ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: Γεωπληροφορική

« Συλλογή Γεωγραφικών Δεδομένων Υψηλής Ανάλυσης με Αξιοποίηση της Τεχνολογίας Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ): Περιπτωσιολογική Μελέτη (Case Study), ο Αρχαιολογικός Χώρος σε περιοχή του Πόρου της νήσου Κεφαλονιάς.»

Διπλωματική Εργασία του
Βιδάλη-Κελαγιάννη Μιχάλη

Αθήνα, Φεβρουάριος 2019

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: Γεωπληροφορική

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Χρίστος Χαλκιάς (Επιβλέπων)
Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Ισαάκ Παρχαρίδης
Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Ανδρέας Τσάτσαρης
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής , Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Ο Μιχάλης Βιδάλης-Κελαγιάννης δηλώνω υπεύθυνα ότι:

1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.

2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στον καθηγητή μου, κ. Χαλκιά Χρήστο αντί για ευχαριστίες, θα ήθελα να του αφιερώσω ένα απόφθεγμα του Αμερικάνου συγγραφέα William Arthur Ward, «Ο μέτριος δάσκαλος μιλάει. Ο καλός δάσκαλος εξηγεί. Ο εξαιρετικός δάσκαλος δείχνει. Ο μεγάλος δάσκαλος εμπνέει.».

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κλεομένη Καλογερόπουλο, για την συνεργασία και την άμεση ανταπόκρισή του, χωρίς την βοήθεια του οποίου δεν θα ήταν εφικτή η λήψη των δεδομένων που στηρίχθηκε η παρούσα εργασία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον προϊστάμενο της Εφορίας Αρχαιοτήτων Κεφαλονιάς κ. Γρηγορακάκη Γρηγόρη, τόσο για την έγκριση πτήσης, στον αρχαιολογικό χώρο στον Πόρο Κεφαλονιάς, όσο και για την συνεργασία του στα θέματα του νομικού πλαισίου προστασίας του αρχαιολογικού χώρου στον Πόρο της Κεφαλονιάς.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη

Η αξιοποίηση της τεχνολογίας των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ), για την συλλογή γεωγραφικών δεδομένων υψηλής ακρίβειας, αποτελεί σήμερα την εναλλακτική λύση χαμηλού κόστους ως προς την κλασσική επανδρωμένη αεροφωτογράφιση, σε θέματα χαρτογράφησης και τρισδιάστατης απεικόνισης. Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε, μέσα από βιβλιογραφική επισκόπηση, η καταγραφή, των παραγόντων εκείνων, που επηρεάζουν την ακρίβεια των τελικώς παραγόμενων ορθοφωτοχαρτών και ψηφιακών μοντέλων επιφανείας (DSM). Επιβεβαιώνοντας παράλληλα την αναγκαιότητα του προγραμματισμού – σχεδιασμού πτήσης, πριν την διενέργεια της ίδιας της πτήσης. Η περιπτωσιολογική μελέτη, αφορά στον αρχαιολογικό χώρο σε περιοχή του Πόρου της Νήσου Κεφαλονιάς, στον οποίο έχουν βρεθεί ευρήματα μυκηναϊκής περιόδου. Για την χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης, εκτάσεως περίπου 1.050 στρεμμάτων και την εκπόνηση ορθοφωτοχάρτη και ψηφιακού ανάγλυφου επιφανείας, χρησιμοποιήθηκε ΣμηΕΑ πολλαπλών στροφείων (Dji Phantom 4 Pro). Τοποθετήθηκαν δέκα (10) σημεία ελέγχου εδάφους και εντοπίστηκαν πέντε (5) χαρακτηριστικά σημεία, που στην συνέχεια αποτυπώθηκαν με γεωδαιτικό δέκτη GNSS διπλής συχνότητας. Έγιναν τέσσερις (4) διαδοχικές πτήσεις, συνολικής διάρκειας δύο (2) ωρών, σε ύψος πτήσης 110μ και μέσο υψόμετρο 165μ. Ο τελικός ορθοφωτοχάρτης και το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (DSM) που εκπονήθηκε, είχαν ακρίβεια (RMSE) 0,105μ και 0,075μ αντίστοιχα. Συνολικά, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν τη χρήση των ΣμηΕΑ στη συλλογή γεωγραφικών δεδομένων υψηλής ακρίβειας, συνδυάζοντας μειωμένους χρόνους λήψης δεδομένων με παραγόμενα προϊόντα ικανοποιητικής ακρίβειας. Τέλος, συμπεριλαμβάνονται προτάσεις για τη μελλοντική βελτίωση της χρήσης των ΣμηΕΑ στη συλλογή γεωγραφικών δεδομένων υψηλής ακρίβειας.

Λέξεις κλειδιά: ΣμηΕΑ, συλλογή γεωγραφικών δεδομένων, προγραμματισμός πτήσης, σχεδιασμός πτήσης, παράμετροι ακριβείας.

Abstract

The use of Uninhabitant Aerial System (UAS) technology to collect high-precision geographic data is today the low-cost alternative to standard manned aerial photography on mapping and 3D imaging. This thesis attempts, through a bibliographic review, to record those factors that affect the accuracy of the ultimately produced orthophoto maps and digital surface models (DSM). While confirming the necessity of flight planning before the flight itself. The case study refers to the archaeological site in the Poros area of the island of Cephalonia, in which archaeological finds, of the Mycenaean period have been found. For the mapping approximately 1,000 acres of study area, and the production of an orthophoto and digital surface model, a Multi-Rotor model Dji Phantom 4 Pro, was used. Ten (10) ground control points were placed and five (5) characteristic points were identified, which were then surveyed with a double-frequency GNSS geodetic receiver. There were four (4) consecutive flights, totaling two (2) hours duration, with a flight altitude of 110m and an height of 165m. The final orthophoto map and the digital surface model, which were produced, had an accuracy (RMSE) of 0.105 m and 0.075 m respectively. Overall, the results demonstrate that the use of UAS, in the collection of high-precision geographic data, combining reduced collected time with high precision produced products. Finally, proposals are included for the future improvement of the collection of geographic data and the production of Orthomosaic's and DSM's.

Keywords: UAS, flight planning, high precision

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

AGL	Above Ground Level (Επάνω από την επιφάνεια του εδάφους)
AOI	Area of Interest (Περιοχή Ενδιαφέροντος)
AIP	Aeronautical Information Publication
BVLOS	Beyond VLOS (Λειτουργία Πέραν Οπτικής επαφής)
CR	Close Range (Μικρής εμβέλειας)
DEC	Decoy (Δόλωμα, εξαπάτηση)
DoD	Department of Defense (Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ)
EN	Endurance (Αντοχή)
EUROCAE	European Organization For Civil Aviation Equipment (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Εξοπλισμού Πολιτικής Αεροπορίας)
EUROUVS	European Association of Unmanned Vehicles Systems
EVLOS	Extended VLOS (Λειτουργία με Επέκταση Οπτικής επαφής)
EXO	Exo-Stratospheric (Εκτός Στρατόσφαιρας)
DAGR	Drone Aware GR
FAA	Federal Aviation Administration (Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας)
FOV	Field of View (Οπτικό πεδίο)
GCP	Ground Control Points (Σημεία Ελέγχου Εδάφους)
GPLv3	General Public License version 3
GPS	Global Position System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Position Unit (Παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης)
GSD	Ground Sample Distance (Δείγμα απόστασης εδάφους)
HALE	High altitude long Endurance
HALE	High Altitude Long Endurance (Μεγάλου ύψους, Μεγάλης αντοχής)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Διεθνής Οργάνωση Πολιτικής Αεροπορίας)
IMU	Inertial Measurement Unit (Αδρανειακή μονάδα μέτρησης)
INS	Inertial Navigation System (Σύστημα αδρανειακής πλοήγησης)
LET	Lethal (Φονικό)
LIDAR	Light Detection And Ranging
LR	Long Range (Μεγάλης εμβέλειας)
MA	Medium Altitude (Μεσαίο ύψος)
MALE	Medium altitude long endurance (Μεσαίου ύψους, Μεγάλης αντοχής)
MAV	Micro UAV
MR	Medium Range (Μεσαίας εμβέλειας)
MSL	Mean Sea Level (Επιφάνεια της θάλασσας)
MTOM	Maximum Take Off MASS (Μέγιστη μάζα του αεροσκάφους κατά την απογείωση)
MTOW	Maximum Take Off Weight (Μέγιστο ωφέλιμο βάρος κατά την απογείωση)
MUAV	Mini UAV

PIV	Particle Image Velocimetry
RMSE	Root Mean Square Error (Μέσο τετραγωνικό σφάλμα)
ROA	Remotely Operated Aircraft (τηλεχειριζόμενο αεροσκάφος)
RPA	Remotely Piloted Aircraft (τηλεχειριζόμενο αεροσκάφος)
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems (Σύστημα απομακρυσμένης πλοήγησης αεροσκάφους)
RPH	Remotely Piloted Helicopter
RPV	Remotely Piloted Vehicle (τηλεχειριζόμενο όχημα)
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
SESAR	Single European SKY ATM Research (Air Traffic Management)
SFM	Structure from Motion
SIFT	Scale Invariant Feature Transform (Μετασχηματισμός Χαρακτηριστικών Ανεξαρτήτως Κλίμακας)
SR	Short Range (Κοντινής εμβέλειας)
Strato	Stratospheric (Εντός Στρατόσφαιρας)
Tethered Balloon	Προσδεδεμένο Μπαλόνι καθοδηγούμενο με σχοινιά
TLS	Terrestrial Laser Scaner (Επίγειος σαρωτής Laser)
TUAV	Medium Range or Tactical UAV
UAS	Uninhabitant / Unmanned Aircraft System (ΣμηΕΑ, ΦΕΚ 3152β/30-09-2016)
UAS-FRSS	Unmanned Aircraft Systems – Flight Regulation Support System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (Μη επανδρωμένο αεροσκάφος)
UCAR	Unmanned Combat Rotorcraft
UCAV	Unmanned Combat Air Vehicle
VHA	Very High Altitude (Πολύ υψηλό ύψος)
VLA/LOS	Very Low Altitude/ Line of Sight (Πολύ Χαμηλό ύψος, Οπτική επαφή
VLOS	Visual Line Of Sight (Λειτουργία σε απόσταση οπτικής επαφής)
VLS/BLOS	Very Low Altitude/ Beyond Line of Sight (Πολύ χαμηλό Ύψος, Πέραν της οπτικής επαφής)
VTOL	Vertical Takeoff and Landing vehicles (Κάθετης απογείωσης και προσγείωσης οχήματα)
VTUAV	Vertical Take-off UAV
WMS	Web Mapping Service
WGS84	World Geodetic System 1984
ΕΓΣΑ ‘87	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987
ΣμηΕΑ	Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας Κυβέρνησης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση ΣμηΕΑ στην συλλογή χωρικών δεδομένων υψηλής ακριβείας προκειμένου για την παραγωγή προϊόντων όπως, ορθοφωτοχαρτές, ανάγλυφα εδάφους (DEM), ανάγλυφα επιφανείας (DSM), ογκομετρικούς υπολογισμούς, δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων κτιρίων καθώς και υποπροϊόντα αυτών, με φωτογραμμετρικές μεθόδους, έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών εργασιών, άρθρων και διατριβών. Στην βιβλιογραφία εντοπίζονται εργασίες που πραγματεύονται τον έλεγχο των παραγόμενων προϊόντων με άλλα όμοια, παραγόμενα με κλασσικές μεθόδους, όπως τοπογραφικές αποτυπώσεις με γεωδαιτικούς σταθμούς ή ακόμα και με γεωδαιτικούς επίγειους σαρωτές, δίνοντας έμφαση κυρίως στο ύψος πτήσης.

Η παρούσα εργασία επιχειρεί μια συνολική παρουσίαση, των παραμέτρων εκείνων που επηρεάζουν την ακρίβεια του τελικού αποτελέσματος για την εκπόνηση ενός μοντέλου, προκειμένου να επιτευχθούν οι απαιτούμενες ακρίβειες. Σκοπός της, είναι η κατανόηση των διαφόρων παραγόντων και του τρόπου που αυτοί επηρεάζουν το τελικό παραγόμενο προϊόν.

Η εργασία αποτελείται από δύο βασικές ενότητες, την πρώτη όπου γίνεται επισκόπηση των ΣμηΕΑ και την δεύτερη που αφορά την περιπτωσιολογική μελέτη του αρχαιολογικού χώρου στον Πόρο της Νήσου Κεφαλονιάς.

Η πρώτη ενότητα διαρθρώνεται σε τρία (3) κεφάλαια. Στο πρώτο (1) κεφάλαιο, αποδίδονται οι ορισμοί των ΣμηΕΑ, γίνεται ιστορική αναδρομή της εξέλιξη τους σε θέματα χαρτογράφησης μέσα από την βιβλιογραφία, με έμφαση στους αρχαιολογικούς χώρους, ενώ στο τέλος παρατίθεται το κανονιστικό πλαίσιο πτήσης τους. Στο δεύτερο (2) κεφάλαιο, περιγράφεται η σύνθεση των ΣμηΕΑ και μέσω της βιβλιογραφίας παρατίθενται η κατηγοριοποίηση τους βάσει χαρακτηριστικών τους, καθώς και τα πεδία εφαρμογής τους. Στο τρίτο (3) κεφάλαιο παρουσιάζεται η μέθοδος structure from motion (SFM), που σε ελεύθερη μετάφραση αποδίδεται ως «δομή που προέρχεται από κίνηση». Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για την παραγωγή ορθοφωτοχαρτών και ψηφιακών μοντέλων επιφανείας ή εδάφους από δεδομένα που έχουν συλλεχθεί με ΣμηΕΑ. Στο ίδιο κεφάλαιο, επιχειρείται η καταγραφή των παραμέτρων που επηρεάζουν τα παραγόμενα προϊόντα (ορθοφωτοχάρτης και ψηφιακό μοντέλο επιφανείας). Τέλος γίνεται συζήτηση για τα σημεία ελέγχου εδάφους, επισημαίνοντας την αναγκαιότητα ύπαρξης τους σε εφαρμογές που απαιτείται χωρική ακρίβεια.

Η δεύτερη ενότητα, ομοίως διαρθρώνεται σε τρία (3) κεφάλαια. Στο τέταρτο (4) κατά σειρά κεφάλαιο, παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, γίνεται ιστορική και αρχαιολογική επισκόπηση της περιοχής και περιγράφεται το νομοθετικό πλαίσιο προστασίας του αρχαιολογικού χώρου. Επίσης γίνεται περιγραφή του εξοπλισμού και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης, ενώ τέλος παρουσιάζεται η μεθοδολογία μέχρι την εκπόνηση της ορθοφωτογραφίας και του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας της περιοχής μελέτης. Στο πέμπτο (5) κεφάλαιο, γίνεται σύγκριση της οριζοντιογραφικής και υψομετρικής ακρίβειας των παραγομένων προϊόντων και στο έκτο (6) και τελευταίο κεφάλαιο, γίνεται συζήτηση για την χρήση των ΣμηΕΑ προκειμένου για την συλλογή χωρικών δεδομένων μεγάλης ακριβείας και τις παραμέτρους που επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα. Κλείνοντας προτείνονται μελλοντικές βελτιώσεις στην διαδικασία λήψης των χωρικών δεδομένων προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια τους.

ΕΝΟΤΗΤΑ 1: Επισκόπηση των ΣμηΕΑ

Στην ενότητα αυτή, επιχειρείται μέσα από την βιβλιογραφία η παρουσίαση των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ), αποδίδοντας: τον ορισμό τους, το νομικό πλαίσιο που καθορίζει τον κανονισμό λειτουργίας τους, την πορεία εξέλιξης τους μέσω ιστορικής αναδρομής, τα μέρη τα οποία συνθέτουν τα ΣμηΕΑ, την μέθοδο «Structure From Motion» (SFM) που χρησιμοποιείται για φωτογραμμετρικές εφαρμογές καθώς και τις παραμέτρους που επηρεάζουν το τελικό προϊόν της χαρτογράφησης και της τρισδιάστατης απεικόνισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣμηΕΑ, Ιστορική Αναδρομή και Κανονισμός.

1.1 Εισαγωγή

Η πρώτη καταγεγραμμένη πτήση μη επανδρωμένου αεροσκάφους έγινε περίπου μια δεκαετία μετά την πρώτη επανδρωμένη πτήση των αδελφών Wright το 1903, έκτοτε η εξέλιξη τους υπήρξε ραγδαία. Στην πορεία αυτής της εξέλιξης πολλοί διαφορετικοί ορισμοί και συντομογραφίες έχουν χρησιμοποιηθεί για να περιγράψουν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη από την αρχική τους εμφάνιση μέχρι τις ημέρες μας.

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται να αποδοθεί ο ορισμός των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ), όπως προκύπτει από το σχετικά πρόσφατο νομοθετικό πλαίσιο της χώρα μας και μέσα από βιβλιογραφική επισκόπηση. Ομοίως μέσα από βιβλιογραφική επισκόπηση επιχειρείται να αποδοθεί η εξέλιξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, καταγράφοντας τους πιο σημαντικούς σταθμούς της σύμφωνα πάντα με την άποψη του συγγράφοντος, σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές με χρονολογική σειρά. Τέλος αναφέρεται το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τα ΣμηΕΑ, όσον αφορά τον κανονισμό και το γενικό πλαίσιο πτήσεων (ΦΕΚ Β’ 3152/30 Σεπτ 2016).

1.2 ΣμηΕΑ, Ορισμοί.

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, άρθρ. 3 ΦΕΚ Β’ 3152/30.9.2016 και άρθρ. 1 ΦΕΚ Β’ 4527/30.12.2016, ο ορισμός που δίνεται για τα ΣμηΕΑ είναι ο εξής: «*Σύστημα μη επανδρωμένου αεροσκάφους – ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft System –UAS), είναι το μη επανδρωμένο αεροσκάφος (UA) μαζί με όλο τον σχετικό εξοπλισμό που αφορά στην υποστήριξη αυτού (σταθμός ελέγχου, δυνατότητες σύνδεσης δεδομένων και τηλεχειρισμού, εξοπλισμός πλοήγησης κλπ) ο οποίος είναι απαραίτητος για την λειτουργία του μη επανδρωμένου αεροσκάφους.*»

Αντίστοιχα σύμφωνα με την απόφαση υπ’ αριθμ. Δ2/Δ/352/17475, περί Κανονισμού πτήσεων Αερομοντέλων όπως αυτή δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ Β’ 9/13.1.2010, παράγραφος 1, ο ορισμός που δίδεται στα UAV είναι: «*Μη επανδρωμένα αεροναυτικά οχήματα (UAV – Unmanned Aeronautical Vehicle) είναι μια ιπτάμενη συσκευή που δεν μεταφέρει άνθρωπο, και το οποίο έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιείται για επιστημονικούς, ερευνητικούς ή στρατιωτικούς σκοπούς.*».

Όπως περιγράφεται στην συνέχεια, ο ορισμός αυτός που αποδίδεται στα ΣμηΕΑ, είναι αποτέλεσμα ωρίμανσης που ακολούθησε αυτήν την πορεία εξέλιξης των μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

Ιστορικά ο αρχικός όρος που αποδόθηκε στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, ήταν «pilotless aircraft» που σε ελεύθερη μετάφραση σημαίνει αεροσκάφος χωρίς πιλότο. Μετά το έτος 1920 χρησιμοποιήθηκε ο όρος Drone, όρος που μέχρι και σήμερα είναι συνώνυμος με τα UAV. Για την προέλευση του όρου Drone, δεν υπάρχουν σαφείς καταγραφές παρά μόνο ενδείξεις. Η επικρατέστερη εκδοχή είναι η παρομοίωση τους με τους κηφήνες, οι οποίοι δεν έχουν κεντρί και μετά την

αναπαραγωγή πεθαίνουν, όπως τα πρώτα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που χρησιμοποιήθηκαν ως στόχοι εκπαίδευσης που πέταγαν μια φορά και μετά καταστρέφονταν.

Στην σύγχρονη εποχή τα Drone, σύμφωνα με το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ , ορίζονται ως «*οχήματα εδάφους, θάλασσας ή αέρα που ελέγχονται με τηλεχειρισμό ή αυτόματα*» (Department of Defense, 2012a). Μέχρι το έτος 1960 οι όροι, «Remotely Piloted Vehicle-RPV» τηλεχειριζόμενο όχημα και «Remotely Operated Aircraft-ROA» ή «Remotely Piloted Aircraft-RPA» τηλεχειριζόμενο αεροσκάφος, είχαν υιοθετηθεί ακριβώς γιατί η πλοήγηση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών γινόταν μέσω τηλεχειρισμού από το έδαφος ή τον αέρα. Το έτος 1980 χρησιμοποιήθηκε ο όρος "Unmanned Aerial Vehicle – UAV" μη επανδρωμένο αεροσκάφος, όρος που χρησιμοποιήθηκε κυρίως μέχρι το 2005 και που χρησιμοποιείται και σήμερα. Σύμφωνα με το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των ΗΠΑ, ο όρος UAV περιλαμβάνει τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που πλοηγούνται είτε με τηλεχειρισμό είτε αυτόματα, επισημαίνοντας ότι ο όρος UAV θα χρησιμοποιείται στο μέλλον αντί του πιο δεσμευτικού όρου "Remotely Piloted Vehicle-RPV" (DoD, 1988).

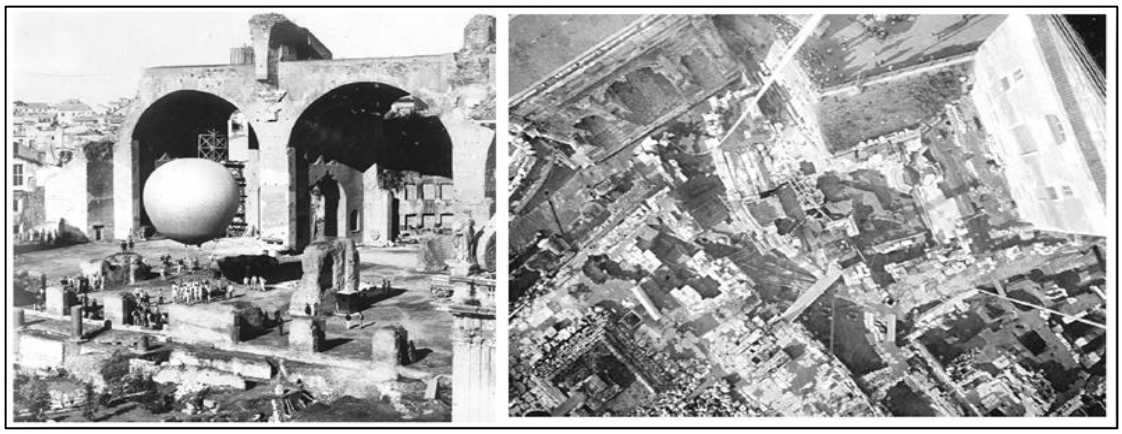
Το ενδιαφέρον στον όρο UAV είναι ότι στην βιβλιογραφία, τα γράμματα «U» και «A» εντοπίζονται με διαφορετικές έννοιες. Το «U», εντοπίζεται ως "Un-crewed" χωρίς πλήρωμα, ως "Unmanned" μη επανδρωμένο, ως "unpiloted" χωρίς πιλότο και ως "uninhabited" σε ελεύθερη μετάφραση μέρος που δεν υπάρχουν κάτοικοι «inhabitants», ειδικά ο τελευταίος όρος προτιμάτε από πολλούς συγγραφείς δεδομένου ότι δεν αποκλείει την παρουσία ανθρώπου. Το «A», εντοπίζεται ως "aircraft" αεροσκάφος, ως "aerial" εναέριος και ως "aeronautical" αεροναυτικός. Από το έτος 2005 και μετά ο όρος "Unmanned Aircraft System-UAS" Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους-ΣμηΕΑ, υιοθετήθηκε τόσο από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ (DoD) όσο και από την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας (FAA). (Granshaw, 2018).

Η έννοια του συστήματος, που εισάγεται με τον νέο αυτό όρο περιλαμβάνει εκτός της έννοιας UAV, που αποτελεί πλέον υποσύστημα, έναν σταθμό ελέγχου εδάφους και ένα σύστημα επικοινωνίας μεταξύ των δύο. Το έτος 2007, η Διεθνής Οργάνωση Πολιτικής Αεροπορίας "ICAO" με την σύμφωνη γνώμη του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Εξοπλισμού Πολιτικής Αεροπορίας "EUROCAE", αποφάσισαν να αντικατασταθεί ο όρος "UAV" με τον όρο "UAS". Το έτος 2015 η Διεθνής Οργάνωση Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO,2015), επίσημα υιοθετεί τον όρο "Remotely Piloted Aircraft System-RPAS" σύστημα απομακρυσμένης πλοήγησης αεροσκάφους, όρος που αποτελεί υποκατηγορία του προηγούμενου όρου UAS. Ήδη από το έτος 2011 η Διεθνής Οργάνωση Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO,2011), πρότεινε ότι ο όρος UAS είναι ιδιαίτερα διευρυμένος, αφού περιλαμβάνει και την έννοια των αυτόνομων αεροσκαφών που δεν ελέγχονται, γεγονός που παραπέμπει κυρίως σε στρατιωτική χρήση σε αντίθεση με τον όρο «RPAS».

Όπως γίνεται κατανοητό η ορολογία που αποδίδεται στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη παρουσιάζει ταχύτατη αλλαγή συγκριτικά με την ίδια την εξέλιξη τους, προκαλώντας σύγχυση. Αυτό διαπιστώνεται και από την βιβλιογραφία όπου τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη αναφέρονται με τους όρους Drone, UAV, UAS και λιγότερο RPAS.

1.3 Ιστορική αναδρομή

Τα πιο παλιά καταγεγραμμένα αεροσκάφη για τη συλλογή δεδομένων, ίσως να είναι τα αερόστατα, το έτος 1858 χρησιμοποιήθηκε «μπαλόνι» θερμού αέρα από τον Gaspard Felix Tournachon (γνωστός ως "Nadar"), προκειμένου να ληφθούν αεροφωτογραφίες σε περιοχή του Παρισιού (Amad, 2012). Στο πεδίο της αρχαιολογίας ο γερμανός Friedrich Stolze το έτος 1879, έκανε χρήση αεροφωτογραφιών από αερόστατο, για να τεκμηριώσει την πορεία των ανασκαφών στην Περσέπολη (Ιράν). Το έτος 1899, στην Ρώμη, επίσης για αρχαιολογικούς σκοπούς έγινε με «προσδεδεμένο μπαλόνι» (tethered balloon) λήψη αεροφωτογραφιών, στην Ρωμαϊκή αγορά απο τον αρχαιολόγο Giacomo Boni (Εικόνα 1),



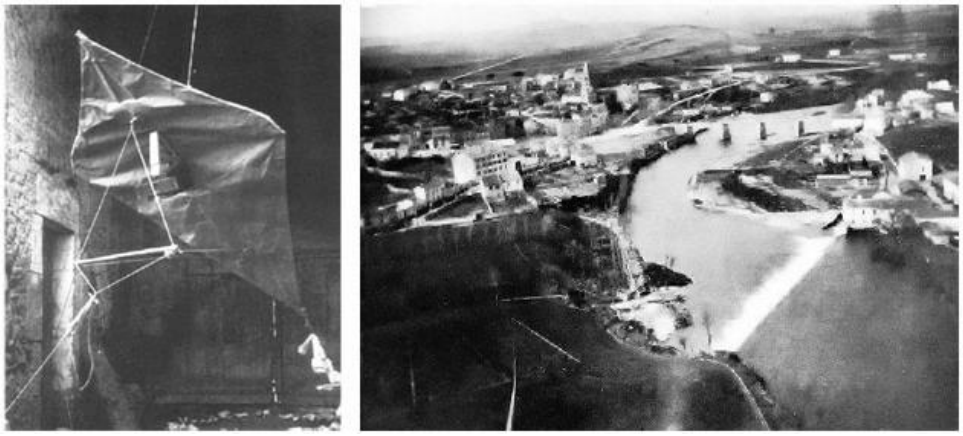
Εικόνα 1 Εικόνες από "Tethered Balloon", Giacomo Boni, 1899 (πηγή: Ceraudo 2004)

λίγα χρόνια μετά στην Αγγλία το έτος 1906, έγινε λήψη εικόνων του Στόουνχεντζ (Stonehenge) από τον R. Sharpe με την ίδια μέθοδο (Εικόνα 2) (Ceraudo, 2013).

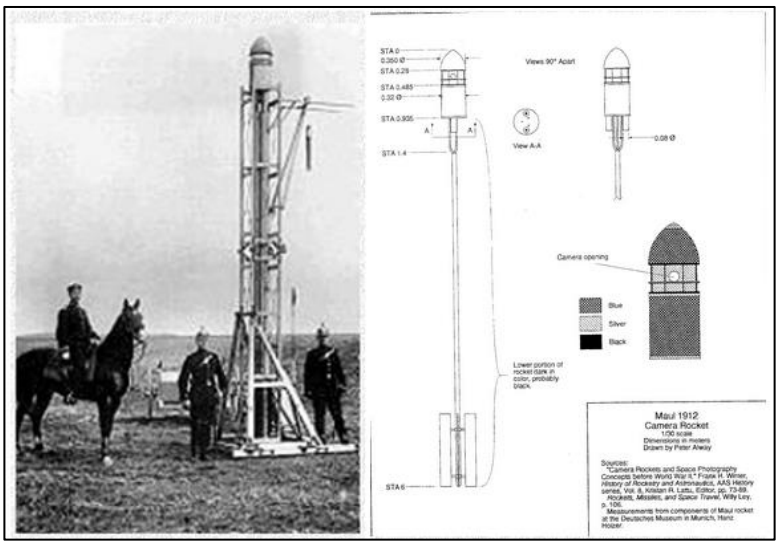
Εικόνα 2 Εικόνες του Stonehenge, R. Sharpe έτος 1906 (πηγή : http://www.sarsen.org)

Γενικότερα μιλώντας στα τέλη του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ου αιώνα πολλοί ήταν αυτοί που πειραματίστηκαν χρησιμοποιώντας διάφορα μέσα για την συλλογή δεδομένων όπως, χαρταετό

(Εικόνα 3) (Arthur Batut, 1888), πύραυλο πυρίτιδας (Εικόνα 4) (Alfred Maul, 1904), ακόμα και περιστέρια[1] (Εικόνα 5) (Julius Neubronner, 1903).



Εικόνα 3 Διάταξη Χαρταετού και ληφθείσα εικόνα, Arthur Batut, 1888 (πηγή: www.historiccamera.com)



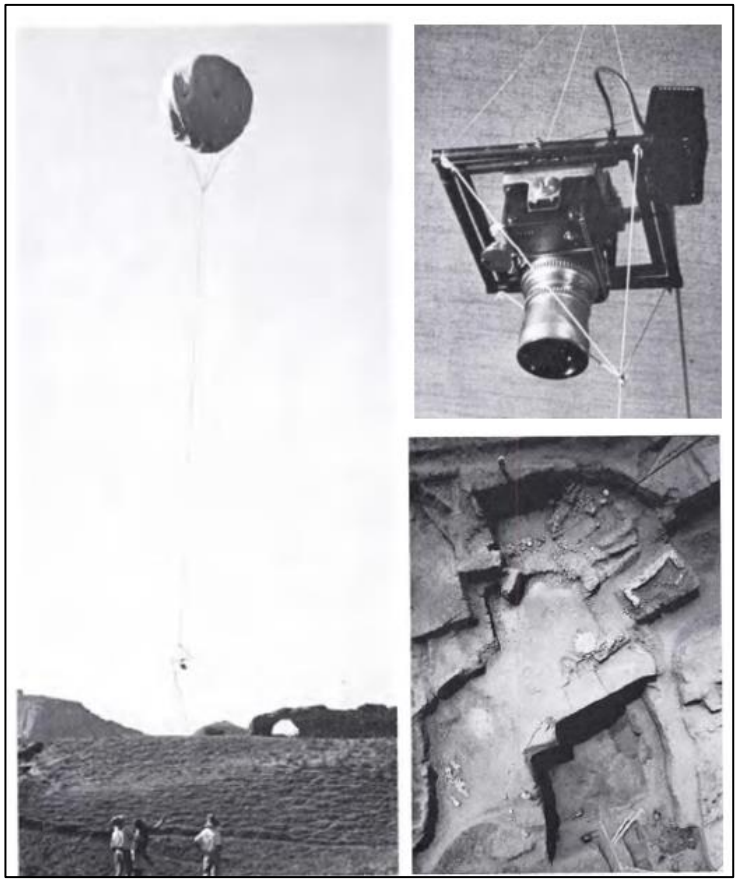
Εικόνα 4 Πύραυλος πυρίτιδας και κατασκευαστική λεπτομέρεια, Alfred Maul 1909

[1] Το 1903, ο Julius Neubronner, ένας γερμανός εφευρέτης, πατεντάρισε μια φωτογραφική μηχανή για λήψη αεροφωτογραφιών ανηρτημένη στο στήθος περιστεριών (Khorram, S. *et al.* (2012))

Εικόνα 5 Περιστέρι με ανηρτημένη Φωτογραφική Μηχανή και ληφθείσα εικόνα, Julius Neubronner 1903

Το 1970 ο Julian Whittlesey παρουσίασε την χρήση «προσδεδεμένου μπαλονιού» (tethered balloon) για την λήψη κατακόρυφων αεροφωτογραφιών, εργασία που έλαβε χώρα το έτος 1967 σε αρχαιολογικούς χώρους στην Τουρκία, στην Ελλάδα, την Ιταλία και την Κύπρο (Εικόνα 6).

Για τις λήψεις αυτές χρησιμοποίησε ένα μπαλόνι 16 κβ.μ και διαφορετικές μηχανές



Εικόνα 6 Μπαλόνι, Κάμερα, Ληφθείσα εικόνα, Whittlesley 1970 (πηγή: Whittlesley, 1970)

ανηρτημένες 9μ χαμηλότερα από το μπαλόνι, με την χρήση ενός «ρυθμιστή ισορροπίας» (gimbal). Η λήψη των φωτογραφιών γινόταν με τηλεχειρισμό (radio control) ενώ λόγω των διαφορετικών μηχανών και κατά αντιστοιχία του βάρους τους, οι λήψεις έγιναν σε ύψος που κυμαίνονταν από 50μ έως και 600μ (Whittlesley, 1970).

Από τις πρώτες καταγεγραμμένες προσπάθειες χρήσης μη επανδρωμένου αεροσκάφους για φωτογραμμετρική εφαρμογή, είναι αυτή που έγινε το έτος 1979 από τους Przybilla και Wester-Ebbinghaus. Το αεροσκάφος που χρησιμοποίησαν ήταν τύπου σταθερής πτέρυγας με μήκος 3μ, άνοιγμα φτερών 2,6μ και ικανότητα να μεταφέρει βάρος μέχρι 3kg. Το σύστημα πλοήγησης ήταν χειροκίνητο, ενώ το ύψος πτήσης υπολογιζόταν με τη συνεχή παρακολούθηση του αεροσκάφους μέσα από μια οθόνη. Η πτήση έγινε σε ύψος 150μ πάνω από την επιφάνεια του εδάφους με ταχύτητα 40χλμ/ωρα. Το αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας δεν ήταν ικανοποιητικό λόγω του φαινομένου «κίνησης» στις εικόνες, που προήλθε από την ταχύτητα του αεροσκάφους και τους κραδασμούς του κινητήρα. Σε συνδυασμό με τον περιορισμό που επέβαλε το ίδιο το αεροσκάφος για την ύπαρξη χώρου απογείωσης προσγείωσης πλησίον του χώρου μελέτης, οδήγησε τους Przybilla και Wester-Ebbinghaus να προτείνουν την χρήση ελικοπτέρου, (Εικόνα 7) (Eisenbeiss, 2004).

Εικόνα 7 Μη επανδρωμένο αεροσκάφος, Przybilla και Wester-Ebbinghaus 1979, (πηγή: Eisenbeiss, 2004).

Ένα χρόνο αργότερα το 1980 ο Wester-Ebbinghaus, σε εφαρμογή της πρότασης του, ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε ελικόπτερο (μη επανδρωμένο αεροσκάφος τύπου περιστρεφόμενου στροφείου) σε φωτογραμμετρική εφαρμογή. Το ελικόπτερο του είχε την ικανότητα να ίπταται σε ύψος που κυμαινόταν από 10μ έως και 100μ πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Το σύστημα πλοήγησης ήταν ίδιο με αυτό της προηγούμενης προσπάθειας του, ενώ απαιτούνταν δύο χειριστές για την λήψη των εικόνων. Ο ένας ήταν υπεύθυνος για την απογείωση, πλοήγηση και προσγείωση και ο δεύτερος για την διατήρηση του ύψους και την λήψη των εικόνων μέσω τηλεχειρισμού. Οι κραδασμοί του κινητήρα απομονώθηκαν με μια κατασκευή στο κάτω μέρος του ελικοπτέρου όπου αναρτήθηκε η μηχανή λήψης. Με το σύστημα αυτό αποτυπώθηκε-τεκμηριώθηκε ο κρεμαστός σιδηρόδρομος στο Βούπερταλ, μια μεταλλική κατασκευή που χρονολογείτο από το 1890, (Εικόνα 8) (Wester-Ebbinghaus, 1980).

Εικόνα 8 Ελικόπτερο, Wester-Ebbinghaus, 1980 (πηγή: Wester-Ebbinghaus, 1980)

Το έτος 2004, ο (Nagai et al., 2004)., προτείνει την χρήση ενός συστήματος μη επανδρωμένου αεροσκάφους που συνδυάζει ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, Laser σαρωτή και GPS/IMU[2] για την παραγωγή ψηφιακού μοντέλου επιφανείας, ενώ παράλληλα παρουσιάζει μια μέθοδο άμεσης γεω-αναφοράς των δεδομένων της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής και του σαρωτή Laser χωρίς την χρήση σημείων ελέγχου εδάφους (GCP) εφαρμόζοντας φίλτρο Kalman[3].

Το έτος 2008 ο (Nebiker *et al.*, 2008), παρουσιάζει ένα σύστημα μη επανδρωμένου αεροσκάφους με ελαφρού τύπου πολυφασματικούς αισθητήρες για χρήση στην γεωργία ακριβείας. Παρά το γεγονός ότι οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν απείχαν πολύ από το επιθυμητό, τα αποτελέσματα σε σύγκριση με τις κλασσικές μεθόδους ήταν σε συμφωνία, έχοντας μέσο συντελεστή συσχέτισης περίπου 0,9. Αποδεικνύοντας εκ του αποτελέσματος ότι τα συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών μπορούν να παραγάγουν αποτελέσματα εφάμιλλα των παραδοσιακών μεθόδων.

Οι πρώτες προσπάθειες, τα έτη 1979 και 1980, σηματοδότησαν τις μελλοντικές εξελίξεις στον χώρο των μη επανδρωμένων αεροσκαφών για φωτογραμμετρικές εφαρμογές. Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη των αεροσκαφών σταθερής ή περιστρεφόμενης πτέρυγας, μονού ή πολλαπλού στροφείου, χειροκίνητης, ημι-αυτόματης ή πλήρως αυτόματης πλοήγησης, σε συνδυασμό με την εξέλιξη των ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών, των συστημάτων εντοπισμού (GPS/IMU), και των λοιπών

[2] IMU, ηλεκτρονική συσκευή που μετράει την ειδική δύναμη, το γωνιακό ρυθμό και μερικές φορές το μαγνητικό πεδίο που περιβάλλει το σώμα, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό επιταχυνσιόμετρων και γυροσκοπίων, μερικές φορές και μαγνητόμετρα. (IMU. (n.d.) Wikipedia, retrieved 26 Dec 2018)

[3] Το φίλτρο Kalman είναι ένας βέλτιστος αλγόριθμος εκτίμησης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση καταστάσεων ενός συστήματος από έμμεσες και αβέβαιες μετρήσεις. Τα φίλτρα Kalman συνδυάζουν δύο πηγές πληροφοριών, τις προβλεπόμενες καταστάσεις και τις θορυβώδεις μετρήσεις, για να παράγουν βέλτιστες, αμερόληπτες εκτιμήσεις κατάστασης (Google Search,Feature snippet access 26 Dec 2018)

αισθητήρων που αναπτύχθηκαν, έχουν κάνει προσιτή την τεχνολογία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών με μικρό αναλογικά κόστος. Αυτή η εξέλιξη οδήγησε σε μεγάλο βαθμό στην αυτοματοποίηση των λειτουργιών των μη επανδρωμένων αεροσκαφών παρέχοντας παράλληλα δεδομένα υψηλής ανάλυσης για φωτογραμμετρικές ή άλλες εφαρμογές.

1.4 Κανονισμός ΣμηΕΑ

Στο ΦΕΚ Β' 3152/30 Σεπτ 2016, δημοσιεύτηκε η Αριθμ. Δ/ΥΠΑ/21860/1422 με την οποία εγκρίθηκε ο Κανονισμός περί «πτήσεων Συστημάτων Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών – ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft Systems – UAS)». Στην συνέχεια παρατίθενται επιγραμματικά τα κυριότερα σημεία, εστιάζοντας στους περιορισμούς στην διεξαγωγή των πτήσεων και όχι στις διαδικασίες και τις απαιτούμενες εγκρίσεις και άδειες που προβλέπονται.

Στις ρυθμίσεις του κανονισμού εμπίπτουν όλες οι κατηγορίες ΣμηΕΑ, όπως σε αυτό καθορίζονται, εκτός: των αερομοντέλων, των ελεύθερων ή προσδεδεμένων μπαλονιών (free or tethered Balloon) και των μη επανδρωμένων που χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς ή άλλους κρατικούς σκοπούς.

Οι Κατηγορίες των ΣμηΕΑ σύμφωνα με τον κανονισμό είναι τρείς (3): Η «Ανοικτή» κατηγορία, η «ειδική» κατηγορία και η «πιστοποιημένη» κατηγορία. Για την «Ανοικτή» κατηγορία προβλέπει επιπλέον τρείς (3) υποκατηγορίες. Οι κατηγορίες και οι υποκατηγορίες, περιγράφονται αναλυτικά στο τέλος της §2.3, Κατηγοριοποίηση των ΣμηΕΑ.

Ο χώρος διεξαγωγής των πτήσεων ΣμηΕΑ διαχωρίζεται ρητά από τον εναέριο χώρο των επανδρωμένων αεροσκαφών καθορίζοντας:

- Το ύψος πτήσης των ΣμηΕΑ κάτω από τα 400FT (~122μ) από την επιφάνεια του εδάφους ή της θάλασσας (AGL,MSL) ή πάνω από τα 46000FT (~14χλμ)
- Ίχνη, ύψη και αποκλειστικές περιοχές που ορίζονται κατόπιν ειδικής άδειας της Υπηρεσίας Εναέριας Κυκλοφορίας της ΥΠΑ.
- Τους εναέριους χώρους που απαγορεύεται γενικώς η πτήση των ΣμηΕΑ, ήτοι:
    - Χώροι που διενεργούνται πτήσης επανδρωμένων αεροσκαφών.
    - Ζώνες Κυκλοφορίας Αεροδρομίων και γενικώς όχι σε απόσταση μικρότερη των 8χλμ από την περίμετρο του αεροδρομίου και των χώρων προσγείωσης απογείωσης.
    - Απαγορευμένες περιοχές που καθορίζονται από τους αρμόδιους φορείς και δημοσιεύονται από την ΥΠΑ.
    - Απαγορευμένες και περιορισμένες περιοχές όπως περιγράφονται στο AIP Ελλάδος

Ορίζεται χρονικό όριο διεξαγωγής των πτήσεων από μισή ώρα πριν την ανατολή του ήλιου έως μισή ώρα μετά την δύση του ήλιου. Η απόσταση που θα διεξάγεται η πτήση του ΣμηΕΑ από το χειριστή του, δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 500μ, ενώ για πτήσεις σε απόσταση με επέκταση οπτικής επαφής (EVLOS) ή μετά την δύση του ήλιου απαιτείται ειδική άδεια από την ΥΠΑ/Δ2, στην Ειδική και πιστοποιημένη κατηγορία. Αναφέρονται ρητά οι υποχρεώσεις του εκμεταλλευόμενου και του χειριστή των ΣμηΕΑ.

Για την «Ανοικτή» κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Open Category), προβλέπεται:

- Ύψος πτήσης της κατηγορίας κάτω από 400ft (~122μ)
- Απόσταση από το χειριστή του ΣμηΕΑ μικρότερη από 500μ
- Μέγιστη μάζα κατά την απογείωση μικρότερη των 25 κιλών.
- Απαγορεύεται η πτήση πάνω από συγκεντρωμένο πλήθος εκτός εάν ο χειριστής διαθέτει άδεια επαγγελματικής χρήσης και εξασφαλίζεται η πτητική ασφάλεια του UAV.

- Για τα ΣμηΕΑ με ικανότητα τηλεχειρισμού μεγαλύτερη των 50μ, απαιτείται η εγγραφή του εκμεταλλευόμενου ή του χειριστή τους σε ειδικά Μητρώα που διατηρεί η ΥΠΑ.
- Για πτήση μεγαλύτερη της απόστασης των 50μ απαιτείται η συμπλήρωση της διαδρομής σε ειδικό σχέδιο πτήσης μέσω ηλεκτρονικής εφαρμογής στον ιστότοπο της ΥΠΑ .
- Προκύπτει η υποχρέωση των εκμεταλλευόμενων και των χειριστών, πριν την διεξαγωγή της πτήσης του ΣμηΕΑ, να ενημερωθούν για περιοχές που ισχύει απαγόρευση των πτήσεων.

Για την «Ειδική» κατηγορία ΣμηΕΑ προβλέπεται για την εκτέλεση πτήσεων η εξασφάλιση άδειας «πτητικής λειτουργίας», η οποία χορηγείται εφ' όσον ο ενδιαφερόμενος παρουσιάσει: σχέδιο αξιολόγησης κινδύνων ασφαλείας (risk assessment), εγχειρίδιο πτητικής λειτουργίας (operational manual), ασφαλιστήριο συμβόλαιο για την κάλυψη κινδύνων από την άσκηση των δραστηριοτήτων, ενώ εάν πρόκειται για εμπορική χρήση απαιτούνται επιπλέον, εγγραφή του ΣμηΕΑ σε ειδικό μητρώο που τηρείται από την ΥΠΑ, καταχώρηση του εκμεταλλευόμενου και του χειριστή του ΣμηΕΑ ομοίως σε ειδικό μητρώο και η εξασφάλιση ειδικής άδειας από την ΥΠΑ/Δ1 με το αντίστοιχο οικονομικό παράβολο.

Για την «πιστοποιημένη» κατηγορία ΣμηΕΑ προβλέπεται για την εκτέλεση πτήσεων η απαίτηση νηολόγησης του ΣμηΕΑ στο ειδικό μητρώο της ΥΠΑ και η έκδοση ειδικού πιστοποιητικού αξιοπλοΐας σύμφωνα με ειδικότερους όρους και προϋποθέσεις που περιγράφονται. Ομοίως προβλέπονται πιστοποιήσεις και υποχρεώσεις για των εκμεταλλευόμενο και τον χειριστή του ΣμηΕΑ.

1.5 Επίλογος

Η σύγχρονη εποχή των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, τουλάχιστον με την μορφή που τα γνωρίζουμε σήμερα, ξεκίνησε το έτος 1979-1980. Έκτοτε η εξέλιξη τους υπήρξε ραγδαία, τόσο στο κομμάτι της καθ' αυτού ανάπτυξής τους όσο και στο κομμάτι των ορισμών που τους έχουν δοθεί. Στις μέρες μας η ανάπτυξη της τεχνολογίας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών βρίσκεται ακόμα σε εξέλιξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

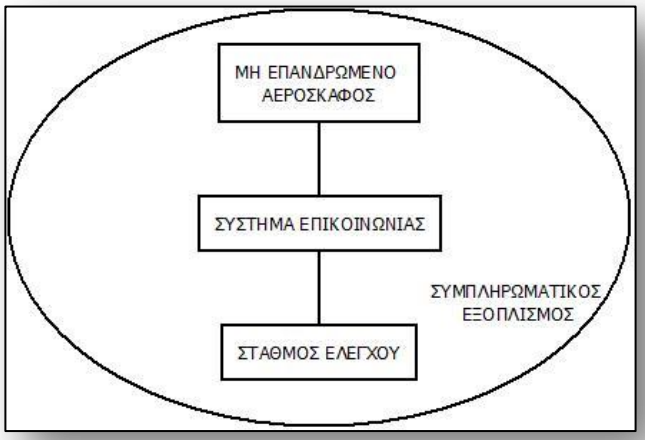
2.1 Εισαγωγή

Η εξέλιξη των ΣμηΕΑ τα τελευταία χρόνια υπήρξε ραγδαία, δημιουργώντας την ανάγκη για μια εμπεριστατωμένη περιγραφή των υποσυστημάτων που τα συνθέτουν, την κατάταξη τους σε κατηγορίες βάσει κατάλληλων κριτηρίων ταξινόμησης και την περιγραφή των πεδίων εφαρμογής τους.

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μέσα από βιβλιογραφική επισκόπηση, να αποδοθούν οι ορισμοί και οι περιγραφές των υποσυστημάτων που αποτελούν τα ΣμηΕΑ, η παρουσίαση των διαφορετικών προσεγγίσεων κατάταξης των ΣμηΕΑ σε κατηγορίες βάσει διαφορετικών κριτηρίων ταξινόμησης, που αντλούνται από την βιβλιογραφία και η καταγραφή των πεδίων εφαρμογής των ΣμηΕΑ, ενώ παρουσιάζονται επιλεγμένα παραδείγματα χρήσης ΣμηΕΑ σε αρχαιολογικές εφαρμογές.

2.2 Σύνθεση ΣμηΕΑ

Όπως προκύπτει από τον ίδιο τον ορισμό των ΣμηΕΑ (§ 1.2), εκτός από το ίδιο το αεροσκάφος, ένα σύστημα αποτελείτε: από τον σταθμό ελέγχου, το σύστημα επικοινωνίας και το συμπληρωματικό εξοπλισμό. (Σχήμα 1). Στην συνέχεια της παραγράφου τα υποσυστήματα αυτά, περιγράφονται με περισσότερες λεπτομέρειες.



Σχήμα 1 Σύνθεση ΣμηΕΑ

2.2.1 Σταθμός ελέγχου

Όπως αναφέρει ο (Austin, 2010): Ο σταθμός ελέγχου βρίσκεται συνήθως στο έδαφος, αλλά δεν αποκλείεται να βρίσκεται σε πλοίο ή σε συνοδευτικό αεροσκάφος. Αποτελεί το κέντρο ελέγχου της αποστολής και τη διεπαφή του χειριστή με το αεροσκάφος. Από τον σταθμό ελέγχου γίνεται συνήθως, αλλά όχι πάντα, ο προγραμματισμός πτήσης και είναι το σημείο από το οποίο ο χειριστής «μιλάει» με το αεροσκάφος μέσω του συστήματος επικοινωνίας. Μέσω του συστήματος επικοινωνίας ο χειριστής έχει την δυνατότητα να στείλει «εντολές» στο αεροσκάφος αλλά και να λάβει πληροφορίες που μπορεί να αφορούν, την θέση του αεροσκάφους, την κατάστασή του, καθώς και δεδομένα από τους αισθητήρες που μεταφέρει. Ο σταθμός ελέγχου συνήθως φιλοξενεί συστήματα επικοινωνίας με άλλα εξωτερικά συστήματα, από τα οποία μπορεί να αντλεί πληροφορίες πχ για τα καιρικά φαινόμενα, ή να δίνει πληροφορίες σε τρίτους και αντίστροφα.

Αυτή η περιγραφή του Austin για τον σταθμό ελέγχου, όπως εντοπίζεται και στην βιβλιογραφία, δίνει μια προοπτική που παραπέμπει σε συστήματα πιο ολοκληρωμένα και πολύπλοκα που αφορούν είτε το στρατό είτε την διοίκηση. (Εικόνα 9 και 10)

Εικόνα 9 Εγκατάσταση Στρατιωτικού σταθμού Ελέγχου
(Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Linux-powered-UAV-control-station-in-Creech-Air-Force-Base-in-Nevada-USA-2011_fig1_280736956)

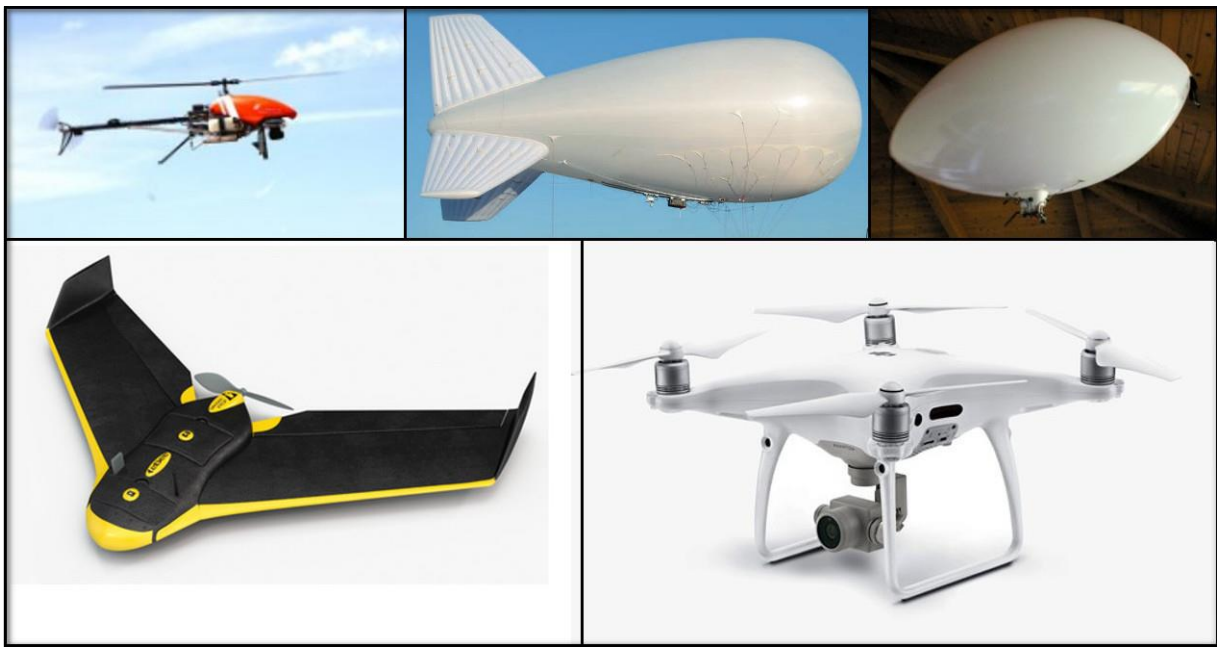
Εικόνα 10 Φορητός Σταθμός Ελέγχου (Πηγή:http://www.uavfactory.com/product/16)

Το ισοδύναμο του σταθμού ελέγχου για φωτογραμμετρικές εφαρμογές, που εμπίπτουν στο πεδίο της παρούσας εργασίας, μπορεί να είναι ένας φορητός υπολογιστής με το κατάλληλο σύστημα επικοινωνίας ή ακόμα και το ίδιο το χειριστήριο του αεροσκάφους σε συνδυασμό με κάποια συσκευή που διαθέτει λειτουργικό (Εικόνα 11), εν είδη φορητού σταθμού ελέγχου. Μέσω αυτού ο χειριστής μπορεί να κάνει τον προγραμματισμό πτήσης, να ελέγχει το αεροσκάφος και να λαμβάνει δεδομένα από αυτό ακόμα και σε πραγματικό χρόνο.

Εικόνα 11 Χειριστήριο του αεροσκάφους (Dji Phantom 4), συνδεμένο με συσκευή Android

2.2.2 Μη επανδρωμένο αεροσκάφος

Οι τύποι των μη επανδρωμένων αεροσκαφών που συμμετέχουν σε ένα σύστημα (ΣμηΕΑ) δύναται να κατηγοριοποιηθούν βάσει της αρχιτεκτονικής τους σε: ελικόπτερα, προσδεδεμένα μπαλόνια, υβριδικά μπαλόνια, σταθερής πτέρυγας και πολλαπλών στροφείων. (Εικόνα 12) (Iqbal *et al.*, 2015)



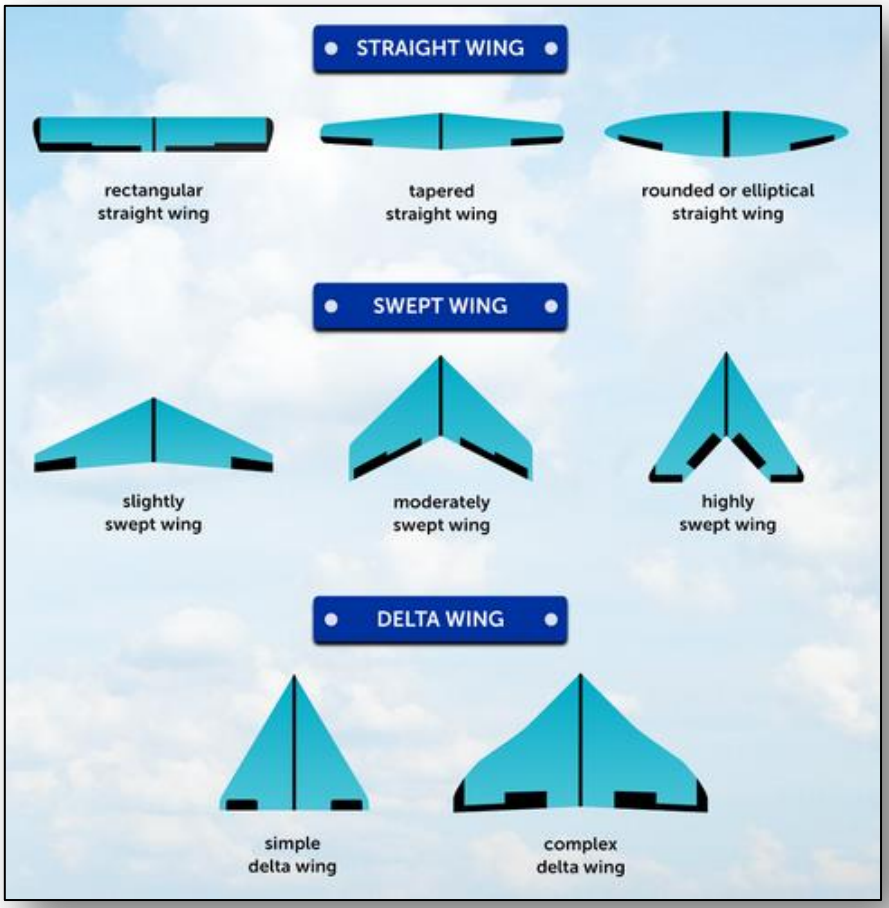
Εικόνα 12 Τύποι μη επανδρωμένων αεροσκαφών βάσει αρχιτεκτονικής. Από αριστερά προς τα δεξιά: Ελικόπτερο, Προσδεδεμένο Μπαλόνι, Υβριδικό Μπαλόνι, σταθερή πτέρυγα, πολλαπλών στροφείων.

Από το σύνολο των τύπων αυτών, η παρούσα εργασία εστιάζει στους δύο τύπους που εμφανίζονται στην βιβλιογραφία με την μεγαλύτερη συχνότητα, αυτούς των σταθερών πτερυγίων και των πολλαπλών στροφείων. Για κάθε έναν από αυτούς, κυκλοφορούν πολλές επιμέρους παραλλαγές ανάλογα τη μορφή και το σχήμα των πτερυγίων τους ή την διάταξη των στροφείων τους αντίστοιχα, από τις οποίες αντλούν την ονομασία τους. Στην συνέχεια αναφέρονται αυτές οι ονομασίες καθώς και τα μέρη που συνθέτουν ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος. Κλείνοντας την παράγραφο παρατίθεται σύγκριση μεταξύ μη επανδρωμένων αεροσκαφών σταθερής πτέρυγας και πολλαπλών στροφείων.

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας όπως αναφέρθηκε προηγούμενος ανάλογα με τη μορφή και το σχήμα των πτερυγίων τους, λαμβάνουν την αντίστοιχη ονομασία (Εικόνα 13). Με τον τρόπο αυτό έχουμε μη επανδρωμένα αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας μορφής:

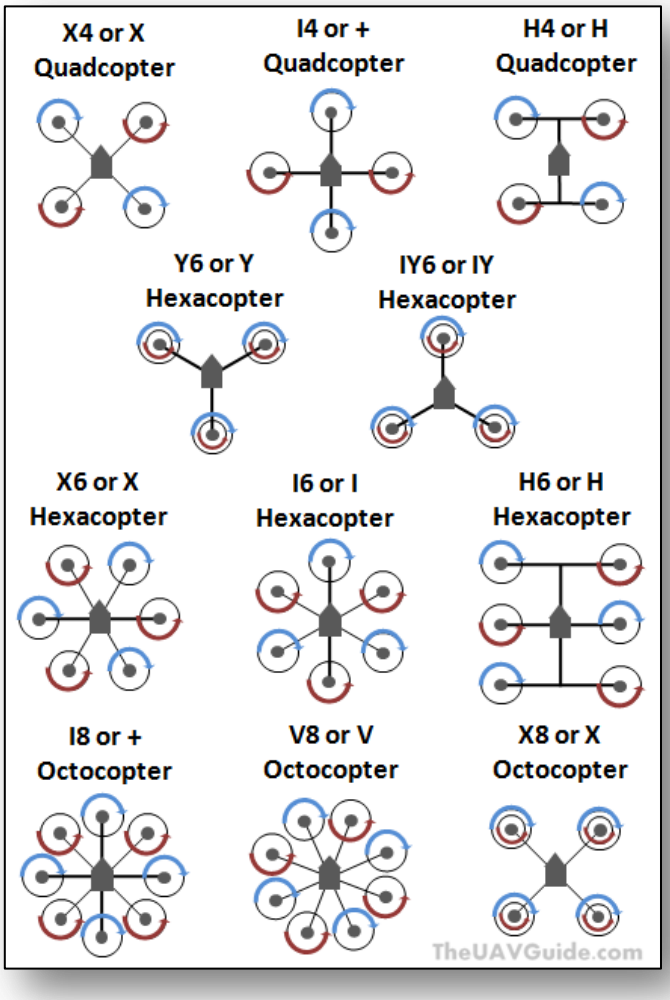
- Ευθείας (straight wing), σχήματος:
  - Παραλληλόγραμμου (rectangular straight wing)
  - με στρογγυλεμένες άκρες (tapered straight wing) και
  - ελλειψοειδές (rounded or elliptical straight wing).
- Υπό γωνία (swept wing), σχήματος:
  - με ελαφριά γωνία (slightly swept wing)
  - με μέση γωνία (moderately swept wing) και

    - με μεγάλη γωνία (Highly swept wing)
- Δέλτα (delta wing), σχήματος:
    - Απλού δέλτα (simple delta wing) και
    - Σύνθετου δέλτα (complex delta wing)

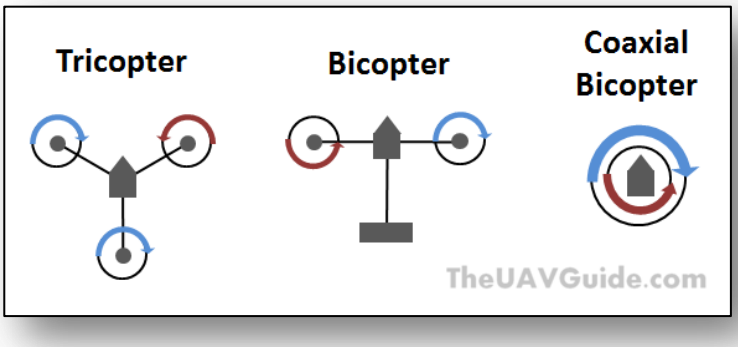


Εικόνα 13 Τύποι μη επανδρωμένων αεροσκαφών σταθερής πτέρυγας
(πηγή: https://www.heliguy.com/blog/2016/03/01/choosing-fixed-wing-drone/)

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη πολλαπλών στροφείων στο πλείστον, χρησιμοποιούν 4, 6, ή 8 έλικες, έχοντας τις αντίστοιχες ονομασίες τετρακόπτερο, εξακόπτερο, οκτακόπτερο (Εικόνα 14), ενώ υπάρχουν και μη συμβατικές διατάξεις με 2, 3 έλικες ή και δύο έλικες ομοαξονικούς, έχοντας ομοίως αντίστοιχα ονόματα (Εικόνα 15).



Εικόνα 14 Συμβατικές διατάξεις μη επανδρωμένων αεροσκαφών πολλαπλών στροφείων
(πηγή: http://wiki.theuavguide.com/wiki/Multicopter)



Εικόνα 15 Μη συμβατικές διατάξεις μη επανδρωμένων αεροσκαφών πολλαπλών στροφείων
(πηγή: http://wiki.theuavguide.com/wiki/Multicopter)

Τα κύρια μέρη που συνθέτουν ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος συμπίπτουν και για τους δύο αυτούς τύπους, για το λόγο αυτό δεν γίνεται διάκριση σε σταθερής πτέρυγας και πολλαπλών στροφείων. Τα μέρη αυτά είναι (Εικόνα 16):

- Ο σκελετός
- Το σύστημα ελέγχου πτήσης, ταχύτητας
- Το σύστημα επικοινωνίας
- Αισθητήρες (Accelerometer, Gyroscope, IMU, Magnetometer, Barometer, GPS, Distance)
- Κάμερα-ες
- Οι μηχανές
- Οι έλικες
- Η μπαταρία

Εικόνα 16 Κύρια μέρη μη επανδρωμένου αεροσκάφους

Παρά την ομοιότητα που παρουσιάζουν οι δύο αυτοί τύποι μη επανδρωμένων αεροσκαφών, αναφορικά με τα μέρη που τα συνθέτουν, οι αρχές λειτουργίας τους καθώς και τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους παρουσιάζουν διαφορές (Πίνακας 1). Πιο συγκεκριμένα αναφορικά με τις αρχές λειτουργίας τους, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, σταθερής πτέρυγας αποτελούνται από ένα πτερύγιο που ακολουθεί τις αρχές λειτουργίας του φτερού του αεροπλάνου για την ανύψωση και την αεροδυναμική αντίσταση. Λόγω αυτού του σχεδιασμού χρειάζεται ενέργεια

μόνο για να προχωρήσει και όχι για να παραμείνει στον αέρα. Αντιθέτως τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη πολλαπλών στροφείων χρησιμοποιούν ένα ή πολλά στροφεία, με σκοπό να παραχθεί η απαιτούμενη ροή αέρα, προκειμένου να υπάρξει ανύψωση του αεροσκάφους. Για τον λόγο αυτό πρέπει τα στροφεία να βρίσκονται σε συνεχή κίνηση. Ακριβώς αυτή η εκ διαμέτρου διαφορά στην αρχή λειτουργίας τους, δίνει το πλεονέκτημα στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας έναντι στα αντίστοιχα πολλαπλών στροφείων, σε ότι αφορά την ταχύτητα πτήσης, το εύρος κάλυψης και την αεροδυναμική και την αντίσταση στο αέρα. Στον αντίποδα ακριβώς αυτή η διαφορά στην ταχύτητα πτήσης και στην ικανότητα στατικής αιώρησης είναι που δίνουν το πλεονέκτημα στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη πολλαπλών στροφείων, βρίσκοντας εφαρμογές στην κινηματογράφηση, αποτύπωση μνημείων-αρχαιολογικών χώρων και στην επιθεώρηση. Συμπληρώνετε ότι η μεγάλη ταχύτητα πτήσης σε συνδυασμό με υψηλό αέρα, μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στις εικόνες με την εμφάνιση του φαινομένου της «κίνησης». Μία ακόμα μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο τύπων είναι η ανάγκη για χώρο απογείωσης/προσγείωσης. Στο κομμάτι αυτό πλεονεκτούν σαφώς τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη πολλαπλών στροφείων, τουλάχιστον για εφαρμογές εντός του αστικού ιστού και γενικότερα, δεδομένου ότι δεν χρειάζεται πλησίον της περιοχής μελέτης, η εξασφάλιση χώρου προσγείωσης/απογείωσης. Κλείνοντας επισημαίνεται ότι παρά το γεγονός ότι τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη πολλαπλών στροφείων αποτελούν σήμερα τον πιο δημοφιλή τύπο, η επιλογή του καταλληλότερου μη επανδρωμένου αεροσκάφους έχει να κάνει με τις ανάγκες της ίδιας της εφαρμογής, που είναι αυτές που καθορίζουν ποιά χαρακτηριστικά είναι αυτά που πλεονεκτούν και κατ' επέκταση τον καταλληλότερο τύπο μη επανδρωμένου αεροσκάφους.

		
Πεδίο Εφαρμογής (Ενδεικτικά)	Χαρτογράφηση, Γεωργία Ακριβείας, GIS, Ορυχεία, Περιβαλλοντικά, Κατασκευές.	Χαρτογράφηση, Επιθεώρηση, Γεωργία Ακριβείας, Κινηματογράφηση, Κτηματομεσιτικά, GIS, Ορυχεία, Κατασκευές.
Ταχύτητα πτήσης	Υψηλή	Χαμηλή
Εύρος Κάλυψης	Μεγάλο	Μικρό
Περιοχή απογείωσης/προσγείωσης	Μεγάλη	Μικρή
Διάρκεια Πτήσης	Μεγάλη	Μικρή
Στατική Αιώρηση	Όχι	Ναι
Αεροδυναμική / Αντίσταση αέρα	Μεγάλη	Μικρή

Πίνακας 1 Διαφορές Μη Επανδρωμένων αεροσκαφών Σταθερής πτέρυγας και πολλαπλών στροφείων

2.2.3 Το σύστημα επικοινωνίας

Το σύστημα επικοινωνίας είναι βασικό παρέχοντας την δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ του σταθμού ελέγχου και του μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Η πιο συνήθης μέθοδος είναι μέσω χρήσεις ραδιοσυχνοτήτων αλλά υπάρχουν συστήματα που χρησιμοποιούν ακτίνες laser ή οπτικές ίνες (Austin, 2010). Πλέον αυτών, η επικοινωνία μπορεί να επιτευχθεί, μέσω ασυρμάτου δικτύου Wi-Fi (συνήθως σε συχνότητα 2.4GHz) ή για στρατιωτικά συστήματα μέσω δορυφορικών συστημάτων υψηλών συχνοτήτων. (Colomina and Molina, 2014)

Σύμφωνα με τον (Austin, 2010): το σύστημα επικοινωνίας είναι υπεύθυνο για την μεταφορά δεδομένων από τον σταθμό ελέγχου προς το αεροσκάφος και αντίστροφα. Από τον σταθμό ελέγχου μεταφέρονται δεδομένα που αφορούν:

- Τον προγραμματισμό πτήσης που αποθηκεύεται στο σύστημα ελέγχου πτήσης.
- Εντολές πραγματικού χρόνου όταν απαιτείται από τον χειριστή.
- Εντολές προς την κάμερα ή τους λοιπούς αισθητήρες που φέρει το αεροσκάφος
- Διορθώσεις για τον εντοπισμό της θέσης του αεροσκάφους σε πραγματικό χρόνο (RTK)

Από το αεροσκάφος προς τον σταθμό ελέγχου μεταφέρονται δεδομένα που αφορούν:

- Δεδομένα που αφορούν την θέση του αεροσκάφους
- Δεδομένα από την κάμερα ή τους αισθητήρες που φέρει το αεροσκάφος
- Δεδομένα που αφορούν την κατάσταση του αεροσκάφους

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό του συστήματος επικοινωνίας, καθορίζοντας τα απαιτούμενα επίπεδα ηλεκτρικής ενέργειας, την πολυπλοκότητα της κεραίας, το βάρος και το συνολικό κόστος είναι η εξής:

- Η απόσταση του αεροσκάφους από τον σταθμό ελέγχου
- Οι απαιτήσεις από τα δεδομένα που μεταφέρονται και στις δύο κατευθύνσεις
- Οι απαιτήσεις ασφάλειας αυτών των δεδομένων.

2.2.4 Ο Συμπληρωματικός εξοπλισμός

Δεδομένου ότι ο ορισμός που δίνεται για τα ΣμηΕΑ (§ 1.2) σύμφωνα με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο της χώρας μας, πέραν του ίδιου του μη επανδρωμένου αεροσκάφους, του σταθμού ελέγχου, της δυνατότητας επικοινωνίας και τηλεχειρισμού και του εξοπλισμού πλοήγησης που ρητώς αναφέρονται το «κ.λ.π που είναι απαραίτητα για την λειτουργία του μη επανδρωμένου αεροσκάφους» δεν παρέχει κάποια πληροφορία ή ένδειξη. Από την βιβλιογραφία προκύπτει ότι, αυτός ο εξοπλισμός, μπορεί να αναφέρεται στο σύστημα απογείωσης, στο σύστημα ανάκτησης, στην διεπαφή με άλλα συστήματα ακόμα και στον τρόπο μεταφοράς του συστήματος μη επανδρωμένου αεροσκάφους στο σύνολο του.

2.3 Κατηγοριοποίηση των ΣμηΕΑ

Για την κατάταξη των ΣμηΕΑ σε κατηγορίες, εντοπίζονται στην βιβλιογραφία πολλές διαφορετικές προτάσεις ταξινόμησης βάσει κριτηρίων που συνεχώς ανανεώνονται, καλύπτοντας και την ανάγκη δημιουργίας ενός κανονιστικού πλαισίου για την χρήση των ΣμηΕΑ. Το γεγονός ότι νέα κριτήρια ταξινόμησης εισάγονται, οφείλεται στην εξέλιξη και την αύξηση χρήσης των ΣμηΕΑ σε καθημερινές πλέον εφαρμογές, αναδεικνύοντας παραμέτρους και οπτικές που αρχικά δεν είχαν εντοπιστεί και απαιτούν ρύθμισης, πχ η κατηγοριοποίηση βάσει του «MTOW» και του κινδύνου πτώσης των ΣμηΕΑ. Στην συνέχεια της παραγράφου αποδίδονται με χρονολογική σειρά από την βιβλιογραφία, χαρακτηριστικές ταξινομήσεις των ΣμηΕΑ.

Ο (Bento, 2008), υιοθετώντας την κατηγοριοποίηση που προτείνει η Ευρωπαϊκή Ένωση μη επανδρωμένων συστημάτων (EUROUVS), βάσει των παραμέτρων: του ύψους πτήσης, της διάρκειας πτήσης (Endurance), του εύρος ζεύξης δεδομένων (Data link Range) και του μέγιστου βάρους κατά την απογείωση «MTOW», αναγνωρίζει σε αυτή την κατηγοριοποίηση και προτείνει τέσσερις κύριες κατηγορίες ταξινόμησης : Μίκρο/Μίνι UAVs (MAV/mini UAVs), Τακτικά UAVs (TUAVs), Στρατηγικά UAVs και Ειδικών Εργασιών (κατά το πλείστον στρατιωτικών). (Πίνακας 2)

Κύριες Κατηγορίες (Bento, 2008)	Κατηγορίες Βάσει (EUROUVS)	Μέγιστο Βάρος κατά την απογείωση (Kg)	Ύψος Πτήσης (M)	Διάρκεια Πτήσης (Ώρες)	Εύρος Ζεύξης Δεδομένων (Χλμ)
Μίκρο/Μίνι UAVs	Μίκρο (MAV)	0,1	250	1	<10
	Μίνι	<30	150-300	<2	<10
Τακτικά UAVs (TUAVs)	Μικρής Εμβέλειας (CR)	150	3.000	2-4	10-30
	Κοντινής Εμβέλειας (SR)	200	3.000	3-6	30-70
	Μεσαίας Εμβέλειας (MR)	150-500	3.000-5.000	6-10	70-200
	Μεγάλης Εμβέλειας (LR)	-	5.000	6-13	200-500
	Αντοχή (EN)	500-1.500	5.000-8.000	12-24	>500
	Μεσαίου Ύψους, Μεγάλης Αντοχής (MALE)	1.000-1.500	5.000-8.000	24-48	>500
Στρατηγικά UAVs	Μεγάλου Ύψους, Μεγάλης Αντοχής (LALE)	2.500-12.500	15.000-20.000	24-48	>2.000
Ειδικών Εργασιών UAVs	Δολοφονικά (LET)	250	3.000-4.000	3-4	300
	Δολώματα-Εξαπάτησεις (DEC)	250	50-5.000	<4	0-500
	Εντός Στρατόσφαιρας (Strato)	ΠΡΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ (TBD)	20.000-30.000	>48	>2.000
	Εκτός Στρατόσφαιρας (EXO)	ΠΡΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ (TBD)	>30.000	ΠΡΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ (TBD)	ΠΡΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ (TBD)

Πίνακας 2 Κύριες κατηγορίες UAVs Βάσει (Bento), Κατηγοριοποίηση UAVs βάσει (EUROUVS) (ιδία επεξεργασία πηγή: (Bento, 2008), pg 55)

Οι κατηγορίες των MALE, LALE UAVs και TUAVs έχουν ολοένα και περισσότερο προσαρμοστεί στην μεταφορά όπλων αέρος-εδάφους προκειμένου να ελαττωθεί ο χρόνος αντίδρασης σε χτύπημα στόχου μετά από αναγνώριση, γεγονός που θα μπορούσε να τα κατατάξει στην κατηγορία των στρατιωτικών UAVs (ειδικών εργασιών) εφόσον είναι εξοπλισμένα, (Austin, 2010).

Από τις κύριες κατηγορίες που προτείνει ο (Bento, 2008), στην πρώτη κατηγορία των Μίκρο/Μίνι UAVs, εντάσσονται τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που χρησιμοποιούνται για φωτογραμμετρικές εφαρμογές.

Ο (Eisenbeiss, 2009), προτείνει την κατηγοριοποίηση αυτής της κατηγορίας UAVs, βάσει της ύπαρξης ή μη κινητήρα (τροφοδοτούμενα ή μη) και του βάρους τους συγκριτικά με τον αέρα (ελαφρύτερα ή βαρύτερα του), (Πίνακας 3).

	Ελαφρύτερα του Αέρα (Lighter than air)	Βαρύτερα του Αέρα (Heavier than air)		
		Εύκαμπτου πτερυγίου (Flexible Wing)	Σταθερής Πτέρυγας (Fixed Wing)	Περιστρεφόμενου Στροφίου (Rotary Wing)
ΜΗ Τροφοδοτούμενα (Unpowered)	Μπαλόνι (Balloon)	Αιωρόπτερο (Hang glider)	Πτέρυγες - Ανεμόπτερα (Gliders)	Χαρταετοί με Ρότορα (Rotor-Kite)
		Αλεξίπτωτο Πλαγιάς (Paraglider)		
		Χαρταετοί (Kites)		
Τροφοδοτούμενα (Powered)	Αερόστατο (Airship)	Αλεξίπτωτο Πλαγιάς (Paraglider)	Έλικες (Propoller)	Μονού Ρότορα (Single Rotor)
			Μηχανές (Jet Engines)	Ομοαξονικά (Coaxial)
				Τετρακόπτερα (Quadrotors)
				Πολυκόπτερα (Multi-rotors)

Πίνακας 3 Κατηγοριοποίηση UAVs βάσει τροφοδοσίας και Βάρους (πηγή: (Eisenbeiss, 2009))

Ο ίδιος (Eisenbeiss, 2009), προτείνει την επιπλέον κατηγοριοποίηση των UAVs περιστρεφόμενου στροφείου βάσει του αριθμού των στροφείων τους, σε μονού ρότορα, διπλού ρότορα, τετραπλού ρότορα- τετρακόπτερο και πολλαπλού ρότορα-πολυκόπτερα (Πίνακας 3). Στην ίδια εργασία παρουσιάζει την κατηγοριοποίηση που κάνει η Αυστραλιανή Υπηρεσία Ασφάλειας Πολιτικής Αεροπορίας (CASA, 2001) βάσει του βάρους, κατατάσσοντας τα UAVs σε τρείς κατηγορίες (Πίνακας 4), ενώ παρουσιάζει την κατηγοριοποίηση βάσει κόστους και ικανότητας μεταφοράς του UAV (Πίνακας 5) και την κατηγοριοποίηση βάσει της γεωαναφοράς των δεδομένων και της δυνατότητας να πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο καθώς και της ακρίβειας εφαρμογής (Πίνακας 6).

Πίνακας 4 Κατηγοριοποίηση των UAVs βάσει CASA (πηγή: (Eisenbeiss, 2009))

Κατηγορία	Κατηγορία1 Micro UAVs	Κατηγορία 2 Μικρά UAVs	Κατηγορία 3 Μεγάλα UAVs
Χαρακτηριστικά	MTOW 100g	MTOW <150kg	MTOW >150kg

Πίνακας 5 Κατηγοριοποίηση των UAVs βάσει τιμής και ικανότητας μεταφοράς (πηγή: (Eisenbeiss, 2009))

Κατηγορία	Περιγραφή	Περιορισμοί (πχ τιμή ή ωφέλιμου βάρους «payload»)
OM	Ανοικτού κώδικα και χειροκίνητα συστήματα, με κόστος όχι πάνω από 5000 ευρώ	Χειροκίνητης πλοήγησης με κόστος <5000 ευρώ.
M	Micro & Mini συστήματα	>5kg
L	Μεγάλης ικανότητας μεταφοράς (Payload)	>5kg

Πίνακας 6 Κατηγοριοποίηση των UAVs βάσει του τύπου γεωαναφοράς, της δυνατότητας πραγματικού χρόνου και της ακρίβειας εφαρμογής (πηγή: (Eisenbeiss, 2009))

Αισθητήρας	Γεωαναφορά	Σε πραγματικό Χρόνο	Απαιτούμενη Εφαρμογή	Κατηγορία UAV
No GPS/INS	Post	0	Χαμηλής ακριβείας (m)	OM
GPS and consumer grade INS	Post/direct	+	Μεσαίας ακριβείας (dm-m)	M & L
DGPS/ tactical grade INS	Post/direct	++	Μεγάλης ακριβείας (cm)	M & L

Στην κατηγορία των Μίκρο/Μίνι UAVs οι (Eisenbeiss and Sauerbier, 2011), για φωτογραμμετρικές εφαρμογές και ειδικότερα για αρχαιολογικές, κατηγοριοποιούν τα UAVs βάσει της μεθόδου πτήσης σε:

- Χειροκίνητη λειτουργία (Manual Flight mode), όπου ο χειριστής έχει τον απόλυτο έλεγχο εξ' αποστάσεως, συνήθως μέσω τηλεχειρισμού, χωρίς κανέναν αυτοματισμό.
- Ημί-αυτόματη ή υποβοηθούμενη λειτουργία (Semi-automated or assisted flight mode), όπου ο χειριστής έχει τον χειρισμό, αλλά έχει στην διάθεσή του αυτοματισμούς που των διευκολύνουν στην πλοήγηση και του επιτρέπουν π.χ.: να αιωρείται το αεροσκάφος σε σταθερό ύψος χωρίς την επίδραση του αέρα, ή την αποφυγή εμποδίων κ.λ.π.
- Αυτόματη λειτουργία (Autonomous flight mode), σε αυτή ο χειριστής, προγραμματίζει το σχέδιο πτήσης του αεροσκάφους, αφήνοντας τον έλεγχο της θέσης και της διατήρησης του ύψους στο σύστημα πλοήγησης του αεροσκάφους, έχοντας αν πάσα στιγμή την δυνατότητα μέσω τηλεχειρισμού από τον σταθμό εδάφους να παρέμβει. Η λειτουργία αυτή είναι χρήσιμη και αποδοτική για φωτογραμμετρικές εφαρμογές αφού ο προγραμματισμός πτήσης εξασφαλίζει την αποτελεσματική και ακριβή πλοήγηση για την λήψη των εικόνων.

Ο Κωνσταντίνος Δαλαμαγκίδης (Valavanis and Vachtsevanos, 2015), παρουσιάζει μέσα από την βιβλιογραφία κατηγοριοποιήσεις των UAVs βάσει:

- Του Μέγιστου ωφέλιμου βάρους κατά την απογείωση «MTOW» και της επίπτωσης συντριβής στο έδαφος (Πίνακας 7).

Η κατηγορία των Μίκρο/Μίνι UAVs είναι τόσο ελαφριά που σχεδόν είναι αδύνατο να προκαλέσει θανάσιμο ή σοβαρό τραυματισμό από την πρόσκρουση στο έδαφος, ενώ είναι επίσης απίθανο λόγω του χαμηλού ύψους πτήσης να προκαλέσει προβλήματα σε άλλα αεροσκάφη με την προϋπόθεση ότι τηρούνται οι κανόνες ασφαλείας.

- Του επιχειρησιακού ύψους και του κινδύνου σύγκρουσης στον αέρα.

Στην κατηγοριοποίηση αυτή προτείνονται τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με το ύψος:

  - Πολύ χαμηλό ύψος, με οπτική (VLA/LOS), τυπικά σε ύψος χαμηλότερο των 150μ με τον χειριστή να έχει οπτική επαφή με το αεροσκάφος
  - Πολύ χαμηλό ύψος, χωρίς οπτική επαφή (VLA/BLOS), όπως παραπάνω με την δυνατότητα το αεροσκάφος να βρίσκεται πέραν της οπτικής επαφής του χειριστή.
  - Μεσαίο ύψος (MA), για ύψη λειτουργίας στην κατηγορία A έως E (μέχρι ύψος 18.300μ)
  - Πολύ μεγάλο ύψος (VHA), για ύψη λειτουργίας στην κατηγορία E και πάνω (ύψος μεγαλύτερο των 18.300μ)

- Της αυτονομίας

  Σε αυτή την κατηγοριοποίηση προτείνεται μια κλίμακα κατάταξης από το 0 (πλήρης χειρισμός) έως το 10 (πλήρης αυτόνομο). Οι κατηγορίες αυτές βασίζονται σε τρείς παράγοντες που χαρακτηρίζουν την αυτονομία, τον βαθμό ελευθερίας από την συμμετοχή του χειριστή, την πολυπλοκότητα της αποστολής και την περιπλοκότητα του περιβάλλοντος.

- Των στρατιωτικών εφαρμογών
- Του ιδιοκτησιακού καθεστώτος

  Σε αυτή την κατηγοριοποίηση προτείνονται δύο κατηγορίες ανάλογα με τον κύριο του αεροσκάφους έχοντας, τα κρατικά και των πολιτών. Τα κρατικά περιλαμβάνουν όλες τις βαθμίδες της δημόσιας διοίκησης, καθώς και των στρατό, ενώ των πολιτών περιλαμβάνουν φυσικά ή νομικά πρόσωπα.

Πίνακας 7 Κατηγοριοποίηση UAVs βάσει MTOW και της επίπτωσης συντριβής στο έδαφος. (πηγή: (Valavanis and Vachtsevanos, 2015))

Αριθμός Κατηγορίας	T_{GI}[4]	MTOW	Όνομα
0	10^2	<1kg	Micro
1	10^3	Μέχρι 1kg	Mini
2	10^4	Μέχρι 13.5kg	Small
3	10^5	Μέχρι 242kg	Light/Ultralight
4	10^6	Μέχρι 4.322kg	Normal
5	10^7	Πάνω από 4.332kg	Large

[4] T_{GI}, το ελάχιστο χρονικό διάστημα μεταξύ της συντριβής στο έδαφος

Μία σχετικά πρόσφατη πρόταση κατηγοριοποίησης είναι αυτή των (Mitka and Mouroutsos, 2017), όπου προτείνουν πέντε (5) κατηγορίες βάσει του πεδίου εφαρμογής του UAV. Οι κατηγορίες που προτείνουν είναι οι ακόλουθες:

- Επείγοντα
  Όπου περιλαμβάνονται οι εφαρμογές :
  - Αναζήτησης και διάσωσης
  - Φυσικών καταστροφών
  - Ανθρωπιστικής Βοήθειας
  - Παροχή άμεσης βοήθειας
- Περιβάλλοντος
  Όπου περιλαμβάνονται οι εφαρμογές :
  - Παρακολούθηση της ενυδάτωσης του εδάφους
  - Παρακολούθηση σοδειάς
  - Εφαρμογές Γεωργίας
- Παρακολούθηση Υποδομών και επιθεώρηση
  Όπου περιλαμβάνονται οι εφαρμογές:
  - Εφοδιασμού (Logistics)
  - Κτηματομεσιτικά γραφεία
  - Ασφαλειών (Insurance)
  - Παρακολούθηση γραμμών ενέργειας (Power line inspection)
- Τηλεπισκόπησης (Earth Observation)
  Όπου περιλαμβάνονται οι εφαρμογές:
  - Αρχαιολογία
  - Συστήματα Γεωγραφιών πληροφοριών (GIS)
  - Συστήματα επικοινωνίας
- Άμυνα και Ασφάλεια
  Όπου περιλαμβάνονται οι εφαρμογές:
  - Παρακολούθησης της κυκλοφορίας
  - Παρακολούθηση κατά μήκος αγωγών
  - Διακίνησης ναρκωτικών
  - Ασφάλεια λιμανιών

Εν κατακλείδι, γίνεται αναφορά στις κατηγορίες UAVs σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία της χώρας μας , άρθρ. 4 ΦΕΚ Β’ 3152/30.9.2016, όπου για την κατηγοριοποίηση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών λαμβάνονται υπόψη τα κριτήρια:

- Της μέγιστης μάζας απογείωσης «MTOM»
- Το είδος της χρήσης
- Το ύψος πτήσης πάνω από στεριά και θάλασσα, όπου επιτρέπεται να πετάνε
- Τις περιοχές (αποκλεισμένες ή μη) που πετούν
- Τις τεχνικές δυνατότητες εκάστου ΣμηΕΑ
- Την πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος πτητικής λειτουργίας των ΣμηΕΑ.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω κριτήρια τα ΣμηΕΑ κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία σε τρείς (3) κύριες κατηγορίες (Πίνακας 8):

- Α. Η «ανοικτή» κατηγορία (UAS Open Category)
  Στην κατηγορία αυτή ο χειριστής έχει απευθείας οπτική επαφή με το ΣμηΕΑ και η πτήση διεξάγεται σε απόσταση μικρότερη των 500μ από τον χειριστή του ΣμηΕΑ. Το μέγιστο

ύψος πτήσης ορίζεται σε 400 πόδια (περίπου 122μ), ενώ η μέγιστη μάζα κατά την απογείωση πρέπει να είναι μικρότερη των 25 κιλών.

Η «ανοικτή» κατηγορία διακρίνεται σε τρείς (3) υποκατηγορίες όπως φαίνονται στον συνημμένο πίνακα.

- Β. Η «ειδική» κατηγορία (UAS Specific Category)
- Γ. Η «πιστοποιημένη» κατηγορία (UAS Certified Category)

Κύριες Κατηγορίες (ΦΕΚ Β' 3152 /2016)	Υποκατηγορίες	Μέγιστη Μάζα κατά την απογείωση "MTOM" (Kg)	Ύψος Πτήσης (Μ)
Α. "Ανοικτή" Κατηγορία	CAT A0: Μίνι Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών	<1	50-120
	CAT A1: Πολύ Μικρά Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών	1-4	120
	CAT A2: Μικρά Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών	<25	ΔΕΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΖΕΤΑΙ
Β. "Ειδική" Κατηγορία	Για την εκτέλεση πτήσεων ΣμηΕΑ της κατηγορίας, απαιτείται η εξασφάλιση άδειας "πτητικής λειτουργίας" από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας μετά την έγκριση του,α) σχεδίου αξιολόγησης κινδύνων ασφαλείας, β) εγχειρίδιο πτητικής λειτουργίας, γ) ασφαλιστήριο συμβόλαιο για την κάλυψη κινδύνων από την άσκηση των δραστηριοτήτων.		
Γ. "Πιστοποιημένη" Κατηγορία	Για την εκτέλεση πτήσεων ΣμηΕΑ της κατηγορίας, απαιτείται η νηολόγηση του στο ειδικό μητρώο της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας καθώς και η έκδοση ειδικού πιστοποιητικού αξιοπλοΐας για ΣμηΕΑ.		

Πίνακας 8 Κατηγοριοποίηση των UAVs βάσει του ΦΕΚ Β’ 3152/30.9.2016

2.4 Πεδία Εφαρμογής των ΣμηΕΑ

Η χρήση των ΣμηΕΑ στις μέρες μας έχει αποκτήσει μια σταθερή δυναμική, καθώς πολλές βιομηχανίες χρησιμοποιούν τα ΣμηΕΑ στις καθημερινές λειτουργίες τους. Σύμφωνα με την «Business Insider Intelligence» η αγορά των μη στρατιωτικών ΣμηΕΑ πρόκειται να αυξηθεί με ρυθμό περίπου 19% μεταξύ του 2015 και του 2020, συγκρινόμενη με τον ρυθμό ανάπτυξης μόλις 5% των ΣμηΕΑ για στρατιωτικές εφαρμογές, (*Drone Technology and Usage: Current Uses and Future Drone Technology - Business Insider*, 2013).

Παρότι η τεχνολογία των ΣμηΕΑ δεν έχει εξαντλήσει τα περιθώρια εξέλιξης της, φαίνεται ότι το πλεονέκτημα του σχετικά χαμηλού κόστους κατασκευής τους, επιτρέπει την χρήση τους σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Όπως αναφέρουν οι (Colomina and Molina, 2014), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή το έτος 2007 διενήργησε μια εμπεριστατωμένη μελέτη για την καταγραφή των χρήσεων των συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) στην Ευρώπη, καταλήγοντας σε μια λίστα εφαρμογών για αστική και εμπορική χρήση των ΣμηΕΑ εξαιρώντας στρατιωτικές εφαρμογές όπως συνοριακή ασφάλεια, ακτοφυλακή κ.λ.π. Η λίστα αυτή των εφαρμογών χωρίζεται σε κύριους τομείς και τις επιμέρους εφαρμογές τους ως εξής:

- Τομέας υπηρεσιών Πυρόσβεσης και Εκτάκτων αναγκών
    - Εντοπισμός και συντονισμός πυρκαγιών
    - Συντονισμός μεγάλου εύρους περιστατικών εκτάκτων αναγκών
    - Επιχειρήσεις διάσωσης
- Τομέας ενέργειας και Δίκτυα Επικοινωνιών
    - Παρακολούθηση υποδομών αερίου – πετρελαίου – ηλεκτρικής ενέργειας
    - Παρακολούθηση σιδηροδρομικού δικτύου
- Τομέας γεωργίας, δασοκομίας και αλιείας
    - Περιβαλλοντική παρακολούθηση
    - Γεωργία ακριβείας
    - Βελτιστοποίηση πόρων
- Τομέας τηλεπισκόπησης και γήινης παρατήρησης
    - Παρακολούθηση του κλίματος
    - Αεροφωτογράφιση
    - Χαρτογράφηση και επιθεώρηση
    - Παρακολούθηση σεισμικής δραστηριότητας
    - Παρακολούθηση ρύπανσης
- Τομέας επικοινωνιών και ραδιοτηλεοπτικών μεταδόσεων
    - Κάλυψη – επέκταση επικοινωνιών
    - Πλατφόρμες καμερών

Σύμφωνα με την έκθεση (*SESAR Joint Undertaking | European Drones Outlook Study*, no date), που πραγματεύεται την εξέλιξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών μέχρι το έτος 2050, ο ρόλος των μη επανδρωμένων αεροσκαφών θα συνεχίσει να επεκτείνεται και στα χρόνια που έρχονται, οδηγούμενος από την ανάγκη κατανόησης των πεδίων εφαρμογής που έχουν καθιερωθεί σήμερα αλλά και εκείνων που ακόμα δεν έχουν έρθει. Αυτά τα πεδία παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 9):

- Γεωργία Ακριβείας, στο πεδίο αυτό η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών θα είναι καθοριστική καθώς θα βοηθήσει στην κάλυψη των αναγκών στην παραγωγικότητα και θα υποστηρίξει τις «πράσινες» πρακτικές.
- Ενέργεια, στο πεδίο αυτό η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών θα βοηθήσει στην μείωση διαφόρων κινδύνων, συμπεριλαμβανομένου και του προσωπικού που εκτελεί σήμερα επικίνδυνες εργασίες, βοηθώντας στην διατήρηση των υποδομών.
- Δημόσια Ασφάλεια, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την καλύτερη αξιολόγηση και παρακολούθηση επικίνδυνων καταστάσεων, σε αποστολές έρευνας και διάσωσης, συλλογή αποδεικτικών στοιχείων καθώς και την έρευνα και αποτροπή άλλων κρίσεων.
- Ηλεκτρονικό Εμπόριο και παραδόσεις (Delivery), επείγοντα πακέτα που περιλαμβάνουν και ιατρικές προμήθειες, θα μπορούσαν να παραδοθούν, με την χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε ελάχιστο σχετικά χρόνο, τόσο σε αστικές όσο και σε απομονωμένες περιοχές.
- Μεταφορές, οι υποδομές μεταφορών όπως ο σιδηρόδρομος, μπορεί στο μέλλον να παρακολουθείται με την χρήση μη επανδρωμένου αεροσκάφους.

Άλλα πεδία εφαρμογής είναι τα ορυχεία, οι κατασκευές γενικά, οι επικοινωνίες, οι ασφάλειες καθώς και πεδία που σήμερα δεν διαφαίνεται η χρησιμότητα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

Mission types	Sectors profiled in-depth: Agriculture	Energy	Public safety & security	Delivery & e-commerce	Mobility & transport	Other growth sectors included in study: Mining & construction	Telecom	Insurance	Others
Localized Surveying (primarily VLOS)		✓ Infrastructure sites	✓ Police & fire, in-vehicle units			✓ Bridge, crane & buildings	✓ Cell tower inspection	✓ Roof & site inspections	✓ Real estate, private security, media, indoor
Long range Surveying (primarily BVLOS)	✓ Crop & livestock monitoring	✓ Pipeline & power lines	✓ Police & fire, disasters, wildlife		✓ Railway inspection	✓ Site surveying	✓ Cell tower inspection	✓ Disaster impact	✓ University & research; especially wildlife
Light load movement (primarily BVLOS)	✓ Crop spraying / pellet application			✓ Parcel, medical supply, delivery		✓ Transport light critical material			✓ Ports, Indoor light goods movement
Long endurance Surveying (primarily ≥ 150m)	✓ Large land monitoring	✓ Pipeline & power lines	✓ Border control, maritime, environment surveillance						✓ University & research; especially wildlife
Unmanned aviation				✓ Cargo planes, air freight	✓ Passenger planes & rotorcraft				
Others		✓ Tethered wind energy prod.					✓ Connectivity provision		

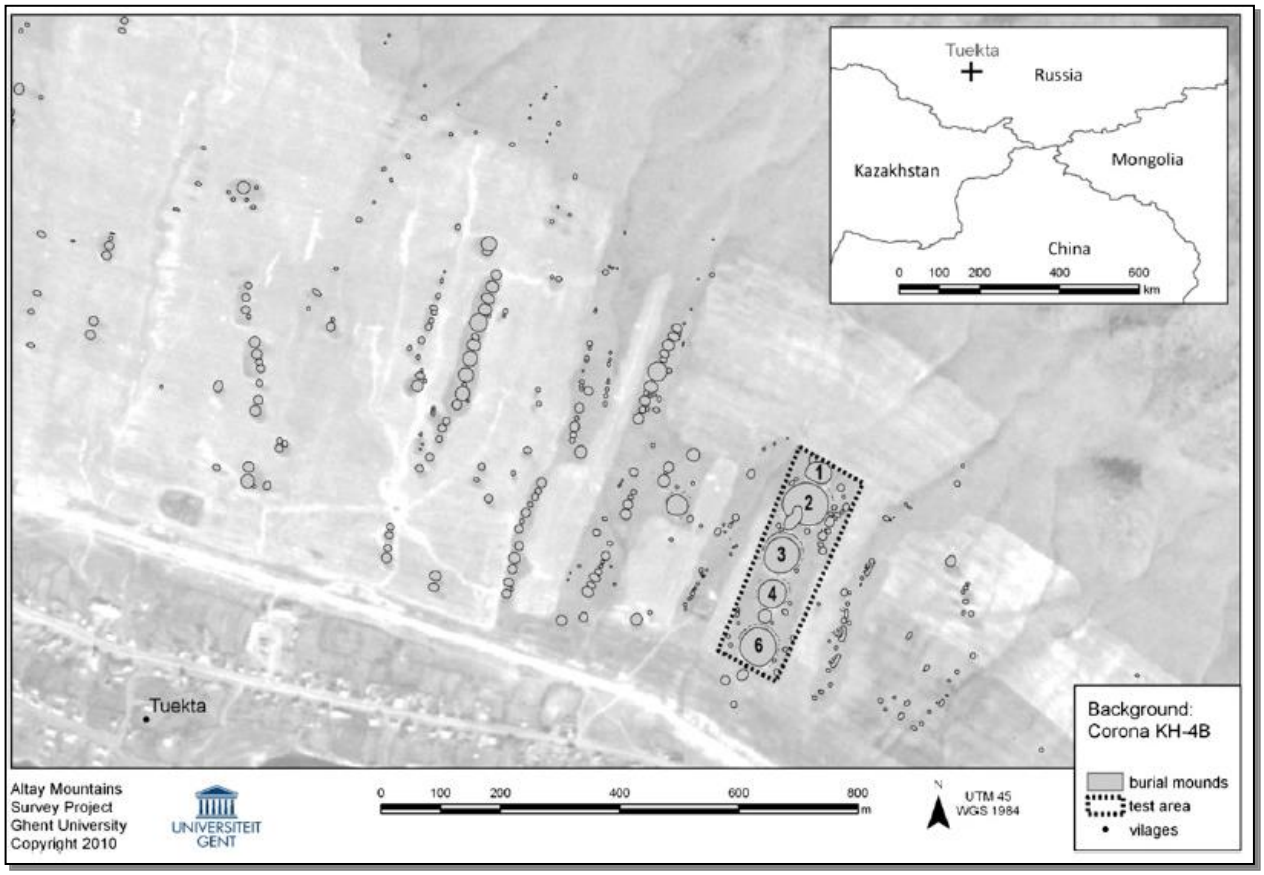
Public safety also includes prison surveillance and examples for environment include poaching prevention; University and research examples include animal breeding monitoring, geological studies

Πίνακας 9 Πεδία εφαρμογής σύμφωνα με την έκθεση European Drones Outlook Study (πηγή: (SESAR Joint Undertaking | European Drones Outlook Study, no date))

Βάση του πεδίου ενδιαφέροντος της εργασίας, παρατίθενται στην συνέχεια μέσα από την βιβλιογραφία σε χρονολογική σειρά, τρείς περιπτώσεις χρήσης ΣμηΕΑ που αφορούν αρχαιολογικούς χώρους:

Οι (Hendrickx *et al.*, 2011), παρουσίασαν την χρήση μη επανδρωμένου αεροσκάφους (Microdrone md4-200) με ψηφιακή κάμερα 14 Mpx (Sigma DP2 camera), για την ανάλυση ερμηνεία και διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομίας. Πιο συγκεκριμένα, ασχολήθηκαν με τον αρχαιολογικό χώρο «Tuekta» που αποτελεί χώρο ταφής γνωστό από το έτος 1950, και βρίσκεται σε μια απομονωμένη περιοχή που αναπτύσσεται κατά μήκος του ποταμού «Ursul» στα βουνά «Altay» της Ρωσίας.(Εικόνα 17) Σκοπός αυτής της παρουσίασης ήταν η τεκμηρίωση του αρχαιολογικού χώρου μέσω της δημιουργίας ενός ορθοφωτοχάρτη καθώς και ο υπολογισμός του όγκου των λόφων «burial mound» εντός του χώρου μελέτης μέσω της δημιουργίας ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους(DEM). Για το σκοπό αυτό ιδρύθηκαν 152 σημεία ελέγχου εδάφους (GCP) και μετρήθηκαν με δύο διαφορετικές μεθόδους, με γεωδαιτικό σταθμό και με GPS. Μέσω του προγράμματος που συνοδεύει το μη επανδρωμένο αεροσκάφος (Microdrone Airborne Mapping), έγινε ο προγραμματισμός πτήσης χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο δορυφορική εικόνα και το Google Earth. Προγραμματίστηκαν δύο σειρές πτήσεων, μία στα 70μ όπου κάλυψε το σύνολο της περιοχής, με κατά μήκος (εμπρόσθια) επικάλυψη 60% και με κατά πλάτος (πλάγια) επικάλυψη 30% και μία στα 40μ σε έναν συγκεκριμένο λόφο, με κατά μήκος (εμπρόσθια) επικάλυψη 70% και κατά πλάτος (πλάγια) επικάλυψη 40%. Όπως αναφέρουν, οι εικόνες από το ύψος των 70μ δεν χρησιμοποιήθηκαν τελικώς, λόγω αδυναμίας σύγκλισης των εικόνων πιθανά λόγω της χαμηλής ακρίβειας στις μετρήσεις κοινών σημείων «tiepoints» στα ζεύγη τους. Με τις εικόνες που λήφθησαν από το ύψος των 40μ δημιουργήθηκε ένα ορθοφωτομωσαϊκό με ικανοποιητική ακρίβεια και υπολογίστηκε ο όγκος του λόφου που μελετήθηκε «Tuekta 3». Ο όγκος υπολογίστηκε ως η διαφορά του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, του συγκεκριμένου λόφου, με ένα δεύτερο ψηφιακό

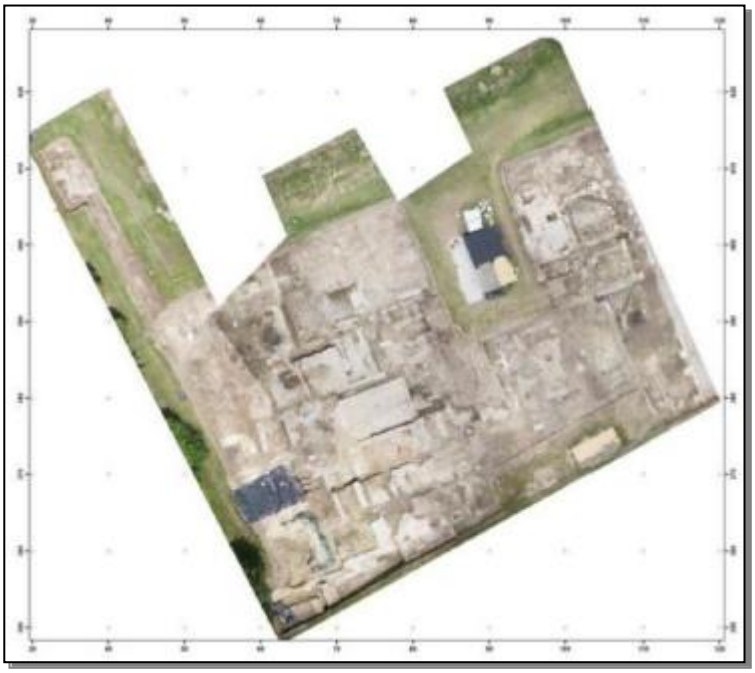
μοντέλο που δημιουργήθηκε από το πρώτο από το οποίο αφαιρέθηκε ο ίδιος ο λόφος, κρατώντας κατ' ουσίαν μόνο το περίγραμμα του. Παρά την αστοχία στην πτήση των 70μ το αποτέλεσμα είναι στο σύνολο του θετικό, δεδομένου ότι οι πληροφορίες του υφιστάμενου αναγλύφου και του όγκου που υπολογίστηκε για τον έναν λόφο που τελικώς μελετήθηκε, παρείχαν στους αρχαιολόγους την δυνατότητα καλύτερης ερμηνείας και αναπαράστασης σε συνδυασμό με μετρήσιμα δεδομένα.



Εικόνα 17 Σχέδιο του χώρου μελέτης «Tuekta» στην Ρωσία (πηγή: (Hendrickx et al., 2011))

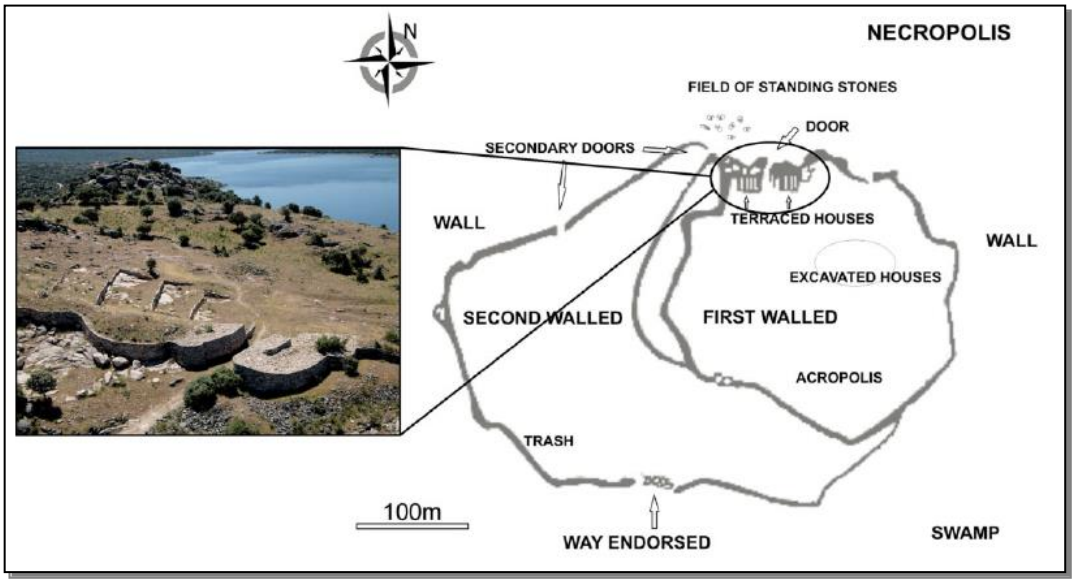
Οι (Rinaudo *et al.*, 2012), παρουσίασαν την χρήση μη επανδρωμένου αεροσκάφους ως εναλλακτικό τρόπο στις παραδοσιακές μεθόδους παρακολούθησης της πορείας των ανασκαφών και των ευρημάτων σε αρχαιολογικούς χώρους, όπου υπάρχει η απαίτηση της καθημερινής πληροφόρησης, προκειμένου να καταστεί δυνατός ο προγραμματισμός των μελλοντικών ανασκαφών. Η εναλλακτική αυτή πρόταση μπορεί να γίνει αποδεκτή από την κοινότητα των αρχαιολόγων για την διαχείριση των αρχαιολογικών ανασκαφών, εφόσον πληροί τις απαιτήσεις σε ακρίβεια και ταχύτητα. Η μετρική τεκμηρίωση έγινε στον αρχαιολογικό χώρο του παλατιού «*dei putti danzanti* » στην αρχαία ρωμαϊκή πόλη «*Aquileia*» της Ιταλίας. Για την λήψη των εικόνων χρησιμοποιήθηκε ένα εξακόπτερο που συναρμολογήθηκε εξ' αρχής από kit, και μια ψηφιακή κάμερα Sony Nex_5, 14Mpx. Προγραμματίστηκαν δύο πτήσεις σε διαφορετικά ύψη, μία πτήση σε ύψος 10μ σε τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος για την λήψη 36 εικόνων, με κατά μήκος (εμπρόσθια) επικάλυψη 75% και κατά πλάτος (πλάγια) επικάλυψη 30% και μια πτήση σε ύψος 18μ για την λήψη 60 εικόνων που καλύπτουν το σύνολο της περιοχής, με κατά μήκος (εμπρόσθια) επικάλυψη 75% και κατά πλάτος (πλάγια) επικάλυψη 40%. Πριν τις πτήσεις τοποθετήθηκαν σταθερά σημεία εδάφους που κάλυπταν την περιοχή, τα οποία στην συνέχεια αποτυπώθηκαν με γεωδαιτικό σταθμό. Από αυτά τα σημεία, τριάντα (30) χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση του μοντέλου δίνοντας ακρίβειες μερικών χιλιοστών (σ_χ 0,003μ, σ_y

0,002 σ_z 0,012μ). Από την επίλυση του μοντέλου εκπονήθηκε ορθοφωτοχάρτης με ονομαστική κλίμακα που κυμαινόταν από 1:100 έως 1:200.(Εικόνα 18) Δεδομένου ότι ο χρόνος λήψης στην πτήση από το ύψος των 18μ ήταν περίπου 10 λεπτά , σε συνδυασμό με την ακρίβεια που επιτεύχθηκε, η εναλλακτική αυτή πρόταση, για την παρακολούθηση των αρχαιολογικών ανασκαφών και ευρημάτων σε καθημερινή βάση τεκμηριώθηκε πλήρως. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της προτεινόμενης μεθόδου είναι η δυνατότητα αποθήκευσης των εικόνων, δημιουργούντας μία χρονοσειρά της πορείας των εργασιών ανασκαφής, δίνοντας την δυνατότητα για αξιοποίηση τους σε δεύτερο χρόνο αντλώντας επιπλέον πληροφορίες που στον χρόνο των εκσκαφών δεν κρίνονται απαραίτητες.



Εικόνα 18 Ορθοφωτοχάρτης περιοχής μελετης «dei putti danzanti», Ιταλία (πηγή: (Rinaudo et al., 2012))

Οι (Fernández-Hernandez *et al.*, 2015), παρουσίασαν την χρήση μη επανδρωμένου αεροσκάφους (Microdrone md4-1000) εξοπλισμένο με ψηφιακή κάμερα Olympus EPL-2 (12 Mpx), για την χαρτογράφηση και την τρισδιάστατη μοντελοποίηση του αρχαιολογικού χώρου «*Las Cogotas*» που βρίσκεται στον Δήμο «*Cardenosa*» της επαρχίας «*Avila*» στην Ισπανία. (Εικόνα 19) Για να καλύψουν την περιοχή μελέτης εκτάσεως περίπου 5 στρεμμάτων προγραμματίστηκε πτήση σε ένα μέσο ύψος 65μ, με κατά μήκος (εμπρόσθια) επικάλυψη 80% και ελάχιστη κατά πλάτος (πλάγια) επικάλυψη 40%. Με βάση αυτόν τον προγραμματισμό έγινε λήψη 30 εικόνων, ενώ τοποθετήθηκαν και μετρήθηκαν σημεία ελέγχου εδάφους (GCP), με GPS δύο συχνοτήτων(L1/G1, L2/G2) της εταιρίας LEICA (RTK 1200 GNSS), ακρίβειας 5μμ + 0,5ppm. Στην εργασία που παρουσίασαν απέδωσαν με αναλυτικό τρόπο όλα τα στάδια μέχρι την εκπόνηση του τελικού προϊόντος, δίνοντας λεπτομερή περιγραφή του εξοπλισμού, της μεθοδολογίας , του προγραμματισμού πτήσης, των σημείων ελέγχου εδάφους, του προσανατολισμού των εικόνων, του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας, του χώρου μελέτης και εκτίμηση της ακρίβειας που επιτεύχθηκε. Ως τελικό προϊόν εκπονήθηκε ορθοφωτοχάρτης με οριζοντιογραφική ακρίβεια της τάξεως των 4,5cm και ένα ψηφιακό ανάγλυφο επιφανείας (DSM) ακρίβειας της τάξεως των 6,5cm. Το ψηφιακό μοντέλο που δημιουργήθηκε αποτελείτο από 12 εκατομμύρια σημεία με πυκνότητα 240 σημεία/τμ και GSD της τάξης των 3cm, ακρίβειες που ικανοποιούν απόλυτα τις απαιτήσεις στην αρχαιολογική ερμηνεία και επιθεώρηση, τεκμηριώνοντας το όφελος χρήσης ΣμηΕΑ χαμηλού κόστους σε αρχαιολογικές εφαρμογές.



Εικόνα 19 Σκαρίφημα της περιοχής μελέτης «Las Cogotas-Spain» (πηγή:(Fernández-Hernandez et al., 2015))

Όπως γίνεται κατανοητό η ίδια η εξέλιξη των ΣμηΕΑ συμπαρασύρει και αυτούς τους ίδιους, τους ορισμούς, τις περιγραφές, τις κατηγορίες και τα πεδία εφαρμογής. Η εξέλιξη της τεχνολογίας οδηγεί στην ανάγκη πληρέστερων περιγραφών των ίδιων των συστημάτων και των υποσυστημάτων που τα συνθέτουν. Η αύξηση της χρήσης των ΣμηΕΑ σε καθημερινές εργασίες δημιουργεί την ανάγκη για εμπλουτισμό των κριτηρίων ταξινόμησης σε κατηγορίες που δεν είχαν αρχικά προβλεφθεί, ενώ πεδία εφαρμογής τους, μέλει να ανακαλυφθούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μέθοδος SFM, παράμετροι που επηρεάζουν την ακρίβεια των παραγόμενων προϊόντων με χρήση ΣμηΕΑ.

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό καταρχήν, γίνεται αναφορά, ακροθιγώς στη μέθοδο Structure From Motion (SFM), που χρησιμοποιείται από φωτογραμμετρικές εφαρμογές για επεξεργασία δεδομένων που έχουν ληφθεί με χρήση ΣμηΕΑ. Η συγκεκριμένη μέθοδος αναπτύχθηκε την δεκαετία του 1990 και είναι βασισμένη στην υπολογιστική όραση (computer vision) και την ανάπτυξη αλγορίθμων αυτόματης εύρεσης ομόλογων σημείων. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στις παραμέτρους που επηρεάζουν την ακρίβεια του τελικώς παραγόμενου προϊόντος, εστιάζοντας στην διαδικασία λήψης των δεδομένων.

3.2 Μέθοδος Structure From Motion (SFM)

Ο ορισμός Structure From Motion (εφεξής SFM), αποδίδεται σε ελεύθερη μετάφραση ως, δομή που προέρχεται από κίνηση. Όπως αναφέρουν οι (Micheletti, Chandler and Lane, 2015), για την μέθοδο SFM, πολλαπλές εικόνες ενός αντικειμένου ή επιφανείας που έχουν ληφθεί από μια σειρά διαφορετικών θέσεων με μια ψηφιακή κάμερα, μπορούν να παράγουν προϊόντα πολύ υψηλής

ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα με την χρήση του αλγόριθμου SIFT (Scale Invariant Feature Transform), προσδιορίζονται αυτόματα χαρακτηριστικά σημεία, στο σύνολο των εικόνων που έχουν ληφθεί, ικανά να καθορίσουν τις χωρικές σχέσεις μεταξύ των αρχικών θέσεων λήψης των εικόνων σε ένα αυθαίρετο τρισδιάστατο σύστημα. Στην συνέχεια μέσω διαδικασίας προσαρμογής δέσμης (bundle adjustment), οι συντεταγμένες των εικόνων μετατρέπονται σε τρισδιάστατα σημεία που καλύπτουν το σύνολο της περιοχής ενδιαφέροντος, με την μορφή νέφους, απεικονίζοντας την επιφάνεια. Τέλος το νέφος σημείων πυκνώνεται με την χρήση μεθόδων MVS (Multi View Stereo), παράγοντας σύνολα δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης.

Όπως και στην κλασσική φωτογραμμετρία η μέθοδος SFM χρησιμοποιεί επικαλυπτόμενες εικόνες από διαφορετικές θέσεις λήψεις. Η διαφορετική προσέγγιση αυτής της μεθόδου σε σχέση με την κλασσική φωτογραμμετρία, έγκειται στην αυτόματη επίλυση, της θέσης και του προσανατολισμού της κάμερας και της γεωμετρίας της σκηνής, χωρίς την ανάγκη χρήσης σημείων ελέγχου στο έδαφος με γνωστές συντεταγμένες. (Snavely, Seitz and Szeliski, 2008) Σε αντίθεση λοιπόν με την κλασσική φωτογραμμετρία οι θέσης των καμερών στερούνται, απόλυτης κλίμακας και προσανατολισμού λόγω ακριβώς της έλλειψης των σημείων ελέγχου εδάφους. Συνεπώς το νέφος σημείων, παράγεται σε ένα σχετικό σύστημα συντεταγμένων της εικόνας ή στην περίπτωση που οι θέσεις λήψης των καμερών προσδιορίζονται από GPS που φέρει το UAV, στο WGS ’84 με αντίστοιχες τις ακρίβειες του GPS και σχετική ακρίβεια και προσανατολισμό. Προκειμένου για τον μετασχηματισμό των συντεταγμένων των εικόνων και κατ’ επέκταση του παραγόμενου νέφους σημείων, σε ένα απόλυτο σύστημα συντεταγμένων τότε απαιτείται η χρήση σημείων ελέγχου εδάφους με γνωστές συντεταγμένες, κάνοντας χρήση μετασχηματισμού ομοιότητας.

3.3 Παράμετροι που επηρεάζουν την ακρίβεια των παραγόμενων προϊόντων με χρήση ΣμηΕΑ.

Κατά την λήψη δεδομένων με ΣμηΕΑ, με σκοπό τη χαρτογράφηση ή την τρισδιάστατη απεικόνιση, οι παράμετροι που επηρεάζουν την ακρίβεια των τελικώς παραγόμενων προϊόντων είναι: οι συνθήκες περιβάλλοντος που επικρατούν κατά την διάρκεια της πτήσης, η κάμερα που φέρει το ΣμηΕΑ και τα χαρακτηριστικά της και οι παράμετροι που διαμορφώνονται από επιλογές που λαμβάνονται κατά τον προγραμματισμό της πτήσης, όπως ο σχεδιασμός της (ταχύτητα - ύψος πτήσης, γωνία λήψης και επικάλυψη των εικόνων κ.α.) καθώς και τα σημεία ελέγχου εδάφους.

Από αυτές τις παραμέτρους, οι συνθήκες περιβάλλοντος έχουν σε μεγάλο βαθμό να κάνουν με την ίδια την προετοιμασία της πτήσης και με την εκ προοιμίου ενημέρωση για τις συνθήκες που εκτιμάται ότι θα επικρατούν την μέρα πτήσης. Η κάμερα που φέρει το ΣμηΕΑ, έχει να κάνει με την αρχική επιλογή των χαρακτηριστικών του UAV, οπού στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν υπάρχει η δυνατότητα για την εκ των υστέρων αντικατάσταση ή τροποποίηση της κατά το δοκούν για κάθε αντικείμενο που εκπονείται. Για αυτές τις συγκεκριμένες παραμέτρους και για τους λόγους που αναφέρθησαν, η παρούσα εργασία περιορίζεται σε ενδεικτική αναφορά, εστιάζοντας στις λοιπές παραμέτρους που αφορούν τις επιλογές κατά τον προγραμματισμό της πτήσης για τις οποίες παρατίθεται στην συνέχεια επισκόπηση μέσα από την βιβλιογραφία.

3.3.1 Συνθήκες Περιβάλλοντος

Σύμφωνα με τον (Ranquist and Ranquist, 2017), οι συνθήκες του περιβάλλοντος μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρείς (3) κατηγορίες: στην μέτρια, στην δυσμενή και στην πολύ σοβαρή (Πίνακας 10). Στην μέτρια (Moderate) κατηγορία ανήκουν τα φαινόμενα που μειώνουν την ορατότητα χωρίς όμως να αποτελούν κίνδυνο για τον χειριστή, όπως: η ομίχλη (Fog), η καταχνιά (Haze), η αντηλιά (Glare) και τα σύννεφα (Cloud cover). Στην δυσμενή (Adverse) κατηγορία ανήκουν τα φαινόμενα που

δύναται να προκαλέσουν απώλεια ελέγχου, απώλεια επικοινωνίας, μείωση της αεροδυναμικής απόδοσης του αεροσκάφους και να επηρεάσουν αρνητικά τον χειριστή, όπως: ο αέρας (Wind & Turbulence), η βροχή (Rain), υπερβολικές θερμοκρασίες (temperature), υγρασία (Humidity), το χιόνι (Snow
) , ο πάγος (Ice) και οι ηλιακές καταιγίδες (Solar storms). Τέλος στην πολύ σοβαρή (Severe) κατηγορία ανήκουν τα φαινόμενα που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές ή ακόμα και απώλεια του αεροσκάφους και να εκθέσουν το χειριστή σε επικίνδυνες καταστάσεις, όπως: καταιγίδες (thunderstorms), κεραυνοί (lightning), χαλάζι (Hail), ανεμοστρόβιλοι (Tornadoes) και τυφώνες (Hurricanes). Από όλες τις συνθήκες, ο αέρας, που επηρεάζει την αεροδυναμική απόδοση του αεροσκάφους και η αντηλιά, που επηρεάζει την οπτική επαφή με το αεροσκάφος, καθώς και την θέαση των συσκευών ελέγχου του, θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση της πτήσης του ΣμηΕΑ, δεδομένου ότι λόγω της σοβαρότητας των υπολοίπων παραγόντων θεωρείται ότι θα υπάρχει σχετική μέριμνα από πλευράς του χειριστή, για τον προγραμματισμό και την υλοποίηση ή μη της πτήσης.

Severity	Hazards	Weather Types
Moderate	• Reduced Visibility	• Fog • Haze • Glare • Cloud cover
Adverse	• Loss of communication • Loss of control • Loss of command • Diminished aerodynamic performance • Reduced operator effectiveness	• Wind and turbulence • Rain • Solar storms • Temperature and Humidity • Snow and Ice
Severe	• Severe damage to or loss of aircraft • Unacceptable risk to operator and personnel	• Lightning • Hail • Tornadoes • Hurricanes

Πίνακας 10 Κατηγοριοποίηση των συνθηκών περιβάλλοντος
(πηγή: (Ranquist and Ranquist, 2017))

3.3.2 Η κάμερα

Όπως αναφέρουν οι (Cramer, Przybilla and Zurhorst, 2017), η εξέλιξη των ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών επιδεικνύει μια δυναμική, με αρκετές εκατοντάδες νέες κυκλοφορίες και περαιτέρω εξελίξεις των υπαρχόντων συστημάτων κάθε χρόνο. Οι περισσότερες από αυτές τις κάμερες απευθύνονται στο ευρύ κοινό όπου η σταθερή και αναπαραγώγιμη γεωμετρία της κάμερας δεν αποτελεί τον πρωταρχικό στόχο ανάπτυξης. Προκειμένου να ταξινομηθούν οι διαθέσιμες κάμερες, προτείνουν τρείς (3) κατηγορίες: τις ιδιόκτητες (proprietary) κάμερες (όπως στα συστήματα DJI Phantom), τις Digital Single Lens mirrorless “DSLM” (όπως η σειρά Sony Alpha) και τις Digital Single Lens Reflex “DSLR” (όπως η σειρά PhaseOne iXU).

Οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές υψηλής ανάλυσης που φέρουν πλέον τα ΣμηΕΑ, σε συνδυασμό με την εξέλιξη φωτογραμμετρικών εφαρμογών SFM όπως π.χ. το πακέτο Agisoft Photoscan, έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή προϊόντων υψηλής ακρίβειας. Ωστόσο κατά τον χρόνο λήψης των

εικόνων, πολλοί είναι εκείνοι οι παράγοντες που αφορούν την κάμερα και επηρεάζουν το τελικό αυτό αποτέλεσμα όπως, η εστιακή απόσταση του φακού «Focal Length», η παραμόρφωση του φακού "distortion", καθώς και οι παράμετροι έκθεσης της κάμερας όπως, η ταχύτητα του κλείστρου, το διάφραγμα και το «ISO»[5]. Πλέον αυτών, κατά την λήψη των εικόνων σημαντικό ρόλο παίζει η ταχύτητα του ανέμου που επικρατεί και οι συνθήκες φωτισμού.

Δεδομένου ότι η κάμερα κατ' ουσίαν είναι το όργανο καταγραφής και μέτρησης στις φωτογραμμετρικές εφαρμογές, θα πρέπει πριν την επεξεργασία των εικόνων να έχουν καθοριστεί οι παράμετροι του εσωτερικού προσανατολισμού (σταθερά της μηχανής, θέση πρωτεύοντος σημείου και ακτινική διαστροφή του φακού). Ο προσδιορισμός αυτών των παραμέτρων, ονομάζεται διακρίβωση ή βαθμονόμηση της κάμερας. Η διαδικασία αυτή, συνήθως εκτελείται εντός των φωτογραμμετρικών εφαρμογών SFM κατά το στάδιο προσαρμογής του «μπλοκ» των εικόνων. Περισσότερες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους των καμερών καθώς και για την διαδικασία βαθμονόμησης μπορούν να αντληθούν από τους (Cramer, Przybilla and Zurhorst, 2017), καθώς και από τους (Carbonneau and Dietrich, 2017).

3.3.3 Προγραμματισμός πτήσης.

Με την έννοια προγραμματισμός πτήσης, η παρούσα εργασία αποδίδει, το σύνολο των επιλογών που πρέπει να ληφθούν πριν την πτήση για την υλοποίηση της, έχοντας ως σκοπό την παραγωγή ενός προϊόντος χαρτογράφησης ή τρισδιάστατης απεικόνισης υψηλής ακρίβειας ή ακριβολογώντας ένα αποτέλεσμα που να ικανοποιεί τις ανάγκες ακριβείας του αντικειμένου της χαρτογράφησης ή της τρισδιάστατης απεικόνισης. Στο στάδιο του προγραμματισμού της πτήσης διαμορφώνονται οι γενικές κατευθύνσεις ανάλογα με το αντικείμενο, διαμορφώνοντας τις αρχικές παραμέτρους του. Έτσι για την χαρτογράφηση ή την τρισδιάστατη απεικόνιση με υψηλή ανάλυση, θα επιλεγούν υψηλά ποσοστά επικάλυψης και μικρό ύψος πτήσης, ενώ σε περιπτώσεις που απαιτείται κάλυψη ευρύτερων περιοχών σε σύντομο χρονικό διάστημα π.χ. για την διαχείριση εκτάκτων καταστάσεων, θα επιλεγούν χαμηλότερα ποσοστά επικάλυψης και μεγαλύτερο ύψος.

Στα πλαίσια του προγραμματισμού πτήσης περιλαμβάνονται: η ενημέρωση που αφορά στην περιοχή ενδιαφέροντος (απαγορεύσεις που ισχύουν, εγκρίσεις που πιθανόν απαιτούνται, μορφολογία ανάγλυφου, χλωρίδα, εμπόδια), η ενημέρωση για τις συνθήκες που εκτιμάται πως θα επικρατούν την ημέρα που προγραμματίζεται να υλοποιηθεί η πτήση, ο σχεδιασμός της πτήσης και τα σημεία ελέγχου εδάφους «GCP» (αρχικά αναγνώριση των θέσεων ίδρυσης τους και στην συνέχεια κατά την εφαρμογή, την αποτύπωσή τους).

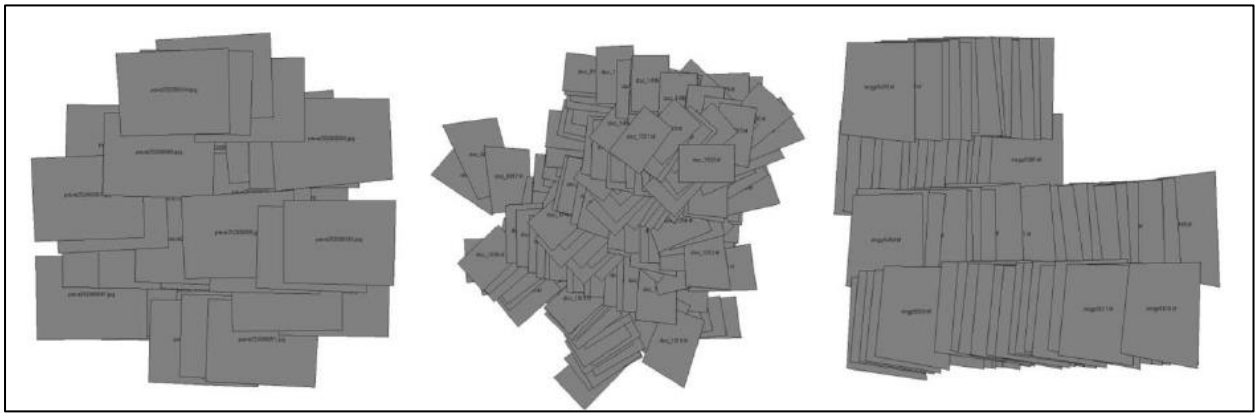
3.3.4 Σχεδιασμός Πτήσης.

Η έννοια του σχεδιασμού πτήσης δεν είναι μονοσήμαντη, αλλά αποτελεί το συνδυασμό των «επιλογών», που καθορίζονται από το ίδιο το αντικείμενο και τις απαιτήσεις του, σε συνδυασμό με τον διαθέσιμο εξοπλισμό και αφορούν: το είδος της διαδρομής, το ύψος και την ταχύτητα πτήσης, τη γωνία λήψης των εικόνων και το ποσοστό επικάλυψης τους. Στην συνέχεια μέσα από την βιβλιογραφία παρουσιάζεται κάθε μία από τις προαναφερθείσες παραμέτρους.

[5] Στην κλασική φωτογραφία (με χρήση φιλμ) το «ISO», ήταν η ένδειξη του πόσο ευαίσθητο ήταν το φιλμ στο φώς. Όσο μικρότερη η τιμή του, τόσο μικρότερη είναι η ευαισθησία του φιλμ στο φως. Στην ψηφιακή φωτογραφία το «ISO», μετράει την ευαισθησία του αισθητήρα, όσο μεγαλώνει η τιμή του, τόσο μεγαλώνει και η ευαισθησία του αισθητήρα στο φώς.

α) *Είδη Διαδρομής*

Υπάρχουν τρείς (3) κύριες λειτουργίες πτήσεις (Εικόνα 20), σύμφωνα με τους (Nex and Remondino, 2014), η χειροκίνητη (manual), η υποβοηθούμενη (assisted) και η αυτόνομη (autonomous).

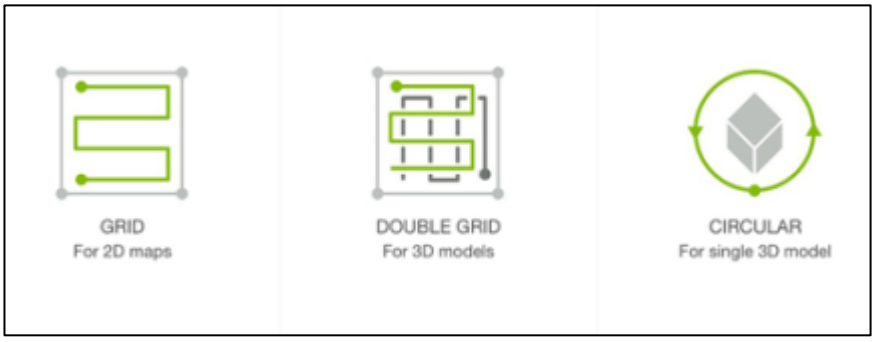


Εικόνα 20 Από αριστερά προς τα δεξιά, Λειτουργία πτήσης: χειροκίνητη, υποβοηθούμενη, αυτόνομη (πηγή: (Nex and Remondino, 2014)

Από αυτές η υποβοηθούμενη δεν χρησιμοποιείται συνήθως, καθώς οι πτήσης γίνονται είτε χειροκίνητα είτε αυτόνομα κατόπιν προγραμματισμού του UAV.

Προκειμένου για φωτογραμμετρικές εφαρμογές επιλέγεται σχεδόν πάντα, η λειτουργία αυτόνομης πτήσης ώστε να εξασφαλιστεί η λήψη εικόνων στο σύνολο της περιοχής ενδιαφέροντος και με το απαιτούμενο ποσοστό επικάλυψης (κατά μήκος και κατά πλάτος).

Ο σχεδιασμός της διαδρομής-πορείας πτήσης που θα ακολουθήσει το αεροσκάφος, στην αυτόνομη λειτουργία, έχει καθοριστική σημασία για την παραγωγή προϊόντων υψηλής ανάλυσης, αφού θα πρέπει ανάλογα με τις απαιτήσεις του αντικείμενου να επιλεγεί ο κατάλληλος τύπος διαδρομής. Σήμερα αυτός ο σχεδιασμός, τουλάχιστον όσον αφορά τα ΣμηΕΑ της κατηγορίας Μίκρο/Μίνι, γίνεται μέσω εφαρμογών όπως: Pix4Dcapture, ArduPilot κ.α.. Στις εφαρμογές αυτές ορίζεται το περίγραμμα της περιοχής ενδιαφέροντος, σε κατάλληλο υπόβαθρο (Google Earth, Street View), ο τύπος της διαδρομής που θα ακολουθήσει το αεροσκάφος και τα λοιπά χαρακτηριστικά της πτήσης. Οι τύποι αυτοί διαδρομών, κατηγοριοποιούνται σε τρείς κύριες κατηγορίες: μονού κανάβου, διπλού κανάβου και κυκλικές (Εικόνα 21)

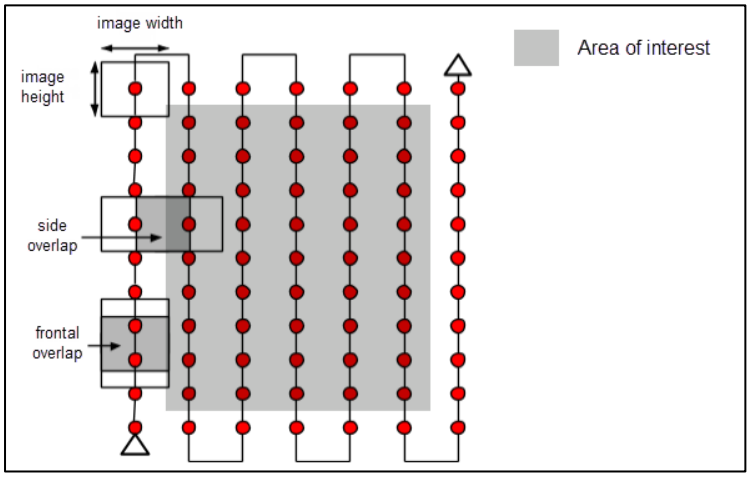


Εικόνα 21 Διαδρομές-πορείες πτήσης (πηγή: (Pix4Dcapture, 2011))

Στην συνέχεια παρατίθενται τα είδη διαδρομής-πτήσης για την λήψη εικόνων ανάλογα με τον τύπο του αντικείμενου όπως προτείνονται από το (Pix4D_Support, 2011a).

- Γενική περίπτωση

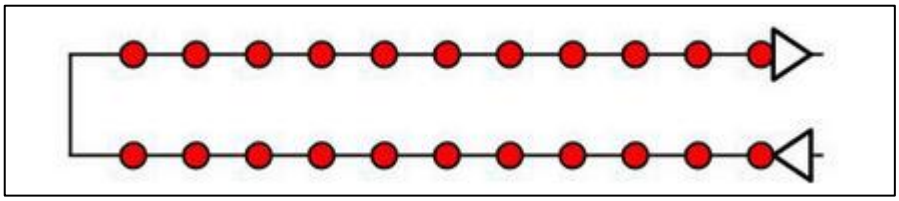
Στις περισσότερες περιπτώσεις χαρτογράφησης, που δεν παρουσιάζουν κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό ή απαίτηση, προτείνεται η επιλογή μονού κανάβου. (Εικόνα22)



Εικόνα 22 Διαδρομή μονού κανάβου (πηγή: . (Pix4D_Support, 2011a)

- Γραμμικά αντικείμενα

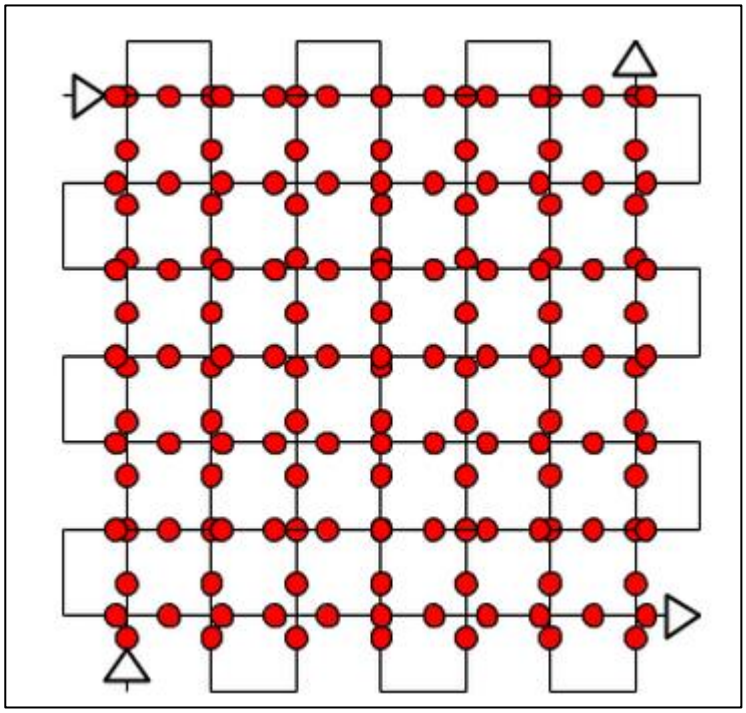
Σε περιπτώσεις που απαιτείται η χαρτογράφηση γραμμικών αντικειμένων όπως: ποτάμια, δρόμοι, αγωγοί και σιδηροδρομικές γραμμές, απαιτούνται τουλάχιστον δύο (2) διαδρομές πτήσης. (Εικόνα 23)



Εικόνα 23 Διαδρομή για γραμμικά αντικείμενα (πηγή: (Pix4D_Support, 2011a))

- Αντικείμενα που απαιτείται τρισδιάστατη απεικόνιση.

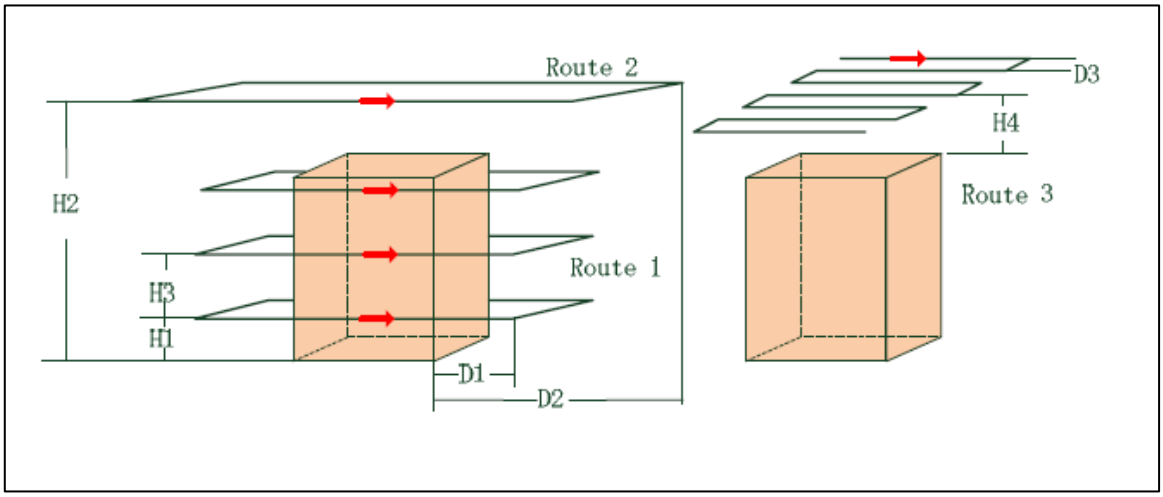
Σε περιπτώσεις που απαιτείται η τρισδιάστατη απεικόνιση, αστικών περιοχών, περιοχών με βλάστηση (δένδρα) και γενικότερα κατασκευών, προτείνεται η χρήση διπλού κανάβου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι εικόνες θα πρέπει ληφθούν με γωνίες μεταξύ 10° και 35° (περισσότερα στη § IV) (Εικόνα 24).



Εικόνα 24 Διαδρομή διπλού κανάβου για τρισδιάστατη απεικόνιση (πηγή: (Pix4D_Support, 2011a))

- Κατασκευές, Κτίρια

Στην περίπτωση που απαιτείται η τρισδιάστατη απεικόνιση μίας κατασκευής ή ενός κτιρίου οι (Zheng *et al.*, 2017), προτείνουν την εκτέλεση τριών διαδρομών (Routes). Μία κυκλική διαδρομή (Route 1) γύρω και σε όλο το ύψος του κτιρίου, μία κυκλική διαδρομή (Route 2) σε μεγαλύτερο ύψος και τέλος μία διαδρομή μονού κανάβου που να καλύπτει όλο την περιοχή ενδιαφέροντος (Route 3). (Εικόνα 25)



Εικόνα 25 Πολλαπλή διαδρομή για κτίρια ή κατασκευές (πηγή: (Zheng *et al.*, 2017))

β) *Ταχύτητα πτήσης*

Η επιλογή της ταχύτητας, με την οποία θα υλοποιηθεί η πτήση, επηρεάζει την διάρκεια της πτήσης που σε συνδυασμό με το ύψος πτήσης και το ποσοστό επικάλυψης λήψης των εικόνων επηρεάζει άμεσα τη μέγιστη επιφάνεια που θα καλυφθεί και έμμεσα ανάλογα και τις συνθήκες που επικρατούν (επίπεδα φωτεινότητας, ταχύτητα αέρα) επηρεάζει την ποιότητα των εικόνων, παρουσιάζοντας αφενός το φαινόμενο της θολούρας «blur», αφετέρου την απώλεια του ζητούμενου ποσοστού επικάλυψης των εικόνων. Όπως αναφέρουν οι (Gerke and Przybilla, 2016), σε χαμηλές ταχύτητες πτήσης (15μ/sec), παρουσιάζεται μια μέση μετατόπιση της τάξης των 10cm με μία καθυστέρηση στην λήψη της εικόνας 6ms, ενώ σε υψηλότερες ταχύτητες (24μ/sec), παρουσιάζεται μια μέση μετατόπιση της τάξης των 20cm, με μια καθυστέρηση στη λήψη της εικόνας 8ms.

Μία άλλη επίπτωση της επιλογής ταχύτητας της πτήσης, έχει να κάνει με το είδος της διαδρομής που έχει σχεδιαστεί, όπως αναφέρουν οι (Fotouhi, Ding and Hassan, 2017), όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα πτήσης τόσο περισσότερο χρόνο θα χρειαστεί το αεροσκάφος να κάνει στροφή, καθώς η επιτάχυνση περιορίζει την ευκινησία του αεροσκάφους. Επομένως εάν λόγω σχεδιασμού της διαδρομής το αεροσκάφος απαιτείται να γυρίζει συχνά, μπορεί να μην είναι πάντα καλύτερη η επιλογή υψηλής ταχύτητας, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος πτήσης. Η επιλογή μιας χαμηλότερης ταχύτητας σε αυτήν την περίπτωση πιθανόν να βοηθούσε περισσότερο στην επίτευξη των στόχων της σχεδίασης.

γ) *Ύψος Πτήσης.*

Μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους στον σχεδιασμό, είναι η επιλογή του ύψους πτήσης, δεδομένου ότι αυτή η επιλογή επηρεάζει: τον αριθμό των γραμμών πτήσης σε συνδυασμό με το απαιτούμενο ποσοστό επικάλυψης των εικόνων κατά μήκος και κατά πλάτος, αλλά κατά κύριο λόγο επηρεάζει την αναμενόμενη ακρίβεια του τελικού προϊόντος (ψηφιδωτού).

Η ακρίβεια του τελικού προϊόντος (ψηφιδωτού), αναφέρεται στην απόσταση μεταξύ των κέντρων δύο διαδοχικών ψηφίδων στο έδαφος, ονομάζεται Ground Sample Distance «εφεξής GSD» (σε ελεύθερη μετάφραση δείγμα απόστασης εδάφους) και έχει ως μονάδα μέτρησης cm/px (εκατοστά/ψηφίδα).

Γνωρίζοντας το ύψος πτήσης και τα χαρακτηριστικά της κάμερας που φέρει το UAV, μπορεί να υπολογισθεί το GSD από τον τύπο[6] που παρατίθεται:

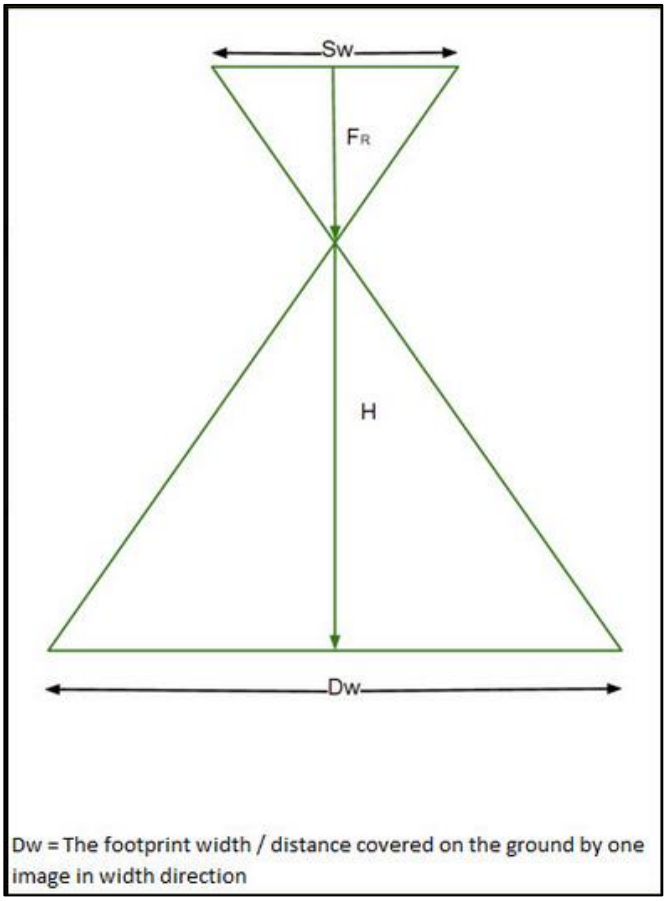
$$GSD_{\text{Ύψος}} = \frac{\text{Ύψος πτήσης } (Flight\ Height)\ x\ \text{Ύψος Αισθητήρα } (Sensor\ Height)}{\text{Εστιακή απόσταση } (Focal\ Length) \times \text{Ύψος εικόνας } (Image\ Height)}$$ (Εικόνα 26)

Ή κατά πλάτος

$$GSD_{\text{πλάτος}} = \frac{\text{Ύψος πτήσης } (Flight\ Height)\ x\ \text{Πλάτος Αισθητήρα } (Sensor\ Width)}{\text{Εστιακή απόσταση } (Focal\ LEngth) \times \text{Πλάτος εικόνας } (Image\ WIdth)}$$ (Εικόνα 26)

(Όλες οι μεταβλητές μετατρέπονται σε εκατοστά)

[6] Ανάλογα με τον προσανατολισμό της κάμερας σε σχέση με την κατεύθυνση του UAV κατά την λήψη των εικόνων.



Εικόνα 26 Παράμετροι υπολογισμού GSD (πηγή: : (Pix4D_Support, 2011c))

Αντιστρόφως γνωρίζοντας την επιθυμητή τιμή του GSD, όπως προκύπτει από την απαίτηση ακριβείας του αντικειμένου που εκπονείτε, μπορεί να υπολογιστεί το ύψος πτήσης:

Αρχικά υπολογίζεται η πραγματική εστιακή απόσταση (Real Focal Length «FR»), για τις περιπτώσεις με αναλογία 4:3, σύμφωνα με το τύπο :

$$FR = (F35 * SwR)/34.6(mm)$$

όπου F35= είναι το ισοδύναμο της εστιακής απόστασης στα 35mm

SwR= πραγματικό πλάτος του αισθητήρα (mm)

και με τέλος το ύψος πτήσης από τον τύπο:

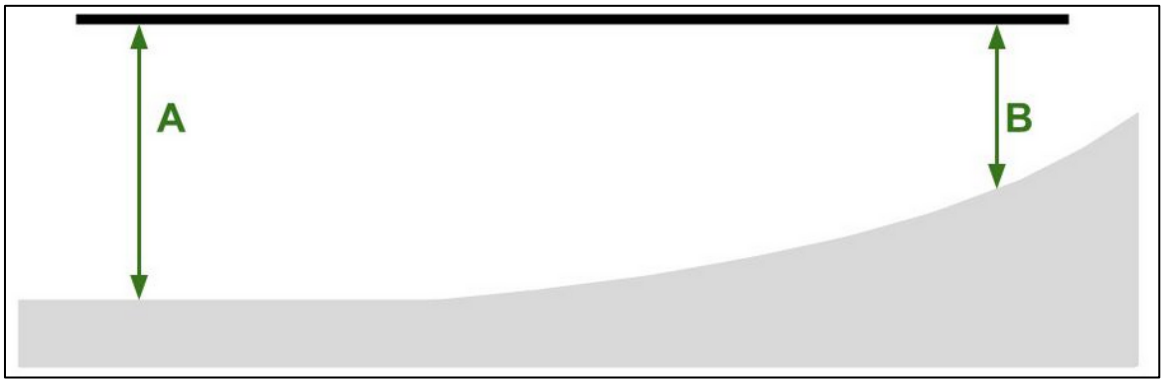
$$\text{Ύψος πτήσης (m)} = \frac{(Real\ Focal\ Length\ "FR") \times\ (Image\ Width)\ \ x\ \mathrm{GSD}}{((Sensor\ \mathrm{Width}) \times 100)}$$

Κατά τον σχεδιασμό της πτήσης και την επιλογή του ύψους της, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη το ανάγλυφο της περιοχής ενδιαφέροντος . (Εικόνα 27)

Σε περιπτώσεις όπου το ανάγλυφο είναι πολύ έντονο: (πηγή: (Pix4D_Support, 2011c))

- Θα επηρεαστεί το GSD αφού αλλάζει το ύψος από το φυσικό έδαφος.
- Θα επηρεαστεί η επικάλυψη (στο σημείο Β η επικάλυψη θα είναι μικρότερη)

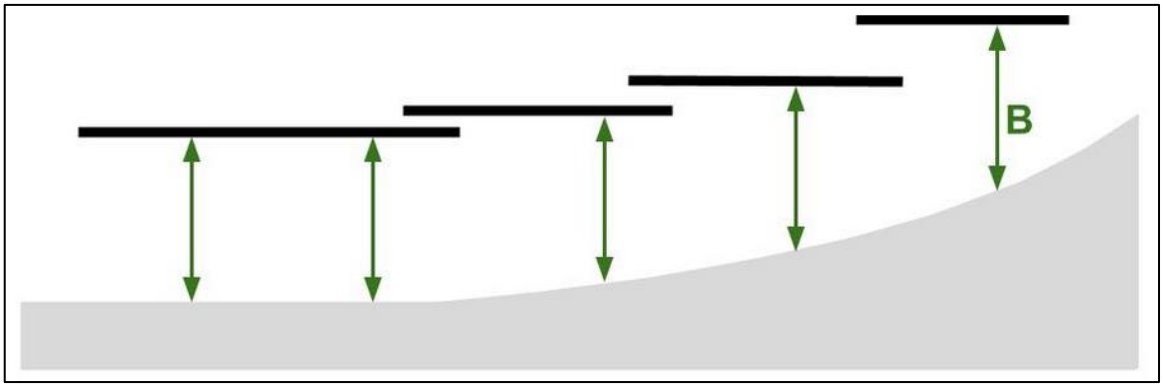
- Στις περιπτώσεις που η υψομετρική διαφορά του αναγλύφου, είναι διπλάσια ή μεγαλύτερη, μπορεί να επηρεαστεί ή να αποτύχει εντελώς η επίλυση του μοντέλου



Εικόνα 27 Διατήρηση σταθερού ύψους πτήσης (πηγή: (Pix4D_Support, 2011c))

Θα πρέπει δηλαδή ανάλογα με την μορφή του αναγλύφου της περιοχής ενδιαφέροντος, να γίνει η σωστή επιλογή του σημείου εκκίνησης της πτήσης ώστε να διασφαλιστεί η κατά το δυνατό σταθερότητα του GSD και σε περίπτωση που οι διαφορές στο ανάγλυφο είναι πολύ μεγάλες και δεν είναι αυτό δυνατό, θα πρέπει να γίνει διαφορετικός σχεδιασμός της πτήσης. Θα πρέπει δηλαδή να γίνουν επιμέρους πτήσης σε διαφορετικά ύψη πτήσης, διατηρώντας σταθερό το GSD και με ικανοποιητική επικάλυψη μεταξύ των πτήσεων. (Εικόνα 28)

Όπως αναφέρει ο (Eisenbeiss, 2009), γνωρίζοντας το ύψος πτήσης και τα χαρακτηριστικά



Εικόνα 28 Πολλαπλές πτήσεις σε έντονο ανάγλυφο (πηγή: (Pix4D_Support, 2011c))

της μηχανής μπορούμε να υπολογίσουμε διάφορες παραμέτρους χρήσιμες στον προγραμματισμό της πτήσης, όπως:

Τον συντελεστή κλίμακας της εικόνας:

$$m_b = \frac{\text{Ύψος πτήσης } (H_g)}{\text{Έστιακή απόσταση } (Focal\ length)}$$

Την κάλυψη της εικόνας στο έδαφος:

$$S = \frac{\text{Ύψος Αισθητήρα } (Sensor\ Height) \times \text{Ύψος πτήσης } (H_g)}{\text{Έστιακή απόσταση } (Focal\ length)}$$

Το μήκος της βάσης λήψης με p% κατά μήκος επικάλυψη

$$B = S1\left(1 - \frac{p}{100}\right)$$

Το μήκος της βάσης λήψης με q% κατά πλάτος επικάλυψη

$$B = S1\left(1 - \frac{q}{100}\right)$$

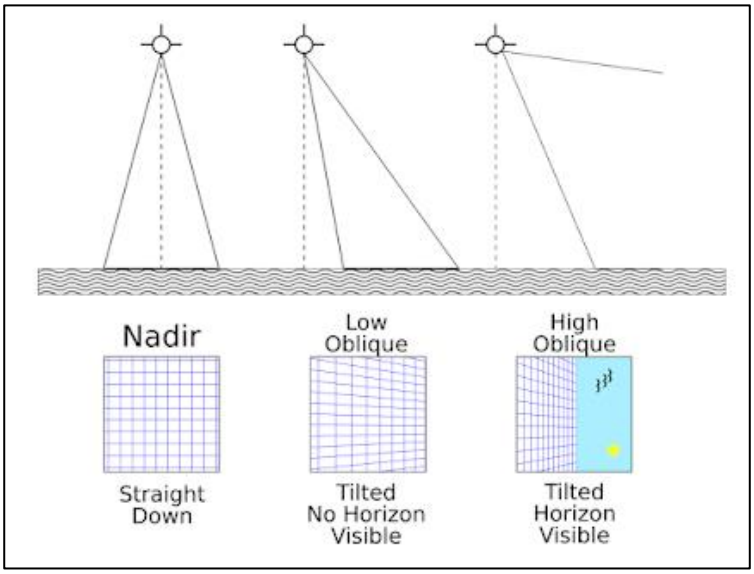
Τέλος μπορεί να υπολογιστεί η «αναμενόμενη υψομετρική ακρίβεια ως συνάρτηση της μετρητικής οριζοντιογραφικής ακρίβειας s_x και του λόγου του ύψους πτήσης προς το πλάτος της εικόνας, ενώ το s_x ορίζεται μέσω της μεθόδου μέτρησης και του μεγέθους των ψηφίδων (pixel "px")».(Eisenbeiss, 2009)

$$s_x = s_{x(mes)} \times px$$

$$s_z = s_x \times \frac{\text{Ύψος πτήσης}}{\text{Πλάτος εικόνας}}$$

δ) *Επιλογή γωνίας Λήψης Εικόνων*

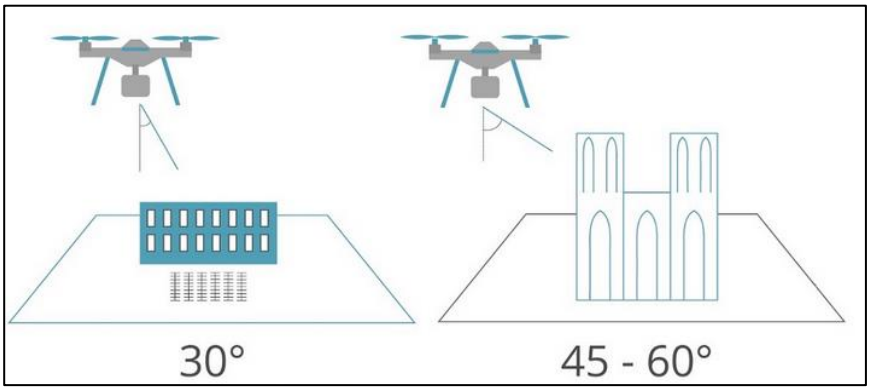
Μία από τις παραμέτρους του σχεδιασμού πτήσης, είναι η επιλογή της γωνίας λήψης των εικόνων. Ανάλογα με την γωνία οι εικόνες κατηγοριοποιούνται σε δύο κύριες κατηγορίες: στις κατακόρυφες εικόνες (vertical or Nadir images) και στις πλάγιες εικόνες (oblique images). (Εικόνα 29)



Εικόνα 29 Είδη εικόνες βάσει γωνίας λήψης (πηγή: (James Dietrich, 2015)

Στις κατακόρυφες εικόνες ο σκοπευτικός άξονας της κάμερας είναι όσο το δυνατό πιο κάθετος με την επιφάνεια λήψης, με επιτρεπόμενες ανοχές στην κατακορυφότητα του άξονα της τάξης των ±3°.

Οι πλάγιες εικόνες διακρίνονται σε δύο (2) κατηγορίες, σε αυτές: με μικρές γωνίες λήψης (low oblique images), έχοντας γωνία λήψης μέχρι 30° και σε αυτές με μεγάλες γωνίες λήψεις (High oblique images), έχοντας γωνία λήψης από 45° έως 60°. (Εικόνα 30)

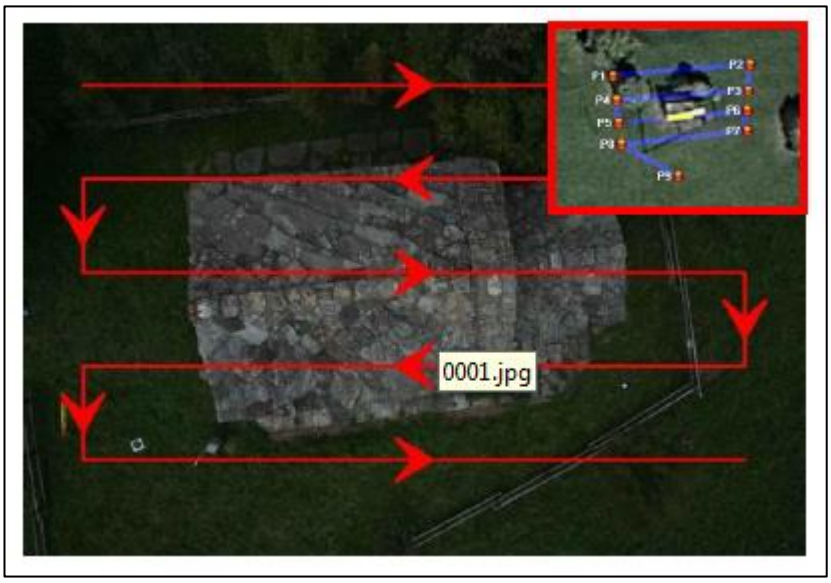


Εικόνα 30 Κατηγοριοποίηση πλάγιων εικόνων (πηγή: (Aecscene, 2017)

Η επιλογή της γωνίας λήψης των εικόνων καθορίζεται από τις ανάγκες του αντικειμένου ενδιαφέροντος. Ως γενικός κανόνας, οι κατακόρυφες εικόνες χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση και την τρισδιάστατη απεικόνιση επιφανειών και οι πλάγιες εικόνες χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται η τρισδιάστατη απεικόνιση «όγκων» εντός της περιοχής ενδιαφέροντος. Οι «όγκοι» αυτοί μπορεί να είναι: κτίρια για τα οποία θέλουμε να απεικονίσουμε: τον όγκο τους, τις όψεις τους και το περιτύπωμά τους, μεγάλες σε ύψος κατασκευές όπως π.χ. πυλώνες ή φουγάρα, ακόμα και πυκνή βλάστηση αποτελούμενη από δένδρα.

Σήμερα όλο και περισσότερο χρησιμοποιείται συνδυασμός λήψης κατακόρυφων και πλάγιων εικόνων. Οι (Aicardi *et al.*, 2016), προτείνουν για την τρισδιάστατη τεκμηρίωση, του παρεκκλησιού της Αγίας Μαρίας της Μονής «Novalesa» στην «Val Susa» της Ιταλίας, το συνδυασμό δύο λήψεων, μία λήψη με κατακόρυφες εικόνες, σε διαδρομή μονού κανάβου (Εικόνα 31) και μία λήψη με πλάγιες εικόνες υπό γωνία 45°, σε κυκλική διαδρομή (Εικόνα 32).

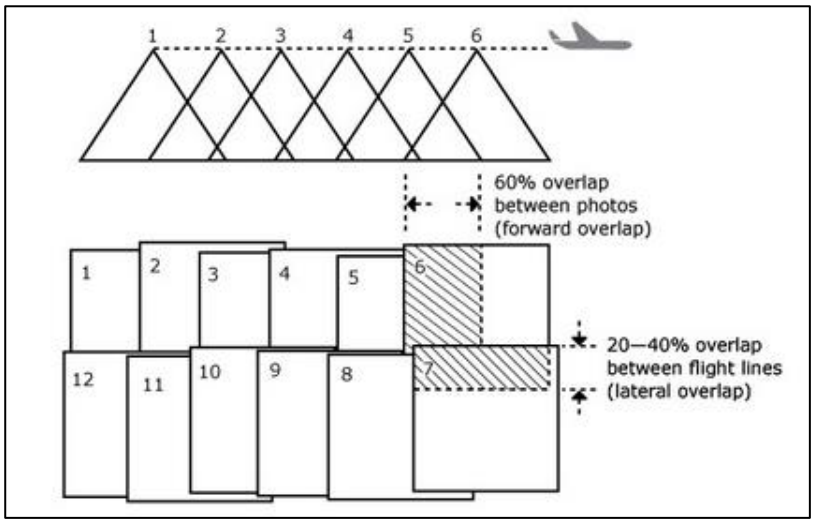
Εικόνα 31 Πλάγιες εικόνες (45°) σε κυκλική διαδρομή (Πηγή: (Aicardi *et al.*, 2016))



Εικόνα 32 Κατακόρυφες εικόνες , διαδρομή μονού κανάβου (πηγή: (Aicardi *et al.*, 2016))

ε) *Ποσοστό επικάλυψης Εικόνων*

Με τον όρο «επικάλυψη» εικόνων, στην επιστήμη της φωτογραμμετρίας, εννοείται το μέγεθος που μια φωτογραφία περιλαμβάνει την περιοχή που καλύπτεται από άλλη φωτογραφία και εκφράζεται σε ποσοστό. Στην κλασική φωτογραμμετρία το αποδεκτό ποσοστό της κατά μήκος (εμπρόσθιας) επικάλυψης κυμαίνεται μεταξύ 60% ~70%, προκειμένου για στερεοσκοπική εικόνα και πλήρη κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος και ποσοστού 25%~40% για κατά πλάτος (πλάγια) επικάλυψη, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι θα ληφθούν εικόνες στο σύνολο της περιοχής ενδιαφέροντος .(Εικόνα 33)



Εικόνα 33 Επικάλυψη εικόνων κατά μήκος και κατά πλάτος (πηγή: (Concepts of Aerial Photography | Natural Resources Canada, 2016))

Για την εφαρμογή της μεθόδου SFM, το αποδεκτό ποσοστό της κατά μήκος (εμπρόσθιας) επικάλυψης κυμαίνεται μεταξύ 75%~85% και της κατά πλάτος (πλάγιας) επικάλυψης κυμαίνεται σε ποσοστό 60%~70%, όπως αναφέρεται στο (Pix4D_Support, 2011b), η προτεινόμενη ελάχιστη επικάλυψη πρέπει να είναι:

- 75% κατά μήκος και 60% κατά πλάτος, για γενικές περιπτώσεις.
- 85% κατά μήκος και 70% κατά πλάτος, για περιοχές με πυκνή βλάστηση, δάση και αγρούς.
- 85% κατά μήκος και 60% κατά πλάτος, για εφαρμογές χαρτογράφησης διαδρομών π.χ. χαρτογράφηση αγωγών, δρόμων.

Το αντίστοιχο ελάχιστο προτεινόμενο ποσοστό επικάλυψης, στο πακέτο SFM της Agisoft Photoscan για φωτογραμμετρικές εφαρμογές, είναι 80% για την κατά μήκος επικάλυψη και 60% για την κατά πλάτος επικάλυψη. (AgiSoft, 2017)

Η ανάγκη της μεθόδου SFM για τόσο μεγάλα ποσοστά επικάλυψης, κατά βάση δημιουργεί μεγάλα σύνολα εικόνων έχοντας ως αποτέλεσμα, την απαίτηση πολύ ισχυρών υπολογιστικών συστημάτων και χρόνους επίλυσης που κυμαίνονται από λίγες ώρες έως και μερικές ημέρες προκειμένου να εκπονηθεί ένας ορθοφωτοχάρτης ή ένα ψηφιακό μοντέλο επιφανείας-εδάφους υψηλής ανάλυσης.

Η άποψη του συγγράφοντος την παρούσα εργασία, είναι ότι στο εγγύς μέλλον το συγκεκριμένο κομμάτι της μεθόδου θα αναπτυχθεί και τα απαιτούμενα ποσοστά επικάλυψης θα μειωθούν δραστικά με αποτέλεσμα τη μείωση, της απαραίτητης σήμερα, υπολογιστικής ισχύς και κυρίως του χρόνου επίλυσης. Προσπάθειες προς αυτήν την κατεύθυνση ήδη καταγράφονται στην βιβλιογραφία, οι (Salaun, Marlet and Monasse, 2017) στην εργασία τους, εξετάζουν την περίπτωση πολύ μικρής επικάλυψης μεταξύ των εικόνων, παρουσιάζοντας μια νέα μέθοδο SFM που εκμεταλλεύεται γραμμές και συνεπίπεδους περιορισμούς για την εκτίμηση της θέσης της κάμερας σε εικόνες με μικρή επικάλυψη, αναφέροντας ότι είναι δυνατό να επιτευχθούν ίδιες ακρίβειες με τις υπάρχουσες μεθόδους.

3.3.5 Σημεία Ελέγχου Εδάφους «GCP» (Φωτοσταθερά).

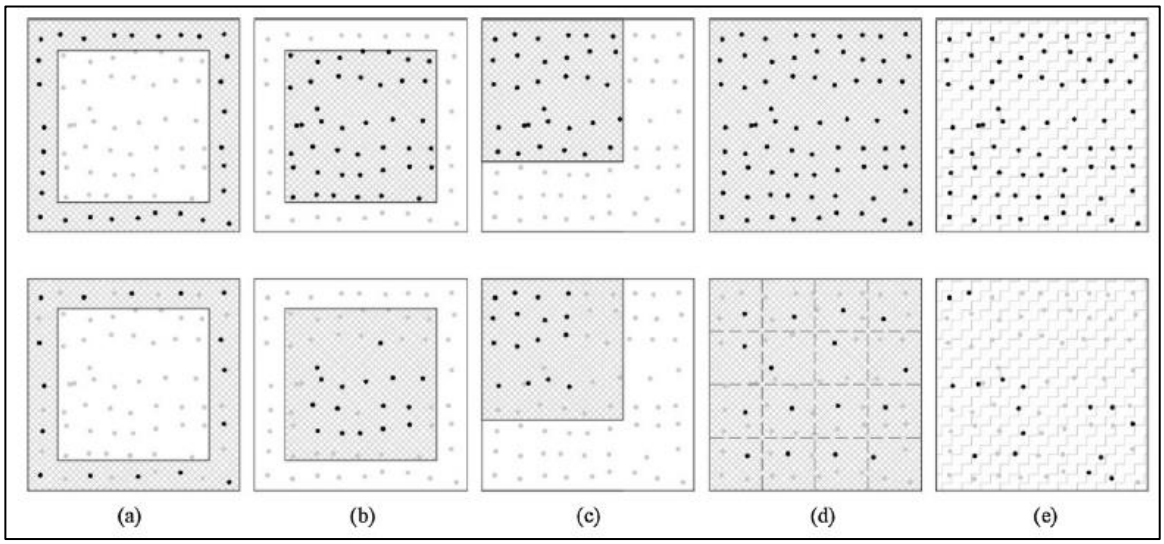
Παρότι η μέθοδος SFM μπορεί από μόνη της να παράξει προϊόντα υψηλής ανάλυσης, σχετικής κλίμακας και προσανατολισμού, η χρήση σημείων έλεγχου εδάφους[7] «Ground Control Points, εφεξής GCP» στην επίλυση θεωρείται επιβεβλημένη για φωτογραμμετρικές εργασίες χαρτογράφησης και τρισδιάστατες απεικονίσεις απόλυτης θέσης και κλίμακας.

Οι (Sanz-Ablanedo *et al.*, 2018), εξετάζουν την ακρίβεια της μεθόδου SFM, με την χρήση UAV, ως συνάρτηση του πλήθους και της θέσης των GCP. Η εργασία είχε ως αντικείμενο της, τη χαρτογράφηση και τρισδιάστατη απεικόνιση ενός ορυχείου, εκτάσεως 1200στρ., που βρίσκεται κοντά στο χωριό «Santa Lucia» της περιοχής «Leon» στην Ισπανία. Για το σκοπό αυτό τοποθετήθηκαν 100 GCP και έγινε λήψη 2500 εικόνων. Η επιλογή των θέσεων τοποθέτησης των GCP, έγινε ομοιόμορφα τόσο στην περιφέρεια της περιοχής όσο και στο κέντρο της. Στα πλαίσια της εργασίας διεξήγαγαν 3465 συνδυασμούς τυχαία επιλεγμένων GCP προκειμένου να ερευνήσουν την σχέση πλήθους και θέσης των GCP. Τα αποτελέσματα που αναφέρουν επιδεικνύουν ότι η ακρίβεια της μεθόδου SFM για φωτογραμμετρικές εφαρμογές εξαρτάται τόσο από το πλήθος όσο και από την θέση των GCP. Τα βέλτιστα αποτελέσματα επιτυγχάνονται με ομοιόμορφη κατανομή στο σύνολο της περιοχής,

[7] Τα σημεία ελέγχου εδάφους (φωτοσταθερά) «GCP», είναι σημεία γνωστών συντεταγμένων τα οποία χρησιμοποιούνται στην φωτογραμμετρική διαδικασία της επίλυσης. Οι συντεταγμένες τους υπολογίζονται συνήθως με τοπογραφικές μετρήσεις (GPS, γεωδαιτικοί σταθμοί).

προτείνοντας την εφαρμογή ενός μοντέλου τριγωνικού πλέγματος για την ελαχιστοποίηση των μέγιστων αποστάσεων μεταξύ των GCP. Τα αποτελέσματα τους υποδεικνύουν ότι η ομοιόμορφη τοποθέτηση των GCP και ο αριθμός τους που κυμαίνεται από μεσαίος έως μεγάλος (>3 GCP ανά 100 εικόνες), παράγει δύο φορές καλύτερη ακρίβεια σε σχέση με άλλη τοποθέτηση ή μικρό αριθμό GCP.

Οι (Martínez-Carricondo *et al.*, 2018), εξετάζουν την ακρίβεια χαρτογράφησης βασισμένη στην παραλλαγή των GCP. Η εργασία είχε ως αντικείμενο της, τη χαρτογράφηση μίας έκτασης που βρίσκεται στο «*Campo de Níjar (Almería)*» , βόρειο ανατολικά της Ισπανίας. Η έκταση έχει επιφάνεια 17στρ., και η επιλογή της έγινε λόγω της μορφολογίας της, αφού περιέχει ευρύ φάσμα επιφανειακών κλίσεων. Η μέση κλίση της περιοχής είναι 6,45%, με υψόμετρα από 220μ έως και 246μ. Η περιοχή στερείται φύτευσης εκτός από τμήμα της στα βόρειο ανατολικά που έχει θάμνους και δένδρα. Στην περιοχή τοποθετήθηκαν 72 GCP, ομοιόμορφα κατανεμημένα και έγινε λήψη 160 εικόνων. Πέντε διαφορετικοί τύποι κατανομής και ένας συνδυασμός 16 GCP χρησιμοποιήθηκαν και επιλύθηκαν τα αντίστοιχα μοντέλα με χρήση της εφαρμογής Agisoft Photoscan. (Εικόνα 34)



Εικόνα 34 Οι πέντε τύποι κατανομής και ο συνδυασμός των 16 GCP. Απο αριστερά προς τα δεξιά a) περιφερειακή κατανομή, b) κεντρική κατανομή c) γωνιακή κατανομή, d) στρατηγικοι κατανομή e) τυχαία κατανομή (πηγή: (Martínez-Carricondo *et al.*, 2018))

Τα αποτελέσματα που αναφέρουν από την ανάλυση των μοντέλων, υποδεικνύει ότι η μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται με στρατηγική ομοιόμορφη τοποθέτηση των GCP τόσο στην περιφέρεια της περιοχής ενδιαφέροντος όσο και στο κέντρο της, πετυχαίνοντας με τον τρόπο αυτό ακρίβειες τόσο οριζοντιογραφικές όσο και υψομετρικές.

Οι (Nagendran, Tung and Mohamad Ismail, 2018), εξετάζουν πως επηρεάζεται η ακρίβεια στα παραγόμενα αποτελέσματα, από GCP σε διαφορετικά ύψη πτήσης. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο «*Universiti Sains Malaysia*», Penang της Μαλαισίας. Η περιοχή μελέτης έχει επιφάνεια 2,5στρ, και επιλέχθηκε λόγω του έντονου αναγλύφου και της έλλειψης εμποδίων για την πτήση του UAV. Τοποθετήθηκαν συνολικά 18 GCP ομοιόμορφα κατανεμημένα τόσο στην περιφέρεια όσο και στο κέντρο της περιοχής ενδιαφέροντος, και έγινε πτήση από τα ύψη των 50μ, 60μ, 70μ, 80μ, και 100μ.

Από αυτές τις πτήσεις επιλύθηκαν αντίστοιχα μοντέλα τόσο με την χρήση των GCP (Εικόνα 35) όσο και χωρίς αυτά (Εικόνα 36) στα διαφορετικά ύψη πτήσης.

Flying Altitude	Count	X error (cm)	Y error (cm	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
50	12	10.1175	9.71998	30.8882	14.03	33.9252
60	12	15.2688	18.8708	29.9404	24.2743	38.5444
70	12	10.0901	10.2131	31.3416	14.3568	34.4734
80	12	10.1719	10.1113	31.0228	14.3425	34.1778
100	12	10.0328	10.1439	31.4297	14.2673	34.5164

Εικόνα 35 Επίλυση μοντέλων με GCP σε διαφορετικά ύψη
(πηγή: (Nagendran, Tung and Mohamad Ismail, 2018))

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι το ύψος σε κάποιο βαθμό επηρεάζει την ακρίβεια του παραγόμενου προϊόντος, ενώ η έλλειψη GCP παράγει σαφώς μικρότερης ακρίβειας αποτελέσματα.

Επιπλέον ερεύνησαν την επίδραση του αριθμού των GCP στο παραγόμενο αποτέλεσμα (Εικόνα 37), που όπως αποτυπώνεται ο μεγαλύτερος αριθμός GCP παράγει προϊόντα με σαφώς μεγαλύτερη ακρίβεια.

Flying Altitude	X error (cm)	Y error (cm	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
50	49.1324	34.1228	43.5112	59.8194	73.9702
60	40.8823	35.9328	68.9821	54.4292	87.8696
70	38.9209	30.1707	58.2878	49.2454	76.3058
80	21.5566	26.3666	35.0791	34.0571	48.892
100	24.9255	25.311	42.8238	35.5237	55.64

Εικόνα 36 Επίλυση μοντέλων χωρίς GCP σε διαφορετικά ύψη
(πηγή: (Nagendran, Tung and Mohamad Ismail, 2018))

Number of GCP	X error (cm)	Y error (cm	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
4	60.1575	59.4198	80.4802	50.0123	80.5112
6	35.5628	38.7728	60.7414	34.0143	62.5004
8	15.0001	11.0101	51.6016	24.3508	50.0734
10	10.1719	10.1113	33.0021	14.1025	43.1277
12	10.4398	10.6479	28.0207	12.0643	40.6214
16	10.0014	10.1113	26.0008	12.1455	40.0081

Εικόνα 37 Επίλυση με διαφορετικό αριθμό GCP (πηγή: (Nagendran, Tung and Mohamad Ismail, 2018))

Πέρα όμως από την θέση ίδρυσης των φωτοσταθερών, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα για το μέγεθος και το μοτίβο των στόχων που θα επιλεγούν.

Το μέγεθος του στόχου μπορεί να υπολογισθεί εμπειρικά, λαμβάνοντας υπόψη την διακριτική ικανότητα του ανθρώπινου ματιού (το ¼ του 1mm όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία) και του GSD που ήδη έχει υπολογιστεί,, από τον προτεινόμενο τύπο:

Μέγεθος στόχου= (GSD x 4) x 6, στρογγυλοποιώντας στον μεγαλύτερο ακέραιο.

Για το μοτίβο του στόχου που θα επιλεγεί θα πρέπει να ληφθεί υπόψη «ότι η ακτινοβολία επιδρά στο μέγεθος της απεικόνισης του στόχου. Η εικόνα ενός μαύρου στόχου σε άσπρο φόντο είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ενός λευκού στόχου σε μαύρο φόντο. Η διαφορά μπορεί να φτάσει και τι ς1,5 με 3 φορές τη διάμετρο του στόχου. Λευκοί ή κίτρινοι στόχοι σε πράσινο χορτάρι παρουσιάζουν πολύ καλή αντίθεση. ΤΟ άλλο άκρο είναι το τσιμέντο, όπου ο λευκός ή κίτρινος στόχος πρέπει να περιτριγυρίζεται από σκούρο φόντο, κατά προτίμηση μαύρο. Όσον αφορά το υλικό του στόχου, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι συχνά οι στόχοι πρέπει να μπορούν να αντιστέκονται σε δύσκολες καιρικές συνθήκες και αλλαγές στην υγρασία και θερμοκρασία. Κόντρα πλακέ, βαμβάκι και ναϋλον έχουν αποδειχθεί τα πιο ανθεκτικά υλικά.» (πηγή: Σημειώσεις Αεροτριγωνισμού, συμπληρωματικά των περιεχομένων του βιβλίου του Karl Kraus «ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ – Τόμος1: Βασικές έννοιες και μέθοδοι»

Από όσα αναφέρθησαν γίνεται σαφές ότι το συγκεκριμένο χρόνο, βιώνουμε μια τεχνολογική επανάσταση που αφορά τόσο τα ίδια τα ΣμηΕΑ όσο και τις τεχνολογίες που τα πλαισιώνουν. Ήδη κατά τον χρόνο συγγραφής της παρούσας εργασίας νέα μοντέλα με νέες τεχνολογίες και δυνατότητες παρουσιάζονται στην αγορά, συνδυάζοντας χαμηλό κόστος απόκτησης με υψηλές προδιαγραφές. Ο συνδυασμός αυτός επιτρέπει την πρόσβαση στα ΣμηΕΑ, ενός ετερόκλητου κοινού, καλύπτοντας ανάγκες σε μεγάλο εύρος, από τις πιο απλές (εφαρμογές όπως Selfies, Video), στις πιο απαιτητικές (εφαρμογές χαρτογράφησης και τρισδιάστατης απεικόνισης), μέχρι τις πιο σύνθετες (εφαρμογές παρακολούθησης, στρατιωτικές επιχειρήσεις).

Τουλάχιστον για τις εφαρμογές χαρτογράφησης και τρισδιάστατης απεικόνισης, το τελικό προϊόν εξαρτάται πέραν των τεχνολογιών που φέρει το ίδιο το ΣμηΕΑ, σε αποφάσεις που λαμβάνονται κατά το κρίσιμο στάδιο του προγραμματισμού πτήσης, στην απαραίτητη χρήση σημείων ελέγχου εδάφους καθώς και σε εξωγενής παράγοντες όπως οι συνθήκες περιβάλλοντος. Όλοι αυτοί οι παράμετροι θα πρέπει να αξιολογούνται τόσο ατομικά όσο και σε συνδυασμό προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια.

Η εξέλιξη των ΣμηΕΑ, είναι τόσο ραγδαία ώστε πολλές φορές αν όχι όλες η αντίδραση, σε θέματα που προκύπτουν και δεν είχαν αρχικώς προβλεφθεί, να έπεται. Γίνεται κατανοητό ότι τα επόμενα χρόνια θα μας απασχολήσουν θέματα που αφορούν την ασφάλεια των πτήσεων, τον έλεγχο των εναέριων διαδρόμων, αλλά και ζητήματα που αφορούν την ιδιωτικότητα και την προστασία των προσωπικών δεδομένων, δεδομένο ότι το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τα ΣμηΕΑ σήμερα, έχει κυρίως κανονιστικό χαρακτήρα.

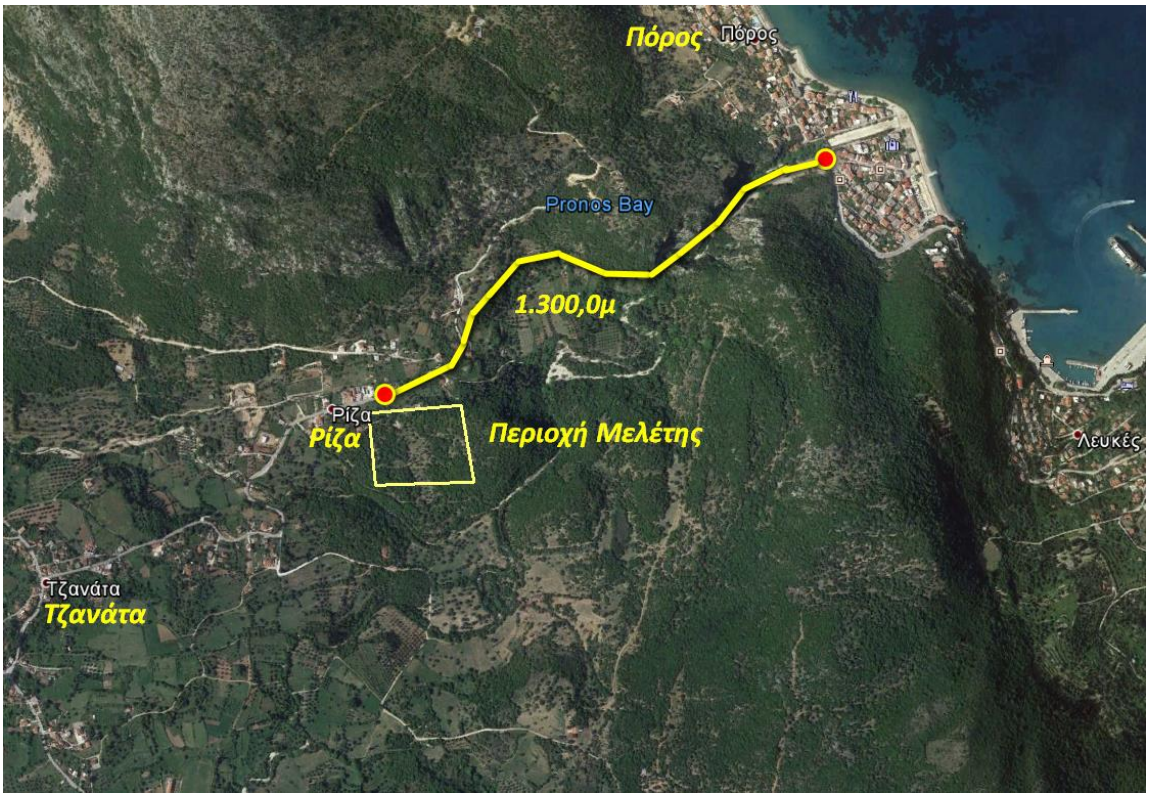
ΕΝΟΤΗΤΑ 2: Περιπτωσιολογική Μελέτη (Case Study).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση της περιοχής μελέτης και της Νήσου Κεφαλονιάς, παρατίθενται ιστορικά και αρχαιολογικά δεδομένα μέσα από την βιβλιογραφία με έμφαση στην περιοχή του οικισμού «Τζανάτα» και παρουσιάζεται το νομικό πλαίσιο προστασίας του αρχαιολογικού χώρου της ευρύτερης περιοχής του Πόρου. Επίσης γίνεται παρουσίαση του εξοπλισμού, των υλικών και του προγράμματος επεξεργασίας, που χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος γίνεται καταγραφή και παρουσίαση της μεθοδολογίας, προκειμένου για την δημιουργία ενός ορθοφωτοχάρτη και του αντίστοιχου ψηφιακού μοντέλου επιφανείας για την περιοχή μελέτης, από το στάδιο σχεδιασμού μέχρι το στάδιο παραγωγής.

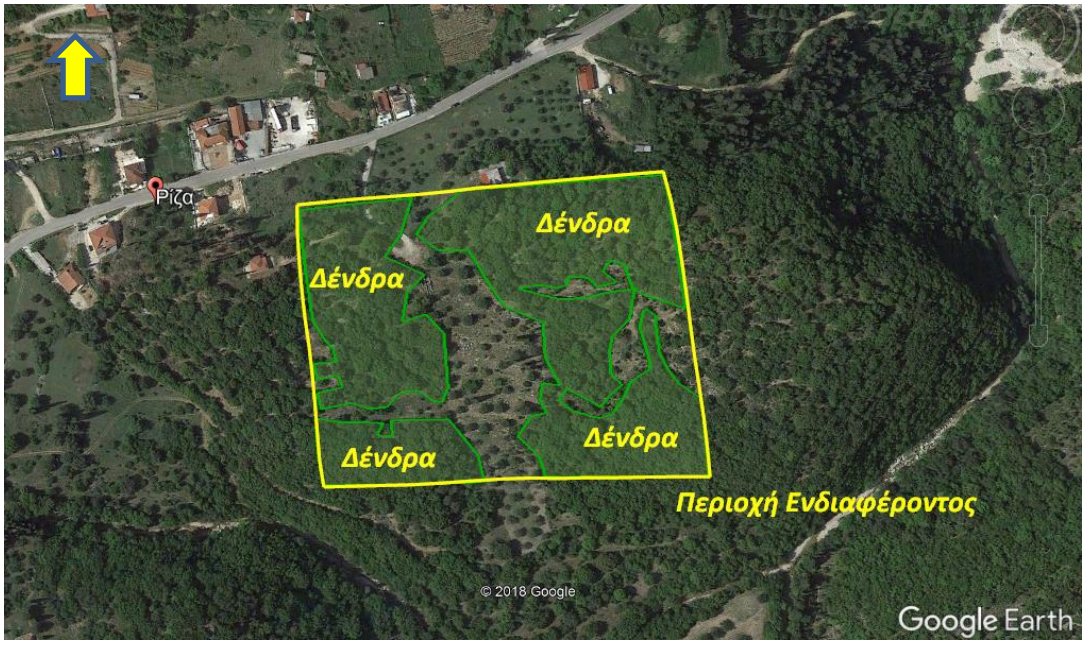
4.1 Περιοχή μελέτης

Η περιπτωσιολογική μελέτη αφορά τον αρχαιολογικό χώρο που βρίσκεται στη θέση «Ρίζα», νότια του ομώνυμου συνοικισμού Ρίζα και ανατολικά του οικισμού Τζανάτα, της Δημοτικής Ενότητας Ελειού-Πρόννων του Δήμου Κεφαλληνίας της Νήσου Κεφαλονιάς (Εικόνα 38).

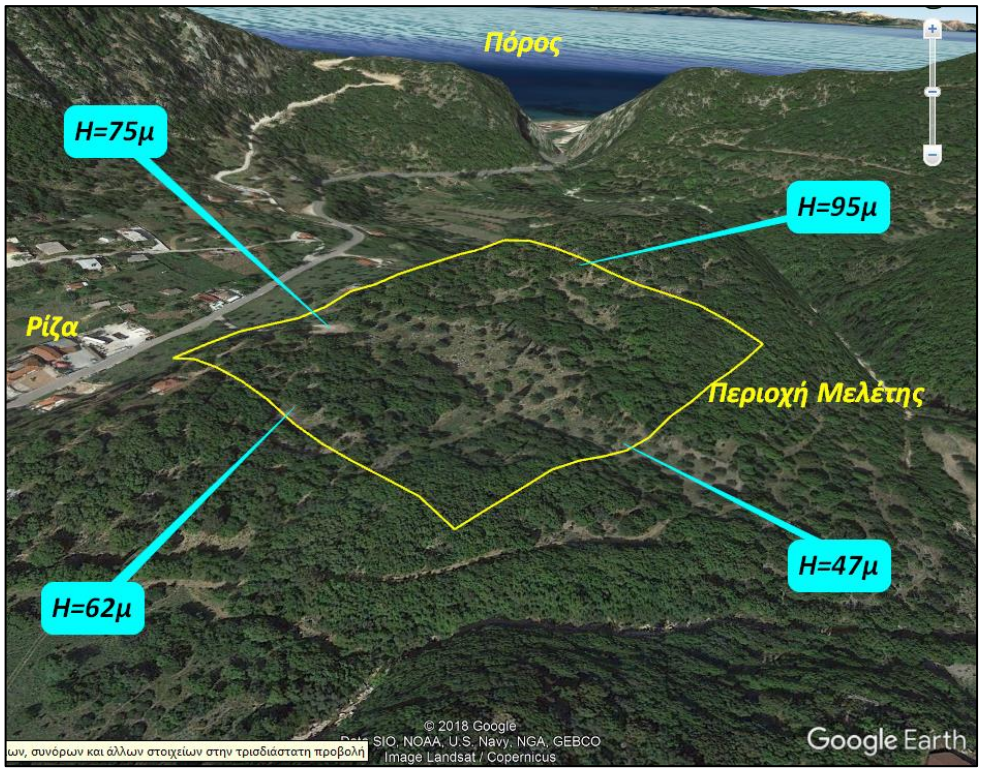


Εικόνα 38 Περιοχή Μελέτης (πηγή: Google Earth, ιδία επεξεργασία)

Γεωγραφικά τοποθετείται μεταξύ 38° 145’ έως 38° 143’ γεωγραφικό πλάτος (φ) και 20° 760’ έως 20° 763’ γεωγραφικό μήκος (λ), καλύπτοντας έκταση περίπου 45 στρεμμάτων, με διαστάσεις 180μ x 250μ. Η περιοχή μελέτης καλύπτει δύο λόφους, παρουσιάζοντας έντονο ανάγλυφο με υψόμετρα που κυμαίνονται από 48μ έως 95μ (Εικόνα 39). Μεγάλο τμήμα της περιοχής, της τάξης του 70%, καλύπτεται από δένδρα (Εικόνα 40). Η πρόσβαση στην περιοχή μελέτης γίνεται μέσω ενός τσιμεντοστρωμένου δρόμου, που ξεκινάει από την επαρχιακή οδό Αργοστολίου-Πόρου και καταλήγει σε ένα ξέφωτο πεπλατυσμένο που πιθανόν λειτουργεί και ως χώρος στάθμευσης. Η απόσταση της διασταύρωσης της οδού πρόσβασης από τον Πόρο είναι περίπου 1.300,0 μ.



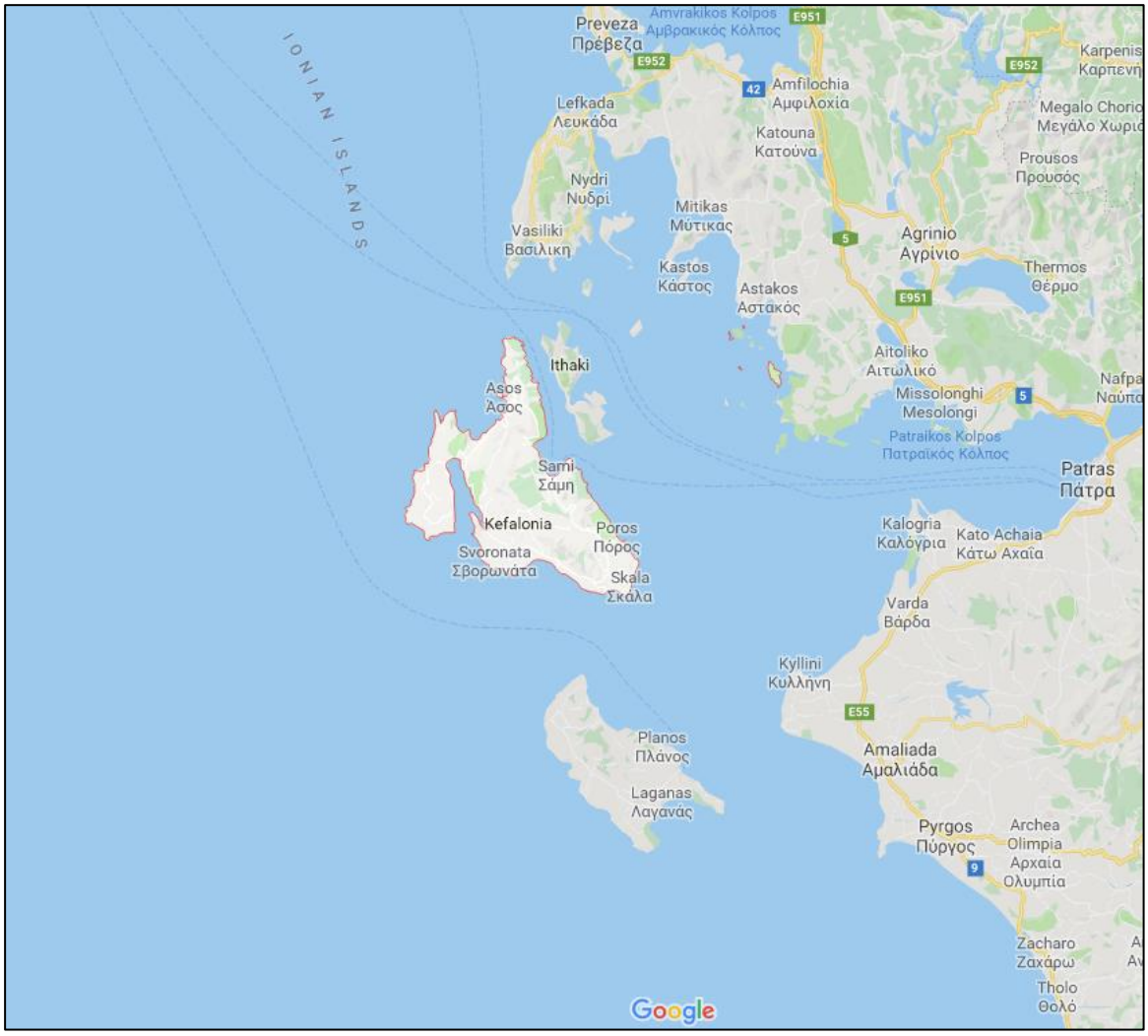
Εικόνα 39 Περιοχή μελέτης κάλυψη βλάστησης (πηγή:Google Earth , ιδία επεξεργασία)



Εικόνα 40 Προοπτικό της περιοχής μελέτης (πηγή: Google Earth, ιδία επεξεργασία)

4.1.1 Η Νήσος Κεφαλονιά

Η Κεφαλονιά είναι νησί του Ιονίου Πελάγους. Αποτελεί το μεγαλύτερο και πιο ορεινό νησί των Επτανήσων και το έκτο (6°) μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας μετά την Κρήτη, την Εύβοια, την Λέσβο, την Ρόδο και την Χίο. Βρίσκεται στο δυτικό άκρο της Ελλάδας, στην έξοδο του Πατραϊκού κόλπου προς το Ιόνιο. Τοποθετείται βόρεια της Ζακύνθου, Νότια της Λευκάδας και Δυτικά της Ιθάκης (Εικόνα 40). Καταλαμβάνει έκταση 773Km^2 , με μεγαλύτερο υψόμετρο τα 1628μ στην κορυφή «Μέγας Σωρός» της οροσειράς του Αίνου ((Συντάκτες της Βικιπαίδειας, 2019).



Εικόνα 41 Η Κεφαλονιά (πηγή:Google Maps)

4.1.2 Ιστορική-Αρχαιολογική επισκόπηση

Η παρουσία του ανθρώπου στο νησί της Κεφαλονιάς επισημαίνεται ήδη από την Παλαιολιθική Εποχή (περίοδος 50.000-10.000 π.χ.) και συνεχίζεται στην Νεολιθική Εποχή (περίοδος 6.800-3.200 π.χ.). Πέρα από τα ευρήματα στα σπήλαια της Δράκαινας Πόρου και του Γερογόμπου Παλλικής, σήμερα πληροφορίες για αυτήν την δεύτερη περίοδο αντλούνται από διάφορες υπαίθριες εγκαταστάσεις που έχουν εντοπιστεί σε διάφορα σημεία του νησιού. Κατά την Προϊστορική Εποχή (περίοδος 3.200-1050 π.χ.) ιδρύονται σε όλη την έκταση του νησιού οικισμοί, ενώ κατά τα τέλη της, στην Μυκηναϊκή δηλαδή Εποχή (περίοδος 1.550-1.050 π.χ.), το νησί γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη. Αυτό διαπιστώνεται από τα ευρήματα που βρέθηκαν στις θέσεις: Μαζαρακάτα, Λακήθρα, Διακάτα και Προκοπάτα της Δημοτικής Ενότητας Αργοστολίου, Κοντογενάδα και Σκινέα της Δημοτικής Ενότητας Παλλικής, Μεταξάτα και Καγκέλισσες στην Δημοτική Ενότητα Λειβαθούς και τέλος Μαυράτα και Τζανάτα της Δημοτικής Ενότητας Ελειού-Προννών. (ΔΗΜΟΣ_ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑΣ, 2018)

Η κατανομή των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων σε συνδυασμό με την μορφολογία του εδάφους επιτρέπει ίσως την υπόθεση ότι κατά την Μυκηναϊκή Εποχή, η Κεφαλονιά ήταν χωρισμένη σε τέσσερις διοικητικές ενότητες που αντιστοιχούσαν στις μεταγενέστερες πόλεις-κράτη: της Κράνης, της Σάμης, της Πάλης και των Πρώνων. (Καλλιγάς, 2015)

Οι τέσσερις αυτές πόλεις αποτελούσαν την «Κεφαλληνιακή Τετράπολις», όπου η Πάλη περιελάμβανε ολόκληρη τη δυτική χερσόνησο, τη σημερινή Παλλική και ήταν κτισμένη στο λόφο Ντούρι ή Παλαιόκαστρο. Η Κράνη περιελάμβανε το νότιο τμήμα του νησιού στα δυτικά της οροσειράς του Αίνου και ήταν κτισμένη στην λιμνοθάλασσα του Κούταβου. Η Σάμη περιελάμβανε όλη την πρώην επαρχία της Σάμης και ήταν κτισμένη σε δύο λόφους. Τέλος οι Πρόννοι που καταλαμβάνουν το νοτιο-ανατολικό τμήμα του νησιού, σήμερα Δημοτική Ενότητα Ελειού-Πρόννων, με τον Πόρο να ήταν το λιμάνι της δυσπόρθητης πόλης των Πρόννων στον λόφο πάνω από το σημερινό χωριό Πάστρα (‘Αμάλγαμα Παραμυθίας: Προϊστορία - Ιστορία Κεφαλληνίας’, 2018).

Οι πόλεις αυτές ήταν αυτόνομες και ανεξάρτητες, έχοντας ξεχωριστά νομίσματα, ενώ προστατεύονταν με εντυπωσιακές οχυρώσεις, υπολείμματα των οποίων διασώζονται στην Κράνη, Σάμη και Πρόννους. Η «Κεφαλληνιακή Τετράπολις» έφτασε στο απόγειο της δύναμής της κατά την Ελληνιστική περίοδο 4^{ος} αι π.Χ. – 188 π.Χ.. Τους επόμενους αιώνες (189 π.Χ-330μ.Χ.), οι τέσσερις πόλεις περιέρχονται στην εξουσία της Ρώμης, χάνοντας την αυτονομία και την ανεξαρτησία τους. Την περίοδο αυτή η πόλη της Σάμης αναδεικνύεται σε πρώτη πόλη, λόγω του φυσικού λιμανιού που χρησιμοποιείται ως ναύσταθμος του ρωμαϊκού ναυτικού. Την ίδια περίοδο η πόλη ακμάζει και παράλληλα εφοδιάζεται με κοινωφελή έργα όπως δημόσια λουτρά. Την ευμάρεια αυτής της περιόδου, μαρτυρούν τα ευρήματα που φιλοξενούνται στο Αρχαιολογικό Μουσείο του Αργοστολίου. Μετά τη διαίρεση της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας η Κεφαλονιά πέρασε στην κατοχή του Βυζαντίου και αργότερα στην κατοχή Φράγκων ευγενών. Κατά τη περίοδο αυτή (1500-1797), οι Βενετοί ενισχύουν το νησί της Κεφαλονιάς με κάστρα και αμυντικά έργα, δημιουργώντας και τις απαραίτητες υποδομές για το εμπόριο. Ακολούθησαν δύο μικρές χρονικές περίοδοι (1797-1799 & 1807-1809) όπου η Κεφαλονιά βρισκόταν υπό Γαλλική κατοχή, στην διάρκεια των Ναπολεόντειων πολέμων, για να ακολουθήσει η κατοχή από τους Άγγλους το 1809, η οποία τερματίστηκε με την ένωση των Επτανήσων με την υπόλοιπη Ελλάδα το 1864. Την περίοδο της Αγγλικής κατοχής διοικητής της Κεφαλονιάς ήταν ο Ελβετός Μηχανικός Κάρολος-Φίλιππος ντε Μποσέ. (ΔΗΜΟΣ_ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑΣ, 2018)

Σύμφωνα με τον (Δρ Αντώνης Βασιλάκης, 2011), το 1810, αυτός ο διοικητής της Κεφαλονιάς (Charles-Philippe de Bosset) ανακάλυψε τυχαία τους πρώτους τάφους στα Μαζαρακάτα, τα ευρήματα των οποίων χαρίστηκαν στο μουσείο της πατρίδας του (Neuchatel). Οι συστηματικές ανασκαφές στο νησί συνεχίστηκαν από τον Ολλανδό φιλαρχαίο Goekoop, ο οποίος προσπάθησε να αποδείξει ότι η Κεφαλονιά είναι η ομηρική Ιθάκη, χρηματοδοτώντας τις έρευνες του Κεφαλλονίτη Παναγή Καββαδία για το διάστημα 1899-1913. Τον διαδέχτηκε ο επίσης Κεφαλλονίτης Σπύρος Μαρινάτος, ο οποίος για

λογαριασμό πλέον της χήρας Geokoop, έκανε ανασκαφές σε διάφορες θέσεις από το 1930-1960. Πλέον αυτών ανασκαφές έγιναν από τον Γ. Κυπαρίσση στα Διακάτα (1912-1919), από τον Σπυρίδωνα Ιακωβίδη, στην Αγία Πελαγία όπου εντόπισε το 1974 συστάδα θαλαμοειδών τάφων, τον Πέτρο Καλλιγά στα Μεταξάτα το 1978, όπου εντόπισε έναν ακόμα τάφο και τον Λάζαρο Κολώνα την δεκαετία του 1990 που ερεύνησε τον σημαντικό θολωτό τάφο στα Τζανάτα του Πόρου.

Ο Θολωτός τάφος στα Τζανάτα, βρίσκεται στην θέση «Μπούρτζι» πλησίον του οικισμού και αποτελεί μέχρι σήμερα τον μεγαλύτερο θολωτό τάφο που έχει αποκαλυφθεί στην δυτική Ελλάδα. Είναι κατασκευασμένος στην θέση και με τα υλικά ενός μικρότερου, που χρονολογείται γύρω στο 1350 π.Χ., ο οποίος είχε καταρρεύσει για άγνωστη αιτία. Πρόκειται για υπόγειο ταφικό κτίσμα, με κυκλικό θάλαμο διαμέτρου 6,80μ και σωζόμενο ύψος 3,95μ. Η πρόσβαση στον θάλαμο γίνεται μέσω ενός στομίου μακριού και στεγασμένου με μήκος 3,35μ, πλάτος περίπου 1μ και ύψος 1,90μ (Εικόνα 41).

Εικόνα 42 Ο Θολωτός Τάφος στα Τζανάτα
(πηγή: ('Αμάλγαμα Παραμυθίας: Προϊστορία - Ιστορία Κεφαλληνίας', 2018).)

Τη σπουδαιότητα του ευρήματος κατέδειξε ο ίδιος ο κ. Λάζαρος Κολώνας, στο Συνέδριο των Πρόννων το 2008, ο οποίος αναφερόμενος στην σπουδαιότητα του θολωτού τάφου, καθώς και του κτιστού Θαλαμωτού τάφου/ οστεοφυλακίου πλησίον του, τόνισε τα εξής: «παίρνοντας αφορμή από την χωρίς αρχαιολογικά τεκμήρια παρατηρηθείσα τον τελευταίο καιρό κινητικότητα γύρω από την υπόθεση της ταύτισης της θέσης της Ομηρικής Ιθάκης, πρέπει να θυμίσω στη διεθνή επιστημονική κοινότητα ότι απάντηση στο ζήτημα αυτό μπορεί να δώσει μόνο ο σπουδαίος βασιλικός τάφος που αποκαλύφθηκε στις αρχές της δεκαετίας του ΄90 στα Τζαννάτα Πόρου Κεφαλληνίας, ……, είναι βέβαιο πλέον ότι στην περιοχή των Τζαννάτων η μυκηναϊκή παρουσία είναι μακρόχρονη και έντονη, και σηματοδοτεί την

ύπαρξη εκεί ενός σπουδαίου μυκηναϊκού κέντρου που οπωσδήποτε σχετίζεται με την υπόθεση της ομηρικής Ιθάκης». (Δρ Αντώνης Βασιλάκης, 2011).

Στην ίδια περιοχή του οικισμού Τζανάτα στη θέση του λόφου «Ρίζα» πλησίον του ομώνυμου συνοικισμού «Ρίζα» το 2011, ο (Δρ Αντώνης Βασιλάκης, 2011),, άρχισε ανασκαφή σε ένα εκτεταμένο μυκηναϊκό οικιστικό κέντρο. Κατά την διάρκεια των ανασκαφών ήρθαν στο φώς αρχαιότητες υστεροελλαδικών (μυκηναϊκών χρόνων περίοδος 1600-1100 π.Χ.) και πέντε (5) καλυβίτες κεραμοσκεπείς τάφοι ρωμαϊκών χρόνων (Εικόνα 42).

Εικόνα 43 Η Ανασκαφή στο λόφο "Ρίζα" του δρ. Α. Βασιλάκη (πηγή: (Δρ Αντώνης Βασιλάκης, 2011)),

Τα ευρήματα αυτής τη ανασκαφής όπως περιγράφονται από τον (Δρ Αντώνης Βασιλάκης, 2011), ήταν τα εξής:

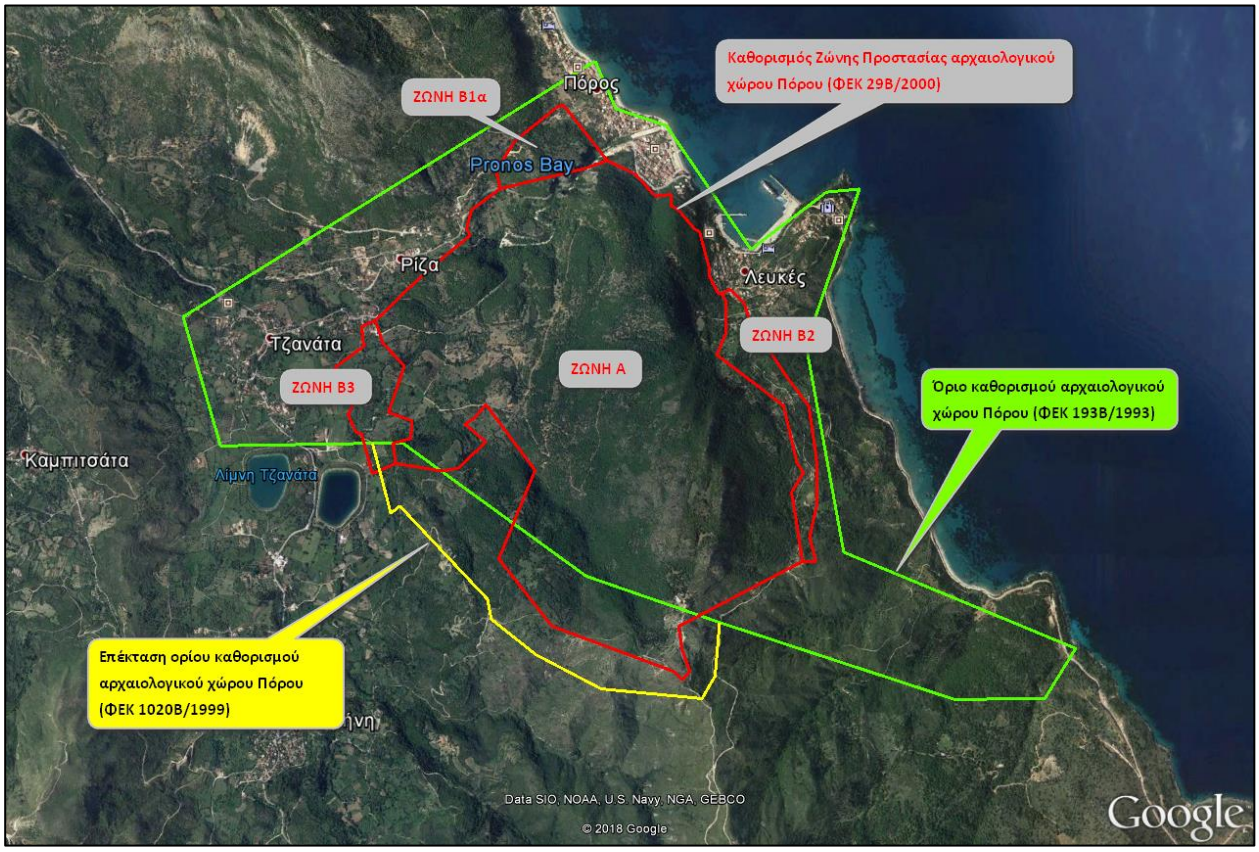
- «Περίβολος» και δρόμος: Αποκαλύφθηκε προϊστορικός περίβολος μέσου πάχους 2,30μ και δρόμος μήκους 40μ, που εκτιμάται ότι εκτείνεται σε μήκος τουλάχιστον 100μ, με κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο. Χρονικά η κατασκευές αυτές τοποθετούνται λίγο μετά το 1200 π.Χ.
- Καμπυλόγραμμο (αψιδωτό) μικρό κτίριο: Το κτίριο εντοπίστηκε βαθύτερα από τον δρόμο, με είσοδο στη βορειοανατολική του πλευρά. Είναι αρχαιότερο του δρόμου (εκτιμάται στο β' μισό του 13^{ου} αι. π.Χ.), ενώ ο χαρακτήρας και η ακριβής ημερομηνία του δεν μπορούν να προσδιοριστούν πριν από την μελέτη των ευρημάτων.
- Μεγάλο καμπυλόγραμμο οικοδόμημα: Ομοίως εντοπίστηκε βαθύτερα σε έκταση περίπου 200τμ, ένα μεγάλων διαστάσεων οικοδόμημα, από το οποίο σώθηκαν υπολείμματα καμπυλόγραμμου τοίχου μέσου πάχους 1,50μ και μήκους πάνω από 10μ και ευθύγραμμου τοίχου πάχους 1,80μ. Το εν λόγο οικοδόμημα εκτείνεται προς τα βόρεια.

Βρέθηκαν όστρακα αγγείων διαφόρων σχημάτων, μεγεθών και κατηγοριών πηλού. Από πρώτη εξέταση τα ευρήματα αυτά χρονολογούνται μέσα στους 15° και 12° (αρχές) αιώνα π.Χ. Σημαντικό εύρημα αποτελεί και το μοναδικό κόσμημα-σφραγίδα, με σταγονόσχημο επίμηκες περίαπτο, έχοντας σπασμένη την οπή ανάρτησης και με δύσδιαγνωστο σφραγιστικό θέμα στην καμπύλη επιφάνεια του.

4.1.3 Νομικό πλαίσιο προστασίας αρχαιολογικού χώρου Πόρου.

Η περιοχή του Πόρου, με την υπ' αριθμ. ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ43/6109/264 (ΦΕΚ 193Β/23 Μαρ 1993), χαρακτηρίστηκε ως αρχαιολογικός χώρος για λόγους αμεσότερης προστασίας των μνημείων (Εικόνα 43, όριο πράσινου χρώματος), όπως αυτά παρακάτω μνημονεύονται:

- Λείψανα τείχους σωζόμενα σε μεγάλο μήκος, δυτικά του σημερινού οικισμού του Πόρου στις θέσεις Παχνί και Αφράτι και εντός αυτού.
- Οικιστικά λείψανα ιστορικών χρόνων εντός του τείχους.
- Μυκηναϊκός ηγεμονικός θολωτός Τάφος στη θέση Γρουζή του οικισμού Τζανάτα.
- Μυκηναϊκά οικιστικά λείψανα και λιθοτεχνίες νεολιθικών χρόνων στην περιοχή μεταξύ των προαναφερθέντων μνημείων
- Λείψανα αρχαίων αναλημματικών τοίχων και τμημάτων δρόμου στο ανατολικό πρανές της λοφοσειράς Πιεροβουνίου
- Μεγάλο ορθογώνιο οικοδόμημα στη θέση «Κάναλος»
- Στη θέση «Στου Λανί τον κάμπο» κιβωτιόσχημος τάφος Ελληνορωμαϊκών χρόνων.
- Μικρός Μυκηναϊκός θολωτός τάφος στη θέση «Λιθάρια».



Εικόνα 44 Με πράσινο απεικονίζεται το όριο καθορισμού αρχαιολογικού χώρου Πόρου (ΦΕΚ193Β/1993), με κίτρινο το όριο επέκτασης του αρχαιολογικού χώρου Πόρου (ΦΕΚ 1020Β/1999) και με κόκκινο οι ζώνες προστασίας του αρχαιολογικού χώρου Πόρου (ΦΕΚ 29Β/2000) (πηγή:Google Earth, ιδία επεξεργασία)

Σε συνέχεια της παραπάνω απόφασης, με το ΦΕΚ 1020Β/2 Ιουν 1999, προκειμένου για την καλύτερη προστασία των μνημείων, επεκτάθηκε το όριο του αρχαιολογικού χώρου (Εικόνα 43, όριο κίτρινου χρώματος).

Τέλος με την απόφαση «ΥΑ ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ06/44469/2851/21-12-1999», που δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 29Β/19 Ιαν 2000, καθορίστηκε «ζώνη Α' Προστασίας Αρχαιολογικών χώρων Πόρου Κεφαλληνιάς και χρήσεις γης εντός αυτής – Οριοθέτηση ζώνης Β' Προστασίας». Συγκεκριμένα καθορίστηκε ζώνη Α', Απολύτου Προστασίας-Αδόμητη, εντός της οποίας περιλαμβάνονται τα μνημεία, του Βασιλικού θολωτού τάφου στην θέση «Μπούρτζι», που χρονολογείται στην Μυκηναϊκή Εποχή, το Οστεοφυλάκειο της Μυκηναϊκής περιόδου πλησίον του θολωτού Τάφου κ.α. Στην ζώνη Α' απαγορεύεται η δόμηση και γενικά οποιαδήποτε κατασκευή για την οποία απαιτείται άδεια της αρμόδιας πολεοδομικής αρχής (Εικόνα 43, περιοχές με κόκκινο χρώμα). Στην ζώνη Β' επιτρέπεται η δόμηση, με ειδικούς όρους και περιορισμούς δόμησης καθώς και χρήσεις γης, που θα καθοριστούν με την συνεργασία ΥΠΠΟ-ΥΠΕΧΩΔΕ, μετά τη δημοσίευση της απόφασης αυτής.

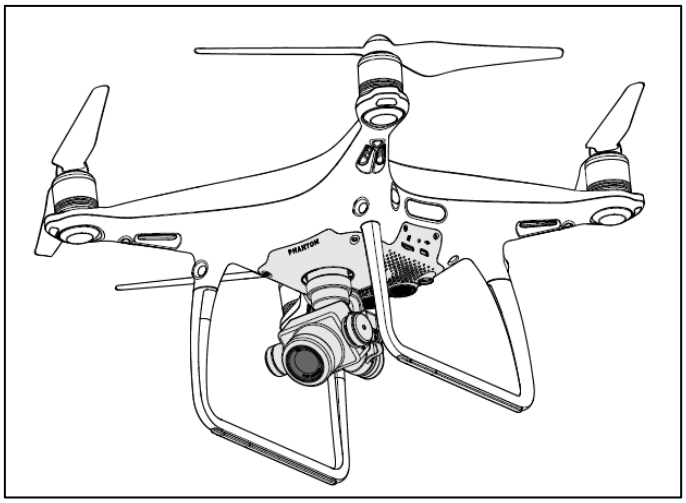
4.2 Εξοπλισμός, Σημεία Ελέγχου Εδάφους, Πακέτο επεξεργασίας.

Για την εκπόνηση των εργασιών υπαίθρου, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη των εικόνων μη επανδρωμένο αεροσκάφος τεσσάρων στροφείων (τετρακόπτερο). Τα σημεία ελέγχου εδάφους (φωτοσταθερά) κατασκευάστηκαν από ελαφριά υλικά (κόντρα πλακέ και χαρτί), ενώ για τον προσδιορισμό της θέσης τους στο Ελληνικό Γεωδαιτικό σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87), χρησιμοποιήθηκε γεωδαιτικό GPS/GNSS δύο συχνοτήτων L1, L2. Η επεξεργασία και η εκπόνηση του ορθοφωτοχάρτη και του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας έγινε με το πρόγραμμα Photoscan της εταιρείας Agisoft.

4.2.1 Μη Επανδρωμένο αεροσκάφος (UAV)

Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος (UAV) τεσσάρων στροφείων που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη των εικόνων, ήταν το μοντέλο, Phantom 4 PRO της εταιρείας DJI (Εικόνα 45), το οποίο παραχωρήθηκε για χρήση, από το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας.

Κατά τον χρόνο σύνταξης της παρούσας εργασίας, το συγκεκριμένο UAV κατατάσσεται στις πρώτες θέσεις προτιμήσεως στην μεσαία κατηγορία λόγω των υψηλών τεχνικών χαρακτηριστικών που συγκεντρώνει και των ειδικών λειτουργιών που διαθέτει, όπως αυτά περιγράφονται με λεπτομέρεια στο παράρτημα (DJI, 2017).



Εικόνα 45 Dji Phantom4 Pro (πηγή: (DJI, 2017))

4.2.2 Γεωδαιτικό GPS/GNSS

Για τον προσδιορισμό της θέσης των σημείων ελέγχου εδάφους (φωτοσταθερά), στο Ελληνικό Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ ’87, χρησιμοποιήθηκε ο γεωδαιτικός δέκτης GNSS δύο συχνοτήτων L1, L2, μοντέλο Promark 500 της εταιρείας Ashtech, ιδιοκτησίας του συγγράφοντος την παρούσα εργασία. Η λήψη των διορθώσεων σφαλμάτων έγινε από το δίκτυο URANUS, υπηρεσία που παρέχει η εταιρεία Treecompany, η οποία είναι πιστοποιημένη από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

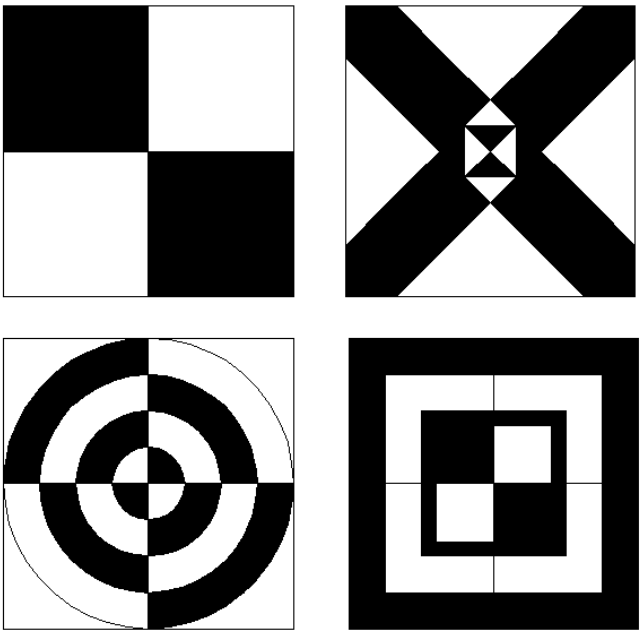
Το σύστημα αποτελείται από δύο μέρη: το κυρίως σώμα του συστήματος (Promark 500 Unit) και το χειριστήριο (MobileMapper CX Unit) (Εικόνα 46). Το κύριο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου συστήματος είναι ότι στο κυρίως σώμα περιλαμβάνονται η κεραία, το μόντεμ και ο ραδιοζεύκτης (Radio Link transmitter). Η σύνδεση με το χειριστήριο γίνεται είτε μέσω Bluetooth, είτε μέσω καλωδίου. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος, παρατίθενται στο παράρτημα.

Εικόνα 46 Γεωδαιτικό σύστημα GNSS

Η μέτρηση των σημείων ελέγχου εδάφους (φωτοσταθερών) έγινε σε λειτουργία Real Time Kinematic (RTK), με ακρίβεια οριζοντιογραφική 10mm + 1.0 ppm και υψομετρική 20mm + 1.0ppm. Οι μετρήσεις και οι ακρίβειες τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Ι. Μετρήσεις Υπαίθρου).

4.2.3 Σημεία Ελέγχου εδάφους (φωτοσταθερά)

Τα σημεία ελέγχου εδάφους επιλέχθηκε να κατασκευαστούν από ελαφριά υλικά, όπως κόντρα πλακέ και χαρτί. Ως υλικό κατασκευής το κόντρα πλακέ επιλέχθηκε, λόγω του μικρού βάρους του και της ανθεκτικότητας του στις συνθήκες περιβάλλοντος. Με τη χρήση του, κατασκευάστηκαν δέκα (10) σημεία ελέγχου εδάφους σε σχήμα τετράγωνου και με διαστάσεις 20cm x 20cm. Στην συνέχεια κολλήθηκαν πάνω σε αυτά, μοτίβα από χαρτί (Εικόνα 47), ενώ για την πάκτωσή τους στο έδαφος χρησιμοποιήθηκαν πρόκες μήκους 18cm. Στην (Εικόνα 48), απεικονίζεται ένα τυχαίο σημείο ελέγχου εδάφους πακτωμένο στο έδαφος με πρόκα.



Εικόνα 47 Τέσσερις τύποι σημείων ελέγχου εδάφους

Εικόνα 48 Σημείο ελέγχου πακτωμένο με καρφί επί του εδάφους

4.2.4 Πακέτο επεξεργασίας

Από τα διαθέσιμα εμπορικά πακέτα επεξεργασίας δεδομένων UAV, κάνοντας χρήση της μέθοδου SFM, για την παραγωγή ορθοφωτοχαρτών και ψηφιακών μοντέλων, τα πιο δημοφιλή, τουλάχιστον κατά τον χρόνο εκπόνησης της παρούσας εργασίας, είναι: το πακέτο Drone2Map της εταιρείας ESRI, το πακέτο Pix4Dmapper της εταιρείας Pix4D και το πακέτο Photoscan της εταιρείας Agisoft.

Από αυτά, το πακέτο της ESRI, εξαιρέθηκε λόγω δύο βασικών παραμέτρων, τη σχετικά μικρή παραμετροποίηση που επιτρέπει στον χειριστή, δίνοντας την αίσθηση του μαύρου κουτιού «black box» και της μικρής διάρκειας δοκιμαστικής χρήσης που περιορίζεται στις δεκαπέντε (15) ημέρες.

Τα δύο άλλα πακέτα, Photoscan και Pix4D, όπως αναφέρουν οι (Alidoost and Arefi, 2017), θεωρούνται σχεδόν ισάξια, συγκεντρώνοντας 11 βαθμούς και 12 βαθμούς αντίστοιχα (Πίνακας 11). Το πακέτο Pix4Dmapper υπερτερεί στη συνολική βαθμολόγηση κατά ένα βαθμό, γεγονός που οφείλεται στην βελτιστοποίηση του χρόνου επεξεργασίας και της απαιτούμενης μνήμης του υπολογιστικού συστήματος.

Πακέτο	Περίοδος δοκιμαστικής χρήσης	Τεκμηρίωση, δημιουργία αναφορών	Παραμετροποίηση	Φιλικό προς τον Χρήστη	Ποικιλία στα εξαγόμενα	Ανεξαρτησία	Βελτιστοποίηση Χρόνου και μνήμης	Σύνολο Βαθμολογίας
PhotoScan	30	2	2	2	2	2	1	11
Pix4Dmapper	15	2	2	2	2	2	2	12

Πίνακας 11 Βαθμολόγηση βάσει χαρακτηριστικών των πακέτων επεξεργασίας, PhotoScan & Pix4D (πηγή: (Alidoost and Arefi, 2017), ιδία επεξεργασία)

Τελικώς επιλέχθηκε το πακέτο Photoscan της εταιρείας Agisoft, με βασικό κριτήριο επιλογής, την διάρκεια δοκιμαστικής χρήσης των τριάντα (30) ημερών που παρέχει με πλήρεις λειτουργίες. Ο αντίστοιχος χρόνος δοκιμαστικής χρήσης, του πακέτου Pix4Dmapper περιοριζόταν σε δεκαπέντε (15) ημέρες όπως δηλαδή και του πακέτου Drone2Map.

4.3 Ροή εργασιών

Σε εφαρμογή των όσων έχουν αναφερθεί, παρατίθενται στην συνέχεια, με την σειρά που εκτελέστηκαν, το σύνολο των εργασιών μέχρι και την παραγωγή του τελικού προϊόντος, ήτοι την παραγωγή ορθοφωτοχάρτη και ψηφιακού μοντέλου επιφανείας, της περιοχής μελέτης.

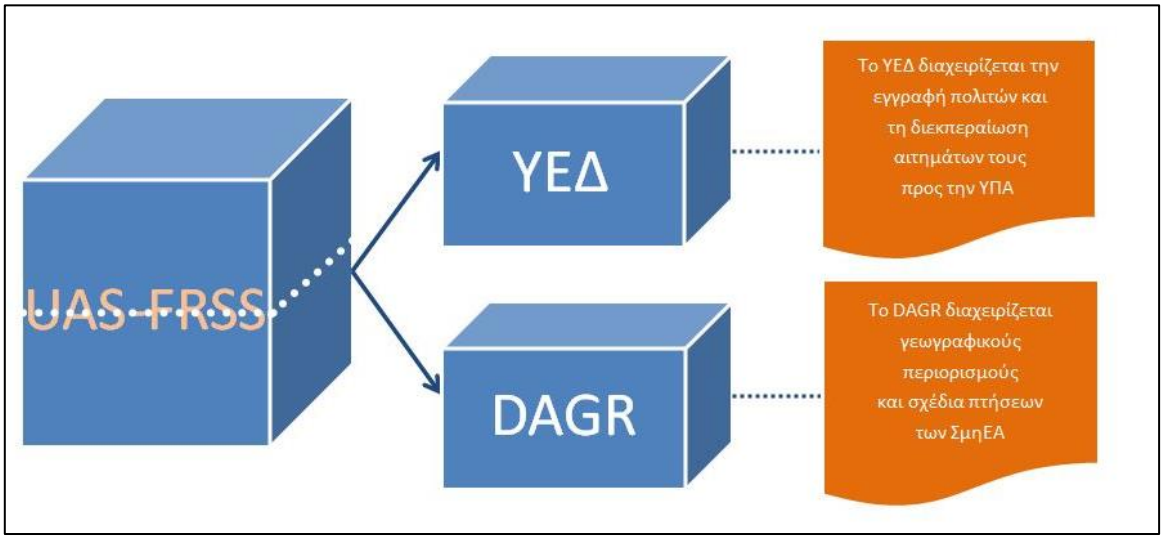
4.3.1 Προγραμματισμός Πτήσης

Στα πλαίσια του προγραμματισμού πτήσης πραγματοποιήθηκε έρευνα και ενημέρωση για την περιοχή ενδιαφέροντος (§ 3.3.3) και ποίο συγκεκριμένα: α) Έρευνα για την ύπαρξη απαγορευτικών ζωνών πτήσης στην περιοχή, β) Έρευνα για απαιτούμενες εγκρίσεις και ενέργειες εκδόσεως τους, γ) Ενημέρωση για τις προβλέψεις των συνθηκών που θα επικρατούν την ημέρα πτήσης, και δ) Έρευνα και τεκμηρίωση των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης (μορφολογία ανάγλυφου, πιθανά εμπόδια κ.λπ.).

α) Έλεγχος απαγορεύσεων

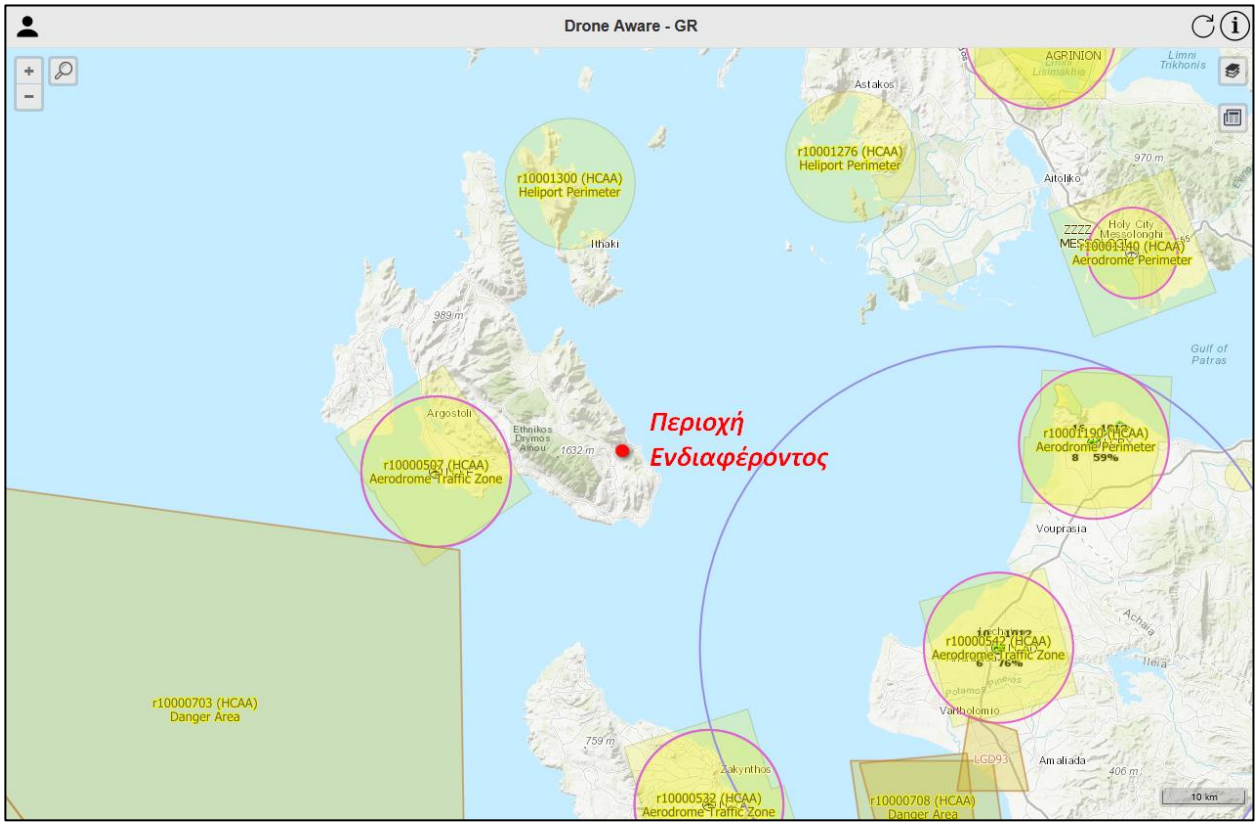
Ο έλεγχος για την ύπαρξη τυχόν απαγορεύσεων στην περιοχή ενδιαφέροντος έγινε μέσω της εφαρμογής DAGR, στην ιστοσελίδα[8] της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (Υ.Π.Α). Η εφαρμογή αυτή είναι ένα από τα δύο υποσύστημα του διαδικτυακού συστήματος UAS-FRSS της ΥΠΑ (Εικόνα 49), για την καλύτερη συνεργασία των κατόχων-χειριστών ΣμηΕΑ, της ΥΠΑ και των άλλων δημόσιων Αρχών, στην εφαρμογή του κανονισμού των ΣμηΕΑ (Υ.Π.Α, 2019).

[8] Στην ηλεκτρονική διεύθυνση «https://dagr.hcaa.gr/#map_page».

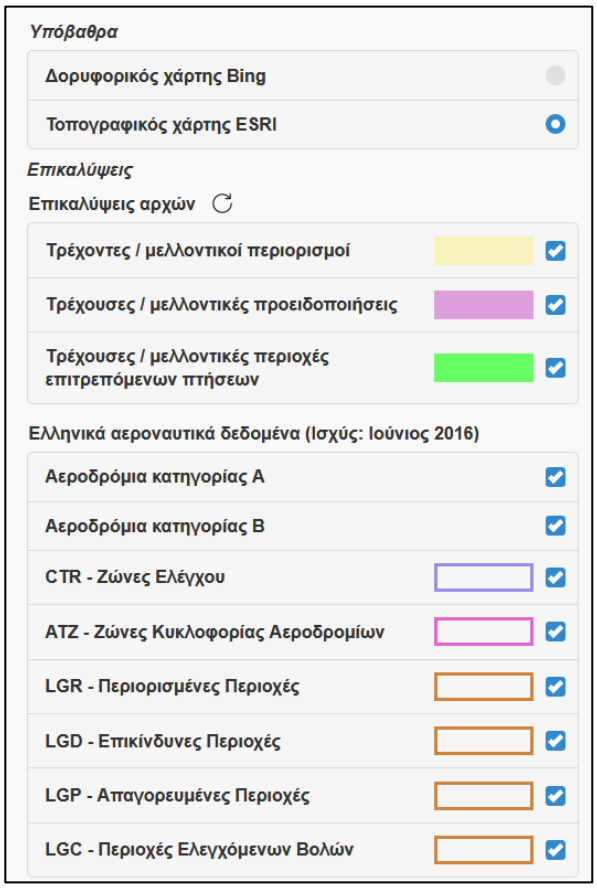


Εικόνα 49 Σύστημα UAS-FRSS της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (πηγή: (Υ.Π.Α, 2019))

Στην εν λόγο ιστοσελίδα της υπηρεσίας DAGR, εντοπίστηκε η περιοχή ενδιαφέροντος και διαπιστώθηκε ότι για την περιοχή δεν ισχύουν απαγορεύσεις (Εικόνα 50). Παρατίθεται το υπόμνημα με την επεξήγηση των συμβολισμών του αποσπάσματος (Εικόνα 51).



Εικόνα 50 Απόσπασμα χάρτη περιοχής ενδιαφέροντος, από το σύστημα DAGR της Υ.Π.Α



Εικόνα 51 Υπόμνημα συμβολισμών χάρτη, στο σύστημα DAGR της Υ.Π.Α

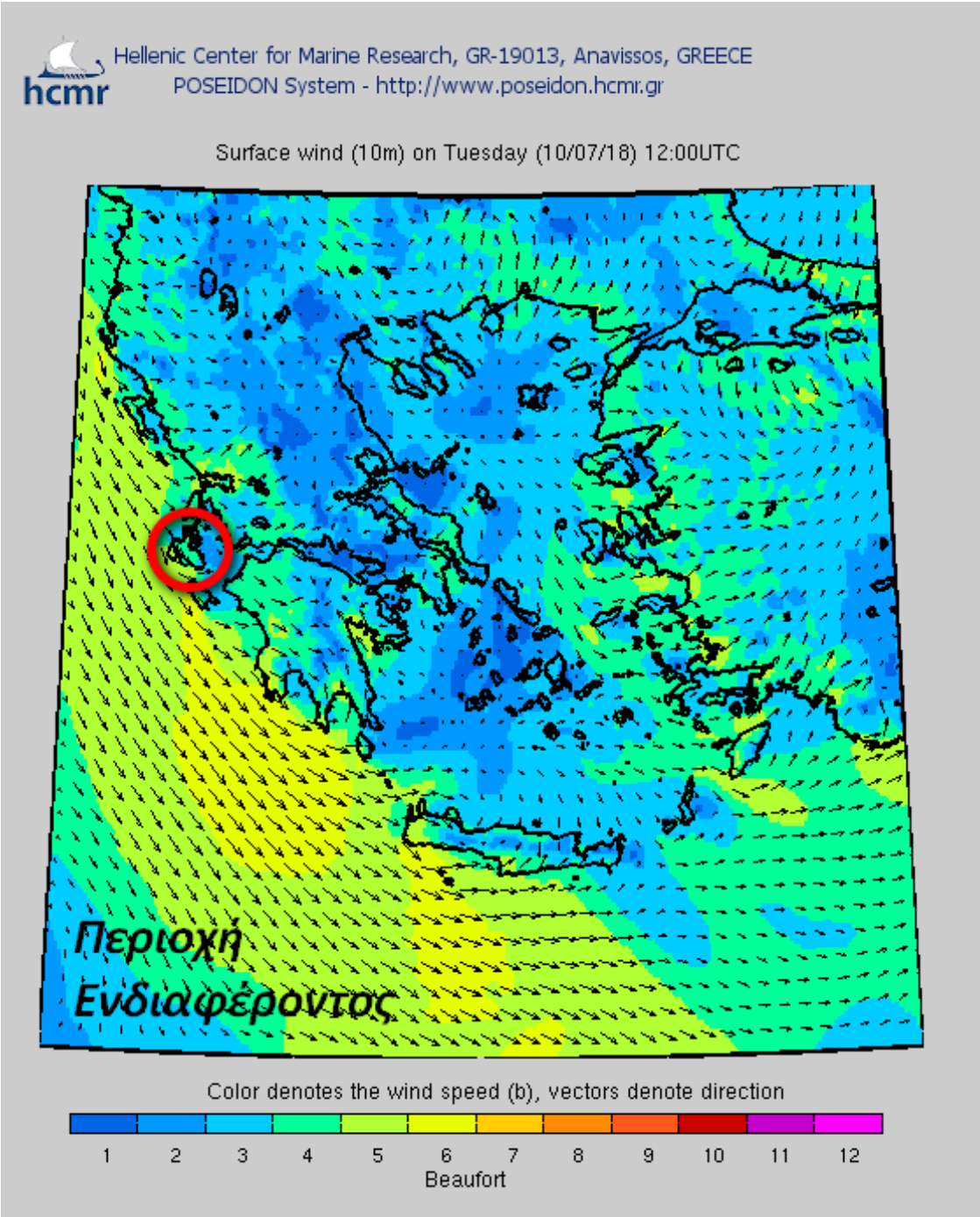
β) Εγκρίσεις

Δεδομένου ότι η περιοχή μελέτης, εμπίπτει εντός του αρχαιολογικού χώρου στη θέση «Ρίζα», στο σημείο που έγιναν οι ανασκαφές από τον Δρ. Αν. Βασιλάκη (§ 4.1.2) στο μυκηναϊκό οικιστικό κέντρο, ήταν απαραίτητη για την διενέργεια της πτήσης του ΣμηΕΑ η χορήγηση έγκρισης από την Εφορεία Αρχαιοτήτων Κεφαλονιάς. Για το λόγω αυτό, έγινε επικοινωνία με τον προϊστάμενο της Εφορείας Αρχαιοτήτων Κεφαλονιάς, κ. Γρηγορακάκη Γρηγόρη, προκειμένου να εξασφαλιστεί η σχετική έγκριση. Ο κ. Γρηγορακάκης, σε συνέχεια της επικοινωνίας, στα πλαίσια του ερευνητικού σκοπού της πτήσης σε συνδυασμό με τη συμφωνία να παραδοθεί στην υπηρεσία, το παραγόμενο προϊόν για την μελλοντική του χρήση ως υποβάθρου, χορήγησε τη σχετική έγκριση. Ο χρόνος διενέργειας της πτήσης, προσδιορίστηκε για τις 10 Ιουλ 2018, ημερομηνία που εξυπηρετούσε αμφοτέρους.

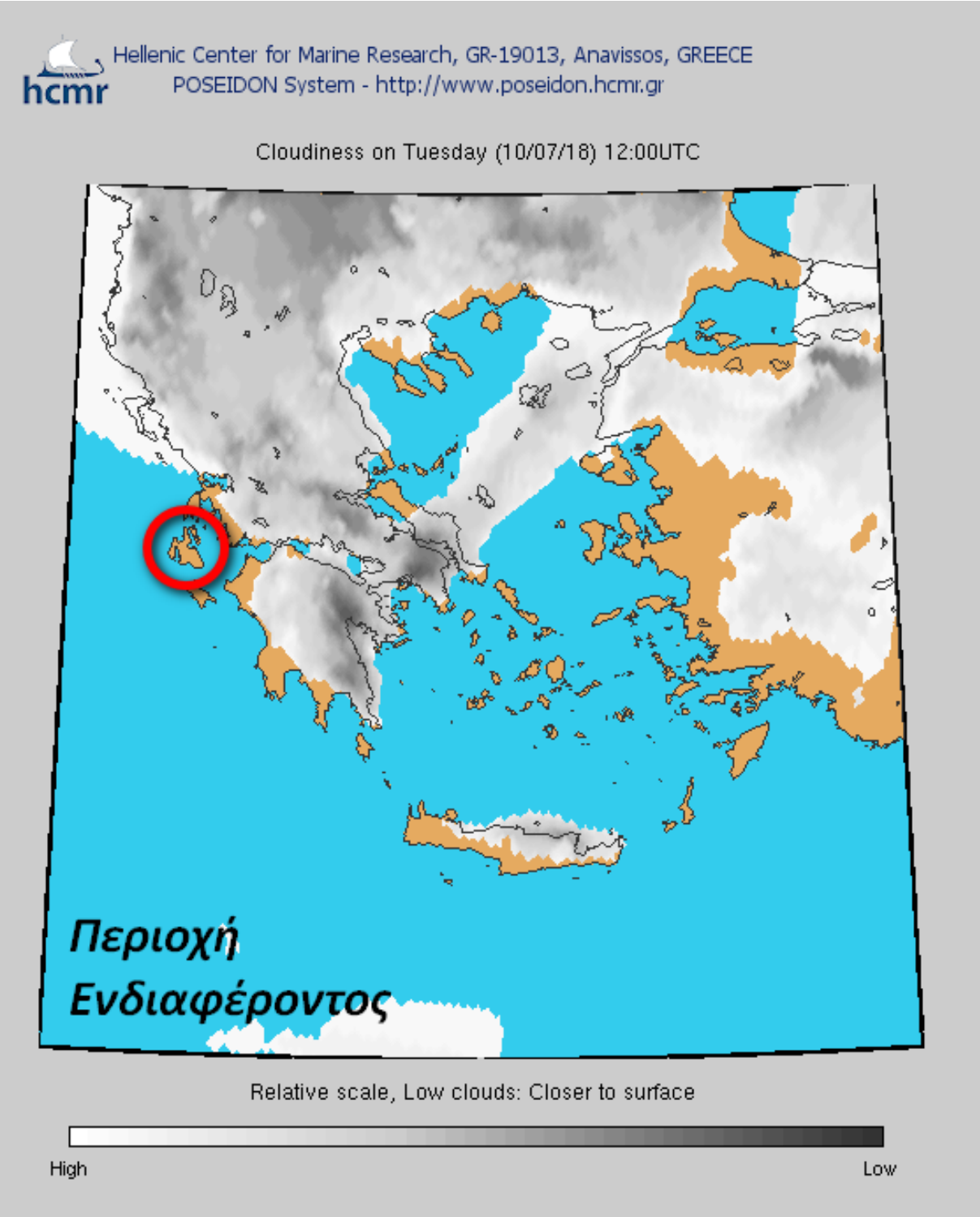
γ) Έλεγχος συνθηκών

Η Ενημέρωση για την πρόβλεψη των συνθηκών που θα επικρατούν στην περιοχή μελέτης την ημέρα της πτήσης (10-07-2018), έγινε μέσω του συστήματος «Ποσειδών» του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών[9]. Πιο συγκεκριμένα έγινε έλεγχος για την ένταση του αέρα (Εικόνα 52), την νεφοκάλυψη (Εικόνα 53), την πιθανότητα βροχόπτωσης (Εικόνα 54) και τέλος την επιφανειακή θερμοκρασία (Εικόνα 55). Στην συνέχεια παρατίθενται οι χάρτες πρόβλεψης. Σημειώνεται ότι παρότι ο μήνας που θα πραγματοποιηθεί η πτήση (Ιούλιος), δεν ευνοεί συνθήκες όπως η έντονη νεφοκάλυψη ή βροχόπτωση ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της προετοιμασίας.

[9] Στην ηλεκτρονική διεύθυνση «http://www.poseidon.hcmr.gr/weather_forecast_gr.php?area_id=gr»



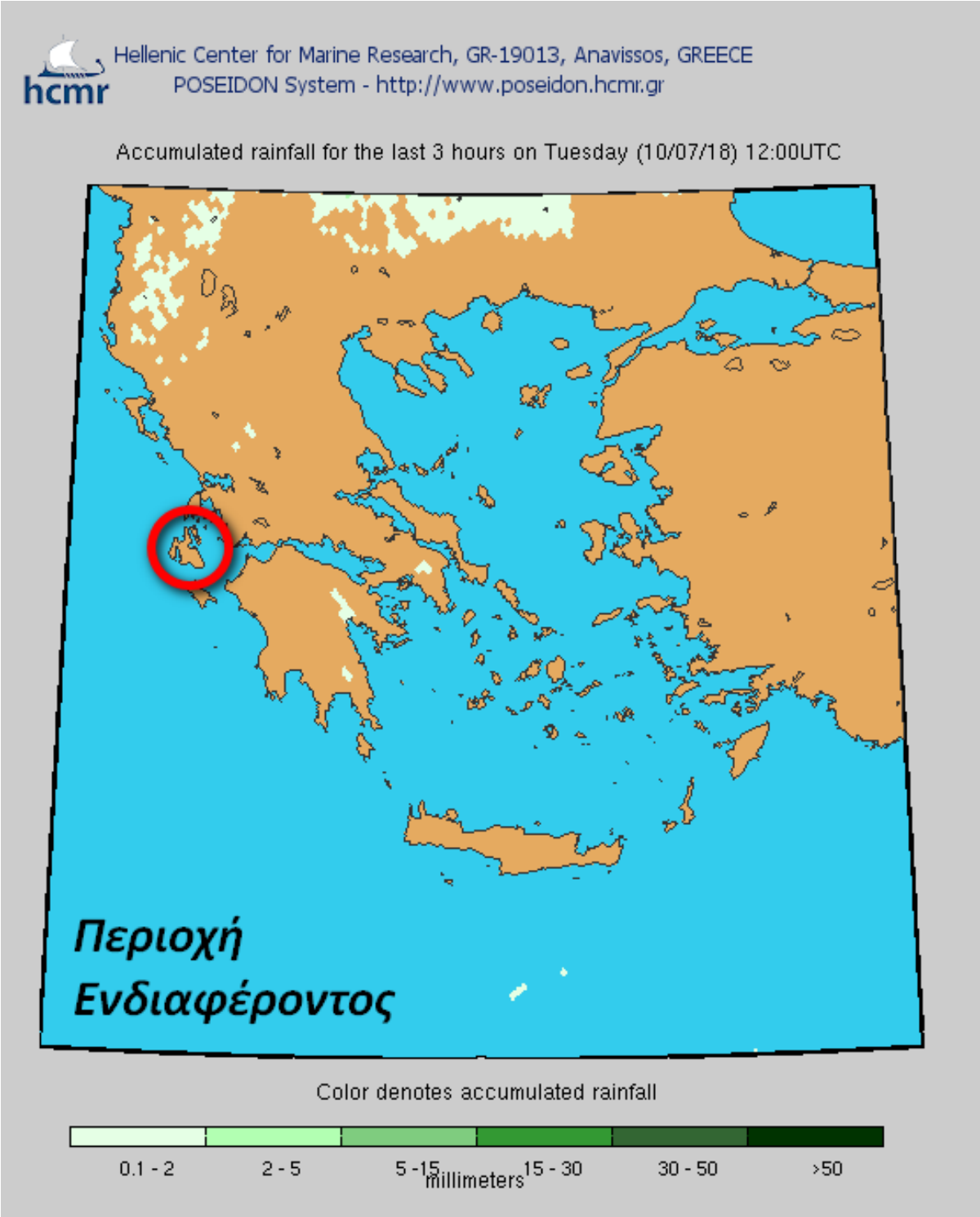
Εικόνα 52 Πρόγνωση έντασης αέρα στην περιοχή ενδιαφέροντος
(πηγή: (Poseidon Team, 2012))



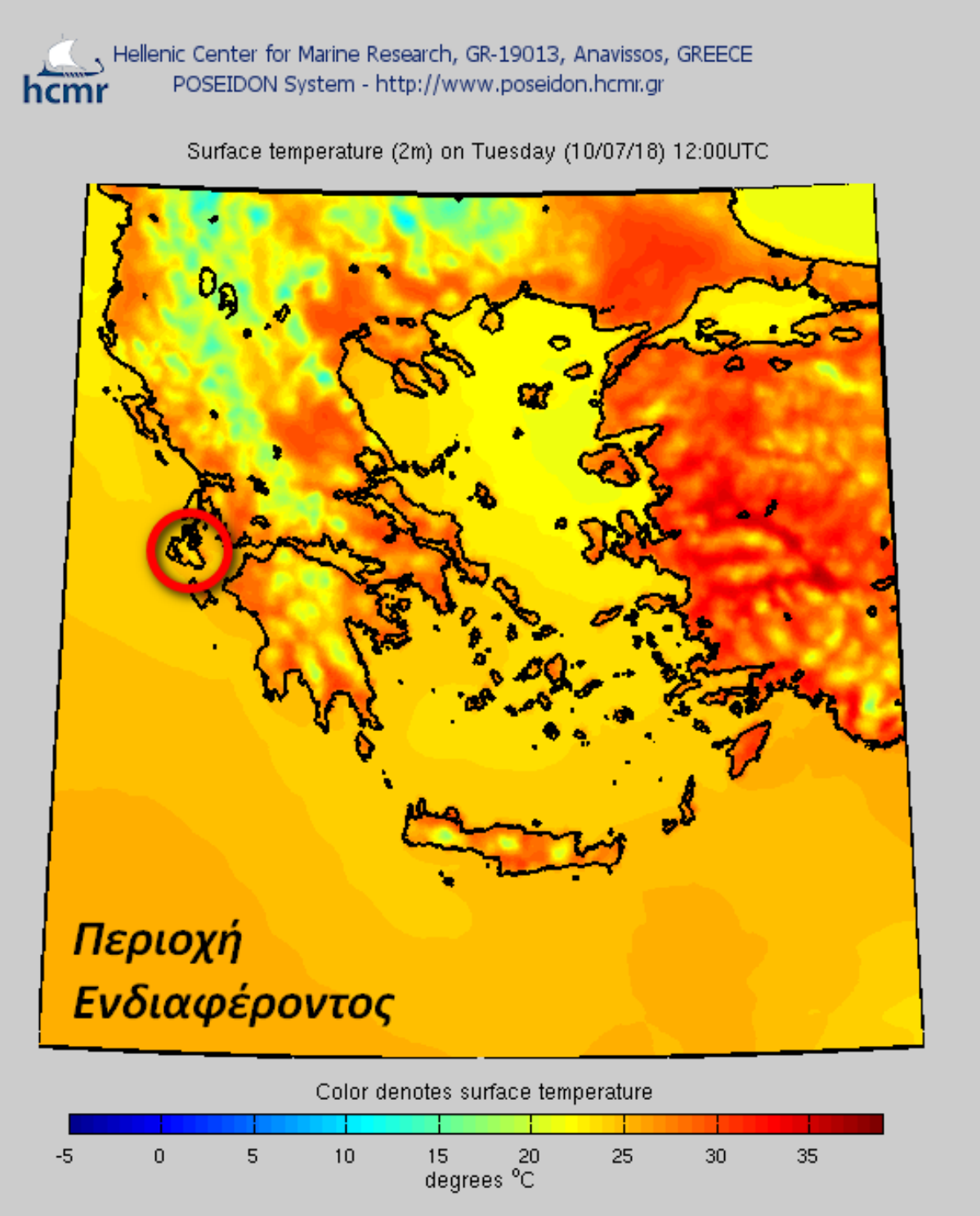
Εικόνα 53 Πρόγνωση νεφοκάλυψης, στην περιοχή ενδιαφέροντος
(πηγή: (Poseidon Team, 2012))

Στο απόσπασμα της πρόγνωσης νεφοκάλυψης εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος, παρατηρείται σχεδόν στο σύνολο της χώρας, πρόβλεψη νεφοκάλυψης, σε κάποιες περιοχές ιδιαίτερα υψηλή, παρά το γεγονός ότι ο μήνας Ιούλιος είναι καλοκαιρινός μήνας,. Παρότι η πτήση των ΣμηΕΑ, προγραμματίζεται για ύψος που δεν επηρεάζεται άμεσα από τα σύννεφα, θα πρέπει να ληφθεί

μέριμνα σε περίπτωση νεφοκάλυψης, για τη σωστή παραμετροποίηση της κάμερας λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών φωτισμού.



Εικόνα 54 Πρόγνωση Βροχόπτωσης, στην περιοχή ενδιαφέροντος (πηγή:(Poseidon Team, 2012))



Εικόνα 55 Πρόγνωση επιφανειακής θερμοκρασίας, στην περιοχή ενδιαφέροντος (πηγή:(Poseidon Team, 2012))

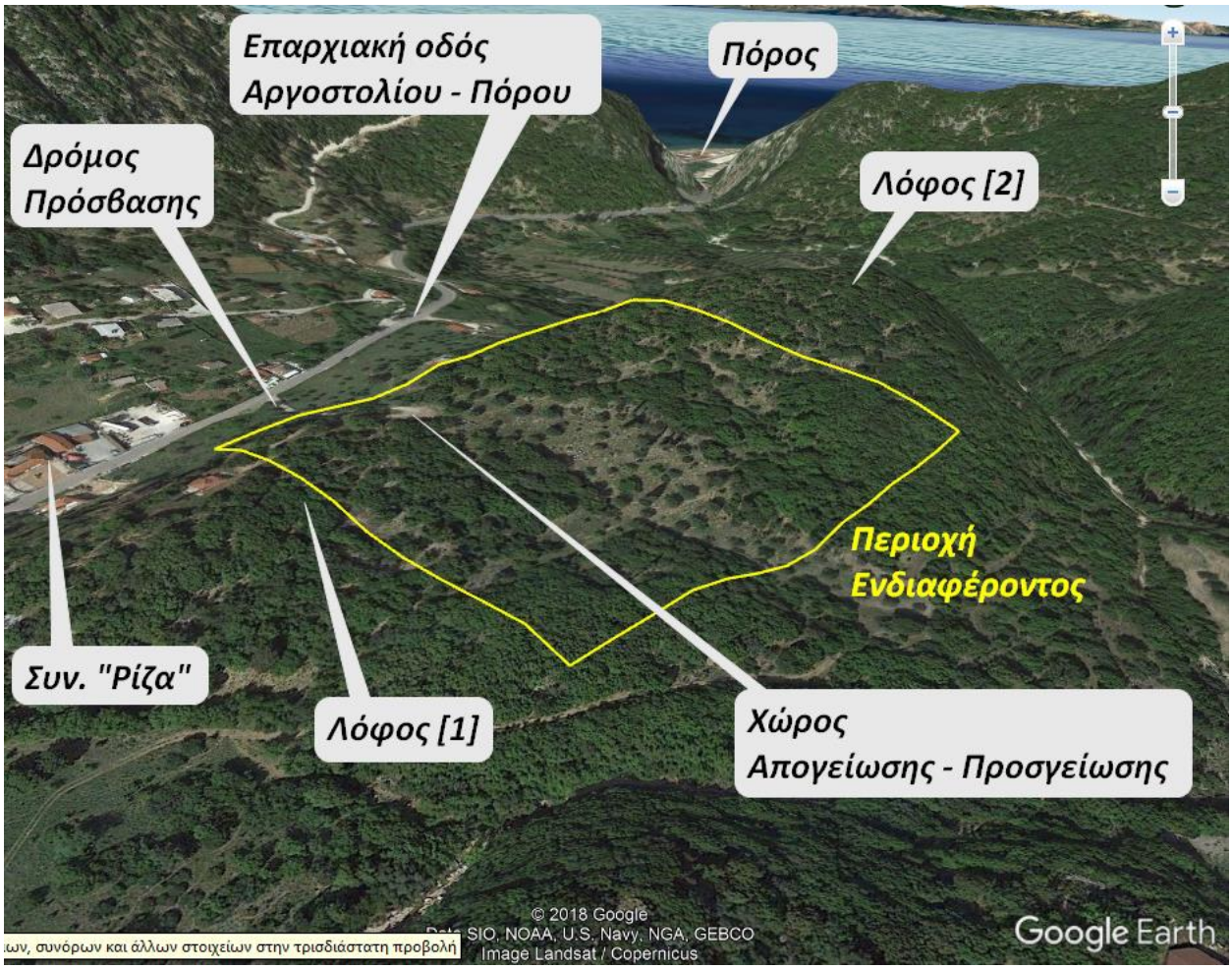
Από τα αποσπάσματα προκύπτει ότι για την ημέρα που προγραμματίζεται η πτήση (10 Ιουλ 2018), οι συνθήκες που προβλέπεται να επικρατούν είναι ευνοϊκές, πιο συγκεκριμένα προβλέπεται πως θα επικρατούν άνεμοι της τάξης των 3-4 bf, δεν θα υπάρχουν σύννεφα, καμία πιθανότητα βροχόπτωσης και οι επιφανειακές θερμοκρασίες θα κυμανθούν γύρω στους 25 βαθμούς κελσίου.

Ο συνδυασμός αυτών των συνθηκών καθιστά την συγκεκριμένη ημέρα κατάλληλη για την υλοποίηση της πτήσης.

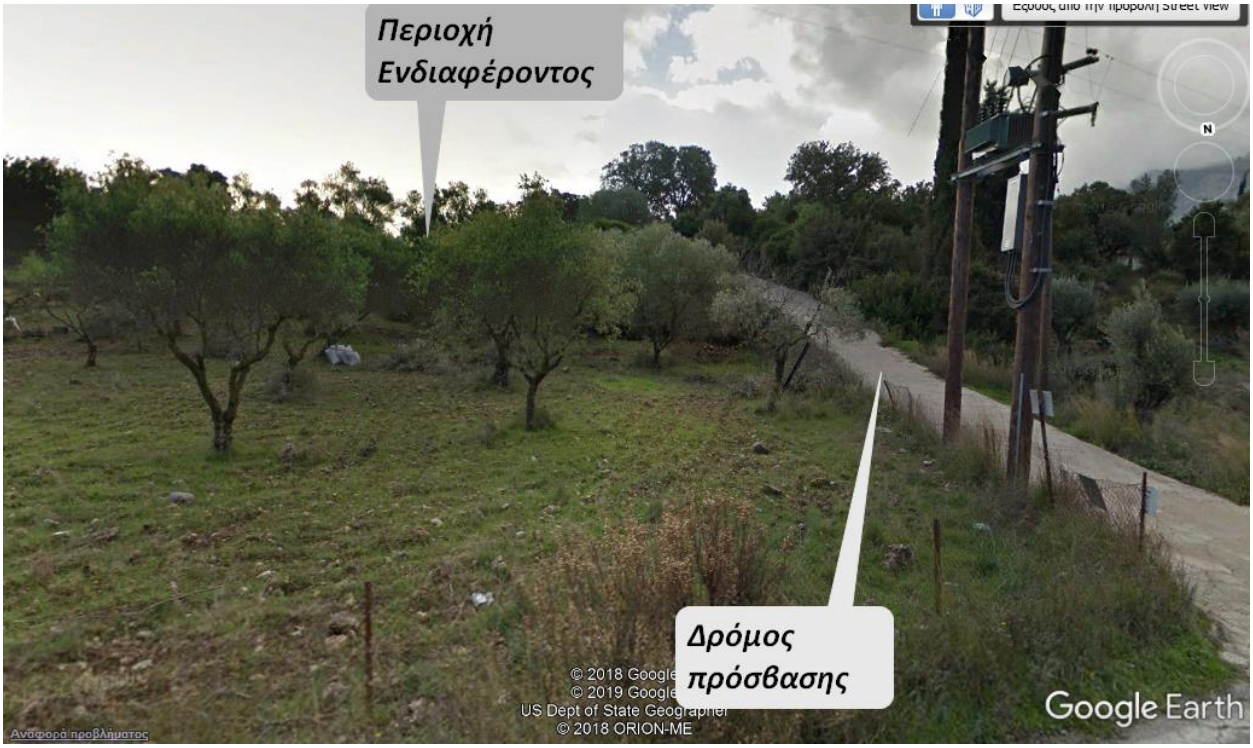
δ) Έρευνα – Αναγνώριση της περιοχής μελέτης.

Για την αναγνώριση της περιοχής ενδιαφέροντος, χρησιμοποιήθηκαν ανοικτά δεδομένα από διάφορες πηγές, δεδομένου ότι ο προγραμματισμός-σχεδιασμός της πτήσης ανήκει στα προκαταρτικά στάδια και η ακρίβεια αυτών των δεδομένων καλύπτει τις συγκεκριμένες ανάγκες.

Για την αναγνώριση του ανάγλυφου της περιοχής ενδιαφέροντος χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Google Earth Pro (Εικόνα 56). Για το μακροσκοπικό έλεγχο, τον εντοπισμό πιθανόν εμποδίων και την εξαγωγή στιγμιότυπων της περιοχής, χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία Street View που προσφέρει η εφαρμογή Google Earth (Εικόνες 57 & 58).



Εικόνα 56 Προοπτικό της περιοχής ενδιαφέροντος.
(πηγή :Google Earth , ιδία επεξεργασία)

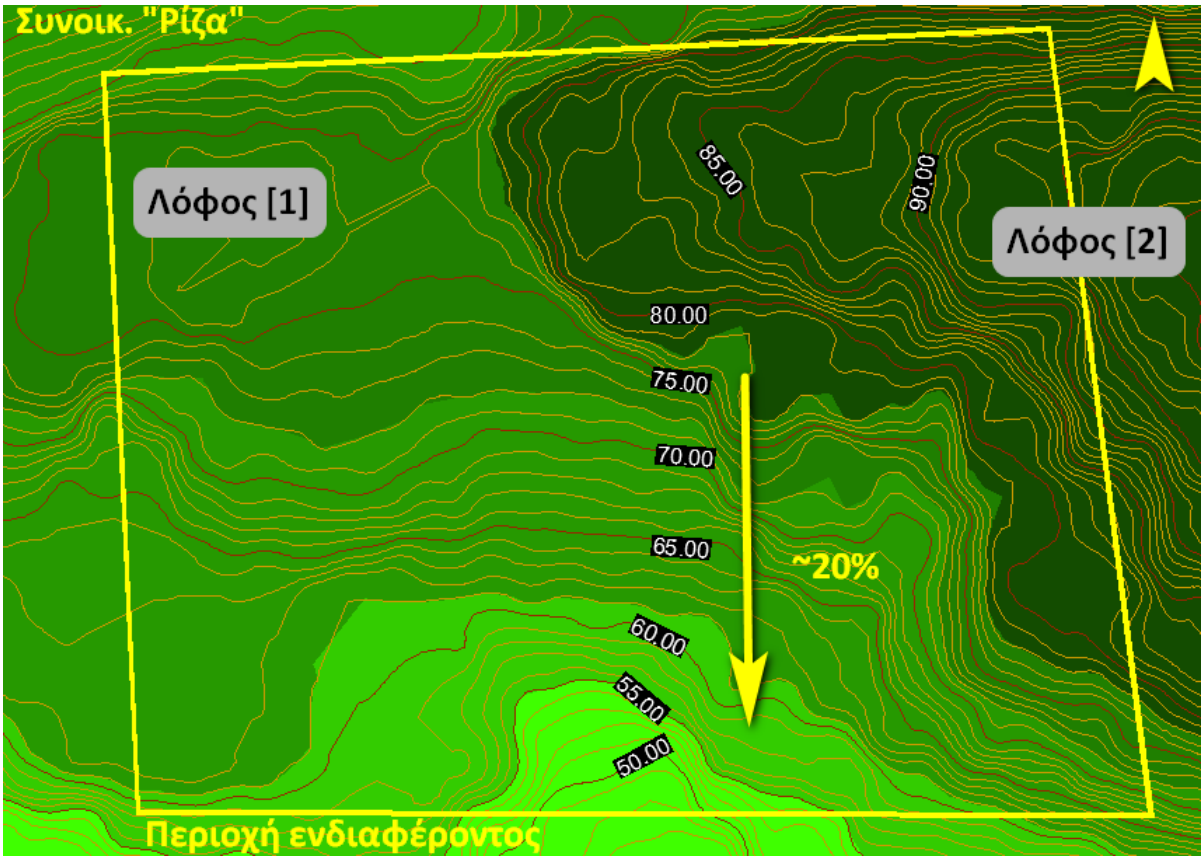


Εικόνα 57 Στιγμιότυπο της περιοχής ενδιαφέροντος (πηγή : Google Earth, Street View)

Εικόνα 58 Στιγμιότυπο της περιοχής ενδιαφέροντος (πηγή : Google Earth, Street View)

Από τα στοιχεία, προκύπτει ότι εντός της περιοχής ενδιαφέροντος υπάρχει πλούσια βλάστηση, κυρίως δένδρα, που καλύπτουν την περιοχή περίπου στο 70% (Εικόνες 56 & 40), αλλά δεν υπάρχουν εμπόδια όπως πυλώνες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ψηλές κατασκευές ή αλλά εμπόδια που θα προκαλούσαν πρόβλημα στην πτήση του ΣμηΕΑ (Εικόνες 57 & 58).

Για την υψομετρική τεκμηρίωση της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν ανοικτά δεδομένα για την δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Το περιβάλλον GIS με το οποίο δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους ήταν το ArcMap και η τελική επεξεργασία έγινε σε περιβάλλον Autocad. Ο χάρτης με τις ισοϋψείς που δημιουργήθηκε καθώς και το υπόμνημα των υψομέτρων παρατίθεται στην συνέχεια (Εικόνα 59 & 60).



Εικόνα 59 Ισοϋψείς στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Elevations Table			
Number	Minimum Elevation	Maximum Elevation	Color
1	47.000	55.000	
2	55.000	61.000	
3	61.000	67.000	
4	67.000	72.000	
5	72.000	78.000	
6	78.000	88.000	
7	88.000	98.000	

Εικόνα 60 Υπόμνημα ισοϋψών, περιοχής ενδιαφέροντος

Όπως προκύπτει από τις ισοϋψείς η περιοχή ενδιαφέροντος παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο με υψόμετρα που κυμαίνονται από 48μ στα χαμηλότερα σημεία στο νότιο τμήμα της περιοχής, έως 98μ στα ψηλότερα σημεία στον ανατολικό λόφο [2]. Η κατά μήκος κλίση της περιοχής είναι της τάξης του 20%.

4.3.2 Σχεδιασμός πτήσης

Όπως αναφέρθηκε στην § 3.3.4 κατά το στάδιο του σχεδιασμού πτήσης, θα πρέπει να αποφασιστεί το είδος της διαδρομής πτήσης, το ύψος και η ταχύτητα πτήσης, η γωνία λήψης των εικόνων και το ποσοστό επικάλυψης τους.

Σε εφαρμογή αυτών, τουλάχιστον στο στάδιο της προετοιμασίας, χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό Mission Planner (άδεια GPLv3), που δημιουργήθηκε από τον Michael Oborne. Το εν λόγω λογισμικό αποτελεί τμήμα του πακέτου ArduPilot, ενός λογισμικού ανοικτού κώδικα αυτόματου πιλότου (Open Source Autopilot), ενώ σύμφωνα με τον ορισμό του (ArduPilot_Dev_Team, 2019), είναι μια πλήρης εφαρμογή σταθμού ελέγχου που υποστηρίζει: αεροπλάνα, γενικά «κόπτερα» και ρόβερ (rover).

Προκειμένου για τον σχεδιασμό πτήσης, αρχικά προσδιορίστηκε η περιοχή μελέτης στο λογισμικό Mission Planer, χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο[10] το Google Maps. Στην συνέχεια επιλέχθηκε το σημείο απογείωσης και προσγείωσης του UAV. Για το σημείο αυτό, επιλέχθηκε ο χώρος που καταλήγει ο δρόμος πρόσβασης προς την περιοχή μελέτης ο οποίος είναι ανοικτός περιμετρικά χωρίς εμπόδια και με κατάλληλο εύρος (Εικόνα 56). Τέλος επιλέχθηκαν οι παράμετροι πτήσης όπως αναφέρονται στην συνέχεια:

- Το είδος διαδρομής πτήσης που επιλέχθηκε, ήταν αυτό του διπλού κανάβου (§ 3.3.4, παρ. (α)), ώστε να είναι δυνατή στην συνέχεια η παραγωγή πυκνού νέφους σημείων και η δημιουργία, κατά το δυνατό, μεγαλύτερης ακρίβειας ψηφιακού ανάγλυφου επιφανείας (Εικόνα 61).

[10] Το συγκεκριμένο λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα επιλογής υποβάθρου, μεταξύ: Google Maps, Bing, Open street maps ή υπηρεσιών WMS (π.χ. η υπηρεσία WMS που παρέχει η ΕΚΧΑ ΑΕ).

- Το ύψος πτήσης που ορίσθηκε ήταν αυτό των 50μ. Το ύψος πτήσης που ορίζεται, αναφέρεται στο σημείο απογείωσης και όχι σε απόλυτο υψόμετρο. Με δεδομένο λοιπόν ότι το σημείο που επιλέχθηκε ως χώρος απογείωσης και προσγείωσης, έχει υψόμετρο 76μ και το υψηλότερο σημείο της περιοχής έχει υψόμετρο 96μ, ήτοι μια υψομετρική διαφορά των 20μ, ορίσθηκε ως ύψος πτήσης αυτό των 50μ. Το ύψος αυτό, δλδ 30μ ψηλότερα από το πιο ψηλό σημείο της περιοχής μελέτης, εξασφαλίζει την αποφυγή πρόσκρουσης του UAV με πιθανά εμπόδια, όπως τα δένδρα στην κορυφή του λόφου, κολώνες και καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος.
- Η γωνία λήψης των εικόνων ορίσθηκε σε 88°, που πρακτικά σημαίνει κατακόρυφη λήψη (§ 3.3.4, IV).
- Η εκτιμώμενη ταχύτητα πτήσης που επιλέχθηκε, ήταν αυτή των 5m/s.

  Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι, η επιλογή διαφορετικής ταχύτητας πτήσης, όπως αυτή των 6m/s (Εικόνα 62), επιφέρει σημαντικές διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά της πτήσης. Πιο συγκεκριμένα: στο συνολικό χρόνο πτήσης (μειώνεται κατά πέντε λεπτά), στο ρυθμό -χρόνο με το οποίο λαμβάνονται οι εικόνες (μειώνεται περίπου 0.5 sec), στην ταχύτητα του κλείστρου της κάμερας (αυξάνεται κατά 10%) και τέλος στη διάμετρο της στροφής στα άκρα των διαδρομών (αυξάνεται κατά τρία μέτρα).

  Προκύπτει λοιπόν, ότι η επιλογή της ταχύτητας πτήσης, επηρεάζει τα χαρακτηριστικά της πτήσης και της ποιότητας των εικόνων και θα πρέπει να αντιμετωπίζεται σε συνδυασμό και με τις συνθήκες περιβάλλοντος. Αυτό γιατί σε συνθήκες π.χ. αυξημένου αέρα, η αύξηση της διαμέτρου στροφής θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του πραγματικού χρόνου πτήσης. Αντίστοιχα η αύξηση στην ταχύτητα του κλείστρου της κάμερας και της λήψης των εικόνων, μπορεί να δημιουργήσει φαινόμενα «κουνήματος».
- Ορισμός της κάμερας. Δεδομένου ότι δεν υπήρχε ως προεπιλογή ο τύπος της κάμερας (FC6310), που φέρει το UAV που χρησιμοποιήσαμε (DJI PHANTOM 4 PRO), έγινε εισαγωγή των παραμέτρων της, ως ακολούθως:
  - Focal length: 8,8
  - Image Width: 5472
  - Image Height:3648
- Τέλος επιλέχθηκε ποσοστό επικάλυψης των εικόνων, 80%, σύμφωνα με τα μνημονευόμενα στην § 3.3.4, παρ (ε).

Εικόνα 61 Σχεδιασμός πτήσης, με ύψος 50μ και ταχύτητα 5m/sec

Εικόνα 62 Σχεδιασμός πτήσης, με ύψος 50μ και ταχύτητα 6m/sec

Με το τέλος της εισαγωγής των παραμέτρων το λογισμικό εμφανίζει το σύνολο των χαρακτηριστικών της πτήσης.

Για την περιοχή μελέτης τα χαρακτηριστικά της πτήσης μετά την επιλογή των προαναφερθέντων παραμέτρων είναι τα εξής:

- Εμβαδόν περιοχής μελέτης: 44937 m^2.
- Συνολική απόσταση που θα διανύσει το UAV: 6.77 km
- Απόσταση μεταξύ των εικόνων: 10 m
- GSD: 1,37 cm
- Πλήθος εικόνων: 675
- Αριθμός διαδρομών: 30
- Μέγεθος εικόνας στο έδαφος: 75m x 50m
- Απόσταση μεταξύ των διαδρομών: 15 m
- Εκτιμώμενος χρόνος πτήσης: 28:13 min
- Λήψη εικόνας ανά: 2.00 seconds
- Διάμετρος στροφής: 7 m
- Ύψος εδάφους: 49-83 m
- Ελάχιστη ταχύτητα κλείστρου: 1/729

Σημειώνεται ότι, σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τις παραμέτρους της πτήσης είναι και ο εκτιμώμενος χρόνος συνολκής πτήσης. Θα πρέπει κατά τον σχεδιασμό να διασφαλίζεται ότι ο χρόνος αυτός είναι μικρότερος από τον μέγιστο χρόνο πτήσης βάσει των προδιαγραφών του UAV.

Στην περίπτωση που ο εκτιμώμενος χρόνος πτήσης που προκύπτει από τις επιλεγμένες παραμέτρους είναι μεγαλύτερος του μέγιστου χρόνου πτήσης του UAV ή ο εκτιμώμενος χρόνος είναι πολύ κοντά, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα, είτε αυξάνοντας το ύψος πτήσης είτε αυξάνοντας την ταχύτητα πτήσης. Κατά την εκτίμηση του συγγράφοντος είναι προτιμότερο να αυξηθεί κατάτι περισσότερο το ύψος πτήσης.

Στην παρούσα μελέτη, μετά την εισαγωγή των παραμέτρων πτήσης ο εκτιμώμενος χρόνος πτήσης είναι 28:13min και το UAV που χρησιμοποιείται (DJI PHANTOM 4 PRO), έχει σύμφωνα με τις προδιαγραφές του, χρόνο πτήσης περίπου 30 λεπτών (§ 4.2.1). Αυτή η διαφορά των 2 λεπτών που προκύπτει, δεν κρίνεται ασφαλείς για την ολοκλήρωση της πτήσης με ασφάλεια. Για το λόγω αυτό ορίσθηκε το ύψος πτήσης, σε 55μ και τα τελικά χαρακτηριστικά της πτήσης διαμορφώθηκαν ως εξής:

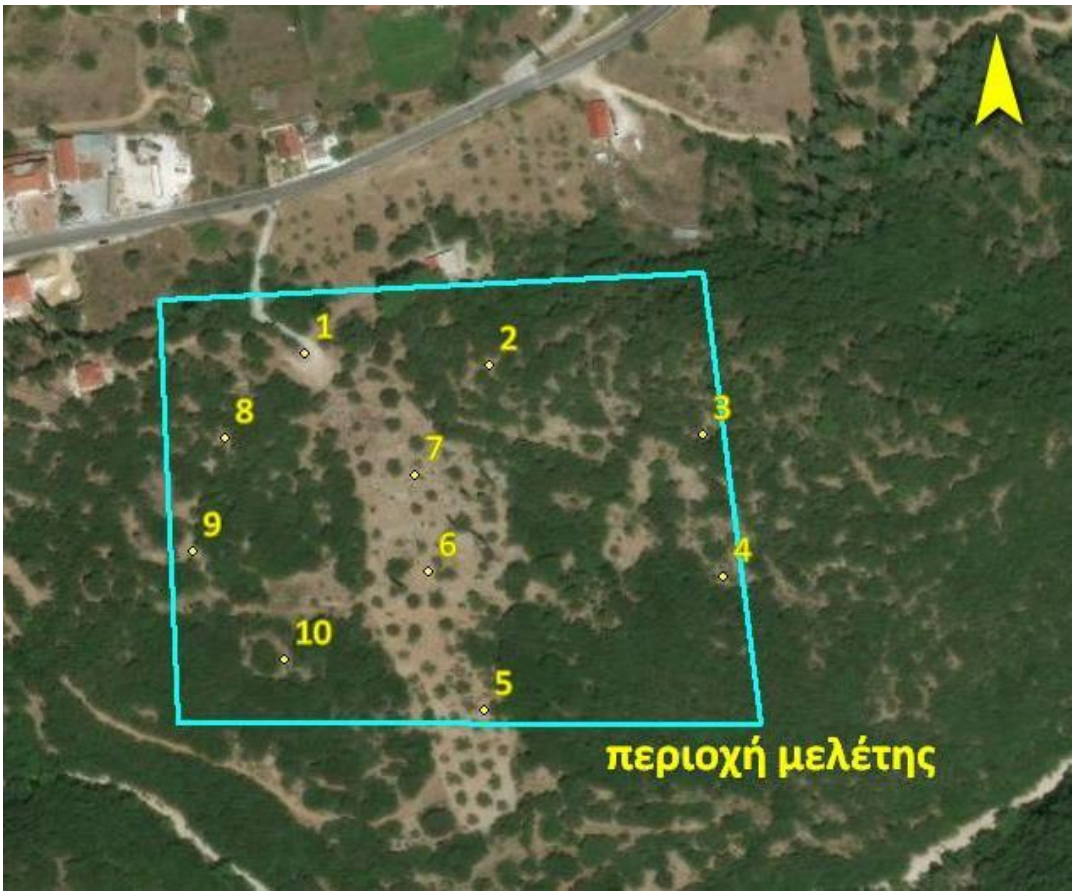
- Εμβαδόν περιοχής μελέτης: 44937 m^2.
- Συνολική απόσταση που θα διανύσει το UAV: 5.99 km
- Απόσταση μεταξύ των εικόνων: 11 m
- GSD: 1,51 cm
- Πλήθος εικόνων: 535
- Αριθμός διαδρομών: 26
- Μέγεθος εικόνας στο έδαφος: 82.5m x 55m
- Απόσταση μεταξύ των διαδρομών: 16.5 m
- Εκτιμώμενος χρόνος πτήσης: 24:57 min
- Λήψη εικόνας ανά: 2.20 seconds
- Διάμετρος στροφής: 7 m

- Ύψος εδάφους: 49-83 m
- Ελάχιστη ταχύτητα κλείστρου: 1/662

Μετά την αύξηση του ύψους πτήσης κατά 5μ μειώθηκε ο εκτιμώμενος χρόνος πτήσης στα 24:57 min που πλέον θεωρείται ικανοποιητικός. Παράλληλα αυξήθηκε το GSD κατά 0.14 cm, διαφορά που κρίνεται αμελητέα, μειώθηκε το πλήθος των εικόνων κατά εκατόν σαράντα (140) και τέλος μειώθηκε η ελάχιστη ταχύτητα κλείστρου.

4.3.3 Επιλογή σημείων ελέγχου εδάφους

Στην επιλογή των θέσεων των σημείων ελέγχου εδάφους, καθοριστικό ρόλο έπαιξε η κάλυψη των δένδρων στην περιοχή μελέτης. Επιλέχθηκε να τοποθετηθούν δέκα (10) σημεία ελέγχου. Η κατανομή των σημείων έγινε σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στην § 3.3.5, περιμετρικά και στο κέντρο της περιοχής μελέτης, για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας. Η επιλογή των θέσεων των σημείων έγινε, ώστε να είναι δυνατή η πρόσβαση σε αυτά και η καλύτερη ορατότητα από ψηλά (Εικόνα



63).

4.3.4 Εργασίες Υπαίθρου – Λήψη δεδομένων

Με την ολοκλήρωση του προγραμματισμού και του σχεδιασμού πτήσης, πριν την μετάβαση στην περιοχή μελέτης στο νησί της Κεφαλονιάς, είχε ολοκληρωθεί η αναγνώριση της περιοχής μελέτης, είχαν προσδιοριστεί οι θέσεις των σημείων ελέγχου εδάφους και οι προσωρινές συντεταγμένες τους είχαν φορτωθεί στο γεωδαιτικό δέκτη GNSS προκειμένου να εντοπιστούν επί του εδάφους. Στα πλαίσια αυτής της προετοιμασίας είχε εκπονηθεί προσωρινός χάρτης της περιοχής μελέτης με όλη την απαραίτητη πληροφορία για τις επί τόπου εργασίες υπαίθρου: πρόσβαση στην περιοχή, εντοπισμός του σημείου απογείωσης-προσγείωσης, θέσεις των σημείων ελέγχου εδάφους.

Όπως είχε αρχικά προγραμματιστεί στις 10 Ιουλ 2018, ημέρα Τρίτη, ομάδα αποτελούμενη από τον καθηγητή κ. Χαλκιά Χρήστο, τον βοηθό του, κ. Αριστομένη Καλογερόπουλο και τον συγγράφοντα, βρισκόταν στην περιοχή μελέτης. Εκεί βρισκόταν και ο προϊστάμενος της Εφορείας Αρχαιοτήτων Κεφαλονιάς κ. Γρηγορακάκης Γρηγόρης.

Μετά από περιήγηση στην ευρύτερη περιοχή με τον προϊστάμενο της Εφορείας Αρχαιοτήτων, εκδηλώθηκε εκ μέρους του ενδιαφέρον για τη δημιουργία υποβάθρου της ευρύτερης περιοχής του αρχαιολογικού χώρου, που θα περιελάμβανε την ανασκαφή του μυκηναϊκού οικιστικού κέντρου στη «Ρίζα» και την ανασκαφή του θολωτού τάφου στα Τζανάτα. Στα πλαίσια αγαστής συνεργασίας, αποφασίστηκε η επέκταση του ορίου της περιοχής μελέτης με τρόπο τέτοιο, ώστε να περιλαμβάνει τις θέσεις των ανασκαφών.

Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την τροποποίηση του σχεδιασμού της αρχικής πτήσης και την προσαρμογή των παραμέτρων της, στα νέα δεδομένα.

Για τον σχεδιασμό της πτήσης, επί τόπου της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Pix4DCapture της εταιρείας Pix4D, που παρέχεται δωρεάν για κινητά τηλέφωνα με λειτουργικό Android.

Λόγω της έκτασης της νέας περιοχής μελέτης, σε συνδυασμό με τον μέγιστο χρόνο πτήσης (περίπου 30 λεπτά) του UAV, δεν ήταν δυνατό να καλυφθεί η περιοχή στο σύνολο της με μία μόνο πτήση. Για το λόγω αυτό η συνολική περιοχή μελέτης, χωρίστηκε σε τέσσερις υπό περιοχές και προγραμματίστηκαν οι αντίστοιχες πτήσης.

Ο σχεδιασμός των πτήσεων αυτών, έγινε αφ' ενός φροντίζοντας να καλύπτουν την περιοχή μελέτης και εφ' ετέρου φροντίζοντας να υπάρχει μεταξύ τους ικανοποιητική επικάλυψη ώστε να είναι εφικτή η μετέπειτα επίλυση του μοντέλου στο σύνολό του.

Μέσω του λογισμικού Pix4Dcapture, έγιναν επί τόπου δοκιμές με διαφορετικά ύψη πτήσης, ώστε να καταστεί δυνατή η κάλυψη του συνόλου της περιοχής διατηρώντας, υψηλά ποσοστά επικάλυψης (80%), κατακόρυφη λήψη εικόνων (γωνία 88°), χαμηλή ταχύτητα πτήσης (5m/sec) και χρόνο πτήσης που δεν υπερβαίνει τα 25min.

Οι τελικοί παράμετροι πτήσης όπως επιλέχθηκαν παρατίθενται στην συνέχεια:

- Τύπος διαδρομής: διπλός κάναβος (Double Grid)
- Ύψος πτήσης: 110m
- Ταχύτητα πτήσης : 5m/sec
- Επικάλυψη εικόνων: 80%
- Γωνία Λήψης Εικόνων: 88°

Πριν την έναρξη των πτήσεων, κάνοντας χρήση του χάρτη που είχε εκπονηθεί για την αρχική περιοχή μελέτης εντοπίστηκαν οι νέες θέσεις για τα σημεία ελέγχου εδάφους και τα χαρακτηριστικά σημεία προς αποτύπωση. Συνολικά επιλέχθηκαν δέκα (10) νέα σημεία ελέγχου και πέντε (5) χαρακτηριστικά σημεία, λαμβάνοντας υπόψη τους ίδιους αρχικούς περιορισμούς δηλαδή, την

κάλυψη από δένδρα, την πρόσβαση στα σημεία των φωτοσταθερών και την ορατότητα από ψηλά, προσπαθώντας κατά το δυνατό, να τοποθετηθούν περιμετρικά της νέας περιοχής μελέτης.

Στην συνέχεια εντοπίστηκαν οι θέσεις των σημείων ελέγχου και των χαρακτηριστικών σημείων, επί του εδάφους, τοποθετήθηκαν οι στόχοι στις θέσεις των σημείων ελέγχου και αποτυπώθηκαν αμφότερες η θέση τους, με την χρήση του γεωδαιτικού δέκτη GNSS.

Εικόνα 64 Νέα περιοχή μελέτης με τα σημεία ελέγχου εδάφους

Οι πτήσεις διήρκησαν συνολικά, περίπου δύο ώρες, χρόνο στον οποίο συμπεριλαμβάνεται, η φόρτωση του νέου σχεδίου πτήσης, η αλλαγή της μπαταρίας και η διαδικασία απογείωσης-προσγείωσης. Με το πέρας των εργασιών και την ολοκλήρωση των πτήσεων είχαν ληφθεί 1448 εικόνες, ενώ είχαν τοποθετηθεί και αποτυπωθεί δέκα (10) σημεία ελέγχου εδάφους και πέντε (5) χαρακτηριστικά σημεία (Εικόνα 64).

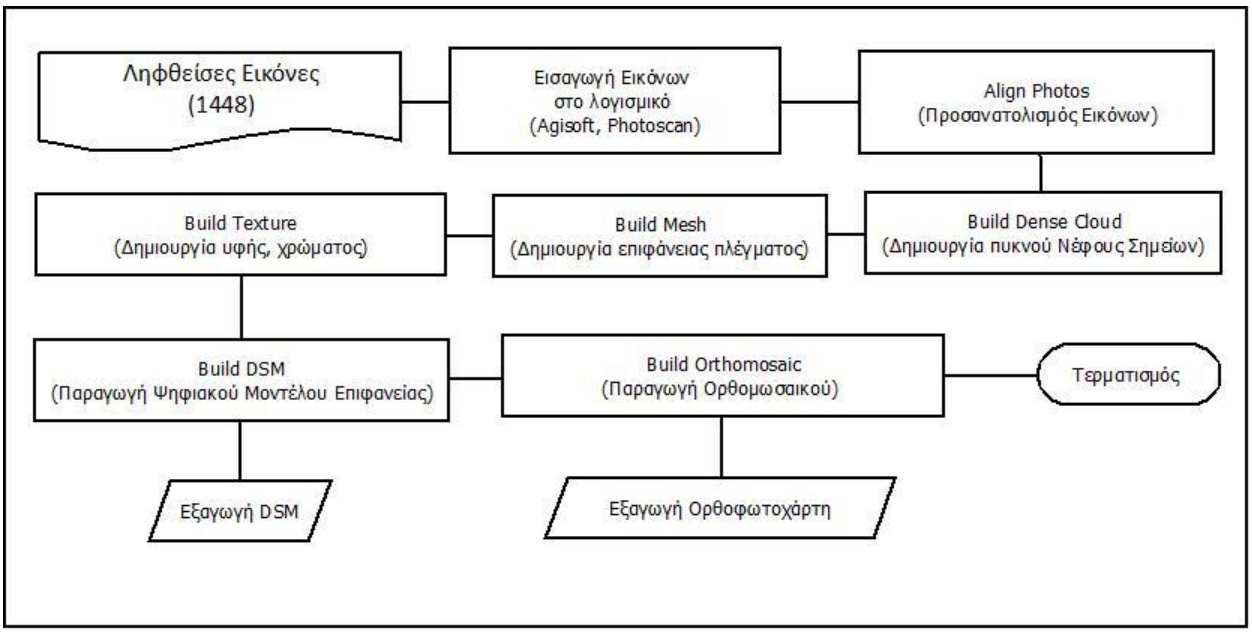
Το γεγονός της καλής προετοιμασίας στο προκαταρτικό στάδιο του προγραμματισμού πτήσης, που περιελάμβανε εκτός των άλλων και την αναγνώριση της περιοχής, βοήθησε την προσαρμογή στις νέες απαιτήσεις επί τόπου του έργου και την υλοποίηση με επιτυχία του αντικειμένου, που αποδεικνύει εν τοις πράγμασι, την σπουδαιότητα του προγραμματισμού πτήσης.

4.3.5 Εργασίες γραφείου-Επίλυση μοντέλου

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών υπαίθρου και τη λήψη των εικόνων, ακολούθησε η διαδικασία της μετά-επεξεργασίας τους. Πρώτο βήμα αυτής της διαδικασίας ήταν η εξαγωγή των εικόνων από την κάρτα μνήμης του UAV καθώς και η εξαγωγή των μετρήσεων από την κάρτα μνήμης του γεωδαιτικού δέκτη GNSS, με την παράλληλη εισαγωγή τους στον υπολογιστή[11] που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του μοντέλου.

[11] Ο υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε είναι 64μπιτος, με επεξεργαστή Intel i3 7^{ης} γενιάς, 16GB RAM, κάρτα γραφικών GTX-1060 6GB, δίσκο SSD 500GB και Windows 10.

Στην συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα ροής εργασιών και επιγραμματικά οι διαδικασίες μέχρι την παραγωγή του ορθοφωτοχάρτη και του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας στο λογισμικό Photoscan[12], της Agisoft (Εικόνα 66).



Εικόνα 66 Ροή εργασιών στο λογισμικό Agisoft, Photoscan

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής εργασιών, η διαδικασία επίλυσης του μοντέλου στο λογισμικό Photoscan, ξεκινάει με την εισαγωγή των εικόνων. Πριν από κάθε άλλη επεξεργασία έγινε εκτίμηση της ποιότητας των εικόνων, μέσω της εντολής «Estimate Image Quality» που παρέχει το λογισμικό, προκειμένου να αφαιρεθούν εκείνες που παρουσιάζουν χαμηλή ποιότητα[13]. Από τον συγκεκριμένο έλεγχο δεν εντοπίστηκαν εικόνες με χαμηλή ποιότητα και έτσι συμμετείχαν στον σύνολό τους (1448), στην επίλυση του μοντέλου.

Στην συνέχεια παρατίθενται τα βήματα που έγιναν για την επίλυση του μοντέλου μέχρι την παραγωγή του ορθοφωτοχάρτη και του ψηφιακού μοντέλου εδάφους :

- Η Διαδικασία προσανατολισμού των εικόνων (Align Photos), αποτελεί μια δέσμη διαδικασιών που περιλαμβάνουν τον Εσωτερικό , Εξωτερικό προσανατολισμό, και τον αεροτριγωνισμό (Σχετικός προσανατολισμός), κατά την οποία γίνεται η βαθμονόμηση της κάμερας και ο υπολογισμός των σημείων στον χώρο.
- Σε περιπτώσεις όπως της παρούσας εργασίας, όπου ζητούμενο είναι η παραγωγή υψηλής ακρίβειας, ορθοφωτοχάρτη και ψηφιακού μοντέλου επιφανείας, μετά τον προσανατολισμό των εικόνων, εισάγονται τα σημεία ελέγχου εδάφους με τις συντεταγμένες τους και αναγνωρίζονται στις ληφθείσες εικόνες (Απόλυτος προσανατολισμός).
- Ακολουθεί η διαδικασία δημιουργίας πυκνού νέφους σημείων (Dense Cloud), πιθανόν και η πιο χρονοβόρα από όλες, στην οποία με χρήση της μεθόδου MVS υπολογίζεται ο χάρτης βάθους.

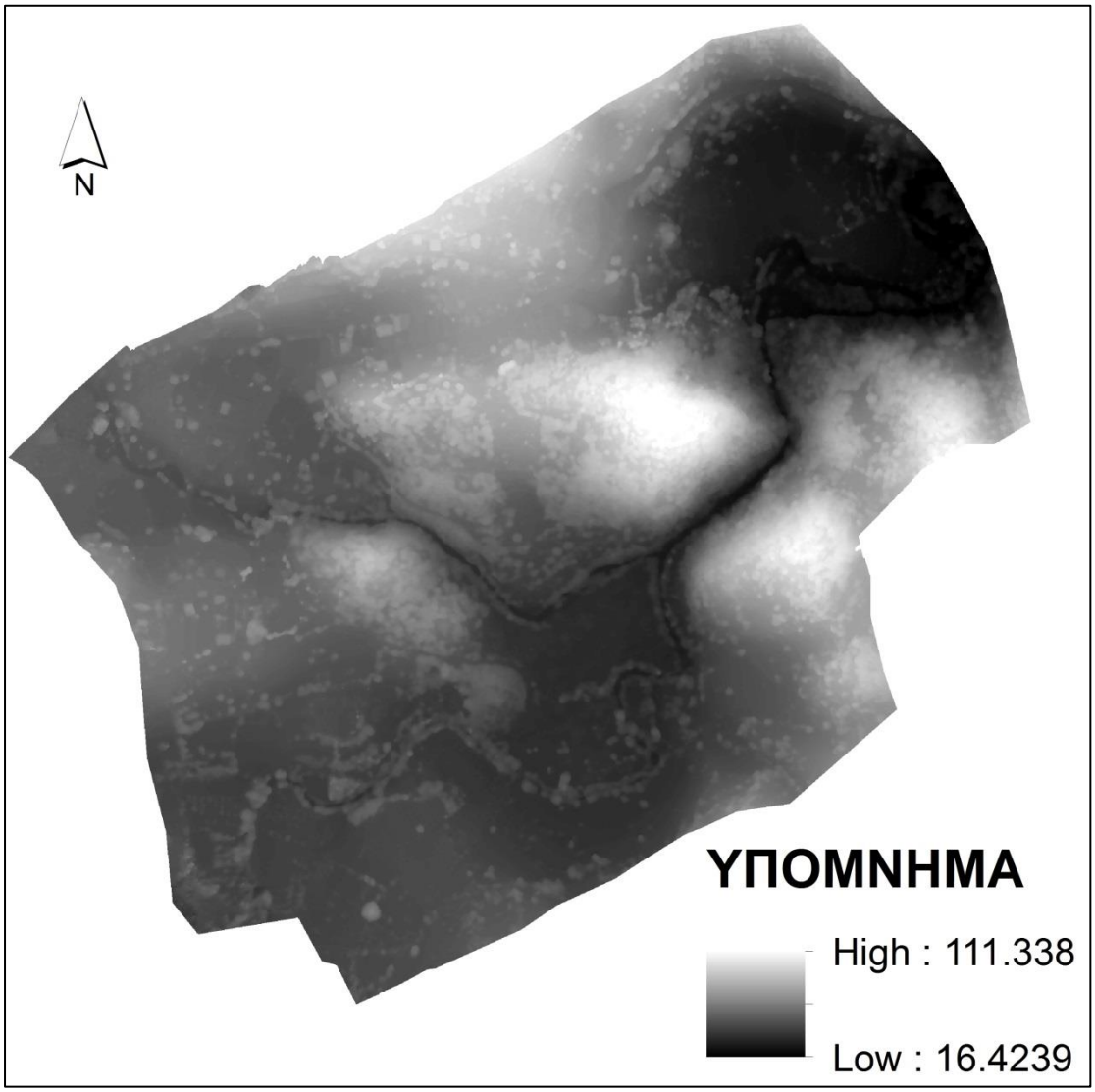
[12] Όπως φαίνεται από το διάγραμμα ροής εργασιών, το λογισμικό ακολουθεί μια γραμμική διαδικασία στην επίλυση του μοντέλου για την παραγωγή του τελικού προϊόντος.

[13] Οι τιμές του ελέγχου κυμαίνονται από 0 έως 1, με τις εικόνες που η τιμή τους πλησιάζει το 0 να παρουσιάζουν χαμηλή ποιότητα.

Εικόνα 65 Ροή εργασιών στο λογισμικό Agisoft, Photoscan

- Στην συνέχεια ακολουθούν οι διαδικασίες: της δημιουργίας επιφανείας πλέγματος (Mesh) και της δημιουργίας υφής - χρώματος της επιφανείας πλέγματος από τις εικόνες (Texture).
- Επόμενη διαδικασία είναι αυτή της δημιουργίας του μοντέλου επιφανείας (DSM), διαδικασία απαραίτητη για τη δημιουργία του τελικού προϊόντος, του ορθοφωτοχάρτη (Orthomosaic) που αποτελεί και το τελικό στάδιο της επίλυσης.

Αφού ολοκληρωθούν στο σύνολό τους οι διαδικασίες, είναι δυνατή η δημιουργία αναφοράς (Report)[14] με τα χαρακτηριστικά και τις επιτευχθείσες ακρίβειες καθώς και η εξαγωγή τόσο του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας (DSM) (Εικόνα 67), όσο και του ορθοφωτοχάρτη (Orthomosaic) που δημιουργήθηκαν. Ο τελικός χάρτης που εκπονήθηκε για την περιοχή μελέτης είναι συνημμένος στο Παράρτημα (Παράρτημα ΙΙΙ).



Εικόνα 67 Τελικώς παραγόμενο μοντέλο επιφανείας εδάφους

Από την αναφορά επίλυσης, για το συγκεκριμένο μοντέλο προκύπτουν τα εξής:

[14] Η πλήρης αναφορά (Report) παρατίθεται στο Παράρτημα της παρούσας εργασίας.

- Χρησιμοποιήθηκαν στο σύνολό τους οι εικόνες. (1,448)
- Αριθμός ομόλογων σημείων 942,910
- Σημεία νέφους 4,206,741
- Το μέσο σφάλμα θέσης της κάμερας ήταν:
    - Οριζοντιογραφικά 5,78 m
    - Υψομετρικά 16,86 m
- Το συνολικό σφάλμα των σημείων ελέγχου εδάφους ήταν: 10.56 cm
- Το σφάλμα στα ΧΥ ήταν: 7,59 cm
- Το σφάλμα στο Z ήταν: 7,33 cm
- Η ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας ήταν: 58,40 cm

Αναφορικά με τους χρόνους που απαιτήθηκαν για την επίλυση του μοντέλου:

- Για τον Προσανατολισμό των Εικόνων
    - Matching time: 2hrs 13min
    - Alignment time: 20min 39sec
- Χρόνος δημιουργίας Χάρτη Βάθους: 5hrs 37min
- Χρόνος δημιουργίας πυκνού νέφους: 2hrs 51min
- Χρόνος δημιουργίας υφής και χρώματος: 3hrs 52min

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατανομή του χρόνου των εργασιών μέχρι την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Πιο συγκεκριμένα για τις εργασίες πεδίου δαπανήθηκαν συνολικά τρείς (3) ώρες, δαπανώντας περί την μία (1) ώρα για την τοποθέτηση και αποτύπωση των σημείων ελέγχου εδάφους και περί τις δύο (2) ώρες για την λήψη των εικόνων. Για τις εργασίες γραφείου, χωρίς να υπολογίζεται ο χρόνος εκφόρτωσης των δεδομένων και την πιθανή επεξεργασία των μετρήσεων του δέκτη GNSS, δαπανήθηκαν για την επίλυση του μοντέλου στο σύνολό του, περίπου δεκαπέντε (15) ώρες, χρόνος δηλαδή πενταπλάσιος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αποτελέσματα

Ξεκινώντας από τα σημεία ελέγχου εδάφους, θα πρέπει να επισημανθεί ότι, η αλλαγή του ύψους πτήσης, από τα 55μ που αρχικά είχε προγραμματιστεί στα 110μ που τελικώς υλοποιήθηκε, είχε ως αποτέλεσμα τα σημεία ελέγχου λόγω μεγέθους, να μην είναι ευκρινώς ορατά κατά την αναγνώρισή τους στις εικόνες κατά το στάδιο του απόλυτου προσανατολισμού της επίλυσης. Πλέον αυτού δεδομένης της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης, περίπου 1060 στρέμματα, ο αριθμός των σημείων ελέγχου εδάφους που τοποθετήθηκαν, δέκα (10) τον αριθμό, ήταν περιορισμένος.

Από τον πίνακα σφαλμάτων των σημείων ελέγχου (Πίνακας 12), τα σημεία που παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις είναι τα σημεία «6» και «13». Το σημείο «6» είναι χαρακτηριστικό σημείο που αποτυπώθηκε, ενώ το σημείο «13» είναι στόχος. Γενικότερα φαίνεται ότι οι μεγαλύτερες αποκλίσεις εντοπίζονται κατά την διεύθυνση του άξονα Y, χωρίς όμως να παρουσιάζεται ομοιόμορφη μετατόπιση προς βορά ή νότο. Λόγω του αριθμού σημείων ελέγχου και παρά τις όποιες αποκλίσεις, χρησιμοποιήθηκαν όλα τα σημεία ελέγχου, περιλαμβανομένων και των σημείων 6 & 13 στην διαδικασία της επίλυσης.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
point 1	-1.55274	0.42394	-4.18406	4.48297	0.171 (28)
point 2	-0.71646	0.222987	-0.888072	1.16263	0.090 (38)
point 3	3.60362	4.97015	5.07997	7.96835	0.081 (57)

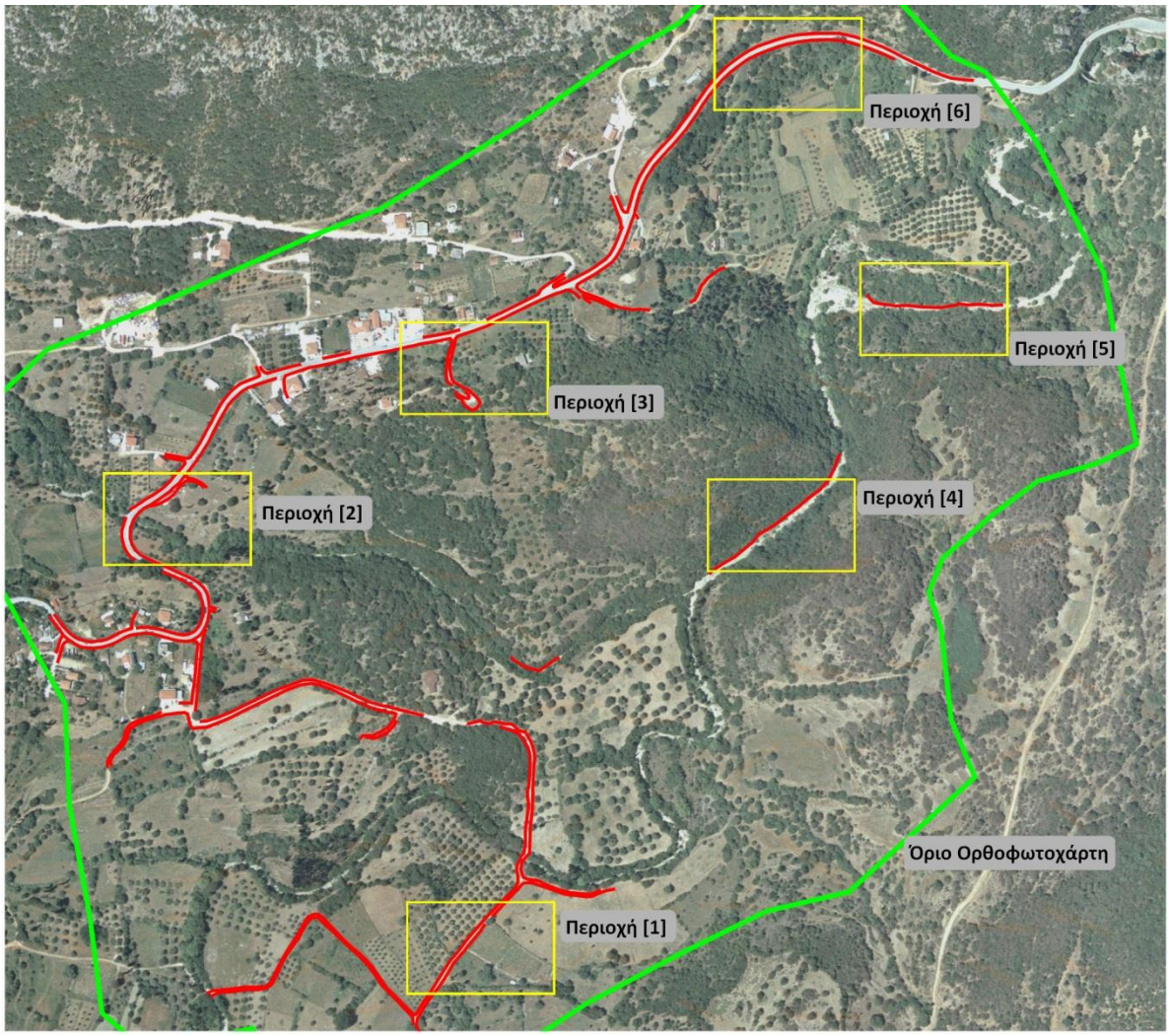
point 4	8.56175	6.5237	2.93762	11.1576	0.253 (36)
point 6	10.0202	11.1881	-3.44264	15.4087	0.798 (36)
point 9	-2.54448	5.5741	-1.67851	6.35314	0.125 (38)
point 12	1.38823	1.26839	-2.18831	2.88526	0.058 (65)
point 13	1.93061	-11.1545	21.0418	23.8937	0.147 (29)
point 14	-1.75947	4.63197	2.99983	5.79223	0.073 (50)
point 15	-0.637277	0.435738	-3.81312	3.89049	0.067 (61)
Total	4.53044	6.09435	7.33814	10.56	0.256

Πίνακας 12 Σημεία ελέγχου εδάφους

Προκειμένου για τον έλεγχο της ακρίβειας των τελικώς παραγόμενων προϊόντων (ορθοφωτοχάρτη και ψηφιακό μοντέλο επιφανείας), ελλείψει υποβάθρου ακριβείας τοπογραφικής αποτύπωσης, χρησιμοποιήθηκε για τον οριζοντιογραφικό έλεγχο ο ορθοφωτοχάρτης που παρέχει η ΕΚΧΑ λήψης 2007-2009, με ακρίβεια 0,50μ και για τον υψομετρικό έλεγχο ανοικτά δεδομένα από τα οποία δημιουργήθηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους ακρίβειας ομοίως 0,50μ.

Δεδομένης της οριζοντιογραφικής ακρίβειας του ορθοφωτοχάρτη της ΕΚΧΑ (0,50μ), που χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο στον έλεγχο, ψηφιοποιήθηκαν ίχνη οδών σε διάφορα σημεία του ορθοφωτοχάρτη, ενώ δεν ψηφιοποιήθηκαν μάνδρες ή άλλες κατασκευές αφού δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν λόγω κλίμακας. Ο οριζοντιογραφικός έλεγχος του ορθοφωτοχάρτη, πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Autocad.

Στην συνέχεια παρατίθεται χάρτης στον οποίο απεικονίζονται οι περιοχές που διενεργήθηκε ο οριζοντιογραφικός έλεγχος και αποσπάσματα των περιοχών ελέγχου σε κατάλληλη κλίμακα. (Εικόνα 68 & Εικόνες 69~74).



Εικόνα 68 Περιοχές οριζοντιογραφικού ελέγχου

Εικόνα 69 Περιοχή οριζοντιογραφικού ελέγχου με χαρακτηριστικό [1]

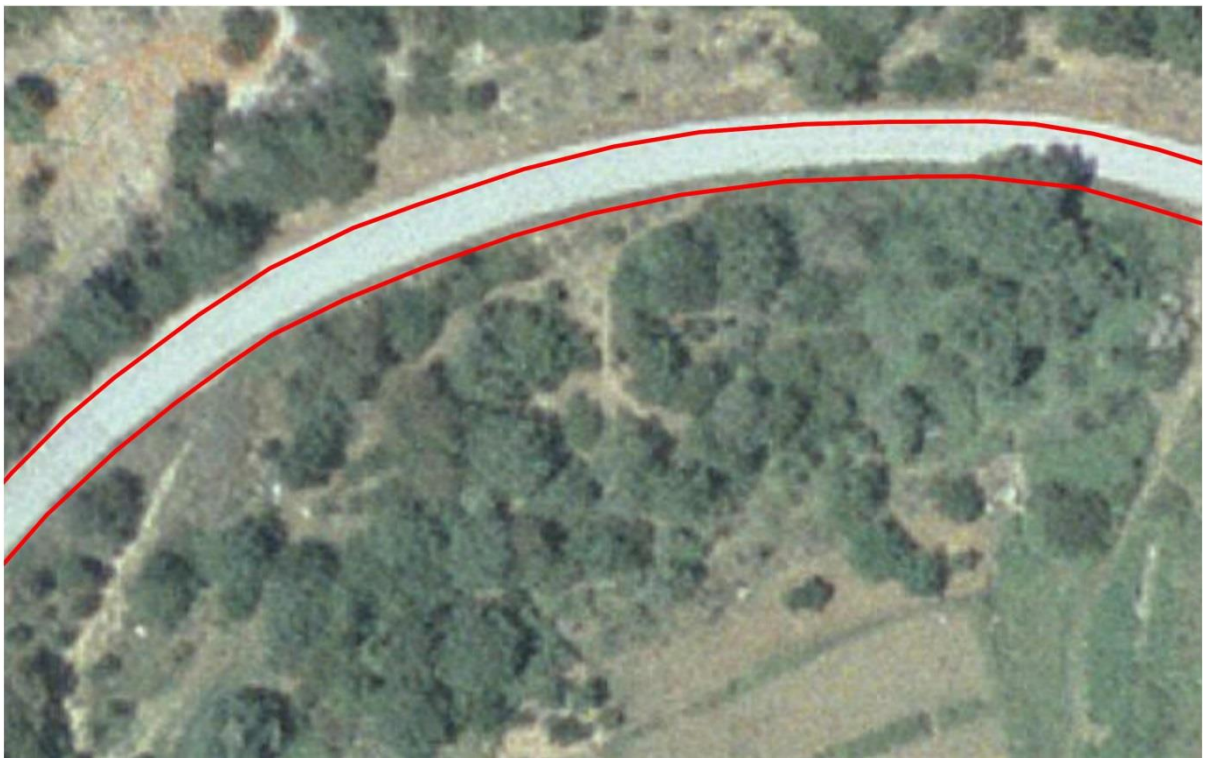
.

Εικόνα 70 Περιοχή οριζοντιογραφικού ελέγχου με χαρακτηριστικό [2]

Εικόνα 71 Περιοχή οριζοντιογραφικού ελέγχου με χαρακτηριστικό [3]

Εικόνα 72 Περιοχή οριζοντιογραφικού ελέγχου με χαρακτηριστικό [4]

Εικόνα 73 Περιοχή οριζοντιογραφικού ελέγχου με χαρακτηριστικό [5]



Εικόνα 74 Περιοχή οριζοντιογραφικού ελέγχου με χαρακτηριστικό [6]

Από τα αποσπάσματα των περιοχών του οριζοντιογραφικού ελέγχου, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν αυτά των περιοχών [2],[3],[6]. Στις υπόλοιπες περιοχές από μακροσκοπικό έλεγχο και λόγω της ακρίβειας του υποβάθρου, δεν εντοπίζονται αξιοσημείωτες αποκλίσεις, δεδομένου ότι οι ψηφιοποιημένες γραμμές αποδίδουν οριογραμμές χωματόδρομων, σε συνδυασμό με την διαφορά των 11 χρόνων που μεσολαβεί μεταξύ των λήψεων, οι όποιες αποκλίσεις δεν αποτελούν σαφή ένδειξη έλλειψης της ακρίβειας.

Στην περιοχή ελέγχου [2] (Εικόνα 71), ενώ σε γενικές γραμμές η ψηφιοποίηση δεν παρουσιάζει διαφοροποιήσεις με το υπόβαθρο, στο νότιο τμήμα παρατηρείται απόκλιση της τάξεις του 1.25μ

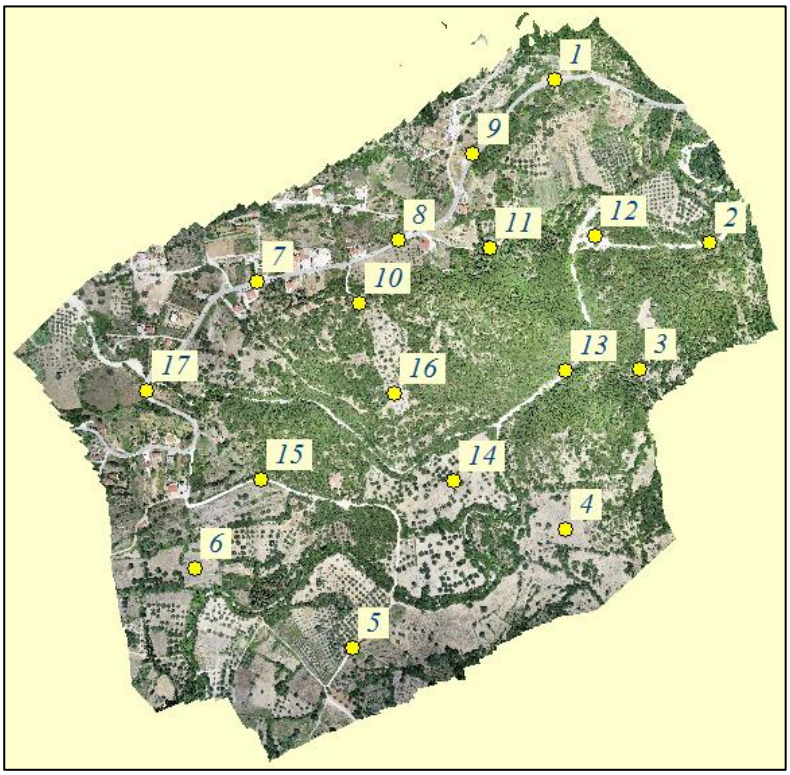
Στην περιοχή ελέγχου [3] (Εικόνα 72), παρατηρείται διαφοροποίηση του ψηφιοποιημένου ίχνους, του δρόμου πρόσβασης προς την περιοχή μελέτης με αυτό του υποβάθρου. Επιπλέον δεν εμφανίζεται η διαμόρφωση του χώρου όπως υφίσταται σήμερα, γεγονός που δικαιολογείται, εάν ληφθεί υπόψη ότι ο χρόνος λήψης του υποβάθρου τοποθετείται μεταξύ 2007 και 2009 και οι εργασίες ανασκαφών ξεκίνησαν το 2011.

Τέλος στην περιοχή ελέγχου [6] (Εικόνα 75], παρατηρείται απόκλιση του ίχνους του ψηφιοποιημένου δρόμου, στο βόρειο τμήμα της οδού της τάξης του 1,50μ.

Γενικά οι αποκλίσεις εμφανίζονται στα άκρα του παραγόμενου ορθοφωτοχάρτη και κατά την διεύθυνση του άξονα Y.

Αντίστοιχα, ο υψομετρικός έλεγχος, έγινε σε σημεία του παραγόμενου ψηφιακού μοντέλου επιφανείας, στα οποία δεν καλύπτονταν από βλάστηση ή κάποιου είδους κατασκευή, δεδομένου ότι ο έλεγχος έγινε σε αντιπαραβολή με ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

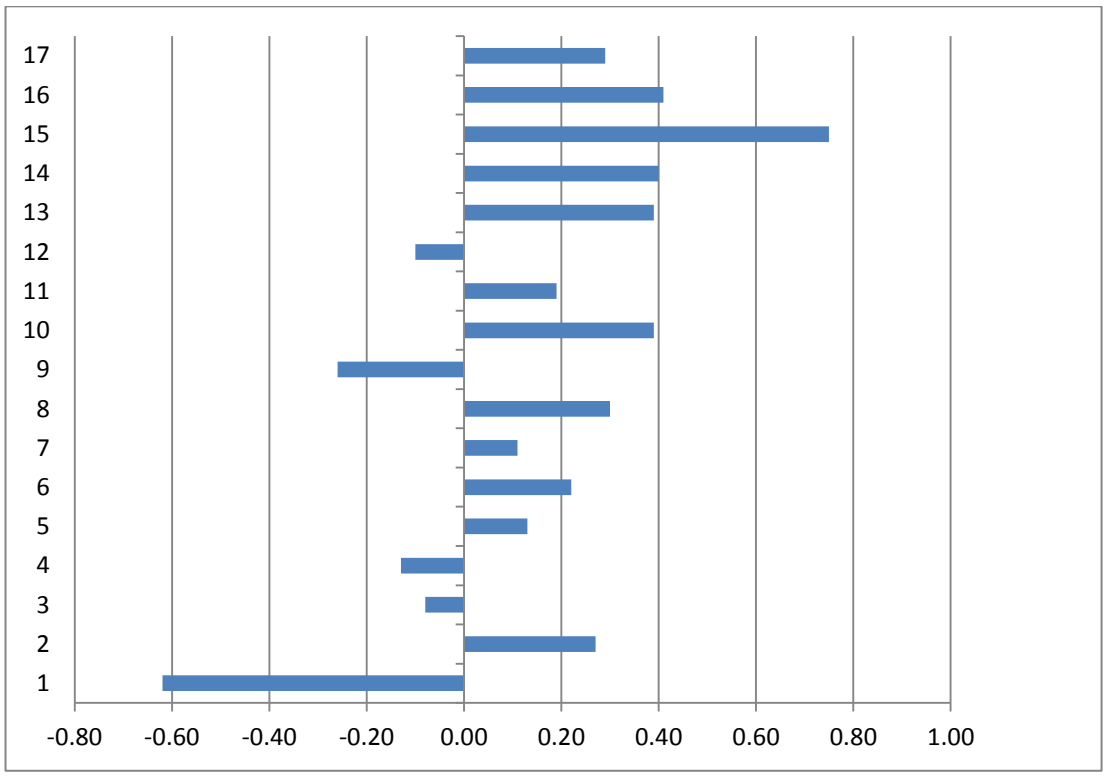
Στην συνέχεια παρατίθεται χάρτης με τα σημεία στα οποία έγινε ο υψομετρικός έλεγχος και πίνακας με τις αντίστοιχες μετρήσεις (Εικόνα 75 & Πίνακες 13,14).



Εικόνα 75 Θέσεις σημείων υψομετρικού ελέγχου

Α/Α Σημείου	Υψόμετρο Μοντέλου	Υψόμετρου Υποβάθρου	Διαφορές
1	49.70	50.32	-0.62
2	21.16	20.89	0.27
3	69.58	69.66	-0.08
4	45.74	45.87	-0.13
5	42.85	42.72	0.13
6	41.76	41.54	0.22
7	55.13	55.02	0.11
8	67.58	67.28	0.30
9	55.78	56.04	-0.26
10	75.88	75.49	0.39
11	40.58	41.03	0.19
12	23.98	24.08	-0.10
13	26.62	26.23	0.39
14	33.92	33.52	0.40
15	51.09	50.34	0.75
16	45.42	45.01	0.41
17	47.52	47.23	0.29

Πίνακας 13 Υψομετρικός έλεγχος σημείων



Πίνακας 14 Γράφημα διαφορών των υψομετρικών σημείων ελέγχου

Από τον στοιχεία του πίνακα 13 & 14, προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις που αφορούν τον υψομετρικό έλεγχο του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας:

Το σημείο [1] που παρουσιάζει την μεγαλύτερη αρνητική υψομετρική διαφορά, βρίσκεται στην άκρη, βόρεια του κέντρου του μοντέλου, πλησίον υψώματος.

Το σημείο [15] που παρουσιάζει την μεγαλύτερη θετική υψομετρική διαφορά, βρίσκεται δυτικά του κέντρου του μοντέλου, ομοίως κοντά σε ύψωμα.

Τα σημεία [4], [5], [7], [11], παρουσιάζουν τις μικρότερες υψομετρικές διαφορές και βρίσκονται σε «πεδινά» σημεία με ήπιες κλίσεις γύρω τους.

Από τα δεκαεπτά (17) σημεία υψομετρικού ελέγχου τα δώδεκα (12), ποσοστό 70% των σημείων, εμφανίζονται με υψόμετρα, υψηλότερα από αυτά του υποβάθρου.

Όσο αφορά τον υψομετρικό έλεγχο, μπορεί να γίνουν δύο βασικές παρατηρήσεις, πρώτον ότι το παραγόμενο ψηφιακό μοντέλου επιφανείας δείχνει να είναι ψηλότερα από το ψηφιακό μοντέλου εδάφους κατά μέσο όρο 0,32μ και δεύτερον ότι η έλλειψη σημείων ελέγχου εδάφους στα πεδινά τμήματα του μοντέλου που ανήκουν τα σημεία [4], [5], [6], δεν φαίνεται να επηρεάζει την ακρίβεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συζήτηση

Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε μια παρουσίαση της τεχνολογίας των ΣμηΕΑ, μέσα από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας, δίνοντας έμφαση στον προγραμματισμό – σχεδιασμό πτήσης και στους παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια των παραγομένων προϊόντων. Η εξέλιξη των τεχνολογιών που συνθέτουν και πλαισιώνουν τα ΣμηΕΑ είναι εμφανής: στο σχεδιασμό, την πλοήγηση, τους αισθητήρες και τέλος στα προγράμματα επεξεργασίας δεδομένων που βασίζονται στην εξέλιξη των μεθόδων υπολογιστικής όρασης (SFM, MVS).

Παρά το σχετικά πρόσφατο ρυθμιστικό πλαίσιο, η χρήση της τεχνολογίας των ΣμηΕΑ για την συλλογή δεδομένων και την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων απεικόνισης και ορθοφωτοχαρτών είναι σήμερα αρκετά διαδεδομένη και αναμένεται να ενταθεί στο άμεσο μέλλον. Καθοριστικό παράγοντα έχει διαδραματίσει, αυτή η εξέλιξη της τεχνολογίας, που σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος απόκτησης, επιτρέπει την πρόσβαση στα ΣμηΕΑ, ενός ετερόκλητου κοινού.

Ακριβώς αυτή η ζήτηση έχει δημιουργήσει μια νέα συνεχώς αυξανόμενη αγορά, που ενώ έχει ως βάση της, τις επιστήμες της φωτογραμμετρίας και της τηλεπισκόπησης, έχει αναπτυχθεί σε τέτοιο επίπεδο αυτοματισμού ώστε να εξυπηρετεί κοινό, με περιορισμένη ή και καθόλου εξειδίκευση πάνω στο αντικείμενο. Πολλές είναι οι εφαρμογές, εμπορικές και μη, που παρέχουν εργαλεία για τον σχεδιασμό πτήσεων και πλοήγηση των ΣμηΕΑ, παράγοντας αυτόματα πληροφορίες, για τα χαρακτηριστικά των πτήσεων και τις εκτιμώμενες ακρίβειες. Η πλειοψηφία των λογισμικών επίλυσης, έχουν υιοθετήσει μια γραμμική διαδικασία επίλυσης, τις περισσότερες φορές μη παραμετροποιήσιμη, προκειμένου να παράξουν προϊόντα κάνοντας χρήση δεδομένων που προέρχονται από ΣμηΕΑ που φέρουν στις περισσότερες περιπτώσεις, μη μετρικές κάμερες.

Αυτό το επίπεδο αυτοματοποίησης, σε συνδυασμό με την εξέλιξη των αλγόριθμων των μεθόδων που χρησιμοποιούνται, είναι που παράγει αποτελέσματα με ικανοποιητική, αλλά σχετική ακρίβεια.

Για να αξιοποιηθεί η τεχνολογία των συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ), στην συλλογή γεωγραφικών δεδομένων και την παραγωγή προϊόντων υψηλής ακρίβειας, απαιτείται η κατανόηση των παραγόντων που την επηρεάζουν, καθώς και η εφαρμογή διαδικασιών που εξασφαλίζουν την παραγωγή ποιοτικών αποτελεσμάτων. Όπως παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας, είναι κρίσιμο πριν ακόμα την διενέργεια της πτήσης να προηγηθεί ο προγραμματισμός της (§ 4.3.1). Είναι δηλαδή αναγκαίο να γίνει αναγνώριση της περιοχής μελέτης και

να συλλεχθούν στοιχεία όπως ήδη έχουν αναφερθεί (π.χ. στοιχεία για το ανάγλυφο και τα μέγιστα ύψη της περιοχής, την ύπαρξη εμποδίων-κατασκευών κ.λπ), όπως είναι αναγκαίο να υπάρχει ενημέρωση για τις επικρατούσες συνθήκες. Πέραν όμως αυτών, ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας, για την επίτευξη προϊόντων υψηλής ακρίβειας, να είναι η ορθή χρήση σημείων ελέγχου εδάφους (φωτοσταθερών). Η διαδικασία που αφορά τα σημεία ελέγχου εδάφους, πρέπει να εντάσσεται στο στάδιο του προγραμματισμού, όπου θα γίνεται η επιλογή της θέσης των σημείων ελέγχου εδάφους, με στρατηγική ομοιόμορφη τοποθέτηση τόσο στην περιφέρεια της περιοχής μελέτης όσο και στο κέντρο της (§3.3.5).

Στην συνέχεια όλα τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί αξιοποιούνται στο στάδιο του σχεδιασμού πτήσης, όπου θα πρέπει αφού συνυπολογιστούν όλες οι παράμετροι να καθοριστούν τα βέλτιστα χαρακτηριστικά της σχεδιαζόμενης πτήσης. Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι κάθε εφαρμογή θα πρέπει να αντιμετωπίζεται διαφορετικά, αφού οι απαιτήσεις σε ακρίβειες της εφαρμογής, καθώς και τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τα ίδια τα χαρακτηριστικά της πτήσης.

Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- η κατανομή των σημείων ελέγχου εδάφους, η αριθμητική τους επάρκεια και οι διαστάσεις τους οι οποίες σχετίζονται άμεσα με το ύψος πτήσης (§3.3.5).
- η διαμόρφωση του αναγλύφου της περιοχής ενδιαφέροντος που σε έναν βαθμό καθορίζει το ύψος πτήσης και την επικάλυψη, ενώ καθορίζει το σημείο απογείωσης – προσγείωσης (§3.3.4, παρ. (γ)).
- Οι επικρατούσες συνθήκες που επηρεάζουν την ταχύτητα πτήσης και τις ρυθμίσεις της κάμερας (§3.3.1).
- Το ποσοστό επικάλυψης των εικόνων (§3.3.4, παρ (ε)), που θα πρέπει να είναι όσο ακριβώς χρειάζεται ώστε να είναι δυνατή η επίλυση του μπλόκ. Η επιλογή ενός μεγάλου ποσοστού επικάλυψης a-priori έχει ως, άμεση επίπτωση την αύξηση του χρόνου λήψης και του μεγάλου αριθμού εικόνων, ενώ η έμμεση επίπτωση αφορά την διαχείριση των εικόνων και ο μεγάλος χρόνος που απαιτεί για την επίλυση του μπλόκ.
- Το ύψος της πτήσης (§3.3.4, παρ. (γ)), που καθορίζει το GSD, το ποσοστό επικάλυψης των εικόνων και το μέγεθος των σημείων ελέγχου εδάφους.
- Το είδος της διαδρομής (§ 3.3.4, παρ. (α)) που επηρεάζει σε συνδυασμό με την έκταση της περιοχής μελέτης τον χρόνο πτήσης.
- Η ταχύτητα πτήσης (§3.3.4, παρ. (β)), που επηρεάζει την ποιότητα των εικόνων, την θέση λήψης, και υπό συνθήκες τον χρόνο πτήσης.
- Τέλος η διάρκεια της πτήσης, που εξαρτάται από τις προδιαγραφές του UAV και επηρεάζει σχεδόν το σύνολο των παραμέτρων (§4.3.2, σελ. 87).

Έτσι είναι φανερό, ότι η επίτευξη ενός τελικού προϊόντος υψηλής ακρίβειας είναι αποτέλεσμα μιας σύνθετης διαδικασίας, που σίγουρα δεν πρέπει να αυτοματοποιείται πλήρως, αλλά να παραμετροποιείται κατάλληλα.

Όσον αφορά τις διαδικασίες για την παραγωγή του ορθοφωτοχάρτη και του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας στην δεύτερη ενότητα της παρούσας εργασίας, (η οποία, αφορά την μελέτη του αρχαιολογικού χώρου στον Πόρο, Κεφαλονιάς), μπορεί καταρχήν να γίνει μια γενική παρατήρηση που ενισχύει τα όσα έχουν ήδη αναφερθεί. Το γεγονός ότι είχε προηγηθεί ο προγραμματισμός-σχεδιασμός της πτήσης, υπήρξε ο καθοριστικός παράγοντας ώστε τελικά να επιτευχθούν ικανοποιητικές ακρίβειες. Η συλλογή δεδομένων, η αναγνώριση της περιοχής μελέτης και η εκπόνηση προσωρινού χάρτη, παρείχε την δυνατότητα αναγνώρισης τόσο της νέας θέσης των σημείων ελέγχου εδάφους, όσο και των πληροφοριών για το ανάγλυφο και τα μέγιστα υψόμετρα της περιοχής καθώς και για την ύπαρξη εμποδίων. Το γεγονός, ότι ο αρχικός σχεδιασμός αφορούσε περιοχή μελέτης εκτάσεως 45

στρεμμάτων, ενώ η τελική υλοποίηση έγινε για περιοχή μελέτης με έκταση 1000 στρεμμάτων, φανερώνει και την σπουδαιότητα της προετοιμασίας.

Καθώς η προετοιμασία πτήσης είχε γίνει για αρκετά μικρότερη έκταση υπήρχε σχετικά περιορισμένος αριθμός διαθέσιμων σημείων ελέγχου εδάφους, στην περιοχής μελέτης. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε να τοποθετηθούν τα διαθέσιμα σημεία ελέγχου εδάφους, γύρω από την περιοχή που παρουσίαζε το πιο έντονο ανάγλυφο (λόφοι), αφήνοντας «ακάλυπτα» από φωτοσταθερά τα πεδινά σημεία και τα σημεία με έντονη βλάστηση. Επίσης το μέγεθος των σημείων ελέγχου εδάφους που υλοποιήθηκε (20cm x 20cm), είχε υπολογισθεί να είναι ορατό από μικρότερο ύψος πτήσης (55μ), έχοντας ως αποτέλεσμα να μην είναι εντελώς ευδιάκριτα στις εικόνες, αφού το τελικό ύψος πτήσης που υλοποιήθηκε ήταν 110μ στο σημείο απογείωσης και περίπου 165μ στα πεδινά τμήματα.

Επίσης δεδομένου ότι ο έλεγχος του παραγόμενου ορθοφωτοχάρτη και του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας, που πραγματοποιήθηκε, έγινε με δεδομένα που έχουν ακρίβεια μικρότερη αυτής των προϊόντων που παράχθηκαν, θα ήταν δόκιμο να ελεγχθούν εκ νέου τα παραγόμενα προϊόντα με υπόβαθρο τοπογραφικής ακρίβειας, προκειμένου να εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Θα πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι λαμβάνοντας υπόψη τον χρόνο και το κόστος παραγωγής του ορθοφωτοχάρτη και του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας που παρήχθησαν, και τους αντίστοιχους χρόνους και κόστος, που απαιτούνται για την παραγωγή ενός υποβάθρου τοπογραφικής ακρίβειας για έκταση 1000 στρεμμάτων, η επιτευχθείσα ακρίβεια συναρτήσει χρόνου-κόστους, κρίνεται «υψηλή» και επαρκής.

Τέλος όσον αφορά τις προτάσεις για τη μελλοντική βελτίωση, στη χρήση της τεχνολογίας των ΣμηΕΑ, για την συλλογή γεωγραφικών δεδομένων, αυτές σχετίζονται με τα παρακάτω:

- Τον καλύτερο προσδιορισμό της θέσης και του υψομέτρου λήψης κάθε εικόνας, με την χρήση ενσωματωμένου δέκτη GNSS διπλής συχνότητας.
- Την βελτίωση στους χρόνους πτήσης των ΣμηΕΑ.
- Την μικρότερη επικάλυψη μεταξύ των εικόνων με την χρήση πιο εξελιγμένων αλγόριθμων των μεθόδων SFM, MVS.
- Τον τρόπο πτήσης των ΣμηΕΑ, ενσωματώνοντας τεχνολογίες που θα παρείχαν την δυνατότητα πτήσης σε μεταβλητό ύψος ώστε να παρακολουθεί η πτήση το ανάγλυφο της περιοχής.
- Τον εξοπλισμό των ΣμηΕΑ με διάταξη καμερών προκειμένου να λαμβάνονται ταυτόχρονα εικόνες με διαφορετικές γωνίες λήψεις (vertical & oblique), για την παραγωγή μεγαλύτερης ακρίβειας τρισδιάστατων απεικονίσεων και ορθοφωτοχαρτών.

Συμπερασματικά η χρήση των τεχνολογιών ΣμηΕΑ στην χαρτογράφηση και την τρισδιάστατη απεικόνιση αποτελεί σήμερα τεχνολογία αιχμής, η οποία παρέχει ποιοτικά αποτελέσματα (σχετικά γρήγορα και με χαμηλό κόστος) και η οποία έχει σαφή περιθώρια εξέλιξης στο άμεσο μέλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aecscene (2017) *3DR new Site Scan updates for drone data capture - January 13, 2017 | AEC Scene*. Available at: https://aecscene.com/2017/01/3dr-new-site-scan-updates-drone-data-capture-january-13-2017/ (Accessed: 27 January 2019).

AgiSoft (2017) *Image Capture Tips: Equipment and Shooting Scenarios*. Available at: https://www.agisoft.com/support/tips-tricks/ (Accessed: 5 January 2019).

Aicardi, I. *et al.* (2016) 'UAV PHOTOGRAMMETRY WITH OBLIQUE IMAGES: FIRST ANALYSIS ON DATA ACQUISITION AND PROCESSING', *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B1, pp. 835–842. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B1-835-2016.

Alidoost, F. and Arefi, H. (2017) 'COMPARISON OF UAS-BASED PHOTOGRAMMETRY SOFTWARE FOR 3D POINT CLOUD GENERATION: A SURVEY OVER A HISTORICAL SITE', *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-4/W4, pp. 55–61. doi: 10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-55-2017.

Amad, P. (2012) 'From God's-eye to Camera-eye: Aerial Photography's Post-humanist and Neo-humanist Visions of the World', *History of Photography*. Taylor & Francis , 36(1), pp. 66–86. doi: 10.1080/03087298.2012.632567.

ArduPilot_Dev_Team (2019) *Mission Planner Overview — Mission Planner documentation*. Available at: http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html (Accessed: 8 February 2019).

Austin, R. (2010) *Unmanned aircraft systems : UAVs design, development and deployment*. Wiley. Available at: https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=03gdqhU61C0C&oi=fnd&pg=PT14&dq=Austin,+R.+(2010).+Unmanned+Aircraft+Systems:+UAVS+Design,+Development+and+Deployment&ots=MwpHeooW_I&sig=sdjxqwCkOB7MwkcN4KrWO8aYBc0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (Accessed: 4 January 2019).

Bento, M. (2008) *Unmanned aerial vehicles: An overview*, *Inside GNSS*.

Carbonneau, P. E. and Dietrich, J. T. (2017) 'Cost-effective non-metric photogrammetry from consumer-grade sUAS: implications for direct georeferencing of structure from motion photogrammetry', *Earth Surface Processes and Landforms*. John Wiley & Sons, Ltd, 42(3), pp. 473–486. doi: 10.1002/esp.4012.

Ceraudo, G. (2013) 'Aerial Photography in Archaeology', in, pp. 11–30. doi: 10.1007/978-3-319-01784-6_2.

Colomina, I. and Molina, P. (2014) 'Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Elsevier, 92, pp. 79–97. doi: 10.1016/J.ISPRSJPRS.2014.02.013.

Cramer, M., Przybilla, H.-J. and Zurhorst, A. (2017) 'UAV CAMERAS: OVERVIEW AND GEOMETRIC CALIBRATION BENCHMARK', *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W6, pp. 85–92. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-85-2017.

DJI (2017) 'PHANTOM 4 PRO/PRO+, User Manual V.14', p. 67.

Drone Technology and Usage: Current Uses and Future Drone Technology - Business Insider (2013). Available at: https://www.businessinsider.com/drone-technology-uses-2017-7 (Accessed: 26 December 2019).

Eisenbeiss, H. (2004) 'A Mini Unmanned Aerial Vehicle (Uav) : System Overview and Image Acquisition'. Available at: https://www.semanticscholar.org/paper/A-Mini-Unmanned-Aerial-Vehicle-(-Uav-)-%3A-System-and-Eisenbeiss/31e4725e74bf623aeaf86782f52d9f140b2af153 (Accessed: 2 January 2019).

Eisenbeiss, H. (2009) 'UAV photogrammetry'. ETH Zürich. doi: 10.3929/ETHZ-A-005939264.

Eisenbeiss, H. and Sauerbier, M. (2011) 'Investigation of uav systems and flight modes for

photogrammetric applications', *The Photogrammetric Record*. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111), 26(136), pp. 400–421. doi: 10.1111/j.1477-9730.2011.00657.x.
Fernández-Hernandez, J. *et al.* (2015) 'Image-Based Modelling from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry: An Effective, Low-Cost Tool for Archaeological Applications', *Archaeometry*. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111), 57(1), pp. 128–145. doi: 10.1111/arcm.12078.
Fotouhi, A., Ding, M. and Hassan, M. (2017) 'Understanding autonomous drone maneuverability for Internet of Things applications', in *2017 IEEE 18th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*. IEEE, pp. 1–6. doi: 10.1109/WoWMoM.2017.7974336.
Gerke, M. and Przybilla, H.-J. (2016) 'Accuracy Analysis of Photogrammetric UAV Image Blocks: Influence of Onboard RTK-GNSS and Cross Flight Patterns', *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, 2016(1), pp. 17–30. doi: 10.1127/pfg/2016/0284.
Granshaw, S. I. (2018) 'RPV, UAV, UAS, RPAS … or just drone?', *The Photogrammetric Record*. Wiley/Blackwell (10.1111), 33(162), pp. 160–170. doi: 10.1111/phor.12244.
Hendrickx, M. *et al.* (2011) 'The use of stereoscopic images taken from a microdrone for the documentation of heritage – An example from the Tuekta burial mounds in the Russian Altay', *Journal of Archaeological Science*. Academic Press, 38(11), pp. 2968–2978. doi: 10.1016/J.JAS.2011.06.013.
Iqbal, U. *et al.* (2015) *SELECTION OF UNMANNED AERIAL SYSTEM (UAS) FOR DISASTER RELIEF OPERATIONS: A COMPARISON*, *Journal of Science International*.
James Dietrich (2015) *Advanced Geographic Research: Calculating Spatial Resolutions for Aerial Imagery*. Available at: http://adv-geo-research.blogspot.com/2015/08/calc-spatial-resolutions-aerial.html (Accessed: 27 January 2019).
Martínez-Carricondo, P. *et al.* (2018) 'Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Elsevier, 72, pp. 1–10. doi: 10.1016/J.JAG.2018.05.015.
Micheletti, N., Chandler, J. H. and Lane, S. N. (2015) *Structure from motion (SFM) photogrammetry*. IN: Clarke, L.E. and Nield, J.M. (Eds.) Geomorphological Techniques (Online Edition). London: British Society for Geomorphology. ISSN: 2047-0371, Chap. 2, Sec. 2.2. Available at: https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/17493.
Mitka, E. and Mouroutsos, S. (2017) *Classification of Drones*, *American Journal of Engineering research*.
Nagai, M. *et al.* (2004) *Development of Digital Surface Model And Feature Extraction By by Integrating Laser Scanner and CCD Sensor with IMU*.
Nagendran, S. K., Tung, W. Y. and Mohamad Ismail, M. A. (2018) 'Accuracy assessment on low altitude UAV-borne photogrammetry outputs influenced by ground control point at different altitude', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169, p. 012031. doi: 10.1088/1755-1315/169/1/012031.
Nebiker, S. *et al.* (2008) *Light-Weight Multispectral Sensor for Micro UAV - Opportunities for Very High Resolution Airborne Remote Sensing*, *Int Arch Photogram Rem Sens Spatial Inform Sci*.
Nex, F. and Remondino, F. (2014) 'UAV for 3D mapping applications: a review', *Applied Geomatics*, 6(1), pp. 1–15. doi: 10.1007/s12518-013-0120-x.
Pix4D_Support (2011a) *Designing the Image Acquisition Plan > a. Selecting the Image Acquisition Plan Type – Support*. Available at: https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459 (Accessed: 26 January 2019).
Pix4D_Support (2011b) *How to verify that there is enough overlap between the images – Support*. Available at: https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/203756125-How-to-verify-that-there-is-enough-overlap-between-the-images (Accessed: 23 January 2019).
Pix4D_Support (2011c) *Image acquisition plan for terrain with height variations – Support*. Available at: https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204656209-Image-acquisition-plan-for-terrain-with-height-

variations (Accessed: 27 January 2019).
Pix4Dcapture (2011) *Pix4Dcapture: free drone flight planning mobile app. | Pix4D*. Available at: https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture (Accessed: 26 January 2019).
Poseidon Team (2012) *Σύστημα Ποσειδών*. Available at: http://www.poseidon.hcmr.gr/weather_forecast_gr.php?area_id=gr (Accessed: 9 February 2019).
Ranquist, E. and Ranquist, E. (2017) 'Exploring the Range of Weather Impacts on UAS Operations'. AMS. Available at: https://ams.confex.com/ams/97Annual/webprogram/Paper309274.html (Accessed: 15 January 2019).
Rinaudo, F. *et al.* (2012) 'ARCHAEOLOGICAL SITE MONITORING: UAV PHOTOGRAMMETRY CAN BE AN ANSWER', *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B5, pp. 583–588. doi: 10.5194/isprsarchives-XXXIX-B5-583-2012.
Salaun, Y., Marlet, R. and Monasse, P. (2017) 'Line-Based Robust SfM with Little Image Overlap', in *2017 International Conference on 3D Vision (3DV)*. IEEE, pp. 195–204. doi: 10.1109/3DV.2017.00031.
Sanz-Ablanedo, E. *et al.* (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), p. 1606. doi: 10.3390/rs10101606.
SESAR Joint Undertaking | European Drones Outlook Study (no date). Available at: https://www.sesarju.eu/node/2951 (Accessed: 28 December 2018).
Snavely, N., Seitz, S. M. and Szeliski, R. (2008) 'Modeling the world from Internet photo collections', *International Journal of Computer Vision*, 80. Available at: https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/modeling-the-world-from-internet-photo-collections/ (Accessed: 25 January 2019).
Valavanis, K. (Kimon) and Vachtsevanos, G. J. (2015) *Handbook of unmanned aerial vehicles*.
Zheng, X. *et al.* (2017) 'The methodology of UAV route planning for efficient 3D reconstruction of building model', in *2017 25th International Conference on Geoinformatics*. IEEE, pp. 1–4. doi: 10.1109/GEOINFORMATICS.2017.8090905.

'Αμάλγαμα Παραμυθίας: Προϊστορία - Ιστορία Κεφαλληνίας' (2018) *Αμάλγαμα Παραμυθίας*. Available at: http://amalgama-paramythias.blogspot.com/p/blog-page_26.html.
ΔΗΜΟΣ_ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑΣ (2018) 'Αρχαιολογικοί Χώροι'. Available at: http://www.kefallonia.gov.gr/pages/gr/touristikos-odigos/archeologikoi-chori.php.
Δρ Αντώνης Βασιλάκης (2011) 'Μυκηναϊκό οικιστικό κέντρο στα Τζαννάτα Πόρου Κεφαλονιάς', *Αρχαιολογία Online*. Available at: https://www.archaiologia.gr/blog/2011/11/28/μυκηναϊκό-οικιστικό-κέντρο-στα-τζαν/.
Καλλιγάς, Π. (2015) 'Η αρχαία Κεφαλλονιά', *KefaloniaToday.com*. Available at: https://m.kefaloniatoday.com/kefalonitika/afieromata/i-archea-kefallonia-39998.html.
Συντάκτες της Βικιπαίδειας (2019) *Κεφαλονιά, Βικιπαίδεια, Η Ελεύθερη Εγκυκλοπαίδεια*. Available at: //el.wikipedia.org/w/index.php?title=Κεφαλονιά&oldid=7383049 (Accessed: 3 February 2019).
Υ.Π.Α (2019) *Drone Aware - GR*. Available at: https://dagr.hcaa.gr/el/#map_page (Accessed: 4 February 2019).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

I. Τεχνικά Χαρακτηριστικά DJI PHANTOM (DJI, 2017)

Γενικά χαρακτηριστικά:
Ημερομηνία κυκλοφορίας: Νοέμβριος 2016
Εκτιμώμενη τιμή αγοράς: 1500,0€

Ειδικές Λειτουργίες:

Draw: Λειτουργία κατά την οποία το αεροσκάφος ακολουθεί την πορεία που σχεδιάζει ο χειριστής στην οθόνη. Κατά την πορεία επιβραδύνει και αιωρείται αυτόματα όταν εντοπίζει εμπόδια.

ActiveTrack: Στη λειτουργία αυτή το αεροσκάφος «παρακολουθεί» ένα αντικείμενο, είτε σε σταθερή απόσταση, είτε σε σταθερή απόσταση και γωνία από πλάγια θέση, είτε σκοπεύει το αντικείμενο με την κάμερα.

TapFly: Λειτουργία κατά την οποία το αεροσκάφος ακολουθεί την πορεία που επιλέγει ο χειριστής πιέζοντας την επιθυμητή θέση στην οθόνη. Κατά την πορεία επιβραδύνει και αιωρείται αυτόματα όταν εντοπίζει εμπόδια.

GestureMode: Στη λειτουργία αυτή το αεροσκάφος αναγνωρίζει «χειρονομίες» εκτελώντας αντίστοιχες ενέργειες.

Λειτουργίες Πτήσης: Διαθέτει τρείς λειτουργίες πτήσης P-mode, S-mode, A-mode
P-mode (Position): στη λειτουργία αυτή χρησιμοποιεί όλους τους αισθητήρες που διαθέτει, GPS, σταθεροποιητές, αποφυγή εμποδίων, παρακολούθηση αντικειμένων, εντοπισμό όρασης κλπ
S-mode (Sport): στη λειτουργία αυτή πετυχαίνει την μέγιστη ταχύτητα, απενεργοποιείται η αποφυγή εμποδίων.
A-mode(Altitude): στη λειτουργία αυτή το ύψος διατηρείται μόνο από το βαρόμετρο που διαθέτει.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Βάρος (περιλαμβάνονται μπαταρία & έλικες):	1388g
Μήκος Διαγωνίου (χωρίς έλικες):	350mm
Μέγιστη ταχύτητα:	45mph
Μέγιστο Ύψος :	6000m
Εύρος πτήσης:	7000m
Μέγιστη αντίσταση ταχύτητας ανέμου:	10m/s
Διάρκεια πτήσης (μπαταρίας) περίπου:	30min
Προσδιορισμός Θέσης:	GPS/GLONASS
Εντοπισμός όρασης (Vision Positioning):	0 ~ 10m
Αποφυγή εμποδίων:	εμπρός - πίσω σε απόσταση 30m, στο πλάι απόσταση 7m.
Σταθεροποιητής κάμερας (Gimbal):	τριών αξόνων (pitch, roll, yaw)
Ακρίβεια στατικής αιώρησης:	Κατακόρυφα ±0.1m (Vision Positioning) ±0.5m (GPS Positioning) Οριζόντια ±0.3m (Vision Positioning) ±1.5m (GPS Positioning)

Εύρος πεδίου όρασης : εμπρός – πίσω οριζόντια 60° και κατακόρυφα ±27°
προς ναδίρ 70° (εμπρός- πίσω), 50° (αριστερά, δεξιά)

Κάμερα:

Αισθητήρας : 1” CMOS, Effective Pixels: 20M

Φακός: Οπτικό πεδίο (FOV) 84° 8.8 mm/24 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 - f/11 auto focus at 1 m - ∞

Εύρος Iso : βίντεο:
100 - 3200 (Auto)
100 - 6400 (Manual)
Εικόνα:
100 - 3200 (Auto)
100- 12800 (Manual)

Ταχύτητα Μηχανικού κλείστρου: 8 - 1/2000 s

Ταχύτητα ηλεκτρονικού κλείστρου : 8 - 1/8000 s

Μέγεθος Εικόνας: 3:2 Aspect Ratio: 5472 × 3648
4:3 Aspect Ratio: 4864 × 3648
16:9 Aspect Ratio: 5472 × 3078

Μέγεθος εικόνας PIV : 4096×2160(4096×2160 24/25/30/48/50p)
3840×2160(3840×2160 24/25/30/48/50/60p)
2720×1530(2720×1530 24/25/30/48/50/60p)
1920×1080(1920×1080 24/25/30/48/50/60/120p)
1280×720(1280×720 24/25/30/48/50/60/120p)

Λειτουργίες φωτογράφισης: Single Shot
Burst Shooting: 3/5/7/10/14 frames
Auto Exposure Bracketing (AEB): 3/5 bracketed frames at 0.7 EV Bias
Interval: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s

Λειτουργίες Εγγραφής Βίντεο: H.265
C4K:4096×2160 24/25/30p @100Mbps
4K:3840×2160 24/25/30p @100Mbps
2.7K:2720×1530 24/25/30p @65Mbps
2.7K:2720×1530 48/50/60p @80Mbps
FHD:1920×1080 24/25/30p @50Mbps
FHD:1920×1080 48/50/60p @65Mbps
FHD:1920×1080 120p @100Mbps
HD:1280×720 24/25/30p @25Mbps
HD:1280×720 48/50/60p @35Mbps
HD:1280×720 120p @60Mbps

H.264
C4K:4096×2160 24/25/30/48/50/60p @100Mbps
4K:3840×2160 24/25/30/48/50/60p @100Mbps

	2.7K:2720×1530 24/25/30p @80Mbps 2.7K:2720×1530 48/50/60p @100Mbps FHD:1920×1080 24/25/30p @60Mbps FHD:1920×1080 48/50/60 @80Mbps FHD:1920×1080 120p @100Mbps HD:1280×720 24/25/30p @30Mbps HD:1280×720 48/50/60p @45Mbps HD:1280×720 120p @80Mbps
Μέγιστη ταχύτητα εγγραφής Βίντεο:	100Mbps
Υποστηριζόμενα συστήματα αρχείων:	FAT32 (≤32 GB); exFAT (>32 GB)
Μορφότυποι εικόνας:	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Μορφότυποι βίντεο:	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)

Σύστημα Τηλεκατεύθυνσης

Συχνότητα Λειτουργίας:	2.400 - 2.483 GHz and 5.725 - 5.825 GHz
Μέγιστη απόσταση αναμετάδοσης:	2.400 - 2.483 GHz (χωρίς εμπόδια και παρεμβολές) FCC: 4.3 mi (7 km) CE: 2.2 mi (3.5 km) SRRC: 2.5 mi (4 km) 5.725 - 5.825 GHz (χωρίς εμπόδια και παρεμβολές) FCC: 4.3 mi (7 km) CE: 1.2 mi (2 km) SRRC: 3.1 mi (5 km)
Μπαταρία:	6000 mAh LiPo 2S
Ισχύς αναμεταδότη:	2.400 - 2.483 GHz FCC: 26 dBm CE: 17 dBm SRRC: 20 dBm MIC: 17 dBm 5.725 - 5.825 GHz FCC: 28 dBm CE: 14 dBm SRRC: 20 dBm MIC: -

II. Τεχνικά Γεωδαιτικού GPS/GNSS

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

75 κανάλια: GPS
GLONASS
L1 C/A, P(Y)-code, full wavelength carrier
L2 P(Y)-code, L2C, full wavelength carrier
SBAS: WAAS/EGNOS/MSAS

Τεχνολογία BLADE[15] της Ashtech, για βέλτιστη απόδοση
Υποστηριζόμενη μορφότυποι: ATOM (Ashetech optimized messaging), RTCM 2.3, RTCM 3.1, επεκτάσιμο για Galileo και L5
Διάρκεια Μπαταρίας: περίπου 7hrs
Χωρητικότητα εσωτερικής μνήμης: 128MB

Ακρίβειες Πραγματικού Χρόνου

SBAS (WAAS/EGNOS/MSAS): οριζοντιογραφική <50cm
Πραγματικού χρόνου DGPS: οριζοντιογραφικά 25cm + 1ppm
Πραγματικού χρόνου Kinematic (RTK): οριζοντιογραφικά 10mm + 1.0 ppm και υψομετρικά 20mm + 1.0ppm

Ακρίβειες μετεπεξεργασίας (Post Proccesing)

Γρήγορος στατικός προσδιορισμός: οριζοντιογραφικά 5mm + 0.5ppm και υψομετρικά 10mm + 0.5ppm
Στατικός προσδιορισμός: οριζοντιογραφικά 3mm + 0.5ppm και υψομετρικά 6mm + 0.5ppm
Μετεπεξεργασία Kinematic: οριζοντιογραφικά 10mm + 1ppm και υψομετρικά 20mm + 1ppm

III. Μετρήσεις Υπαίθρου με χρήση του γεωδαιτικού δέκτη GNSS, Promark 500.

«JB,NMCEPHALONIA180710,DT07-10-2018,TM14:29:49
MO,AD0,UN1,SF1.00000000,EC0,EO0.0,AU0
--FAST Survey Version 2.7.3
--CRD: Alphanumeric
--User Defined: GREECE/HEPOS_GGRS87/TM87
--Equipment: ProMark 500
--Antenna Type: [MAG990596 NONE],RA0.0980m,SHMP0.0400m,L10.1018m,L20.0862m,--PROMARK500, TNC CONNECTOR TO NORTH
--Localization File: None
--Geoid Separation File: \MyDevice\FAST Survey\Protypo\GEOID_GR.gsf
--GPS Scale: 1.00000000
--Scale Point not used
--RTK Method: RTCM V3.0, Device: Internal GSM, Network: NTRIP NET_RTCM3
BP,PNBP0000001,LA38.091406892000,LN20.421774788000,EL100.7490,AG0.000,PA0.000,--
--Entered HR: 2.0000, Vertical
LS,HR2.1018
GPS,PN1,LA38.084264032000,LN20.453906174000,EL103.647800,--
--GS,PN1,N 4226594.0429,E 215985.5172,EL76.2688,--
G0,07/10/2018 11:29:49,Base ID read at rover: 0127
G1,BPBP0000001,PN1,DX-1173.295,DY4797.014,DZ-760.279
G2,VX0.00012100,VY0.00012100,VZ0.00048400
G3,XY0.00000662,XZ-0.00005105,YZ0.00001512
--HRMS:0.016, VRMS:0.021, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.500, HDOP:0.700, VDOP:1.300
--DT07-10-2018
--TM14:29:51
GPS,PN2,LA38.083930258000,LN20.453988014000,EL88.460800,--
--GS,PN2,N 4226490.4359,E 216001.8473,EL61.0844,--
G0,07/10/2018 11:34:13,Base ID read at rover: 0127

[15] Η τεχνολογία BLADE προσφέρει, ενίσχυση σήματος σε συνδυασμό με Glonass ή SBAS, ταχύτερη λύση με μεγαλύτερη ακρίβεια, αξιόπιστη λύση RTK με συνεχή έλεγχο για ανάλυση αμφιβολίας (ambiguity), λειτουργία σε βάσης μεγαλύτερες των 70km

G1,BPBP0000001,PN2,DX-1132.093,DY4833.945,DZ-850.593
G2,VX0.00010000,VY0.00010000,VZ0.00048400
G3,XY0.00000156,XZ-0.00006188,YZ0.00001547
--HRMS:0.014, VRMS:0.022, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.400, HDOP:0.700, VDOP:1.200
--DT07-10-2018
--TM14:34:15
GPS,PN3,LA38.083684576000,LN20.453876888000,EL76.667800,--
--GS,PN3,N 4226415.6314,E 215972.1407,EL49.2898,--
G0,07/10/2018 11:41:17,Base ID read at rover: 0127
G1,BPBP0000001,PN3,DX-1087.423,DY4821.942,DZ-917.456
G2,VX0.00016900,VY0.00016900,VZ0.00072900
G3,XY0.00001584,XZ-0.00008775,YZ0.00005484
--HRMS:0.018, VRMS:0.027, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.800, HDOP:0.800, VDOP:1.600
--DT07-10-2018
--TM14:41:18
GPS,PN4,LA38.083768258000,LN20.452681478000,EL74.191800,--
--GS,PN4,N 4226451.6078,E 215681.9652,EL46.7894,--
G0,07/10/2018 11:49:57,Base ID read at rover: 0127
G1,BPBP0000001,PN4,DX-1000.975,DY4543.409,DZ-898.692
G2,VX0.00014400,VY0.00012100,VZ0.00062500
G3,XY0.00000309,XZ-0.00009141,YZ0.00002148
--HRMS:0.016, VRMS:0.025, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.500, HDOP:0.800, VDOP:1.300
--DT07-10-2018
--TM14:49:58
BP,PNBP0000002,LA38.091111176000,LN20.420388446000,EL75.0500,AG0.000,PA0.000,--
GPS,PN5,LA38.083845256000,LN20.452531712000,EL77.179800,--
--GS,PN5,N 4226476.6237,E 215646.3287,EL49.7741,--
G0,07/10/2018 11:57:46,Base ID read at rover: 0585
G1,BPBP0000002,PN5,DX-1152.679,DY4807.917,DZ-790.598
G2,VX0.00016900,VY0.00016900,VZ0.00057600
G3,XY0.00000000,XZ-0.00007556,YZ0.00003169
--HRMS:0.017, VRMS:0.023, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.400, HDOP:0.700, VDOP:1.200
--DT07-10-2018
--TM14:57:47
GPS,PN6,LA38.083979566000,LN20.452662536000,EL78.173800,--STASI
--GS,PN6,N 4226516.9203,E 215679.6327,EL50.7704,--STASI
G0,07/10/2018 11:59:09,Base ID read at rover: 0585
G1,BPBP0000002,PN6,DX-1187.154,DY4828.917,DZ-757.418
G2,VX0.00014400,VY0.00014400,VZ0.00052900
G3,XY0.00000450,XZ-0.00007116,YZ0.00001078
--HRMS:0.017, VRMS:0.023, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.600, HDOP:0.800, VDOP:1.400
--DT07-10-2018
--TM14:59:10
GPS,PN7,LA38.084364286000,LN20.453129828000,EL83.125800,--MD
--GS,PN7,N 4226631.5596,E 215797.5645,EL55.7308,--MD
G0,07/10/2018 12:01:28,Base ID read at rover: 0585
G1,BPBP0000002,PN7,DX-1292.351,DY4910.730,DZ-661.066

G2,VX0.00014400,VY0.00014400,VZ0.00062500
G3,XY0.00000675,XZ-0.00005625,YZ-0.00001875
--HRMS:0.017, VRMS:0.025, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.600, HDOP:0.800, VDOP:1.400
--DT07-10-2018
--TM15:01:29
GPS,PN8,LA38.084448334000,LN20.453533676000,EL89.964800,--MD
--GS,PN8,N 4226654.0363,E 215896.8038,EL62.5778,--MD
G0,07/10/2018 12:02:49,Base ID read at rover: 0585
G1,BPBP0000002,PN8,DX-1337.154,DY4998.929,DZ-636.459
G2,VX0.00028900,VY0.00044100,VZ0.00084100
G3,XY0.00019802,XZ-0.00017717,YZ-0.00026644
--HRMS:0.028, VRMS:0.031, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.400, HDOP:0.700, VDOP:1.200
--DT07-10-2018
--TM15:02:51
GPS,PN9,LA38.084447140000,LN20.453763608000,EL93.587800,--MD
--GS,PN9,N 4226651.7118,E 215952.7770,EL66.2055,--MD
G0,07/10/2018 12:04:29,Base ID read at rover: 0585
G1,BPBP0000002,PN9,DX-1354.116,DY5052.357,DZ-634.513
G2,VX0.00014400,VY0.00019600,VZ0.00062500
G3,XY0.00004200,XZ-0.00006328,YZ-0.00007383
--HRMS:0.018, VRMS:0.025, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.400, HDOP:0.700, VDOP:1.200
--DT07-10-2018
--TM15:04:30
GPS,PN10,LA38.084447152000,LN20.453763590000,EL93.594800,--
--GS,PN10,N 4226651.7156,E 215952.7728,EL66.2125,--
G0,07/10/2018 12:05:12,Base ID read at rover: 0585
G1,BPBP0000002,PN10,DX-1354.109,DY5052.357,DZ-634.507
G2,VX0.00022500,VY0.00022500,VZ0.00078400
G3,XY0.00003340,XZ-0.00004922,YZ-0.00004594
--HRMS:0.021, VRMS:0.027, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.500, HDOP:0.700, VDOP:1.300
--DT07-10-2018
--TM15:05:13
GPS,PN11,LA38.084665762000,LN20.454365120000,EL94.582800,--BETON
--GS,PN11,N 4226714.0012,E 216101.5941,EL67.2121,--BETON
G0,07/10/2018 12:07:56,Base ID read at rover: 0585
G1,BPBP0000002,PN11,DX-1444.232,DY5174.834,DZ-580.887
G2,VX0.00014400,VY0.00022500,VZ0.00067600
G3,XY0.00005906,XZ-0.00016087,YZ-0.00008531
--HRMS:0.019, VRMS:0.026, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.600, HDOP:0.700, VDOP:1.400
--DT07-10-2018
--TM15:07:57
GPS,PN12,LA38.084617888000,LN20.454691838000,EL81.120800,--
--GS,PN12,N 4226696.4618,E 216180.6299,EL53.7568,--
G0,07/10/2018 12:10:42,Base ID read at rover: 0585
G1,BPBP0000002,PN12,DX-1473.810,DY5248.701,DZ-600.808
G2,VX0.00014400,VY0.00012100,VZ0.00057600
G3,XY0.00000206,XZ0.00000225,YZ0.00002269

--HRMS:0.016, VRMS:0.023, STATUS:FIXED, SATS:12, PDOP:1.800, HDOP:0.900, VDOP:1.600
--DT07-10-2018
--TM15:10:43
BP,PNBP0000003,LA38.091384314000,LN20.421763376000,EL100.4700,AG1.527,PA0.102,--
GPS,PN13,LA38.084122468000,LN20.454154934000,EL100.689800,--
--GS,PN13,N 4226548.2792,E 216044.5626,EL73.3162,--
G0,07/10/2018 12:24:00,Base ID read at rover: 1043
G1,BPBP0000003,PN13,DX-1176.536,DY4863.545,DZ-790.786
G2,VX0.00014400,VY0.00012100,VZ0.00057600
G3,XY0.00001444,XZ-0.00004725,YZ0.00002681
--HRMS:0.016, VRMS:0.024, STATUS:FIXED, SATS:13, PDOP:1.600, HDOP:0.800, VDOP:1.400
--DT07-10-2018
--TM15:24:03
GPS,PN14,LA38.083592650000,LN20.454350834000,EL69.381800,--
--GS,PN14,N 4226383.2567,E 216086.5544,EL42.0135,--
G0,07/10/2018 12:33:40,Base ID read at rover: 1043
G1,BPBP0000003,PN14,DX-1122.127,DY4935.190,DZ-938.602
G2,VX0.00019600,VY0.00016900,VZ0.00072900
G3,XY0.00001280,XZ-0.00003248,YZ0.00001645
--HRMS:0.019, VRMS:0.027, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.600, HDOP:0.700, VDOP:1.400
--DT07-10-2018
--TM15:33:41
GPS,PN15,LA38.083606024000,LN20.454865442000,EL64.447800,--
--GS,PN15,N 4226383.0046,E 216212.0040,EL37.0898,--
G0,07/10/2018 12:38:26,Base ID read at rover: 1043
G1,BPBP0000003,PN15,DX-1172.554,DY5050.080,DZ-938.406
G2,VX0.00019600,VY0.00014400,VZ0.00072900
G3,XY0.00000788,XZ-0.00002953,YZ0.00004050
--HRMS:0.018, VRMS:0.027, STATUS:FIXED, SATS:14, PDOP:1.500, HDOP:0.700, VDOP:1.300
--DT07-10-2018
--TM15:38:27»

IV. Αναφορά *Επίλυσης Μοντέλου (Report)*

Agisoft PhotoScan

Processing Report
18 July 2018

Survey Data

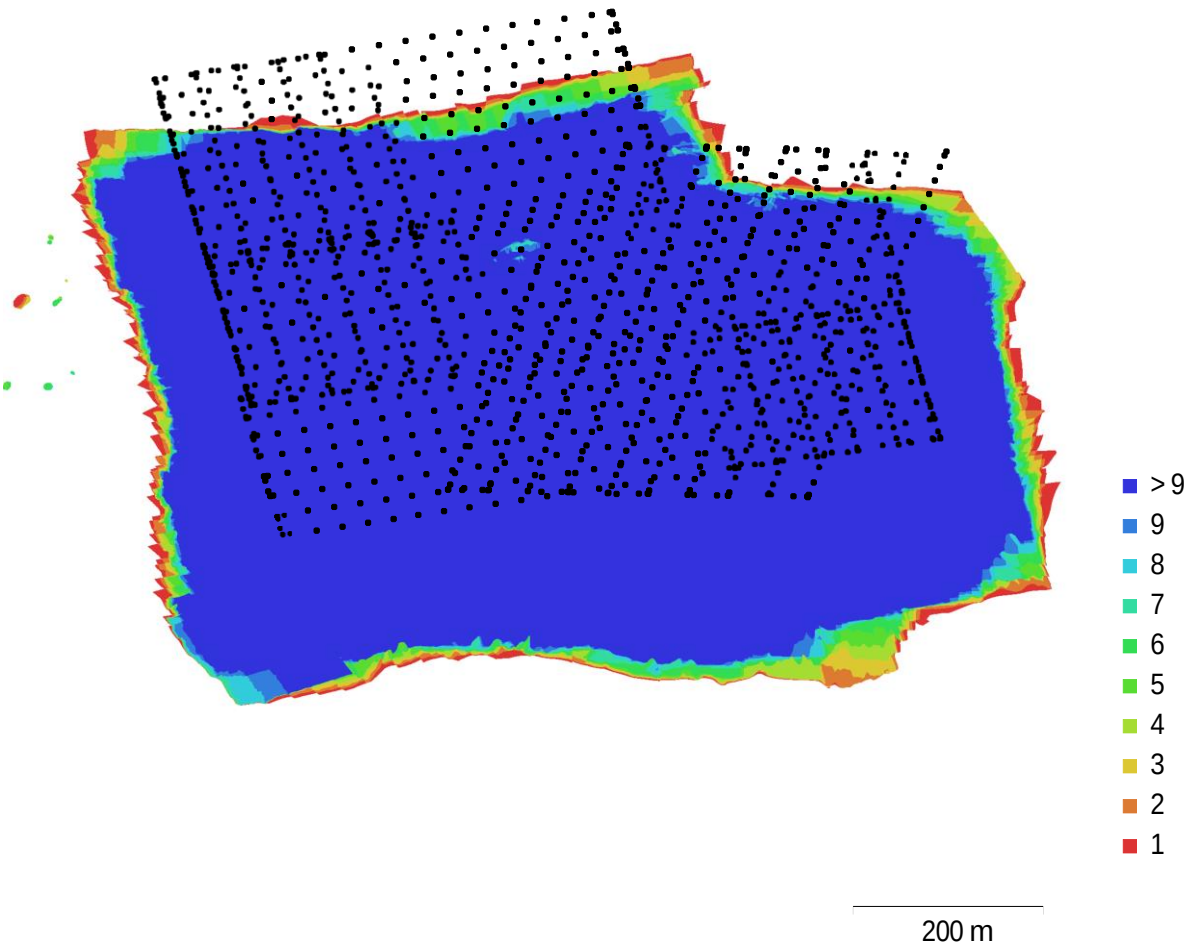


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	1,448	Camera stations:	1,448
Flying altitude:	150 m	Tie points:	942,910
Ground resolution:	3.65 cm/pix	Projections:	4,206,741
Coverage area:	0.531 km²	Reprojection error:	2.12 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 μm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

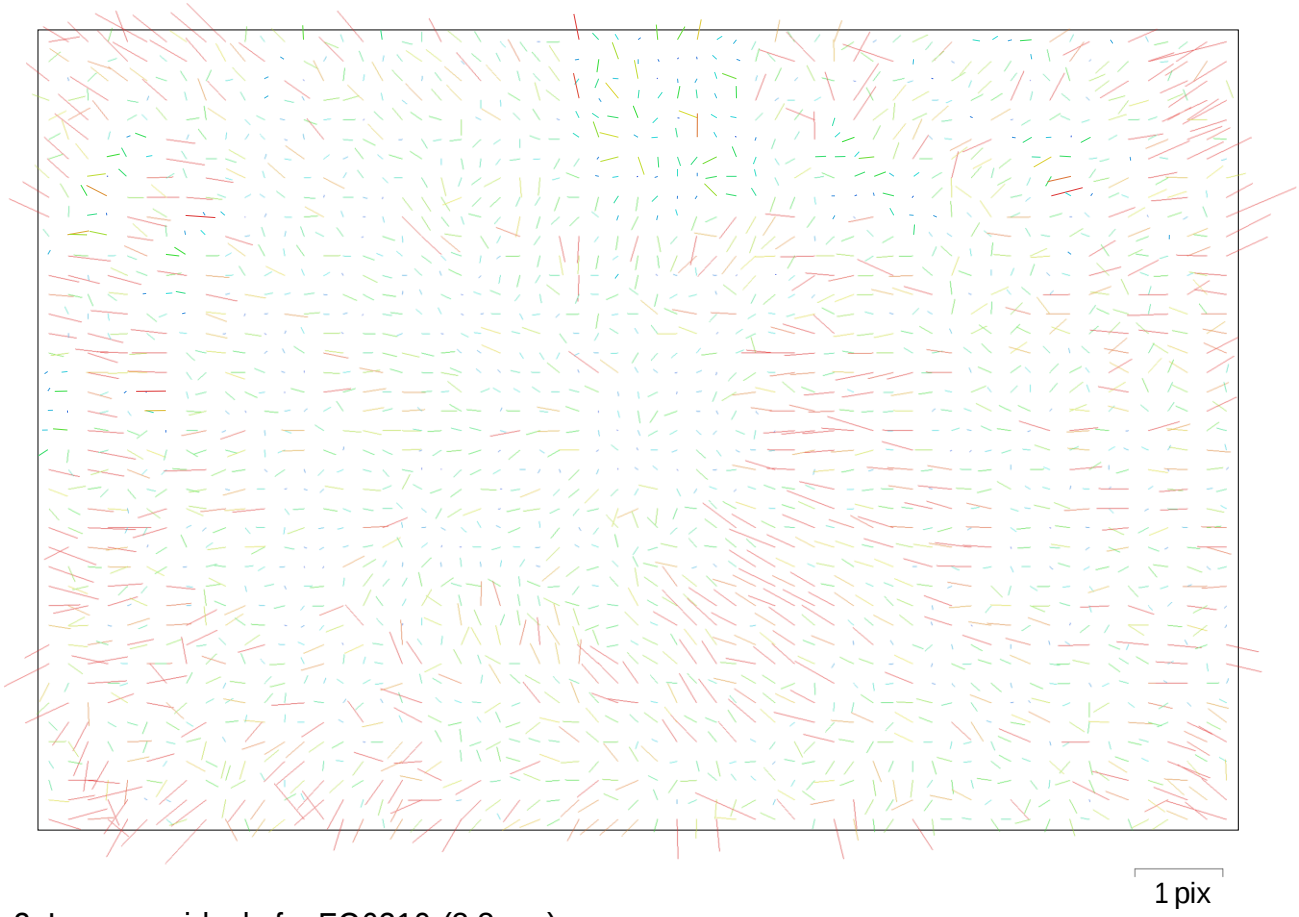


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)
1448 images

Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No

Type:	Frame	F:	3657.75
Cx:	-14.9368	B1:	-1.42992
Cy:	11.2981	B2:	-1.08765
K1:	0.0174139	P1:	-0.000241986
K2:	-0.0678385	P2:	-0.000281235
K3:	0.117932	P3:	0.0188521
K4:	-0.0695269	P4:	0

Camera Locations

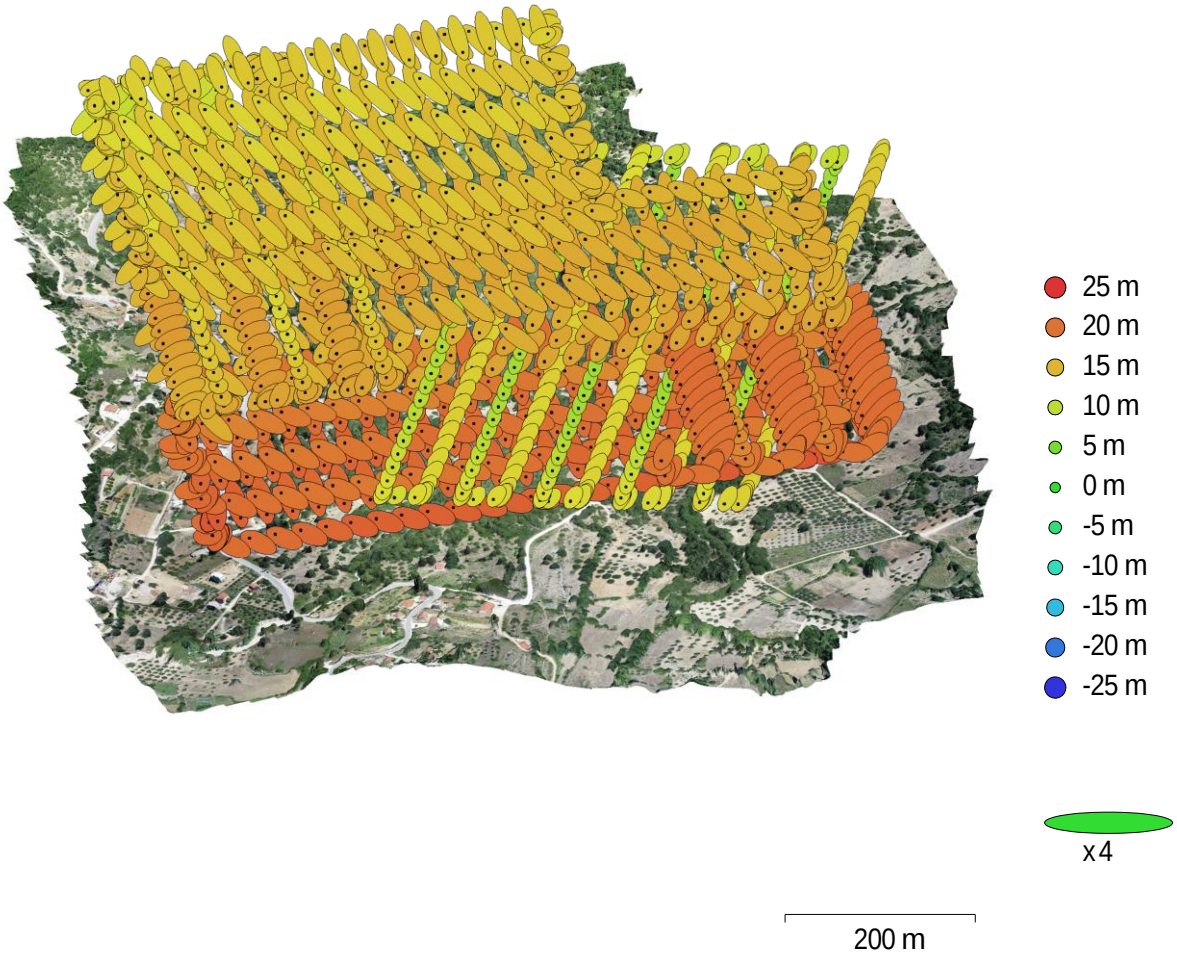
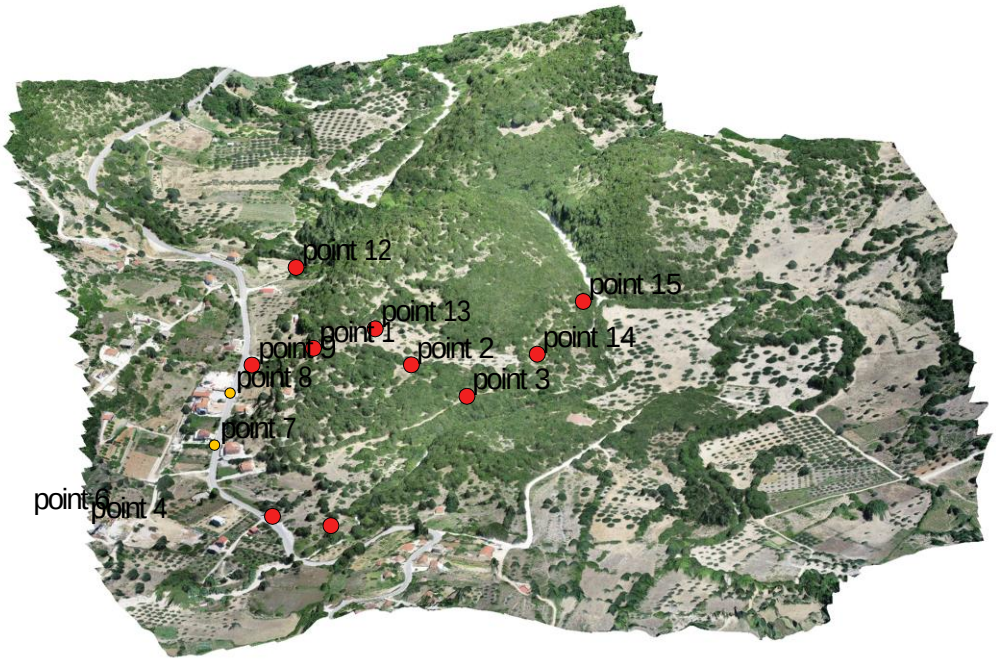


Fig. 3. Camera locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
3.66157	4.47816	15.8396	5.78455	16.8628

Table 2. Average camera location error.

Ground Control Points



Control points ● Check points ● 200 m

Fig. 4. GCP locations.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
10	4.53044	6.09435	7.33814	7.59382	10.56	0.256

Table 3. Control points RMSE.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
2	36.0255	7.7768	71.3445	36.8554	80.3016	19.053

Table 4. Check points RMSE.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
point 2	-0.71646	0.222987	-0.888072	1.16263	0.090 (38)
point 13	1.93061	-11.1545	21.0418	23.8937	0.147 (29)
point 1	-1.55274	0.42394	-4.18406	4.48297	0.171 (28)
point 3	3.60362	4.97015	5.07997	7.96835	0.081 (57)
point 4	8.56175	6.5237	2.93762	11.1576	0.253 (36)
point 6	10.0202	11.1881	-3.44264	15.4087	0.798 (36)
point 9	-2.54448	5.5741	-1.67851	6.35314	0.125 (38)
point 12	1.38823	1.26839	-2.18831	2.88526	0.058 (65)
point 14	-1.75947	4.63197	2.99983	5.79223	0.073 (50)
point 15	-0.637277	0.435738	-3.81312	3.89049	0.067 (61)
Total	4.53044	6.09435	7.33814	10.56	0.256

Table 5. Control points.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
point 7	50.4237	9.76501	100.896	113.216	25.539 (56)
point 8	7.28929	5.05984	0.0982683	8.87386	1.751 (45)
Total	36.0255	7.7768	71.3445	80.3016	19.053

Table 6. Check points.

Digital Elevation Model

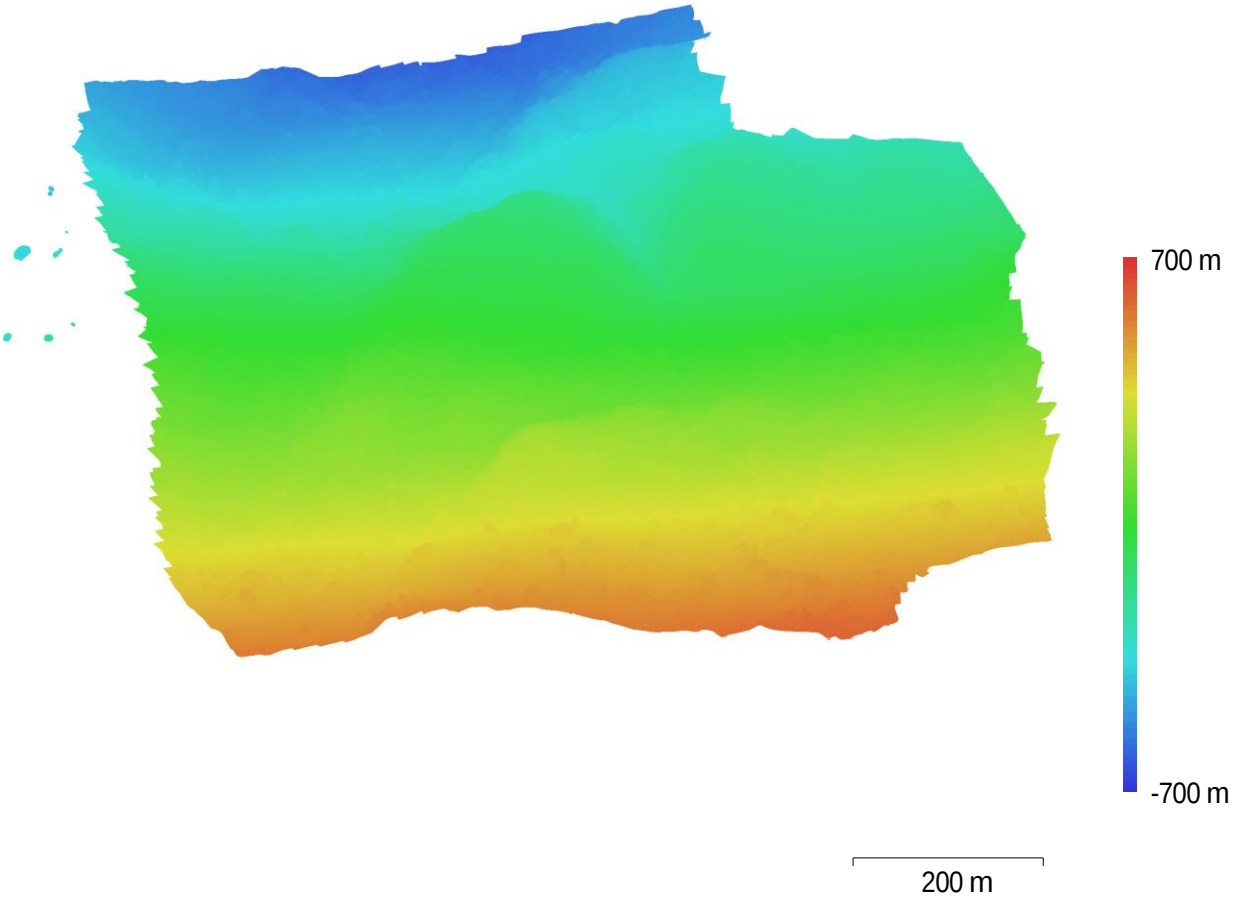
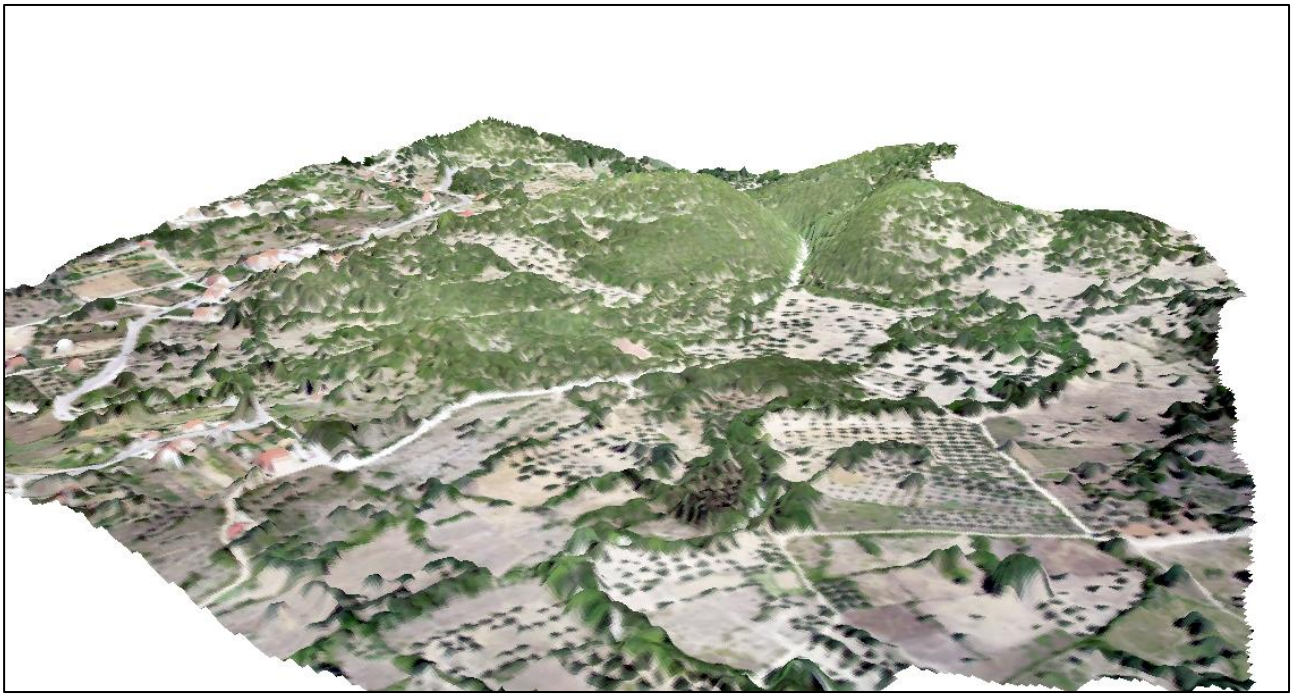


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

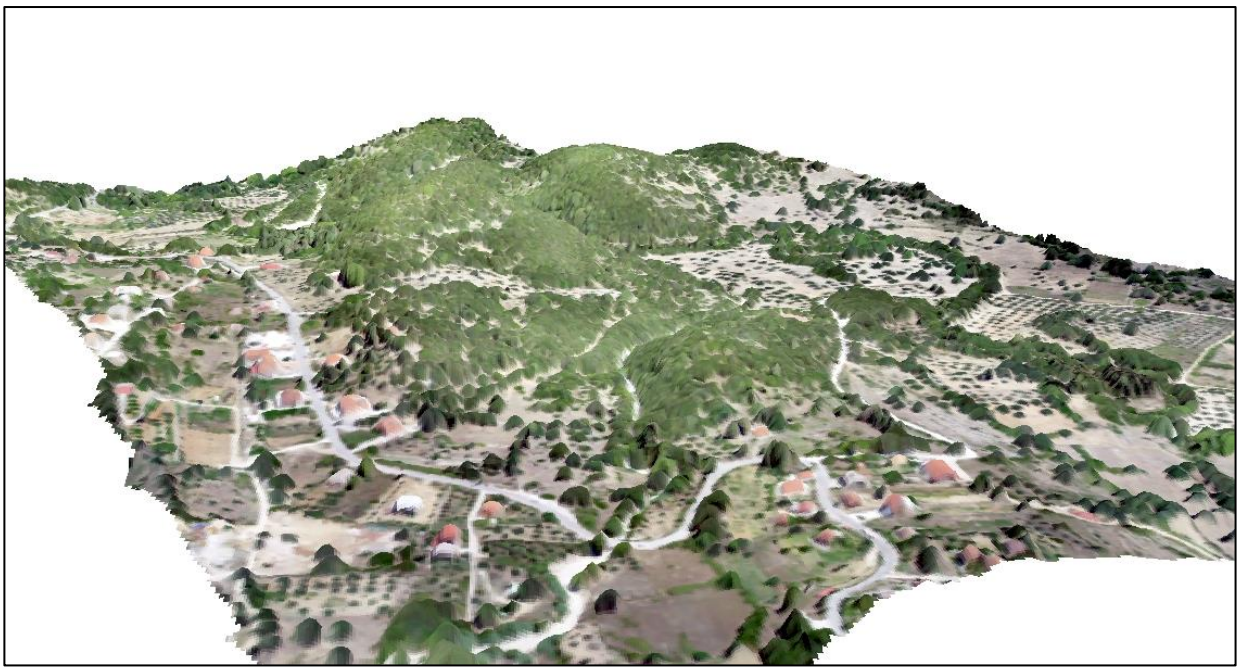
Resolution:	58.4 cm/pix
Point density:	2.94 points/m²

General	
Cameras	1448
Aligned cameras	1448
Markers	13
Coordinate system	GGRS87 / Greek Grid (EPSG::2100)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	942,910 of 1,035,698
RMS reprojection error	0.698145 (2.1219 pix)
Max reprojection error	58.3921 (104.524 pix)
Mean key point size	5.09017 pix
Effective overlap	5.34997
Alignment parameters	
Accuracy	Highest
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	2 hours 13 minutes
Alignment time	20 minutes 39 seconds
Optimization parameters	
Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p3
Optimization time	3 minutes 33 seconds
Dense Point Cloud	
Points	4,727,759
Reconstruction parameters	
Quality	Lowest
Depth filtering	Disabled
Depth maps generation time	5 hours 37 minutes
Dense cloud generation time	2 hours 51 minutes
Model	
Faces	315,183
Vertices	158,522
Texture	4,096 x 4,096, uint8
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	Lowest Depth
filtering	Disabled Face count
315,183	
Processing time	5 minutes 52 seconds
Texturing parameters	
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Yes UV mapping time
28 seconds Blending time	3 hours 52
minutes	
Software	
Version	1.2.6 build 2834
Platform	Windows 64 bit

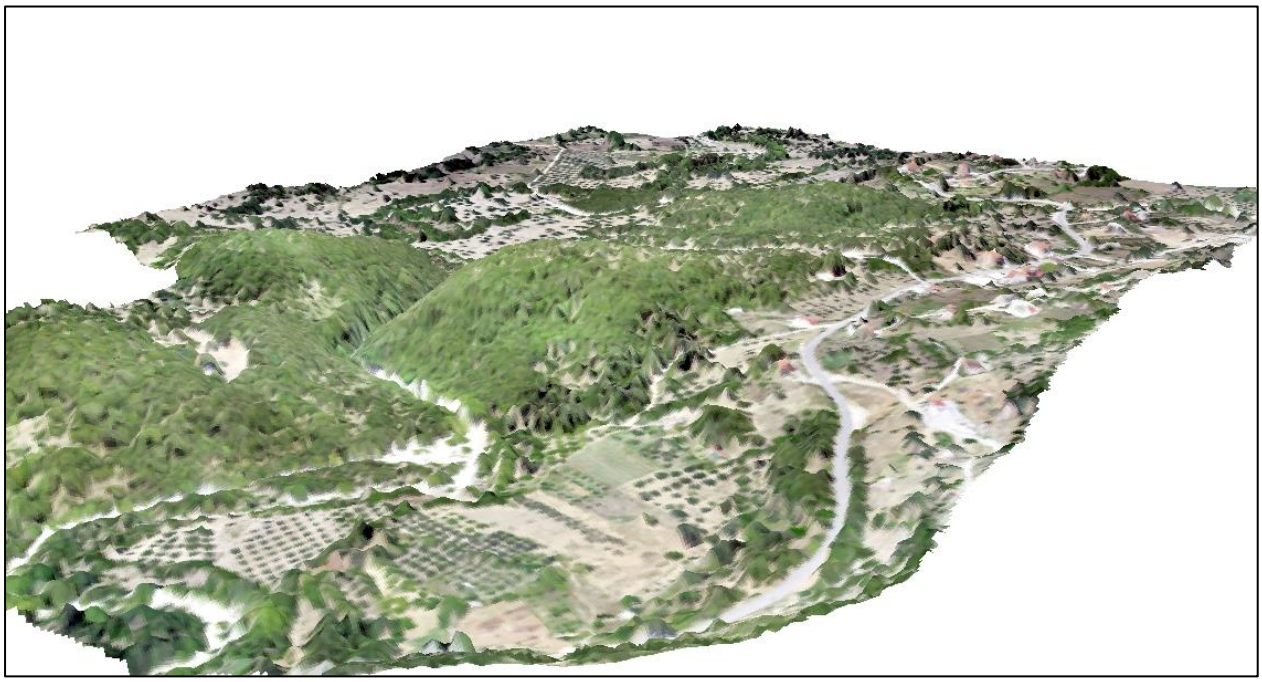
V. Προοπτικά του παραγόμενου Ορθοφωτοχάρτη.



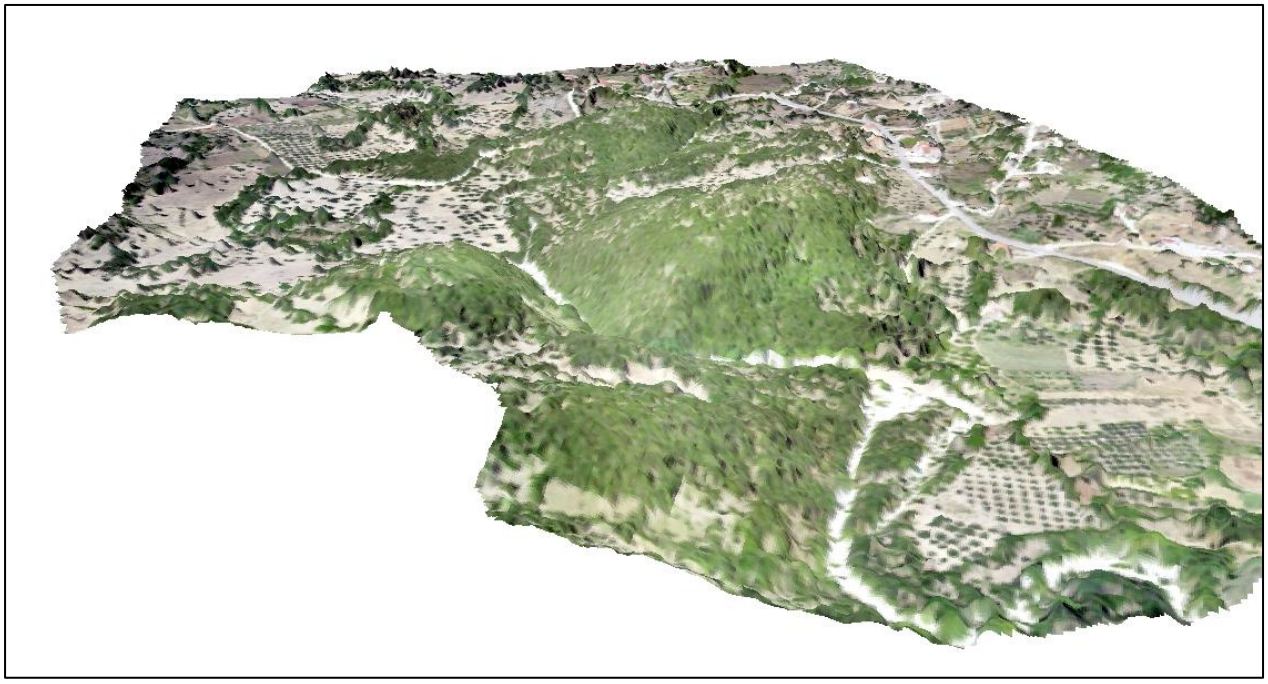
Εικόνα 76 Προοπτικό περιοχής [1]



Εικόνα 77 Προοπτικό περιοχής [2]



Εικόνα 79 Προοπτικό περιοχής [3]



Εικόνα 78 Προοπτικό περιοχής [4]

VI. Ορθοφωτοχάρτης Περιοχής μελέτης

Διπλωματική Εργασία του
Βιδάλη-Κελαγιάννη Μιχαήλ,

"Συλλογή Γεωγραφικών Δεδομένων Υψηλής Ακρίβειας με Αξιοποίηση της Τεχνολογίας Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ). Περιπτωσιολογική Μελέτη (Case Study), ο Αρχαιολογικός Χώρος στην περιοχή του Πόρο της νήσου Κεφαλονιάς.»

215500 215750 216000 216250 216500 216750

4227250 4227000 4226750 4226500 4226250 4226000 4225750

Coordinate System: Greek Grid
Projection: Transverse Mercator
Datum: GGRS 1987
False Easting: 500,000.0000
False Northing: 0.0000
Central Meridian: 24.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:2,500

0 50 100 200 300 400 500 Meters