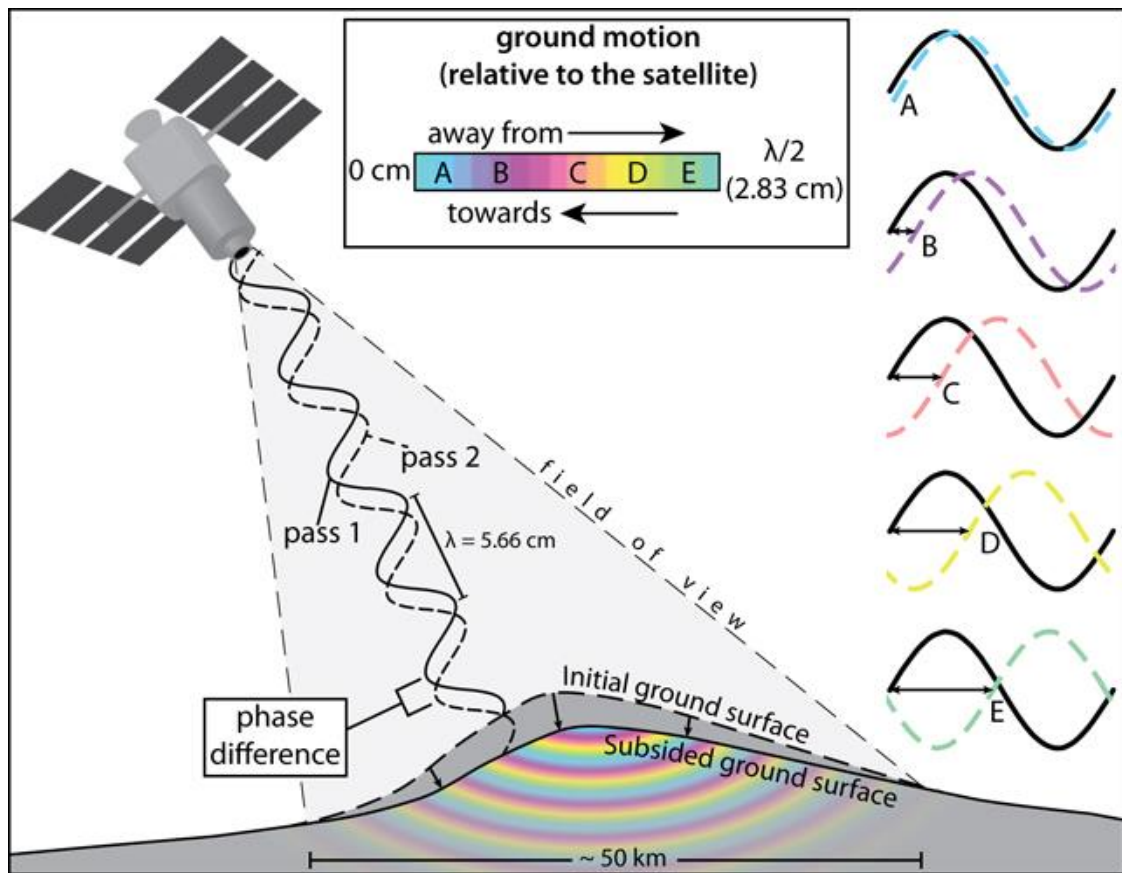
Εικόνα 2.21 Μέθοδοι τηλεπισκόπησης για την παρακολούθηση κατολισθήσεων (Casagli et al., 2023)

Τεχνική InSAR

Η τεχνική InSAR χρησιμοποιείται κυρίως για τη χαρτογράφηση της εδαφικής παραμόρφωσης. Ο όρος αυτός περιλαμβάνει το σύνολο των μικρομετακινήσεων που λαμβάνουν χώρα εξαιτίας διάφορων παραγόντων όπως η κίνηση των τεκτονικών πλακών ή οι μεταβολές του υδατικού ισοζυγίου, αναπαριστά δηλαδή τη συνολική οριζόντια και κατακόρυφη μετατόπιση χωρίς να μπορεί να ξεχωρίσει την ή τις πηγές προέλευσης.

Η μέθοδος βασίζεται στην επεξεργασία δύο δορυφορικών εικόνων φάσης SAR, που αναφέρονται στο ίδιο τμήμα της επιφάνειας της γης αλλά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Λαμβάνοντας την διαφορά

φάσης (ουσιαστικά τη διαφορά χρόνου αλλά στο χώρο των συχνοτήτων) μεταξύ των δύο απεικονίσεων δημιουργείται ένα συμβολόγραμμα (interferogram). Στο συμβολόγραμμα, οι τιμές της διαφορετικής φάσης αναπαρίστανται από επαναλαμβανόμενους κροσσούς συμβολής με συγκεκριμένο χρώμα.



Εικόνα 2.22 Διαδικασία επεξήγησης τεχνικής InSAR ΠΗΓΗ: <https://insar.space/wp-content/uploads/2021/11/3705mau2.jpg>

Η επανάληψη του ίδιου χρώματος ορίζει έναν ολοκληρωμένο κύκλο φάσης 2π . Ουσιαστικά, οι κροσσοί λειτουργούν παρόμοια με τις ισοϋνείς καμπύλες και εκφράζουν αν τα στοιχεία έχουν μετακινηθεί (απομακρυνθεί/πλησιάσουν) σε σχέση με το ραντάρ του δορυφόρου. Η συμβολομετρική φάση εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων και είναι συνάρτηση της τοπογραφίας του εδάφους, των παραμορφώσεων που έχουν λάβει χώρα ανάμεσα στις δύο χρονικές στιγμές (που είναι και το κύριο προϊόν της συμβολομετρίας), των αλλαγών στα χαρακτηριστικά σκέδασης της γήινης επιφάνειας ανάμεσα στις δύο παρατηρήσεις και των τροχιακών, ατμοσφαιρικών και τυχαίων σφαλμάτων.

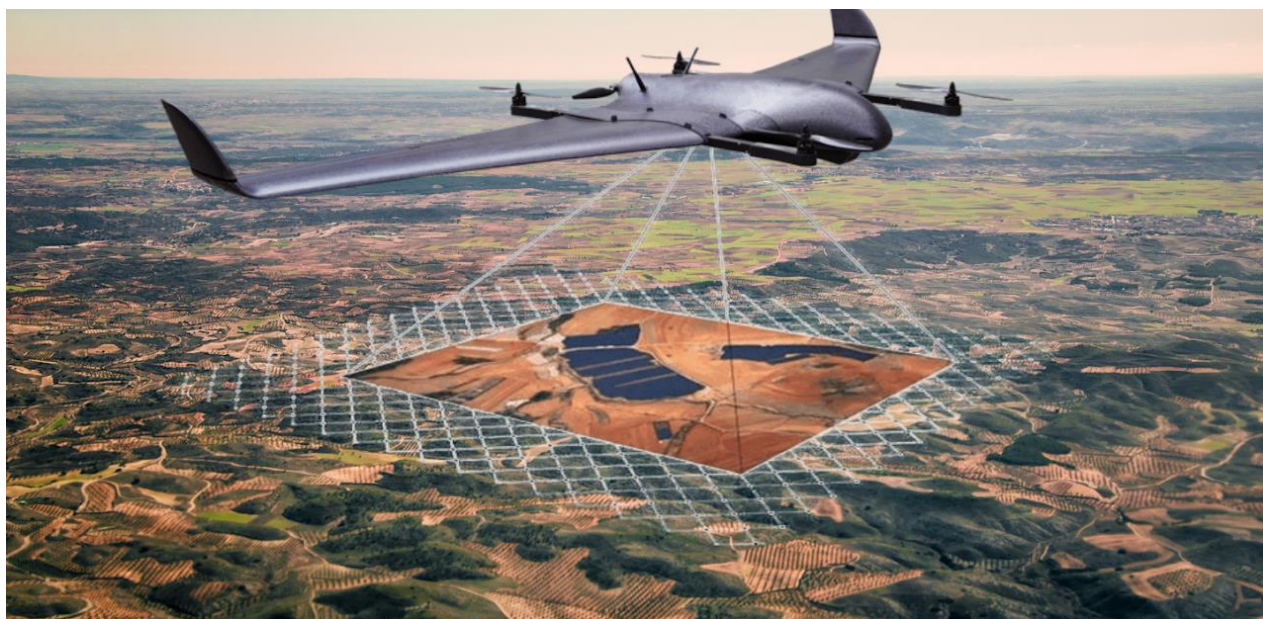
Συγκρίνοντας πολλαπλές δορυφορικές εικόνες με την πάροδο του χρόνου, το InSAR μπορεί να εντοπίσει ακόμη και ανεπαίσθητες μετατοπίσεις στο τοπίο. Αυτό επιτρέπει στις αρχές να παρακολουθούν μεγάλες περιοχές και να δίνουν προτεραιότητα στις ζώνες υψηλού κινδύνου για παρέμβαση.

2.3.4 Τεχνικές αποτύπωσης με ΣμηΕΑ με δέκτες GNSS

Η χαρτογράφηση με μη επανδρωμένα αεροσκάφη, επίσης γνωστή ως αεροναυτική χαρτογράφηση ή χαρτογράφηση με μη επανδρωμένα αεροσκάφη, είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ακριβών και λεπτομερών χαρτών μιας συγκεκριμένης περιοχής με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) εξοπλισμένων με αισθητήρες απεικόνισης. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη έχουν φέρει επανάσταση στον τομέα της

χαρτογράφησης παρέχοντας έναν οικονομικά αποδοτικό και αποτελεσματικό τρόπο συλλογής δεδομένων υψηλής ανάλυσης για διάφορες εφαρμογές, όπως ο αστικός σχεδιασμός, η αποτύπωση γης, η περιβαλλοντική παρακολούθηση και η διαχείριση καταστροφών. Στη χαρτογράφηση με μη επανδρωμένα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι και τεχνικές για την αποτελεσματική καταγραφή και επεξεργασία των δεδομένων.

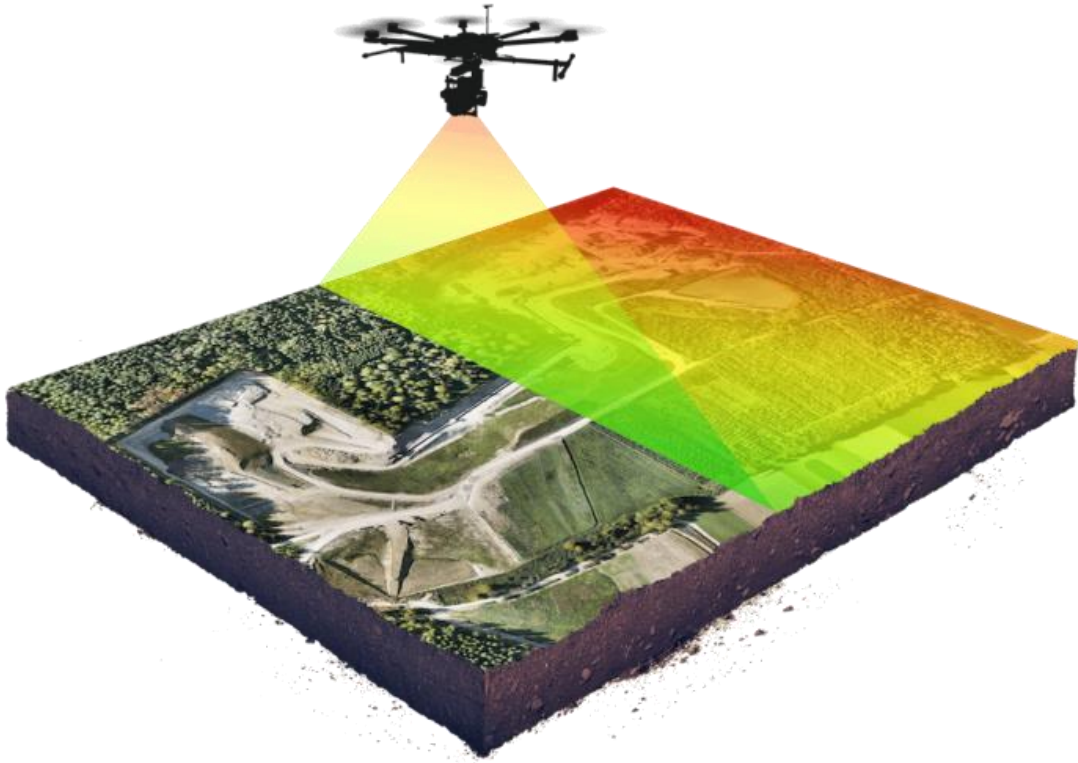
1. Κλασική Φωτογραμμετρία: Η φωτογραμμετρία αποτελεί μια παθητική μέθοδο συλλογής τρισδιάστατης πληροφορίας (Στερεοσκοπικές μέθοδοι). Στη χαρτογράφηση με drone, η φωτογραμμετρία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων και χαρτών με την ανάλυση των επικαλυπτόμενων εικόνων που λαμβάνονται από το drone. Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος ακολουθεί ένα συγκεκριμένο σχέδιο πτήσης, στο οποίο έχει οριστεί συγκεκριμένη επικάλυψη αναμεσα στις λήψεις ανάλογη των εκάστοτε αναγκών αλλά και συγκεκριμένη γωνία λήψης. Η κλασική φωτογραμμετρία με drone είναι μια πολυεικονική διαδικασία SFM στην οποία υπολογίζονται τα στοιχεία του εσωτερικού και του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων και στην συνέχεια πραγματοποιείται η τρισδιάστατη ανακατασκευή της εικονιζόμενης περιοχής.



Εικόνα 2.23 Πτήση ΣμηΕΑ για την παραγωγή ορθομοσαϊκού ΠΗΓΗ: <https://idrones.gr/wp-content/uploads/2022/04/Untitled-design-22.png>

2. LiDAR (Light Detection and Ranging): Το LiDAR είναι μια τεχνολογία τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιεί παλμούς λέιζερ για τη μέτρηση αποστάσεων και τη δημιουργία εξαιρετικά ακριβών τρισδιάστατων αναπαραστάσεων του εδάφους. Είναι ενεργητικός δέκτης που εκπέμπει μερικές εκατοντάδες χιλιάδες παλμούς laser το δευτερόλεπτο (< 500.000 παλμούς/sec) Κάθε παλμός ανακλάται στο αντικείμενο και επιστρέφει στον δέκτη, ενώ ο χρόνος της διαδρομής μετράται με χρονόμετρο ακριβείας και μετατρέπεται σε απόσταση Αυτή η απόσταση καθώς και η θέση και ο προσανατολισμός του αεροσκάφους (που είναι εφοδιασμένο με INS και GPS) χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων του στόχου Για κάθε παλμό μπορεί να καταγραφούν πολλαπλές επιστροφές Τα εξοπλισμένα με LiDAR μη επανδρωμένα αεροσκάφη εκπέμπουν ακτίνες λέιζερ που ανακλώνται όταν συναντούν αντικείμενα στο έδαφος, επιτρέποντας στο μη επανδρωμένο αεροσκάφος να υπολογίσει την απόσταση και να δημιουργήσει ένα λεπτομερές νέφος σημείων. Οι παλμοί λέιζερ αναφέρονται είτε στην μέτρηση χρόνου (Time-of-Flight –ToF), είτε στην μέτρηση διαφοράς φάσης (Phase Shift). Πιο συγκεκριμένα η καταγραφή του πρώτου παλμού δίνει πληροφορίες αναφορικά με τα υψηλότερα αντικείμενα ενώ ο τελευταίος παλμός χρησιμοποιείται για την αποτύπωση του εδάφους. Το LiDAR είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τη χαρτογράφηση περιοχών με πυκνή βλάστηση ή περιοχών που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια, όπως οι τοπογραφικές

έρευνες. Συνήθως τα lidar συστήματα που είναι τοποθετημένα επάνω σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη προσφέρουν ακρίβειες έως και 10mm.



Εικόνα 2.24 Αποτύπωση περιοχής με ΣμηΕΑ και φορητό LIDAR ΠΗΓΗ: <https://wingtra.com/wp-content/uploads/201909-lidar-plane-illustration-300x199.png>

3.Κινηματικό GPS πραγματικού χρόνου (RTK):Το RTK GPS είναι μια τεχνική εντοπισμού θέσης που επιτρέπει εξαιρετικά ακριβείς και ακριβείς πληροφορίες γεωγραφικού εντοπισμού. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη με RTK χρησιμοποιούν σήματα GPS από επίγειους σταθμούς αναφοράς για τη διόρθωση της θέσης του μη επανδρωμένου αεροσκάφους σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας ακρίβεια επιπέδου εκατοστού. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για εφαρμογές τοπογραφίας και χαρτογράφησης που απαιτούν υψηλή ακρίβεια.

Δέκτης RTK: Το drone είναι εξοπλισμένο με έναν δέκτη RTK, ο οποίος είναι ένας εξειδικευμένος δέκτης GNSS ικανός να λαμβάνει σήματα τόσο από τους δορυφόρους όσο και από κοντινούς επίγειους σταθμούς αναφοράς. Ο δέκτης RTK είναι υπεύθυνος για τη βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού θέσης του drone.

Σταθμός αναφοράς (Base) : Ο επίγειος σταθμός αναφοράς είναι τοποθετημένοι σε γνωστές τοποθεσίες με επακριβώς καταγεγραμμένες συντεταγμένες. Αυτοί οι σταθμοί αναφοράς λαμβάνουν σήματα από τους ίδιους δορυφόρους GNSS που χρησιμοποιεί το drone. Μετρούν με ακρίβεια τον χρόνο που χρειάζονται τα δορυφορικά σήματα για να φτάσουν σε αυτούς.

Διαφορική διόρθωση: Ο δέκτης RTK στο drone επικοινωνεί με τους σταθμούς αναφοράς σε πραγματικό χρόνο, λαμβάνοντας δεδομένα διόρθωσης. Οι σταθμοί αναφοράς αναλύουν τη διαφορά μεταξύ των πραγματικών δορυφορικών μετρήσεων και των γνωστών ακριβών τους θέσεων. Αυτές οι πληροφορίες διαφορικής διόρθωσης περιέχουν ακριβείς τιμές σφάλματος, όπως ατμοσφαιρικές καθυστερήσεις ή σφάλματα ρολογιού.

Διορθώσεις σε πραγματικό χρόνο: Ο δέκτης RTK εφαρμόζει τα λαμβανόμενα δεδομένα διαφορικής διόρθωσης στα δορυφορικά σήματα που λαμβάνει. Λαμβάνοντας υπόψη τα σφάλματα που μετρούνται από τους σταθμούς αναφοράς, ο δέκτης RTK μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια εντοπισμού θέσης του drone.

Ακρίβεια επιπέδου εκατοστού: Με την εφαρμογή της διαφορικής διόρθωσης, ο δέκτης RTK του drone μπορεί να υπολογίσει τη θέση του με μεγάλη ακρίβεια, συνήθως στην περιοχή μερικών εκατοστών ή και λιγότερο. Αυτό το επίπεδο ακρίβειας είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές που απαιτούν ακριβή εντοπισμό θέσης, όπως η τοπογραφία, η χαρτογράφηση, η γεωργία ακριβείας ή οι εναέριες επιθεωρήσεις.

Συνεχής παρακολούθηση: Ο δέκτης RTK του drone λαμβάνει συνεχώς επικαιροποιημένα δεδομένα διόρθωσης από τους σταθμούς αναφοράς, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι αλλαγές στο περιβάλλον ή τα δορυφορικά σήματα. Αυτό διασφαλίζει ότι το drone διατηρεί ακριβείς πληροφορίες εντοπισμού θέσης καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης του.

Συνδυάζοντας δορυφορικά σήματα με διαφορικές διορθώσεις σε πραγματικό χρόνο από επίγειους σταθμούς αναφοράς, τα drones με δέκτες RTK μπορούν να επιτύχουν σημαντικά υψηλότερη ακρίβεια εντοπισμού θέσης σε σύγκριση με drones χωρίς δυνατότητες RTK. Αυτή η αυξημένη ακρίβεια ανοίγει διάφορες δυνατότητες για εφαρμογές που απαιτούν ακριβείς πληροφορίες εντοπισμού θέσης.



Εικόνα 2.25 Drone RTK κατά την διάρκεια αποτύπωσης

4.Θερμική απεικόνιση: Τα drones που είναι εξοπλισμένα με θερμικές κάμερες μπορούν να καταγράψουν θερμικά δεδομένα και να δημιουργούν θερμικούς χάρτες μιας περιοχής. Η θερμική απεικόνιση χρησιμοποιείται για διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των επιθεωρήσεων κτιρίων, της παρακολούθησης της γεωργίας και των επιχειρήσεων έρευνας και διάσωσης. Οι θερμικοί χάρτες μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή απόδοση, τη διαρροή νερού και άλλες ανωμαλίες που σχετίζονται με τη θερμότητα.



Εικόνα 2.26 Dji Matrice 300T ΠΗΓΗ: <https://5.iimg.com/data5/SELLER/Default/2023/5/310142195/R1/UG/TA/90336028/dji-matrice-300-rtk.jpeg>

5. Πολυφασματική απεικόνιση (Multispectral): Η πολυφασματική απεικόνιση περιλαμβάνει τη λήψη εικόπων σε διαφορετικά μέρη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, πέρα από αυτό που μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο μάτι. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που είναι εξοπλισμένα με πολυφασματικές κάμερες μπορούν να καταγράψουν δεδομένα σε διάφορες φασματικές ζώνες, όπως το εγγύς υπέρυθρο, το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της υγείας της βλάστησης, των συνθηκών των καλλιεργειών και των περιβαλλοντικών αλλαγών, μεταξύ άλλων εφαρμογών.



Εικόνα 2.27 Dji Mavic 3E Multispectral ΠΗΓΗ: https://www.e-geosense.gr/1582-thickbox_default/mavic-3-multispectral.jpg

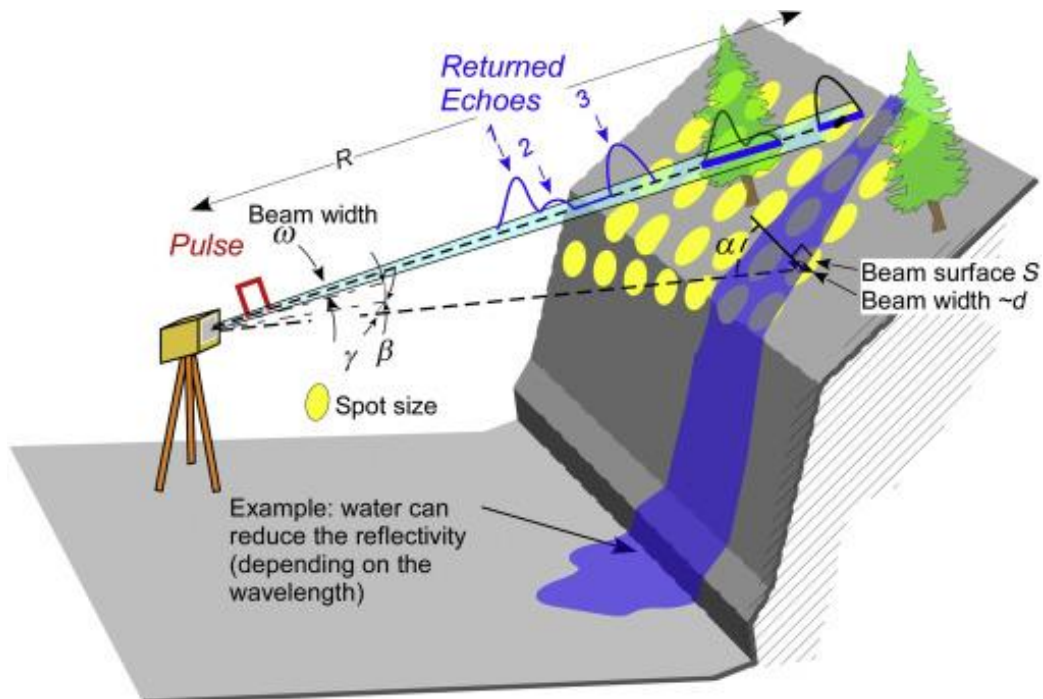
2.3.5 Επίγειοι και εναέριοι Σαρωτές(LIDAR)

Το LiDAR (Light Detection and Ranging) είναι μια άλλη τεχνολογία τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιεί ακτίνες λέιζερ για τη δημιουργία λεπτομερών τρισδιάστατων χαρτών του εδάφους. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων από δέκτες LIDAR λαμβάνονται δεδομένα τόσο από εναέριους δέκτες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι είτε σε αεροπλάνα είτε σε μη επανδρωμένα συστήματα(drones). Συγκρίνοντας σαρώσεις LiDAR που λαμβάνονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, οι ειδικοί μπορούν να εντοπί-

σουν αλλαγές στην τοπογραφία του τοπίου, οι οποίες μπορεί να υποδεικνύουν την εμφάνιση κατολισθήσεων ή καταπτώσεων βράχων. Το LiDAR είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό σε περιοχές με πυκνή βλάστηση, όπου οι παραδοσιακές οπτικές έρευνες μπορεί να είναι περιορισμένες.

Επίγειος σαρωτής(terrestrial LIDAR)

Για εφαρμογές κατολισθήσεων, ο τελευταίος παλμός που επιστρέφεται είναι συνήθως ο πιο σχετικός. Παρόλα αυτά, εάν η βλάστηση είναι πολύ πυκνή, η δέσμη λέιζερ δεν θα φτάσει στο έδαφος και είναι φυσικά απαραίτητη η άμεση ορατότητα (LOS) μεταξύ του TLS και της επιφάνειας σάρωσης. Ωστόσο, αυτοί οι περιορισμοί είναι κοινοί με άλλες τεχνικές τηλεπισκόπησης (τοπογραφικές, ραντάρ ή/και οπτικές).

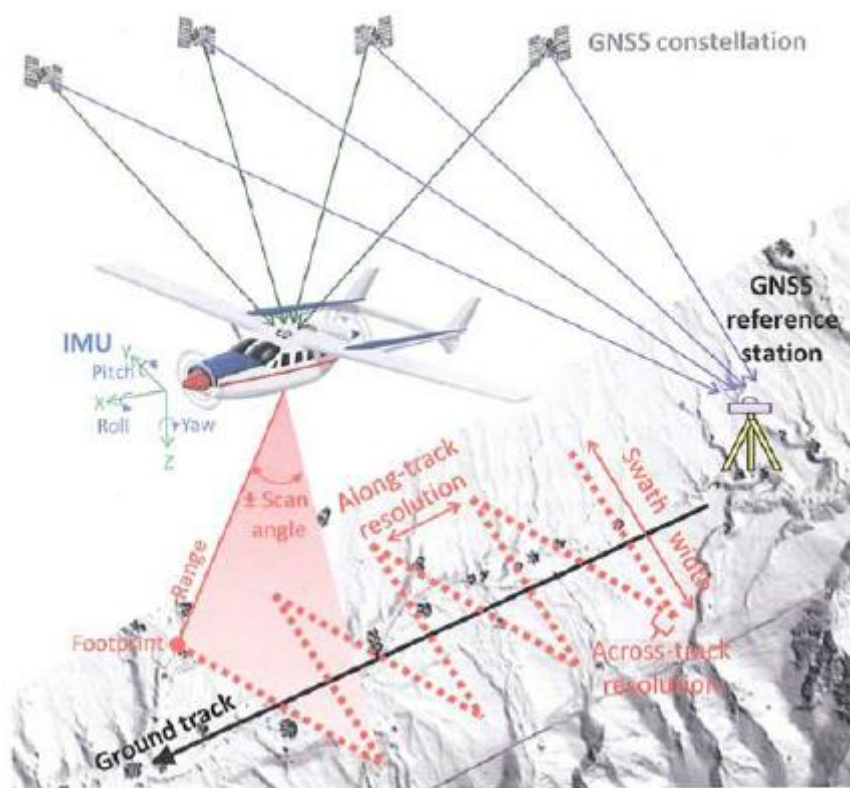


Εικόνα 2.28 Απεικόνιση εφαρμογής επίγειου LIDAR για την αποτύπωση πρηνούς ΠΗΓΗ: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-B9780444641779000072-f07-01-9780444641779.jpg>

Εναέριος σαρωτής (Airborne LIDAR)

Αντίστοιχα με την λογική του επίγειου σαρωτή λειτουργεί και το εναέριο LIDAR. Η κύρια αρχή λειτουργίας είναι η ίδια με την τηλεμετρία λέιζερ: ο σαρωτής, τοποθετημένος σε κάποια κινητή πλατφόρμα (αεροπλάνο, ελικόπτερο), εκπέμπει μια δέσμη λέιζερ και μετρά το χρόνο που χρειάζεται για να επιστρέψει στην πηγή της. Το φως κινείται με σταθερή και γνωστή ταχύτητα, οπότε το όργανο μπορεί να υπολογίσει την απόσταση μεταξύ του ίδιου και του στόχου. Για να υπολογίσουμε τις συντεταγμένες από τις ακατέργαστες τηλεμετρίες, χρειαζόμαστε επίσης τη θέση και τον προσανατολισμό του παλμού

λείζερ: τις ακριβείς συντεταγμένες του αισθητήρα και τη γωνία του εκπεμπόμενου παλμού. Συνήθως εφαρμόζονται συστήματα GNSS και INS για τον προσδιορισμό αυτών των δεδομένων. Στην πράξη η δέσμη λέιζερ σαρώνει την επιφάνεια του εδάφους κατά μήκος της ιπτάμενης διαδρομής.



Εικόνα 2.29 Αρχές λειτουργίας εναέριου LIDAR ΠΗΓΗ: <https://www.researchgate.net/profile/Attila-Juhasz-2/publication/281646370/figure/fig1/AS:284486592942080@1444838297204/The-operation-principle-of-LiDAR-2.png>

Οι σεισμικοί αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν τις δονήσεις του εδάφους που προκαλούνται από κινήσεις εντός του φλοιού της γης. Μια απότομη αύξηση της σεισμικής δραστηριότητας μπορεί να σημαίνει επικείμενη πτώση βράχων ή κατολίπηση. Το ραντάρ διείσδυσης στο έδαφος (GPR) είναι μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά κύματα για τη δημιουργία εικόνων του υπεδάφους. Αυτή η τεχνική μπορεί να αποκαλύψει κρυφές ρωγμές ή αδύναμες ζώνες που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αστάθεια.

Εκτός από αυτές τις τεχνολογικές προσεγγίσεις, τα συστήματα παρακολούθησης με βάση την κοινότητα εμπλέκουν τους κατοίκους της περιοχής στην παρατήρηση και την αναφορά τυχόν ασυνήθιστων ενδείξεων. Αυτά τα σημάδια μπορεί να περιλαμβάνουν ρωγμές σε κτίρια, κεκλιμένους στύλους κοινής ωφέλειας ή αλλαγές στα πρότυπα ροής του νερού. Η συμμετοχή των πολιτών όχι μόνο αυξάνει τον αριθμό των παρατηρητών στο έδαφος, αλλά προάγει επίσης την ανθεκτικότητα και την ετοιμότητα της κοινότητας.

2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΜΕ DRONE (CLIFF MAPPING WITH DRONE)

Η μεγάλη ανάγκη για χαρτογράφηση επικίνδυνων φαινομένων έχει επισιτίσει την προσοχή των επιστημόνων, οι οποίοι με την συμβολή νέων τεχνολογιών είναι σε θέση να μελετήσουν αποτελεσματικότερα τα φυσικά φαινόμενα και συνεπώς να προτείνουν ιδανικότερους τρόπους αντιμετώπισης προσαρμοσμένους κάθε φορά στην εκάστοτε περίπτωση.

Όσον αφορά τις περιπτώσεις κατολισθήσεων και τον τρόπο παρακολούθησής τους στον ελλαδικό χώρο, γίνεται αναφορά και στην διδακτορική διατριβή με τίτλο « Παρακολούθηση κατολισθήσεων με τη χρήση τηλεπισκόπησης, GNSS, μεθόδων GIS και τεχνικών συμβολομετρίας» από την (Κυρίου, 2021).

2.4.1 Περίπτωση μελέτης Μόριας, Δυτική Ελλάδα

Η πρώτη περίπτωση μελέτης αφορά την κατολίσθηση που έλαβε χώρα στην περιοχή της δυτικής Ελλάδας μερικά χιλιόμετρα έξω από την πόλη της Πάτρας κοντά στην ορεινή αλυσίδα των βουνών Παναχαϊκού-Ερύμανθου. Η συγκεκριμένη περιοχή με έκταση 65569,20m² διακρίνεται για την ιδιαίτερη μορφολογία της καθώς και την απότομη τοπογραφία της. Από γεωλογικής απόψεως αποτελείται από φλύσχη, χαλαρούς πυριτόλιθους και ασβεστόλιθους. Ως κύριος λόγος της κατολίσθησης η οποία έλαβε χώρα τον Ιανουάριο του 2017, χαρακτηρίστηκαν οι ισχυρές χιονοπτώσεις οι οποίες είχαν λάβει χώρα με αποτέλεσμα την αποδυνάμωση του εδάφους. Η έκταση της κατολίσθησης εξαπλώνεται 300 μέτρα σε μήκος και 300 μέτρα σε πλάτος, ενώ το γρήγορο χιόνι λιώσιμο του χιονιού λειτούργησε ως παράγοντας πυροδότησης. Η καταστροφή του οδικού δικτύου ήταν η συνέπεια της εκδήλωσης της κατολίσθησης μαζί με μια σημαντική αλλαγή στο τοπικό ανάγλυφο. Συγκεκριμένα, η κατολίσθηση διαμόρφωσε το ανάγλυφο και το μετέτρεψε σε πιο απότομο και ετερογενή.



Εικόνα 2.30 Τοποθεσία της περιοχής μελέτης. Το πορτοκαλί χρώμα αντιπροσωπεύει τα όρια της περιοχής της Δυτικής Ελλάδας, ενώ η κόκκινη κουκκίδα και το μπλε ορθογώνιο απεικονίζουν τη θέση της πόλης της Πάτρας και της περιοχής μελέτης, αντίστοιχα. (Κυρίου, 2021)

Για την μελέτη του φαινομένου χρησιμοποιήθηκαν διάφορες τεχνικές. Μια από αυτές αποτέλεσε η παραγωγή συμβολομετρίας για την χαρτογράφηση της περιοχής μέσω της οποίας εξετάστηκε η παραμόρφωση του εδάφους μετά την εκδήλωση της κατολίσθησης. Η διαδικασία διεξήχθη με στόχο να παρατηρηθούν συμβολομετρικών κροσσοί σε περιοχές που έχουν υποστεί παραμόρφωση. Οκτώ Sentinel-1 εικόνες Interferometric Wide swath mode λήφθηκαν και τέσσερις συμβολομετρικά ζεύγη εικόνων επεξεργάστηκαν.

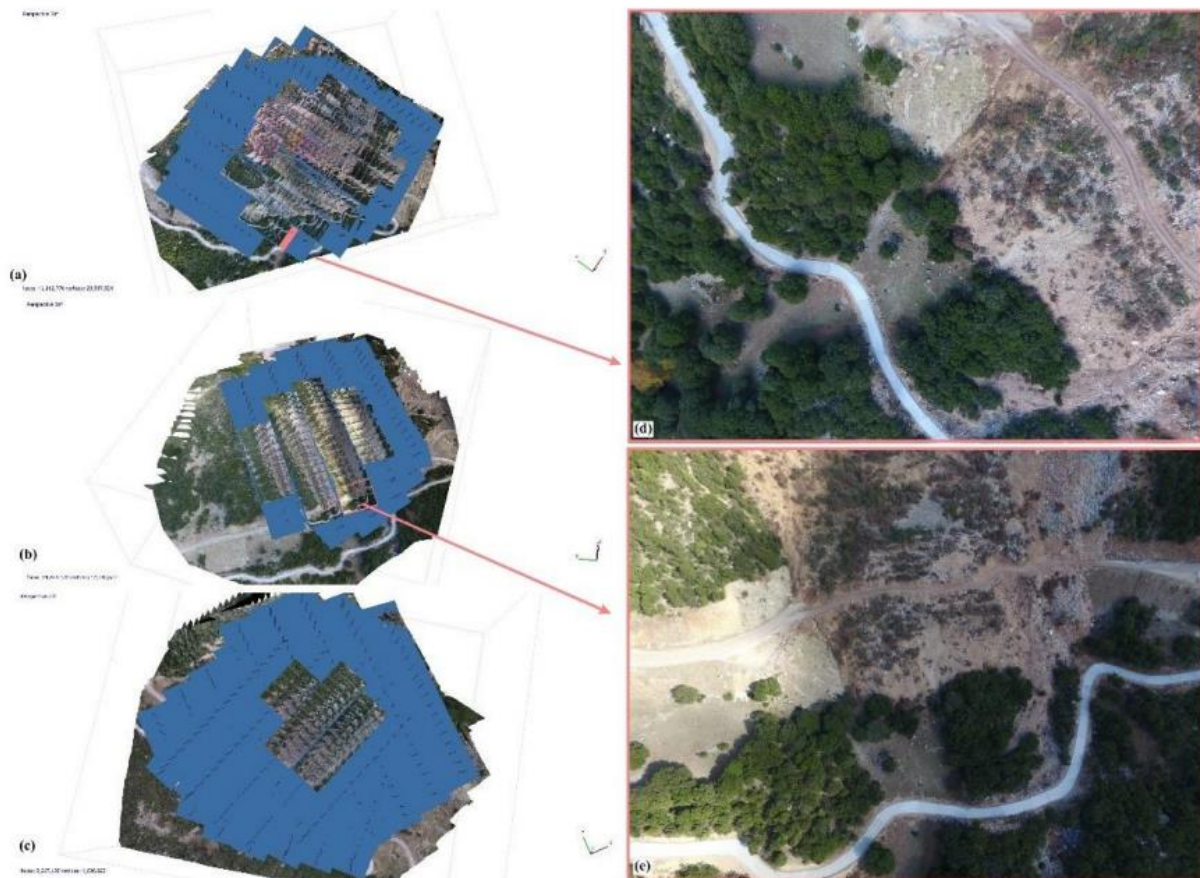
Στην συνέχεια, αξιοποιήθηκαν συμβολομετρικά Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DSMs) προκειμένου να ταυτοποιηθούν οι αλλαγές. Επιπλέον, έγινε προσπάθεια να μετρηθεί η μετακίνηση μεταξύ μιας εικόνας Sentinel-1 πριν από την κατολίσθηση και μιας εικόνας Sentinel-1 μετά την κατολίσθηση μέσω της τεχνικής offset tracking. Η τεχνική συμβάλλει στη μέτρηση της μετακίνησης μεταξύ δύο εικόνων SAR τόσο στην κατεύθυνση του αζιμούθιου όσο και στην κατεύθυνση της κλίσης με τη χρήση βελτιστοποίησης της διασταυρούμενης συσχέτισης patch. Παρακολούθηση μετατόπισης τεχνική απαιτεί δύο ανιχνεύσεις εδάφους του Sentinel-1 Ground Range Detected οι οποίες έχουν ήδη υποστεί προ επεξεργασία και συν-εγγραφή. Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνικής είναι ότι δεν απαιτούνται πληροφορίες φάσης και, συνεπώς, η ατμοσφαιρική συνιστώσα δεν υπεισέρχεται στα αποτελέσματα.

Μια ακόμα μέθοδος για την παρακολούθηση του φαινομένου αποτέλεσε η επεξεργασία πολυφασματικών εικόνων. Πιο συγκεκριμένα ελήφθησαν και επεξεργάστηκαν δύο εικόνες Sentinel-2 Επιπέδου-

2Α. Η επιλογή των συγκεκριμένων δεδομένων βασίστηκε στην υψηλή ανάλυση και την υψηλή συχνότητα επανεισκέψεων της αποστολής. Τα προϊόντα του επιπέδου 2Α είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες σχετικά με το Bottom Of ατμόσφαιρας (BOA).

Μία τρίτη μέθοδος παρακολούθησης αποτέλεσε η λήψη δεδομένων μέσω ΣμηΕΑ. Εκτελέστηκαν επανειλημμένες εκστρατείες UAV για τη χαρτογράφηση κατολισθήσεων και παρακολούθηση. Οι εκστρατείες UAV πραγματοποιήθηκαν μαζί με μετρήσεις GNSS μία φορά ανά μήνα για το χρονικό διάστημα από τον Ιανουάριο του 2017 έως τον Ιούλιο του 2018. Κατά τη διάρκεια του τη συγκεκριμένη περίοδο, οι μετρήσεις ήταν πυκνές στο χρόνο για να εξασφαλιστεί η πλήρης παρακολούθηση της δραστηριότητας της κατολίσθησης και να μετριάσει ο κίνδυνος πιθανής επανενεργοποίησης. Η ανάλυση των δεδομένων, που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια αυτών των 17 μηνών, αποκάλυψε ότι η κατολίσθηση κινείται ιδιαίτερα αργά, και ως εκ τούτου τροποποιήσαμε ανάλογα την εκστρατεία της επαναληψιμότητα σε τρεις φορές ανά έτος για το 2019 και δύο φορές ανά έτος για το 2020. Οι ημερομηνίες των επαναλαμβανόμενων εκστρατειών UAV και GNSS παρουσιάζονται στον πίνακα 9 του προσαρτήματος I. Ένα εμπορικό DJI Phantom 4 και ένα Matrice 600, κατασκευασμένα από την Shenzhen DJI Sciences and Technologies Ltd. χρησιμοποιήθηκαν για τη λήψη εικόνων με UAV. Το Matrice 600 είναι εξοπλισμένο με κάμερα X5 η οποία καταγράφει εικόνες ανάλυσης 16Μp με αποτέλεσμα φωτογραφίες 4608 × 3456 pixels, ενώ το Phantom 4 φέρει μια μηχανή 12,4MP CMOS με ανάλυση 4000×3000 και ενσωματωμένο σύστημα GNSS. Κάθε πτήση εκτελείται με το ίδιο πλέγμα πτήσης και τα ίδια ακριβώς σημεία επίγειου ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν. Τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά πτήσης εφαρμόστηκαν σε όλες τις λήψεις. Η φωτογραμμετρική επεξεργασία των εικόνων UAV πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την φωτογραμμετρική τεχνική "δομή από την κίνηση" (SfM).

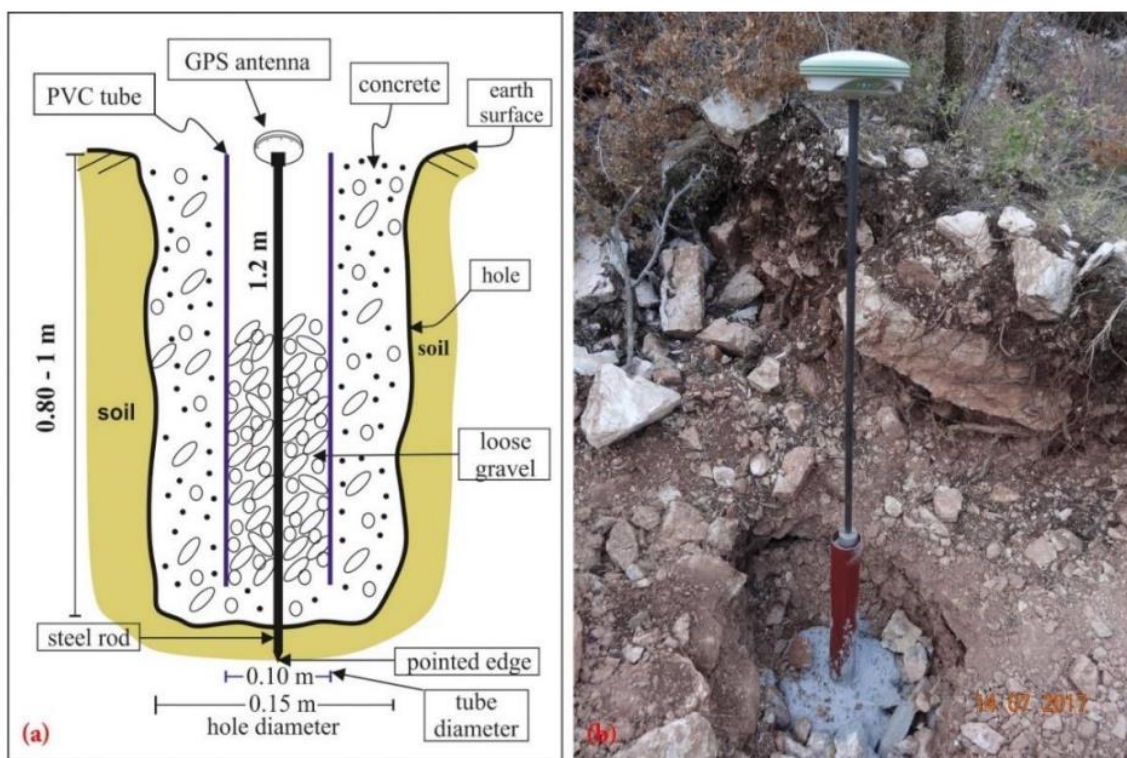
Κάθε πτήση αποτελούνταν από δύο φωτογραμμετρικά πλέγματα: Κατά τη διάρκεια της πρώτης η κάμερα του UAV κοιτούσε στο ναδίρ και κατά τη διάρκεια της δεύτερης η κάμερα κοιτούσε στις 65 μοίρες. Οι συγκεκριμένες διαδρομές έρευνας πτήσης υιοθετήθηκαν προκειμένου να εξεταστεί πώς η γεωμετρία λήψης των εικόνων UAV θα μπορούσε ενδεχομένως να επηρεάσει την ακρίβεια των προϊόντων φωτογραμμετρικής επεξεργασίας κατά τη χαρτογράφηση ενός περιοχής κατολίσθησης. Οι πτήσεις UAV εκτελέστηκαν σε διαφορετικές ημέρες, ακολουθώντας την ίδια πλέγμα πτήσης και διατηρώντας τα ίδια χαρακτηριστικά πτήσης. Οι ληφθείσες εικόνες UAV από κάθε εκστρατεία οργανώθηκαν σε τρεις κατηγορίες υποκατηγορίες δεδομένων: α) εικόνες ναδίρ με γωνία κλίσης του gimbal στις 90 μοίρες, β) πλάγιες εικόνες με γωνία κλίσης του αρθρωτού τροχού στις 65 μοίρες και γ) συνδυασμός ναδίρ και λοξών εικόνων (Κυρίου, 2021).



Εικόνα 2.31 Γεωμετρία λήψης εικόνων UAV. (α) Πλέγμα ναδιρικής προβολής. (β) Πλέγμα γωνιακών προβολής (γ) Συνέργεια ναδιρικών και γωνιακών εικόνων. (δ) Εικόνα προβολής από το ναδίρ. (ε) Εικόνα γωνιακής προβολής (Κυρίου, 2021)

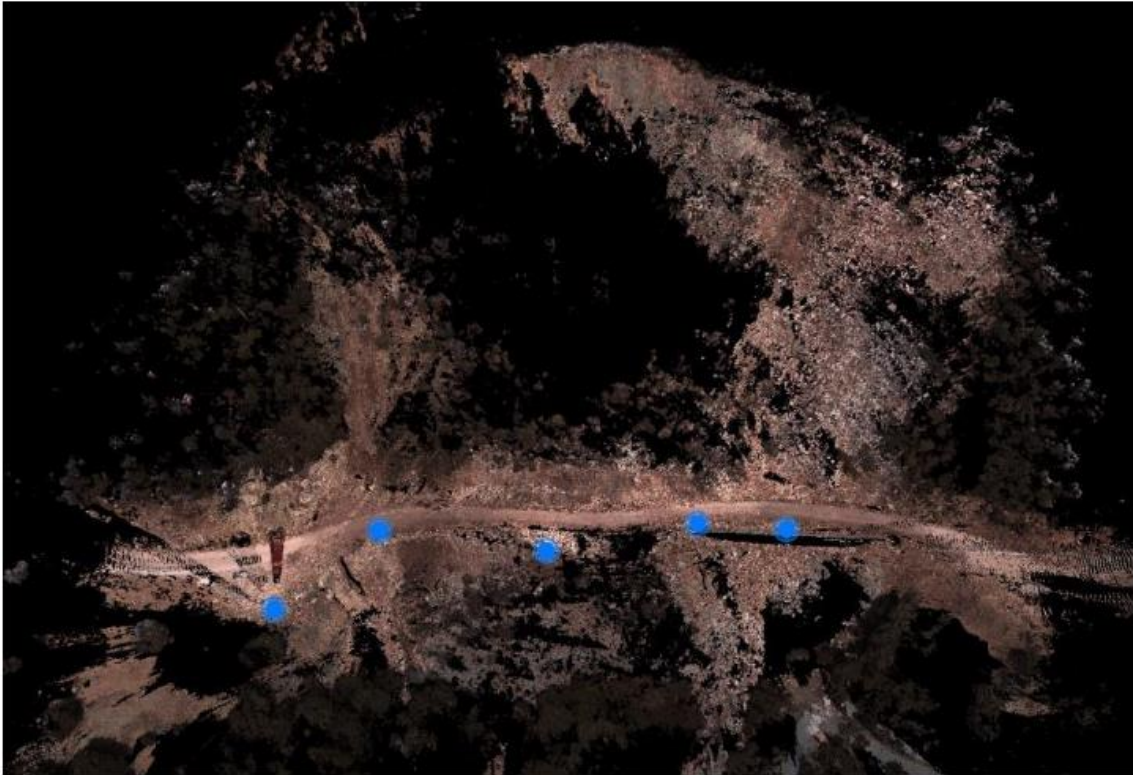
Μια τέταρτη μέθοδος αποτέλεσε η μέτρηση με GNSS δέκτες. Ειδικότερα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις GNSS σε μόνιμους πυλώνες σε δύο κατολισθήσεις (Μοίρα και Ζαχλωρού). Στην περίπτωση της Μοίρας, εκατοντάδες στατικές μετρήσεις εκτελέστηκαν κατά τη διάρκεια των επαναλαμβανόμενων εκστρατειών GNSS. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μόνιμους πυλώνες χρησιμοποιώντας έναν Leica GS08 GNSS δέκτη. Οι πυλώνες βρίσκονται τόσο εντός όσο και εκτός της αστάθειας ζώνης, προκειμένου να διασφαλιστεί μια ολοκληρωμένη παρακολούθηση της δραστηριότητας και της κινηματικής της κατολίστεσης, καθώς και για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας. Στο πλαίσιο αυτό, εγκαταστάθηκαν 13 μόνιμοι πυλώνες σε συγκεκριμένες θέσεις, με στόχο την εκτέλεση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων ενός δικτύου στις ίδιες ακριβώς θέση. Το δίκτυο περιλάμβανε 10 πυλώνες εντός και 3 εκτός των ορίων της κατολίστεσης. Αναλυτικότερα, οι πυλώνες (μνημεία) (Εικόνα 2.32) της παρούσας μελέτης κατασκευάστηκαν με την εκσκαφή μιας οπής σε χαλαρό έως βραχώδες έδαφος. Μια κατακόρυφη χαλύβδινη ράβδος εισήχθη σε κάθε οπή, η οποία έχει διάμετρο περίπου 15 cm και βάθος 80-100 cm, ανάλογα με τη λιθολογία σε κάθε θέση. Η χαλύβδινη ράβδος έχει πάχος 1,5 cm και 120 cm μήκος με αιχμηρή άκρη. Η ράβδος οδηγήθηκε στο κέντρο της οπής έως ότου η κορυφή της βρισκόταν ελαφρώς πάνω από την επιφάνεια, και η άκρη της οδηγούνταν έως ότου συναντούσε αντίσταση όπου ήταν δυνατόν. Επιπλέον, τοποθετήθηκε ένας σωλήνας PVC διαμέτρου 10 cm γύρω από τη χαλύβδινη ράβδο. Ο χώρος μεταξύ του σωλήνα και του εδάφους

γέμισε μέχρι την επιφάνεια με σκυρόδεμα, ενώ ο σωλήνας PVC γέμισε με χαλίκι. Η κεραία GPS τοποθετήθηκε στην κορυφή της ράβδου απευθείας στον πυλώνα ή χρησιμοποιώντας μια προέκταση μήκους 1 m (Κυρίου, 2021).



Εικόνα 2.32 (α) Σκίτσο που δείχνει τα διάφορα μέρη του πυλώνα που αποτελούνται από τη χαλύβδινη ράβδο και έναν σωλήνα PVC. Το σκίτσο δεν είναι υπό κλίμακα. (β) Φωτογραφία ενός αντιπροσωπευτικού πυλώνα (μνημείο) κατά τη διάρκεια της μελέτης του Ιουλίου 2017. (Κυρίου, 2021)

Τέλος Πραγματοποιήθηκε έρευνα TLS με τη χρήση ενός σαρωτή λέιζερ Leica RTC360 3D. Το πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου σαρωτή περιλαμβάνουν την αυτοματοποιημένη προ-καταγραφή των λαμβανόμενων νέφη σημείων στο πεδίο, το οποίο βελτιώνει την παραγωγικότητα και δίνει τη δυνατότητα να τροποποιηθεί το σχέδιο έρευνας επί τόπου. Εμπλουτισμένες εικόνες υψηλού δυναμικού εύρους (HDR) λήφθηκαν σε πέντε διαφορετικούς σταθμούς εντός της περιοχής της κατολίσθησης, προκειμένου να δημιουργηθούν αξιόπιστες και ακριβείς τρισδιάστατες αναπαραστάσεις της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 2.33 Η κατανομή των σταθμών στην περιοχή της κατολίσθησης, κατά τη διάρκεια της έρευνας TLS (Κυρίου, 2021)

2.4.2 Περίπτωση μελέτης Αμύνταιου Βόρειο-Βορειοδυτική Ελλάδα

Μια ακόμα περίπτωση για την οποία ελήφθησαν δεδομένα για την μελέτη πρανών λόγω κατολισθήσεων αποτέλεσε η περιοχή του Αμύνταιου. Το Αμύνταιο αποτελεί μία επί των πλείστων λιγνιτική περιοχή στην δυτική Μακεδονία, στην Βόρειο-Βορειοδυτική Ελλάδα. Στην περιοχή συναντώνται τα μεγαλύτερα αποθέματα λιγνίτη της Ελλάδας, τα οποία τροφοδοτούν ένα μεγάλο μέρος των αναγκών ηλεκτροδότησής της χώρας. Για την συγκεκριμένη περίπτωση ελήφθησαν δορυφορικά οπτικά δεδομένα από τους δορυφόρους Landsat-8 και Sentinel-2 ενώ ραδιομετρικά δεδομένα ελήφθησαν από τον δορυφόρο Sentinel-1.

Η περιοχή λόγω του υπεδάφους του ανήκει γεωλογικά στον πλειόκαινο λιγνίτη. Η κατολίσθηση σημειώθηκε στις 10 Ιουνίου 2017 λόγω του συνδυασμού διαφορετικών παραγόντων όπως: α) η παρουσία στρωμάτων υλικών χαμηλής αντοχής εντός του γεωλογικού σχηματισμών που περιβάλλουν το λιγνιτικό κούτασμα, β) η παρουσία ρηγμάτων, γ) η παρουσία υπόγειων υδροφορέων κάτω από το δάπεδο του ορυχείου και την ανάπτυξη πιέσεων νερού και δ) τη γεωμετρία και τις επιμέρους κλίσεις του μετώπου εξόρυξης. Η κατολίσθηση στέμμα εκτιμάται σε περίπου τρία χιλιόμετρα και το συνολικό υλικό της κατολίσθησης περιέχει περίπου 25 εκατομμύρια τόνους λιγνίτη (εικόνα 35). Η λευκή γραμμή αντιπροσωπεύει τα όρια του υπαίθριου λιγνιτωρυχείου πριν από την κατολίσθηση, ενώ η κόκκινη γραμμή περιλαμβάνει το υλικό της κατολίσθησης. Η εκδήλωση της κατολίσθησης προκάλεσε την εμφάνιση πολυάριθμων ρωγμών και σημαντικές ζημιές στα σπίτια που βρίσκονται κοντά έτσι οι αρχές αποφάσισαν την εκκένωση του οικισμού των Αγ. Αναργύρων. Επιπλέον, παρουσιάστηκαν ζημιές στην ηλεκτροδότηση και την ύδρευση, καθώς και στον εξοπλισμό (εκσκαφείς) του ορυχείου και στο ίδιο το ορυχείο. (μείωση των ποσοτήτων λιγνίτη).

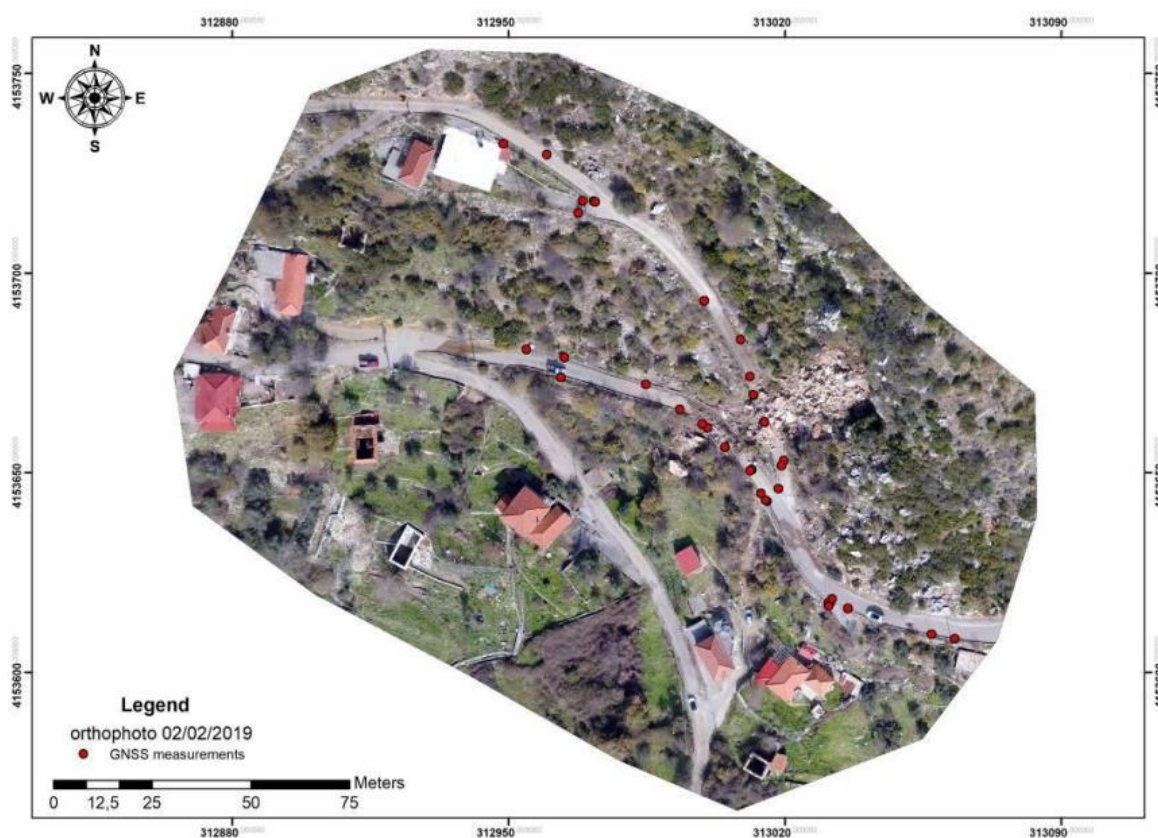
Όσον αφορά την μελέτη της περιοχής ελήφθησαν πέντε εικόνες Landsat-8 και τέσσερις εικόνες Sentinel-2 που καλύπτουν την περιοχή μελέτης πριν και μετά. την εκδήλωση της κατολισθήσεως ελήφθησαν και επεξεργάστηκαν Η προσέγγιση της χαρτογράφησης των κατολισθήσεων με τη χρήση πολυφασματικών δεδομένων βασίστηκε στην εφαρμογή τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας, όπως η ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA) ή ανάλυση ανεξάρτητων συνιστωσών (ICA) και ταυτόχρονα στην εφαρμογή διαδικασίας αυτόματης ανίχνευσης αλλαγών. Ειδικότερα, η κύρια ανάλυση συνιστωσών (PCA) είναι μια μαθηματική τεχνική μετασχηματισμού των αρχικής εικόνας σε ένα νέο σύνολο ασυσχέτιστων συνιστωσών που προκύπτουν με φθίνουσα σειρά σημαντικότητας με την εφαρμογή μιας κατανομής Gauss. Από την άλλη πλευρά, η ανεξάρτητη ανάλυση συνιστωσών (ICA) αποτελεί μια τεχνική εξαγωγής χαρακτηριστικών υψηλής τάξης που εκτελεί γραμμικό μετασχηματισμό των φασματικών ζωνών της αρχικής εικόνας. Στη διεύθυνση Επιπλέον, μια αυτοματοποιημένη διαδικασία ανίχνευσης αλλαγών που βασίζεται στην εκμετάλλευση των εργαλείου παρακολούθησης της τοποθεσίας DeltaCue, η οποία εντοπίζει αλλαγές μεταξύ δύο ημερομηνιών ή χρόνων των εικόνων με τη χρήση του αλγορίθμου Tasseled Cap σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία και όχι σε μια ευρεία περιοχές. Στις απεικονίζονται οι εικόνες Landsat-8 και Sentinel-2 του της περιοχής μελέτης σε συνδυασμό φυσικών χρωματικών ζωνών.

Επιπρόσθετα ελήφθησαν δεδομένα και για την ραδιομετρική ανάλυση της περιοχής. Ειδικότερα, ελήφθησαν δεκαπέντε δεδομένα του Sentinel-1 σε ανοδικό και καθοδικό πέρασμα που καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή της νάρκης αποκτήθηκαν και επεξεργάστηκαν με τη χρήση SAR συμβολομετρίας SAR. Η προσέγγιση βασίστηκε στην εκτίμηση της μετατόπισης της γραμμής οπτικής επαφής (LOS μετατόπισης) μέσω μετρήσεων της συμβολομετρικής φάσης. Το InSAR είναι σε θέση να μετρήσει μια μονοδιάστατη κίνηση κατά μήκος της γεωμετρίας θέασης του ραντάρ που ονομάζεται γραμμή της οπτικής επαφής (LOS). Οι μετρήσεις LOS περιέχουν την κατακόρυφη κίνηση και την οριζόντια συνεισφορά και είναι συνήθως διαφορετικές από τις πραγματικές τιμές της κίνησης. Παρ' όλα αυτά, ο συνδυασμός των δεδομένων ανόδου και καθόδου συμβάλλει στην εκτίμηση της της πραγματικής κατακόρυφης τιμής και των συνιστωσών ανατολής-δύσης. Σε μια παρόμοια μελέτη, έγινε προσπάθεια για τον προσδιορισμό των τρισδιάστατων εδαφικών μετατοπίσεων σε ορυχεία περιοχές μέσω της ενσωμάτωσης πολλαπλών συμβολομετρικών ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (InSAR). Στο πλαίσιο αυτό αποκτήθηκαν και υποβλήθηκαν σε επεξεργασία δεδομένα του Sentinel-1 συμβολομετρικά, ενώ κατά τη διάρκεια της διαδικασίας η συμβολομετρική γραμμή βάσης καθώς και τα καθώς και η συνοχή των συμβολομετρικών ζευγών ελήφθησαν υπόψη (Κυρίου, 2021).

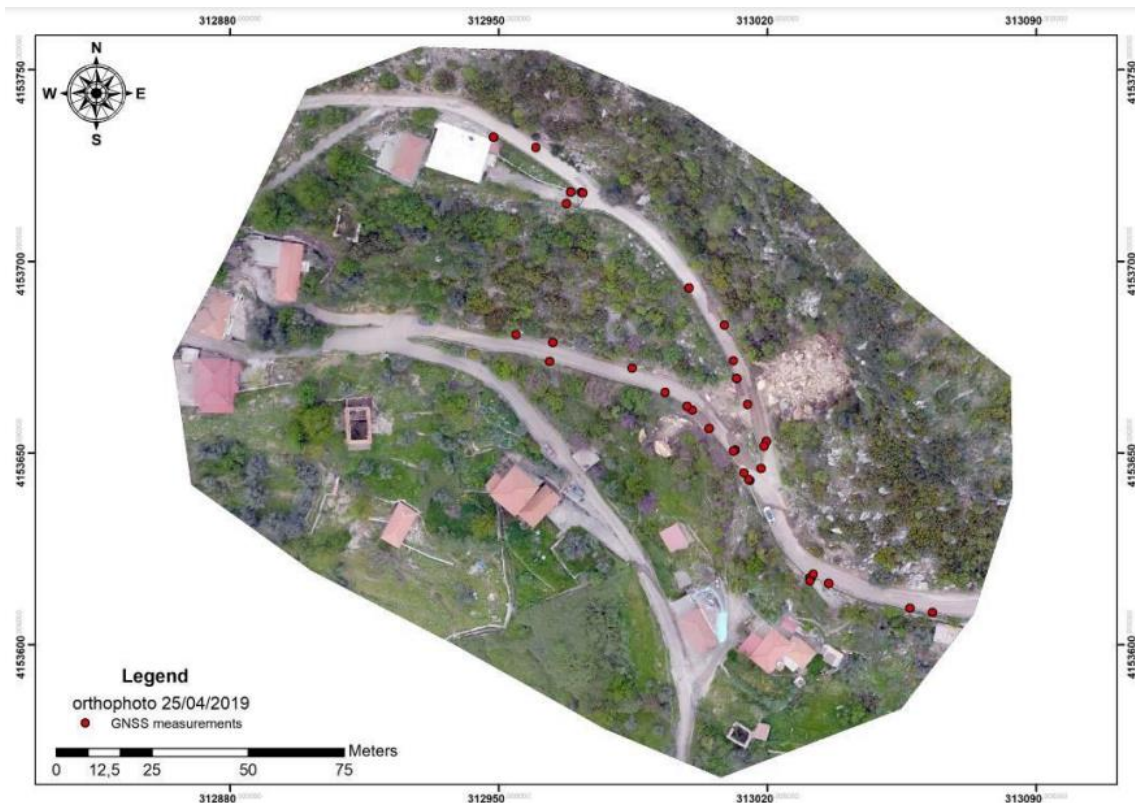
2.4.3 Περίπτωση Οικισμού Μύλοι

Στις 26 Ιανουαρίου 2019, σημειώθηκε σοβαρή πτώση βράχων στον οικισμό Μύλοι, ο οποίος βρίσκεται κοντά στην πόλη της Ανδρίτσαινας στη Δυτική Πελοπόννησο. Μια ορθοφωτογραφία του του χωριού από το Ελληνικό Κτηματολόγιο που συλλέχθηκε το 2008 με χωρική ανάλυση 50 εκατοστών παρουσιάζεται στην εικόνα 46. Μεγάλα τεμάχια βράχων έχασαν τη σταθερότητά τους λόγω της έντονης βροχοπτώσεων και κύλησαν προς τα κάτω στην πλαγιά. Δύο σπίτια του οικισμού κινδύνευαν ενώ ο κεντρικός δρόμος αποκλείστηκε από τα θραύσματα. Γενικά, η ευρύτερη περιοχή είναι ιδιαίτερα επιρρεπής σε κατολισθητικά φαινόμενα, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από γεωτεχνική έρευνα που πραγματοποιήθηκε μετά τις πυρκαγιές του 2007 σε ολόκληρο το Νομό Ηλείας. Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως ορεινή και γεωλογικά κυριαρχείται από ασβεστόλιθους του Κρητιδικού της γεωτεκτονικής ζώνης Γαντονο. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί παρουσιάζουν έντονη καρστικοποίηση που οδηγεί σταδιακά σε φαινόμενα αστάθειας του εδάφους. Όσον αφορά την τεκτονική δομή, τα ρήγματα έχουν διεύθυνση Α-Δ και ΒΑ-ΝΔ.

Η έρευνα περιλάμβανε μετρήσεις των σημείων ελέγχου εδάφους (GSPs) με τη χρήση ενός Leica GS08 GNSS Receiver και μια εκστρατεία πτήσης με UAV με τη χρήση ενός DJI Matrice 600 για την ακριβή χαρτογράφηση των βραχοτεμαχίων. Η επόμενη επιτόπια έρευνα πραγματοποιήθηκε στις 25 Απριλίου 2019 μετά την απομάκρυνση των θραυσμάτων του δρόμου. Τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν αποτελούνταν από μετρήσεις GNSS και μια πτήση UAV, όπως ακριβώς και κατά τη διάρκεια της αρχικής έρευνας, ωστόσο χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του όγκου των απομακρυνθέντων θραυσμάτων βράχων. Οι εικόνες του UAV υποβλήθηκαν σε επεξεργασία σύμφωνα με τη δομή από την κίνηση (SfM) και έτσι προέκυψαν δύο εξαιρετικά λεπτομερείς ορθοφωτογραφίες, μία μετά την πτώση του βράχου και μία άλλη μετά την απομάκρυνση των θραυσμάτων βράχων δημιουργήθηκαν (Κυρίου, 2021).



Εικόνα 2.34 Ορθοφωτογραφία της περιοχής μελέτης μετά την εκδήλωση της πτώσης του βράχου με την κατανομή των μετρήσεων GNSS (κόκκινα σημεία). (Κυρίου, 2021)



Εικόνα 2.35 Ορθοφωτογραφία της περιοχής μελέτης μετά την απομάκρυνση των βραχοτεμαχίων με την κατανομή των μετρήσεων GNSS (κόκκινα σημεία) (Κυρίου, 2021)

2.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΥΝΔΙΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕΣΩ GIS

Εν μέσω συνεχών τεχνολογικών και φυσικών εξελίξεων κρίνεται όλο και πιο απαραίτητη η ανάγκη για λήψη αποφάσεων που απαιτούνται για την διαχείριση κινδύνων σε διάφορους τομείς όπως ο αστικός σχεδιασμός, η προστασία του περιβάλλοντος, οι επιχειρήσεις καθώς και η αντιμετώπιση καταστροφών. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) έχουν γίνει αποτελεσματικά εργαλεία σε αυτό το περιβάλλον που βελτιώνουν σημαντικά τις τακτικές διαχείρισης κινδύνων.

Οι γεωχωρικές δυνατότητες που προσφέρονται από το QGIS και το ArcGIS επιτρέπουν στις επιχειρήσεις και τους ανθρώπους να αναλύουν και να βλέπουν δεδομένα σε χωρικό πλαίσιο. επειδή δίνει τη δυνατότητα στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να κατανοήσουν την παγκόσμια κατανομή των κινδύνων, των τρωτών σημείων και των πιθανών επιπτώσεων, αυτή η χωρική διάσταση είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση κινδύνων. Οι χρήστες μπορούν να εντοπίσουν τοποθεσίες ευάλωτες σε φυσικές καταστροφές όπως πλημμύρες, σεισμούς ή πυρκαγιές, τοποθετώντας δεδομένα σε χάρτες. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά χωρικής ανάλυσης σε αυτές τις πλατφόρμες λογισμικού βοηθούν στην αξιολόγηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ πολυάριθμων παραγόντων που επηρεάζουν τα επίπεδα κινδύνου, όπως η πυκνότητα του πληθυσμού, οι υποδομές και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Με μια τέτοια εμπειριστατωμένη κατανόηση, οι ενδιαφερόμενοι φορείς είναι σε θέση να λαμβάνουν καλύτερα αποφάσεις που μπορούν να μειώσουν τα τρωτά σημεία και να βελτιώσουν την προετοιμασία.

Έχοντας πρόσβαση σε μια πληθώρα πηγών για να αντλήσουν τα στοιχεία του, οι επιστήμονες είναι σε θέση να εξάγουν ακριβή αποτελέσματα αξιοποιώντας δεδομένα που αφορούν διάφορους τομείς, όπως

η μετεωρολογία, η υδρολογία, τα δημογραφικά στοιχεία και οι χρήσεις γης, τα οποία χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση κινδύνων. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται μια ολοκληρωμένη εικόνα του περιβαλλοντικού κινδύνου βοηθώντας στην αποτελεσματικότερη λήψη αποφάσεων για την πρόληψη.

Επιπλέον, η μοντελοποίηση σεναρίων και οι προσομοιώσεις, οι οποίες είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση κινδύνων και τον σχεδιασμό μετριασμού, καθίστανται δυνατές από το QGIS και το ArcGIS. Τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργούν διάφορα σενάρια με βάση τη μεταβολή παραμέτρων, βοηθώντας τους στην οπτικοποίηση των πιθανών αποτελεσμάτων και στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας διαφόρων τακτικών.

Επιπλέον, το QGIS και το ArcGIS επιτρέπουν τη μοντελοποίηση και προσομοίωση σεναρίων, τα οποία αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της αξιολόγησης κινδύνων και του σχεδιασμού μετριασμού. Τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργούν διαφορετικά σενάρια με βάση μεταβαλλόμενες παραμέτρους, βοηθώντας τους να απεικονίσουν τα πιθανά αποτελέσματα και να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα των διαφόρων στρατηγικών. Για παράδειγμα, οι πολεοδόμοι μπορούν να προσομοιώσουν τον αντίκτυπο διαφόρων κανονισμών χωροθέτησης σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες, βοηθώντας στην ανάπτυξη ανθεκτικών σχεδίων πόλεων. Στην αντιμετώπιση καταστροφών, τα εργαλεία αυτά βοηθούν στην πρόβλεψη της εξάπλωσης των κινδύνων και στην καθοδήγηση των επιχειρήσεων έκτακτης ανάγκης. Επιτρέποντας στους ενδιαφερόμενους να προσομοιώσουν διάφορα σενάρια, το QGIS και το ArcGIS δίνουν τη δυνατότητα στους διαχειριστές κινδύνων να σχεδιάσουν προσαρμοστικές στρατηγικές που μπορούν να ελαχιστοποιήσουν αποτελεσματικά τις πιθανές απώλειες.

Αυτοί οι χάρτες χρησιμεύουν ως ισχυρά εργαλεία επικοινωνίας που μεταδίδουν σύνθετες πληροφορίες κινδύνου στους φορείς χάραξης πολιτικής, στις κοινότητες και στο ευρύ κοινό. Επιπλέον, οι δυνατότητες του ArcGIS που βασίζονται στο νέφος επιτρέπουν την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τη συνεργατική χαρτογράφηση, προωθώντας μια πιο συντονισμένη προσέγγιση στη διαχείριση κινδύνων μεταξύ πολλαπλών οργανισμών και υπηρεσιών. Οι γεωχωρικές τους δυνατότητες διευκολύνουν τον εντοπισμό και την αξιολόγηση κινδύνων σε διάφορους τομείς, από φυσικές καταστροφές έως τρωτά σημεία υποδομών. Αξιοποιώντας τη δύναμη αυτών των πλατφόρμων ΓΣΠ, οι διαχειριστές κινδύνων και οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορούν να κάνουν τεκμηριωμένες επιλογές που οδηγούν σε πιο ανθεκτικά και βιώσιμα αποτελέσματα. Καθώς ο τομέας της διαχείρισης κινδύνων συνεχίζει να εξελίσσεται, το QGIS και το ArcGIS είναι έτοιμα να διαδραματίσουν ολοένα και πιο ζωτικό ρόλο στη διαμόρφωση ενός ασφαλέστερου και ασφαλέστερου μέλλοντος.

2.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και κυρίως με την ανάπτυξη των οργάνων παρακολούθησης τα οποία έχουν εξελιχθεί να μπορούν να παρέχουν δεδομένα για κάθε περίπτωση, ανεξαρτήτως των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν κάθε μια από αυτές, οι επιστήμονες σήμερα είναι σε θέση να συλλέγουν και να αξιολογούν δεδομένα για μια πληθώρα περιπτώσεων βοηθώντας με αυτό τον τρόπο στην έγκαιρη πρόληψη επικίνδυνων γεωλογικών φαινομένων.

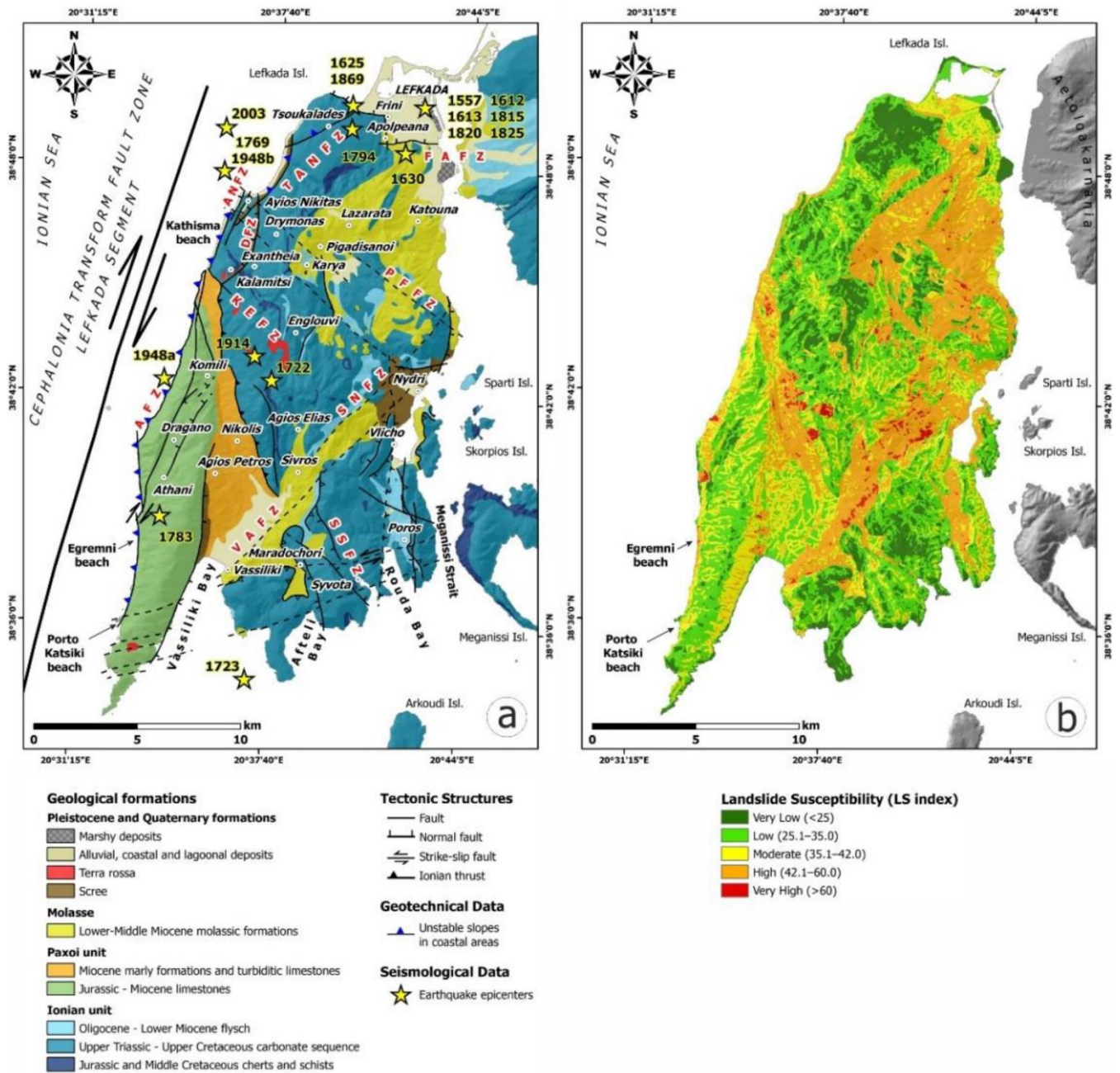
Έτσι οι εφαρμογές για την παρακολούθηση των καταπτώσεων βράχων και για την χαρτογράφηση πλαγιών, αφορούν περιπτώσεις σε όλο τον κόσμο όπου οι επιστήμονες είναι σε θέση να διαλέξουν τον

κατάλληλο εξοπλισμό με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε περίπτωσης και για την κατάλληλη αποτύπωση του φαινομένου, αλλά και για την κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων βγάζοντας πιο αποτελεσματικά συμπεράσματα.

Παρόλα αυτά οι περιπτώσεις αξιοποίησης τέτοιου είδους εξοπλισμών για την μελέτη πρηνών βρίσκει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών εξυπηρετώντας ποικίλες ανάγκες της κοινωνίας.

2.6.1 Περίπτωση μελέτης Εγκρεμνών και Πόρτο Κατσίκι

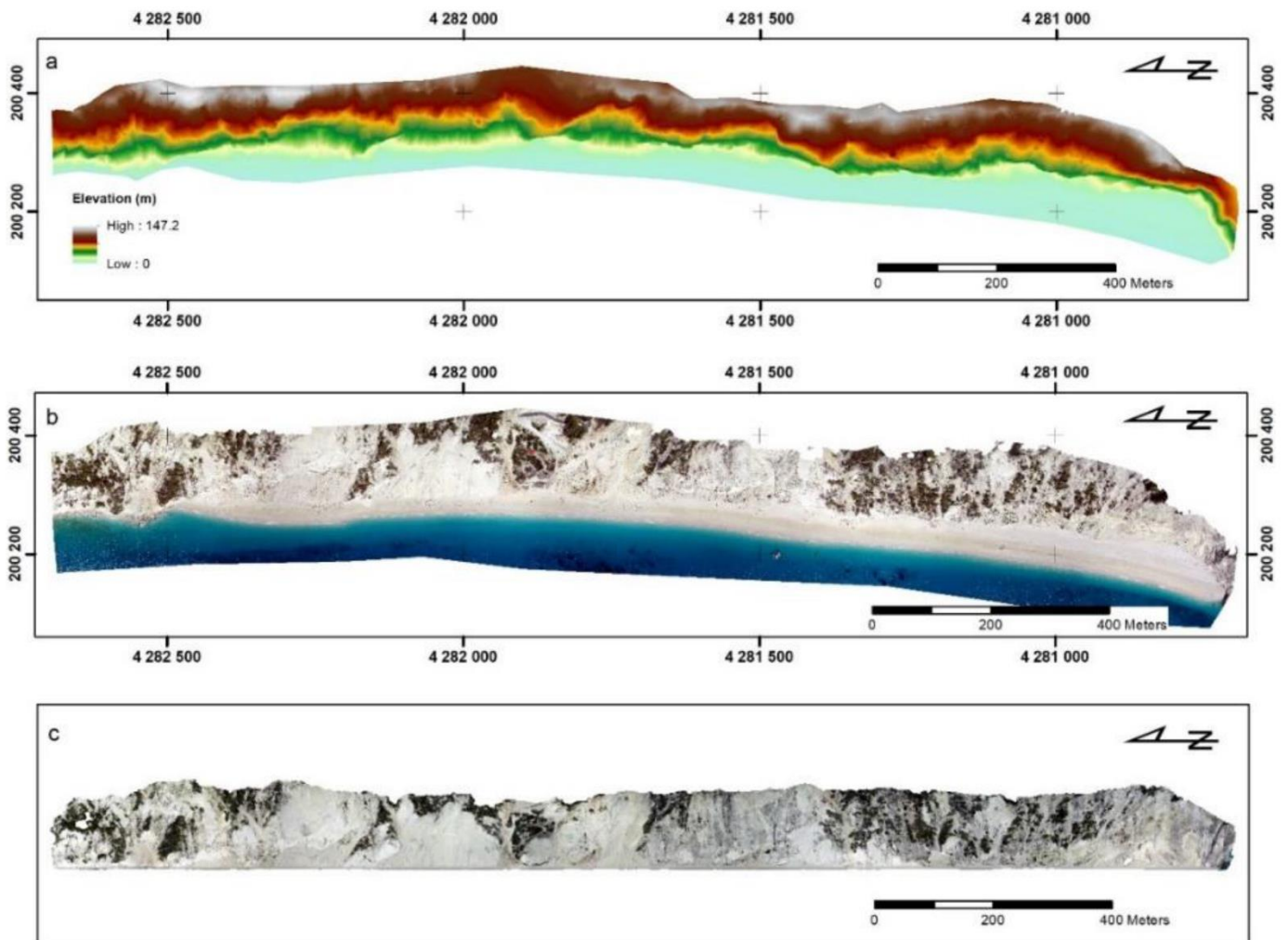
Μια σημαντική δημοσίευση η οποία αναδεικνύει τον καθοριστικό των νέων τεχνολογιών παρακολούθησης, αποτελεί η συνεργασία τριών τμημάτων της σχολής Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών με τίτλο «Η χρήση καινοτόμων τεχνικών για τη διαχείριση παράκτιων περιοχών υψηλού κινδύνου, τον μετριάσμό του κινδύνου κατολισθήσεων που προκαλούνται από σεισμούς και την υπεύθυνη παράκτια ανάπτυξη» (Μαυρούλης et al., 2022). Η συγκεκριμένη δημοσίευση, η οποία προέκυψε από την συνεργασία των τμημάτων Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Γεωγραφίας και Κλιματολογίας και του τμήματος Γεωφυσικής και Γεωθερμίας είχε ως σκοπό την αξιοποίηση νέων τεχνολογιών όπως τα ΣμηΕΑ και τα επίγεια laser scanner για την μελέτη και παρακολούθηση της παράκτιας ζώνης των Ιονίων Νήσων στην Ελλάδα και, ειδικότερα, του νησιού της Λευκάδας και των παραλιών Εγκρεμνοί και Πόρτο Κατσίκι. Οι δύο περιοχές μελέτης βρίσκονται σε μια σεισμογενή περιοχή, με συχνούς ισχυρούς σεισμούς που οδηγούν σε διάφορα φαινόμενα μετακίνησης μάζας και αστοχίας πρηνών, τα οποία ενισχύονται από την ενεργό τεκτονική, αλλά υπόκεινται επίσης σε καταιγίδες υψηλής έντασης (συμπεριλαμβανομένων των Medicanes) που έχουν επίσης συμβάλει στον υψηλό κίνδυνο κατολισθήσεων. Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στην εφαρμογή των δύο τεχνικών στις παραλίες Εγκρεμνοί και Πόρτο Κατσίκι, δύο τουριστικά αξιοθέατα με μεγάλη επισκεψιμότητα, τα οποία χαρακτηρίζονται αμφότερα από αξιοσημείωτη οικονομική και οικολογική αξία. Στόχος της μελέτης είναι να προσδιοριστούν οι ζώνες υψηλότερου κινδύνου μέσω των δύο εφαρμογών και να συζητηθούν τα αποτελέσματα σε σχέση με την τοπική ανάπτυξη, λαμβάνοντας υπόψη ότι η Λευκάδα αποτελεί τυπικό παράδειγμα μεσογειακής πολυσύχναστης παράκτιας ζώνης, που φιλοξενεί εκατοντάδες χιλιάδες επισκέπτες κάθε χρόνο.



Εικόνα 2.36 Τεκτονική και Γεωλογική ανάλυση της νήσου Λευκάδας καθώς και παρουσίαση ζωνών επικινδυνότητας για κατολισθήσεις στο νησί (Μαντουλής et al., 2022)

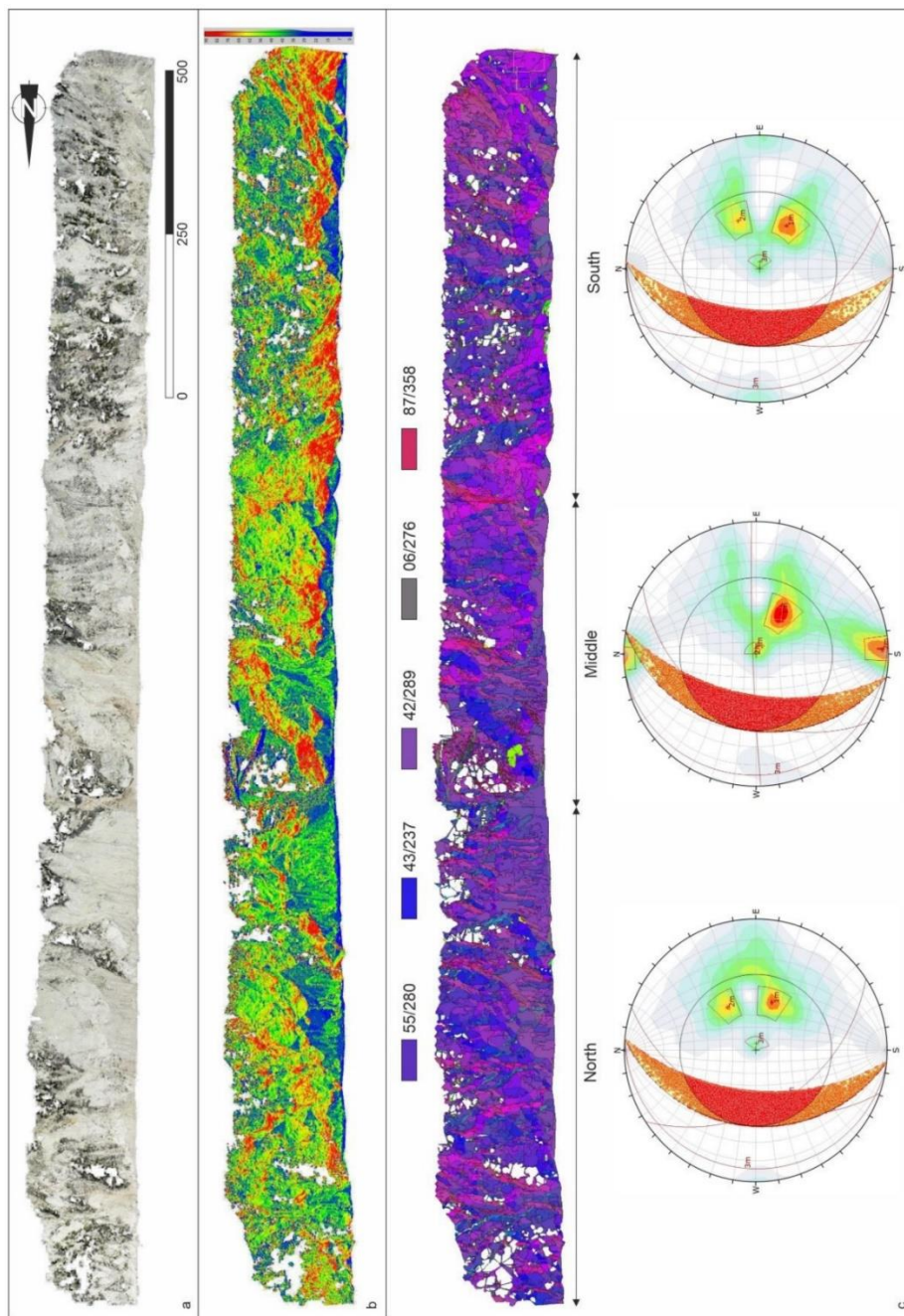
Αφού μελετήθηκε η γεωλογική και τεκτονική δομή της περιοχής (Εικόνα 2.22) και αφού έγινε μια πρώτη εκτίμηση για το είδος και την έκταση της κατολίθησης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις τόσο με ΣμηΕΑ όσο και με επίγειο laser scanner όπου και αντλήθηκαν τα αντίστοιχα δεδομένα.

Ειδικότερα όσον αφορά την διαδικασία λήψης από το ΣμηΕΑ αξιοποιήθηκε ένα συμβατικό αεροσκάφος με δέκτη GNSS για την πραγματοποίηση των μετρήσεων δεδομένου των μεγάλων κλίσεων και την αδυναμία εγκατάστασης φωτοσταθερών επί του πρανούς. Ο προγραμματισμός της πτήσης έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή εξαγωγή συμπερασμάτων. Στην συνέχεια και με την κατάλληλη επεξεργασία προέκυψαν το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DSM), η ορθοεικόνα καθώς και το κάθετο φωτομωσαϊκό.



Εικόνα 2.37 DSM- Ορθοεικόνα-Κάθετο Ορθομωσαϊκό (Μανρουλίσ et al., 2022)

Μία σειρά από φυσικές και τεχνικές δυσκολίες οδήγησε την επιστημονική ομάδα στην αξιοποίηση και επίγειου laser scanner, το οποίο τοποθετήθηκε σε κατάλληλες θέσεις γύρω από την παραλία του Πόρτο Κατσίκι ενώ ύστερα από την κατάλληλη επεξεργασία προέκυψαν τα αντίστοιχα παραγόμενα.



Εικόνα 2.38 Από αριστερά προς δεξιά: Το νέφος σημείων του γκρεμού στην ανηφόρα της παραλίας των Ε-γκρεμών, καθαρισμένο από το θόρυβο που προκαλεί η βλάστηση, η οποία μπορεί να αλλοιώσει την απότομη τοπογραφία του. Ταξινόμηση των εκχυλισμένων όψεων σύμφωνα με την υπολογιζόμενη κλίση τους σε μοίρες (β) και την κατεύθυνση της κλίσης κάθε μιας που είναι χρωματικά κωδικοποιημένη όσον αφορά τη στατιστική ανάλυση (γ). Ο γκρεμός καταμήθηκε σε τρία τμήματα (βόρειο, μεσαίο και νότιο) και κάτω από κάθε ένα παρουσιάζεται η κινηματική ανάλυση της σφηνοειδούς ολίσθησης. (Mavroulis et al., 2022)

Συμπεραίνοντας παρατηρήθηκε πως το αποτέλεσμα των δύο εφαρμογών στις παραλίες των Εγκρεμών και του Πόρτο Κατσίκι είναι μια ισχυρή ένδειξη ότι αυτές οι τεχνολογίες αιχμής έχουν τις δυνατότητες να παράγουν πολύτιμα αποτελέσματα στον τομέα των αστοχιών των πρανών, επιτρέποντας τον εντοπισμό ζωνών υψηλότερου κινδύνου και τη σχετική ιεράρχηση των όποιων παρεμβάσεων.

Δεδομένης της σημασίας των αστοχιών πρανών ως κινδύνου σε παράκτιους βράχους και της έκτασης των επιπτώσεών τους που αναγνωρίζεται στην εισαγωγή της παρούσας μελέτης, η ανάλυση της ευστάθειας των βραχωδών πρανών θεωρείται πολύ σημαντική για τη μείωση των επιπτώσεων των ασταθειών και την αύξηση της ασφάλειας των παρακείμενων ή γειτονικών περιοχών, διατηρώντας παράλληλα την αξία των εν λόγω περιοχών. Ωστόσο, οι κλασικές μέθοδοι έρευνας που περιλαμβάνουν συμβατική συλλογή δεδομένων, οι οποίες έχουν προταθεί και εφαρμοστεί σε διάφορα περιβάλλοντα και περιβάλλοντα, παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά έχουν να κάνουν με το χρόνο και το κόστος που απαιτούνται για την υλοποίηση της έρευνας πεδίου, την ασφάλεια των ερευνητών κατά τη διάρκεια της συλλογής δεδομένων και την κάλυψη της συλλογής δεδομένων.

2.6.2 *Περίπτωση μελέτης Planguenoual Βρετάνη, Βορειοδυτική Γαλλία*

Μια ακόμα περίπτωση εφαρμογής αφορά την παρακολούθηση της ακτογραμμής Planguenoual στην Βρετάνη της βορειοδυτικής Γαλλίας. Η συγκεκριμένη ακτογραμμή καλύπτεται από γκρεμούς και ακρωτήρια που χωρίζουν την ακτή σε μια σειρά από φυσικά λιμάνια. Παρόλα αυτά λόγω της κλιματικής αλλαγής παρατηρούνται περισσότερες σε βαθμό και ένταση καταιγίδες, οι οποίες πλήττουν την ακτή με αποτέλεσμα να παρασύρονται οι παραλίες προκαλώντας την κατάρρευση βράχων στην θάλασσα. Για να επιστήσει την προσοχή στην παράκτια διάβρωση και να προσφέρει ζωτικές πληροφορίες στις αρχές, η εταιρεία Geocapture με έδρα τη Ντιζόν πραγματοποίησε μια σειρά ερευνών της ακτογραμμής μεταξύ 2016 και 2017.



Εικόνα 2.39 Κατολισθητικά φαινόμενα στην ακτογραμμή Planguenoual

Για την διεξαγωγή της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ως μέσα συλλογής δεδομένων τα ΣμηΕΑ Sensefly eBee drone Εικόνα 2.24 και το DJI Phantom 3 Pro (Εικόνα 2.26). Από την πτήση του πρώτου ΣμηΕΑ ελήφθησαν 177 εικόνες με εδαφοψηφίδα 3.6 cm ενώ κατά την δεύτερη πτήση ελήφθησαν 250 εικόνες με εδαφοψηφίδα 0.7 cm.



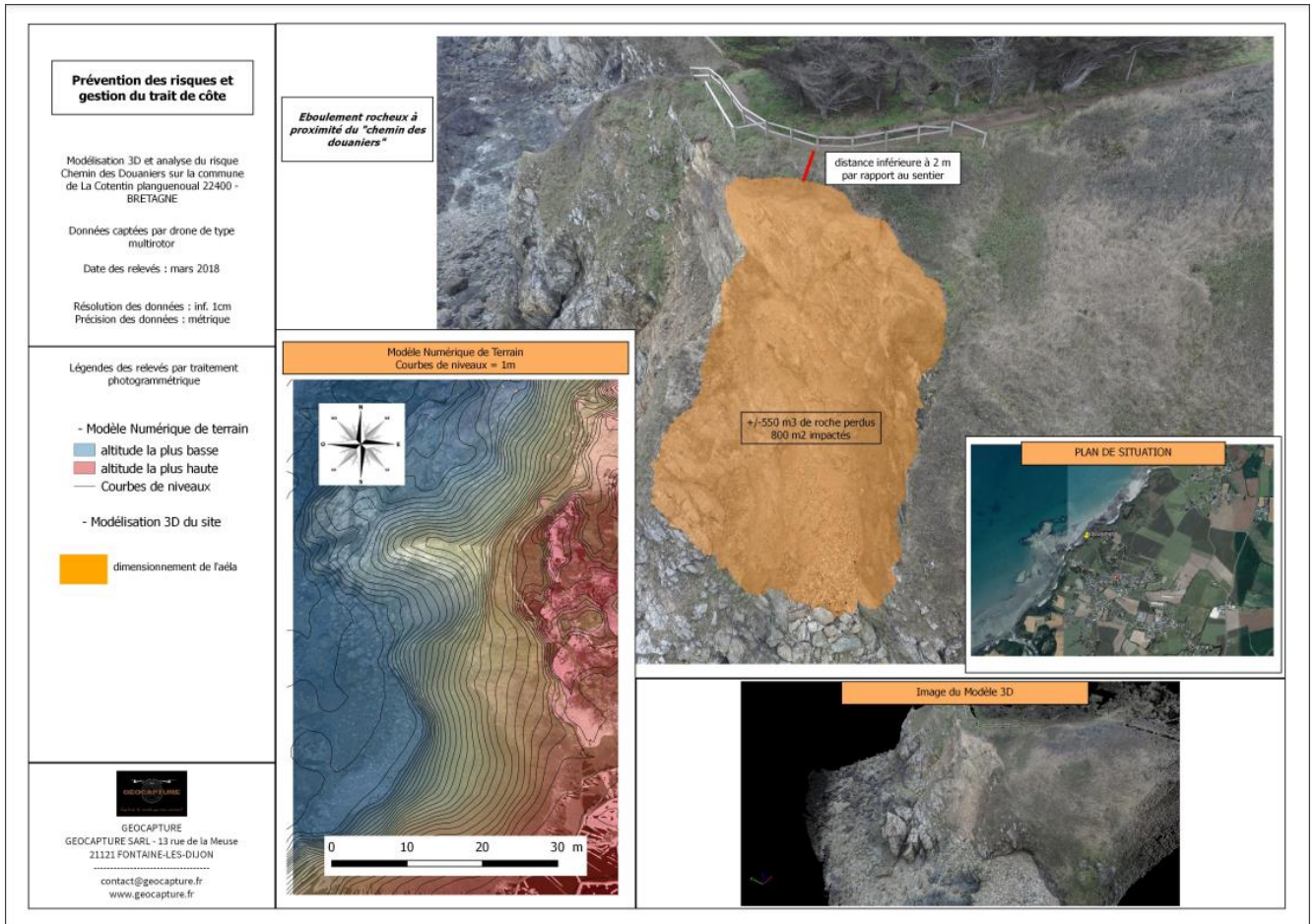
Εικόνα 2.40 Sensefly eBee drone ΠΗΓΗ: <https://ageagle.com/wp-content/uploads/2022/06/abee-x-flying-from-front.png>



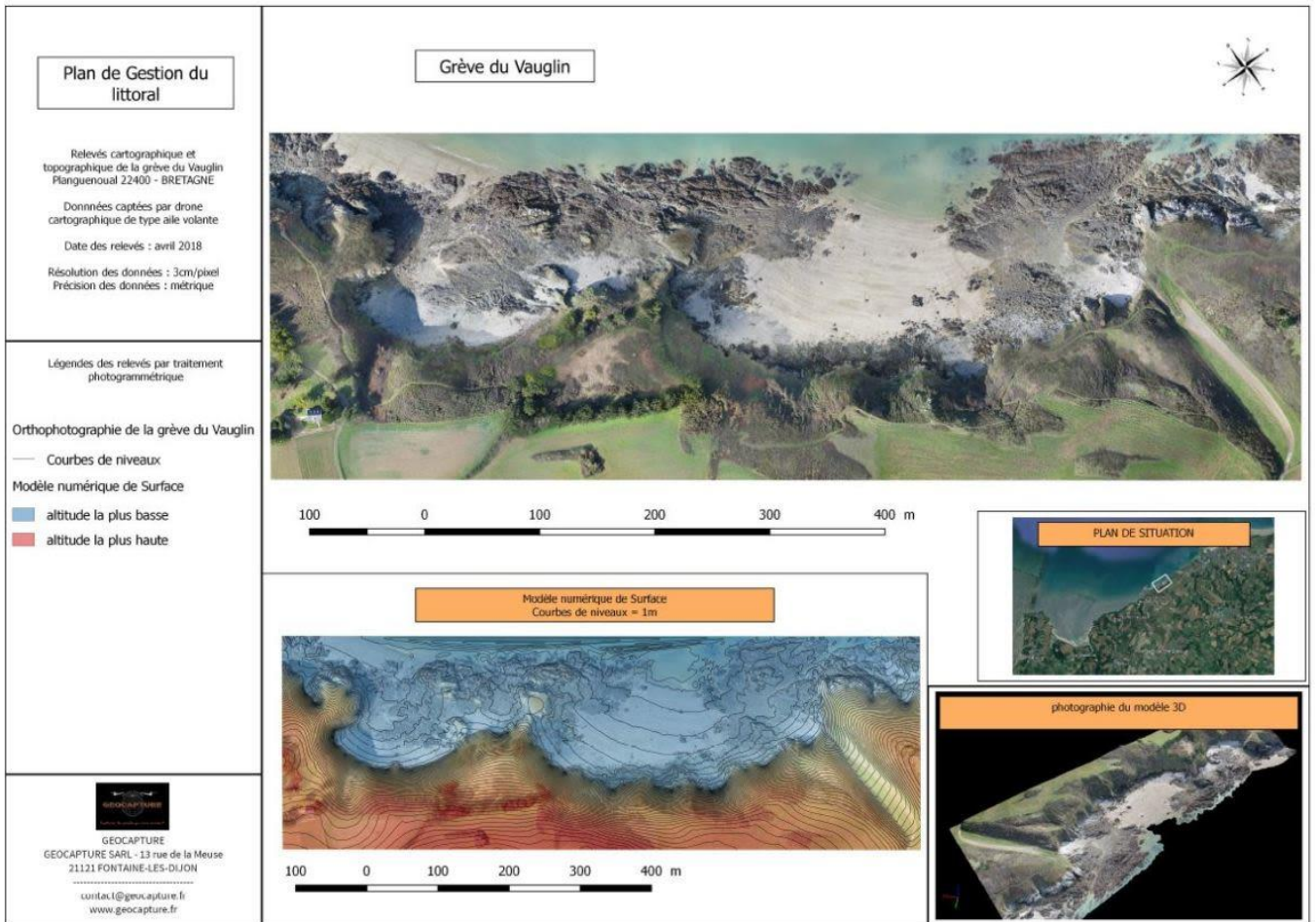
Εικόνα 2.41 Dji Phantom 3 Pro ΠΗΓΗ: <https://www5.djicdn.com/assets/images/products/phantom-3-pro/index/phantom-3-pro-v2@2x-f5e6a62b37e6acd37a375f764ab2b6d9.jpg>

Η έρευνα της ακτογραμμής χωρίστηκε σε δύο διακριτές φάσεις. Πρώτον, η εταιρεία πραγματοποίησε έρευνα σε μια περιοχή για να λάβει μια βασική μέτρηση της ακτογραμμής. Η δεύτερη φάση ήταν η προσεκτική εξέταση ενός τουριστικού μονοπατιού περιπάτου, το οποίο κινδύνευε από κατολισθήσεις.

Αξίζει να σημειωθεί πως καθ' όλη την διάρκεια της της φάσης των μετρήσεων υπήρχαν αρκετές δυσκολίες τόσο στην πρόσβαση στο ζητούμενο σημείο όσο και δυσκολίες στην σωστή χρήση του εξοπλισμού. Η εκτόξευση του drone από το δρόμο δεν ήταν επιλογή: οι κανονισμοί περιόριζαν τεχνητά την εμβέλεια του eBee σε μόλις ένα χιλιόμετρο. Η πτήση ήταν δυνατή μόνο σε χαμηλή παλίρροια, επιτρέποντας το μέγιστο χρονικό διάστημα για τη λήψη εικόνων. Επιπρόσθετα χρησιμοποιήθηκε και για μια δεύτερη πτήση το δεύτερο ΣμηΕΑ Phantom 3 Pro για την σύγκριση των δύο νεφών σημείων και συνεπώς την παρατήρηση μεταβολών στο πρανές.



Εικόνα 2.42 Απεικόνιση του DTM και του point cloud της εξεταζόμενης περιοχής (ΠΗΓΗ: <https://assets.ctfassets.net/go54bjdzbrgi/5gprEEExYrA13KEzjHSI00m/50d6476daf89992179494e8bafc01af8/GEOCAPTURE - littoral.pdf>)



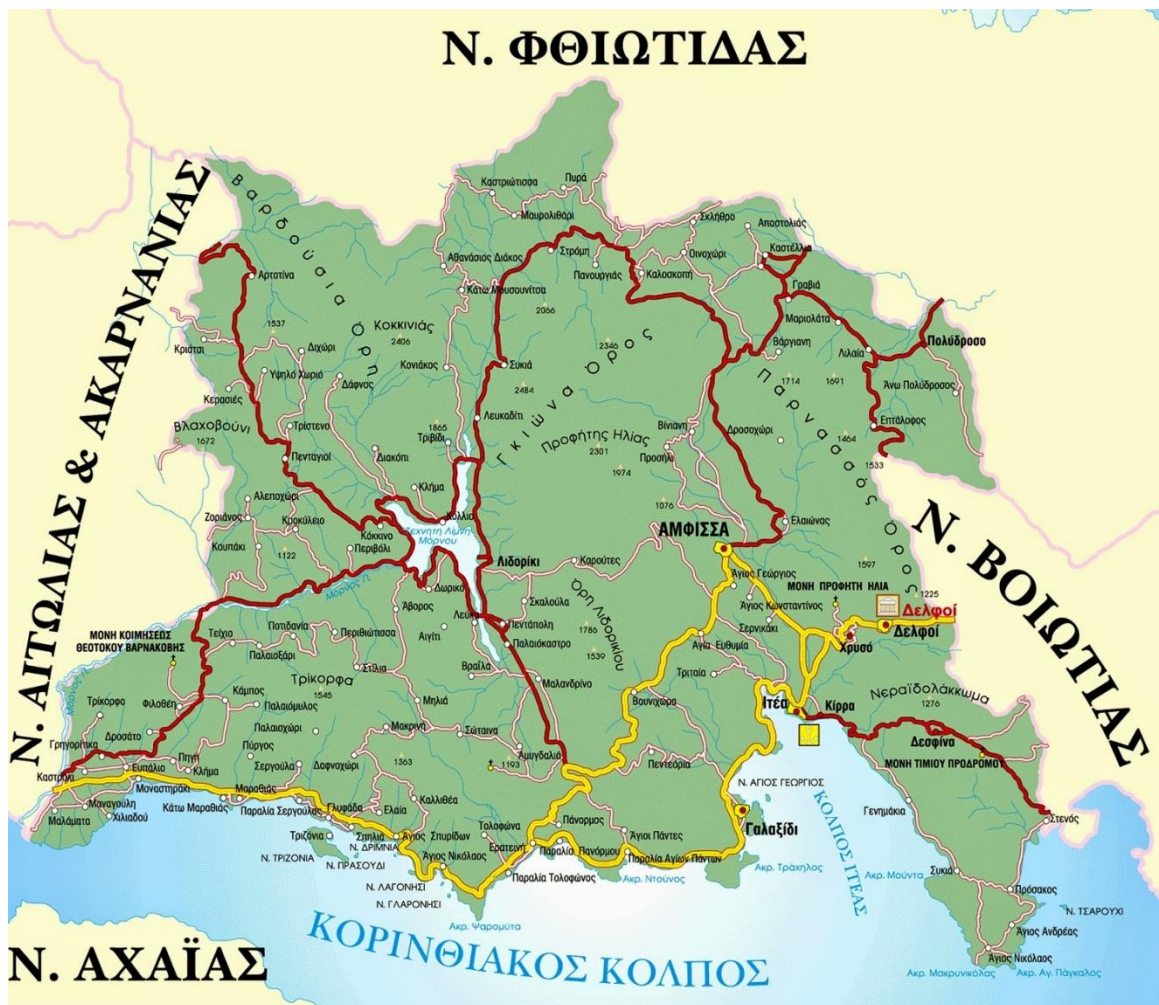
Εικόνα 2.43 Ορθοφωτογραφία της εξεταζόμενης περιοχής
https://assets.cfassets.net/go54bjdzbrgi/3jpFc8UaJyD5gUAhZB3jpN/8ece1191285640c478c9f24514932359/GEOCAPTURE - risque g_ologique.pdf

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 (ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ)

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αναφορά στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής όπου βρίσκεται η εξεταζόμενη περιοχή, όπως τα γεωμορφολογικά, τεκτονικά, υδρολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων.

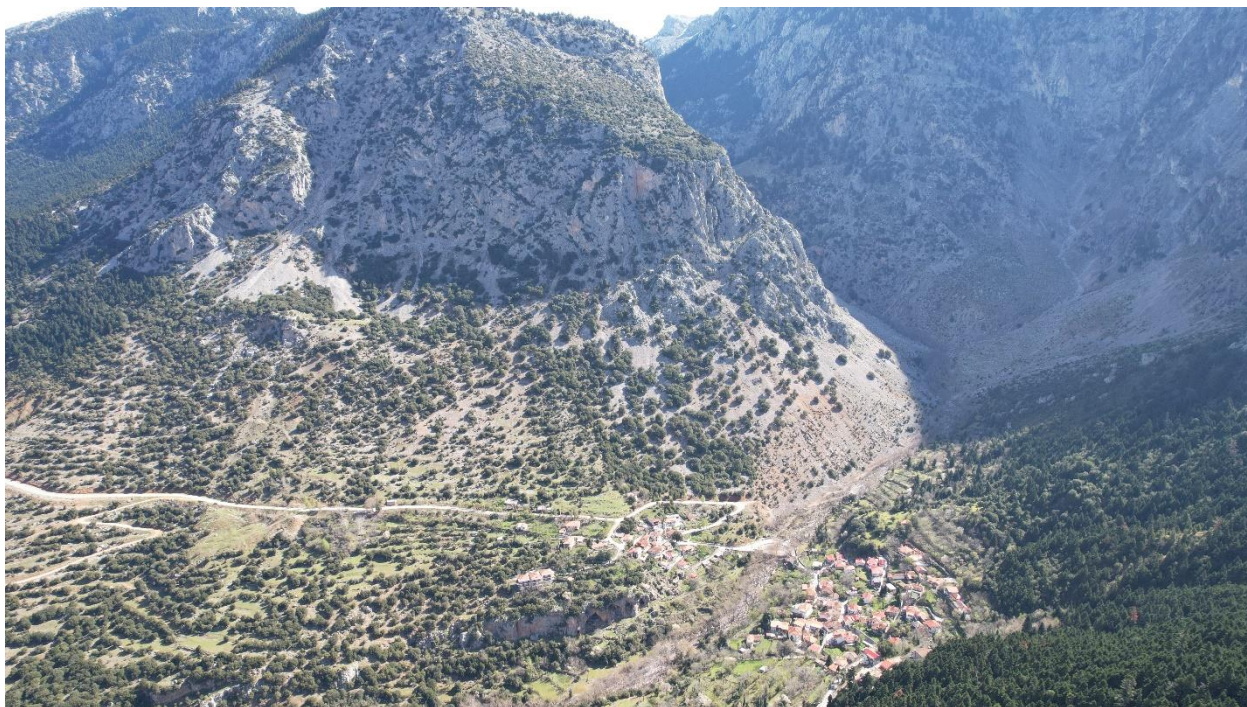
3.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στον νομό Φωκίδας. Ο νομός Φωκίδας καταλαμβάνει το νότιο τμήμα της Στερεάς Ελλάδας. Έχει έκταση 2.126 τ.χλμ και πληθυσμό περίπου 48.000 κατοίκους. Πρωτεύουσα του νομού είναι η Άμφισσα. Στα βόρεια συνορεύει με τον νομό Φθιώτιδας, στα νότια βρέχεται από τον κορινθιακό κόλπο, ανατολικά συνορεύει με τον νομό Βοιωτίας και τέλος δυτικά με τον νομό Αιτωλοακαρνανίας.



Εικόνα 3.1 Περιφερειακή Ενότητα Φωκίδας (Καραϊνδρου et al., 2010)

Η Συκέα ή Συκιά(Εικόνα 3.2) είναι ορεινός οικισμός στη Δωρίδα του Νομού Φωκίδος (Εικόνα3.1) με πληθυσμό 52 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011 και αποτελεί την Τοπική Κοινότητα Συκέας της Δημοτικής Ενότητας Λιδωρικού του Δήμου Δωρίδος. Βρίσκεται σε υψόμετρο 711 μέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και είναι κτισμένη στους πρόποδες της Γκιώνας. Βρίσκεται στην επαρχιακή οδό Καστριώτισσας – Λιδωρικού, σε απόσταση 5,5 χλμ. από το Λευκαδίτι και Βόρεια του Λιδωρικού σε 17 χλμ.



Εικόνα 3.2 Αεροφωτογραφία της Τ.Κ Συκιάς Φωκίδας με το Ξεροβούνι

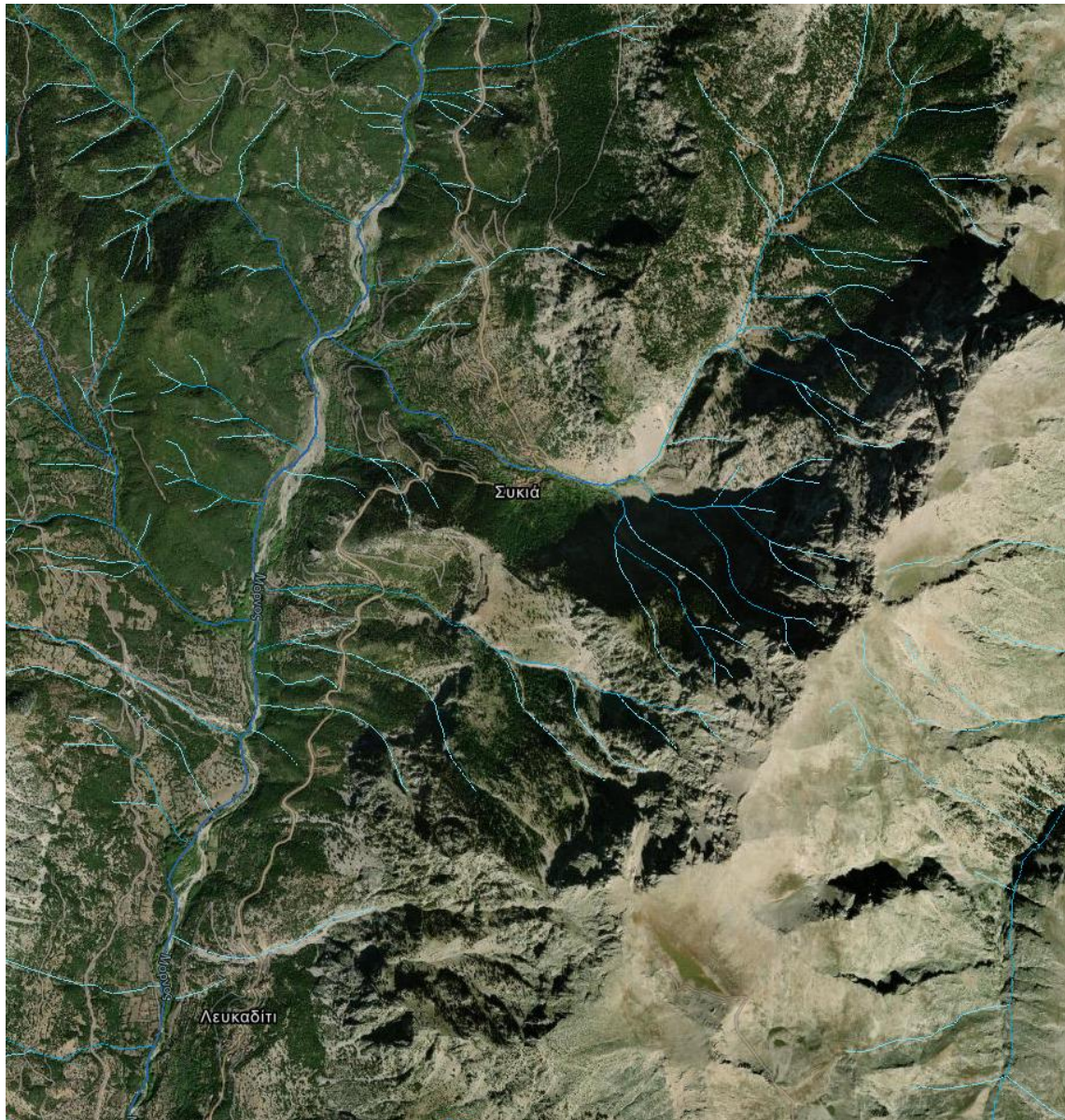
Όσον αφορά τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιφερειακής ενότητας στο βορειοδυτικό τμήμα του Νομού, με κατεύθυνση ΒΔ – ΝΑ εκτείνονται τα Βαρδούσια Όρη με μέγιστο υψόμετρο 2495m ενώ στο βορειοκεντρικό τμήμα του Νομού, στα όρια με το Νομό Φθιώτιδας, ορθώνεται το όρος Οίτη με μέγιστο υψόμετρο 2152m. Στο κέντρο του Νομού, στα όρια των δύο επαρχιών του, εκτείνεται το όρος Γκιώνα με μέγιστο υψόμετρο τα 2510 m και διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ, το οποίο αποτελεί και μέρος της περιοχής μελέτης. Συνορεύει στα δυτικά με τα Βαρδούσια, από τα οποία τη χωρίζει ο ποταμός Μόρνος, στα νοτιοανατολικά με τον Παρνασσό, στα βορειοανατολικά με το Καλλίδρομο και στα βόρεια με την Οίτη. Στις νότιες απολήξεις της Γκιώνας, αποτελώντας ουσιαστικά προέκτασή της, εκτείνονται τα Όρη Λιδωρικού με μέγιστο υψόμετρο 1786m. Στο ανατολικό τμήμα του Νομού, στα όρια με το Νομό Βοιωτίας εκτείνονται οι δυτικές απολήξεις του Παρνασσού με υψηλότερη κορυφή τη Λιάκουρα (2457m). Τα πεδινά εδάφη του Νομού είναι ελάχιστα. Εκτείνονται στα παράλια του Κορινθιακού κόλπου και του κόλπου της Ιτέας, στην κοιλάδα του Μόρνου και στον άνω ρου του ποταμού Κηφισού. Μοναδική αξιόλογη πεδινή περιοχή είναι η πεδιάδα της Άμφισσας. Σημαντικότερος ποταμός του Ν. Φωκίδας είναι ο Μόρνος, ο οποίος πηγάζει στις νότιες παρυφές της Οίτης και ακολουθεί νότια διεύθυνση προς το Λιδωρικό, όπου στρέφεται προς τα δυτικά. Στη συνέχεια διαγράφει τα όρια των Νομών Φωκίδας, Αιτωλοακαρνανίας, σχηματίζοντας μία καταπράσινη κοιλάδα και εκβάλλει κοντά στη Ναύπακτο. Στον ποταμό έχει κατασκευαστεί φράγμα που σχηματίζει τεχνητή λίμνη. Εκεί συγκεντρώνονται τα νερά απ' όπου υδρεύονται η περιοχή της Αθήνας καθώς και πολλές κοινότητες και οικισμοί κατά μήκος του αγωγού μεταφοράς των υδάτων από την τεχνητή λίμνη προς την πρωτεύουσα. Το βορειοανατολικό τμήμα του Νομού διαρρέει ο άνω ρους του (βοιωτικού) Κηφισού.

Οι κλίσεις ποικίλουν από επίπεδες (στις κοιλάδες των ποταμών, στις πεδινές εκτάσεις και τα οροπέδια) μέχρι ισχυρές (35%-50%) και σε πολλά σημεία απότομες (50 – 70%) ή και απόκρημνες (>70%) όπως οι κορυφές της Γκιόνας και των Βαρδουσίων. Η περιοχή είναι καθαρά ορεινή.

Το βασικό χαρακτηριστικό των εδαφών της περιοχής είναι η περιορισμένη διαθεσιμότητα καλλιεργήσιμων εδαφών τα οποία απαντώνται στις πεδινές εκτάσεις της κοιλάδας της Άμφισσας και στις εκβολές του Μόρνου (Ευπάλιο). Κυριαρχούν τα εδάφη με αργιλοπηλώδη – αργιλώδη υφή. Οι βασικές κατηγορίες πετρωμάτων που απαντώνται στην περιοχή και από τα οποία προέρχονται τα εδάφη είναι : Φλύσχης, σκληροί συμπαγείς ασβεστόλιθοι, Πυριγενή πετρώματα (οφειόλιθοι) και Τεταρτογενείς – πρόσφατες αποθέσεις. Το κλίμα της περιοχής παρουσιάζει διάφορες διαβαθμίσεις ανάλογα με το υψόμετρο. Διακρίνονται οι εξής βιοκλιματικές ζώνες : Έντονος μέσο – μεσογειακός στο νότιο άκρο της περιοχής, ασθενής μέσο-μεσογειακός στην κοιλάδα του Μόρνου, υπομεσογειακό στις πλαγιές των βουνών και υποξηρικός ψυχρός στις κορυφές των βουνών. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 600mm στην παραλιακή ζώνη έως 1400 mm στις ορεινές περιοχές, ενώ η απόλυτως ελάχιστη θερμοκρασία φθάνει στους $-10.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η απόλυτως μέγιστη στους $58,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Στην περιοχή διακρίνονται δύο γεωτεκτονικές ζώνες, η ζώνη Βαρδουσίων και η ζώνη Παρνασσού Γκιόνας. Το ορεινό συγκρότημα των Βαρδουσίων ανήκει σε μια υποενότητα της γεωλογικής ζώνης της Πίνδου που ονομάζεται ζώνη Βαρδουσίων. Οι υψηλές κορυφές του ανατολικού συγκροτήματος αποτελούνται από πτυχωμένους πλακώδεις ασβεστόλιθους και η μορφολογία τους είναι από τις εντυπωσιακότερες στα ελληνικά βουνά, ενώ οι κορυφές του δυτικού συγκροτήματος επίσης ασβεστολιθικές παρουσιάζουν πλήθος καστρικών δομών, δολίνες, κάρκανους και υπόγεια ποτάμια. Η ενότητα Παρνασσού-Γκιόνας διαθέτει μια σχετικά λιθολογική ομοιογένεια με παχιά στρώματα ασβεστόλιθων. Χαρακτηρίζεται από πολλά ρήγματα, ρήγματα που δημιούργησαν εντυπωσιακές ορθοπλαγιές και μεγάλα βυθίσματα. Στη Γκιόνα κυριαρχεί ο ασβεστόλιθος που σχηματίζει τη μεγάλη νότια κορυφογραμμή. Οι εμφανίσεις του Φλύσχη εντοπίζονται στη λεκάνη της βαθιάς Λάκκας και της Λάκκας Καρβούνη. Από την συνολική έκταση της Π.Ε, η οποία ανέρχεται 2.126,2 χιλ. στέμματα από τα οποία τα 637,4 είναι γεωργικές περιοχές (30%). Τα δάση και οι ημιφυσικές εκτάσεις καταλαμβάνουν 1.458,8χιλ. στρέμματα (69%), οι εκτάσεις που καλύπτονται από νερά 18,3 χιλ. στρέμματα (0,9%) και οι τεχνητές περιοχές 11,7 χιλ. στρέμματα (0,6%) (Καραϊνδρου et al., 2010).

3.1.1 Υδρογραφικό δίκτυο

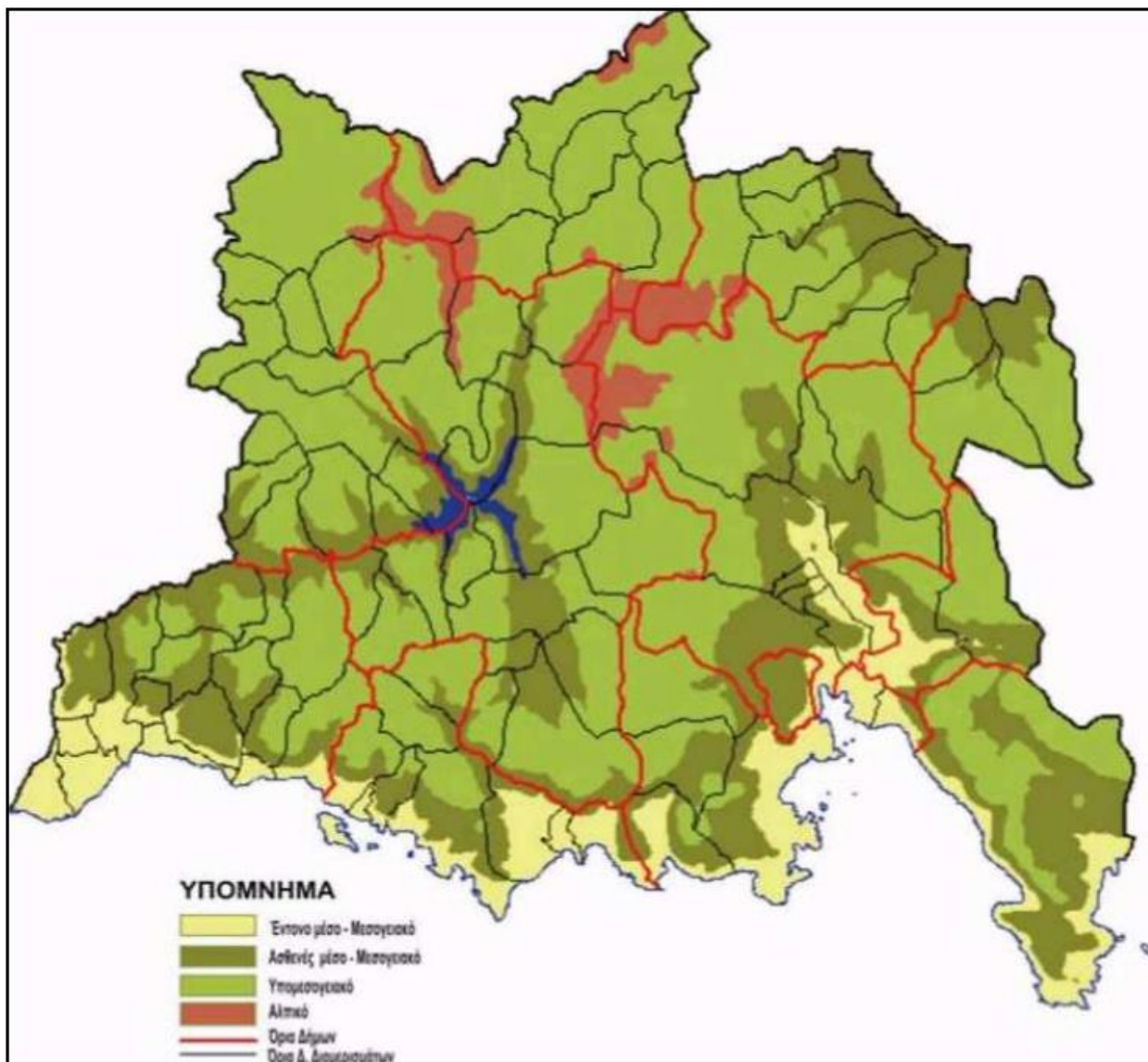
Η περιοχή μελέτης έχει πλούσια υδρογραφία. Οι απορροές της δυτικής πλευράς της Γκιόνας και της ανατολικής πλευράς των Βαρδουσίων καθώς και της ΝΔ πλευράς της Οίτης διαμορφώνουν τον ποταμό Μόρνο, ο Δάφνος των Αρχαίων. Ο ρους του Μόρνου έχει δεσμευτεί στο ύψος του Στενού (κοντά στο χωριό Κάλλιο) με τη βοήθεια χωμάτινου φράγματος (ένα από τα μεγαλύτερα της Ευρώπης) σχηματίζοντας την τεχνητή λίμνη του Μόρνου. Τα νερά εκτρέπονται προς το σύστημα ύδρευσης της Αθήνας μέσω αγωγού.



Εικόνα 3.3 Υδρολογικό δίκτυο στην περιοχή Συκιάς Φωκίδας

3.1.2 Κλίμα

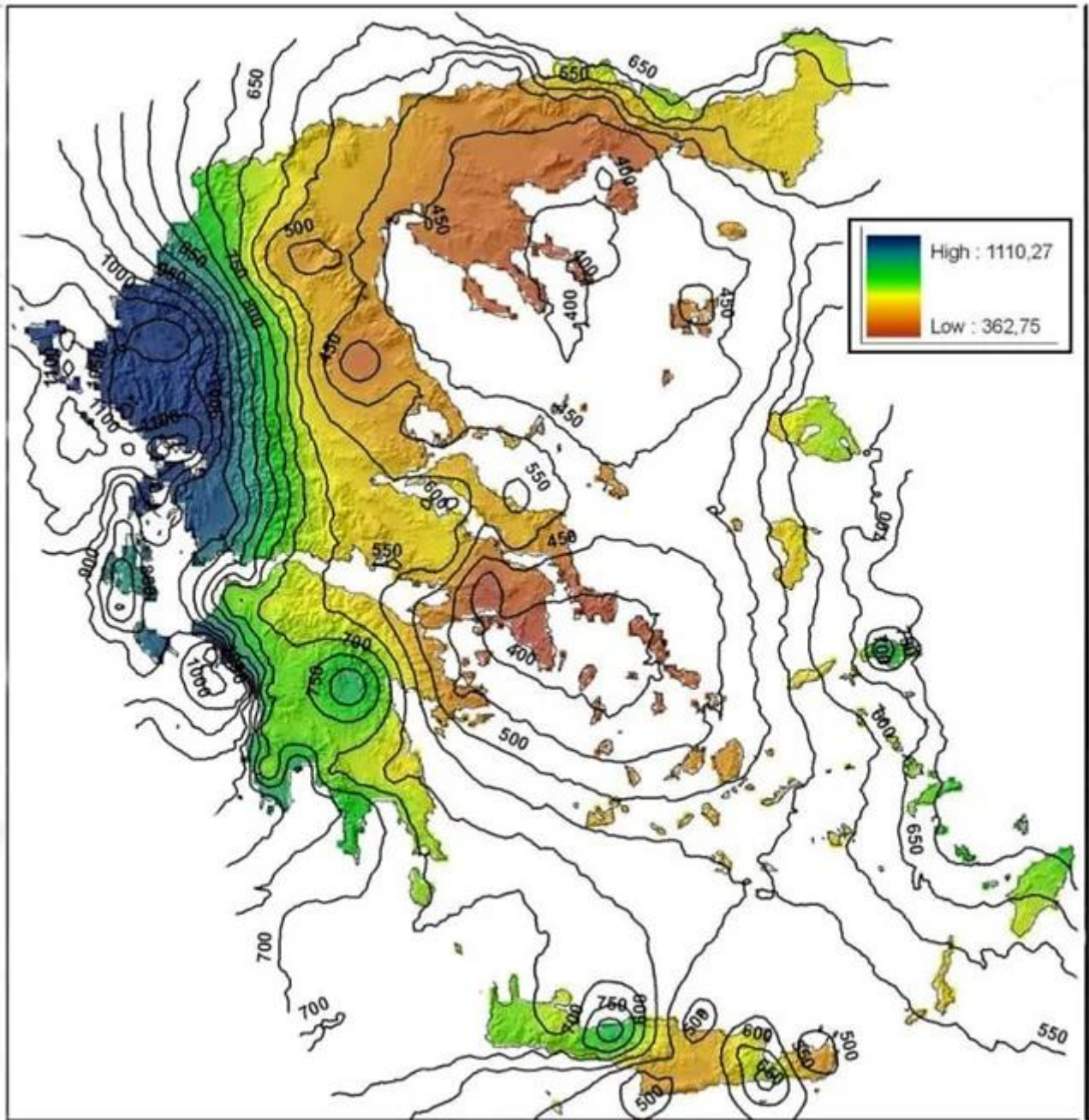
Λόγω του έντονου ανάγλυφου του νομού το κλίμα διαφοροποιείται αρκετά από περιοχή σε περιοχή (Εικόνα 3.1.3). Έτσι, στο κεντρικό και βόρειο τμήμα του νομού το κλίμα είναι ηπειρωτικό με σχετικά δροσερό αλλά ξηρό καλοκαίρι, βροχερό φθινόπωρο και βαρύ χειμώνα, ο οποίος και διαρκεί αρκετούς μήνες. Στις νότιες και παράκτιες περιοχές επικρατεί μεσογειακό κλίμα με ήπιο χειμώνα και θερμό καλοκαίρι. Έτσι η παραλιακή ζώνη του νομού (0 - 200 μέτρα) εμφανίζει «έντονο μεσομεσογειακό» κλίμα με ήπιο χειμώνα, οι περιοχές μέσω των υψομέτρων (μέχρι 600 μέτρα) «ασθενές μεσομεσογειακό» με δριμύ χειμώνα. Στα μεγαλύτερα υψόμετρα της Γκιώνας του Παρνασσού και των Βαρδουσίων (μέχρι 1800 μέτρα) το κλίμα εμφανίζεται ως «υπομεσογειακό» και υποξηρικό ψυχρό με με δριμύ χειμώνα. Τέλος σε μικρά τμήματα του χώρου του νομού τα οποία ευρίσκονται στις κορυφές των βουνών Γκιώνας, Βαρδουσίων και Οίτης το κλίμα είναι υποξηρικό (αλπικό), ψυχρό με αριθμό βιολογικά ξηρών ημερών και χειμώνα δριμύ. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι κλιματικές ζώνες του νομού σύμφωνα με το υψόμετρο ((Καραϊνδρου et al., 2010).



Εικόνα 3.4 Κλιματικές ζώνες στην Π.Ε ΦΩΚΙΔΑΣ (Καραϊνδρου et al., 2010)

3.1.3 Βροχοπτώσεις

Οι βροχοπτώσεις παίζουν καθοριστικό ρόλο στην πρόκληση και επιδείνωση των κατολισθήσεων, καθώς επηρεάζουν σημαντικά τη σταθερότητα των πρανών και τη συνολική ακεραιότητα του εδάφους. Η σχέση μεταξύ βροχόπτωσης και κατολισθήσεων είναι σύνθετη και πολύπλευρη, με διάφορους αλληλένδετους παράγοντες να παίζουν ρόλο.



Εικόνα 3.5 Κατανομή βροχοπτώσεων στον ελλαδικό χώρο ΠΗΓΗ:

https://static.wixstatic.com/media/ffbdd4_e74df26dbaa24f79aca65b5de6bb63ca~mv2.jpg/v1/fill/w_640,h_664,.al_c,q_85,usm_0.66_1.00_0.01,enc_auto/ffbdd4_e74df26dbaa24f79aca65b5de6bb63ca~mv2.jpg

Όταν σημειώνονται βροχοπτώσεις, το νερό διεισδύει στο έδαφος και διαποτίζει το έδαφος. Αυτή η διήθηση οδηγεί σε αύξηση της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό, μειώνοντας τη διατμητική αντοχή και τη συνοχή του. Η διατμητική αντοχή αναφέρεται στην αντίσταση του εδάφους στην παραμόρφωση ή την ολίσθηση κατά μήκος ενός επιπέδου. Καθώς η περιεκτικότητα σε νερό αυξάνεται, τα σωματίδια του εδάφους χάνουν την ικα-

νότητά τους να αλληλοσυνδέονται και το έδαφος γίνεται πιο επιρρεπές σε ολίσθηση. Αυτή η μείωση της διατμητικής αντοχής είναι ιδιαίτερα προβληματική στις πλαγιές, όπου η βαρύτητα μπορεί εύκολα να υπερνικήσει την εξασθενημένη συνοχή, με αποτέλεσμα κατολισθήσεις.

Επιπλέον, οι βαριές και παρατεταμένες βροχοπτώσεις μπορούν να οδηγήσουν σε ένα φαινόμενο γνωστό ως συσσώρευση πίεσης πόρων. Καθώς το νερό της βροχής διεισδύει στο έδαφος, γεμίζει τους πόρους μεταξύ των εδαφικών σωματιδίων, αυξάνοντας την πίεση εντός των πόρων. Αυτή η αυξημένη πίεση των πόρων δρα μειώνοντας την αποτελεσματική τάση εντός της εδαφικής μάζας. Η αποτελεσματική τάση είναι η δύναμη που συγκρατεί τα σωματίδια του εδάφους μαζί και παρέχει σταθερότητα. Όταν η πίεση των πόρων υπερβαίνει την αποτελεσματική τάση, η σταθερότητα του εδάφους διακυβεύεται και οι κατολισθήσεις γίνονται πιο πιθανές. Το πρόσθετο βάρος του νερού στο έδαφος αυξάνει επίσης το φορτίο στο πρηνές, συμβάλλοντας περαιτέρω στην αστάθεια.

Η ένταση και η διάρκεια των βροχοπτώσεων είναι κρίσιμοι παράγοντες για την έναρξη κατολισθήσεων. Οι ξαφνικές, έντονες βροχοπτώσεις μπορούν να κάνουν το έδαφος να κορεστεί γρήγορα, οδηγώντας σε ταχεία αύξηση της πίεσης των πόρων και διάβρωση του εδάφους. Σε πολλές περιπτώσεις, η ικανότητα του εδάφους να απορροφά νερό ξεπερνιέται, με αποτέλεσμα η περίσσεια νερού να ρέει πάνω στην επιφάνεια, οδηγώντας σε διάβρωση και αφαιρώντας στήριξη από τα σωματίδια του εδάφους. Αυτό μπορεί να προκαλέσει ρηχές κατολισθήσεις, όπου το ανώτερο στρώμα του εδάφους ολισθαίνει στην πλαγιά.

Τα γεωγραφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στον τρόπο με τον οποίο οι βροχοπτώσεις επηρεάζουν τις κατολισθήσεις. Η κλίση της πλαγιάς, ο τύπος του εδάφους και η δομή των υποκείμενων πετρωμάτων καθορίζουν την ευαισθησία μιας περιοχής σε κατολισθήσεις. Για παράδειγμα, περιοχές με απότομες κλίσεις και χαλαρά, μη στερεοποιημένα εδάφη είναι πιο ευάλωτες σε κατολισθήσεις κατά τη διάρκεια ισχυρών βροχοπτώσεων. Αντίθετα, περιοχές με καλά στραγγιζόμενα εδάφη και ήπιες κλίσεις είναι λιγότερο πιθανό να παρουσιάσουν σημαντικές κατολισθήσεις ακόμη και με σημαντικές βροχοπτώσεις.

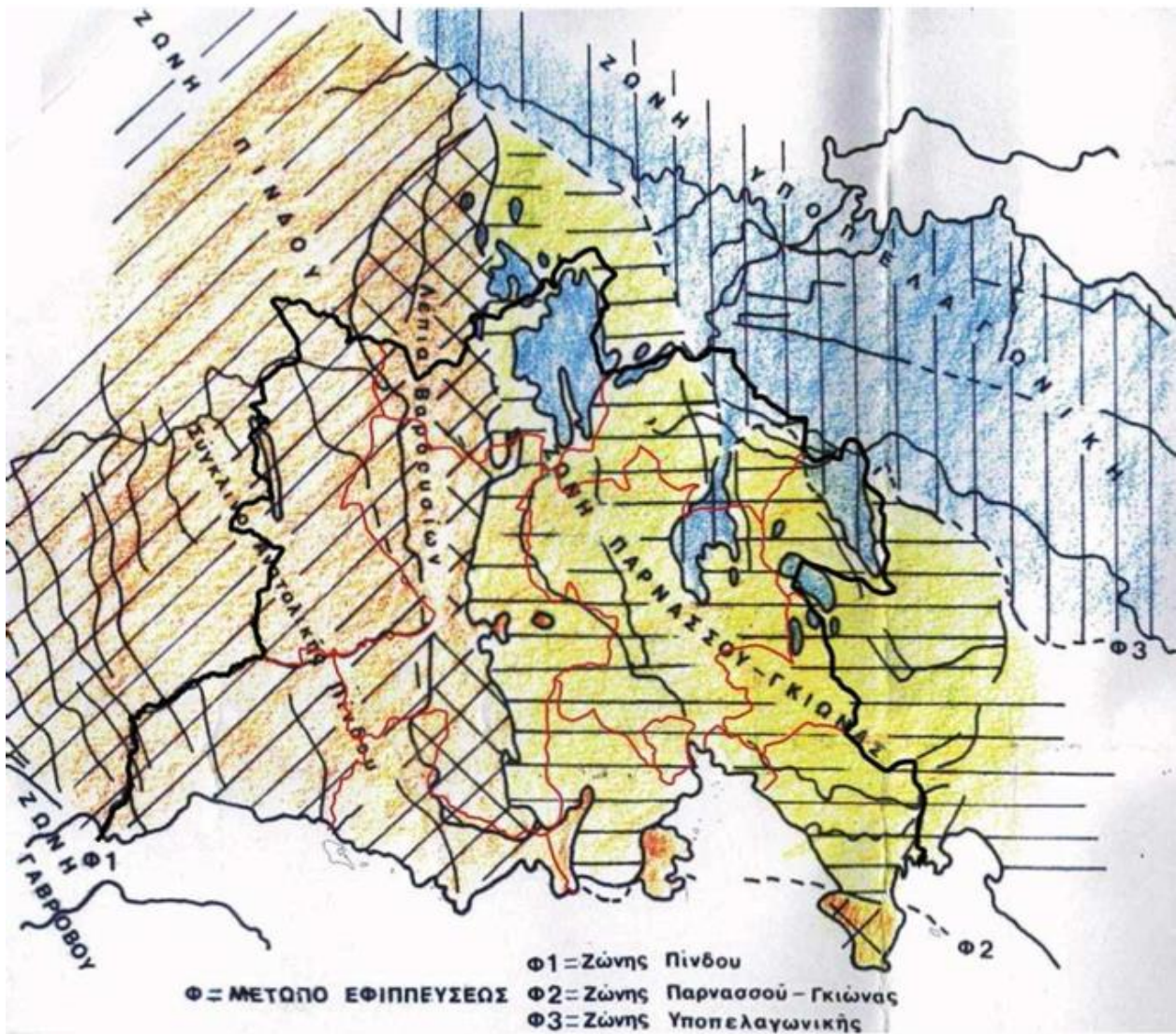
Όσον αφορά την ευρύτερη περιοχή κατά μέσο όρο τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο βρέχει περίπου το 1/3 των ημερών (11 ημέρες περίπου). Σπάνιες είναι οι βροχές το καλοκαίρι (περίπου 1 με 2 ημέρες). Χιόνι εμφανίζεται μόνο τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο (2 φορές περίπου).

Μήνας	Ημέρες με βροχή	Ημέρες με ομίγλη	Ημέρες με καταιγίδα
ΙΑΝ	11,7	0	2,4
ΦΕΒ	10,4	0	2,3
ΜΑΡ	9,8	0,1	2,1
ΑΠΡ	8,4	0,1	1,7
ΜΑΙ	5,3	0	1,5
ΙΟΥΝ	2,2	0	0,8
ΙΟΥΛ	1,0	0	0,4
ΑΥΓ	1,0	0	0,4
ΣΕΠ	3,6	0	1,7
ΟΚΤ	7,8	0	2,6
ΝΟΕ	11,0	0	3,9
ΔΕΚ	13,2	0	3,2

Εικόνα 3.6 Χρονική εμφάνιση κατακρημνισμάτων ανά μήνα (σε ημέρες)

3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

Η γεωλογική δομή της περιφερειακής ενότητας Φωκίδας συμμετέχουν πετρώματα τα οποία ανήκουν εκ δυσμών προς ανατολάς στις γεωτεκτονικές ζώνες Ωλωνού - Πίνδου, Παρνασσού - Γκιώνας και Υποπελαγονική ζώνη. Πρόκειται για ανθρακικούς ως επί το πλείστο σχηματισμούς Τριαδικής έως και Ηώκαινης ηλικίας ως και φλυσικά πετρώματα σημαντικού πάχους, τριαδικά λατυποπαγή, σχιστοκερατόλιθους κ.λπ. Η τεκτονική δομή της περιοχής του νομού, τυπική των εξωτερικών Ελληνίδων Ζωνών, χαρακτηρίζεται από τις διαδοχικές επώθησεις των γεωτεκτονικών ζωνών, τις εφιπτεύσεις μεταξύ των γεωλογικών σχηματισμών και τις πτυχώσεις. Οι εφιπτεύσεις, συχνές στην περιοχή του νομού συνθέτουν την χαρακτηριστική τεκτονική των λεπιών. Η ζώνη Ωλωνού - Πίνδου καλύπτει το δυτικό τμήμα της Π.Ε (Γεωγραφικές περιοχές των Δήμων Βαρδουσίων, Ευπαλίου, Τολοφώνος και μέρος της γεωγραφικής έκτασης των δήμων Λιδωρικίου και Καλλιέων) και περιλαμβάνει ανθρακικά και κλαστικά ιζήματα, ως τριαδικούς λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους με ενστρώσεις κερατολίθων και αργιλικών σχιστόλιθων μικρού επιφανειακού αναπτύγματος και ορατού πάχους, ιουρασικούς ασβεστόλιθους και σχιστόλιθους σε εναλλαγές, ιουρασικούς σχιστοκερατόλιθους με μικρές ασβεστολιθικές ενστρώσεις με πάχος μερικές δεκάδες μέτρα, πλακώδεις κρητιδικούς ασβεστόλιθους και περιορισμένες εμφανίσεις φλύσχη. Ακολουθούν τα νεότερα πλειοκαινικά ιζήματα από μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους κροκαλοπαγή κ.λπ. περιορισμένης έκτασης στο πεδινό τμήμα στις εκβολές του Μόρνου. Η ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας καταλαμβάνει το ανατολικό τμήμα του νομού με εσωτερικές ζώνες της Υποπελαγονικής Ζώνης. Τα πετρώματα είναι κυρίως αυτόχθονα ανθρακικά ιζήματα (ασβεστόλιθοι και δολομίτες), αβαθών θαλασσών με μεγάλα σχετικά πάχη και κατά δεύτερο λόγο ιζήματα φλύσχη που αφορούν τη περίοδο μέχρι το Ηώκαινο του Παλαιογενούς (τριτογενές του Καινοζωικού αιώνα). Ακολουθούν, σε μικρότερη έκταση (κοιλάδα Άμφισσας, Άνω Ρου Βιοτικού Κηφισού) σχηματισμοί όπως τα κροκαλοπαγή κ.λπ. (μειόκαινο - πλειστόκαινο). Στο Ανατολικό τμήμα του νομού (περιοχή Οίτης και Παρνασσού) παρατηρείται ευρεία εμφάνιση πετρωμάτων της Υποπελαγονικής ζώνης ως αποτέλεσμα επώθησης και εν μέρει εφιπτεύσης της Ζώνης αυτής επί της Ζώνης Παρνασσού – Γκιώνας (Καραϊνδρου et al., 2010).



Εικόνα 3.7 Γεωλογικός χάρτης Π.Ε ΦΩΚΙΔΑΣ(Καραϊνδρου et al., 2010)

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης αποτελείται από δύο κύριους τύπους πετρωμάτων. Αρχικά συναντάται η Φλύσχη, η οποία είναι αδιαίρετη με εναλλαγές κυρίως ιλυολίθων και ψαμμιτών. Με μικρότερη συχνότητα συμμετέχουν επίσης κροκαλοπαγή και ενδιάμεσοι λιθολογικοί τύποι, ενώ σπανιότερα παρεμβάλλονται ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι και ασβεστόλιθοι. Πρόκειται για θαλάσσια ιζήματα, πάχους κατά θέσεις μεγαλύτερου από 2000 m. Συναντώνται ως σχηματισμοί συνήθως λεπτοστρωματώδης, συχνά όμως με ψαμμιτικούς πάγκους 0,5-1 m. Τα στρώματα παρουσιάζουν έντονα ίχνη τεκτονικών παραμορφώσεων (πτυχές, στολιδώσεις, αναστροφές, διαρρήξεις και κερματισμός). Σε μακροκλίμακα είναι σχηματισμός στεγανός και επιτρέπει την εκδήλωση πικροπηγών, συνήθως μεταξύ κερματισμένου πετρώματος ή μανδύα αποσάθρωσης και υγιούς πετρώματος. Τα επιφανειακά στρώματα εμφανίζουν κατά κανόνα μέτρια-ισχυρή αποσάθρωση και πυκνό δίκτυο ασυνεχειών (επίπεδα στρώσεως και διακλάσεων), που προκαλούν έντονη δευτερογενή χαλάρωση. Καλύπτει εκτεταμένες περιοχές ιδιαίτερα στη Δυτ. Ελλάδα και συνήθως δίνει μανδύα αποσάθρωσης κυμαινόμενου πάχους. Κατολισθητικά φαινόμενα εκδηλώνονται με ιδιαίτερη συχνότητα, συνήθως όμως επηρεάζουν το μανδύα και την ανώτερη ζώνη κερματισμού των στρωμάτων. Χαρακτηρίζεται συχνά από έκδηλη αστάθεια, που συνδέεται κυρίως με τις συχνές ετερογενείς επαφές των στρωμάτων και τις ισχυρές κλίσεις αυτών, σε συνδυασμό με το έντονο ανάγλυφο των περιοχών εξάπλωσης και τη δράση του νερού. Εμφανίζει έτσι προβλήματα στη θεμελίωση τεχνικών έργων, κυρίως στην οδοποιία, που παρουσιάζονται συνηθέστερα ως προβλήματα διατμητικών αντοχών. Η μηχανική

συμπεριφορά γενικότερα, παρουσιάζει σαφή ανισορροπία και ταχείες μεταβολές που ελέγχονται από το βαθμό χαλάρωσης των στρωμάτων (αποσάθρωση-κερματισμός), τον προσανατολισμό των ασυνεχειών, την κλίση του πρηνούς, καθώς και τη δράση του νερού.

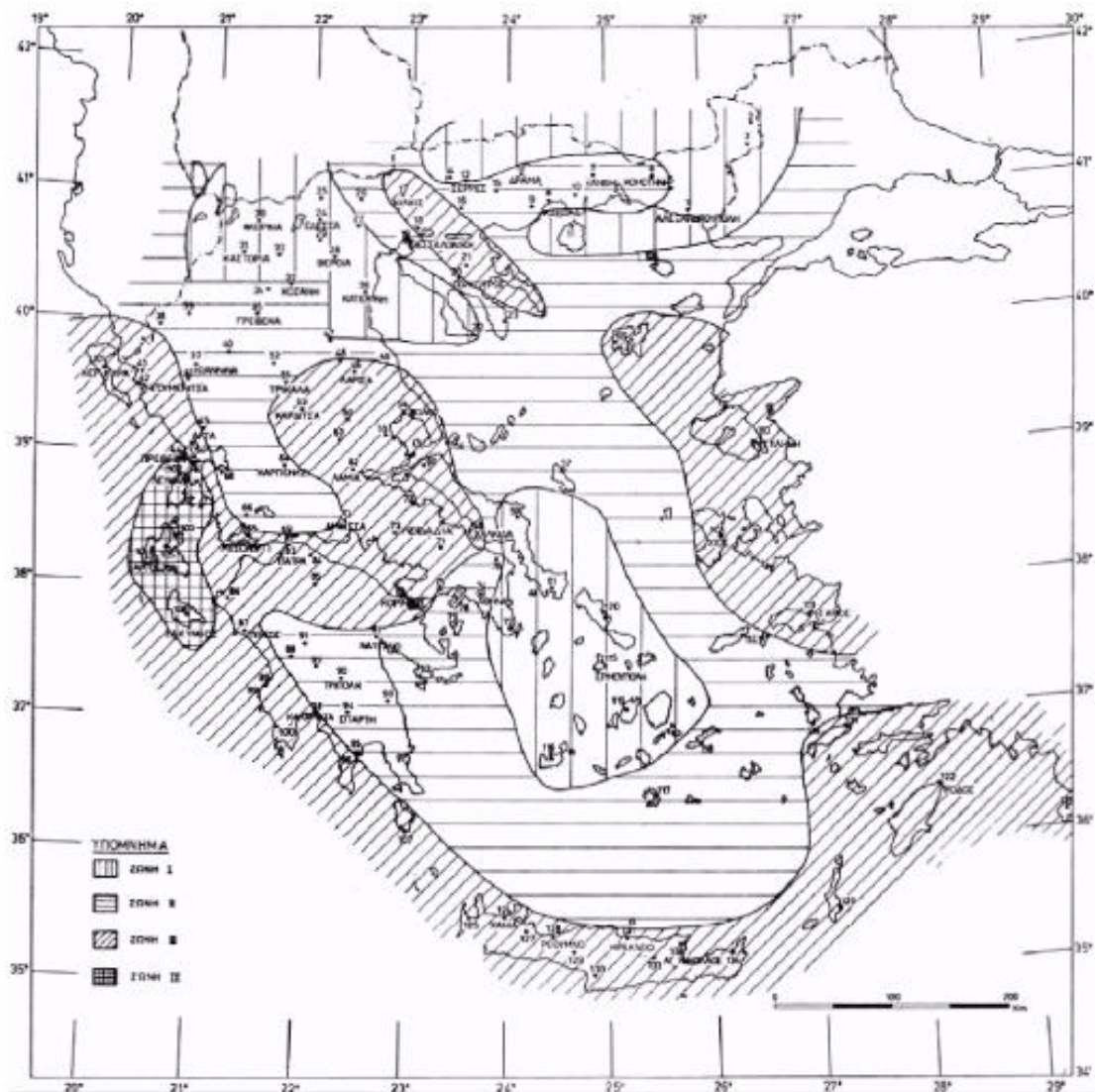
Επιπρόσθετα συναντώνται και ασβεστολιθικά πετρώματα, τα οποία χαρακτηρίζονται ως συμπαγείς, συχνά κρυσταλλικοί, παχυστρωματώδεις ή άστρωτοι έως λεπτοπλακώδεις ποικίλης απόχρωσης. Κατά θέσεις μαργαϊκοί ή σε μικρότερη έκταση λιμναίοι τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι. Συνήθως έντονα αποκαρστωμένοι στα επιφανειακά στρώματα και διαρρηγμένοι. Το πάχος τους κυμαίνεται μεταξύ μερικών δεκάδων και πολλών εκατοντάδων μέτρων. Παρουσιάζουν μεγάλη επιφανειακή ανάπτυξη στον Ελληνικό χώρο και δίνουν εκτεταμένους κώνους κορημάτων. Χαρακτηρίζονται από μέτρια έως υψηλή δευτερογενή περατότητα και υψηλές τιμές μηχανικών αντοχών του ασβεστολιθικού υλικού, ενώ η συμπεριφορά της βραχομάζας είναι συνήθως ικανοποιητική για τη θεμελίωση τεχνικών έργων. Απαιτείται όμως ιδιαίτερη προσοχή στην κατασκευή υπογείων έργων, όταν διαπιστώνεται η παρουσία μεγαλοκαρστικών μορφών (καταρρεύσεις οροφής εγκοίλων) και στις περιπτώσεις δευτερογενούς χαλάρωσης λόγω πυκνής διάρρηξης των στρωμάτων, δυσμενούς προσανατολισμού των ασυνεχειών και πλήρωσης αυτών με άργιλο. Σε ορισμένες περιπτώσεις και σε τοπική κλίμακα το ασβεστολιθικό πέτρωμα θρυμματίζεται εύκολα σε μέγεθος ψηφίδας. Αστοχίες στα πρηνή παρατηρούνται συνήθως ως καταπτώσεις βραχωδών μαζών στις περιπτώσεις ισχυρών κλίσεων και αυξημένης δευτερογενούς χαλάρωσης της βραχομάζας ή διατάραξης της φυσικής ισορροπίας και δυναμικών φορτίσεων. Σπανιότερα, στους λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους με ενστρώσεις μάλιστα σχιστολιθικού υλικού εκδηλώνονται κατολισθητικά φαινόμενα τοπικής σημασίας (Καραϊνδρου et al., 2010).

3.2.1 Σεισμοί

Η περιοχή του νομού σεισμικά επηρεάζεται από το ρήγμα της Αταλάντης και το ρήγμα του Κορινθιακού κόλπου, περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα. Σύμφωνα με τον Β. Παπαζάχο, στην περιοχή έχουν καταγραφεί επιφανειακοί σεισμοί με εστιακά βάθη τα οποία κυμαίνονται από 1- 60 km και 70-100 km (σχήμα). Τα στοιχεία δείχνουν ότι ο Νομός και ειδικότερα οι περιοχές που γειτνιάζουν με τον Κορινθιακό κόλπο παρουσιάζουν υψηλή σεισμικότητα. Σε επίπεδο σεισμικής επικινδυνότητας ο Νομός, σύμφωνα με τον Αντισεισμικό Κανονισμό 2000, κατατάσσεται στις ζώνες II και III (σχήμα). Το δυτικό τμήμα του νομού παρουσιάζει χαμηλότερη σεισμική επικινδυνότητα σε σχέση με το ανατολικό στο οποίο έχουν εμφανιστεί οι περισσότεροι σεισμοί της περιοχής. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές της σεισμικής επιτάχυνσης του εδάφους για τις τέσσερες ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (ΕΑΚ 2000) (Καραϊνδρου et al,2010).

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	I	II	III	IV
α	0,12	0,16	0,24	0,36

Εικόνα 3.8 Κατηγοριοποίηση σεισμικής επιτάχυνσης του εδάφους



Εικόνα 3.9 Χάρτης Ζωνών Σεισμικότητας στον Ελλαδικό Χώρο ΠΗΓΗ: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ3UxIkC9Xyq-bkCRrC48TamJveXMjU3RZaMXhmVqIMeA&s>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

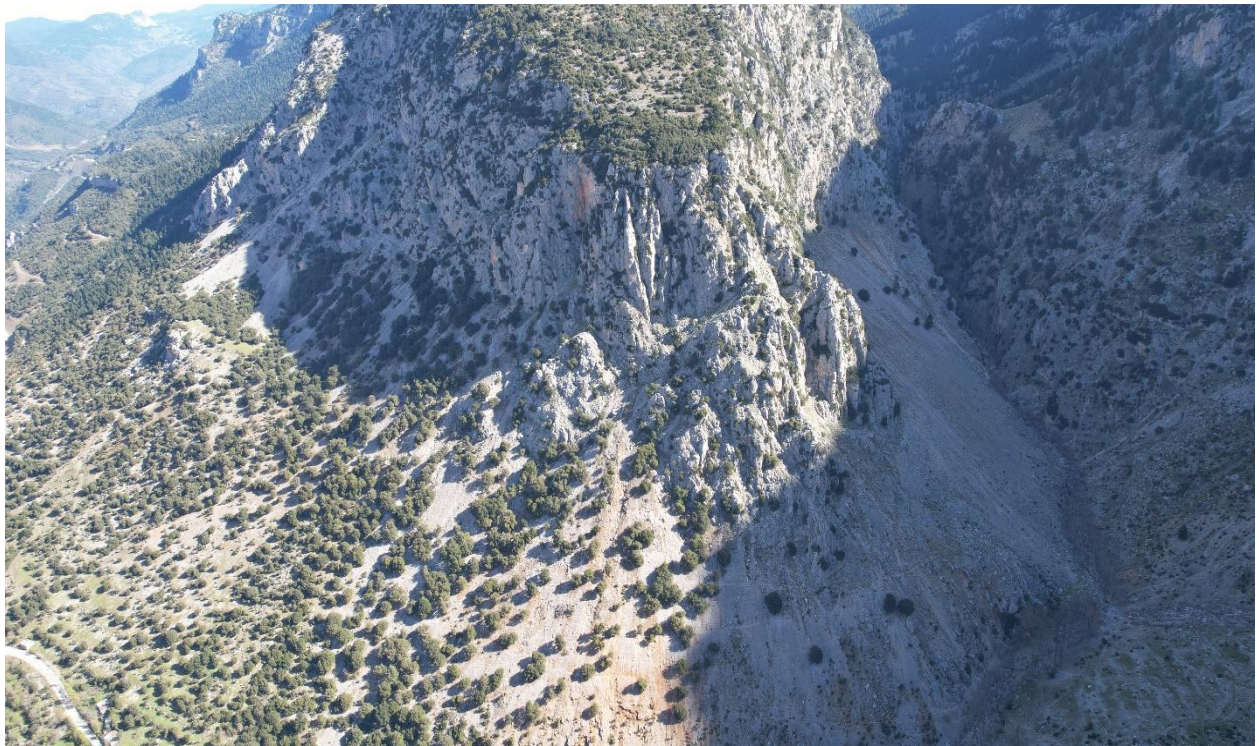
Σκοπός αυτό του κεφαλαίου είναι η ανάλυση των επίγειων και εναέριων μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να γίνει η αποτύπωση του πρανούς. Αρχικό στάδιο ήταν η εξέταση της ζητούμενης προς αποτύπωση περιοχής και η αξιολόγηση των επιλογών που υπάρχουν για την πραγματοποίηση της αποτύπωσης. Βασικός παράγοντας για την κατάλληλη επιλογή μεθόδου αποτύπωσης ήταν η ιδιαίτερη μορφολογία του εδάφους στην περιοχή, η οποία δεν επέτρεψε την κατάλληλη τοποθέτηση σημείων ελέγχου εδάφους αλλά και τον απαιτούμενο αριθμό που θα χρειαζόταν για την σωστή γεωαναφορά του πρανούς.

4.1 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΖΗΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΡΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Το πρανές προς αποτύπωση (Εικόνα 4.1) βρίσκεται βορειοανατολικά από την τοπική κοινότητα Συκιάς με μέγιστο υψόμετρο τα 1200 μέτρα και ελάχιστο υψόμετρο στο πόδι του πρανούς τα 730 μέτρα. Γίνεται αντιληπτό πως η υψομετρική διαφορά είναι πολύ μεγάλη κάτι το οποίο προδιαθέτει την ύπαρξη και αρκετά μεγάλων κλίσεων. Ύστερα και από αυτοψία του χώρου κρίθηκε σκόπιμο η οριοθετούμενη περιοχή να περιέχει το σύνολο του μετώπου του πρανούς στο οποίο υπάρχουν ενδείξεις πρόσφατης κατάπτωσης βράχων και να εκτείνεται από την κορυφή του πρανούς η οποία χαρακτηρίζεται από την πυκνή βλάστηση έως το πόδι του πρανούς όπου είναι εμφανείς οι αποθέσεις υλικού από προηγούμενες καταπτώσεις.

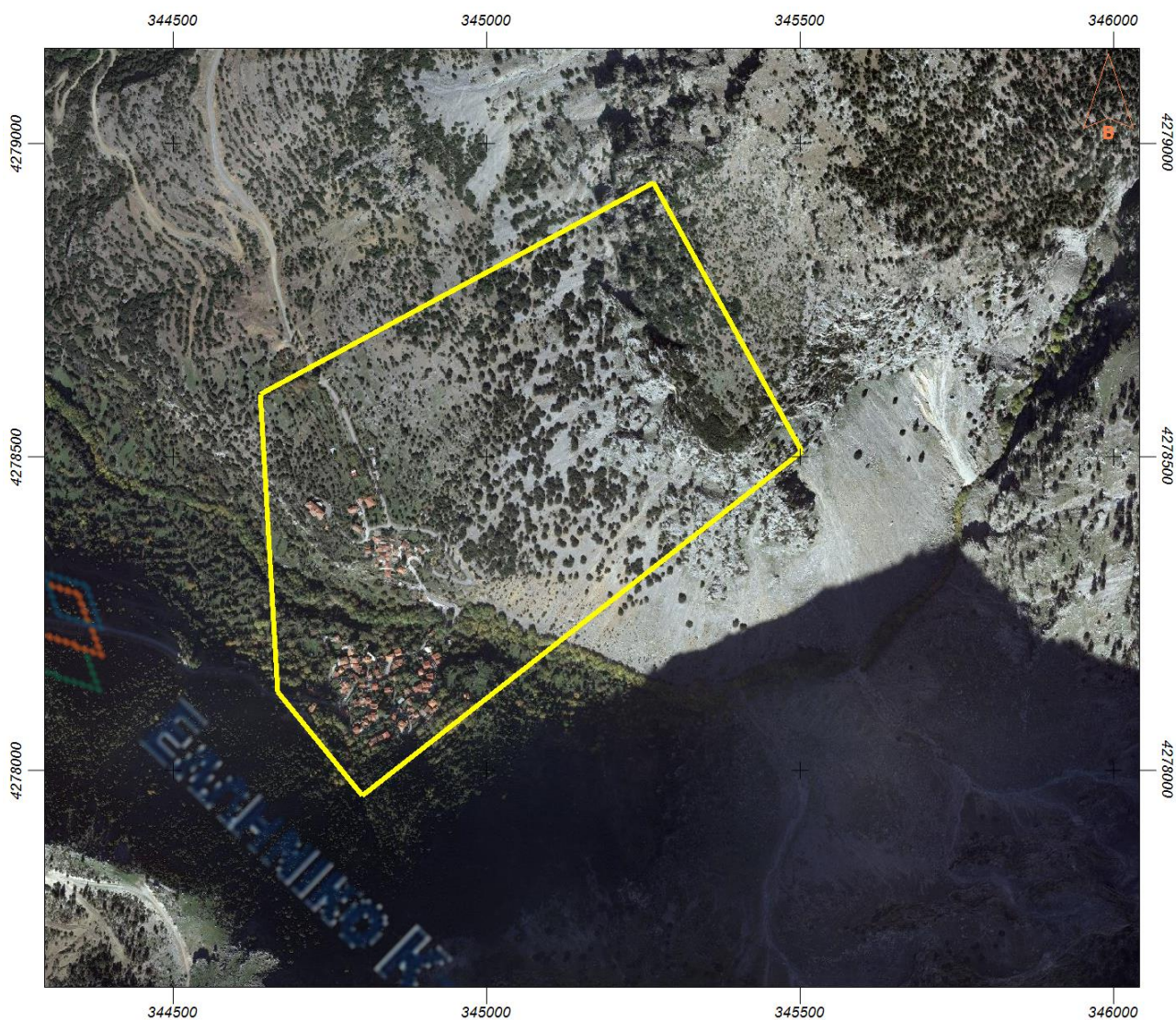
Έπειτα και από συζήτηση με ανθρώπους της τοπικής κοινότητας έγινε κατανοητό πως στο πόδι του πρανούς, η ύπαρξη μια μεγάλης κατά μήκος συστάδας θάμνων και δέντρων έχει λειτουργήσει σε παλαιότερες περιπτώσεις ως ‘ανάχωμα» κατά την εναπόθεση υλικού από το βουνό. Παρόλα αυτά η ύπαρξη αρκετών σημείων από τα οποία έχουν προκληθεί καταπτώσεις, στα οποία η εναπόθεση υλικού δεν έγινε στην συστάδα δέντρων, αλλά σε τμήματα, τα οποία δεν προστατεύουν την τοπική κοινότητα και τις υποδομές της, οδηγούν στην ανάγκη λήψης απαραίτητων μέτρων με πρώτο βήμα την αποτύπωση της επικίνδυνης έκτασης.

Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3, το πρανές που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία, ανήκει στις ζώνες Πίνδου και Γκιώνας-Παρνασσίδας ενώ τα πετρώματα χαρακτηρίζονται ως ασβεστολιθικά. Αστοχίες στα πρανή παρατηρούνται συνήθως ως καταπτώσεις βραχωδών μαζών στις περιπτώσεις ισχυρών κλίσεων και αυξημένης δευτερογενούς χαλάρωσης της βραχομάζας ή διατάραξης της φυσικής ισορροπίας και δυναμικών φορτίσεων. Κατά την διάρκεια της αυτοψίας παρατηρήθηκε πως στα τμήματα από τα οποία έχουν αποκολληθεί βράχοι εμφανίζονται με πιο λευκό χρώμα. Είναι γνωστό πως τα ασβεστολιθικά πετρώματα ερχόμενα σε επαφή με το διοξείδιο του άνθρακα και την βροχή υπόκεινται σε χημική αποσάθρωση η οποία είναι γρηγορότερη στα ασβεστολιθικά πετρώματα. Το νερό της βροχής εμπλουτισμένο σε CO₂ που προέρχεται από την ατμόσφαιρα και το βιογενές CO₂ του εδάφους, διαλύει τα ανθρακικά κυρίως άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου που μετατρέπονται σε διαλυτά όξινα ανθρακικά άλατα. Με αυτό τον τρόπο συμβαίνουν μεταβολές που θα ήταν αδύνατες από την απλή παρουσία του νερού. Αυτό δημιουργεί συνθήκες ευνοϊκές για την αποκόλληση βράχων ιδίως σε τμήματα του πρανούς τα οποία χαρακτηρίζονται από απότομες κλίσεις έως και αρνητικές, ένα φαινόμενο που παρατηρείται και στο προς αποτύπωση πρανές.



Εικόνα 4.1 Αεροφωτογραφία του Ξεροβουνίου

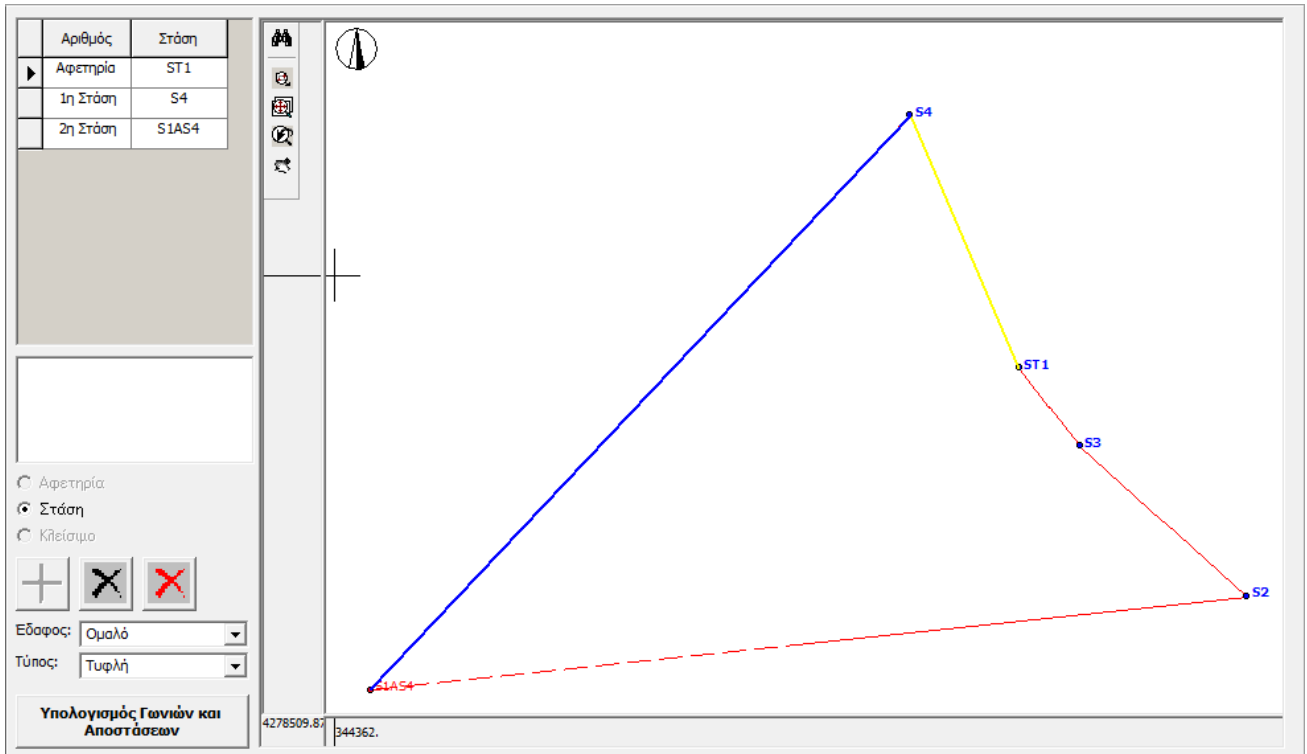
Αφού αναλυθήκαν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της προς αποτύπωση περιοχής θα πρέπει να γίνει και μια εκτενέστερη οριοθέτηση της περιοχής ενδιαφέροντος. Όπως προαναφέρθηκε, η περιοχή ενδιαφέροντος αφορά όλο το μέτωπο του πρανούς από το φρύδι έως το πόδι του. Παρόλα αυτά θα δοθεί έμφαση στο μέτωπο το οποίο αντικρύζει την τοπική κοινότητα. Με αυτόν τον τρόπο θα δοθεί έμφαση στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την καλύτερη θωράκιση του τοπικού οικισμού. Έτσι όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.2, η προς αποτύπωση περιοχή περιλαμβάνει τμήμα του οδικού δικτύου που αποτελεί τμήμα της Επαρχιακής Οδού Καστριώτισσας-Λιδορικού, την νοτιοδυτική πλευρά του πρανούς η οποία αντικρύζει τον οικισμό και τέλος τον οικισμό. Ο λόγος που επιλέχθηκε ν συμπεριλαμβάνεται ολόκληρη η κοινότητα στο νέφος σημείων είναι, διότι κατά την επεξεργασία των δεδομένων θα πρέπει να υπάρχει μια ολοκληρωμένη εικόνα όσον αφορά τις επιπτώσεις μιας πιθανής κατάρπτωσης βράχων επί της κοινότητας.



Εικόνα 4.2 Απεικόνιση της εξεταζόμενης περιοχής ΠΗΓΗ: <https://gis.ktimanet.gr/gis/public/15dcebc4-9b43-4243-950a-e0b0b7ea0033.jpg>

4.2 ΎΔΡΥΣΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΟΔΕΥΣΗΣ.

Μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την εξαγωγή ορθών αποτελεσμάτων σε μία αποτύπωση είναι η διεξαγωγή ακριβών μετρήσεων. Έτσι για την βελτίωση της ακρίβειας των συντεταγμένων των τριγωνομετρικών σημείων έγινε πύκνωση του τριγωνομετρικού δικτύου με την ίδρυση όδευσης, οι κορυφές της οποίας επιλύθηκαν τόσο με την διαδικασία του στατικού εντοπισμού μετρήσεων GNSS όσο και με την διαδικασία επίλυση της όδευσης συμβατικών μετρήσεων με γεωδαιτικό σταθμό. Η όδευση που επιλύθηκε αποτελούταν από 4 κορυφές τις S2,S3,ST1,S4 με κοινό σημείο το σημείο S1AS4 , το οποίο αποτελεί και το σημείο παγκάκι ενώ αποτελεί μια ανοιχτή εξαρτημένη όδευση. Η συγκεκριμένη όδευση δεν ήταν δυνατό να επιλυθεί ως κλειστή λόγω της έλλειψης οπτικής επαφής με την κορυφή μεταξύ ορισμένων κορυφών.



Εικόνα 4.3 Αναπαράσταση όδευσης κατά την επίλυση

Εύρεση Μέτρησης		Οριζόντιες Γωνίες					
	Προηγούμενη Στάση	Σταθμός	Επόμενη Στάση	Οριζόντια Γωνία	Μέση Ορ. Γωνία	Συμμετοχή	
	ST1 (1, I)	S4	S1AS4 (1, I)	74.0374	74.0374	<input checked="" type="checkbox"/>	

Εύρεση Μέτρησης		Οριζόντιες Πλευρές					
	Πλευρά	Σκόπευση Από	Σκόπευση Προς	Ορ. Απόσταση	Μέση Ορ. Απόσταση	Μέγιστο Επιτ. Σφάλμα	Συμμετοχή
	2	S4	S1AS4	529.853	529.853	0.099	<input checked="" type="checkbox"/>

Εύρεση Μέτρησης		Υψομετρικές Διαφορές				
	Πλευρά	Σκόπευση Από	Σκόπευση Προς	Υψ. Διαφορά	Μέση Υψ. Διαφορά	Συμμετοχή
	2	S4	S1AS4	0.025	0.025	<input checked="" type="checkbox"/>

Σφάλματα Μετρήσεων		
	Στοιχείο με το μέγιστο σφάλμα	Μέγιστο Σφάλμα
Οριζόντιες Γωνίες	ST1 (1, I) - S4 - S1AS4 (1, I)	0.0000
Οριζόντιες Πλευρές	S4 - S1AS4	0.000
Υψομετρικές Διαφορές	S4 - S1AS4	0.000

Κορυφή	Γωνία β	S	X	Y	Z
	Γωνία α		ΔX	ΔY	ΔZ
Γωνία αΚΑ	373.9772				
S4	74.0374	529.853	344749.327	4278617.464	756.696
	248.0146		-362.798	-386.163	0.025
S1AS4			344386.529	4278231.301	756.721

Σφάλματα Όδευσης	
Συγκεντρωμένο Γωνιακό Σφάλμα	

Εικόνα 4.4 Αποτελέσματα επίλυσης της όδευσης

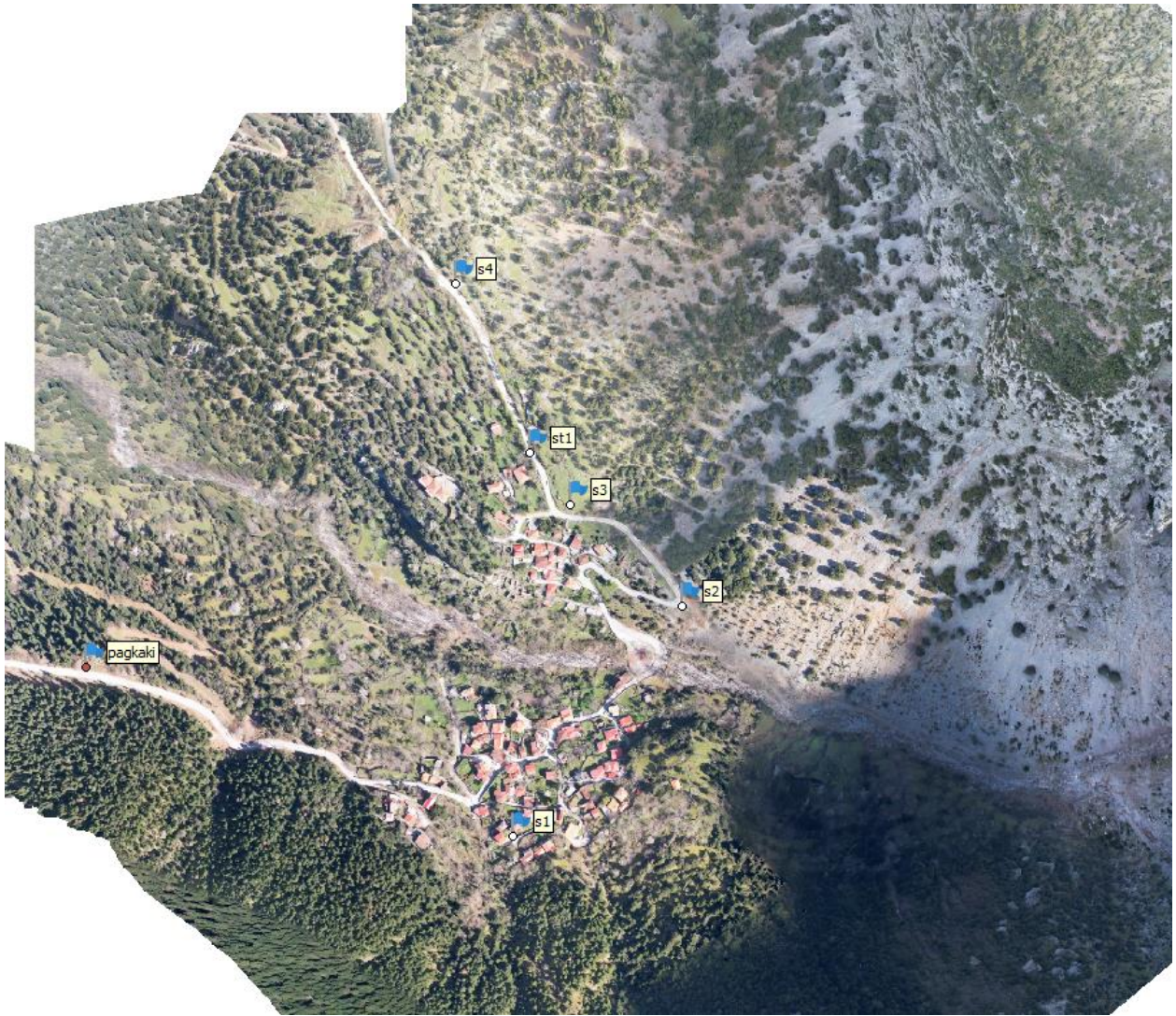


Εικόνα 4.5 Διαδικασία σήμανσης του κέντρου του φωτοσταθερού



Εικόνα 4.6 Ίδρυση κορυφής όδευσης και κέντρου του φωτοσταθερού

Να σημειωθεί επίσης πως εφόσον η επίλυση της όδευσης γίνεται στο προβολικό επίπεδο, η οριζόντια απόσταση πρέπει να ανάγεται στην προβολή με εφαρμογή του συντελεστή χαρτογραφικής παραμόρφωσης στην περιοχή μελέτης). Επίσης, σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου (συνήθως > 500 m) όπως και στην περίπτωση μελέτης και για πλευρές μεγάλου μήκους έχει νόημά να γίνεται και αναγωγή στη ΜΣΘ.



Εικόνα 4.7 Ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου

Όσον αφορά το φωτοσταθερό S1 (Εικόνα 4.8), τοποθετήθηκε στην νοτιοανατολική πλευρά του οικισμού στα όρια του προκειμένου να καλυφθεί η περιοχή αποτύπωσης για την σωστή γεωαναφορά.



Εικόνα 4.8 Απεικόνιση του σημείου ελέγχου εδάφους S1 με βορειοανατολική κατεύθυνση

Όσον αφορά το δεύτερο φωτοσταθερό S2 (Εικόνα 4.9) τοποθετήθηκε σε έναν ανοιχτό χώρο καλύπτοντας νοητά την μια πλευρά του πρανούς προς αποτύπωση.



Εικόνα 4.9 Απεικόνιση σημείου ελέγχου εδάφους S2 με βορειοανατολική κατεύθυνση

Το τρίτο φωτοσταθερό S3(Εικόνα 4.10) μπήκε στο σημείο όπου υπήρχε η καλύτερη δυνατή πρόσβαση προς την κατεύθυνση του πρανούς προς την βόρειο-βορειοδυτική πλευρά.



Εικόνα 4.10 Σημείο Ελέγχου Εδάφους S3 (GCP) με βορειοανατολική κατεύθυνση (Η μαύρη λωρίδα στο φωτοσταθερό συμβολίζει τον βορρά)

Το τέταρτο φωτοσταθερό S4(Εικόνα 4.11) τοποθετήθηκε στην τaráτσα του υδραγωγείου της κοινότητας στην βόρεια μεριά του πρανούς.



Εικόνα 4.11 Σημείο ελέγχου εδάφους S4 (GCP)

4.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΤΗΝ ΤΟΠΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΥΚΙΑΣ ΦΩ-ΚΙΔΑΣ

Για την πραγματοποίηση της αποτύπωσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις τόσο με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό όσο και με δέκτη GNSS αλλά και το αντίστοιχο ΣμηΕΑ. Αρχικά, όπως προαναφέρθηκε, δημιουργήθηκε ένα γεωδαιτικό δίκτυο οι κορυφές του οποίου μετρήθηκαν και με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό αλλά και με τον GNSS δέκτη (Εικόνα 4.12).



Εικόνα 4.12 ίδρυση θέσεων σημείων ελέγχου εδάφους(GCPS)

Πιο συγκεκριμένα η πιο χαρακτηριστική δυσκολία για την τοποθέτηση των σημείων ελέγχου εδάφους ήταν η δυσκολία πρόσβασης σε όλη την έκταση του πρανούς λόγω της μεγάλης υψομετρικής διαφοράς μεταξύ της κορυφής και του τελευταίου προσβάσιμου σημείου, το οποίο ήταν ο δρόμος. Προκειμένου να υπάρξει ένα καλό αποτέλεσμα θα έπρεπε να είναι δυνατή η τοποθέτηση σημείων ελέγχου εδάφους σε όλη την ζητούμενη έκταση για την βελτιστοποίηση τόσο του οριζοντιογραφικού όσο και του υψομετρικού σφάλματος.

4.3.1 Ορισμός κλίμακας

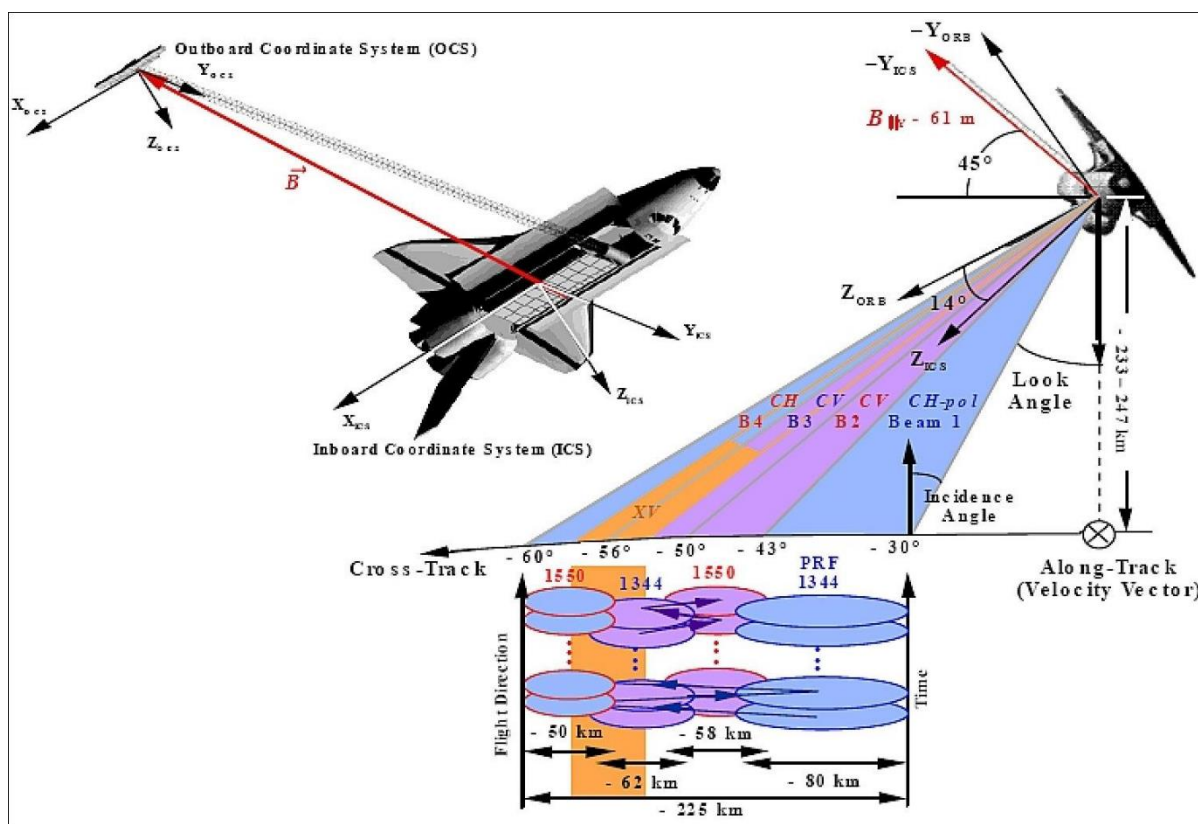
Βασικός παράγοντας υπήρξε ο ορισμός κλίμακας για την διαδικασία της αποτύπωσης. Για τον υπολογισμό της κλίμακας και δεδομένου ότι δεν ελήφθησαν όλες οι εικόνες από σταθερό υψόμετρο λόγω της ιδιομορφίας της περιοχής, προέκυψε από την εξαγωγή του ορθομωσαϊκού το τελικό μέσο υψόμετρο λήψης εικόνων στα 230 m.

Αυτό μεταφράζεται ως κλίμακα αεροφωτογράφισης στα 1:3000 στα Αξίζει να αναφερθεί πως βάση υπολογισμών, τα ποσοστά επικάλυψης έχουν οριστεί και για το μήκος και για το πλάτος σε 80% ενώ για υψόμετρο 500 m η εδαφοψηφίδα που προκύπτει είναι 0.67 m. Επιπλέον η απόσταση μεταξύ κάθε λήψης θα είναι 159 m ενώ το πλάτος μεταξύ των λωρίδων λήψης θα είναι 795 m. Τέλος η συνολική διαδρομή που θα διανύσει το ΣμηΕΑ υπολογίστηκε στα 8500 m και η διάρκεια πτήσης στα 23 λεπτά, η δεύτερη στα 16 λεπτά διανύοντας μια απόσταση 5.3 km και η Τρίτη και τέταρτη πτήση διήρκεσαν και αυτές από 22 λεπτά έκαστην ανεβάζοντας τον συνολικό χρόνο πτήσης στα 83 λεπτά. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως το ανώτατο όριο στο οποίο μπορεί να πραγματοποιήσει πτήση το μη επανδρωμένο αεροσκάφος, είναι τα 500 m. Συνεπώς η απογείωση έγινε από το πιο υψηλό υψομετρικά σημείο από το οποίο γινόταν ασφαλής απογείωση ενώ γι' αυτό τον λόγο αφαιρέθηκαν κάποια σημεία τα οποία κρίθηκε ότι υπερβαίνουν τα 500 m.

Στην συνέχεια και αφού καθορίστηκε η προς αποτύπωση περιοχή, ορίστηκαν τα σημεία τα οποία κρίθηκαν καταλληλότερα για την τοποθέτηση των φωτοσταθερών. Δεδομένου ότι το μη επανδρωμένο αεροσκάφος θα εκτελούσε πτήση σε αρκετά μεγάλο υψόμετρο καθώς και το ότι οι διαθέσιμες τοποθεσίες για την εγκατάσταση των φωτοσταθερών ήταν περιορισμένες τοποθετήθηκαν 4 φωτοσταθερά από τα οποία τρία τοποθετήθηκαν στο πόδι του πρσανούς και ένα ακόμα στη άκρη του χωριού προς την νοτιοδυτική μεριά.

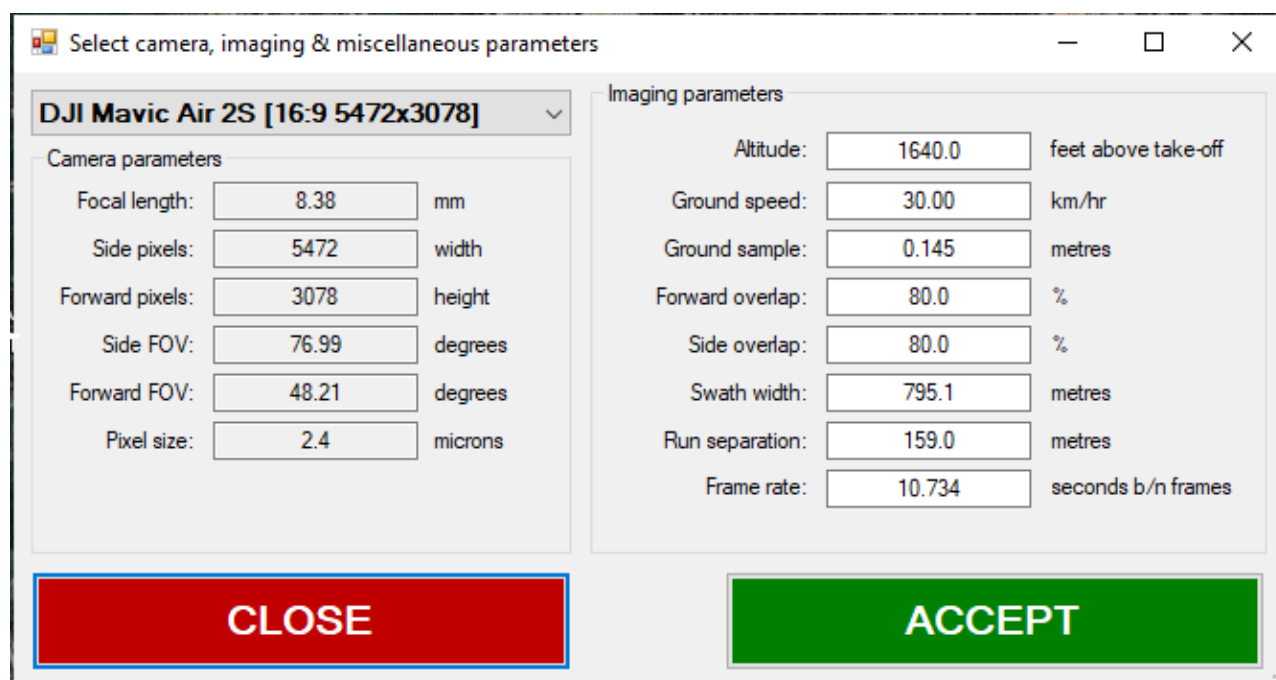
4.3.2 Ορισμός Σχεδίου Πτήσης

Ακολούθως χρειάστηκε να οριστεί ένα σχέδιο πτήσης που θα εκτελούσε το μη επανδρωμένο αεροσκάφος. Ύστερα από προσεκτική μελέτη του ανάγλυφου της περιοχής κρίθηκε απαραίτητο να πραγματοποιηθούν δυο διαφορετικά είδη πτήσεων. Στην πρώτη πτήση το μη επανδρωμένο αεροσκάφος θα σαρώσει την ζητούμενη περιοχή με ναυτική γωνία και θα ακολουθήσει πορεία με μεταβλητό υψόμετρο ανάλογα το ανάγλυφο. Για την επίτευξη αυτού του χαρακτηριστικού στο σχέδιο πτήσης, θα αντληθούν στοιχεία από το DEM που παρέχει το αρχείο SRTM-DEM GL1 (Εικόνα 4.13).



Εικόνα 4.13 Αρχές Λειτουργίας του προγράμματος SRTM ΠΗΓΗ: https://eoportal.org/ftp/satellite-missions/s/SRTM_150921/SRTM_AutoA.jpeg

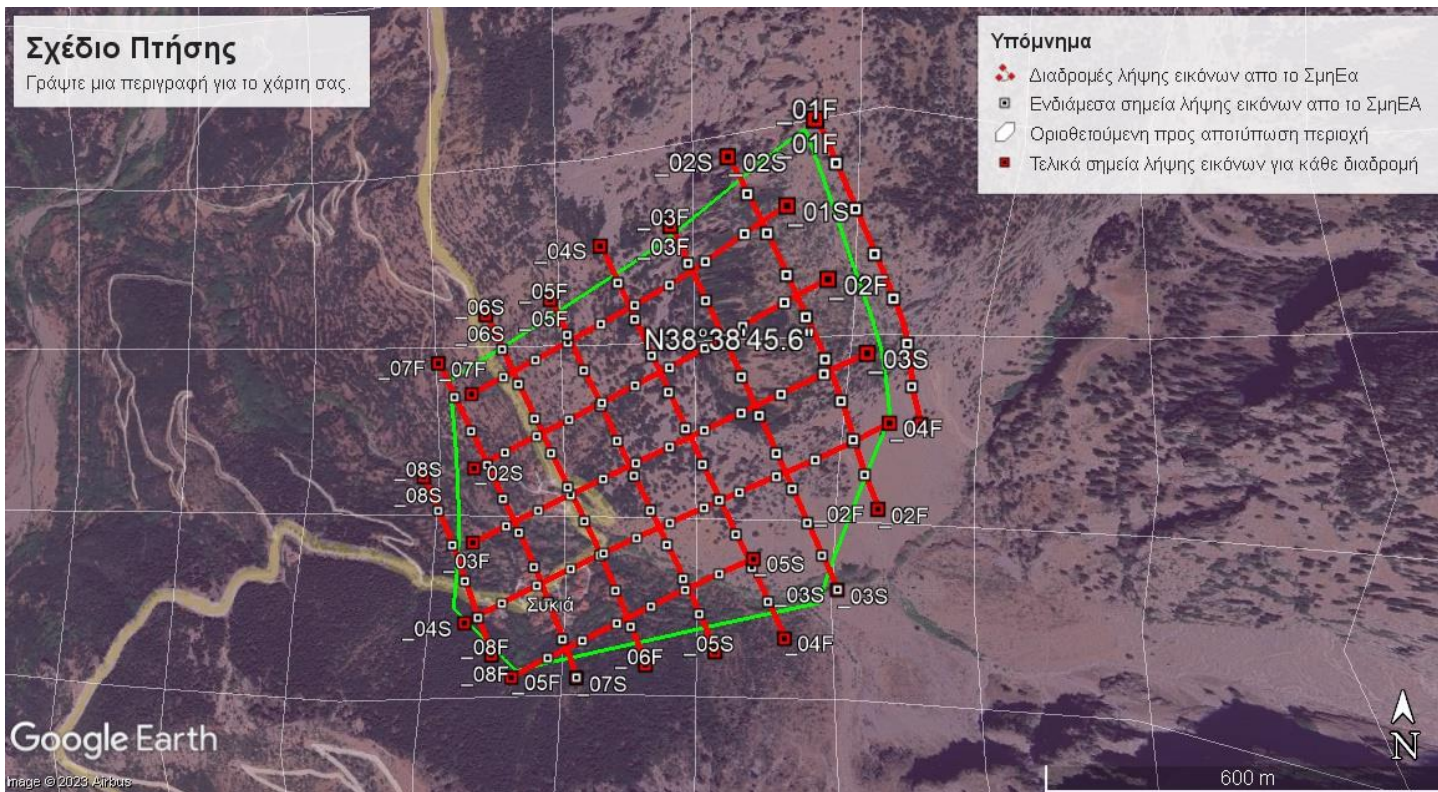
Να σημειωθεί πως τα δεδομένα από το SRTM-GL1 αρχείο είναι γεωαναφερμένα στο σύστημα WGS 84 (EPSG:4326), συνεπώς τα υψομετρικά δεδομένα που θα προκύψουν, θα μετασχηματιστούν στο ΕΓΣΑ 87. Ο συγκεκριμένος μετασχηματισμός θα εφαρμοστεί μόνο στα υψόμετρα που θα προκύψουν αλλά θα γίνει και η αντίστοιχη αλλαγή στο πρόγραμμα σχεδιασμού του σχεδίου πτήσης. Με αυτό τον τρόπο όμως θα υπάρξει μια σχετική ακρίβεια στα υψόμετρα της τάξης των $\pm 30 - 40$ cm.



Εικόνα 4.14 Εισαγωγή παραμέτρων για το σχέδιο πτήσης στο πρόγραμμα Dji Flight Planner

Επιπρόσθετα χρειάστηκε να γίνει και ένα δεύτερο σετ σχεδίων πτήσης το οποίο όμως πραγματοποιήθηκε χειροκίνητα, στο οποίο το μη επανδρωμένο αεροσκάφος θα διατηρεί σταθερή απόσταση από το έδαφος οριζόντια και κατακόρυφα και θα έχει μεταβλητή γωνία λήψης. Ειδικότερα για την βέλτιστη εφαρμογή της τεχνικής χωρίζεται το πρηνές σε δύο τμήματα, στο άνω και στο κάτω. Στην συνέχεια, ορίζεται ένα σταθερό υψόμετρο από το οποίο το μη επανδρωμένο αεροσκάφος ακολουθεί μια καμπύλη γραμμή η οποία καλύπτει το άνω τμήμα σε

σταθερό υψόμετρο και σταθερή απόσταση από το πρηνές αλλά πραγματοποιεί λήψεις μεταξύ των γωνιών 75° και 45° με διάστημα ανά 3°· ενώ το υψόμετρο ορίστηκε στα 300m. Η ίδια διαδικασία λαμβάνει χώρα και στο κάτω τμήμα με το υψόμετρο να ορίζεται στα 150m (Εικόνα 4.15).



Εικόνα 4.15 Αναπαράσταση του σχεδίου πτήσης σε περιβάλλον Google Earth Pro

Σημαντικό ήταν επίσης να δημιουργηθούν και οι κατάλληλοι μεγέθους στόχοι για την κατάλληλη στόχευση τους. Δεδομένου ότι τα υψόμετρα στα οποία θα εκτελούνταν οι πτήσεις ήταν μεγαλύτερα του ανώτατου νόμιμου επιτρεπόμενου υψόμετρου το οποίο βάση νομοθεσίας έχει οριστεί στα 120 m, έπρεπε και οι στόχοι να είναι ανάλογου μεγέθους. Έτσι οι στόχοι που επιλέχθηκαν ήταν διπλού χρώματος με διαστάσεις 80x80 cm, οι οποίοι είχαν και ως χαρακτηριστικό μια μαύρη λωρίδα, η οποία όριζε τον βορρά (Εικόνα 4.16).



Εικόνα 4.16 Φωτοσταθερό

Εκτός από την διαδικασία λήψης δεδομένων με το μη επανδρωμένο αεροσκάφος, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και με τον επίγειο εξοπλισμό. Σκοπός του επίγειου εξοπλισμού ήταν η λήψη συντεταγμένων για τα σημεία ελέγχου εδάφους και η πραγματοποίηση μετρήσεων για την επίλυση της όδευσης.

4.3.3 *Topcon GM 55*

Το Topcon GM 55 (Εικόνα 4.17) αποτελεί έναν ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό ιδανικό για τοπογραφικές εφαρμογές και αντοχή σε δύσκολες συνθήκες. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει γωνιομετρική ακρίβεια 5»(15cc), Ενσωματωμένο Λογισμικό Εφαρμογών Κατασκευής και Αποτύπωσης, γρήγορο, ακριβές και ισχυρό EDM και

μέτρηση απόστασης χωρίς πρίσμα ανακλαστήρα έως 500m και με πρίσμα έως 4.000μ. Επιπλέον παρέχει ακρίβεια στην απόσταση με πρίσμα 1.5mm+2ppm ενώ χωρίς πρίσμα παρέχει ακρίβεια 2mm+2ppm.



Εικόνα 4.17 Topcon GM55

4.3.4 Δέκτης GNSS Hi Target v30 plus

Ο δέκτης Hi-Target V30 Plus RTK GNSS (Εικόνα 4.18) είναι μια συσκευή εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας σχεδιασμένη για τοπογραφικές και χαρτογραφικές εφαρμογές με χρήση μετρήσεων GNSS από τα συστήματα GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo και SBAS. Διαθέτει 624 κανάλια για ταυτόχρονη δορυφορική παρακολούθηση.

Το Hi-Target V30 Plus προσφέρει ακρίβεια εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας. Με ενεργοποιημένο το RTK, μπορεί να επιτύχει ακρίβεια επιπέδου εκατοστού. Ο δέκτης υποστηρίζει επίσης τη λειτουργία Post-Processing Kinematic (PPK), η οποία επιτρέπει τον ακριβή εντοπισμό θέσης μετά τη συλλογή δεδομένων.

Ο ρυθμός ενημέρωσης δεδομένων είναι μέχρι 20 φορές ανά δευτερόλεπτο παρέχοντας γρήγορες και συνεχείς πληροφορίες εντοπισμού θέσης.



Εικόνα 4.18 Hi Target v30 plus GNSS RTK Receiver ΠΗΓΗ: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQzWROjIpY_YPJoraZesj_El7qT4mGrsLAIwA&usqp=CAU

4.4 Dji Mavic Air 2S

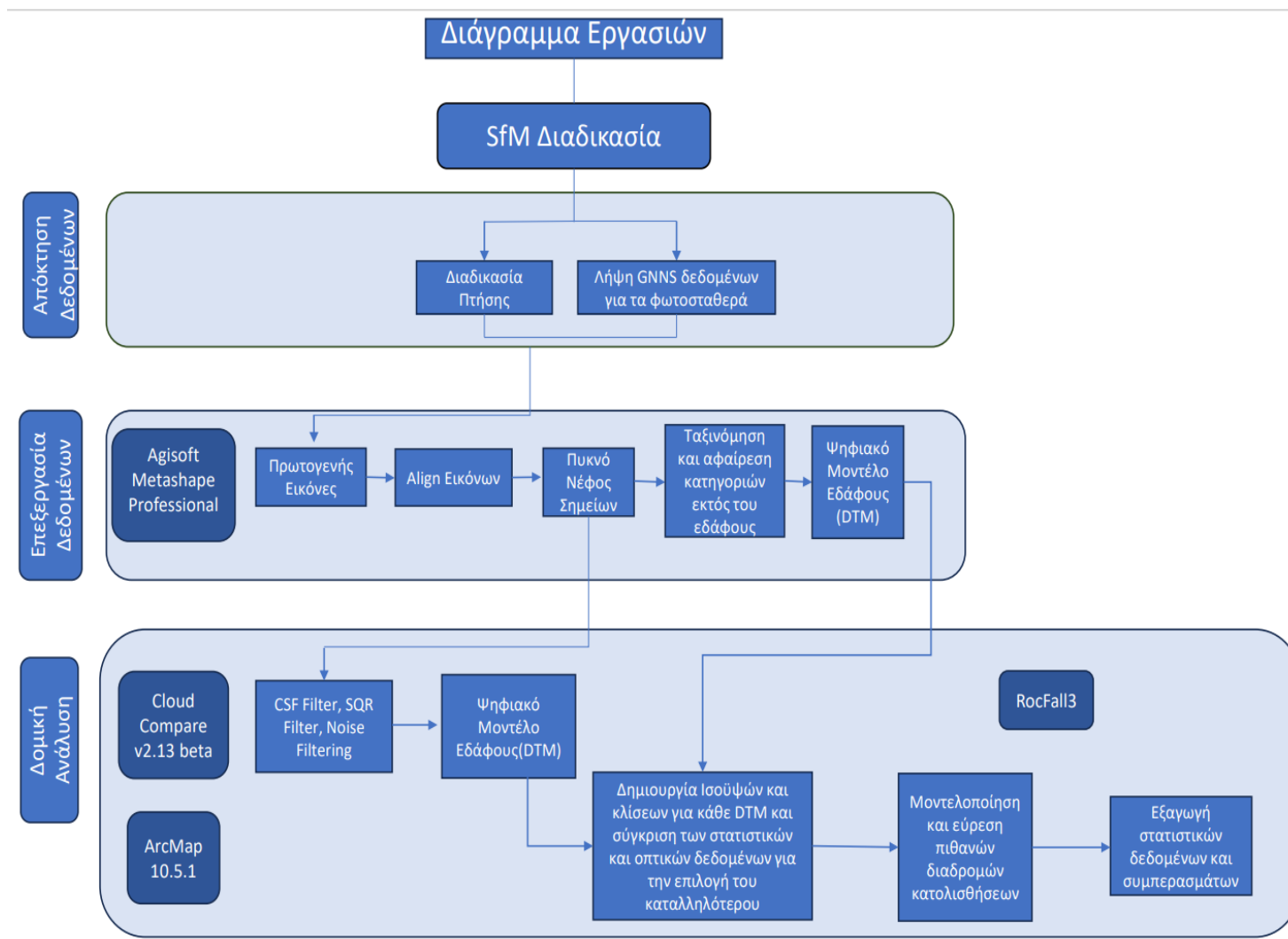


Εικόνα 4.19 Mavic Air 2s ΠΗΓΗ: <https://dji-official-fe.djicdn.com/dps/deb96ea49797d1e6c5ef24efc633bee4.jpg>

Το DJI Mavic Air 2S (Εικόνα 4.19) είναι ένα drone που προσφέρει προηγμένα χαρακτηριστικά και δυνατότητες για την πραγματοποίηση αεροφωτογράφισης και βιντεοσκόπησης. Εξοπλισμένο με αισθητήρα CMOS 1 ίντσας, αποτυπώνει εντυπωσιακές φωτογραφίες 20 megapixel και καταγράφει βίντεο σε 5,4K με 30 καρέ ανά δευτερόλεπτο ή 4K με 60 καρέ ανά δευτερόλεπτο. Το gimbal τριών αξόνων εξασφαλίζει σταθερό υλικό ακόμα και σε δύσκολες συνθήκες, ενώ η λειτουργία HDR παρέχει βελτιωμένο δυναμικό εύρος για ζωντανές και λεπτομερείς εικόνες. Με μέγιστο χρόνο πτήσης 31 λεπτά και εμβέλεια έως 12000 m, το Mavic Air 2S επιτρέπει εκτεταμένες εξερευνήσεις και εναέριες αποστολές. Διαθέτει επίσης έξυπνες λειτουργίες πτήσης, όπως το ActiveTrack 4.0 για ακριβή παρακολούθηση αντικειμένων, το Spotlight 2.0 για κινηματογραφικές λήψεις και το APAS 4.0 για αποφυγή εμποδίων. Επιπλέον, υποστηρίζει διάφορες λειτουργίες λήψης, όπως Hyperlapse, Panorama και FocusTrack, παρέχοντας δημιουργικές επιλογές για τη λήψη μοναδικών προοπτικών. Το Mavic Air 2S είναι ένα συμπαγές και φορητό drone με βάρος 0.595kg, που προσφέρει εξαιρετική ποιότητα εικόνας και προηγμένες δυνατότητες πτήσης.

Επιπρόσθετα διαθέτει μονό IMU και δορυφορικό εντοπισμό με GPS, GLONASS και GALILEO, τα οποία του επιτρέπουν να παρέχει κατακόρυφη ακρίβεια της τάξης των 0.5m μέσω GNSS εντοπισμού και 0.1m μέσω οπτικού εντοπισμού, ενώ παρέχει οριζόντια ακρίβεια της τάξης του 1.5m μέσω GNSS εντοπισμού και 0.1m μέσω οπτικού εντοπισμού.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από τις εργασίες πεδίου. Ειδικότερα θα αναφερθούν τα στάδια καθώς και τα προγράμματα που αξιοποιήθηκαν για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Βασικός στόχος είναι η δημιουργία ενός ορθού ψηφιακού μοντέλου εδάφους, το οποίο θα έχει προκύψει από το νέφος σημείων των εικόνων που ελήφθησαν στο πεδίο. Από την επεξεργασία θα προκύψουν δύο ψηφιακά μοντέλα εδάφους τα οποία με την κατάλληλη επεξεργασία και αφαίρεση θορύβου θα προκύψουν οι ισοϋψείς από την επεξεργασία του ΨΜΕ και στην συνέχεια θα υπολογιστούν οι κλίσεις που προκύπτουν. Τέλος με την χρήση αυτών των δεδομένων, θα εξεταστούν οι πιθανές διαδρομές των βράχων από διάφορα μέτωπα του πρανούς για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την μελέτη επικινδυνότητας, τα οποία θα αποτυπωθούν στην συνέχεια σε αντίστοιχο χάρτη.



Εικόνα 5.1 Διάγραμμα Εργασιών για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Ειδικότερα για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έχουν προηγηθεί οι ακόλουθες εργασίες (Εικόνα 5.1). Αρχικά πραγματοποιήθηκε η πτήση με το ΣμηΕΑ ενώ παράλληλα ελήφθησαν τα δεδομένα για τα φωτοσταθερά από τον δέκτη GNSS. Στην συνέχεια στο κεφάλαιο 5 θα εισαχθούν τα πρωτογενή δεδομένα από τις εργασίες πεδίου στο υπολογιστικό πρόγραμμα Agisoft Metashape, στο οποίο αφού γίνει το align των εικόνων και δημιουργηθεί το αραιό νέφος σημείων, δημιουργείται το πυκνό νέφος σημείων. Στην συνέχεια πραγματοποιείται ταξινόμηση στο νέφος με σκοπό την εξαγωγή μόνο των σημείων του εδάφους προ-

κειμένου να δημιουργηθεί το DTM. Ακολούθως το πυκνό νέφος σημείων εισάγεται και στο πρόγραμμα επεξεργασίας Cloud Compare, στο οποίο εφαρμόζονται τα φίλτρα CSF, SQR και Noise Filtering με σκοπό την αφαίρεση θορύβου και την δημιουργία του DTM αλλά αυτή την φορά στο Cloud Compare.

Στην συνέχεια εισάγονται και τα δύο DTM στο πρόγραμμα ArcMap όπου υπολογίζονται και συγκρίνονται ποιοτικά και ποσοτικά οι ισοϋψείς και οι κλίσεις του κάθε DTM με το άλλο με σκοπό την επιλογή του ορθότερου. Τέλος εισάγεται το mesh του καλύτερου στο πρόγραμμα δημιουργίας προσομοιώσεων κατολισθήσεων RocFall3, όπου και δημιουργούνται οι πιθανές διαδρομές από τις περιοχές επικινδυνότητας προς την κοινότητα.

Αξίζει να σημειωθεί πως τα σημεία ενός ΨΜΕ είτε διατηρούν την τυχαία χωρική κατανομή των πρωτογενών υψομετρικών δεδομένων και συγκροτούν μία δομή ακανόνιστου δικτύου τριγώνων (Triangulated Irregular Network - TIN), ή είναι κανονικά διατεταγμένα στα φατνία μίας δομής κανάβου (grid - κανονικοποιημένο μοντέλο), οι τιμές των οποίων προκύπτουν με χωρική παρεμβολή στα πρωτογενή υψομετρικά δεδομένα.

5.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΟ AGISOFT METASHAPE

Το Agisoft Metashape (<https://www.agisoft.com/features/professional-edition/>), είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο λογισμικό φωτογραμμετρίας που αναπτύχθηκε από την Agisoft LLC. Επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν τρισδιάστατα μοντέλα υψηλής ποιότητας από μια σειρά 2D φωτογραφιών, αποτυπώνοντας τη γεωμετρία και την υφή αντικειμένων ή σκηνών. Με τον τριγωνισμό των σημείων ελέγχου εδάφους, το λογισμικό μπορεί να ανακατασκευάσει την τρισδιάστατη δομή της σκηνής και να δημιουργήσει ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα.

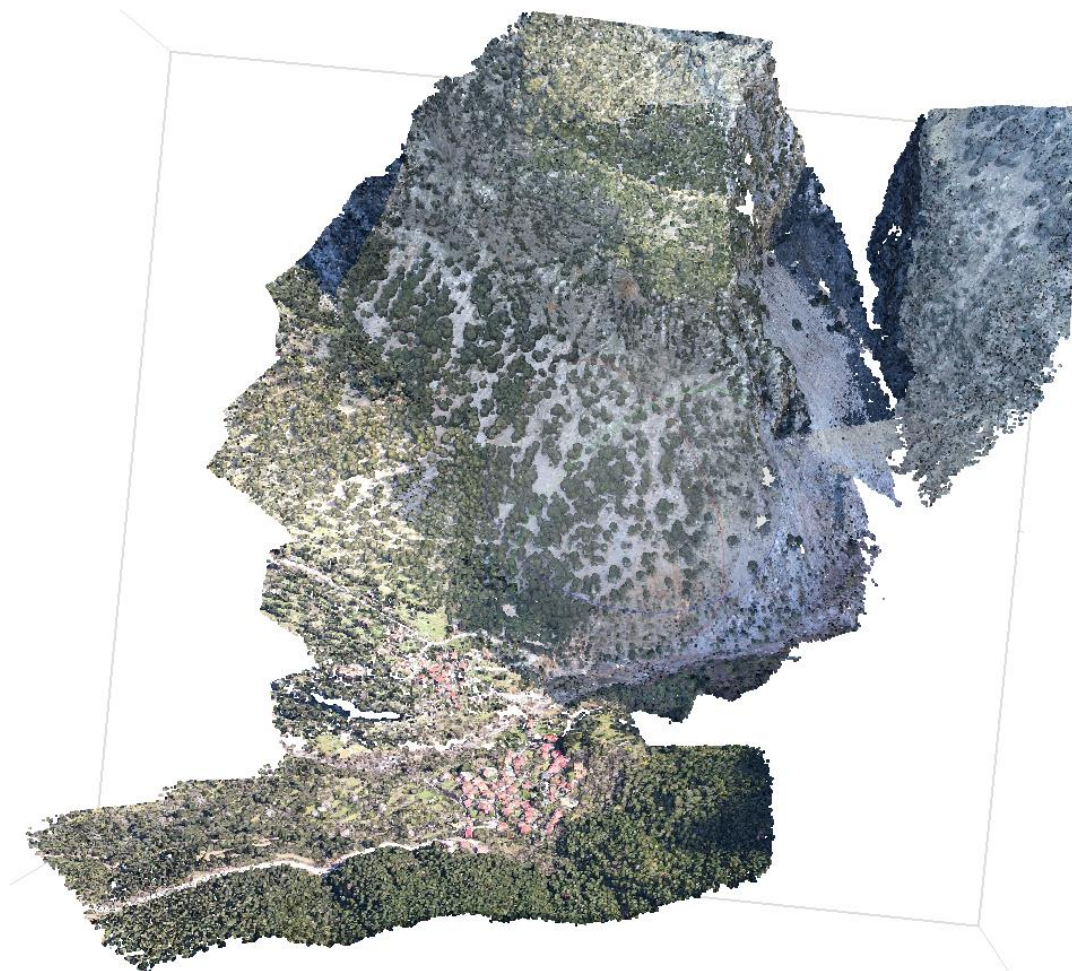
Αξίζει να αναφερθεί πως με την χρήση του Agisoft Metashape έγινε η επεξεργασία των εικόνων για την δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων. Ειδικότερα αξιοποιήθηκε η τεχνική SfM. Η συγκεκριμένη τεχνική αφορά μια πολυεικονική διαδικασία υπολογισμού του εξωτερικού και εσωτερικού προσανατολισμού ενός συνόλου εικόνων. Ειδικότερα για την συγκεκριμένη περίπτωση ως δεδομένα εισόδου ορίστηκε ο εσωτερικός προσανατολισμός των εικόνων, τα δεδομένα GPS καθώς και τα φωτοσταθερά σημεία. Συνολικά ελήφθησαν 531 εικόνες εναέρια και αξιοποιήθηκαν 4 φωτοσταθερά σημεία για την γεωαναφορά του μοντέλου. Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης διαδικασίας ακολουθήθηκαν ορισμένα στάδια.

5.1.1 Δημιουργία αραιού νέφους Σημείων (Sparse point cloud)

Πρώτο στάδιο αποτέλεσε η διεξαγωγή των τοπογραφικών μετρήσεων στο πεδίο όπως η ίδρυση των φωτοσταθερών και η λήψη των συντεταγμένων τους με την χρήση δέκτη GNSS. Ακολούθως πραγματοποιήθηκε η πτήση του μη επανδρωμένου αεροσκάφους για την λήψη των επικαλυπτόμενων εικόνων. Στην συνέχεια εισήχθησαν στο πρόγραμμα Agisoft Metashape οι εικόνες, και τα φωτοσταθερά για την γεωαναφορά του μοντέλου. Έπειτα υπολογίστηκε ο εσωτερικός και ο εξωτερικός προσανατολισμός των εικόνων καθώς επίσης δημιουργήθηκε και το αραιό νέφος σημείων αποτελούμενο από 173.589 σημεία.

5.1.2 Δημιουργία πυκνού νέφους Σημείων (Dense point cloud)

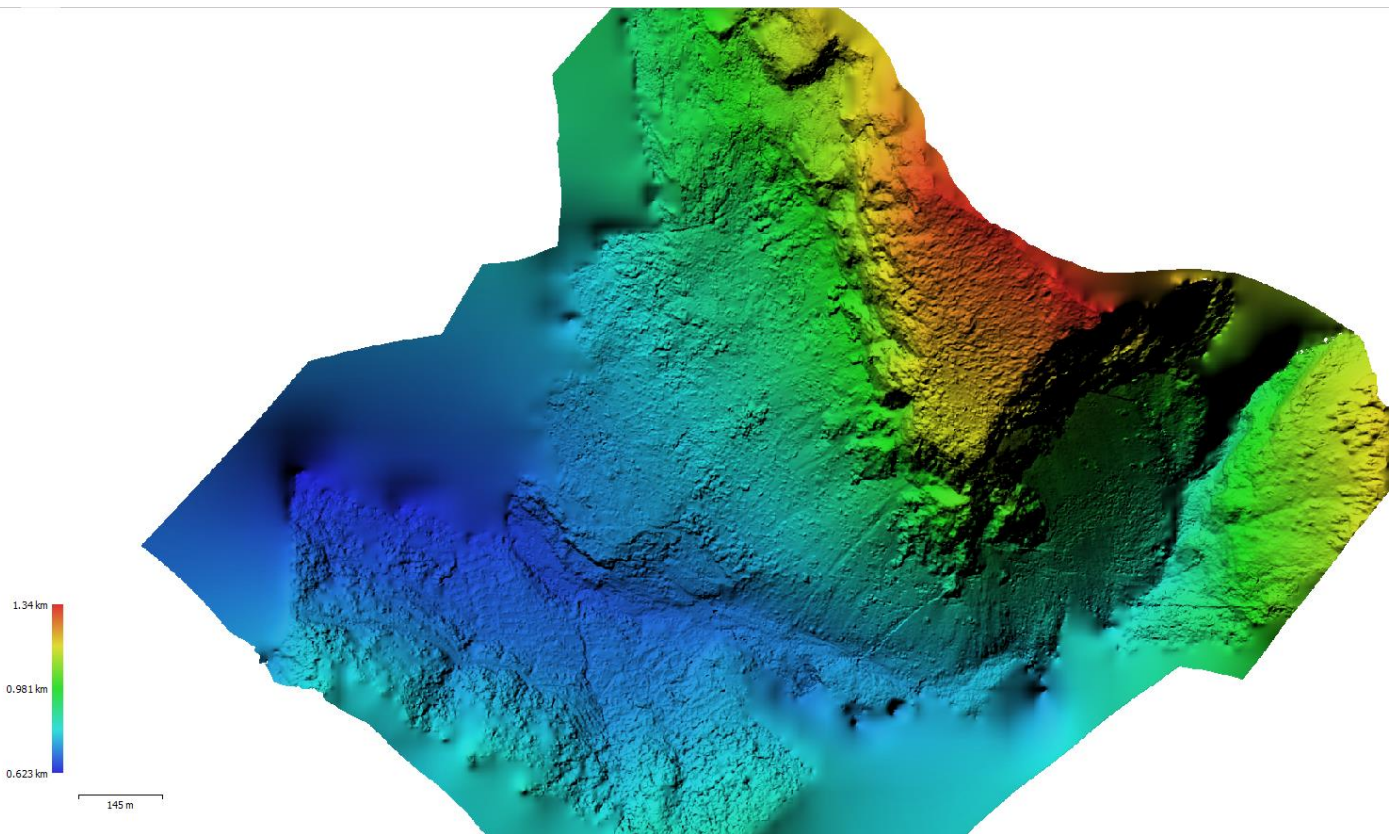
Επιπρόσθετα δημιουργήθηκαν οι χάρτες βάθους για όλα τα ζεύγη εικόνων και στην συνέχεια με την συγχώνευση των χαρτών βάθους δημιουργήθηκε το πυκνό νέφος σημείων το οποίο αποτελεί και το βασικό αντικείμενο επεξεργασίας. Ειδικότερα οι χάρτες βάθους δημιουργήθηκαν ορίζοντας ως υψηλή την ποιότητα επεξεργασίας του καθώς και το φιλτράρισμα βάθους στο μέτριο. Το αποτέλεσμα ήταν ένα πυκνό νέφος σημείων αποτελούμενο από 101.785.944 σημεία.



Εικόνα 5.2 Πυκνό νέφος σημείων σε περιβάλλον Agisoft Metashape

5.1.3 Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους

Το βασικό παραγόμενο από το νέφος σημείων αποτελεί το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ) για την εξαγωγή των ισοϋψών. Για την ορθή εξαγωγή των ισοϋψών απαιτείται να δημιουργηθεί το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) απαλλαγμένο από την πληροφορία του ανάγλυφου. Προκειμένου να γίνει αυτό πραγματοποιήθηκε κατηγοριοποίηση (classification) στο νέφος σημείων όπου ύστερα και από χειροκίνητη αφαίρεση πληροφορίας η οποία δεν άνηκε στην κατηγορία εδάφους, ορίστηκε η παραγωγή του DTM με μόνη κατηγορία σημείων τα σημεία εδάφους. Δημιουργήθηκε με αυτό τον τρόπο ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους με υψομετρική πληροφορία από τα 623 m έως τα 1340 m και ανάλυση στα 0.172 m/pix.



Εικόνα 5.3 DSM σε περιβάλλον Agisoft Metashape

5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ CLOUD COMPARE

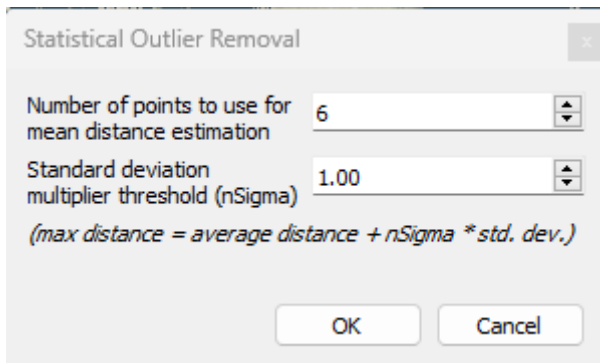
5.2.1 *Cloud Compare*

Το Cloud Compare (<https://www.danielgm.net/cc/>) προσφέρει ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών που επιτρέπουν στους χρήστες να αναλύουν, να χειρίζονται και να απεικονίζουν αποτελεσματικά δεδομένα νέφους σημείων. Ειδικότερα το συγκεκριμένο πρόγραμμα αξιοποιήθηκε για την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους με την χρήση ορισμένων φίλτρων. Για την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους αξιοποιήθηκε ως πρωτογενές δεδομένο το νέφος σημείων, το οποίο δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα Agisoft Metashape.

5.2.2 *Εφαρμογή φίλτρου SOR και Noise Filter*

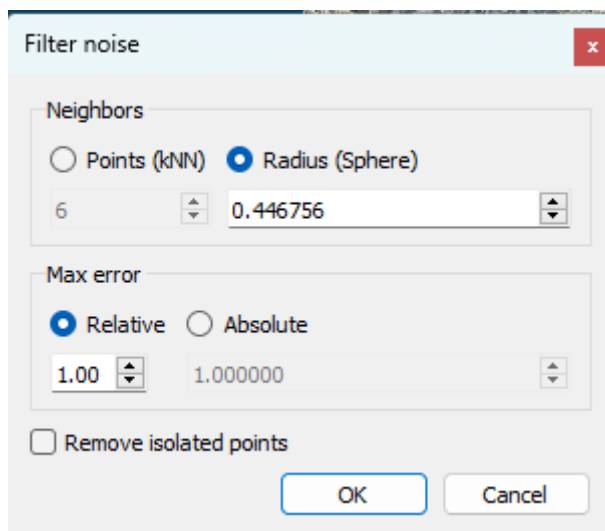
Για την επεξεργασία του πυκνού νέφους σημείων αξιοποιήθηκαν ορισμένα φίλτρα αφαίρεσης θορύβου. Αρχικά εφαρμόστηκε το φίλτρο Statistical Outlier Removal (SOR), για την αφαίρεση θορύβου. Το συγκεκριμένο φίλτρο

αποτελείται από δύο παραμέτρους επεξεργασίας, τον αριθμό σημείων για τον υπολογισμό της μέσης απόστασης, ο οποίος ορίστηκε σε 6 σημεία και τον πολλαπλασιαστή του ορίου της τυπικής απόκλισης, ο οποίος ορίστηκε σε 1 (Εικόνα 5.4).



Εικόνα 5.4 Εισαγωγή παραμέτρων για την εφαρμογή του φίλτρου SQR Filter

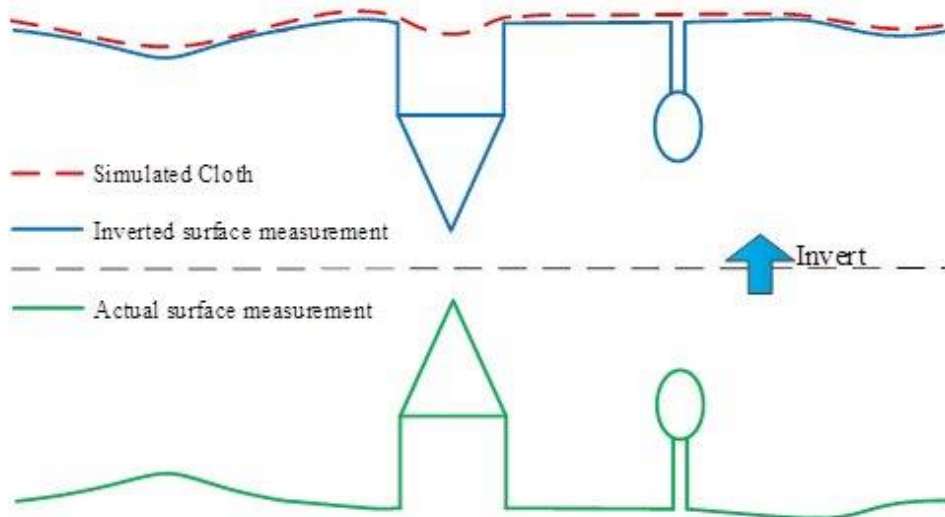
Αναφορικά με την εφαρμογή του φίλτρου, το συγκεκριμένο φίλτρο θυμίζει το φίλτρο SOR αλλά λαμβάνει υπόψη την απόσταση από την υποκείμενη επιφάνεια αντί για την απόσταση από τους γείτονες. Αυτός ο αλγόριθμος προσαρμόζει τοπικά ένα επίπεδο (γύρω από κάθε σημείο του νέφους) και στη συνέχεια αφαιρεί το σημείο εάν απέχει πολύ από το προσαρμοσμένο επίπεδο. Αυτό το φίλτρο μπορεί βασικά να θεωρηθεί ως χαμηλοπερατό φίλτρο. Για την εκτίμηση της υποκείμενης (επίπεδης) επιφάνειας, ο χρήστης μπορεί να ορίσει μια ακτίνα ή έναν (σταθερό) αριθμό γειτόνων. Ο χρήστης έχει επίσης τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ ενός σχετικού σφάλματος (ως S.O.R.) και ενός απόλυτου σφάλματος. Τελικά, απομονωμένα σημεία μπορούν να αφαιρεθούν στην ίδια εκτέλεση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το φίλτρο εφαρμόστηκε δύο φορές.



Εικόνα 5.5 Εισαγωγή παραμέτρων για την εφαρμογή της αφαίρεσης θορύβου

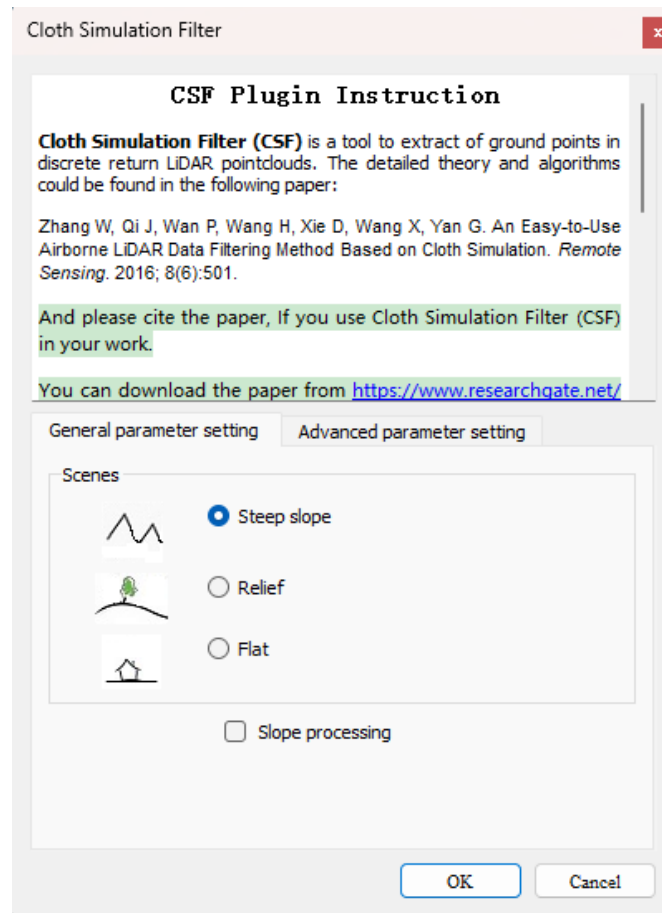
5.2.3 Εφαρμογή φίλτρου CSF (Cloth Simulation Filter)

Ένα ακόμα φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε στην συνέχεια ήταν το CSF Filter. Η λογική του συγκεκριμένου φίλτρου (Εικόνα 5.6) είναι ότι προκειμένου να υπάρξει μια ένα ακριβές ψηφιακό μοντέλο εδάφους η μελετώμενη περιοχή αντιστρέφεται ώστε το φίλτρο να εφαρμοστεί στην πραγματική επιφάνεια του εδάφους και όχι στο ανάγλυφο της περιοχής.

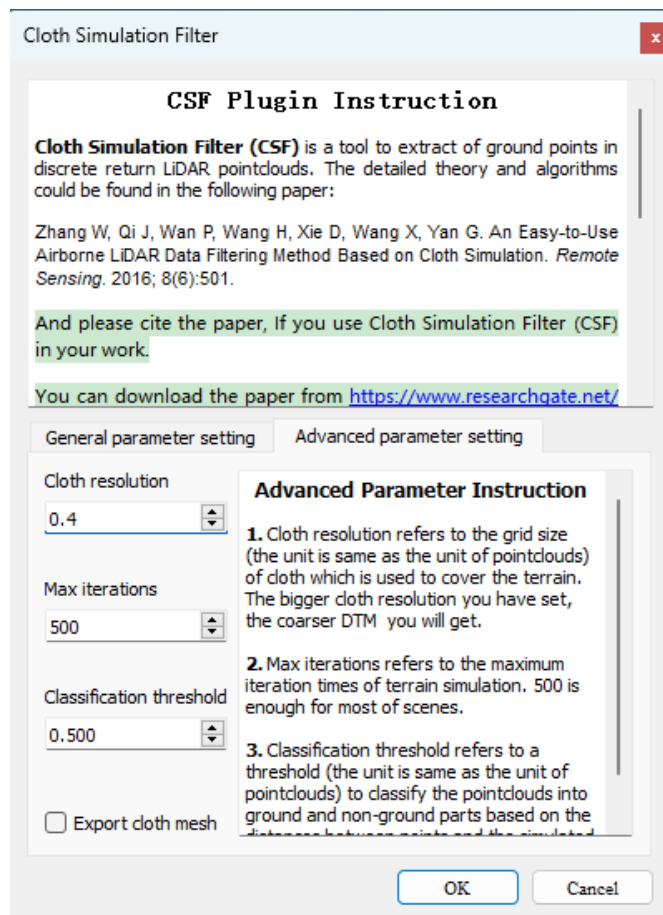


Εικόνα 5.6 Επεξήγηση της διαδικασίας κατά την εφαρμογή του φίλτρου CSF ΠΗΓΗ:
https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/images/2/2b/CSF_principle.jpg

Αρχικά για την εφαρμογή του επιλέγεται ο τύπος των κλίσεων όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση προβλέπεται να είναι απότομες. Ακολούθως τροποποιούνται οι τρεις βασικοί παράγοντες, οι οποίοι είναι η ανάλυση του επιπέδου που ορίζει το φίλτρο, η οποία αναφέρεται στο μέγεθος του πλέγματος του επιπέδου ενώ όσο μεγαλύτερη ανάλυση του επιπέδου τόσο πιο χονδροειδές το DTM, ο αριθμός των μέγιστων επαναλήψεων, ο οποίος εμπειρικά δεν υπερβαίνει τις 500 και τέλος το κατώφλι ταξινόμησης το οποίο ταξινομεί τα σημεία σε σημεία εδάφους και σημεία πάνω από το έδαφος, όπου λαμβάνει την τιμή 0.4 (Εικόνα 5.7).



Εικόνα 5.7 Επεξήγηση της διαδικασίας κατά την εφαρμογή του φίλτρου CSF ΠΗΓΗ: https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/images/2/2b/CSF_principle.jpg



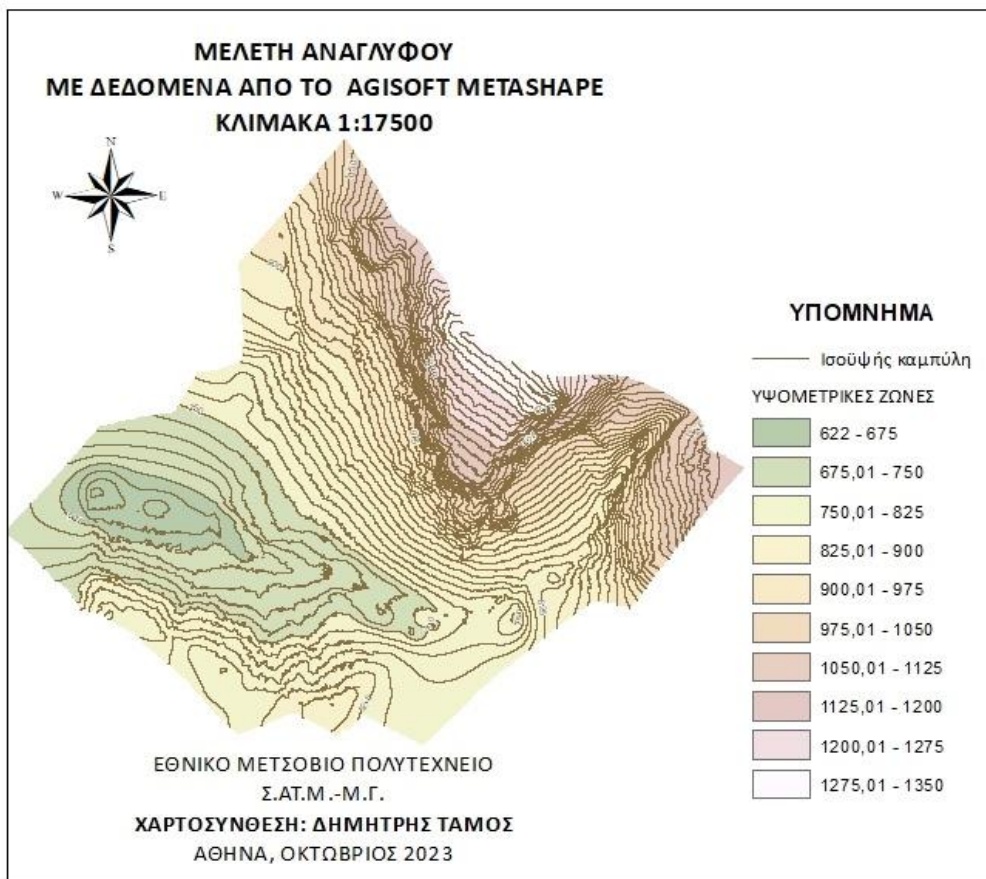
Εικόνα 5.8 Τροποποίηση παραμέτρων για το CSF Filter

5.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ARCMAP

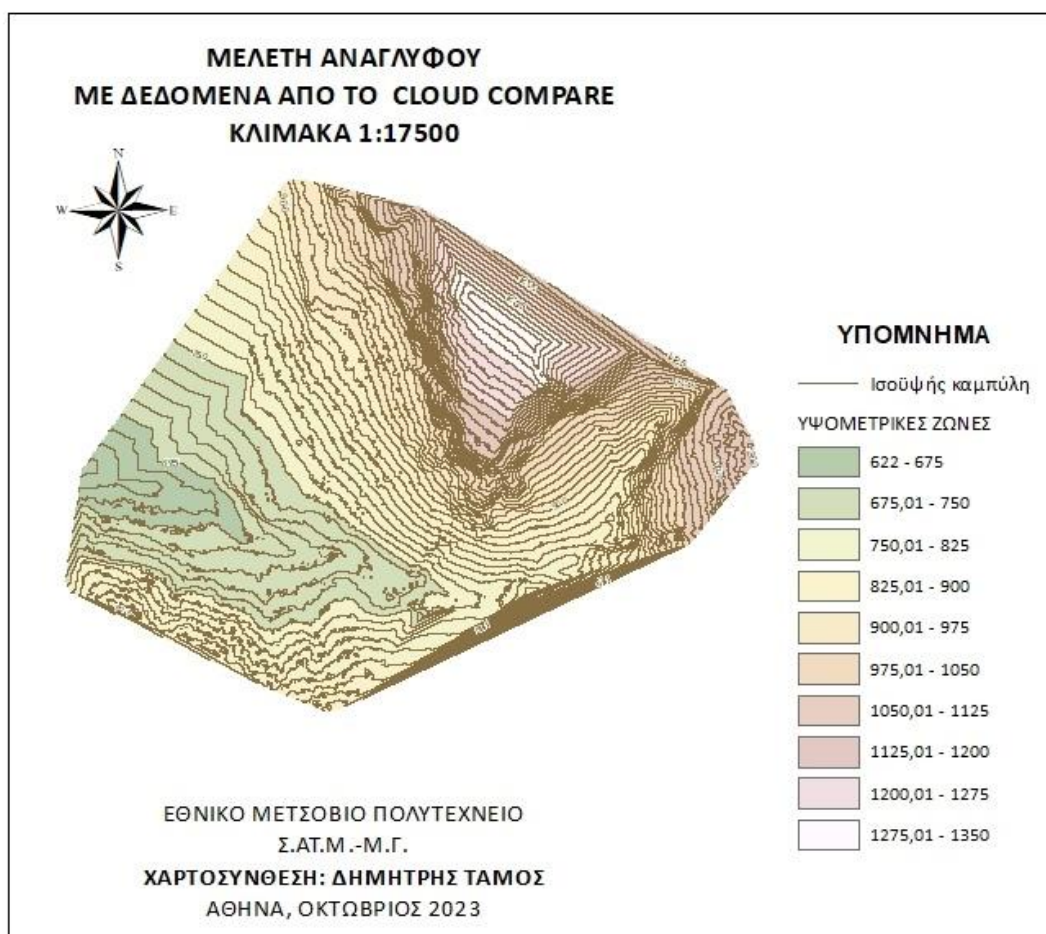
Αφού έχουν προκύψει τα δύο ψηφιακά μοντέλα εδάφους, εισάγονται στην συνέχεια στο περιβάλλον του ArcMap για την περαιτέρω επεξεργασία τους. Ειδικότερα, σκοπός της εισαγωγής τους στο ArcMap είναι η εξαγωγή ισοψών και κλίσεων μέσω των οποίων θα μπορέσουν να εντοπιστούν οι περιοχές με την μεγαλύτερη ευαισθησία σε κατολισθητικά φαινόμενα.

5.3.1 Υπολογισμός Ισοψών

Όσον αφορά τον υπολογισμό των ισοψών αρχικά εισήχθη το κάθε DEM στο περιβάλλον του ArcMap. Το κάθε DEM περιέχει ως δεδομένα του την υψομετρική πληροφορία που χρειάζεται για την δημιουργία ισοψών καμπυλών. Έτσι με την επιλογή της εντολής contour στο ArcToolBox επιλέχθηκε ως δεδομένο εισόδου το κάθε DEM και ορίστηκε ως βήμα τα 15 m . Με αυτό τον τρόπο προέκυψαν τα παρακάτω μοντέλα ισοψών. Για την κατηγοριοποίηση των υψομέτρων ορίστηκαν 10 κατηγορίες υψομετρικών ζωνών με τις οποίες διαχωρίζονται τα υψόμετρα στα μοντέλα.



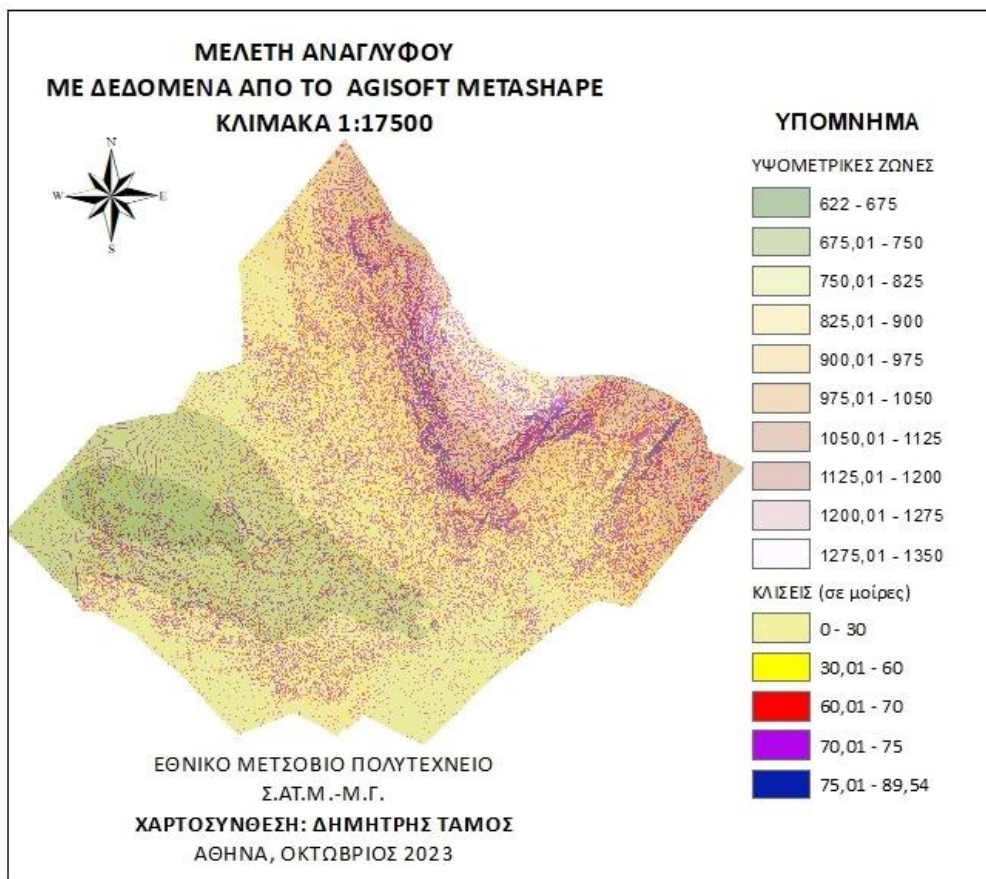
Χάρτης 5.1 Αναπαράσταση ισοψών από το DTM που προήλθε από το Agisoft Metashape σε περιβάλλον ArcMap με ισοδιάσταση 15 μέτρα.



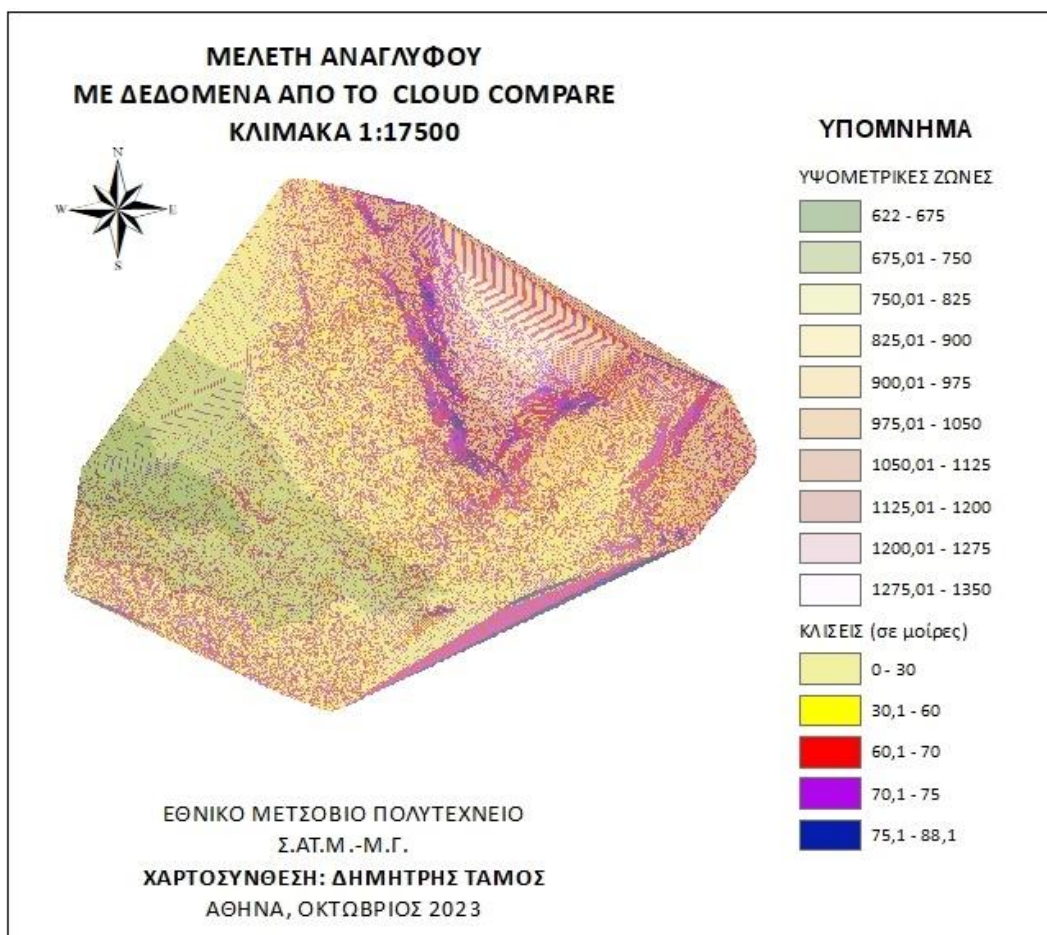
Χάρτης 5.2 Ισοϋψείς προερχόμενες από το Cloud Compare

5.3.2 Παραγωγή κλίσεων σε περιβάλλον ArcMap

Για την παραγωγή των κλίσεων επιλέχθηκε η εντολή Slope από το ArcToolBox οπού και πάλι δεδομένο εισόδου ορίστηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και η ταξινόμηση των κλίσεων έγινε σε μοίρες και πιο συγκεκριμένα παράχθηκαν μοντέλα με κλίσεις από 0 έως 90 μοίρες. Ορίστηκαν 5 κατηγορίες για την περιγραφή των κλίσεων και ως τιμές επιλέχθηκαν από 0-90° .



Χάρτης 5.3 Κλίσεις προερχόμενες από το DEM του Agisoft Metashape



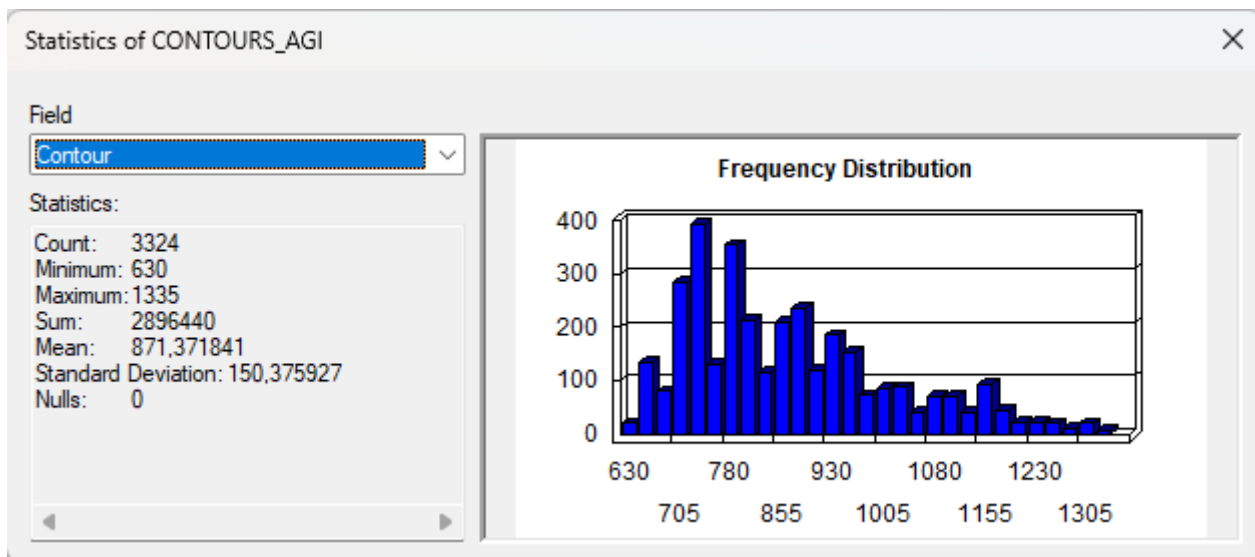
Χάρτης 5.4 Κλίσεις προερχόμενες από το DEM του Cloud Compare

5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ DEM ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ

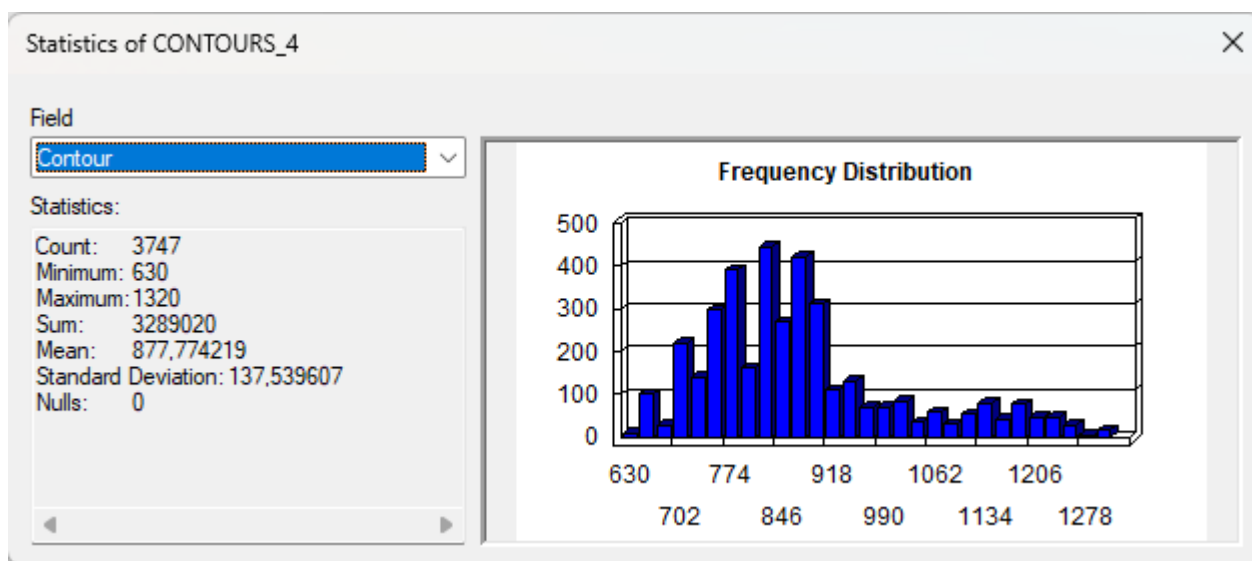
Αξίζει να αναφερθεί πως η επιλογή του ορθότερου Ψηφιακού μοντέλου εδάφους για την παραγωγή ισοϋψών κρίνεται με βάση ορισμένους παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας είναι το RMSE δηλαδή το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που έχει προκύψει, στην συνέχεια εξαρτάται από τη μέγιστη απόκλιση (MaxD), την ελάχιστη απόκλιση (MinD), τη μέση απόλυτη απόκλιση (MD), την τυπική απόκλιση της απόκλισης και το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (MAPE) μεταξύ των GNSS.

Επιπρόσθετα ένας ακόμη τρόπος για την επιλογή του ορθότερου ψηφιακού μοντέλου εδάφους είναι η σύγκριση των υψομέτρων. Ειδικότερα δεδομένου ότι το νέφος σημείων επεξεργάζεται σε διαφορετικά προγράμματα υπάρχει διαφορετικός τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων. Επιλέχθηκε για αυτό τον λόγο η σύγκριση να γίνει μόνο μεταξύ των προγραμμάτων τα οποία επεξεργάζονται το νέφος σημείων σε raw μορφή και όχι σε raster όπως γίνεται σε προγράμματα GIS. Στα πλαίσια της σύγκρισης αυτής επιλέχθηκε η θέση ενός φωτοσταθερού και συγκεκριμένα της κορυφής S2 με υψόμετρο 731.83m σύμφωνα με τα δεδομένα του GPS. Ακολούθως στοχεύτηκε για αρχή στο πρόγραμμα Agisoft Metashape όπου το υψόμετρο υπολογίστηκε σε 731.86m. Στην συνέχεια εντοπίστηκε το ίδιο σημείο στο 732,05m.

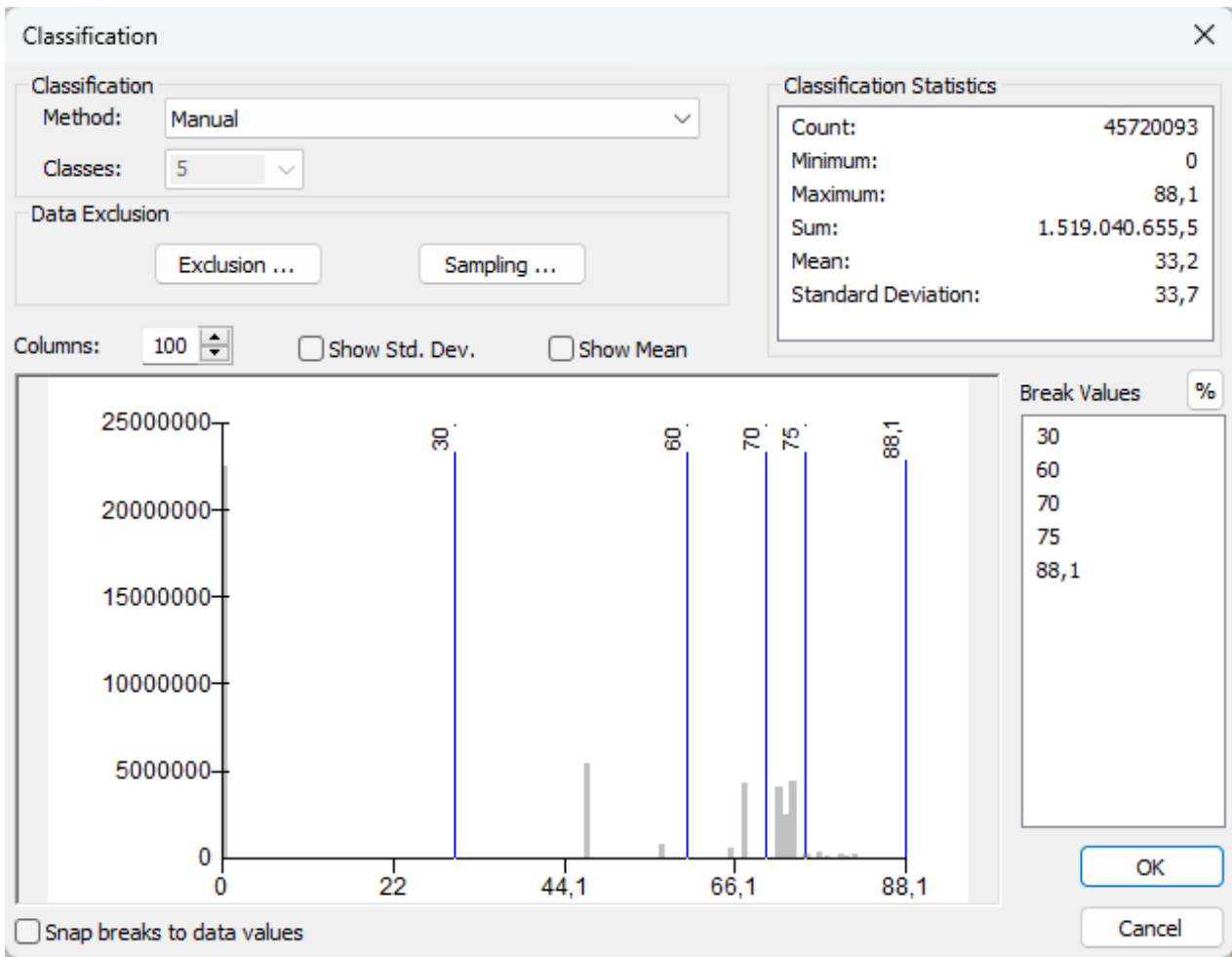
Ένας ακόμη τρόπος αποτέλεσε η σύγκριση τόσο των ισοϋψών όσο και των κλίσεων που παράγονται από κάθε DSM. Πιο συγκεκριμένα οι παραγόμενες ισοϋψείς και κλίσεις που προέκυψαν από την επεξεργασία των δύο ψηφιακών μοντέλων εδάφους στο ArcMap, παρουσιάζουν στοιχεία σχετικά με την τοπική απόκλιση τα μέγιστα, ελάχιστα, την μέση απόλυτη απόκλιση και το σύνολο καθώς και τις μηδενικές τιμές. Για την παραγωγή των ισοϋψών δημιουργήθηκαν ισοϋψείς με βήμα τα 15 m.



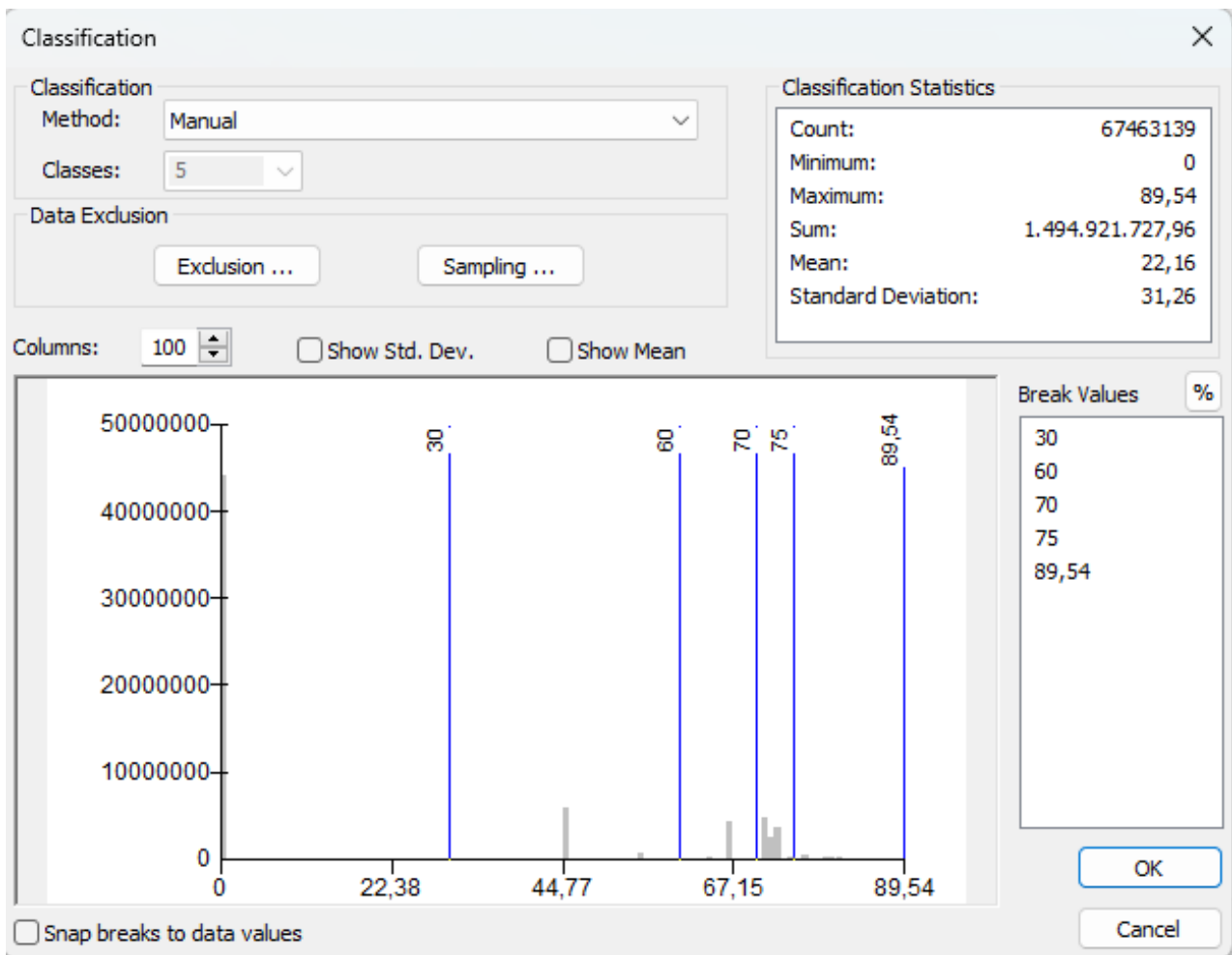
Εικόνα 5.9 Στατιστικά στοιχεία για τις ισοϋψείς προερχόμενες από το DTM του Agisoft Metashape



Εικόνα 5.10 Στατιστικά στοιχεία που αφορούν τις ισοϋψείς για το DEM του Cloud Compare



Εικόνα 5.11 Στατιστικά στοιχεία για τις κλίσεις που αφορούν το DEM του Cloud Compare



Εικόνα 5.12 Στατιστικά στοιχεία για τις κλίσεις που αφορούν το DEM του Agisoft Metashape

Βάση των παραπάνω προκύπτει πως τα δεδομένα από το μοντέλο του Agisoft Metashape είναι ορθότερα διότι αρχικά δίνονται περισσότερες τιμές στις κλίσεις και στις ισοϋψείς, άρα θα προκύψουν και ορθότερα δεδομένα για την μετέπειτα μελέτη των διαδρομών από τις περιοχές επικινδυνότητας. Ειδικότερα μπορεί το ΨΜΕ του Cloud Compare να δίνει μεγαλύτερους αριθμούς ισοϋψών και κλίσεων, εντέλει μεγαλύτερο εύρος τιμών λαμβάνουν και οι κλίσεις και οι ισοϋψείς στο ΨΜΕ του Agisoft Metashape.

5.5 Εισαγωγή στο λογισμικό RocFall Analysis

Η εταιρεία RocScience (www.roscience.com) είναι μια εταιρεία η οποία παρέχει μια πληθώρα σχεδιαστικών προγραμμάτων, το καθένα από τα οποία προσφέρει λύσεις για την μελέτη γεωτεχνικών φαινομένων καθώς και προσομοιώσεις ανάλογα την περίπτωση με την εισαγωγή των κατάλληλων παραμέτρων.

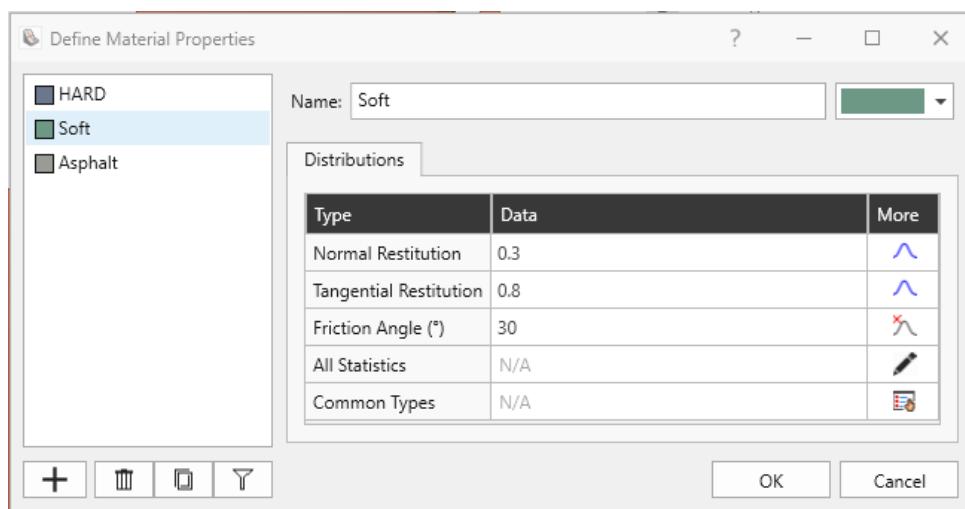
5.5.1 RocFall 3

Το λογισμικό RocFall είναι ένα πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης με στόχο να βοηθήσει στην εκτίμηση του κινδύνου για κατολισθήσεις σε μια πλαγιά. Η ενέργεια, η ταχύτητα και “το ύψος αναπήδησης” για το σύνολο της πλαγιάς υπολογίζονται από το πρόγραμμα. Οι κατανομές πιθανότητας για την ενέργεια, την ταχύτητα και το ύψος αναπήδησης, επίσης υπολογίζονται κατά μήκος του προφίλ της πλαγιάς. Δεδομένα εισόδου στο πρό-

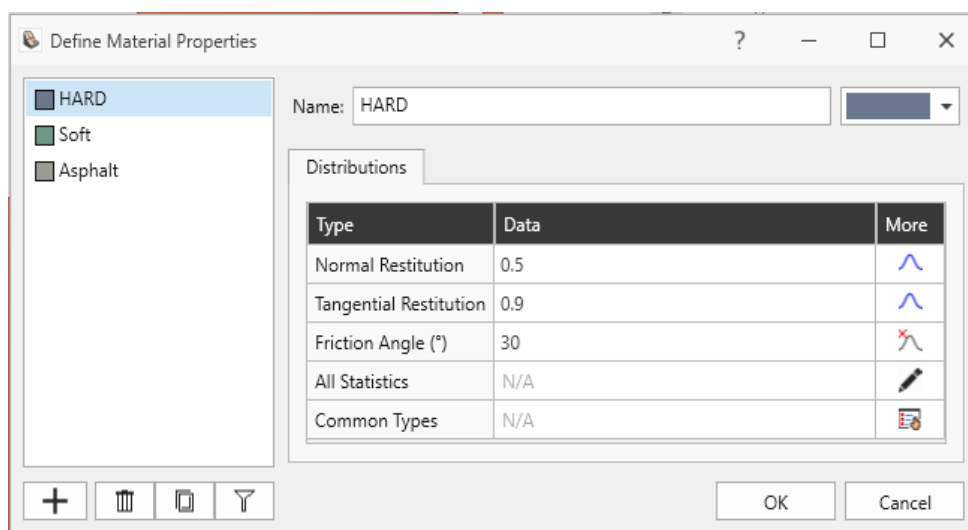
γραμμά ορίζεται το mesh είτε το νέφος σημείων ανάλογα το πρόγραμμα. Δεδομένου ότι καλύτερα αποτελέσματα στην εξαγωγή ισοϋψών και κλίσεων παρουσίασε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, εισήχθη το πλέγμα προερχόμενο από το Agisoft Metashape.

5.5.2 Εισαγωγή δεδομένων στο RocFall 3

Με την εισαγωγή στο πρόγραμμα χρειάζεται να οριστούν παράμετροι όσον αφορά τις παραμέτρους της προσομοίωσης. Ειδικότερα ορίζονται αρχικά παράμετροι που αφορούν τις μονάδες μέτρησης, το είδος των υλικών από τα οποία αποτελείται το πλέγμα τα οποία και κατηγοριοποιούνται για τον διαχωρισμό των στρωμάτων. Στην συνέχεια ορίζονται πάνω στο mesh κατηγορίες επιφανειών, οι οποίες θα αποτελέσουν τις περιοχές εκκίνησης και τέλους των προσομοιώσεων των πτώσεων καθώς και οι τιμές των παραμέτρων, από τις οποίες εξαρτώνται (Εικόνα 5.16 και Εικόνα 5.17). Οι συγκεκριμένοι παράμετροι είναι ο παράγοντας κανονική επιστροφή, η εφαπτομενική επιστροφή και η γωνία τριβής.



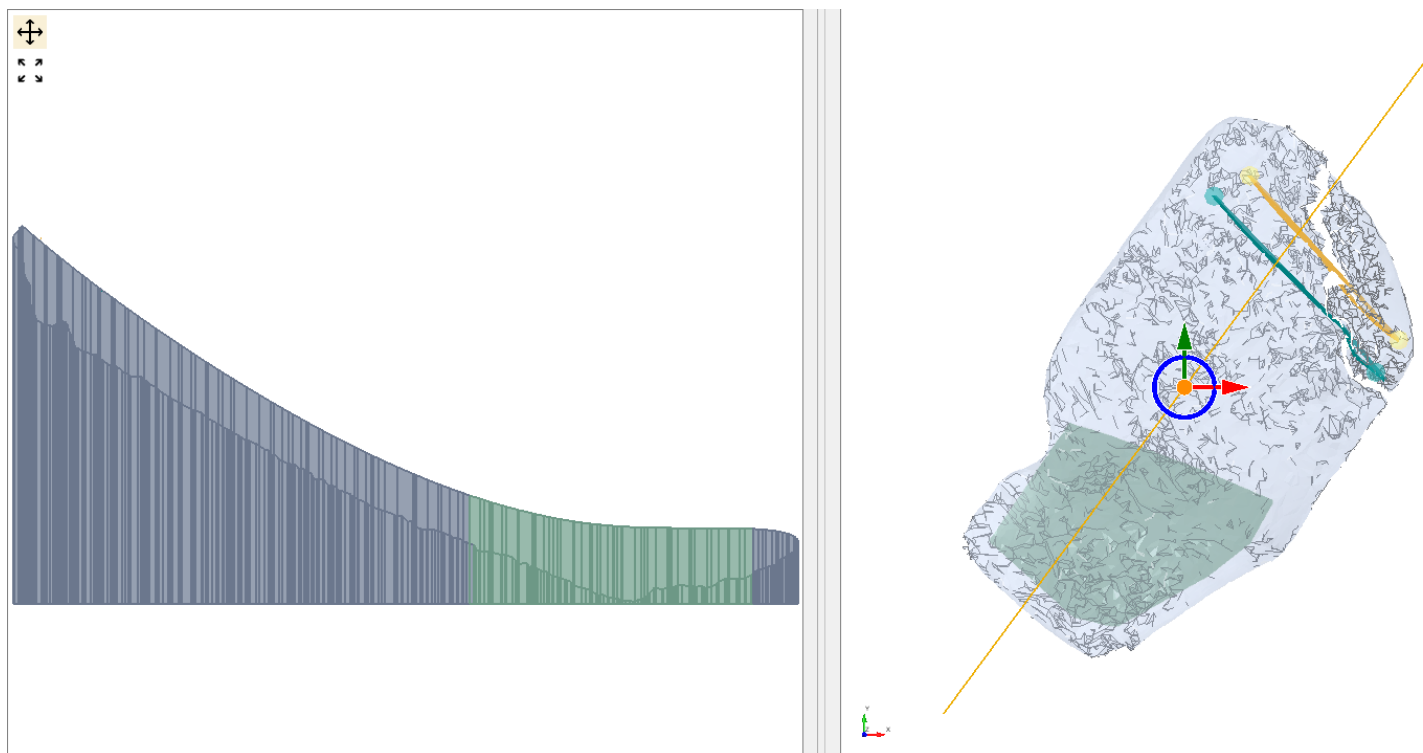
Εικόνα 5.13 Ορισμός παραμέτρων για την κατηγορία υλικού Soft



Εικόνα 5.14 Ορισμός παραμέτρων για την κατηγορία υλικού HARD

5.5.3 Οριοθέτηση περιοχής επίδρασης και περιοχής αποκόλλησης

Στην συνέχεια ορίζονται στην επιφάνεια δύο πολύγωνα, το πρώτο αποτελεί την επιφάνεια πτώσης εντός την οποίας βρίσκεται ο οικισμός και η ευρύτερη περιοχή επίδρασης. Για την δημιουργία του συγκεκριμένου πολυγώνου επιλέχθηκε η επιφάνεια Soft για την ταξινόμηση του (Εικόνα 5.19).



Εικόνα 5.15 Τομή της περιοχής μελέτης και επισήμανση με πράσινο χρώμα της περιοχής κατάπτωσης

5.5.4 Ορισμός περιπτώσεων κατάπτωσης

Ακολουθώς, ορίζονται τα μέτωπα της αποκόλλησης των βράχων καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής αποκόλλησης. Αξίζει να τονιστεί πως παρατηρώντας τις κλίσεις που προέκυψαν στον ArcMap, επιλέχθηκαν δύο περιοχές οι οποίες εμφανίζουν τις μεγαλύτερες κλίσεις από τις οποίες θα οριστούν τα δύο μέτωπα αποκόλλησης. Για την κάθε περίπτωση θα οριστούν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Οι βασικοί παράμετροι και για τις δύο περιπτώσεις αποτελούν ο αριθμός των βράχων που θα αποκολληθούν, το βάρος των πέτρινων όγκων, το υψόμετρο από το οποίο θα αποκολληθούν και η πιθανότητα ύπαρξης αρχικής ταχύτητας.

Όσον αφορά την πρώτη περίπτωση ο συνολικός αριθμός των πέτρινων όγκων ορίστηκε σε 50 (Εικόνα 5.20), η μάζα τους σε 100kg εκάστη και τέλος δεν ορίστηκε αρχική ταχύτητα κατά την αποκόλληση επομένως θα αποτελέσει μια περίπτωση ελεύθερης πτώσης (Εικόνα 5.21).

Name: 1η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Rock Shapes Number of Rocks Initial Velocity

Type	Data
Distribution	Over All Rock Groups
Number of Rocks	50

Εικόνα 5.16 Ορισμός αριθμού βραχοτεμαχίων για την πρώτη περίπτωση καταπτώσεων

Name: 1η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Rock Shapes Number of Rocks Initial Velocity

+ Add Group

Type	Data	More
Group 1		
Mass (kg)	100	
Density (kg/m ³)	2700	

Εικόνα 5.17 Ορισμός βάρους και πυκνότητας των βραχοτεμαχίων για την πρώτη περίπτωση καταπτώσεων

Αναφορικά με την δεύτερη περίπτωση ο συνολικός αριθμός των πέτρινων όγκων ορίστηκε σε 25 (Εικόνα 5.24) με την μάζα της κάθε πέτρας να ορίζεται σε 150kg (Εικόνα 5.25) και τέλος ορίστηκε αρχική ταχύτητα σε 1.5 m/s ενώ η γωνία τάσης ορίστηκε σε 225° (Εικόνα 5.23). Για τον ορισμό της αρχικής ταχύτητας όπως επίσης και για την γωνία τάσης, ορίστηκε ως επιλογή η φυσιολογική διανομή ενώ η τιμή του μέγιστου και του ελάχιστου ορίστηκε στο τριπλάσιο από την τυπική απόκλιση.



Name	Colour	Number of Rocks	Distribution	Translational Velocity (m/seconds)	Translational Velocity Orientation	Trend (°)	Plunge (°)	Rotational Velocity (°/seconds)	Rotational Velocity Orientation
1η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	■	50	Over All Rock Groups	0	Trend/Plunge	0	0	0	Trend/Plunge
2η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	■	25	Over All Rock Groups	1.5 (Normal, sd=0.3)	Trend/Plunge	0	0	0	Trend/Plunge

Εικόνα 5.18 Απεικόνιση των δύο περιπτώσεων με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους

Name: 2η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Rock Shapes Number of Rocks Initial Velocity

Type	Data	More
Translational Velocity		
Translational Velocity (m/s)	1.5	^
Translational Velocity Orientation	Trend/Plunge	▼
Trend (°)	225	^
Plunge (°)	0	^
Rotational Velocity		
Rotational Velocity (°/s)	0	^
Rotational Velocity Orientation	Trend/Plunge	▼
Trend (°)	0	^
Plunge (°)	0	^

Distribution: ^ Normal

Mean: 1.5

Std. Dev.: 0.3 3x

Rel. Min.: 0.9

Rel. Max.: 0.9

OK Cancel

Distribution: ^ Normal

Mean: 225

Std. Dev.: 5 3x

Rel. Min.: 15

Rel. Max.: 15

OK Cancel

Εικόνα 5.19 Ορισμός αρχικής ταχύτητας και γωνίας τάσης και των αντίστοιχων παραμέτρων κανονικής κατανομής

Name: 2η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Rock Shapes Number of Rocks Initial Velocity

Type	Data
Distribution	Over All Rock Groups
Number of Rocks	25

Εικόνα 5.20 Ορισμός αριθμού των βραχοτεμάτων για την δεύτερη περίπτωση καταπτώσεων

Name: 2η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Rock Shapes Number of Rocks Initial Velocity

+ Add Group

Type	Data	More
Group 1		
Mass (kg)	150	
Density (kg/m ³)	2700	

Εικόνα 5.21 Ορισμός βάρους και πυκνότητας των βραχοτεμάχων για την δεύτερη περίπτωση καταπτώσεων

Αξίζει να σημειωθεί πως προκειμένου να μπορεί να υπάρξει μια σύγκριση δεδομένων, θα πραγματοποιηθούν δύο υποπεριπτώσεις καταπτώσεων. Η πρώτη περίπτωση θα αφορά την κατάπτωση βράχων με τα χαρακτηριστικά της πρώτης περίπτωσης και θα αφορά και τα δύο μέτωπα αποκόλλησης, ενώ η δεύτερη υποπερίπτωση θα αφορά την κατάπτωση βράχων που θα φέρουν τα χαρακτηριστικά της δεύτερης περίπτωσης και θα αφορά και πάλι και τα δύο μέτωπα αποκόλλησης.

5.5.5 Ορισμός μετώπων αποκόλλησης

Επόμενο βήμα αποτελεί ο ορισμός των μετώπων αποκόλλησης. Η κάθε μία από τις περιπτώσεις που ορίστηκαν θα αντιστοιχεί σε μια περίπτωση αποκόλλησης. Τα μέτωπα των αποκολλήσεων θα ταξινομηθούν στην κατηγορία εδάφους Hard. Όπως προαναφέρθηκε οι περιοχές που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές στις κλίσεις θα αποτελέσουν και τις αφετηρίες για τα μέτωπα αποκόλλησης. Έτσι με την βοήθεια των ισοϋψών θα οριστούν δύο γραμμές οι οποίες θα ξεκινούν από την επιφάνεια του μοντέλου από τα προσδιορισμένα ύψη (Εικόνα 5.21).



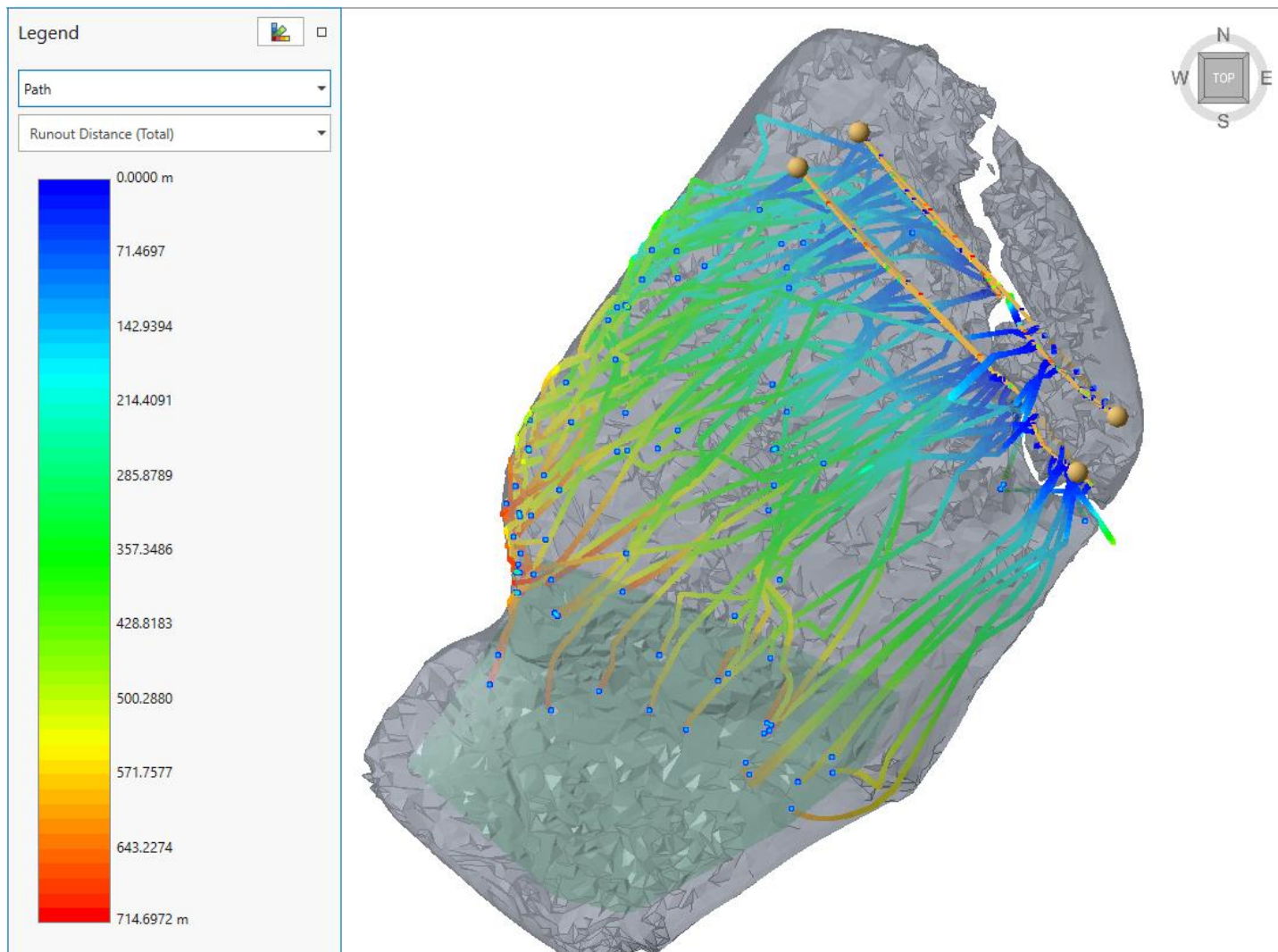
Εικόνα 5.22 Ορισμός μετώπων αποκόλλησης πέτρινων όγκων

5.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.6.1 Αξιολόγηση 1ης υποπερίπτωσης

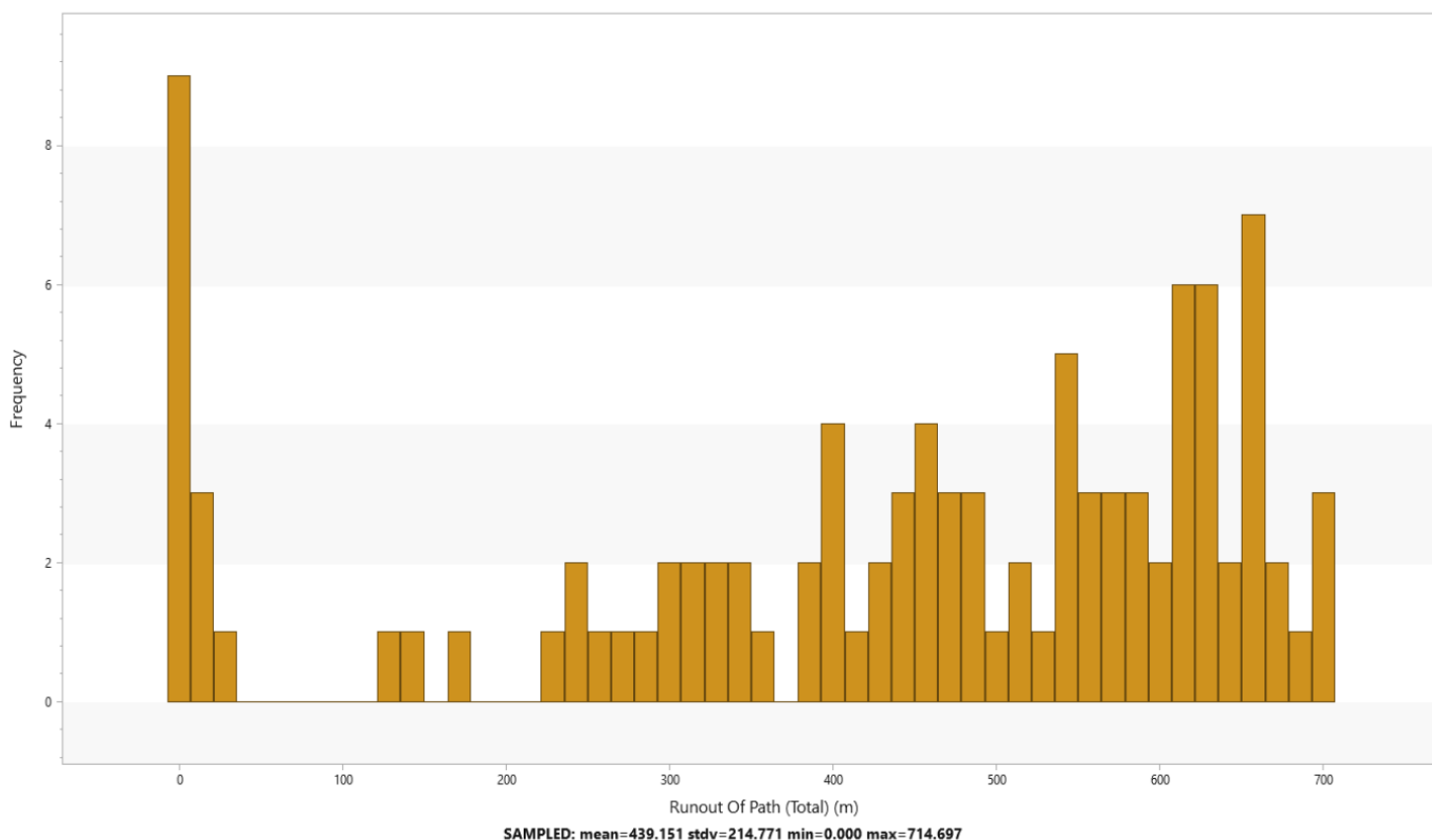
Όσον αφορά την 1η υποπερίπτωση της κατάπτωσης βράχων που φέρουν τα χαρακτηριστικά της 1^{ης} περίπτωσης από υψόμετρο 1000m και 1100m, προκύπτει πως παρατηρούνται 4 περιπτώσεις πέτρινων όγκων να καταλήγουν

στην οριοθετούμενη περιοχή από το σύνολο των 100 βράχων των 100 kg (Εικόνα 5.22). Επιπρόσθετα η μεγαλύτερη διαδρομή πραγματοποιήθηκε από 1 βράχο, ο οποίος διάνυσε 714.70m ενώ ο μέσος όρος απόστασης ήταν τα 439.15 m, η τυπική απόκλιση τα 214.77m και η ελάχιστη απόσταση τα 0 m (Διάγραμμα 5.1).



Εικόνα 5.23 Διαδρομές βράχων για την 1η υποπερίπτωση

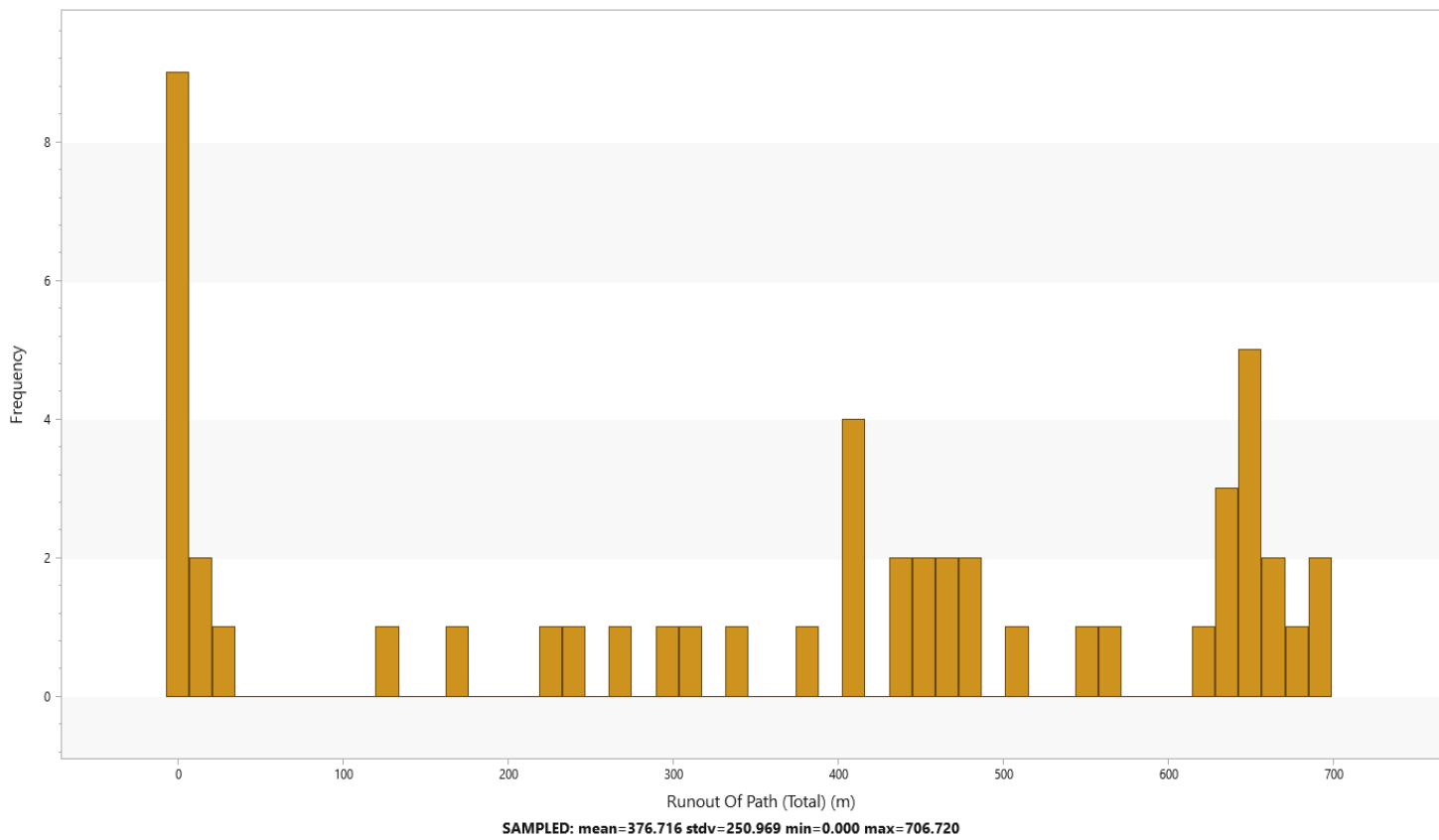
Distribution of Runout Of Path (Total) (m) - Origin



Διάγραμμα 5.1 Κατανομή της συχνότητας των διαδρομών σε m που ακολούθησαν οι πέτρινοι όγκοι για την 1η περίπτωση

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της 1ης υποπερίπτωσης (Διάγραμμα 5.2) προκύπτει πως για το μέτωπο αποκόλλησης στα 1000 m, η πλειοψηφία των πέτρινων όγκων διένυσε μια απόσταση πάνω από 400 m ενώ μόνο 9 σταμάτησαν εξαρχής χωρίς να διανύσουν κάποια απόσταση ενώ η μέγιστη απόσταση που διανύθηκε ήταν τα 706.72 m. Ακόμα η μέση απόσταση ήταν τα 376.72 m η τυπική απόκλιση 250.97m και η ελάχιστη απόσταση τα 0 m.

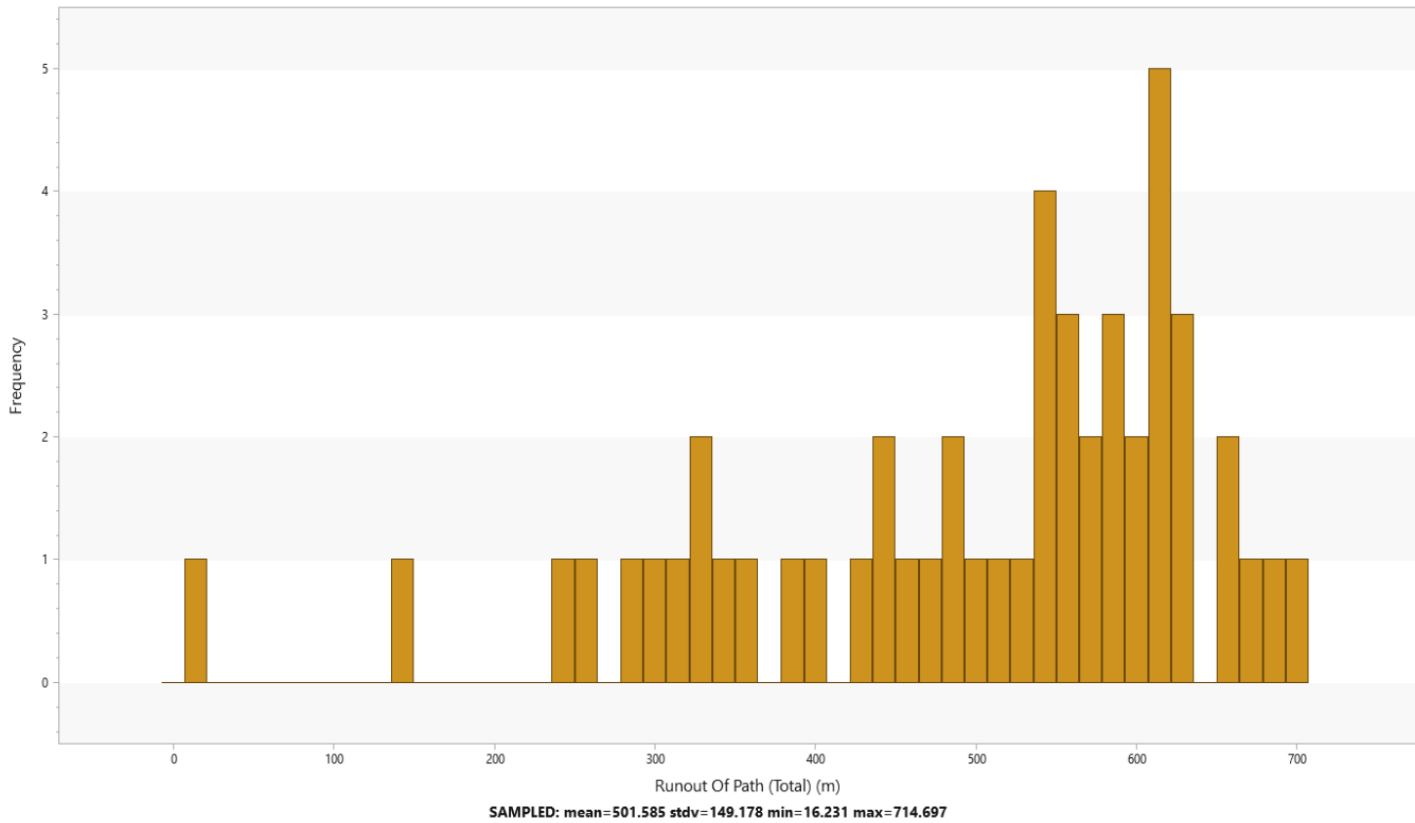
Distribution of Runout Of Path (Total) (m) - Origin



Διάγραμμα 5.2 Κατανομή της συχνότητας των διαδρομών σε μέτρα για τους όγκους που αποκολλήθηκαν από τα 1000 m

Σχετικά με την 2^η περίπτωση της 1^{ης} υποπερίπτωσης (Διάγραμμα 5.3) προκύπτει πως για το μέτωπο των 1100 m η μέγιστη απόσταση που διανύθηκε ήταν τα 714.70 m με την ελάχιστη τα 16.23m, μέση απόσταση τα 501.59m και τυπική απόκλιση τα 149.18m.

Distribution of Runout Of Path (Total) (m) - Origin

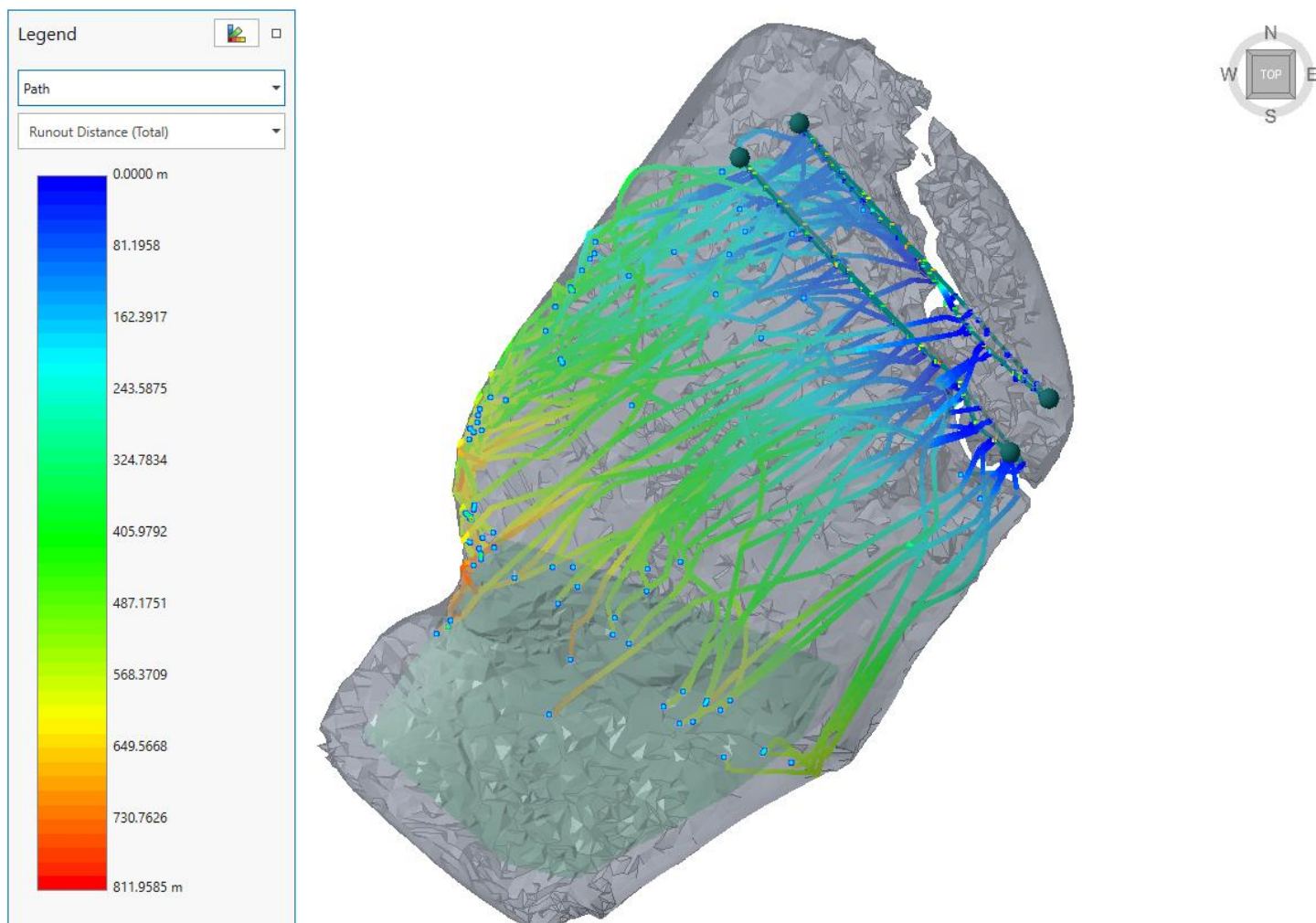


Διάγραμμα 5.3 Κατανομή της συχνότητας των διαδρομών σε μέτρα για τους όγκους της 1ης υποπερίπτωσης, οι οποίοι αποκολλήθηκαν από τα 1100 m

5.6.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων 2^{ης} περίπτωσης

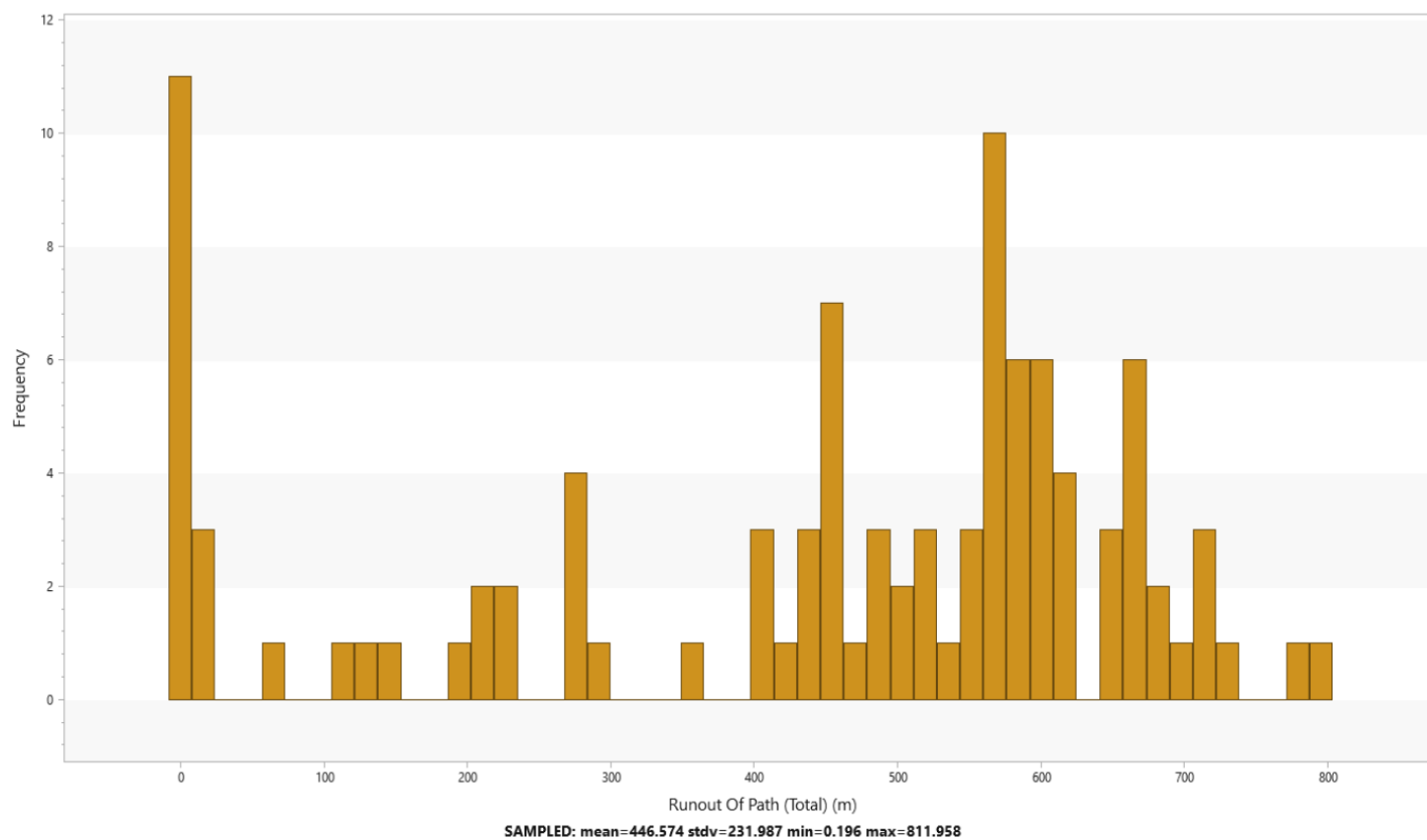
Όσον αφορά τα αποτελέσματα της 2^{ης} περίπτωσης η οποία έλαβε χώρα στα 900-1000 m, γίνεται αντιληπτό πως υπάρχουν περισσότερες διαδρομές πέτρινων όγκων οι οποίες καταλήγουν στην περιοχή επίδρασης απ' ότι στην πρώτη περίπτωση (Εικόνα 5.23). Ειδικότερα από το σύνολο των 25 πέτρινων όγκων που ορίστηκαν ως δείγμα, η πλειοψηφία ξεπέρασε τα 500m σε οριζόντια απόσταση που διανύθηκε αν και οι περισσότερες κατέληξαν εκτός της οριοθετούμενης περιοχής, ενώ η μέγιστη απόσταση που διανύθηκε ήταν τα 811.96 m. Ειδικότερα παρατηρήθηκε πως και σε αυτή την περίπτωση (Διάγραμμα 5.4) η πλειοψηφία των πέτρινων όγκων ξεπέρασε τα 400 m σε απόσταση με μέση απόσταση τα 446.57m, τυπική απόκλιση τα 231.99m και ελάχιστη απόσταση τα 0.2 m .

(Εικόνα 5.28).



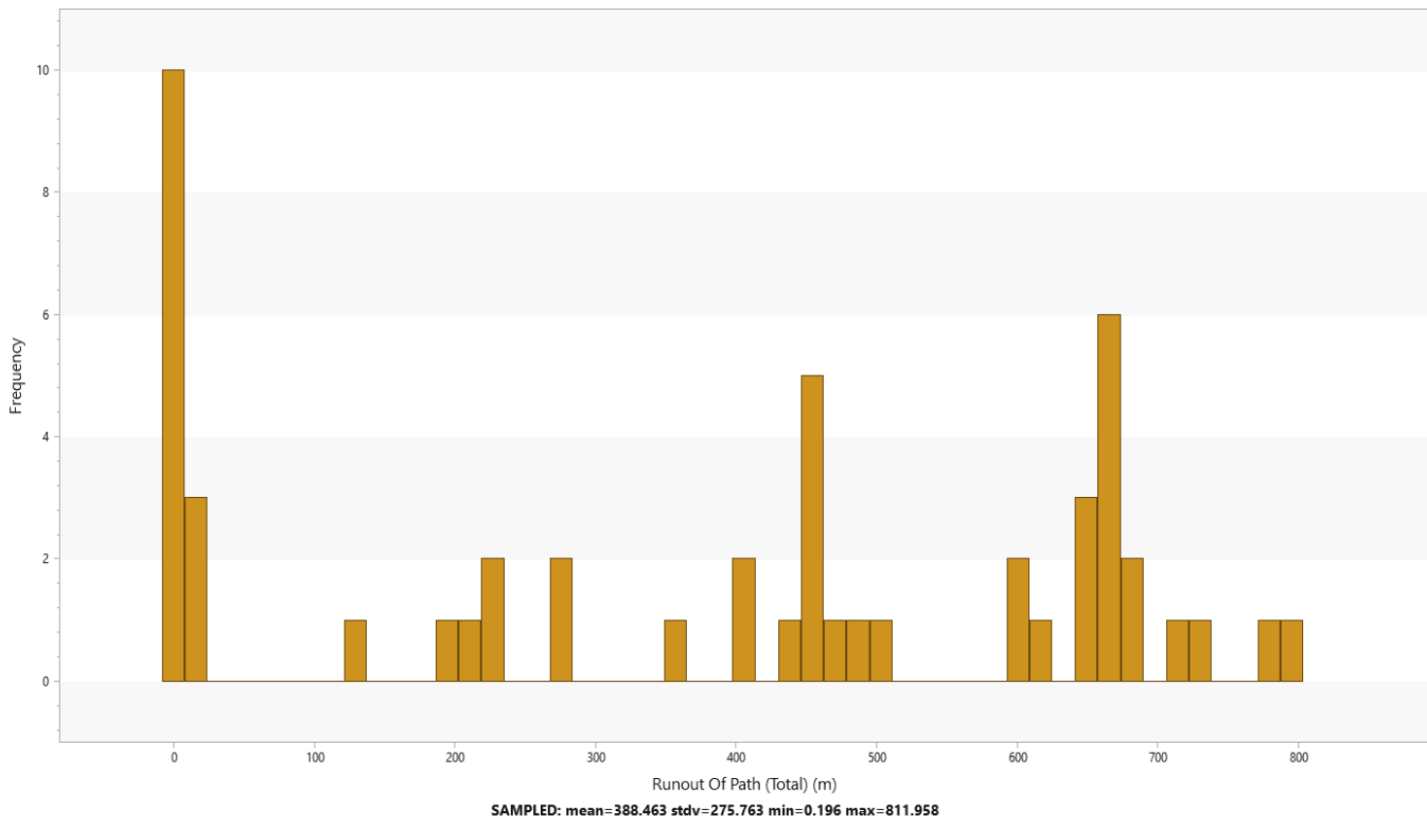
Εικόνα 5.24 Διαδρομές βράχων για την 2η υποπερίπτωση με βάση την μέγιστη απόσταση που διανύουν

Distribution of Runout Of Path (Total) (m) - Origin



Διάγραμμα 5.4 Κατανομή συχνότητας των διαδρομών σε μέτρα που ακολούθησαν οι πέτρινοι όγκοι για την 2η περίπτωση

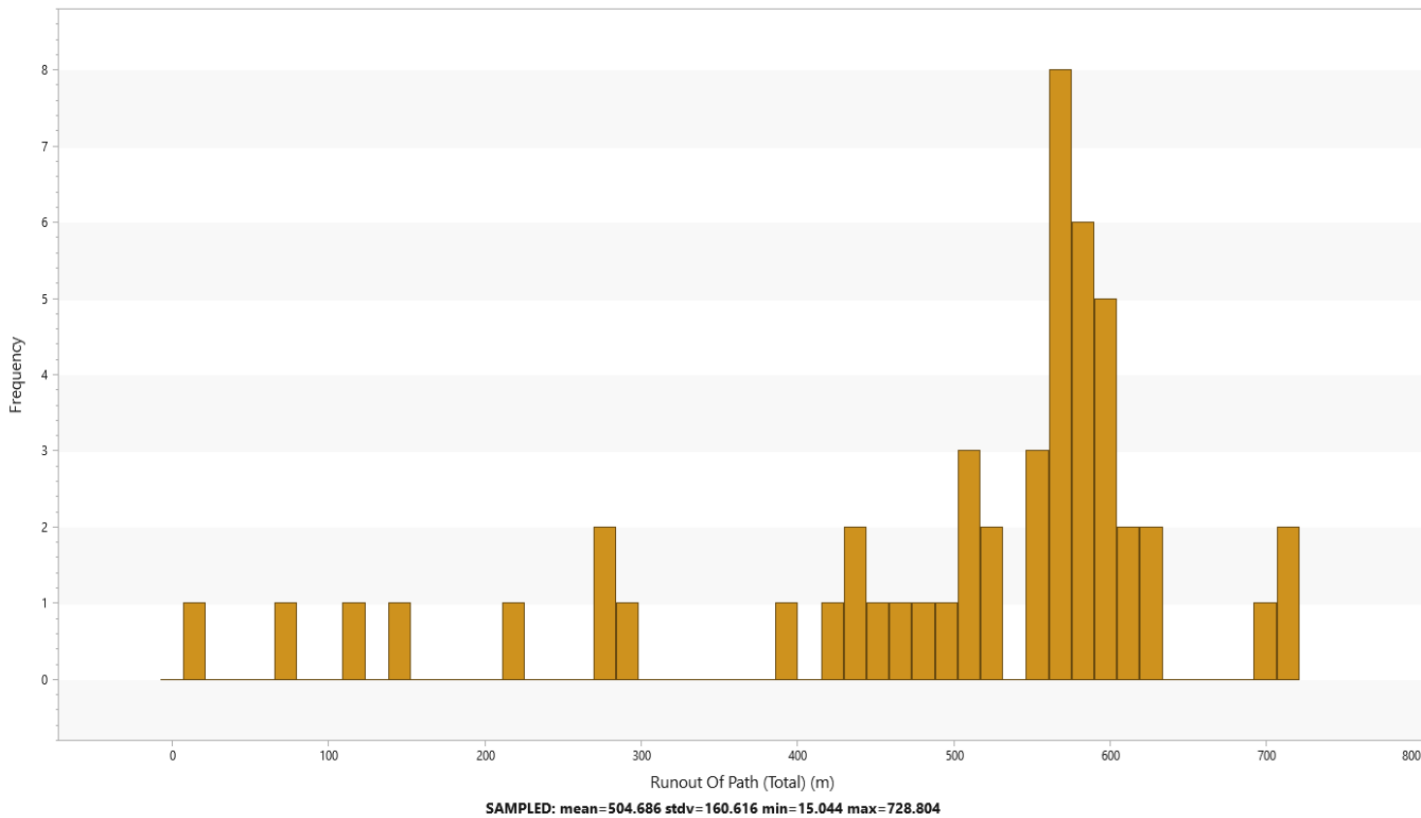
Distribution of Runout Of Path (Total) (m) - Origin



Διάγραμμα 5.5 Διανομή της συνολικής απόστασης που διένυσαν οι όγκοι κατά την δεύτερη υποπερίπτωση για το μέτωπο αποκόλλησης στα 1000 m

Αξίζει να αναφερθεί πως η μέγιστη απόσταση σε αυτή την υποπερίπτωση παρατηρείται σε αποκόλληση από τα 1000 m (Διάγραμμα 5.5) στα 811.96 m. Εδώ ελάχιστη απόσταση είναι τα 0.2 m μέση απόσταση τα 388.463m και τυπική απόκλιση τα 375.76m.

Distribution of Runout Of Path (Total) (m) - Origin



Διάγραμμα 5.6 Συνολική απόσταση που διένυσαν οι όγκοι κατά την δεύτερη υποπερίπτωση για το μέτωπο αποκόλλησης των 1100 m

Αναφορικά με την δεύτερη περίπτωση η οποία αφορά την αποκόλληση από τα 1100 m (Διάγραμμα 5.6), μέγιστη απόσταση παρατηρήθηκε να είναι στα 728.80m, μέση απόσταση τα 504.69m ελάχιστη απόσταση τα 15.04m και τυπική απόκλιση τα 160.62 m.

5.6.3 Γενικά Συμπεράσματα

Ύστερα από επεξεργασία των δεδομένων παρατηρήθηκε πως κατά την αποκόλληση των βράχων στην δεύτερη περίπτωση στην οποία έχει οριστεί αρχική γωνιακή ταχύτητα, η συνολική απόσταση που διανύεται είναι περίπου 12% μεγαλύτερη σε σχέση με την μέγιστη απόσταση που διανύεται στην 1^η υποπερίπτωση. Επιπλέον αξίζει να αναφερθεί πως στην δεύτερη υποπερίπτωση, η μέγιστη απόσταση επιτυγχάνεται από τα 1000 m και όχι από τα 1100 m κάτι το οποίο μπορεί να οφείλεται στην ύπαρξη ίσως πιο απότομων κλίσεων στο σημείο αποκόλλησης.



Αναφορικά με τις τελικές θέσεις των βράχων κατά την κατάπτωση από το πρανές, γίνεται αντιληπτό πως και στις δύο περιπτώσεις ο μεγαλύτερος όγκος των βράχων θα καταπέσει στην βορειά πλευρά της κοινότητας επηρεάζοντας σε μικρό βαθμό την νότια πλευρά λόγω της αλλαγής υψομέτρου, αφού η βόρεια με την νότια πλευρά διαχωρίζονται με ένα ρέμα γνωστό ως Λαζόρεμα.

Ειδικότερα, όσον αφορά στην πρώτη περίπτωση, ο συνολικός αριθμός βράχων των οποίων ο τελικός στόχος βρίσκεται εντός της περιοχής επίδρασης φτάνει τις 24 (Χάρτης 5.5). Σε αρκετές από αυτές τις περιπτώσεις οι τελικοί στόχοι αποτελούν οικήματα αλλά και τμήματα του οδικού δικτύου.

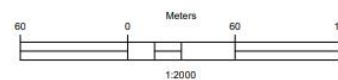


ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΩΝ
ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2000

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	Περιοχή Επίδρασης
	Τελικοί Στόχοι

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σ.ΑΤ.Μ-Μ.Γ
ΧΑΡΤΟΣΥΝΘΕΣΗ: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΤΑΜΟΣ
ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023





Χάρτης 5.5 Ανάδειξη των τελικών σημείων των καταπτώσεων εντός της περιοχής επίδρασης για την 1η υποπερίπτωση καταπτώσεων

Αναλύοντας της περιοχές αντίκτυπου των βράχων μέχρι να φτάσουν στους τελικούς στόχους (Χάρτης 5.6), προκύπτει πως αρκετοί από τους βράχους διασχίζουν την περιοχή της σάρας για να καταλήξουν στην κοινότητα. Δεδομένου ότι η σάρα αποτελεί ένα φυσικό εμπόδιο για την διαδρομή του βράχου αποτελεί ένα καλό πρώτο στάδιο αντιμετώπισης των περιοχών επικινδυνότητας.

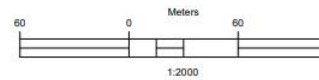


ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΥ
ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2000

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	Περιοχή Επίδρασης
	Περιοχές Αντίκτυπου

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΩΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σ.Α.Τ.Μ.-Μ.Γ
ΧΑΡΤΟΣΥΝΘΕΣΗ: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΤΑΜΟΣ
ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023





Χάρτης 5.6 Ανάδειξη των περιοχών αντίκτυπου των καταπτώσεων εντός της περιοχής επίδρασης για την 1η περίπτωση καταπτώσεων

Παρόμοια είναι και η κατάσταση για την δεύτερη υποπερίπτωση. Εδώ 27 βράχοι καταλήγουν στην περιοχή επίδρασης (Χάρτης 5.7) εκ των οποίων ένας καταλήγει και στο ρέμα. Οι βράχοι τείνουν να δημιουργήσουν δύο ομάδες με την μια να αποτελείται από 11 βράχους και να επικεντρώνεται στην βορειοανατολική πλευρά της κοινότητας και την δεύτερη να αποτελείται από 16 βράχους και να επικεντρώνεται στα βορειοδυτικά της κοινότητας.

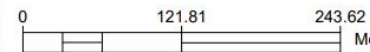


ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΩΝ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2000

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	Περιοχή Επίδρασης
	Τελικοί Στόχοι

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σ.ΑΤ.Μ-Μ.Γ
ΧΑΡΤΟΣΥΝΘΕΣΗ: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΤΑΜΟΣ
ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023





Χάρτης 5.7 Ανάδειξη τελικών σημείων των καταπτώσεων εντός της περιοχής επίδρασης για την 2η υποπερίπτωση καταπτώσεων

Στην δεύτερη υποπερίπτωση οι περιοχές αντίκτυπου των βράχων (Χάρτης 5.8) επικεντρώνονται στις περιοχές που αναφέρθηκαν για τους τελικούς στόχους προκαλώντας ζημιές και πάλι στην βόρεια με βορειοδυτική πλευρά της κοινότητας αλλά καταλήγοντας εν τέλει στην περιοχή του ρέματος επί τω πλείστο.

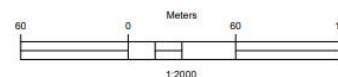


ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΥ ΤΩΝ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2000

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	Περιοχή Επίδρασης
	Περιοχές αντίκτυπου

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σ.Α.Τ.Μ.-Μ.Γ
ΧΑΡΤΟΣΥΝΘΕΣΗ: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΤΑΜΟΣ
ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023



Χάρτης 5.8 Ανάδειξη περιοχών αντίκτυπου των καταπτώσεων εντός της περιοχής επίδρασης για την 2η υπο-περίπτωση καταπτώσεων

Γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, πως η ύπαρξη αρχικής γωνιακής ταχύτητας επηρεάζει τις διαδρομές των βράχων που προέρχονται από τις περιοχές επικινδυνότητας κάτι το οποίο όμως θα μπορούσε να εξαρτάται από πολλούς εξωγενείς φυσικούς παράγοντες όπως ο άνεμος και η βροχή καθώς και τις ρίζες των δέντρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο 6 αναλύονται τα αποτελέσματα και προκύπτουν ορισμένα συμπεράσματα για την κατολισθητική συμπεριφορά του πρανούς. Επιπλέον γίνονται προτάσεις για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της πλειονότητας των καταπτώσεων μέσω της συνεχής παρακολούθησης των περιοχών επικινδυνότητας αλλά και με την χρήση ειδικού γεωτεχνικού εξοπλισμού με τον οποίο θα προληφθούν αρκετά κατολισθητικά φαινόμενα.

6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.2.1 Συμπεράσματα από την συλλογή των δεδομένων

Συμπερασματικά αξίζει να σημειωθεί πως κατά την διάρκεια της συλλογής των δεδομένων στο πεδίο προέκυψαν πολλά χρήσιμα συμπεράσματα όπως:

- Κατά τον σχεδιασμό του σχεδίου πτήσης σε εκτάσεις με μεγάλο εύρος υψομετρικής πληροφορίας, οι λήψεις πρέπει να αποτελούνται τόσο από ναδρικές όσο και από λήψεις υπό γωνία για την κάλυψη όλης της ζητούμενης περιοχής
- Σε περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση για την κάλυψη της περιοχής με φωτοσταθερά κρίνεται καλύτερη επιλογή, η αποτύπωση με drone που διαθέτει δέκτη RTK
- Για την καλύτερη απόδοση της υψομετρικής πληροφορίας όταν υπάρχει μεγάλος όγκος πράσινου στην προς αποτύπωση περιοχή, ιδανικός τρόπος αποτύπωσης αποτελεί η αποτύπωση με σαρωτή (lidar)
- Παρόλη την ανάπτυξη της τεχνολογίας για την καλύτερη παρακολούθηση φυσικών φαινομένων, η διαδικασία παρακολούθησης τους με σύγχρονα μέσα εξαρτάται ακόμα σε μεγάλο βαθμό από φυσικούς παράγοντες όπως αέρας, βροχή, χιόνι, χαλάζι.

6.2.2 Συμπεράσματα από την επεξεργασία

Αξίζει να αναφερθεί πως κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε πως υπάρχουν προγράμματα, τα οποία προσφέρουν ένα μεγάλο εύρος εργαλείων και φίλτρων τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για την καλύτερη διαχείριση του νέφους σημείων, άρα και την εξαγωγή ορθότερου αποτελέσματος. Επιπλέον η ανάπτυξη και χρήση προγραμμάτων, τα οποία είναι σε θέση να προβλέψουν έως ένα βαθμό αξιοπιστίας την διαδρομή των βράχων και συνεπώς να οδηγήσουν σε στοχευμένη και πιο αποδοτική προστασία της κοινότητας, κρίνεται επαναστατική και σπουδαία.

Ειδικότερα αξίζει να τονιστεί πως λόγω ύπαρξης ενός νέφους σημείων, το RMS δεν θα μπορούσε να εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, αφού η διαδικασία γεωαναφοράς του μοντέλου συντελέστηκε στο πρόγραμμα Agisoft Metashape και σύμφωνα με τα ποσοστά ακρίβειας που παρέχει καθώς επίσης και την διακριτική ικανότητα του ματιού. Επιπλέον εξαρτήθηκε αρκετά από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με τον δέκτη GNSS καθώς και από το σφάλμα της όδευσης που υπολογίστηκε.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η εφαρμογή κάποιου φίλτρου για την αφαίρεση θορύβου από το νέφος σημείων οδηγούσε στην απαλοιφή σημείων τα οποία δεν αφορούσαν το έδαφος δεδομένου ότι σκοπός ήταν η δημιουργία ενός ΨΜΕ. Στην περίπτωση του προγράμματος Cloud Compare, το οποίο παρείχε περισσότερα εργαλεία για την επεξεργασία του νέφους παρατηρήθηκε πως κατά τον συνδυασμό της

εφαρμογής τριών φίλτρων, του φίλτρου CSF Filter, του SQR Filter και του Noise Filter, υπήρξε καλύτερη επεξεργασία και εξαγωγή αποτελέσματος σε σχέση με την μονομερή εφαρμογή του κάθε φίλτρου.

Το αποτέλεσμα που προέκυψε από το πρόγραμμα Cloud Compare εμφάνισε υψηλότερο RMS κατά την σύγκριση των δύο ΨΜΕ στο πρόγραμμα ArcMap. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εξαγωγή των ισοϋψών καμπύλων, οι οποίες παρατηρήθηκαν και στατιστικά και οπτικά πιο ορθές στο ΨΜΕ του Agisoft Metashape συγκριτικά με εκείνο του Cloud Compare. Οπτικά ακολουθήθηκε η πορεία του εδάφους για τον έλεγχο των ισοϋψών με υπόβαθρο το ορθομωσαϊκό που δημιουργήθηκε.

6.2.3 Συμπεράσματα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων

Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε πως η βόρειο-βορειοανατολική πλευρά του οικισμού δέχεται τον μεγαλύτερο όγκο βράχων. Λαμβάνοντας υπόψιν και την ύπαρξη της σάρας στην συγκεκριμένη περιοχή, η οποία θα μπορούσε να απορροφήσει μέρος των πέτρινων όγκων, μια αποκόλληση βράχων στην τοπική κοινότητα Συκιάς μπορεί να οδηγήσει σε υλικές ζημιές στο οδικό δίκτυο και στα σπίτια που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της περιοχής, εάν προκύψει αποκόλληση από τις περιοχές επικινδυνότητας που έχουν οριστεί. Με βάση τα παραπάνω, προκύπτουν τα εξής :

- Η ύπαρξη αρχικής γωνιακής ταχύτητας κατά την διαδρομή αλλά και το βάρος ενός βράχου παίζουν σημαντικό ρόλο στην πορεία καθώς και στον τελικό στόχο του πέτρινου όγκου
- Η συνδεσιμότητα μεταξύ των διάφορων προγραμμάτων επεξεργασίας μπορεί να ωφελήσει στην εξαγωγή ορθότερων συμπερασμάτων για ένα εύρος προβλημάτων όπως στην περίπτωση των κατολισθήσεων
- Η ανάγκη για εξαγωγή ορθής υψομετρικής πληροφορίας για το κατάλληλο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους καθώς και να ελεγχθεί η αξιοπιστία του με την ανάπτυξη της τεχνολογίας
- Βάσει της ανάλυσης που έγινε, η ύπαρξη πιθανότητας πρόκλησης ατυχήματος από κατολίσθηση είναι πιο πιθανή από τις υψομετρικές θέσεις των 1000m και 1100m.

6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Η αποτελεσματική εξαγωγή μιας μελέτης επικινδυνότητας απαιτεί τη λήψη ορθών και επαρκών δεδομένων από το πεδίο όσο και η κατάλληλη επεξεργασία και ανάλυσή τους στα ειδικά λογισμικά. Δεδομένου ότι η ελληνική επικράτεια στο σύνολο της παρουσιάζει αυξημένη κατολισθητική δραστηριότητα, η μεθοδολογία και τα αποτελέσματά της διπλωματικής εργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε παρόμοιες περιπτώσεις σύμφωνα με

τις εκάστοτε παραμέτρους. Για την βελτίωση της εύρεσης των πιθανών διαδρομών που θα ακολουθήσουν κατά την αποκόλληση οι πέτρινοι όγκοι προτείνεται να γίνει επιπλέον:

- μελέτη για την εύρεση των ακριβών σημείων από τα οποία έχει προκύψει η αποκόλληση των βράχων με την χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων όπου η μελέτη θα αφορά την αντιστοίχιση σημείων από τον αποκολλημένο βράχο με εκείνα από το πρανές
- μελέτη των διαφορών που θα παρουσιάζουν τα νέφη σημείων, τα οποία θα έχουν προκύψει από δύο η περισσότερους τρόπους αποτύπωσης κατολισθητικών φαινομένων με επίγεια και εναέρια μέσα με την χρήση διαφορετικών λογισμικών δημιουργίας νεφών σημείων
- δημιουργία πιθανών διαδρομών αποκόλλησης βράχων για μια χρονική περίοδο και την σύγκρισή τους με μια επόμενη χρονική περίοδο κατά την οποία θα έχει πραγματοποιηθεί αποκόλληση βράχων για τον έλεγχο αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Casagli, N., Intrieri, E., Tofani, V., Gigli, G., & Raspini, F. (2023). Landslide detection, monitoring and prediction with remote-sensing techniques. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(1), 51–64. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00373-x>
- Cruden, D., & Varnes, D. J. (1996). Landslide Types and Processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation*. National Academy Press, Washington, D.C, 247, 36–75.
- Mavroulis, S., Vassilakis, E., Diakakis, M., Konsolaki, A., Kaviris, G., Kotsi, E., Kapetanidis, V., Sakkas, V., Alexopoulos, J. D., Lekkas, E., & Voulgaris, N. (2022). The Use of Innovative Techniques for Management of High-Risk Coastal Areas, Mitigation of Earthquake-Triggered Landslide Risk and Responsible Coastal Development. *Applied Sciences*, 12(4), 2193. <https://doi.org/10.3390/app12042193>
- Welcome to BGS - British Geological Survey. (n.d.). Retrieved October 18, 2023, from <https://www.bgs.ac.uk/>
- Βολιώτη, Κ.-Γ. (2009). *Ζωνοποίηση της Επικινδυνότητας λόγω Κατολισθήσεων στο χώρο της Ηπειρωτικής Ελλάδας με χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών Απεικόνιση σε χάρτη μικρής κλίμακας* [BachelorThesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο]. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.4825>
- Δούκας, Ι., Ρωσσικόπουλος, Δ., Θεσσαλονίκη, Α. Π., Μηχανικών, Τ. Π., Αγρονόμων, Τ., Μηχανικών, Τ., & Δούκας, Ι. Δ. (2012). *ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ*.
- Ζούρος, Ν. (n.d.). Κατολισθήσεις. In *Πανεπιστήμιο Αιγαίου*. Retrieved October 18, 2023, from <https://eclass.aegean.gr/modules/document/file.php/GEO340/07%20B%20ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ%2023-11-2020.pdf>
- Καραϊνδρου, Ε. Ι., Τρικούζας, Δ., & Φαρέας, Κ. (2010). *Διερεύνηση Περιβαλλοντικών Θεμάτων νομού Φωκίδας*. https://www.teetas.gr/sites/default/files/omadesergasias/diereunese_periballontikon_thematon_n_phokidas.pdf
- Κυρίου, Α. (2021). *Landslide monitoring using remote sensing, GNSS, GIS methods and interferometric techniques* [Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής]. <https://doi.org/10.12681/eadd/49712>
- Μπλιώνα, Μ. (2008). *Ανάπτυξη βάσης δεδομένων κατολισθήσεων στον ελληνικό χώρο*. <https://hdl.handle.net/10889/808>