



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

**Αξιοποίηση καταγραφών μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV/Drones) για
την κατασκευή γεωχωρικών δεδομένων.**

Πτυχιακή εργασία

Κουλάκου Μαρία



Αθήνα, 2018



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Χαλκιάς Χρίστος (Επιβλέπων)

Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Παρχαρίδης Ισαάκ

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Καρύμπαλης Ευθύμιος

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Η Κοιλάκου Μαρία 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 προσβάλλει 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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Χαλκιά Χρίστο, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα στα πλαίσια της πτυχιακής μου εργασίας, καθώς και για την συνολική υποστήριξη και βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Ευχαριστώ επίσης τον κ. Παπαδιά Ευάγγελο για την παροχή του τοπογραφικού διαγράμματος του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου και για την μέτρηση των σημείων εδαφικού ελέγχου που χρειάστηκαν, καθώς και τους διδάκτορες, κ. Φάκα Αντιγόνη και κ. Καλογερόπουλο Κλεομένη για την συμβολή τους στην πτήση του Drone και τη λήψη των εικόνων, στοιχεία τα οποία αποτελούν τον βασικό κορμό της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Επιπλέον, η συμβολή της Marathon Data Systems και πιο συγκεκριμένα τον κ. Λαζάρου Ηλία ήταν πολύτιμη, δεδομένου ότι χωρίς την υποστήριξη, τη παροχή πληροφοριών καθώς και τη συμβολή του στην επεξεργασία των καταγραφών της μιας εκ των πτήσεων, η παρούσα εργασία δε θα μπορούσε να θεωρηθεί πλήρης. Τέλος, ευχαριστώ θερμά το Τμήμα Γεωγραφίας για τη διάθεση του συστήματος UAV καθώς και των υπολογιστών για την επεξεργασία των καταγραφών του, χωρίς τα οποία δεν θα μπορούσα να ολοκληρώσω με επιτυχία την πτυχιακή μου εργασία.

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Abstract.....	8
Κατάλογος Εικόνων	9
Κατάλογος Πινάκων	11
Κατάλογος Διαγραμμάτων	11
Πίνακας Συντομογραφιών	12
Εισαγωγή	14
Κεφάλαιο 1. Αεροφωτογράφιση	17
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	17
1.1.1 Ιστορική αναδρομή γενικά	17
1.1.2 Ιστορική αναδρομή στην Ελλάδα	24
1.2 Στοιχεία Φωτογραμμετρίας, Φωτοερμηνείας και Αεροφωτογραφιών.....	26
1.2.1 Στοιχεία Φωτογραμμετρίας.....	26
1.2.2 Στοιχεία Φωτοερμηνείας.....	26
1.2.3 Στοιχεία Αεροφωτογραφιών	29
1.2.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Αεροφωτογραφιών	29
1.2.3.2 Τύποι αεροφωτογραφιών.....	32
1.2.3.3 Σχεδιασμός αεροφωτογράφισης.....	34
1.2.3.4 Μέσα αεροφωτογράφισης και παράγοντες που τα επηρεάζουν	37
Κεφάλαιο 2. Μη επανδρωμένα Αεροσκάφη/ Drones.....	41
2.1 Ορισμοί.....	41
2.2 Ιστορική αναδρομή.....	42
2.3 Χαρακτηριστικά μη επανδρωμένων αεροσκαφών	46
2.4 Κατηγοριοποιήσεις.....	49
2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	55
2.6 Νομοθεσία.....	56
2.7 Χρήσεις και εφαρμογές των Drones	59
Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογία πτήσης και επεξεργασία εικόνων drone	69
3.1 Περιοχή μελέτης.....	69
3.2.2 Pix4D Capture	71
3.2.3 Drone2Map for ArcGIS.....	72
3.3 Προγραμματισμός πτήσης	74
3.3.1 Σχεδιασμός πτήσης.....	74
3.3.2 Επιλογή σημείων εδαφικού ελέγχου (GCPs).....	78

3.4 Συλλογή δεδομένων	79
3.5 Μετεπεξεργασία δεδομένων	81
Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα και σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	94
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα - Συζήτηση	106
Βιβλιογραφία	109
Ελληνική.....	109
Ξενόγλωσση.....	111
Παράρτημα	117

Περίληψη

Οι ταχείς ρυθμοί των αλλαγών που πραγματοποιούνται στο ανθρωπογενές και στο φυσικό περιβάλλον, σε συνδυασμό με την μεγάλη διαθεσιμότητα μεθόδων παρακολούθησής τους (δεδομένα τηλεπισκόπησης, αεροφωτογραφίες και εικόνες Drone), καθιστούν την μελέτη τους πιο εύκολη και γρήγορη από ποτέ. Ένας από τους ευκολότερους και πιο αποτελεσματικούς τρόπους εξέτασης ενός τόπου, είναι μέσω της χρήσης αεροφωτογραφιών, οι οποίες επιτρέπουν στον ερευνητή να εξετάσει τον τρόπο με τον οποίο ένα κομμάτι γης εντάσσεται σε μια ευρύτερη περιοχή. Η χρήση των μη επανδρωμένων οχημάτων (UAV/Drones), παρότι οφείλει την ανάπτυξή της σε στρατιωτικές εφαρμογές, έχει αρχίσει να κατακτά ολοένα και περισσότερο έδαφος στην αγορά και το ευρύ κοινό, καθώς καλύπτει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, αποτελώντας πολύτιμη πηγή δεδομένων σχετικά με την επιθεώρηση, την επιτήρηση, τη χαρτογράφηση περιοχών και την τρισδιάστατη μοντελοποίηση.

Η χρήση των μη επανδρωμένων συστημάτων για τη λήψη αεροφωτογραφιών, πέρα των πλεονεκτημάτων που φέρει, κρίνεται πολύτιμη για την μελέτη και τη χαρτογράφηση του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, η εύρεση της ακρίβειας που παρέχουν τα drones στις καταγραφές τους, αποτελεί εγχείρημα υψίστης σημασίας, συμβάλλοντας στην γρήγορη, οικονομική και ακριβή παραγωγή ορθοφωτοχαρτών και τρισδιάστατων αποτυπώσεων, καθώς και στη μελέτη αυτών σε δεύτερο χρόνο, χωρίς την προϋπόθεση φυσικής παρουσίας στην περιοχή μελέτης.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία επιχειρείται η αξιοποίηση καταγραφών του drone DJI PHANTOM 4 PRO για την παραγωγή 2D και 3D προϊόντων μέσω του λογισμικού Drone2Map στην περιοχή του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου, καθώς και η μέτρηση της ακρίβειας που παρέχεται στις καταγραφές του, μέσα από την πτήση του σε δυο διαφορετικά υψόμετρα και με τη χρήση για την εξακρίβωση αυτής, σημείων εδαφικού ελέγχου. Από τα παραγόμενα 2D και 3D προϊόντα, εντοπίστηκε διαφοροποίηση ως προς την ποιότητά τους βάσει ύψους, με τα παραγόμενα της πτήσης των 50 μέτρων να παρουσιάζουν υψηλότερη ανάλυση και ευκρίνεια από τα αντίστοιχα των 80 μέτρων. Ως προς την ακρίβειά τους, και στις δύο περιπτώσεις τα σφάλματα είναι πάνω από 2 φορές τα αντίστοιχα Ground Sample Distance (GSD), που είναι το αποδεκτό όριο σφάλματος, με μεγαλύτερο RMS Error να εμφανίζουν τα παραγόμενα της πτήσης των 80 μέτρων. Παρόλα αυτά συνδυάζοντας την ανάλυση με τα σφάλματα και στις δύο περιπτώσεις (80 μέτρα: RMSE=0.153m με GSD=0.0209m και 50 μέτρα: RMSE= 0.124m με GSD=

0.0132m), τα συνολικά σφάλματα και των δύο πτήσεων, δεν θα μπορούσαν να θεωρηθούν απαγορευτικά ως προς την αξιοποίηση των 2D και 3D προϊόντων, καθώς η ακρίβεια τους παραμένει υψηλή.

Λέξεις κλειδιά: Μη επανδρωμένα αεροσκάφη/UAV, Drones, Φωτογραμμετρία, Ορθοφωτοχάρτης, Σημεία εδαφικού ελέγχου, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Abstract

The rapid pace of changes in man-made and natural environments, coupled with the wide availability of monitoring methods (remote sensing data, aerial photographs and drone images), make their study easier and faster than ever before. One of the easiest and most effective ways of examining a site is through the use of aerial photographs, which allow the researcher to investigate how a piece of land is part of a wider area. Despite its development for military applications, the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV/Drones) has begun to occupy more ground in the market and general public, as it covers a wide range of applications. This makes it a valuable source of data on inspection, surveillance, mapping and 3D modeling.

The use of Unmanned Aerial Vehicles for aerial photography, in addition to its advantages, is considered valuable to the study and mapping of the anthropogenic environment. More specifically, the search for a drone's accuracy, is an effort of utmost importance, contributing to the quick, economic and precise production of orthophotomaps and three-dimensional models, as well as their study later, without the requirement of physical presence in the study area.

This thesis attempts to explore recordings of DJI Phantom 4 PRO drone for the production of 2D and 3D products of Harokopio University with Drone2Map, as well as to measure the precision provided in its records, by flying at two different altitudes and using for verification Ground Control Points (GCPs). From the 2D and 3D products produced, there was a distinction in terms of quality, based on their height, with the 50-meter flight products having a higher resolution and sharpness than those of 80 meters. In terms of accuracy, in both cases the errors were more than 2 times the Ground Sample Distance (GSD), which is the acceptable error limit, with a higher RMS Error seen in the generated flight of 80 meters. However, by combining analysis with the errors in both cases (80 meters: RMSE = 0.153m with GSD = 0.0209m and 50m: RMSE = 0.124m with GSD = 0.0132m), the total errors in both flights could not be considered prohibitive for the use of 2D and 3D products, as their accuracy remains high.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles/UAV, Drones, Photogrammetry, Orthophotomap, Ground Control Points (GCP), Harokopio University

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Η πρώτη πλάγια αεροφωτογραφία το 1860 από αερόστατο στη Βοστώνη	18
Εικόνα 1.2 & 1.3:Χαρταετοί και Κάμερα που χρησιμοποίησε ο George R. Lawrence το 1906	19
Εικόνα 1.4: Αεροφωτογραφία του George R. Lawrence το 1906 του Σαν Φρανσίσκο	20
Εικόνα 1.5: Αεροφωτογραφία από κάμερα που είχε προσδεθεί σε περιστέρι	20
Εικόνα 1.6: Τμήμα αντιαρματικής γραμμής σε κλίμακα 1:50.000	21
Εικόνα 1.7 και 1.8: Ασπρόμαυρη αεροφωτογραφία και αεροφωτογραφία με τη χρήση φιλμ ανίχνευσης καμουφλάζ (Camouflage detection film)	22
Εικόνα 1.9: Κατακόρυφη Αεροφωτογραφία της Σχολής Ευελπίδων και της Γ.Υ.Σ του έτους 1919	25
Εικόνα 1.10: Σχηματική αναπαράσταση κατακόρυφης αεροφωτογράφισης	31
Εικόνα 1.11: Διαδικασία λήψης κατακόρυφων αεροφωτογραφιών με επικαλυπτόμενα τμήματα κατά την γραμμή πτήσης ανά δύο αεροφωτογραφίες 55-65%	31
Εικόνα 1.12: Δύο γραμμές πτήσης με πλάγια επικάλυψη 15-35%	32
Εικόνα 1.13: Κατηγορίες αεροφωτογραφιών (α) κατακόρυφη, (β) πλάγια και (γ) πολύ πλάγια με αντικείμενο παρατήρησης το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο	34
Εικόνα 1.14: Βασικά μέσα/ Πλατφόρμες αεροφωτογράφισης	40
Εικόνα 2.1: Επισκόπηση των τύπων UAV ανάλογα με το βάρος τους	47
Εικόνα 2.2: Σύστημα ελέγχου πτήσης UAV	48
Εικόνα 2.3: Λειτουργική δομή του αυτόματου πιλότου UAV	48
Εικόνες 2.4 (α,β,γ,δ): Μεγέθη UAVS. (α)Πολύ μικρά, (β) μικρά, (γ)μεσαία, (δ) μεγάλα	51
Εικόνα 2.5: Σχηματική απεικόνιση χειρισμού «ανοιχτής κατηγορίας» με τους περιορισμούς ασφαλείας	52
Εικόνα 2.6: Κατηγοριοποίηση UAVs βάσει ύψους πτήσης, εμβέλειας και ωφέλιμου φορτίου	54
Εικόνα 3.1: Η Χαροκόπειος Σχολή Οικιακής Οικονομίας το 1950	70
Εικόνα 3.2: Τύποι σχεδίων πτήσης	72
Εικόνα 3.3: Κατηγορίες προϊόντων Drone2Map.....	73
Εικόνα 3.4: Ορισμός παραμέτρων πτήσης 80 μέτρων στο περιβάλλον της εφαρμογής PIX4D Capture	76
Εικόνα 3.5: Γενικές πληροφορίες και παράμετροι πτήσης 80 μέτρων στο περιβάλλον της εφαρμογής PIX4D Capture	76
Εικόνα 3.6: Σχέδιο πτήσης και θέσεις λήψης φωτογραφιών	77
Εικόνα 3.7: Περιοχή μελέτης στην εφαρμογή DAGR	78
Εικόνα 3.8: Υπόμνημα εφαρμογής DAGR	78
Εικόνα 3.9: Γεωδαιτικός σταθμός Leica TCR 407	79
Εικόνα 3.10: Σημείο εδαφικού ελέγχου/ GCP.....	79

Εικόνα 3.11: Σύνδεση drone-εφαρμογής Pix4D Capture.....	81
Εικόνα 3.12: Λίστα ελέγχου της εφαρμογής Pix4D Capture κατά την απογείωση του Drone	81
Εικόνα 3.13: Πληροφορίες γεωγραφικής θέσης των εικόνων	84
Εικόνα 3.14: Αντιστοιχίες εικόνων και GCP	85
Εικόνα 3.15: Αρχικές ρυθμίσεις (Initial) στο περιβάλλον του Drone2Map	87
Εικόνα 3.16: Ρυθμίσεις πυκνών νεφών σημείων στο περιβάλλον του Drone2Map.....	89
Εικόνα 3.17: Ρυθμίσεις παραγόμενων 2D προϊόντων στο περιβάλλον του Drone2Map	91
Εικόνα 3.18: Ρυθμίσεις παραγόμενων 3D προϊόντων στο περιβάλλον του Drone2Map	93
Εικόνα 4.1: Ορθοφωτοχάρτης πτήσης 80 μέτρων	98
Εικόνα 4.2: Ορθοφωτοχάρτης πτήσης 50 μέτρων	98
Εικόνα 4.3: Σκεπή του κεντρικού κτηρίου του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου πτήσης 80 μέτρων.....	99
Εικόνα 4.4: Σκεπή του κεντρικού κτηρίου του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου πτήσης 50 μέτρων.....	99
Εικόνα 4.5: Σκεπή κυλικείου και προαύλιος χώρος λήψης 80 μέτρων	100
Εικόνα 4.6: Σκεπή κυλικείου και προαύλιος χώρος λήψης 50 μέτρων	100
Εικόνα 4.7: Σκεπή και προαύλιος χώρος λήψης 80 μέτρων	101
Εικόνα 4.8: Σκεπή και προαύλιος χώρος λήψης 50 μέτρων	101
Εικόνα 4.9: Hillshade πτήσης 80 μέτρων	102
Εικόνα 4.10: Hillshade πτήσης 50 μέτρων	102
Εικόνα 4.11: Προοπτική απεικόνιση 3D πτήσης 80 μέτρων	103
Εικόνα 4.12: Προοπτική απεικόνιση 3D πτήσης 50 μέτρων	103
Εικόνα 4.13: Προοπτική απεικόνιση 3D πτήσης 80 μέτρων τμήματος Γεωγραφίας	104
Εικόνα 4.14: Προοπτική απεικόνιση 3D πτήσης 50 μέτρων τμήματος Γεωγραφίας	105

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Βασικά Χαρακτηριστικά των τριών γενικών κατηγοριών Drone: κοντινής, μικρής εμβέλειας και υψηλής αντοχής.....	53
Πίνακας 2.2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των drones	55
Πίνακας 2.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανά τύπο	56
Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά DJI Phantom 4 PRO	71
Πίνακας 3.2: Πρότυπα χρήσεις των διαφορετικών Project στο λογισμικό Drone2Map.....	82
Πίνακας 4.1: Σύγκριση πληροφοριών πτήσης μεταξύ των δύο πτήσεων	94
Πίνακας 4.2: Σύγκριση παραγόμενων μεταξύ των δύο πτήσεων	96
Πίνακας 4.3: Σφάλματα GCPs για την πτήση 80 μέτρων	97
Πίνακας 4.4: Σφάλματα GCPs για την πτήση 50 μέτρων	97

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1: Μεθοδολογία αεροφωτογράφησης για τον σχεδιασμό πτήσης ...	36
Διάγραμμα 2.1: Δράσεις Drone.....	59
Διάγραμμα 2.2: Τάσεις παγκόσμιας αγοράς Drone	60
Διάγραμμα 2.3: Εκτιμώμενες δαπάνες drones σε USD για τα έτη 2017-2021	61
Διάγραμμα 2.4: Απόκτηση Drone για στρατιωτικούς σκοπού στην Ελλάδα για τα έτη 2009-2017	61
Διάγραμμα 2.5: Πολιτικές εφαρμογές της χρήσης UAV	63
Διάγραμμα 2.6: Σύγκρισης ακρίβειας των συντεταγμένων με τη παραδοσιακή τοπογραφική μέθοδο εντοπισμού τους και με την χρήση γεωδαιτικού σταθμού Leica TCRA 1201	67
Διάγραμμα 3.1: Ροή εργασιών Pix4D Capture.....	72

Πίνακας Συντομογραφιών

CWSI	-	Crop Water Stress Index
DAGR	-	Drone Aware GR
DEM	Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου	Digital Elevation Model
DSM	Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας	Digital Surface Model
DTM	Ψηφιακό μοντέλο εδάφους	Digital Terrain Model
EASA	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Ασφάλειας της Αεροπορίας	European Aviation Safety Agency
ECA	-	European Cockpit Association
ECAC	Ευρωπαϊκή Διάσκεψη της Πολιτικής Αεροπορίας	European Civil Aviation Conference
EUROCONTROL	Ευρωπαϊκός οργανισμός για την ασφάλεια της αεροπλοΐας	European Organization for the Safety of Air Navigation
FAA	Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας	Federal Aviation Administration
GSD	-	Ground-sample distance
HALE	-	High Altitude, Long Endurance UAV
ICAO	Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας	International Civil Aviation Organization
IFR	Κανόνες πτήσεως διά οργάνων	Instrument flight rules (IFR)
LiDAR	-	Light Detection And Ranging
MALE	-	Medium Altitude, Long Endurance UAV
MAV	-	Micro-air Vehicle
NAA	Εθνικές Αρχές Πολιτικής Αεροπορίας	National Aviation Authorities
NASA	Εθνική Υπηρεσία Αεροναυπηγικής και Διαστήματος	National Aeronautics and Space Administration
NAV	-	Nano-air Vehicle
NDVI	Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένων διαφορών	Normalized Difference Vegetation Index
JARUS	Κανονιστικές Αρχές Μη Επανδρωμένων Συστημάτων	Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems
RMSE	Ρίζα μέσης τετραγωνικής απόκλισης	Root Mean Square Error
ROA	Τηλεχειριζόμενο Αεροσκάφος	Remotely Operated Aircraft
RPA	Τηλεχειριζόμενο Αεροσκάφος	Remotely Piloted Aircraft
RPAS	Τηλεχειριζόμενο σύστημα αεροσκαφών	Remotely Piloted Aircraft System
RPV	Τηλεχειριζόμενο Όχημα	Remotely Piloted Vehicle
TIN	Δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων	Triangular Irregular Network
UA	Αεροσκάφος/Πλατφόρμα/Drone	Unmanned Aircraft

UAS	Σύστημα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών	Unmanned Aerial System
UAV MUAV TUAV	Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος	Unmanned Aerial Vehicle Mini Unmanned Aerial Vehicle Tactical Unmanned Aerial Vehicle or Medium Range
USaR	Ομάδες διάσωσης/ Ομάδες αστικής αναζήτησης και διάσωσης	Urban Search and Rescue
VFR	Κανόνες πτήσεως εξ όψεως	Visual flight rules
VTOL	Συστήματα κάθετης απογείωσης και προσγείωσης	Vertical Take-off & Landing
ΓΥΣ	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού	-
μηΕΑ	Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος	Unmanned Aerial Vehicle
ΣμηΕΑ	Σύστημα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών	Unmanned Aerial System
ΥΠΑ	Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας	Civil Aviation Authority
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως	-

Εισαγωγή

Η μελέτη φαινομένων που εντάσσονται στα πλαίσια των γεωγραφικών εφαρμογών (ψηφιακή/τοπογραφική χαρτογράφηση, ογκομετρικές έρευνες, γεωφυσική έρευνα κ.α.), μπορεί να επιτευχθεί μέσω της αξιοποίησης εικόνων προερχόμενων από ποικίλα μέσα, όπως δορυφόροι, αεροπλάνα, ελικόπτερα, αερόστατα, καθώς και από συμπληρωματική έρευνα πεδίου, κάθε ένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες αδυναμίες και οφέλη. Το είδος και ο σκοπός της έρευνας είναι τα βασικά στοιχεία που σε συνδυασμό με το χρονικό και το οικονομικό κόστος, καθορίζουν το είδος και τον τρόπο της μεθόδου καταγραφής και απόκτησης πληροφοριών. Το κενό αυτό που δημιουργείται μεταξύ των παραδοσιακών τρόπων αεροφωτογράφισης (εναέριες φωτογραφίες που λαμβάνονται από αεροπλάνα ή ελικόπτερα και δορυφορικές εικόνες) και των επίγειων τοπογραφικών μεθόδων χαρτογραφικής αποτύπωσης (εργασία πεδίου, γεωδαιτικός σταθμός) γεφυρώνεται μέσα από την εξάπλωση της χρήσης των μη επανδρωμένων αεροσκαφών-UAV (Brutto et al., 2014).

Ο όρος UAV (Unmanned Aerial Vehicle), αντιστοιχεί στον Ελληνικό όρο «Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος-μηΕΑ», σύμφωνα με τον οποίο ορίζεται *«κάθε αεροσκάφος το οποίο προορίζεται να λειτουργεί χωρίς πιλότο επί του σκάφους»* (ECA, [s.a.]). Ο όρος drone (που θα χρησιμοποιείται από εδώ και στο εξής) είναι ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος όρος για την περιγραφή των μη επανδρωμένων εναέριων αεροσκαφών. Όπως το ίντερνέτ και τα GPS πριν από αυτά, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη παρά το γεγονός ότι οφείλουν την δημιουργία και την ανάπτυξή τους για στρατιωτική χρήση (ως στόχοι κατά την αντιαεροπορική εκπαίδευση, σε εναέριες επιθέσεις κ.α) η οποία μέχρι και σήμερα αποτελεί σε μεγάλο βαθμό την κινητήρια δύναμη εξέλιξής τους, τα τελευταία χρόνια η εξάπλωση της χρήσης τους στο ευρύ κοινό είναι ραγδαία. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το κόστος απόκτησης του πτητικού μέσου/drone έχει μειωθεί σημαντικά, ενώ ταυτόχρονα έχουν αυξηθεί οι δυνατότητές τους, τόσο όσον αφορά τις κατηγορίες τους, όσο και τον εξοπλισμό που αυτά φέρουν, με την αύξηση του ωφέλιμου φορτίου και της αυτονομίας πτήσης και την προσαρμογή αισθητήρων ανάλογα με τις απαιτήσεις του χειριστή να είναι μόνο μερικές από αυτές (Περάκης κ.ά., 2015, σ. 224). Σύμφωνα με την προκύπτουσα έκθεση επικινδυνότητας της ασφαλιστικής εταιρίας Lloyd's (2015), *«ο τομέας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών έχει αναγνωριστεί ως η πιο δυναμική συνιστώσα της παγκόσμιας αεροπορικής βιομηχανίας, με τις παγκόσμιες δαπάνες για την απόκτηση*

αεροσκαφών να αναμένεται να διπλασιαστούν σε 91 δισεκατομμύρια δολάρια τα επόμενα 10 χρόνια έως το 2024» (Lloyd's, 2015, σ.7).

Η χρήση των drones αγγίζει ένα μεγάλο τμήμα της καθημερινότητας των ανθρώπων, καθώς η χρήση τους δεν περιορίζεται μόνο στην χαρτογράφηση, αλλά εμπλέκεται και σε θέματα ασφάλειας και επιτήρησης (αστυνόμηση συνόρων, ναυτιλιακή παρακολούθηση) στην διαχείριση κρίσεων και φυσικών καταστροφών (εντοπισμός πυρκαγιών, παρακολούθηση καταστροφών, πλημμυρών κ.α), στη γεωργία ακριβείας, στην έρευνα και διάσωση, σε περιβαλλοντικές εφαρμογές κ.ά (Watts et.al., 2012).

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την χρήση των Drones είναι γνωστά στην επιστημονική κοινότητα, αφού η χρήση τους παράγει αποτελέσματα πολύ υψηλής προστιθέμενης αξίας, αν αναλογιστεί κανείς τα συνολικά έξοδα για την απόκτηση, συντήρηση, χρήση ενός Drone καθώς και τη μεγάλη ποικιλία διαθέσιμων λογισμικών επεξεργασίας των εικόνων που λαμβάνονται από αυτά.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία επιχειρείται η εφαρμογή ενός σχεδίου πτήσης με τη χρήση του DJI Phantom 4 PRO στην περιοχή του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου, για την λήψη αεροφωτογραφιών από δυο διαφορετικά υψόμετρα. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η δημιουργία 2D και 3D παραγόμενων μέσω του λογισμικού Drone2Map, με στόχο την εξακρίβωση της ποιότητας και της ακρίβειας των παραγομένων, με την χρήση σημείων εδαφικού ελέγχου.

Η δομή της εργασίας αποτελείται από δύο κυρίως μέρη. Στο πρώτο μέρος παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο της φωτογραμμετρίας, της φωτοερμηνείας, των αεροφωτογραφιών καθώς και των μεθόδων αεροφωτογράφισης (Κεφάλαιο 1). Στη συνέχεια γίνεται εστιασμένη αναφορά στην θεωρία των Μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV/ Drones) (Κεφάλαιο 2), με την πλήρη βιβλιογραφική ανασκόπηση και αναφορά του συνόλου των εννοιών που τα συνοδεύουν. Στο δεύτερο μέρος (Κεφάλαιο 3) εξετάζονται πρακτικά οι δυνατότητες του DJI PHANTOM 4 PRO στην παραγωγή 2D και 3D προϊόντων μέσα από την πτήση του σε δύο διαφορετικά υψόμετρα (50 και 80 μέτρα), καθώς και η εξακρίβωση της ακρίβειας αυτών μέσω της χρήσης σημείων εδαφικού ελέγχου γνωστών συντεταγμένων. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η συγκριτική ανάλυση των παραγόμενων προϊόντων από τα δύο ύψη πτήσης καθώς και η ακρίβειά τους, ενώ στο Κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα συνολικά συμπεράσματα που

προέκυψαν από όλα τα στάδια επεξεργασίας καθώς και προτείνονται μελλοντικά θέματα προς μελέτη.

Κεφάλαιο 1. Αεροφωτογράφιση

1.1 Ιστορική αναδρομή

1.1.1 Ιστορική αναδρομή γενικά

Ως αεροφωτογράφιση ορίζεται η διαδικασία λήψης φωτογραφιών της επιφάνειας της γης από ορισμένο ύψος από αυτή, μέσω φωτογραφικής μηχανής η οποία είναι τοποθετημένη σε ένα πτητικό μέσο συνήθως αεροπλάνο/ελικόπτερο (Χαλκιάς, 2006). Βάσει του παραπάνω ορισμού, γίνεται αντιληπτό ότι η εξέλιξη των αεροφωτογραφιών ως μέθοδος αποτύπωσης της γήινης επιφάνειας, δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί εάν δεν υφίστατο το μέσο για την λήψη των φωτογραφιών, δηλαδή οι φωτογραφικές μηχανές (και όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα), καθώς και η πλατφόρμα μεταφοράς τους. Αποτέλεσμα της λήψης φωτογραφιών από αέρος είναι οι αεροφωτογραφίες, που ουσιαστικά καταγράφουν το φως που ανακλάται από μια επιφάνεια της οποίας η ένταση καθορίζεται από την διαίρεση της ανακλώμενης με την προσπίπτουσα ενέργεια, δηλαδή την ιδιότητα Albedo (Μερτίκας, 2009).

Η δημιουργία των πρώτων φακών το 1812 αποτέλεσε τη βάση για την λήψη το 1839 της πρώτης φωτογραφίας από τους Γάλλους Niepce και Daguerre, η οποία ονομάστηκε Daquerreotype. Η λήψη αυτής της φωτογραφίας οδήγησε γρήγορα τον Γάλλο γεωδαίτη Arazo να αντιληφθεί ότι οι η λήψη αντίστοιχων φωτογραφιών από αέρος θα αποτελέσουν σημαντικό μέσο προοπτικής απεικόνισης του αναγλύφου. Παρότι η δημιουργία των φακών και η ανακάλυψη της χρήσης των αεροφωτογραφιών είχε προηγηθεί αρκετά χρόνια, τα πρώτα πραγματικά πειράματα χρήσης αεροφωτογραφιών και μεθόδων φωτογραμμετρίας έγιναν το 1949 υπό τις εντολές του Γάλλου Συνταγματάρχη A. Laussedat, που θεωρείται ο πατέρας τις φωτογραμμετρίας¹. Ταυτόχρονα με τα πειράματα του Laussedat, αντίστοιχα πειράματα επιχειρήθηκαν και από τον Γερμανό Meydenbauer. Η χρήση αερόστατων και αετών για την λήψη φωτογραφιών κατέστη άκαρπη και γι' αυτό το λόγο ο Laussedat εγκατέλειψε την ιδέα λήψης φωτογραφιών από αέρος και στράφηκε προς την βελτίωση της δημιουργίας χαρτών με τη χρήση επίγειων χαρτογραφικών μεθόδων (Ragey, 1953 όπως αναφέρεται στον Καρτέρης 1995).

¹ Χρησιμοποιώντας δύο φωτογραφίες του ίδιου αντικειμένου από διαφορετικές θέσεις, προσπάθησε να το αναπαραστήσει με τη «χρήση τεμνόμενων ζευγών των ακτινών του που αντιστοιχούσαν σε κάθε σημείο του αντικειμένου» (Καρτέρης, 1995 σ.20).

Η πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια λήψης πλάγιας αεροφωτογραφίας με την χρήση σταθερού αερόστατου έγινε το 1858 από τον Gaspard Felix Tournachon (γνωστός και ως Nadar), που επιχείρησε να φωτογραφήσει τα περίχωρα της Γαλλίας από ύψος 80 μέτρων, κάτι το οποίο όμως τράβηξε τη προσοχή του στρατού (Παρχαρίδης, 2015). Δύο χρόνια αργότερα, το 1860, οι S. King και J. Black φωτογράφησαν την πόλη Βοστώνη της Αμερικής από σταθερό αερόστατο που βρισκόταν σε ύψος 400 μέτρων, λαμβάνοντας έτσι την παλαιότερη πλάγια αεροφωτογραφία στον κόσμο (Βλέπε: Εικόνα 1.1) (Καρτέρης, 1995 σ.20).

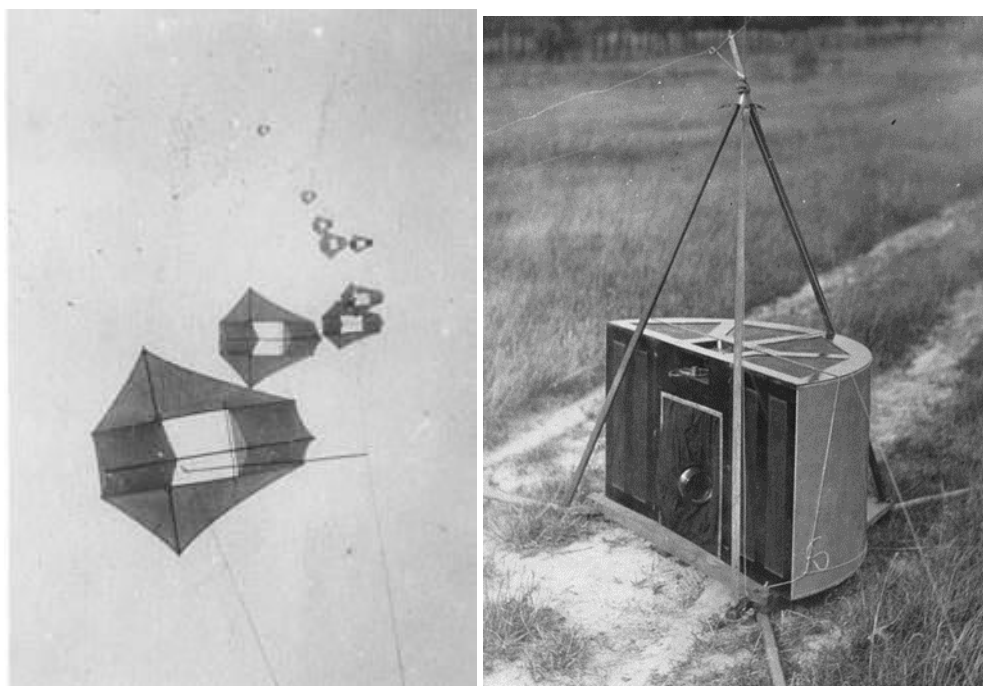


Εικόνα 1.1: Η πρώτη πλάγια αεροφωτογραφία το 1860 από αερόστατο στη Βοστώνη (Baumann, 2014)

Το 1884 επιχειρήθηκε η λήψη κατακόρυφων αεροφωτογραφιών από αερόστατα κινούμενα με έλικες, κάτι που δεν απέδωσε καθώς οι κραδασμοί και οι ταλαντώσεις εμπόδισαν την λήψη καθαρών αεροφωτογραφιών. Ανακαλύψεις όπως η ανάπτυξη της τρίχρωμης φωτογραφίας το 1861, η δημιουργία φιλμ σε ταινία και η δημιουργία της πρώτης φορητής μικρής φωτογραφικής μηχανής Kodak No.1 το 1891 από την εταιρεία Eastman Kodak, η ανακάλυψη της τεχνικής του «αιωρούμενου σημείου» από τον Γερμανό Stolze το 1982 καθώς και η μέτρηση του ύψους

αντικειμένων με την παραπάνω τεχνική από τον Γερμανό C. Pulfrich, έθεσαν τις βάσεις για την ανάπτυξη μεθοδολογιών και τεχνικών χαρτογράφησης που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα (Καρτέρης, 1995 σ.20).

Το 1901 έγινε προσπάθεια από τον George R. Lawrence λήψης πλάγιων αεροφωτογραφιών, μέσω της ανύψωσης με μπαλόνι ενός «κλουβιού» στο οποίο επέβαινε ο ίδιος με την φωτογραφική του μηχανή, το οποίο όμως δεν κατέστη δυνατό αφού το μπαλόνι έσκασε και ο ίδιος με την κάμερά του βρέθηκαν στο έδαφος. Αναγνωρίζοντας την ανάγκη για την ασφαλή λήψη αεροφωτογραφιών, χωρίς να βρίσκεται στο ιπτάμενο μέσο χειριστής, το 1906 έπειτα από τον σεισμό και την επακόλουθη πυρκαγιά που έπληξε το Σαν Φρανσίσκο, χρησιμοποιώντας 9-17 μεγάλους χαρταετούς (Βλέπε: Εικόνα 1.2), ο George R. Lawrence προσάρτησε σε αυτούς μια μεγάλη κάμερα (49 λίβρες) (Βλέπε: Εικόνα 1.3), από την οποία πραγματοποιήθηκαν μερικές από τις μεγαλύτερες λήψεις (48 x 122 εκ. ή 18 x 48 ίντσες) που έχουν ληφθεί ποτέ από μια εναέρια πλατφόρμα (Βλέπε: Εικόνα 1.4). Η κάμερα του φιλμ ήταν σχεδιασμένη έτσι ώστε η καμπυλότητα του φακού να δίνει τη δυνατότητα λήψης πανοραμικών εικόνων (Baumann, 2014).

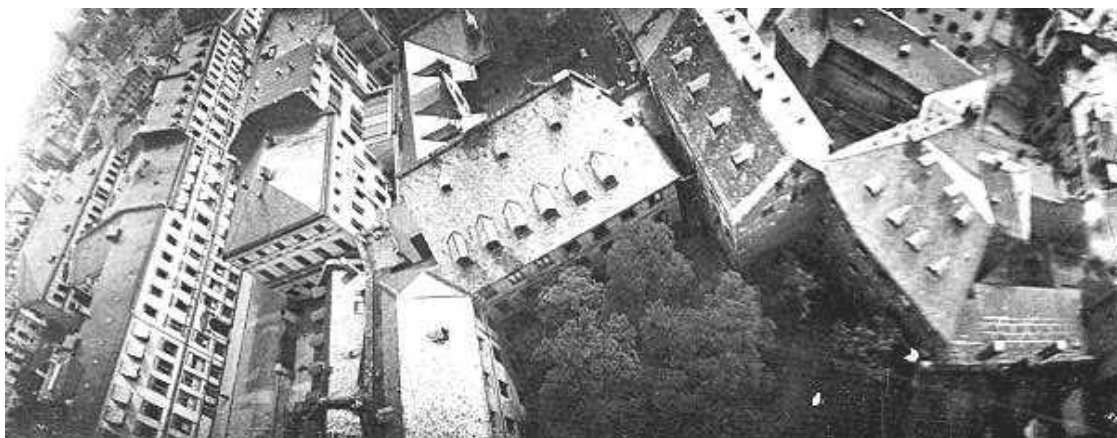


Εικόνα 1.2 & 1.3:Χαρταετοί και κάμερα που χρησιμοποίησε ο George R. Lawrence το 1906 (Baumann, 2014)



Εικόνα 1.4: Αεροφωτογραφία του George R. Lawrence το 1906 του Σαν Φρανσίσκο (Baumann, 2014)

Ανεξάρτητα των αεροσκαφών και των αερόστατων, το 1903 ο Julius Neubranner σχεδίασε και κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, μια μικρή κάμερα βάρους μόλις 70 γραμμαρίων, κατασκευασμένη ώστε να μπορεί να μεταφέρεται από περιστέρια, με σκοπό τη λήψη φωτογραφιών κάθε 30 δευτερόλεπτα κατά μήκος του άξονα πτήσης τους (Βλέπε: Εικόνα 1.5) (Baumann, 2014).

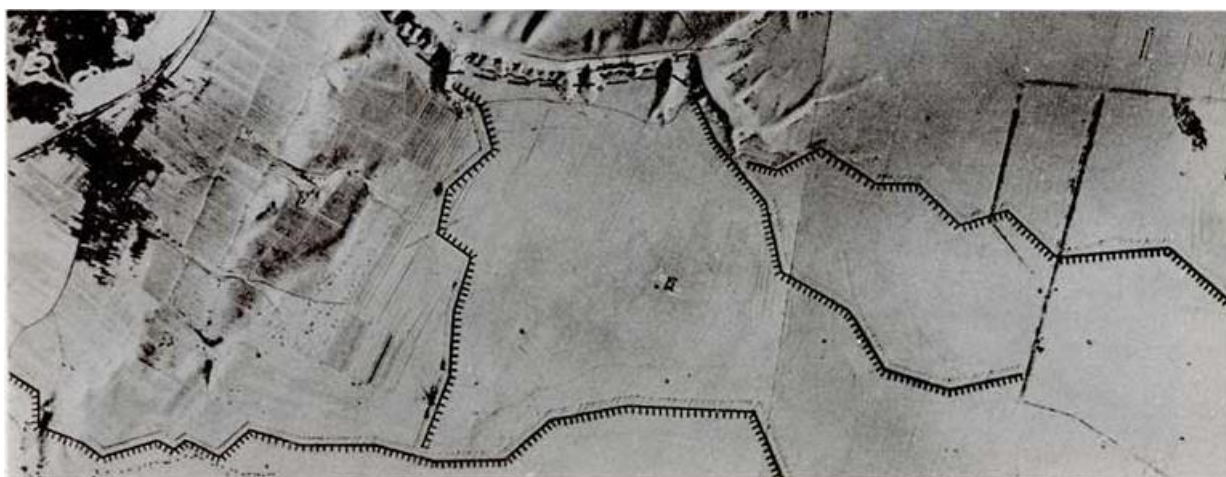


Εικόνα 1.5: Αεροφωτογραφία από κάμερα που είχε προσδεθεί σε περιστέρι (Baumann, 2014)

Ένα από τα μειονεκτήματα που φέρουν τα αερόστατα και οι αετοί ως εξέδρες για την λήψη αεροφωτογραφιών, είναι το γεγονός ότι δεν είναι εφικτή η πλήρης κάλυψη μιας περιοχής, οδηγώντας έτσι στον περιορισμό σε επίγειες φωτογραφίες. Το μειονέκτημα αυτό λύθηκε το 1903, που θεωρείται έτος σταθμός για την αεροφωτογράφιση, μέσω της εφεύρεσης του αεροπλάνου από τους αδελφούς Wright. Η ανακάλυψη αυτή οδήγησε στη συνέχεια στην πρώτη λήψη αεροφωτογραφίας από το αεροπλάνο του Wilbur, L. και του P. Bonvillain, κατά τη διάρκεια μιας επίδειξης στη Γαλλία το 1908 και έπειτα με την χρήση φορητής φωτογραφικής μηχανής

(που χειρίζονταν συνοδευτές φωτογράφοι επί του σκάφους) στη λήψη αεροφωτογραφιών της Ιταλικής πόλης Centoceli το 1909 (Παρχαρίδης, 2015).

Η ευρεία χρήση των αεροφωτογραφιών έγινε κατά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, όπου και έγινε αντιληπτή η σπουδαιότητά τους, καθώς το πλεονέκτημα της όψης από ψηλά μιας επιφάνειας που προσφερόταν από αυτές, συνέβαλε στην αύξηση του ενδιαφέροντος και στην περαιτέρω εξέλιξή τους ² (Whitmore, 1953 όπως αναφέρεται στον Καρτέρης, 1995). Στον χρόνο που μεσολάβησε μεταξύ του Πρώτου και του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, οι τεχνικές δημιουργίας τοπογραφικών χαρτών με τη χρήση αεροφωτογραφιών προόδευσαν σημαντικά, οδηγώντας έτσι σε μαζική παραγωγή τους, ενώ στο ίδιο διάστημα αναπτύχθηκε και η φωτοερμηνεία (Καρτέρης, 1995). Η εξέλιξη κατά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο αεροσκαφών με σταθερή εσωτερική ατμόσφαιρα (με κύριο στόχο την στρατιωτική τους χρήση) συνέβαλε στην πτήση αεροσκαφών και κατά συνέπεια στη λήψη φωτογραφιών από μεγαλύτερα ύψη και άρα κάλυψη μεγαλύτερων περιοχών, δίνοντας έτσι την δυνατότητα για λήψη και ερμηνεία φωτογραφιών κλίμακας 1:50.000 (Εικόνα 1.6).

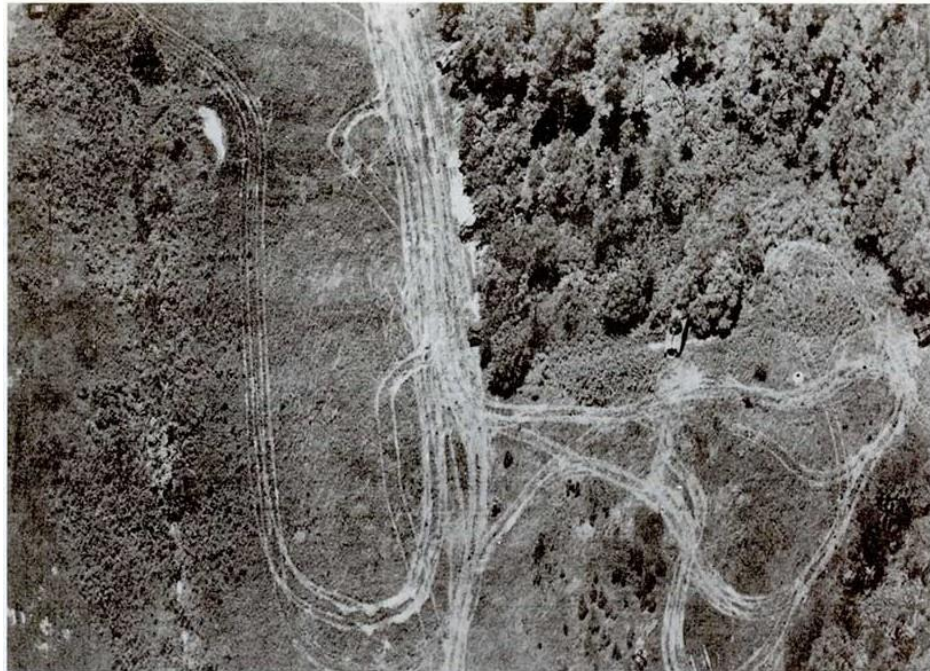


Εικόνα 1.6: Τμήμα αντιαρματικής γραμμής υπεράσπισης σε κλίμακα 1:50.000 (Tactical Interpretation Of Air Photos, 1954a)

Η μεγάλη ανάπτυξη της χρήσης των αεροφωτογραφιών συνέβη με το τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου πολέμου, όπου με την γνώση και την εκπαίδευση που είχε αποκτηθεί στο διάστημα αυτό από επιστήμονες όπως Δασολόγοι, Γεωλόγοι, μηχανικοί κ.α επιταχύνθηκε η ανάπτυξη νέων φωτογραμμετρικών και φωτοερμηνευτικών μεθόδων, τεχνικών και οργάνων. Η βελτίωση

²« Οι Γερμανοί τραβούσαν 4.000 φωτογραφίες την ημέρα σαν μέρος του σχεδίου για την τελική τους μεγάλη επίθεση το 1918 και ο αμερικανικός στρατός τράβηξε περισσότερες από 1.000.000 φωτογραφίες τούς τελευταίους τέσσερις μήνες του πολέμου» (Παρχαρίδης, 2015 σ. 8).

των φιλμ, η ανάπτυξη της πολυφασματικής και υπεριώδους φωτογράφισης (Βλέπε: Εικόνες 1.7 & 1.8), καθώς και η ανάπτυξη μη φωτογραφικών συστημάτων (ανιχνευτών θερμικής ευαισθησίας/θερμογράφοι, radar), είναι λίγες από τις εξελίξεις που συνέβησαν κατά τα επόμενα χρόνια (Καρτέρης, 1995).



Εικόνες 1.7 και 1.8: Ασπρόμαυρη αεροφωτογραφία και αεροφωτογραφία με τη χρήση φιλμ ανίχνευσης καμουφλάζ (Camouflage detection film)³ (Tactical Interpretation Of Air Photos, 1954b)

³ Στην πρώτη ασπρόμαυρη εικόνα δεν είναι δυνατή η εύρεση των καμουφλαρισμένων τανκς κάτι το οποίο στην δεύτερη είναι ευδιάκριτο, χάρη στη χρήση φιλμ ανίχνευσης καμουφλάζ.

Κατά την περίοδο 1946-1950 η NASA (Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος), μετά από παρότρυνση της κυβέρνησης των ΗΠΑ, «τοποθέτησε σε πυραύλους V-2 φωτογραφικές μηχανές 35 mm οι οποίοι στη συνέχεια εκτοξεύτηκαν από το Νέο Μεξικό», κάνοντας έτσι ένα πρώτο βήμα στον τομέα της τηλεπισκόπησης παρά το γεγονός της χαμηλής ποιότητας των παραγόμενων φωτογραφιών (Παρχαρίδης, 2015 σ. 8). Η εκτόξευση των πρώτων τεχνητών δορυφόρων όπως ο Sputnik-1, που εκτοξεύθηκε από την ΕΣΣΔ το 1957 και ο Explorer-1 που εκτοξεύθηκε από τις ΗΠΑ το 1958 παρότι επίσης δεν οδήγησαν σε φωτογραφίες υψηλής ποιότητας, ενθάρρυναν τους ερευνητές στην περεταίρω μελέτη τους και στη συνέχεια στην εκτόξευση και άλλων δορυφόρων που θα φέρουν αυτόματες φωτογραφικές μηχανές. Κατά τα επόμενα χρόνια οι εξελίξεις των αισθητήρων με την χρήση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος πέραν του ορατού ήταν ραγδαίες, αλλά παρόλα αυτά οι εικόνες αυτές είχαν μεγάλη αξία κυρίως για την μετεωρολογική κοινότητα. Η πρώτη πολυφασματική φωτογραφία από το Διάστημα λήφθηκε κατά τη διάρκεια της αποστολής Apollo 9 το 1968, ενώ μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1960 είχε ήδη αρχίσει ο σχεδιασμός από την NASA ενός μη επανδρωμένου δορυφόρου ειδικά αφιερωμένου στην πολυφασματική τηλεπισκόπηση. Οι δορυφόροι αυτοί μέσω της χρήσης φωτογραφικών μηχανών για την αποτύπωση της επιφάνειας της γης συγκέντρωσαν περισσότερες από 860.000 εικόνες της μεταξύ 1960 και 1972 (Παρχαρίδης, 2015). Παρά τα εμπόδια που προέκυψαν, στις αρχές της δεκαετίας του 1970 η NASA έλαβε το πράσινο φως για την δημιουργία μιας σειράς δορυφόρων. Έτσι το 1972 εγκαινιάστηκε το πρόγραμμα Landsat, μιας σειράς μη επανδρωμένων δορυφόρων, με σκοπό την συνεχή συλλογή φασματικών στοιχείων και εικόνων, με την εκτόξευση στις 23 Ιουλίου του ίδιου έτους του Landsat 1, του πρώτου δορυφόρου παρατήρησης της γης (NASA, [s.a.]).

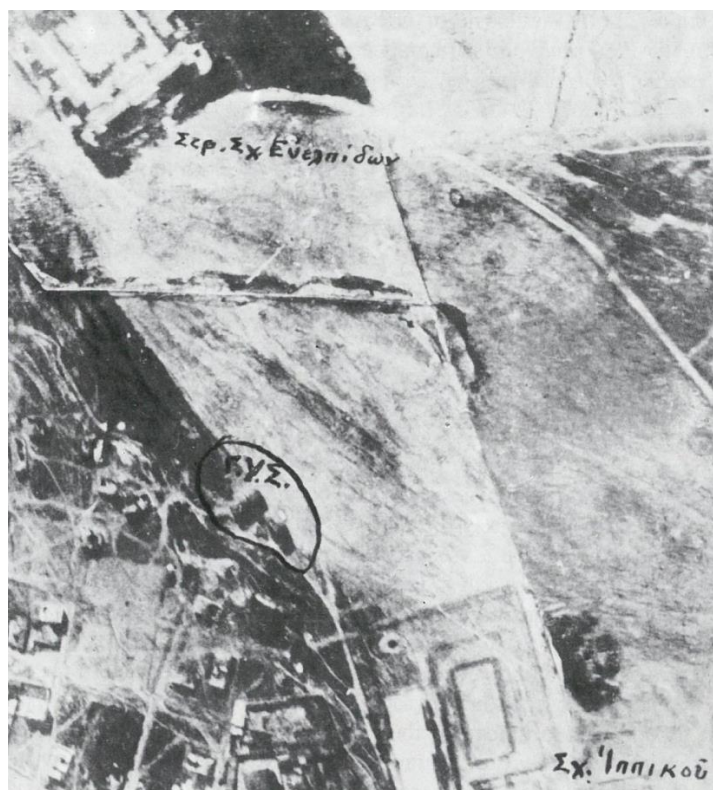
Η τεχνολογία αεροφωτογράφισης καθώς και η δορυφορική τεχνολογία συνέχισαν να εξελίσσονται κατά τα επόμενα χρόνια τόσο όσον αφορά την τεχνολογία που είναι διαθέσιμη στους πολίτες, όσο και στην αντίστοιχη στρατιωτική, με την δεύτερη να αποτελεί τον μοχλό για την εξέλιξή τους. Οι τεχνολογικές και τεχνικές καινοτομίες σε συνδυασμό με την ανάπτυξη συστημάτων απομακρυσμένου ελέγχου, οδήγησαν κυρίως κατά τη διάρκεια και μετά του Δευτέρου Παγκόσμιου Πόλεμου, στην δημιουργία μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV/Drones) από τον στρατό για στρατιωτικές εφαρμογές, κάτι που όμως την τελευταία δεκαετία εξαπλώθηκε σε μεγάλο μέρος του πληθυσμού λόγω του χαμηλού κόστους, του εύκολου χειρισμού, καθώς και των ποικίλων χρήσεων τους. Η μεγάλη εξάπλωσή τους αφορά τόσο τη χρήση τους από το ευρύ κοινό, σε εφαρμογές όπως την ψυχαγωγία και την παροχή

υπηρεσιών (aerial works κ.α) όσο και την επιστημονική κοινότητα, λόγω των πολλαπλών πλεονεκτημάτων που φέρουν σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους αεροφωτογράφισης, όπως την υψηλή ταχύτητα και άρα τον μειωμένο χρόνο της εναέριας διαδικασίας λήψης αεροφωτογραφιών και την ικανότητα χαρτογράφησης δυσπρόσιτων περιοχών στον επιθυμητό χρόνο (Brutto et al. 2014).

1.1.2 Ιστορική αναδρομή στην Ελλάδα

Τα πρώτα βήματα στον τομέα της αεροφωτογράφισης συνέβησαν κατά την προσπάθεια αναδιοργάνωσης των Ένοπλων δυνάμεων από τη Γαλλική στρατιωτική αποστολή το 1911. Η εμφάνιση του αεροπλάνου στην Ελλάδα, οφείλεται σε ιδιωτική πρωτοβουλία το 1908, με πρωτεργάτη τον ερασιτέχνη αεροπόρο Λεωνίδα Αρνιώτη, που επιχείρησε δύο δημόσιες ανεπιτυχείς προσπάθειες απογείωσης αεροπλάνου τύπου Bleriot, που ως αποτέλεσμα είχαν την πτώση και την καταστροφή τους. Η πρώτη επιτυχημένη πτήση έγινε στις 8 Φεβρουαρίου 1912 από τον Εμμανουήλ Αργυρόπουλο στην περιοχή του Ρουφ με αεροπλάνο τύπου Nieuport IV.G. (Γ.Υ.Σ., 2017).

Άμεσα μετά την πρώτη επιτυχημένη πτήση, έγινε αντιληπτή η σπουδαιότητα του αεροπλάνου και έτσι ιδρύθηκε η Ελληνική Στρατιωτική Αεροπορία, που κατά τους Βαλκανικούς Πολέμους είχε ως σκοπό τις αναγνωριστικές πτήσεις πάνω από τις θέσεις του αντιπάλου. Το 1918 ξεκίνησε η αεροφωτογράφιση σημαντικών θέσεων του μετώπου η οποία συνεχίστηκε μέχρι και το 1922. Με την πρώτη αεροφωτογράφιση περιοχής των Αθηνών το 1919, δημιουργήθηκε και το πρώτο φωτομωσαϊκό (Βλέπε: Εικόνα, 1.9). Η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού/Γ.Υ.Σ ξεκίνησε το αεροφωτογραφικό της έργο από το 1926 με την σταδιακή απόκτηση εξοπλισμού (πρισματικό στερεοσκόπιο το 1926, αεροπροβολέας Multiplexτο και αεροφωτογραφική μηχανή Zeiss το 1938 και πτυσσόμενο κατοπτρικό στερεοσκόπιο το 1939) καθώς και με την εκπαίδευση αξιωματικών στη χρήση φωτογραμμετρικών οργάνων (Καρτέρης, 1995).



Εικόνα 1.9: Κατακόρυφη Αεροφωτογραφία της Σχολής Ευελπίδων και της Γ.Υ.Σ του έτους 1919 (Γ.Υ.Σ., όπως αναφέρεται στον Καρτέρης, 1995, σ. 31)

Οι διαθέσιμες αεροφωτογραφίες παρέχονται από την Γ.Υ.Σ, που είναι υπεύθυνη για την αεροφωτογραφική κάλυψη της Ελλάδας από το 1937, με την κάλυψη ολόκληρου του λεκανοπεδίου της Αττικής που συνεχίστηκε έως και το 1938 -1939, όπου και υφίστανται αρχείο 1.600 αεροφωτογραφιών σε συνδυασμό με την κάλυψη διάφορων περιοχών της Ελλάδας σε κλίμακα 1:18.000. Το 1945 έγινε η πρώτη ολοκληρωμένη αεροφωτογραφική κάλυψη του συνόλου της χώρας σε κλίμακα 1:40.000 από τους Αμερικανούς, όπως και η επόμενη πλήρης αεροφωτογράφιση της Ελλάδας το 1960 σε κλίμακα 1:30.000 (Μαστρογιαννάκης 1980, όπως αναφέρεται στον Καρτέρης, 1995).

Το 1954, ιδρύθηκε το Μικτό Αεροφωτογραφικό Κέντρο (ΜΑΦΚ), που μέχρι και σήμερα συνεισφέρει στις αεροφωτογραφίες τόσο όσον αφορά τις Ένοπλες Δυνάμεις, όσο και την ευρύτερη κοινωνία (Πολεμική Αεροπορία, [(s.a.)]). Από το 1962 με την ανάθεση του έργου "Χαρτογράφηση της Ελλάδος" στην Γ.Υ.Σ, εκτελούνται κάθε έτος αεροφωτογραφίες του συνόλου της χώρας, τηρείται διαχρονικό αρχείο 300.000 αεροφωτογραφιών για ολόκληρη τη χώρα από το 1961, καθώς επίσης τηρείται αρχείο παλαιών αεροφωτογραφιών για τα έτη- 1960 (Γ.Υ.Σ., 2017).

1.2 Στοιχεία Φωτογραμμετρίας, Φωτοερμηνείας και Αεροφωτογραφιών

1.2.1 Στοιχεία Φωτογραμμετρίας

Ως φωτογραμμετρία ορίζεται το επιστημονικό και τεχνολογικό πεδίο που εξετάζει τους τρόπους και τις μεθόδους επεξεργασίας αεροφωτογραφιών, με σκοπό την εξαγωγή μετρήσεων (Χαλκιάς, 2006) καθώς επικεντρώνεται στην λήψη ποσοτικών πληροφοριών μέσω μεθόδων αποτύπωσης και μετρήσεων σε μία ή περισσότερες εικόνες (σχηματισμοί, διαστάσεις κ.α). Η φωτογραμμετρία παρέχει την δυνατότητα γρήγορης, οικονομικής και αξιόπιστης αποτύπωσης και μέτρησης αντικειμένων χωρίς φυσική επαφή με αυτά (Μπαντέκας, 1980 όπως αναφέρεται στον Περάκης κ.α., 2015).

Τα παραγόμενα φωτογραμμετρικά προϊόντα χωρίζονται σε Ψηφιακά και Αναλογικά. Όσον αφορά τα αναλογικά, αυτά μπορεί να αφορούν χάρτες ισοϋψών καμπυλών, ανοιγμένες εικόνες (εικόνες στις οποίες έχει γίνει η αναγωγή μιας πλάγιας αεροφωτογραφίας σε κατακόρυφη), φωτομωσαϊκά, δηλαδή χάρτες με μικρή ακρίβεια που έχουν προκύψει από την τοποθέτηση διαδοχικών στερεοζευγών κ.α. Τα ψηφιακά παραγόμενα μπορεί να είναι Ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου (Digital Elevation Model/DEM) (ή και δίκτυα ακανόνιστων τριγώνων [Triangular Irregular Networks (TIN)]), ψηφιακά διανυσματικά δεδομένα ως σημεία, γραμμές ή πολύγωνα, καθώς και ορθοφωτοχάρτες, δηλαδή ορθοφωτογραφίες στις οποίες συμπεριλαμβάνονται και χαρτογραφικά στοιχεία όπως συντεταγμένες και τοπωνύμια (Περάκης κ.α., 2015).

1.2.2 Στοιχεία Φωτοερμηνείας

Η φωτοερμηνεία αποτελεί κλάδο της φωτογραμμετρίας και είναι ουσιαστικά η ερμηνεία ποιοτικών χαρακτηριστικών των στοιχείων που απεικονίζονται (Στεφανάκης, 2010). Για να καταλήξει ο ερευνητής στην εξαγωγή των επιθυμητών πληροφοριών και στην ασφαλή και ακριβή ερμηνεία των εικόνων, πρέπει πρώτα να προηγηθεί μια σειρά βημάτων επεξεργασίας τους, όπως αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

- 1) Αποκατάσταση ή Προεπεξεργασία,** που αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα στάδια επεξεργασίας μιας εικόνας καθώς οι παρακάτω διαδικασίες βασίζονται στα αποτελέσματα αυτής και έτσι πιθανές αστοχίες αυτού του σταδίου να οδηγήσουν στην μείωση της πληροφορίας του παραγόμενου αποτελέσματος. Οι αλγόριθμοι που υπάρχουν για την

διόρθωση των εικόνων αφορούν τόσο τις επιδράσεις της ατμόσφαιρας, όσο και γεωμετρικές παραμορφώσεις λόγω ταχύτητας και ύψους της εξέδρας/του αναγλύφου της επιφάνειας κ.α. (Παρχαρίδης, 2015).

2) Βελτίωση, που ενώ στην περίπτωση των αναλογικών εικόνων θα μπορούσε να παραληφθεί, η βελτίωση της εμφάνισης της εικόνας αποτελεί απαραίτητο βήμα για την παραγωγή δευτερογενών προϊόντων από ψηφιακές εικόνες. Το παρόν βήμα μπορεί να αφορά ποικίλες βελτιώσεις, οι κυριότερες εκ των οποίων είναι: η διόρθωση εκτροπών εξαιτίας των φακών, η βελτίωση της αντίθεσης (Contrast Enhancement), η χρήση φίλτρων (filters), η ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal components analysis), ο συνδυασμός φασματικών ζωνών (Combination of spectral zones), οι λόγοι φασματικών ζωνών (Ratios) καθώς και η συγχώνευση δεδομένων (Παρχαρίδης, 2015).

3) Ταξινόμηση/Κατηγοριοποίηση, η οποία ορίζεται ως η διαδικασία μετατροπής των δεδομένων σε θεματική πληροφορία, με σκοπό την ανάδειξη των σημαντικών πληροφοριών. Για να μπορέσει να εξαχθεί η θεματική αυτή πληροφορία, αρχικά τα εικονοστοιχεία θα πρέπει να κατανεμηθούν σε γνωστές κλάσεις οι οποίες πρέπει να συμπίπτουν με τις κατηγορίες των γήινων αντικειμένων που απεικονίζονται στην περιοχή μελέτης, ενώ στη συνέχεια σειρά έχει η απόδοση μιας ιδιότητας/τιμής σε κάθε μια από αυτές τις κλάσεις. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η «οριοθέτηση» των ομοειδών εικονοστοιχείων και η δημιουργία ενός μωσαϊκού, κάθε κλάση του οποίου διαχωρίζεται μέσω ενός χρώματος ή συμβόλου. Οι μέθοδοι ταξινόμησης μιας εικόνας μπορούν να χωριστούν στην μη ελεγχόμενη και στην ελεγχόμενη ταξινόμηση, κάθε μια από τις οποίες χαρακτηρίζεται από πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθώς και ενδείκνυνται ανάλογα με την φύση του αντικειμένου μελέτης (Παρχαρίδης, 2015).

4) Ερμηνεία, βασικός σκοπός της οποίας είναι η αναγνώριση και ο εντοπισμός χαρακτηριστικών του ανθρωπογενούς και του φυσικού περιβάλλοντος, με πηγή τις αεροφωτογραφίες, με στόχο τη λήψη ποιοτικών πληροφοριών μέσω διαδικασιών επεξεργασίας, ανάλυσης και ερμηνείας τους (Παρχαρίδης, 2015).

Η εξαγωγή πληροφοριών από τις παραπάνω διαδικασίες γίνεται μέσω της αξιολόγησης μιας σειράς χαρακτηριστικών, τα οποία συνοψίζονται παρακάτω:

- **Φωτογραφικός τόνος** (και χρώμα), που ως παράμετρος εκφράζει την σχετική ποσότητα φωτός που ανακλάται από ένα αντικείμενο και σημειώνεται στην πλακά του φιλμ. Σε πολλές περιπτώσεις δεν ερμηνεύεται ο τόνος του γκρι ενός αντικειμένου αλλά η διαφορά του τόνου.
- **Μέγεθος**, το οποίο διακρίνεται σε σχετικό και απόλυτο, όπου συνήθως τα άγνωστου μεγέθους αντικείμενα συγκρίνονται με αντικείμενα γνωστού μεγέθους.
- **Σχήμα**, που επηρεάζεται από την θέση που έχουν τα αντικείμενα στην αεροφωτογραφία.
- **Σκιά**, που καθορίζεται από το μέγεθος και σχήμα του αντικειμένου που παρατηρείται καθώς και από το ύψος που βρίσκεται ο ήλιος.
- **Υφή**, που αφορά τις διακυμάνσεις του τόνου που προκύπτουν από την παρατήρηση ενός συνόλου μικρών αντικειμένων συνολικά. Όσο μικρότερη είναι η κλίμακά τόσο λεπτότερη παρουσιάζεται η υφή.
- **Διάταξη**, που χαρακτηρίζει την διεύθυνση στον χώρο των αντικειμένων που μπορεί να είναι φυσικού χαρακτήρα ή να έχει προκύψει από την ανθρώπινη παρέμβαση.
- **Σχέση με την περιβάλλουσα περιοχή**, που δεν σχετίζεται άμεσα με την ερμηνεία των αντικειμένων, αλλά συμβάλει στη συσχέτιση τους με άλλα αντικείμενα ή με το περιβάλλον (Περάκης κ.α., 2015 και Καρτέρης, 1995).
- **Χρόνος**, που μπορεί να αφορά είτε τις εποχές του έτους είτε την ώρα λήψης των αεροφωτογραφιών και συνδέεται άμεσα με τις φυσικές ιδιότητες του περιβάλλοντος, καθώς και με τις σκιές που εμφανίζουν τα αντικείμενα (Φουντάς & Γέμτος, 2015).

Αφού έχουν προηγηθεί όλες οι απαραίτητες διαδικασίες επεξεργασίας των εικόνων καθώς και η παράθεση των χαρακτηριστικών τους, σειρά έχει η ερμηνεία τους, η οποία βασίζεται σύμφωνα με τον Περάκη (2015) στις παρακάτω φάσεις:

- 1) **Προκαταρκτική εξέταση**, κατά την οποία αποφασίζεται από τον ερευνητή η τεχνική/διαδικασία που θα ακολουθηθεί, το είδος του φωτισμού, η μεγέθυνση και το είδος της παρατήρησης (μονοσκοπική ή στερεοσκοπική)
- 2) **Εντοπισμός**, όπου ο ερευνητής έπειτα από παρατήρηση της αεροφωτογραφίας διαπιστώνει εάν υπάρχει χρήσιμη πληροφορία σε ένα συγκεκριμένο σημείο

- 3) **Αναγνώριση**, κατά την οποία παρατηρούνται τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω, ώστε βάσει αυτών να διαπιστωθεί εάν αποτελεί γνωστό αντικείμενο
- 4) **Ταυτοποίηση**, όπου το αναγνωρισμένο αντικείμενο ταξινομείται βάσει του ονόματος μιας συγκεκριμένης ομάδας (Συχνά η αναγνώριση και η ταυτοποίηση πραγματοποιούνται ταυτόχρονα).
- 5) **Ανάλυση**, που ορίζεται ως η διαδικασία τεμαχισμού των επιθυμητών συνόλων αντικειμένων σε υποσύνολα
- 6) **Ταξινόμηση**, που αποτελεί βήμα απλούστευσης και οικονομίας καθώς τα αντικείμενα που έχουν κάποια σημαντικά κοινά χαρακτηριστικά τοποθετούνται σε ομοιογενείς ομάδες περιορισμένου αριθμού
- 7) **Πορίσματα- Συμπεράσματα**, όπου συνδυάζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω φάσεων για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Το σύνολο των πορισμάτων στα οποία θα καταλήξει ο ερευνητής μέσα από την εφαρμογή των παραπάνω βημάτων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από υποκειμενικούς παράγοντες, όπως η αντίληψη του ερευνητή, η εμπειρία, οι ικανότητες καθώς και από αντικειμενικούς παράγοντες που σχετίζονται με την αρχική ποιότητα των εικόνων καθώς και τις επεξεργασίες που αυτές υπέστησαν (Καρτέρης, 1995).

1.2.3 Στοιχεία Αεροφωτογραφιών

1.2.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Αεροφωτογραφιών

Η βασική πηγή πληροφοριών στη φωτογραμμετρία είναι οι αποτυπώσεις της γήινης επιφάνειας από απόσταση, δηλαδή οι αεροφωτογραφίες (Περάκης κ.α., 2015). Κάθε αεροφωτογραφία, πέρα από το αντικείμενο το οποίο απεικονίζεται, περιλαμβάνει επιπλέον τα παρακάτω βασικά χαρακτηριστικά:

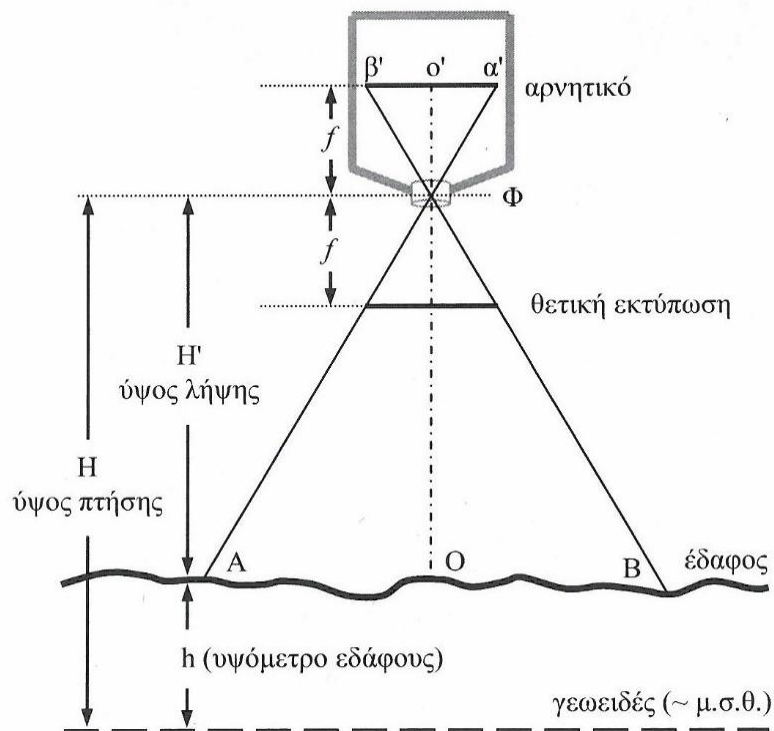
- **Πληροφοριακά στοιχεία**, όπως πυξίδα, βαρόμετρο, οριζόντια αεροστάθμη, ρολόι κ.α τα οποία μπορεί να σημειώνονται στα περιθώρια της αεροφωτογραφίας και σχετίζονται με

την εύρεση άλλων χαρακτηριστικών όπως το ύψος λήψης, την εστιακή απόσταση, ο αύξοντας αριθμός κ.α.⁴

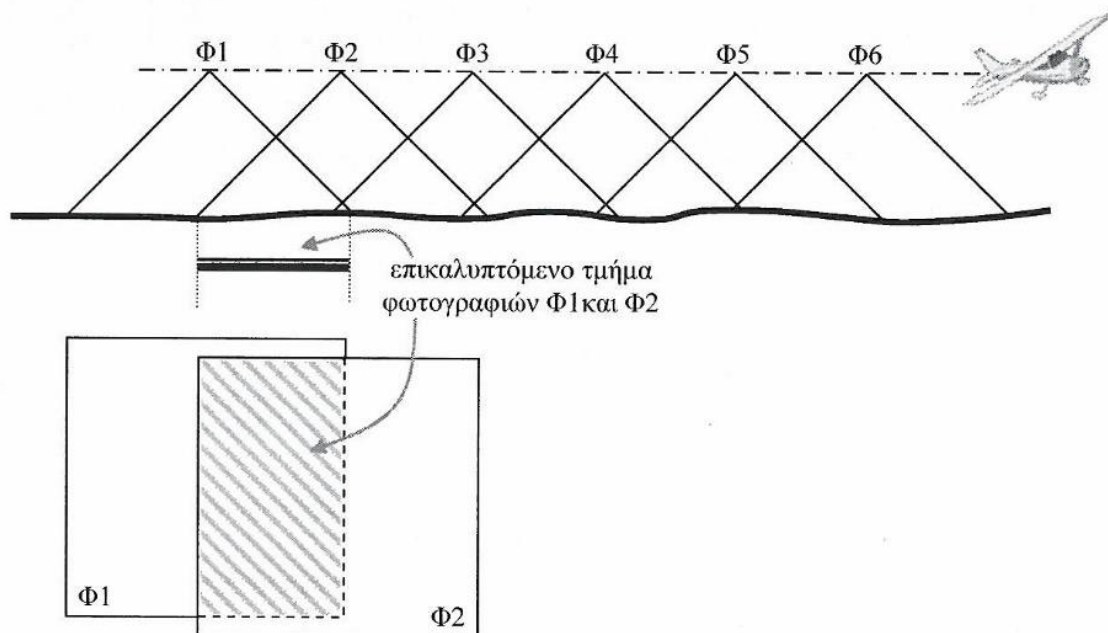
- **Ενεργός επιφάνεια**, που «είναι η κεντρική περιοχή της αεροφωτογραφίας η οποία εκτείνεται περίπου μέχρι το μέσο των επικαλυπτόμενων από όλες τις γειτονικές αεροφωτογραφίες περιοχών» και καλύπτει περίπου το 28% της συνολικής αεροφωτογραφίας (Καρτέρης, 1995, σ.125)
- **Βάση λήψης**, που είναι η απόσταση από το έδαφος μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων λήψης
- **Φωτοσταθέρá ή σημεία προσαρμογής**, τα οποία σημεία είναι εύκολο να εντοπιστούν (Διασταυρώσεις δρόμων, κ.α) και έχουν γνωστές οριζόντιες θέσεις και υψόμετρα
- **Ύψος λήψης (H)**, δηλαδή η απόσταση του προβολικού κέντρου από το αντικείμενο που φωτογραφίζεται (συνεπώς και η **κλίμακα**) που συνδράμουν στην λεπτομέρεια και το **μέγεθος της εικόνας**. Το **Ύψος πτήσης** αφορά το ύψος λήψης στο οποίο προστίθεται το υψόμετρο του εδάφους έως το γεωειδές/μέση στάθμη θάλασσας.
- **Ημερομηνία και ώρα λήψης**, που συμβάλουν σε παραμέτρους της αεροφωτογραφίας όπως η θέση του ήλιου και άρα τις σκιάσεις του αναγλύφου (Καρτέρης, 1995)
- **Έκθεση**, που είναι «το μέτρο της ενέργειας του φωτός που λαμβάνει ένα σημείο του φιλμ καθώς αυτό εκτίθεται και σχηματίζεται η εικόνα του» (Μερτίκας, 2009, σ.70)
- **Εστιακή απόσταση (f)**, που ορίζεται ως «η κάθετη απόσταση του εσωτερικού εστιακού κέντρου του συστήματος των φακών από την φωτογραφική πλάκα/φιλμ» (Βλέπε: Εικόνα 1.10) (Στεφανάκης, 2010, σ.94)
- **Φωτογραφική διαχωριστική ικανότητα** ή χωρική ανάλυση, που εξαρτάται από τη διαχωριστική ικανότητα του φακού και του φιλμ, τη ποιότητα του φακού, τις αναταράξεις του αεροσκάφους καθώς και περιβαλλοντικές συνθήκες. Εκφράζεται συνήθως με τον αριθμό των γραμμών που διακρίνονται σε μια φωτογραφία ανά μονάδα μήκους (Μερτίκας, 2009)
- **Πρωτεύον σημείο**, που ονομάζεται το στίγμα του οπτικού άξονα (δηλαδή του γραμμικού τμήματος που εκτελεί την εστιακή απόσταση) στη φωτογραφική πλάκα (Στεφανάκης, 2010)
- **Αύξοντας αριθμός καταγραφής**

⁴ Η έλλειψη ορισμένων πληροφοριακών στοιχείων μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα κατά την χρήση των αεροφωτογραφιών.

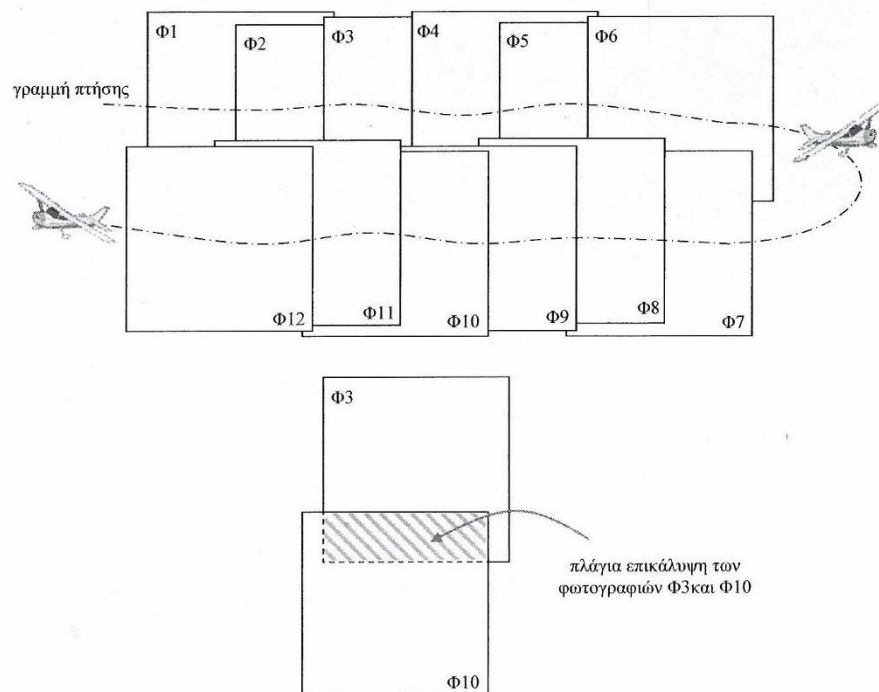
- **Επικαλύψεις κατά μήκος και πλάτος**, οι οποίες είναι απαραίτητες για την εύρεση κοινών σημείων μεταξύ των αεροφωτογραφιών για την δημιουργία στερεοζευγών (Βλέπε: Εικόνες 1.11 & 1.12) (Περάκης κ.α., 2015)



Εικόνα 1.10: Σχηματική αναπαράσταση κατακόρυφης αεροφωτογράφισης όπου: $o'-O$ = οπτικός άξονας, $\beta'-\alpha'$ = είδωλο, Φ = φακός, f = εστιακή απόσταση (Στεφανάκης, 2010, σ. 104)



Εικόνα 1.11: Διαδικασία λήψης κατακόρυφων αεροφωτογραφιών με επικαλυπτόμενα τμήματα κατά την γραμμή πτήσης ανά δύο αεροφωτογραφίες 55-65% (Στεφανάκης, 2010, σ. 101)



Εικόνα 1.12: Δύο γραμμές πτήσης με πλάγια επικάλυψη 15-35% (Στεφανάκης, 2010, σ.102)

Ωστόσο, σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα των αεροφωτογραφιών είναι και η μετατόπιση του αναγλύφου που εντοπίζεται σε όλες τις κατακόρυφες και μη αεροφωτογραφίες, καθώς αυτές αποτελούν προοπτική (κεντρική) προβολή του εικονιζόμενου αντικειμένου. Έτσι κάθε σημείο που έχει διαφορετικό ύψος από το πρωτεύον εικονοσημείο (principal point) παρουσιάζει αποκλίσεις (Στεφανάκης, 2010), δηλαδή «μετατοπίσεις από τις θέσεις σε διεύθυνση ακτινική, με κέντρο το κέντρο της φωτογραφίας» (Μερτίκας, 2009, σ.79)

1.2.3.2 Τύποι αεροφωτογραφιών

Οι αεροφωτογραφίες υπάγονται σε επιμέρους κατηγοριοποιήσεις βάσει:

- **Των φιλμ/ψηφιακού αισθητήρα** που χωρίζονται σε:
 - **ασπρόμαυρες παγχρωματικές** που λαμβάνονται στην ζώνη του φάσματος με μήκη κύματος $\lambda=0,3-0,7\mu\text{m}$, στις οποίες απεικονίζονται οι μεταβολές της φωτεινότητας και χρησιμοποιούνται συνήθως για χαρτογραφήσεις και φωτοερμηνεία, αλλά όχι για της βλάστησης καθώς δεν είναι ευαίσθητες στο πράσινο χρώμα του φωτός.
 - **ασπρόμαυρες υπέρυθρες**, που λαμβάνονται στην ζώνη του φάσματος με μήκη κύματος $\lambda=0,6-0,9\mu\text{m}$ αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις φιλμ που μπορούν να καταγράψουν έως

και $\lambda=1.2\mu\text{m}$, οι οποίες εμφανίζουν ευαισθησία σε ένα τμήμα του ορατού καθώς και στο εγγύς υπέρυθρο. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τον διαχωρισμό βλάστησης και υδάτινων μαζών και άρα για τη χαρτογράφηση υδρογραφικών δικτύων και άλλων υδάτινων επιφανειών (Περάκης κ.α., 2015, σ.28).

- **έγχρωμες στο ορατό**, που λαμβάνονται στην ζώνη του φάσματος με μήκη κύματος $\lambda=0,3-0,7\mu\text{m}$ και απεικονίζουν επακριβώς τα χρώματα που εντοπίζονται στη φύση.
- **έγχρωμες υπέρυθρες** που ονομάζονται και ψευδοχρωματικές, οι οποίες λαμβάνονται στην ζώνη του φάσματος με μήκη κύματος $\lambda=0,3-0,9\mu\text{m}$ και εμφανίζουν ευαισθησία στο ορατό και το κοντινό υπέρυθρο. Χρησιμοποιούνται κυρίως για στρατιωτικές αναγνωρίσεις εξοπλισμού που δεν διακρίνονται εύκολά λόγω της βλάστησης (camouflage).

- **Των φωτογραφικών φακών**, που μπορεί να είναι:

- **υπερευρυγώνιοι**, με μέγιστο γωνιακό εύρος 123° που χρησιμοποιούνται κυρίως για χαρτογραφήσεις μικρής κλίμακας
- **ευρυγώνιοι**, με μέγιστο γωνιακό εύρος 94° για μέτριες έως μεγάλης κλίμακας χαρτογραφήσεις
- **κανονικοί**, με μέγιστο γωνιακό εύρος 57° για τη δημιουργία φωτομωσαϊκών (Μερτίκας, 2009)

- **Του μέσου αποθήκευσής τους** σε ψηφιακές και αναλογικές (Στεφανάκης, 2010)

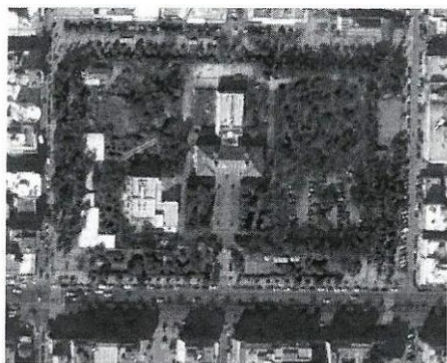
- **Του προσανατολισμού τους** όπου χωρίζονται σε⁵:

- **κατακόρυφες**, με τον οπτικό άξονα της φωτογραφικής μηχανής να είναι κατακόρυφος ή σχετικά κατακόρυφος με κλίση⁶ μικρότερη των 3° .
- **κεκλιμένες**, με τον οπτικό άξονα της φωτογραφικής μηχανής να είναι κεκλιμένος με κλίση έως και 45° . Χρησιμοποιούνται κυρίως για την αποτύπωση εκτεταμένων εκτάσεων αλλά απαιτούνται γεωμετρικές διορθώσεις πρώτου επιχειρηθούν μετρήσεις.

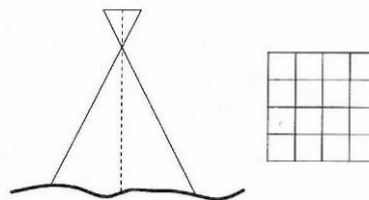
⁵ Μπορούν επίσης να διαχωριστούν βάσει ενδιαμέσων κατηγοριών, όπως αναφέρει ο Μερτίκας (2009) σε: αυστηρώς κατακόρυφες (όταν η διεύθυνση του οπτικού άξονα ταυτίζεται με την κατακόρυφο), κατακόρυφες (κλίση έως 5°), λίγο πλάγιες (κλίση από 5° - 30°), πλάγιες (κλίση από 30° - 60°), πολύ πλάγιες (όταν περιλαμβάνεται ο ορίζοντας), οριζόντιες (οπτικός άξονας επί του ορίζοντα) και ζενίθιες (όταν ο άξονας κατευθύνεται προς το ζενίθ).

⁶ «Η κλίση των αεροφωτογραφιών αναφέρεται στην γωνία που σχηματίζει ο άξονας λήψης με την κατακόρυφο» (Μερτίκας, 2009, σ.74).

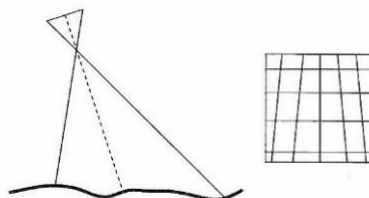
- **πλάγιες**, με τον οπτικό άξονα της φωτογραφικής μηχανής να έχει κλίση μεγαλύτερη των 45° . Στις πλάγιες αεροφωτογραφίες απεικονίζεται ο ορίζοντας (Βλέπε: Εικόνα 1.13).



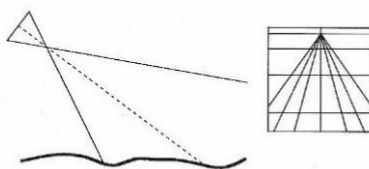
(α)



(β)



(γ)



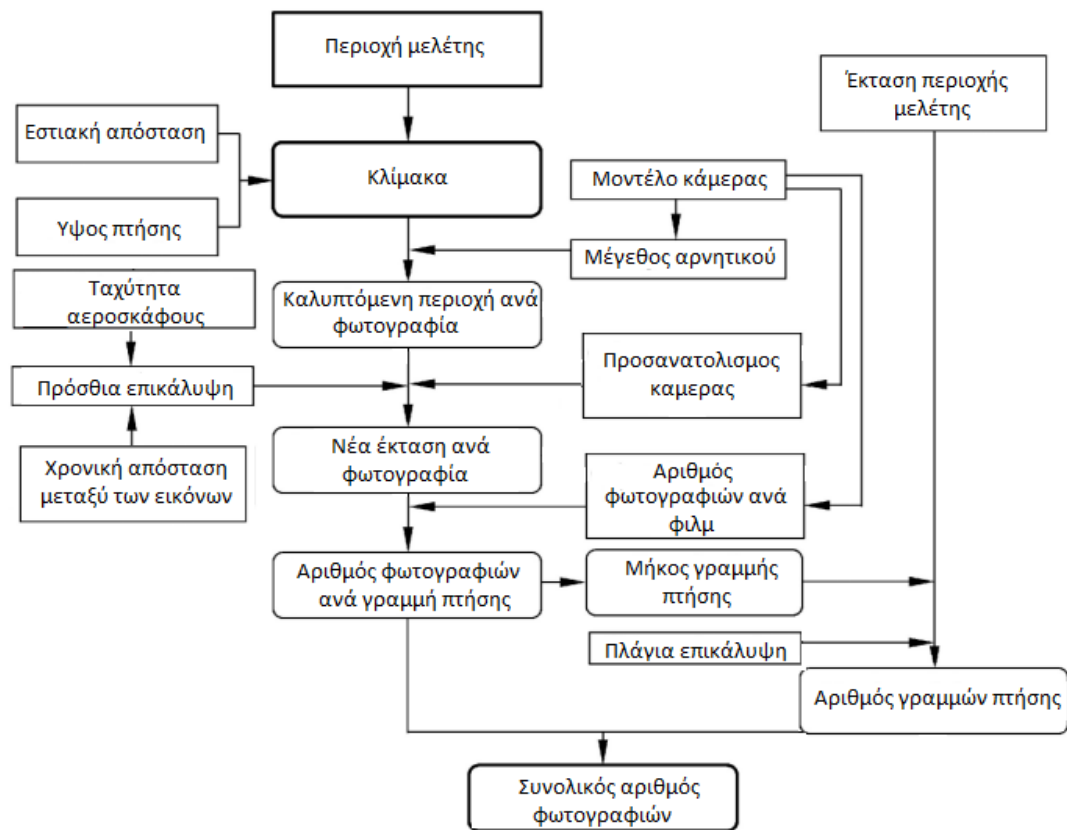
Εικόνα 1.13: Κατηγορίες αεροφωτογραφιών (α) κατακόρυφη, (β) πλάγια και (γ) πολύ πλάγια με αντικείμενο παρατήρησης το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο (Στεφανάκης, 2010, σ. 91).

1.2.3.3 Σχεδιασμός αεροφωτογράφισης

Ο σχεδιασμός της αεροφωτογράφισης είναι δομικό στοιχείο μιας επιτυχημένης εκτέλεσης φωτογραμμετρικής/φωτοερμηνευτικής εργασίας, ο οποίος καθορίζεται άμεσα από τα χαρακτηριστικά των αεροφωτογραφιών που προαναφερθήκαν καθώς και τον σκοπό για τον οποίο προορίζονται οι αεροφωτογραφίες. Έτσι, βασικοί παράμετροι που συνδράμουν στην

σωστή οργάνωση και την επιτυχημένη λήψη αεροφωτογραφιών σύμφωνα με τον Καρτέρη (1995) είναι οι εξής:

- **Εποχή πτήσης**, που σχετίζεται με το ύψος του ηλίου (μέγεθος σκιών, όπου σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο είναι δύσκολη η ερμηνεία μορφών λεπτομερώς), τις περιβαλλοντικές και ατμοσφαιρικές συνθήκες καθώς και την κατάσταση της βλάστησης όπως και η **ώρα πτήσης**.
- **Ύψος πτήσης**, που συνδέεται άμεσα με την **κλίμακα αεροφωτογράφισης**, το οποίο σχετίζεται με τον σκοπό της έρευνας και την επιθυμητή ποιότητα και ακρίβεια των παραγόμενων αεροφωτογραφιών.
- **Εστιακή απόσταση** του φακού, όπου όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μικρότερη επιφάνεια του εδάφους καλύπτεται και άρα τόσο μεγαλύτερη είναι η κλίμακα.
- **Δημιουργία χάρτη πτήσης**, που είναι και το τελευταίο βήμα πριν την εκτέλεση της αεροφωτογράφισης. Σε έναν τοπογραφικό συνήθως χάρτη πρέπει να συμπεριλαμβάνονται: τα όρια της περιοχής ενδιαφέροντος, οι γραμμές καθώς και η πορεία πτήσης, σημεία ελέγχου καθώς και πρόσθιες και πλάγιες επικαλύψεις κατά την διεύθυνσή λήψης των αεροφωτογραφιών, με σκοπό την εξασφάλιση της πλήρους κάλυψης της περιοχής μελέτης.
- **Η ύπαρξη μικρού μεγέθους αεροφωτογραφιών**, που ονομάζονται και συμπληρωματικές και έχουν ως σκοπό «τη συλλογή λεπτομερών στοιχείων και πληροφοριών» (Βλέπε: Διάγραμμα 1.1) (Καρτέρης, 1995, σ. 103).



Διάγραμμα 1.1: Μεθοδολογία αεροφωτογράφισης για τον σχεδιασμό πτήσης (μετάφραση από Hennemann & Nagelhout, 2002)

Για την επίτευξη του παραπάνω σχεδιασμού, απαραίτητος είναι ο ορισμός και ο υπολογισμός κάποιων παραμέτρων για την σωστή εκτέλεση της αποστολής, όπως αυτοί παρουσιάζονται στη συνέχεια:

$$\text{Κλίμακα} = \frac{\text{Μέσο Ύψος Πτήσης κατά την διάρκεια της Φωτογράφισης}}{\text{Εστιακό Μήκος Φωτογραφικής Μηχανής}} \quad [1]$$

$$\begin{aligned} &\text{Κάλυψη Επιφάνειας/Φωτογραφία} \\ &= \frac{\text{Πλάτος Φακού Φωτογραφικής Μηχανής}}{\text{Κλίμακα}} \end{aligned} \quad [2]$$

$$g_{\text{end}} = \text{Κλίμακα} * \text{Πλάτος Φακού Φωτογραφικής Μηχανής} \left[\frac{100 - O_{\text{end}}}{100} \right] \quad [3]$$

όπου: g_{end} = Απόσταση ανάμεσα στις επικαλύψεις φωτογραφιών πάνω στη γραμμή πτήσης (Endlap ή Forward Overlap) και O_{end} = Ποσοστό Επικάλυψης Αεροφωτογραφιών στην ίδια γραμμή πτήσης (Κυμαίνεται από 55- 65%).

$$g_{\text{side}} = \text{Κλίμακα} * \text{Πλάτος Φακού Φωτογραφικής Μηχανής} \left[\frac{100 - O_{\text{side}}}{100} \right] \quad [4]$$

όπου: g_{side} = Απόσταση ανάμεσα στις επικαλύψεις φωτογραφιών σε διπλανές γραμμές πτήσης (Sidelap ή Side ward Overlap) και O_{side} = Ποσοστό Επικάλυψης Αεροφωτογραφιών στις διπλανές γραμμές πτήσης (Κυμαίνεται από 20- 40%).

$$\text{Αριθμός Γραμμών Πτήσεων} = \frac{\text{Πλάτος Περιοχής Ενδιαφέροντος}}{g_{side}} + 2 \quad [5]$$

$$\begin{aligned} \text{Αριθμός Φωτογραφιών ανά Γραμμή Πτήσης} \\ = \frac{\text{Μήκος μιας Γραμμής Πτήσης}}{g_{end}} + 4 \end{aligned} \quad [6]$$

$$\text{Συνολικός Αριθμός Φωτογραφιών} = \text{Αριθμός Φωτογραφιών ανά Γραμμή Πτήσης} \times \text{Αριθμός Γραμμών Πτήσεων} \quad [7]$$

(Φουντάς & Γέμτος, 2015, σ.138-139)

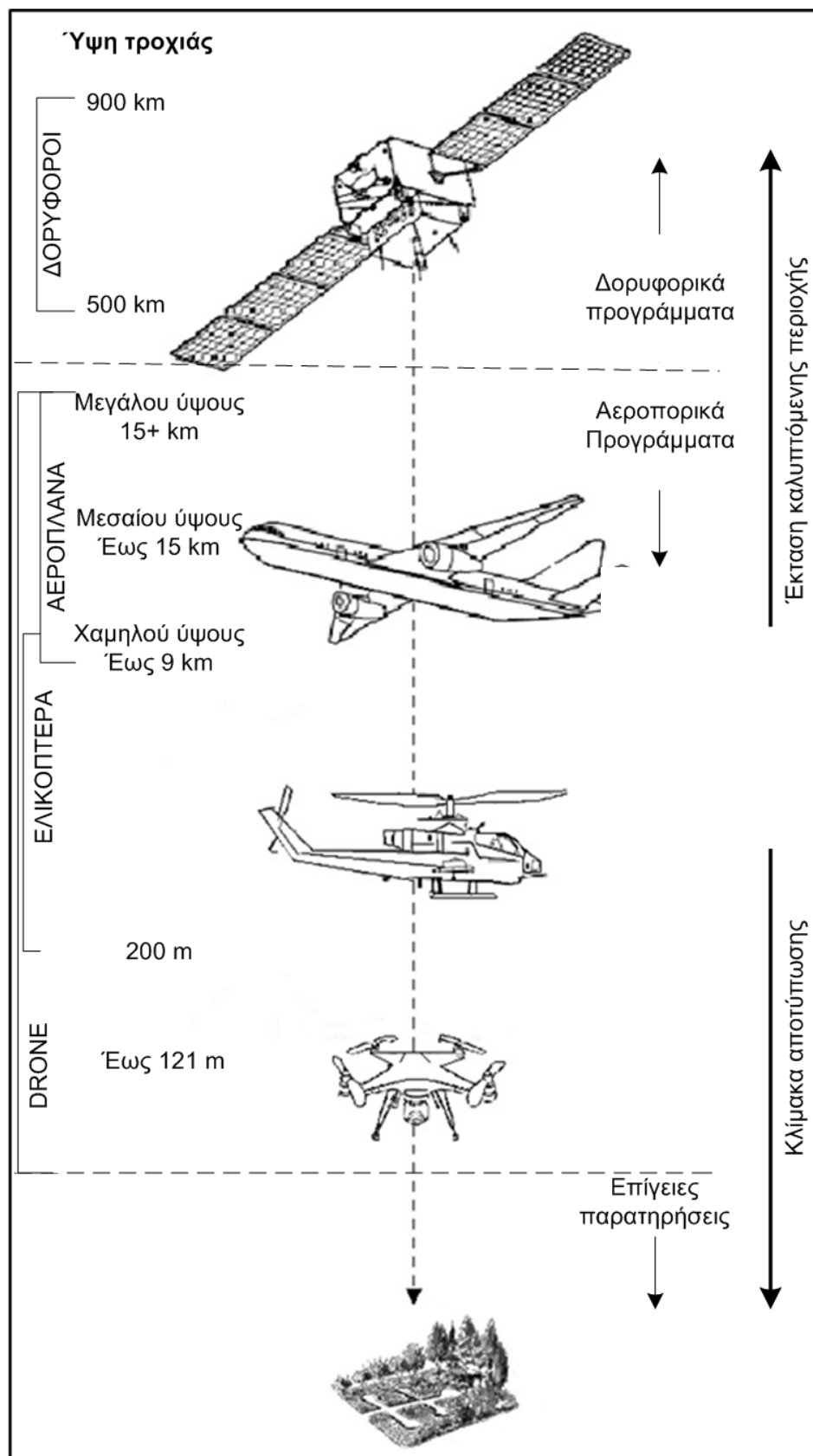
1.2.3.4 Μέσα αεροφωτογράφισης και παράγοντες που τα επηρεάζουν

Μέσω της εξέλιξης της τεχνολογίας στον τομέα της αεροφωτογράφισης, δόθηκε σταδιακά η δυνατότητα λήψης αεροφωτογραφιών από διαφορετικά ύψη με την χρήση διαφορετικών μέσων όπως μη επανδρωμένα αεροσκάφη, αερόστατα και αετούς, ελικόπτερα, αεροπλάνα καθώς και δορυφόρους (Βλέπε: Εικόνα 1.14). Κάθε μία από τις παρακάτω πλατφόρμες αεροφωτογράφισης έχει τα δικά της πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και χαρακτηριστικά που καθορίζουν την χρήση τους ως πηγές δεδομένων βάσει των εκάστοτε αναγκών:

- Οι περισσότεροι **τηλεπισκοπικοί δορυφόροι** έχουν τροχιά 500-900km, φέρουν παθητικούς πολυφασματικούς αισθητήρες, διαθέτουν δύο ή τρεις ζώνες στο ορατό (0,4-0,7μm) και μια ή περισσότερες στο υπέρυθρο καθώς και εκτελούν κυκλικές, ηλιοσύγχρονες και σχεδόν πολικές τροχιές (Στεφανάκης, 2010). Λόγω του ύψους της τροχιάς τους, καλύπτουν τη μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με τα υπόλοιπα μέσα αεροφωτογράφισης, μεταξύ των εικόνων υφίσταται μικρή επικάλυψη (5%), μέσα από συνδυασμούς καναλιών μπορούν να ανιχνευτούν διαφορετικά επιφανειακά χαρακτηριστικά, καθώς και παρέχουν υψηλή γεωμετρική ακρίβεια και χωρική ανάλυση.

- **Τα αεροπλάνα**, μπορούν να διαχωριστούν σε 3 βασικές κατηγορίες, βάσει του μέγιστου ύψους πτήσης που μπορούν να φτάσουν: σε χαμηλού (έως 9.000 m περίπου), μεσαίου (έως 15.000 m) και υψηλού (15.000+ m) ύψους πτήσης.
 - Στην κατηγορία του **χαμηλού ύψους πτήσης** (έως 9.000 m περίπου) συγκαταλέγονται όλα τα μονοκινητήρια και ορισμένα από τα μικρά δίκινητήρια αεροπλάνα που μπορούν να εκτελέσουν αεροφωτογραφίες έως και το ύψος των 200m. Χαρακτηρίζονται στο σύνολό τους ως εύχρηστα και ευέλικτα, δεν χρειάζονται μεγάλο χώρο για την απογείωση και την προσγείωσή τους καθώς και δεν απαιτούν μεγάλο κόστος. Στα μειονεκτήματα που παρουσιάζει αυτή η κατηγορία υπάγεται η αστάθεια λόγω των ανέμων που μπορούν να μετακινούν πλευρικά το αεροσκάφος, οδηγώντας έτσι στην μη ακριβή διατήρηση της πορείας του.
 - Στην κατηγορία του **μεσαίου ύψους πτήσης** (έως 15.000 m) υπάγονται αεροπλάνα που φέρουν είτε έλικες είτε τουρμπίνες, τα οποία αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες και χρησιμοποιούνται κυρίως για αεροφωτογραφίες μεγάλης κλίμακας.
 - Στην κατηγορία του **υψηλού ύψους πτήσης** (15.000+ m) υπάγονται κυρίως στρατιωτικά αεροσκάφη που έχουν τροποποιηθεί ώστε να είναι κατάλληλα για αεροφωτογραφικές αποστολές. Η άτρακτός τους είναι κατασκευασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχει την διαφορά μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής ατμοσφαιρικής πίεσης, καθώς επίσης φέρει ένα μεγάλο πλήθος φωτογραφικών εξαρτημάτων (U-2, Fantom RF-4E) (Καρτέρης, 1995).
- **Τα ελικόπτερα** που υπάγονται εν μέρει στο χαμηλού ύψους πτήσης αεροπλάνα, με μέγιστο ύψος απογείωσης τα 9.000m και ελάχιστο ύψος πτήσης για αεροφωτογραφίες τα 200m. Επιπλέον της αστάθειας λόγω πλευρικών ανέμων, τα ελικόπτερα υφίστανται ισχυρότερες δονήσεις, οδηγώντας έτσι συχνά σε αεροφωτογραφίες με παραμορφώσεις και “θόρυβο”. Το μεγαλύτερο μέρος των αεροφωτογραφιών και των αεροφωτογραφικών αποστολών παραδοσιακά γίνεται με χαμηλού ύψους πτήσεις αεροπλάνα και ελικόπτερα. (Καρτέρης, 1995)
- **Τα αερόστατα και οι αετοί** ως μέθοδοι αεροφωτογράφισης, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στο παρελθόν και πριν αναπτυχθεί η τεχνολογία λήψης αεροφωτογραφιών από αεροπλάνα και ελικόπτερα. Πετούν σε χαμηλότερο ύψος από τα ελικόπτερα και η ποιότητα των αεροφωτογραφιών που προκύπτουν από αυτά οφείλεται στην ανάλυση της φωτογραφικής μηχανής καθώς και στις αναταράξεις που υφίστανται από τους ανέμους, στους οποίους είναι ευάλωτα.

- **Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη/ Drones** μπορούν να πετάξουν σε διαφορετικά ύψη, με τα drones που χρησιμοποιούνται για στρατιωτικές εφαρμογές αλλά και κλιματικές παρατηρήσεις να μπορούν να φτάσουν μέχρι και τα 20Km (π.χ Global Hawk) (Marris, 2013). Στο σύνολό τους μπορούν και να χωριστούν σε πολυάριθμες κατηγορίες όπως αυτές παρουσιάζονται στην ενότητα 2.4. Στην Ελλάδα, βάσει του επίσημου κανονισμού, μπορούν να φτάσουν (νόμιμα) *«κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια για την κυκλοφορία επανδρωμένων αεροσκαφών με κανόνες πτήσεως διά οργάνων (IFR) ή/και εξ όψεως (VFR)»*, σε μέγιστο ύψος 122 μέτρων (400 πόδια) επάνω από το έδαφος ή την επιφάνεια της θάλασσας στην ανοικτή κατηγορία, καθώς και πάνω από τα ανώτερα όρια του ελεγχόμενου εναέριου χώρου για την κυκλοφορία επανδρωμένων αεροσκαφών, σε επίπεδο/ύψος πτήσης 140 μέτρα έως 14.02 χιλιόμετρα (460 έως 46.000 πόδια)» (ΥΠΑ, 2016β).



Εικόνα 1.14: Βασικά μέσα/πλατφόρμες αεροφωτογράφησης (Ιδία επεξεργασία)⁷

⁷ Πηγή πληροφοριών εικόνας: Avery & Berlin (1992), Καρτέρης (1995), (Στεφανάκης, 2010) και Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (2016)

Κεφάλαιο 2. Μη επανδρωμένα Αεροσκάφη/ Drones

2.1 Ορισμοί

Όπως ορίστηκε και στην εισαγωγή, ο όρος UAV (Unmanned Aerial Vehicle) αντιστοιχεί στον Ελληνικό όρο «Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος-μηΕΑ» σύμφωνα με τον οποίο ορίζεται *«κάθε αεροσκάφος το οποίο προορίζεται να λειτουργεί χωρίς πιλότο επί του σκάφους, του οποίου η πτήση ελέγχεται είτε αυτόνομα (αυτόνομα αεροσκάφη) είτε από το τηλεχειριστήριο ενός πιλότου στο έδαφος ή σε άλλο όχημα (αεροσκάφος με τηλεχειρισμό)»* (ECA,[s.a.]). Ένα μη «Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος-μηΕΑ» (UAV) είναι τμήμα ενός «Συστήματος Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών-ΣμηΕΑ» (Unmanned Aircraft Systems/UAS) το οποίο περιλαμβάνει το αεροσκάφος (UA) ή Drone, τον σταθμό ελέγχου/χειρισμού, κάθε είδους ζεύξεις για τον χειρισμό του καθώς και κάθε είδους απαραίτητο εξοπλισμό υποστήριξης⁸ (FAA, 2018).

Ο σταθμός ελέγχου/ χειρισμού, μπορεί να χειρίζεται από ένα ή περισσότερα άτομα εκτός του εξειδικευμένου «πιλότου» και μπορεί να ποικίλει ευρέως ανάλογα με το είδος αποστολής και της πλατφόρμας. Ανάλογα με το μέγεθος του drone, τα συστήματα ελέγχου μπορούν να τοποθετηθούν σε οχήματα ή τρέιλερ (trailers) εάν τα drones είναι μεγάλου μεγέθους (ώστε να επιτυγχάνεται η εγγύτητα στο αεροσκάφος/UAV και να διατηρείται η επικοινωνία μεταξύ τους), είτε να αποτελούνται από φορητούς υπολογιστές και άλλα εξαρτήματα εάν τα drone είναι μικρότερα (Watts et al, 2012). Στην περίπτωση του εξ αποστάσεως χειρισμού του drone (UA) από χειριστή βάσης, ο οποίος συμβουλευεται την εγκατεστημένη σε αυτό κάμερα προκειμένου να έχει οπτική εικόνα, αυτά εντάσσονται στην υποκατηγορία των Τηλεχειριζόμενων συστημάτων αεροσκαφών (Remotely Piloted Aircraft System/RPAS) και έτσι λαμβάνουν την ονομασία «Τηλεχειριζόμενο Αεροσκάφος» (Remotely Piloted Aircraft/RPA) (ICAO, 2011).

Άλλοι όροι που εμφανίζονται στην βιβλιογραφία για την περιγραφή των drones είναι: «Μη επανδρωμένες πλατφόρμες», «Μη επανδρωμένες ιπτάμενες μηχανές», «Μη επανδρωμένα πτητικά μέσα» (Περάκης κ.ά, 2015, σ. 224), «Τηλεχειριζόμενο Αεροσκάφος/Remotely Operated Aircraft/ROA», «Τηλεχειριζόμενο Όχημα/ Remotely Piloted Vehicle» κ.α. (Clarke, 2014)). Παρότι υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί όροι και ορισμοί για την περιγραφή των μη επανδρωμένων

⁸ Στα UAS, το «μη επανδρωμένο αεροσκάφος» αναφέρεται συχνά ως πλατφόρμα (Humphrey, 2016).

αεροσκαφών, έχει κυριαρχήσει ο όρος Drone⁹, ο οποίος χρησιμοποιείται για να περιγράψει και τα Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (UAV) και τα Τηλεχειριζόμενα αεροσκάφη (RPA) (ECA, [s.a.]). Η βασική διαφορά των όρων έγκειται στο ότι τα RPA/RPAS αποκλείουν την αυτόνομη πτήση, ενώ τα UAV/UAVS παρέχουν την επιλογή αυτόνομης ή μη πτήσης (Clark, 2014).

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία ως Μη επανδρωμένο Αεροσκάφος - μηΕΑ (Unmanned Aircraft - UA), ορίζεται «το αεροσκάφος το οποίο λειτουργεί ή έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί χωρίς να επιβαίνει χειριστής σε αυτό» (ΥΠΑ, 2016β). Αντίστοιχα σχετικά με το Αερομοντέλο ή Μοντέλο Αεροσκάφους (Model Aircraft) αυτό ορίζεται ως «μία ιπτάμενη συσκευή περιορισμένων διαστάσεων, που φέρει ή όχι προωθητικό σύστημα, που δεν έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει άνθρωπο, και το οποίο χρησιμοποιείται για αεραθλητισμό ή ψυχαγωγία». Τα αερομοντέλα μπορεί να έχουν τη μορφή αεροπλάνου, ανεμοπτερού, ελικόπτερου, υδροπλάνου, αμφίβιου, αλεξίπτωτου, αερόστατου, αερόπλοιου, ή άλλης μορφής. Τα αερομοντέλα μπορεί να είναι τηλεχειριζόμενα, ελεύθερης πτήσης, ή κυκλικής πτήσης (ΥΠΑ, 2010).

2.2 Ιστορική αναδρομή

Λόγω των πολλαπλών ορισμών που υπάρχουν για να περιγράψουν την έννοια των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, δεν υπάρχει σαφής αναφορά σχετικά με το πότε ιστορικά έγινε η έναρξη χρήσης τους. Η χρήση “υλικών ελαφρύτερων από τον αέρα” που θεωρείται πρόγονος των σημερινών μη επανδρωμένων αεροσκαφών, παρότι δεν συνάδει με τον ορισμό που αναφέρθηκε παραπάνω, χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά το 1783 με την χρήση αερόστατου από τους Γάλλους αδερφούς Μονγκολφιέ (Γκέκας, 2016). Στην συνέχεια, ο αεροπορικός βομβαρδισμός της Βενετίας τον Αύγουστο του 1849 πραγματοποιήθηκε από μη επανδρωμένα αερόστατα ζεστού αέρα γεμάτα εκρηκτικά, ορισμένα μόνο εκ των οποίων πέτυχαν τους στόχους τους, καθώς λόγω των ανέμων κάποια από αυτά επέστρεφαν στις γραμμές των Αυστριακών.

Οι πρώτες στρατιωτικές αποστολές αναγνώρισης με τη χρήση μη επανδρωμένων εναέριων πλατφορμών, πραγματοποιήθηκαν μόλις δημιουργήθηκαν οι κατάλληλες φωτογραφικές συσκευές. Καθ’ όλη την ιστορία της στρατιωτικής αεροπορίας, η ανάπτυξη των μη

⁹ Ο όρος πιθανότητα να χρησιμοποιήθηκε λόγω της ομοιότητας που είχε η “τυφλή” πλοήγηση και ο έντονος θόρυβος των μη επανδρωμένων στρατιωτικών αεροσκαφών με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του κηφήνα/drone (αρσενικής μέλισσας)(Παπαδόπουλος, 2017).

επανδρωμένων αεροσκαφών ήταν ταχεία, με τις εξελίξεις στην πτήση ανθρώπου-πιλότου να εμπνέουν (ή να εμπνέονται) από νέα μη επανδρωμένη τεχνολογία αεροσκαφών. Η θέση των UAVs ενισχύθηκε από την ανάγκη κάλυψης των “τριών D” «dull, dirty, or dangerous missions», όπου και έγινε αντιληπτή η υπεροχή τους έναντι των επανδρωμένων αποστολών, οι οποίες θα έθεταν σε κίνδυνο τους χειριστές. Οι βελτιώσεις στις δυνατότητες πλοήγησης και αναγνώρισης κατά τη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου ώθησαν το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για τη χρησιμοποίηση των UAS για επιστημονικές αποστολές, στις οποίες τα UAVs είχαν τα ίδια (αν όχι περισσότερα) πλεονεκτήματα με τις επανδρωμένες πτήσεις αλλά με μετριασμό του κινδύνου (Watts et al., 2012 και Nguyen, 2017).

Η πρώτη χρήση του όρου “μη επανδρωμένο αεροσκάφος/Drone” που συνάδει με τον παραπάνω ορισμό, έγινε το 1898 στην ετήσια έκθεση Ηλεκτρισμού στο Madison Square Garden, όπου ο εφευρέτης Νίκολα Τέσλα παρουσίασε ένα μικρό μη επανδρωμένο σκάφος που φαινόταν να άλλαζε κατεύθυνση με την χρήση λεκτικών εντολών, που στην πραγματικότητα χρησιμοποιούσε ραδιοσυχνότητες για την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση των κινητήρων (Dillow, 2014). Μέσω του διπλώματος ευρεσιτεχνίας που συνέταξε “Μέθοδοι και συσκευές/εξοπλισμός Ελέγχου των Μηχανισμών Μετακινούμενων Σκαφών ή Οχημάτων” (Αρ. 613.809), ήταν ο πρώτος που προέβλεψε τις χρήσεις των μη επανδρωμένων αεροσκαφών για στρατιωτικούς αλλά και άλλους σκοπούς. χαρακτηριστικά αναφέρει πώς «*Η εφεύρεση που περιέγραψα θα αποδειχθεί χρήσιμη με πολλούς τρόπους. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σκάφη ή οχήματα για οποιαδήποτε χρήση, όπως διαφόρων ειδών αποστολές με τη χρήση πιλοτικών αεροσκαφών, ή για τη μεταφορά γραμμάτων, δεμάτων και αντικειμένων [...] η μεγαλύτερη αξία όμως της εφεύρεσης, είναι λόγω της οριστικής και απεριόριστης καταστροφικότητας που μπορεί να προσφέρει, να επιφέρει και να διατηρεί μόνιμη ειρήνη μεταξύ των εθνών*» (Nguyen, 2017).. Ταυτόχρονα με τον Tesla, οι ένοπλες δυνάμεις άρχισαν να αντιλαμβάνονται επίσης την σημασία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών για την απόκτηση στρατηγικού πλεονεκτήματος. Έτσι, κατά τον πόλεμο μεταξύ Ισπανίας-Αμερικής το 1898, ο στρατός των Η.Π.Α. εκτόξευσε χαρταετούς στους οποίους είχαν συνδέσει φωτογραφικές μηχανές με σκοπό την λήψη αεροφωτογραφιών των τοποθεσιών του αντιπάλου (Nguyen, 2017).

Στον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο η ανάπτυξη της χρήσης τους προωθήθηκε μέσω της ανάπτυξης τόσο των αεροσκαφών όσο και του γεγονότος ότι η φωτογράφιση από αέρος προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Έτσι, μέχρι το τέλος του Α΄ παγκοσμίου πολέμου, οι στρατιωτικοί είχαν αρχίσει να πειραματίζονται με σκοπό να ενισχύσουν το όραμα του Tesla και

να ενσωματώσουν ένα ραδιοελεγχόμενο σύστημα σε διάφορα είδη μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Μια από τις πρώτες προσπάθειες ήταν η ανάπτυξη το 1916 ενός μη επανδρωμένου ραδιοελεγχόμενου αεροπλάνου το οποίο θα χρησιμοποιούνταν ως торпύλη με όνομα Hewitt-Sperry, μια συνεργασία μεταξύ του αμερικανικού Ναυτικού και των εφευρετών Elmer Sperry και Peter Hewitt. Το σύνολό του εξοπλισμού που έφερε (γυροσκόπιο σταθεροποιητή, βαρόμετρο για τον έλεγχο του υψομέτρου, ραδιοελεγχόμενα πτερύγια και ουρά κ.α) του επέτρεπε να πλοηγηθεί εντός μιας προκαθορισμένης πορείας στην οποία είτε θα έριχνε την βόμβα που έφερε, είτε θα συντριβόταν στον στόχο. Παρότι όμως ως εγχείρημα ήταν ενθαρρυντικό, μετά από ορισμένες αποτυχημένες προσπάθειες το έργο εγκαταλείφθηκε (Nguyen, 2017).

Ταυτόχρονα, ο αμερικανικός στρατός ανέθεσε σε άλλον εφευρέτη, τον Charles Ketterling, να εργαστεί σε ένα νέο έργο «εναέριας торпύλης» με την βοήθεια του Elmer Sperry (για την ανάπτυξη του συστήματος ελέγχου και καθοδήγησης της торпύλης) και του Orville Wright ως σύμβουλο. Η συνεργασία αυτή είχε ως αποτέλεσμα το 1918 τη δημιουργία του «Ketterling Bug», ενός μηχανοκίνητου διπλάνου¹⁰ αυτόματου πιλότου (auto-piloted biplane) προγραμματισμένου ώστε να μεταφέρει βόμβες κατευθείαν σε έναν προκαθορισμένο στόχο. Ωστόσο δεν χρησιμοποιήθηκε λόγω της ανησυχίας ότι μπορεί να εμφανιζόταν κάποιο σφάλμα κατά την λειτουργία του, καθώς και ο πόλεμός τέλειωσε πριν μπορέσει να αναπτυχθεί πλήρως (Nguyen, 2017).

Την περίοδο μετά τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, το Βρετανικό Βασιλικό Ναυτικό ανέλαβε το προβάδισμα στην ανάπτυξη ραδιοελεγχόμενων μη επανδρωμένων αεροσκαφών με τη χρήση τους ως στόχο κατά την αντιαεροπορική εκπαίδευση. Το αεροσκάφος που χρησιμοποιούνταν συχνότερά ήταν το DH.82B Queen Bee από το οποίο πιθανολογείται ότι προέρχεται ο ορός drone (Nguyen, 2017). Παρ' όλα αυτά, η πρώτη χρήση του όρου «drone» φαίνεται ανήκει στο Πολεμικό Ναυτικό των ΗΠΑ το 1935, καθώς το πρόγραμμα του Βασιλικού Ναυτικού, συμπεριέλαβε στις επιδείξεις του τα μοντέλα «Fairly Queen» και «Queen B» ή «Queen Bee» από όπου και έπειτα υιοθέτησε τη λέξη «drone» για τα δικά του αεροσκάφη (Mehta, 2013 όπως αναφέρεται στον Clark, 2014).

Παρ' όλη την ανάπτυξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών κατά τα προηγούμενα χρόνια, ο Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος ήταν αυτός που σηματοδότησε την εισαγωγή αεροσκαφών σε

¹⁰Μικρό αεροπλάνο με διπλά φτερά

επιχειρήσεις μάχης με την στροφή στην ανάπτυξη εναέριων τορπιλών, που πλέον θα χαρακτηρίζονταν από μεγαλύτερη ακρίβεια και θα ήταν περισσότερο καταστροφικές. Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο η ανάπτυξη τους συνεχίστηκε και η χρήση τους στράφηκε στις αναγνωριστικές αποστολές (Nguyen, 2017).

Η ανάπτυξη συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών με τη μορφή που τα γνωρίζουμε σήμερα, οφείλεται στον πόλεμο του Yom Kippur το 1973 όπου Συριακές πυραυλικές συστοιχίες από τον Λίβανο, κατέστρεψαν πολλά μαχητικά αεροπλάνα των Ισραηλινών. Λόγω αυτού του συμβάντος, το Ισραήλ πρωτοστάτησε στην ανάπτυξη UAV για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, για τον ηλεκτρονικό πόλεμο και για τη χρήση τους ως δολώματα. Η ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας βοήθησε το Ισραήλ στην πλήρη εξουδετέρωση της Συριακής αεράμυνας στην έναρξη του πολέμου του Λιβάνου το 1982. Η εξέλιξη και η σμίκρυνση των τεχνολογικών μέσων των μη επανδρωμένων αεροσκαφών αύξησε το ενδιαφέρον του στρατού των Η.Π.Α., με αποτέλεσμα την ραγδαία ανάπτυξή τους, καθώς αποτελούσαν οικονομικές και ικανές πολεμικές μηχανές, χωρίς τον κίνδυνο απώλειας ζωών (Φουντάς & Γέμτος, 2015, σ.140).

Στην συνέχεια, το 1982 με την έναρξη του πολέμου στην Συρία, το Ισραήλ χρησιμοποίησε ένα σμήνος μη επανδρωμένων αεροσκαφών, ξεπερνώντας έτσι τη Σοβιετική αντιπυραυλική τεχνολογία (Dillow, 2014). Την δεκαετία του 1970-1980, η Αμερικανική Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA) ανέπτυξε μη επανδρωμένα αεροσκάφη για τη λήψη ατμοσφαιρικών δειγμάτων υψηλού υψομέτρου κατά τη διάρκεια του προγράμματος "Mini-Sniffer" αλλά με περιορισμένη επιτυχία. Το ερευνητικό πρόγραμμα αεροσκαφών περιβαλλοντικής έρευνας της NASA (ERAST) της δεκαετίας του 1990, σηματοδότησε τα πρώτα σημαντικά βήματα προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης πρωτοκόλλων και δυνατοτήτων της απασχόλησης με τα UAS για την ενίσχυση της επιστημονικής έρευνας (Watts et al., 2012).

Οι στρατιωτικές επιχειρήσεις στη μέση ανατολή από το 1990 ενέτειναν την ανάγκη για την εξέλιξη της τεχνολογίας των UAVs για επίτευξη αναγνώρισης-κατασκόπευσης αλλά και πλήξης κατά στρατιωτικών στόχων (Γκέκας, 2016). Εμπνευσμένη από τις προσπάθειες της NASA σχετικά με την βελτίωση των drone (μείωση μεγέθους και κόστους αλλά με ταυτόχρονη αναβάθμιση των υλικών μερών/αισθητήρων), στα τέλη της δεκαετίας του 1990 σημειώθηκαν πολυάριθμες προσπάθειες μεταξύ μικρότερων οργανισμών για την ανάπτυξη ή την τροποποίηση των UAS ώστε να τα προσαρμόσουν στις δικές τους ερευνητικές ανάγκες. Οι προσπάθειες αυτές απέδωσαν καρπούς και εξελίχθηκαν με ταχύ ρυθμό, καθώς οι οργανισμοί αυτοί βρήκαν

εναλλακτικές λύσεις χαμηλού κόστους, βασισμένες σε τροποποιημένα ραδιοελεγχόμενα μοντέλα (Watts et al., 2012).

2.3 Χαρακτηριστικά μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Η δομή ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους είναι απλή, καθώς αποτελείται από τρία απαραίτητα στοιχεία: το όχημα/πλατφόρμα, τον εξοπλισμό και τα εξαρτήματα που φέρει καθώς και τον επίγειο σταθμό ελέγχου. Η επιλογή ενός drone αποτελεί μια σημαντική απόφαση για τον χειριστή του, καθώς ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του, κάθε drone ενδείκνυνται για διαφορετική χρήση. Οι απαιτήσεις του σκοπού αξιοποίησής του, είναι αυτές οι οποίες καθορίζουν τις επιλογές του χειριστή ως προς τις παροχές και τα όρια της πλατφόρμας. Προτού αναφερθούν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός drone, απαραίτητη είναι η παράθεση των βασικών λειτουργιών τους, καθώς αυτά τα δύο συνδέονται άμεσα. Οι βασικές λειτουργίες που εκτελούνται από ένα drone είναι ο έλεγχος του με τους τρόπους που θα αναφερθούν παρακάτω, η πλοήγηση, η λειτουργικότητά καθώς και οι δυνατότητες που συνδέονται με αυτά (Clark, 2014).

Έτσι, γίνεται αντιληπτό, ότι οι βασικές λειτουργίες ενός drone οφείλονται σε μια σειρά από βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία αποτελούν και τα αντίστοιχα κριτήρια επιλογής τους. Τα κυριότερα από αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα είναι τα παρακάτω:

- **Πτητικά χαρακτηριστικά**, όπως ύπαρξη σταθερών πτερυγίων, ελίκων ή ανύψωσης μέσω γεμίσματος μπαλονιού
- **Απατήσεις απογείωσης**, με την χρήση πρόσθετου εξοπλισμού (π.χ καταπέλτη) ή χειροκίνητα
- **Μέγιστη ταχύτητα** που μπορεί να αναπτυχθεί
- **Ισχύς του κινητήρα**
- **Μέγιστο ύψος πτήσης**, που μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τις δυνατότητες της πλατφόρμας (αλλά και βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας)
- **Χρόνος πτήσης**, που σχετίζεται με την αυτονομία της μπαταρίας αλλά και την ύπαρξη ανταλλακτικών μπαταριών
- **Βάρος πλατφόρμας και ωφέλιμο φορτίο**, που καθορίζουν και το μέγιστο εξοπλισμό που μπορεί να μεταφερθεί χωρίς την δημιουργία προβλημάτων και αστάθειας (μπορεί να κυμαίνεται από 0,1 kg μέχρι και 15 T) (Βλέπε: Εικόνα 2.1)

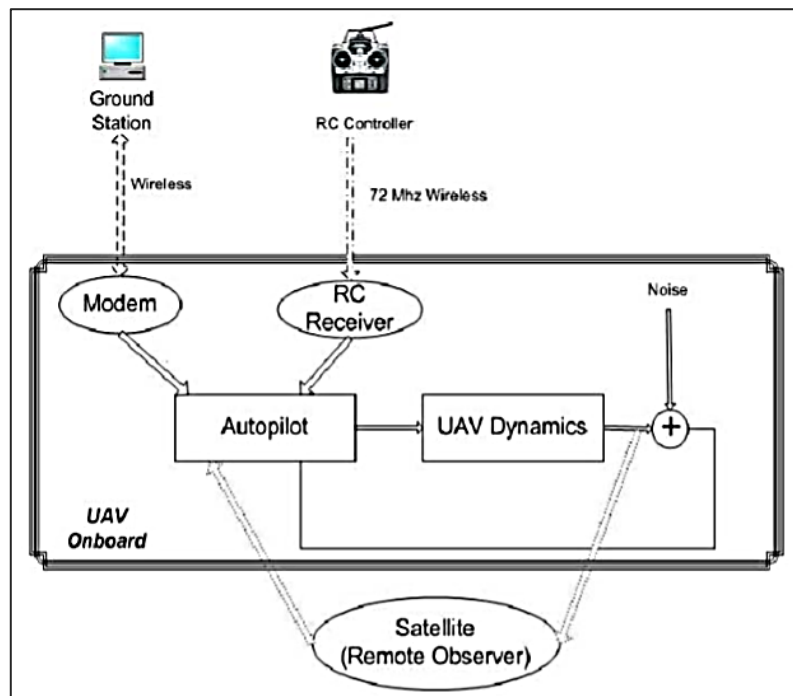
- **Χρήση ενέργειας**, που μπορεί να είναι είτε μπαταρίες είτε καύσιμα
- **Σύνδεση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο** μέσω εντοπισμού σημάτων GPS καθώς και άμεση γεωαναφορά εικόνων
- **Ακρίβεια στην λήψη και ποιότητα εικόνων/βίντεο**
- **Ευστάθεια**, που πέρα από την αντοχή σε καιρικές συνθήκες όπως άνεμος, σχετίζεται και με την εγγενή ευστάθεια τις πλατφόρμας και την απόκριση της στους χειρισμούς
- **Κόστος απόκτησης**, που μπορεί να κυμαίνεται από κάποιες δεκάδες έως και χιλιάδες ευρώ

< 1 kg			
< 5 kg			
< 25 kg			
< 150 kg			
< 500 kg			
< 15 T			

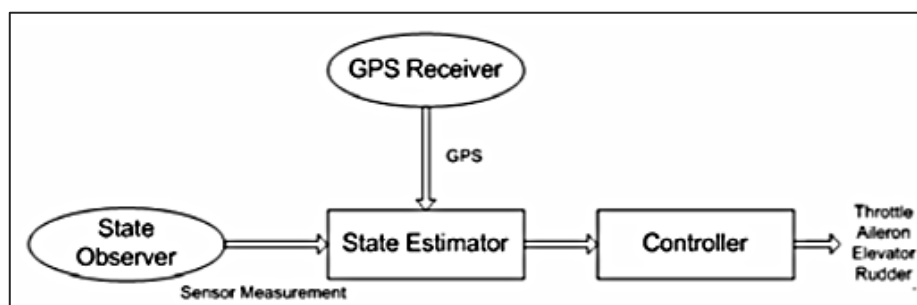
Εικόνα 2.1: Επισκόπηση των τύπων UAV ανάλογα με το βάρος τους (European Commission, 2015)

Πέρα των παραπάνω χαρακτηριστικών, για την επιλογή πλατφόρμας υπάρχουν και δευτερεύοντα κριτήρια που αφορούν την ρύθμιση επιθυμητών περιμέτρων για διάφορες λειτουργίες του drone, όπως:

- **Ελάχιστος χρόνος απογείωσης**
- **Τρόποι λήψης φωτογραφιών**, μέσω GPS συντεταγμένων, χειροκίνητα ή σε προκαθορισμένες χρονικές στιγμές
- **Τρόποι ελέγχου του**, που μπορεί να είναι είτε μέσω του χειρισμού του από άνθρωπο με την χρήση εξοπλισμού ελέγχου, είτε αυτόματα βάσει ενός σχεδίου πτήσης (Βλέπε: Εικόνες 2.2, 2.3) είτε σε μια ενδιάμεση ημιαυτόνομη/μερικώς υποβοηθούμενη κατάσταση (π.χ αυτόματη απογείωση/ προσγείωση αλλά ύπαρξη χειριστή) (Clarke, 2014).



Εικόνα 2.2: Σύστημα ελέγχου πτήσης UAV (Chao,Cao & Chen, 2010)



Εικόνα 2.3: Λειτουργική δομή του αυτόματου πιλότου UAV (Chao,Cao & Chen, 2010)

Από την παραπάνω απεικόνιση του συστήματος αυτόματου πιλότου ενός drone, γίνεται αντιληπτή η ανάγκη για δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την θέση της πλατφόρμας, τον χειρισμό των λειτουργιών ελέγχου, καθώς και της δυνατότητας ταυτόχρονης επεξεργασίας των δεδομένων που επιτυγχάνονται μέσω της ανίχνευσης σήματος από δορυφόρους. Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται από την πλατφόρμα μέσω του εξοπλισμού που αυτή περιλαμβάνει (αισθητήρες, γυροσκόπια, επιταχυνσιόμετρα κ.α) ή μέσω απομακρυσμένων πηγών όπως δορυφόροι (Chao,Cao & Chen, 2010)¹¹.

- **Αυτοματοποιημένες διαδικασίες**, όπως η δυνατότητα αποφυγής αντικειμένων, η αναγνώριση στόχου, η αυτόματη λήψη φωτογραφιών μέσω κινήσεων των χεριών, η επιστροφή στο σημείο εκκίνησης σε περίπτωση ισχυρών ανέμων ή χαμηλού επιπέδου μπαταρίας
- **Ύπαρξη προγράμματος χειρισμού πτήσης και εν συνεχεία επεξεργασίας των καταγραφών**

2.4 Κατηγοριοποιήσεις

Όπως οι ορισμοί και οι ονομασίες που τα περιγράφουν, έτσι και οι κατηγορίες των drone είναι ποικίλες, κυρίως λόγω των πολλών χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων που φέρουν. Οι πιο συνήθεις κατηγοριοποιήσεις τους είναι βάσει:

- **της λειτουργίας τους:**
 - Βιομμητικά (Biomimetic) ή Flapping Wing UAV: τα οποία προσομοιάζουν την πτήση πτηνών και εντόμων
 - Αερόπλοια/Blimp UAV: τα οποία υψώνονται μέσω του γεμίσματος του μπαλονιού που φέρουν με αέριο ήλιο
 - Περιστρεφόμενων πτερυγίων Rotorcraft UAV που κινούνται μέσω της χρήσης ελίκων (Φουντάς & Γέμτος, 2015, σ.143)
- **του μηχανισμού κίνησης:**
 - Σταθερής Πτέρυγας/Fixed Wing UAV που κινούνται με την χρήση σταθερών πτερυγίων όπως τα αεροπλάνα. Οι χρόνοι πτήσης τους κυμαίνονται από 45 έως και 90 λεπτά κατά

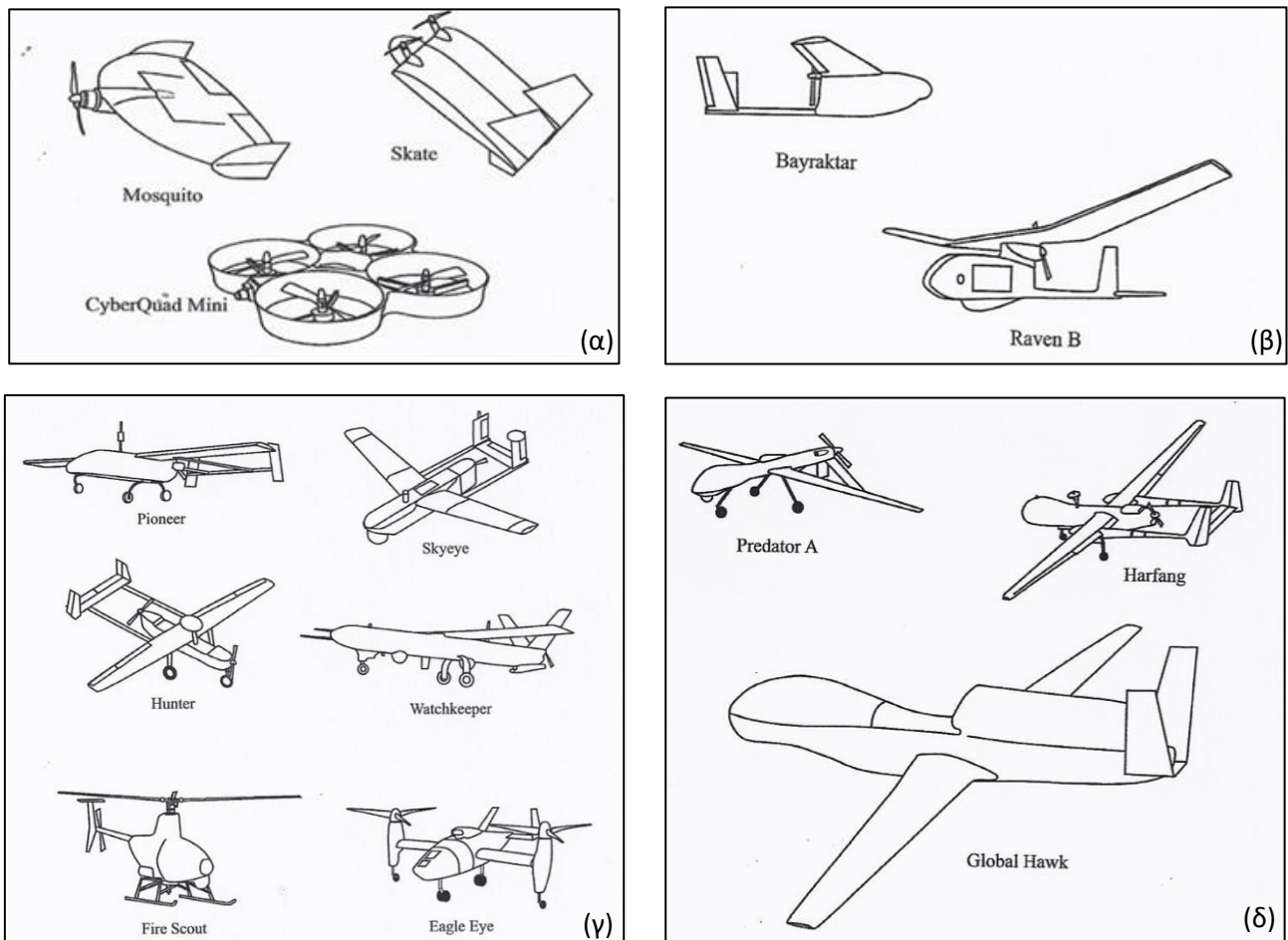
¹¹ Για εκτενέστερη αναφορά σχετικά με την λειτουργία του αυτόματου πιλότου βλ. Chao, Cao & Chen (2010).

μέσο όρο (διπλάσιο από τα αντίστοιχα με περιστρεφόμενα πτερύγια) και έτσι μπορούν να καλύψουν μεγάλες εκτάσεις με μια μόνο πτήση. Λόγω της στιβαρής κατασκευής τους μπορούν να φέρουν περισσότερο εξοπλισμό, μεγαλύτερες κάμερες και να λειτουργούν και σε δύσκολες σχετικά καιρικές συνθήκες αλλά απαιτούν διάδρομο απογείωσης και προσγείωσης καθώς και έχουν μεγαλύτερο βεληνεκές, ίπτανται σε μεγάλα ύψη και έχουν λιγότερους κραδασμούς. Ωστόσο, το χρηματικό ποσό απόκτησής τους είναι υψηλό, απαιτούν περισσότερη εκπαίδευση καθώς και είναι περίπλοκα στον χειρισμό. (Humphrey, 2016)

- Περιστρεφόμενων πτερυγίων/ Rotorcraft UAV που κινούνται με έλικες. Έχουν μέσο χρόνο πτήσης γύρω στα 20 λεπτά, με πλήρως φορτισμένη μπαταρία, αλλά δίνεται η δυνατότητά αλλαγής της από εφεδρική, ώστε να συνεχιστεί με ασφάλεια η πλοήγηση. Λόγω της σύντομης διάρκειας πτήσης, καλύπτει μικρές σχετικά εκτάσεις (1-100 στρέμματα), έχει μικρότερο ύψος και ταχύτητα πτήσης αλλά χαρακτηρίζονται από απλότητα ως προς τον χειρισμό και απαιτούν λιγότερη εκπαίδευση από τα σταθερής πτέρυγας (Humphrey, 2016). Πιο συγκεκριμένα χωρίζονται στις εξής υποκατηγορίες:
 - Ελικόπτερα/ Helicopter UAV που μοιάζουν με ελικόπτερα
 - Τετρακόπτερα/Quadrotor UAV που φέρουν 4 έλικες¹², προσφέροντας πλεονεκτήματα ως προς την ευκινησία τους καθώς έχουν την δυνατότητα διαφορετικού ρυθμού στροφών των ελίκων (σε αυτή την υποκατηγορία υπάγονται και drone με διαφορετικό αριθμό ελίκων όπως Εξακόπτερα/Hexacopter με έξι έλικες κ.α.
 - Coaxial UAV: που μιμούνται την κίνηση των ελικοπτέρων που όμως «δεν διαθέτουν ουραίο έλικα, αλλά έναν δεύτερο ομοαξονικό έλικα που κινείται αντίθετα από τον κεντρικό» (Φουντάς & Γέμτος, 2015, σ.143).
- **του μεγέθους τους**, που είναι από τις σημαντικότερες κατηγοριοποιήσεις, καθώς συνδέεται άμεσα με το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να μεταφέρει καθώς και με το σύνολο των εξαρτημάτων που φέρει, σε :
 - Πολύ μικρά (μεγέθους 30-50cm) που επιπλέον υποδιαιρούνται σε:
 - Micro or Nano UAVs
 - Mini UAVs

¹² Τα τετρακόπτερα είναι τα περισσότερο εμπορικά και ευρέως διαδεδομένα τόσο στο ευρύ κοινό όσο και σε εταιρίες εμπορικής αξιοποίησής τους, λόγω της σχέσης κόστους και δυνατοτήτων που παρέχουν.

- Μικρά που έχουν τουλάχιστον μία πλευρά μεγαλύτερη των 50cm και όχι μεγαλύτερη των 2m
- Μεσαία, τα οποία έχουν άνοιγμα φτερών 5-10m και ωφέλιμο φορτίο 100-200K g
- Μεγάλα, που είναι μεγαλύτερα των 10m και χρησιμοποιούνται κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς (Pennsylvania State University, 2017a) (Βλέπε: Εικόνες 2.4 α,β,γ,δ)



Εικόνα 2.4 (α,β,γ,δ): Μεγέθη UAVS. (α)Πολύ μικρά, (β) μικρά, (γ)μεσαία, (δ) μεγάλα (Pennsylvania State University,2017a)

- **του εύρους και της αντοχής τους:**

- Χαμηλού κόστους και κοντινής εμβέλειας/Very low cost close range UAVs
- Κοντινής εμβέλειας /Close range UAVs
- Μικρής εμβέλειας/ Short range UAVs
- Μεσαίας εμβέλειας / Mid-range UAVs
- UAVs υψηλής αντοχής (Pennsylvania State University,2017a)

- του είδους της χρήσης τους:
 - Για στρατιωτικούς σκοπούς
 - Για επιστημονικούς σκοπούς και έρευνα
 - Για εμπορικούς και κινηματογραφικούς σκοπούς
 - Για διασκέδαση και ψυχαγωγία
 - Για αθλητικούς σκοπούς
 - Για παροχή υπηρεσιών (Παπαδόπουλος, 2017)

Επιπλέον, τα drones μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάση της μέγιστης μάζας απογείωσης (MTOM), τις τεχνικές τους δυνατότητες, την πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος πτητικής λειτουργίας τους κ.α. Έτσι, βάσει των παραπάνω κριτηρίων καθορίζονται οι ακόλουθες 3 κύριες κατηγορίες των drone, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Ασφάλειας της Αεροπορίας και την Εθνική Νομοθεσία (ΥΠΑ, 2016α), έχοντας ως κύριο γνώμονα την επικινδυνότητα τους:

- χαμηλού κινδύνου που αποτελούν την «ανοιχτή κατηγορία» και δεν απαιτείται προηγούμενη έγκριση από την αρμόδια αρχή για την διεξαγωγή ενεργειών (Βλέπε: Εικόνα 2.5)
- μεσαίου κινδύνου που αποτελούν την «ειδική κατηγορία» και στην οποία απαιτείται έγκριση από την αρμόδια αρχή για την διεξαγωγή ενεργειών
- υψηλού κινδύνου που αποτελούν την «πιστοποιημένη κατηγορία» στην οποία απαιτείται πιστοποίηση του drone, ύπαρξη ενός εξουσιοδοτημένου χειριστή και ενός φορέα εγκεκριμένου από την αρμόδια αρχή



Εικόνα 2.5: Σχηματική απεικόνιση χειρισμού «ανοιχτής κατηγορίας» με τους περιορισμούς ασφαλείας (European Commission, 2015)

Πέρα των παραπάνω κατηγοριοποιήσεων, υπάρχουν και σύνθετες κατηγοριοποιήσεις βάσει περισσότερων από ένα χαρακτηριστικά των drones, όπως αυτή που παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.1, στην οποία καθορίζονται τρεις κατηγορίες drones σχετικά με την εμβέλεια, το μέγεθος, το χρόνο πτήσης, βάρος, ταχύτητα, το μέγιστο ύψος και τέλος το κόστος.

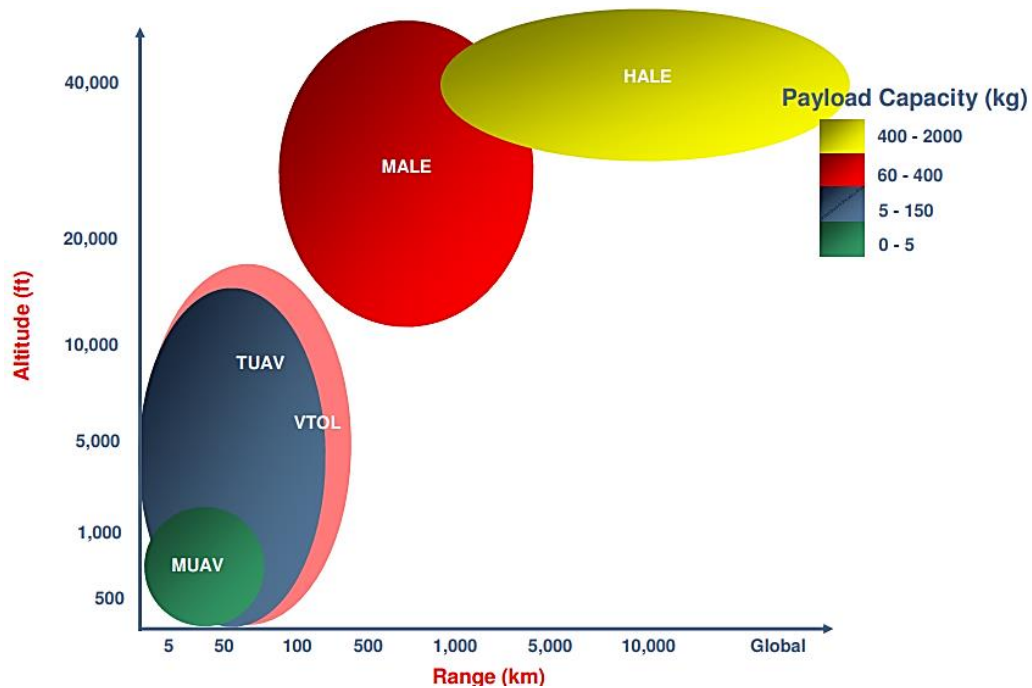
Χαρακτηριστικά	Close Range	Short Range	Υψηλής αντοχής
Εμβέλεια	~ 50 km	~200 km	>200 km
Χρόνος Πτήσης	30 min-2 hrs	8 hrs-10 hrs	>24 hrs
Βάρος	<5 kg	<5.000 kg	<105 t
Ταχύτητα	~60 km/h	<485 km/h	<730 km/h
Ύψος	<6 km	<16 km	< 20 km
Κόστος	500-70.000\$	< 8 mil \$	<123 mil\$

Πίνακας 2.1: Βασικά Χαρακτηριστικά των τριών γενικών κατηγοριών Drone: κοντινής, μικρής εμβέλειας και υψηλής αντοχής/ανθεκτικότητας (Harriman & Muhlhausen, 2013)

Μια επιπλέον κατηγοριοποίηση που κυριαρχεί συχνά έναντι των παραπάνω, είναι αυτή του συσχετισμού του ύψους πτήσης, με την εμβέλεια και το ωφέλιμο φορτίο (Βλέπε: Εικόνα 2.6), δημιουργώντας έτσι τις εξής 7 κατηγοριοποιήσεις:

- **HALE** (High Altitude, Long Endurane) συστήματα που παρέχουν την δυνατότητα πτήσης πάνω από 15Km με 24ωρη αυτονομία, πραγματοποιώντας μεγάλης εμβέλειας πτήσεις με ικανότητα μεταφοράς μεγάλου ωφέλιμου φορτίου. Χρησιμοποιούνται κυρίως από την πολεμική αεροπορία και απαιτούν την χρήση σταθερών βάσεων.
- **MALE** (Medium Altitude, Long Endurane) συστήματα με δυνατότητα πτήσης μεταξύ 5-15Km και 24ωρη αυτονομία που γενικά εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τα HALE με μικρότερη εμβέλεια (όμως πάνω των 500χλμ)
- **TUAV** (Medium Range or Tactical UAV) συστήματα που είναι μικρότερα και απλούστερα από τις δύο παραπάνω κατηγορίες με εμβέλεια μεταξύ 100-300Km (χρησιμοποιούνται συνήθως για εφαρμογές του ναυτικού)
- **VTOL** (Vertial Take-off & Landing) που αποτελούν συστήματα μικρής εμβέλειας (έως 100Km) και χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς σκοπούς και εφαρμογές εδάφους καθώς επίσης είναι παραγωγικά σε μεγάλο εύρος εφαρμογών.
- **MUAV** (Mini UAV) συστήματα με εμβέλεια πτήσης 30Km και βάρους κάτω των 20Kg (αλλά όχι τόσο μικρά όσο η παρακάτω κατηγορία) ικανά να χειριστούν χειροκίνητα. (Χρησιμοποιούνται επίσης για στρατιωτικές και άλλες εφαρμογές)

- **MAV** (Micro-air Vehicle) συστήματα που έχουν πολύ μικρό χρόνο πτήσης και εμβέλεια καθώς και άνοιγμα πτερυγίων όχι μεγαλύτερο από 150 mm (χρησιμοποιούνται σε αστικά περιβάλλοντα καθώς και εσωτερικούς χώρους)
- **NAV** (Nano-air Vehicle) συστήματα τα οποία λόγω του πολύ μικρού τους μεγέθους (σπόρου πλατάνου) χρησιμοποιούνται κατά σμήνη (Austin, 2010).



Εικόνα 2.6: Κατηγοριοποίηση UAVs βάσει ύψους πτήσης, εμβέλειας και ωφέλιμου φορτίου (European Commission, 2007)

2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Ανεξάρτητα των χαρακτηριστικών αλλά και των κριτηρίων επιλογής τους, τα drones χαρακτηρίζονται στο σύνολό τους από μια σειρά πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που συνοψίζονται στον Πίνακα 2.2.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Χαμηλό κόστος απόκτησης, συντήρησης και λειτουργίας σε σχέση με άλλες μεθόδους	Ανάγκη για έμπειρο χειριστή και για λογισμικό επεξεργασίας των καταγραφών
Ευέλικτη και γρήγορη συλλογή δεδομένων	Ατυχήματα που οφείλονται σε αστοχίες του εξοπλισμού
Υψηλή ποιότητα εικόνων	Περιορισμός αισθητήρων και επιπρόσθετου εξοπλισμού λόγω μεγέθους για τα μικρά UAV και άρα χαμηλότερη ποιότητα εικόνων
Εναλλακτική λύση λήψης φωτογραφιών περιοχών που καλύπτονται από νέφη	Εξάρτηση από καιρικές συνθήκες (π.χ Βροχή, ισχυροί άνεμοι κ.α.) και πλοήγηση μόνο την ημέρα
Αυτοματισμοί πτήσης και αποφυγή εμποδίων	Αδυναμία αποφυγής εμποδίων ¹³
Διαθεσιμότητα διαφορετικών αισθητήρων και τεχνολογιών	Σχετικά περίπλοκο νομικό πλαίσιο
Λήψη εικόνων στον επιθυμητό χρόνο, τόπο και με τον επιθυμητό τρόπο (πλάγιες, ορίζοντες λήψεις)	Περιορισμοί/απαγόρευση πτήσης σε απαγορευμένες περιοχές
Δυνατότητα χρήσης σε πληθώρα εφαρμογών	
Ευκολία μεταφοράς (στις περισσότερες περιπτώσεις)	
Χρήση σε επικίνδυνες συνθήκες και δυσπρόσιτες περιοχές/ Εξάλειψη του κινδύνου της ανθρώπινης ζωής	

Πίνακας 2.2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των drones (Eisenbeiss, 2009)

Βάσει των υφιστάμενων κατηγοριοποιήσεων των drone σχετικά με τα χαρακτηριστικά που αυτά φέρουν (Βλέπε Ενότητα 2.4) δημιουργήθηκε ο Πίνακας 2.3 στον οποίο παρουσιάζονται ανά τύπο UAV τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν ως προς το εύρος

¹³ Το γεγονός ότι η δυνατότητα αποφυγής εμποδίων έχει θεωρηθεί τόσο πλεονέκτημα όσο και μειονέκτημα, οφείλεται στο γεγονός ότι ενώ παρέχεται σαν δυνατότητα, απαιτούνται επιπλέον χειρισμοί καθώς και καθορισμός επιπρόσθετων παραμέτρων η μη τήρηση των οποίων έχει ως πιθανό αποτέλεσμα την πτώση του drone και την πρόκληση βλαβών.

πτήσης, την αντοχή, τις καιρικές συνθήκες και την εξάρτηση από ανέμους, καθώς και της ευκινησίας τους.

Τύπος	Εύρος πτήσης	Αντοχή/ανθεκτικότητα	Καιρικές συνθήκες και εξάρτηση από ανέμους	Ευκινησία
Αερόστατα	0	++	0	0
Αεροσκάφη	++	++	0	+
Ανεμόπτερα και Χαρταετοί	+	0	0	0
Ανεμόπτερα με σταθερά πτερύγια	++	+	+	+
Propeller και Jet engines	++	++	+	+
Rotor-kite	++	+	0	+
Ελικόπτερα	+	+	+	++
Coaxial	+	++	+	++
Τετρακόπτερα	0	0	0	++
Πολυκόπτερα	+	+	+	++

Πίνακας 2.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανά τύπο UAVs [0: Χαμηλότερη τιμή, +: Μεσαία τιμή, ++: Μέγιστη τιμή (Μετάφραση από Eisenbeiss, 2009, σ.35)]

2.6 Νομοθεσία

Η ταχεία εξάπλωση της χρήσης των drones στο ευρύ κοινό σε παγκόσμιο επίπεδο, δεν ακολουθήθηκε από αντίστοιχη θέσπιση νόμων και κανονισμών σχετικά με την ασφαλή χρήση τους, δημιουργώντας έτσι προβλήματα στην ανάπτυξη της παγκόσμιας αγοράς τους. Οι ελαστικοί κανόνες που υιοθετήθηκαν από ορισμένες χώρες, συνέβαλαν στην αύξηση της δραστηριότητας και της ανάπτυξης επιχειρήσεων σχετικών με τα drones, όπως η Γαλλία που αύξησε τις επιχειρήσεις από 100 το 2012 σε 1000 το 2015, ενώ η Υπηρεσία Πολιτική αεροπορίας της Πολωνίας εξέδωσε από 1 πιστοποιητικό χειριστή το 2012 σε περισσότερα από 1.000 το 2015, κάνοντας έτσι αντιληπτή την ευρεία εξάπλωση της χρήσης των drones (Κούτσικος, 2016). Η έλλειψη νομοθετικού πλαισίου ή η αντίστοιχη ελαστικότητα των κανονισμών σε συνδυασμό με την έλλειψη γνώσης από τους χειριστές, συμβάλει στην αύξηση των ατυχημάτων που σχετίζονται με τα drones σε όλο τον κόσμο. Σύμφωνα με την Αμερικανική Ομοσπονδιακή Αεροπορική Αρχή (FAA) στις ΗΠΑ το 2015 συνέβησαν 650 ατυχήματα λόγω πτήσης των drone πλησίον αεροσκαφών, σε σύγκριση με 238 για ολόκληρο το 2014 (ECA, [s.a.]).

Λόγω των παραπάνω και σε συνδυασμό με την αυξανόμενη χρήση τους σχετικά με τα περιστατικά συμβάντων που έχουν ανακοινωθεί από την μη ορθή χρήση τους, έγινε σύντομα αντιληπτή η αναγκαιότητα θέσπισης κοινών κανονισμών (Παπαδόπουλος, 2017).

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο στην διάσκεψη της Ρίγας το 2015, η Ευρωπαϊκή αεροπορική κοινότητα τόνισε την αναγκαιότητα ύπαρξης κοινών Ευρωπαϊκών ρυθμιστικών πλαισίων για την ασφαλή και βιώσιμη ανάπτυξη της αγοράς των Drone, λαμβάνοντας πάντα υπόψιν τις ανησυχίες των πολιτών στον βαθμό που αυτές δεν θα εμποδίζουν τις βιομηχανίες να ευδοκιμήσουν. Έτσι, καθορίστηκαν οι παρακάτω αρχές οι οποίες θα αποτελέσουν τη βάση για τα εκάστοτε κανονιστικά πλαίσια:

1. Τα drones πρέπει να αντιμετωπίζονται ως νέα είδη αεροσκαφών που θα διέπονται από αναλογικούς κανόνες, με βάση τον κίνδυνο της εκάστοτε πτητικής λειτουργίας.
2. Αναγκαία είναι η θέσπιση κοινών Ευρωπαϊκών κανόνων για την ασφαλή παροχή υπηρεσιών στον τομέα των drones οι οποίοι θα ενθαρρύνουν ταυτόχρονα τις επενδύσεις. Επιπλέον πρέπει να ισχύουν κανόνες ασφάλειας και όσον αφορά τον απομακρυσμένο χειριστή. Οι συνολικές απαιτήσεις σε θέματα ασφαλείας θα πρέπει να εναρμονιστούν σε παγκόσμιο επίπεδο μέσα από την συνεργασία της Κανονιστικής Αρχής Μη Επανδρωμένων Συστημάτων (JARUS) και του Διεθνούς Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO).
3. Πρέπει να αναπτυχθούν τεχνολογίες και πρότυπα για την πλήρη ενσωμάτωση των drones στον Ευρωπαϊκό εναέριο χώρο, κάτι το οποίο εξαρτάται από την χρηματοοικονομική ενίσχυση για την ανάπτυξη και επικύρωση των βασικών απαιτούμενων τεχνολογιών για την ασφαλή προς κάθε κατεύθυνση χρήση τους
4. Η δημόσια αποδοχή αποτελεί βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των υπηρεσιών drones καθώς η οποία θα επιτευχθεί μέσα από τον σεβασμό των θεμελιωδών δικαιωμάτων των πολιτών όπως το δικαίωμα στην ιδιωτικότητα και στην προστασία των προσωπικών δεδομένων.
5. Ο φορέας εκμετάλλευσης του drone καθίσταται υπεύθυνος για τη χρήση του¹⁴ (RIGA DECLARATION, 2015)

Παράλληλα, τον Μάρτιο του 2015, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Ασφάλειας της Αεροπορίας (EASA) δημοσίευσε την προτεινόμενη ρυθμιστική προσέγγισή του σχετικά με τα drones, με τίτλο

¹⁴ Η Ευρωπαϊκή αεροπορική κοινότητα δεσμεύθηκε ότι από το 2016 θα επιτρέπεται η παροχή υπηρεσιών drone σε όλη την Ευρώπη.

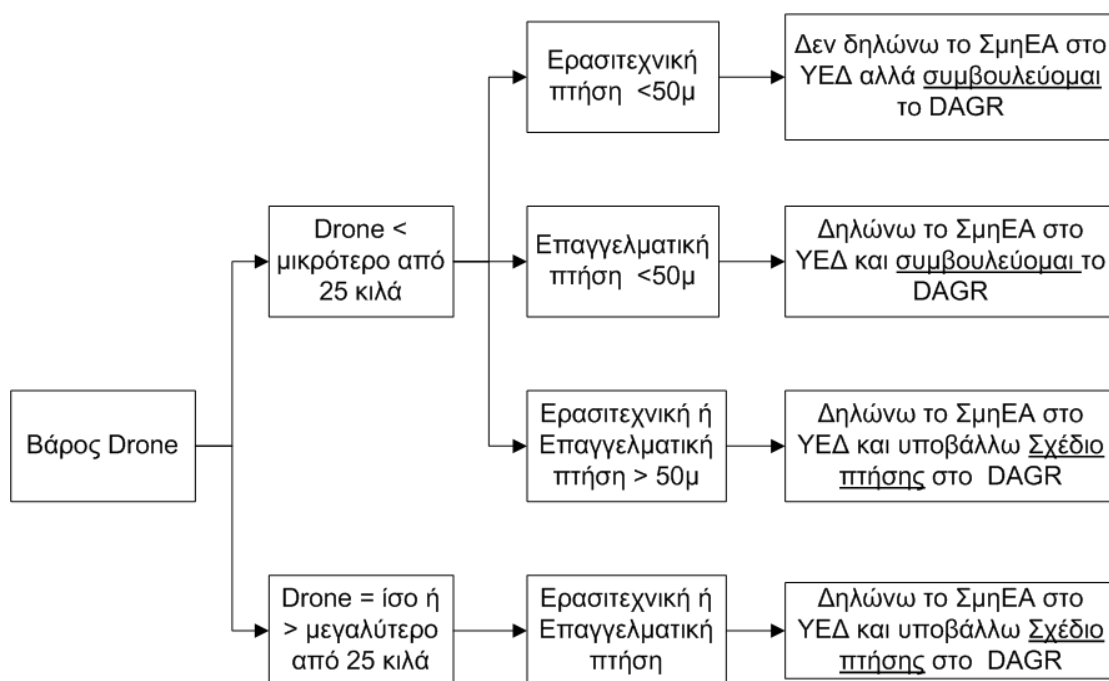
«Concept of Operations for Drones: A risk based approach to regulation of unmanned aircraft», ενώ ο πρωτότυπος κανονισμός για τη χρήση τους δημοσιεύθηκε το καλοκαίρι του 2016. Η ρυθμιστική αυτή προσέγγιση προτείνει την κατάτμηση των αεροσκαφών στην Ευρώπη σε 3 κατηγορίες: Ανοιχτή, Ειδική και Πιστοποιημένη, με ανάλογους κανόνες ασφαλείας κατά την λειτουργία των drones για κάθε μια από αυτές (ECA, [s.a.]).

Σε παγκόσμιο επίπεδο ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Ασφάλειας της Αεροπορίας (EASA), το EUROCONTROL (European Organization for the Safety of Air Navigation) και 54 χώρες μέλη (συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας), συμβάλλουν στην ανάπτυξη του JARUS, μίας ομάδας εμπειρογνομόνων που σκοπό έχουν την σύνταξη και την παροχή υλικού καθοδήγησης, ώστε κάθε εθνική αρχή να συντάξει τους δικούς της κανονισμούς (JARUS, [s.a.]). Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Διάσκεψη Πολιτικής Αεροπορίας (ECAC), έχει ως σκοπό την εναρμόνιση των πολιτικών μεταξύ των κρατών μελών της καθώς και την προώθηση ενός ασφαλούς, αποτελεσματικού και βιώσιμου Ευρωπαϊκού συστήματος αεροπορικών μεταφορών (ECAC,2016).

Οι ρυθμιστικές αρχές ανά κράτος θα έπρεπε να εντοπίσουν την τομή, ώστε οι κανονισμοί να είναι βιώσιμοι αλλά και να μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά, ενώ ταυτόχρονα να είναι συμβατοί με τους υφιστάμενους κανονισμούς της αεροπορίας (ICAO, [s.a.]). Όσον αφορά το νομικό πλαίσιο που διέπει την χρήση των drone στην Ελλάδα, η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας ανταποκρίθηκε στην ανάγκη εκσυγχρονισμού του θεσμικού πλαισίου σχετικά με την ασφάλεια της αεροπλοΐας μέσω της έκδοσης του Κανονισμού - γενικού πλαισίου πτήσεων Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών- ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft Systems – UAS). Ο κανονισμός αυτός καλύπτει το σύνολο των ζητημάτων που τέθηκαν στην διάσκεψη της Ρίγας και δομείται στα πλαίσια των αρχών του Ευρωπαϊκού Οργανισμού για την Ασφάλεια της Αεροπορίας (EASA) και του Διεθνούς Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO), με τρόπο ώστε να γίνει πλήρης ενσωμάτωση των κανονισμών που αφορούν θέματα ασφαλείας πτήσεων, ιδιωτικότητας και προστασίας των δεδομένων, αστικής ευθύνης, προστασίας του πολίτη, προστασίας του περιβάλλοντος κ.α. (Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας, 2016).

Συνοψίζοντας την ισχύουσα νομοθεσία που διέπει την χρήση των drone (Βλέπε Διάγραμμα 2.1), ακόμα και στην Ανοιχτή κατηγορία στην περίπτωση που η χρήση του δεν είναι ερασιτεχνική, ο χειριστής οφείλει να κατέχει την αντίστοιχη πιστοποίηση. Όσον αφορά την εκμετάλλευση των drone για επαγγελματικούς/εμπορικούς σκοπούς αυτά θα πρέπει να είναι ασφαλισμένα, καθώς επίσης στο σύνολο των κατηγοριών θα πρέπει να έχει εκδοθεί ειδική

άδεια από την ΥΠΑ δωδεκάμηνης ισχύος. Επιπλέον, όσα drones πετούν περισσότερα από 50m μακριά από τον χειριστή τους, ανεξαρτήτως χρήσης, θα πρέπει να δηλώνονται στην ΥΠΑ. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να τηρούνται οι κανόνες κυκλοφορίας και η συμμόρφωση ως προς τις περιοχές απαγόρευσης πτήσης που καθορίζονται από την νομοθεσία. Πέρα από αυτά, ο χειριστής είναι υπεύθυνος για την ασφαλή λειτουργία του, τη διατήρηση απόστασης από ανθρώπους, κινητά και ακίνητα περιουσιακά στοιχεία, το έδαφος και την θάλασσα. Οποιαδήποτε παράβαση των παραπάνω διατάξεων του κανονισμού επισύρει πρόστιμα βάσει του Αεροπορικού Δικαίου.



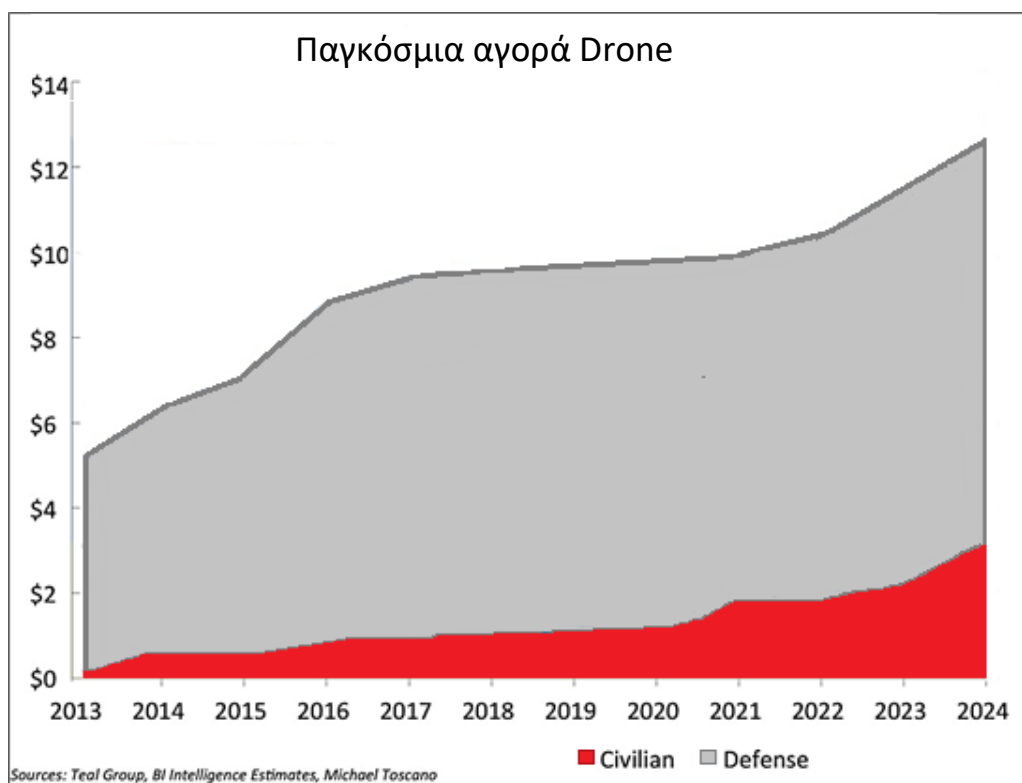
Διάγραμμα 2.1: Δράσεις Drone (ΥΠΑ, 2018, Ιδία επεξεργασία)

2.7 Χρήσεις και εφαρμογές των Drones

Η αναγνώριση των κοινωνικών καθώς και των οικονομικών οφελών που προκύπτουν από την χρήση των drones είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς τα πεδία στα οποία έχει εισέλθει η αξιοποίησή τους είναι ποικίλα. Οι δύο γενικές κατηγορίες εφαρμογών των drones θα μπορούσαν να συνοψιστούν σε αυτές των στρατιωτικών αποστολών (που επικεντρώνονται στην παράδοση οπλισμού και στους πυραύλους) και στις πολιτικές αποστολές¹⁵ (Pennsylvania State University, 2017b).

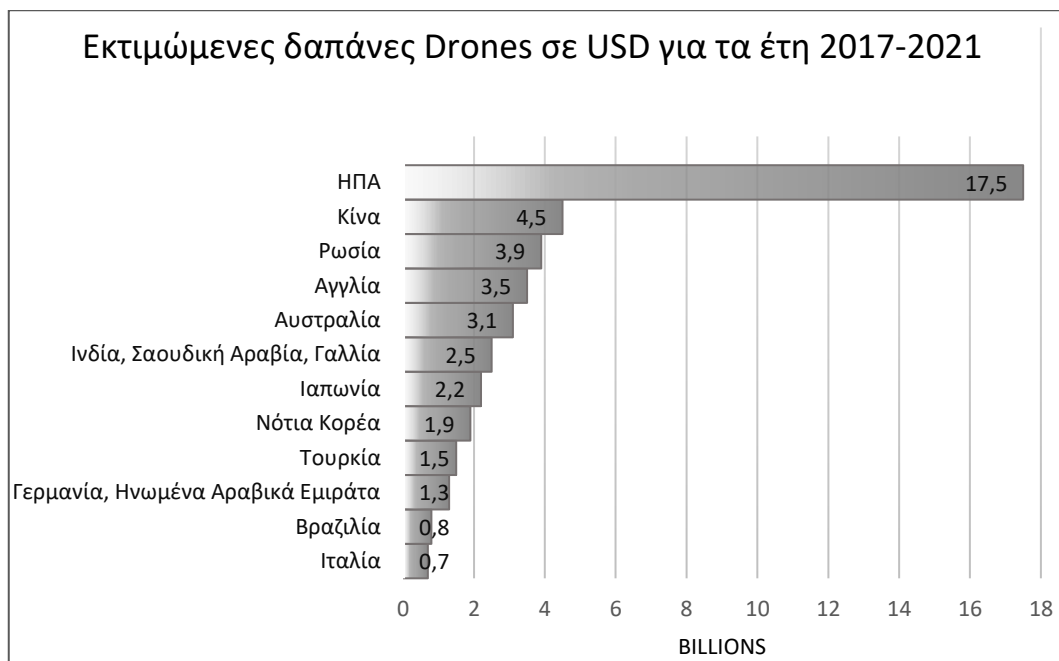
¹⁵ Οι στρατιωτικές και οι πολιτικές εφαρμογές σε ορισμένους τομείς εμφανίζουν επικαλύψεις.

Σχετικά με τις στρατιωτικές εφαρμογές των drones, δεδομένου ότι αυτά αποτελούν οικονομικότερες, ασφαλέστερες και συχνά ικανότερες εναλλακτικές λύσεις έναντι των επανδρωμένων αποστολών, είναι λογικό πέρα από την αρχική συμβολή των στρατιωτικών εφαρμογών στην ανάπτυξη των drones, να παραμένει μέχρι και σήμερα η μεγαλύτερη αγορά παγκοσμίως, με τις τάσεις να παρουσιάζονται αυξητικές (Βλέπε: Διαγράμματα 2.2 & 2.3).



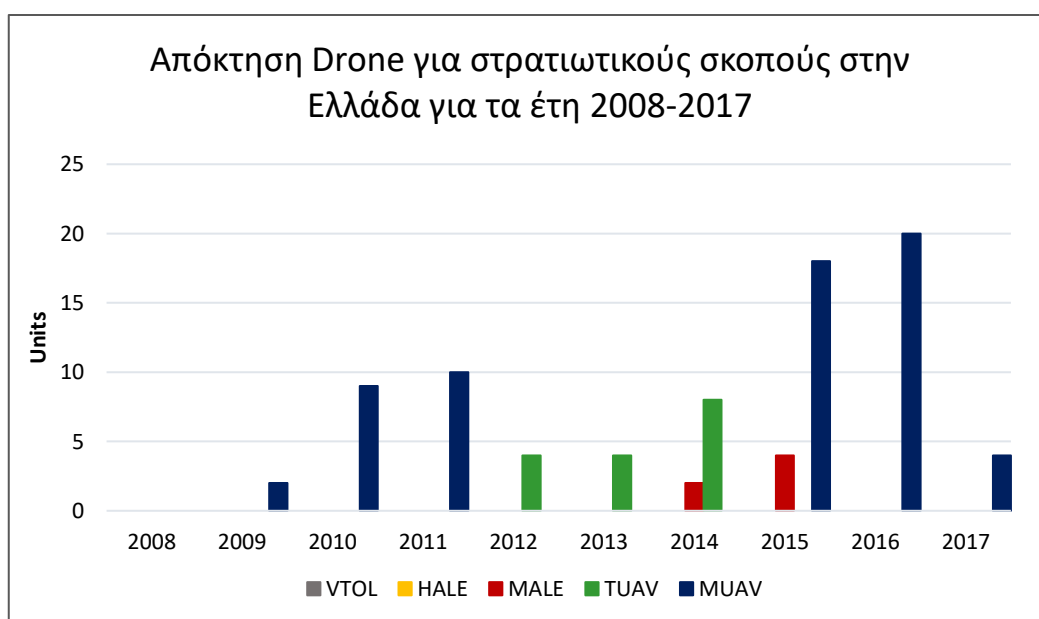
Διάγραμμα 2.2: Τάσεις παγκόσμιας αγοράς Drone (BI Intelligence, 2016¹⁶; Ιδία επεξεργασία)

¹⁶ Ως drone ορίζει «τα αεροσκάφη που μπορούν να πετάξουν αυτόνομα ή να τεθούν υπό έλεγχο από ένα απομακρυσμένο άτομο».



Διάγραμμα 2.3: Εκτιμώμενες δαπάνες drones σε USD για τα έτη 2017-2021 (Goldman Sachs,(s.a.), Ιδία επεξεργασία)

Συμφωνά με την Ευρωπαϊκή Κομισιόν (2007), η Ελλάδα φαίνεται να αποκτά κάποια σχετική εμπειρία στη χρήση στρατηγικών UAVs με τις τάσεις να δείχνουν αύξηση του ενδιαφέροντος, κυρίως στην κατεύθυνση της απόκτησης για στρατιωτικούς σκοπούς κατά το 2014-2015 με την απόκτηση κατηγοριών MUAV, TUAV και MALE όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 2.4. Αντίστοιχα όσον αφορά τις πολιτικές εφαρμογές, τα drones παρουσιάζονται ως λύση σε θέματα αντιμετώπισης και παρακολούθησης δασικών πυρκαγιών, καταγραφής καταστροφών από σεισμούς ή πλημμύρες, περιφρούρησης συνόρων κ.α.



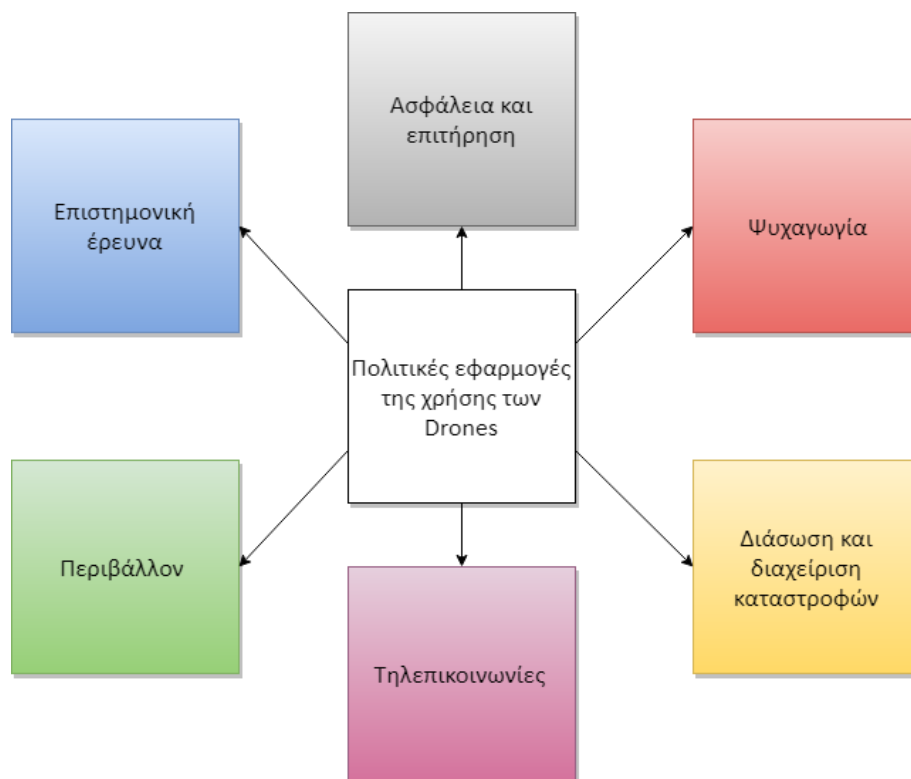
Διάγραμμα 2.4: Απόκτηση Drone για στρατιωτικούς σκοπούς στην Ελλάδα για τα έτη 2009-2017 (European Commission, 2007, Ιδία επεξεργασία)

Δεδομένο ότι η πολιτική χρήση τους καλύπτει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, θα μπορούσε να διαιρεθεί σε επιμέρους πολιτικές αλλά και κρατικές αποστολές όπως:

- **Διάσωση και διαχείριση καταστροφών**, όπου μέσα από την δυνατότητα που παρέχουν στην μεταφορά φορτίων (πχ. Φαρμάκων) καθώς και θερμικές κάμερες που μπορούν να συνεισφέρουν στον έγκαιρο εντοπισμό επιζώντων μετά από ναυάγια/αεροπορικά ατυχήματα, στην παρακολούθηση και πρόληψη πυρκαγιών, την εκτίμηση των επιπτώσεων σεισμών κ.α.
- **Ασφάλεια/επιτήρηση**, σε αποστολές σχετικές με την προστασία συνόρων, τη διασφάλιση τάξης δημοσιών εκδηλώσεων κ.α. καθώς και την **επιθεώρηση υποδομών**, σε τομείς όπως αυτούς των τεχνικών έργων, ύδρευσης, τηλεπικοινωνιών που επιτυγχάνεται με μεγάλη ταχύτητα, χαμηλό κόστος και χωρίς να θέτει σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές. Δίνεται έτσι η δυνατότητα τόσο σε κρατικούς φορείς όσο και σε ιδιωτικές εταιρίες να αξιολογούν και να επεμβαίνουν άμεσα, όποτε αυτό είναι αναγκαίο χωρίς την επιπρόσθετη χρονοβόρα διαδικασία μετρήσεων και εξακρίβωσης των πιθανών αστοχιών σε θέματα όπως στατικότητα κατασκευών, ανίχνευσης πιθανών διαρροών σε φράγματα ή σωλήνες κ.α.
- **Επιστήμη και έρευνα**, όπου μέσα από την τοποθέτηση διαφορετικών καμερών, αισθητήρων και εξοπλισμού μετρήσεων μπορεί να επιτευχθεί σε ελάχιστον χρόνο η διεξαγωγή ερευνητικών/ επιστημονικών ερευνών (π.χ παρακολούθηση φυσικών πόρων, περιβαλλοντική συμμόρφωση, καταπολέμησης του κυνηγιού σε απαγορευμένες περιοχές κ.α). Στο κομμάτι της έρευνας, δίνεται η δυνατότητα μέσω εύκολων και ταχύτατων σαρώσεων, της δημιουργίας ορθοφωτομωσaiκών, τρισδιάστατων αποτυπώσεων, ψηφιακών μοντέλων εδάφους κ.α που μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν από πλήθος επιστημόνων ως υπόβαθρα για πλήθος μελετών (π.χ ογκομετρικές έρευνες, ψηφιακή χαρτογράφηση, χρονική /χωρική συσχέτιση για την ανασυγκρότηση του εδάφους, γεωφυσική έρευνα κ.α.
- Σημαντικές **περιβαλλοντικές εφαρμογές** αποτελούν η παρακολούθηση προστατευόμενων περιοχών, η καταγραφή ρύπων, η προστασία υδάτινων πόρων και γενικά απειλούμενων οικοσυστημάτων κ.α. Επιπλέον η γεωργία ακριβείας, αποτελεί μια από τις κυριότερες εφαρμογές, καθώς μέσω των αισθητήρων, των καμερών και του

επιπρόσθετου εξοπλισμού που φέρουν, μπορούν κατά την επίβλεψη καλλιεργειών να ανιχνεύσουν ασθένειες, μη σωστή άρδευση ακόμα και να συμβάλουν στους ακριβείς ψεκασμούς ολόκληρης ή τμήματος της καλλιέργειας με σκοπό την βελτιστοποίηση της απόδοσης.

- **Τηλεπικοινωνίες**, ως υποκατάστατο δορυφόρων, για την αναμετάδοση τηλεπικοινωνιών καθώς και για ευρυζωνικές επικοινωνίες (Ritzinger, 2014).
- **Ψυχαγωγία και αναψυχή**, μέσω της χρήσης τους ως χόμπι για τη λήψη φωτογραφιών, στον αθλητισμό, στην κινηματογράφηση κ.α.



Διάγραμμα 2.5: Πολιτικές εφαρμογές της χρήσης UAV (Ritzinger, 2014, Ιδία επεξεργασία)

Οι παραπάνω κατηγορίες αποτελούν τις γενικές κατευθυντήριες γραμμές για έναν μεγάλο αριθμό εφαρμογών, ορισμένες από τις οποίες παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Η γεωργία ακριβείας είναι ένας από τους τομείς χρήσης των drones που συναντάται όλο και περισσότερο στις μέρες μας, καθώς οι αγρότες όλο και πιο συχνά βασίζονται τις αποφάσεις σχετικά με τις καλλιέργειές τους στα δεδομένα που τους παρέχουν τα drones. Το γεγονός ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται συνεχώς, δημιουργεί και αντίστοιχες ανάγκες ως προς την εξασφάλιση όλο και περισσότερων αγροτικών προϊόντων. Αν αναλογιστεί κανείς ότι υπάρχει

παγκόσμιο έλλειμα καλλιεργήσιμων εκτάσεων, υψηλό κόστος εργασίας, καθώς και τις κλιματικές αλλαγές, γίνεται αντιληπτό πως επηρεάζουν άμεσα την παροχή ποιοτικών τροφίμων στις αναπτυσσόμενες χώρες. Σύμφωνα με τους Pederi Y.A και Cherorniuk H.S (2015), το πρόβλημα που δημιουργείται στην αποτελεσματικότητα, την ευελιξία καθώς και του υψηλού κόστους χρήσης μηχανημάτων για την προστασία των καλλιεργήσιμων εκτάσεων, μπορεί να καλυφθεί μέσω της χρήσης νέων τεχνολογικών μεθόδων βασισμένες στα drones. Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των καλλιεργήσιμων εκτάσεων μέσω drones για την ανίχνευση ασθενειών, ο ψεκασμός τους, ο υπολογισμός του δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένων διαφορών (Normalized Difference Vegetation Index/NDVI) καθώς και του Crop Water Stress Index/CWSI, που αποτελούν ορισμένες από τις εφαρμογές στις οποίες συνεισφέρουν τα drones στην γεωργία ακριβείας, μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση των απωλειών και αύξηση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Έχοντας ως παράδειγμα εφαρμογής αεροψεκασμών το Ουκρανικό πρωτότυπο "AeroDrone", σταθερών πτερυγίων, καταλήγουν ότι παρά τα μειονεκτήματα που φέρει (απαίτηση πολλαπλών πτήσεων για μεγάλες εκτάσεις κ.α.), τα πλεονεκτήματά του το καθιστούν πολύ πιο αποτελεσματική, ασφαλή και φθηνή εναλλακτική μέθοδο προστασίας των καλλιεργειών.

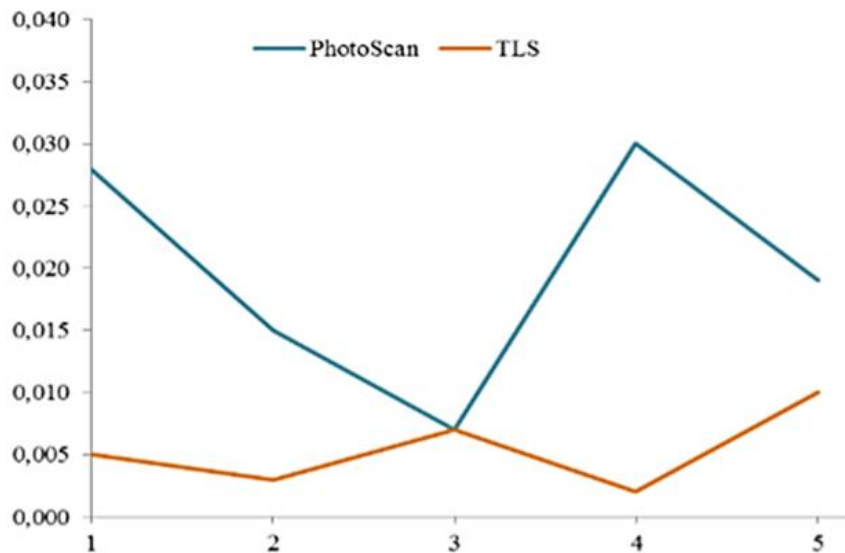
Συνεχίζοντας με εφαρμογές των drones που σχετίζονται με την γεωργία ακριβείας, οι Diaz-Varela R.A., Zarco-Tejada P.J., Angileri V., και Loudjani P. (2014) επιχείρησαν την αυτόματη ανίχνευση γεωργικών αναβαθμίδων με την χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV). Οι γεωργικές αναβαθμίδες προσφέρουν ποικίλες υπηρεσίες στα οικοσυστήματα (εξομάλυνση των επιφανειών, σταθεροποίηση κλίσεων, μείωση κινδύνου διάβρωσης κ.α.) και για αυτό το λόγο η Ευρωπαϊκή Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ), έχει αντιληφθεί την μελλοντική ανάγκη για αυτόματη αναγνώριση και παρακολούθησή τους, σε επίπεδο εκμεταλλεύσεων. Βασικοί στόχοι ήταν η αξιολόγηση της χρήσης χαμηλού κόστους καμερών που φέρονται από ένα UAV με σκοπό την ανακατασκευή ενός Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας (Digital Surface Model/DSM), σε περιοχές με γεωργικές αναβαθμίδες, καθώς και η ανάπτυξη και η επικύρωση μιας αντικειμενοστραφούς αυτόματης μεθόδου αναγνώρισης τους, μέσω της χρήσης πολυφασματικών πληροφοριών και των DSM. Οι αναλύσεις έλαβαν χώρα σε μια έκταση 120 εκταρίων, στην επαρχία Cordoba στη Νότια Ισπανία που καλύπτεται κυρίως από ελαιώνες. Η πτήση του UAV διεξήχθη από το Εργαστήριο μεθόδων έρευνας και ποσοτικής τηλεπισκόπησης (QuantaLab, IASCSIC, Ισπανία), το οποίο έφερε την κάμερα CIR Panasonic Lumix DMC-GF1, η οποία παρείχε 11cm pixel resolution για ύψος πτήσης 500m. Η ροή εργασίας περιελάμβανε: την

απόκτηση των εικόνων, την προεπεξεργασία των εικόνων για την δημιουργία πράσινου-κόκκινου και κοντινού υπέρυθρου ορθομωσαικού και DSM με την χρήση του λογισμικού Pix4UAV, την ταξινόμηση των εικόνων για την δημιουργία ενός διαδίκου χάρτη περιοχών που αποτελούν/δεν αποτελούν αναβαθμίδες με την χρήση του λογισμικού eCognition Developer 8 και τέλος την συλλογή επίγειων δεδομένων για την επαλήθευση της ακρίβειας του DSM και της ταξινόμησης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ταξινόμησης, το 27,75% της περιοχής χαρακτηρίστηκε ως αναβαθμίδες (33,31 από 120 εκτάρια), ενώ η υπόλοιπη έκταση ως μη αναβαθμίδες. Η ρίζα της μέσης τετραγωνικής απόκλισης (Root Mean Square Error /RMSE) που προέκυψε ήταν χαμηλότερη από 0.5 m στο DSM, ενώ η ακρίβεια της ταξινόμησης έφτασε το 90%, κάτι που αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου, καθώς επίσης καταδεικνύει και τα πλεονεκτήματα της χρήσης εικόνων UAV σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς τρόπους ανίχνευσης δεδομένων.

Όσον αφορά την αρχαιολογική έρευνα, η χρήση των drones μπορεί να καταστεί ιδιαίτερα αποτελεσματική χάρη στην δυνατότητα προσαρμογής του εναέριου μέσου στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εκάστοτε χώρου (έκταση, κατάσταση ευρημάτων, συνεχιζόμενες έρευνες κ.α), για την παραγωγή των επιθυμητών φωτογραμμετρικών προϊόντων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τρισδιάστατων αποτυπώσεων μνημείων, αποτελεί η προσπάθεια της ερευνητικής ομάδας των Chiabrando F., D'Andria F., Sammartano G. και Spanò A. (2018) για την παραγωγή φωτογραμμετρικών προϊόντων από καταγραφές UAV σε ορισμένες μνημειακές περιοχές της αρχαίας Ιεράπολης στη Φρυγία (Τουρκία), που μελετάται από το 1960 από την Ιταλική Αρχαιολογική Αποστολή της Ιεράπολης (MAIER). Οι τρεις πτήσεις που έλαβαν χώρα στην Ιεράπολη είχαν διαφορετικούς στόχους η κάθε μια: στο Πλουτώνιο/Ιερό του Απόλλωνα για την επικαιροποίηση των καταγραφών, στον αρχαίο ναό/θερμά λουτρά για την βελτίωση του LiDAR (Light Detection And Ranging) μοντέλου και τέλος στην Νεκρόπολη για την εύρεση των επίπεδων των μονοπατιών. Η λήψη των αεροφωτογραφιών και στις 3 περιπτώσεις πραγματοποιήθηκε με το σύστημα eBee της Sensefly ενώ η διαχείριση κατά την πτήση και η επεξεργασία των εικόνων για την παραγωγή ορθομωσαικών, ψηφιακών μοντέλων επιφάνειας (Digital Surface Model/DSM) και τρισδιάστατων αποτυπώσεων με το λογισμικό eMotion. Κατά τον σχεδιασμό της πτήσης ρυθμίστηκαν η ανάλυση των εικόνων (Ground-Sample Distance/GSD) και τα ποσοστά πρόσθιων/ πλάγιων επικαλύψεων, στη συνέχεια το λογισμικό αυτόματα υπολόγισε το ύψος πτήσης καθώς και τον αριθμό των λωρίδων που απαιτούνταν για την κάλυψη της περιοχής μελέτης και τέλος ακολούθησαν οι ρυθμίσεις απογείωσης και προσγείωσης. Το αντίστοιχο

λογισμικό για την επεξεργασία των εικόνων, περιλαμβάνει τρία βασικά βήματα: την αρχική επεξεργασία, την δημιουργία πυκνών νεφών σημείων και την παραγωγή ορθομωσαϊκών DSM. Από την συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων των τριών περιπτώσεων μελέτης, κατέληξαν στο ότι τα παραγόμενα προσεγγίζουν την ακρίβεια των 2 εκατοστών, καθώς επίσης παράγονται και υψηλής ανάλυσης 3D μοντέλα. Βάσει της ακρίβεια αυτής, συμπέραναν ότι οι καταγραφές drone, μπορούν να αποτελέσουν ένα γρήγορο και οικονομικό τρόπο απεικόνισης και χαρτογράφησης περιοχών στις οποίες έχουν προηγηθεί ανασκαφές μέσω τρισδιάστατων μοντέλων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση δεδομένων για την εύρεση και αποθήκευση άλλων γεωχωρικών πληροφοριών.

Παράλληλα με την αρχαιολογική έρευνα, αλλά σχετικά με την αποτύπωση μνημείων, οι Barrile V., Gelsomino V., και Bilotta G. (2017), επιχείρησαν την δημιουργία τρισδιάστατης αποτύπωσης του Ελληνικού τείχους στο Ρήγιο (της επαρχίας Ρέτζιο-Καλάμπρια) μέσα από εικόνες drone και στην συνέχεια την εξακρίβωση της ακρίβειας που αυτή παρέχει, με την χρήση σαρωτή λέιζερ. Για την λήψη των εικόνων drone χρησιμοποιήθηκε το DJI Phantom 2 και η ψηφιακή κάμερα GoPro HERO3+ Silver Edition, ενώ ως πρόγραμμα επεξεργασίας τους χρησιμοποιήθηκε το Agisoft Photoscan. Τα βήματα που ακολουθήσαν για την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου του τοίχους περιλάμβαναν την ευθυγράμμιση των εικόνων, τη δημιουργία νεφών πυκνών σημείων, τη δημιουργία πλέγματος και τέλος την προσθήκη υφών. Αντίστοιχα ως σαρωτής λέιζερ χρησιμοποιήθηκε το RIEGL LMS-Z420i. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν αφορούσαν αρχικά την επιλογή της θέσης του οργάνου, των ρυθμίσεων και της βαθμονόμησής του, ενώ όσον αφορά την επεξεργασία των δεδομένων, αρχικά καταγράφηκαν τα νέφη σημείων, φιλτράρισμα, καθαρισμός δεδομένων και τέλος δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο πλέγμα (3D mesh). Η αξιολόγηση της ακρίβειας, βασίστηκε στον εντοπισμό 5 σημείων/στόχων στα τείχη και πραγματοποιήθηκε βάσει της σύγκρισης των συντεταγμένων των σημείων, με την παραδοσιακή τοπογραφική μέθοδο εντοπισμού τους, με την χρήση γεωδαιτικού σταθμού Leica TCRA 1201 όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.6.



Διάγραμμα 2.6: Σύγκρισης ακρίβειας των συντεταγμένων με τη παραδοσιακή τοπογραφική μέθοδο εντοπισμού τους και με την χρήση γεωδαιτικού σταθμού Leica TCRA 1201

Κατά την διεξαγωγή ανάλυσης κλίσεων και τον χωροταξικό σχεδιασμό, τα UAV αποτελούν χρήσιμα εργαλεία λήψης χωρικών πληροφοριών, σχετικά με την μοντελοποίηση της τοπογραφίας, με σκοπό την προστασία και την μείωση των καταστροφών λόγω κατολισθήσεων. Ως περιοχή εφαρμογής της μοντελοποίησης των τοπογραφικών κλίσεων από τους Ye H F.H, Huang C.J., Han J.Y, and Ge L. (2018), ορίστηκε η Ταϊβάν, όπου η πτώση των βράχων είναι μια κοινή γεω-καταστροφή και πιο συγκεκριμένα, μια πλαγιά κοντά στο γκρεμό Qingshui, της πόλης Xiulin Township στην ανατολική Ταϊβάν, έκτασης περίπου 0,29 εκτάρων. Για την πραγματοποίηση της τοπογραφικής έρευνας και με σκοπό την εκτίμηση της καταλληλότητας εγκατάστασης στον γκρεμό αυτό, ενός φράχτη προστασίας από την πτώση βράχων, χρησιμοποιήθηκε το DJI Phantom 4, ενώ ως λογισμικό επεξεργασίας των καταγραφών του, το Pix4D. Τα βασικά βήματα που ακολουθήθηκαν περιλάμβαναν την προετοιμασία της πτήσης, την καταγραφή των εικόνων, την μετεπεξεργασία τους και τέλος τα παραγόμενα αποτελέσματα. Από την παραγωγή του ορθοφωτοχάρτη και του ψηφιακού Μοντέλου επιφάνειας (Digital Surface Model/DSM), καταλήγουν στο ότι τα UAV παρέχουν “ολοκληρωμένες” χωρικές πληροφορίες, μικρότερο χρόνο και λιγότερο ανθρώπινο δυναμικό, σε σχέση με την χρήση των γεωδαιτικών σταθμών, με απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων τους 0.061m. Η ανάλυση του DSM στα 1,58 εκατοστά, καθώς και το σφάλμα των συντεταγμένων που θεωρήθηκε αποδεκτό, καθιστά τα UAV μια αποδοτική τεχνική τοπογραφίας, που παρέχει υψηλής χωρικής ανάλυσης δεδομένα, η χρήση της οποίας μπορεί να αντικαταστήσει τις συμβατικές μεθόδους εξαγωγής τοπογραφικών πληροφοριών στις περισσότερες γεωτεχνικές εφαρμογές.

Η χρήση των drone από ομάδες διάσωσης (Urban Search and Rescue/(USaR) σε φυσικές ή ανθρωπογενείς καταστροφές (σεισμοί, εκρήξεις, τρομοκρατικές επιθέσεις κ.α.), μέσω της δημιουργίας 3D μοντέλων πλήρως ή μερικώς κατεστραμμένων κτηρίων, μπορεί να συμβάλει στην γρήγορή λήψη αποφάσεων, σχετικά με τον εντοπισμό εγκλωβισμένων ατόμων και στην βελτίωση της ανταπόκρισης σε επικείμενες καταστροφές. Η δημιουργία μιας σωστής ροής εργασιών καθώς και ο καθορισμός των παραμέτρων κατά την φωτογραμμετρική επεξεργασία των εικόνων, κρίνεται υψίστης σημασίας για την γρήγορη και αξιόπιστη παραγωγή τρισδιάστατων μοντελοποιήσεων. Αντιλαμβανόμενοι την ανάγκη για δεδομένα σε σχεδόν πραγματικό χρόνο για την τρισδιάστατη μοντελοποίηση καταστροφών και την επέμβαση ομάδων Urban Search and Rescue, οι Verykokou S., Ioannidis C., Athanasiou G., Doulamis N. & Amditis A. (2017), αξιολόγησαν τόσο εμπορικά όσο και ανοιχτού κώδικα λογισμικά (Agisoft Photoscan και αντίστοιχα MicMac-MeshLab), για την 3D ανακατασκευή σκηνών καταστροφών από εικόνες UAV στο οποίο δεν υπήρχαν αισθητήρες και προσδιορισμός θέσης, έπειτα από έναν καταστρεπτικό σεισμό του 2012 που έπληξε την περιοχή Μιραμπέλο της Ιταλίας. Μέσα από την σύγκριση των 2 πειραμάτων που επιχείρησαν καθώς και των συγκρίσεων μεταξύ των 3D μοντέλων, εστίασαν στην δημιουργία των καταλληλότερων ροών εργασίας σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, θέτοντας ως ανώτερο όριο για την επίτευξη των διαδικασιών τα 80 λεπτά. Από την συγκριτική μελέτη των 3D μοντέλων μεταξύ των 2 λογισμικών και των 2 πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν εντόπισαν ότι: η μέση διαφορά μεταξύ των μοντέλων δεν υπερβαίνει τα 0.40m, το PhotoScan και στις 2 περιπτώσεις λόγω σκιών δεν κατάφερε να ανακατασκευάσει ορισμένα τμήματα της εκκλησίας του Αγίου Παύλου ενώ ο ελάχιστος υπολογιστικός χρόνος για την παραγωγή του 3D μοντέλου απαιτήθηκε από το Photoscan. Πέρα από ορισμένες αδυναμίες που εντοπίστηκαν κατά την απόκτηση των δεδομένων και ορισμένες βελτιώσεις που προτάθηκαν για αυτές, κατέληξαν ότι η γρήγορη και αποτελεσματική 3D μοντελοποίηση που μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από την χρήση UAV και λογισμικών επεξεργασίας των καταγραφών τους, κρίνεται πολύτιμη για την λήψη αποφάσεων σε φυσικές ή ανθρωπογενείς καταστροφές.

Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογία πτήσης και επεξεργασία εικόνων drone

3.1 Περιοχή μελέτης

Το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο ιδρύθηκε το 1990 και στεγάζει τις σύγχρονες εγκαταστάσεις του στο Δήμο Καλλιθέας, σε μια έκταση 20.000 τ.μ., οικόπεδο που ανήκει στο κληροδότημα του εθνικού ευεργέτη Παναγή Χαροκόπου, του οποίου και φέρει το όνομα. Προτού ιδρυθεί το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, στην έκταση αυτή στεγάζονταν ένα εκπαιδευτήριο (1915-1920) υπό την φροντίδα του αδελφού του Παναγή Χαροκόπου, Σπυρίδωνα Χαροκόπου ενώ το 1959 προστέθηκε στο κτίριο αυτό, μια νέα πτέρυγα. Στο ίδιο κτηριακό συγκρότημα στεγάσθηκε, το 1929 η "Χαροκόπειος Ανωτάτη Σχολή Οικιακής Οικονομίας" (Βλέπε: Εικόνα 3.1), που λειτουργούσε ως Διδασκαλείο για τη μόρφωση καθηγητριών του κλάδου της Οικιακής Οικονομίας, η λειτουργία της οποίας έπαυσε το 1990 με την ίδρυση του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου. Κατά την ίδρυση του Πανεπιστημίου, η κτιριακή υποδομή του ανακαινίσθηκε πλήρως τα έτη 1993-1994 ενώ συμπληρώθηκε με την ανέγερση ενός νέου κτιρίου κατά τη διετία 1999-2000» (Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, 2010).

Σήμερα στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο λειτουργούν τέσσερα προπτυχιακά τμήματα: το Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, της Σχολής Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας και Εφαρμοσμένων Οικονομικών, που λειτουργεί από το 1993, το Τμήμα Επιστήμης Διαιτολογίας – Διατροφής (από το 1994) της Σχολής Επιστημών Υγείας και Αγωγής, το Τμήμα Γεωγραφίας (από το 2000) της Σχολής Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας και Εφαρμοσμένων Οικονομικών και το Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής (από το 2007) της Σχολής Ψηφιακής Τεχνολογίας. Λειτουργούν επίσης και πέντε Προγράμματα Μεταπτυχιακών Σπουδών: στο Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας το ΠΜΣ «Βιώσιμη Ανάπτυξη» και «Εκπαίδευση και Πολιτισμός», στο Τμήμα Επιστήμης Διαιτολογίας – Διατροφής το ΠΜΣ «Εφαρμοσμένη Διαιτολογία – Διατροφή», στο Τμήμα Γεωγραφίας το ΠΜΣ «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου» και στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής το ΠΜΣ «Πληροφορική και Τηλεματική». Στο Πανεπιστήμιο λειτουργούν ακόμα: βιβλιοθήκη και κέντρο πληροφόρησης, γραφείο διασύνδεσης σπουδών και σταδιοδρομίας, κέντρο συμβουλευτικής φοιτητών καθώς και το κέντρο πληροφορικής και δικτύων (Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, 2017).

Το όραμα του Π. Χαροκόπου ήταν η δημιουργία ενός εκπαιδευτικού ιδρύματος *«με άριστες κτηριακές υποδομές και εξοπλισμό, σε αρμονία με το φυσικό περιβάλλον, που θα πρόσφερε ό,τι*

πιο σύγχρονο παρείχε η επιστήμη», κάτι το οποίο συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, καθώς το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο δεν αποτελεί ένα τυπικό Ελληνικό Πανεπιστήμιο. Η ιδιαίτερη φυσιογνωμία του οφείλεται στις μικρές διαστάσεις του, που σε συνδυασμό με το φυσικό περιβάλλον που διαθέτει και την άριστη και ενδιαφέρουσα από αρχιτεκτονικής άποψης κτηριακή υποδομή, το καθιστούν ένα πολύ ενδιαφέρον παράδειγμα αξιοποίησης των εικόνων του, μέσω της χρήσης drone (Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, 2017).



Εικόνα 3.1: Η Χαροκόπειος Σχολή Οικιακής Οικονομίας το 1950 (Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, 2017)

3.2 Μέσο πτήσης και λογισμικά

3.2.1 DJI Phantom 4 PRO

Ως μέσο για την λήψη των φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε το DJI Phantom 4 PRO που διαθέτει το τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου. Ο προηγμένος εξοπλισμός, τα χαρακτηριστικά του (Βλέπε Πίνακα 3.1), καθώς και οι επιπλέον «έξυπνες» λειτουργίες που φέρει το εν λόγω drone, το καθιστά ένα χρήσιμο εργαλείο για την λήψη αεροφωτογραφιών και την παραγωγή 2D και 3D γεωχωρικών δεδομένων.

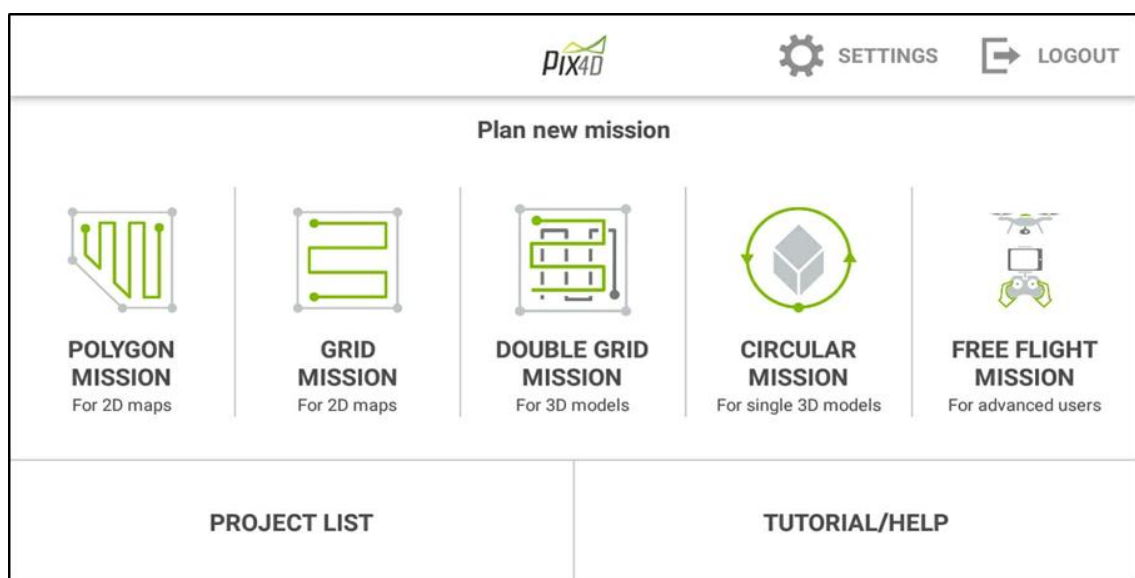
Γενικά Χαρακτηριστικά	
Εμβέλεια	έως 3.5 km
Χρόνος λειτουργίας	έως 30 λεπτά
Συμβατότητα Λογισμικού	Android / iOS
GPS	GLONASS / GPS
Εύρος ακριβείας GPS	Κάθετα: $\pm 0.1\text{m}$ (Οπτική τοποθέτηση) $\pm 0.5\text{m}$ (με εντοπισμό θέσης μέσω GPS) Οριζόντια: $\pm 0.3\text{m}$ (Οπτική τοποθέτηση) $\pm 1.5\text{m}$ (με εντοπισμό θέσης μέσω GPS)
Χειρισμός	Τηλεχειριστήριο (RC)
Βάρος (συμπεριλαμβανομένων μπαταρίας και προπελών)	1388g
Θερμοκρασιακό εύρος χειρισμού	0° έως 40° C
Επιπλέον Λειτουργίες	Intelligent flight mode: Auto Hover / Auto Return Home / Auto Take Off / CourseLock / Follow Me / Obstacle Avoidance / Point of Interest / Track Me
Ταχύτητα	
Μέγιστη Ταχύτητα Ανύψωσης	6 m/s
Μέγιστη Ταχύτητα Καθόδου	4 m/s
Μέγιστη Ταχύτητα	72 χλμ/ώρα
Κάμερα	
Ανάλυση Κάμερας	4K 4096x2160 pixels
Μέγιστη Ανάλυση Video	2704x1520 (2.7K) 30p / 3840x2160 (4K) 30p / FHD: 1920x1080 120p / HD: 1280x720 60p / UHD: 4096x2160 (4K) 24p
Αισθητήρας	1" CMOS, Effective pixels:20M
Ταχύτητα κλείστρου	8 - 1/2000 sec

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά DJI Phantom 4 PRO (PHANTOM 4 PRO: User manual, 2016)

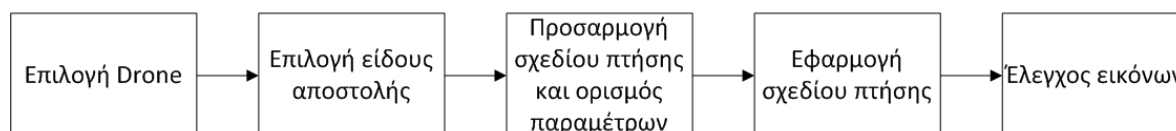
3.2.2 Pix4D Capture

Το Pix4D Capture αποτελεί μια πλήρως αυτοματοποιημένη εφαρμογή, της εταιρίας λογισμικών PIX4D, για την πτήση και τη λήψη εικόνων drone, η οποία διατίθεται δωρεάν και αφορά Android και IOS συσκευές. Παρότι διαθέτει τόσο αυτοματοποιημένα σχέδια πτήσης, όσο και χειροκίνητα (Βλέπε: Εικόνα 3.2), τα αυτοματοποιημένα αποτελούν χρήσιμο εργαλείο για τους λιγότερο έμπειρους χρήστες ή τους χρήστες που επιθυμούν την βέλτιστη και ασφαλέστερη κάλυψη των περιοχών μελέτης. Το Pix4D Capture είναι ανεξάρτητο του λογισμικού που θα χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια για την επεξεργασία των εικόνων drone, όπως και του τύπου drone, καθώς υποστηρίζει 18 μοντέλα κατασκευαστών αεροσκαφών των DJI, Parrot και Yuneec. Λόγω της σύνδεσής του με το drone μέσω κινητού ή tablet, παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο της κάμερας κατά την απόκτηση της εικόνας καθώς και την εύκολη μεταφορά των εικόνων στο κινητό/tablet μετά το πέρας της πτήσης (PIX4D, [s.a.]). Η

κύρια ροή εργασιών στην εφαρμογή (Βλέπε Διάγραμμα 3.1), αφορά αρχικά την επιλογή του μοντέλου drone, καθώς και την επιλογή της αποστολής, που σχετίζεται άμεσα με το είδος των παραγόμενων (2D/3D προϊόντα). Η εισαγωγή αρχείου .kml με τα όρια της ευρύτερης περιοχής μελέτης, σε συνδυασμό με τη προσαρμογή των ορίων του σχεδίου πτήσης, καθώς και τον ορισμό των παραμέτρων πτήσης, αποτελούν το βήμα που σχετίζεται άμεσα με την ποιότητα των εικόνων, όπως αυτό θα αναλυθεί στη συνέχεια. Μετά την επιτυχημένη εφαρμογή του σχεδίου πτήσης, ακολουθεί ο έλεγχος των εικόνων, ο οποίος διασφαλίζει την επάρκεια και τη ποιότητα των εικόνων.



Εικόνα 3.2: Τύποι σχεδίων πτήσης



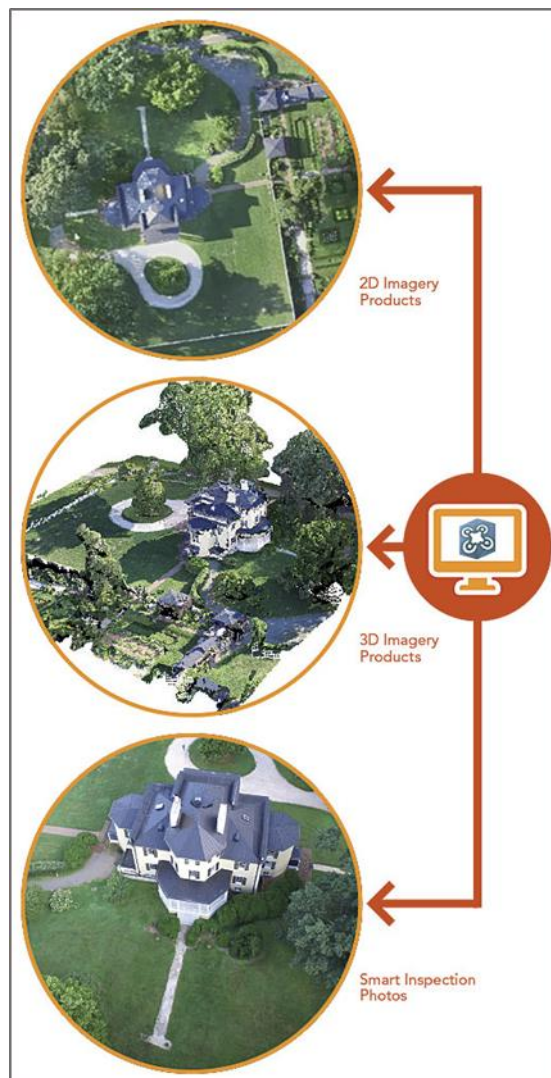
Διάγραμμα 3.1: Ροή εργασιών Pix4D Capture

3.2.3 Drone2Map for ArcGIS

Το Drone2Map είναι λογισμικό της πλατφόρμας ArcGIS, η ανάπτυξη του οποίου βασίζεται στη Pix4D, το οποίο δίνει την δυνατότητα μέσα από την επεξεργασία καταγραφών drone, της δημιουργίας γεωγραφικών δεδομένων (ESRI, [s.a.]). Πιο συγκεκριμένα, δίνει την δυνατότητα δημιουργίας υψηλής ποιότητας 2D και 3D προϊόντων όπως ορθομωσαϊκά, νέφη σημείων, 3d meshes, ισοϋψείς καμπύλες, DSM κ.α., επισκόπησης και ελέγχου αντικειμένων σε 360°

καθώς και προσφέρει εργαλεία εντοπισμού μεταβολών όταν υπάρχει ιστορικότητα λήψεων (Βλέπε: Εικόνα 3.3). Ως λογισμικό, το Drone2Map χρησιμοποιείται σε εφαρμογές σχετικές με την παρακολούθηση, την ανάλυση της γήινης επιφάνειας, τον έλεγχο καθώς και την επιθεώρηση.

Πιο συγκεκριμένα το εύρος των εφαρμογών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λογισμικό ταυτίζεται με αυτό της χρήσης των drone και αφορά την άμυνα, την επιβολή του νόμου, τη γεωργία ακριβείας, τη δασοκομία, την αντιμετώπιση καταστροφών, τη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων και εγκαταστάσεων, τη μεταφορά, την ασφάλεια, την ακίνητη περιουσία, τον πολεοδομικό σχεδιασμό, την εξόρυξη κ.α. (Mason, 2016). Βασική απαίτηση του λογισμικού, όπως και όλων των αντίστοιχων λογισμικών, για την παραγωγή ποιοτικών και με ακρίβεια αποτελεσμάτων, είναι η σωστή λήψη φωτογραφιών, η πλήρη κάλυψη της περιοχής μελέτης καθώς και η επικάλυψη των φωτογραφιών. Τα 2D και 3D παραγόμενα από την επεξεργασία των εικόνων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και να επεξεργαστούν περαιτέρω και σε άλλα λογισμικά της πλατφόρμας ArcGIS, όπως το ArcGIS Online και το ArcGIS Pro.



Εικόνα 3.3: Κατηγορίες προϊόντων Drone2Map

3.3 Προγραμματισμός πτήσης

Δεδομένου ότι οι εικόνες που λαμβάνονται από drones αποτελούν αεροφωτογραφίες, η μεθοδολογία λήψης και επεξεργασίας τους δεν θα μπορούσαν να διαφέρουν πολύ από αυτές των «παραδοσιακών» αεροφωτογραφιών που αναφέρθηκαν στην ενότητα 1.2.3.3.¹⁷

Ο προγραμματισμός της πτήσης αναφέρεται στις αποφάσεις εκείνες που πρέπει να ληφθούν, πριν την διεξαγωγή κάθε πτήσης, που αφορούν ένα ευρύ φάσμα παραμέτρων όπως το ύψος λήψης, την επικάλυψη των φωτογραφιών κ.α. (Δουκαρή, 2015). Απαραίτητη προϋπόθεση προτού ξεκινήσει ο προγραμματισμός της πτήσης, είναι η αξιολόγηση της περιοχής μελέτης και η γνώση των ιδιοτεροτήτων της (όπως εμπόδια, απαγορευμένες περιοχές, ύψη κτηρίων κ.α), καθώς αυτά διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον σωστό σχεδιασμό και συμβάλουν στην ποιότητα και την ακρίβεια των παραγόμενων αποτελεσμάτων. Η αρχική απόφαση που πρέπει να ληφθεί αφορά τον τρόπο πτήσης του Drone, δηλαδή αν θα γίνει με αυτόματο τρόπο μέσω από την χρήση αντίστοιχου λογισμικού και βασιζόμενη σε ένα σχέδιο πτήσης ή αν θα καθοδηγείται από έναν χειριστή. Στη παρούσα πτυχιακή εργασία και για της δύο πτήσεις του drone, επιλέχθηκε η αυτόματη πτήση του DJI Phantom 4 PRO μέσα από την χρήση, για τον σχεδιασμό και την ρύθμιση των παραμέτρων της εφαρμογής PIX4D Capture.

3.3.1 Σχεδιασμός πτήσης

Ο σχεδιασμός της πτήσης βασίζεται κατά κύριο λόγο στην χρήση ειδικών λογισμικών και μπορεί να γίνει απευθείας στην περιοχή μελέτης είτε να έχει σχεδιασθεί εκ των προτέρων και να συνδεθεί με το Drone πριν την πραγματοποίηση της πτήσης. Οι πτήσεις συνήθως πραγματοποιούνται σε ένα μοτίβο παράλληλων γραμμών, σχεδιασμένο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η λήψη των αναγκαίων επικαλυπτόμενων εικόνων για την παραγωγή ποιοτικών αποτελεσμάτων. Η πολυπλοκότητα του αναγλύφου (πυκνά δάση, χιονισμένες περιοχές κ.α) και το είδος των ανθρωπογενών παρεμβάσεων (πυκνοδομημένες περιοχές, ψηλά κτήρια κ.α.) απαιτούν μεγαλύτερη επικάλυψη μεταξύ των διαδοχικών εικόνων, ενώ συνήθως ενδείκνυται η χρήση δύο επικαλυπτόμενων μοτίβων πτήσης σε διαφορετικά ύψη για την βέλτιστη συλλογή

¹⁷ Η συνολική ροή εργασιών από τον προγραμματισμό της πτήσης έως και τα παραγόμενα προϊόντα παρουσιάζεται συνοπτικά στο Παράρτημα 6.

δεδομένων και την επίλυση υψομετρικών διαφοροποιήσεων και γεωγραφικών χαρακτηριστικών (Δουκαρή, 2015). Ο σωστός σχεδιασμός πτήσης απαιτεί τον ορθό καθορισμό ενός αριθμού μεταβλητών, οι οποίες βασίζονται στις ιδιαιτερότητες της περιοχής μελέτης και τα επιθυμητά αποτελέσματα. Οι πιο σημαντικές για τον σχεδιασμό πτήσης μεταβλητές είναι το ύψος πτήσης (που σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των εικόνων που θα ληφθούν και την ανάλυσή τους), η επικάλυψη των εικόνων καθώς και η γωνία λήψης¹⁸.

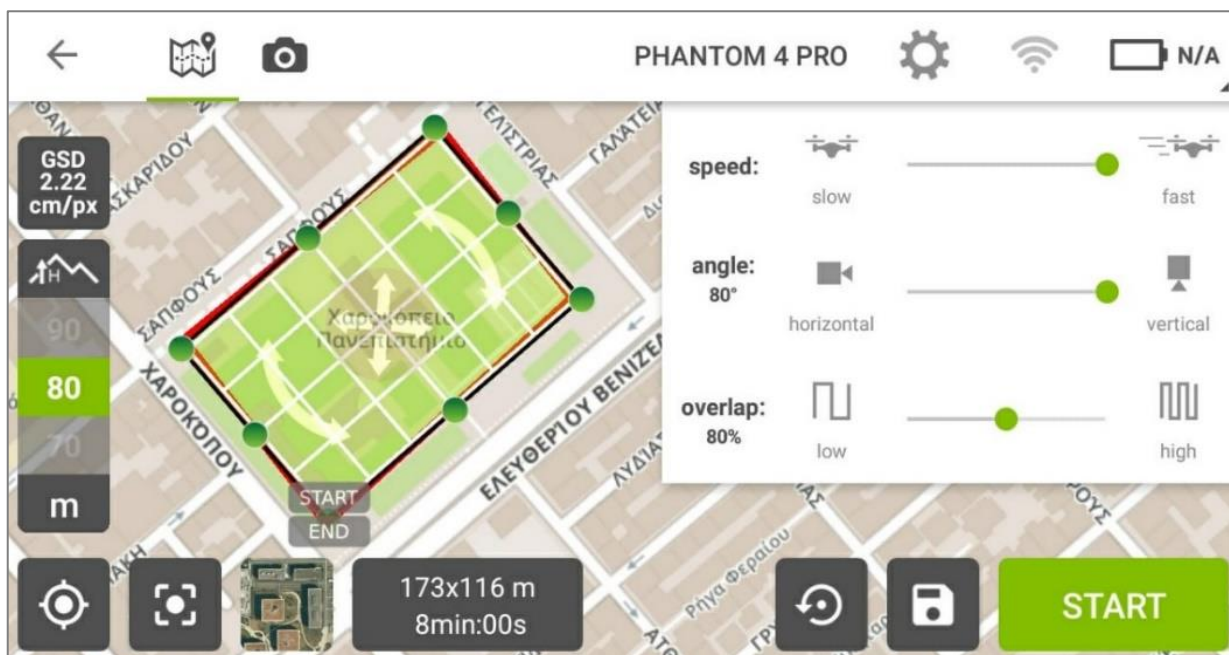
Για την δημιουργία του σχεδίου πτήσης μέσω του λογισμικού PIX4D Capture, που θα χρησιμοποιηθεί και για τις δύο πτήσεις με αλλαγή στα ύψη πτήσης (80μ και 50μ), απαραίτητη είναι αρχικά η δημιουργία ενός νέου Project, στο οποίο ορίζεται ως περιοχή μελέτης η επιθυμητή περιοχή μέσα από την εισαγωγή ενός αρχείου .kml με τα επιθυμητά όρια καθώς και το είδος της αποστολής το οποίο συνδέεται άμεσα με τα επιθυμητά παραγόμενα¹⁹ (Βλέπε: Εικόνα 3.2). Στη συνέχεια, αφού ως αποστολή επιλέχθηκε το “Double grid mission” (που ενδείκνυται για την παραγωγή 3D μοντέλων), σειρά έχει η προσθήκη εντός του .kml αρχείου, και τέλος η εισαγωγή ενός πολυγώνου στην περιοχή μελέτης που ορίζει πιο συγκεκριμένα τα όρια και τις γραμμές του σχεδίου πτήσης καθώς και το σημείο έναρξης/τερματισμού της πτήσης.

Ακολουθεί ο ορισμός του ύψους πτήσης (από το οποίο προκύπτει η ανάλυση των εικόνων [GSD/Ground Sample Distance]²⁰), της ταχύτητας, της γωνίας υπό την οποία θα ληφθούν οι φωτογραφίες και η επικάλυψη τους όπως αυτά παρουσιάζονται στις Εικόνες 3.4 και 3.5. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τις επικαλύψεις, ενώ οι συνήθειες αφορούν 50-70% στις πρόσθιες και 20-40% στις πλάγιες, το Pix4D Capture, περιορίζει τις επικαλύψεις του στην επιλογή μεταξύ 70-90%, χωρίς να δίνει την δυνατότητα διαφορετικής πρόσθιας και πλάγιας επικάλυψης. Από την εισαγωγή των παραπάνω, το λογισμικό υπολογίζει αυτόματα την βέλτιστη γραμμή πτήσης καθώς την θέση και την απόσταση μεταξύ των λήψεων για την πλήρη κάλυψη της περιοχής μελέτης (Βλέπε: Εικόνα 3.6).

¹⁸ Κατακόρυφες φωτογραφίες προτιμώνται για την παραγωγή DEM, ενώ πλάγιες όταν προορίζονται για τρισδιάστατες αποτυπώσεις ή εξαγωγή νεφών σημείων (Point Clouds)

¹⁹ Ένα είναι επιθυμητή η παραγωγή 3D μοντέλων μιας περιοχής, απαραίτητη είναι η πτήση του drone σε 2 επικαλυπτόμενες πορείες και η λήψη εικόνων υπό γωνία ενώ αντίστοιχά για την παραγωγή 2D δεδομένων αρκεί η μια γραμμή πτήσης και κάθετη λήψη των εικόνων.

²⁰ Το GSD ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κέντρων εικονοστοιχείων που μετριοούνται στο έδαφος. Όσο μεγαλύτερο είναι το GSD, τόσο μικρότερη είναι η χωρική ανάλυση της εικόνας και οι λιγότερο ορατές λεπτομέρειες. Το GSD σχετίζεται με το ύψος πτήσης, καθώς όσο υψηλότερο είναι το υψόμετρο της πτήσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή GSD.



Εικόνα 3.4: Ορισμός παραμέτρων πτήσης 80 μέτρων (Βλέπε: Παράρτημα 1)

Information			
Drone	Date	Time	Type
Phantom 4 Pro	Apr 22, 2018	11:07:52 AM	Double Grid
Location	Dimensions	Overlap	Camera Angle
37.961267°, 23.708270°	173 m x 116 m	85% (76%)	80°
Altitude	Images	Path	Flight time
80 m	124	1925 m	7min:54s

Εικόνα 3.5: Γενικές πληροφορίες και παράμετροι πτήσης 80 μέτρων (Βλέπε: Παράρτημα 2)



Εικόνα 3.6: Σχέδιο πτήσης και θέσεις λήψης φωτογραφιών

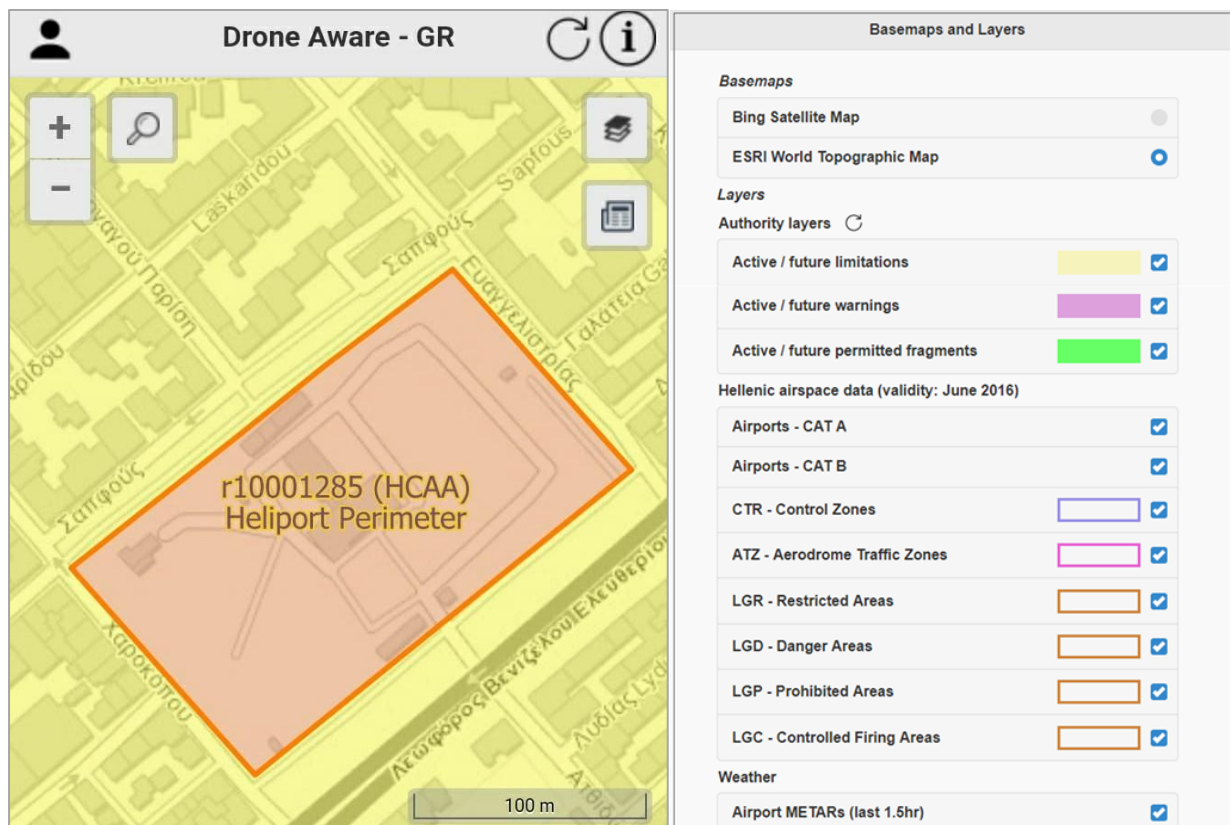
Αφού δημιουργήθηκε το σχέδιο πτήσης, αλλά παραμένοντας ακόμα στο κομμάτι του προγραμματισμού, πριν το σχέδιο τεθεί θα εφαρμογή θα πρέπει επιπλέον να έχει εξασφαλισθεί:

- το ότι η περιοχή μελέτης δεν ανήκει εντός ή πλησίον απαγορευμένης περιοχής²¹ όπως αυτές καθορίζονται από την εφαρμογή²² Drone Aware - GR (DAGR) της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (Βλέπε: Εικόνες 3.7 και 3.8)
- η γνώση των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή μελέτης όπως φυσικά ή ανθρωπογενή εμπόδια (υψώματα ή φυσικές εξάρσεις, ψηλά κτήρια ή γραμμές ηλεκτροδότησης) και παρεμβολές ώστε να μην απαιτηθεί αλλαγή στον σχεδιασμό πτήσης στο πεδίο
- η πλήρης λειτουργικότητα του drone και η ύπαρξη όλου του απαραίτητου εξοπλισμού (καλώδια σύνδεσης χειριστηρίου με κινητό/tablet, έλικες) καθώς και η ύπαρξη επιπρόσθετου εξοπλισμού όπως μπαταρίες εάν αυτές κρίνονται απαραίτητες
- η ύπαρξη κατάλληλης κάρτας αποθήκευσης των εικόνων που θα ληφθούν καθώς και ο έλεγχος για την χωρητικότητά της

²¹ Η περιοχή του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου βρίσκεται εντός της περιμέτρου r10001285 ΑΤΤΙΚΙ/ΑΕΓΑΛΕΟ HP perimeter (HCAA) αλλά ορίζεται ως Ενεργή/ Περιοχή μελλοντικού περιορισμού. (DAGR-Quick Start Guide, 2017)

²² https://dagr.hcaa.gr/#map_page

- η εγκατάσταση των πλέον πρόσφατων ενημερώσεων του λογισμικού που θα χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή της πτήσης καθώς και να έχει πραγματοποιηθεί εκκίνηση του drone και σύνδεσή του με το λογισμικό για όλες τις ανταλλακτικές μπαταρίες που μπορεί πιθανά να χρησιμοποιηθούν
- έλεγχος των προγνώσεων του καιρού για την περιοχή μελέτης ώστε να μην επικρατούν συνθήκες βροχής, ομίχλης ή ισχυρών ανέμων



Εικόνες 3.7 και 3.8: Περιοχή μελέτης και υπόμνημα εφαρμογής DAGR

3.3.2 Επιλογή σημείων εδαφικού ελέγχου (GCPs)

Η ακρίβεια που παρέχουν μη επανδρωμένα αεροσκάφη, παρότι είναι ικανοποιητική, δεν επαρκεί για την δημιουργία ορθοφωτομωσαϊκών υψηλής ακριβείας, ειδικά εάν αυτά χρησιμοποιηθούν για την διεξαγωγή μετρήσεων. Η ακρίβεια των παραγόμενων μπορεί να βελτιωθεί μέσω της χρήσης σημείων με γνωστές συντεταγμένες/GCPs, η επιλογή και η διασπορά των οποίων καθορίζει την ακρίβεια της γεωμετρικής διόρθωσης (Παρχαρίδης, 2015). Στην παρούσα εργασία τα σημεία αυτά εντοπίστηκαν από ένα ήδη υπάρχον τοπογραφικό διάγραμμα του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου, το οποίο περιλάμβανε 20 σημεία (Βλέπε: Παράρτημα 3).

Τα περισσότερα από τα σημεία τα οποία περιελάμβανε το τοπογραφικό διάγραμμα, δεν μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την διόρθωση της ακρίβειας των λήψεων του drone, καθώς είτε βρίσκονταν πολύ κοντά σε κτήρια και καλύπτονταν από σκιές, είτε δεν ήταν εμφανή λόγω της βλάστησης. Λόγω του αριθμού και της τοποθέτησης των σημείων στο χώρο, απαραίτητη κρίθηκε η μέτρηση ενός νέου σημείου πλησίον του Σ20. το οποίο δεν ήταν εμφανές λόγω ενός σταθμευμένου αυτοκινήτου. Για την μέτρηση του Σ30 χρησιμοποιήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCR 407, ενώ ο προσδιορισμός των συντεταγμένων έγινε με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας από 2 ζεύγη γνωστών συντεταγμένων του δικτύου (Βλέπε: Εικόνες 3.9 και 3.10). Από το σύνολο των σημείων, κατάλληλα προς αξιοποίηση κρίθηκαν τα Σ5. Σ7. Σ18. Σ19 και Σ30.



Εικόνες 3.9 και 3.10: Γεωδαιτικός σταθμός Leica TCR 407 και σημείο εδαφικού ελέγχου/ GCP

3.4 Συλλογή δεδομένων

Προτού γίνει εφαρμογή του σχεδίου πτήσης που δημιουργήθηκε από την εφαρμογή PIX4D Capture, απαραίτητος είναι ο εκ νέου έλεγχος ορισμένων παραμέτρων, οι οποίοι αφορούν:

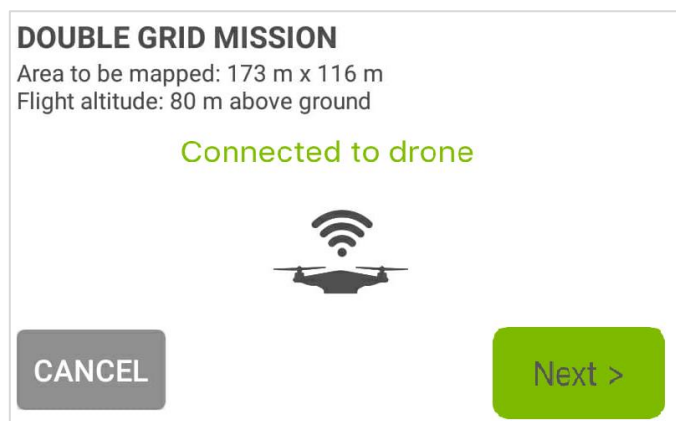
- το αν η περιοχή μελέτης ανήκει εντός ή πλησίον απαγορευμένης περιοχής καθώς αυτές πιθανά να έχουν αλλάξει κατά το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ του προγραμματισμού πτήσης και της πτήσης στο πεδίο

- τον καιρό και πιο συγκεκριμένα της έντασης των ανέμου που επικρατούν στην περιοχή καθώς αυτοί πιθανά να μειώσουν την ποιότητα των εικόνων ακόμα και να εμποδίσουν την σωστή λειτουργία του drone
- τις ρυθμίσεις που ορίστηκαν κατά την δημιουργία του σχεδίου πτήσης όπως το ύψος ή την ταχύτητα που μπορεί να χρειαστεί να τροποποιηθούν ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή (εντοπισμός εμποδίων ή ύπαρξη ανέμων που αν δεν κρίνονται αποτρεπτικοί συμβάλουν στην ταχύτητα πτήσης)
- την ύπαρξη όλου του απαραίτητου εξοπλισμού για την πραγματοποίηση της πτήσης
- το επίπεδο των μπαταριών/ανταλλακτικών μπαταριών του drone καθώς και του κινητού/tablet που θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο του drone

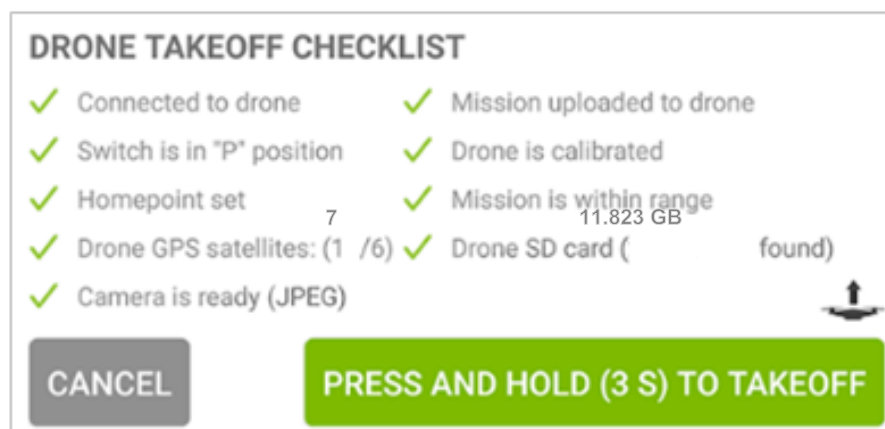
Πέρα από τους ελέγχους που πρέπει να προηγηθούν στο πεδίο πριν την πτήση, δεν πρέπει να παραλειφθεί το στάδιο προετοιμασίας του drone που περιλαμβάνει:

- την σωστή και προσεκτική τοποθέτηση των ελίκων και της μπαταρίας
- την αφαίρεση του εξοπλισμού ασφαλείας που φέρει το drone (προστατευτικό κάμερας, κλείδωμα του Cymbal), καθώς κατά την ενεργοποίησή και την πτήση του πιθανά να προκληθούν βλάβες εάν δεν αφαιρεθούν
- την έναρξη πρώτα του χειριστηρίου, την σύνδεση του με το κινητό/tablet καθώς και την έναρξη της εφαρμογής και έπειτα την ενεργοποίηση του drone καθώς το αντίθετο πιθανά να οδηγήσει στην μη αναγνώριση του από την εφαρμογή
- τον καθορισμό ως σημείο εκκίνησης άρα και επιστροφής του drone σε μια όσο το περισσότερο δυνατόν επίπεδη περιοχή χωρίς πυκνή βλάστηση ή κόσμο

Εφόσον ολοκληρωθούν με επιτυχία όλα τα παραπάνω στάδια και εξασφαλιστούν όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι, σειρά έχει η εφαρμογή του σχεδίου πτήσης μέσα από την επιλογή Start (Βλέπε: Εικόνα 3.6), η σύνδεση drone-εφαρμογής Pix4D Capture (Βλέπε: Εικόνα 3.11) και ο αυτόματος έλεγχος από την εφαρμογή, μιας λίστας παραμέτρων απογείωσης (Βλέπε: Εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.11: Σύνδεση drone-εφαρμογής Pix4D Capture



Εικόνα 3.12: Λίστα ελέγχου της εφαρμογής Pix4D Capture κατά την απογείωση του Drone

Μετά το πέρας της πτήσης και της λήψης των εικόνων, η διαδικασία που ακολουθήθηκε αφορά:

- τον έλεγχο του drone για τυχόν φθορές
- την απενεργοποίηση της εφαρμογής, του drone και του χειριστηρίου
- τον έλεγχο των εικόνων για την διασφάλιση της ποιότητας και της επάρκειας των δεδομένων
- την εξαγωγή της κάρτας μνήμης από το drone για την μεταφορά των εικόνων
- την προσθήκη του προστατευτικού εξοπλισμού για την φύλαξη του drone.

3.5 Μετεπεξεργασία δεδομένων

Αφού έχει προηγηθεί η επιτυχημένη πτήση του drone και η μεταφορά των εικόνων που λήφθηκαν, σειρά έχει η μετεπεξεργασία τους, μέσω του προγράμματος Drone2Map. Πρώτο βήμα για την επεξεργασία των εικόνων είναι το άνοιγμα ενός νέου project από τα ήδη

υπάρχοντα (Rapid, 2D Mapping, 3D Mapping, Inspection), ή η δημιουργία ενός εξατομικευμένου, επιλογή που βασίζεται τόσο στον τρόπο με τον οποίο λήφθηκαν οι εικόνες, όσο και στα επιθυμητά παραγόμενα (Βλέπε: Πίνακα 3.2). Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκε η δημιουργία 3D Mapping project, καθώς δίνει την δυνατότητα πέρα από την παραγωγή 3D μοντέλων, της δημιουργίας όλων των 2D παραγόμενων, κάτι που δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί αν επιλέγονταν η αντίστροφη επιλογή²³.

Πρότυπο	Παραγόμενα	Παράδειγμα χρήσης
Rapid	Ορθομωσαϊκά DSM DTM	• Δημιουργία χαμηλής ανάλυσης ορθομωσαϊκών και DSM • Εξασφάλιση πλήρους κάλυψης περιοχής μελέτης από εικόνες • Εφαρμογή των ελάχιστων ρυθμίσεων κατά την επεξεργασία
2D Mapping	Ορθομωσαϊκά DSM DTM Νέφη σημείων NDVI	• Δημιουργία 2D προϊόντων έτοιμα προς χρήση στο ArcGIS • Δημιουργία πολυφασματικών προϊόντων έτοιμα προς ανάλυση • Δημιουργία νέφους σημείων για ογκομετρικές μετρήσεις • Διαμοιρασμός εικόνων ως στρώματα σκηνών ταχείας εκτέλεσης/ Share imagery as fast-performing tile layers
3D Mapping	Νέφη σημείων 3D textured mesh 3D PDF	• Δημιουργία 3D προϊόντων έτοιμα προς χρήση στο ArcGIS • Άμεση απεικόνιση των 3D δεδομένων στη προβολή σκηνής (Scene view) • Διαμοιρασμός πλεγμάτων με υφή ως στρώματα σκηνών ταχείας εκτέλεσης/ Share textured meshes as fast-performing scene layers
Inspection	Προβολή εικόνων στην εγγενή τους ανάλυση	• Επιθεώρηση κρίσιμων υποδομών • Προβολή εικόνων drone στην εγγενή τους ανάλυση • Γρήγορη θέαση εικόνων ενός αντικειμένου από πολλές γωνίες • Προσθήκη σχολίων και εξαγωγή εικόνων
Custom	Εξαρτώνται από το πρότυπο	• Όταν υπάρχει ένα συγκεκριμένο σετ ρυθμίσεων που χρησιμοποιείται συχνά.

Πίνακας 3.2: Πρότυπα χρήσεις των διαφορετικών Project στο λογισμικό Drone2Map (Drone2Map, 2017a)

²³ Κατά το άνοιγμα ενός νέου Project θα πρέπει να έχει εξασφαλισθεί η επάρκεια χώρου που σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των εικόνων που θα επεξεργαστούν, καθώς η εφαρμογή δημιουργεί αυτόματα έναν φάκελο στον χώρο αποθήκευσης που έχει επιλεγεί, στον οποίο θα αποθηκευτεί το σύνολο των βημάτων και των διαδικασιών που θα ακολουθήσουν.

Μετά την επιλογή του ονόματος και του χώρου αποθήκευσης, σειρά έχει η εισαγωγή των εικόνων μέσω των επιλογών Add Folder ή Add Images (εάν δεν κρίνεται απαραίτητο το σύνολο των εικόνων). Κατά την εισαγωγή των εικόνων, το Drone2Map ελέγχει τις εικόνες πληροφορίες γεωγραφικής θέσης, κάτι που αν δεν υπάρχει ενσωματωμένο στις εικόνες κατά την λήψη τους, ζητείται ως επιπρόσθετο αρχείο. Και τα δύο σετ δεδομένων εικόνων του drone από τις δύο πτήσεις σε διαφορετικά υψόμετρα (80 και 50 μέτρα) περιείχαν πληροφορία γεωγραφικής θέσης (το γεωγραφικό μήκος, πλάτος και ύψος) για κάθε εικόνα με την μορφή πίνακα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.13. Καθοριστικό βήμα για την ακρίβεια και την ποιότητα των παραγόμενων αποτελεί η επιλογή συστήματος συντεταγμένων (WGS_1984) και κατακόρυφου συστήματος αναφοράς (No Vertical Reference)²⁴, καθώς εσφαλμένο σύστημα συντεταγμένων μπορεί να οδηγήσει στην εσφαλμένη τοποθέτηση των εικόνων στο χώρο, ενώ εσφαλμένο κατακόρυφο σύστημα αναφοράς, μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή προϊόντων που εμφανίζονται επάνω ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

²⁴ Αξίζει να αναφερθεί πως και στις δύο περιπτώσεις, τα παραγόμενα 3D μοντέλα εμφανίζονται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, τόσο κατά την επιλογή κατακόρυφου συστήματος αναφοράς «No Conversion» όσο και «WGS_84_Ellipsoid», κάτι το οποίο πρέπει να εξεταστεί περαιτέρω.

Create new project

A Drone2Map project is created on your local file system and stores your project settings, processing outputs, and other information about your project.

 Give Your Project a Name

HUA_FINAL_50m

Select Where to Store Your Project

A new project folder will be created

D:\ Browse

 Source Imagery

263 Images

Coordinate System

GCS WGS 1984 Edit

? Vertical Reference No Conversion Geoid Height 0 Vertical Units: Meters

Images	Lat [Y]	Long [X]	Altitude [Z]
✓ DJI_0258.JPG	37.9618512	23.7081154	56.779
✓ DJI_0257.JPG	37.9617867	23.7080149	56.679
✓ DJI_0256.JPG	37.9617219	23.7079141	56.679
✓ DJI_0255.JPG	37.9616572	23.7078133	56.679
✓ DJI_0186.JPG	37.9615681	23.7090506	56.779
✓ DJI_0185.JPG	37.9615575	23.7090328	56.679
✓ DJI_0184.JPG	37.9615084	23.7089553	56.779
✓ DJI_0183.JPG	37.9614435	23.7088538	56.679
✓ DJI_0148.JPG	37.9613539	23.7092619	56.679

Add Folder Add Images Remove Selected Remove All

OK Cancel

Εικόνα 3.13: Πληροφορίες γεωγραφικής θέσης των εικόνων πτήσης 50 μέτρων (Βλέπε: Παράρτημα 4)

Από την στιγμή που δημιουργηθεί το Project, η εφαρμογή παρέχει ένα πλήθος επιλογών πέραν της δημιουργίας τελικών προϊόντων όπως:

- την αλλαγή του χάρτη υποβάθρου
- τη προσθήκη σημείων/γραμμών/πολυγώνων και την οριοθέτηση υποπεριοχών εντός της περιοχής μελέτης με την χρήση της επιλογής Clip
- τη διεξαγωγή μετρήσεων
- τη χρήση GCPs
- τη χρήση των παραγόμενων στο ArcGIS Pro

Εφόσον το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η εξακρίβωση της ακρίβειας που παρέχουν τα drones στις καταγραφές τους, απαραίτητη είναι η χρήση GCPs για την εύρεση των αποκλίσεων μεταξύ των συντεταγμένων που παρέχει το drone και αυτών που εντοπίστηκαν από το τοπογραφικό διάγραμμα. Ως GCPs επιλέχθηκαν 5 σημεία²⁵ του τοπογραφικού διαγράμματος του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου (Βλέπε: Παράρτημα 3), τα οποία είναι εμφανή από τις εικόνες που έλαβε το drone και άρα κατάλληλα προς χρήση.

Η εφαρμογή, μέσα από την επιλογή διαχείρισης GCPs (Manage GCP'S) και εισαγωγής του αρχείου που τα περιέχει, παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής των GCPs με διαφορετικούς τρόπους. Στη προκειμένη περίπτωση λόγω αδυναμίας από πλευράς της εφαρμογής χρήσης .csv αρχείου, επιλέχθηκε η χρήση File Geodatabase. Μετα την εισαγωγή τους, η αντιστοίχιση των GCPs με τις εικόνες γίνεται μέσω της επιλογής Links, όπου απαιτείται κατ' ελάχιστο η αντιστοίχιση δύο εικόνων ανά GCP, με βέλτιστή μεταξύ τριών και οκτώ εικόνων. Με σκοπό την αύξηση της ακρίβειας της διαδικασίας αυτόματης εκτιμησης των συνδέσεων μεταξύ εικόνων και GCPs (Estimate Image Links) που θα ακολουθήσει σχετικά με τον αυτόματο εντοπισμό και στις υπόλοιπες εικόνες των GCP που ορίστηκαν, επιλέχθηκε η αντιστοίχιση 8 εικόνων ανά GCP, όπου αυτό ήταν δυνατόν (Βλέπε Εικόνα 3.14)(Drone2Map, 2017b).

Links	Label	Lat [Y]	Long [X]	Elevation [Z]
6 ✓	19	37.9617347	23.7080923	98.81
8 ✓	7	37.9610278	23.7080952	98.86
8 ✓	5	37.9609596	23.7085732	98.83
8 ✓	30	37.9620269	23.7085597	99.698
8 ✓	18	37.9613986	23.7076931	98.2

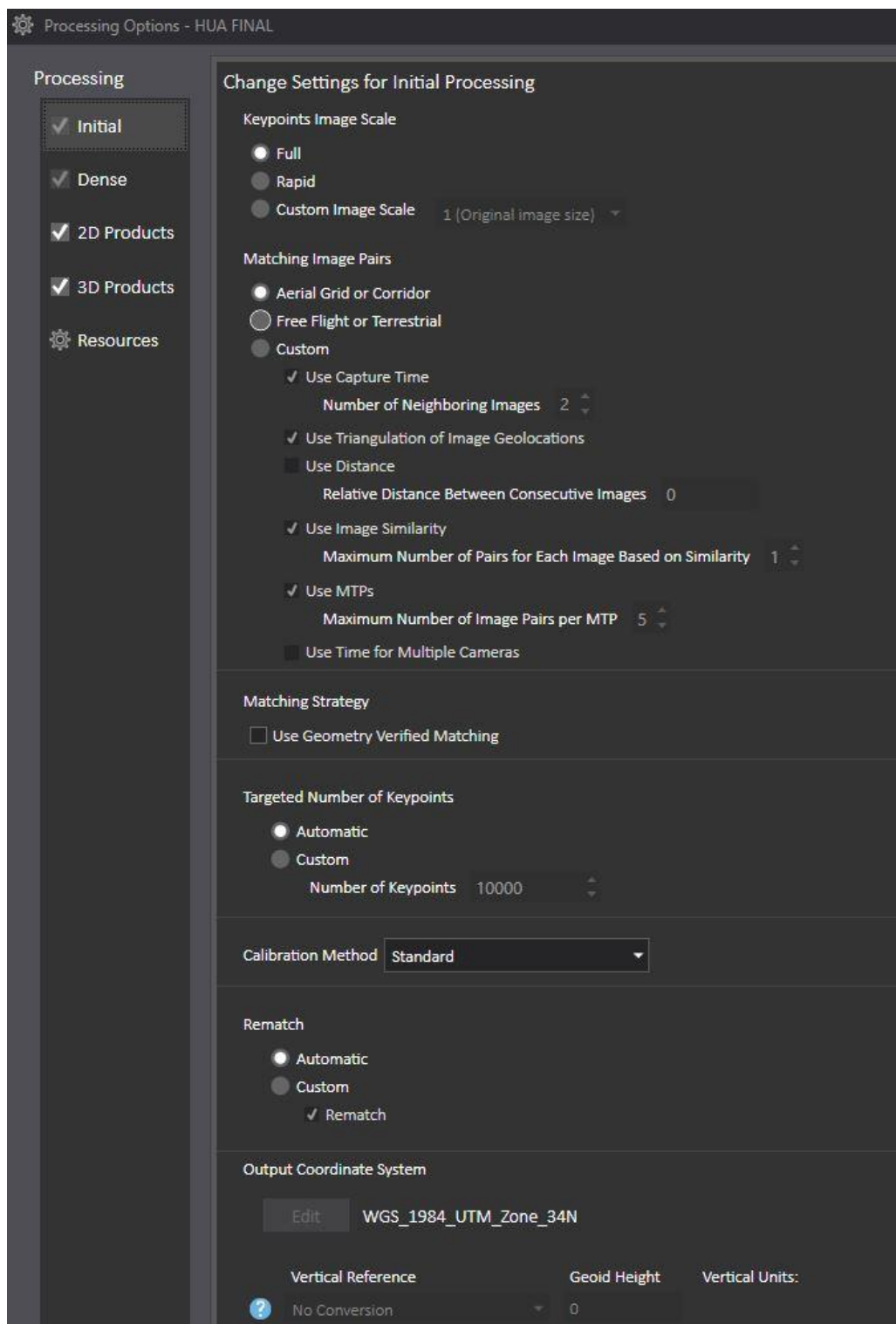
Εικόνα 3.14: Αντιστοιχίες εικόνων και GCPs

Αφού ολοκληρώθηκαν οι παραπάνω επεξεργασίες, σειρά έχει ο ορισμός των επιλογών επεξεργασίας (Processing Options) η οποία αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια:

- **Initial** που αφορά τις αρχικές επεξεργασίες, σχετικά με τον υπολογισμό των σημείων-κλειδιών (keypoints) και την αντιστοίχιση των εικόνων ανά ζεύγη και απαρτίζεται από επιμέρους ρυθμίσεις (Βλέπε: Εικόνα3.15) όπως:
 - Κλίμακα βασικών σημείων (Keypoints Image Scale), που καθορίζει τον τρόπο εξαγωγής των σημείων κλειδιών, όπου επιλέχθηκε η πλήρης κλίμακα (Full) που αν και απαιτεί υψηλό χρόνο επεξεργασίας, παράγει πιο ακριβή αποτελέσματα.
 - Αντιστοίχιση ζευγών εικόνας (Matching Image Pairs), που παρέχει την επιλογή των ζευγών εικόνων που θα αντιστοιχηθούν. Ο τρόπος αντιστοίχισης που επιλέχθηκε είναι το Aerial grid or corridor, που αντιστοιχεί τα ζεύγη εικόνων βάσει του εναέριου πλέγματος/διαδρομής.
 - Στρατηγική αντιστοίχισης των εικόνων (Matching Strategy), που καθορίζει τον τρόπο που αντιστοιχίζονται οι εικόνες μεταξύ τους, κάτι που στην προκειμένη περίπτωση δεν επιλέχθηκε.
 - Στοχοθετημένος αριθμός βασικών σημείων (Targeted Number of Key Points), που επιτρέπει την ρύθμιση του αριθμού των βασικών σημείων που θα εξαχθούν, είτε με αυτόματο τρόπο (που χρησιμοποιήθηκε στην προκειμένη περίπτωση) είτε βάση προσωποποιημένων επιλογών.
 - Μέθοδος βαθμονόμησης (Calibration Method), που αφορά την επιλογή του τρόπου βελτιστοποίησης των εσωτερικών και των εξωτερικών παραμέτρων της κάμερας. Χρησιμοποιήθηκε η τυπική εφαρμογή (Standard) που είναι η προεπιλογή που εφαρμόζει το πρόγραμμα²⁶.
 - Επανααντιστοίχιση (Rematch), όπου δίνεται η δυνατότητα προσθήκης περισσότερων αντιστοιχιών (matches) μετά τις αρχικές επεξεργασίες (Initial), βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα των ανακατασκευών των τελικών προϊόντων. Χρησιμοποιήθηκε η αυτόματη αντιστοίχιση των εικόνων, που ενδείκνυται για Project με λιγότερες από 500 εικόνες.
 - Σύστημα συντεταγμένων των παραγόμενων (Output Coordinate System). Η επιλογή αυτή μπορεί να τροποποιηθεί μόνο εάν δεν έχουν χρησιμοποιηθεί GCPs, καθώς στην περίπτωση που έχουν χρησιμοποιηθεί, οι επιλογές αυτές καθορίζονται αυτόματα από

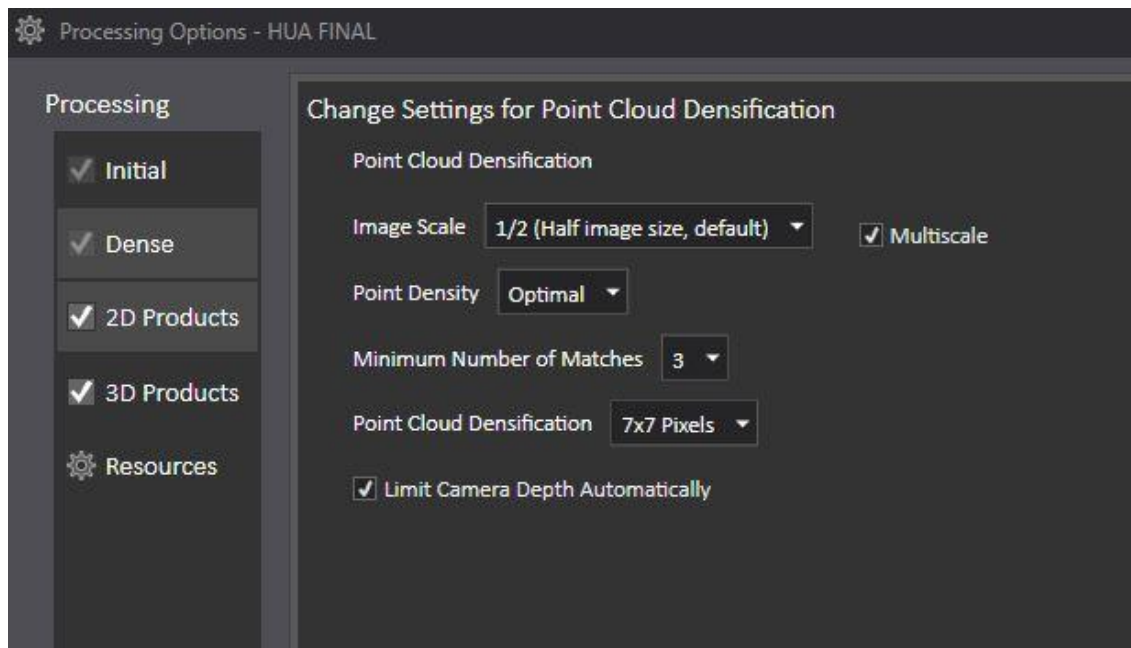
²⁶ Η βελτιστοποίηση της κάμερας αφορά τις παραμέτρους εστιακού μήκους /συνάφειας μετασχηματισμού που είναι ιδιότητες του αισθητήρα και της οπτικής κάμερας και διαφέρει ανάλογα με τη θερμοκρασία, τους κραδασμούς το υψόμετρο και τον χρόνο.

την φύση του συστήματος συντεταγμένων και κατακόρυφης αναφοράς των GCPs (στην προκειμένη WGS_1984_UTM_Zone_34N και χωρίς μετατροπή στο σύστημα κατακόρυφης αναφοράς) (Drone2Map, 2017b).



Εικόνα 3.15: Αρχικές ρυθμίσεις (Initial) στο περιβάλλον του Drone2Map

- **Dence**, που σχετίζεται με τις ρυθμίσεις των πυκνών νεφών σημείων (Point Cloud Densification), που όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.16 αφορούν:
 - Την κλίμακα της εικόνας (Image Scale) στην οποία θα υπολογιστούν τα τρισδιάστατα σημεία. Από το σύνολο των επιλογών (1/2, 1, 1/4, 1/8, Multiscale) επιλέχθηκε το 1/2 της κάθε εικόνας που είναι η προτεινόμενη από το λογισμικό κλίμακα.
 - Πυκνότητα σημείων (Point Density), που ορίζει το πόσο πυκνό θα είναι το νέφος σημείων (Point Cloud) που θα δημιουργηθεί.
Από τις διαθέσιμες επιλογές (Optimal, High, Low), επιλέχθηκε το Optimal, σύμφωνα με το οποίο ένα 3D σημείο υπολογίζεται για κάθε 4/κλίμακα της εικόνας εικονοστοιχεία. Έχοντας ως παράδειγμα την παρούσα επιλογή κλίμακας 1/2 (μέγεθος μισής εικόνας), υπολογίζεται ένα σημείο 3D κάθε $4 / (0,5) = 8$ εικονοστοιχεία της αρχικής εικόνας. Η επιλογή Optimal, είναι η προτεινόμενη από το λογισμικό για την δημιουργία βέλτιστης πυκνότητας των νεφών σημείων. Η πυκνότητα των σημείων επηρεάζει άμεσα τον αριθμό των 3D παραγόμενων σημείων.
 - Ελάχιστον αριθμός αντιστοιχιών ανά 3D σημείο (Minimum Number of Matches) που αντιπροσωπεύει τον ελάχιστο αριθμό έγκυρων αναπαραστάσεων του 3D σημείου σε επιλεγμένο αριθμό εικόνων. Έτσι, επιλέχθηκε η προεπιλογή των 3 αντιστοιχιών, όπου κάθε 3D σημείο πρέπει να εντοπιστεί ορθά σε τουλάχιστον 3 εικόνες.
 - Πυκνότητά νέφους σημείων/Point Cloud Densification, που αφορά τις παραμέτρους που σχετίζονται με την πυκνότητα του νέφους σημείων. Στην προκειμένη περίπτωση ορίστηκε η επιλογή 7x7 pixels, που οδηγεί σε γρηγορότερη επεξεργασία και ενδείκνυται για αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν στο ναδίρ.
 - Οριοθέτηση του βάθους της κάμερας (Limit Camera Depth Automatically), που επιλέχθηκε παρόλο που δεν είναι τόσο έντονη η αναπαράσταση σημείων στο φόντο (λόγω τις μικρής γωνίας λήψης των εικόνων) και άρα δεν είναι αναγκαία η ανασυγκρότηση των αντικειμένων (Drone2Map, 2017b).



Εικόνα 3.16: Ρυθμίσεις πυκνών νεφών σημείων (Dense) στο περιβάλλον του Drone2Map

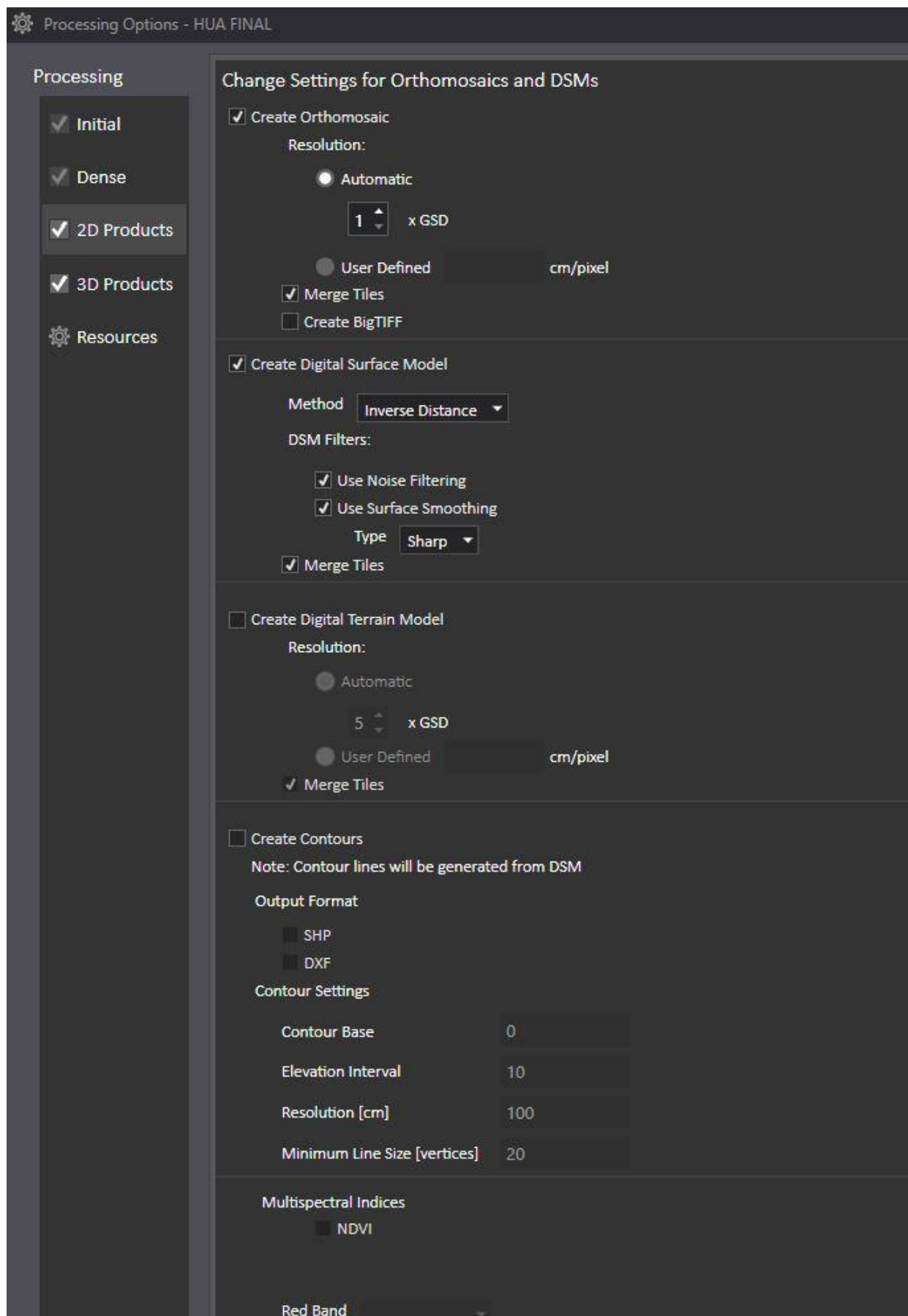
- **2D Products**, οι επιλογές οι οποίες ακολουθούν στη συνέχεια επιτρέπουν την προσαρμογή των ρυθμίσεων επεξεργασίας βάσει των επιθυμητών παραγόμενων (βλέπε: Εικόνα 3.17) :
 - Δημιουργία Ορθομωσαϊκού (Create Orthomosaic), όπου ορίζεται η χωρική ανάλυση (Resolution), αυτόματα και ίση με $1 \times \text{GSD}$, που θα χρησιμοποιηθεί κατά την δημιουργία του ορθομωσαϊκού και του DSM. Στο συγκεκριμένο βήμα ορίζεται επίσης και η συγχώνευση των ψηφίδων (Merge tiles) από την οποία δημιουργείται ένα ενιαίο ορθομωσαϊκό αρχείο GeoTIFF, μέσα από την συγχώνευση μεμονωμένων ψηφίδων. Εάν δεν επιλεγεί, δεν παράγεται το GeoTIFF και δεν προστίθεται στον τελικό χάρτη.
 - Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου επιφανείας (Create Digital Surface Model) που βασίζεται στην μέθοδο δημιουργίας του DSM, στη χρήση φίλτρων καθώς και στην συγχώνευση ψηφίδων.

Η μέθοδος δημιουργίας του DSM επηρεάζει τον χρόνο επεξεργασίας καθώς και την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Γι' αυτό το λόγο, επιλέχθηκε η μέθοδος Inverse Distance Weighting, που χρησιμοποιείται όταν στην περιοχή μελέτης υπάρχουν κτήρια. Στην συγκεκριμένη μέθοδο, οι τιμές στα άγνωστα σημεία υπολογίζονται βάση του σταθμισμένου μέσου όρου των διαθέσιμων τιμών στα γνωστά σημεία.

Όσον αφορά τη χρήση φίλτρων (DSM Filters) αυτά αφορούν την μείωση του θορύβου (Noise Filtering) καθώς και την εξομάλυνση της επιφάνειας (Surface Smoothing). Κατά την δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων (Point cloud), δημιουργούνται εσφαλμένα

σημεία ως προς το ύψος, όπου η χρήση του φίλτρου θορύβου, διορθώνει το ύψος των σημείων αυτών χρησιμοποιώντας την διάμεσο του ύψους των γειτονικών σημείων. Στην επιφάνεια που δημιουργείται από την εφαρμογή του φίλτρου θορύβου, πολλές φορές παρατηρούνται λανθασμένα εξογκώματα, τα οποία καλείται να διορθώσει το φίλτρο εξομάλυνσης επιφανείας. Η μέθοδος εξομάλυνσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η προεπιλογή Sharp, που διατηρεί τον προσανατολισμό των επιφανειών καθώς και τα αιχμηρά χαρακτηριστικά όπως τις ακμές των κτηρίων. Επομένως μόνο οι σχεδόν επίπεδες περιοχές εμφανίζονται πεπλατυσμένες.

- Τέλος, σειρά έχει η συγχώνευση των ψηφίδων (Merge tiles) από την οποία δημιουργείται ένα ενιαίο DSM αρχείο GeoTIFF, μέσα από την συγχώνευση μεμονωμένων ψηφίδων. Εάν δεν επιλεγεί, δεν παράγεται το DSM GeoTIFF και δεν προστίθεται στον τελικό χάρτη.
- Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας η δημιουργία Ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Terrain Model), ισοϋψών καμπυλών (Contours) καθώς και πολυφασματικών δεικτών (Multispectral Indices) δεν κρίθηκαν αναγκαία και για αυτό δεν επιλέχθηκαν (Drone2Map, 2017b).

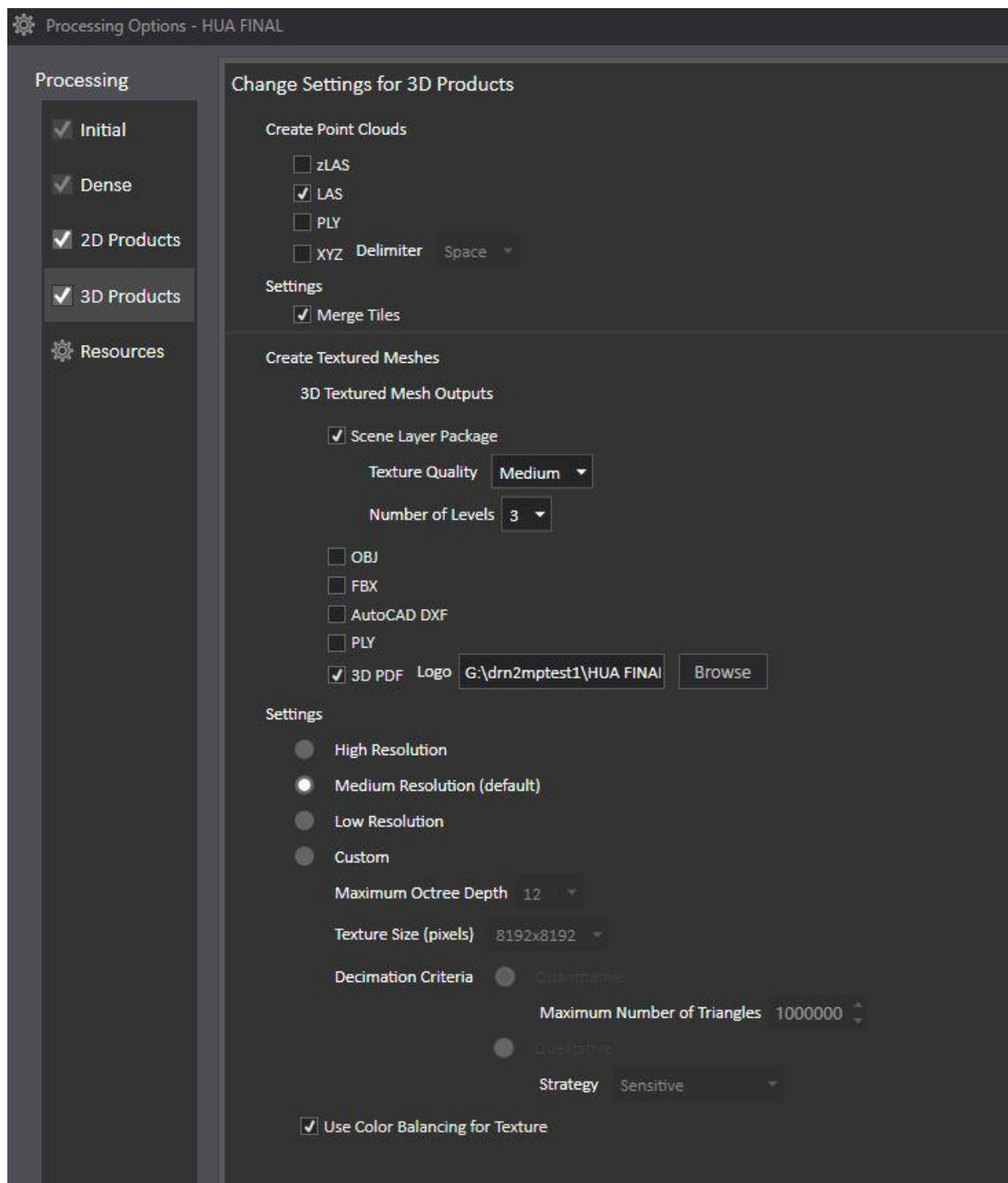


Εικόνα 3.17: Ρυθμίσεις παραγόμενων 2D προϊόντων στο περιβάλλον του Drone2Map

- **3D Products**, οι ρυθμίσεις του οποίου αφορούν παραμέτρους σχετικές με τα νέφη σημείων και το 3D Mesh (Βλέπε: Εικόνα 3.18).
 - Δημιουργία νεφών σημείων (Create Point Cloud), που καθορίζει τις μορφές εξόδου για το σύννεφο σημείων, από τις οποίες επιλέχθηκε η μορφή LAS, όπου εξάγεται ένα Lidar αρχείο με X,Y,Z συντεταγμένες και πληροφορίες χρώματος για κάθε ένα από τα σημεία του νέφους σημείων. Από τις ρυθμίσεις που συμπεριλαμβάνονται, επιλέχθηκε και η συγχώνευση ψηφίδων (Merge Tiles), σύμφωνα με την οποία από το νέφος σημείων με τα ξεχωριστά σημεία, παράγεται ένα αρχείο που συμπεριλαμβάνει το σύνολο των σημείων.
 - Δημιουργία πλέγματος με υφή (Create Textured Meshes), όπου επιτρέπει την δημιουργία 3D πλέγματος με υφή καθώς συμπεριλαμβάνει και τον ορισμό ρυθμίσεων των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία του πλέγματος. Από το σύνολο των διαθέσιμων επιλογών για την εξαγωγή του 3D πλέγματος, επιλέχθηκε αυτή του Scene Layer Package που είναι προεπιλογή του προγράμματος, δηλαδή ενός αρχείου .slrk που συμπεριλαμβάνει X, Y, Z για κάθε κορυφή του 3D πλέγματος. Ως ποιότητα από τις επιλογές που δίνονται επιλέχθηκε η μέση ποιότητα υφής (1024x1024), καθώς και ως ορισμός παραγόμενων επιπέδων λεπτομέρειας τα τρία επίπεδα²⁷. Επιπλέον επιλέχθηκε η εξαγωγή του πλέγματος και με την μορφή 3D PDF, μεγέθους 2000x2000 εικονοστοιχεία.
 - Ρυθμίσεις (Settings), όπου επιλέχθηκε η Μεσαία ανάλυση (Medium Resolution) που προτιμάται για τα περισσότερα Projcet²⁸ διότι επιτυγχάνει καλή ισορροπία μεταξύ του μεγέθους, του χρόνου επεξεργασίας και του επιπέδου λεπτομέρειας, καθώς και η εφαρμογή αλγορίθμου εξισορρόπησης χρώματος για την δημιουργία υφών (Color Balancing for Texture), που χρησιμοποιείται για την υφή του 3D πλέγματος, εξασφαλίζοντας την ομοιογένεια των υφών (Drone2Map, 2017b)

²⁷ Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των επιπέδων, τόσο λεπτομερέστερη είναι η αναπαράσταση και μεγαλύτερος ο χρόνος επεξεργασίας.

²⁸ Που περιλαμβάνει: Max Octree Depth—12, Texture Size—8192, Decimation Criteria—Quantitative, Max Triangles—1000000 και Decimation Strategy—Sensitive



Εικόνα 3.18: Ρυθμίσεις παραγόμενων 3D προϊόντων στο περιβάλλον του Drone2Map

Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα και σχολιασμός αποτελεσμάτων

Για το σύνολο των διαδικασιών που προηγήθηκαν, έγινε προσπάθεια και για τα δύο υψόμετρα, διατήρησης κοινών ρυθμίσεων πτήσης καθώς και κοινών παραμέτρων επεξεργασίας των εικόνων, με σκοπό την μείωση των σφαλμάτων που δημιουργούνται λόγω της επιλογής διαφορετικών παραμέτρων.

Παρατηρώντας τον Πίνακα 4.1 που αφορά τις συγκριτικές πληροφορίες πτήσης και στα δύο υψόμετρα, γίνεται αντιληπτό ότι από το σύνολο των παραμέτρων που ορίστηκαν, κοινές είναι μόνο ο τύπος του drone, ο τύπος πτήσης, η γωνία της κάμερας καθώς έγινε προσπάθεια διατήρησης κοινής έκτασης της περιοχής και παραπλήσιας ώρας πτήσης ώστε να μειωθούν οι παραμορφώσεις λόγω σκιών. Όσον αφορά τη ταχύτητα πτήσης και την επικάλυψη, μειώθηκαν ελαφρώς στην πτήση των 50 μέτρων, διότι λόγω του χαμηλότερου ύψους πτήσης η διατήρηση υψηλής ταχύτητας αλλά και επικάλυψης, θα οδηγούσε πιθανά στη μη ορθή και ποιοτική λήψη εικόνων καθώς και σε υψηλό χρόνο πτήσης, τόσο ώστε να χρειαστεί πιθανά η διακοπή της πτήσης λόγω εξάντλησης της μπαταρίας.

Το ύψος και η επικάλυψη των εικόνων επιδρούν αντιστρόφως ανάλογα στην διάρκεια, στο μήκος γραμμής της πτήσης και στον αριθμό των εικόνων που θα ληφθούν, ενώ επιδρούν ανάλογα στο GSD, δεδομένου ότι τύπος πτήσης και η έκταση της περιοχής διατηρούνται σταθερές. Έτσι με την μείωση του ύψους πτήσης, της ταχύτητας και της επικάλυψης μεταξύ των εικόνων, αυξάνεται η διάρκεια, το μήκος πτήσης και ο αριθμός των εικόνων, ενώ μειώνεται το GSD οδηγώντας έτσι στην αύξηση της ανάλυσης των παραγομένων.

Επίσης, ο αριθμός των σημάτων GPS και στις δύο περιπτώσεις είναι παραπλήσιος και αρκετά υψηλός, καθώς ξεπερνά κατά πολύ τα τέσσερα σήματα GPS (που είναι απαραίτητα για τον ορθό υπολογισμό των συντεταγμένων των εικόνων), κάτι που δεν αναμένεται να συμβάλει στα σφάλματα συντεταγμένων που θα προκύψουν.

Πληροφορίες πτήσης		
	Πτήση στα 80 μέτρα	Πτήση στα 50 μέτρα
Drone	Phantom 4 Pro	Phantom 4 Pro
Ημερομηνία πτήσης	22 Απριλίου 2018	3 Ιουνίου 2018
Ώρα πτήσης	11:07:52 AM	11:33:13 AM
Τύπος πτήσης	Double Grid	Double Grid
Διάρκεια πτήσης	7min:54s	14min:31s
Ύψος	80m	50m
Ταχύτητα	Fast	Medium-Fast
Επικάλυψη	85% (76%)	80% (72%)

Γωνία κάμερας	80°	80°
Έκταση περιοχής	173m*116m	172m*119m
Μήκος γραμμής πτήσης	1925m	2615m
Δορυφόροι GPS	17	19
Αριθμός εικόνων	124	265
GSD εφαρμογής	2.22 cm/pixel	1.38 cm/pixel

Πίνακας 4.1: Σύγκριση πληροφοριών πτήσης μεταξύ των δύο πτήσεων

Όσον αφορά τα παραγόμενα των επεξεργασιών όπως αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 4.2 για τα δύο ύψη πτήσης, καταλήγουμε στα εξής αποτελέσματα:

- Το GSD και στις 2 περιπτώσεις εμφανίζεται ελάχιστα μικρότερο από το αντίστοιχο που μετρήθηκε κατά τις πτήσεις
- Οι εικόνες έχουν αρκετό οπτικό περιεχόμενο για επεξεργασία, με αρκετά παραπλήσιες τιμές βασικών σημείων ανά εικόνα
- Το 100% των ενεργοποιημένων εικόνων έχουν βαθμονομηθεί, έχουν δηλαδή χρησιμοποιηθεί για την ανακατασκευή του μοντέλου σε ένα ενιαίο μπλοκ
- Σχετικά με την βελτιστοποίηση της κάμερας, όπως είναι αναμενόμενο, οι παράμετροι μετασχηματισμού εστιακού μήκους (προοπτική του φακού/perspective lens) παρουσιάζουν ελαφρώς διαφοροποιημένες τιμές. Η διαφορά μεταξύ αρχικών και βελτιωμένων εσωτερικών παραμέτρων της κάμερας είναι εντός του 5% και στις δύο πτήσεις και έτσι εξασφαλίζεται η γρήγορη και ισχυρή βελτιστοποίηση
- Η αντιστοίχιση των εικόνων και στις δυο περιπτώσεις λόγω της επιλογής της κλίμακας των βασικών σημείων (Keypoints Image Scale), παρουσιάζει περισσότερες από 1.000 αντιστοιχίσεις ανά βαθμονομημένη εικόνα, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα πιθανόν να είναι υψηλής ποιότητας στις βαθμονομημένες περιοχές. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αντιστοιχίες ανά εικόνα στην πτήση των 80 μέτρων είναι σχεδόν διπλάσιες από αυτές τις πτήσης των 50 μέτρων.
- Την μη επιτυχή, βάσει των προδιαγραφών του λογισμικού, γεωαναφορά της εικόνας καθώς και στις δύο περιπτώσεις το RMS Error είναι πάνω από 2 φορές το GSD των παραγόμενων.
- Το σύνολο σχεδόν των χρόνων που απαιτήθηκαν (με εξαίρεση αυτόν των αρχικών επεξεργασιών που είναι διπλάσιος στην πτήση των 80 μέτρων) είναι πάνω τρεις φορές μεγαλύτερος στην επεξεργασία των εικόνων της πτήσης των 50 μέτρων, κάτι που οφείλεται στον σχεδόν διπλάσιο αριθμό των εικόνων.

- Η Μέση πυκνότητα (ανά m^3) της πτήσης των 50 μέτρων είναι τετραπλάσια από αυτή των 80 μέτρων.

Αποτελέσματα επεξεργασιών			
		Πτήση στα 80 μέτρα	Πτήση στα 50 μέτρα
GSD Report		2.09 cm / 0.82 in	1.32 cm / 0.52 in
Εικόνες	✓	Διάμεσος 59451 βασικών σημείων ανά εικόνα	Διάμεσος 66587 βασικών σημείων ανά εικόνα
Σύνολο δεδομένων	✓	123 από 123 βαθμονομημένες εικόνες (100%), το σύνολο των εικόνων ήταν ενεργοποιημένες	263 από 263 123 βαθμονομημένες εικόνες (100%), το σύνολο των εικόνων ήταν ενεργοποιημένες
Βελτιστοποίηση κάμερας	✓	Σχετική διαφορά 0.9% μεταξύ αρχικών και βελτιωμένων εσωτερικών παραμέτρων της κάμερας	Σχετική διαφορά 0.51% μεταξύ αρχικών και βελτιωμένων εσωτερικών παραμέτρων της κάμερας
Αντιστοίχιση εικόνων	✓	Διάμεσος 20793 ζεύγη ανά βαθμονομημένη εικόνα	Διάμεσος 11652 ζεύγη ανά βαθμονομημένη εικόνα
Γεωαναφορά	⚠	Ναι, 5 GCPs (5 3D), μέσο τετραγωνικό σφάλμα = 0.153 m	Ναι, 5 GCPs (5 3D), μέσο τετραγωνικό σφάλμα = 0.124 m
Χρόνος αρχικών επεξεργασιών		01h:07m:29s	31m:36s
Χρόνος δημιουργίας πυκνού νέφους σημείων		42m:26s	03h:17m:52s
Χρόνος δημιουργίας 3D πλέγματος		55m:05s	03h:15m:26s
Αριθμός 3D πυκνών σημείων		11157604	31435240
Μέση πυκνότητα (ανά m^3)		252.79	1043.46

Πίνακας 4.2: Σύγκριση παραγόμενων μεταξύ των δύο πτήσεων (Βλέπε: Παράρτημα Processing Report 80m και 50m)

Από τους πίνακες 4.3 και 4.4 των σφαλμάτων των GCPs και για τις δύο πτήσεις, είναι εμφανές ότι στο σύνολο των GCP²⁹, μεγαλύτερα σφάλματα παρουσιάζονται στην Υ συνιστώσα, ενώ μικρότερα στον κατακόρυφο άξονα Z, όπως διαπιστώνεται από το συνολικό RMS Error κάθε συνιστώσας. Και στις δύο πτήσεις τα σφάλματα των προβολικών συντεταγμένων είναι πολύ μεγαλύτερα στο Σ.5 (το οποίο ήταν το πιο ευδιάκριτο σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία), ενώ τα μικρότερα σφάλματα παρουσιάζουν τα Σ.19 και Σ.30. Σχετικά με τα σφάλματα ανά σημείο

²⁹ Στο σύνολο των GCPs που ορίστηκαν, υπήρχε μεγάλη απόκλιση μεταξύ της θέσης που δόθηκε χειροκίνητα και αυτής που εντοπίστηκε αυτόματα από το πρόγραμμα. Η πιθανότερη εξήγηση για τα σφάλματα αυτά είναι ο εσφαλμένος από το πρόγραμμα εντοπισμός των GCPs καθώς αυτά που δόθηκαν χειροκίνητα είχαν μεγάλη ακρίβεια, ενώ τα αυτόματα εντοπισμένα από το λογισμικό απέκλιναν στο σύνολό τους κατ' ελάχιστον 10cm από τα χειροκίνητα.

εδαφικού ελέγχου, παρατηρούμε ότι στους άξονες X και Y οι περισσότερες τιμές των σφαλμάτων είναι αρνητικές, ενώ στον Z άξονα υπερτερούν οι θετικές. Έτσι, τα σημεία με αρνητικές τιμές στον X άξονα βρίσκονται νότια της πραγματικής θέσης, τα σημεία με αρνητικές τιμές στο Y άξονα βρίσκονται δυτικά της πραγματικής θέσης, ενώ στον Z άξονα τα σημεία έχουν υψόμετρο μεγαλύτερο από αυτό της πραγματικής θέσης του σημείου.

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.062	0.422	-0.024	0.852	8 / 8
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.054	-0.304	0.061	0.756	8 / 8
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.124	-0.102	0.181	0.799	8 / 8
19 (3D)	0.020/ 0.020	0.021	-0.050	0.013	0.674	8 / 8
30 (3D)	0.020/ 0.020	0.226	0.019	-0.132	0.734	8 / 8
Mean [m]		0.001367	-0.002928	0.019788		
Sigma [m]		0.121101	0.238123	0.102519		
RMS Error [m]		0.121108	0.238141	0.104411		

Πίνακας 4.3: Σφάλματα GCPs για την πτήση 80 μέτρων

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.075	0.422	-0.001	0.803	8 / 8
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.066	-0.297	-0.045	0.641	8 / 8
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.107	-0.100	0.018	0.794	8 / 8
19 (3D)	0.020/ 0.020	0.043	-0.053	-0.001	0.458	6 / 6
30 (3D)	0.020/ 0.020	0.206	0.024	0.009	0.461	8 / 8
Mean [m]		0.000184	-0.000681	-0.004051		
Sigma [m]		0.114462	0.236594	0.021688		
RMS Error [m]		0.114462	0.236595	0.022063		

Πίνακας 4.4: Σφάλματα GCPs για την πτήση 50 μέτρων

Αφού προηγήθηκε η εξακρίβωση της ακρίβειας που παρέχουν τα drones στις καταγραφές τους, σειρά έχει η διερεύνηση της ποιότητας και της ανάλυσης των παραγόμενων προϊόντων.

Παρότι από τις εικόνες 4.1 και 4.2 που αφορούν τους ορθοφωτοχάρτες των εικόνων 80 και 50 μέτρων αντίστοιχα, δεν μπορούν να διακριθούν λεπτομέρειες ως προς την ποιότητα λόγω κλίμακας, είναι εμφανές ότι η σκιές που υπάρχουν στην πρώτη εικόνα είναι εντονότερες από αυτές της δεύτερης, καθώς και ότι η δεύτερη εικόνα εμφανίζει μεγαλύτερη ευκρίνεια από την πρώτη. Με σκοπό τον εντοπισμό της διαφοράς στην ποιότητα μεταξύ της πτήσης των 80 και των

50 μέτρων αντίστοιχα, θα ακολουθήσει η ανάλυση τριών ζευγών εικόνων, σε κάθε ένα από τα οποία είναι διακριτά διαφορετικά χαρακτηριστικά.



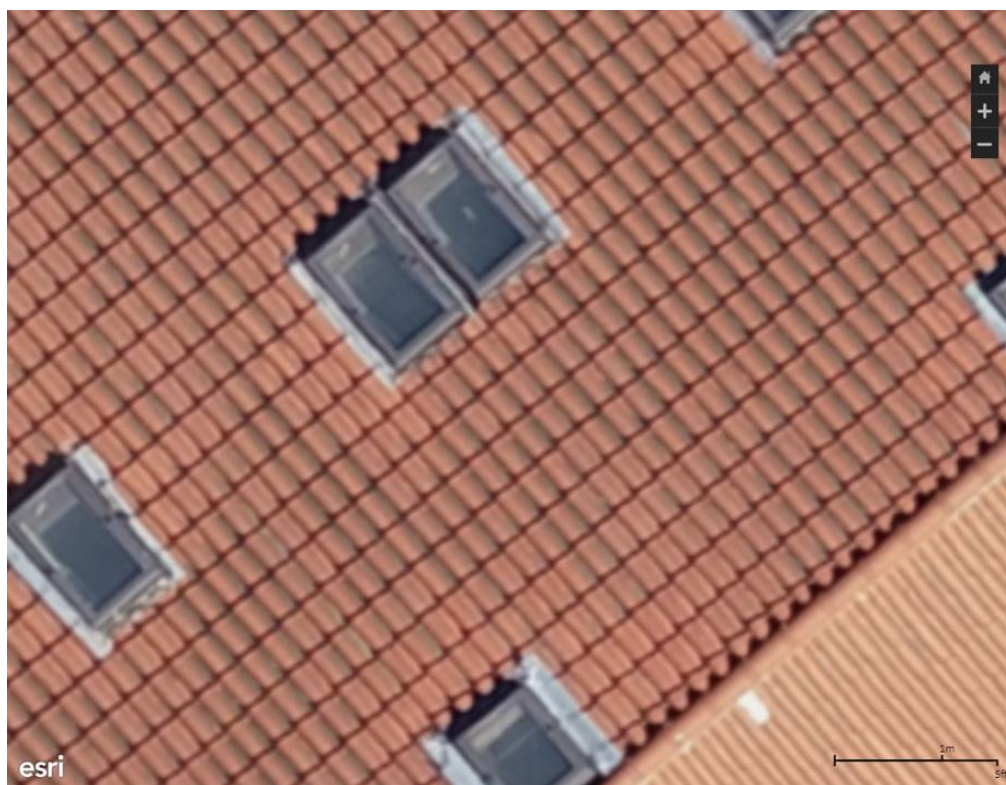
Εικόνα 4.1 Ορθοφωτοχάρτης πτήσης 80 μέτρων



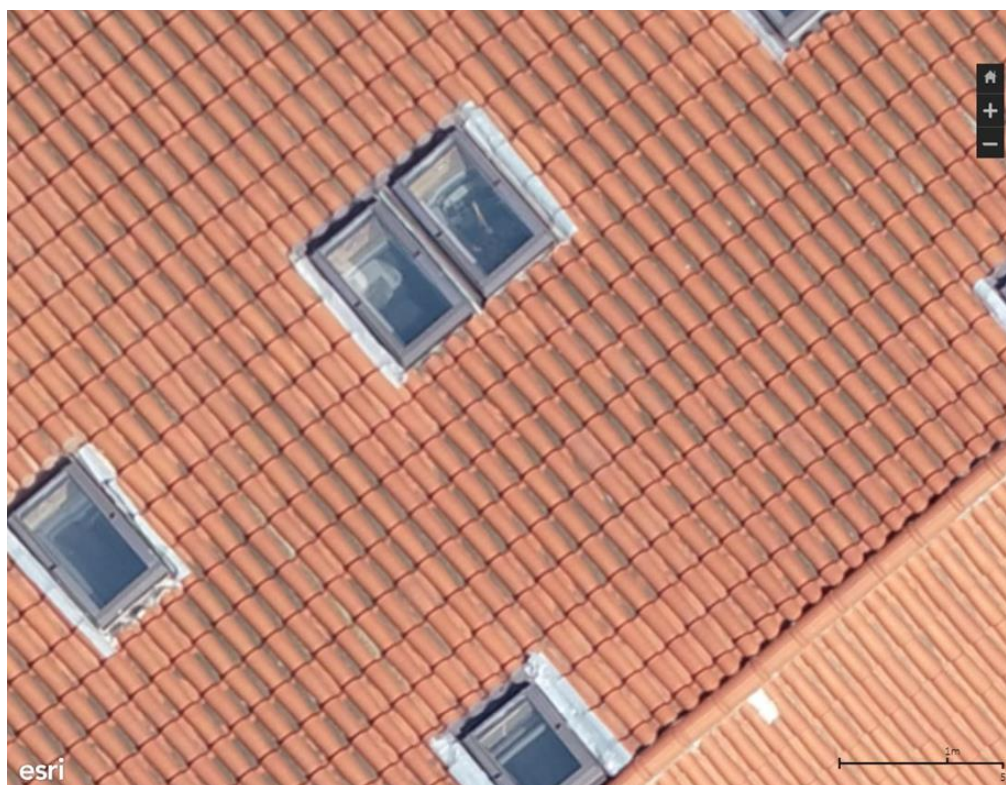
Εικόνα 4.2: Ορθοφωτοχάρτης πτήσης 50 μέτρων

Παρατηρώντας τις εικόνες 4.3 και 4.4 που απεικονίζουν τμήμα της σκεπής του κεντρικού κτηρίου του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου, γίνεται αντιληπτό ότι όσο μικρότερο είναι το GSD, τόσο μεγαλύτερη ανάλυση έχει η εικόνα λόγω του μικρότερου μεγέθους pixel, κάτι το οποίο είναι έντονα εμφανές ακόμα και στην προκειμένη περίπτωση που η διαφορά των GSD είναι

0,77cm. Επιπλέον εμφανής είναι και η επίδραση των σκιάσεων, η ύπαρξη των οποίων σε συνδυασμό με την χαμηλότερη ανάλυση της εικόνας 4.3, δεν διευκολύνουν την παρατήρηση λεπτομερειών, όπως στην εικόνα 4.4 που διακρίνονται στοιχεία μέσω των παραθύρων.



Εικόνα 4.3: Σκεπή του κεντρικού κτηρίου του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου της πτήσης 80 μέτρων



Εικόνα 4.4: Σκεπή του κεντρικού κτηρίου του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου της πτήσης 50 μέτρων

Έντονη διαφορά στην ανάλυση, την ευκρίνεια καθώς και την επίδραση των σκιάσεων διακρίνεται και στις παρακάτω εικόνες. Πιο συγκεκριμένα, όπως είναι αναμενόμενο οι σκιάσεις είναι περισσότερες στην εικόνα 4.5 όπου η λήψη 80 μέτρων έγινε στις 11:07:52 π.μ (έχοντας διαφορά 36 λεπτά από την αντίστοιχη λήψη των 50 μέτρων), ενώ αντίστοιχα η ανάλυση είναι πολύ καλύτερη στην εικόνα 4.6, στην λήψη των 50 μέτρων, καθώς διακρίνονται λεπτομέρειες της σκεπής του κυλικείου καθώς και πλακάκια του δαπέδου.



Εικόνα 4.5: Σκεπή κυλικείου και προαύλιος χώρος λήψης 80 μέτρων



Εικόνα 4.6: Σκεπή κυλικείου και προαύλιος χώρος λήψης 50 μέτρων

Στις εικόνες 4.7 και 4.8 εντοπίζεται μικρή επίδραση σκιάσεων και εντοπισμού διαφοράς στην ανάλυση, κυρίως στο τμήμα της στέγης. Αυτό που αξίζει να αναφερθεί για τις εικόνες αυτές είναι το ζήτημα του εντοπισμού διαφορών λόγω εποχικότητας. Παρότι οι λήψεις πραγματοποιήθηκαν με διαφορά 1 μήνα και 12 ημερών, είναι εμφανής η ανθοφορία ορισμένων φυτών, η απουσία παρασιτικών φυτών στο έδαφος, καθώς και η ευκολότερη αναγνώριση του είδους του φυτού λόγω της διαφορετικής φωτεινότητάς των φυλλωμάτων τους.

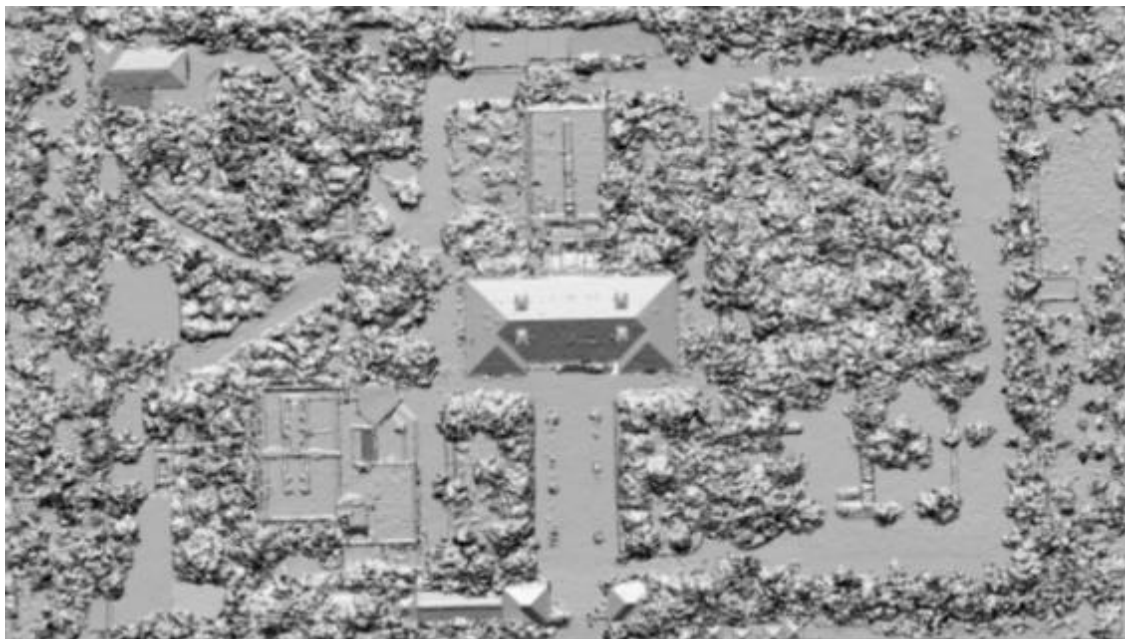


Εικόνα 4.7: Σκεπή και προαύλιος χώρος λήψης 80 μέτρων



Εικόνα 4.8: Σκεπή και προαύλιος χώρος λήψης 50 μέτρων

Καθοριστική για την μορφή των εικόνων 4.9 και 4.10, είναι η ύπαρξη σκιών, καθώς γίνεται αντιληπτό πως περισσότερες σκιάσεις οδηγούν σε ευκολότερη αναγνώριση μορφών και υφών στην εικόνα 4.9 , σε σχέση με την έλλειψή τους στην εικόνα 4.10 που οδηγεί σε ένα πιο ομαλό και θολό αποτέλεσμα.



Εικόνα 4.9: Hillshade πτήσης 80 μέτρων



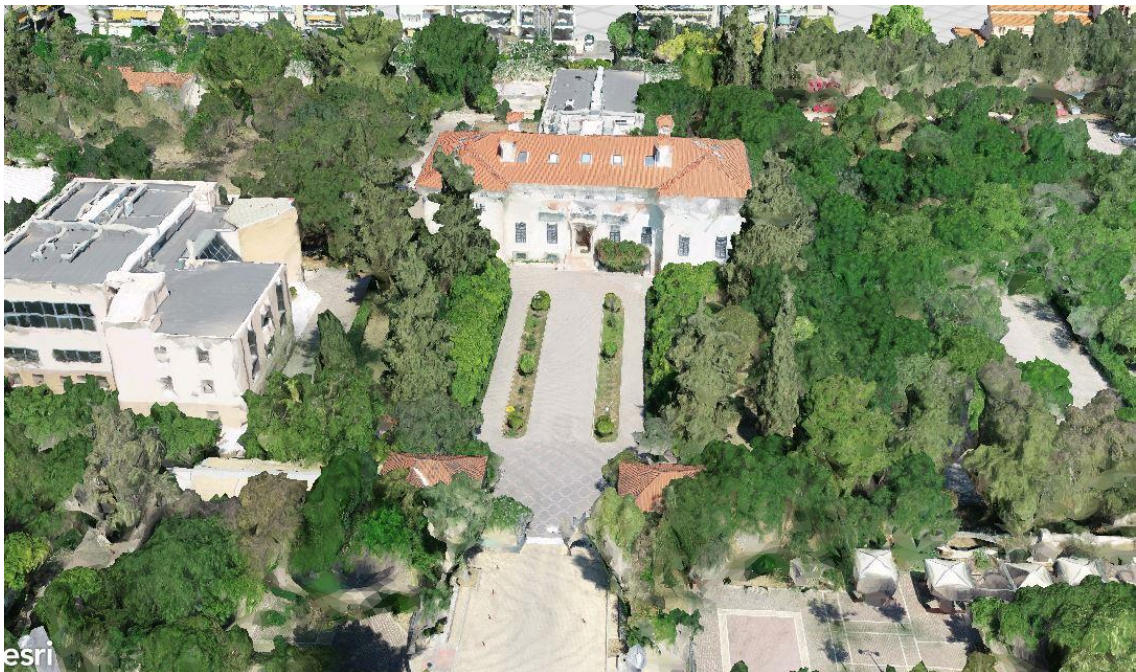
Εικόνα 4.10: Hillshade πτήσης 50 μέτρων

Όπως και στην περίπτωση των ορθοφωτοχαρτών, έτσι και στα παρακάτω 3Dμοντέλα δεν μπορούν να διακριθούν λεπτομέρειες ως προς την ποιότητα λόγω κλίμακας. Παρόλα αυτά και σε αυτή την περίπτωση, είναι εμφανές ότι οι σκιές που υπάρχουν στην πρώτη εικόνα είναι εντονότερες από αυτές της δεύτερης, η φωτεινότητα και η αντίθεση είναι χαμηλότερες, καθώς

και ότι η δεύτερη εικόνα εμφανίζει μεγαλύτερη ευκρίνεια από την πρώτη. Μια άλλη σημαντική λεπτομέρεια που είναι ευδιάκριτη από τις εικόνες 4.11 και 4.12, είναι το γεγονός ότι ενώ σε γενικές γραμμές το 3D μοντέλο των 50 μέτρων είναι καλύτερο από αυτό των 80 μέτρων, εμφανίζει αδυναμία στην αναπαράσταση των σημείων που βρίσκονται υπό γωνία, όπως αυτά ακριβώς κάτω από το όριο της σκεπής του κεντρικού κτηρίου, πιθανόν λόγω της μικρής κλίσης της κάμερας, για το συγκεκριμένο ύψος πτήσης.

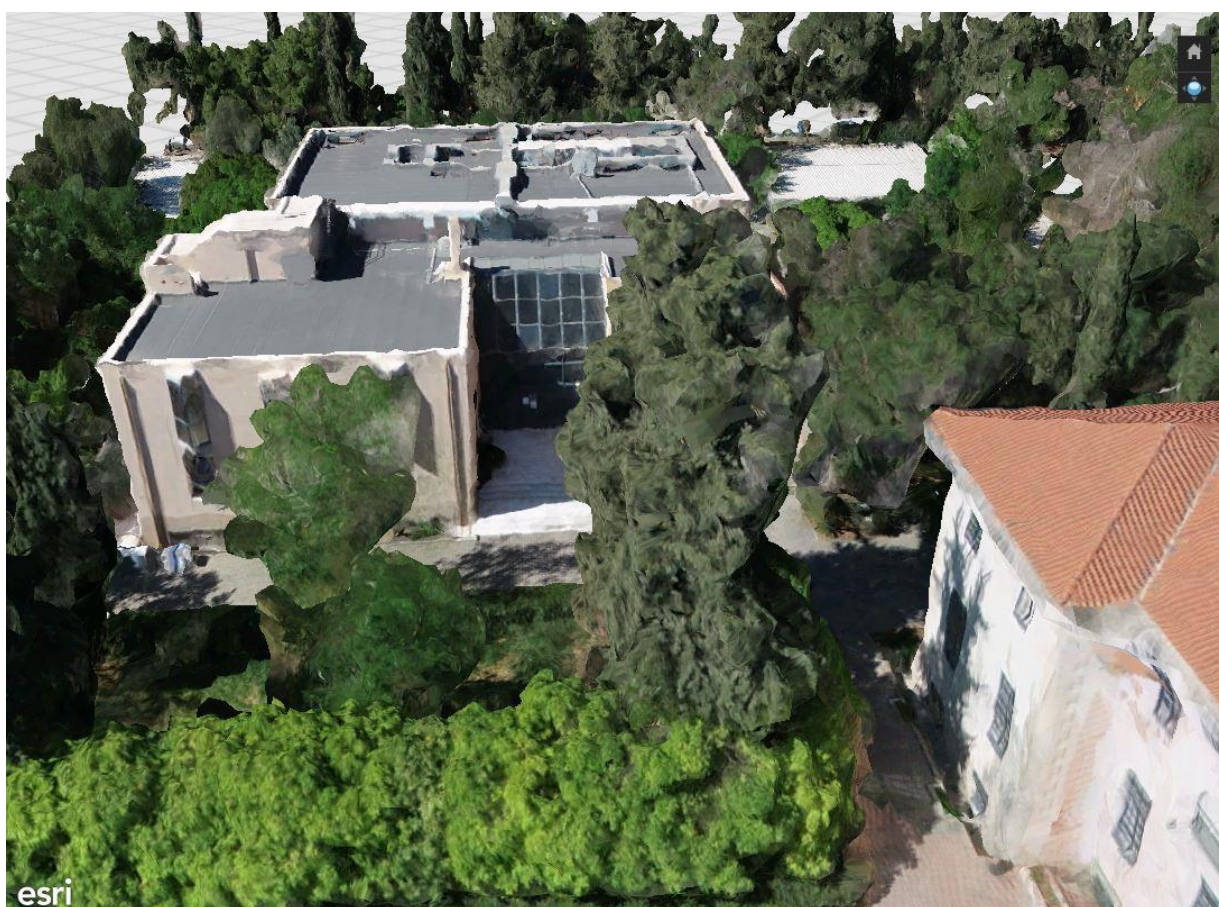


Εικόνα 4.11: Προοπτική απεικόνιση 3D πτήσης 80 μέτρων



Εικόνα 4.12: Προοπτική απεικόνιση 3D πτήσης 50 μέτρων

Με σκοπό τον ακριβή εντοπισμό της διαφοράς στην ποιότητα των 3D μοντέλων μεταξύ της πτήσης των 80 και των 50 μέτρων αντίστοιχα, θα ακολουθήσει η ανάλυση ενός επιπλέον ζεύγους εικόνων. Έτσι, παρατηρώντας τις εικόνες 4.13 και 4.14 γίνεται αντιληπτό ότι κάθε 3D μοντέλο φέρει τα χαρακτηριστικά του αντίστοιχου ορθοφωτοχάρτη, δηλαδή υψηλότερη ποιότητα και χωρική ανάλυση λόγω του χαμηλότερου GSD καθώς και λιγότερες σκιάσεις λόγω του ύψους πτήσης. Και σε αυτές τις εικόνες εμφανίζεται επίσης η αδυναμία στην αναπαράσταση των σημείων που βρίσκονται υπό γωνία, όπως αυτά που βρίσκονται κάτω από το όριο της σκεπής του κεντρικού κτηρίου. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός, ότι ένα εκ των δέντρων που απέκρυπτε ένα τμήμα του κτηρίου γεωγραφίας, ενώ εμφανίζεται στον ορθοφωτοχάρτη, δεν αναπαρίσταται ολόκληρο στο 3D μοντέλο.



Εικόνα 4.13: Προοπτική απεικόνιση 3D πτήσης 80 μέτρων τμήματος Γεωγραφίας



Εικόνα 4.14: Προοπτική απεικόνιση 3D πτήσης 50 μέτρων τμήματος Γεωγραφίας

Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα - Συζήτηση

Η ραγδαία αύξηση της χρήσης των μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε παγκόσμιο επίπεδο, σε συνδυασμό με την ύπαρξη ποικίλων λογισμικών επεξεργασίας των καταγραφών τους, τα καθιστά χρήσιμα εργαλεία για μια ευρεία γκάμα υπηρεσιών και εφαρμογών με γεωγραφικό προσανατολισμό. Δεδομένου ότι τα drones αποτελούν ένα σύγχρονο και διαδεδομένο εργαλείο αεροφωτογράφισης, οι διαδικασίες σχεδιασμού πτήσης, τα βασικά βήματα επεξεργασίας καθώς και τα χαρακτηριστικά των εικόνων drone, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στα αντίστοιχα των αεροφωτογραφιών.

Η λήψη αεροφωτογραφιών μέσω drone αποτελεί μια αποδοτική, αξιόπιστη και οικονομική λύση για την διεξαγωγή εναέριων αποτυπώσεων, με αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών μεθόδων αεροφωτογράφισης. Η χρήση των drones και των λογισμικών επεξεργασίας των καταγραφών τους, μπορεί σε μικρό χρονικό διάστημα να οδηγήσει στην παραγωγή ποιοτικών 2D και 3D παραγόμενων προϊόντων μικρής και μεγάλης κλίμακας. Ο συνδυασμός των εναέριων αποτυπώσεων με επίγειες μετρήσεις (GCPs), καθιστά δυνατή την ακριβή γεωαναφορά των 2D και 3D οπτικοποιήσεων της γεωχωρικής πληροφορίας, προσδίδοντας έτσι μετρητική αξία στα παραγόμενα προϊόντα, ενώ επιπλέον είναι δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία τους μέσω ΣΓΠ. Η χαρτογράφηση, η παρακολούθηση και η μελέτη του φυσικού/ανθρωπογενούς περιβάλλοντος καθώς και η δυνατότητα χρήσης των drone για παραγωγή 3D μοντέλων, είναι λίγες μόνο από τις εφαρμογές παροχής συνδυαστικών πληροφοριών στην γεωγραφική έρευνα.

Όσον αφορά τις διαδικασίες παραγωγής τελικών προϊόντων από καταγραφές drone και πιο συγκεκριμένα κατά το στάδιο της προετοιμασίας πτήσης, η ύπαρξη, η γνώση αλλά και η εξοικείωση με το λογισμικό πτήσης και επεξεργασίας των καταγραφών, πρέπει να προηγείται ακόμα και του σχεδιασμού της πτήσης, καθώς τα διάφορα διαθέσιμα λογισμικά παρουσιάζουν διαφορετικές απαιτήσεις, κάτι που μπορεί να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα για την χρήση τους. Η γνώση της μετέπειτα χρήσης των εικόνων είναι επίσης απαραίτητη, καθώς καθορίζει ένα μεγάλο μέρος των παραμέτρων κατά την προετοιμασία πτήσης (ύψος, γωνία κάμερας), οι οποίες εάν δεν ληφθούν υπόψιν, μπορεί να οδηγήσουν στην παραγωγή αποτελεσμάτων με αστοχίες στη ποιότητα αλλά και την ακρίβεια. Παράλληλα, οι ιδιαιτερότητες της περιοχής μελέτης (ύψη κτηρίων, παρεμβολές κ.α.) πρέπει να είναι γνωστές πριν την διεξαγωγή των πτήσεων, καθώς αστάθμητοι παράγοντες μπορεί να διακόψουν την αυτόματη

διαδικασία πτήσης και να χρειαστεί η επέμβαση του χειριστή για την ομαλή συνέχεια της πτήσης και την επιστροφή του drone στο σημείο εκκίνησης με ασφάλεια. Η σωστή προετοιμασία πτήσης και η διερεύνηση του συνόλου των παραμέτρων που την αποτελούν (ίδια ώρα πτήσης, καιρικές συνθήκες, απαγορευμένες περιοχές, ύπαρξη εξοπλισμού αλλά και διαθέσιμων λογισμικών) κρίνεται καθοριστική τόσο για την σωστή, επιτυχημένη και ασφαλή λήψη των εικόνων, όσο και για την ακρίβεια και την ποιότητα των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

Σχετικά με τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την επεξεργασία των καταγραφών και τα τελικά παραγόμενα αυτής, αυτά σχετίζονται τόσο με τους χρόνους επεξεργασίας, που στο σύνολό τους ήταν υψηλοί και άμεσα συσχετιζόμενοι με το ύψος πτήσης (μεγαλύτερο ύψος πτήσης οδηγεί στη λήψη λιγότερων εικόνων άρα και απαιτείται λιγότερος χρόνος επεξεργασίας), όσο και με τις χειροκίνητες και τις αυτόματες διαδικασίες.

Η επιλογή κοινών ρυθμίσεων κατά την πτήση και την επεξεργασία των εικόνων, έγινε με σκοπό την μείωση των σφαλμάτων στα τελικά παραγόμενα, κάτι που όμως οδήγησε σε κάποια μη επιθυμητά αποτελέσματα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως η διατήρηση της κλίσης της κάμερας στις 80° και στις δύο πτήσεις, παρότι βοήθησε στη παραγωγή συγκρίσιμων φωτομωσαϊκών, οδήγησε στην αύξηση των παραμορφώσεων στα τρισδιάστατα παραγόμενα της πτήσης των 50 μέτρων, στα τμήματα των κτηρίων ακριβώς κάτω από τις στέγες, λόγω της μη επαρκούς κάλυψής τους με εικόνες.

Πέρα από τις παραμορφώσεις, η ακρίβεια των τελικών παραγόμενων βασίζεται άμεσα στην ύπαρξη, τη γεωμετρική κατανομή, την ικανότητα ανίχνευσης των σημείων εδαφικού ελέγχου (GCP) από τις εικόνες του drone καθώς και τη βαθμονόμηση της κάμερας. Τα σφάλματα των GCP μεταξύ των συντεταγμένων του τοπογραφικού διαγράμματός καθώς και αυτών που υπολόγισε αυτόματα το drone, είναι πάνω από δύο φορές το GSD που είναι το αποδεκτό όριο σφάλματος (5,3 φορές επάνω για την πτήση των 80 μέτρων και 7,3 φορές επάνω για την πτήση των 50 μέτρων). Το σφάλμα αυτό, αν και στην προκειμένη περίπτωση δεν είναι τόσο μεγάλο αν αναλογιστεί κανείς την ανάλυση, μπορεί να υποδεικνύει αστοχίες που σχετίζονται με τον τρόπο λήψης των δεδομένων αλλά και τη σήμανση ή τον προσδιορισμό των GCP. Η αντιμετώπιση των παραπάνω (π.χ ακριβέστερος προσδιορισμός νέων GCP), αναμένεται να βοηθήσει στην βελτίωση της ποιότητας των τελικών παραγόμενων.

Η ποιότητα μεταξύ των τελικών αποτελεσμάτων των 2 πτήσεων, τόσο στα 2D παραγόμενα, όσο και στα 3D, όπως είναι αναμενόμενο είναι αντιστρόφως ανάλογη με το ύψος της πτήσης.

Στην προκειμένη περίπτωση η ποιότητα και η ευκρίνεια είναι υψηλότερη στην πτήση των 50 μέτρων, στην οποία δεν εντοπίζονταν τόσο έντονες σκιάσεις, από ότι σε αυτή των 80 μέτρων. Όσον αφορά την ποιότητα του 3D μοντέλου, σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια αναπαράστασης των κτηρίων και του περιβάλλοντος χώρου, διαδραματίζει πέρα από το ύψος πτήσης και η γωνία λήψης, καθώς χαμηλό ύψος πτήσης και σχεδόν κατακόρυφες λήψεις εικόνων οδηγούν σε παραμορφώσεις στα σημεία που δεν είναι διακριτά υπό γωνία.

Συμπερασματικά, τα πλεονεκτήματα που φέρουν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους αεροφωτογράφισης και ψηφιακής χαρτογραφίας, τα καθιστούν ένα οικονομικό, γρήγορο και εύχρηστο μέσο για την παραγωγή γεωγραφικών δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης και ακρίβειας, αξιοποιήσιμα σε ποικίλους τομείς της γεωγραφικής έρευνας. Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση τους και η τεχνολογική πρόοδος, τόσο των drone όσο και των λογισμικών επεξεργασίας, αναμένεται να συνεισφέρει σημαντικά στην βελτίωση και τη περαιτέρω διάδοση τους στο μέλλον.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.), (2017). Αεροφωτογραφικά Προϊόντα. Ανακτήθηκε 1 Μαρτίου 2018 από <http://web.gys.gr/GeoSearch/GYS/aerophoto.html>
- Γκέκας, Χ. (2016). DRONES - Η συμβολή των Drones στην διαχείριση των καταστροφών : Σύγχρονα Πεδία Εφαρμογών-Search And Rescue (SAR) Operations. (Μεταπτυχιακή Διατριβή, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα). Ανακτήθηκε από <http://estia.hua.gr/file/lib/default/data/16085/theFile>
- Δουκαρή, Μ. (2015). Διερεύνηση μεθόδων απεικόνισης τρισδιάστατης γεωχωρικής πληροφορίας, μικρής κλίμακας, με αξιοποίηση μεθόδων UAV και τεχνολογιών υπολογιστικής όρασης. (Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη). Ανακτήθηκε από <http://hellanicus.lib.aegean.gr/handle/11610/17052>
- Καραμιχαλάκη, Μ. (2017). Σημειώσεις εργαστηρίου 4: Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Supervised Classification) με τη μέθοδο Spectral Angle Mapper (SAM) του μαθήματος Ειδικά Θέματα Τηλεπισκόπησης. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. Αθήνα.
- Καρτέρης, Μ.Α. (1995). *Δασική αεροφωτογραφία*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press
- Κούτσικος, Α.Π. (2016). DRONES - Νομικό Πλαίσιο με έμφαση στην Ιδιωτικότητα. (Μεταπτυχιακή Διατριβή, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα). Ανακτήθηκε από <http://estia.hua.gr/file/lib/default/data/17937/theFile>
- Μερτίκας, Σ.Π. (2009). *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας*. Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ
- Παπαδόπουλος, Α. (2017). *Κανονιστικό πλαίσιο*. Εισήγηση στη Διημερίδα Geomapplica: «Drone & UAVs. Αστικές χρήσεις και κοινωνικές Προεκτάσεις», 30 Σεπτεμβρίου-1 Οκτωβρίου 2017, Πειραιάς.
- Παρχαρίδης, Ι. (2015). *Αρχές δορυφορικής τηλεπισκόπησης: Θεωρία και Εφαρμογές*. Ανακτήθηκε από https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/3960/1/helpdesk-master_doc.pdf
- Περάκης Κ.Γ, Φαρασλής Ι.Ν & Μωυσιάδης Α.Κ. (2015) *Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες: Θεωρία, Μέθοδοι και Εφαρμογές*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Ανακτήθηκε
- 03 Φεβρουαρίου 2018 από

https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/1840/1/164-Perakis_29-1-16.pdf

Πολεμική Αεροπορία, ([s.l.])). Η Πρώτη Γενιά Αεριωθουμένων (1950-1973). Ανακτήθηκε 1 Μαρτίου 2018 από <https://www.haf.gr/history/haf-history/1950-1973/>

Στεφανάκης, Ε. (2009). *Γεωγραφικά Δεδομένα: Εισαγωγή στις τεχνολογίες εντοπισμού*. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών

Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ). (2010). Κανονισμός Πτήσεων Αερομοντέλων Αθήνα: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως. Εθνικό τυπογραφείο. Ανακτήθηκε 03 Φεβρουαρίου 2018 από <http://www.serresairclub.gr/Kanonismos%20Aeromontelon.pdf>

Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ). (2016α). Κανονισμός πτήσεων των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) – Unmanned Aircraft Systems (UAS). Αθήνα: Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών Και Δικτύων. Ανακτήθηκε 04/02/2018 από <https://goo.gl/vAuMB5>

Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ). (2016β) Κανονισμός - γενικό πλαίσιο πτήσεων Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών- ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft Systems - UAS). Αθήνα: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως. Εθνικό τυπογραφείο. Ανακτήθηκε 03 Φεβρουαρίου 2018 από https://uas.hcaa.gr/Content/Documents/%CE%A6%CE%95%CE%9A%20%CE%9A%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82%20%CE%A3%CE%BC%CE%B7%CE%95%CE%91%2030.09.2016_B_3152.pdf

Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ). (2018). Ερωτήσεις και απαντήσεις (Q&A). Ανακτήθηκε 19 Μαΐου 2018 από <https://uas.hcaa.gr/Faq>

Φουντάς, Σ. και Γέμτος Θ. (2015). *Γεωργία ακριβείας: Τεχνολογίες, εφαρμογές, προοπτικές*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Ανακτήθηκε 4 Φεβρουαρίου, 2018, Δικτυακός τόπος: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/2670>

Χαλκιάς, Χ. Ν. (2006). *ΟΡΟΙ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ: Geographical Information Science*. Αθήνα : ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΩΝ

Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. (2010). Το Πανεπιστήμιο. Ανακτήθηκε 12 Ιουνίου 2018 από <http://galaxy.hua.gr/~hua20years/history.html>

Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. (2017). Το Πανεπιστήμιο. Ανακτήθηκε 12 Ιουνίου 2018 από <https://www.hua.gr/index.php/el/university-3/deans-history>

Ξενόγλωσση

- Agisoft. (2017). PhotoScan Presentation. Ανακτήθηκε 09 Μαΐου 2018 από http://www.agisoft.com/pdf/photoscan_presentation.pdf
- Agisoft. (2018). History. Ανακτήθηκε 09 Μαΐου 2018 από <http://www.agisoft.com/about/>
- Austin, R. (2010). Unmanned aircraft systems: Uavs design, development and deployment. John Wiley and Sons, Ltd., Publication. Ανακτήθηκε 11 Μαρτίου 2018 από https://jar2.com/Files/Reg_Austin_-_Unmanned_Air_Systems_UAV_Design_Development_and_Deployment_-_2010.pdf
- Avery T.E. & Berin G.L. (1992). Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation. Fifth edition. USA: Prentice-Hall
- Barrile V., Gelsomino V., & Bilotta G. (2017). UAV and Computer Vision in 3D Modeling of Cultural Heritage in Southern Italy. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 225, Issue 1, 7 September 2017, Article number 01219, doi:10.1088/1757-899X/225/1/012196. Ανακτήθηκε 16 Μαΐου 2018 από <https://bit.ly/2rLUdTx>
- Baumann, P.R. (2014). History of remote sensing: Aerial photography. Oneonta. Ανακτήθηκε από <https://www.oneonta.edu/faculty/baumanpr/geosat2/RS%20History%20I/RS-History-Part-1.htm>
- Brutto Lo, Garraffa, M. & Meli, A.P. (2014) *UAV Platforms for Cultural Heritage Survey: First Results. Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume 2 (5). doi:10.5194/isprsannals-II-5-227-2014 Ανακτήθηκε 03 Φεβρουαρίου 2018 από <https://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5/227/2014/isprsannals-II-5-227-2014.pdf>
- Chao, H., Cao, Y. & Chen, Y. (2010). Autopilots for small unmanned aerial vehicles: A survey. *International Journal of Control, Automation and Systems*, Volume 8, Issue 1, pp 36–44. doi: <https://doi.org/10.1007/s12555-010-0105-z>/. Ανακτήθηκε 01 Μαρτίου 2018 από <https://link.springer.com/article/10.1007/s12555-010-0105-z>
- Chiabrando F., D'Andria F., Sammartano G. & Spanò A. (2018). Uav photogrammetry for archaeological site survey. 3D models at the Hierapolis in Phrygia (Turkey). Virtual Archaeology

Review, Volume 9, Issue 18, 2018, Pages 28-43, <http://dx.doi.org/10.4995/var.2018.5958>.

Ανακτήθηκε 16 Μαΐου 2018 από <https://bit.ly/2IS2Nkb>

Clarke, R. (2014). Understanding the drone epidemic. *Computer Law & Security Review*, Volume 30, Issue 3, pp. 230-246. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2014.03.002>. Ανακτήθηκε 04 Φεβρουαρίου 2018 από <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267364914000545>

Diaz-Varela R.A., Zarco-Tejada P.J., Angileri V. & Loudjani P. (2014). Automatic identification of agricultural terraces through objectoriented analysis of very high resolution DSMs and multispectral imagery obtained from an unmanned aerial vehicle. *Journal of Environmental Management* 134 (2014) 117-126. Ανακτήθηκε 16 Μαΐου 2018 από <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479714000097?via%3Dihub>

Dillow, C. (9 Οκτωβρίου 2014). A brief history of drones. *Fortune*. Ανακτήθηκε 06 Μαρτίου 2018 από: <http://fortune.com/2014/10/09/a-brief-history-of-drones/>

Drone2Map for ArcGIS Help. (2017a). Get started: Project templates. Ανακτήθηκε 10 Ιουνίου 2018 από <https://doc.arcgis.com/en/drone2map/get-started/project-templates.htm>

Drone2Map for ArcGIS Help. (2017b). Process and share: Processing. Ανακτήθηκε 10 Ιουνίου 2018 από <https://doc.arcgis.com/en/drone2map/process-and-share/processing-options.htm>

Drone Aware – GR. (2017). Hellenic Civil Aviation Authority: Quick Start Guide. Ανακτήθηκε 28 Μαΐου 2018 από https://dagr.hcaa.gr/docs/DAGR_QS.pdf

Eisenbeiss, H. (2009). UAV Photogrammetry (Διπλωματική διατριβή, University of Technology Dresden), Ανακτήθηκε 17 Μαΐου 2018 από http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/Blaue_Berichte_PDF/105.pdf

ESRI. ([s.a.]). Drone2Map for ArcGIS: What Will Your Drone Do For You?. Ανακτήθηκε 30 Μαΐου 2018 από <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/drone2map/overview>

European Aviation Safety Agency (EASA) ([s.a.]). *Civil drones (Unmanned aircraft)*. Ανακτήθηκε 04 Φεβρουαρίου 2018 από <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas>

European Cockpit Association. (ECA) [s.a.]). *Integrating drones safety*. Ανακτήθηκε 04 Φεβρουαρίου 2018 από <https://www.eurocockpit.be/campaign/integrating-drones-safely>

- European Commission, (2007). STUDY ANALYSING THE CURRENT ACTIVITIES IN THE FIELD OF UAV
Second Element: Way forward “What vision can be drawn for Europe in this technology domain
and what needs to be done to make it happen”. Ανακτήθηκε 10 Μαρτίου 2018 από
https://ec.europa.eu/home-affairs/sites/homeaffairs/files/e-library/documents/policies/security/pdf/uav_study_element_2_en.pdf
- European Commission, (2015). COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT:
Accompanying the document proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND
OF THE COUNCIL on common rules in the field of civil aviation and establishing a European Union
Aviation Safety Agency, and repealing Regulation (EC) No 216/2008 of the European Parliament
and of the Council. Ανακτήθηκε 10 Μαρτίου 2018 από
<http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/10102/2015/EN/SWD-2015-262-F1-EN-MAIN-PART-2.PDF>
- European Civil Aviation Conference (ECAC). (2016). *Reference Book*. Ανακτήθηκε 04 Φεβρουαρίου
2018 από <https://www.ecacceac.org/documents/10189/40754/2016+15SEPT+Reference+Book.pdf/4da1b587-c7d6-4269-a7c5-6c4a37533e52>
- Federal Aviation Administration (FAA). (2018). *Unmanned Aircraft Systems*. Ανακτήθηκε 03
Φεβρουαρίου 2018 από <https://www.faa.gov/uas/faqs/>
- Goldman Sachs. ([s.a.]). Drones: Reporting for Work. Ανακτήθηκε 14 Μαρτίου 2018 από
<http://www.goldmansachs.com/our-thinking/technology-driving-innovation/drones/>
- Harriman, L. & Muhlhausen, J. (2013). Thematic focus: Climate change, Ecosystem management,
Environmental governance: A new eye in the sky: Eco-drones. Ανακτήθηκε 18 Φεβρουαρίου
2018 από https://na.unep.net/geas/getUNEPPageWithArticleIDScript.php?article_id=100
- Hennemann, GR. & Nagelhout, A. (2002). Wind Erosion Mapping and Monitoring in the Central Rift
Valley of Kenya Using Small-Format Aerial Photography (SFAP). Paper in 12th ISCO Conference.
Beijing 2002. Ανακτήθηκε από <http://tucson.ars.ag.gov/isco/isco12/VolumeIV/WindErosionMapping.pdf>
- Humphrey, D. (2016). Getting Started with UAS. *ArcUser*, Spring 2016, Vol.19, No.2 Ανακτήθηκε από
<http://www.esri.com/esri-news/arcuser/spring-2016/getting-started-with-uas>
- International Civil Aviation Organization. (ICAO). ([s.a.]) *Background and general recommendations*.
Ανακτήθηκε 04/02/2018 από <https://www4.icao.int/uastoolkit/Home/Narrative>

- International Civil Aviation Organization. (ICAO) (2011), *Unmanned Aircraft Systems (UAS)*. Ανακτήθηκε 03 Φεβρουαρίου 2018 από https://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_en.pdf
- Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems (JARUS) ([s.a.]) Ανακτήθηκε 04/02/2018 από <http://jarus-rpas.org/>
- Lloyd's. (2015). Emerging Risk Report: Innovation Series. Ανακτήθηκε 10 Μαρτίου 2018 από: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/drones_take_flight_20150820.pdf
- Marris, E. (2013). Fly, and bring me data. *Nature*, 498, 156-158. Ανακτήθηκε από https://www.nature.com/polopoly_fs/1.13161!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/498156a.pdf?origin=ppub
- Mason, T. (2016). Put Your Drone to Work. ArcUser Summer 2016. Ανακτήθηκε 30 Μαΐου 2018 από <http://www.esri.com/esri-news/arcuser/summer-2016/put-your-drone-to-work>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA), ([s.a.]). Landsat Science: History. Ανακτήθηκε 13 Φεβρουαρίου 2018 από <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/history/>
- Nguyen, T. (23 Νοεμβρίου 2017). The History of Drones. ThoughtCo. Ανακτήθηκε 06 Μαρτίου 2018 από: <https://www.thoughtco.com/history-of-drones-4108018>
- Pederi Y.A & Cheporniuk H.S. (2015). Unmanned Aerial Vehicles and New Technological Methods of Monitoring and Crop Protection in Precision Agriculture. 3rd International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). Ανακτήθηκε 16 Μαΐου 2018 από <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84962441644&origin=resultslist&sort=plff&src=s&st1=Precision+agriculture+with+drones+&nlo=&nlr=&nls=&sid=b0e692cb6d8c83127988c68259dcd422&sot=b&sdt=b&sl=49&s=TITLE-ABS-KEY%28Precision+agriculture+with+drones+%29&relpos=27&citeCnt=5&searchTerm=>
- PHANTOM 4 PRO/PRO+(2016). User Manual. Ανακτήθηκε 09 Μαΐου 2018 από https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/Phantom+4+Pro+Pro+Plus+User+Manual+v1.0.pdf
- PIX4D ([s.a.]). Pix4DCapture. Ανακτήθηκε 30 Μαΐου 2018 από <https://pix4d.com/product/pix4dcapture/>

- Riga declaration on remotely piloted aircraft (drones) (2015) Framing the future of aviation, Riga - 6 March 2015 Ανακτήθηκε 04/02/2018 από <https://goo.gl/j9iHVe>
- Ritzinger, M. (2014). Practical aspects & upcoming developments of European regulations for UAS below 150 kg in context with Austrian rulemaking (Master Thesis, JOANNEUM University of Applied Sciences) Ανακτήθηκε 10 Μαρτίου 2018 από https://www.aig.at/wpcontent/uploads/2014AAI_MathiasRitzinger_MasterThesis_EuropeanRulemakingUAS.pdf
- Tactical interpretation of air photos. a. (1954). Department of the army technical manual. Washington: Department of the army. Ανακτήθηκε 16 Φεβρουαρίου 2018 από <https://maritime.org/doc/photo-interp/pg17fig0033.htm>
- Tactical interpretation of air photos. b. (1954). Department of the army technical manual. Washington: Department of the army. Ανακτήθηκε 16 Φεβρουαρίου 2018 από <https://maritime.org/doc/photo-interp/pg62fig0967.htm>
- The Pennsylvania State University. College of Earth and Mineral Sciences. (2017©) GEOG 892 : Geospatial Applications of Unmanned Aerial Systems (UAS), 1.4 Classification of the Unmanned Aerial Systems (a). Ανακτήθηκε 04 Φεβρουαρίου 2018 από <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5>
- The Pennsylvania State University. College of Earth and Mineral Sciences. (2017©) GEOG 892 : Geospatial Applications of Unmanned Aerial Systems (UAS), 1.5 Missions of the UAVs (b) . Ανακτήθηκε 04 Φεβρουαρίου 2018 από <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/637>
- Verykokou S., Ioannidis C., Athanasiou G., Doulamis N. & Amditis A. (2017). 3D reconstruction of disaster scenes for urban search and rescue. Springer Science+Business Media, Volume 77, Issue 8, 1 April 2018, Pages 9691-9717, <https://doi.org/10.1007/s11042-017-5450-y>. Ανακτήθηκε 16 Μαΐου 2018 από <https://bit.ly/2GsXOdL>
- Watts, A.C., Ambrosia, V.G. & Hinkley, E.A. (2012). Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sens*, 4, pp. 1671-169. doi: [10.3390/rs4061671](https://doi.org/10.3390/rs4061671) Ανακτήθηκε 03 Φεβρουαρίου 2018 από <http://www.mdpi.com/2072-4292/4/6/1671/htm>
- Yeh F.H, Huang C.J., Han J.Y, and Ge L. (2018). Modeling Slope Topography Using Unmanned Aerial Vehicle Image Technique. 3rd International Conference on Sustainable Infrastructure and Built

Environment, Volume 147, 22 January 2018, Article number 07002
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201814707002>. Ανακτήθηκε 16 Μαΐου 2018 από
<https://bit.ly/2L9Uk3f>

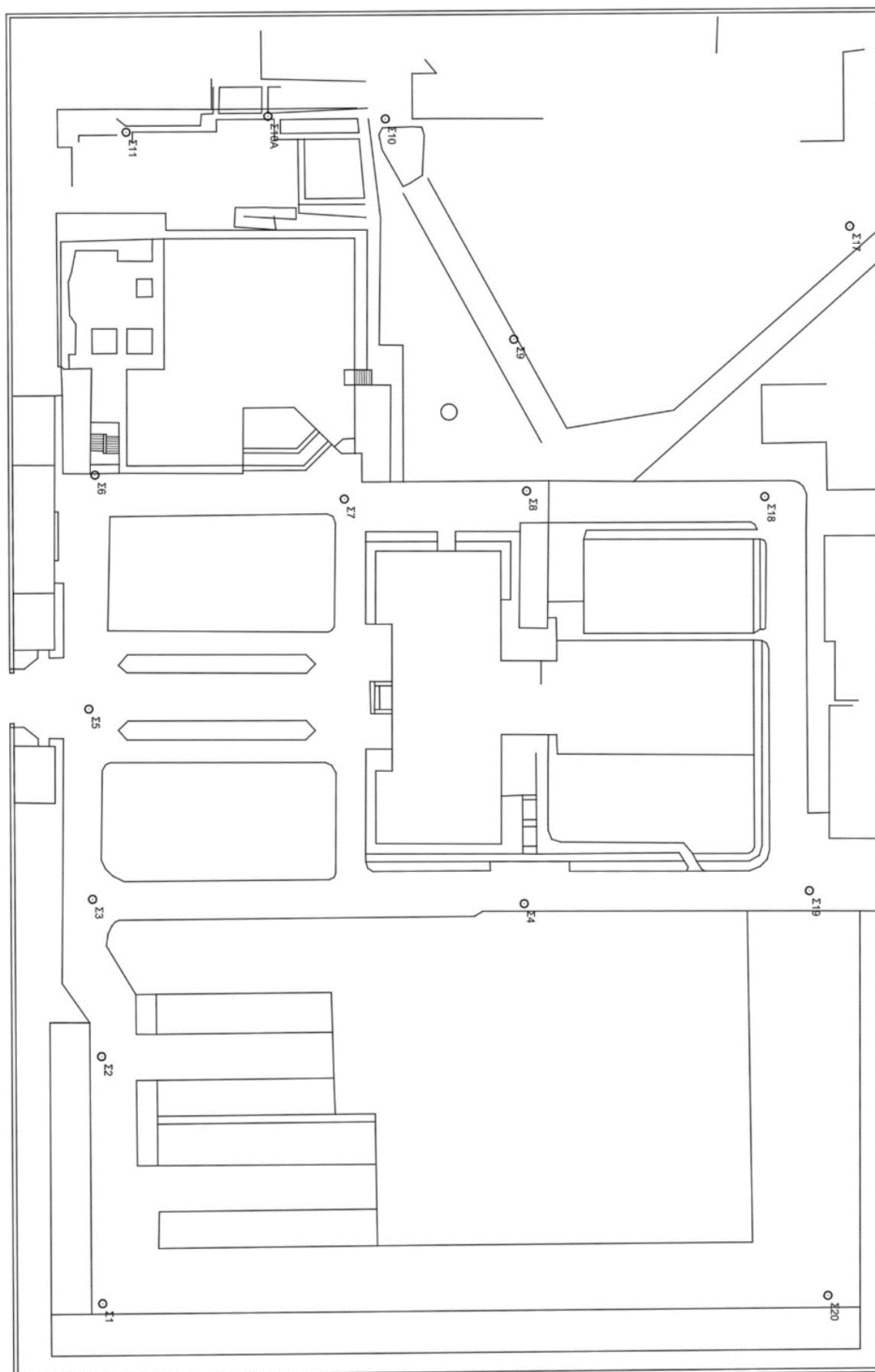
Παράρτημα



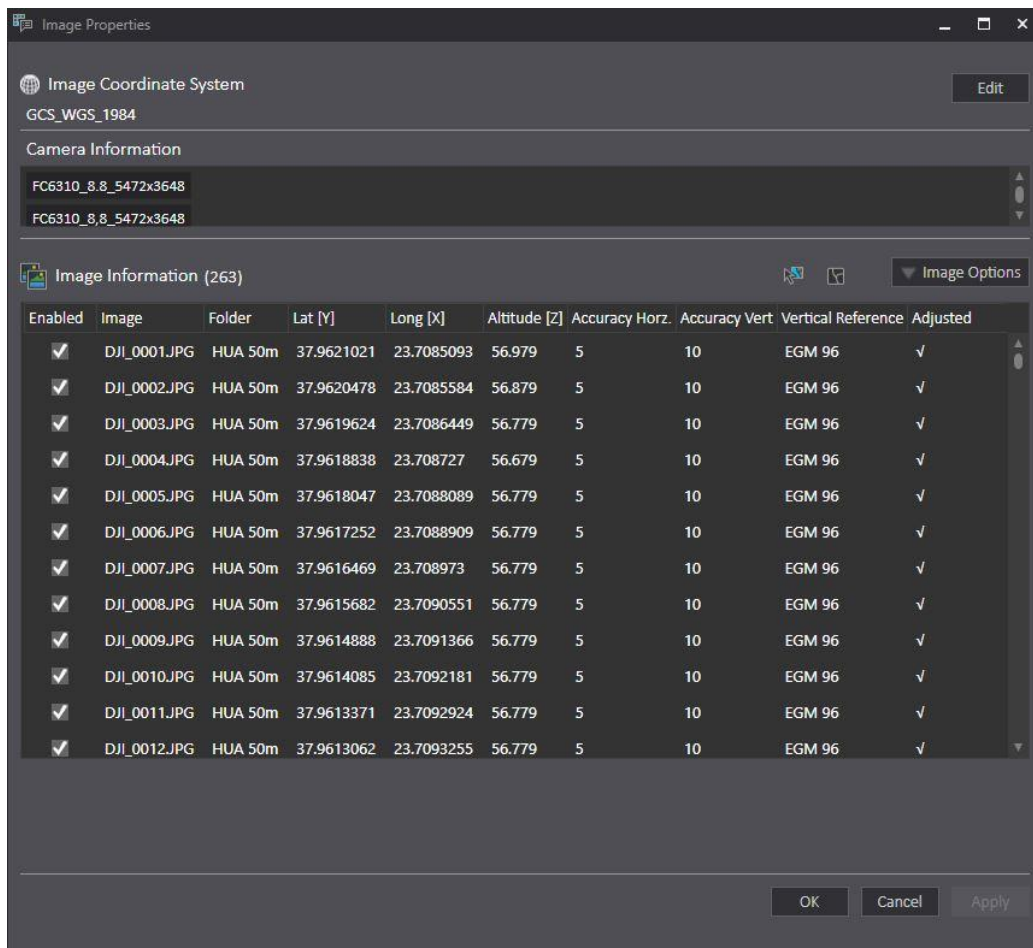
Παράρτημα 1: Ορισμός παραμέτρων πτήσης 50 μέτρων

Information			
Drone	Date	Time	Type
Phantom 4 Pro	3 Ιουν 2018	11:33:13	Double Grid
Location	Dimensions	Overlap	Camera Angle
37,961230°, 23,708177°	172 m x 119 m	80% (72%)	80°
Altitude	Images	Path	Flight time
50 m	265	2615 m	14min:31s

Παράρτημα 2: Γενικές πληροφορίες και παράμετροι πτήσης 50 μέτρων



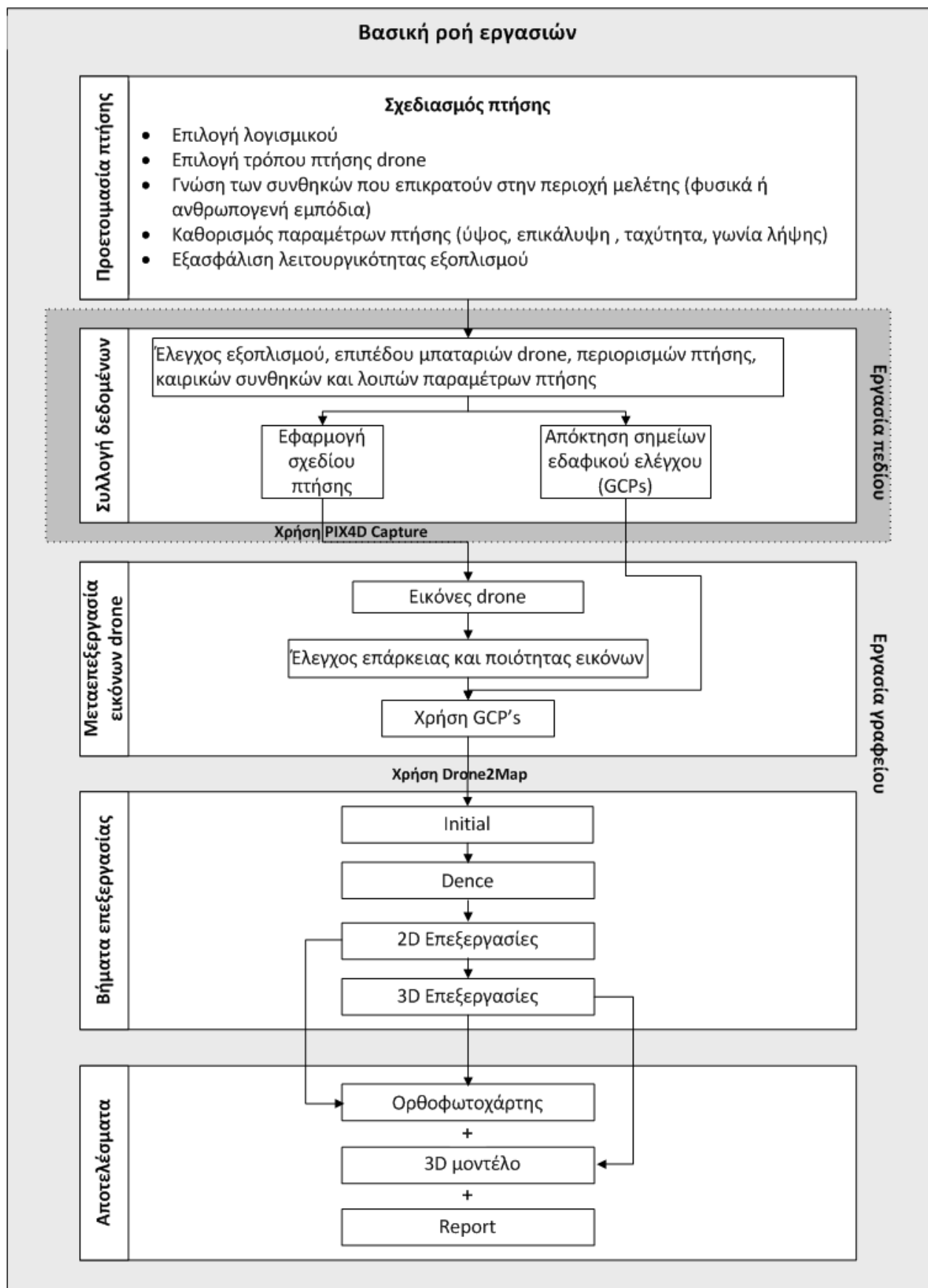
Παράρτημα 3: Τοπογραφικό διάγραμμα Χαροκοπείου Πανεπιστημίου



Παράρτημα 4: Ιδιότητες και πληροφορίες εικόνων



Παράρτημα 5: 3D νέφος σημείων πτήσης 80 μέτρων



Παράρτημα 6: Συνολική ροή εργασιών

Summary

Project	HUA 80m
Processed	2018-04-30 12:19:26
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.09 cm / 0.82 in
Area Covered	0.0579 km ² / 5.7857 ha / 0.0224 sq. mi. / 14.3042 acres
Time for Initial Processing (without report)	01h:07m:29s

Quality Check

Images	median of 59451 keypoints per image	✓
Dataset	123 out of 123 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	0.9% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 20793 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.153 m	⚠

Preview

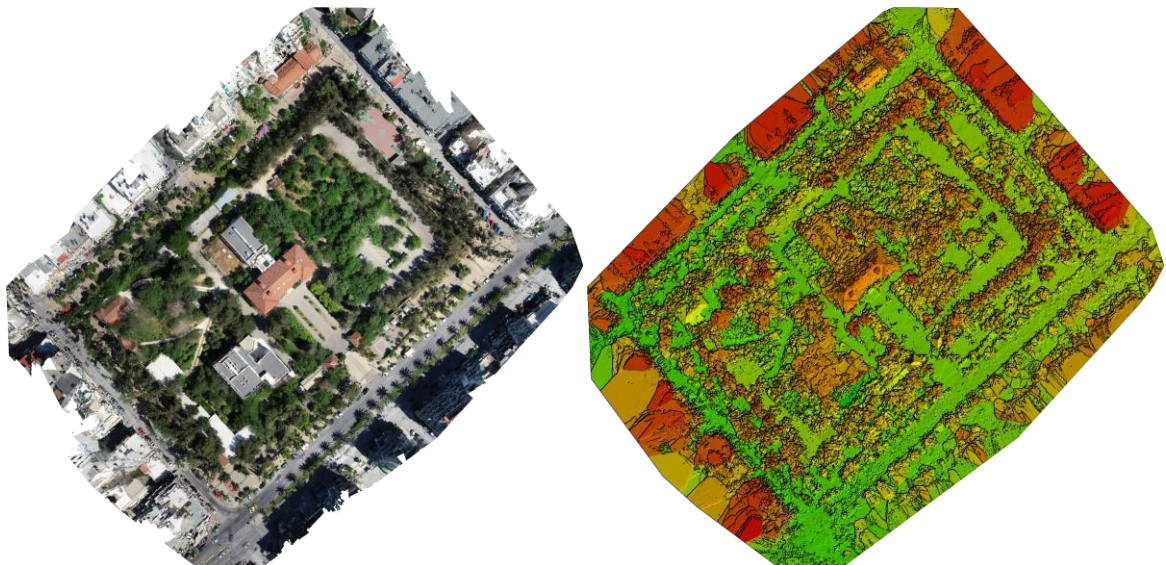


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

³⁰ Για περαιτέρω επεξήγηση των διαδικασιών των Report, βλέπε: <https://doc.arcgis.com/en/drone2map/process-and-share/processing-report.htm> και <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558689-Quality-Report-Help>

Calibration Details

Number of Calibrated Images	123 out of 123	
Number of Geolocated Images	123 out of 123	

Initial Image Positions

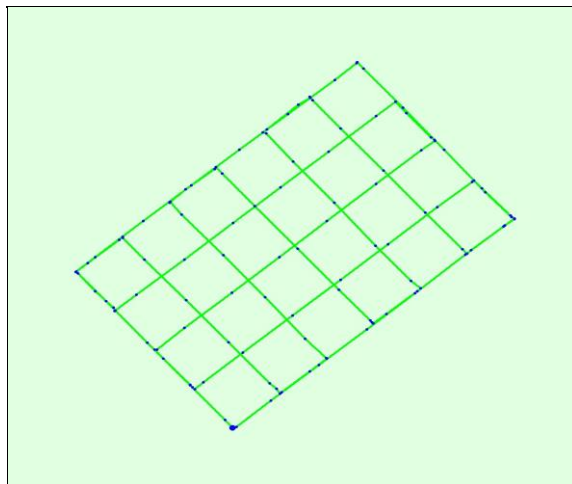
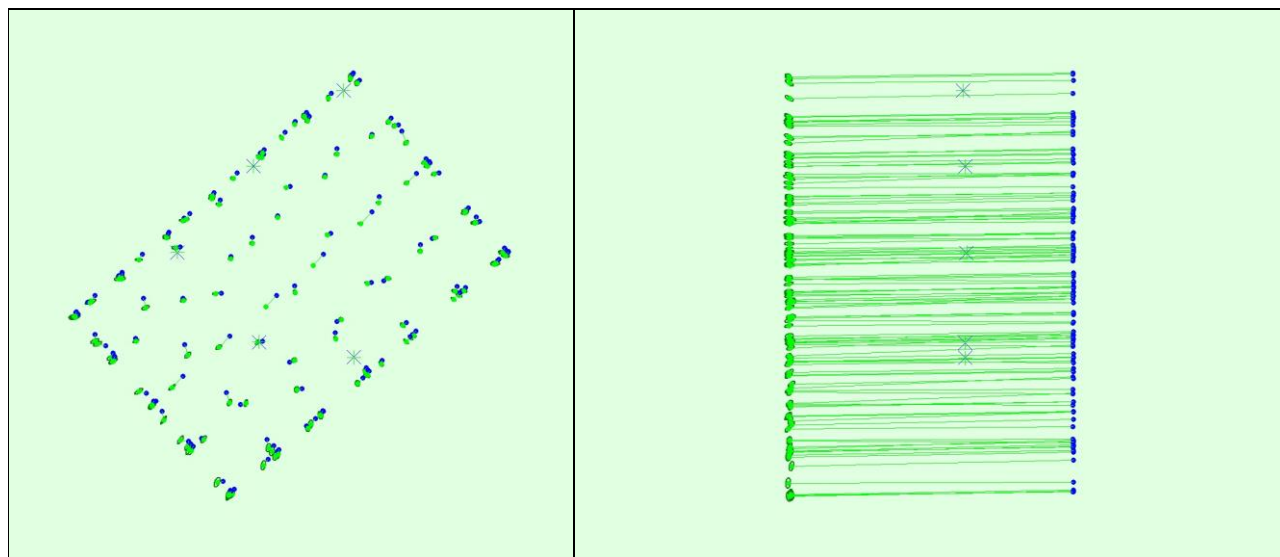
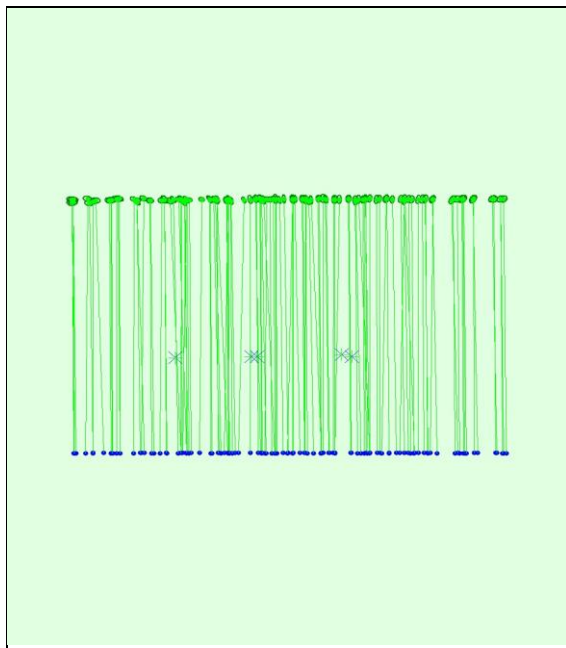


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 100x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.013	0.011	0.016	0.009	0.008	0.002
Sigma	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001

Overlap

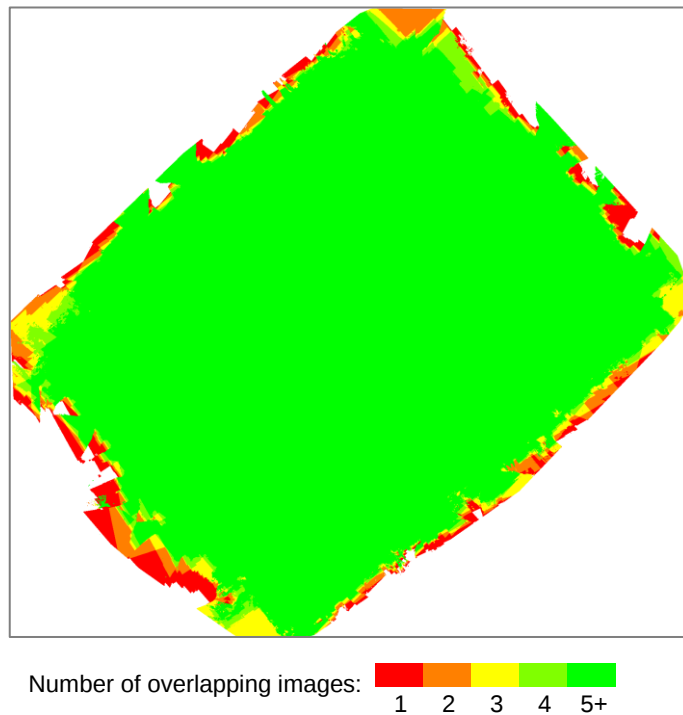


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

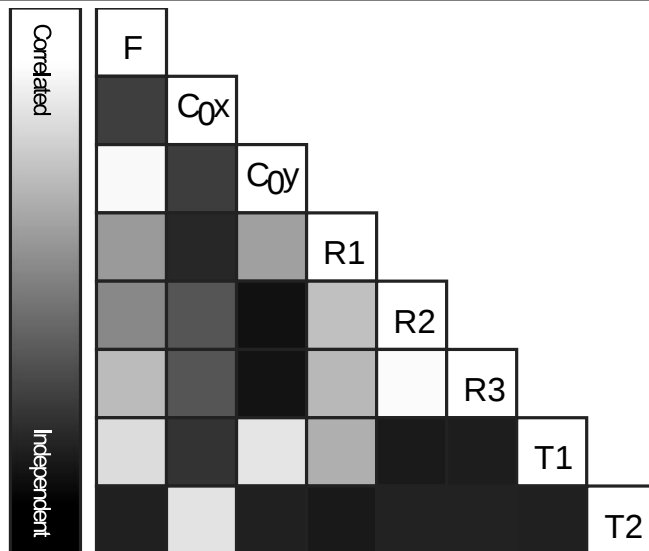
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	2551832
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	946830
Mean Reprojection Error [pixels]	0.203

Internal Camera Parameters

FC6310_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6310_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3702.025 [pixel] 8.682 [mm]	2720.281 [pixel] 6.380 [mm]	1821.374 [pixel] 4.272 [mm]	0.011	-0.015	0.014	-0.000	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.786 [pixel] 0.002 [mm]	0.082 [pixel] 0.000 [mm]	0.283 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



The correlation between camera internal parameters determined by the bundle adjustment. White indicates a full correlation between the parameters, ie. any change in one can be fully compensated by the other. Black indicates that the parameter is completely independent, and is not affected by other parameters.

The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the reprojection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error

2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	59451	20793
Min	49230	7982
Max	75210	38828
Mean	59991	20747

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	662383
In 3 Images	162879
In 4 Images	53562
In 5 Images	22637
In 6 Images	12812
In 7 Images	8428
In 8 Images	5864
In 9 Images	4147
In 10 Images	3062
In 11 Images	2387
In 12 Images	1856
In 13 Images	1471
In 14 Images	1252
In 15 Images	932
In 16 Images	703
In 17 Images	555
In 18 Images	433
In 19 Images	363
In 20 Images	262
In 21 Images	164
In 22 Images	135
In 23 Images	116
In 24 Images	87
In 25 Images	81
In 26 Images	67
In 27 Images	50
In 28 Images	47
In 29 Images	31
In 30 Images	27
In 31 Images	14
In 32 Images	16
In 33 Images	2

In 34 Images	2
In 35 Images	1
In 36 Images	2

2D Keypoint Matches

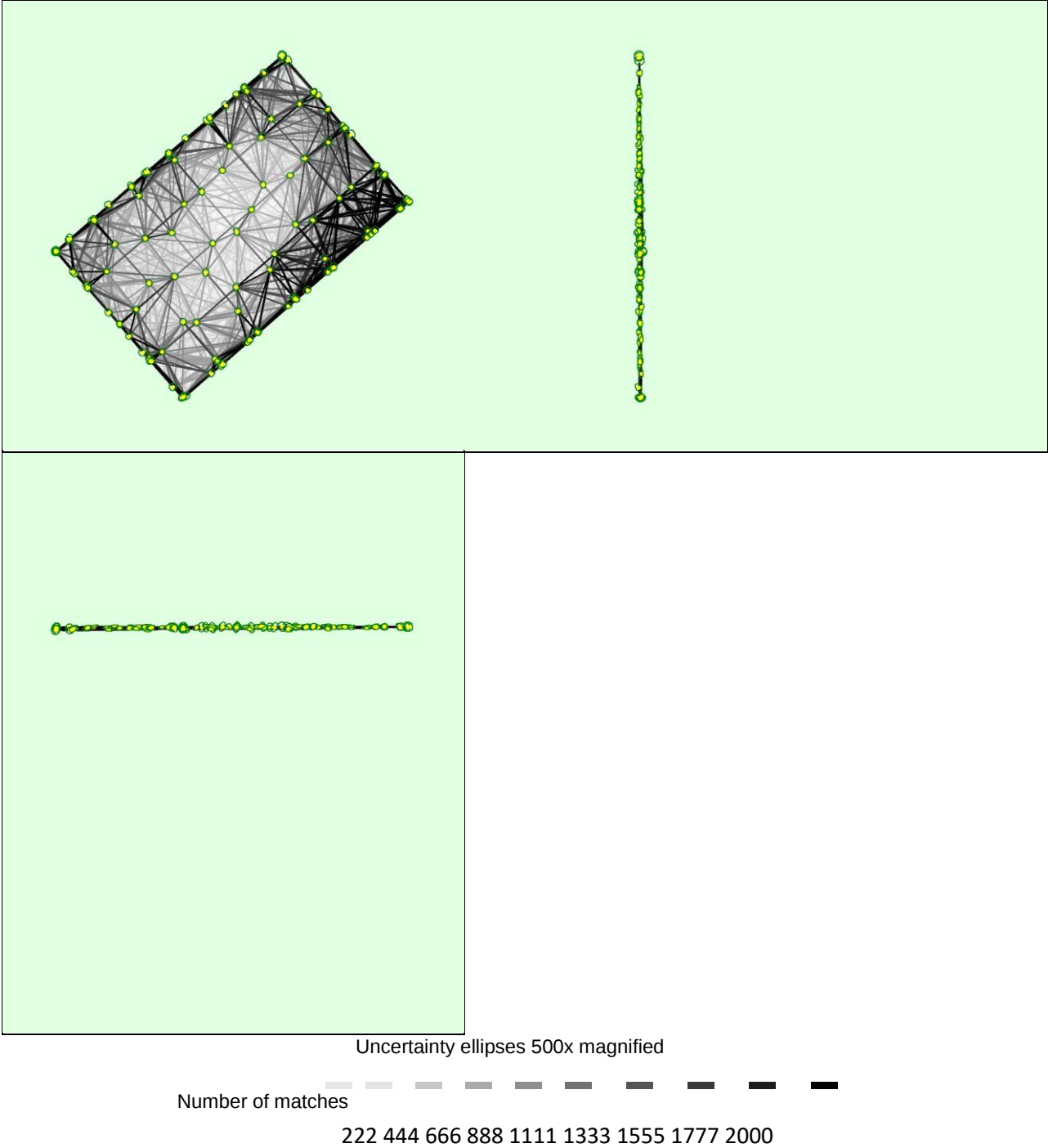


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.004	0.004	0.003	0.006	0.006	0.002
Sigma	0.000	0.000	0.001	0.003	0.003	0.001

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.062	0.422	-0.024	0.852	8 / 8
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.054	-0.304	0.061	0.756	8 / 8
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.124	-0.102	0.181	0.799	8 / 8
19 (3D)	0.020/ 0.020	0.021	-0.050	0.013	0.674	8 / 8
30 (3D)	0.020/ 0.020	0.226	0.019	-0.132	0.734	8 / 8
Mean [m]		0.001367	-0.002928	0.019788		
Sigma [m]		0.121101	0.238123	0.102519		
RMS Error [m]		0.121108	0.238141	0.104411		
Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked						

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	4.07	0.00	0.00
-3.00	0.00	55.28	50.41	68.29
0.00	3.00	35.77	44.72	31.71
3.00	6.00	4.88	4.88	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.889104	1.879754	-125.738437

Sigma [m]		1.380838	1.276435	0.454527
RMS Error [m]		1.642322	2.272171	125.739258

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.889104	1.879754	-125.738437

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU @ 3.20GHz RAM: 16GB GPU: AMD Radeon TM R9 A360 (Driver: 16.300.2201.0)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	GCS_WGS_1984 (2D)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	GCS_WGS_1984 (2D)
Output Coordinate System	WGS84 / UTM zone 34N (2D)

Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1

Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Lever-Arm Parameters Optimization: None Rematch: Auto, yes Bundle Adjustment: Ceres

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: yes
LOD	Generated: yes
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Matching Window Size	7x7 pixels
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	yes
Time for Point Cloud Densification	42m:26s
Time for 3D Textured Mesh Generation	55m:05s

Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	11157604
Average Density (per m ³)	252.79

DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.1 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes
Time for DSM Generation	09m:29s
Time for Orthomosaic Generation	20m:46s

Processing Report 50m



Generated with Drone2Map for ArcGIS

Summary

Project	HUA_elias
Processed	2018-06-12 15:44:19
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.32 cm / 0.52 in
Area Covered	0.043 km ² / 4.3016 ha / 0.0166 sq. mi. / 10.635 acres
Time for Initial Processing (without report)	31m:36s

Quality Check

Images	median of 66587 keypoints per image	✓
Dataset	263 out of 263 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	0.51% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 11652 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.124 m	⚠

Preview

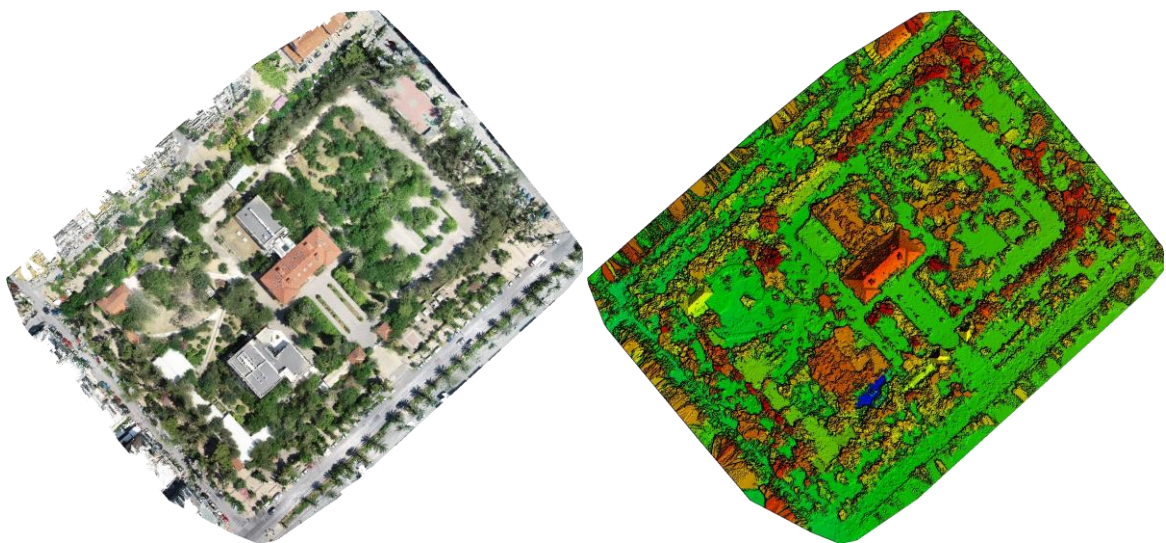


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	263 out of 263
Number of Geolocated Images	263 out of 263

Initial Image Positions

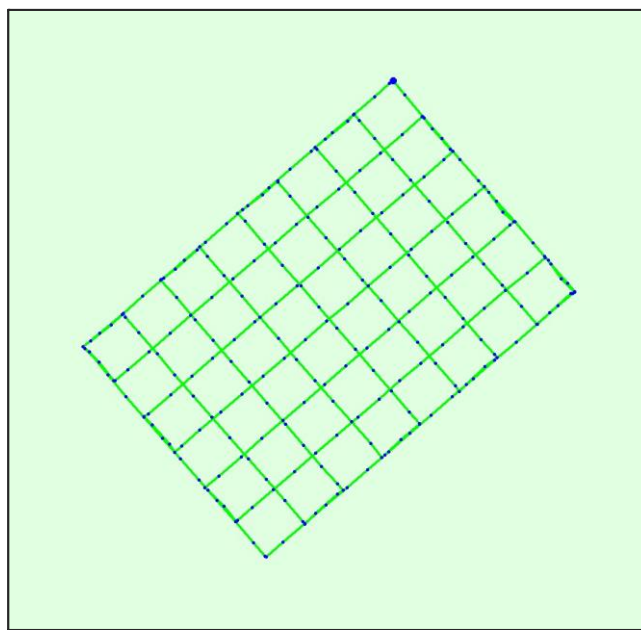
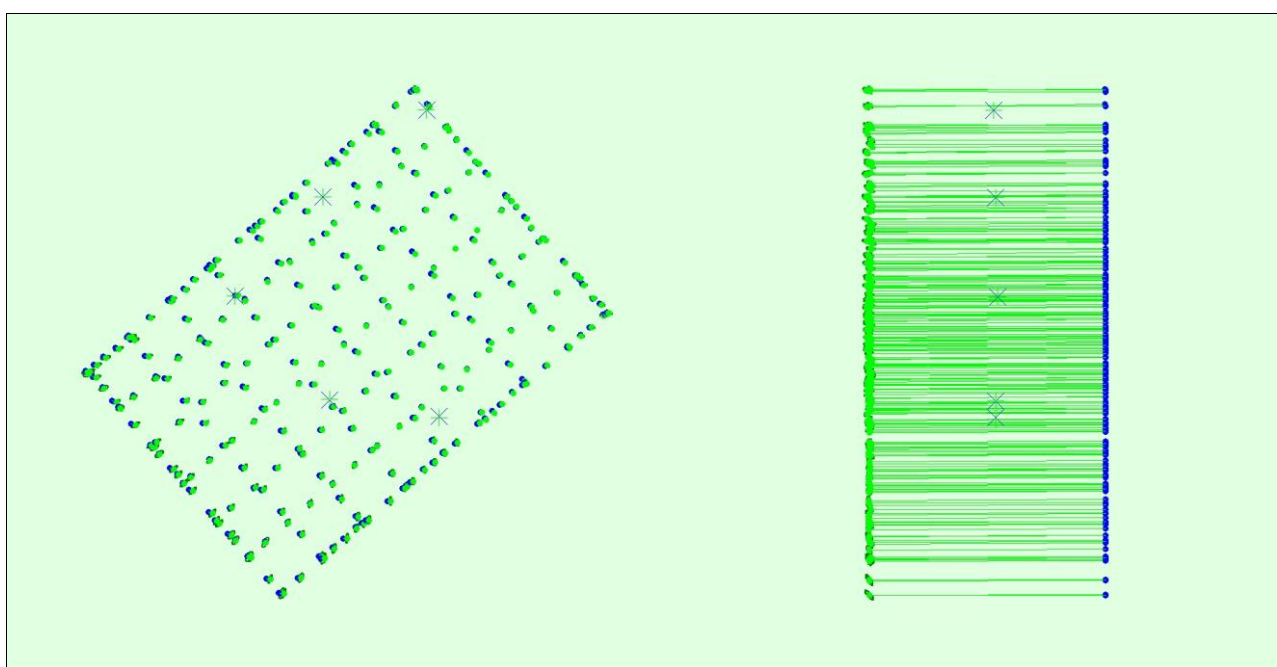
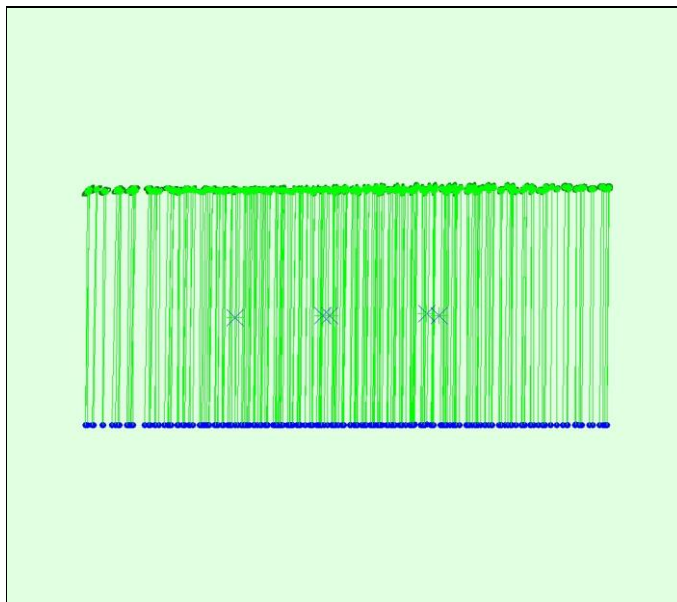


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 100x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.010	0.009	0.012	0.011	0.011	0.003
Sigma	0.003	0.004	0.002	0.004	0.005	0.001

Overlap

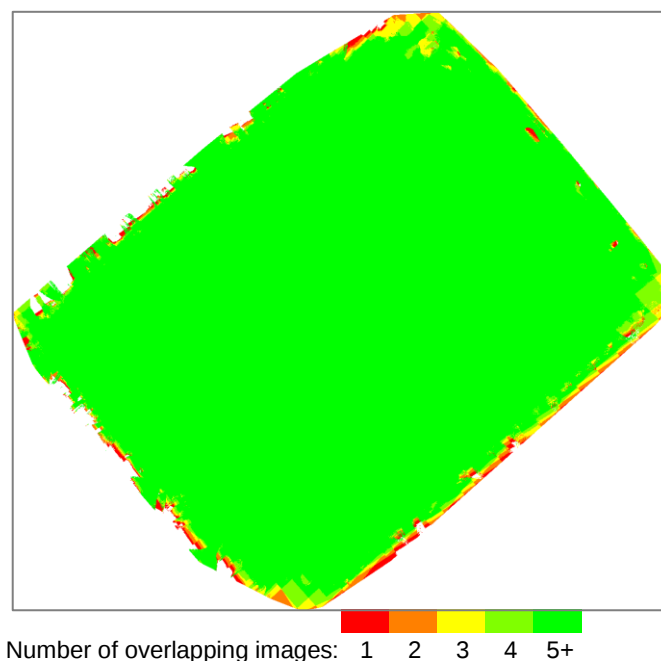


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

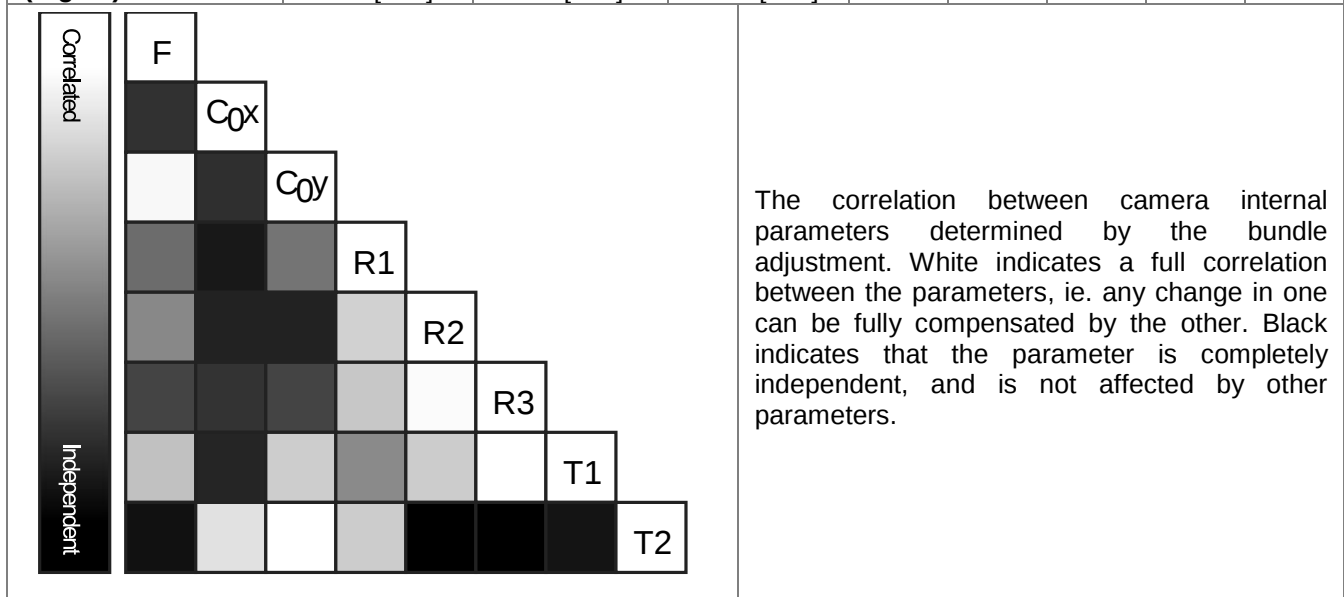
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	3515763
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1330334
Mean Reprojection Error [pixels]	0.205

Internal Camera Parameters

FC6310_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6310_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3687.581 [pixel] 8.648 [mm]	2722.401 [pixel] 6.385 [mm]	1826.623 [pixel] 4.284 [mm]	0.010	-0.013	0.012	-0.000	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.791 [pixel] 0.002 [mm]	0.088 [pixel] 0.000 [mm]	0.283 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the reprojection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error

2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	66587	11652
Min	44094	4191
Max	79875	28495
Mean	65650	13368

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	974148
In 3 Images	190203
In 4 Images	68597
In 5 Images	33695
In 6 Images	19529
In 7 Images	12370
In 8 Images	8443
In 9 Images	5932
In 10 Images	4217
In 11 Images	3173
In 12 Images	2354
In 13 Images	1758
In 14 Images	1368
In 15 Images	1094
In 16 Images	828
In 17 Images	631
In 18 Images	499
In 19 Images	354
In 20 Images	308
In 21 Images	226
In 22 Images	154
In 23 Images	116
In 24 Images	89
In 25 Images	62
In 26 Images	63
In 27 Images	32
In 28 Images	22
In 29 Images	28
In 30 Images	11
In 31 Images	12
In 32 Images	8

In 33 Images	5
In 35 Images	4
In 38 Images	1

2D Keypoint Matches

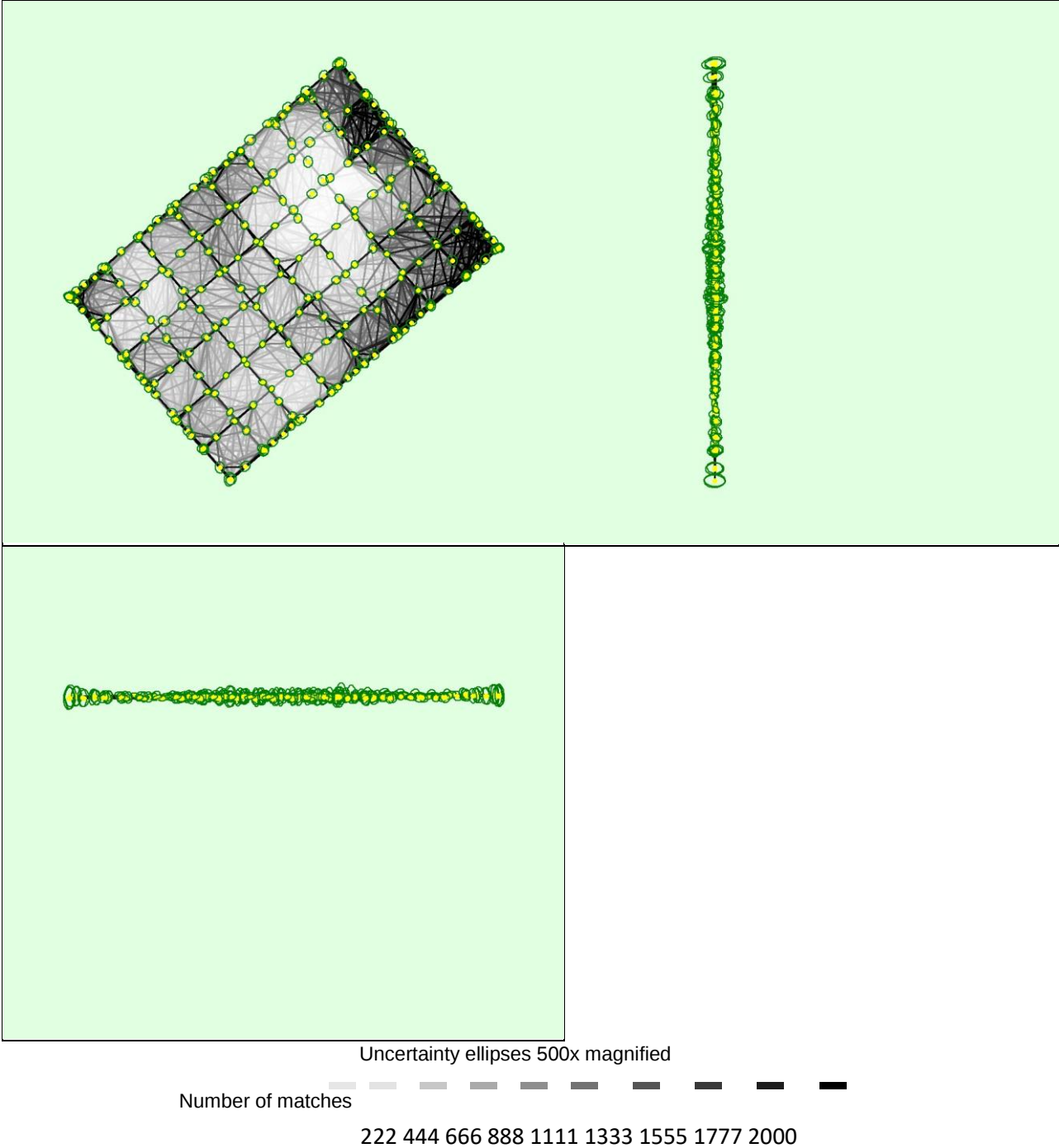


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.”

Relative camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.004	0.004	0.005	0.010	0.010	0.003
Sigma	0.001	0.001	0.002	0.004	0.004	0.001

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.075	0.422	-0.001	0.803	8 / 8
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.066	-0.297	-0.045	0.641	8 / 8
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.107	-0.100	0.018	0.794	8 / 8
19 (3D)	0.020/ 0.020	0.043	-0.053	-0.001	0.458	6 / 6
30 (3D)	0.020/ 0.020	0.206	0.024	0.009	0.461	8 / 8
Mean [m]		0.000184	-0.000681	-0.004051		
Sigma [m]		0.114462	0.236594	0.021688		
RMS Error [m]		0.114462	0.236595	0.022063		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	47.53	50.19	50.19
0.00	3.00	52.47	49.81	49.81
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.799734	0.261194	-90.749978
Sigma [m]		0.427985	0.290773	0.530388
RMS Error [m]		0.907054	0.390859	90.751528

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.799734	0.261194	-90.749978

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-5600U CPU @ 2.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) HD Graphics 5500 (Driver: 20.19.15.4835)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	GCS_WGS_1984 (egm96)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	GCS_WGS_1984 (egm96)
Output Coordinate System	WGS84 / UTM zone 34N (egm96)

Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic

Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Lever-Arm Parameters Optimization: None Rematch: Auto, yes Bundle Adjustment: Ceres
-----------------------	---

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: High Resolution Color Balancing: yes
LOD	Generated: yes
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Matching Window Size	7x7 pixels
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	yes
Time for Point Cloud Densification	03h:17m:52s
Time for 3D Textured Mesh Generation	03h:15m:26s

Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	31435240
Average Density (per m ³)	1043.46