



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

**Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών**

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας

Πτυχιακή Εργασία

**«Φωτογραμμετρική Επεξεργασία Δεδομένων ΣμηΕΑ Για Τον
Εντοπισμό Ογκόλιθων Μετά από Πλημμυρικά Γεγονότα Μεγάλης
Σφοδρότητας: Η περίπτωση του Ιανού»**

Γκαϊδατζόγλου Κωνσταντίνος

A.M.:1114201700016

Επιβλέπων Καθηγητής:

Αναπλ. Καθηγητής Βασιλάκης Εμμανουήλ

Αθήνα, 2021

Υπεύθυνη Δήλωση

Εγώ, ο Γκαϊδατζόγλου Κωνσταντίνος, γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα εργασία με τίτλο «Φωτογραμμετρική Επεξεργασία Δεδομένων ΣμηΕΑ Για Τον Εντοπισμό Ογκόλιθων Μετά από Πλημμυρικά Γεγονότα Μεγάλης Σφοδρότητας: Η περίπτωση του Ιανού» αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές που έχω χρησιμοποιήσει έχουν δηλωθεί κατάλληλα στις βιβλιογραφικές αναφορές.

Ο Δηλών

Ευχαριστίες

Οφείλω τις πιο θερμές ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου σε όλους τους ανθρώπους, των οποίων η βοήθεια και η συμπαράσταση ήταν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας στα πλαίσια του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον επιβλέποντα καθηγητή μου Εμμανουήλ Βασιλάκη για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, την καθοδήγηση του και την συνεχή βοήθεια του για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου, η οποία με στηρίζει σε κάθε βήμα της ζωής μου, προσφέροντας μου βοήθεια και ώθηση να επιτύχω τους στόχους που θέτω.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	8
Abstract	9
1. Εισαγωγή.....	10
2. Φυσικές Καταστροφές Πλημμυρικού Χαρακτήρα.....	12
2.1 Φαινόμενα Μεσογειακών Κυκλώνων	12
2.2 Ιανός: Ο Μεσογειακός Κυκλώνας του Σεπτεμβρίου 2020	16
2.3 Γεωμορφολογία και Γεωλογία της Κεφαλονιάς	18
3. Καινοτόμες Μέθοδοι Χαρτογράφησης Φυσικών Καταστροφών.....	22
3.1 Τεχνικές Τηλεανίχνευσης.....	22
3.2 Νέες Τεχνολογίες στην Τηλεανίχνευση – Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ)	23
3.3 Συστήματα GNSS (Global Navigation Satellite System)	26
3.4 Μέθοδος RTK	28
3.5 Η μέθοδος ‘Structure-from-Motion’.....	32
3.6 Χρήση Εδαφικών Σημείων Ελέγχου (Ground Control Points).....	37
4. Οπτική Κοκκομετρία	40
5. Μεθοδολογία	42
5.1 Εισαγωγή Εικόνων	43
5.2 Ευθυγράμμιση των εικόνων (Alignment).....	44
5.2.1 Παράμετροι προς Ρύθμιση.....	46
5.3 Εισαγωγή Ground Control Points	47
5.3.1 Φίλτρα Βάθους (Depth Filtering Modes)	47
5.4 Κατασκευή του πυκνού νέφους σημείων (Dense Point Cloud).....	48
5.5. Κατασκευή του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DSM).....	50
5.5.1 Παράμετροι προς Ρύθμιση.....	52
5.6 Κατασκευή του ορθομοσαϊκού.....	53
5.6.1 Παράμετροι προς Ρύθμιση.....	54
5.7 Άλλες Ρυθμίσεις.....	55
6. Αποτελέσματα	57
7. Συμπεράσματα	67
8. Βιβλιογραφία.....	72

Εικόνες

Εικόνα 2.1. Ο Μεσογειακός κυκλώνας Ιανός προσεγγίζοντας τον Ελλαδικό χώρο στις 17 Σεπτεμβρίου 2020.....	13
Εικόνα 2.2. Χάρτης θέσεων με τις μεγαλύτερες επιπτώσεις του Ιανού στην Κεφαλονιά (Lekkas et al., 2020).	16
Εικόνα 2.3. Φερτά υλικά κατέκλυσαν τμήματα του οδικού δικτύου, και δημόσιους και ιδιωτικούς χώρους του νησιού (Lekkas et al., 2020).....	17
Εικόνα 2.4. Το νησί της Κεφαλονιάς (Landsat/ Copernicus).....	18
Εικόνα 2.5. Γεωλογικός χάρτης της Κεφαλονιάς (Mavroulis et al., 2017).	19
Εικόνα 3.1. Κατηγορίες Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (Colomina & Molina, 2014).....	23
Εικόνα 3.2. Τα διαθέσιμα όργανα, αισθητήρες και πλατφόρμες σύμφωνα με την ανάλυση και το μέγεθος της πληροφορίας όπου παρέχουν (Nex & Remondino, 2013).	24
Εικόνα 3.3. Το DJI PHANTOM 4 RTK όπου χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα.....	29
Εικόνα 3.4. Η μέθοδος Structure from Motion απαιτεί συνεχείς, αλληλεπικαλυπτόμενες εικόνες για την κατασκευή τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων (Westoby et al., 2012).	32
Εικόνα 3.5. Τύποι εδαφικών σημείων ελέγχου (GCPs) (Taddia et al., 2019).	37
Εικόνα 4.1. Παράδειγμα από την χρήση του λογισμικού BASEGRAIN για την μέτρηση του μεγέθους των κροκαλών (Andreadakis et al., 2020).....	41
Εικόνα 5.1. Διάγραμμα ροής κατά την επεξεργασία των δεδομένων ΣμηΕΑ.	42
Εικόνα 5.2. Εισαγωγή Εικόνων στο λογισμικό Agisoft Metashape.....	43
Εικόνα 5.3. Ευθυγράμμιση των εικόνων (Alignment) μέσω του λογισμικού Agisoft Metashape.....	44
Εικόνα 5.4. Το αραιό νέφος σημείων (sparse point cloud) προκύπτει ύστερα από την ευθυγράμμιση των εικόνων στο 2 ^ο Βήμα.	45
Εικόνα 5.5. Εισαγωγή των εδαφικών σημείων ελέγχου στο λογισμικό, καθορίζοντας τις συντεταγμένες τους και το υψόμετρο.	47
Εικόνα 5.6. Κατασκευή του πυκνού νέφους σημείων (Dense Point Cloud) και παράμετροι προς ρύθμιση.	48
Εικόνα 5.7. Το πυκνό νέφος σημείων (dense point cloud) προκύπτει ύστερα από την ευθυγράμμιση των εικόνων στο 4 ^ο Βήμα.	49
Εικόνα 5.8. Κατασκευή του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DSM) και παράμετροι προς ρύθμιση.	50
Εικόνα 5.9. Το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM), όπως προκύπτει από το 5 ^ο Βήμα.	51

Εικόνα 5.10. Κατασκευή του ορθομωσαϊκού και ο πίνακας με τις παραμέτρους προς ρύθμιση.	53
Εικόνα 5.11. Το ορθομωσαϊκό όπως προκύπτει από το 6^ο Βήμα.	54
Εικόνα 6.1. Χάρτης της περιοχής μελέτης στην οποία απεικονίζεται η θέση των εδαφικών σημείων ελέγχου, με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη που προκύπτει από την χρήση GCP κατά την εξαγωγή του.	63
Εικόνα 6.2. Χάρτης της περιοχής μελέτης στην οποία απεικονίζεται η θέση των ογκόλιθων, με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη που προκύπτει από την χρήση GCP κατά την εξαγωγή του.	64
Εικόνα 6.3. Χάρτης της περιοχής μελέτης στην οποία απεικονίζονται τα πλημμυρικά όρια, η μισγάγγεια και οι θέσεις των ογκόλιθων, με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη που προκύπτει από την χρήση GCP κατά την εξαγωγή του.	65
Εικόνα 7.1. Θέσεις των καμερών και αλληλεπικάλυψη των εικόνων.	68
Εικόνα 7.2. Οι θέσεις των εδαφικών σημείων ελέγχου και ο υπολογισμός των σφαλμάτων της θέσης τους.	70
Εικόνα 7.3. Ψηφιακό Μοντέλο εδάφους της περιοχής μελέτης.	71

Πίνακες

Πίνακας 6.1. Οι συντεταγμένες των ογκόλιθων στην περιοχή του GCP 3 όπου έγιναν οι μετρήσεις μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap GIS, και στην συνέχεια με χρήση του λογισμικού BASEGRAIN μετρήθηκαν οι άξονες a, b.....	57
Πίνακας 6.2. Οι συντεταγμένες των ογκόλιθων στην περιοχή του GCP 8 όπου έγιναν οι μετρήσεις μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap GIS, και στην συνέχεια με χρήση του λογισμικού BASEGRAIN μετρήθηκαν οι άξονες a, b.....	58
Πίνακας 6.3. Οι συντεταγμένες των ογκόλιθων στην περιοχή του GCP 7 όπου έγιναν οι μετρήσεις μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap GIS, και στην συνέχεια με χρήση του λογισμικού BASEGRAIN μετρήθηκαν οι άξονες a, b.....	59
Πίνακας 6.4. Οι συντεταγμένες των ογκόλιθων στην περιοχή του GCP 4 όπου έγιναν οι μετρήσεις μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap GIS, και στην συνέχεια με χρήση του λογισμικού BASEGRAIN μετρήθηκαν οι άξονες a, b.....	60
Πίνακας 6.5. Οι συντεταγμένες των ογκόλιθων στην περιοχή του GCP 6 όπου έγιναν οι μετρήσεις μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap GIS, και στην συνέχεια με χρήση του λογισμικού BASEGRAIN μετρήθηκαν οι άξονες a, b.....	61
Πίνακας 6.6. Οι συντεταγμένες των ογκόλιθων στην περιοχή του GCP 5 όπου έγιναν οι μετρήσεις μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap GIS, και στην συνέχεια με χρήση του λογισμικού BASEGRAIN μετρήθηκαν οι άξονες a, b.....	62
Πίνακας 7.1. Ακρίβεια της θέσης των Check Points στο ορθομωσαϊκό χωρίς την χρήση GCP.....	69
Πίνακας 7.2. Ακρίβεια της θέσης των Ground Control Points στο ορθομωσαϊκό όπου λήφθηκαν υπόψιν τα εδαφικά σημεία ελέγχου.	69

Περίληψη

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την χρήση των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) σε ένα μεταπλημμυρικό περιβάλλον, όπως η περίπτωση του Ιανού στην περιοχή της Κεφαλονιάς με στόχο την αξιολόγηση της γεωχωρικής ακρίβειας των οπτικών προϊόντων από την εναέρια χαρτογράφηση της περιοχής όπου επλήγη. Παράλληλα με την εφαρμογή της τεχνικής ‘Structure from Motion’ με την χρήση ΣμηΕΑ, έγινε μη-επεμβατική μέτρηση του μεγέθους των ογκόλιθων όπου μεταφέρθηκαν, μέσω της τεχνικής της οπτικής κροκαλομετρίας. Για την μέτρηση του μεγέθους και των διαστάσεων των ογκόλιθων έγινε χρήση των εικόνων όπου συλλέχθηκαν με το σύστημα UAS, κατά μήκος της κοίτης όπου μελετήθηκε. Η μέθοδος Structure from Motion παρουσιάζει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα, αφενός τη μελέτη της περιοχής ταχύτερα και αφετέρου την εξέταση της μελλοντικά με περισσότερους τρόπους.

Λέξεις Κλειδιά: Φωτογραμμετρική Επεξεργασία, Μέθοδος RTK, Εδαφικά Σημεία Ελέγχου, Οπτική Κοκκομετρία

Abstract

This diploma thesis discusses the use of Unmanned Aerial Systems (UAS) in post-flood areas, such as the case of Medicane Ianos in the region of Cephalonia, with the objective to assess the geospatial accuracy of the image products from the aerial mapping of the affected region. Along with the use of the ‘Structure from Motion’ technique, the size of the boulders detected and transferred was measured with the non-invasive technique of optical granulometry. For the measuring of the size and the dimensions of the boulders, aerial images collected from the UAS system were used, alongside the streambed examined. The ‘Structure from Motion’ technique offers two considerable advantages, firstly the study of the region affected faster and, secondly, the further examination of the region in the future with multiple ways.

Key Words: Photogrammetrical Processing, RTK Method, Ground Control Points, Optical Granulometry

1. Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την χρήση των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) σε ένα μεταπλημμυρικό περιβάλλον, με στόχο την αξιολόγηση της γεωχωρικής ακρίβειας των οπτικών προϊόντων από την εναέρια χαρτογράφηση της περιοχής όπου επλήγη. Το ανάγλυφο της περιοχής όπου μελετήθηκε δεν ήταν περίπλοκο, και οι θέσεις των καμερών διορθώθηκαν χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές μεθοδολογίες.

Η χαρτογράφηση γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών, ιδιαίτερα στην ποτάμια γεωμορφολογία, με την χρήση συστημάτων UAS (Unmanned Aerial Systems) αποτελεί έναν αναδυόμενο κλάδο. Η χρήση συστημάτων UAS σε συνδυασμό με τη μέθοδο ‘Structure from Motion’ (SfM) σε περιοχές όπου έχουν σημειωθεί φυσικές καταστροφές, και κατ’ επέκταση στην χαρτογράφηση των επιπτώσεων από μεγάλες πλημμύρες μπορεί να προσφέρει υψηλής ακρίβειας τοπογραφικά δεδομένα, για την κατασκευή ψηφιακών μοντέλων εδάφους και την μελέτη των γεωμορφολογικών διεργασιών στην περιοχή όπου επλήγει (Dietrich, 2016; Marteau et al., 2016; Izumida et al., 2017). Η ικανότητα της τεχνικής όπου γίνεται χρήση UAS συστημάτων να υπολογίζει γεωμετρικούς παράγοντες του εδάφους, υποδεικνύει την συνεισφορά των οχημάτων UAS στις μελέτες υπαίθρου (Andreadakis et al., 2020). Ο συνδυασμός των συστημάτων UAS και της μεθόδου SfM έχει αποδειχθεί χρήσιμος σε πολυάριθμες γεωεπιστημονικές εφαρμογές (Westoby et al., 2012) και έχει συμβάλει στις τοπογραφικές μελέτες (Langhammer & Vacková, 2018).

Στην περιοχή λήψης των δεδομένων προς επεξεργασία, η χρήση των οχημάτων UAS εμφανίζει τρία σημαντικά πλεονεκτήματα (Kastridis et al., 2020). Αρχικά, η περιοχή μελέτης είναι εφικτό να επανεξεταστεί ψηφιακά, καθώς η φωτογραμμετρία επιτρέπει την αποθήκευση γεωμετρικών δεδομένων για χρήση σε μεταγενέστερη χρονική περίοδο. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις περιοχών όπου η ασφάλεια των μελετητών τίθεται σε κίνδυνο. Κατά δεύτερον, η επανεξέταση μίας περιοχής όπου έδρασε ένα πλημμυρικό φαινόμενο είναι πιθανό να μην είναι δυνατή. Τέλος, τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης ενδέχεται να αλλοιωθούν εξαιτίας της διάβρωσης και της απόθεσης υλικών, αλλά και των ανθρωπογενών ενεργειών για αποκατάσταση της περιοχής.

Ως εκ τούτου, ο εξοπλισμός όπου χρησιμοποιήθηκε για την λήψη των δεδομένων και την περαιτέρω μελέτη της περιοχής είναι το DJI Phantom 4 RTK, το οποίο διαθέτει δέκτη GNSS πολλαπλών συχνοτήτων. Το συγκεκριμένο UAS επιτρέπει την προσέγγιση σε πραγματικό χρόνο μέσω της τεχνικής NRTK (Network Real-Time Kinematic), καθώς και την επεξεργασία σε ύστερο χρόνο μέσω της τεχνικής PPK (Post-Processing Kinematic).

Παράλληλα με την εφαρμογή της τεχνικής της φωτογραμμετρίας με την χρήση ΣμηΕΑ, έγινε μη-επεμβατική μέτρηση του μεγέθους των ογκόλιθων όπου μεταφέρθηκαν, μέσω της τεχνικής της οπτικής κροκαλομετρίας. Έγινε χρήση των εικόνων όπου συλλέχθηκαν με το σύστημα UAS, κατά μήκος της κοίτης όπου μελετήθηκε. Ύστερα, κάθε εικόνα εισήχθη στο λογισμικό Matlab, χρησιμοποιώντας το πρόσθετο πρόγραμμα BASEGRAIN.

Το λογισμικό αποτελεί ένα εργαλείο αυτοματοποιημένης ανίχνευσης αντικειμένων για κοκκομετρική ανάλυση. Στο BASEGRAIN διενεργούνται 5 βήματα, αλγόριθμοι, οι οποίοι ανιχνεύουν τους κόκκους και τα διάκενα μεταξύ αυτών, διαχωρίζοντας τα από το υπόλοιπο έδαφος. Στο τελευταίο βήμα εξάγονται οι ιδιότητες των κόκκων και είναι δυνατή η εξαγωγή δεδομένων. Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα του λογισμικού είναι η ημι-αυτόματη χρήση του από τον χρήστη, ο οποίος μπορεί να επέμβει κατά το στάδιο της επεξεργασίας.

2. Φυσικές Καταστροφές Πλημμυρικού Χαρακτήρα

2.1 Φαινόμενα Μεσογειακών Κυκλώνων

Η Μεσόγειος Θάλασσα θεωρείται μία περιοχή, η οποία ευνοεί την ανάπτυξη κυκλώνων (Petterssen, 1956). Παρά το γεγονός ότι οι κυκλώνες στην περιοχή της Μεσογείου παρουσιάζουν χαρακτηριστικά τροπικών κυκλώνων θεωρείται αμφισβητήσιμο, ένας Μεσογειακός Κυκλώνας (Medicane) μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία έντονη, θαλάσσια καταιγίδα με την ύπαρξη ενός πυρήνα καλά σχηματισμένου και την δράση επιφανειακές θυελλώδεις αναταραχές (Dafis et al., 2018).

Οι Μεσογειακοί Τροπικοί Κυκλώνες προκύπτουν από εξωτροπικούς κυκλώνες (ECs), οι οποίοι πραγματοποιούν μία μετάβαση σε τροπικούς πάνω από την Μεσόγειο Θάλασσα (Emanuel, 2005; Moscatello et al., 2008). Παράλληλα, μοιάζουν με τροπικούς κυκλώνες καθώς παρατηρείται η ανάπτυξη ενός θερμού πυρήνα, μία συμμετρική δομή και νέφη συγκεντρικής συναγωγής θερμότητας γύρω από το κεντρικό μάτι του κυκλώνα (Tous & Romero, 2013).

Οι περισσότερο έντονοι Μεσογειακοί Κυκλώνες σχετίζονται με ζώνες μεταφοράς θερμότητας και διεισδύσεις ξηρών ανέμων, παρόμοιες με εκείνες των ισχυρών εξωτροπικών κυκλώνων, αλλά σημαντικά μικρότερης κλίμακας. Η ροή των ρευμάτων είναι καθοριστική για την μεταφορά θερμού αέρα και υγρασίας στο κέντρο του κυκλώνα, προτού ο κυκλώνας φτάσει σε ώριμο στάδιο. Τα συγκεκριμένα δυναμικά χαρακτηριστικά είναι αντιπροσωπευτικά τόσο των εξωτροπικών κυκλώνων, όσο και των Μεσογειακών Κυκλώνων. Ταυτόχρονα, τα χαρακτηριστικά αυτά είναι επίσης ορατά στους τροπικούς κυκλώνες.

Τα κοινά χαρακτηριστικά με τους τροπικούς κυκλώνες είναι το κεντρικό μάτι και η σπειροειδής κάλυψη πυκνού νέφους (Ziakopoulos and Marinaki, 1996; Claud et al., 2010; Tous & Romero, 2013). Σε ώριμο στάδιο, οι καταιγίδες μεσογειακού τύπου εντείνονται, διατηρούνται και ανατροφοδοτούνται μεταξύ της επιφάνειας διακύμανσης ενθαλπίας και του ανέμου, όντας παρόμοιες με τους τροπικούς κυκλώνες (Emanuel, 2005).

Οι μεσογειακοί κυκλώνες συγκριτικά με τους τροπικούς κυκλώνες παρουσιάζουν μικρότερη ένταση, διάρκεια ζωής και μέγεθος (Flaounas et al., 2015). Κοντά στην επιφάνεια του κυκλώνα παρατηρείται έντονη αστάθεια, κατά την προσπάθεια ανύψωσης κρύας μάζας αέρα (Pytharoulis et al., 2000). Παράλληλα, οι συνθήκες αυτές καθορίζουν την ένταση του φαινομένου (Bister & Emanuel, 2002). Ο ψυχρός αέρας κάτω από το ανώτερο χαμηλό, ύστερα από ανύψωση και περαιτέρω ψύξη (Hoskins et al., 1985), ευνοεί την ανάπτυξη τροπικών κυκλώνων.



Εικόνα 2.1. Ο Μεσογειακός κυκλώνας Ιανός προσεγγίζοντας τον Ελλαδικό χώρο στις 17 Σεπτεμβρίου 2020.

Επομένως, οι Μεσογειακοί κυκλώνες αναπτύσσονται στις περιοχές της Μεσογείου, όπου μάζες κρύου αέρα διεισδύουν στην ανώτερη τροπόσφαιρα, προκαλώντας θερμοδυναμική αστάθεια στην ατμόσφαιρα. Οι συγκεκριμένες μεταβολές είναι παρόμοιες με εκείνες κατά τον σχηματισμό τροπικών κυκλώνων (Cavicchia et al., 2014).

Συμπερασματικά, τα βασικά κριτήρια για τον χαρακτηρισμό μίας καταιγίδας ως «Μεσογειακός Τροπικός Κυκλώνας» (Medicane) είναι:

1. Η ύπαρξη ενός καλά σχηματισμένου «ματιού» στο κέντρο του κυκλώνα
2. Μία συμμετρική διάταξη των νεφών γύρω από το κέντρο του κυκλώνα
3. Μία συνεχής, σπειροειδής κάλυψη νεφών
4. Η διάμετρος της ισχυρής καταιγίδας να είναι μεγαλύτερη από 300 km
5. Η διάρκεια του φαινομένου να είναι μεγαλύτερη των 6 hr (Tous & Romero, 2013).

Η αξιολόγηση του κινδύνου, ο οποίος σχετίζεται με την ανάπτυξη έντονων καταιγίδων, Μεσογειακών Τροπικών Κυκλώνων είναι σημαντικό να προσδιοριστεί. Οι Μεσογειακοί Τροπικοί Κυκλώνες μπορούν να προκαλέσουν κοινωνικές, πολιτικές καταστροφές μεγάλης έκτασης, κυρίως σε νησιωτικές και παράκτιες περιοχές (Michaelides et al., 2018).

Η λεκάνη της Μεσογείου αποτελεί μία από τις κύριες περιοχές γένεσης κυκλώνων σε παγκόσμιο επίπεδο (Ulbrich et al., 2009; Neu et al., 2013;), όπου σε ορισμένες περιπτώσεις τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, οι άνεμοι και οι πλημμύρες εμφανίζουν αυξημένο αντίκτυπο (Jansa et al., 2000; Kotroni et al., 2006).

Οι μεσογειακοί κυκλώνες είναι χαμηλά βαρομετρικά συστήματα, των οποίων η ανάπτυξη και ροή ενισχύονται από τις οροσειρές των Άλπεων και των Πυρηναίων (Buzzi & Tibaldi, 1978), καθώς και από την οροσειρά του Άτλαντα στη Βόρεια Αφρική.

Οι Μεσογειακοί κυκλώνες παρουσιάζουν μικρή συχνότητα εμφάνισης στην περιοχή της Μεσογείου, εξαιτίας των μικρών διαστάσεών της, με αποτέλεσμα να μην ευνοείται η ανάπτυξη τροπικών συστημάτων. Παρόλα αυτά, η γεωγραφική ιδιαιτερότητα των χωρών της Μεσογείου, οι οποίες συνίστανται από περιθωριακούς ορεινούς όγκους και εγκοιλώσεων, χαρακτηριστικά τα οποία βοηθούν στην ανάπτυξη ευνοϊκών συνθηκών σχηματισμού των μεσογειακών κυκλώνων. Αυτές είναι κυρίως η έντονη κατακόρυφη μεταφορά και η συνεισφορά θερμού και πλούσιου σε υγρασία αέρα, προερχόμενου από τα ύδατα της Μεσογείου, μία διαδικασία που ευνοείται κυρίως μετά το πέρας του καλοκαιριού, προς το φθινόπωρο (Emanuel, 2005).

Η παρακολούθηση των Μεσογειακών κυκλώνων και η εξακρίβωση των φυσικών ιδιοτήτων τους αποτελεί μία πρόκληση για τους σχετικούς αλγορίθμους. Αυτό οφείλεται σε δύο βασικά χαρακτηριστικά του φαινομένου. Αρχικά, η δυσκολία έγκειται στη μεγάλη διακύμανση της έντασης, του μεγέθους και την διάρκεια ζωής. Κατά δεύτερον, συμβάλλει ο παράγοντας του πολύπλοκου ανάγλυφου της περιοχής της Μεσογείου, με απότομες μεταβάσεις μεταξύ θάλασσας και βραχώδους γης (Flaounas et al., 2015).

Εξαιτίας των περιορισμένου δικτύου παρατήρησης μετεωρολογικών φαινομένων στη Μεσόγειο, οι δορυφόροι αποτελούν την μόνη αξιόπιστη πηγή πληροφορίας για τους κυκλώνες (Dafis et al., 2020).

Παρά τη μείωση στη συχνότητα εμφάνισης τους, οι Μεσογειακοί κυκλώνες παρατηρείται ότι γίνονται περισσότερο καταστροφικοί τον τελευταίο αιώνα, παρουσιάζονται μεγαλύτερη διάρκεια, ισχυρότερους ανέμους και βροχοπτώσεις, την περίοδο του φθινοπώρου. Η επίδραση τους είναι έντονη, προκαλώντας σημαντικές καταστροφές στο φυσικό περιβάλλον, και επιφέρουν κοινωνικές, οικονομικές επιπτώσεις (González-Alemán et al., 2019).

Οι κυκλωνικές καταιγίδες, οι οποίες εμφανίζονται όμοιες στις δορυφορικές εικόνες με τους τροπικούς κυκλώνες αναπτύσσονται πάνω από την περιοχή της Μεσογείου. Οι αναλύσεις μικρής και μέση κλίμακας των μεσογειακών κυκλώνων παρουσιάζουν μικρές δομές με θερμό πυρήνα και ταχύτητες ανέμου επιφάνειας, όπου σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνούν τα 25 m/s σε μικρής έκτασης περιοχές (Emanuel, 2005).

2.2 Ιανός: Ο Μεσογειακός Κυκλώνας του Σεπτεμβρίου 2020

Ο Μεσογειακός κυκλώνας Ιανός έδρασε στον Ελλαδικό χώρο από τις 17 έως 20 Σεπτεμβρίου 2020. Η εκδήλωση του προκάλεσε σημαντικές καταστροφές, εξαιτίας των ισχυρών ανέμων και της συνεχούς βροχόπτωσης. Η περιοχή όπου κυρίως επηρεάστηκε καταλαμβάνει τα νησιά του Ιονίου πελάγους, την Δυτική Πελοπόννησο και ηπειρωτική Ελλάδα, καθώς και περιοχές της κεντρικής Ελλάδας. Ο Μεσογειακός Κυκλώνας Ιανός ήταν υπεύθυνος για την μεταφορά ακραίας ποσότητας υδρατμών πάνω από την Ελλάδα και κατά συνέπεια για την εκδήλωση ραγδαίων βροχοπτώσεων.

Στη Νήσο Κεφαλονιά, η οποία αποτελεί την ευρύτερη περιοχή μελέτης, σημειώθηκαν επιπτώσεις (εικόνα 2.2) ιδιαίτερα σε παράκτιες υποδομές και στις ακτές. Οι λιμενικές εγκαταστάσεις και το οδικό δίκτυο κατακλύστηκαν από φερτά υλικά, με αποτέλεσμα το τοπίο να μεταβληθεί σημαντικά. Παράλληλα, τα κτήρια υπέστησαν βλάβες σε δομικά και μη δομικά στοιχεία, εξαιτίας των πλημμυρικών φαινομένων και της ροής κορημάτων. Ορισμένες παλαιότερες κατοικίες υπέστησαν δομικές βλάβες, σε βαθμό όπου κατέρρευσαν μερικώς ή ολικώς.



Εικόνα 2.2. Χάρτης θέσεων με τις μεγαλύτερες επιπτώσεις του Ιανού στην Κεφαλονιά (Lekkas et al., 2020).

Αντίστοιχα στην ενδοχώρα, οι ροές κορημάτων και οι λασποροές όπου εκδηλώθηκαν κατά την διάρκεια του Ιανού, μέσω των διαδικασιών διάβρωσης και απόθεσης κατέκλισαν το οδικό δίκτυο διακόπτοντας την κυκλοφορία και εγκλωβίζοντας σταθμευμένα οχήματα. Ορισμένα οχήματα παρασύρθηκαν από τα ύδατα της πλημμύρας, όπου προκλήθηκε από τον Ιανό. Επίσης, ορισμένα σκάφη παρασύρθηκαν από τα θαλάσσια κύματα και προσέκρουσαν σε προβλήτες, ενώ ορισμένα βυθίστηκαν. Δημόσιοι και ιδιωτικοί χώροι κατακλύστηκαν από φερτά υλικά, με συνέπεια τον αποκλεισμό των εισόδων των ισόγειων κατοικιών και την πρόκληση ήπιων, μη δομικών βλαβών (Lekkas et al., 2020).



Εικόνα 2.3. Φερτά υλικά κατέκλυσαν τμήματα του οδικού δικτύου, και δημόσιους και ιδιωτικούς χώρους του νησιού (Lekkas et al., 2020).

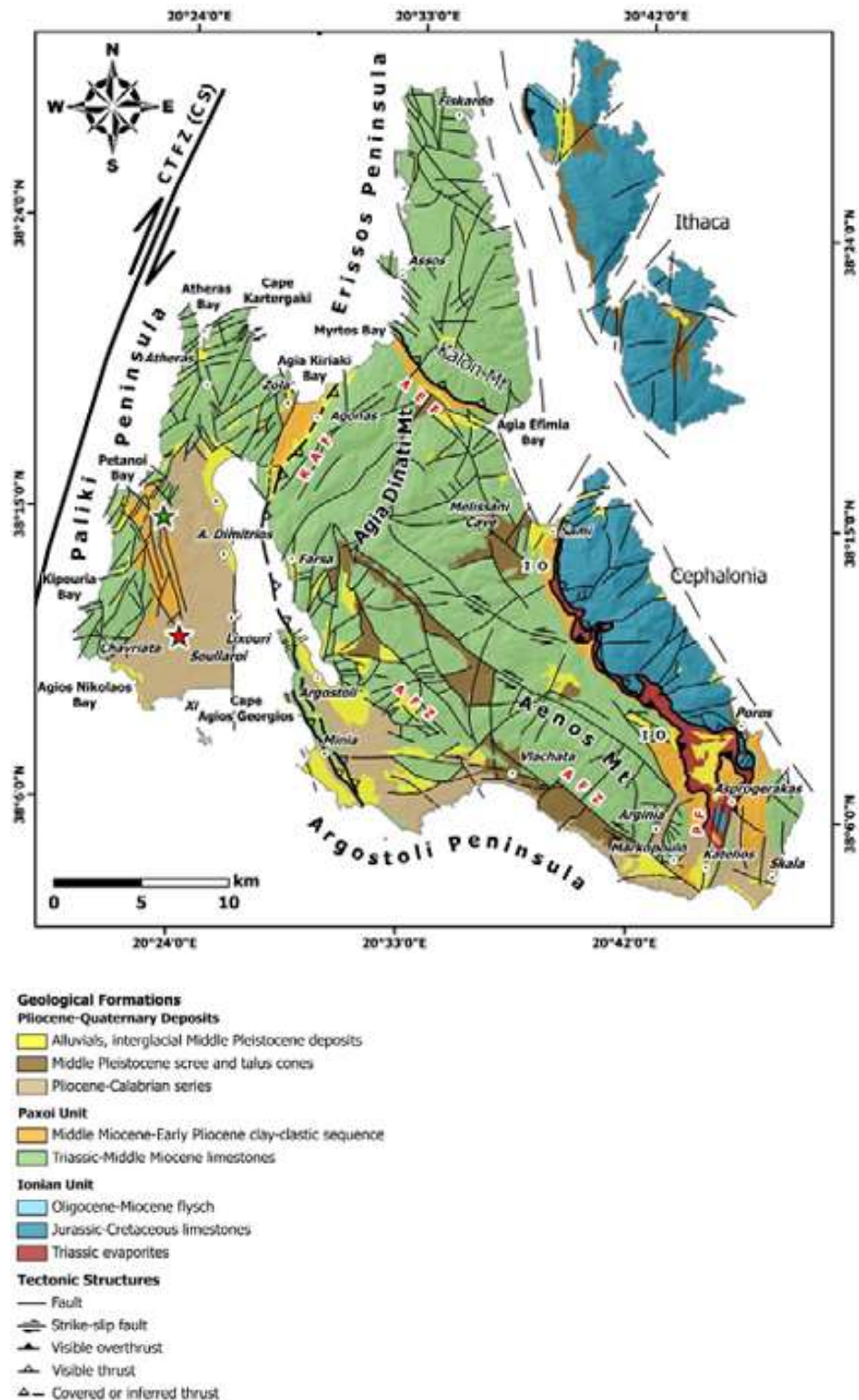
2.3 Γεωμορφολογία και Γεωλογία της Κεφαλονιάς

Η Κεφαλονιά, ή αλλιώς Κεφαλληνία, είναι νησί του Ιονίου πελάγους κι ανήκει στα Επτάνησα. Το νησί καταλαμβάνει έκταση 781 km², σε μία ενεργή τεκτονικά περιοχή. Η Κεφαλονιά αποτελεί το μεγαλύτερο και πιο ορεινό νησί του Ιονίου Πελάγους. Ένα σημαντικό τμήμα του νησιού καταλαμβάνεται από την οροσειρά του Αίνου, όπου το μεγαλύτερο υψόμετρο του είναι 1.628 m (Gaki-Papanastassiou et al., 2011).



Εικόνα 2.4. Το νησί της Κεφαλονιάς (Landsat/ Copernicus)

Η εξέλιξη του νησιού εξαρτάται σημαντικά από τις κινήσεις του Ελληνικού τόξου, το οποίο διευθετείται δυτικά της Κεφαλονιάς. Οι γεωδυναμικές διεργασίες της περιοχής σχετίζονται με την ενεργή καταβύθιση της Αφρικανικής λιθόσφαιρας κάτω από την Ευρασιατική πλάκα (Karymbalis et al., 2013).



Εικόνα 2.5. Γεωλογικός χάρτης της Κεφαλονιάς (Mavroulis et al., 2017).

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από δύο κύριες γεωλογικές ενότητες: την ενότητα Παξών (ή Προαπουλία) (Underhill, 1985), η οποία καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του νησιού και αποτελεί την σχετικά αυτόχθονη ενότητα (Lekkas et al., 2001) και από την Ιόνια ενότητα, η οποία καταλαμβάνει ένα σχετικά μικρό τμήμα στα ανατολικά (BP Co Ltd, 1971; IGME, 1985).

Παράλληλα, πέρα από τους αλπικούς σχηματισμούς όπου συναντώνται στην περιοχή, συναντώνται και νεότεροι πλειοτεταρτογενείς (μεταλπικοί) σχηματισμοί, οι οποίοι αποτίθενται ασύμφωνα στους αλπικούς (Renz, 1955; Aubouin, 1959; Aubouin and Dercourt, 1962; Georgiadou-Dikaiouli, 1967; BP Co, 1971; BP Co et al., 1985; Stavropoulos, 1988; Underhill, 1989; Lekkas, 1996; Lekkas et al., 2001).

Αναφορικά με την ενότητα Παξών, στην Κεφαλλονιά εμφανίζονται τα ανώτερα μέλη της ανθρακικής σειράς, τα οποία χρονολογούνται στην περίοδο Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Μειόκαινο, καθώς και η αργιλοκλαστική φλυσχική σειρά, η οποία αποτελεί την κανονική συνέχεια της προηγούμενης, αντιστοιχώντας στο διάστημα Μέσο Μειόκαινο - Κατώτερο Πλειόκαινο (BP Co., 1971). Η ανθρακική σειρά εμφανίζει σημαντική διαφοροποίηση στους ιζηματογενείς της χαρακτήρες κατά τη διάρκεια του Κρητιδικού, η οποία υποχωρεί κατά το Τριτογενές (Lekkas et al. 2001).

Η Ιόνια ενότητα αποτελεί την αλλόχθονη τεκτονικά ενότητα, αποτελούμενη από εβαπορίτες του Τριαδικού, με στρώματα από γύψους, υπολλειματικά άστρωτα λατυποπαγή και δολομίτες. Στην συνέχεια, κατά το Ανώτερο Τριαδικό έως Μέσο Λιάσιο απαντάται ανθρακική σειρά, αποτελούμενη από δολομίτες, φυκώδεις ασβεστόλιθους και ασβεστόλιθους με πυριτόλιθους (BP Co, 1971).

Επίσης, συναντώνται φάσεις Ammonitico Rosso από ασβεστοσχίστες και ερυθρούς ασβεστόλιθους στο Τοάρσιο, ασβεστόλιθοι με πυριτόλιθους και σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες στο Δογγέριο, και πελαγικοί ασβεστόλιθοι όπου μεταβαίνουν σε λατυποπαγείς προς την κορυφή της σειράς στο Κρητιδικό (Renz, 1955; BP Co., 1971).

Οι μεταλλικοί σχηματισμοί όπου έχουν αποθεθεί ασύμφωνα στο αλπικό υπόβαθρο, διακρίνονται σε μία κατώτερη σειρά θαλάσσιων ιζημάτων (Κατώτερο Πλειόκαινο-Κατώτερο Πλειστόκαινο) και μία ανώτερη σειρά αποθέσεων ηπειρωτικού χαρακτήρα (Μέσο-Ανώτερο Πλειστόκαινο – Ολόκαινο) (Georgiadou-Dikaiouliá, 1967; BP Co, 1971; Sorel, 1976).

Οι ανώτεροι σχηματισμοί Μέσου-Ανώτερου Πλειστόκαινου – Ολόκαινου εμφανίζονται κυρίως στη χερσόνησο του Αργοστολίου-αεροδρομίου. Πρόκειται για σχηματισμούς ηπειρωτικού, σπάνια θαλάσσιου χαρακτήρα (Lekkas & Mavroulis, 2015).

3. Καινοτόμες Μέθοδοι Χαρτογράφησης Φυσικών Καταστροφών

3.1 Τεχνικές Τηλεανίχνευσης

Η τηλεανίχνευση (Remote Sensing) καλείται η μέθοδος απόκτησης δεδομένων και πληροφοριών για αντικείμενα, περιοχές και φαινόμενα όπου βρίσκονται στην γήινη επιφάνεια, από ειδικά όργανα τα οποία δεν βρίσκονται σε φυσική επαφή με τα αντικείμενα, μέσω της χρήσης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Συνεπώς, η τηλεπισκόπηση μπορεί να οριστεί ως αναγνώριση από απόσταση.

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης μπορούν να ταξινομηθούν σε παθητικά και ενεργητικά. Οι παθητικοί αισθητήρες καταγράφουν την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ακτινοβολία με πηγή ακτινοβολίας τον ήλιο, ενώ οι ενεργητικοί αισθητήρες στέλνουν και δέχονται πίσω τα μικροκυματικά σήματα, με πηγή και δέκτη της ακτινοβολίας τον ίδιο τον αισθητήρα). Τα λαμβανόμενα σήματα από τον αισθητήρα καταγράφονται τόσο σε αναλογική όσο και σε ψηφιακή μορφή. Τα αναλογικά δεδομένα είναι υλικό τυπωμένο σε χαρτί όπως οι αεροφωτογραφίες, ενώ τα ψηφιακά δεδομένα είναι υλικό που βρίσκεται σε δυαδική μορφή και μπορεί να το διαχειριστεί κάποιος σε έναν Η/Υ.

3.2 Νέες Τεχνολογίες στην Τηλεανίχνευση – Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ)

Η χαρτογράφηση περιοχών χρησιμοποιώντας μη επανδρωμένα συστήματα έχει μελετηθεί από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα (Przybilla and Wester-Ebbinghaus, 1979; Wester-Ebbinghaus, 2006). Η πλοήγηση και οι αισθητήρες σταδιακά ενσωματώθηκαν στα συστήματα μέσω ραδιοελέγχου, με στόχο την λήψη εικόνων χαμηλού υψηλής ανάλυσης, από χαμηλό υψόμετρο (Colomina & Molina, 2014).

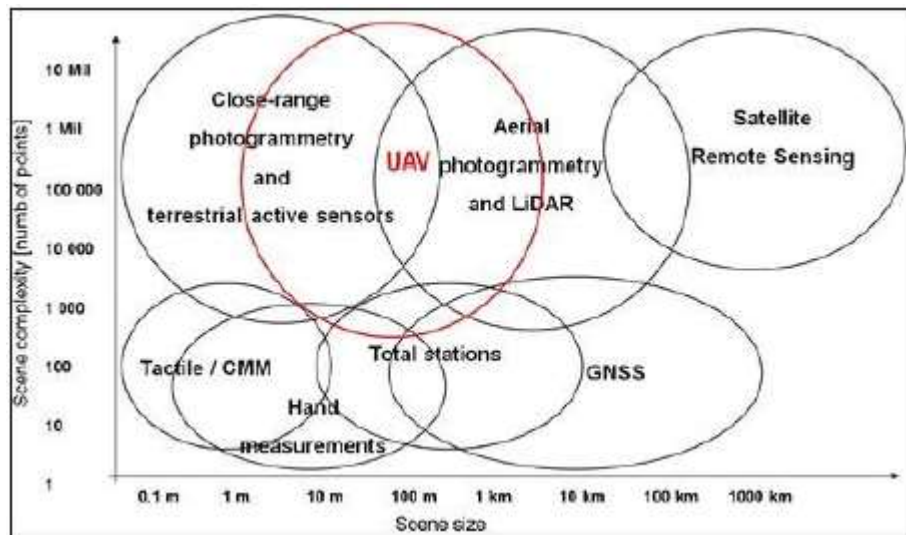


Εικόνα 3.1. Κατηγορίες Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (Colomina & Molina, 2014).

Η τηλεανίχνευση με συστήματα Unmanned Aerial Systems (UAS) μπορεί να αποδώσει δεδομένα υψηλής ανάλυσης όσον αφορά τα χαρακτηριστικά όπου χαρτογραφούνται, ενώ σε περιπτώσεις χρήσης επανδρωμένου αεροσκάφους ή δορυφορικών συστημάτων η ακρίβεια είναι χαμηλότερη (Harwin & Lucieer, 2012).

Οι έρευνες σχετικά με τις εφαρμογές των μη επανδρωμένων οχημάτων Unmanned Aerial Vehicles (UAV) και συστημάτων UAS σε περιπτώσεις διαχείρισης των επιπτώσεων φυσικών καταστροφών και ανίχνευσης των ζημιών όπου συνέβησαν έχουν ραγδαία αυξηθεί την τελευταία δεκαετία (Giordan et al., 2018). Στα πλαίσια της έρευνας με τηλεανίχνευση, η τεχνολογική ανάπτυξη στο πεδίο των μη επανδρωμένων συστημάτων έχει διευρύνει τις εμπορικότητα τους και τις χρήσεις τους (Bendea et al., 2008).

Συνεπώς, η χρήση μικρών UAS συστημάτων είναι πρακτική για μικρές περιοχές και ιδανική για περιοχές με κατολισθήσεις, οι οποίες καλύπτουν μία περιοχή όπου κυμαίνεται μεταξύ ενός έως μερικών τετραγωνικών χιλιομέτρων. Οι εικόνες υψηλής ανάλυσης όπου έχουν ληφθεί από τα συστήματα UAS μπορούν να προσφέρουν πληροφορίες για την περιοχή όπου έχει αναπτυχθεί η κατολίπηση, καθώς και για την ανίχνευση και χαρτογράφηση των κύριων γεωμορφολογικών δομών (Fiorucci et al., 2017).



Εικόνα 3.2. Τα διαθέσιμα όργανα, αισθητήρες και πλατφόρμες σύμφωνα με την ανάλυση και το μέγεθος της πληροφορίας όπου παρέχουν (Nex & Remondino, 2013).

Η ικανότητα επόπτευσης της περιοχής μελέτης από ένα σημείο κοντά σε αυτή, διατηρώντας μία απόσταση ασφαλείας από την περιοχή αποτελεί ορισμένες φορές μία σημαντική συνθήκη ειδικά σε ορεινές και απομονωμένες περιοχές (Fiorucci et al., 2017). Γενικότερα, ο σύντομος χρόνος εφαρμογής της μεθόδου και η ευελιξία όσον αφορά τον χρόνο και τον εξοπλισμό καθιστούν την συγκεκριμένη προσέγγιση αρκετά αποτελεσματική, συγκριτικά με τις συμβατικές μεθόδους μελέτης.

Παρόλα αυτά, η χρήση συστημάτων UAS είναι προτιμότερη σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές, όπου συνήθως η βλάστηση είναι λιγότερο πυκνή. Σε περιοχές με έντονη βλάστηση είναι δυνατή η αφαίρεση των σημείων όπου συνδέονται με βλάστηση από την επεξεργασία του νέφους σημείων (point cloud). Επομένως, κατά την διαδικασία της λήψης εικόνων απαιτείται καλύτερη αλληλοεπικάλυψη στις εικόνες και βέλτιστη διάκριση στα σχήματα και τα χρώματα των διαφορετικών τύπων βλάστησης. Τα σημεία όπου σχετίζονται με βλάστηση ομαδοποιούνται, έτσι ώστε να μπορούν να αφαιρεθούν από το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (Andreadakis et al., 2020). Η διαθεσιμότητα του χρόνου, η ασφάλεια και η προσβασιμότητα αποτελούν σημαντικούς παράγοντες όπου περιορίζουν τον συνολικό χρόνο μελέτης στην ύπαιθρο. Επίσης, με την πάροδο του χρόνου ύστερα από την αρχική έρευνα σε ένα μεταπλημμυρικό περιβάλλον, υπάρχει πιθανότητα απώλειας σημαντικών πληροφοριών.

Γενικά, η προσέγγιση μίας περιοχής με χρήση σύστημα UAS, παρά τους περιορισμούς της είναι ιδιαίτερα πρακτική. Η δυνατότητα λήψης δεδομένων από πολλαπλά μέρη σε μία περιοχή μπορεί να διασαφηνίσει την πρόοδο των φυσικών και δυναμικών διεργασιών. Η ακρίβεια και η λεπτομέρεια των δεδομένων όπου λαμβάνονται με τα UAS βασίζονται στην ακρίβεια του προσδιορισμού της θέσης της κάμερας την κάθε στιγμή όπου λαμβάνεται μία εικόνα. Για μέγιστη ακρίβεια χρησιμοποιείται εξοπλισμός λήψης σήματος GNSS, ο οποίος μεταφέρεται με το UAV. Η ακρίβεια εξαρτάται αφενός από το είδος του εξοπλισμού (κεραία) και αφετέρου από την μέθοδο επίλυσης για τον προσδιορισμό της θέσης.

3.3 Συστήματα GNSS (Global Navigation Satellite System)

Το σύστημα GNSS συνίσταται από τρία βασικά τμήματα (B.Y. James, 2005). Αρχικά, σημαντικό ρόλο στην λειτουργία του συστήματος διαδραματίζει το δορυφορικό τμήμα, το οποίο αποτελείται από δορυφόρους όπου κινούνται γύρω από την Γη. Κατά δεύτερον, το επίγειο τμήμα ελέγχου αποτελείται από επίγειους σταθμούς παρακολούθησης με γνωστές συντεταγμένες και σταθμούς τηλεπικοινωνιών σε μόνιμες θέσεις, με στόχο την παρακολούθηση της τροχιάς των δορυφόρων και την επεξεργασία των δεδομένων. Τέλος, σημαντικό ρόλο έχουν οι χρήστες στην γη, οι οποίοι διαθέτουν δέκτες GNSS. Σύγχρονα συστήματα δορυφορικής πλοήγησης και εντοπισμού είναι το αμερικάνικο GPS (Global Positioning System), το Ευρωπαϊκό Galileo, το ρώσικο σύστημα GLONASS και το κινέζικο Beidou.

Τα συστήματα GNSS είναι υψηλής ακρίβειας, λειτουργικότητας, μπορούν να εκτελέσουν πληθώρα εντολών και λειτουργούν υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Παράλληλα, η χρήση του δεν απαιτεί έξοδα εγγραφής σε κάποια πλατφόρμα και έξοδα εγκατάστασης.

Όπως κάθε σύστημα αισθητήρων, τα συστήματα GNSS παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα. Η ακρίβεια και η διαθεσιμότητα τους εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες, όπως η τροχιά του δορυφόρου και η ακρίβεια μέτρησης της μεταξύ τους απόστασης και οι καιρικές συνθήκες. Παράλληλα, οι συντεταγμένες του δορυφόρου και η διαθεσιμότητα των δορυφόρων στην ακτίνα του δέκτη επίσης επηρεάζουν την ακρίβεια των μετρήσεων. Για την επίλυση του εκάστοτε προβλήματος έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι, οι οποίες προσφέρουν ακριβέστερο, άμεσο προσδιορισμό θέσης. Όταν ένας δορυφόρος δεν μεταδίδει ή μεταδίδει εσφαλμένα σήματα, τα σήματα αυτά ακυρώνονται από τις ενδείξεις κάποιου άλλου δορυφόρου της ομάδας.

Η χρήση συστημάτων υψηλής ακρίβειας για εδαφική έρευνα όπως τα συστήματα GNSS, επιτρέπουν την λήψη τοπογραφικών δεδομένων ακρίβειας 2-3 cm, χωρίς περιορισμούς όπου αφορούν το οπτικό πεδίο και την μετέπειτα επεξεργασία των κλασσικών μεθόδων έρευνας.

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος μέτρησης GNSS έχουν ως ακολούθως:

- α. Παγκόσμια κάλυψη
- β. Δυνατότητα χρήσης του συστήματος καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και της νύχτας όλον τον χρόνο
- γ. Ανεξάρτητο από τις καιρικές συνθήκες (βροχή, χιόνι, ομίχλη)
- δ. Προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο
- ε. Εύκολος και γρήγορος προσδιορισμός θέσης παρατήρησης
- στ. Δεν απαιτείται ορατότητα μεταξύ των δεκτών
- ζ. Έκφραση συντεταγμένων θέσης παρατήρησης σε κοινό σύστημα αναφοράς (WGS'84 κ.ά.).
- η. Μεγάλο εύρος εφαρμογών (τοπογραφία, γεωδαισία, αεροπλοΐα κ.ά.)

Όλες οι μετρήσεις GNSS πραγματοποιούνται σε σχέση με ένα ελλειψοειδές σύστημα αναφοράς, όπως το WGS84. Παρόλα αυτά, η χρήση ορισμένων αλγορίθμων μπορούν να μετατρέψουν τις μετρήσεις για το σύστημα αναφοράς WGS84, σε εθνικά συστήματα αναφοράς.

3.4 Μέθοδος RTK

Κατά την διάρκεια μέτρησης της θέσης των εδαφικών σημείων ελέγχου (Ground Control Points), εφαρμόζονται συνηθισμένες τοπογραφικές τεχνικές όπως δέκτες του Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης (GNSS) και τοπογραφικά όργανα, όπως πλήρως εξοπλισμένοι σταθμοί. Η χρήση φυσικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης ως σημεία εδαφικού ελέγχου (GCPs) αποτελεί μία συνηθισμένη τακτική, όμως η πιο παγιωμένη μέθοδος είναι εκείνη της χρήσης τεχνητών, αριθμημένων στόχων, ομογενώς κατανεμημένων στη περιοχή ενδιαφέροντος (Terrati Losè et al., 2020).

Η απευθείας γεω-αναφορά βασισμένη σε υψηλής ακρίβειας συστήματα GNSS αποτελεί μία σύγχρονη λύση για την αποφυγή της τοποθέτησης εδαφικών σημείων ελέγχου (GCPs), όμως απαιτείται η ακριβής γεω-αναφορά των εναέριων εικόνων την στιγμή της λήψης (Zhang et al., 2019). Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη μεθόδων μέτρησης όπως τα συστήματα Αδρανειακών Μονάδων Μέτρησης (inertial measurement unit-IMU) και το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (GNSS), η μέθοδος της κινηματικής σε πραγματικό χρόνο RTK (real-time kinematic) και μετα-επεξεργασίας PPK (post-processing kinematic) αποτελούν λύσεις για ακριβείς μετρήσεις με UAS. Με την διπλή διαφοροποίηση, τα πιθανά σφάλματα στη διαφορά φάσης μεταξύ δύο δεκτών GNSS–GPS, η ατμοσφαιρική επίδραση και το σφάλμα του χρόνου στο ρολόι των δεκτών μπορούν να ελαχιστοποιηθούν. Ο προσδιορισμός της θέσης με RTK μέθοδο απαιτεί σταθερή ραδιοσύζευξη ή διαδικτυακή σύζευξη μεταξύ της βάσης και του UAS, σε αντίθεση με την μέθοδο PPK όπου τα δεδομένα επεξεργάζονται μετά την πτήση και δεν τίθεται κίνδυνος απώλειας δεδομένων, λόγω διακοπής της σύζευξης (Giordan et al., 2018).



Εικόνα 3.3. Το DJI PHANTOM 4 RTK όπου χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα.

Σε τοπογραφικές έρευνες, όπου η λήψη μεγάλου όγκου δεδομένων είναι αναγκαία, η κινηματική μέθοδος είναι η αποτελεσματικότερη προσέγγιση. Η μέθοδος περιλαμβάνει τη περίοδο προετοιμασίας, κατά την οποία το σύστημα αναφοράς και το σύστημα UAS (Unmanned Aerial System) τοποθετούνται σε μία γραμμή βάσης. Η θέση του κινούμενου UAS (Unmanned Aerial System) καθορίζεται σε σύντομο χρονικό διάστημα με την συνεισφορά τουλάχιστον τεσσάρων δορυφόρων, συνήθως 1 ± 4 s.

Συνήθως, ο προσδιορισμός της θέσης επεξεργάζεται μετά την πτήση, παρά την ύπαρξη της μεθόδου 'Realtime kinematic' (RTK). Η μέθοδος απαιτεί ραδιοσύζευξη μεταξύ των δεκτών για την τηλεμετρία των δεδομένων, όπου η επεξεργασία και ο υπολογισμός των συντεταγμένων πραγματοποιείται σε σύνδεση. Η πληροφορία μπορεί να επεξεργαστεί από την μονάδα του συστήματος, επιτρέποντας στον χρήστη τον έλεγχο της αξιοπιστίας και την διασφάλιση της λήψης δεδομένων μέσω των δορυφόρων (Abernethy & Rutherford, 2000).

Γενικότερα, κατά την μέτρηση το σύστημα GNSS-RTK λαμβάνει δεδομένα ταυτόχρονα με δύο άλλους δέκτες GPS (Morales & Tsubouchi, 2007). Ο ένας εξ' αυτών βρίσκεται στον σταθμό αναφοράς με γνωστές συντεταγμένες, ενώ ο δεύτερος μετρά τις συντεταγμένες ενός αγνώστου σημείου, καθώς το κινούμενο σύστημα μπορεί να βρίσκεται εν κινήσει ή να παραμένει στάσιμο. Συμπερασματικά, ένα σύστημα εντοπισμού GNSS-RTK περιλαμβάνει ένα σταθμό εντοπισμού, ένα κινούμενο σταθμό και το σύστημα επικοινωνίας.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου RTK, ο σταθμός αναφοράς λαμβάνει δορυφορικό σήμα GNSS, και στέλνει τις παρατηρήσεις και τις συντεταγμένες του σταθμού παρατήρησης στον κινούμενο μέσω ενός καναλιού μεταφοράς δεδομένων. Ο κινούμενος σταθμός υπολογίζει την διαφορά φάσης από κάθε δορυφόρο, διαμορφώνοντας το σήμα. Ο κινούμενος σταθμός συγκεντρώνει δεδομένα παρατήρησης GNSS, πέρα από την συλλογή δεδομένων από τον σταθμό αναφοράς, συνθέτοντας διαφορετικές παρατηρήσεις για την εφαρμογή της μεθόδου 'Real-Time Kinematic'. Ο σταθμός αναφοράς μετατρέπει την τιμή της απόστασης του δορυφόρου στην πραγματική απόσταση, συμβάλλοντας σε σημαντικά ακριβέστερα αποτελέσματα. Οι κυριότεροι λόγοι όπου καθιστούν την μέθοδο αποτελεσματική, είναι η ταχύτατη εύρεση του σφάλματος και η πραγματοποίηση της μεταφοράς των δεδομένων με αξιοπιστία και αποφυγή παρεμβολών (Xu, 2012).

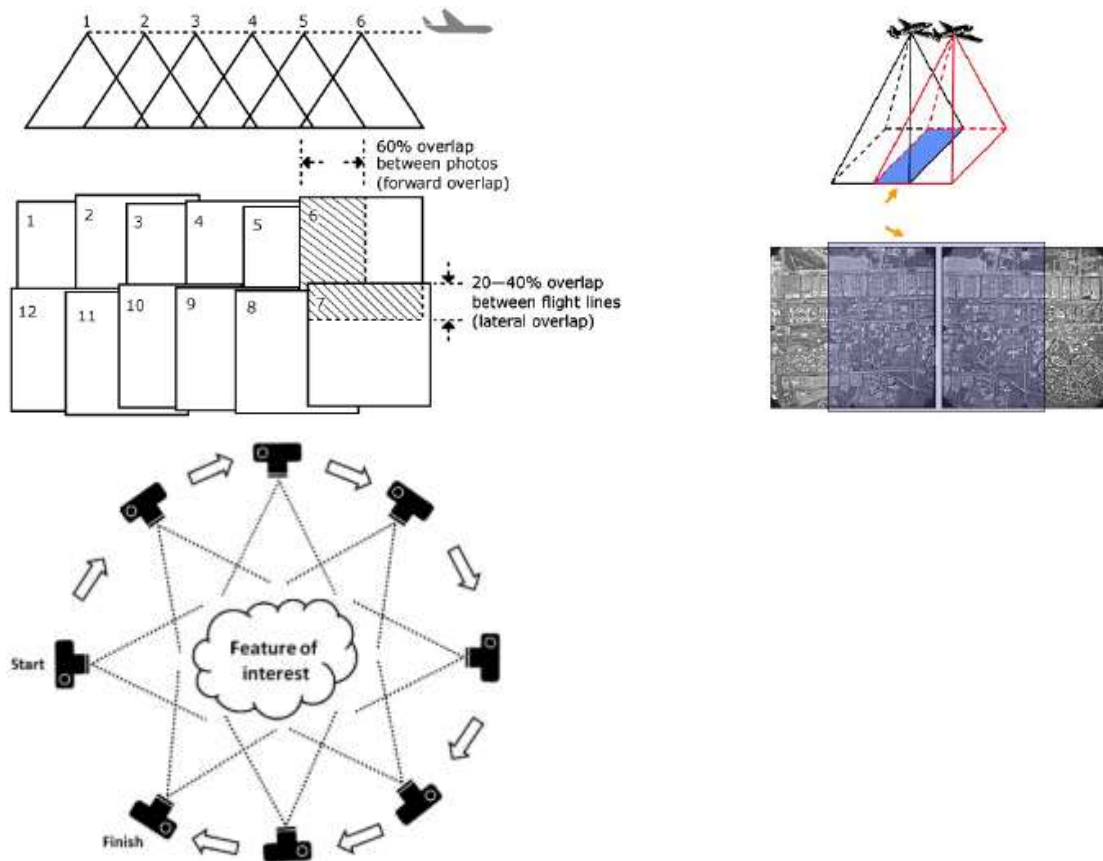
Η μέθοδος της κινηματικής προσέγγισης σε πραγματικό χρόνο (Realtime Kinematic-RTK) προσφέρει μετρήσεις ακριβείας της τάξεως μερικών εκατοστών (cm) σε κατάλληλο περιβάλλον (Bae & Kim, 2018) . Μία τεχνική περισσότερο ακριβής και σταθερή προτάθηκε για πρώτη φορά στα μέσα της δεκαετίας του 90', μοντελοποιώντας τα σφάλματα όλων των συνιστωσών βασισμένο σε ένα δίκτυο αναφοράς (NRTK) (Wubben et al., 2001; Min-Ho & Tae-Suk, 2015).

Όμως, η ακρίβεια και η σταθερότητα του συστήματος NRTK επηρεάζεται σημαντικά από την ασάφεια της ανάλυσης της φάσης του κύματος (Zou et al., 2012; Li et al., 2013; Bae et al., 2015). Παρόλα αυτά, παρατηρείται δυσκολία στην επίτευξη υψηλής ακριβείας, γεγονός το οποίο οφείλεται στον ανεπαρκή αριθμό παρατηρήσεων, στην απόσταση από τους σταθμούς αναφοράς, ο φραγμός του σήματος κοντά στο UAS και η επίδραση της ιονόσφαιρας (Euler et al., 2003). Ακόμα, είναι αναγκαία η κατανόηση της επίδρασης των περιβαλλοντικών συνθηκών στην πλοήγηση του drone, ειδικότερα στην αποτύπωση της τοπογραφίας (Bae & Kim, 2018). Ο χρήστης οφείλει να καθορίσει μία διαδρομή πτήσης πριν την εφαρμογή της έρευνας RTK-GNSS με UAS, καθώς ανεπαρκώς προσδιορισμένες διαδρομές προκαλούν συστηματικά σφάλματα στα αποτελέσματα της μεθόδου SfM (Stott et al., 2020).

Επίσης, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία GNSS-RTK στην έρευνα της μεταβολής του εδάφους, εξαιτίας του πολύπλοκου ανάγλυφου μπορούν να εξαχθούν λανθασμένα αποτελέσματα. Οι παράγοντες όπου επηρεάζουν την ακρίβεια της έρευνας με GNSS-RTK προσέγγιση, κυρίως χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Αρχικά, ο πρώτος τύπος σφάλματος προέρχεται από ζητήματα όπου αφορούν τον σταθμό έρευνας, περιλαμβάνοντας την διαφορά φάσης του σήματος, η σύνδεση με τον δέκτη και οι κλιματικοί παράγοντες. Κατά δεύτερον, παρατηρούνται σφάλματα όπου σχετίζονται με την διαδρομή του σήματος από τον δορυφόρο. Τα σφάλματα προκύπτουν από την τροχιά, την επίδραση της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας. Για την επίτευξη αξιόπιστων αποτελεσμάτων, υψηλής ακρίβειας από την έρευνα της μεταβολής του εδάφους είναι σημαντικό να εφαρμοστούν ορισμένες μέθοδοι ελέγχου στο σύστημα GNSS-RTK. Μία βασική τεχνική για την μείωση του σφάλματος του τελικού μοντέλου είναι η χρήση σημείων εδαφικού ελέγχου GCP. Η τοποθέτηση τους απαιτεί κατάλληλη κατανομή στην περιοχή ενδιαφέροντος και ακρίβεια στην μέτρηση της θέσης τους (Xu, 2012).

3.5 Η μέθοδος ‘Structure-from-Motion’

Η τεχνολογία της ψηφιακής φωτογραφίας και των οχημάτων (UAV), σε συνδυασμό με την τοποθέτηση GCPs γεωαναφερόμενα στο Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (GNSS) και η μέθοδος Structure from Motion (SfM) έχουν καθιερωθεί στις εδαφικές μελέτες της συγκεκριμένης χωρικής κλίμακας (Flener et al., 2013; Tamminga et al., 2014; Javernick et al., 2015; Marteau et al., 2016; Carrivick & Smith, 2018; Schumann et al., 2019).



Εικόνα 3.4. Η μέθοδος Structure from Motion απαιτεί συνεχείς, αλληλεπικαλυπτόμενες εικόνες για την κατασκευή τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων (Westoby et al., 2012).

Χάρη στην χρήση της φωτογραμμετρίας και της τεχνολογίας των υπολογιστών (Atkinson, 1994; Andrew, 2001), η μέθοδος Structure from Motion (SfM) εφαρμόζεται ευρέως, επιτρέποντας την λήψη εικόνων από διαφορετικά ύψη και προσανατολισμούς, προσφέροντας κατά αυτόν τον τρόπο μεγαλύτερη ευελιξία και ακρίβεια στο τελικό αποτέλεσμα (Fernández-Hernandez et al., 2014).

Η χρήση συστημάτων UAS είναι ιδιαίτερα σημαντική στην βελτίωση και ενίσχυση των παρατηρήσεων, συμπερασμάτων σε περιοχές, οι οποίες έχουν πληγεί από πλημμυρικά φαινόμενα (Perks et al., 2016; Langhammer et al., 2017; Yang et al., 2019; Kastridis et al., 2020). Η μέθοδος Structure from Motion (SfM) σε συνεργασία με της φωτογραμμετρικές μεθόδους και την χρήση συστημάτων UAS (Unmanned Aerial Systems) αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για την εξαγωγή τοπογραφικών δεδομένων υψηλής ακρίβειας. Με την χρήση των τοπογραφικών δεδομένων καθίσταται δυνατή η δημιουργία μοντέλων ανάγλυφου και συμπεράσματα, σχετικά με τις γεωμορφολογικές διεργασίες όπου δρουν στην περιοχή (Dietrich, 2016; Izumida et al., 2017). Ο συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζει πληθώρα δυνατοτήτων στο πεδίο των γεωεπιστημών (Westoby et al., 2012) και τη βελτίωση των ερευνών στην ύπαιθρο (Langhammer & Vacková, 2018).

Επιπρόσθετα, η μέθοδος έχει θετικά αποτελέσματα στην ποτάμια γεωμορφολογία και σημαντικός παράγοντας για τον υπολογισμό υδροδυναμικών παραμέτρων. Με την χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου είναι δυνατή η κατασκευή ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου (DSMs) για την αναπαραγωγή της ποτάμιας τοπογραφίας, για τον εντοπισμό μεταβολών του εδάφους και της βλάστησης ύστερα από πλημμύρες (Watanabe & Kawahara, 2016). Παράλληλα, η βελτίωση των χαρακτηριστικών των συστημάτων UAS προσφέρει την δυνατότητα ταξινόμησης των αντικειμένων και των γεωμορφών, μέσω της κατασκευής ορθομοσaiκών και μοντέλων εδάφους (DSM). Η μέθοδος Structure from Motion (SfM) λειτουργεί με τις ίδιες βασικές αρχές, όπως η στερεοσκοπική φωτογραμμετρία, όπου η παραγωγή εικόνων 3-D πραγματοποιείται μέσω μίας σειράς από αλληλεπικαλυπτόμενες εικόνες (Westoby et al., 2012).

Παρόλα αυτά, η θεμελιώδης διαφορά από την συμβατική φωτογραμμετρία έγκειται στην γεωμετρία του πεδίου μελέτης, την θέση των καμερών και τον προσανατολισμό όπου πλέον επιλύονται σύγχρονα μέσω ορισμένων επαναλαμβανόμενων και πολυάριθμων διαδικασιών διευθέτησης. Οι διαδικασίες διευθέτησης πραγματοποιούνται επιτυχώς μέσω των πολλαπλών αλληλεπικαλυπτόμενων εικόνων (Snavely, 2011). Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι κατάλληλη στην περίπτωση ενός συνόλου εικόνων με υψηλό βαθμό αλληλεπικάλυψης, το οποίο σύνολο εικόνων έχει καταγεγραμμένη την πλήρη γεωμετρία του τοπίου μέσω του κινούμενου αισθητήρα.

Για τον καθορισμό της θέσης των σημείων σε τρεις διαστάσεις, οι συνηθισμένες φωτογραμμετρικές προσεγγίσεις απαιτούν την γνώση της τρισδιάστατης θέσης και διεύθυνσης της κάμερας, ή την γνώση της θέσης σε τρεις διαστάσεις ορισμένων σημείων ελέγχου (Ground Control Points). Σε περίπτωση όπου ο αισθητήρας δεν διαθέτει ενσωματωμένο σύστημα εντοπισμού GNSS και ηλεκτρονική πυξίδα, η κατασκευή της γεωμετρίας της υπό μελέτη περιοχής απαιτεί τον χειροκίνητο εντοπισμό των σημείων στις εικόνες όπου εισάγονται και τον καθορισμό της θέσης. Αντίθετα, η μέθοδος Structure from Motion (SfM) δεν απαιτεί τις παραπάνω προϋποθέσεις. Η θέση του αισθητήρα και η γεωμετρία του τοπίου κατασκευάζονται συγχρόνως μέσω αυτόματων διαδικασιών ταυτοποίησης των όμοιων στοιχείων στις εικόνες. Η ανίχνευση των όμοιων στοιχείων στις εικόνες επιτρέπει τον αρχικό υπολογισμό της θέσης των καμερών και των συντεταγμένων των αντικειμένων.

Σε αντίθεση με την κλασσική φωτογραμμετρία, οι θέσεις των καμερών στη μέθοδο SfM στερούνται κλίμακας και προσανατολισμού, χαρακτηριστικά τα οποία παρέχονται από τα σημεία εδαφικού ελέγχου (GCPs). Συνεπώς, τα τρισδιάστατα νέφη σημείων κατασκευάζονται σε ένα σχετικό σύστημα συντεταγμένων από τις εικόνες. Η μετατροπή του σχετικού συστήματος συντεταγμένων σε ένα απόλυτο σύστημα συντεταγμένων πραγματοποιείται μέσω του υπολογισμού και την γνώση των συντεταγμένων των εδαφικών σημείων ελέγχου (Ground Control Points). Τα εδαφικά σημεία ελέγχου μπορούν να προστεθούν μετά την πτήση του UAV, θεωρώντας υποψήφιες χαρακτηριστικές γεωμορφές του υπό μελέτη πεδίου.

Όμως, τα εδαφικά σημεία οφείλουν να είναι ορατά στο πεδίο και οι συντεταγμένες τους λαμβάνονται με έρευνα εδάφους. Η χρήση εδαφικών σημείων ελέγχου με υψηλή αντίθεση, ξεκάθαρη γεωμετρία και κέντρο θεωρείται προτιμότερη, προτού πραγματοποιηθεί η πτήση για την λήψη των εικόνων. Η δεύτερη προσέγγιση εξασφαλίζει τον καθορισμό ενός καλά κατανεμημένου συνόλου σημείων στη περιοχή μελέτης και διευκολύνει τον σαφή καθορισμό των στοιχείων, σημείων στις αλληλεπικαλυπτόμενες εικόνες (Westoby et al., 2012).

Ο αλγόριθμος της μεθόδου SfM διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανίχνευση κοινών σημείων στις εικόνες (κορυφές, κοινά γεωμετρικά χαρακτηριστικά) και την κατασκευή της γεωμετρίας σε ένα σύνολο εικόνων (Mancini et al., 2013). Επίσης, ο αλγόριθμος ορίζει την βασική δομή, γεωμετρία του τοπίου, μέσω του καθορισμού πολυάριθμων αντίστοιχων χαρακτηριστικών, την θέση των καμερών και την βαθμονόμηση των παραμέτρων τους.

Ο σχεδιασμός της πτήσης περιλαμβάνει την προς τα εμπρός κίνηση, τις παράλληλες διαδρομές και την διατήρηση ενός σταθερού υψομέτρου, με σκοπό την ομοιογενή κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος. Η διαμόρφωση αυτών των παραμέτρων, η επιλογή καμερών υψηλής ανάλυσης και η επεξεργασία των εικόνων με την φωτογραμμετρική μέθοδο Structure from Motion (SfM) λειτουργούν αποτελεσματικά. Η μέθοδος SfM χρησιμοποιεί μαθηματικούς και φωτογραμμετρικούς αλγορίθμους, όπου ο χρήστης παρεμβαίνει ελάχιστα στην διεξαγωγή τους, επιλέγοντας συνήθως την κατάλληλη ανάλυση, τα απαιτούμενα φίλτρα και σε ορισμένες περιπτώσεις απλά εντοπίζει, προσδιορίζει τα εδαφικά σημεία ελέγχου GCPs (Sanz-Ablanedo et al., 2018).

Η απευθείας γεω-αναφορά απαιτεί την μέτρηση των συντεταγμένων της κάμερας την στιγμή όπου η εικόνα λαμβάνεται, γεγονός το οποίο παρουσιάζει δυσκολίες, καθώς η κίνηση του UAV (Unmanned Aerial Vehicle) πραγματοποιείται ορισμένες φορές με μεγάλη ταχύτητα ή χωρίς ιδιαίτερη σταθερότητα. Επομένως, ο συγχρονισμός της κάμερας με την συχνότητα δείγματος του δέκτη στο Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (GNSS) παρουσιάζει δυσκολίες. Η διακοπή της κίνησης του drone κατά την διάρκεια της πτήσης και σε ορισμένες χρονικές περιόδους, οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την λήψη εικόνων υψηλής ακρίβειας (Sanz-Ablanedo et al., 2018).

Τα αρχικά μοντέλα 3-D μπορεί να εμπεριέχουν παραμορφώσεις και συστηματικά λάθη. Η επεξεργασία των εικόνων με αυτοματοποιημένες διαδικασίες έχει παρατηρηθεί ότι παράγουν σφάλματα στην επιφάνεια και θόλωμα στην εικόνα (Wackrow & Chandler, 2008; Harwin et al., 2015; Eltner et al., 2016). Οι συγκεκριμένες αλλοιώσεις μπορούν να μειωθούν μέσω της χρήσης GCP (James & Robson, 2014; Eltner & Schneider, 2015), ενώ με απλούς μετασχηματισμούς δεν μπορούν να διορθωθούν σε τόσο μεγάλο βαθμό.

Παράλληλα, τα γεωμορφολογικά τοπογραφικά δεδομένα όπου εξάγονται από την μέθοδο Structure from Motion (SfM) μπορεί να παρουσιάσουν σύνθετα χωρικά κατανεμημένα σφάλματα. Τα σφάλματα αυτού του είδους φέρουν ως απόρροια συστηματικά σφάλματα στην γεωμετρία των καμερών. Σε ένα αδύναμο γεωμετρικά σύνολο εικόνων, τα σφάλματα εμφανίζονται λόγω της φτωχά βαθμονομημένης κάμερας και της εκτίμηση των φωτογραμμετρικών παραμέτρων στο στάδιο της ροής εργασιών της μεθόδου Structure from Motion (Hastedt & Luhmann, 2015; M. James et al., 2017).

3.6 Χρήση Εδαφικών Σημείων Ελέγχου (Ground Control Points)

Η τοποθέτηση και ο εντοπισμός των εδαφικών σημείων ελέγχου (GCP) αποτελεί βασικό μέρος της χαρτογράφησης, ιδιαίτερα σε περιοχές με ανώμαλο και περίπλοκο ανάγλυφο. Όταν η τοπογραφία δεν επιτρέπει την τοποθέτηση τους, τότε ο ερευνητής μπορεί να διαφοροποιήσει ορισμένες παραμέτρους, οι οποίες αφορούν την πτήση όπως η αλλαγή του εξοπλισμού, ώστε να εξυπηρετείται ο σκοπός της μελέτης (Cledat et al., 2020).



Εικόνα 3.5. Τύποι εδαφικών σημείων ελέγχου (GCPs) (Taddia et al., 2019).

Η συμβατική γεω-αναφορά χρησιμοποιώντας εδαφικά σημεία ελέγχου (GCPs) παρέχει την δυνατότητα λήψης των συντεταγμένων αξιόπιστα, αλλά η ακρίβεια όσον αφορά την γεωμετρία εξαρτάται από τον αριθμό και την χωρική τοποθέτηση των GCPs (Zhang et al., 2019).

Η τοποθέτηση Ground Control Points αποτελεί βασικό ζήτημα σχετικά με τον χρόνο βελτιστοποίησης και επεξεργασίας του τελικού μοντέλου. Τα εδαφικά σημεία ελέγχου χρειάζεται να εντοπιστούν και διευθετηθούν με ακρίβεια στις εικόνες όπου ελήφθησαν. Το συγκεκριμένο στάδιο είναι το λιγότερο αυτοματοποιημένο και χρονοβόρο τμήμα της συνολικής ροής εργασίας της φωτογραμμετρικής μεθόδου (Terrati Losè et al., 2020).

Η χρήση των εδαφικών σημείων ελέγχου (GCPs) μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την ακρίβεια των τρισδιάστατων δεδομένων και συμμετέχουν στην γεω-αναφορά των εικόνων (Oniga et al., 2018). Η αύξηση του αριθμού των εδαφικών σημείων ελέγχου αυξάνει την ακρίβεια του τελικού μοντέλου (Gindraux et al., 2017; Agüera-Vega et al., 2017). Παρόλα αυτά, η ακρίβεια του τελικού μοντέλου όπου προκύπτει από τις εικόνες των UAS (Unmanned Aerial Systems) επηρεάζεται από ορισμένους παράγοντες, όπως η εστίαση του φακού, το ύψος πτήσης του drone, η ανάλυση της εικόνας, η μετέπειτα επεξεργασία με λογισμικό και ο τύπος του συστήματος (fixed wing, rotary). Καθένας από τους παράγοντες συμβάλλει στην διαμόρφωση του τελικού προϊόντος (Harwin & Lucieer, 2012; Gindraux et al., 2017).

Η ακρίβεια του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DSM) και του ορθομοσαϊκού αποτελεί ένα ζήτημα, το οποίο εξαρτάται από μία πληθώρα παραγόντων, όπως ο αριθμός και η τοποθέτηση σημείων εδαφικού ελέγχου (GCPs), καθώς και το υψόμετρο της πτήσης. Πιο συγκεκριμένα, το ύψος πτήσης επηρεάζει το μέγεθος της περιοχής όπου καταγράφεται σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, γεγονός το οποίο προσδίδει μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά την αλληλοεπικάλυψη των περιοχών (Andreadakis et al., 2020).

Μειώνοντας το ύψος πτήσης του drone και προσθέτοντας περισσότερα σημεία εδαφικού ελέγχου (GCPs), παρατηρείται μείωση αυτής της ευελιξίας και συγχρόνως απαιτείται περισσότερος χρόνος έρευνας και επεξεργασίας των εικόνων. Παράλληλα, σε ορισμένες περιπτώσεις όπως σε μετα-πλημμυρικά περιβάλλοντα, ελλοχεύει ο κίνδυνος απώλειας δεδομένων.

Σε περιπτώσεις όπου η χρήση GCP δεν κρίνεται απαραίτητη, ο συνολικός χρόνος εργασίας στην ύπαιθρο μειώνεται σημαντικά, με αποτέλεσμα να καθίσταται εφικτή η διερεύνηση μεγαλύτερης έκτασης στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Η συγκεκριμένη μέθοδος προσέγγισης είναι κατάλληλη για περιοχές δύσβατες και μη προσβάσιμες, όπου τα εδαφικά σημεία ελέγχου (GCPs) κρίνεται αδύνατο να τοποθετηθούν (Bae & Kim, 2018). Όταν τα χρονικά περιθώρια δεν επιτρέπουν εκτενή μελέτη μίας περιοχής, οι πληροφορίες όπου λαμβάνεται από το σύστημα πλοήγησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας για την συρραφή των εικόνων και την παραγωγή ενός μωσαϊκού χαμηλής ακριβείας (Chang-Chun et al., 2011).

Οι συντεταγμένες των GCPs υπολογίζονται με την χρήση της περισσότερο κατάλληλης μεθόδου, μέσω διαφορικών GPS και ταχύμετρων. Γενικότερα, συστήνεται η χρήση τουλάχιστον τριών εδαφικών σημείων ελέγχου για την μείωση των σφαλμάτων και την βελτίωση της ακρίβειας (Agüera-Vega et al., 2017).

Ουσιαστικά, η μετατροπή του σχετικού συστήματος συντεταγμένων των δεδομένων σε ένα απόλυτο σύστημα συντεταγμένων πραγματοποιείται μέσω της ταυτοποίησης των σημείων εδαφικού ελέγχου (GCPs) στα νέφη σημείων. Η θέση των σημείων οφείλει να είναι ορατή και να έχουν υψηλή αντίθεση σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο, ώστε να είναι περισσότερο ευκρινή κατά την ταυτοποίησή τους, πριν την μετατροπή των συντεταγμένων (Westoby et al., 2012).

Ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας των GCP διήρκησε συνολικά περίπου 15 hr, μετά την εργασία στην ύπαιθρο, ώστε να γίνει η ταυτοποίησή τους, να πραγματοποιηθούν ορισμένες χειροκίνητες διορθώσεις και να παραχθούν τα αραιά και πυκνά νέφη σημείων, το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (DEM) και το ορθομωσαϊκό.

4. Οπτική Κοκκομετρία

Η συγκεκριμένη ενότητα της εργασίας παρουσιάζει μία νέα μη-επεμβατική τεχνική μέτρησης του μεγέθους των κροκαλών με την χρήση δύο διαφορετικών τεχνικών, της φωτογραμμετρίας με τη χρήση ΣΜηΕΑ και της οπτικής κροκαλομετρίας. Παρά το μεγάλο υψόμετρο πτήσης (78-80 m), η φωτογραμμετρία με χρήση ΣΜηΕΑ είναι ικανή να εξάγει ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DSM) υψηλής ακρίβειας αφού η χωρική διακριτική ικανότητα μπορεί να φτάσει τα 2-2,5 cm.

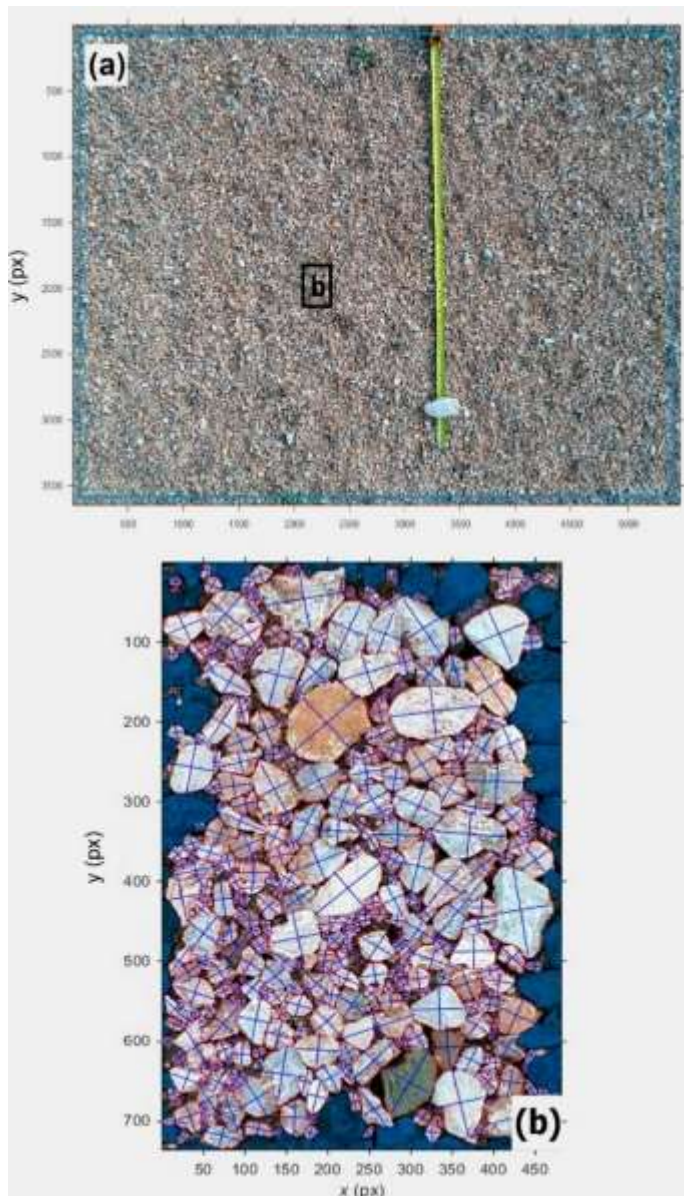
Η κοκκομετρική ανάλυση είναι μία συνήθης, σημαντική και αναγκαία μέθοδος για την περιγραφή των ιζημάτων. Η ανάλυση των ιζημάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω διαφόρων τεχνικών, όπως το κοσκίνισμα. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες τεχνικές δεν προτείνονται για κλαστικό υλικό με μέγεθος μεγαλύτερο από 2 mm, ενώ είναι συχνά απαραίτητη η γνώση της διαβάθμισης του υλικού μεγαλύτερης διαμέτρου. Παράλληλα, η συλλογή και ανάλυση δειγμάτων κλαστικού υλικού και κροκαλών απαιτεί σημαντικό χρόνο και προσπάθεια (Detert and Weitbrecht, 2013). Επίσης, η συγκεκριμένη χαρακτηρίζεται ως παρεμβατική και σε ορισμένες περιοχές υπό προστασία δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Ο περιορισμός αυτός μπορεί να ξεπεραστεί μέσω της οπτικής ψηφιακής κοκκομετρίας (Langhammer et al., 2017).

Η οπτική ψηφιακή κοκκομετρία αποτελεί μία πρόοδο στο πεδίο των κοκκομετρικών αναλύσεων, επιτρέποντας την μελέτη των ποτάμιων διεργασιών, ενώ μειώνεται ο εξοπλισμός και ο χρόνος στην ύπαιθρο.

Η βασική αρχή της τεχνικής βασίζεται στην αναγνώριση αντικειμένων στην επιφάνεια του εδάφους της περιοχής μελέτης. Χρησιμοποιώντας την συγκεκριμένη τεχνική ανίχνευσης, η επιφάνεια του εδάφους διαχωρίζεται σε ξεχωριστές περιοχές και αντικείμενα, των οποίων οι γεωμετρικές παράμετροι υπολογίζονται, ύστερα από την βαθμονόμηση της εικόνας (Graham et al., 2012).

Η γνώση των πετρωμάτων και της λιθολογίας στην κοίτη του ποταμού κρίνεται απαραίτητη κατά την μελέτη ποτάμιων διεργασιών. Ειδικότερα, η γνώση του μεγέθους των κροκαλών και της ταξινόμησης τους είναι σημαντική για την κατασκευή υδραυλικών μοντέλων, την πραγματοποίηση υπολογισμών για την μεταφορά των ιζημάτων και την αξιολόγηση των αποθέσεων.

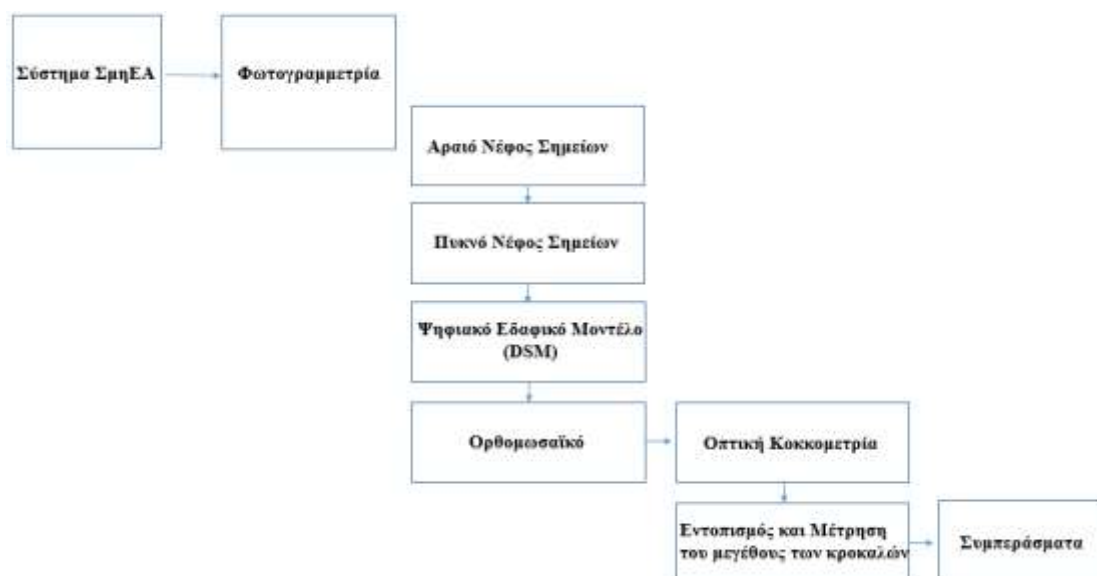
Εφόσον η πληροφορία όπου παρέχεται από την εικόνα αφορά την επιφάνεια του ιζήματος, η τρίτη διάσταση των κροκαλών πρέπει να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας άλλη μέθοδο (Ibbeken & Schleyer, 1986). Συνεπώς, θεωρείται ότι είναι ορατοί οι δύο μακρύτεροι άξονες (a, b) των κλαστών, ενώ ο τρίτος (c) οριοθετείται κατακόρυφα και δεν είναι ορατός. Σύμφωνα με τους Pearson et al. (2017), η τεχνική SfM μπορεί επιτυχώς να αναπαράγει την τραχύτητα και το μέγεθος των κροκαλών.



Εικόνα 4.1. Παράδειγμα από την χρήση του λογισμικού BASEGRAIN για την μέτρηση του μεγέθους των κροκαλών (Andreadakis et al., 2020).

5. Μεθοδολογία

Αντικειμενικός στόχος ήταν η φωτογραμμετρική επεξεργασία των δεδομένων ΣμηΕΑ, και κατόπιν η κοκκομετρική ανάλυση των ογκολίθων της περιοχής μελέτης. Τα δεδομένα ΣμηΕΑ και οι εικόνες όπου ελήφθησαν επεξεργάστηκαν με το λογισμικό της Agisoft ‘Agisoft Metashape Professional’ και τα τελικά προϊόντα εισήχθησαν στο λογισμικό BASEGRAIN για τον εντοπισμό και την ανάλυση του μεγέθους των ογκολίθων (Εικόνα 5.1).



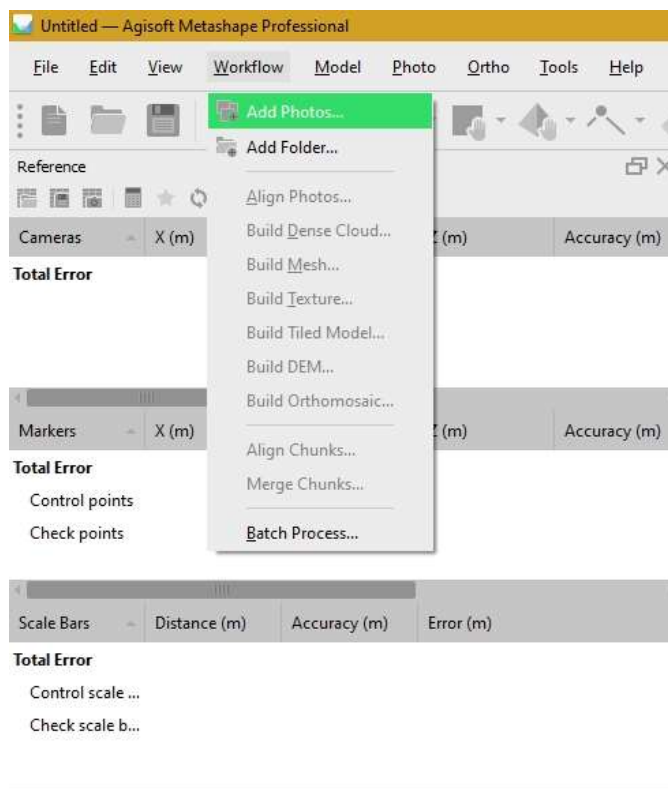
Εικόνα 5.1. Διάγραμμα ροής κατά την επεξεργασία των δεδομένων ΣμηΕΑ.

Η επεξεργασία των εικόνων με το λογισμικό Metashape περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. Εισαγωγή των εικόνων που ελήφθησαν στο Metashape και έλεγχος, όπου αφαιρούνται οι ανεπιθύμητες.
2. Ευθυγράμμιση των εικόνων (Alignment) και κατασκευή του αραιού νέφους σημείων (sparse point cloud).
3. Εισαγωγή των Ground Control Point και έλεγχος του σφάλματος της θέσης τους.
4. Κατασκευή του πυκνού νέφους σημείων (dense point cloud).
5. Κατασκευή του Ψηφιακού Μοντέλου Ανάγλυφου (DEM)
6. Κατασκευή του ορθομωσαϊκού.

5.1 Εισαγωγή Εικόνων

Πρωταρχικό βήμα για την διεξαγωγή οποιουδήποτε μετέπειτα βήματος και την κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου είναι σημαντικό να επιλεγθούν οι εικόνες προς επεξεργασία.

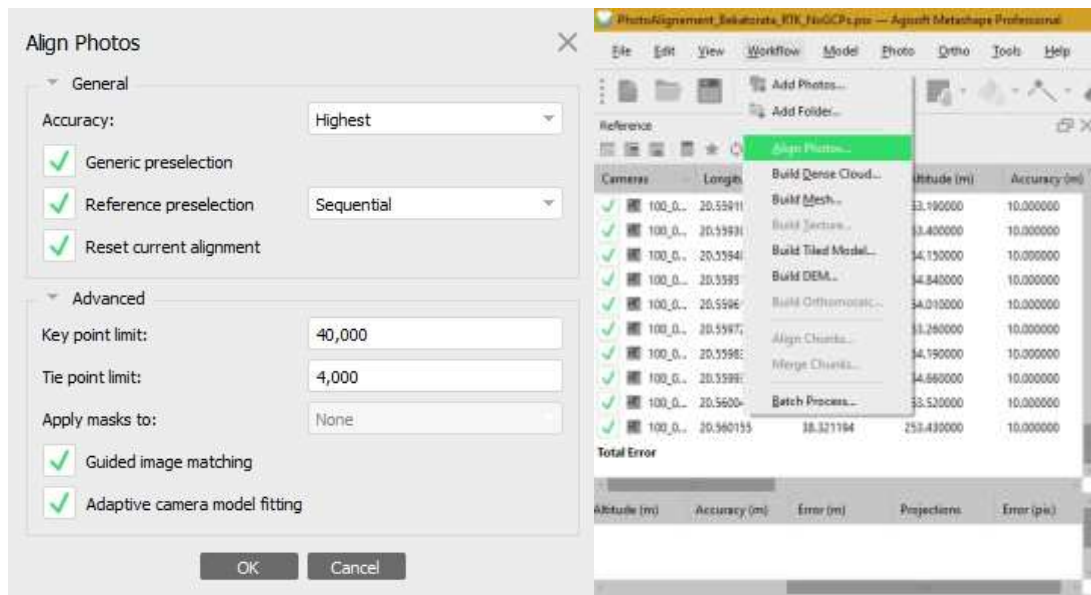


Εικόνα 5.2. Εισαγωγή Εικόνων στο λογισμικό Agisoft Metashape.

Συνεπώς, πραγματοποιήθηκαν τα ακόλουθα βήματα:

1. Επιλογή της εντολής Add Photos από την ροή εργασίας (Workflow).
2. Κατόπιν επιλέγονται από το αναδυόμενο παράθυρο οι φωτογραφίες όπου συλλέχθηκαν από την περιοχή μελέτης.
3. Οι εικόνες εισάγονται στην περιοχή 'Workspace pane'.
4. Επιλογή των εικόνων όπου πρέπει να αφαιρεθούν με δεξί κλικ και αφαίρεση τους με την εντολή 'Remove Items'.

5.2 Ευθυγράμμιση των εικόνων (Alignment)

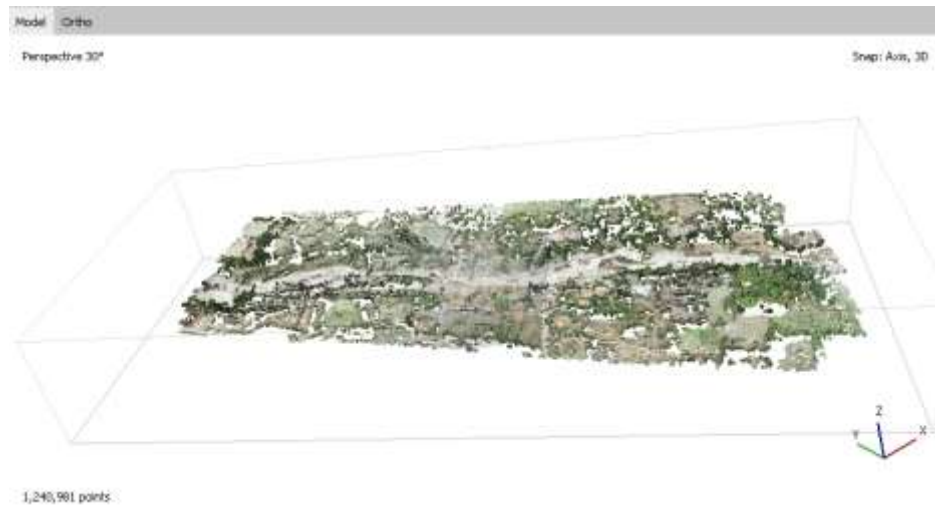


Εικόνα 5.3. Ευθυγράμμιση των εικόνων (Alignment) μέσω του λογισμικού Agisoft Metashape.

Οι εντολές όπου επιλέγονται σε αυτό το βήμα είναι οι εξής:

1. Επιλογή της εντολής 'Align Photos' από την ροή εργασιών.
2. Στο αναδυόμενο πλαίσιο επιλέγονται οι επιθυμητές ρυθμίσεις για την ευθυγράμμιση των εικόνων. Επιλογή της εντολής 'Ok' για την πραγματοποίηση της διαδικασίας.
3. Εμφάνιση του αναδυόμενου παραθύρου με την εξέλιξη της επεξεργασίας.

Με την ολοκλήρωση του σταδίου ευθυγράμμισης των εικόνων ‘Alignment’, υπολογίζονται οι θέσεις των εικόνων και προκύπτει ένα αραιό νέφος σημείων (sparse point cloud). Στο συγκεκριμένο βήμα μπορούν να αφαιρεθούν οι εικόνες όπου παρουσιάζουν αδυναμία ευθυγράμμισης ή μεγάλο σφάλμα.



Εικόνα 5.4. Το αραιό νέφος σημείων (sparse point cloud) προκύπτει ύστερα από την ευθυγράμμιση των εικόνων στο 2^ο Βήμα.

5.2.1 Παράμετροι προς Ρύθμιση

1. Ακρίβεια

Η υψηλότερη ακρίβεια στις μετρήσεις συντελεί στον βέλτιστο υπολογισμό των θέσεων των εικόνων. Αντίθετα, χαμηλότερη ακρίβεια στις ρυθμίσεις συντελεί σε ταχύτερη εξαγωγή των θέσεων.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η ακρίβεια των ρυθμίσεων ήταν η ύψιστη 'Highest', με την οποία οι παράγοντες της εικόνας μεγιστοποιούνται κατά τις 4. Η υψηλότερη ακρίβεια συστήνεται για ερευνητικούς σκοπούς, καθώς τα βήματα επεξεργασίας είναι αρκετά χρονοβόρα.

2. Προεπιλογή Ζευγών

Η ευθυγράμμιση και διευθέτηση εικόνων μεγάλου μεγέθους απαιτεί ορισμένες φορές αρκετό χρόνο. Η ανίχνευση κοινών στοιχείων ανάμεσα στις εικόνες συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση του χρόνου επεξεργασίας, με αποτέλεσμα να υπάρχουν διάφορες μέθοδοι προεπιλογής για τον συσχετισμό των κοινών σημείων.

3. Ακύρωση οποιασδήποτε ευθυγράμμισης, με αποτέλεσμα να απορρίπτονται οι αρχικοί συσχετισμοί.

4. Όριο χαρακτηριστικών σημείων εικόνας

Ο αριθμός των σημείων (Key Point Limit) υποδεικνύει τον απαιτούμενο αριθμό χαρακτηριστικών σημείων για κάθε εικόνα, ώστε να συμπεριληφθεί στο συγκεκριμένο στάδιο επεξεργασίας. Η εισαγωγή μεγάλου αριθμού tie point ενδέχεται να επιφέρει την εισαγωγή λιγότερο αξιόπιστων σημείων.













5. Όριο σημείων σύνδεσης εικόνας (Tie Point Limit)

Ο συγκεκριμένος αριθμός υποδεικνύει το απαιτούμενο όριο σημείων σύνδεσης για κάθε εικόνα. Θέτοντας στο όριο την τιμή μηδέν σημαίνει ότι δεν εισάγεται κάποιο φίλτρο.

6. Μοντέλο προσαρμοζόμενης κάμερας (Adaptive Camera Model Fitting)

Η συγκεκριμένη επιλογή επιτρέπει τον αυτόματο καθορισμό των παραμέτρων της κάμερας, σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια αξιοπιστίας των σημείων.

5.3 Εισαγωγή Ground Control Points

Markers	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Accuracy (m)
  3	20.554935	38.324092	186.556000	0.005000
  4	20.556445	38.322913	172.490700	0.005000
  5	20.556727	38.322492	171.246900	0.005000
  6	20.556766	38.322782	175.108700	0.005000
  7	20.556167	38.323090	178.709900	0.005000
  8	20.555974	38.323398	180.873600	0.005000

Εικόνα 5.5. Εισαγωγή των εδαφικών σημείων ελέγχου στο λογισμικό, καθορίζοντας τις συντεταγμένες τους και το υψόμετρο.

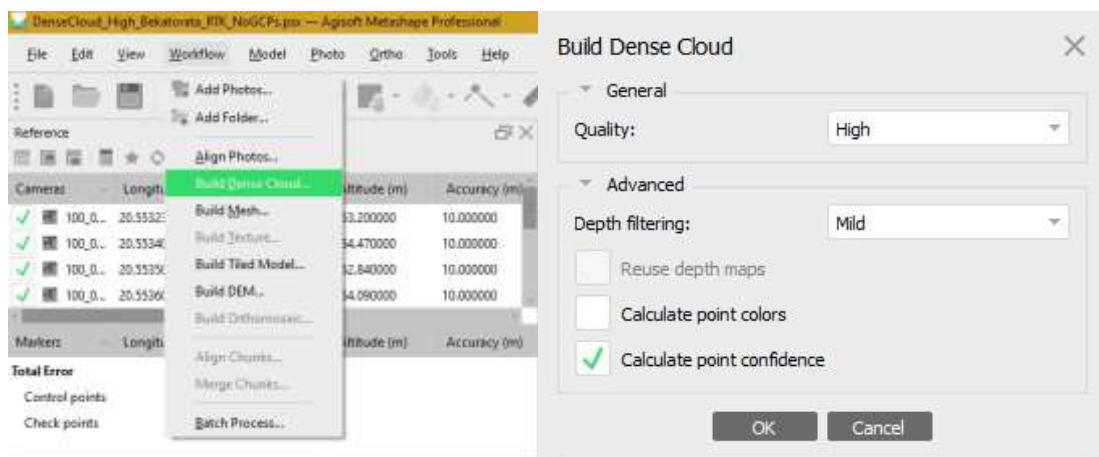
5.3.1 Φίλτρα Βάθους (Depth Filtering Modes)

Εξαιτίας ορισμένων παραγόντων κατά την πτήση του UAS είναι πιθανό να ληφθούν εικόνες με θόρυβο ή με φτωχή εστίαση και σημεία εκτός πλαισίου. Ανάλογα με τον σκοπό όπου προορίζεται το τελικό μοντέλο επιλέγονται διαφορετικοί αλγόριθμοι για το φιλτράρισμα. Σε περίπτωση όπου υπάρχουν λεπτομέρειες σημαντικές για την έρευνα, συνήθως επιλέγεται το ήπιο φίλτρο ώστε να μην απορρίπτονται σημαντικά σημεία. Αντίθετα, σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν σημαντικές λεπτομέρειες στην υπό μελέτη περιοχή, τότε επιλέγεται εντονότερο φίλτρο, το οποίο απορρίπτει σημεία εκτός πλαισίου. Τέλος, για ενδιάμεσες περιπτώσεις επιλέγεται περιορισμένη απόρριψη σημείων, ενώ η μη επιλογή φίλτρων μπορεί να επιφέρει την εξαγωγή ενός πυκνού νέφους με έντονο θόρυβο.

5.4 Κατασκευή του πυκνού νέφους σημείων (Dense Point Cloud)

Το λογισμικό επιτρέπει την εξαγωγή ενός πυκνού νέφους σημείων. Τα σημεία του νέφους μπορούν να ταξινομηθούν και να δεχτούν επεξεργασία, με στόχο την επιμέρους επεξεργασία αυτών των σημείων σε μετέπειτα στάδια όπως το DEM. Οι εντολές όπου επιλέγονται σε αυτό το βήμα είναι οι εξής:

1. Έλεγχος της έκτασης της περιοχής προς κατασκευή.
2. Επιλογή της εντολής 'Build Dense Cloud' από την ροή εργασιών.
3. Καθορισμός των παραμέτρων για την εξαγωγή του πυκνού νέφους.
4. Διεξαγωγή της κατασκευής του Dense Cloud.



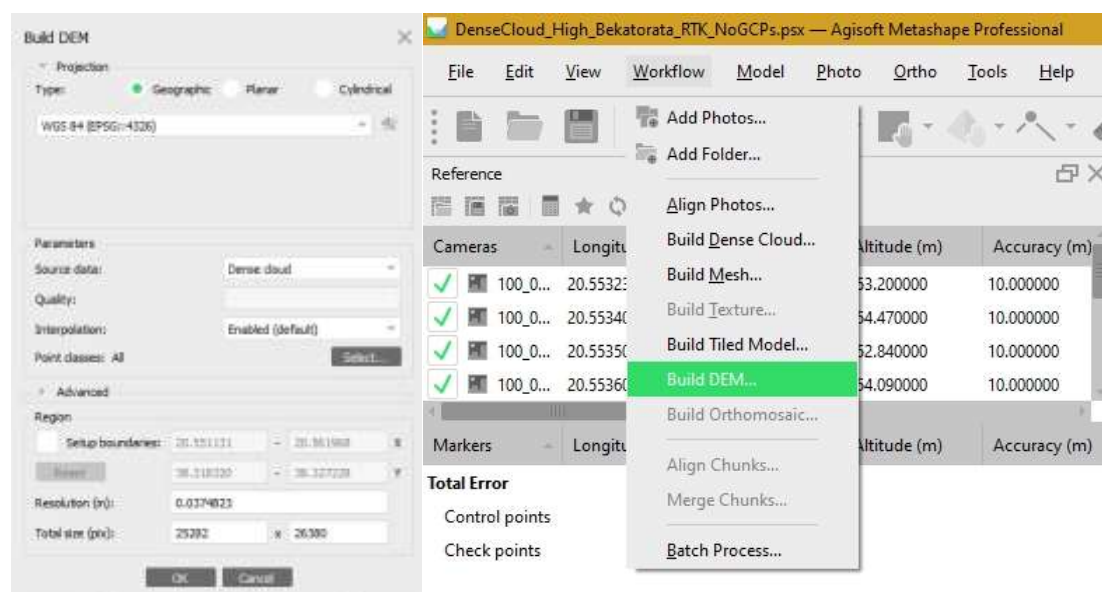
Εικόνα 5.6. Κατασκευή του πυκνού νέφους σημείων (Dense Point Cloud) και παράμετροι προς ρύθμιση.



Εικόνα 5.7. Το πυκνό νέφος σημείων (dense point cloud) προκύπτει ύστερα από την ευθυγράμμιση των εικόνων στο 4^ο Βήμα.

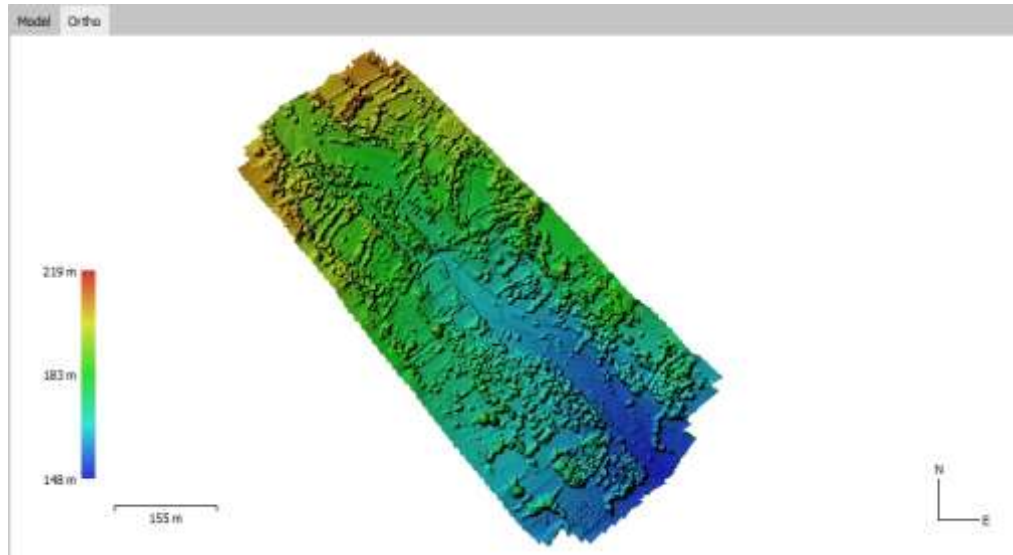
5.5. Κατασκευή του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DSM)

Το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου DSM αποτελεί ένα 2.5D μοντέλο της επιφάνειας, το οποίο αναπαρίσταται σε ένα καννάβο, με τις τιμές του υψομέτρου αποθηκευμένες σε κάθε κελί του καννάβου. Με την χρήση του λογισμικού Metashape το DSM μετατρέπεται σε αρχείο raster από το πυκνό νέφος σημείων (dense point cloud) και το αραιό νέφος σημείων (sparse point cloud). Επίσης, για την κατασκευή του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστήματος συντεταγμένων.



Εικόνα 5.8. Κατασκευή του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DSM) και παράμετροι προς ρύθμιση.

Παράλληλα, πραγματοποιώντας ταξινόμηση στο dense cloud τα σημεία του νέφους διαχωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες όπως χαμηλή βλάστηση, δέντρα και κτίρια. Επομένως, πέρα από την κανονική κατασκευή του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου, είναι δυνατή η κατασκευή ψηφιακού μοντέλου του εδάφους, από το οποίο έχουν αφαιρεθεί επιπρόσθετες πληροφορίες όπως τα δέντρα και τα κτίρια. Η ταξινόμηση των σημείων του dense cloud πραγματοποιείται προτού ξεκινήσει η δημιουργία του DEM.



Εικόνα 5.9. Το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM), όπως προκύπτει από το 5^ο Βήμα.

Οι εντολές όπου επιλέγονται σε αυτό το βήμα είναι οι εξής:

1. Επιλογή της εντολής 'Build DEM' από την ροή εργασιών.
2. Καθορισμός των παραμέτρων για την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου.
3. Διεξαγωγή της κατασκευής του DEM.

5.5.1 Παράμετροι προς Ρύθμιση

1. Τύπος Προβολής

Ο πρώτος τρόπος προβολής (Geographic) είναι η επιλογή ενός γεωγραφικού συστήματος συντεταγμένων (WGS'84 στη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης), όπου χρησιμοποιούνται παράμετροι από το σύστημα συντεταγμένων όπου επιλέχθηκε.

Παράλληλα, υπάρχει η επιλογή για χρήση ενός επιπέδου (Planar), το οποίο καθορίζεται από τον χρήστη. Ο χρήστης καθορίζει την προβολή του επιπέδου και την διεύθυνση του από ένα σύνολο σημείων.

Τέλος, το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου DEM μπορεί να αναπαρασταθεί από μία κυλινδρική επιφάνεια (Cylindrical). Στην συγκεκριμένη περίπτωση, οι τιμές του υψομέτρου καθορίζονται από την απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του μοντέλου και του κυλίνδρου.

2. Επιλογή της πηγής των δεδομένων

Στη περίπτωση αυτή συστήνεται η επιλογή των δεδομένων από το πυκνό νέφος σημείων (dense point cloud), καθώς είναι δυνατή η πραγματοποίηση της ταξινόμησης των σημείων και της εξαγωγής επιμέρους επιφανειών με την πληροφορία όπου είναι χρήσιμη στην εκάστοτε περίπτωση.

3. Επιλογή της ποιότητας ανακατασκευής

Η επιλογή υψηλότερης ποιότητας προσφέρει αυξημένη ακρίβεια και λεπτομέρεια στο τελικό μοντέλο, απαιτώντας όμως περισσότερο χρόνο επεξεργασίας.

4. Παρεμβολή

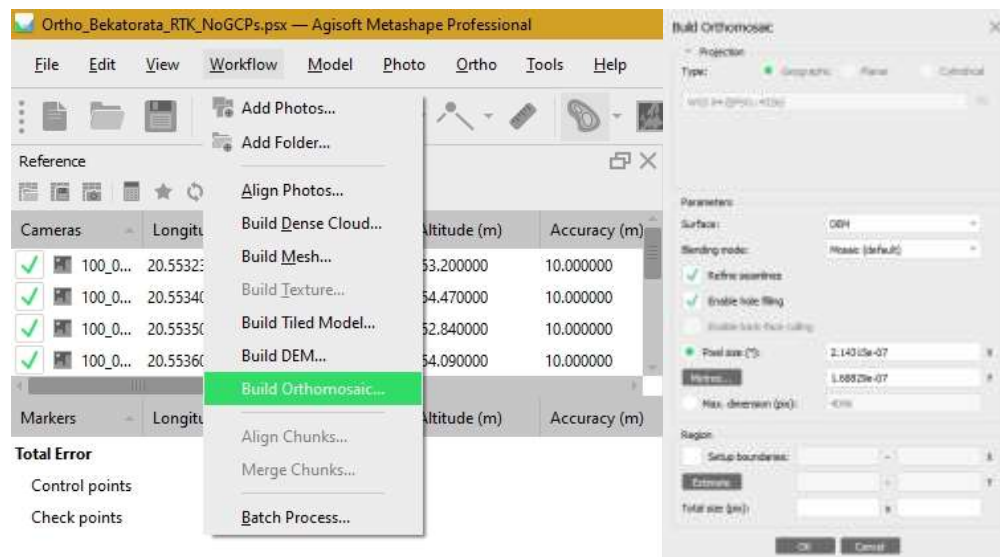
Η συγκεκριμένη επιλογή είναι υπεύθυνη για τον καθορισμό της τιμής του υψομέτρου. Ανάλογα με το πλήθος των σημείων του dense cloud για μία περιοχή του DEM, το λογισμικό μπορεί να καλύψει αυτόματα ορισμένες περιοχές με λιγιστή κάλυψη από σημεία ή την εμφάνιση ορισμένων κενών στις ίδιες περιοχές του DEM.

5.6 Κατασκευή του ορθομωσαϊκού

Το ορθομωσαϊκό αποτελεί συνδυασμό των εικόνων όπου ελήφθησαν με το σύστημα UAS, δημιουργώντας μία συνεχή, χωρίς ραφή συγχώνευση των αρχικών εικόνων. Το λογισμικό επιτρέπει την βελτίωση της συρραφής των εικόνων για βέλτιστο οπτικό αποτέλεσμα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου χρησιμοποιήθηκε ως βάση, πάνω στην οποία προβάλλονται οι εικόνες.

Οι εντολές όπου επιλέγονται σε αυτό το βήμα είναι οι εξής:

1. Επιλογή της εντολής 'Build Orthomosaic' από την ροή εργασιών.
2. Καθορισμός των παραμέτρων για την εξαγωγή του ορθομωσαϊκού.
3. Διεξαγωγή της κατασκευής του Ορθομωσαϊκού.



Εικόνα 5.10. Κατασκευή του ορθομωσαϊκού και ο πίνακας με τις παραμέτρους προς ρύθμιση.



Εικόνα 5.11. Το ορθομωσαϊκό όπως προκύπτει από το 6^ο Βήμα.

5.6.1 Παράμετροι προς Ρύθμιση

1. Τύπος Προβολής

Ο πρώτος τρόπος προβολής (Geographic) είναι η επιλογή ενός γεωγραφικού συστήματος συντεταγμένων (WGS'84 στη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης), όπου χρησιμοποιούνται παράμετροι από το σύστημα συντεταγμένων όπου επιλέχθηκε.

Παράλληλα, υπάρχει η επιλογή για χρήση ενός επιπέδου (Planar), το οποίο καθορίζεται από τον χρήστη. Ο χρήστης καθορίζει την προβολή του επιπέδου και την διευθέτηση του από ένα σύνολο σημείων.

Τέλος, το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου DEM μπορεί να αναπαρασταθεί από μία κυλινδρική επιφάνεια (Cylindrical). Στην συγκεκριμένη περίπτωση, οι τιμές του υψόμετρου καθορίζονται από την απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του μοντέλου και του κυλίνδρου.

2. Βελτίωση της συρραφής των εικόνων για βέλτιστο οπτικό αποτέλεσμα
3. Συμπλήρωση των περιοχών οι οποίες δεν διαθέτουν πληροφορία για το υψόμετρο από το DEM.
4. Καθορισμός του μεγέθους των pixel.
5. Καθορισμός της περιοχής προς κατασκευή.

5.7 Άλλες Ρυθμίσεις

Αποθήκευση των Επιμέρους Αποτελεσμάτων

Οι παραπάνω διαδικασίες απαιτούν ανάλογα με τις δυνατότητες της υπολογιστικής μονάδας του χρήστη αρκετό χρόνο (τουλάχιστον 3 ώρες το dense cloud). Επομένως, η διεξαγωγή και επόπτευση όλων των διαδικασιών ενδέχεται να μην πραγματοποιηθεί σε μία μεμονωμένη χρονική στιγμή. Για τον λόγο αυτό, το λογισμικό Metashape επιτρέπει την επιμέρους αποθήκευση των αποτελεσμάτων σε ξεχωριστό φάκελο.

Ρύθμιση του συστήματος συντεταγμένων

Ορισμένες εφαρμογές απαιτούν δεδομένα με προκαθορισμένο σύστημα συντεταγμένων. Οι ρυθμίσεις στο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων συντελεί στην ορθή βαθμονόμηση του μοντέλου και την διόρθωση πιθανής ύπαρξης σφάλματος. Επίσης, οι ρυθμίσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν για τα εδαφικά σημεία ελέγχου (GCPs).

Τόσο οι συντεταγμένες των καμερών, όσο και των εδαφικών σημείων ελέγχου οφείλουν να βρίσκονται στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων, με στόχο την ορθή συσχέτιση μεταξύ καμερών και GCPs. Με την εισαγωγή των GCPs η γεω-αναφορά καθίσταται περισσότερο ακριβής.

Εδαφικά σημεία ελέγχου (Ground Control Points) και σημεία ελέγχου (Check Points)

Στο λογισμικό μπορούν χρησιμοποιηθούν δύο είδη δεικτών. Τα εδαφικά σημεία ελέγχου (Ground Control Points) και τα σημεία ελέγχου (Check Points). Τα εδαφικά σημεία ελέγχου (GCPs) χρησιμοποιούνται στην γεω-αναφορά του μοντέλου, ενώ τα σημεία ελέγχου (Check Points) για την εξακρίβωση της ακρίβειας της διεύθησης των καμερών και την βελτίωση των αποτελεσμάτων.

Βελτίωση της ευθυγράμμισης των καμερών

Η συγκεκριμένη επιλογή προσφέρει ένα πακέτο ρυθμίσεων, το οποίο βοηθά στην φωτογραμμετρική ευθυγράμμιση και την βελτίωση της διεύθυνσης των καμερών. Οι βελτιώσεις αφορούν το σύνολο των διαθέσιμων μετρήσεων, τα αποτελέσματα και την ακρίβεια του μοντέλου. Για την εξασφάλιση της μέγιστης γεωμετρικής ακρίβειας, η βελτίωση της ευθυγράμμισης των καμερών συστήνεται να πραγματοποιείται ύστερα από την εισαγωγή των εδαφικών σημείων ελέγχου και την ρύθμιση των συντεταγμένων.

Γενικότερα, θεωρείται προτιμότερο η διαδικασία βελτίωσης να βασίζεται αποκλειστικά στα εδαφικά σημεία ελέγχου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι γεωγραφικές συντεταγμένες των GCPs μετρούνται με υψηλότερη ακρίβεια, συγκριτικά με τις γεωγραφικές συντεταγμένες των εικόνων όπου ελήφθησαν με το σύστημα UAS

6. Αποτελέσματα

Με τη χρήση του λογισμικού ArcMap GIS εντοπίστηκαν 66 ογκόλιθοι, όπου στην περιοχή κοντά σε κάθε εδαφικό σημείο ελέγχου (GCP) επιλέχθηκαν οι έντεκα μεγαλύτεροι σε διαστάσεις ογκόλιθοι.

Θέση Εδαφικού Σημείου Ελέγχου 3

Η περιοχή όπου βρίσκεται το εδαφικό σημείο ελέγχου με την σήμανση 3 βρίσκεται βορειότερα από τα υπόλοιπα πέντε GCPs (Εικόνα 6.2). Όπως γίνεται αντιληπτό, το μέσο μέγεθος των ογκολίθων είναι μεγαλύτερο στην συγκεκριμένη περιοχή, καθώς η μεταφορική ικανότητα του ρέματος είναι η μέγιστη, με αποτέλεσμα να σημειώνεται το μεγαλύτερο μέσο μήκος για τους άξονες a και b.

ΑΑ	No	Marker Area	λ	φ	a-axis (m)	b-axis (m)	Average a-axis	Average b-axis
1	30	3	38,3241	20,555	1,1	0,8		
2	31	3	38,3241	20,555	0,53	0,42		
3	32	3	38,3242	20,5551	0,59	0,51		
4	33	3	38,3242	20,5551	0,74	0,45		
5	34	3	38,3242	20,555	1,3	0,78		
6	35	3	38,3242	20,555	0,92	0,51		
7	36	3	38,3242	20,555	0,66	0,53		
8	37	3	38,3242	20,5551	0,65	0,51		
9	38	3	38,3242	20,5551	0,86	0,44		
10	39	3	38,3244	20,5548	1,11	0,62		
11	301	3	38,3243	20,5546	1,23	0,52	0,88	0,55

Πίνακας 6.1. Οι συντεταγμένες των ογκολίθων στην περιοχή του GCP 3 όπου έγιναν οι μετρήσεις μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap GIS, και στην συνέχεια με χρήση του λογισμικού BASEGRAIN μετρήθηκαν οι άξονες a, b.

Θέση Εδαφικού Σημείου Ελέγχου 8

Η περιοχή όπου βρίσκεται το εδαφικό σημείο ελέγχου με την σήμανση 8 βρίσκεται νοτιοανατολικότερα από το GCP 3, σε χαμηλότερο υψόμετρο και το μέσο μήκος των δύο αξόνων a, b παρατηρείται ότι σταδιακά μειώνεται.

AA	No	Marker Area	λ	φ	a-axis (m)	b-axis (m)	Average a-axis	Average b-axis
12	80	8	38,3229	20,5564	0,7	0,65		
13	81	8	38,3229	20,5565	0,57	0,54		
14	82	8	38,3229	20,5564	0,55	0,43		
15	83	8	38,3229	20,5564	0,68	0,4		
16	84	8	38,3229	20,5564	0,55	0,32		
17	85	8	38,3229	20,5564	0,58	0,54		
18	86	8	38,3229	20,5565	0,73	0,62		
19	87	8	38,3229	20,5565	0,66	0,45		
20	88	8	38,3229	20,5565	0,78	0,55		
21	89	8	38,3229	20,5565	0,92	0,74		
22	801	8	38,3229	20,5565	0,73	0,47	0,68	0,52

Πίνακας 6.2. Οι συντεταγμένες των ογκόλιθων στην περιοχή του GCP 8 όπου έγιναν οι μετρήσεις μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap GIS, και στην συνέχεια με χρήση του λογισμικού BASEGRAIN μετρήθηκαν οι άξονες a, b.

Θέση Εδαφικού Σημείου Ελέγχου 7

Το εδαφικό σημείο ελέγχου με την σήμανση 7 βρίσκεται στο δρόμο όπου χωρίζει την περιοχή μελέτης σε δύο τμήματα. Η σταδιακή μείωση του μέσου μήκους των δύο αξόνων a, b συνεχίζει να παρατηρείται, παρά την παρουσία θραυσμάτων από τις μάντρες των κατοικιών.

AA	No	Marker Area	λ	φ	a-axis (m)	b-axis (m)	Average a-axis	Average b-axis
23	70	7	38,3234	20,556	0,72	0,41		
24	71	7	38,3234	20,5562	0,45	0,32		
25	72	7	38,3234	20,5562	0,57	0,37		
26	73	7	38,3233	20,5562	0,49	0,42		
27	74	7	38,3234	20,5562	0,55	0,33		
28	75	7	38,3234	20,5561	0,53	0,42		
29	76	7	38,3233	20,5561	0,55	0,45		
30	77	7	38,3233	20,5561	0,59	0,41		
31	78	7	38,3233	20,5561	0,95	0,54		
32	79	7	38,3233	20,5561	0,97	0,65		
33	701	7	38,3233	20,5561	0,72	0,65	0,64	0,45

Πίνακας 6.3. Οι συντεταγμένες των ογκόλιθων στην περιοχή του GCP 7 όπου έγιναν οι μετρήσεις μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap GIS, και στην συνέχεια με χρήση του λογισμικού BASEGRAIN μετρήθηκαν οι άξονες a, b.

Θέση Εδαφικού Σημείου Ελέγχου 4

Στην περιοχή όπου βρίσκεται το εδαφικό σημείο ελέγχου 4, το μέσο μέγεθος των ογκολίθων παρατηρείται ότι εξακολουθεί να μικραίνει, καθώς παράλληλα το μέσο μήκος του άξονα a, πλησιάζει το μέσο μήκος του άξονα b. Ως αποτέλεσμα, οι ογκόλιθοι όπου εντοπίζονται στην συγκεκριμένη περιοχή είναι περισσότερο στρογγυλεμένοι συγκριτικά με τους ογκόλιθους στις περιοχές των εδαφικών σημείων ελέγχου 3, 8 και 7.

AA	No	Marker Area	λ	φ	a-axis (m)	b-axis (m)	Average a-axis	Average b-axis
34	40	4	38,3231	20,5561	0,67	0,64		
35	41	4	38,3231	20,5561	0,45	0,37		
36	42	4	38,3231	20,5562	0,66	0,49		
37	43	4	38,3231	20,5562	0,76	0,5		
38	44	4	38,3231	20,5562	0,54	0,42		
39	45	4	38,323	20,5562	0,47	0,28		
40	46	4	38,323	20,5562	0,49	0,33		
41	47	4	38,323	20,5561	0,42	0,38		
42	48	4	38,3231	20,5562	0,53	0,42		
43	49	4	38,3231	20,5563	0,69	0,48		
44	401	4	38,323	20,5562	0,75	0,62	0,58	0,45

Πίνακας 6.4. Οι συντεταγμένες των ογκόλιθων στην περιοχή του GCP 4 όπου έγιναν οι μετρήσεις μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap GIS, και στην συνέχεια με χρήση του λογισμικού BASEGRAIN μετρήθηκαν οι άξονες a, b.

Θέση Εδαφικού Σημείου Ελέγχου 6

Στη περιοχή όπου βρίσκεται το εδαφικό σημείο ελέγχου 6, το μέσο μέγεθος των ογκόλιθων έχει μειωθεί σημαντικά (<0,5 m) και παρατηρείται ότι είναι σημαντικά στρογγυλεμένοι, όπως και στην θέση του εδαφικού σημείου ελέγχου 4.

AA	No	Marker Area	λ	φ	a-axis (m)	b-axis (m)	Average a-axis	Average b-axis
45	60	6	38,3227	20,5567	0,27	0,24		
46	61	6	38,3227	20,5566	0,37	0,31		
47	62	6	38,3227	20,5566	0,55	0,28		
48	63	6	38,3227	20,5567	0,24	0,16		
49	64	6	38,3227	20,5567	0,24	0,21		
50	65	6	38,3227	20,5567	0,64	0,33		
51	66	6	38,3227	20,5567	0,25	0,18		
52	67	6	38,3227	20,5568	0,39	0,28		
53	68	6	38,3227	20,5568	0,32	0,29		
54	69	6	38,3227	20,5568	0,2	0,19		
55	601	6	38,3227	20,5566	0,43	0,31	0,35	0,25

Πίνακας 6.5. Οι συντεταγμένες των ογκόλιθων στην περιοχή του GCP 6 όπου έγιναν οι μετρήσεις μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap GIS, και στην συνέχεια με χρήση του λογισμικού BASEGRAIN μετρήθηκαν οι άξονες a, b.

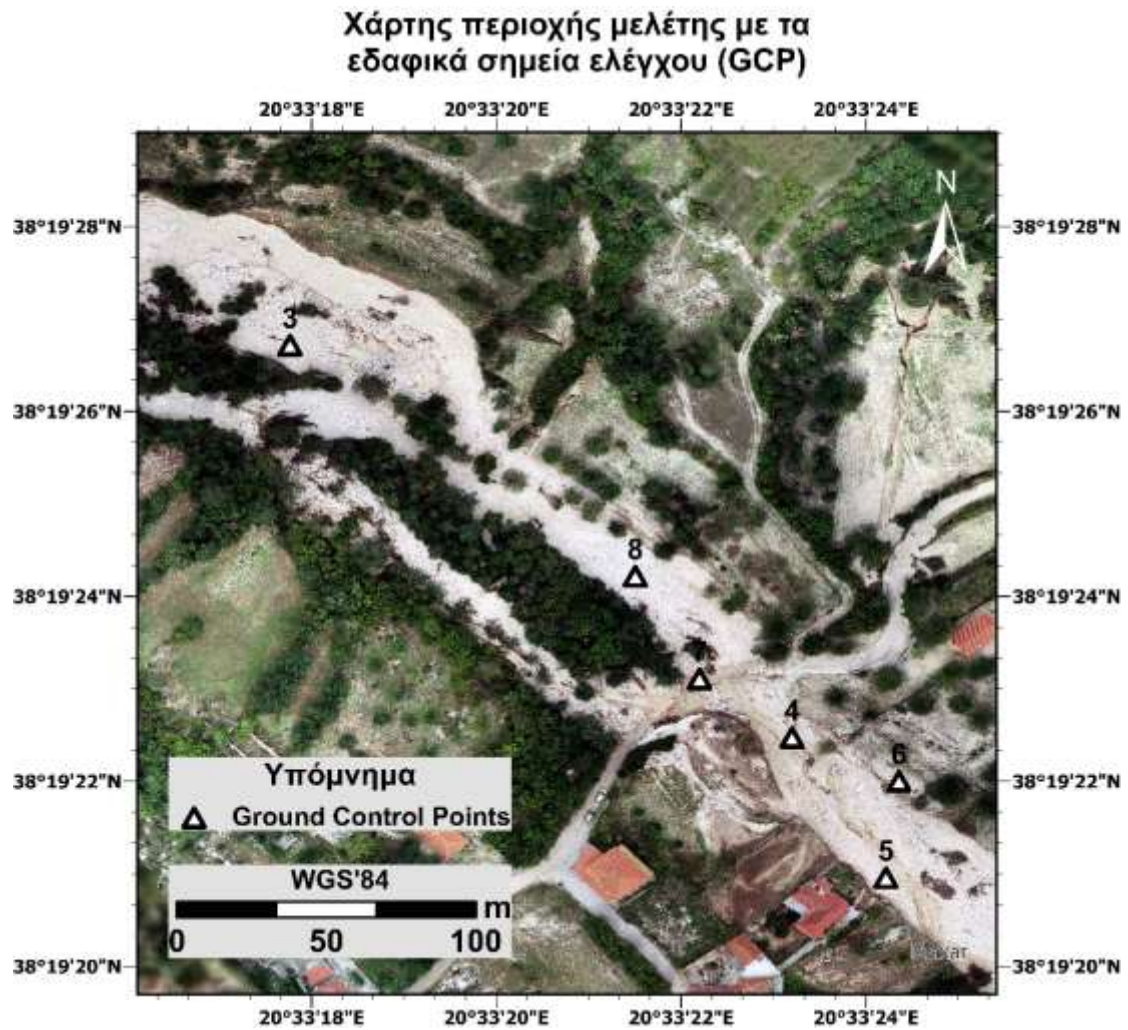
Θέση Εδαφικού Σημείου Ελέγχου 5

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες θέσεις, στη θέση του εδαφικού σημείου ελέγχου 5 εντοπίζονται ογκόλιθοι με μεγαλύτερο μέσο μέγεθος, γεγονός το οποίο δεν συμβαδίζει με την σταδιακή μείωση του μεγέθους των ογκολίθων προς τα κατάντη του ρέματος. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στη πλευρική μεταφορά τους από την δασική περιοχή βόρεια και βορειοανατολικά.

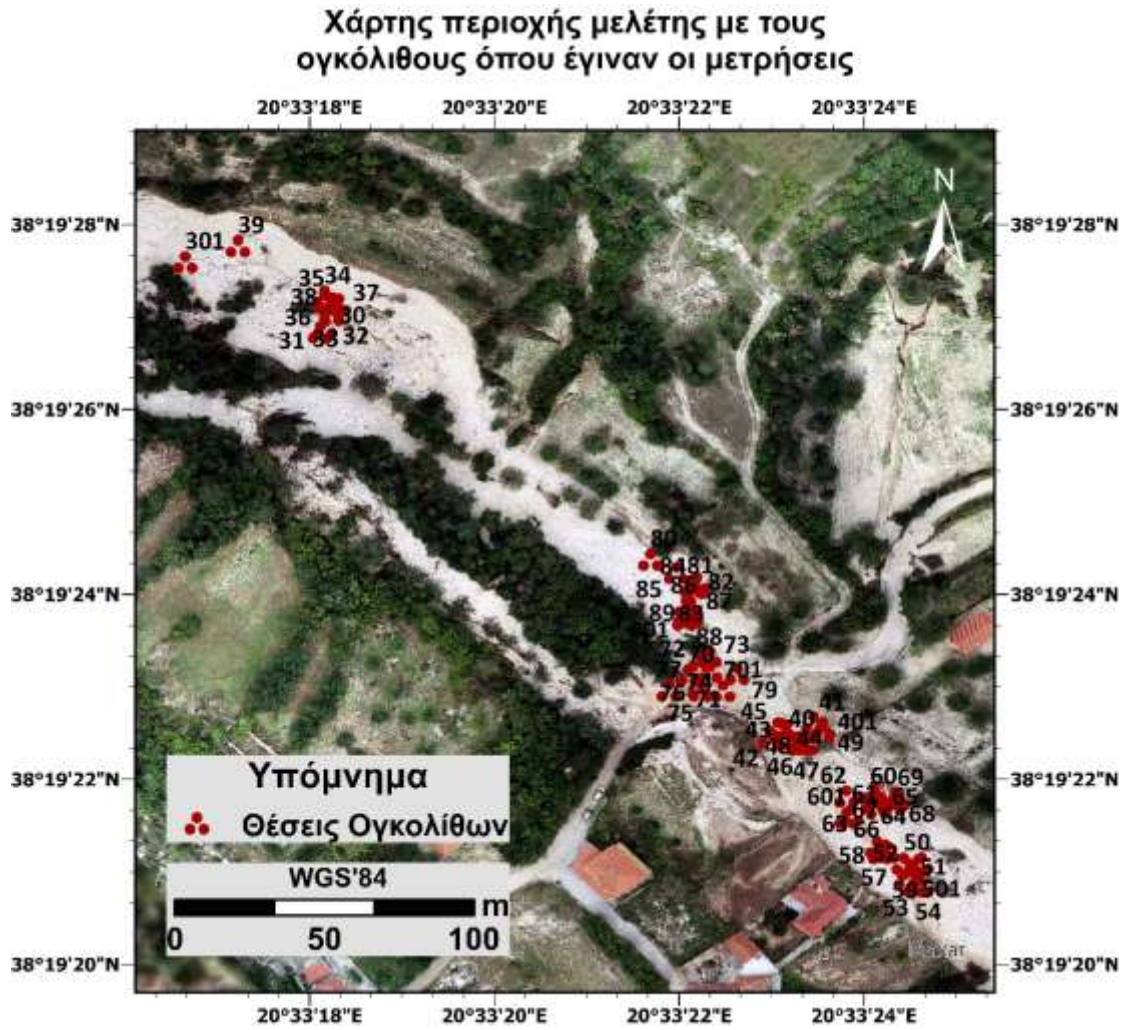
AA	No	Marker Area	λ	φ	a-axis (m)	b-axis (m)	Average a-axis	Average b-axis
56	50	5	38,3225	20,5568	1,07	0,89		
57	51	5	38,3225	20,5568	0,74	0,7		
58	52	5	38,3225	20,5568	0,62	0,35		
59	53	5	38,3225	20,5568	0,72	0,59		
60	54	5	38,3225	20,5568	0,62	0,61		
61	55	5	38,3226	20,5567	0,79	0,72		
62	56	5	38,3226	20,5567	0,72	0,37		
63	57	5	38,3226	20,5567	0,35	0,36		
64	58	5	38,3226	20,5567	0,67	0,53		
65	59	5	38,3225	20,5568	0,82	0,59		
66	501	5	38,3225	20,5568	0,62	0,38	0,7	0,55

Πίνακας 6.6. Οι συντεταγμένες των ογκολίθων στην περιοχή του GCP 5 όπου έγιναν οι μετρήσεις μέσω της χρήσης του λογισμικού ArcMap GIS, και στην συνέχεια με χρήση του λογισμικού BASEGRAIN μετρήθηκαν οι άξονες a, b.

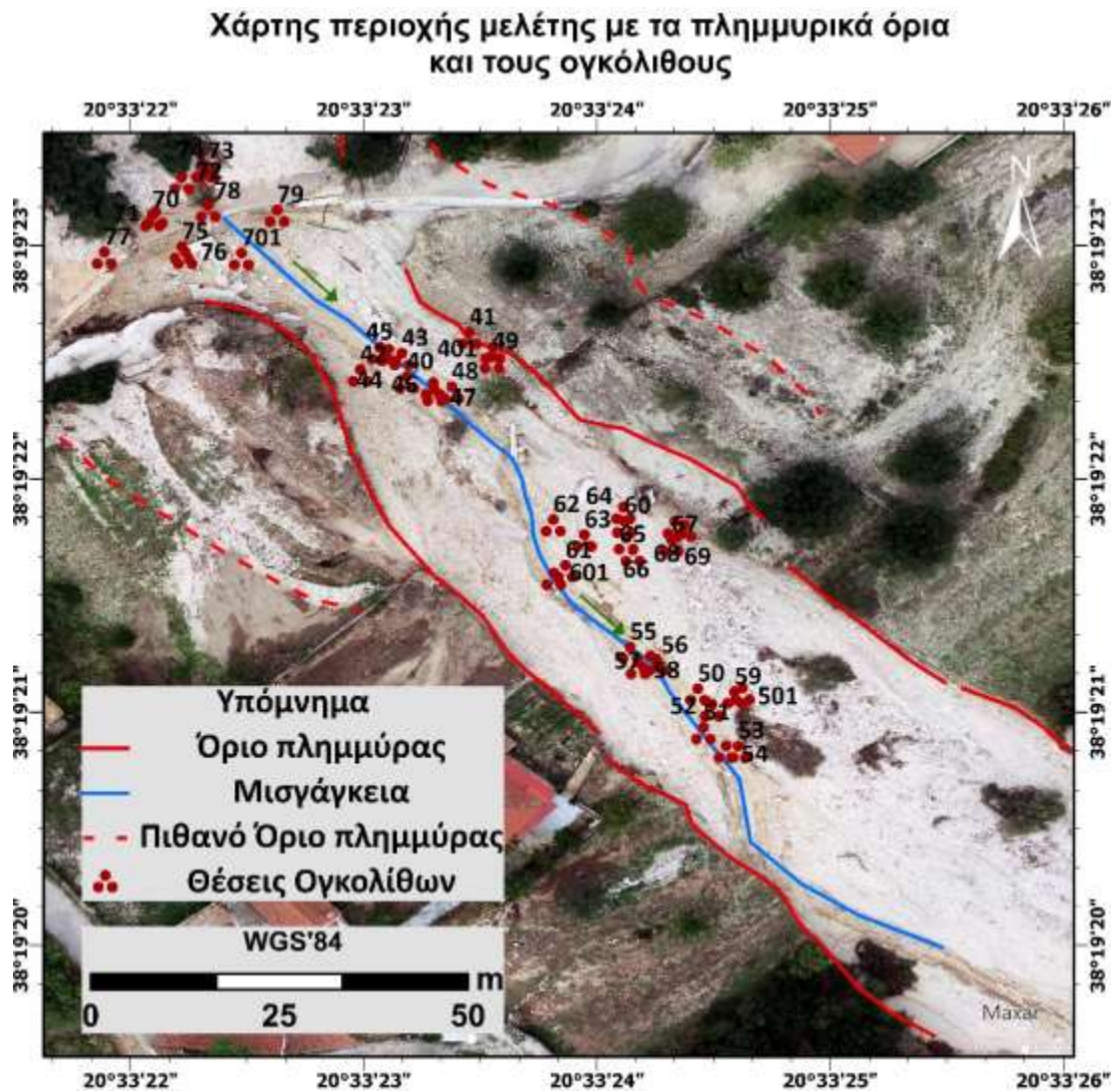
Στην συνέχεια, παρουσιάζονται χάρτες από την περιοχή μελέτης:



Εικόνα 6.1. Χάρτης της περιοχής μελέτης στην οποία απεικονίζεται η θέση των εδαφικών σημείων ελέγχου, με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη που προκύπτει από την χρήση GCP κατά την εξαγωγή του.



Εικόνα 6.2. Χάρτης της περιοχής μελέτης στην οποία απεικονίζεται η θέση των ογκόλιθων, με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη που προκύπτει από την χρήση GCP κατά την εξαγωγή του.



Εικόνα 6.3. Χάρτης της περιοχής μελέτης στην οποία απεικονίζονται τα πλημμυρικά όρια, η μισγάγκεια και οι θέσεις των ογκόλιθων, με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη που προκύπτει από την χρήση GCP κατά την εξαγωγή του.

Από την παρατήρηση του χάρτη με τα πλημμυρικά όρια (Εικόνα 6.4), γίνεται αντιληπτό ότι η θέση της μισγάγκειας μεταβάλλεται, καθώς η κοίτη κάμπτεται. Επίσης μειώνεται το μέσο μέγεθος των ογκολίθων προς τα κατάντη. Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή κοντά στο εδαφικό σημείο ελέγχου 3, όπου βρίσκεται βορειοδυτικότερα στα ανάντη, οι δύο άξονες a, b μετρήθηκαν κατά μέσο όρο 0,88 m και 0,55 m αντίστοιχα. Συνεχίζοντας νοτιοανατολικότερα στην περιοχή μελέτης, προς το εδαφικό σημείο ελέγχου 6 παρατηρείται ότι το μήκος των δύο αξόνων a, b κατά μέσο όρο μειώνεται σημαντικά (a-axis:0,35m, b-axis:0,25m). Συνεπώς, η μεταφορική ικανότητα του ρέματος μειώνεται προς τα κατάντη, μεταφέροντας μικρότερου μεγέθους ογκόλιθους.

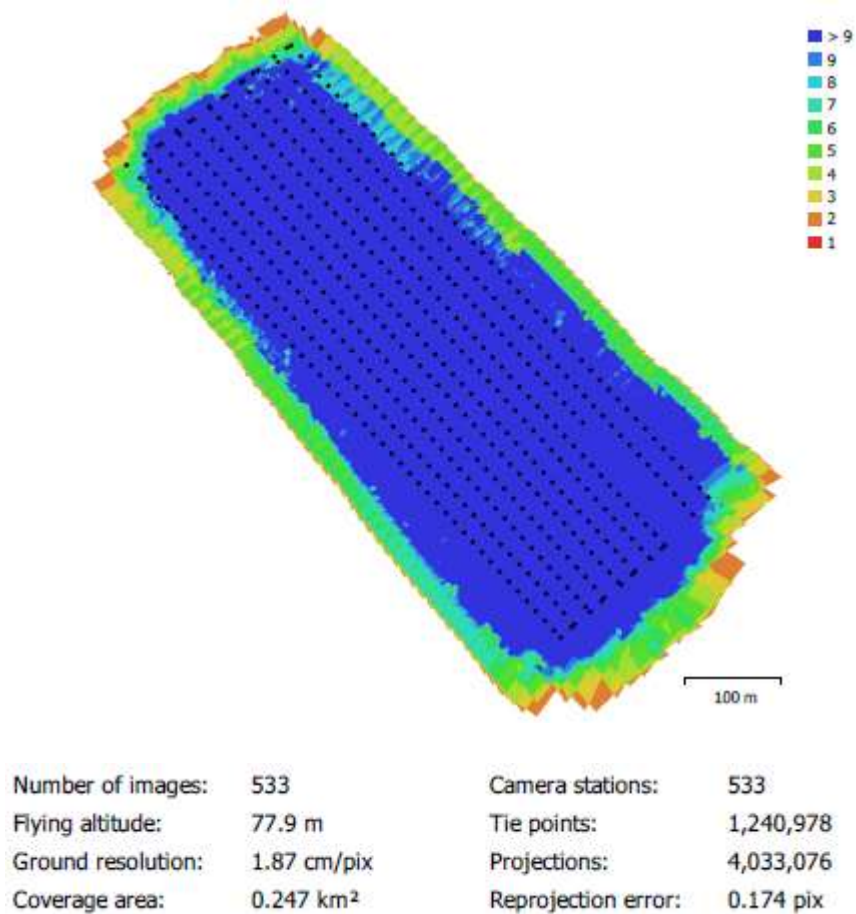
Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί ότι η πλειοψηφία των ογκόλιθων συναντάται στο αριστερό τμήμα της κοίτης, ενώ στο δεξί τμήμα της σημειώνεται κυρίως η ύπαρξη κροκαλών σημαντικά μικρότερου μεγέθους. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι βορειοανατολικά η περιοχή δεν οριοθετείται από τοιχώματα και μάντρες κτισμάτων, με αποτέλεσμα η μεταφορά φερτών υλικών και ογκόλιθων να διευκολύνεται προς τα κατάντη, σε αντίθεση με το δεξί τμήμα της κοίτης όπου η παρουσία ογκόλιθων είναι περιορισμένη. Επίσης, το ανάγλυφο της περιοχής βορειοανατολικά είναι έντονο και το υψόμετρο σταδιακά αυξάνεται, με αποτέλεσμα η κύλιση και η μεταφορά των ογκόλιθων και των κροκαλών να πραγματοποιείται ταχύτερα και σε ορισμένες περιπτώσεις απότομα. Αντίθετα, νοτιοδυτικά η περιοχή είναι κατοικημένη, οι υψομετρικές διακυμάνσεις ηπιότερες, με αποτέλεσμα το ρέμα να μην παρουσιάζει εξίσου μεγάλη ταχύτητα και μεταφορική ικανότητα. Τέλος, η παρουσία θραυσμάτων και τμημάτων, από τα τοιχώματα και τις μάντρες των οικιών δυσκολεύει σε ορισμένες περιπτώσεις τον διαχωρισμό τους από τους ογκόλιθους.

7. Συμπεράσματα

Είναι εμφανές ότι η χρήση της μεθόδου Real Time Kinematics σε συνδυασμό με την εγκατάσταση εδαφικών σημείων ελέγχου (GCP) μπορεί να προσφέρει αυξημένη ακρίβεια κατά την εξαγωγή των ορθοφωτομωσαϊκών και των εδαφικών μοντέλων αναγλύφου. Ως αποτέλεσμα, τα τελικά προϊόντα όπου προκύπτουν μπορούν να αξιοποιηθούν σε περαιτέρω έρευνες, όπως στην προκειμένη περίπτωση για οπτική κοκκομετρία.

Παρά την αυξημένη ακρίβεια όπου η μέθοδος RTK προσφέρει σε συνδυασμό με την χρήση εδαφικών σημείων ελέγχου, ο χρόνος όπου απαιτείται στην ύπαιθρο για την εγκατάσταση και την γεω-αναφορά των GCP και στο εργαστήριο για την επεξεργασία τους, μπορεί να καταστήσει την μέθοδο μη παραγωγική και χρονοβόρα ανάλογα με το μέγεθος της περιοχής και της μελέτης. Όμως, η χρήση της μεθόδου SfM για την χαρτογράφηση μίας περιοχής και την μελέτη των γεωμορφολογικών διεργασιών της συστήνεται, χωρίς την εγκατάσταση και χρήση εδαφικών σημείων ελέγχου απαραίτητα.

Ανάλογα με τον τρόπο όπου αξιοποιείται η μέθοδος RTK, παρατηρείται διαφορετική ακρίβεια στο τελικό αποτέλεσμα. Στον πίνακα 7.1 παρατηρείται ότι η πτήση του συστήματος ΣμηΕΑ RTK χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν τα Ground Control Points στην παραγωγή του ορθοφωτομωσαϊκού, προσφέρει δεδομένα με ακρίβεια της τάξεως των 50cm. Η απαιτούμενη ακρίβεια σε οποιαδήποτε έρευνα με την χρήση μεθόδων UAV εξαρτάται από την τελική εφαρμογή και τη περίπτωση χρήσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις ένα σφάλμα της τάξεως των 30 cm μπορεί να είναι ικανοποιητικό, ενώ σε άλλα έργα τα 2 cm να αποτελούν το μέγιστο αποδεκτό σφάλμα. Συνεπώς, με την χρήση εδαφικών σημείων ελέγχου GCP, το σφάλμα του τελικού μοντέλου παρατηρείται ότι μειώνεται σημαντικά (Mean: 12,2 cm) και παράλληλα, μειώνεται και η τυπική απόκλιση του σφάλματος των εδαφικών σημείων ελέγχου (Πίνακας 7.2).



Εικόνα 7.1. Θέσεις των καμερών και αλληλεπικάλυψη των εικόνων.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ακρίβεια της θέσης των Check Points στο ορθομωσαϊκό χωρίς την χρήση εδαφικών σημείων ελέγχου:

1^η Μέθοδος: RTK χωρίς την χρήση εδαφικών σημείων ελέγχου

GCP	ΔY (m)	ΔX (m)	ΔZ (m)	3D (m)
3	0,0000027	-0,0000076	1,721	0,696
4	0,0000059	-0,0000043	2,184	0,798
5	0,0000061	-0,0000040	1,990	0,785
6	0,0000040	-0,0000001	2,372	0,434
7	0,0000047	-0,0000045	2,067	0,702
8	0,0000048	-0,0000055	2,194	0,700
Mean	0,0000047	-0,0000043	2,088	0,686
St.Dev	0,0000012	0,0000025	0,222	0,131

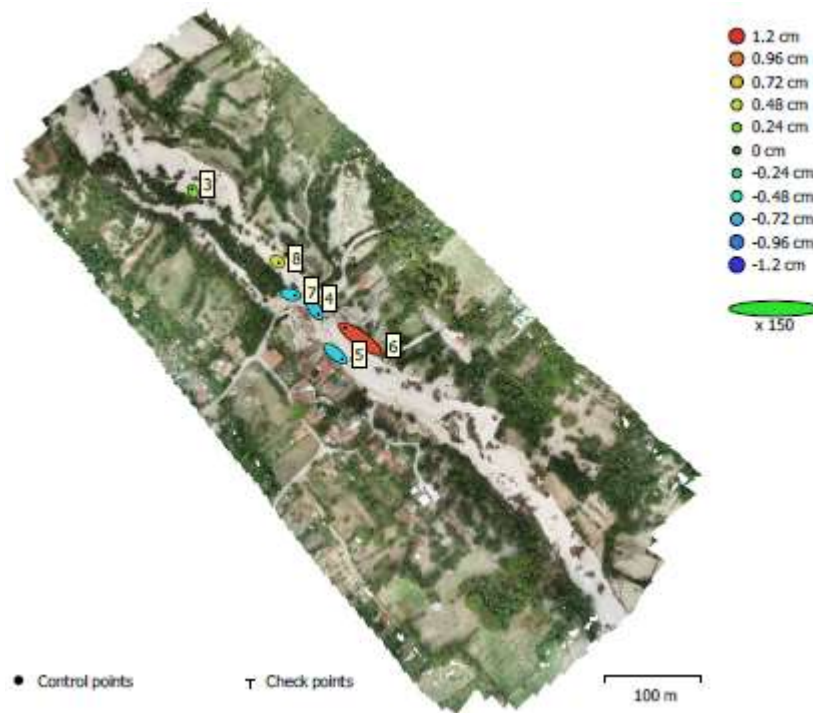
Πίνακας 7.1. Ακρίβεια της θέσης των Check Points στο ορθομωσαϊκό χωρίς την χρήση GCP.

2^η Μέθοδος: RTK με την χρήση εδαφικών σημείων ελέγχου

Στην συνέχεια, στον πίνακα 5^β παρουσιάζεται η ακρίβεια της θέσης των GCP στο ορθομωσαϊκό, όπου λήφθηκαν υπόψιν τα εδαφικά σημεία ελέγχου:

3	-0,0000003	0,0000004	0,014	0,054
4	0,0000009	-0,0000013	0,012	0,113
5	0,0000011	-0,0000010	0,022	0,144
6	-0,0000020	0,0000029	0,009	0,317
7	-0,0000003	-0,0000005	0,042	0,065
8	0,0000008	-0,0000005	0,011	0,039
Mean	0,00000001	0,00000001	0,018	0,122
St.Dev	0,0000012	0,0000015	0,013	0,103

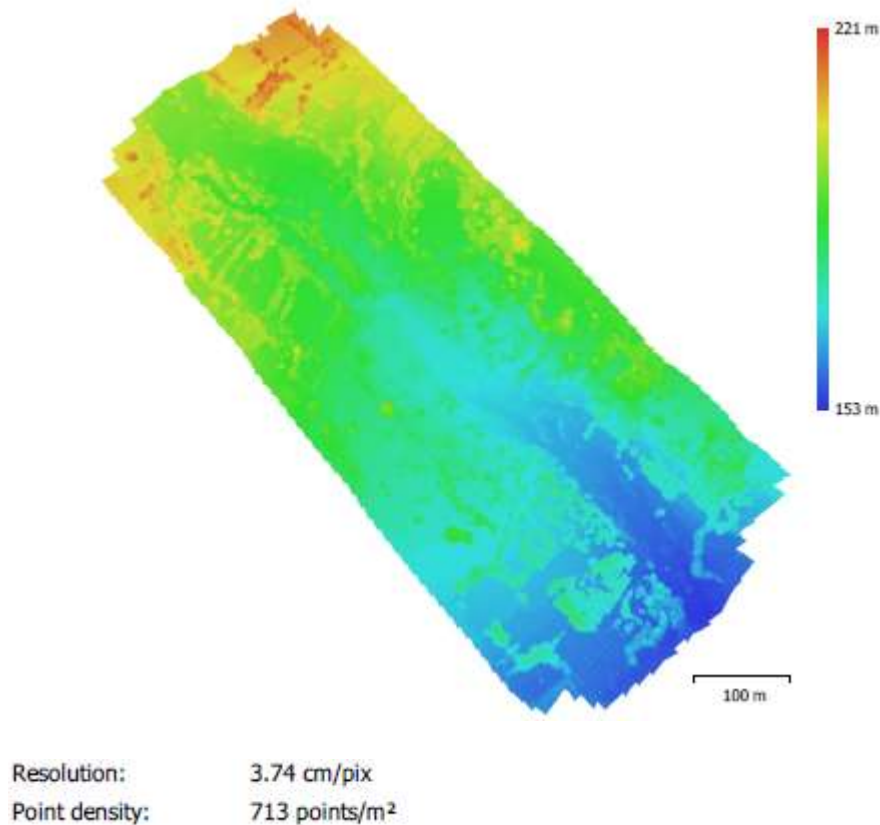
Πίνακας 7.2. Ακρίβεια της θέσης των Ground Control Points στο ορθομωσαϊκό όπου λήφθηκαν υπόψιν τα εδαφικά σημεία ελέγχου.



Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
6	9.92691	7.64556	0.702418	12.5299	12.5496

Εικόνα 7.2. Οι θέσεις των εδαφικών σημείων ελέγχου και ο υπολογισμός των σφαλμάτων της θέσης τους.

Επομένως, η χρήση των εδαφικών σημείων ελέγχου (≥ 8 Ground Control Points) συστήνεται σε περιπτώσεις όπου τα τελικά μοντέλα όπου θα εξαχθούν, όπως ο ορθοφωτοχάρτης και τα ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου, θα αξιοποιηθούν για περαιτέρω μελέτη και έρευνα.



Εικόνα 7.3. Ψηφιακό Μοντέλο εδάφους της περιοχής μελέτης.

Η μέθοδος Structure from Motion παρουσιάζει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα, αρχικά τη μελέτη της περιοχής ταχύτερα και την περαιτέρω εξέταση της μελλοντικά με περισσότερους τρόπους. Παράλληλα, ο συνδυασμός της μεθόδου Structure from Motion και της οπτικής κοκκομετρίας καθιστά δυνατή την κοκκομετρική ανάλυση όπου βασίστηκε στον ορθοφωτοχάρτη από τα δεδομένα ΣμηΕΑ, προσφέροντας γνώση και πληροφορίες σχετικά με την κατανομή των ογκόλιθων στην περιοχή μελέτης, το μέγεθος τους, καθώς και για το πλημμυρικό γεγονός. Η ανάλυση επιτρέπει τη μελέτη των μεταβολών όπου προκλήθηκαν στην περιοχή ύστερα από την δράση του Μεσογειακού Κυκλώνα Ιανού τον Σεπτέμβριο του 2020.

8. Βιβλιογραφία

- Abernethy, B., & Rutherford, I. D. (2000). Monitoring and modelling morphological change in a braided gravel-bed river using high resolution GPS-based survey. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25(9), 973–990. [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200008\)25:9<973::AID-ESP111>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200008)25:9<973::AID-ESP111>3.0.CO;2-Y)
- Aubouin J (1959) Contribution à l'étude géologique de la Grèce septentrionale, les confins de l'Épire et de la Thessalie. *Ann Geol des Pays Hellenique* 10:1–525
- Aubouin J, Dercourt J (1962) Zone préapulienne, zone ionienne et zone du Gavrovo en Peloponnese occidentale. *Bull Soc Ge'ol France* 4:785–794
- Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., & Martínez-Carricondo, P. (2017). Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 98, 221–227. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.12.002>
- Andreadakis, E., Diakakis, M., Vassilakis, E., Deligiannakis, G., Antoniadis, A., Andriopoulos, P., Spyrou, N. I., & Nikolopoulos, E. I. (2020). Unmanned aerial systems-aided post-flood peak discharge estimation in ephemeral streams. *Remote Sensing*, 12(24), 1–27. <https://doi.org/10.3390/rs12244183>
- Andrew, A. M. (2001). Multiple View Geometry in Computer Vision 2001 2 Richard Hartley, Andrew Zisserman. Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge: Cambridge University Press 2000. xvi + 607 pp., ISBN: 0-521-62304-9 hardback, £60.00. *Kybernetes*, 30(9/10), 1333–1341. https://doi.org/10.1108/k.2001.30.9_10.1333.2
- Atkinson, K. B. (1994). CLOSE RANGE TECHNIQUES AND MACHINE VISION. The Photogrammetric Record, 14(84), 1001–1003. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.1994.tb00300.x>
- Bae, T. S., & Kim, M. (2018). Performance Analysis of Network-RTK Techniques for Drone Navigation considering Ionospheric Conditions. *Journal of Sensors*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5154697>
- Bendea, H., Boccoardo, P., Dequal, S., Tondo, G., Marenchino, D., and Piras, M. (2008). Low cost UAV for post-disaster assessment, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 37, 1373–1379.
- Bister, M., & Emanuel, K. A. (2002). Low frequency variability of tropical cyclone potential intensity 1. Interannual to interdecadal variability. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 107(24), ACL 26-1-ACL 26-15. <https://doi.org/10.1029/2001JD000776>
- BP Co (1971) The geological results of petroleum exploration in Western Greece. Institute of Geology and Subsurface Research, Athens, 10, p. 73
- Buzzi, A., & Tibaldi, S. (1978). Cyclogenesis in the lee of the Alps: A case study. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 104(440), 271–287. <https://doi.org/10.1002/qj.49710444004>

- Carrivick, J. L., & Smith, M. W. (2018). Fluvial and aquatic applications of Structure from Motion photogrammetry and unmanned aerial vehicle/drone technology. *WIREs Water*, 6(1). <https://doi.org/10.1002/wat2.1328>
- Cavicchia, L., von Storch, H., & Gualdi, S. (2014). A long-term climatology of medicanes. *Climate Dynamics*, 43(5–6), 1183–1195. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1893-7>
- Claud, C., Alhammoud, B., Funatsu, B. M., & Chaboureau, J. P. (2010). Mediterranean hurricanes: Large-scale environment and convective and precipitating areas from satellite microwave observations. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(10), 2199–2213. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-2199-2010>
- Cledat, E., Jospin, L., Cucci, D., & Skaloud, J. (2020). Mapping quality prediction for RTK/PPK-equipped micro-drones operating in complex natural environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 167, 24–38. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.05.015>
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- Dafis, S., Claud, C., Kotroni, V., Lagouvardos, K., & Rysman, J. F. (2020). Insights into the convective evolution of Mediterranean tropical-like cyclones. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(733), 4147–4169. <https://doi.org/10.1002/qj.3896>
- Dafis, S., Rysman, J. F., Claud, C., & Flaounas, E. (2018). Remote sensing of deep convection within a tropical-like cyclone over the Mediterranean Sea. *Atmospheric Science Letters*, 19(6), 1–7. <https://doi.org/10.1002/asl.823>
- Detert, M., & Weitbrecht, V. (2013). User guide to gravelometric image analysis by BASEGRAIN.
- Dietrich, J. T. (2016). Riverscape mapping with helicopter-based Structure-from-Motion photogrammetry. *Geomorphology*, 252, 144–157. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.008>
- Eltner, A., Kaiser, A., Castillo, C., Rock, G., Neugirg, F., & Abellán, A. (2016). Image-based surface reconstruction in geomorphometry – merits, limits and developments. *Earth Surface Dynamics*, 4(2), 359–389. <https://doi.org/10.5194/esurf-4-359-2016>
- Eltner, A., & Schneider, D. (2015). Analysis of Different Methods for 3D Reconstruction of Natural Surfaces from Parallel-Axes UAV Images. *The Photogrammetric Record*, 30(151), 279–299. <https://doi.org/10.1111/phor.12115>
- Emanuel, K. (2005). Genesis and maintenance of “Mediterranean hurricanes.” *Advances in Geosciences*, 2(2005), 217–220. <https://doi.org/10.5194/adgeo-2-217-2005>

- Euler, H. J., Zebhauser B. E. (2003). “The use of standardized network RTK messages in rover applications for surveying,” in Proceedings of the 2003 National Technical Meeting of The Institute of Navigation, vol. 1, pp. 377–384, Anaheim, CA, USA, 2003.
- Fernández-Hernandez, J., González-Aguilera, D., Rodríguez-Gonzálvez, P., & Mancera-Taboada, J. (2014). Image-Based Modelling from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry: An Effective, Low-Cost Tool for Archaeological Applications. *Archaeometry*, 57(1), 128–145. <https://doi.org/10.1111/arc.12078>
- Fiorucci, F., Giordan, D., Santangelo, M., Dutto, F., Rossi, M., & Guzzetti, F. (2017). Criteria for the optimal selection of remote sensing images to map event landslides. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, d, 1–23. <https://doi.org/10.5194/nhess-2017-111>
- Flaounas, E., Raveh-Rubin, S., Wernli, H., Drobinski, P., & Bastin, S. (2015). The dynamical structure of intense Mediterranean cyclones. *Climate Dynamics*, 44(9–10), 2411–2427. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2330-2>
- Flener, C., Vaaja, M., Jaakkola, A., Krooks, A., Kaartinen, H., Kukko, A., Kasvi, E., Hyypä, H., Hyypä, J., and Alho, P. (2013). Seamless mapping of river channels at high resolution using mobile LiDAR and UAV-photography, *Remote Sens.*, 5, 6382–6407, <https://doi.org/10.3390/rs5126382>, 2013.
- Gaki-Papanastassiou, K., Maroukian, H., Karymbalis, E., & Papanastassiou, D. (2011). Geomorphological study and paleogeographic evolution of NW Kefalonia Island, Greece, concerning the hypothesis of a possible location of the Homeric Ithaca. *Special Paper of the Geological Society of America*, 476(December 2016), 69–79. [https://doi.org/10.1130/2011.2476\(06\)](https://doi.org/10.1130/2011.2476(06))
- Georgiadou-Dikaiouli E (1967). The Neogene of Kephallinia. PhD Thesis, University of Athens
- Gindraux, S., Boesch, R., & Farinotti, D. (2017). Accuracy Assessment of Digital Surface Models from Unmanned Aerial Vehicles’ Imagery on Glaciers. *Remote Sensing*, 9(2), 186. <https://doi.org/10.3390/rs9020186>
- Giordan, D., Hayakawa, Y. S., Nex, F., & Tarolli, P. (2018). Preface: The use of remotely piloted aircraft systems (RPAS) in monitoring applications and management of natural hazards. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(11), 3085–3087. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-3085-2018>
- González-Alemán, J. J., Pascale, S., Gutierrez-Fernandez, J., Murakami, H., Gaertner, M. A., & Vecchi, G. A. (2019). Potential Increase in Hazard From Mediterranean Hurricane Activity With Global Warming. *Geophysical Research Letters*, 46(3), 1754–1764. <https://doi.org/10.1029/2018GL081253>
- Graham, D. J., Rollet, A. J., Rice, S. P., & Piégay, H. (2012). Conversions of Surface Grain-Size Samples Collected and Recorded Using Different Procedures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(10), 839–849. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0000595](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000595)

- Harwin, S., & Lucieer, A. (2012). Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery. *Remote Sensing*, 4(6), 1573–1599. <https://doi.org/10.3390/rs4061573>
- Harwin, S., Lucieer, A., & Osborn, J. (2015). The Impact of the Calibration Method on the Accuracy of Point Clouds Derived Using Unmanned Aerial Vehicle Multi-View Stereopsis. *Remote Sensing*, 7(9), 11933–11953. <https://doi.org/10.3390/rs70911933>
- Hastedt, H., & Luhmann, T. (2015). INVESTIGATIONS ON THE QUALITY OF THE INTERIOR ORIENTATION AND ITS IMPACT IN OBJECT SPACE FOR UAV PHOTOGRAMMETRY. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-1/W4, 321–328. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-1-w4-321-2015>
- Hoskins, B. J., McIntyre, M. E., & Robertson, a. W. (1985). of the Meteorological October 1985. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 111(6), 877–946.
- Ibbeken, H., & Schleyer, R. (1986). Photo-sieving: A method for grain-size analysis of coarse-grained, unconsolidated bedding surfaces. *Earth Surface Processes and Landforms*, 11(1), 59–77. <https://doi.org/10.1002/esp.3290110108>
- Institute of Geology and Mineral Exploration (IGME), (1971), The British Petroleum Co, Ltd.: The Geological Results of Petroleum Exploration in Western Greece, Report no. 10: Athens, Institute for Geological and Subsurface
- Institute of Geology and Mineral Exploration (IGME), (1985), Geological Map of Kefalonia Island: Athens, scale 1:50,000.
- Izumida, A., Uchiyama, S., & Sugai, T. (2017). Application of UAV-SfM photogrammetry and aerial lidar to a disastrous flood: repeated topographic measurement of a newly formed crevasse splay of the Kinu River, central Japan. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(9), 1505–1519. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1505-2017>
- James, M. R., & Robson, S. (2014). Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(10), 1413–1420. <https://doi.org/10.1002/esp.3609>
- James, M., Robson, S., d'Oleire-Oltmanns, S., & Niethammer, U. (2017). Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: Ground control quality, quantity and bundle adjustment. *Geomorphology*, 280, 51–66. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.021>
- Jansa, A., Genoves, A., & Garcia-Moya, J. A. (2000). Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part I: Numerical experiment concerning the piedmont flood case. *Meteorological Applications*, 7(4), 323–333. <https://doi.org/10.1017/S1350482700001663>

- Javernick, L., Hicks, D. M., Measures, R., Caruso, B., & Brasington, J. (2015). Numerical Modelling of Braided Rivers with Structure-from-Motion-Derived Terrain Models. *River Research and Applications*, 32(5), 1071–1081. <https://doi.org/10.1002/rra.2918>
- Karymbalis, E., Papanastassiou, D., Gaki-Papanastassiou, K., Tsanakas, K., & Maroukian, H. (2013). Geomorphological study of Cephalonia Island, Ionian Sea, Western Greece. *Journal of Maps*, 9(1), 121–134. <https://doi.org/10.1080/17445647.2012.758423>
- Kastridis, A., Kirkenidis, C., & Sapountzis, M. (2020). An integrated approach of flash flood analysis in ungauged Mediterranean watersheds using post-flood surveys and unmanned aerial vehicles. *Hydrological Processes*, 34(25), 4920–4939. <https://doi.org/10.1002/hyp.13913>
- Kotroni, V., Lagouvardos, K., Defer, E., Dietrich, S., Porcù, F., Medaglia, C. M., & Demirtas, M. (2006). The Antalya 5 December 2002 storm: Observations and model analysis. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45(4), 576–590. <https://doi.org/10.1175/JAM2347.1>
- Langhammer, J., Bernsteinová, J., & Miřijovský, J. (2017). Building a High-Precision 2D Hydrodynamic Flood Model Using UAV Photogrammetry and Sensor Network Monitoring. *Water*, 9(11), 861. <https://doi.org/10.3390/w9110861>
- Langhammer, J., & Vacková, T. (2018). Detection and Mapping of the Geomorphic Effects of Flooding Using UAV Photogrammetry. *Pure and Applied Geophysics*, 175(9), 3223–3245. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1874-1>
- Lekkas E (1996) Neotectonic Map of Greece. Cephalonia—Ithaki sheet. Scale 1:100.000. University of Athens
- Lekkas E, Danamos G, Mavrikas G (2001). Geological Structure and Evolution of Kefallonia and Ithaki islands. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 34(1), 11. <https://doi.org/10.12681/bgsg.16938>
- Lekkas, E. L., & Mavroulis, S. D. (2015). Earthquake environmental effects and ESI 2007 seismic intensities of the early 2014 Cephalonia (Ionian Sea, western Greece) earthquakes (January 26 and February 3, Mw 6.0). *Natural Hazards*, 78(3), 1517–1544. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1791-x>
- Lekkas, Efthymis & Nastos, Panagiotis & Cartalis, Constantinos & Diakakis, Michalis & Gogou, Marilia & Mavroulis, Spyridon & Vassilakis, Emmanuel & Spyrou, Nafsika Ioanna & Kotsi, Evelina & Katsetsiadou, Katerina-Navsika & Skourtsos, Emmanuel & Emmanuel, Andreadakis & Kapourani, Eleni & Soukis, Konstantinos & Theodorakidou, Dimitra & Tsironis, Apostolos & Lekka, Christina & Moraitis, Sotiris & Stamati, Eleftheria & Valkaniotis, Sotirios. (2020). Impact of Medicane “IANOS” (September 2020). 10.13140/RG.2.2.16146.68806.

- Li, B., Shen, Y., Feng, Y., Gao, W., & Yang, L. (2013). GNSS ambiguity resolution with controllable failure rate for long baseline network RTK. *Journal of Geodesy*, 88(2), 99–112. <https://doi.org/10.1007/s00190-013-0670-z>
- LI, C. C., ZHANG, G. S., LEI, T. J., & GONG, A. D. (2011). Quick image-processing method of UAV without control points data in earthquake disaster area. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21, s523–s528. [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(12\)61635-5](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(12)61635-5)
- Mancini, F., Dubbini, M., Gattelli, M., Stecchi, F., Fabbri, S., & Gabbianelli, G. (2013). Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for High-Resolution Reconstruction of Topography: The Structure from Motion Approach on Coastal Environments. *Remote Sensing*, 5(12), 6880–6898. <https://doi.org/10.3390/rs5126880>
- Marteau, B., Vericat, D., Gibbins, C., Batalla, R. J., & Green, D. R. (2016). Application of Structure-from-Motion photogrammetry to river restoration. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(3), 503–515. <https://doi.org/10.1002/esp.4086>
- Mavroulis, Spiridon & Carydis, Panayotis & Alexoudi, Vasiliki & Grambas, Alexia & Lekkas, Efthymis. (2017). *THE JANUARY-FEBRUARY 2014 CEPHALONIA (IONIAN SEA, WESTERN GREECE) EARTHQUAKES: TECTONIC AND SEISMOLOGICAL ASPECTS*.
- Michaelides, S., Karacostas, T., Sánchez, J. L., Retalis, A., Pytharoulis, I., Homar, V., Romero, R., Zanis, P., Giannakopoulos, C., Bühl, J., Ansmann, A., Merino, A., Melcón, P., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Bruggeman, A., López-Moreno, J. I., Berthet, C., Katragkou, E., ... Nisantzi, A. (2018). Reviews and perspectives of high impact atmospheric processes in the Mediterranean. *Atmospheric Research*, 208(November 2017), 4–44. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.11.022>
- Min-Ho, K., & Tae-Suk, B. (2015). Preliminary Analysis of Network-RTK for Navigation. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 33(5), 343–351. <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2015.33.5.343>
- Moscattello, A., Miglietta, M. M., & Rotunno, R. (2008). Observational analysis of a Mediterranean “hurricane” over south-eastern Italy. *Weather*, 63(10), 306–311. <https://doi.org/10.1002/wea.231>
- Morales, Y., & Tsubouchi, T. (2007). 2P1-H04 Robot Localization in Outdoor Woodland Environments : Static and Dynamic performance of DGPS, RTK-GPS and RTG StarFire. *The Proceedings of JSME Annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomec)*, 2007(0), _2P1-H04_1. https://doi.org/10.1299/jsmermd.2007._2p1-h04_1
- Neu, U., Akperov, M. G., Bellenbaum, N., Benestad, R., Blender, R., Caballero, R., Coccozza, A., Dacre, H. F., Feng, Y., Fraedrich, K., Grieger, J., Gulev, S., Hanley, J., Hewson, T., Inatsu, M., Keay, K., Kew, S. F., Kindem, I., Leckebusch, G. C., Wernli, H. (2013). Imilast: A community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(4), 529–547. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00154.1>

- Nex, F., & Remondino, F. (2013). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- Oniga, E., Breaban, A., & Statescu, F. (2018). *Determining the optimum number of ground control points for obtaining high precision results based on UAS images*. 5165. <https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05165>
- Pearson, E & Smith, Mark & Klaar, Megan & Brown, Lee. (2017). Can high resolution 3D topographic surveys provide reliable grain size estimates in gravel bed rivers?. *Geomorphology*. 293. 10.1016/j.geomorph.2017.05.015.
- Perks, M. T., Russell, A. J., & Large, A. R. G. (2016). Technical Note: Advances in flash flood monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs). *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(10), 4005–4015. <https://doi.org/10.5194/hess-20-4005-2016>
- Petterssen S. (1956). *Weather Analysis and Forecasting*. 2nd McGraw-Hill: New York.
- Przybilla, H., Wester-Ebbinghaus, W., (1979). Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug. *Bildmessung und Luftbildwissen* 47, 137–142.
- Pytharoulis, I., Craig, G. C., & Ballard, S. P. (2000). The hurricane-like Mediterranean cyclone of January 1995. *Meteorological Applications*, 7(3), 261–279. <https://doi.org/10.1017/S1350482700001511>
- Renz C (1955) Die vorneogene stratigraphia der normalsedimentaren formationen Griechenlands. In: IGSR (ed), Athens, p. 637
- Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J., Rodríguez-Pérez, J., & Ordóñez, C. (2018). Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used. *Remote Sensing*, 10(10), 1606. <https://doi.org/10.3390/rs10101606>
- Schumann, Muhlhausen, & Andreadis. (2019). Rapid Mapping of Small-Scale River-Floodplain Environments Using UAV SfM Supports Classical Theory. *Remote Sensing*, 11(8), 982. <https://doi.org/10.3390/rs11080982>
- Snively, N. (2011). Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections: A Survey. *IPSI Transactions on Computer Vision and Applications*, 3, 44–66. <https://doi.org/10.2197/ipsjtcva.3.44>
- Sorel, D., (1976). *Etude Néotectonique des îles Ioniennes de Céphalonie et de Zante et de l'Elide Occidentale (Grèce) [Thèse 3e cycle]*: Orsay, University Paris Sud, 200 p.
- Stavropoulos A (1988) Geological map of Greece, “Ithaki-Atokos”, 1:50000 scale. IGME, Athens

- Stott, E., Williams, R. D., & Hoey, T. B. (2020). Ground Control Point Distribution for Accurate Kilometre-Scale Topographic Mapping Using an RTK-GNSS Unmanned Aerial Vehicle and SfM Photogrammetry. *Drones*, 4(3), 55. <https://doi.org/10.3390/drones4030055>
- Taddia, Y., Stecchi, F., & Pellegrinelli, A. (2019). Using dji phantom 4 rtk drone for topographic mapping of coastal areas. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2/W13), 625–630. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-625-2019>
- Tammaing, A., Hugenholtz, C., Eaton, B., & Lapointe, M. (2014). Hyperspatial Remote Sensing of Channel Reach Morphology and Hydraulic Fish Habitat Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV): A First Assessment in the Context of River Research and Management. *River Research and Applications*, 31(3), 379–391. <https://doi.org/10.1002/rra.2743>
- Teppati Losè, L., Chiabrand, F., & Giulio Tonolo, F. (2020). Are measured ground control points still required in UAV based large scale mapping? assessing the positional accuracy of an RTK multi-rotor platform. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B1), 507–514. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2020-507-2020>
- Tous, M., & Romero, R. (2013). Meteorological environments associated with medicane development. *International Journal of Climatology*, 33(1), 1–14. <https://doi.org/10.1002/joc.3428>
- Ulbrich, U., Leckebusch, G. C., & Pinto, J. G. (2009). Extra-tropical cyclones in the present and future climate: A review. *Theoretical and Applied Climatology*, 96(1–2), 117–131. <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0083-8>
- Underhill, J. (1985). Neogene and Quaternary tectonics and sedimentation in Western Greece, (Thesis PhD). University of Wales.
- Underhill, J., (1989). Late Cenozoic deformation of the Hellenide foreland, western Greece: Geological Society of America Bulletin, v. 101, p. 613–634, doi:10.1130/0016-7606(1989)101<0613:LCDOTH>2.3.CO;2.
- Wackrow, R., & Chandler, J. H. (2008). A convergent image configuration for DEM extraction that minimises the systematic effects caused by an inaccurate lens model. *The Photogrammetric Record*, 23(121), 6–18. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2008.00467.x>
- Watanabe, Y., & Kawahara, Y. (2016). UAV Photogrammetry for Monitoring Changes in River Topography and Vegetation. *Procedia Engineering*, 154, 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.482>
- Wester-Ebbinghaus, W. (2006). AERIAL PHOTOGRAPHY BY RADIO CONTROLLED MODEL HELICOPTER. *The Photogrammetric Record*, 10(55), 85–92. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.1980.tb00006.x>

- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). “Structure-from-Motion” photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
- Wubben, G., Bagge, A., and Schmitz, M., (2001). “Network-based techniques for RTK applications” in Presented at the GPS Symposium, GPS Society, Japan Institute of Navigation, 2001, pp. 14–16, Tokyo, Japan, 2001
- Xu, H. (2012). Application of GPS-RTK technology in the land change survey. *Procedia Engineering*, 29, 3454–3459. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.511>
- Yang, S., Wang, P., Lou, H., Wang, J., Zhao, C., & Gong, T. (2019). Estimating River Discharges in Ungauged Catchments Using the Slope–Area Method and Unmanned Aerial Vehicle. *Water*, 11(11), 2361. <https://doi.org/10.3390/w11112361>
- Zhang, H., Aldana-Jague, E., Clapuyt, F., Wilken, F., Vanacker, V., & Van Oost, K. (2019). Evaluating the potential of post-processing kinematic (PPK) georeferencing for UAV-based structure-from-motion (SfM) photogrammetry and surface change detection. *Earth Surface Dynamics*, 7(3), 807–827. <https://doi.org/10.5194/esurf-7-807-2019>
- Ziakopoulos D, Marinaki A. (1996). Mediterranean mesoscale vortices with tropical cyclone features. Proceedings of the 3rd Hellenic Conference on Meteorology, Climatology and Physics of the Atmosphere: Athens, Greece, pp. 154–159.
- Zou, X., Ge, M., Tang, W., Shi, C., & Liu, J. (2012). URTK: undifferenced network RTK positioning. *GPS Solutions*, 17(3), 283–293. <https://doi.org/10.1007/s10291-012-0277-5>