

Ερμιόνη-Ειρήνη Παπαδοπούλου, Υποψήφια Διδάκτορας
Χρήστος Χατζηθεοδώρου, Μεταπτ. Φοιτητής
Χρήστος Βασιλάκος, Ph.D., Ε.Δι.Π.
Νικόλαος Σουλακέλλης, Καθηγητής
Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

erapa@geo.aegean.gr, geom17027@geo.aegean.gr, chvas@aegean.gr, nsoul@aegean.gr

Διερεύνηση σχεδίων πτήσης μη επανδρωμένων αεροσκαφών για τη δημιουργία 3D νεφών σημείων πληγέντων κτηρίων μετά από σεισμό. Η περίπτωση του σχολείου των Βασιλικών, Λέσβου

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η διερεύνηση σχεδίων πτήσης Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) για τη δημιουργία τρισδιάστατων (3D) γεωοπτικοποιήσεων, πληγέντων κτηρίων μετά από έναν σεισμό. Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε είναι το Δημοτικό Σχολείο των Βασιλικών, Λέσβου μετά τον καταστροφικό σεισμό της 12ης Ιουνίου 2017. Αναλυτικότερα, σχεδιάστηκαν τρία διαφορετικά σενάρια σχεδίων πτήσης με εξειδικευμένο λογισμικό: α) Elipse, β) Sitiescan, γ) Topdown. Τα σενάρια των πτήσεων αποτελούνταν από διαφορετικές παραμέτρους όπως το υψόμετρο, η απόσταση από το κτήριο, η γωνία λήψης φωτογραφιών, η εμπρόσθια και πλάγια επικάλυψη και η πορεία του αεροσκάφους. Τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν από κάθε πτήση ήταν φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης 12 Mp.

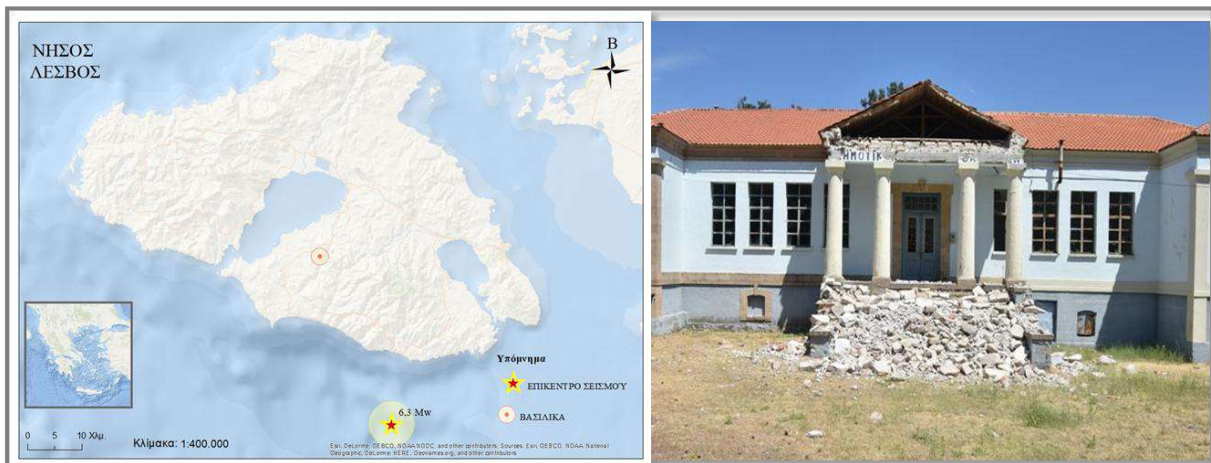
Συνολικά προέκυψαν τρία πακέτα δεδομένων, διαφορετικού πλήθους φωτογραφιών στα οποία εφαρμόστηκαν οι αλγόριθμοι Structure from Motion (SfM) και Multi Stereo View (MSV) προκειμένου να παραχθούν τα αντίστοιχα τρισδιάστατα (3D) νέφη σημείων. Η αξιολόγηση των παραγόμενων 3D νεφών πραγματοποιήθηκε με: α) μετρήσεις της πυκνότητάς τους, β) το πλήθος των γειτονικών σημείων κάθε σημείου και γ) τις ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ σημείων στα νέφη καθώς η επαλήθευση τους έγινε με μετρήσεις πεδίου.

Τα αποτελέσματα των αξιολογήσεων έδειξαν διαφοροποιήσεις στην πυκνότητα των σημείων αλλά και την γεωμετρική τους αναπαράσταση. Το σενάριο το οποίο απέδωσε με υψηλότερη ανάλυση και μεγαλύτερη ακρίβεια την 3D γεωοπτικοποίηση του σχολείου των Βασιλικών ήταν το Sitiescan.

Λέξεις κλειδιά: Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών(ΣμηΕΑ), σχέδιο πτήσης, νέφος σημείων

1. Εισαγωγή

Στις 12 Ιουνίου 2017 στο ΒΑ Αιγαίο και ΝΔ της Νήσου Λέσβου σημειώθηκε σεισμός μεγέθους 6,3 Mw, καταστρέφοντας εν μέρει τον παραδοσιακό οικισμό, της Βρίσας και προκαλώντας σημαντικές βλάβες σε γειτονικούς οικισμούς (Kiritzi, 2018). Ένα από αυτά είναι ο ορεινός οικισμός των Βασιλικών, ο οποίος υπέστη τις συνέπειες του καταστροφικού σεισμού. Ειδικότερα, στο δημοτικό σχολείου του οικισμού προκλήθηκαν εκτεταμένες ζημιές στην πρόσοψη και στην οροφή του κτηρίου καταστρέφοντας ένα σημείο αναφοράς για τους κατοίκους. Κρίθηκε συνεπώς αναγκαία η λεπτομερή καταγραφή του κτηρίου ώστε να γίνει εκτίμηση των βλαβών που υπέστη. Η εκτίμηση και διαχείριση ζημιών μετά ένα σεισμό απαιτεί αξιόπιστες, ακριβείς και υψηλής ανάλυσης χωρικές πληροφορίες ειδικά σε περιπτώσεις που έχουν προκύψει ζημιές στην κατασκευή (Wegscheider et al., 2013). Η γεωπληροφορική τις περισσότερες φορές παρέχει αξιόπιστες 2D χωρικές πληροφορίες και σπανιότερα, μόνο για πολύ εξαιρετικές περιπτώσεις, όπως τα κτίρια με αρχαιολογικό ενδιαφέρον, παράγονται διαδοχικά πληροφορίες 3D για να τεκμηριώσουν τις επιπτώσεις του σεισμού πάνω τους (Soulakellis et al., 2018). Τα τελευταία χρόνια, και λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την επιστήμη της φωτογραμμετρίας, η τρισδιάστατη χαρτογράφηση γίνεται πιο διαδεδομένη. Η εμφάνιση των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) κατέστησε τη συλλογή εναέριων δεδομένων πιο προσιτή διαδικασία στους ερευνητές. Αναλυτικότερα, σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπως στην περίπτωση της Βρίσας (Parakonstantinou, 2018) η χρήση ΣμηΕΑ απέδωσε αξιόπιστη 3D γεωχωρική πληροφορία.



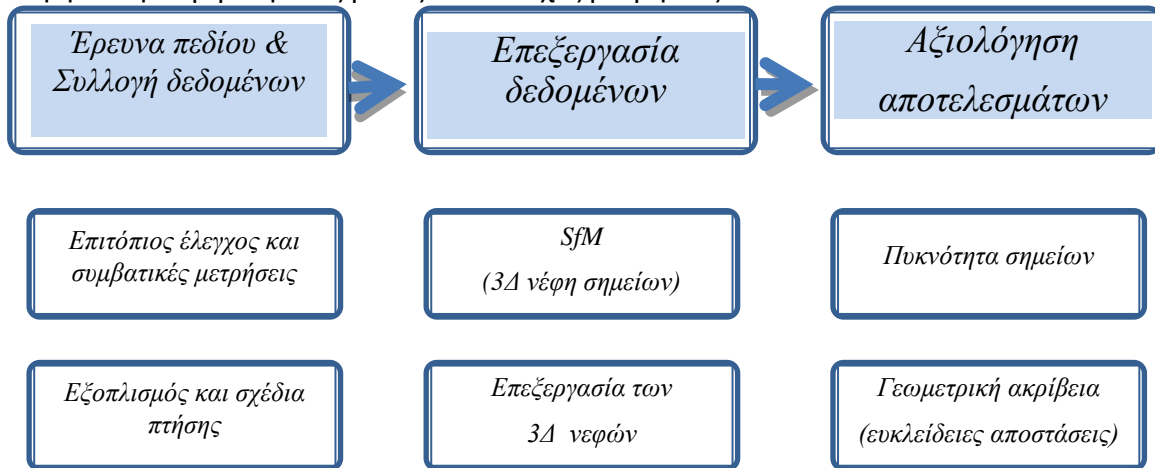
Χάρτης 2 : Στον παραπάνω χάρτη παρουσιάζεται το επίκεντρο του σεισμού ΝΑ της Λέσβου και η θέση του Χωριού των Βασιλικιών

Εικόνα 1 : Πρόσοψη του σχολείου των Βασιλικών, 13 Ιουνίου 2017

2. Μεθοδολογία

Η συγκεκριμένη εργασία αποτελείται από τρία διακριτά στάδια: α) έρευνα πεδίου και συλλογή δεδομένων, β) επεξεργασία δεδομένων και γ) αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (Διάγραμμα 1). Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την έρευνα πεδίου, όπου έγιναν μετρήσεις ευκλείδειων αποστάσεων στις όψεις του κτηρίου με συμβατικές μεθόδους και επιτόπιος έλεγχος της περιοχής μελέτης για τον σχεδιασμό των πτήσεων. Αναλυτικότερα υλοποιήθηκαν τρία σχέδια πτήσης: α) "Top-Down", β) "Ellipse", γ) "Site Scan". Στο δεύτερο στάδιο της επεξεργασίας, υλοποιήθηκε η φωτογραμμετρική επεξεργασία και η εφαρμογή του αλγόριθμου Structure From Motion (SfM) για την δημιουργία των 3D νεφών σημείων, για κάθε σενάριο πτήσης καθώς και η περαιτέρω "επεξεργασία" των 3D νεφών από

εξειδικευμένα λογισμικά για την οριοθέτηση της περιοχής και την διαγραφή τμημάτων του συνολικού νέφους. Στο τρίτο στάδιο εφαρμόστηκαν δύο μεθόδων αξιολόγησης στα νέφη σημείων των τριών σεναρίων που παρήχθησαν. Η πρώτη μέθοδος αφορά την πυκνότητα των σημείων του κάθε νέφους ενώ η δεύτερη την μέτρηση ευκλείδειων αποστάσεων στα 3Δ νέφη και η σύγκριση τους με τις αντίστοιχες μετρήσεις πεδίου.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας για την διερεύνηση σχεδίων πτήσης

2.1 Έρευνα πεδίου και Συλλογή δεδομένων

2.1.1 Επιτόπιος έλεγχος και συμβατικές μετρήσεις

Τον Δεκεμβρίου του 2017 πραγματοποιήθηκε ο επιτόπιος έλεγχος της περιοχής μελέτης, όπου ελέγχθηκε η ευρύτερη περιοχή για πιθανά εμπόδια όπως υψηλή βλάστηση, στύλοι ηλεκτροδότησης και κατοικίες. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκε το βέλτιστο σημείο απογείωσης, το οποίο βρίσκεται εσωτερικά του οικοπέδου στο οποίο στεγάζεται το σχολείο και το βέλτιστο σημείο παρατήρησης του αεροσκάφους κατά τη διάρκεια της πτήσης, παρακείμενα του δρόμου. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν στόχοι ελέγχου ακρίβειας στην πρόσοψη του κτηρίου. Οι στόχοι, είχαν κοινό μοτίβο, τύπου σκακιέρας και διαστάσεις (10εκ. x 10εκ.). Τελικά, πραγματοποιήθηκαν συμβατικές μετρήσεις μεταξύ των στόχων και μεταξύ της βάσης του κτηρίου με κάθε στόχο ξεχωριστά. Στην παρακάτω Εικόνα 2 φαίνονται οι στόχοι στην πρόσοψη του κτηρίου. Πριν την απογείωση του ΣμηΕΑ, ελέγχθηκαν οι καιρικές συνθήκες, όπου διαπιστώθηκαν συνθήκες άπνοιας, με



Εικόνα 1: Τοποθετημένοι στόχοι στην πρόσοψη του κτηρίου

ταχύτητα του ανέμου μικρότερη από 3 χλμ./ώρα (Eisenbeiss, 2008).

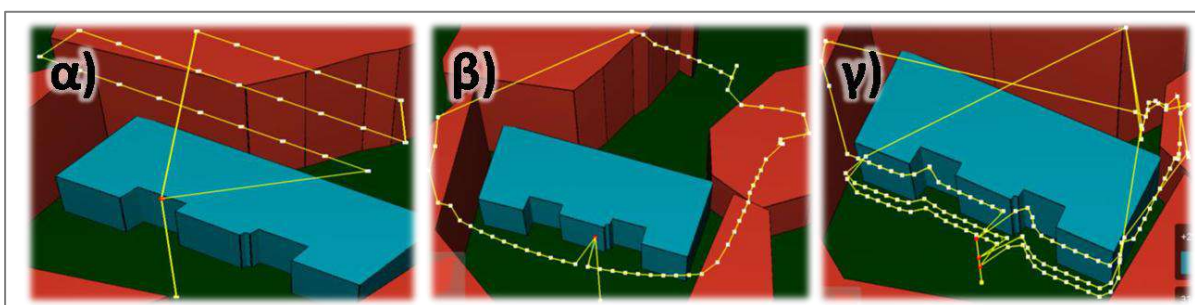
2.1.2 Εξοπλισμός

Η πλατφόρμα ΣμηΕΑ που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή του σχολείου ήταν το Phantom 4 (Εικόνα 3). Το τετρακόπτερο αποτελείται από τέσσερις κινητήρες, την κάμερα με τον σταθεροποιητή κίνησης καθώς και το σύστημα του πιλότου που είναι υπεύθυνο για την σωστή εκτέλεση των απαραίτητων διεργασιών κατά την πτήση όπως αυτές ορίζονται από το σχέδιο πτήσης. Το τετρακόπτερο διαθέτει ενσωματωμένη κάμερα με ανάλυση 12Μpx με αισθητήρα CMOS (1/2.3 inch) διαστάσεων 6.17 mm x 3.47 mm. Ο προσαρμοσμένος φακός επιτρέπει οπτικό πεδίο 94° με σταθερό διάφραγμα f/2.8 και εστίαση στο άπειρο. Η κάμερα είναι προσαρμοσμένη σε έναν τρι-αξονικό σταθεροποιητή κίνησης προσαρμοζόμενης ευαισθησίας με ακρίβεια $\pm 0.02^\circ$. Ο σταθεροποιητής κίνησης επιτρέπει την μεταβολή στην κλίση της κάμερας κατά την διάρκεια των αυτοματοποιημένων πτήσεων παίρνοντας θέση από μηδέν έως ενενήντα μοίρες. Το συγκεκριμένο μοντέλο διαθέτει σύστημα GPS & GLONASS για να προσδιορίζει την θέση του και ένα εξελιγμένο σύστημα υπερήχων σε συνδυασμό με οπτική αναγνώριση για την ακριβή μέτρησης του ύψους έως και δέκα μέτρα αλλά και την αποφυγή εμποδίων. Η ακρίβεια θέσης του είναι ± 0.5 μέτρα κατακόρυφα και ± 1.5 μέτρα οριζόντια (<https://www.dji.com/phantom-4>).

2.1.3 Σχέδια πτήσης

Πριν από κάθε πτήση πρέπει να επιλεγεί ο τρόπος πτήσης του ΣμηΕΑ. Αυτό εξαρτάται από τον σκοπό της πτήσης αλλά και από τις δυνατότητες του αεροσκάφους. Τα πρόσφατα μη επανδρωμένα αεροσκάφη έχουν φτάσει σε μία κατάσταση ανάπτυξης η οποία επιτρέπει στον χειριστή να πλοηγήσει το αεροσκάφος σε τρεις ξεχωριστές λειτουργίες (Eisenbeiss, 2009).

1. Με χειροκίνητο τρόπο: Το ΣμηΕΑ ελέγχεται απόλυτα ελεύθερα από τον χειριστή χωρίς καμία παρεμβολή από τα ηλεκτρονικά συστήματα και τον αυτόνομο πιλότο.
2. Ημί-αυτόματα : Ο ηλεκτρονικός πιλότος αλλά και ο χειριστής μπορούν να ελέγξουν το ΣμηΕΑ βάση εντολών αφού το σκάφος διατηρεί την θέση του χρησιμοποιώντας το ενσωματωμένο σύστημα GPS.
3. Αυτόνομη πτήση: Ο χειριστής επιτρέπει τον πλήρη έλεγχο του σκάφους στον ηλεκτρονικό πιλότο βάση ενός προσχεδιασμένου τρόπου πτήσης (Eisenbeiss & Institute, 2008).



Εικόνα 2: Στην εικόνα παρουσιάζεται το σενάριο πτήσης α) "Top Down", β) "Elipse" και γ) "Site Scan"

Στη συγκεκριμένη εργασία οι πτήσεις ήταν αυτόνομες και σχεδιάστηκαν από την εφαρμογή Drone Harmony. Αναλυτικότερα, σχεδιάστηκαν τρία διαφορετικά σχέδια πτήσης. Το πρώτο "Top-Down" (Εικόνα 4α) ακολούθησε πορεία παράλληλη με την οροφή του κτηρίου σχηματίζοντας ένα δίκτυο παράλληλων γραμμών. Το ύψος της συγκεκριμένης πτήσης ήταν στα 34μ από το σημείο απογείωσης και η γωνία της κάμερας κάθετη προς το έδαφος. Η

εμπρόσθια και πλευρική επικάλυψη ορίστηκε στο 85%. Το ΣμηΕΑ πέταξε για 11 λεπτά και συνέλεξε 101 φωτογραφίες, με χωρική ανάλυση 0,99 εκ. Η δεύτερη αποστολή ήταν η "Ellipse" (Εικόνα 4β). Το μοτίβο που ακολουθήθηκε ήταν σε έλλειψη περιμετρικά από το σχολείο, σε ύψος 31μ, με την γωνία της κάμερας στις 45°. Η επικάλυψη στη συγκεκριμένη πτήση ήταν πλάγια και καθορίστηκε στο 85%. Η διάρκεια της πτήσης ήταν 16 λεπτά και συγκεντρώθηκαν 57 φωτογραφίες με χωρική ανάλυση 0,9 εκ. Το "SiteScan" (Εικόνα 4γ) ήταν το τρίτο σχέδιο πτήσης που προγραμματίστηκε και η πορεία που ακολούθησε το αεροσκάφος ήταν σύνθετη. Το συγκεκριμένο σχέδιο συνδυάζει περιμετρικές και κάθετες πτήσεις. Πιο συγκεκριμένα εκτέλεσε τρεις περιμετρικές γραμμές σάρωσης, στα 3μ, 21μ, 31μ με διαφορετικές γωνίες λήψης στην κάμερα από 30°-90°, καθώς και μια κάθετη πτήση παράλληλα με την σκεπή του σχολείου στα 31μ. ύψος. Η πλάγια και οριζόντια επικάλυψη του ήταν σταθερή 85%, ο συνολικός χρόνος πτήσης ήταν 34 λεπτά κα συγκεντρώθηκαν 188 φωτογραφίες.

Τα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν για κάθε τύπο σχεδίου πτήσης παρατίθεντο στους παρακάτω Πίνακα 1, Πίνακα 2 και Πίνακα 3.

Μοτίβο	Perimeter	Top-Down
Πλάγια επικάλυψη	85%	85%
Εμπρόσθια επικάλυψη	85%	85%
Απόσταση από την οροφή/ κτήριο	3m	21m
Ελάχιστο ύψος πτήσης	6m	31m
Μέγιστο ύψος πτήσης	3m	3m

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά σχεδίου πτήσης "SiteScan"

Μοτίβο	Ellipse	Top-Down
Πλάγια επικάλυψη	85%	85%
Εμπρόσθια επικάλυψη	-	85%
Ύψος πτήσης	31m	34m
Γωνία κάμερας	45°	90°

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά σχεδίου πτήσης "Ellipse" και "Top-Down"

2.2 Επεξεργασία δεδομένων

2.2.1 Δημιουργία 3D νεφών σημείων (SfM)

Πριν από την επεξεργασία των δεδομένων για τη δημιουργία των 3D νεφών σημείων απαιτείται ποιοτικός έλεγχος των φωτογραφιών. Συνεπώς, έγινε οπτικός έλεγχος σε όλες τις εικόνες οι οποίες συλλέχθηκαν. Από τον ποιοτικό έλεγχο προέκυψε πως είναι κατάλληλες για φωτογραμμετρική επεξεργασία με τη χρήση του αλγόριθμου Structure from Motion (SfM). Η εφαρμογή του SfM μέσω του λογισμικού Context Capture by Bentley Systems. Αναλυτικότερα, ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, αποτελείται από ένα σύνολο επιμέρους αλγορίθμων όπως ο Scale-invariant feature transform (SIFT) (Lowe, 1999), και Random sample consensus (Ransac) (Martin A, 1981). Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο στάδιο εφαρμογής του SfM γίνεται η συνταύτιση χαρακτηριστικών σημείων μέσω του SIFT. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ο Ransac, ο οποίος ελέγχει την κατανομή των σημείων αποκλείοντας αυτά τα οποία έχουν τοποθετεί λανθασμένα στον τρισδιάστατο χώρο.

Ημερομηνία		7/12/2017		
Τύπος πτήσης	<i>Top-Down</i>	<i>Elipse</i>	<i>SiteScan</i>	
Ώρα πτήσης	11:09	12:40	11:35	
Διάρκεια πτήσης	11 λ.	16 λ.	38 λ.	
Υψόμετρο	34 μ.	31 μ.	6-9-15 m.	
Τύπος ΣμηΕΑ		Τετρακόπτερο		
Ανάλυση κάμερας		12 MP		
Εστιακή απόσταση		3.64mm		
Μέγεθος αισθητήρα		Width:6.3mm Height:4.7mm		
Μέγεθος πίξελ	1.55 μ.μ	1.55 μ.μ	1.55 μ.μ	
Γωνία κάμερας	90°	45°	0° - 90°	
Χωρική ανάλυση (πίξελ)	0.99	0.9	0.09	
Φωτογραφίες	101	57	188	

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά των σχεδίων πτήσης

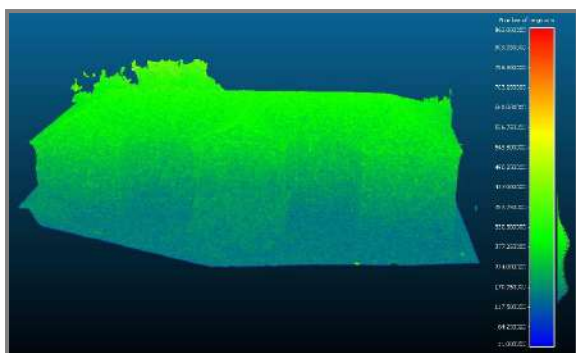
2.2.2 Επεξεργασία των 3D νεφών σημείων

Τα νέφη σημείων τα οποία παράχθηκαν διαθέτουν πληροφορίες για έκταση εκτός του ορίου ενδιαφέροντος το οποίο περιορίζεται στο κτήριο του σχολείου και στα παρακείμενα χαλάσματα μπροστά στα σκαλιά. Με την χρήση του CloudCompare περιορίστηκε το νέφος στις επιθυμητές διαστάσεις ούτως ώστε να μην περιέχει περιττή πληροφορία. Η διαδικασία αυτή έγινε και για τα τρία νέφη με τις ακριβώς ίδιες διαστάσεις αλλά και γεωγραφικές συντεταγμένες (CloudCompare, version 2.1) [GPL software] (2017), Retrieved from <http://www.cloudcompare.org/>

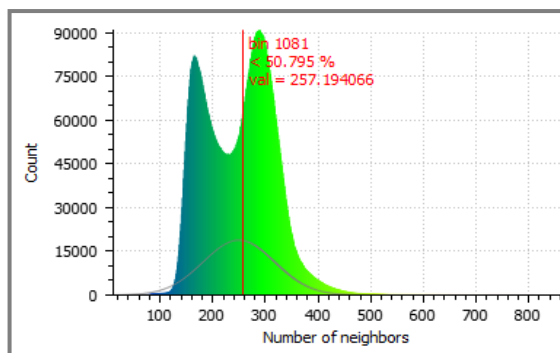
2.3 Αξιολόγηση των νεφών

2.3.1 Ανάλυση πυκνότητας

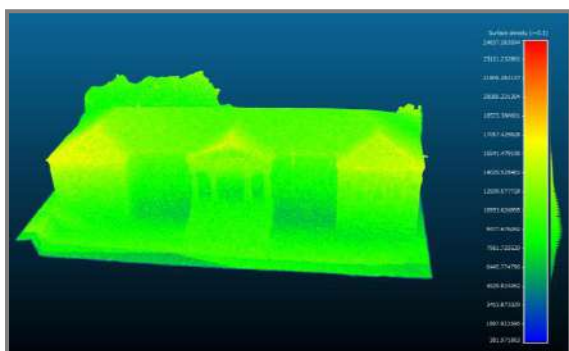
Πρώτη μέθοδος αξιολόγησης των 3D νεφών ήταν με την ανάλυση πυκνότητας σημείων στο λογισμικό Cloud Compare. Η συγκεκριμένη ανάλυση, υπολογίζει για κάθε σημείο τον αριθμό των γειτόνων N, μέσα σε μια σφαίρα ακτίνας R (Chiabrando et. all, 2017), στη συγκεκριμένη περίπτωση η ακτίνα ορίστηκε 0.1m και εφαρμόστηκε σε κάθε νέφος ξεχωριστά. Η ανάλυση πυκνότητας για τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την πτήση "Top-Down", δείχνει πως η περιοχή στην οποία το νέφος παρουσιάζει μεγαλύτερη πυκνότητα είναι στην οροφή του κτηρίου (Εικόνα 5) και στα κατώτερα τμήματα του 3D νέφους. Από το Ιστόγραμμα 1 μπορεί να παρατηρηθεί πως υπάρχουν δύο ζώνες μεγάλης συγκέντρωσης γειτόνων. Το ενδιάμεσο σημείο της πρόσοψης παρόλα αυτά δεν μπορεί να αποδοθεί με μεγάλη λεπτομέρεια. Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται η πυκνότητα των σημείων που προκύπτει από το σχέδιο πτήσης "Elipse". Παρατηρείται, πως η κατανομή των σημείων είναι ομοιόμορφη (Ιστόγραμμα 2), με ελάχιστες υψηλές συγκεντρώσεις στην παρειά της σκεπής του σχολείου και ελάχιστες χαμηλές στο σημείο της βάσης. Το τρίτο νέφος σημείων το οποίο εξετάστηκε ήταν αυτό που δημιουργήθηκε από σχέδιο πτήσης "Site Scan". Η ανάλυση κατανομής της πυκνότητας των σημείων του νέφους, έδειξε ομοιόμορφη κατανομή των σημείων σε όλο το κτήριο με υψηλές συγκεντρώσεις τόσο στις όψεις όσο και στη σκεπή (Εικόνα 7, Ιστόγραμμα 3).



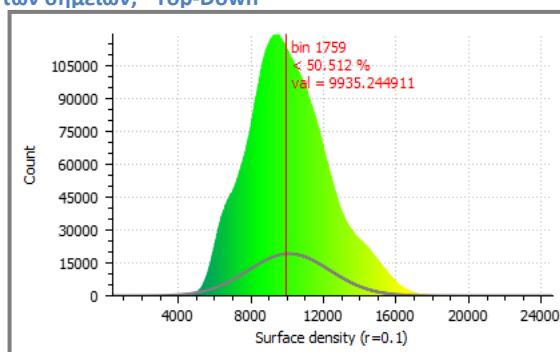
Εικόνα 5: Κατανομή πυκνότητας σημείων στο 3D νέφος σημείων, τύπος πτήσης "Top-Down"



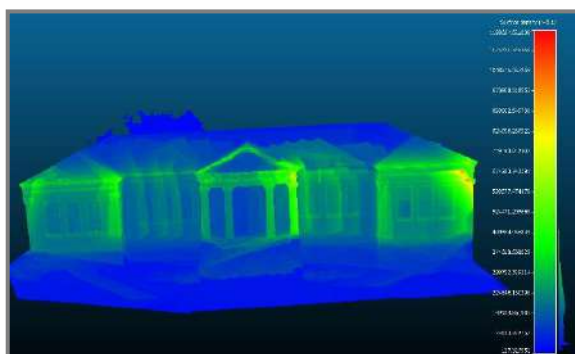
Ιστόγραμμα 1: Στον άξονα χ παρουσιάζεται ο αριθμός των γειτονικών σημείων και στον άξονα γ το πλήθος των σημείων, "Top-Down"



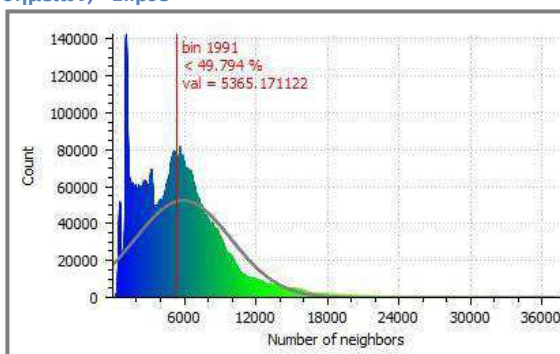
Εικόνα 3: Κατανομή πυκνότητας σημείων στο 3D νέφος σημείων, τύπος πτήσης "Ellipse"



Ιστόγραμμα 2: Στον άξονα χ παρουσιάζεται ο αριθμός των γειτονικών σημείων και στον άξονα γ το πλήθος των σημείων, "Ellipse"



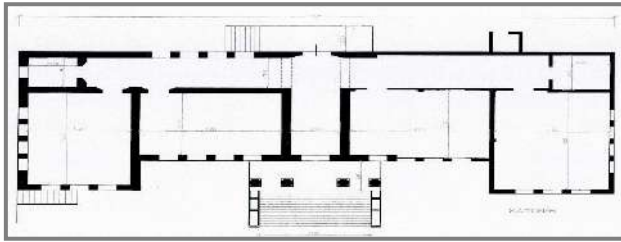
Εικόνα 7: Κατανομή πυκνότητας σημείων στο 3D νέφος σημείων, τύπος πτήσης "Site Scan"



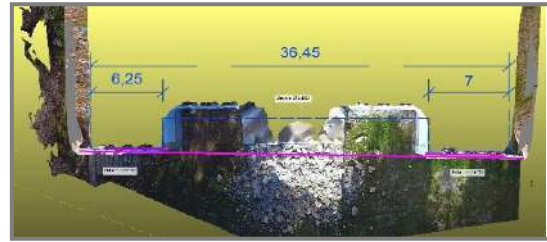
Ιστόγραμμα 3: Στον άξονα χ παρουσιάζεται ο αριθμός των γειτονικών σημείων και στον άξονα γ το πλήθος των σημείων, "Site Scan"

2.3.2 Γεωμετρική ακρίβεια

Ο έλεγχος γεωμετρικής ακρίβειας των 3D νεφών έγινε μέσω δύο διαφορετικών διαδικασιών. Για την πρώτη διαδικασία κάθε νέφος σημείων διχοτομήθηκε στον άξονα Z (Εικόνα 9) σε συγκεκριμένο ύψος ούτως ώστε να δημιουργηθεί μια κάτοψη του κτηρίου. Στην κάτοψη που δημιουργήθηκε μετρήθηκαν συγκεκριμένες αποστάσεις οι οποίες στη συνέχεια συγκρίθηκαν με της αντίστοιχες μετρήσεις του πρωτότυπου αρχιτεκτονικού σχεδίου του σχολείου από την 8η εφορεία Νεοτέρων Μνημείων και Τεχνικών Έργων (Εικόνα 8).



Εικόνα 8: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψης του σχολείου των Βασιλικών



Εικόνα 9: Τομή του 3D νέφους στον άξονα Z

Η δεύτερη διαδικασία ελέγχου της γεωμετρικής ακρίβειας έγινε με την μέτρηση ευκλείδειων αποστάσεων μεταξύ των στόχων που τοποθετήθηκαν στο κτήριο και εμφανίζονται στο εκάστοτε μοντέλο συγκριτικά με την απόσταση τους στην πραγματικότητα. Οι στόχοι τοποθετήθηκαν στην πρόσοψη του κτηρίου όπου έχει και τις πιο εκτεταμένες ζημιές. Οι αποστάσεις μετρήθηκαν κατά μήκος και κατά ύψος. Στην Εικόνα 10 εμφανίζονται 3 μετρήσεις που έγιναν στο 3D μοντέλο που δημιουργήθηκε από τις φωτογραφίες που συλλέχθηκαν από το σχέδιο πτήσης "Top-Down", στην Εικόνα 11 οι αντίστοιχες μετρήσεις από το σχέδιο πτήσης "Ellipse". Τέλος στην Εικόνα 12 φαίνονται οι αντίστοιχες μετρήσεις στο 3D νέφος σημείων που δημιουργήθηκε από το σχέδιο πτήσης "Site Scan".



Εικόνα 4: Μετρήσεις ευκλείδειων αποστάσεων στο 3D νέφος σημείων, Top-Down



Εικόνα 11: Μετρήσεις ευκλείδειων αποστάσεων στο 3D νέφος σημείων, Ellipse



Εικόνα 12: Μετρήσεις ευκλείδειων αποστάσεων στο 3D νέφος σημείων, Site Scan

4.Αποτελέσματα-Συζήτηση

Τα παραγόμενα αποτελέσματα των δύο μεθόδων αξιολόγησης παρατίθενται σε μορφή πινάκων. Η ανάλυση πυκνότητας των νεφών παρουσιάζεται στον Πίνακα 5, πιο συγκεκριμένα αναφέρεται στο συνολικό αριθμό σημείων του κάθε 3D νέφους. Η πυκνότητα των σημείων μετριέται σε σημεία ανά τετραγωνικό μέτρο. Επιπλέον παρατίθεται ο μέσος όρος σημείων ανά τετραγωνικό μέτρο αλλά και η τυπική απόκλιση.

Αριθμός γειτονικών σημείων		Πυκνότητα pt/m ²	
Τύπος πτήσης	Συνολικός Αριθμός σημείων	Μέσος Όρος	Τυπική απόκλιση
Top-Down	1.048.576	249.715	67,502
Elipse	19.938.528	317.338	70,3791
Site Scan	195.717.122	5895.198	4000,967

Πίνακας 4: Ανάλυση πυκνότητας σημείων, μέσος όρος και τυπική απόκλιση

α/α	Απόσταση	Top-Down	Elipse	SiteScan	Πραγματική απόσταση	Σφάλμα		
						Top-Down	Elipse	SiteScan
1	A	5.37 μ.	6.57 μ.	6.34 μ.	6.25 μ.	0.87 μ.	0.32 μ.	0.09 μ.
2	B	6.55 μ.	6.74 μ.	6.98 μ.	7 μ.	0.44 μ.	0.25 μ.	0.01 μ.
3	Γ	35.61 μ.	36.2 μ.	36.4 μ.	36.45 μ.	0.83 μ.	0.15 μ.	0.02 μ.

Πίνακας 5: Μετρήσεις ευκλείδειων αποστάσεων, στον άξονα Z, με συμβατικές μεθόδους και στα τρία 3D νέφη σημείων

α/α	Στόχοι	Top-Down	Elipse	SiteScan	Πραγματική απόσταση	Σφάλμα		
						Top-Down	Elipse	SiteScan
1	2-3	2.10	2.07	1.96	2	0.1	0.07	0.03
2	3-4	-	2.02	2	2	-	0.02	0
3	8-9	2.75	-	-	2.9	0.14	-	-
4	8-Έδαφος	2.49	2.47	2.42	2.45	0.04	0.02	0.03
5	11-12	-	-	2.02	2.10	-	-	0.08

Πίνακας 6: Μετρήσεις ευκλείδειων αποστάσεων, κέντρο-κέντρο των τοποθετημένων στόχων, με συμβατικές μεθόδους και στα τρία 3D νέφη σημείων

Τα αποτελέσματα της συγκριμένης έρευνας δείχνουν ότι ο τύπος του σχεδίου πτήσης παίζει μεγάλο ρόλο στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα το σχέδια πτήσης με μικρό αριθμό φωτογραφιών όπως το Top-Down και το Elipse παράγουν μικρά σε πλήθος νέφη σημείων. Ενώ με το σχέδιο πτήσης Site Scan δημιουργήθηκε το μεγαλύτερο σε πλήθος νέφος. Επιπλέον η ακρίβεια των μετρήσεων είναι υψηλότερη στο τρίτο νέφος (αυτό που δημιουργήθηκε με την πτήση Site Scan) και παρουσιάζει τα μικρότερα σφάλματα. Τα σφάλματα αυτά είναι μικρά και στους δύο ελέγχους μετρήσεων, τόσο στις μετρήσεις από την κάτοψη όσο και στις μετρήσεις από του στόχους. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι στα δύο πρώτα νέφη υπάρχουν κενές περιοχές σε δυσπρόσιτα σημεία του κτηρίου όπου δεν μπόρεσε να γίνει συνταύτιση από τις φωτογραφίες για την δημιουργία 3D νέφους. Αντιθέτως, στην πτήση Site Scan λόγω του χαμηλού ύψους και της κοντινής απόστασης από το κτήριο συλλέχθηκαν φωτογραφίες με υψηλότερη χωρική ανάλυση και απεικονίζουν

σημεία του κτηρίου όπου δεν εμφανίζονται στις αντίστοιχες φωτογραφίες των άλλων τύπων πτήσεων. Στην αξιολόγηση της πυκνότητας σημείων παρατηρείται πως σε όλα τα σχέδια πτήσης το αέτωμα του κτηρίου έχει την μεγαλύτερη πυκνότητα σημείων Εικόνα 5, Εικόνα 6, Εικόνα 7. Συγκεκριμένα στην Εικόνα 7 φαίνονται οι παράλληλες πράσινες γραμμές στην σκεπή οι οποίες είναι αποτέλεσμα της συνεχόμενης λήψης φωτογραφιών κατά την πτήση. Η μεγάλη αλληλοεπικάλυψη μεταξύ αυτών των φωτογραφιών προκάλεσε την δημιουργία πυκνότερο νέφους σχηματίζοντας γραμμές στα όρια των φωτογραφιών, στα συγκριμένα σημεία. Στον πίνακα 7, μετρήθηκαν οι γεωμετρικές αποστάσεις στα νέφη και συγκρίθηκαν με το αρχιτεκτονικό σχέδιο της κάτοψης, τα σφάλματα φαίνονται να έχουν αποκλίσεις μεταξύ τους. Το μεγαλύτερο συνολικό σφάλμα παρουσιάζει ο τύπος πτήσης Top-Down ακολουθεί η Elipse και μετά το SiteScan. Το ίδιο παρατηρείται και στον Πίνακα 6 και τα σχέδια πτήσεων κατατάσσονται με την ίδια σειρά όπως και στον Πίνακα 7. Ξεχωρίζει βέβαια η μέτρηση τέσσερα στον Πίνακα 8 όπου μετρήθηκε το ύψος ενός στόχου από το έδαφος. Οι αποστάσεις που μετρήθηκαν και για τα τρία σχέδια πτήσεων έχουν ελάχιστη απόκλιση μεταξύ τους της τάξης των 5 εκ., με ακριβέστερο το Site Scan, έπειτα, το Elipse και τελευταίο το Top-down.

Συμπεράσματα

Η διερεύνηση των σχεδίων πτήσης για την 3D οπτικοποίηση ενός κτηρίου μετά από ένα σεισμό οδηγεί στα παρακάτω συμπεράσματα. Το βασικότερο συμπέρασμα το οποίο προκύπτει είναι πως το σχέδιο πτήσης επηρεάζει σημαντικά την 3D οπτικοποίηση του κτηρίου και κατά συνέπεια την οπτικοποίηση των επιπτώσεων του σεισμού πάνω σε αυτό. Ειδικότερα από την αξιολόγηση των νεφών προκύπτει πως, από τις φωτογραφίες που συλλέχθηκαν με το σχέδιο πτήσης "Site Scan", δημιουργείται το πυκνότερο νέφος σημείων συγκριτικά με τα σχέδια πτήσης "Top-Down" και "Elipse" και αποδίδει με μεγαλύτερη ακρίβεια την γεωμετρία του κτηρίου. Επιπλέον, η πρόσοψη του κτηρίου οπτικοποιείται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο 3D νέφος σημείων που προκύπτει από την πτήση "Site Scan". Αξίζει να σημειωθεί πως τμήματα του κτηρίου δεν καταγράφηκαν λεπτομερώς λόγω της πυκνής βλάστησης στο συγκεκριμένο σημείο. Επίσης, μόνο κάθετες λήψης στην οροφή του κτηρίου ("Top-Down"), δεν επαρκούν για να αποδώσουν τρισδιάστατα τις όψεις του σχολείου, αλλά και μόνο πλάγιες φωτογραφίες περιμετρικά του κτηρίου ("Elipse"), δεν επαρκούν για να αποδώσουν σε πολύ υψηλή ανάλυση 3D ολόκληρο το κτήριο, καθώς απαιτούνται και κάθετες λήψεις για την σκεπή. Προκύπτει συνεπώς το συμπέρασμα, πως το βέλτιστο σχέδιο πτήσης για την 3D οπτικοποίηση ενός κτηρίου μετά από ένα σεισμό είναι το "Site Scan", καθώς συνδυάζει περιμετρικές λήψεις του σχολείου σε διαφορετικά υψόμετρα και ένα δίκτυο παράλληλων γραμμών κάθετα στην οροφή. Η απόσταση από το κτήριο είναι μικρή με συνέπεια να αυξάνεται η χωρική ανάλυση των φωτογραφιών και οι γωνίες λήψης των εικόνων ποικίλουν από 30°-90°.

Βιβλιογραφία

Chiabrando, F., Lingua, A., Maschio, P., & Teppati Losè, L. (2017). The influence of flight planning and camera orientation in UAVs photogrammetry. A test in the area of rocca San Silvestro (LI), Tuscany. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2W3), 163–170. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-163-2017>

Eisenbeiss, H., 2009. UAV photogrammetry. Dissertation 18515, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland. 203 pages. doi: 10.3929/ethz-a-005939264

Eisenbeiss, H., & Institute (Eds.). (2008). THE AUTONOMOUS MINI HELICOPTER.pdf. In *THE AUTONOMOUS MINI HELICOPTER: A POWERFUL PLATFORM FOR MOBILE MAPPING* (Vol. XXXVII, p. 8). Beijing: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.184.2109&rep=rep1&type=pdf>

Gonzalez, J. P., Nagy, B., & Stentz, A. (2006). The Geometric Path Planner for Navigating Unmanned Vehicles in Dynamic Environments. *ANS 1st Joint Emergency Preparedness and Response and Robotic and Remote Systems*.

INVESTIGATION OF UAV SYSTEMS AND FLIGHT MODES FOR PHOTOGRAMMETRIC APPLICATIONS. (2010). In *INVESTIGATION OF UAV SYSTEMS AND FLIGHT MODES FOR PHOTOGRAMMETRIC APPLICATIONS* (p. 22). Messen. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2011.00657.x> INVESTIGATION

Lowe G. D., 1999. Object Recognition from Local ScaleInvariant Features. Proceedings of the sixth International Conference on Computer Vision (ICCV), Vol. 2, p. 1150

Kiratzis, A. (2018). The 12 June 2017 Mw 6.3 Lesvos Island (Aegean Sea) earthquake: Slip model and directivity estimated with finite-fault inversion. *Tectonophysics*, 724–725, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.01.003>

Papakonstantinou, M. Doukari, O. Roussou, G. Ch. Drolas, K. Chaidas, A. Moustakas, N. Athanasis, K. Topouzelis, and N. Soulakellis "UAS multi-camera rig for post-earthquake damage 3D geovisualization of Vrissa village", Proc. SPIE 10773, Sixth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2018), 1077315 (6 August 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2326173>

Martin A. Fischler, Robert C. Bolles, (1981). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, Communications of the ACM CACM Homepage archive, Volume 24 Issue 6, June 1981, Pages 381-395

Nikolaos A Soulakellis, Stamatis Chatzistamatis, Christos Vasilakos, Georgios Tataris, Apostolos Papakonstantinou, Dimitris Kavroudakos, Kostas Topouzelis, Olga Roussou, Christos Kaloniatis, Ermioni Papadopoulou, Panagiotis Kalaitzis, Kostas Chaidas., (2018) "Synergistic exploitation of geoinformation methods for 3D mapping of Vrissa after Lesvos earthquake" Geoinformation For Disaster Management (GI4DM), Istanbul, 18 – 21 March 2018