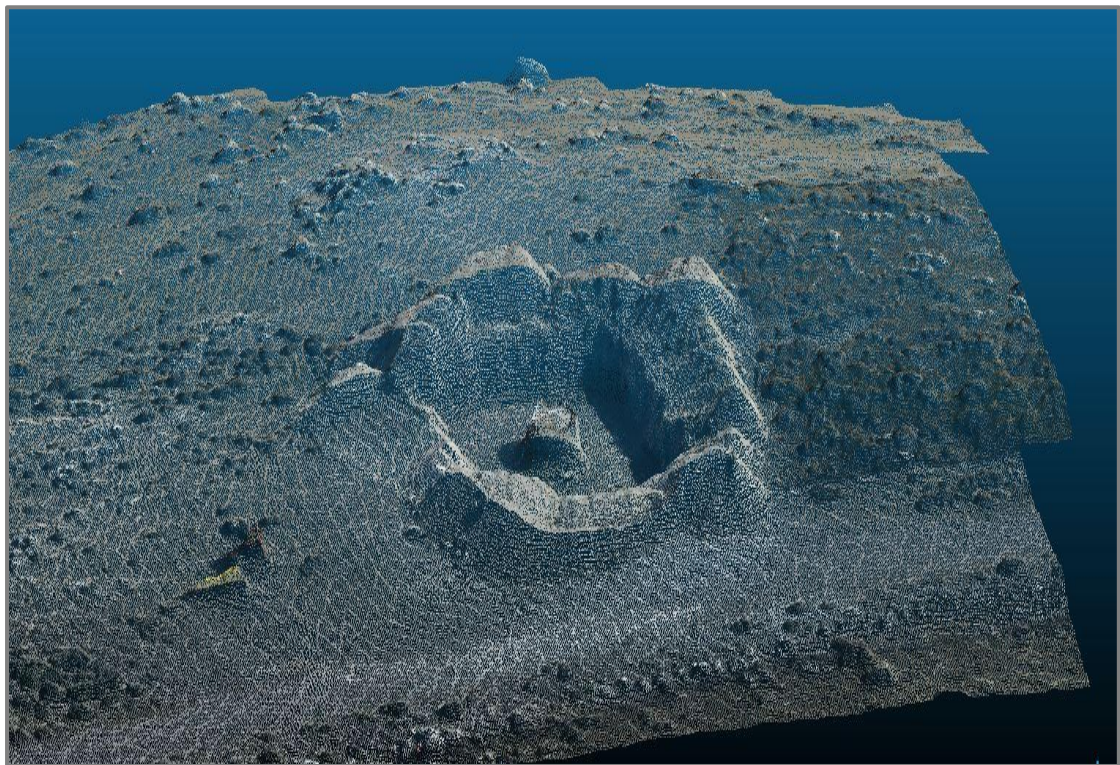




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
ΠΜΣ Γεωγραφία και Εφαρμοσμένη Γεωπληροφορική

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**4-διάστατη Οπτικοποίηση Μεταβολών κατά τη
Διαδικασία Ανασκαφής Απολιθωμένων Κορμών με
την Χρήση Μεθόδων Επαυξημένης
Πραγματικότητας**



Επιμέλεια: Ερμιόνη Ειρήνη Παπαδοπούλου

Φεβρουάριος 2019, Μυτιλήνη

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
ΠΜΣ Γεωγραφία και Εφαρμοσμένη Γεωπληροφορική

ΣΤΟΙΧΕΙΑ:

Όνοματεπώνυμο: Ερμιόνη Ειρήνη Παπαδοπούλου

A.M.: 1632017022

ΘΕΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

«4-διάστατη Οπτικοποίηση Μεταβολών κατά τη Διαδικασία Ανασκαφής Απολιθωμένων Κορμών με την Χρήση Μεθόδων Γεωπληροφορικής»

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής & εξεταστικής επιτροπής αποτέλεσαν οι:

Σουλακέλλης Νικόλαος (ΕΠΙΒΛΕΠΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)	Καθηγητής Τμήματος Γεωγραφίας ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ
Ζούρος Νικόλαος	Καθηγητής Τμήματος Γεωγραφίας ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ
Σιδηρόπουλος Γεώργιος	Καθηγητής Τμήματος Γεωγραφίας ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ

τους οποίους ιδιαίτερως ευχαριστώ.

Το θέμα της εργασίας είναι σχετικό με το **Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών** του Τμήματος Γεωγραφίας και με το ακαδημαϊκό αντικείμενο του επιβλέποντα καθηγητή. Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβάλλεται στα πλαίσια τη υποχρεώσεων για την ολοκλήρωση του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών, του «**Γεωγραφία και Εφαρμοσμένη Γεωπληροφορική**» του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Ο υποβάλλον την μεταπτυχιακή εργασία	Ο επιβλέπον καθηγητής
Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής

Φεβρουάριος 2019 - ΜΥΤΙΛΗΝΗ

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση μεθόδων οπτικοποίησης της διαδικασίας ανασκαφής απολιθωματοφόρων θέσεων, με στόχο την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την αποδοτικότερη παρακολούθηση της εκσκαφής.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τη συλλογή δεδομένων, εμπεριέχει νέα τεχνολογικά μέσα, όπως τα ΣμηΕΑ τα οποία καταγράφουν τη διαδικασία σε τρεις χρονικές στιγμές (01/08/2018, 07/10/2018, 11/11/2018). Η συλλογή οπτικών δεδομένων από τα ΣμηΕΑ είναι πολύ υψηλής ανάλυσης βίντεο(4κ). Έγινε σχεδιασμός τεσσάρων διακριτών πτήσεων σε δυο διαφορετικά υψόμετρα, αφενός για την καταγραφή των μεταβολών σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης, αφετέρου για επίπεδο σκάμματος.

Στη συνέχεια ακολούθησε Φωτογραμμετρική επεξεργασία των δεδομένων από τα οποία και παράχθηκαν 3D πυκνά νέφη σημείων, τρισδιάστατα ψηφιακά αντικείμενα, ψηφιακά μοντέλα ανάγλυφου και ορθοφωτοχάρτες υψηλής χωρικής ανάλυσης(2cm). Η γεωαναφορά των δεδομένων έγινε με φωτοσταθερά σημεία τα οποία μετρήθηκαν με μέθοδο(rtk). Η οπτικοποίηση των μεταβολών αποδόθηκε δισδιάστατη και με τρισδιάστατη. Η δισδιάστατη χαρτογράφηση περιλαμβάνει στατικούς *θεματικούς χάρτες, ψευδωχρωματικούς χάρτες και σειρά χαρτών διαφορών ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (DEM of difference (DoD))*, σε δυο χαρτογραφικές κλίμακες. Η τρισδιάστατη οπτικοποίηση περιλαμβάνει 3d ψηφιακά μοντέλα και ψηφιακά μοντέλα ανάγλυφου.

Η προβολή των χαρτογραφικών προϊόντων έγινε με τεχνικές επαυξημένης πραγματικότητας. Η επαυξημένη πραγματικότητα είναι η σε πραγματικό χρόνο άμεση ή έμμεση θέαση ενός φυσικού, πραγματικού περιβάλλοντος, του οποίου τα στοιχεία επαυξάνονται από στοιχεία αναπαραγόμενα από συσκευές υπολογιστών, όπως ήχος, βίντεο, γραφικά ή δεδομένα τοποθεσίας. Αναλυτικότερα δημιουργήθηκε εφαρμογή κατάλληλη για λογισμικά Android η οποία αποτελούνταν από μια βάση δεδομένων με όλα τα αποτελέσματα που παρήχθησαν και έναν εκτυπωμένο αναλογικό χάρτη. Ο σχεδιασμός της εφαρμογής έγινε με σκοπό την εύκολη διαχείριση και φιλικό περιβάλλον για τους χρήστες, καθώς παρέχει την δυνατότητα παρατήρησης της θέσης των κορμών και πληροφορίες σχετικά με τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά. Η διάδραση της εφαρμογής γίνεται σε δύο επίπεδα, α) κινητής πλατφόρμας-αναλογικού χάρτη, β) τρισδιάστατου ψηφιακού χώρου-χρήστη. Καταλήγει συνεπώς ο συνδυασμός τρισδιάστατης και δισδιάστατης χαρτογραφίας με νέες τεχνικές οπτικοποίησης δεδομένων όπως η επαυξημένη πραγματικότητα.

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is to investigate methods of visualization of the process of excavation of fossil sites with the aim of developing a methodology for more efficient monitoring of the excavation.

The methodology used for data collection involves new technological tools, such as SMAs, which record the process at three times (01/08/2018, 07/10/2018, 11/11/2018). I find it surprising, the collection of video data from the SEMAs is very high-resolution video (4k).

Four distinct flights were designed at two different altitudes, on the one hand for recording the changes across the study area, on the other for the level of the drop.

Photogrammetric data processing followed by 3D dense point clouds, three-dimensional digital objects, digital embossed models and 2 cm high resolution orthophotomaps. The georeference of the data was done with photostable points, which were measured by method (rtk). The visualization of the changes was rendered two-dimensional and three-dimensional. Two-dimensional mapping includes static thematic maps, pseudo-chromatic maps and a series of *DEM of difference (DoD)* maps , on two cartographic scales. 3D visualization includes 3D digital models and digital embossed models.

The projection of cartographic products was done with augmented reality techniques. Enhanced reality is the real-time direct or indirect view of a physical, real-world environment, whose components are augmented by data reproduced by computer devices such as audio, video, graphics, or location data. A more detailed application was developed for Android software consisting of a database with all the results provided and a printed analogue map. The design of the application was made with the purpose of easy management and user friendly environment, as it provides the ability to observe the location of logs and information about their geometrical characteristics. The interaction is implemented on two levels: a) a mobile platform-analogue map; b) a three-dimensional digital user-space. It therefore concludes the combination of three-dimensional and two-dimensional cartography with new data visualization techniques such as augmented reality.

Ευχαριστίες

Στον καθηγητή Νικόλαο Σουλακέλλη για την υποστήριξη, τις πολλές και συχνές συζητήσεις, την ανταλλαγή ιδεών και κυρίως το δημιουργικό μαθησιακό και ερευνητικό περιβάλλον, τον επίκουρο καθηγητή του τμήματος Πολιτισμική τεχνολογίας και επικοινωνίας Βλάση Κασαπακή γιατί χωρίς την συμβολή του η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία δεν θα είχε ολοκληρωθεί. Τον κύριο Γεώργιο Τάταρη για τις χρήσιμες συμβουλές του και την σωστή του καθοδήγηση.

Στην εργαστηριακή ομάδα του εργαστηρίου χαρτογραφίας και γεωπληροφορικής, στους συνεργάτες, φίλους και Καθηγητές-Συμβούλους των τμημάτων Γεωγραφίας και Πολιτισμικής τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου

Τέλος, στους αγαπημένους ανθρώπους που με υποστήριξαν ηθικά και ψυχολογικά, όταν μοιραζόμουν τις σκέψεις και τους προβληματισμούς μου για αυτήν την έρευνα.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Πίνακας Εικόνων	5
Πίνακας Σχημάτων	6
Πίνακας Πινάκων.....	6
Πίνακας Χαρτών	7
Συνομογραφίες	8
1. Εισαγωγή	9
1.2 Επιμέρους στόχοι	9
1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	10
2. Μεθοδολογία	18
2.1 Συλλογή δεδομένων	19
2.1.1 Σχέδια πτήσης (Συνθήκες ,φωτισμοί, υψόμετρα, 2 κλίμακες)	22
2.1.2 Σημεία Ελέγχου	27
2.1.3 Δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν	29
2.1.4 Ποιοτικός έλεγχος δεδομένων	33
2.2 Επεξεργασία δεδομένων	34
2.2.1 Φωτογραμμετρική επεξεργασία	34
2.2.3 Δισδιάστατη επεξεργασία(DOD, RGB, ψηφιοποίηση).....	43
2.2.3 Επεξεργασία για την τρισδιάστατη οπτικοποίηση και δημιουργία επαυξημένων χαρτών.....	45
3. Αποτελέσματα- Συζήτηση	48
3.1.1 3Δ νέφη σημείων.....	48
3.1.2 3Δ μοντέλα - Mesh	52
3.1.3 3Δ μοντέλα - DSM.....	57
3.1.4 ORTHO	63
3.2.1 Στατικοί χάρτες.....	70
3.2.2 Σειρά Στατικοί χάρτες.....	72
3.3.1 3Δ Επαυξημένοι χάρτες.....	76
3.3.2 Εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας(όλα τα χαρτογραφικά προϊόντα)	78
4. Συμπεράσματα	80
Βιβλιογραφία	84
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΡΤΩΝ	87

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Ενιαίος στατικός χάρτης	12
Εικόνα 2: Σειρά στατικών χαρτών	12
Εικόνα 3: Κινούμενος χάρτης	12
Εικόνα 4: A map showing the location of the 25 members of the European Geoparks Newtork as of October 2005	17
Εικόνα 5: Σχηματική παρουσίαση διαγράμματος πτήσης όπου περιγράφεται η έννοια της επικάλυψης (overlap) που απαιτείται να έχουν οι φωτογραφίες μεταξύ τους αλλά και της μίας λωρίδας με την επόμενη στη διαδρομή πτήσης.....	23
Εικόνα 6: Σχέδιο πτήσης με την πορεία του ΣμηΕΑ σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης	24
Εικόνα 7: Σχέδια πτήσης για κάθε ξεχωριστό σκάμμα	26
Εικόνα 8: Κατανομή των σημείων ελέγχου εδάφους GCPs	28
Εικόνα 9 : Μη Κατάλληλες (α) και κατάλληλες (β) εικόνες για επεξεργασία.	33
Εικόνα 10: Γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής μας σε κινητό τηλέφωνο	47
Εικόνα 11: Νέφος σημείων 1, ημερομηνία: 01/08/2018.....	49
Εικόνα 12: 3Δ νέφος σημείων πρώτη θέση εγκατάστασης, χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 01/08/2018	49
Εικόνα 13: Νέφος σημείων 2, χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 07/10/2018	50
Εικόνα 14: Νέφος σημείων 3, χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 11/11/2018	51
Εικόνα 15: 3Δ νέφος σημείων, χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 07/10/2018.....	51
Εικόνα 16: 3Δ νέφος σημείων, χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 11/11/2018.....	52
Εικόνα 17: Τρισδιάστατο πλέγμα M-1, χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 01/08/2018.....	53
Εικόνα 18: Τρισδιάστατο πλέγμα M-2, χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 07/10/2018.....	54
Εικόνα 19: Τρισδιάστατο πλέγμα M-4, χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 01/08/2018.....	55
Εικόνα 20: Τρισδιάστατο πλέγμα M-5, χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 07/10/2018.....	55
Εικόνα 21: Τρισδιάστατο πλέγμα M-6, χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 11/11/2018.....	56
Εικόνα 22: Θέση εκσκαφής-1(DOD-3D) Τρισδιάστατος επαυξημένος μέσα από την εφαρμογή	76
Εικόνα 23: Θέση εκσκαφής-1(PHR-3D)	77
Εικόνα 24: Εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας	78

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1: Οι βασικοί στόχοι της οπτικοποίησης	11
Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογράφηση των μεταβολών.....	13
Σχήμα 3: Μεθοδολογία	19
Σχήμα 4: Συλλογή δεδομένων σε 3 χρονικές περιόδους	20
Σχήμα 5: Βήματα επεξεργασίας αεροφωτογραφιών με μεθόδους φωτογραμμετρίας	34
Σχήμα 6: Structure from motion-Multi view stereo	35
Σχήμα 7: Η ψευδοχρωματική σύνθεση.....	44

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Πλατφόρμα υπολογισμού βασικών χαρακτηριστικών πτήσης εταιρείας rix4d..	22
Πίνακας 2.....	25
Πίνακας 3: Τα 36 σημεία ελέγχου	28
Πίνακας 4: Μορφές αποθήκευσης αρχείων εικόνας - βίντεο	29
Πίνακας 5: Εξίσωση υπολογισμού απαιτούμενου χρονικού διαστήματος για την απομόνωση καρέ εικόνας από το βίντεο.	31
Πίνακας 6: Τιμές του δείκτη IQI	35
Πίνακας 7: Ημερομηνίες καταγραφής και για τις δύο χαρτογραφικές κλίμακες.....	42
Πίνακας 8: Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (ΟΡΘ-1).....	63

Πίνακας Χαρτών

Χάρτης 1 : Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-1), χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 01/08/2018	57
Χάρτης 2 : Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-2), χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 07/10/2018	58
Χάρτης 3 : Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-3), χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 11/11/2018	59
Χάρτης 4 : Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-4), χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 01/08/2018	59
Χάρτης 5 : Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-5), χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 07/10/2018	60
Χάρτης 6 : Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-6), χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 11/11/2018	60
Χάρτης 7: Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-7), χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 01/08/2018.....	61
Χάρτης 8: Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-8), χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 07/10/2018.....	62
Χάρτης 9: Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-9), χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 11/11/2018.....	62
Χάρτης 10: Ολόκληρη η περιοχή μελέτης σε κλίμακα 1:500	63
Χάρτης 11: περιοχή μελέτης σε πολύ υψηλή χωρική ανάλυση 2cm.....	64
Χάρτης 12: Η περιοχή μελέτης σε κλίμακα 1:500 και χωρική ανάλυση 2cm	64
Χάρτης 13: Η πρώτη θέση εγκατάστασης των νέων ανεμογεννητριών στην πρώτη ημερομηνία καταγραφής.....	65
Χάρτης 14: Η πρώτη θέση εγκατάστασης σε πολύ υψηλή ανάλυση <1cm	65
Χάρτης 15: Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 1.....	66
Χάρτης 16: Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 2.....	66
Χάρτης 17: Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 2.....	67
Χάρτης 18: Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 3.....	68
Χάρτης 19: Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 3.....	69
Χάρτης 20: Χάρτης μεταβολών κλίμακας 1:1000	70
Χάρτης 21: Χάρτης μεταβολών κλίμακας 1:50	71
Χάρτης 22: Σειρά χαρτών μεταβολών κλίμακας 1:1000	72
Χάρτης 23: Χάρτης μεταβολών κλίμακας 1:1200 της ΝΑ περιοχής μελέτης	74
Χάρτης 24: Χάρτης μεταβολών κλίμακας 1:500	75
Χάρτης 25: Θέση εκσκαφής-1(DOD-3D).....	76

Συντομογραφίες

AR	Augmented Reality
DEM	Digital Elevation Model
DoD	DEM of difference
DSM	Digital Surface Model
GCP	Ground Control Point
GIS	Geographical Information System
GSD	Ground Sample Distance
IQI	Image Quality Index
MVS	Multi View Stereo
SfM	Structure from Motion
VR	Virtual Reality
ΣμηΕΑ	Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

1. Εισαγωγή

Κύριος ερευνητικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση μεθόδων οπτικοποίησης κατά την διαδικασία ανασκαφής απολιθωματοφόρων θέσεων. Από την παραπάνω διερεύνηση αναπτύσσεται μεθοδολογία για την αποδοτική παρακολούθηση της διαδικασίας εκσκαφής απολιθωμάτων και την παράλληλα την ανάδειξη των ευρημάτων. Το αποτέλεσμα της όλης εργασίας εκτιμάται ότι θα συμβάλει στην διαφύλαξη της γεωλογικής κληρονομιάς.

Οι τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούνται προέρχονται από την κλασική δισδιάστατη χαρτογραφία, τις 3D γεω-οπτικοποιήσεις, συνδυάζονται με τεχνολογίες επαυξημένης πραγματικότητας και καταλήγουν σε μια εφαρμογή για κινητές πλατφόρμες. Αναλυτικότερα, οι σύγχρονοι μέθοδοι γεωπληροφορικής οι οποίοι αξιοποιούνται σε αυτή την διπλωματική, περιλαμβάνουν εναέρια φωτογραμμετρία, χωρική ανάλυση και αλγόριθμους υπολογιστικής όρασης. Οι προαναφερόμενες τεχνικές συμβάλλουν στην ανάλυση, την ποσοτικοποίηση και την χαρτογράφηση των μεταβολών-αλλαγών στον χώρο της περιοχή μελέτης αλλά και σε τρεις διακριτές χρονικές στιγμές.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία επιχειρείται να παρουσιαστεί η διαδικασία ανασκαφής απολιθωμένων κορμών στο Αιολικό Πάρκο του «Ακρόχειρα» στην περιοχή του Σιγρίου στη νήσο Λέσβο με την χρήση 4D οπτικοποίησης και επαυξημένης πραγματικότητας. Οι χρονικές περίοδοι οι οποίοι εξετάζονται είναι τρεις (01/08/2018, 07/10/2018, 11/11/2018), και χαρτογραφικές κλίμακες δύο (σημείο εκσκαφής και συνολική περιοχή μελέτης).

1.2 Επιμέρους στόχοι

- α) η καταγραφή της θέσης όπου εμφανίζονται απολιθωμένοι κορμοί
- β) ο υπολογισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των απολιθωμάτων, όπως ο προσανατολισμός, η κλίση, ο όγκος και οι διαστάσεις του (σε ένα συγκεκριμένο στάδιο της ανασκαφής)
- γ) η ποσοτικοποίηση του όγκου που ανασκάφτηκε στην περιοχή μελέτης
- δ) η εκτίμηση των επιφανειακών αλλαγών
- ε) η αποδοτική χαρτογράφηση των μεταβολών σε δύο κλίμακες: 1)ευρύτερης περιοχής, 2) επίπεδο σκάμματος
- στ) η οπτικοποίηση των χαρτογραφικών προϊόντων με τη χρήση επαυξημένης πραγματικότητας (augmented reality - AR) (χρονοσειρά δεδομένων, ταυτόχρονη προβολή των ευρημάτων ασχέτως σταδίου ανασκαφής)
- ζ) δημιουργία ηλεκτρονικής εφαρμογής για την εύκολη πρόσβαση και τον διαμοιρασμό της πληροφορίας η οποία παράχθηκε στα προηγούμενα στάδια.

1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Χαρτογραφία

Οι χάρτες χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση γεωχωρικών δεδομένων, δηλαδή δεδομένων που αναφέρονται στη θέση ή τα χαρακτηριστικά αντικειμένων ή φαινομένων που βρίσκονται στη Γη. Οι χάρτες βοηθούν τους χρήστες τους στην καλύτερη κατανόηση των γεωχωρικών σχέσεων (Kraak, 2010). Από τη δεκαετία του 1980, με την εξέλιξη της ψηφιακής τεχνολογίας η διαχείριση των γεωχωρικών δεδομένων έχει αποκτήσει σημαντική δυναμική. Συνεπώς και το περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιούνται οι χάρτες μεταβλήθηκε σημαντικά. Ο αναλογικός χάρτης λειτούργησε και λειτουργεί ως μέσο αποθήκευσης και παρουσίασης γεωχωρικών δεδομένων (Kraak, 2010) αλλά με την μετάβαση των χαρτών σε ηλεκτρονικά μέσα και την ανάπτυξη αντίστοιχων βάσεων δεδομένων οι λειτουργίες αυτές διασπάστηκαν και εξελίχθηκαν σε νέα αντίστοιχες αλλά συναφείς επιστήμες. Για παράδειγμα στην επιστήμη της χαρτογραφίας η τεχνολογία των GIS οδήγησε σε νέες και εναλλακτικές επιλογές παρουσίασης όπως οι τρισδιάστατοι, οι κινούμενοι, οι διαδραστικοί και οι επαυξημένοι χάρτες.

Οπτικοποίηση

Στην επιστήμη της Γεωπληροφορικής, η οπτικοποίηση εφαρμόζεται για τέσσερις βασικούς σκοπούς (Σχήμα 1).

- Πρώτον, η απεικόνιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξερευνήσει γεωχωρικών δεδομένων (π.χ. δορυφορικά δεδομένα)
- Δεύτερον, για ανάλυση, προκειμένου να χειριστεί γνωστά δεδομένα. Σε ένα περιβάλλον σχεδιασμού δύο σετ δεδομένων μπορούν να γίνουν πλήρως κατανοητά όταν είναι ξεχωριστά (π.χ. το επίπεδο των υπόγειων υδάτων και την πιθανή θέση ενός νέου δρόμο), αλλά η σχέση τους δεν μπορεί. Μέσω μιας γεωχωρικής ανάλυσης η λειτουργία, όπως η επικάλυψη, μπορεί να συνδυάσει και τα δύο σύνολα δεδομένων και να προσδιορίσει την πιθανή γεωχωρική τους σχέση
- Τρίτον, χρησιμοποιείται για τη σύνθεση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης

- Τέταρτον, για να παρουσιάσουν ή να επικοινωνήσουν τα αποτελέσματα με το ευρύ κοινό. Τα αποτελέσματα των λειτουργιών γεωχωρικής ανάλυσης μπορούν να εμφανιστούν σε καλά σχεδιασμένους χάρτες εύκολα κατανοητούς. Η χαρτογραφική πειθαρχία προσφέρει κανόνες σχεδιασμού έτσι ώστε να γίνει ευκολότερη πρόσβαση στα δεδομένα που υπάρχουν πίσω από τους χάρτες



Σχήμα 1: Οι βασικοί στόχοι της οπτικοποίησης

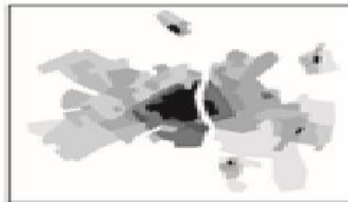
Χαρτογραφώντας τον χρόνο

Η χαρτογράφηση της χρονικής διάστασης σημαίνει αλλαγή χαρτογράφησης και αυτό μπορεί να αναφέρεται στην αλλαγή στην ύπαρξη ενός χαρακτηριστικού, όπως εμφάνιση ή εξαφάνιση. Ένα παγόβουνο εμφανίζεται και όταν λιώνει εξαφανίζεται. Θα μπορούσε επίσης να αλλάξει στη γεωμετρία, στα χαρακτηριστικά ή και στα δύο. Παραδείγματα μεταβαλλόμενης γεωμετρίας είναι η εξελισσόμενη ακτογραμμή των Κάτω Χωρών ή η μεταβαλλόμενη θέση των εθνικών συνόρων της Ευρώπης ή η θέση των μετωπικών καιρικών συνθηκών. Η κλασική χαρτογραφία προτείνει τις εξής τρεις χαρτογραφικές μεθόδους για την κατανοητή οπτικοποίηση μεταβολών μέσα στον χρόνο.

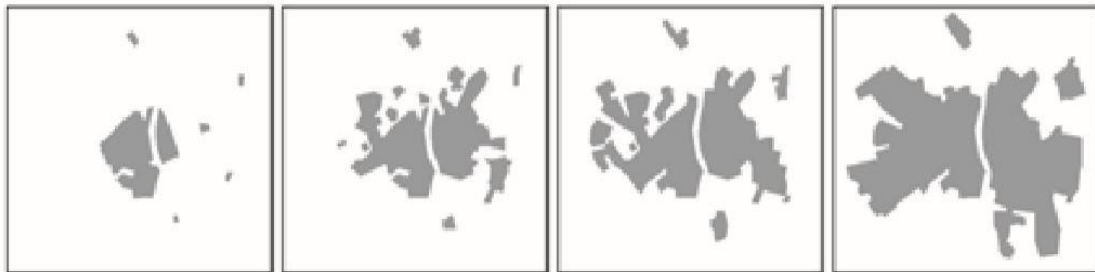
- **Ενιαίος στατικός χάρτης:** Ειδικές γραφικές μεταβλητές και σύμβολα χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση της αλλαγής για να αντιπροσωπεύσουν ένα συμβάν. Στην εικόνα 1 χρησιμοποιήθηκε η τιμή για την απεικόνιση του χρόνου. Τα σκοτεινότερα χρώματα υποδεικνύουν παλαιότερες και ελαφρύτερες αποχρώσεις νεότερες εξελίξεις.
- **Σειρά στατικών χαρτών:** Οι ενιαίοι χάρτες αντιπροσωπεύουν στιγμιαία στιγμιότυπα. Μαζί οι χάρτες αποτελούν ένα γεγονός. Η αλλαγή γίνεται αντιληπτή εξετάζοντας τη διαδοχή μεμονωμένων χαρτών που απεικονίζουν το συμβάν σε διαδοχικά στιγμιότυπα. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η χρονική αλληλουχία αντιπροσωπεύεται από μια χωρική αλληλουχία, την οποία ο χρήστης πρέπει να

ακολουθήσει, προκειμένου να αντιληφθεί τη χρονική μεταβολή. Ωστόσο, ο αριθμός των εικόνων είναι περιορισμένος, καθώς είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν οι μακριές σειρές (Εικόνα 2).

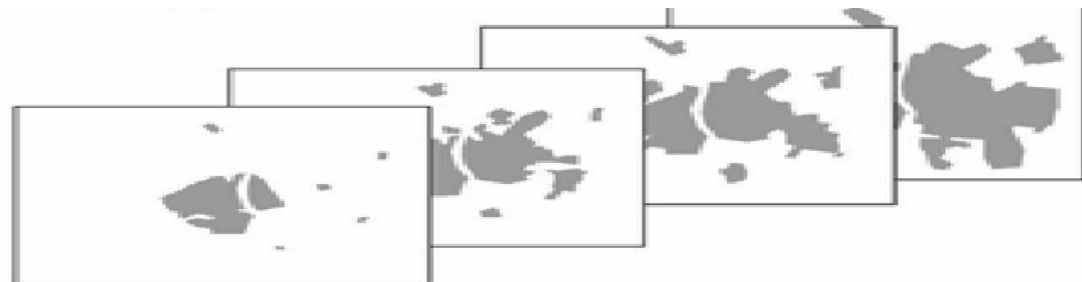
- Κινούμενος χάρτης: Η αλλαγή γίνεται αντιληπτή σε ένα ενιαίο πλαίσιο προβάλλοντας διάφορα στιγμιότυπα το ένα μετά το άλλο. Η διαφορά με τη σειρά χαρτών είναι ότι οι παραλλαγές που εισάγονται για να αντιπροσωπεύουν ένα γεγονός δεν πρέπει να συναχθούν από μια χωρική ακολουθία αλλά από την πραγματική κίνηση στον ίδιο τον χάρτη (Εικόνα 3).



Εικόνα 1: Ενιαίος στατικός χάρτης



Εικόνα 2: Σειρά στατικών χαρτών

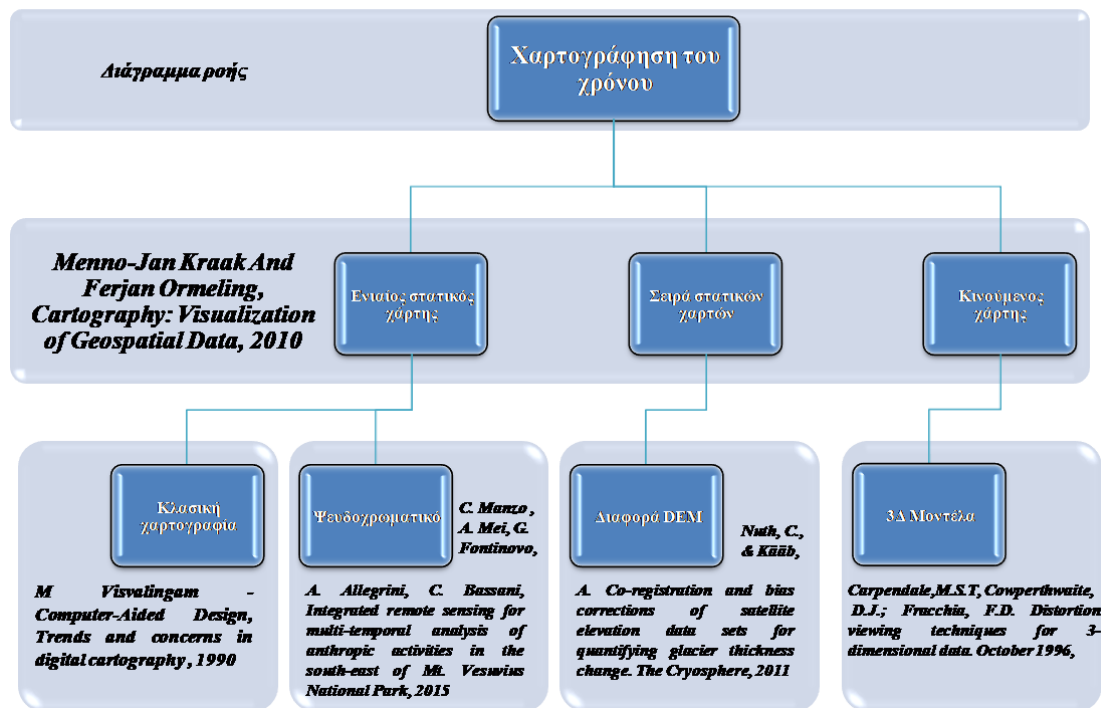


Εικόνα 3: Κινούμενος χάρτης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιούνται και οι τρεις χαρτογραφικές μέθοδοι τις οποίες αναφέρει παραπάνω ο Kraak, για την οπτικοποίηση μεταβολών μέσα στο χρόνο (Σχήμα 2).

Για την δημιουργία ενός ενιαίου στατικού χάρτη ήταν με τη χρήση ψευδοχρωμάτων καθώς και μέθοδοι κλασικής χαρτογραφίας. Πιο αναλυτικά, σχετικά με την ψευδοχρωματική μέθοδο προέρχεται κατά κύριο λόγο από την επιστήμη της τηλεπισκόπησης καθώς συνθέτει τρία διαφορετικά κανάλια σε ένα, αποδίδοντας σε κάθε ένα από τα κανάλια μια χρωματική παλέτα η οποία δεν ανταποκρίνεται στα πραγματικά χρώματα αλλά στο κόκκινο, στο μπλε και στο πράσινο. Συνθέτοντας λοιπόν αυτά τα τρία κανάλια μπορούν να αποδοθούν μεταβολές μεταξύ τους.

Για την δημιουργία μιας σειράς στατικών χαρτών εφαρμόστηκε η μέθοδος από την οποία χαρτογραφούνται οι μεταβολές σε μια περιοχή είναι μέσω της διαφοράς των ψηφιακών μοντέλων εδάφους (Paul, 2013). Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους μπορούν να δημιουργηθούν με αερομεταφερόμενες ή διαστημικές πλατφόρμες, που χρησιμοποιούν τη φωτογραμμετρία σε οπτικές εικόνες, τη συμβολομετρία σε εικόνες μικροκυμάτων και τη σάρωση LIDAR. Για παράδειγμα, η φωτογραμμετρία που εφαρμόζεται σε οπτικές εικόνες εξαρτάται από την καλή οπτική αντίθεση, ενώ η συμβολομετρία ραντάρ περιορίζεται από τη συνεκτικότητα (απο-συσχετισμός σήματος με το χρόνο) ενώ επίσης παρέχουν ανυψώσεις ενός στρώματος κάτω από την επιφάνεια του παγετώνα (διείσδυση κύματος ραντάρ) και το LIDAR έχει προκαθορισμένες τιμές ή προβλήματα κορεσμού κυματομορφής (Fricker, 2005, Joerg, Morsdorf, & Zemp, 2012). Στη συγκεκριμένη εργασία δημιουργήθηκαν με τη χρήση αεροφωτογραφιών και φωτογραμμετρίας όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Η αφαίρεση των ψηφιακών μοντέλων εδάφους σαν μέθοδος χαρτογράφησης των μεταβολών σε μια περιοχή, απαιτεί δύο βασικές προϋποθέσεις προκειμένου να είναι αξιόπιστη: α) την ίδια ανάλυση εδάφους, β) την κατάλληλη ευθυγράμμιση των ψηφιακών μοντέλων εδάφους (Nuth & Kääb, 2011, Van Niel, McVicar, Li, Gallant, & Yang, 2008). Αυτές οι δύο παράμετροι διασφαλίζονται από το γεγονός ότι το μέσω συλλογής των πρωτόγεννη δεδομένων ήταν το ίδιο άρα και τα χαρακτηριστικά των δεδομένων ίδια, και η γεωαναφορά των δεδομένων έγινε με τις ίδιες επίγειες μετρήσεις συντεταγμένων.



Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογράφηση των μεταβολών

Αν και οι χαρτογράφοι, οι γεωεπιστήμονες και οι επιστήμονες υπολογιστών έχουν δει από το 1980 πολύ δυναμικές και σημαντικές εξελίξεις στους τομείς της απόκτησης, διαχείρισης, ανάλυσης, αλληλεπίδρασης και οπτικοποίησης μεγάλων ποσοτήτων γεωχωρικών δεδομένων, οι βασικές έννοιες των χαρτών παραμένουν οι ίδιες. Δίπλα στους στατικούς χάρτες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εμβληματικά και άκρως διαδραστικά εικονικά περιβάλλοντα για τη διερεύνηση και παρουσίαση δυναμικών γεωχωρικών δεδομένων.

3Δ γεωοπτικοποιήσεις

Λόγω των πρόσφατων και σημαντικών εξελίξεων στις τεχνικές απόκτησης δεδομένων (LIDAR, φωτογραμμετρία, και τηλεπισκόπηση) και της υπολογιστικής δύναμης των μηχανημάτων αποθήκευσης και επεξεργασίας τους, μπορεί πλέον να εξαχθεί πληροφορία για τρίτη διάσταση (κυρίως το ύψος ή οι συντεταγμένες Z αντικειμένων) (Carpendale, 1996). Η μετάβαση στην τρίτη διάσταση φαίνεται ελκυστική και ιδιαίτερα από επιστήμες όπως η χαρτογραφία, η γεωγραφία, η γεωλογία, η αρχαιολογία, η εκπαίδευση, η μηχανική κλπ. (Rahman, 2008). Αυτό οφείλεται ιδιαίτερα στη γεωμετρία των τρισδιάστατων εικονικών περιβαλλόντων που επιτρέπει μια πιο φυσική αλληλεπίδραση με το χωρικό περιεχόμενο. Επιπλέον, η τρίτη διάσταση επιλύει επίσης τα μειονεκτήματα των 2D περιβαλλόντων τα οποία περιορίζονται σε μετρήσεις αποστάσεων και επιφανειών και δεν επιτρέπουν οπτικές γωνίες με προοπτική (Jobst, M.; Germanchis, 2007). Υπάρχουν πολλές τεχνικές 3D οπτικοποίησης (π.χ. διαφάνεια, απόχρωση και σκίαση), αλλά δεν είναι όλες κατάλληλες για όλων των τύπων δεδομένων, γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα. Για παράδειγμα, η υπερβολική σκίαση μπορεί να κρύψει οπτικές μεταβλητές (όπως απόχρωση, μοτίβο και υλικό) καθιστώντας ένα τρισδιάστατο μοντέλο άχρηστο (Métral, 2014). Η επιλογή κατάλληλων τεχνικών 3D απεικόνισης είναι αρκετά περίπλοκη, και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τον ενδιαφερόμενο στον οποίο απευθύνονται (Glander, 2014). Με βάση τον ορισμό του MacEachren και του Kraak, 3D γεωοπτικοποίηση ορίζεται ως το πεδίο το οποίο παρέχει θεωρία, μεθόδους και εργαλεία για την οπτική εξερεύνηση, ανάλυση, επιβεβαίωση, σύνθεση και αναπαράσταση χωρικών δεδομένων (Kraak, 2003). Ενσωματώνει προσεγγίσεις από ένα ευρύ φάσμα πεδίων, όπως η χαρτογραφία, η ανάλυση εικόνας, η απεικόνιση πληροφοριών, η διερευνητική ανάλυση δεδομένων, και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Bleisch, 2012). Η ανάπτυξη της 3D γεωοπτικοποίησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα γραφικά υπολογιστών, τα νέα ψηφιακά μέσα (κινητές πλατφόρμες) και την επεξεργαστική ισχύ. Η επαυξημένη πραγματικότητα είναι μια τεχνολογία η οποία καθιστά δυνατή αυτή την ανάπτυξη καθώς ενσωματώνει την αλληλεπίδραση στο 3D περιβάλλον, δηλαδή παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα να μετακινηθεί ή να εφαρμόσει κίνηση σε αντικείμενα στο 3D ψηφιακό αντικείμενο.

Νέα τεχνολογικά μέσα συλλογής δεδομένων (ΣμηΕΑ)

Στη συγκεκριμένη εργασία τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των 3D μοντέλων και των δισδιάστατων χαρτών, συλλέχθηκαν με ΣμηΕΑ.

Την τελευταία δεκαετία, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (ΣμηΕΑ) - γνωστά ως drones – έγιναν βασικά εργαλεία στην δημιουργία χωρικών δεδομένων για διάφορες γεωεπιστημονικές αναλύσεις. Οι πιο συχνές εφαρμογές των ΣμηΕΑ σχετίζονται με την απόκτηση αεροφωτογραφιών και την επεξεργασία τους χρησιμοποιώντας φωτογραμμετρικές μεθόδους, για την κατασκευή χαρτών (Hatch 2017). Σαν συνέπεια, το πολυ-χρονικό ψηφιακό σύστημα που βασίζεται σε ΣμηΕΑ για τη δημιουργία επιφανειακών μοντέλων και ορθοφωτοχαρτών έγιναν κατάλληλα εντοπίζοντας αλλαγές στην επιφάνεια της Γης. Η πιο κοινή γεωεπιστημονική εφαρμογή των ΣμηΕΑ είναι η συλλογή αεροφωτογραφιών για την αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας μέσω της παραγωγής ψηφιακών επιφανειακών μοντέλων και της ανακατασκευής της κάλυψη της γης μέσω της

παραγωγής ορθοφωτοχαρτών. Τα δύο προϊόντα παράγονται με την χρήση του αλγόριθμος Structure From Motion (SfM) (Westoby et al. 2012), που δημιουργεί αραιά και πυκνά νέφη σημείων χρησιμοποιώντας τιμές από φάσμα του ορατού οι οποίες αποτυπώνονται στα κελιά των φωτογραφιών ή ακόμα και τις τιμές της υπέρυθρης ακτινοβολίας οι οποίες μπορούν να καταγραφούν με την χρήση κατάλληλων αισθητήρων. Η αύξηση της ποιότητας της γεωαναφοράς, επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της χρήσης σταθερών επίγειων σημείων ελέγχου και της κινηματική τεχνολογία σε πραγματικό χρόνο, που κατέστησε εφικτή την παρακολούθηση μιας συγκεκριμένης περιοχής και τη διαχρονική συλλογή χωρικών δεδομένων (Claruyt et al., 2016). Η ανίχνευση αλλαγών με βάση τα ψηφιακά μοντέλα επιφανειών με ΣμηΕΑ ενδεχομένως να επιφυλάσσει δυσκολίες καθώς το φυσικό έδαφος είναι εξαιρετικά δυναμικό και ασταθές. Τέτοιες δυσκολίες παρουσιάζονται κατά την διερεύνηση αιολικών περιβαλλόντων, όπως για παράδειγμα οι αμμόλοφοι (Cesnulevicius et, 2018). Βάσει της ανάλυσης των δεδομένων που συλλέχθηκαν στο το Curonian Spit, διατύπωσαν μερικές συστάσεις σχετικά με τη χρησιμότητα των ΣμηΕΑ για παρακολούθηση αιολικών περιβαλλόντων. Το πρόβλημα όπως η σταθερότητα της επιφάνειας δεν εμφανίζεται στις βραχώδεις περιοχές, όπως παρουσιάζονται από τους Kasprzak et al. (2018). Ακολούθησαν πειράματα των του Staros'cin'skie Skały στα Σουτέτες στη νοτιοδυτική Πολωνία για να αποδειχθεί πως η χρήση του αλγόριθμου SFM ενδείκνυται για την χαρτογράφηση πετρωμάτων και βραχώδη περιοχών και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η προσέγγιση επιτρέπει την αναγνώριση της μικρο-τοπογραφίας των βράχων, επομένως, η μέθοδος SfM μπορεί να βοηθήσει σε γεωφυσικές μετρήσεις της γεωμετρίας παρόμοιων περιοχών. Η ψηφιακή πραγματικότητα θεωρήθηκε ως προστιθέμενη αξία στις γεωεπιστήμες (Midttun et al., 2000), και ως εκ τούτου με την ενσωμάτωσή των ψηφιακών μοντέλων αναγλύφων που βασίζονται σε ΣμηΕΑ η παρακολούθηση μιας περιοχής με τη χρήση πολύ χρονικών δεδομένων γίνεται όλο και πιο συχνή. Η μεθοδολογία της συλλογής δεδομένων για την παρούσα εργασία στηρίχτηκε στις παραπάνω αναφορές καθώς η περιοχή μελέτης είναι το Αιολικό Πάρκο του Ακρόχειρα στην περιοχή του Σιγρίου στη νήσο Λέσβο, και το αντικείμενο χαρτογράφησης είναι απολιθώματα τα οποία εμφανίστηκαν κατά τη διαδικασία ανασκαφής των βάσεων για την εγκατάσταση νέων ανεμογεννητριών.

Επαυξημένη πραγματικότητα

Η επαυξημένη πραγματικότητα είναι η υπέρθεση γραφικής ψηφιακής πληροφορίας πάνω σε εικόνες του πραγματικού κόσμου. Παρουσιάζοντας επιπρόσθετη πληροφορία στους χρήστες, ο πραγματικός κόσμος ενισχύεται ή επαυξάνεται, ιδιαίτερα εάν η πληροφορία είναι χωρική μπορεί να υποβοηθήσει τους χρήστες σε αρκετά επιστημονικά θέματα (Kamat, 2007). Ο κύριος σκοπός της επαυξημένης πραγματικότητας είναι να συνδυάσει πληροφορίες πραγματικού και εικονικού κόσμου και να παρέχει σε πραγματικό χρόνο αλληλεπίδραση με τους χρήστες (Azuma, 1997). Η αλληλεπίδραση αυτή επιτυγχάνεται συχνά με τη χρήση αντικειμένων τα οποία διαχειρίζονται οι χρήστες στον πραγματικό κόσμο ώστε να αλληλεπιδρούν με τον εικονικό. Η χρήση πραγματικών αντικειμένων δημιουργεί άμεσα μεταφορές, επιτρέποντας την ένταξη εννοιολογικών δομών που γνωρίζουν ήδη οι χρήστες από τον πραγματικό κόσμο, στον εικονικό. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας μεταφοράς είναι η χρήση ενός αναλογικού χάρτη για τη τοποθέτηση πάνω σε αυτόν ψηφιακής γεωγραφικής πληροφορίας, όπως οι διαστάσεις ενός κτηρίου, η θέση του καθώς και το υλικό κατασκευής του μέσω μιας εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας

(Billinghamurst 2002). Η σύνθεση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός επαυξημένου χάρτη.

Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης στην οποία εφαρμόζεται η παρακάτω μεθοδολογία είναι το αιολικό πάρκο του Ακρόχειρα, στην περιοχή του Σιγρίου στη νήσο Λέσβο. Κατά τη διαδικασία επέκτασης των βάσεων για την εγκατάσταση των νέων ανεμογεννητριών, ανακαλύφθηκαν απολιθωμένοι κορμοί με αποτέλεσμα να σταματήσει η διαδικασία και να ακολουθήσουν οι προβλεπόμενες ενέργειες όπως ορίζει η ανάλογη νομοθεσία.

Κοντά στη συγκεκριμένη περιοχή βρίσκεται το απολιθωμένο δάσος Λέσβου, γεγονός το οποίο που έθετε μεγάλες πιθανότητες να υπάρχουν απολιθώματα στη θέση εγκατάστασης των νέων ανεμογεννητριών.

Το απολιθωμένο δάσος Λέσβου αποτελεί ένα σπάνιο απολιθωμένο δασικό οικοσύστημα που περιλαμβάνει μεγάλες συγκεντρώσεις απολιθωμένων δένδρων και απολιθώματα ζώων τα οποία σκεπάστηκαν από ηφαιστειακά υλικά και απολιθώθηκαν στη θέση τους πριν από 18 εκατομμύρια χρόνια. Μέσα σε στρώματα ηφαιστειακής στάχτης αποκαλύπτονται ιστάμενοι και κατακείμενοι απολιθωμένοι κορμοί, κλαδιά, ρίζες, καρποί και φύλλα δένδρων καθώς και απολιθωμένα οστά και δόντια ζώων. Σημαντικές απολιθωματοφόρες περιοχές συναντώνται επίσης στην παράκτια ζώνη αλλά και στη θαλάσσια περιοχή δυτικά της Λέσβου. Στην περιοχή του Απολιθωμένου Δάσους συναντώνται επίσης εντυπωσιακοί ηφαιστειακοί γεώτοποι, που μαρτυρούν την έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα κατά το παρελθόν.

Γεωλογικά η θέση Ακρόχειρα, ως τμήμα της έκτασης που καλύπτει το απολιθωμένο δάσος Λέσβου, χαρακτηρίζεται από αλλεπάλληλες στρώσεις πυροκλαστικών αποθέσεων, κάποιες εκ των οποίων είναι και απολιθωματοφόρες.

Είδη πυροκλαστικών αποθέσεων: Αποθέσεις λασποροών, ρών απορριμμάτων, τόφφοι αποτελούμενοι κυρίως από τέφρα με ή χωρίς ηφαιστειακές βολίδες και ελαφρόπετρα.

Με Προεδρικό Διάταγμα (ΠΔ 443/1985) το Απολιθωμένο Δάσος ανακηρύχθηκε διατηρητέο μνημείο της φύσης. Η περιοχή του Απολιθωμένου Δάσους αποτέλεσε ιδρυτικό μέλος του Ευρωπαϊκού Δικτύου Γεωπάρκων το 2000. Το 2004 εντάχθηκε στο Παγκόσμιο Δίκτυο Γεωπάρκων της UNESCO. Στις περιοχές με μεγάλες συγκεντρώσεις απολιθωμένων δένδρων έχουν δημιουργηθεί πάρκα επίσκεψης. Κάθε μικρό ή μεγάλο τμήμα απολιθωμένου κορμού στην περιοχή του Απολιθωμένου Δάσους προστατεύεται από τον Νόμο.

Την άνοιξη του 2018 στην τοποθεσία του Αιολικού πάρκου του Σιγρίου ξεκίνησε η διαδικασία απεγκατάστασης των ήδη υφιστάμενων ανεμογεννητριών. Στο Αιολικό Πάρκο του Σιγρίου, λειτουργούσαν μέχρι πρότινος 9 ανεμογεννήτριες (Χάρτης 1), που απομακρύνθηκαν πριν πέντε μήνες, με την προοπτική να αντικατασταθούν με νέες, σύγχρονης τεχνολογίας. Το μέγεθος των νέων ανεμογεννητριών είναι λίγο μεγαλύτερο από των προηγούμενων συνεπώς χρειαζόταν να γίνει και επέκταση των βάσεων για την εγκατάστασή τους.



Εικόνα 4: A map showing the location of the 25 members of the European Geoparks Network as of October 2005

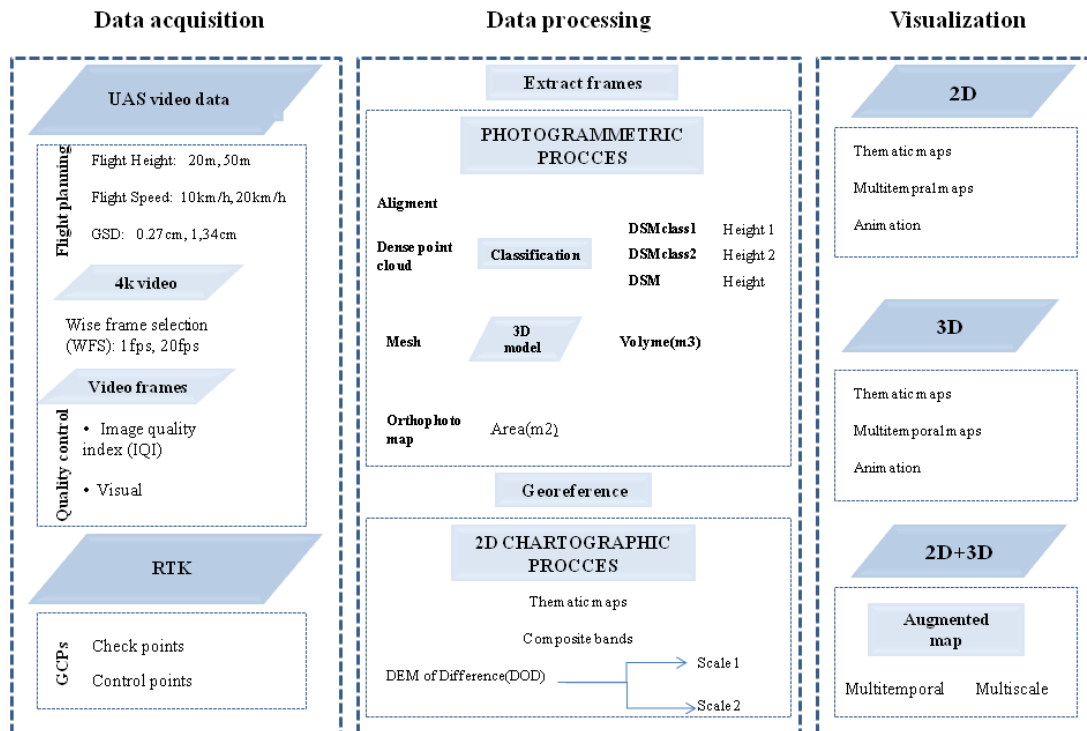
2. Μεθοδολογία

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία αναπτύχθηκε με σκοπό:

- την συστηματική παρακολούθηση της διαδικασίας ανασκαφής απολιθωμάτων
- την αξιόπιστη καταγραφή των μεταβολών
- την αξιοποίηση νέων τεχνολογικών μέσων (ΣμηΕΑ και κινητές πλατφόρμες)
- την αποδοτική χαρτογράφηση μέσα στο χρόνο
- την εύκολη παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Όπως αναφέρεται και στο προηγούμενο κεφάλαιο η διαδικασία η οποία πρέπει να ακολουθηθεί έπειτα από την τυχαία εύρεση απολιθωμάτων είναι συγκεκριμένη όπως ορίζει η νομοθεσία. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι πολύ σημαντική η παρακολούθηση της εξέλιξης του έργου. Ένας αποδοτικός τρόπος για την επίβλεψη των εργασιών είναι με τη χρήση ΣμηΕΑ (Yamazaki, 2017). Οι συγκεκριμένες πλατφόρμες έχουν την δυνατότητα λήψης δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, όπου σε συνδυασμό με τις νέες τεχνολογίες κινηματικής όπως είναι τα διαφορικά GPS, μπορούν να συλλέξουν υψηλής ακρίβειας δεδομένα. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία συνδυάζει τις βασικές αρχές της κλασικής χαρτογραφίας και τις φωτογραμμετρίας, όπως αυτές αναφέρονται στην βιβλιογραφική ανασκόπηση, αλγορίθμους υπολογιστικής όρασης και τρισδιάστατης μοντελοποίησης, καθώς και τεχνικές επαυξημένης πραγματικότητας για την αποδοτική χαρτογράφηση και οπτικοποίηση της διαδικασίας ανασκαφής απολιθωμάτων. Συνοπτικά η μεθοδολογία αποτελείται από τρία βασικά στάδια (Σχήμα 4), την συλλογή δεδομένων, την επεξεργασία δεδομένων και την οπτικοποίηση. Ακολουθεί ο ποιοτικός έλεγχος των δεδομένων τα οποία συλλέχθηκαν, για να κριθεί εάν αυτά είναι κατάλληλα και αξιόπιστα για την επεξεργασία τους. Το πρώτο στάδιο το οποίο είναι η συλλογή δεδομένων συμπεριλαμβάνει εναέρια μέσα ΣμηΕΑ για να εξασφαλίσει την ασφάλεια των αρμόδιων και μετρήσεις RTK για να εξασφαλίσει την ακρίβεια της θέσης τους. Η επεξεργασία των δεδομένων απαιτεί μια σειρά διαδικασιών η οποία είναι πρώτα η δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων μέσω του αλγορίθμου Structure from Motion (SfM), η ταξινόμηση των νεφών σημείων που δημιουργούνται, η παραγωγή των ψηφιακών μοντέλων εδάφους και ορθοφωτοχαρτών, ακολουθεί η γεωαναφορά τους και έπεται η χαρτογράφηση των αποτελεσμάτων στις δυο, στις τρεις και στις τέσσερις διαστάσεις.

Μεθοδολογία



Σχήμα 3: Μεθοδολογία

2.1 Συλλογή δεδομένων

Για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό της συλλογής δεδομένων από το πεδίο απαραίτητη κρίθηκε η επίσκεψη στην περιοχή μελέτης χωρίς τον εξοπλισμό(κάποιου είδους αυτοψία). Στην 2 Αυγούστου έγινε η πρώτη επιτόπια έρευνα πεδίου η οποία σκοπό είχε την κατανόηση της περιοχής. Διαπιστώθηκαν ομαλές υψομετρικές διαφορές στο ανάγλυφο της περιοχής γεγονός που επέτρεπε την εποπτεία του αεροσκάφους από πολλές διαφορετικές θέσεις. Για την ασφαλή διεξαγωγή των πτήσεων επιλέχθηκε σαν σημείο παρακολούθησης του αεροσκάφους, το ψηλότερο σημείο της περιοχής το οποίο προσδιορίστηκε κοντά στο τριγωνομετρικό σταθμό της Γ.Υ.Σ. Επιπλέον, παρατήρηση η οποία πρόκυψε ήταν πως λόγω του υψηλού υψομέτρου στο οποίο τοποθετείται το αιολικό πάρκο οι καιρικές συνθήκες δεν ταυτίζονται απόλυτα με της καιρικές συνθήκες οι οποίες καταγράφονται από τον μετεωρολογικό σταθμό ο οποίος υπάρχει στο Σίγρι. Στη συνέχεια διαπιστώθηκε πως η φύση και η μορφή των πετρωμάτων τα οποία υπάρχουν στον Ακρόχειρα, δεν είναι εφικτό να καταγραφούν με τις αυτόματες ρυθμίσεις της φωτογραφικής μηχανής σε συνθήκες ηλιοφάνειας καθώς αντανακλούν έντονα το φως, και ο φακός δεν προλαβαίνει να προσαρμοστεί στις υφιστάμενες συνθήκες, με αποτέλεσμα οι φωτογραφίες να υπερφωτίζονται και να μην αποθηκεύουν την απαιτούμενη πληροφορία. Ακολούθησε έλεγχος ολόκληρης της περιοχής για τον εντοπισμό σταθερών σημείων τα οποία θα αποτελούσαν κα τα σημεία αναφοράς και μετρήσεων με τη χρήση του RTK. Ενώ παρατηρήθηκε και η ύπαρξη δυο στηλών της ΔΕΗ και ένας μετεωρολογικός σταθμός ύψους 40 μέτρων, παράγοντας ο οποίος επηρεάζει των σχεδιασμό των σχεδίων πτήσης.

Η συλλογή των δεδομένων τοποθετείται σε 3 διαφορετικές χρονικές περιόδους(Σχήμα 4).



Σχήμα 4: Συλλογή δεδομένων σε 3 χρονικές περιόδους

Η πρώτη χρονική στιγμή ήταν στις 01/08/2018, η δεύτερη στις 5 Οκτωβρίου του 2018 και η τρίτη στις 11 Νοεμβρίου του 2018. Στην πρώτη ημερομηνία καταγραφής στην οποία πραγματοποιήθηκαν και οι πρώτες μετρήσεις, η κατάσταση στην οποία βρισκόταν το εργοτάξιο ήταν σε πρώιμο επίπεδο καθώς δεν είχαν ξεκινήσει οι διαδικασίες εκσκαφής και μόλις είχαν αφαιρεθεί οι προηγούμενες ανεμογεννήτριες. Συνεπώς η επίβλεψη του έργου ξεκινάει από παρθένο στάδιο δίχως να υπάρχει καμία μεταβολή την πρώτη ημερομηνία καταγραφής.

Για την συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος μεσαίας κατηγορίας το Phantom 4 pro της DJI και το διαφορικό GPS ProMark3 της εταιρίας Magellan.

Το ελικοφόρο ΣμηΕΑ (τετρακόπτερο) το οποίο χρησιμοποιήθηκε διαθέτει ενσωματωμένη κάμερα με ανάλυση 24Μpx με αισθητήρα CMOS (1/2.3 inch) διαστάσεων 6.17mm x 3.47mm, ο προσαρμοσμένος φακός επιτρέπει οπτικό πεδίο 94° με σταθερό διάφραγμα f/2.8 και εστίαση στο άπειρο. Η κάμερα είναι προσαρμοσμένη σε έναν τριαξονικό σταθεροποιητή κίνησης προσαρμοζόμενης ευαισθησίας με ακρίβεια $\pm 0.02^\circ$. Ο σταθεροποιητής κίνησης επέτρεψε την μεταβολή στην κλίση της κάμερας κατά την διάρκεια των αυτοματοποιημένων πτήσεων παίρνοντας θέση από μηδέν έως ενενήντα μοίρες. Το Phantom 4 pro διαθέτει GPS καθώς και ένα εξελιγμένο σύστημα υπερήχων σε συνδυασμό με οπτική αναγνώριση για την ακριβή μέτρηση 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 με την χρήση αποκλειστικά και μόνο του GPS και GLONASS διαφορετικά μειώνεται στα ± 0.1 μέτρα κατακόρυφα και ± 0.3 μέτρα οριζόντια.

Το ProMark3 είναι ένα πλήρες σύστημα GPS που παρέχει ακρίβεια σε πραγματικό χρόνο, στη συλλογή δεδομένων και στην πλοήγηση. Η τοποθέτηση σε πραγματικό χρόνο είναι διαθέσιμη μόνο με το ProMark3 RTK. Ένα τυπικό σύστημα ProMark3 που χρησιμοποιείται σε έρευνες μετά την επεξεργασία περιλαμβάνει δύο δέκτες GPS ProMark3, κεραίες GPS και όλα τα βοηθητικά εξαρτήματα που απαιτούνται για την προετοιμασία και την παραγωγή ποιοτικά δεδομένα σε ελάχιστο χρονικό διάστημα.

Το ProMark3 RTK πραγματοποιεί μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο, καθώς το σύστημα παράγει ακριβείς θέσεις σε εκατοστά χάρη στο δέκτη συχνότητας L1. Τα κύρια χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης συσκευής είναι τα εξής:

Γενικά Χαρακτηριστικά

- 14 παράλληλα κανάλια
- L1 C / A κώδικας και φορέας

- Παρακολούθηση SBAS και χρήση σε διαδικασία RTK
- Ρυθμός ενημέρωσης: 1 Hz
- Χρονική σήμανση (συγχρονισμένη) και Fast RTK (παρέκταση)
- RTCM 2.3 (λειτουργία rover) και 3.1 (1) (3) (4)

RTK (οριζόντια ακρίβεια)

- Σταθερό: 1cm (0,032ft) + 1ppm
- Float: 20cm (0.656ft) + 1ppm (CEP), σύγκλιση: 3 minSBAS (WAAS / EGNOS) (rms)
- Οριζόντια: <1m (3ft)

Στατική έρευνα (rms)

- Οριζόντια: 0,005 m + 1 ppm (0,016 ft + 1 ppm)
- Κατακόρυφη: 0,01 m + 2 ppm
- Αζιμούθιο: τόξο δευτερολέπτων
- Χρόνος παρατήρησης: Εύρος από 4 έως 40 λεπτά ανάλογα με την απόσταση μεταξύ των δεκτών και άλλου περιβαλλοντικού παράγοντα

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι σημαντικά για την διεξαγωγή της συγκεκριμένης έρευνας καθώς η ακρίβεια των δεδομένων τα οποία συλλέχθηκαν έπρεπε να περιοριστεί στα ± 5 εκ.

Τα χαρακτηριστικά των οργάνων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν μελετήθηκαν πριν τον σχεδιασμό της εργασίας πεδίου με σκοπό την πλήρη κατανόηση των δυνατοτήτων τους και την αποτελεσματική καταγραφή και συλλογή δεδομένων καθώς και την αποφυγή δυσλειτουργίας των οργάνων στο πεδίο.

Αναλυτικότερα, τα χαρακτηριστικά του αεροσκάφους και τις κάμερας του αποτελούν σημαντικό παράγοντα καθώς είναι ένας καταλυτικός παράγοντας ο οποίος καθορίζει τον σχεδιασμό της πτήσης.

Το πρώτο ερευνητικό ερώτημα το οποίο πρέπει να απαντηθεί από τον εκάστοτε χαρτογράφο σε μια αντίστοιχη περίπτωση, είναι η χαρτογραφική κλίμακα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης η χαρτογραφικές κλίμακες οι οποίες εξετάζονται είναι δύο.

Η απαιτούμενες χαρτογραφικές κλίμακες στη συγκεκριμένη εργασία είναι δυο. Η πρώτη χαρτογραφική κλίμακα συμπεριλαμβάνει ολόκληρη την περιοχή μελέτης και η δεύτερη σε πιο μεγάλη χαρτογραφική κλίμακα η οποία αντιστοιχεί στις θέσεις των σκαμμάτων, για την κάθε μια ξεχωριστά.

Έπειτα, από τον προσδιορισμό της χαρτογραφικής κλίμακας η οποία απαιτείται για την επίβλεψη του έργου ακολουθεί η χωρική ανάλυση των παραγόμενων χαρτογραφικών προϊόντων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η ανάλυση θα πρέπει να είναι αρκετά υψηλή καθώς όταν γίνεται αναφορά σε απολιθώματα και οι διαφορές ορισμένων εκατοστών είναι σημαντικές(ΑΝΑΦΟΡΑ). Η χωρική ανάλυση η οποία ζητήθηκε από τους αρμόδιους φορείς για την επίγεια επίβλεψη των διαδικασιών ήταν της τάξης των 5 εκ.

2.1.1 Σχέδια πτήσης (Συνθήκες ,φωτισμοί, υψόμετρα, 2 κλίμακες)

Τα σχέδια πτήσης το οποία δημιουργήθηκαν ήταν σε δύο διαφορετικά ύψη προκειμένου να καλυφθεί η ανάγκη για τις δυο διαφορετικές γεωγραφικές κλίμακες.

Η μια πτήση σχεδιάστηκε με σκοπό να καλύψει ολόκληρο το αιολικό πάρκο και να αποδώσει μια συνολική εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης περιλαμβάνοντας και τις 9 θέσης από τις οποίες μετακινήθηκαν οι ανεμογεννήτριες. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν πτήσεις ξεχωριστά πάνω από τις θέσεις οι οποίες υποδείχθηκαν από τον αρμόδιο φορέα για την εγκατάσταση των νέων ανεμογεννητριών σε χαμηλότερο υψόμετρο και σε μικρότερη περιοχή, σε επίπεδο σκαμμάτων.

Για τον σχεδιασμό ενός σχεδίου πτήσης υπάρχουν κάποιες μεταβλητές οι οποίες πρέπει να προσδιοριστούν. Για την απαιτούμενη χωρική ανάλυση η οποία ζητήθηκε από τους αρμόδιους φορείς η οποία ήταν 5cm, η αλληλοεπικάλυψη των φωτογραφιών θα έπρεπε να είναι 80% και 60%.

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ανάλυσης GSD: Ground Sample Distance (cm/pixel) – μέγεθος (ύψος, πλάτος) εικονοστοιχείου στο έδαφος χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τύποι:

$$GSD_h = \frac{Flight\ Height * Sensor\ Height}{Focal\ Length * Image\ Height}, \quad GSD_w = \frac{Flight\ Height * Sensor\ Width}{Focal\ Length * Image\ Width}$$

Με βάση το παραπάνω GSD μπορούμε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό τον υπόλοιπων χαρακτηριστικών πτήσης. Για ευκολία χρησιμοποιήθηκε η έτοιμη πλατφόρμα – φύλλο υπολογισμών της εταιρείας pix4d (<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560249-TOOLS-GSD-calculator>)

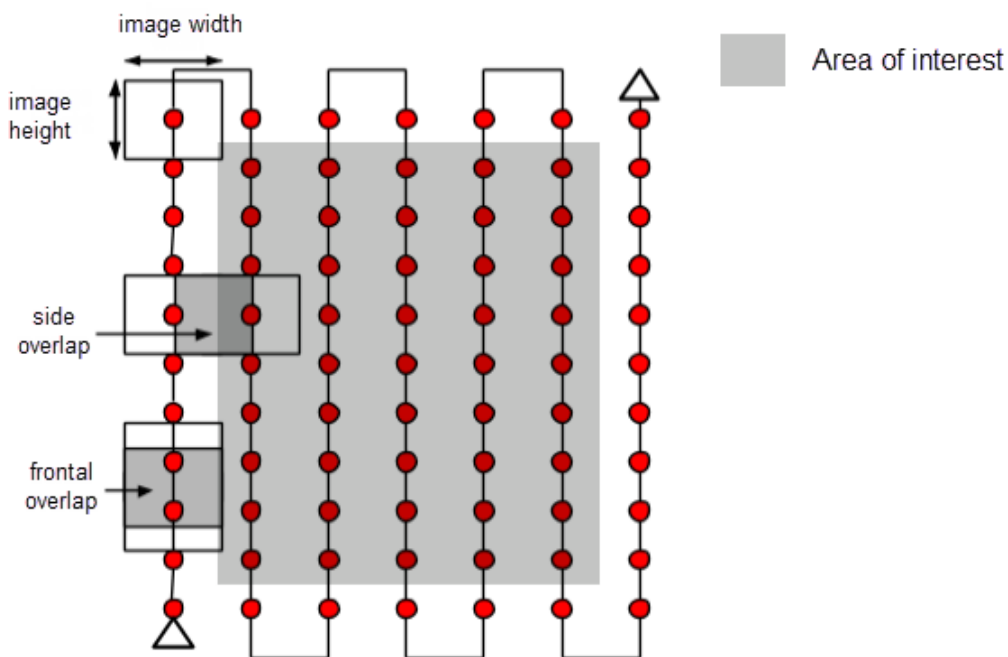
Πίνακας 1: Πλατφόρμα υπολογισμού βασικών χαρακτηριστικών πτήσης εταιρείας pix4d.

Instructions	
1.	Enter the Sensor Width (millimeters) in cell C14
2.	Enter the Focal Length (millimeters) in cell C15 (real focal length, not 35 mm equivalent)
3.	Enter the Flight Height (meters) in cell C16
4.	Enter the Image Width (pixels) in cell C17
5.	[Optional] Enter the Image Height (pixels) in cell C18
6.	Hit Enter
Calculator	
Sw	13,125 = the sensor width of the camera (millimeters)
Fr	15,4 = the focal length of the camera (millimeters)
H	100 = the flight height (meters)
imW	4608 = the image width (pixels)
imH	3456 = the image height (pixels)
GSD	1,85 = Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)
Dw	85 = width of single image footprint on the ground (meters)
DH	64 = height of single image footprint on the ground (meters)

Dw = The footprint width / distance covered on the ground by one image in width direction

Στο παραπάνω φύλλο αναφέρονται χαρακτηριστικά τα οποία καθορίζουν της μεταβλητές ενός σχεδίου πτήσης στηριζόμενος στις βασικές αρχές της φωτογραμμετρίας και τις κλίμακας φωτογραφίας.

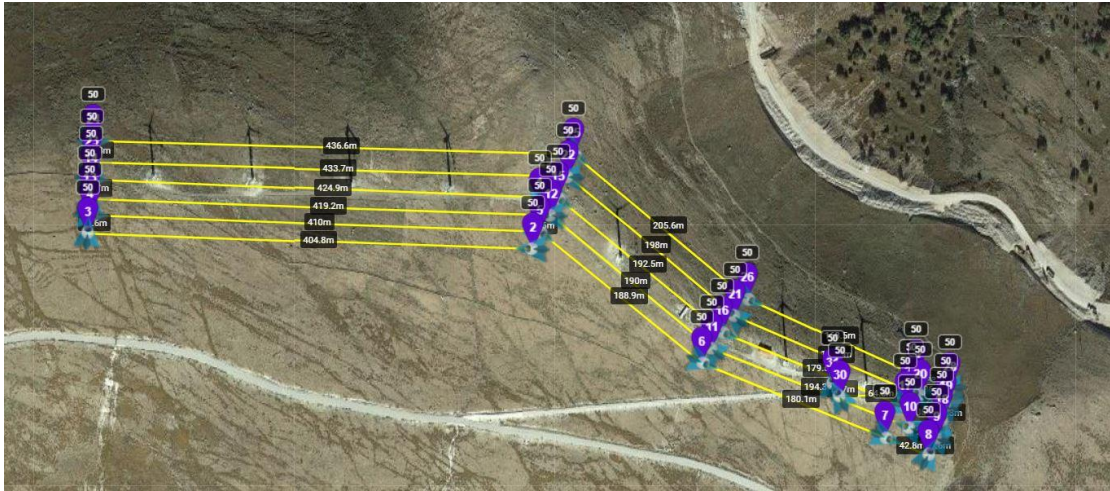
Ως δεδομένα εισαγωγής ορίζονται το μέγεθος του αισθητήρα το μήκος και το πλάτος του σε χιλιοστά, καθώς και ο αριθμός των κελιών που αποτελούν μια φωτογραφία στο μήκος και στο πλάτος της. Επιπλέον ορίζεται η εστιακή απόσταση της μηχανής, δηλαδή η απόσταση μεταξύ του φακού και τις πλακέτας καταγραφής. Από την συγκεκριμένη σχέση προκύπτει η χωρική ανάλυση του κελιού δηλαδή πόση γεωγραφική έκταση αντιστοιχεί σε ένα κελί, καθώς και η συνολική γεωγραφική έκταση η οποία αποτυπώνεται σε μια φωτογραφία. Ο συγκεκριμένος τύπος εφαρμόστηκε και για τις δύο χαρτογραφικές κλίμακες μελέτης (περιοχής και σκάμματος).



Εικόνα 5: Σχηματική παρουσίαση διαγράμματος πτήσης όπου περιγράφεται η έννοια της επικάλυψης (overlap) που απαιτείται να έχουν οι φωτογραφίες μεταξύ τους αλλά και της μίας λωρίδας με την επόμενη στη διαδρομή πτήσης

Στην περίπτωση του πρώτου σχεδίου πτήσης το οποίο θα κάλυπτε ολόκληρη την περιοχή μελέτης, σαν δεδομένο ορίστηκε το ύψος πτήσης στα 50μ. Η επιλογή του ύψους πτήσης προέκυψε από το γεγονός πως στην συγκεκριμένη περιοχή υπήρχαν δυο στήλη της ΔΕΗ και ένας μετεωρολογικός σταθμός ύψους 40 μ, συνεπώς για την αποφυγή οποιουδήποτε ατυχήματος επιλέχθηκε το σκάφος να πετάξει στα 50 μ. Με βάση λοιπόν τον παραπάνω πίνακα προέκυψε πως για να καλυφτεί η απαιτούμενη επικάλυψη 80% εμπρός και 60% πλάγια (εικόνα 5) και με ύψος πτήσης 50 μ, η θέση την οποία θα έπρεπε να μετακινηθεί το σκάφος για να καταγράψει μια φωτογραφία η οποία θα αποτύπωνε στον άξονα των χ' 60% την ίδια γεωγραφική περιοχή με την διπλανή φωτογραφία (όχι την επόμενη αλλά την διπλανή) θα έπρεπε να είναι 20μ. Σχετικά με την εμπρός και πλάγια επικάλυψη και τη θέση μετακίνησης του σκάφους δεν χρειάστηκε να καθοριστεί ακριβή θέση σημείου καθώς η κάμερα του αεροσκάφους κατέγραφε σε μορφή βίντεο πολύ υψηλής ανάλυσης όπως θα αναφερθεί και στα παρακάτω κεφάλαια αποτέλεσμα η συνεχόμενη καταγραφή εικόνας να εξυπηρετεί οποιοδήποτε ποσοστό εμπρός και πλάγια επικάλυψης.

Πιο συγκεκριμένα ο ορισμός της θέσης των σημείων τα οποία θα ακολουθήσει το ΣμηΕΑ ως μονοπάτι, έγινε με σκοπό να πλαισιώσει όλη την περιοχή μελέτης αποτυπώνοντας ταυτόχρονα και τα σημεία ελέγχου τα οποία τοποθετήθηκαν στο έδαφος.



Εικόνα 6: Σχέδιο πτήσης με την πορεία του ΣμηΕΑ σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1 η πρώτη αποστολή αποτελείται συνολικά 31 σημεία και έξι παράλληλες γραμμές σε σταθερή απόσταση 20μ η μία από την άλλη. Η συνολική απόσταση την οποία διανύει το ΣμηΕΑ είναι 4.8 χιλ και η ταχύτητα πτήσης του αεροσκάφους 20 km/h . Η πτήση κράτησε συνολικά 19 λεπτά ενώ ο προσανατολισμός του σκάφους κατά την διάρκεια της πτήσης ήταν από το ένα σημείο στο επόμενο. Σαν σημείο απογείωσης και προσγείωσης επιλέχτηκε το σημείο του δρόμου κάθετα από τον μετεωρολογικό, για να διασφαλιστεί η διαφυγή του εμποδίου. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως η πτήση έγινε σε σταθερό υψόμετρο από το σημείο απογείωσης χωρίς να ακολουθεί το ανάγλυφο της περιοχής.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν τρία ξεχωριστά σχέδια πτήσης, ένα για κάθε μια νέα θέση εγκατάστασης ανεμογεννήτριας όπου και θα πραγματοποιούνται τα έργα της εκσκαφής.

Καθότι η γεωγραφική περιοχή περιορίζεται, αλλάζουν και οι μεταβλητές οι οποίες ορίζονται.

Για να παρατηρηθούν μεταβολές και αλλαγές σε επίπεδο σκάμματος όπου και υπάρχει γεωλογικό ενδιαφέρον για την εύρεση απολιθωμάτων, η χωρική ανάλυση των δεδομένων απαιτείται να είναι πιο υψηλή της τάξης των 2εκ. Αυτό με βάση τα παραπάνω προϋποθέτει πως το ύψος πτήσης πρέπει να μειωθεί, ορίζοντας λοιπόν το ύψος πτήσης στον παραπάνω πίνακα 1, προκύπτει πως το ύψος πτήσης το οποίο καλύπτει της χαρτογραφικές ανάγκες είναι τα 20μ.

Υπολογίζεται η πλάγια αλληλοεπικάλυψη με την ίδια ακριβώς μέθοδο όπως και στην πρώτη πτήση στο 60% και καταλήγει πως θέση στην οποία πρέπει να μετακινηθεί το σκάφος είναι 10μ πλάγια. Παρόλα αυτά γιατί η γεωγραφική περιοχή την οποία αποτυπώνει ένα καρέ της μηχανής περιορίζεται λόγω του ύψους πτήσης, αυξάνεται ο αριθμός των παράλληλων γραμμών οι οποίες θα δημιουργηθούν προκειμένου να καλυφθεί μια περιοχή.

Πίνακας 2

Πτήση	Ημερ/νία	05/08/2018				07/10/2018		11/11/2018	
		Ολ. Περιοχή ή μελέτης	Θέση 1	Θέση 2	Θέση 3	Ολ. Περιοχή ή μελέτης	Θέση 1	Ολ. Περιοχή ή μελέτης	Θέση 1
Υψόμετρο		50μ	20μ	20μ	20μ	50μ	20μ	50μ	20μ
Ώρα πτήσης		11:30π μ	12:15μ μ	12:45μ μ	13:10μ μ	11:45π μ	12:30μ μ	12:00μ μ	12:45μ μ
Διάρκεια πτήσης		19λ	11λ	5λ	7λ	19λ	11λ	19λ	11λ
Συνολική απόσταση		4800μ	1300μ	668μ	884μ	4800μ	1300μ	4800μ	1300μ
Χωρική ανάλυση φωτογραφίας		0,06μ	0,02μ			0,06μ	0,02μ	0,06μ	0,02μ
Ταχύτητα σκάφους		15km/h							
Οπτικός αισθητήρας		Camera DJI							
Εστιακή απόσταση		19mm							
Ανάλυση κάμερας		24.3 MP							
Μέγεθος αισθητήρα		Width:6.3mm Height:4.7mm							
Μέγεθος πίξελ		1.55 μ.m							
Προσανατολισμός κάμερας		Κάθετα							
Προσανατολισμός σκάφους		Προς το επόμενο σημείο							

Το σχέδιο πτήσης για την πρώτη θέση εγκατάστασης νέας ανεμογεννήτριας αποτελείται από 37 σημεία και 18 παράλληλες γραμμές σε σταθερή απόσταση 10μ η μία από την άλλη. Το σκάφος διανύει συνολικά 1.3 χιλ σε έντεκα λεπτά με ταχύτητα 15 km/h. Και ο προσανατολισμός τον οποίο διατηρεί είναι προς το επόμενο σημείο.

Στη δεύτερη θέση η πτήση αποτελείται από 23 σημεία και 11 παράλληλους ενώ συνολική διαδρομή που διανύει το σκάφος είναι 688μ. Η ταχύτητα του είναι επίσης στα 15 km/h και ο προσανατολισμός του προς το επόμενο σημείο.

Για το σχέδιο πτήσης της τρίτης θέσεις χρειάστηκαν 25 σημεία και 12 παράλληλες γραμμές σε απόσταση 10 μέτρων η μία από την άλλη, καθώς ο προσανατολισμός του σκάφους και η ταχύτητα ήταν η ίδια όπως στις προηγούμενες δύο θέσεις. Η συνολική απόσταση η οποία διανύθηκε ήταν 884 μ και η πτήση διήρκεσε 7 λεπτά.



Εικόνα 7: Σχέδια πτήσης για κάθε ξεχωριστό σκάμμα

Συνολικά σχεδιάστηκαν 4 διαφορετικά σχέδια πτήσης, ένα για όλη την περιοχή και ένα για κάθε μια νέα θέσης εγκατάστασης, αναλύονται όμως μόνο τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν για όλη την περιοχή σε χαρτογραφική κλίμακα 1:500 και σε κλίμακα 1:50 τα δεδομένα από την πρώτη θέση εγκατάστασης στην οποία παρατηρήθηκε πως βρέθηκαν και τα περισσότερα ευρήματα. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως και στις τρεις διαφορετικές ημερομηνίες στις οποίες έγιναν οι πτήσεις, τα σχέδια και τα χαρακτηριστικά πτήσης τα οποία ακολουθηθήκαν ήταν τα ίδια, για να υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης των δεδομένων εφόσον αποτυπώνουν ακριβώς την ίδια περιοχή χωρίς καμία παραμετροποίηση στη διαδικασία συλλογής δεδομένων.

Επιμέρους παράμετροι οι οποίοι πρέπει να ελέγχονται πριν από τη μετάβαση στο πεδίο και την εκτέλεση της αποστολής είναι οι εξής:

Α. Καιρικές συνθήκες: Οι καιρικές συνθήκες αποτελούν καταλυτικό παράγοντα για τη διεξαγωγή μιας πτήσης. Το αεροσκάφος δεν επιτρέπεται να εκτελέσει πτήση σε περίπτωση έντονης ακόμα και αραιής βροχόπτωσης καθώς δεν είναι εξοπλισμένο με αδιάβροχα προστατευτικά, με κίνδυνο να προκληθεί βλάβη στα ηλεκτρονικά του. Επιπλέον το επιτρεπτό όριο έντασης ανέμου είναι μέχρι 5 μποφόρ, για το λόγω πως ο χειριστής πρέπει να έχει πλήρη έλεγχο του σκάφους ακόμα και εάν αυτό ακολουθεί ένα προκαθορισμένο σχέδιο πτήσης. Σε περίπτωση που η ένταση ανέμου ξεπερνάει τα 5 μποφορ, η τηλεκατεύθυνση γίνεται εξαιρετικά δύσκολη με αποτέλεσμα να χρειάζονται μεγάλη ισχύ οι έλικες για να ακολουθήσουν τις εντολές του πιλότου συνεπώς η ενέργεια την οποία χρειάζεται το ΣμηΕΑ και αντλεί από την μπαταρία να καταναλώνεται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και ενδείξεις πρόβλεψης σχετικά με τα χαρακτηριστικά της πτήσης να μην ενημερώνονται έγκυρα. Το γεγονός αυτό εγκυμονεί κινδύνους καθώς αυξάνονται η πιθανότητες συντριβής του αεροσκάφους. Στη συνέχεια ούτε οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες και η έντονη ηλιοφάνεια εξυπηρετεί για την εκτέλεση μια πτήσης καθώς υπάρχει περίπτωση υπερθέρμανσης του αεροσκάφους με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί κάποιο βραχυκύκλωμα, ενώ υπάρχει και η περίπτωση έντονης σκίασης σε περιοχές οι οποίες πρέπει να αποτυπωθούν από την κάμερα, για να μπορέσει στη συνέχεια να παραχθεί πληροφορία για την συγκεκριμένη περιοχή.

Β. Έλεγχος εξοπλισμού: Σχετικά με τον εξοπλισμό θα πρέπει αυστηρός να ελέγχετε πριν από την εργασία πεδίου. Η αρτιότητα του σκάφους για μια ομαλή πτήση προϋποθέτει την φόρτιση των μπαταριών, τον έλεγχο σώματος του αεροσκάφους και των ελίκων για τυχόν φθορές, ραγίσματα ή σπασίματα και την επιβεβαίωση πως υπάρχει επαρκής χώρος αποθήκευσης των δεδομένων στις κάρτες καταγραφής SD.

2.1.2 Σημεία Ελέγχου

Πολύ σημαντικό κομμάτι της συλλογής δεδομένων αποτελούν τα σημεία ελέγχου (Ground control points, GCP). Τα σημεία ελέγχου εδάφους και οι συντεταγμένες τους χρησιμοποιούνται για την ακριβή καταγραφή της θέσης ενός σημείου. Οι μετρήσεις δίνουν την πληροφορία του γεωγραφικού πλάτους, του γεωγραφικού μήκους και του απόλυτου υψομέτρου μίας θέσης με απόκλιση λίγων εκατοστών.

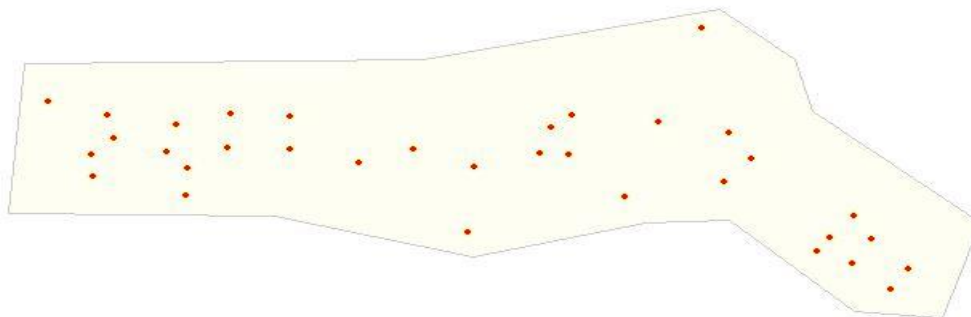
Για τον καθορισμό της θέσης των μετρήσεων προηγήθηκε τόσο εκτεταμένη εργαστηριακή έρευνα, όσο και επιτόπια έρευνα πεδίου. Η γεωμετρία της περιοχής μελέτης ήταν σχετικά ακανόνιστη και λόγω της φύσης του εδάφους η επιλογή της θέσης των σημείων έπρεπε να γίνει με μεγάλη προσοχή. Καθότι θα έπρεπε να γίνει διαχρονική παρακολούθηση του έργου οι θέσεις των σημείων θα έπρεπε να είναι σταθερές και εύκολα αναγνωρίσιμες, έτσι ώστε να γίνει δυνατή η καταγραφή της οποιασδήποτε μεταβολής.

Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των σημείων ήταν η κινηματική ή Real Time Kinematic (RTK). Το RTK είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης για τον ακριβή προσδιορισμό μιας θέσης σε πραγματικό χρόνο. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέχθηκε με βάση δυο σημαντικούς παράγοντες. Ο πρώτος, ήταν πως στην περιοχή του Ακρόχειρα είναι τοποθετημένος ένας τριγωνομετρικός σταθμός της Γ.Υ.Σ με αποτέλεσμα η σταθερή βάση του συστήματος να τοποθετηθεί στην θέση του σταθμού, γεγονός εξασφάλισε την υψηλή ακρίβεια των δεδομένων, και η κινηματική μέθοδος να αποδώσει αξιόπιστα στην συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης. Ο δεύτερος παράγοντας ήταν πως η κινηματική μέθοδος είναι μια μέθοδος γρήγορης και αποτελεσματικής καταγραφής συντεταγμένων, και καθότι ο χρόνος εργασίας στο πεδίο ήταν περιορισμένος συνεπώς και επιλέχθηκε.

Το ανάγλυφο της περιοχής συντέλεσε θετικά στην συγκεκριμένη διαδικασία καθώς ο προσδιορισμός της θέσης με τη χρήση των συγκεκριμένων οργάνων λειτουργεί σε ποιο σύντομο χρονικό διάστημα όταν η βάση έχει οπτική επαφή με το κινηματικό, άρα η επίλυση γίνεται απευθείας χωρίς να παρεμβάλλει κάποιο φυσικό ή τεχνητό εμπόδιο.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στις θέσεις των σκαμμάτων καθώς οι χαρτογραφικές κλίμακες οι οποίες εξετάζονται είναι δύο και οι μετρήσεις στις νέες θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών ήταν απαραίτητες τόσο για να μπορέσει να μετρηθεί συγκεκριμένα η μεταβολή στην θέση αλλά και για να γεωαναφερθούν τα παραγόμενα δισδιάστατα και τρισδιάστατα προϊόντα στη συνέχεια.

Η κατανομή των σημείων (εικόνα 8) έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να ακολουθείται η γεωμετρία της περιοχής. Συνολικά τοποθετήθηκαν 36 σημεία ελέγχου, περιμετρικά από την περιοχή αλλά και διάσπαρτα μέσα στο πολύγωνο. Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός εξυπηρετεί τον σκοπό της χωρικής παρεμβολής κατά την διαδικασία της γεωαναφοράς, περιορίζοντας τις μεγάλες αποκλίσεις στις άκρες της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 8: Κατανομή των σημείων ελέγχου εδάφους GCPs

Από τα 36 σημεία τα οποία μετρήθηκαν(Πίνακας 3), χρησιμοποιήθηκαν 5 από αυτά για την γεωαναφορά της χαρτογραφικής κλίμακας 1:500 περιοχής ενώ με τα υπόλοιπα έγινε στη συνέχεια ο έλεγχος της γεωαναφοράς των αποτελεσμάτων. Για την μεγαλύτερη χαρτογραφική κλίμακα σε επίπεδο σκάμματος χρησιμοποιήθηκαν 4 σημεία.

Πίνακας 3: Τα 36 σημεία ελέγχου

PLACE	X	Y	Z
1	664769,272	4343579,582	351,983
2	664764,52	4343562,355	351,317
3	664797,496	4343585,95	353,332
4	664796,034	4343564,971	353,085
5	664775,623	4343552,347	351,138
6	664774,148	4343536,01	349,731
7	664828,819	4343583,936	353,08
8	664829,007	4343564,275	353,741
9	664924,859	4343553,069	355,742
10	664921,518	4343513,577	351,71
11	664959,291	4343561,873	359,223
12	664965,131	4343578,053	359,566
13	664976,125	4343585,589	360,522
14	664974,84	4343561,169	360,219
15	665055,307	4343544,032	365,129
16	665070,222	4343558,439	366,327
17	665123,183	4343522,819	362,221
18	665110,812	4343509,763	361,46
19	665104,36	4343501,399	361,005
20	665122,878	4343494,061	359,781
21	665132,403	4343508,901	360,899
22	665142,896	4343478,044	358,328
23	665152,078	4343490,555	360,793
24	665021,226	4343581,107	365,112
25	665003,603	4343535,099	360,439
26	664893,397	4343563,966	354,977
27	665057,874	4343573,909	366,371

28	664864,745	4343556,048	354,095
VATHRO	665044,07	4343639,04	376,04
29	664725,606	4343547,827	348,985
30	664725,155	4343561,106	349,492
31	664736,675	4343571,352	348,7
32	664733,619	4343585,321	347,823
33	664797,457	4343585,872	353,215
34	664796,087	4343564,965	353,064
35	664702,569	4343593,28	347,044
36	665248,559	4343424,609	352,59

Τα σημεία ελέγχου ακρίβειας τοποθετήθηκαν στο έδαφος έτσι ώστε να είναι ορατά από τις αεροφωτογραφίες με κόκκινο χρώμα.

2.1.3 Δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν

Τα ΣμηΕΑ έχουν τη δυνατότητα καταγραφής τόσο στατικών εικόνων όσο και συνεχόμενης εικόνας. Ο τύπος των δεδομένων τα οποία μπορούν να καταγράψουν εξαρτάται από τους αισθητήρες τους οποίους το σκάφος έχει συνδεδεμένος στο σώμα του. Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε κάμερα καταγραφής του ορατού φάσματος. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας έχει την δυνατότητα 4 διαφορετικών μορφών αποθήκευσης αρχείων: *.DNG*, *.jpg*, *.mov*, *.mp4*.

Πίνακας 4: Μορφές αποθήκευσης αρχείων εικόνας - βίντεο

Τύπος δεδομένων	
Raw(DNG)	<p>(Digital NeGative image format) A digital camera file format from Adobe introduced in 2004 to provide a standard for unprocessed RAW images. DNG is a lossless format similar to RAW. However, unlike RAW that uses specific formats based on camera types or manufacturers, DNG stores image data in a compatible, generic format. Thus, even if it is created by Adobe for its applications, any software that can read or convert DNG format can be used.</p> <p>Converting RAW files to DNG is highly recommended as this will significantly decrease the size of the images, making them easy to download, upload, or send via email. In fact, DNG files are 15 to 20 percent smaller in size than RAW files without any loss of quality.</p> <p>The DNG format has checksum information that is used to scan and prevent file corruption. Also, enhancements, new features, and extra functionalities are assured since Adobe continuously works on the DNG format.</p> <p>However, it takes a long time to convert RAW files into DNG.</p>
Jpg	<p>Used by most digital cameras as their default format, JPEG is the most common file type which can be used online or for hard prints. Its lossy compression algorithm removes minute details that your eye is least likely to notice to save space. However, the compression ratio is adjustable so you can select the level of quality you want in your image. In general, the compression is enough to provide a reasonably high-quality image without worrying too much about the file size.</p> <p>A drawback of JPEG files is that unlike PNG files, the layers of a JPEG file are flattened. That means you have very limited ability to tweak past edits. Worse, if you edit the same file several times, the edited image may become worse than the</p>

	original. This image degradation can be a real headache, especially if you are working on lossy formats such as JPEG. One way to mitigate this problem is to keep an unedited, original version of the file. In that way, if anything goes haywire during the editing process, you can always back to the original version.
Mov	The MOV format was originally developed by Apple Inc. as a format for its QuickTime movies. MOV displayed advantages in everyday use, for example, providing better video quality, ability to improve sound and image quality, but it suffers hindrance from its proprietary nature as well.
Mp4	The MP4 format which was created based on the MOV file type and their both specifications were essentially identical at first was later developed as the standard format in multimedia industry.
Tiff	TIFF is a lossless file format which is popular among graphic artists, photographers, and publishers. The information is retained in layers, which depends on how you save the file. It is also a favorite of printers because there is no loss in quality when the image is printed. TIFF is also supported by various photo editing applications such as Photoshop, Lightroom, Illustrator, Photomatix, Google Nik, and more . A TIFF file, similar to a RAW file, is extremely large.

Ο τύπος αποθήκευσης των δεδομένων τα οποία συλλέχθηκαν από ΣμηΕΑ στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ήταν βίντεο Mp4. Τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης κάμερας επιτρέπουν την καταγραφή βίντεο πολύ υψηλής ανάλυσης 4K(4096 × 2160). Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα επιλογής του αριθμού των καρέ τα οποία θα καταγράφονται κάθε δευτερόλεπτο.

Οι δυνατές επιλογές οι οποίες δίνονται είναι από 20 καρέ το δευτερόλεπτο(frames per second, fps), έως 60fps. Όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο σχετικά με τα σχέδια πτήσης, ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την χαρτογράφηση περιοχών με φωτογραμμετρικές μεθόδους και την χρήση αεροφωτογραφιών είναι η εμπρόσθια και η πλάγια επικάλυψη. Συνεπώς έγινε η επιλογή για την καταγραφή 60 καρέ ανά δευτερόλεπτο ούτως ώστε να συλλεχθεί όσων το δυνατόν περισσότερη πληροφορία και η ανάλυση της εικόνας του βίντεο ήταν 4096x2160 pixel.

Συνεπώς μετά την εκτέλεση των αποστολών τα πρωτογενή δεδομένα και για τις τρεις ημερομηνίες ήταν βίντεο μορφής .mp4 για κάθε μία ημερομηνία καταγραφής.

Για να μπορέσουν στη συνέχεια τα δεδομένα να γίνουν επεξεργάσιμα από φωτογραμμετρικά λογισμικά και να δημιουργηθούν τα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα της περιοχής χρειάστηκε να ακολουθηθεί η παρακάτω επεξεργασία.

Τα αρχεία τύπου .mp4 είναι βίντεο, δηλαδή εικόνες συνεχόμενης κίνησης ενωμένες σε ένα ενιαίο πλαίσιο οι οποίες προβάλλονται η μία διαδοχικά της άλλης σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης υπήρχαν 60 εικόνες για κάθε δευτερόλεπτο του βίντεο. Συνεπώς έπρεπε να γίνει υπολογισμός μέσω ενός τύπου(Εξίσωση 1) ο οποίος θα υπολόγιζε ανά πόσα καρέ θα χρειαζόταν να απομονωθεί μια εικόνα προκειμένου να επιτευχθεί το ποσοστό του 80% της εμπρόσθιας επικάλυψης.

Πίνακας 5: Εξίσωση υπολογισμού απαιτούμενου χρονικού διαστήματος για την απομόνωση καρέ εικόνας από το βίντεο.

<u>Ορισμός μεταβλητών</u>	<u>Αναγωγή μονάδας μέτρησης</u>
Ύψος πτήσης= h	
Ταχύτητα = t	$h = h * 1000$
Ποσοστό επικάλυψης = l	t=
Εστιακή απόσταση= fl	$(klm * 10000) /$
Μέγεθος αισθητήρα=sw(sensor width)	3600
Αριθμός πίζελ στο πλάτος του αισθητήρα=iw	$fl = fl / 10$
Αριθμός πίζελ στο μήκος του αισθητήρα=ih	
Χωρική ανάλυση κελιού(Ground sampling distance)=GSD	
Μήκος φωτογραφίας(αποτύπωμα στην γήινη επιφάνεια)=PH	<u>Σχέση μεταξύ μεταβλητών</u>
Θέση μετακίνησης αποτυπώματος(ποσοστό κάλυψης της φωτογραφίας, αφαιρείται από το αρχικό αποτύπωμα και καταλήγει το πόσα μέτρα θα μετακινηθεί το αποτύπωμα)=D	$GSD = (h * sw) / (fl / iw)$
Θέση μετακίνησης σκάφους=UP	$PH = (ih * GSD) / 100 \text{ (m)}$
	$D = PH - \{(PH * l) / 100\}$

Τελική σχέση

$$UP = (D * 3600 * 29) / t \Rightarrow$$

$$UP = [(PH - \{(PH * l) / 100\}) * 3600 * 29] / t \Rightarrow$$

$$UP = ((ih * GSD) / 100 - ((ih * GSD) / 100 * l) / 100) * 3600 * 29 / t \Rightarrow$$

$$UP = ((ih * ((h * sw) / (fl / iw)) / 100 - ((ih * ((h * sw) / (fl / iw)) / 100 * l) / 100) * 3600 * 29) / t \Rightarrow$$

$$UP = ((ih * ((h * 1000) * sw) / ((fl / 10) / iw)) / 100 -$$

$$((ih * (((h * 1000) * sw) / ((fl / 10) / iw)) / 100 * l) / 100) * 3600 * 29) / t \Rightarrow$$

$$UP = ((ih * ((h * 1000) * sw) / ((fl / 10) / iw)) / 100 -$$

$$((ih * (((h * 1000) * sw) / ((fl / 10) / iw)) / 100 * l) / 100) * 3600 * 29) / (klm * 100000) / 3600$$

Ο παραπάνω τύπος εκφράσει την σχέση του ύψους πτήσης με την γεωγραφική έκταση την οποία αποτυπώνεται σε μια μεμονωμένη φωτογραφία με βάση τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα της μηχανής. Και στη συνέχεια συσχετίζει την γεωγραφική περιοχή με την ταχύτητα κίνησης του αεροσκάφους και την απαιτούμενη αλληλοεπικάλυψη δυο εικόνων. Πιο συγκεκριμένα σε πόση ώρα το ΣμηΕΑ θα έχει διανύσει την απαιτούμενη απόσταση στον αέρα ούτως ώστε στον αισθητήρα του να αποτυπώνεται το απαιτούμενο ποσοστό αλληλοεπικάλυψης(80%) της προηγούμενης με την επόμενη φωτογραφία. Το χρονικό διάστημα αυτό είναι και το καρέ από το οποίο πρέπει να απομονωθεί από το σύνολο των εικόνων του βίντεο με σκοπό να προκύψει ένα σετ δεδομένων κατάλληλο για φωτογραμμετρική επεξεργασία.

Η παραπάνω σχέση εξηγείται ως εξής: Το πρώτο βήμα αποτελείται από την μετατροπή την αναγωγή των στοιχείων {ύψος πτήσης(m), ταχύτητα σκάφους (km/h), εστιακή απόσταση (mm), μέγεθος αισθητήρα (mm)} σε κοινή μονάδα μέτρησης, η οποία επιλέχθηκε να είναι τα εκατοστά(cm).

Το ζητούμενο στη συγκεκριμένη σχέση είναι μετά από πόσο χρόνο το σκάφος θα έχει μετακινηθεί την αντίστοιχη απόσταση στον αέρα έτσι ώστε το αποτύπωμα της φωτογραφίας στη γήινη επιφάνεια να είναι 80% ίδιο(σε εμπρόσθια κίνηση) με την προηγούμενη φωτογραφία. Αυτό το ζητούμενο είναι απαραίτητο για να υπολογισθεί ποια καρτέ από τα βίντεο τα οποία καταγράφηκαν θα χρειαστεί να απομονωθούν. Αναλυτικότερα, η τελική εξίσωση $UP=(D*3600*29)/t$, αποτελείται από δυο μεταβλητές οι οποίες είναι τα μέτρα μετακίνησης του αποτυπώματος της εικόνας και της ταχύτητας. Το D, το οποίο ορίστηκε ως η μεταβλητή της θέσης μετακίνησης του αεροσκάφους υπολογίζεται από το συνολικό αποτύπωμα της φωτογραφίας(PH) αφαιρώντας το μήκος της φωτογραφίας επί το ποσοστό επιθυμητής επικάλυψης των εικόνων δία εκατό. Το συνολικό αποτύπωμα της φωτογραφίας(PH) εκφράζεται τον πολλαπλασιασμό της χωρικής ανάλυσης του κελιού (GSD) από τον αριθμό των πίξελ που αποτελούν του μήκος του αισθητήρα (ih) δια εκατό. Η χωρική ανάλυση του κελιού(GSD) είναι ένας αριθμός ο οποίος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της κάμερας και υπολογίζεται από τον λόγο ενός γινομένου και ενός κλάσματος. Ο αριθμητής προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του ύψους πτήσης(h) με το μέγεθος του αισθητήρα(πλάτος, sw), και ο παρονομαστής από την διαίρεση της εστιακής απόστασης(fl) με τον αριθμό των πίξελ στο πλάτος του αισθητήρα(iw). Τέλος γίνεται η αναγωγή των μονάδων σε κοινή μονάδα μέτρησης, και προκύπτει το χρονικό διάστημα στο οποίο πρέπει να αποσκοπούν τα καρτέ. Στην συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης ήταν ανά δύο δευτερόλεπτα ένα καρτέ.

Για να επιτευχθεί αυτό χρειάστηκε η εισαγωγή των βίντεο σε λογισμικό κατάλληλο για να εκτέλεση την διαδικασία αποκοπής των καρτέ από βίντεο, το πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε ήταν το DVDvideosoft_Free_Studio(FS).

Από το βίντεο για την χαρτογράφηση ολόκληρης της περιοχής μελέτης προέκυψαν συνολικά 689 φωτογραφίες ανάλυσης 4096x2160 πίξελ, ενώ από το βίντεο για την χαρτογράφηση της θέσης 1, 256 φωτογραφίες τις ίδιες ανάλυσης.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις τρεις διαφορετικές ημερομηνίες μελέτης.

Ενώ το ΣμηΕΑ εκτελεί μια αποστολή, την ίδια στιγμή στην ταμπλέτα με το οποίο είναι συνδεδεμένο καταγράφονται στα αρχεία της εφαρμογής η οποία χρησιμοποιείται ένα αρχείο .log.

Αυτά τα αρχεία είναι συνδεδεμένα με τον πιλότο και φέρουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του σκάφους κατά τη διάρκεια της πτήσης. Γίνεται καταγραφή ανά δυο δευτερόλεπτα για οι πληροφορίες οι οποίες συλλέγονται είναι οι εξής

2.1.4 Ποιοτικός έλεγχος δεδομένων

Σε συνέχεια της συλλογής των δεδομένων από το πεδίο είναι ο ποιοτικός τους έλεγχος. Τα δεδομένα εξετάζονται για την αξιοπιστία τους καθώς και εάν είναι κατάλληλα και πληρούν τις προδιαγραφές για την περαιτέρω επεξεργασία τους.

Ποιοτικός έλεγχος γίνεται στις φωτογραφίες οι οποίες προκύπτουν από τον διαχωρισμό των καρτέ από το βίντεο, οπτικά. Οι φωτογραφίες ελέγχθηκαν μια προς μια ξεχωριστά, και κατηγοριοποιήθηκαν σε κατάλληλες(Εικόνα 9) και ακατάλληλες για επεξεργασία. Ακατάλληλες κρίθηκαν οι φωτογραφίες(Εικόνα 8) οι οποίες είναι θολές, υπερφορτισμένες ή υπάρχει κάποιος θόρυβος.



Εικόνα 9 : Μη Κατάλληλες (α) και κατάλληλες (β) εικόνες για επεξεργασία.

2.2 Επεξεργασία δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων διακρίνεται σε τρία διακριτά στάδια:

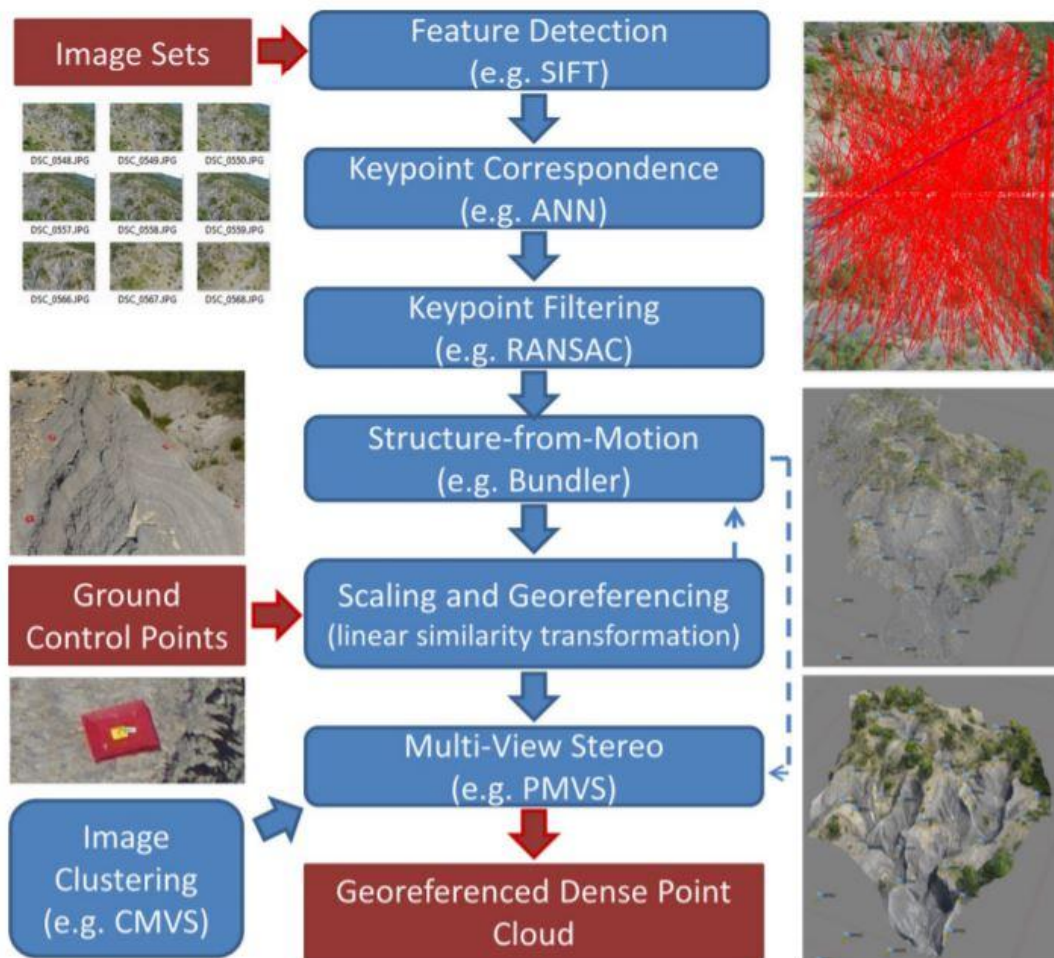
Στάδιο 1^ο : Φωτογραμμετρική επεξεργασία, αποτελεί το κύριο μέρος για την παραγωγή των ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου (DSM), ορθοφωτοχαρτών, τρισδιάστατων μοντέλων και τρισδιάστατων νεφών σημείων.

Στάδιο 2^ο : Χαρτογραφική επεξεργασία, για την παραγωγή δισδιάστατων στατικών χαρτών και σειράς χαρτών.

Στάδιο 3^ο : Επεξεργασία για την τρισδιάστατη οπτικοποίηση και δημιουργία επαυξημένων χαρτών.

2.2.1 Φωτογραμμετρική επεξεργασία

Αναλυτικότερα, η επεξεργασία των αεροφωτογραφιών με μεθόδους φωτογραμμετρίας ακολουθεί συγκεκριμένα βήματα (σχήμα 5)



Σχήμα 5: Βήματα επεξεργασίας αεροφωτογραφιών με μεθόδους φωτογραμμετρίας

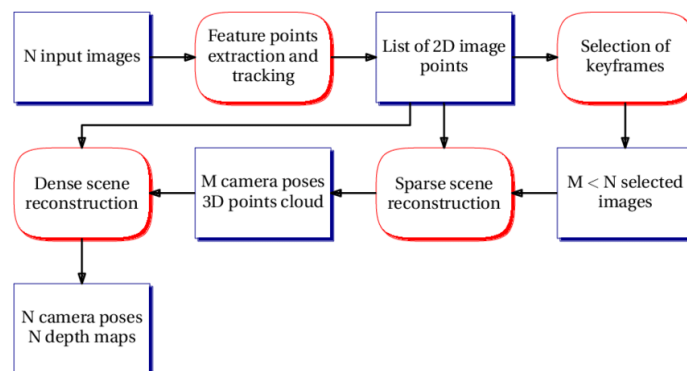
Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την συγκεκριμένη εργασία ήταν το Photoscan της Agisoft. Πιο συγκεκριμένα, σε πρώτο στάδιο, έγινε η εισαγωγή των φωτογραφιών στο λογισμικό. Πριν από οποιαδήποτε επεξεργασία στα δεδομένα τελείται αυτόματος ποιοτικός έλεγχος των φωτογραφιών. Ο αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για να εξετάσει αυτόματα εάν το σετ δεδομένων το οποίο επιλέχθηκε πλήρη τις προδιαγραφές για να αποδώσει έγκυρα αποτελέσματα είναι ο δείκτης ποιότητας εικόνας (Image quality index, IQI). Ο δείκτης ποιότητας εικόνας (IQI) εφαρμόζεται σε διάφορα συστήματα επεξεργασίας εικόνας και παρέχει μια ουσιαστική σύγκριση μεταξύ διαφορετικών τύπων στρεβλώσεων εικόνας. Αυτός ο δείκτης ποιότητας υποδηλώνει κάθε παραμόρφωση ως συνδυασμός τριών διαφορετικών παραγόντων: απώλεια συσχέτισης, παραμόρφωση φωτεινότητας και παραμόρφωση αντίθεσης (Wang and Bovik, 2002). Όλες οι φωτογραφίες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την φωτογραμμετρική ελέγχθηκαν από τον IQI (Πίνακας 6).

Πίνακας 6: Τιμές του δείκτη IQI

Label	Size	Aligned	Quality
Windturb_0...	4096x2160		0.87781
Windturb_0...	4096x2160		0.873289
Windturb_0...	4096x2160		0.876556
Windturb_0...	4096x2160		0.878312
Windturb_0...	4096x2160		0.876546
Windturb_0...	4096x2160		0.881354
Windturb_0...	4096x2160		0.883779
Windturb_0...	4096x2160		0.884818
Windturb_0...	4096x2160		0.883633

Τα αποδεκτά όρια των τιμών του δείκτη είναι από 0.5-1, σε περίπτωση που κάποια από τις φωτογραφίες εμφάνιζε τιμή εκτός αυτού του διαστήματος, δεν συμπεριλαμβάνονταν στην επεξεργασία καθώς μπορούσε να επηρεάσει την διαδικασία και τα αποτελέσματα.

Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία του τρισδιάστατου νέφους σημείων, το οποίο προκύπτει από την εφαρμογή σύγχρονων αλγορίθμων υπολογιστικής όρασης και γεωπληροφορικής. Πιο συγκεκριμένα από τον Structure from motion-Multi view stereo (SfM-MVS), η συγκεκριμένη τεχνική αποτελείται από επιμέρους διαδικασίες και αλγόριθμους (Σχήμα 6) οι οποίοι συνθέτουν μια συγκεκριμένη μεθοδολογία για την παραγωγή τρισδιάστατης πληροφορίας και άλλων χαρτογραφικών προϊόντων.



Σχήμα 6: Structure from motion-Multi view stereo

Αναγνώριση χαρακτηριστικών σημείων

Με ένα σύνολο εικόνων μιας σκηνής που έχει ληφθεί από πολλά και διαφορετικά προβολικά κέντρα, το πρώτο βήμα είναι να προσδιοριστεί σε κάθε εικόνα και να εκχωρήσει ένα μοναδικό αναγνωριστικό (χαρακτηριστικό σημείο, key points) σε αυτά ανεξάρτητα από το την προοπτική ή την κλίμακα της εικόνας. Το σημείο αναγνώρισης, πρέπει να εντοπιστεί σε εικόνες οι οποίες λήφθηκαν από διαφορετικά σημεία/θέσης, ώστε να καλύπτεται η προϋπόθεση της παράλλαξης, η οποία είναι απαραίτητη για την απόδοση της τρίτης διάστασης. Στη συνέχεια ταυτοποιούνται τα σύνολα των εικονοστοιχείων που είναι αμετάβλητα στις μεταβολές της κλίμακας και τον προσανατολισμό (Szeliski, 2011). Το Photoscan της Agisoft χρησιμοποιεί για την διαδικασία αναγνώρισης χαρακτηριστικών σημείων τον μετασχηματισμό μεταβλητής κλίμακας (SIFT) (Lowe, 1999, 2001, 2004) για να αποδώσει καλά για αλλαγές υπό το πρίσμα $<40^\circ$.

Συνταύτιση χαρακτηριστικών σημείων

Το επόμενο βήμα απαιτεί τον προσδιορισμό των αντιστοιχιών μεταξύ των χαρακτηριστικών σημείων σε πολλαπλά εικόνες. Φυσικά, δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι το καθένα Keypoint θα εκπροσωπηθεί σε κάθε εικόνα, έτσι εφαρμόζεται το όριο για τον προσδιορισμό των αντιστοιχιών. Οι περιγραφείς είναι συνήθως πολύπλοκοι (για παράδειγμα, ο περιγραφέας SIFT χρησιμοποιεί 128 διανύσματα για να περιγράψει κάθε σημείο). Η αναλογία της ευκλείδειας απόστασης του κοντινότερου γείτονα με εκείνον του δεύτερου το πλησιέστερο ονομάζεται «λόγος απόστασης» και μια ελάχιστη τιμή (τυπικά $0,6-0,8$ · Snavelly et al., 2008) καθορίζεται για να αυξήσει την πιθανότητα όλων αντιστοιχίσεις σωστά. Σε περιοχές μεγάλων διαστάσεων η πλησιέστερη αναζήτηση γειτόνων προϋποθέτει μεγάλες υπολογιστικές απαιτήσεις και χρόνο (Argy et al., 1998). Τα K-διαστάσεων δέντρα (ή k-d δένδρα) με κάποιες τροποποιήσεις των Mija and Lowe, 2009, είναι μια αποτελεσματική και κατά προσέγγιση λύση σε αυτό πρόβλημα. Αυτά τα δυαδικά δέντρα χωρίζουν τα πολυδιάστατα δεδομένα για να εξαλείψουν γρήγορα την μεγάλη αναζήτηση (Bentley, 1975, Friedman et al., 1977). Η μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα (ANN) είναι μια λύση καθώς αναζητά μόνο τους κορυφαίους υποψήφιους και εξοικονομεί χρόνο (Argy et al., 1998).

Έλεγχος χαρακτηριστικών σημείων-Εντοπισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών

Ένα άλλο φίλτρο αντιστοιχίας χαρακτηριστικών σημείων που εφαρμόστηκε στη συνέχεια ήταν ο αλγόριθμος RANSAC, ο οποίος προσπάθησε να εντοπίσει και να αφαιρέσει οποιαδήποτε παραμένοντες εσφαλμένες αντιστοιχίες. Λαμβάνοντας οποιοδήποτε στερεοζεύγος εικόνων με πολλαπλά κοινά βασικά σημεία, η βασική μήτρα (F-matrix) μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας ο αλγόριθμος οκτώ σημείων (Longuet-Higgins, 1981). Ο πίνακας F καθορίζει τη σχέση μεταξύ των δύο εικόνων και ανακατασκευάστηκε σκηνή μέχρι ένα προβολικό μετασχηματισμό όπου όλοι τα σημεία που βρίσκονται σε μία γραμμή παραμένουν ευθυγραμμισμένα. Οι υποψήφιες F-μήτρες αξιολογούνται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο RANSCom Consensus RANSAC (RANSAC) (Fischler and Bolles, 1981) στην οποία βασικά σημεία που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή της F-matrix τυχαίας δειγματοληψίας και η διαφορά μεταξύ του επέστρεψε το F-matrix και αυτό επιστράφηκε από άλλα τα βασικά σημεία που έχουν δειγματοληψία υπολογίζονται. Πέρα από ένα κατώτατο όριο, το σημείο κλειδί θεωρείται ως " και δεν αποτελούν μέρος της τοποθέτησης του μοντέλου. Η δειγματοληψία είναι επαναλαμβάνεται σε διαφορετικά

υποσύνολα μέχρι να υπάρξει a 95% πιθανότητα ότι το υποσύνολο περιέχει μόνο 'inliers' για την οποία επιστρέφεται η μήτρα F. Μετά από περαιτέρω τελειοποίηση, όλες οι εξωστρεφείς αντιστοιχίσεις καταργούνται. Άλλα παρόμοια πλαίσια υποθέσεων και δοκιμών μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτό το στάδιο (Torr and Zisserman, 2000) ή το Μετασχηματισμός Hough (Ballard and Brown, 1982).

SfM

Από τις γεωμετρικά σωστές αντιστοιχίες των χαρακτηριστικών σημείων, ο SfM χρησιμοποιεί τη συνόρθωση δέσμης για την ταυτόχρονη εκτίμηση της τρισδιάστατης γεωμετρίας (ή της δομής) μιας σκηνής, λαμβάνει υπόψιν τις διαφορετικές θέσεις των καμερών και τις εσωτερικές παραμέτρους της κάμερας (Ullman, 1979). Ενώ οι συμβατικές φωτογραμμετρικές τεχνικές μοιράζονται αυτό το βήμα, συχνά απαιτούν ξεχωριστή βαθμονόμηση της κάμερας, όπου αυτή η βαθμονόμηση της κάμερας δεν είναι διαθέσιμη. ο SfM χρησιμοποιεί και τις ετικέτες EXIF στις εικόνες και το μεγάλο αριθμό εικόνων καθώς και αντιστοιχίες των keypoint για την εκτίμηση των εγγενών παραμέτρων κάμερας που καθορίζουν τη βαθμονόμηση της κάμερας (π.χ., το εστιακό μήκος, το κύριο σημείο και συχνά τις ακτινικές παραμέτρους παραμόρφωσης). Μέσω της συνόρθωσης δέσμης επιτυγχάνεται μια γρήγορη δημιουργία ενός τρισδιάστατου αντικειμένου, χωρίς όμως να έχει μετρητική αξία (βλ Granshaw (1980) και Triggs et al. (2000)). Ο όρος "δέσμη" αναφέρεται στις δέσμες φωτεινών ακτινών που συνδέουν το κέντρο της φωτογραφικής μηχανής με σημεία 3D, και ο όρος "συνόρθωση" αναφέρεται στο ελαχιστοποίηση μιας λειτουργίας μη γραμμικής λειτουργίας η οποία αντανακλά το σφάλμα της μέτρησης (Szeliski, 2011). Αυτός ο όρος σφάλματος μπορεί να ενσωματώνει πολλές πηγές πληροφοριών που περιλαμβάνουν σφάλματα στην προβολή των επιμέρους χαρακτηριστικών της εικόνας στο χώρο του αντικειμένου (σφάλματα εκ νέου προβολής). Οι τιμές των παραμέτρων πρέπει να εκχωρηθούν αρχικά πριν από τη βελτιστοποίηση της μη γραμμικής παράμετρος της ρύθμισης δέσμης. Οι διαδοχικές μέθοδοι παίρνουν ένα αρχικό ζευγάρι εικόνες, οι οποίες συνήθως εμφανίζουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά σημεία και μια ευρεία γραμμή βάσης, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος των πέντε σημείων (Nistér, 2004) και σε συνδιασμό με τα μεταδεδομένα εξετάζεται η εγκυρότητα της F-matrix δημιουργήθηκε από τον RANSAC στο προηγούμενο στάδιο. Εσφαλμένα καθορισμένες αρχικές παράμετροι για μια εικόνα μπορούν να δώσουν μια βελτιστοποίηση στα τοπικά ελάχιστα αντί για τη "σωστή" λύση και να προκαλέσει την απόρριψη αυτής της εικόνας από το έργο. Τα ίχνη μεταξύ των βασικών σημείων είναι τότε τριγωνίζονται για να δώσουν αρχικές εκτιμήσεις (βλ. Hartley and Sturm, 1997). Σφάλματα μεταξύ των προβολών κάθε διαδρομής και τα αντίστοιχα βασικά σημεία ελαχιστοποιούνται ως μέρος της συνόρθωσης δέσμης δύο καρτέ. Ο κάμερα που περιέχει τον μεγαλύτερο αριθμό κομματιών των οποίων οι θέσεις 3D είναι ήδη γνωστές επιλέχθηκε και προστέθηκε στη βελτιστοποίηση. Χρησιμοποιώντας αυτές τις γνωστές θέσεις 3D τις συντεταγμένες 2D της νέας εικόνας χαρτογραφούνται στο τρισδιάστατο αντικείμενο χώρο και τις εκτιμώμενες παραμέτρους της κάμερας. Σε κάθε στάδιο, τα βασικά σημεία με υψηλό σφάλμα αφαιρούνται. Με κάθε εικόνα να προστίθεται διαδοχικά, πραγματοποιείται στη συνέχεια μια ρύθμιση συνολικής δέσμης για την βελτιστοποίηση του συνολικού μοντέλου.

Κλίμακα και γεωαναφορά

Το αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει από τον SfM είναι ένα αραιό νέφος σημείων σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων μαζί με τα προβολικά κέντρα των φωτογραφιών. Τουλάχιστον τρία σημεία ελέγχου εδάφους (GCP) με συντεταγμένες XYZ απαιτούνται για την κλίμακα και τη γεωαναφορά του νέφους σημείων που προέρχεται από τον SfM. Χρησιμοποιείται ένας μετασχηματισμός γραμμικής ομοιότητας εφτά παραμέτρων. Οι εφτά αυτοί παράμετροι χωρίζονται σε τρεις παραμέτρους συνολικής μετάφρασης, τρεις παραμέτρους περιστροφής και μία παράμετρο κλίμακας (Dandois and Ellis, 2010, James και Robson, 2012). Σε αντίθεση με τη συμβατική φωτογραμμετρία, κάθε φωτογραφία δεν χρειάζεται να περιέχει ορατά GCP.

Για την βέλτιστη γεωαναφορά τα φωτοσταθερά θα πρέπει να καλύπτουν ολόκληρη την έκταση της περιοχής (Javernick et al., 2014, Smith et al., 2014) και να είναι καλά κατανεμημένα σε ολόκληρη την περιοχή (James και Robson, 2012).

Βελτίωση προβολικών κέντρων

Ο προσδιορισμός των GCP και των συντεταγμένων που εκτελέστηκε στο προηγούμενο βήμα παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες της 3D γεωμετρίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περαιτέρω βελτίωση του εσωτερικού προσανατολισμού της κάμερας της γεωμετρίας του μοντέλου. Οι γνωστές συντεταγμένες (και οι εκτιμήσεις του σφάλματος σημείου) αποτελούν επιπλέον πηγή σφάλματος στην ελαχιστοποίηση της γραμμικής συνάρτησης κατά τη διάρκεια της συνόρθωσης δέσμη. Με αυτές τις εξωτερικές πληροφορίες να συμπεριλαμβάνονται στο το μοντέλο, η συνόρθωση δέσμης επαναλαμβάνεται για να βελτιστοποιηθεί η ευθυγράμμιση των εικόνων, ελαχιστοποιώντας το άθροισμα των τιμών καθώς προκύπτει εκ νέου προβολής και σφάλμα γεωαναφοράς. Η χωρική κατανομή των GCP σε όλο το περιοχή έρευνας είναι ζωτικής σημασίας για τη διαδικασία αυτή και την αποτελεσματικότητα της.

Multi view stereo (MVS)/Πυκνό νέφος σημείων

Το επόμενο βήμα στο διάγραμμα ροής της εργασίας είναι η εφαρμογή του αλγόριθμου MVS στο ήδη γεωμετρικά διορθωμένο νέφος σημείων. Ο MVS αυξάνει την πυκνότητα του νέφους σημείων τουλάχιστον στο διπλάσιο του αρχικού του μεγέθους. Όπως περιγράφεται λεπτομερώς από τους Seitz et al. (2006), υπάρχει πληθώρα αλγορίθμων για την διαδικασία της πύκνωσης του αραιού νέφους σημείων, οι οποίοι μπορούν να ταξινομηθούν σε:

- (i) Μέθοδο Voxel, (Seitz και Dyer, 1999)
- (ii) Μέθοδο αναπτυσσόμενης επιφάνειας, (Furukawa και Ponce, 2009)
- (iii) Μέθοδο συγχώνευσης (Depth maps Li et al, 2010)
- (iv) Μέθοδο προσθήκης (patch method) Lhuillier και Quan (2005).

Μια συνήθως εφαρμοζόμενη μέθοδος σε εφαρμογές φυσικής γεωγραφίας είναι η μέθοδος προσθήκης (patch method), γνωστή ως PMVS των (Furukawa και Pons, 2010) η οποία και χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των πυκνών νεφών σημείων σε αυτή την εργασία. Ο PMVS δημιουργεί αλληλεπικαλυπτόμενες ομάδες φωτογραφιών για να μειώσει τις επεξεργαστικές απαιτήσεις (Pons, 2007), και στη συνέχεια μεταξύ των ομάδων δημιουργεί μια πυκνή ανασυγκρότηση του νέφους σημείων στο εκάστοτε σύμπλεγμα (Pons, 2007). Ο συγκεκριμένος τρόπος ομαδοποίησης των προβολών ονομάστηκε cluster multi view stereo (CMVS, Furukawa, 2010) και καταδείχθηκε για εφαρμογές στη φυσική γεωγραφία από τον Dietrich (2015). Η ομαδοποίηση των εικόνων βελτιώνει την δυνατότητα κλιμάκωσης του MVS, επιτρέποντας την επεξεργασία σε πολύ μεγαλύτερο αριθμό εικόνων να είναι επεξεργασία σε οποιοδήποτε δεδομένο χρόνο εκτέλεσης. Η κατανόηση της πλήρους ροής εργασίας του SfM-MVS είναι χρήσιμη γνώση, ώστε να είναι εφικτή στη συνέχεια η ταυτοποίηση και η ελαχιστοποίηση πιθανών σφαλμάτων που προκύπτουν κατά την επεξεργασία.

Στο συγκεκριμένο σημείο έχει προκύψει ένα γεωαναφερμένο πυκνό νέφος σημείων. Δηλαδή ένα σύνολο σημείων με μετρητική αξία και στις τρεις διαστάσεις σε ένα σύστημα συντεταγμένων, στη συγκεκριμένη περίπτωση στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87). Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα, είναι σε ψηφιακή μορφή αλλά δεν θεωρείται ψηφιακό αντικείμενο.

Ταξινόμηση του νέφους σημείων

Το συγκεκριμένο στάδιο της επεξεργασία αφορά την ταξινόμηση των γεωαναφερμένων νεφών σημείων που προέκυψαν μετά την εφαρμογή του MVS. Οι κλάσεις οι οποίες δημιουργήθηκαν ήταν δύο:

A) Περιοχή εκσκαφής

B) Υπόλοιπο έδαφος

Η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε χειροκίνητα, καθώς έγινε λεπτομερή επιλογή των σημείων τα οποία αντιστοιχούν στην εκάστοτε κλάση.

MESH

Συνεχίζοντας την φωτογραμμετρική επεξεργασία για την δημιουργία ενός ψηφιακού αντικειμένου (πλέγματος), γίνεται χωρική παρεμβολή μεταξύ των σημείων του νέφους, δημιουργώντας ακμές μεταξύ τους και στη συνέχεια επιφάνειες μεταξύ των ακμών. Η χωρική παρεμβολή την οποία χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο λογισμό είναι η (TIN). Ένα τριγωνικό ανώμαλο δίκτυο (TIN) είναι μια αναπαράσταση μιας συνεχούς επιφάνειας που αποτελείται εξ ολοκλήρου από τριγωνικές όψεις, που χρησιμοποιούνται κυρίως ως Discrete Global Grid σε πρωτογενή μοντελοποίηση. Οι κορυφές αυτών των τριγώνων δημιουργούνται από επιτόπου καταγραμμένα σημειακά υψόμετρα μέσω ποικίλων μέσων, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης μέσω συμβατικού συστήματος Global Positioning Real-Time Cinematic (GPS RTK), φωτογραμμετρίας ή με άλλα μέσα. Σε σχέση με τα τρισδιάστατα δεδομένα (x, y, z) και την τοπογραφία, τα TIN είναι χρήσιμα για την περιγραφή και την ανάλυση των γενικών κατανομών και σχέσεων οριζόντιας (x και y).

Το PhotoScan ανασυνθέτει την επιφάνεια ενός 3D πλέγματος πολυγώνου που αντιπροσωπεύει το αντικείμενο και βασίζεται στο πυκνό νέφος σημείων από το προηγούμενο στάδιο.

TEXTURE MESH

Στο συγκεκριμένο σημείο, το τρισδιάστατο πλέγμα το οποίο δημιουργήθηκε μέσω της TIN αποκτά φωτορεαλιστικής υφή. Για κάθε μια από της επιφάνειας τις οποίες αποτελούν το ψηφιακό αντικείμενο επιλέγετε το βέλτιστο κομμάτι από τις αντίστοιχες φωτογραφίες που το απεικονίζουν και εφάπτεται πάνω σε αυτή. Η απόδοση υφής στο τρισδιάστατο μοντέλο, είναι άμεσα συνδεδεμένο με τον ορθοφωτοχάρτη, καθώς βελτιστοποιεί την ανάλυση του.

Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους(DTM)

Η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους είναι ανεξάρτητη από την δημιουργία του από το τρισδιάστατο ψηφιακό αντικείμενο, αλλά άμεσα εξαρτημένο από το τρισδιάστατο νέφος σημείων. Η διαδικασία για την παραγωγή ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο λογισμικό περιλαμβάνει τον ορισμό της διάστασης του κελιού, η οποία ορίζεται αυτόματα από λογισμικό, στη συνέχεια δίνεται η τιμή στο κελί με βάση την επικρατούσα τιμή ενός σημείου από το σύνολο σημείων τα οποία εμπίπτουν στο συγκεκριμένο κελί. Αντίστοιχα εκτελείται η ίδια διαδικασία για την δημιουργία των ταξινομημένων νεφών, με τη διαφορά ότι τιμές λαμβάνονται μόνο για τις κλάσεις οι οποίες έχουν επιλεχθεί, τα υπόλοιπα κελιά τα οποία αποτελούν το ράστερ δεν έχουν τιμές.

Δημιουργία ορθοφωτοχάρτη

Το τελικό στάδιο της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας είναι η δημιουργία ενός ορθοφωτοχάρτη. Το λογισμικό επιτρέπει σε αυτό το πεδίο την πλήρη λειτουργικότητα που χρειάζεται ο χρήστης. Ξεκινώντας από την επιλογή του συστήματος συντεταγμένων στόχου, με τη μέθοδο συνδυασμού συγκεκριμένων ορθοσωμάτων (mosaicking, κατά μέσο όρο φωτεινότητα ενός εικονοστοιχείου, επιλογή του εικονοστοιχείου με μέγιστη ένταση), επιλογή του μεγέθους του εικονοστοιχείου εδάφους (προεπιλογή είναι το μέγεθος ίσο στο μέσο μέγεθος ενός εικονοστοιχείου των φωτογραφιών) ή στη διάσπαση μεγάλων περιοχών μικρότερα μπλοκ.

Η επεξεργασία η οποία περιγράφεται παραπάνω εφαρμόστηκε και στις τρεις ημερομηνίες καταγραφής και για τις δύο χαρτογραφικές κλίμακες.

Κλίμακα ολόκληρης περιοχής μελέτης:

- 01/08/2018
- 07/10/2018
- 11/11/2018

Κλίμακα σκάμματος:

- 01/08/2018
- 07/10/2018

- 11/11/2018

Αναλυτικότερα, για την 1 Αυγούστου(2018) και την κλίμακα ολόκληρης της περιοχής, χρησιμοποιήθηκαν 221 φωτογραφίες, οι οποίες κρίθηκαν κατάλληλες από τον ποιοτικό έλεγχο για την φωτογραμμετρική επεξεργασία. Από την εφαρμογή του SFM προέκυψε ένα αραιό νέφος σημείων αποτελούμενο από 60.585 σημεία. Η γεωαναφορά του συγκεκριμένου νέφους σημείων έγινε με πέντε σημεία ελέγχου στο Ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα(ΕΓΣΑ 87). Τα φωτοσταθερά συνολικά εμφανίστηκαν σε 96/221 φωτογραφίες. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση της θέσης των καμερών καθώς τελέστηκε αναπροσδιορισμός των προβολικών κέντρων, και υπολογίστηκε ξανά η συνορθωση δέσμης με νέα στοιχεία από την γεωαναφορά. Το μέσω τετραγωνικό σφάλμα(RMS) του εξωτερικού προσανατολισμού του μοντέλου υπολογίστηκε στα 0,06 cm. Συνέχεια είχε η εφαρμογή του MVS και η δημιουργία ενός πυκνού νέφους σημείων(16.568.726). Το νέφος σημείων ταξινομήθηκε χειροκίνητα σε δύο κλάσεις, μια για τις περιοχές που εκσκάφτηκαν και μια για το υπόλοιπο έδαφος τις περιοχής. Ακολούθησε η χωρική παρεμβολή TIN η οποία χρησιμοποίησε τα σημεία του πυκνού νέφους για να δημιουργήσει τριγωνικές επιφάνειες (1.104.580) μεταξύ τους και να συνθέσει ένα ψηφιακό αντικείμενο, στη συνέχεια αποδόθηκε φωτορεαλιστική υφή στις επιφάνειες του ψηφιακού αντικειμένου από τις αντίστοιχες φωτογραφίες. Το επόμενο στάδιο είναι η κατασκευή του ψηφιακού μοντέλου αναφύφου(DEM). Συνολικά παράχθηκαν 2 ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου για την συγκεκριμένη κλίμακα την συγκεκριμένη ημερομηνία, ένα το οποίο περιέγραφε το υψόμετρο ολόκληρης της περιοχής μελέτης και ένα το οποίο έφερε υψομετρική πληροφορία μόνο για τις περιοχές εκσκαφής. Η απόδοση της υψομετρικής τιμής από τον τρισδιάστατο χώρο στο δισδιάστατο στη συγκεκριμένη εργασία έγινε με την εφαρμογή της χωρικής παρεμβολής ανεστραμμένων βαρών (IDW) στο κάθε πίκσελ του συνολικού ράστερ, μεταξύ των σημείων που εμπεριέχονται σε αυτό. Τα δύο ψηφιακά μοντέλα εδάφους είχαν την ίδια χωρική ανάλυση(8cm/pix), και η μέγιστη υψομετρική τιμή που καταγράφεται είναι στα 355μ, πραγματικού υψομέτρου. Η ροής της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας ολοκληρώνεται με την δημιουργία του ορθοφωτοχάρτη, ο οποίος απεικονίζει ολόκληρη την περιοχή μελέτης στις 01 Αυγούστου με χωρική ανάλυση 2.06cm/pix.

Πίνακας 7: Ημερομηνίες καταγραφής και για τις δύο χαρτογραφικές κλίμακες

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ Α										
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗ ΚΑ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ	Ποιοτικός έλεγχος	Αριθμός φωτοστροφικών	Sfm(tie points)	Γεωαναφορά		MVS(πικνό νέφος σημείων)	Ψηφιακό αντικείμενο (mesh)	Ψηφιακό μοντέλο εδόφους (DEM)	Ορθοφωτοζεύξης	
				Αριθμός σημείων	RMS (m)					
01/08/2018	✓	228	60.585	5	0.06	16.568.726	1.104.580	8.2cm/pix	2.06cm/pix	
07/10/2018	✓	280	65.787	5	0.07	10.507.061	882.008	8.3cm/pix	2.1cm/pix	
11/11/2018	✓	229	188.406	4	0.05	5.025.896	573.489	8.4cm/pix	2.12cm/pix	
ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ Β										
01/08/2018	✓	80	60.583	3	0.06	786.371	19.999	8.2cm/pix	2.06cm/pix	
07/10/2018	✓	218	41.459	4	0.02	15.961.400	1.064.084	2.38cm/pix	0.6cm/pix	
11/11/2018	✓	232	105.415	5	0.04	13.739.390	305.319	2.36cm/pix	0.6cm/pix	

Η ίδια μέθοδος ακολουθήθηκε για όλες τις ημερομηνίες καταγραφής και για τις δύο χαρτογραφικές κλίμακες (πίνακας 7). Πιο συγκεκριμένα, για την μεγαλύτερη χαρτογραφική κλίμακα στις 01 Αυγούστου, χρησιμοποιήθηκαν 80 φωτογραφίες, το αραιό νέφος σημείων αποτελούνταν από 60.583 σημεία, η γεωαναφορά έγινε με τη χρήση 3 σημείων ελέγχου και η ακρίβεια του εξωτερικού προσανατολισμού ήταν 0.06cm. Το πυκνό νέφος σημείων είχε 786.371 συνολικά σημεία και το τρισδιάστατο μοντέλο 19.999 επιφάνειες. Η χωρική ανάλυση του DEM ήταν 8.2cm/rix και του ορθοφωτοχάρτη 2.06cm/rix. Αντίστοιχα για την μικρότερη χαρτογραφική κλίμακα την δεύτερη ημερομηνία(07/10/2018), δημιουργήθηκε ένα αραιό νέφος σημείων το οποίο συνέθεταν 65.787 σημεία από 280 φωτογραφίες, έγινε γεωαναφορά με 5 φωτοσταθερά και το RMS υπολογίστηκε στα 0.07 cm. Το πυκνό νέφος σημείων συνέθεταν 10.507.061 σημεία και το 3D μοντέλο 882.008 επιφάνειες. Το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου και ο ορθοφωτοχάρτης είχαν ανάλυση 8.3cm/rix και 2.1cm/rix αντίστοιχα. Για την μεγαλύτερη χαρτογραφική κλίμακα της συγκεκριμένης ημερομηνίας επιλέχθηκαν 218 εικόνες, και τα φωτογραμμετρικά προϊόντα ήταν, το αραιό νέφος σημείων(41.459), το πυκνό νέφος σημείων(15.961.400), το 3D μοντέλο(1.064.084), το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου(2.38cm/rix) και ο ορθοφωτοχάρτης(0.6cm/rix). Η γεωαναφορά των προϊόντων έγινε 4 σημεία ελέγχου και ακρίβεια της ήταν 0.02cm.

2.2.3 Δισδιάστατη επεξεργασία(DOD, RGB, ψηφιοποίηση)

Στην δισδιάστατη επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την φωτογραμμετρική επεξεργασία. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους για κάθε μια από τις ημερομηνίες καταγραφής, σε κλίμακα ολόκληρης της περιοχής μελέτης και σε κλίμακα σκάμματος για την πρώτη θέση εγκατάστασης της νέας ανεμογεννήτριας καθώς και τα ταξινομημένα ψηφιακά μοντέλα εδάφους τα οποία δημιουργήθηκαν για να παρατηρηθούν τοπικά οι μεταβολές για να μην υπάρχει επιρροή από ακραίες τιμές.

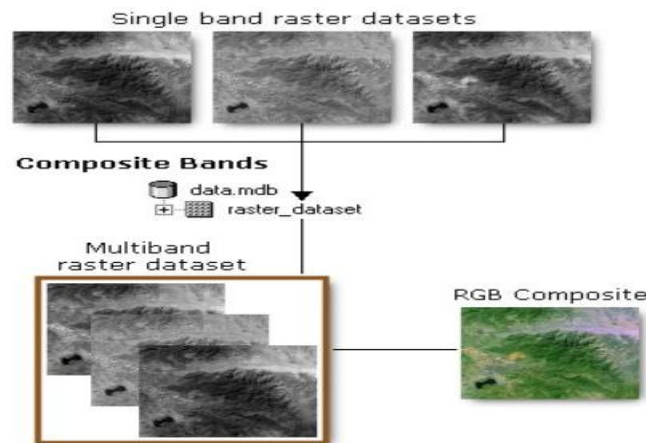
Κλασική χαρτογραφία(κλίμακα ολόκληρης της περιοχής)

Η επεξεργασία των δεδομένων για την δημιουργία των στατικών δισδιάστατων χαρτών αλλά και για την δημιουργία τις σειρά χαρτών έγινε στο λογισμικό ArcMap της ESRI. Αναλυτικότερα για την παραγωγή του πρώτου στατικού χάρτη χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι κλασικής χαρτογραφίας. Εισήχθησαν στο λογισμικό τα ράστερ δεδομένα τα οποία προέκυψαν από την ταξινόμηση των νεφών σημείων με την κλάση του σκάμματος, και το συνολικό DEM ολόκληρης της περιοχής μελέτης από την πρώτη ημερομηνία καταγραφής. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν πολύγωνα σε κάθε μια από τις ημερομηνίες ξεχωριστά, περιμετρικά από κάθε μια θέση εκσκαφής και υπολογίστηκε για κάθε ένα πολύγωνο το εμβαδό της επιφάνειας η οποία εξάφτηκε, καθώς και καταμετρήθηκε ο αριθμός των απολιθωμάτων στις θέσεις που εντοπίστηκαν για κάθε ημερομηνία. Στη συνέχεια το κάθε πολύγωνο αποτέλεσε μάσκα για το αντίστοιχο ράστερ, και εκτελέστηκε αποκοπή της συγκεκριμένης περιοχής από τα συνολικά ταξινομημένα DEM. Προκειμένου να προκύψει, βέλτιστο οπτικό αποτέλεσμα τα δεδομένα από τα οποία αποτελούν τη συγκεκριμένη χαρτογραφική σύνθεση, επιλέχθηκε να είναι όλα κοινωνικοποιημένα ψηφιδωτά. Στα δεδομένα που δημιουργήθηκαν από την αποκοπή προστέθηκε το φίλτρο hillshade. Το hillshade είναι μια 3D απεικόνιση της επιφάνειας γης σχετική με τη σκίαση την εικόνας

λαμβάνοντας υπόψη τη θέση του ήλιου. Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιεί τις ιδιότητες υψομέτρου και αζιμούθου για να καθορίσετε τη θέση του ήλιου. Επιπλέον, για την κατασκευή του τελικού στατικού χάρτη, ενοποιήθηκαν 4 διαφορετικά επίπεδα σε ένα ενιαίο.

Ψευδοχρωματικό

Η ψευδοχρωματική σύνθεση εφαρμόστηκε για την δημιουργία ενός στατικού χάρτη μεγαλύτερης χαρτογραφικής κλίμακας, πιο συγκεκριμένα για την θέση εγκατάστασης ένα, όπου και διαπιστώθηκε ο μεγαλύτερος αριθμός απολιθωμένων κορμών. Αναλυτικότερα η συγκεκριμένη διαδικασία, προϋποθέτει την ύπαρξη δυο ή περισσότερων ράστερ αρχείων, καθώς Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους της θέσης από κάθε ημερομηνία. Στη συνέχεια έγινε σύνθεση των τριών αρχείων σε ένα το οποίο περιείχε τρία διαφορετικά κανάλια(Σχήμα7). Με την εμφάνιση αυτών των συνόλων δεδομένων ως ενός σύνθετου χρώματος, μπορούν να ανιχνεύθουν αλλαγές στην περιοχή.



Σχήμα 7: Η ψευδοχρωματική σύνθεση

Σειρά χαρτών(DOD)

Για την δημιουργία της σειράς χαρτών χρησιμοποιήθηκαν DEM τα οποία προέκυψαν από την φωτογραμμετρική επεξεργασία, και σε κλίμακα ολόκληρης της περιοχής μελέτης αλλά και σε κλίμακα σκάμματος. Η μέθοδος η οποία επιλέχθηκε για τον εντοπισμό των μεταβολών στην περιοχή ήταν η DOD(Dem Of Difference). Για να επιτευχθεί αυτό χρειάστηκε να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο raster calculator από την βιβλιοθήκη εργαλείων του ArcMap. Υπολογίστηκε η διαφορά μεταξύ των τιμών στα κελία του ράστερ για τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς, σαν DEM αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους το οποίο αντιστοιχούσε στην 01/08/2018. Η πρώτη αφαίρεση έγινε μεταξύ της πρώτης ημερομηνίας καταγραφής και της δεύτερης, η δεύτερη μεταξύ του της δεύτερης ημερομηνίας και της τρίτης, και η τρίτη μεταξύ της πρώτης και της τρίτης. Στη συνέχεια έγινε ταξινόμηση των τιμών ανά 0,10 cm, και τέλος επιλέχθηκε η ίδια χρωματική παλέτα για τα ράστερ τα οποία προέκυψαν από την αφαίρεση. Η παραπάνω διαδικασία εκτελέστηκε και για τις δυο χαρτογραφικές κλίμακες οι οποίες εξετάζονται.

2.2.3 Επεξεργασία για την τρισδιάστατη οπτικοποίηση και δημιουργία επαυξημένων χαρτών

Σε αυτό το στάδιο της επεξεργασίας αναλύονται οι μέθοδοι τρισδιάστατης γεωοπτικοποίησης οι οποίοι εφαρμόστηκαν, για την δημιουργία των επαυξημένων χαρτών και την ανάπτυξη του τελικού χαρτογραφικού καταλόγου σε μορφή κινητής εφαρμογής.

Για την πρώτη μέθοδο της επαυξημένης 3D γεωοπτικοποίησης χρειάστηκαν δυο χαρτογραφικά προϊόντα τα οποία δημιουργήθηκαν από τη φωτογραμμετρική επεξεργασία. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και ο ορθοφωτοχάρτης.

Τα δεδομένα τα οποία εισήχθησαν στο λογισμικό 3Dstudio max της Autodesk, ήταν το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και η αντίστοιχη χρωματική παλέτα. Η διαδικασία που ακολούθησε σκοπό είχε της τρισδιάστατη απεικόνιση της πληροφορίας. Ο στόχος αυτός επετεύχθη με τη χρήση του εργαλείου Displacement map(μετατόπιση χάρτη). Αναλυτικότερα, ένας χάρτης μετατόπισης μετατοπίζει τη γεωμετρία των επιφανειών.

Σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους απόδοσης της τρίτης διάστασης, ένας χάρτης μετατόπισης μεταβάλλει στην πραγματικότητα τη γεωμετρία της επιφανειακής επικάλυψης ή της διαστρωμάτωσης. Οι χάρτες μετατόπισης εφαρμόζουν τη γκριζα κλίμακα του χάρτη για τη δημιουργία της μετατόπισης. Τα πιο ανοιχτά χρώματα στην εικόνα 2D πιέζουν προς τα έξω πιο έντονα από τα πιο σκούρα χρώματα, με αποτέλεσμα την τρισδιάστατη μετατόπιση της γεωμετρίας, οι τιμές οι οποίες λαμβάνονται υπόψη κατά τη δημιουργία της μετατόπισης είναι η υψομετρική τιμή που περιέχει το κάθε πίξελ.

Για την εξσφάλιση της ακρίβειας του 3D μοντέλου, η μονάδα μέτρησης επιλέχθηκε να προσαρμοστεί αυτόματα από την γεωαναφορά των ψηφιακών αντικειμένων. Έπειτα από την τρισδιάστατη μοντελοποίηση της περιοχής, σειρά είχε η απόδοση υψής στο μοντέλο. Για την απόδοση υψής χρησιμοποιήθηκε ένα αρχείο εικόνας το οποίο εμπεριείχε τη ίδια χρωματική παλέτα με την σειρά δισδιάστατων χαρτών. Η συγκεκριμένη τρισδιάστατη μοντελοποίηση έγινε μόνο για την μεγάλη χαρτογραφική κλίμακα και για τις τρεις ημερομηνίες καταγραφής.

Η δεύτερη μέθοδος τρισδιάστατης μοντελοποίησης ήταν με τα φωτορεαλιστικά μοντέλα τα οποία προέκυψαν από την φωτογραμμετρική διαδικασία. Χρησιμοποιήθηκαν για τα τρία ψηφιακά αντικείμενα(mesh) μαζί με την ανάλογη υφή και για τις τρεις ημερομηνίες, σε επίπεδο σκάμματος.

Συνέχεια έχει η ζεύξη των τρισδιάστατων και δισδιάστατων μοντέλων με το μοτίβο αναγνώρισης. Για τη δημιουργία του επαυξημένου χάρτη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό κατασκευής διαδραστικών εφαρμογών Unity 3D1 καθώς και το λογισμικό κατασκευής εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας Vuforia2. Συγκεκριμένα, εισήχθη αρχικά ο ορθοφωτοχάρτης (αναλογικός χάρτης) στον ισότοπο του λογισμικού Vuforia σε μορφή εικόνας. Εκεί, το Vuforia μέσω μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας, αναγνώρισε και αποθήκευσε σημεία αναφοράς (feature points) της εικόνας του ορθοφωτοχάρτη (**Σφάλμα!**

¹ <https://unity3d.com/>

² <https://www.vuforia.com/>

Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.), προετοιμάζοντας τον έτσι ώστε να είναι αναγνωρίσιμος από το λογισμικό Vuforia ως Διακριτικό Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality Marker). Ο αναλογικός χάρτης επιλέχθηκε να είναι ο ορθοφωτοχάρτης της πρώτης ημερομηνίας καταγραφής, ο οποίος παρουσιάζει την κατάσταση αμέσως μετά την μετακίνηση των παλιών ανεμογεννητριών, πριν από οποιαδήποτε ενέργεια εκσκαφής και ενώ δεν έχει παρουσιαστεί ακόμα κανένα εύρημα. Η επιλογή αυτή έγινε σκοπό να είναι όσων το δυνατόν πιο εύκολα αντιληπτή η οποιαδήποτε μεταβολή στην περιοχή μελέτης. Το διακριτικό επαυξημένης πραγματικότητάς του ορθοφωτοχάρτη ανακτήθηκε στη συνέχεια από τον ιστότοπο του λογισμικού Vuforia και εισήχθη στο Unity 3D. Για την επίτευξη της σύνδεσης του διακριτικού επαυξημένης πραγματικότητας του ορθοφωτοχάρτη και των 3D μοντέλων καθώς και των 2D χαρτών, χρησιμοποιήθηκε το Vuforia Plugin³ για το Unity 3D.

Αρχικά, εισήχθη το 3D μοντέλο του οικισμού στο Unity 3D. Στο σημείο αυτό, με τη χρήση εργαλείων του Unity 3D προστέθηκε θεματική πληροφορία στο 3D μοντέλο του οικισμού (π.χ. υπόμνημα, σημεία συντριμμίων και σημεία οδοφραγμάτων) στις κατάλληλες θέσεις με οπτικό εντοπισμό των θέσεων από τον ορθοφωτοχάρτη. Στη συνέχεια, μέσω του Vuforia Plugin το 3D μοντέλο του οικισμού ρυθμίστηκε έτσι ώστε να εμφανίζεται επάνω στο διακριτικό επαυξημένης πραγματικότητας του ορθοφωτοχάρτη, όταν αυτό αναγνωρίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά σημεία της εικόνας του, από την κάμερα της κινητής συσκευής στην οποία εκτελείται η όλη εφαρμογή. Το τελικό αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να επαυξήσουν τον πραγματικό ορθοφωτοχάρτη με το 3D μοντέλο του οικισμού, πλησιάζοντας ακόμη και σε αρκετά κοντινή απόσταση την κινητή συσκευή ώστε να παρατηρήσουν λεπτομερώς το 3D μοντέλο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τη δημιουργία της προβολής σε περιβάλλον επαυξημένης πραγματικότητας του σχολείου των Βασιλικών, οι μετρήσεις του οποίου πραγματοποιήθηκαν στο τρισδιάστατο περιβάλλον του Photoscan της Agisoft

Ένα από τα πιο δύσκολα μέρη της ανάπτυξης μιας εφαρμογής Augmented Reality είναι ακριβώς ο υπολογισμός της άποψης του χρήστη στο σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε οι εικονικές εικόνες να ευθυγραμμίζονται ακριβώς με αντικείμενα του πραγματικού κόσμου. Στην εργασία μας χρησιμοποιούμε το ARToolKit, μία βιβλιοθήκη ελεύθερου λογισμικού που χρησιμοποιεί τεχνικές ηλεκτρονικής όρασης για τον υπολογισμό της θέσης και του προσανατολισμού της κάμερας σε σχέση με τους φυσικούς δείκτες [19].

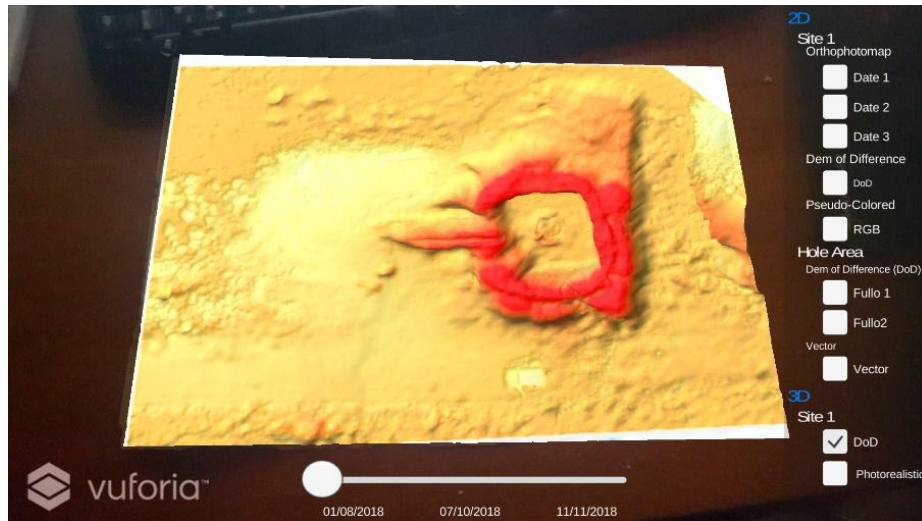
ΖΕΥΞΗ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ

Αφού πραγματοποιήθηκε η ζεύξη των τρισδιάστατων μοντέλων με τα διακριτικά επαυξημένης πραγματικότητας (Markers), δημιουργήθηκε μενού, που εμφανίζεται στο δεξί μέρος της οθόνης της κινητής συσκευής του χρήστη. Το μενού περιέχει σειρά επιλογών οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα προβολής διαφορετικών δεδομένων επάνω στο διακριτικό επαυξημένης πραγματικότητας.

³ <https://developer.vuforia.com/downloads/sdk>

Σε όποια από τις επιλογές του μενού είναι απαραίτητο, εμφανίζεται πρόσθετη επιλογή ολίσθησης (Slider) με σκοπό την εναλλαγή της χρονικής περιόδου των εμφανιζόμενων δεδομένων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εν λόγω εναλλαγή πραγματοποιείται με ρύθμιση της διαφάνειας των εμφανιζόμενων πληροφοριών (Fade in – Fade out) ανάλογα με τη θέση του Slider, με σκοπό την βέλτιστη προβολή της μεταβολή της προβαλλόμενης πληροφορίας ανά χρονική περίοδο.



Εικόνα 10: Γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής μας σε κινητό τηλέφωνο

Τέλος, η εφαρμογή εξάχθηκε από το Unity 3D σε αρχείο τύπου Android Application Package (apk)⁴ με σκοπό την εύκολη εγκατάσταση της σε κινητές συσκευές με λειτουργικό σύστημα Android⁵.

⁴ <https://developer.android.com/reference/android/app/package-summary>

⁵ <https://www.android.com/>

3. Αποτελέσματα- Συζήτηση

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται και συζητιούνται αναλυτικά τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3. Αναλυτικότερα τα αποτελέσματα ταξινομούνται ως εξής:

1. Αποτελέσματα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας:
 - 3D νέφη σημείων
 - 3D μοντέλα (mesh)
 - Ψηφιακά μοντέλα εδάφους(DSM)
 - Ορθοφωτοχάρτες
2. Αποτελέσματα Χαρτογραφικής απεικόνισης
 - 2 στατικοί χάρτες μεταβολών
 - 2 σειρές χαρτών
3. Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου Επαυξημένης Πραγματικότητας
 - Επαυξημένοι χάρτες
 - Εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας(όλα τα χαρτογραφικά προϊόντα)

3.1.1 3D νέφη σημείων

Συνολικά δημιουργήθηκαν 5 νέφη σημείων στις τρεις ημερομηνίες καταγραφής (01/08/2018, 07/10/2018, 11/11/2018) και σε δυο γεωγραφικές κλίμακες: i. συνολική περιοχή μελέτης και ii. επιμέρους θέσεις εκσκαφής.

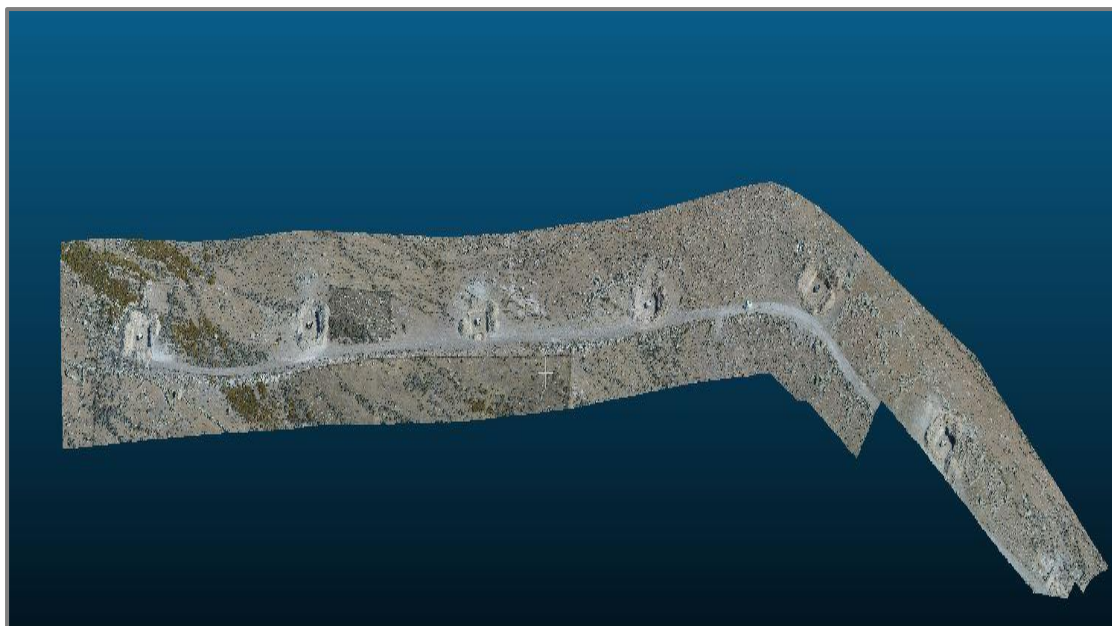
01/08/2018	07/10/2018	11/11/2018
(ΝΣ-1) συνολική περιοχή μελέτης	(ΝΣ-2) συνολική περιοχή μελέτης (ΝΣ-4) Θέση εκσκαφής-1	(ΝΣ-3) συνολική περιοχή μελέτης (ΝΣ-5) Θέση εκσκαφής-1

Πίνακας :

3.1.1.1 Νέφος σημείων 1, Συνολική περιοχή μελέτης 01 Αυγούστου 2018

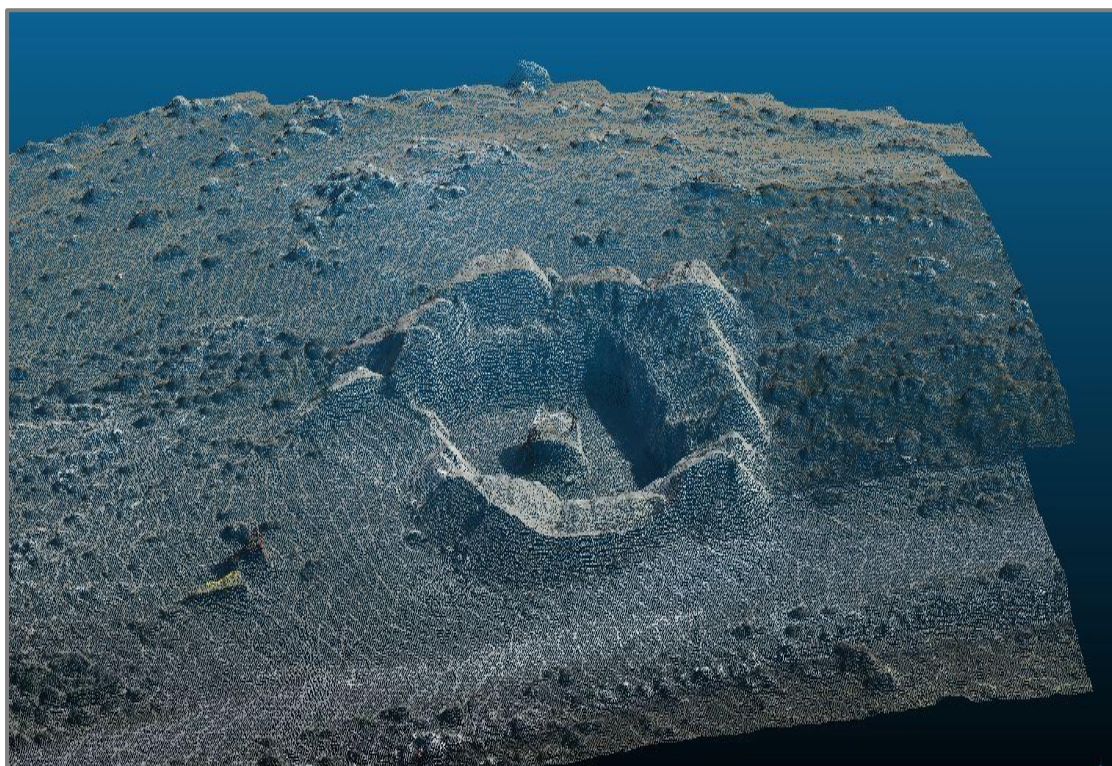
Το νέφος σημείων το οποίο δημιουργήθηκε κατά την πρώτη ημερομηνία καταγραφής ήταν από ύψος πτήσης 50 μέτρων (Εικόνα), αποτυπώνει ολόκληρη την περιοχή μελέτης πριν ξεκινήσει η διαδικασία ανασκαφής. Πραγματοποιήθηκε μόνο μια πτήση στα 50μ για την γενική εποπτεία της περιοχής καθώς δεν είχαν εμφανιστεί ευρήματα άρα δεν είχε παρουσιαστεί και η ανάγκη για χαμηλότερες και δεδομένα μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης.

Από το τρισδιάστατο νέφος σημείων μπορεί να παρατηρηθεί από όλες τις πλευρές η γεωμετρία των κορμών και της περιοχής, επιπλέον δίνει την δυνατότητα παραμετροποίησης της πληροφορίας, απομονώνοντας μόνο τα σημεία ενδιαφέροντος και επιτρέποντας οποιαδήποτε περαιτέρω επεξεργασία σε αυτά. Επιπλέον αποτελεί το πρώτο χαρτογραφικό προϊόν της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας, και παρέχει πληροφορίες σχετικά με Τρίτη διάσταση, όπως το βάθος του σκάμματος,



Εικόνα 11: Νέφος σημείων 1, ημερομηνία: 01/08/2018

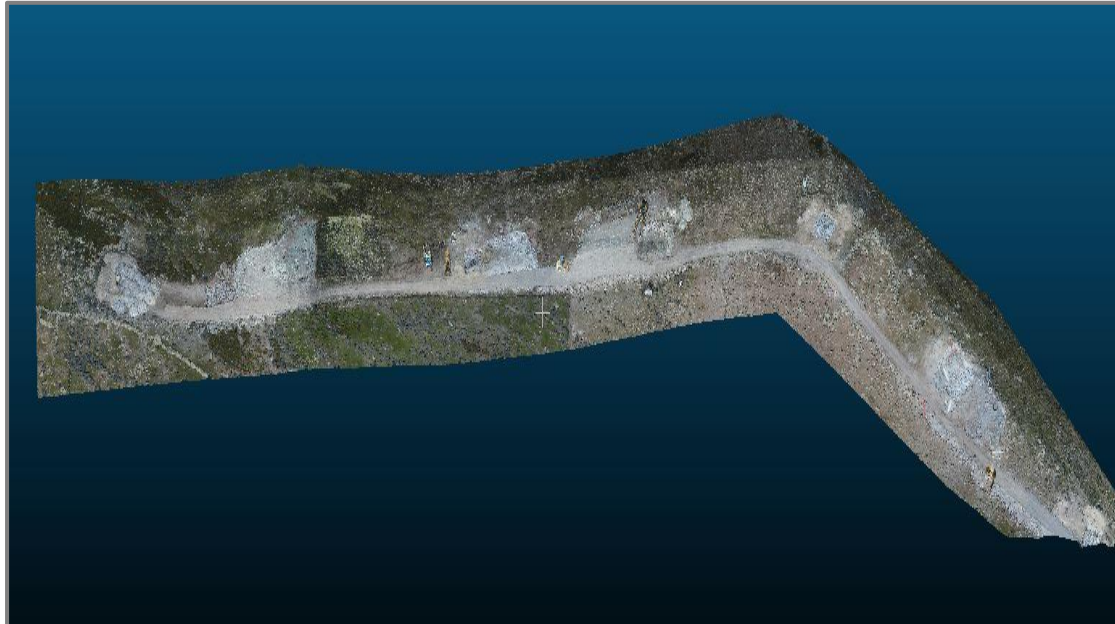
Στο ΝΣ-1 εμφανίζονται τα έξι σκάμματα, τα οποία αντιστοιχούν στις έξι (6) θέσεις όπου υπήρχαν ανεμογεννήτριες πριν από την απεγκατάστασή τους. Το RGB των σημείων υποδηλώνει φωτεινές συνθήκες φωτισμού καθώς οι αποχρώσεις του νέφους είναι ανοιχτόχρωμες. Επιπλέον, στην συγκεκριμένη ημερομηνία δεν εμφανίζεται κανένα εύρημα (απολιθωμένος κορμός) στα σκάμματα όπως και δεν υπάρχει καμία ένδειξη για ενδεχόμενες θέσεις εύρεσης απολιθωμένων κορμών.



Εικόνα 12: 3D νέφος σημείων πρώτη θέση εγκατάστασης, χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 01/08/2018

Σε μεγαλύτερη χαρτογραφική κλίμακα 1:50, παρουσιάζεται η πρώτη θέση εγκατάστασης ανεμογεννήτριας. Το συγκεκριμένο τμήμα αποτελεί τμήμα του αρχικού νέφους σημείων, το οποίο απομονώθηκε και επεξεργάστηκε.

3.1.1.2 Νέφος σημείων 2, Συνολική περιοχή μελέτης 07 Οκτωβρίου 2018



Εικόνα 13: Νέφος σημείων 2, χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 07/10/2018

Την επόμενη χρονική στιγμή της παρακολούθησης της διαδικασίας, παρατηρείται πως το έργο έχει προχωρήσει. Στην μία κλίμακα εμφανίζεται ολόκληρη η περιοχή μελέτης και μπορεί να παρατηρηθεί πως περιμετρικά από κάθε πρώην βάση ανεμογεννήτριας έχει ανασκαφεί κάποιο τμήμα.

Από το συγκεκριμένο χαρτογραφικό προϊόν μπορεί να παρατηρηθεί μεταβολή περιμετρικά των σκαμμάτων και η θέση απολιθωμένων κορμών. Το γεγονός πως στη συγκεκριμένη ημερομηνία ανασκάφτηκαν απολιθωμένοι κορμοί δημιουργεί την ανάγκη καταγραφής τους σε υψηλότερη ανάλυση. Για τον λόγο αυτό γίνανε πτήσεις σε χαμηλότερο υψόμετρο και παράχθηκαν αποτελέσματα μεγαλύτερης χαρτογραφικής κλίμακας, με σκοπό να καταγράψουν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τα ευρήματα.

3.1.1.3 Νέφος σημείων 3, Συνολική περιοχή μελέτης 11 Νοεμβρίου 2018



Εικόνα 14: Νέφος σημείων 3, χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 11/11/2018

Στην τρίτη ημερομηνία καταγραφής, η συνολική εικόνα της περιοχής συνεχίζει να μεταβάλλεται και υπάρχουν ενδείξεις για έντονη δραστηριότητα ανασκαφής στην θέση 1. Το γεγονός πως η γεωμετρία του σκάμματος παρεκκλίνει σε σχέση με τις υπόλοιπες θέσεις οι οποίες αποτυπώνονται στο χάρτη, προμηνύει πως στην συγκεκριμένη θέση εμφανίζονται νέα ευρήματα.

3.1.1.3 Νέφος σημείων 4, Θέση ανασκαφής 1: 07 Οκτωβρίου 2018



Εικόνα 15: 3D νέφος σημείων, χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 07/10/2018

Το γεγονός ότι ανακαλύφθηκαν απολιθωμένοι κορμοί δημιούργησε την ανάγκη για την χαρτογράφηση μεγαλύτερης κλίμακας καθώς η αποτύπωση της θέσης εύρεσης των κορμών ήταν μεγάλης σημασίας για τους αντίστοιχους επιστημονικούς κλάδους και το μουσείο

Φυσικής Ιστορίας. Αναλυτικότερα υλοποιήθηκε πτήση σε χαμηλότερα υψόμετρο όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας με σκοπό την λεπτομερή καταγραφή των ευρημάτων. Στη δεύτερη χαρτογραφική κλίμακα της ίδιας ημερομηνίας (Εικόνα), εμφανίζεται απολιθωμένος κορμός στην πρώτη θέση εγκατάστασης νέας ανεμογεννήτριας.

3.1.1.4 Νέφος σημείων 4, Θέση ανασκαφής 1: 07 Οκτωβρίου 2018



Εικόνα 16: 3Δ νέφος σημείων, χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 11/11/2018

Για την βέλτιστη αποτύπωση της κατάστασης στην τρίτη ημερομηνία καταγραφής, εκτελέσθηκε πτήση στα 20 μέτρα πάνω από την συγκεκριμένη περιοχή. Από το τρισδιάστατο νέφος σημείων (ΕΙΚΟΝΑ) παρατηρείται πως εμφανίζονται απολιθωμένοι κορμοί σε διαφορετικά επίπεδα και διαφορετικές διευθύνσεις.

3.1.2 3Δ μοντέλα - Mesh

Συνολικά δημιουργήθηκαν 6 mesh στις τρεις ημερομηνίες καταγραφής (01/08/2018, 07/10/2018, 11/11/2018) και σε δυο χαρτογραφικές κλίμακες: a) 1:500, b) 1:50

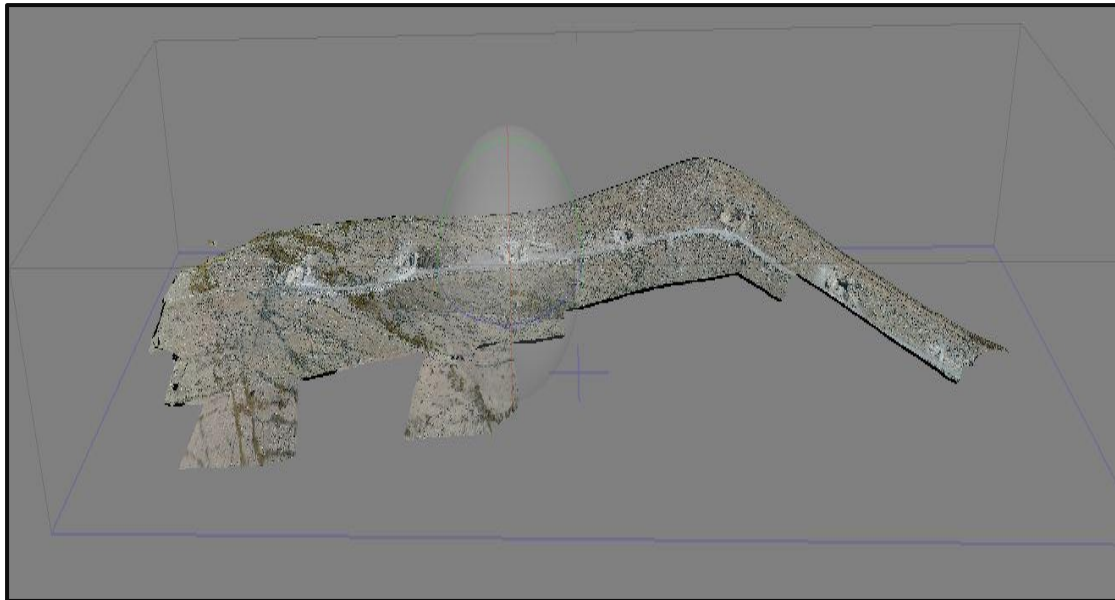
01/08/2018	07/10/2018	11/11/2018
(M-1) Κλίμακα 1:500	(M-2) Κλίμακα 1:500	(M-3) Κλίμακα 1:500
(M-4) Κλίμακα 1:50 – Θέση 1	(M-5) Κλίμακα 1:50 – Θέση 1	(M-6) Κλίμακα 1:50 – Θέση 1

Πίνακας :

Το πλεονέκτημα των τρισδιάστατων μοντέλων είναι πως σαν χαρτογραφικό προϊόν χρησιμοποιείται τόσο για την φωτορεαλιστικής οπτικοποίησης της κατάστασης αλλά και για την απόκτηση γεωμετρικής πληροφορίας σχετικά με τους απολιθωμένους κορμούς. Σε συνδυασμό με την γεωαναφορά των τρισδιάστατων μοντέλων δίνεται η δυνατότητα μέτρησης του όγκου των ευρημάτων, της περιοχής που εκσκάφτηκε αλλά και του

συνολικού μοντέλου. Η τρισδιάστατη αίσθηση του ανάγλυφου της περιοχής αποδομένης ως ένα σύνολο επιφανειών οι οποίες σχηματίζουν έναν τρισδιάστατο πλέγμα είναι πιο αποδοτική όταν οι μετρήσεις οι οποίες εκτελούνται αφορούν τον όγκο(ΑΝΑΦΟΡΑ).

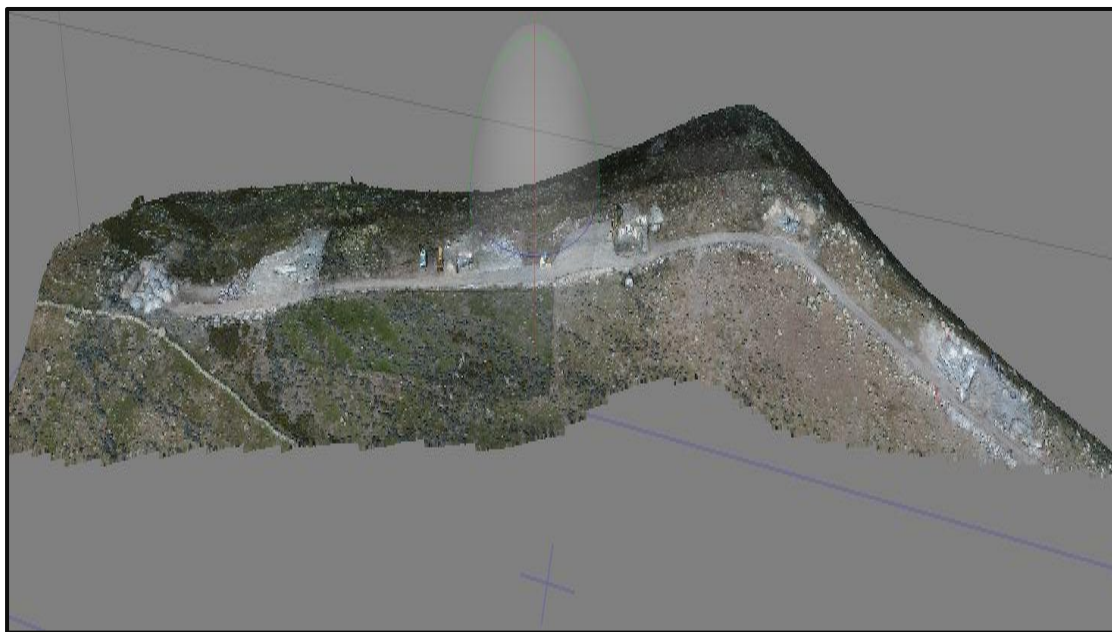
Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (M-1)



Εικόνα 17: Τρισδιάστατο πλέγμα M-1, χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 01/08/2018

Το τρισδιάστατο πλέγμα M-1 αποτελείται από 1.104.580 επιφάνειες και αναπαριστά ολόκληρη την περιοχή μελέτης την πρώτη ημερομηνία καταγραφής. Η συγκεκριμένη χαρτογραφική κλίμακα δεν καθιστά εφικτή την ογκομέτρηση των απολιθωμένων κορμών.

Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (M-2)



Εικόνα 18: Τρισδιάστατο πλέγμα M-2, χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 07/10/2018

Το τρισδιάστατο πλέγμα M-2 αποτελείται από 882.008 επιφάνειες και απεικονίζει ολόκληρη την περιοχή μελέτης την δεύτερη ημερομηνία καταγραφής.

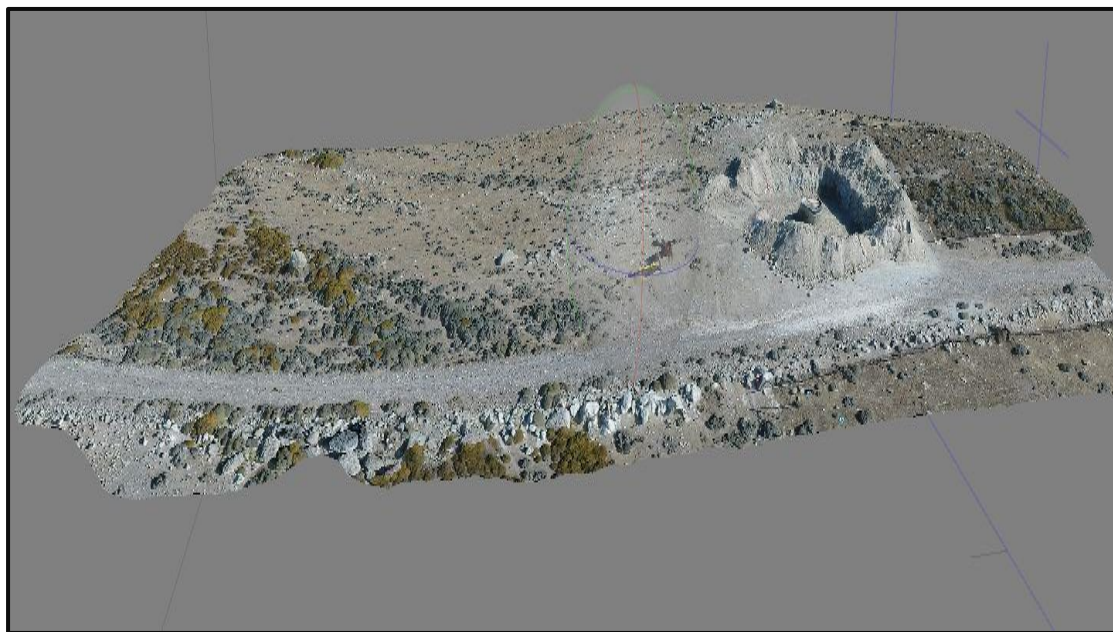
Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (M-3)



Εικόνα : Τρισδιάστατο πλέγμα M-3, χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 11/11/2018

Το τρισδιάστατο πλέγμα M-3 αποτελείται από 573.489 επιφάνειες και απεικονίζει ολόκληρη την περιοχή μελέτης την τρίτη ημερομηνία καταγραφής.

Χαρτογραφική κλίμακα 1:50, (M-4)



Εικόνα 19: Τρισδιάστατο πλέγμα M-4, χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 01/08/2018

Το τρισδιάστατο πλέγμα M-4 αποτελείται από 19.999 επιφάνειες και αποτυπώνει σε τρεις διατάξεις με φωτορεαλιστική υφή την θέση εγκατάστασης 1. Δεν παρατηρείται κανένας απολιθωμένος κορμός την συγκεκριμένη χρονική στιγμή(01/08/2018).

Χαρτογραφική κλίμακα 1:50, (M-5)



Εικόνα 20: Τρισδιάστατο πλέγμα M-5, χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 07/10/2018

Το τρισδιάστατο πλέγμα M-5 αποτελείται από 1.064.084 επιφάνειες και απεικονίζει την πρώτη θέση εγκατάστασης την δεύτερη ημερομηνία καταγραφή(07/10/2018). Επιπλέον στο συγκεκριμένο μοντέλο καταγράφεται ένας απολιθωμένος κορμός. Αξιοποιώντας τις

ιδιότητες του mesh, υπολογιστικό ο όγκος του τμήματος του απολιθωμένου κορμού το οποίο φαίνεται(1.43 m³).

Χαρτογραφική κλίμακα 1:50, (M-6)



Εικόνα 21: Τρισδιάστατο πλέγμα M-6, χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 11/11/2018

Το τρισδιάστατο πλέγμα M-6 αποτελείται από 305.319 επιφάνειες και απεικονίζει την πρώτη θέση εγκατάστασης την τρίτη ημερομηνία καταγραφή(11/11/2018). Στο παραπάνω μοντέλο καταγράφονται τρία νέα ευρήματα. Αξιοποιώντας τις ιδιότητες του mesh, υπολογιστικό ο όγκος του τμήματος των απολιθωμένων κορμών το οποίο έχει μέχρι στιγμής ανασκαφεί, κορμός α: 0.0393 m³, κορμός β: 9.24 m³, κορμός γ: 5.54 m³.

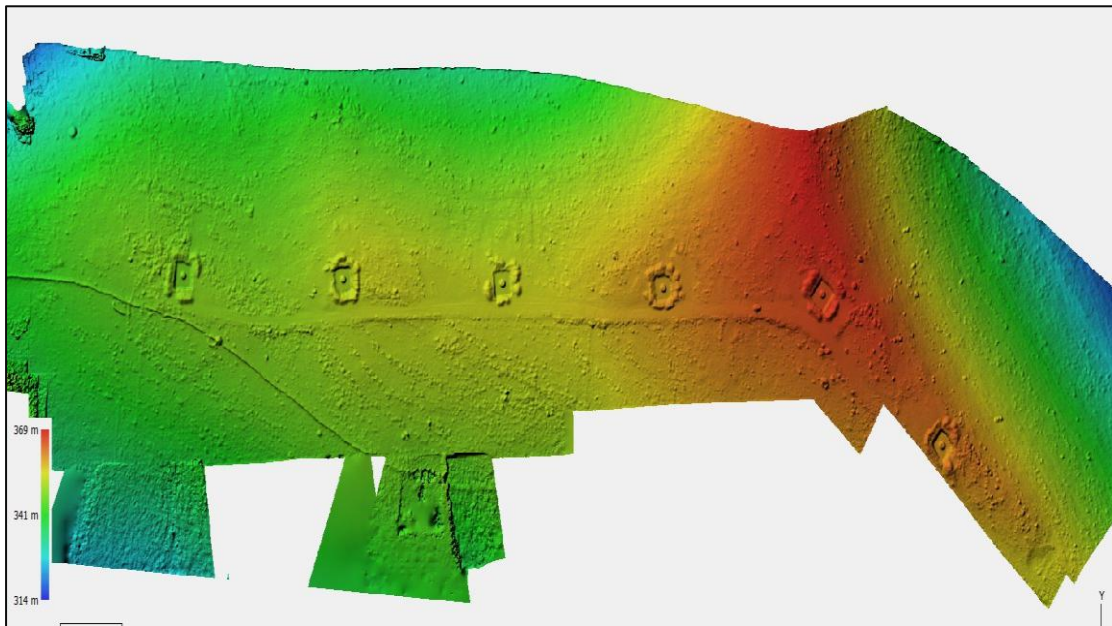
3.1.3 3D μοντέλα - DSM

Συνολικά δημιουργήθηκαν 5 mesh στις τρεις ημερομηνίες καταγραφής (01/08/2018, 07/10/2018, 11/11/2018) και σε δυο χαρτογραφική κλίμακα: α) 1:500, β) 1:50

01/08/2018	07/10/2018	11/11/2018
(DSM-1) Κλίμακα 1:500	(DSM-2) Κλίμακα 1:500	(DSM-3) Κλίμακα 1:500
(DSM-4) Κλίμακα 1:500	(DSM-5) Κλίμακα 1:500	(DSM-6) Κλίμακα 1:500
(DSM-7) Κλίμακα 1:50 – Θέση 1	(DSM-8) Κλίμακα 1:50 – Θέση 1	(DSM-9) Κλίμακα 1:50 – Θέση 1

Πίνακας :

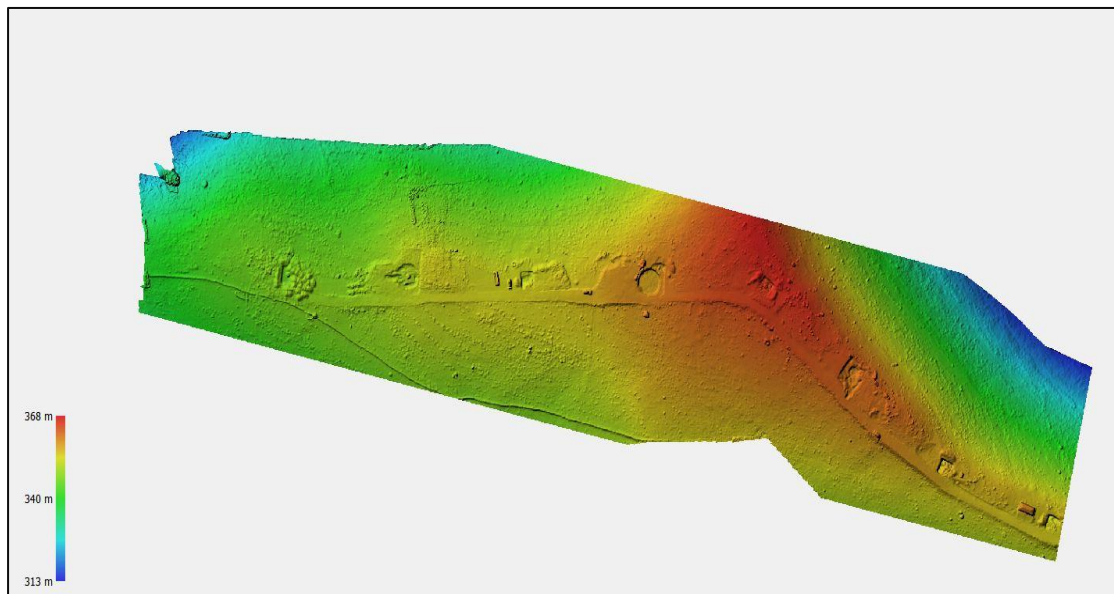
Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (DSM-1)



Χάρτης 1 : Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-1), χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 01/08/2018

Το DSM-1 το οποίο δημιουργήθηκε ήταν για ολόκληρη την περιοχή μελέτης στις 01 Αυγούστου 2018. Η μεγαλύτερη υψομετρική τιμή η οποία καταγράφεται είναι το 369 μ πραγματικό υψόμετρο και η ελάχιστη 314 μ. Από το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου προκύπτει πως το μεγαλύτερο υψόμετρο εμφανίζεται βορειοανατολικά της περιοχής κοντά στην θέση της πέμπτης ανεμογεννήτριας.

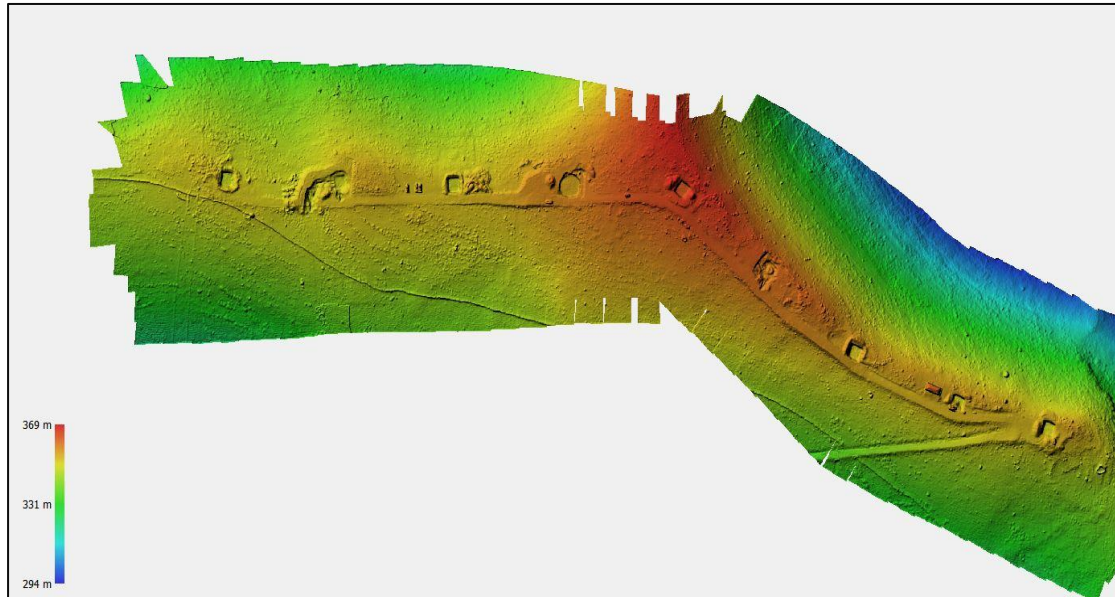
Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (DSM-2)



Χάρτης 2 : Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-2), χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 07/10/2018

Στις 07 Οκτωβρίου του 2018 και σε κλίμακα 1:500 το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής παραμένει σταθερό, γεγονός που υποδηλώνει πως δεν έχει ακόμα εγκατασταθεί καμία καινούργια ανεμογεννήτρια παρατηρείτε όμως ένα μέτρο διαφορά στο μέγιστο πραγματικό υψόμετρο(368μ). Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός πως στην προηγούμενη ημερομηνία υπήρχε κάποιο όχημα στη περιοχή μελέτης του οποίου το ύψος καταγράφηκε και δημιουργήθηκε αυτή η διαφορά μεταξύ των δύο ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου. Η ελάχιστη τιμή υψομέτρου που καταγράφεται είναι το 313 μ, και εξαρτάται από το κομμάτι του νέφους σημείων το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του DSM. Δεν επηρεάζει όμως τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας καθώς η οριοθέτηση της περιοχής γίνεται σε μεταγενέστερο βήμα.

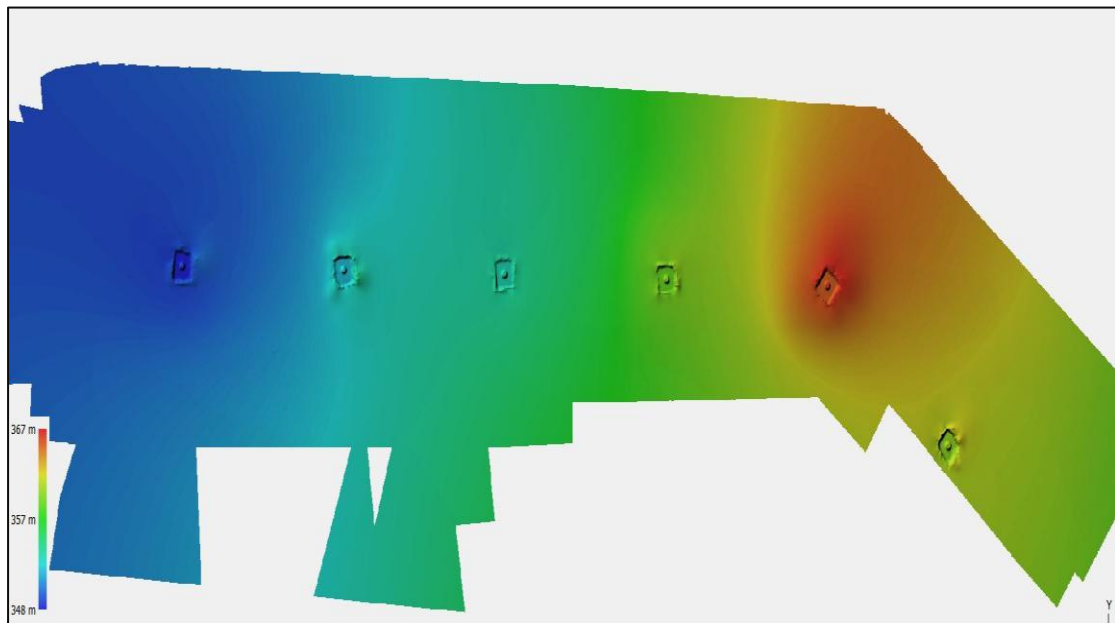
Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (DSM-2)



Χάρτης 3 : Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-3), χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 11/11/2018

Για τις 1 Νοεμβρίου 2018 το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου έχει μέγιστη υψομετρική τιμή 369μ όπως τα προηγούμενα, και ελάχιστη 294. Η ελάχιστη τιμή οφείλεται στο γεγονός πως η κατασκευή του έγινε με περισσότερα σημεία και περιλαμβάνει και ένα τμήμα έξω από την περιοχή μελέτης με απότομες κλίσεις άρα και χαμηλότερο υψόμετρο.

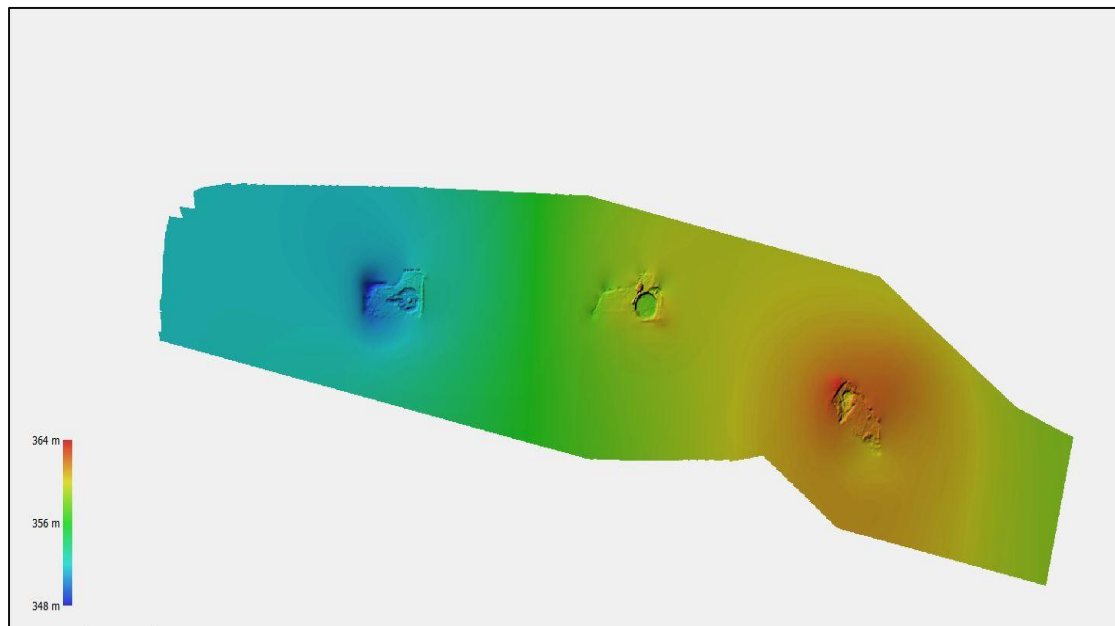
Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (DSM-4)



Χάρτης 4 : Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-4), χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 01/08/2018

Στην Εικόνα παρατηρείται το ταξινομημένο ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου στο οποίο αποτυπώνεται μόνο η κλάση η οποία περιέχει της θέσεις ανασκαφής με μέγιστη υψομετρική τιμή τα 367 μ και ελάχιστη τα 348. Παρατηρείται πως οι θέσεις ανασκαφής είχαν μέγιστη υψομετρική διαφορά μεταξύ τους 20 μέτρα.

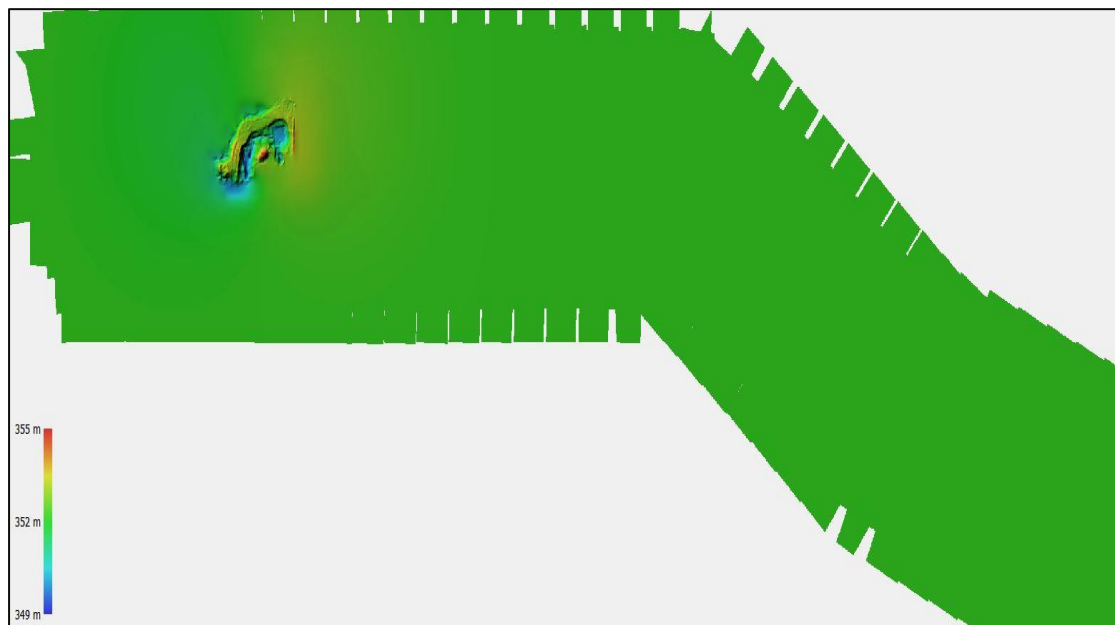
Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (DSM-5)



Χάρτης 5 : Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-5), χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 07/10/2018

Στο DSM-5 παρουσιάζονται μεταβολές σε τρεις θέσης. Οι θέσης αυτές είναι οι νέες θέσης εγκατάστασης των ανεμογεννητριών, με μέγιστο υψόμετρο 364μ και ελάχιστο 348 μ.

Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (DSM-6)



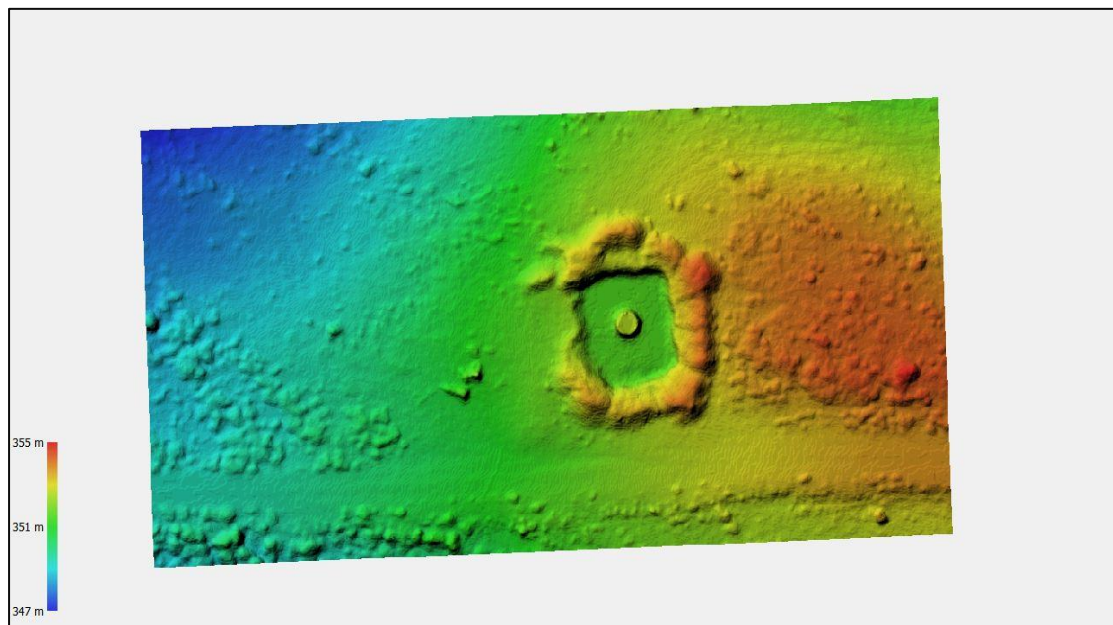
Χάρτης 6 : Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-6), χαρτογραφική κλίμακα 1:500, ημερομηνία: 11/11/2018

Το DSM-6 παρουσιάζει την περιοχή η οποία μεταβλήθηκε την Τρίτη ημερομηνία καταγραφής, με μέγιστο υψόμετρο 355μ. και ελάχιστο 349μ.

Στο συγκεκριμένο σημείο αξίζει να σημειωθεί πως το ελάχιστο υψόμετρο στα DSM της μεγάλης χαρτογραφικής κλίμακας είναι 347 μ. αυτό οφείλεται στο πραγματικό υψόμετρο

της περιοχής δυτικά του χάρτη και όχι στο βάθος της περιοχής που εκσκάφτηκε. Υπάρχουν διαφοροποιήσεις στην περιοχή ανασκαφής περιμετρικά της βάσης αλλά το πραγματικό υψόμετρο εσωτερικά της βάσης δεν είναι χαμηλότερο από το πραγματικό υψόμετρο δυτικά της περιοχής μελέτης. Παρόλα αυτά από την γεωμετρία των υψομετρικών διαφορών η οποία εμφανίζεται. Επιπλέον από την διαφορά των υψομέτρων μπορεί να παρατηρηθεί σε ποιές θέσεις εναποτίθενται το χώμα το οποίο εκσκάφτηκε αλλά και η κλίση της ευρύτερης περιοχής.

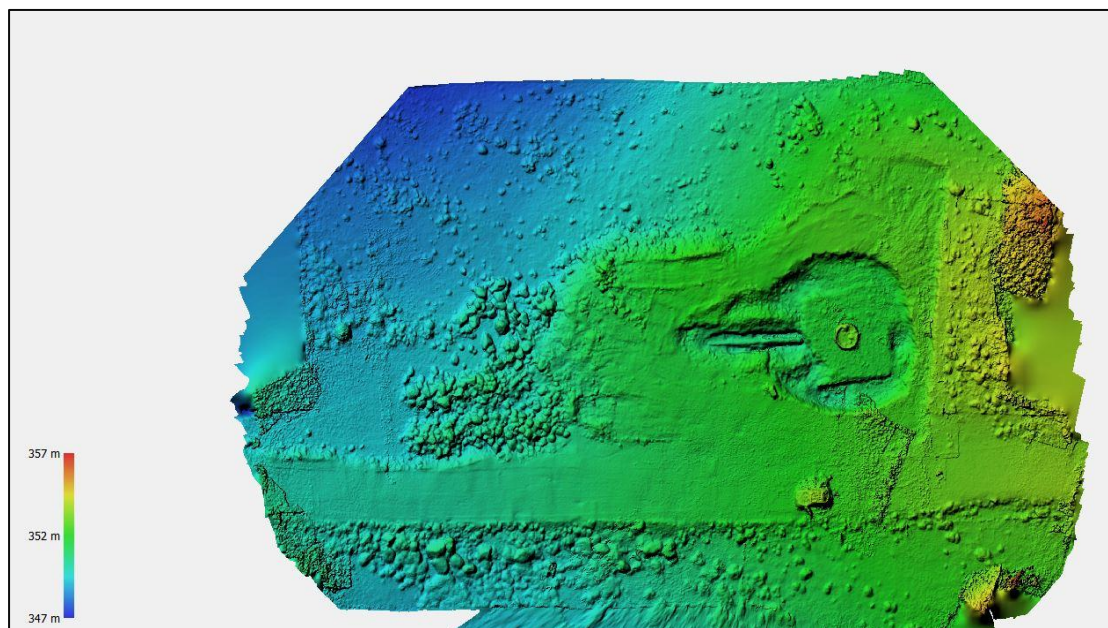
Χαρτογραφική κλίμακα 1:50, (DSM-7)



Χάρτης 7: Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-7), χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 01/08/2018

Στη μεγαλύτερη χαρτογραφική κλίμακα της πρώτης ημερομηνίας στην πρώτη θέση εγκατάστασης ανεμογεννήτριας, εμφανίζεται η βάση της προϋπάρχουσας ανεμογεννήτριας σε υψόμετρο 351 μ., και περιμετρικά από αυτή τα αναχώματα σε ύψος 355μ.

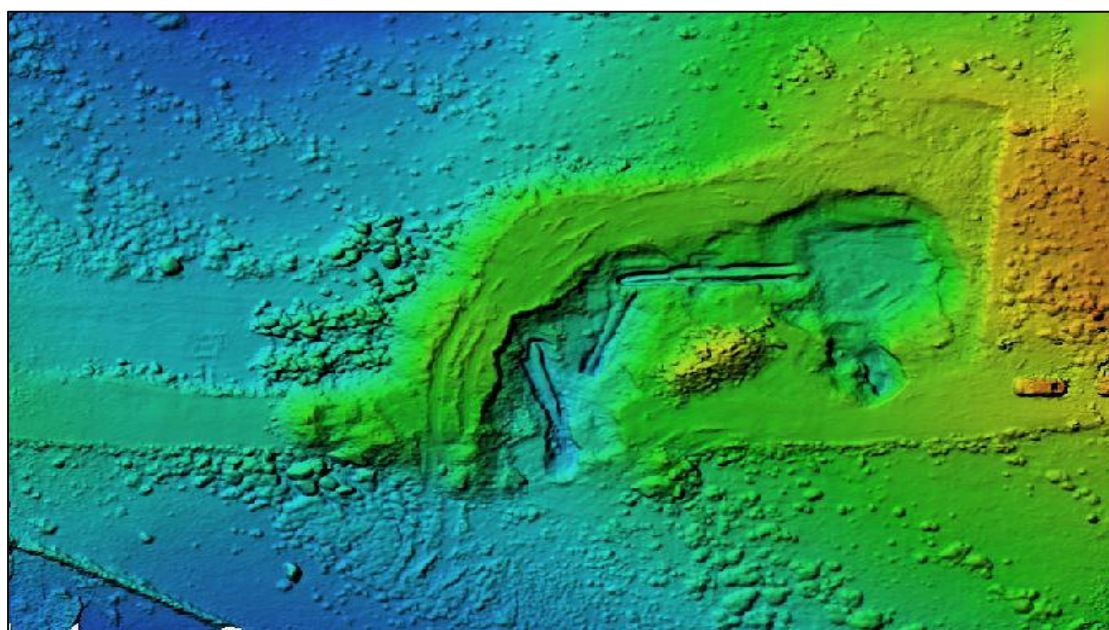
Χαρτογραφική κλίμακα 1:50, (DSM-8)



Χάρτης 8: Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-8), χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 07/10/2018

Στο DSM-8 εμφανίζονται χαμηλότερες υψομετρικές τιμές περιμετρικά της βάσης σε σχέση με το DSM-7. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει πως τελέσθηκαν εργασίες εκσκαφής στο συγκεκριμένο τμήμα, καθώς στο συγκεκριμένο υψόμετρο εμφανίζεται και ένας απολιθωμένος κορμός κάθετα στη δυτική πλευρά του σκάμματος, σε πραγματικό υψόμετρο 350μ.

Χαρτογραφική κλίμακα 1:50, (DSM-9)



Χάρτης 9: Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DSM-9), χαρτογραφική κλίμακα 1:50, ημερομηνία: 11/11/2018

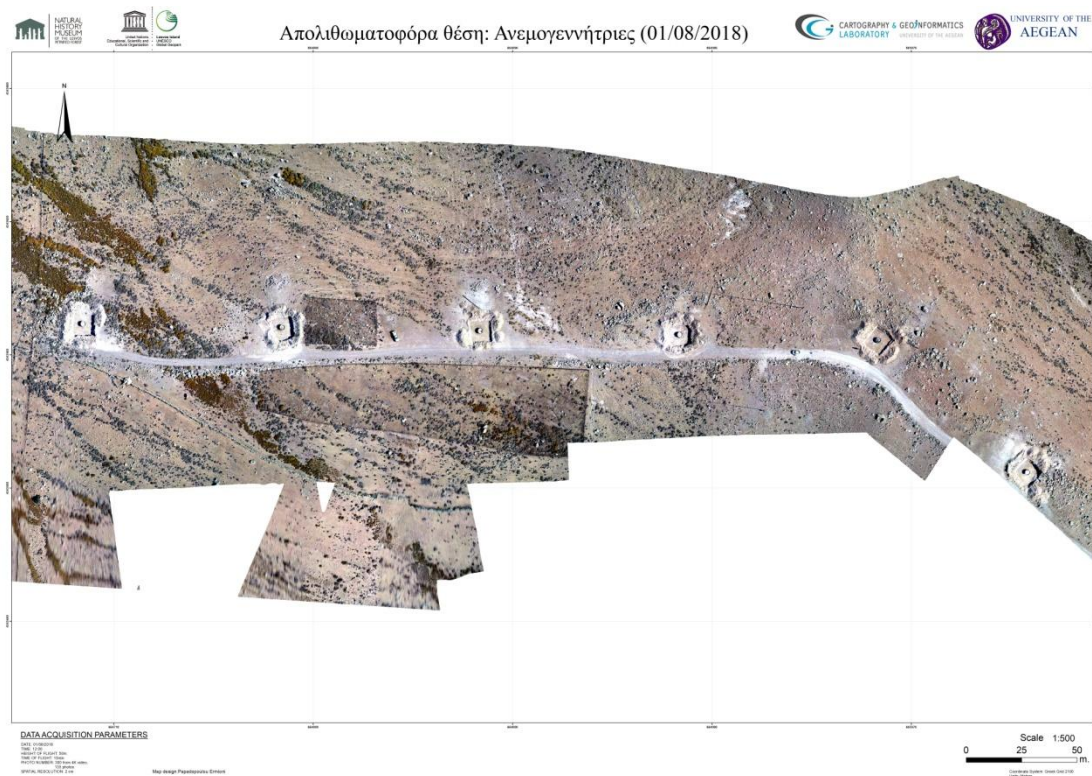
Στο DSM-9 παρατηρούνται τρεις επιπλέον απολιθωμένοι κορμοί, δυτικά τα σκάμματος με διαφορετικές διευθύνσεις ο καθένας και νότια της βάσης ένα σύμπλεγμα μικρότερων κατακείμενων κορμών.

3.1.4 ORTHO

Συνολικά δημιουργήθηκαν 10 ορθοφωτοχάρτες και στις τρεις ημερομηνίες καταγραφής (01/08/2018, 07/10/2018, 11/11/2018) και σε δυο χαρτογραφική κλίμακα: α) 1:500, β) 1:50

Πίνακας 8: Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (ΟΡΘ-1)

01/08/2018	07/10/2018	11/11/2018
(ΟΡΘ-1) Κλίμακα 1:500	(ΟΡΘ-2) Κλίμακα 1:500	(ΟΡΘ-3) Κλίμακα 1:500
(ΟΡΘ-4) Κλίμακα 1:50– Θέση 1	(ΟΡΘ-5) Κλίμακα 1:50– Θέση 1	(ΟΡΘ-6) Κλίμακα 1:50– Θέση 1
(ΟΡΘ-7) Κλίμακα 1:50– Θέση 2	(ΟΡΘ-8) Κλίμακα 1:50– Θέση 2	
(ΟΡΘ-9) Κλίμακα 1:50– Θέση 3	(ΟΡΘ-10) Κλίμακα 1:50– Θέση 3	



Χάρτης 10: Ολόκληρη η περιοχή μελέτης σε κλίμακα 1:500

Ο ΟΡΘ-1 παρουσιάζει ολόκληρη την περιοχή μελέτης σε κλίμακα 1:500, και η χωρική του ανάλυση είναι 2cm. Στο συγκεκριμένο ορθοφωτοχάρτη απεικονίζονται οι 6 βάσεις των ανεμογεννητριών οι οποίες υπήρχαν πρότινος στο αιολικό πάρκο. Η έκταση η οποία αποτυπώνεται 64Km² και δεν παρατηρείται κανένας απολιθωμένος κορμός.

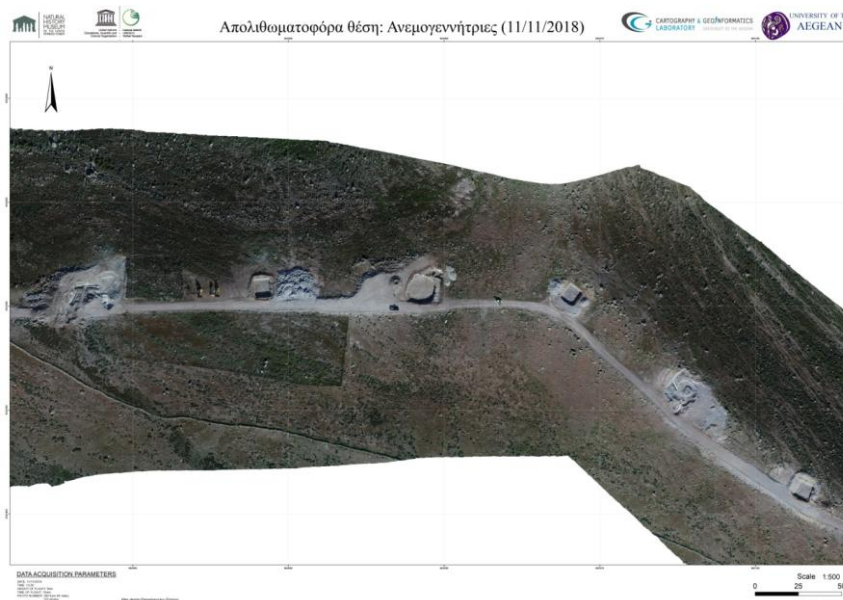
Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (ΟΡΘ-2)



Χάρτης 11: περιοχή μελέτης σε πολύ υψηλή χωρική ανάλυση 2cm

Ο ΟΡΘ-2 είναι σε κλίμακα 1:500, και αποτυπώνει ολόκληρη την περιοχή μελέτης σε πολύ υψηλή χωρική ανάλυση 2cm. Η χαρτογραφική κλίμακα 1:500 επιτρέπει συνολική εποπτεία του έργου. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούνται μεταβολές σε τρεις από τις έξι βάσεις ανεμογεννητριών σε σχέση με την προηγούμενη ημερομηνία. Επιπλέον μπορούν να παρατηρηθούν τα τρία μεγαλύτερα ευρήματα, στη θέση ένα και τρία.

Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (ΟΡΘ-3)

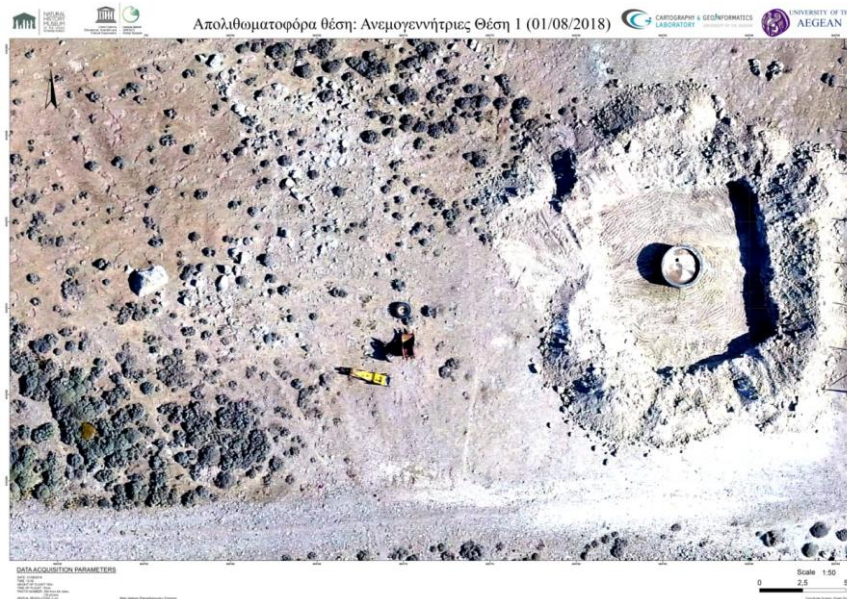


Χάρτης 12: Η περιοχή μελέτης σε κλίμακα 1:500 και χωρική ανάλυση 2cm

Στον ΟΡΘ-3 αποτυπώνεται ολόκληρη η περιοχή μελέτης σε κλίμακα 1:500 και χωρική ανάλυση 2cm. Μεταβολές εμφανίζονται σε δυο από τις τρεις βάσεις. Αναλυτικότερα, στην πρώτη θέση εγκατάστασης, η ανασκαφή της βάσης επεκτείνεται δια μέσω του δρόμου, στη

δεύτερη θέσης εγκατάστασης η βάση για την νέα ανεμογεννήτρια έχει οριοθετηθεί ενώ στη θέση τρία δεν παρατηρείται καμία αλλαγή.

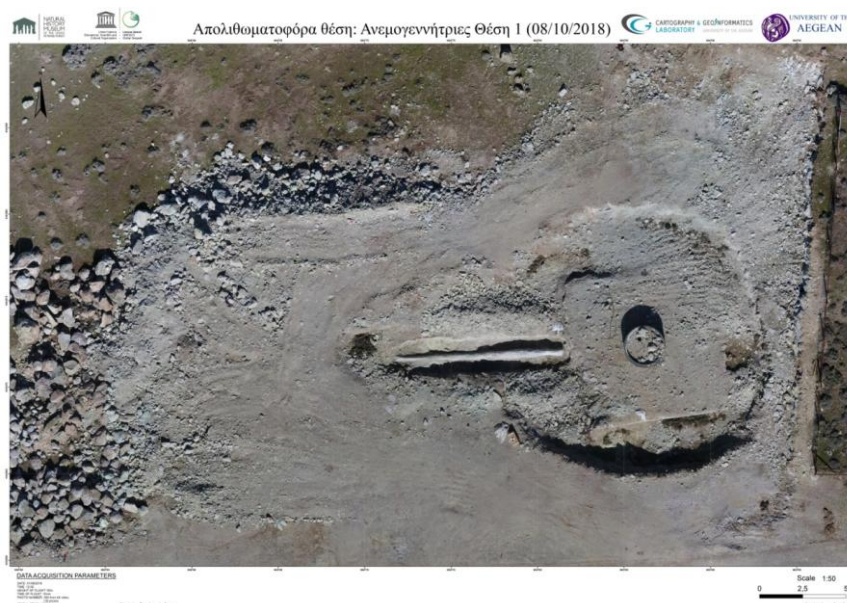
Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 1, (ΟΡΘ-4)



Χάρτης 13: Η πρώτη θέση εγκατάστασης των νέων ανεμογεννητριών στην πρώτη ημερομηνία καταγραφής

Ο ΟΡΘ-4 είναι σε κλίμακα 1:50 και απεικονίζει την πρώτη θέση εγκατάστασης των νέων ανεμογεννητριών στην πρώτη ημερομηνία καταγραφής. Το συγκεκριμένο χαρτογραφικό προϊόν παρέχει τη δυνατότητα μετρήσεων υψηλής ακρίβειας, καθώς η χωρική του ανάλυση είναι 2cm. Στο πρώτο ορθοφωτοχάρτη η περίμετρος του σκάμματος είναι 36m και η συνολική περιοχή η οποία αποτυπώνεται είναι 1.450m² επιπλέον δεν εμφανίζεται κανένας απολιθωμένος κορμός.

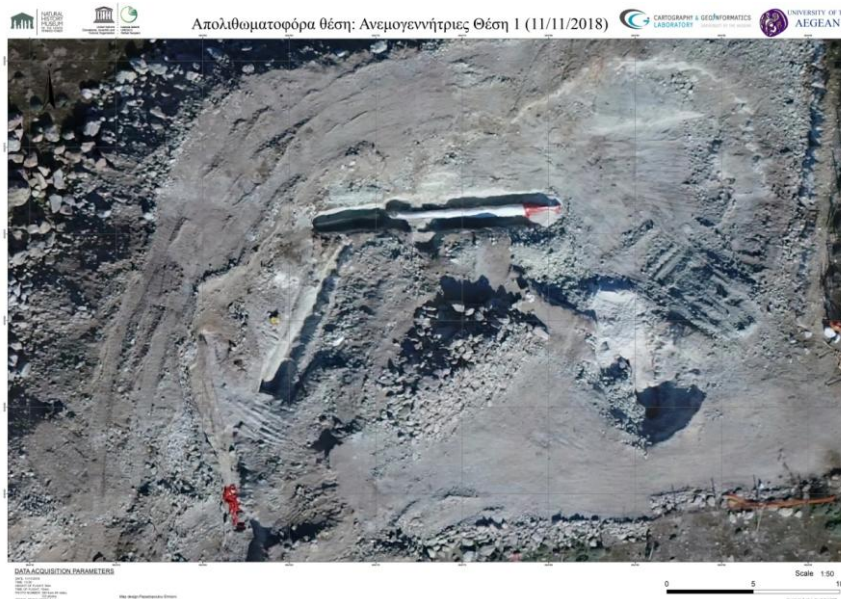
Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 1, (ΟΡΘ-5)



Χάρτης 14: Η πρώτη θέση εγκατάστασης σε πολύ υψηλή ανάλυση <1cm

Στον ορθοφωτοχάρτη ΟΡΘ-5 της πρώτης θέσης εγκατάστασης και σε χαρτογραφική κλίμακα 1:50 εμφανίζεται σε πολύ υψηλή ανάλυση <1cm ένας απολιθωμένος κορμός. Λόγω της πολύ υψηλής χωρικής του ανάλυσης ο ορθοφωτοχάρτης μπορεί να παρέχει πολύ υψηλής ακριβείας μετρήσεις σχετικά με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των απολιθωμένων κορμών. Ο συγκεκριμένος κορμός έχει μήκος 9,7μ και πλάτος 0,4μ. Η συνολική περιοχή η οποία εκσκάφτηκε στη συγκεκριμένη βάση είναι 204m².

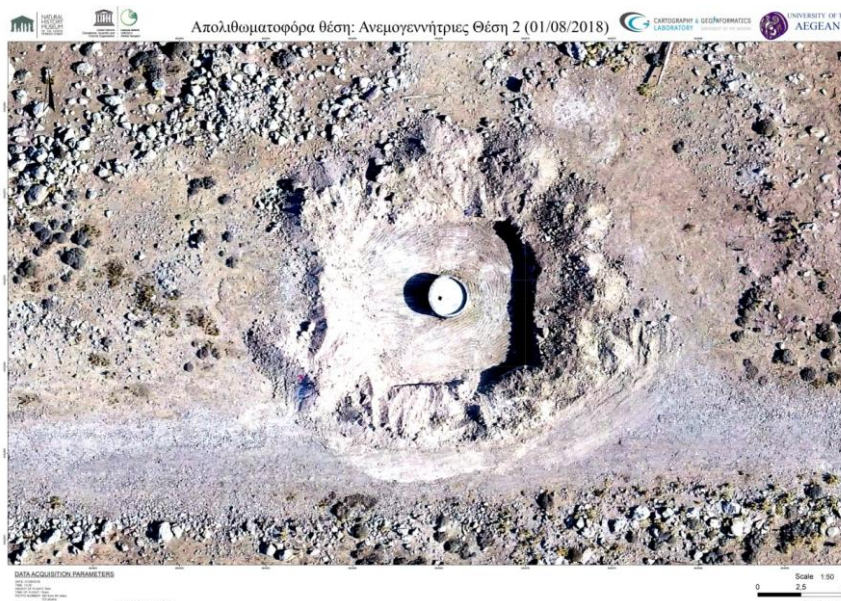
Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 1, (ΟΡΘ-6)



Χάρτης 15: Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 1

Στον ΟΡΘ-6 εμφανίζονται τρεις νέοι απολιθωμένοι κορμοί διαστάσεων α) 3,8m μήκος, 0,3m πλάτος, β) 9,6m μήκος, 0,7 πλάτος γ) 11m μήκος, 0,6m πλάτος.

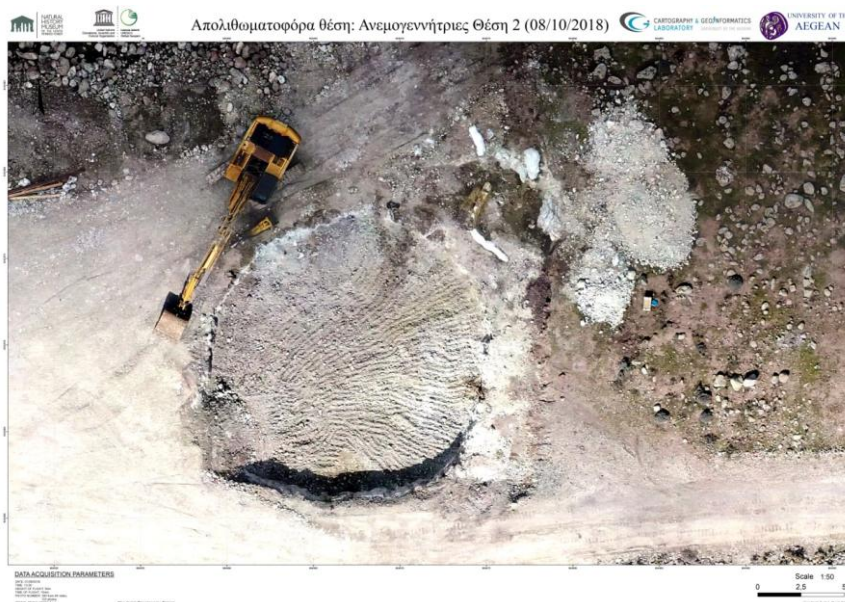
Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 2, (ΟΡΘ-7)



Χάρτης 16: Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 2

Στο ΟΡΘ-7 αποτυπώνεται η δεύτερη θέση εγκατάστασης σε κλίμακα 1:50 και χωρική ανάλυση 2cm. Δεν παρατηρείται κανένα εύρημα, η συνολική περιοχή αποτύπωσης είναι 1.450m² και η περίμετρος του σκάμματος είναι 37 μ.

Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 2, (ΟΡΘ-8)



Χάρτης 17: Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 2

Στον ΟΡΘ-8 η χαρτογραφική κλίμακα είναι 1:50 και αποτυπώνεται η δεύτερη θέση εγκατάστασης στις 07 Οκτωβρίου 2018. Εμφανίζονται τρεις απολιθωμένοι κορμοί, για δυο από αυτούς έχουν ήδη ληφθεί τα απαραίτητα μέτρα για την προστασία την μεταφορά τους από το πεδίο. Οι διαστάσεις των κορμών είναι: α) 1,65m μήκος και 0,45m πλάτος, β) 2,8m μήκος και 0,9m πλάτος και γ) 2,67m μήκος και 0,35m πλάτος, ο προσανατολισμός των κορμών είναι ο ίδιος, νότιος. Η συνολική περιοχή η οποία εκσκάφτηκε στην συγκεκριμένη θέση μέχρι τις 08 Οκτωβρίου του 2018 ήταν 365m².

Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 3, (ΟΡΘ-9)



Χάρτης 18: Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 3

Στον ΟΡΘ-9 η συνολική έκταση η οποία αποτυπώνεται είναι 1.295m^2 η περίμετρος του πρώην βάσης 36m , και δεν υπάρχει κανένα απολιθωμένος κορμός.

Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 3, (ΟΡΘ-10)



Χάρτης 19: Χαρτογραφική κλίμακα 1:50- Θέση 3

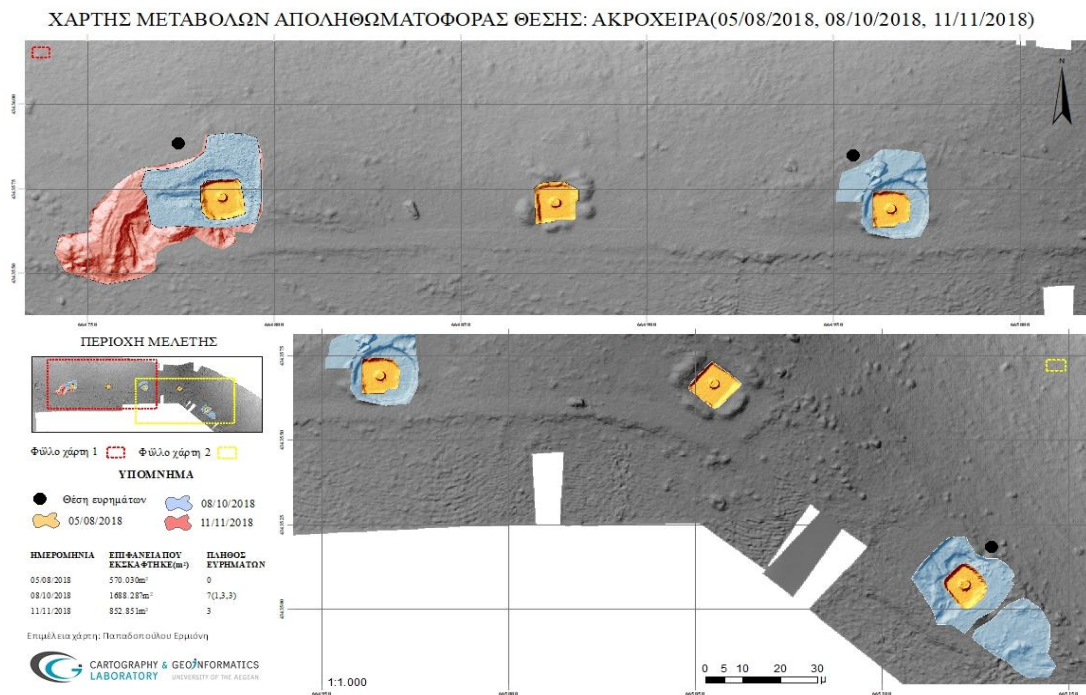
Στον ΟΡΘ-10 της ίδιας ημερομηνίας, κλίμακας και χωρικής ανάλυσης εμφανίζονται τρεις απολιθωμένοι κορμοί διαστάσεων α) 7m μήκος, 0,68m πλάτος, β) 5,3m μήκος, 0,6m πλάτος. Ο προσανατολισμός των κορμών είναι διαφορετικός καθώς ο κορμός α' έχει νοτιοανατολικό, ο β' νότιο και ο γ' νοτιοδυτικό. Η περιοχή ανασκαφής στη θέση 3 ήταν 856m².

3.2.1 Στατικοί χάρτες

Συνολικά δημιουργήθηκαν 2 στατικοί χάρτες και για τις τρεις ημερομηνίες καταγραφής (01/08/2018, 07/10/2018, 11/11/2018) και σε δυο χαρτογραφικές κλίμακες: α) 1:500, β) 1:50.

01/08/2018	07/10/2018	11/11/2018
(ΣΧ-1) Κλίμακα 1:1000 (ΣΧ-2) Κλίμακα 1:50 – Θέση 1	(ΣΧ-1) Κλίμακα 1:1000 (ΣΧ-2) Κλίμακα 1:50 – Θέση 1	(ΣΧ-1) Κλίμακα 1:1000 (ΣΧ-2) Κλίμακα 1:50 – Θέση 1

Χαρτογραφική κλίμακα 1:1000, (ΣΧ-1)

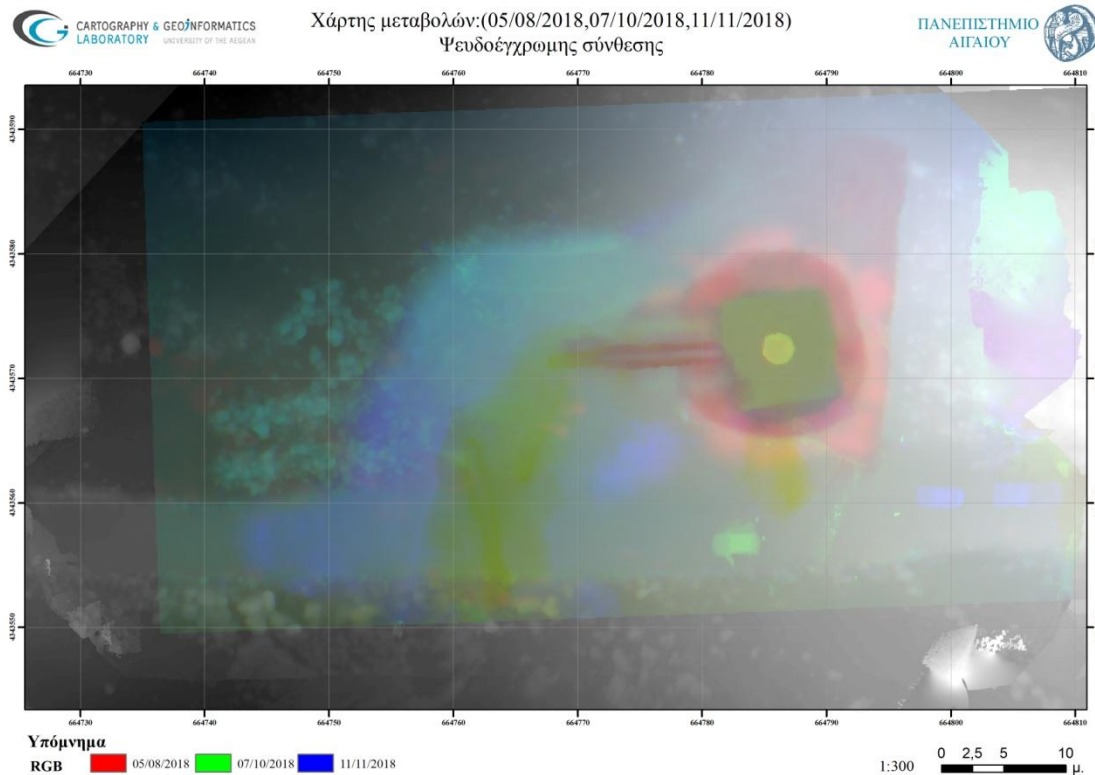


Χάρτης 20: Χάρτης μεταβολών κλίμακας 1:1000

Ο ΣΧ-1, έχει χαρτογραφική κλίμακα 1:1000, και παρουσιάζεται ολόκληρη η περιοχή μελέτης σε δυο τμήματα. Στο άνω τμήμα του χάρτη εμφανίζονται οι τρεις πρώτες βάσεις και στο δεύτερο τμήμα του χάρτη οι υπόλοιπες τρεις. Οι πορτοκαλί επιφάνειες υποδεικνύουν την περιοχή που εκσκάφτηκε την πρώτη ημερομηνία καταγραφής, συνολικά εκσκάφτηκαν 570.003m². Στις 01 Αυγούστου παρατηρείτε πως η ανασκαφική δραστηριότητα δεν είναι έντονη και οριοθετεί τις βάσεις των προηγούμενων ανεμογεννητριών. Κανένας απολιθωμένος κορμός δεν εμφανίζεται στην περιοχή μελέτης την πρώτη ημερομηνία καταγραφής. Με γαλάζιο χρώμα οριοθετείτε η περιοχή η οποία ανασκάφτηκε μέχρι την δεύτερη ημερομηνία καταγραφής. Δραστηριότητα εμφανίζεται μόνο στις τρεις βάσεις στις οποίες θα εγκατασταθούν οι νέες ανεμογεννήτριες. Κατά την επέκταση των βάσεων, εμφανίζονται 3 απολιθωμένοι κορμοί στη θέση 3, 3 στη θέση 2 και ένας στη θέση ένα. Η συνολική περιοχή η οποία ανασκάφτηκε μέχρι τις 07 Οκτωβρίου 2018 είναι 1.688.287m². Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η ανασκαφική δραστηριότητα την τρίτη ημερομηνία καταγραφής. Στο χάρτη εμφανίζονται μεταβολές μόνο στην πρώτη θέση εγκατάστασης νέας ανεμογεννήτριας, καθώς έχουν ανασκαφτεί επιπλέον 852,85m² και παρατηρούνται 3 νέα

ευρήματα. Οι υπόλοιπες θέσεις δεν παρουσιάζουν καμία ανασκαφική δραστηριότητα στις 11 Νοεμβρίου 2018, γεγονός που υποδηλώνει πως δεν υπήρξε κάποια μεταβολή.

Χαρτογραφική κλίμακα 1:50, (ΣΧ-2)



Χάρτης 21: Χάρτης μεταβολών κλίμακας 1:50

Ο δεύτερος στατικός χάρτης ο οποίος δημιουργήθηκε ήταν σε χαρτογραφική κλίμακα 1:50, επιλέχθηκε σαν περίπτωση μελέτης η πρώτη θέση εγκατάστασης ανεμογεννήτριας καθότι είναι αυτή η οποία παρουσιάζει μεταβολές και στις τρεις ημερομηνίες καταγραφής. Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε για την χαρτογράφηση μεταβολών στη συγκεκριμένη κλίμακα και για την δημιουργία ενός στατικού χάρτη διαχρονικών δεδομένων ήταν η ψευδοχρωματική. Αναλυτικότερα ο συγκεκριμένος χάρτης αποτελείται από τρία ψηφιακά μοντέλα εδάφους, ένα για κάθε ημερομηνία καταγραφής (01/08/2018, 07/10/2018, 11/11/2018) ενοποιημένα σε ένα. Ο συγκεκριμένος χάρτης αποτελείται από τρία διαφορετικά κανάλια, όπου κάθε κανάλι αντιστοιχεί σε ένα χρώμα και κάθε χρώμα σε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους από κάθε ημερομηνία. Πιο συγκεκριμένα το κόκκινο χρώμα χρησιμοποιήθηκε για το κανάλι της πρώτης ημερομηνίας, το πράσινο χρώμα για το κανάλι της δεύτερης και το μπλε χρώμα για το κανάλι της τρίτης. Ο συνδυασμός των καναλιών επιτρέπει στο χρήστη να παρατήρηση της μεταβολής στην περιοχή ανάλογα με την ημερομηνία καταγραφής. Οι περιοχές του χάρτη οι οποίες εμφανίζουν αποχρώσεις του γκρι, υποδηλώνουν πως το συγκεκριμένο τμήμα δεν έχει μεταβληθεί. Στον χάρτη εμφανίζονται και τα τρία χρώματα ταυτόχρονα, στις περιοχές όπου υπερισχύει το κόκκινο χρώμα σημαίνει πως οι τιμές του DSM στο συγκεκριμένο τμήμα είναι υψηλότερες. Συνεπώς στις 01 Αυγούστου 2018 εμφανίζονται υψηλές υψομετρικές τιμές περιμετρικά της βάσης, αυτό σημαίνει πως τα αναχώματα μετακινήθηκαν και οι τιμές στα συγκεκριμένα σημεία ήταν πιο χαμηλές τις επόμενες ημερομηνίες άρα το βάθος του σκάμματος μεγάλωσε.

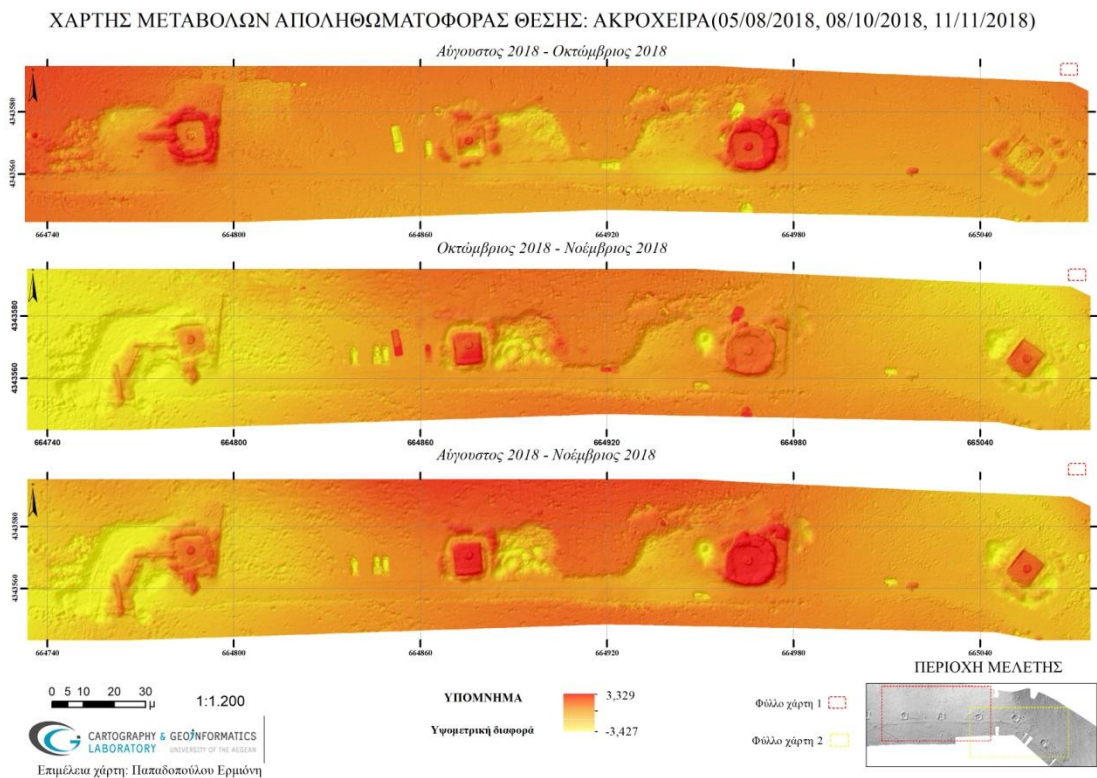
Επιπλέον με κόκκινο χρώμα σχηματίζεται και ένας απολιθωμένος κορμός, αυτό σημαίνει ότι η περιοχή περιμετρικά από αυτόν εξάφτηκε και οι υψομετρικές τιμές στις επόμενες δυο ημερομηνίες είναι χαμηλότερες. Με πράσινο χρώμα παρουσιάζεται η δεύτερη ημερομηνία καταγραφής, τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο εμφανίζεται το υψόμετρο τη βάσης το οποίο σταθεροποιείται. Επιπλέον εμφανίζεται ανασκαφική δραστηριότητα στη νοτιοδυτική πλευρά του χάρτη και ο σχηματισμός δυο απολιθωμένων κορμών. Ο σχηματισμός αυτός προκύπτει από την διαφορά των τιμών στα κελία μεταξύ της δεύτερης και τις τρίτης ημερομηνίας. Το μπλε χρώμα το οποίο αντιπροσωπεύει το ψηφιακό μοντέλο εδάφους τις 11 Νοεμβρίου 2018 έχει επικρατούσες τιμές σε σχέση με τις άλλες δύο ημερομηνίες περιμετρικά της θέσης εγκατάστασης 1, αυτό συμβαίνει γιατί σε εκείνες της περιοχές εναποτέθηκαν τα χωματουργικά κατά τη ανασκαφική διαδικασία

3.2.2 Σειρά Στατικοί χάρτες

Συνολικά δημιουργήθηκαν 3 σειρές στατικών χαρτών και για τις τρεις ημερομηνίες καταγραφής (01/08/2018, 07/10/2018, 11/11/2018) και σε δυο χαρτογραφικές κλίμακες: α) 1:500, β) 1:50. Η χαρτογραφική μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή της σειράς χαρτών ήταν η DEM OF DIFFERENCE(DOD).

01/08/2018	07/10/2018	11/11/2018
(DOD-1) Κλίμακα 1:1200 (DOD-2) Κλίμακα 1:1200 (DOD-3) Κλίμακα 1:500 – Θέση 1	(DOD-1) Κλίμακα 1:1200 (DOD-2) Κλίμακα 1:1200 (DOD-3) Κλίμακα 1:500 – Θέση 1	(DOD-1) Κλίμακα 1:1200 (DOD-2) Κλίμακα 1:1200 (DOD-3) Κλίμακα 1:500 – Θέση 1

Χαρτογραφική κλίμακα 1:1200, (DOD-1)

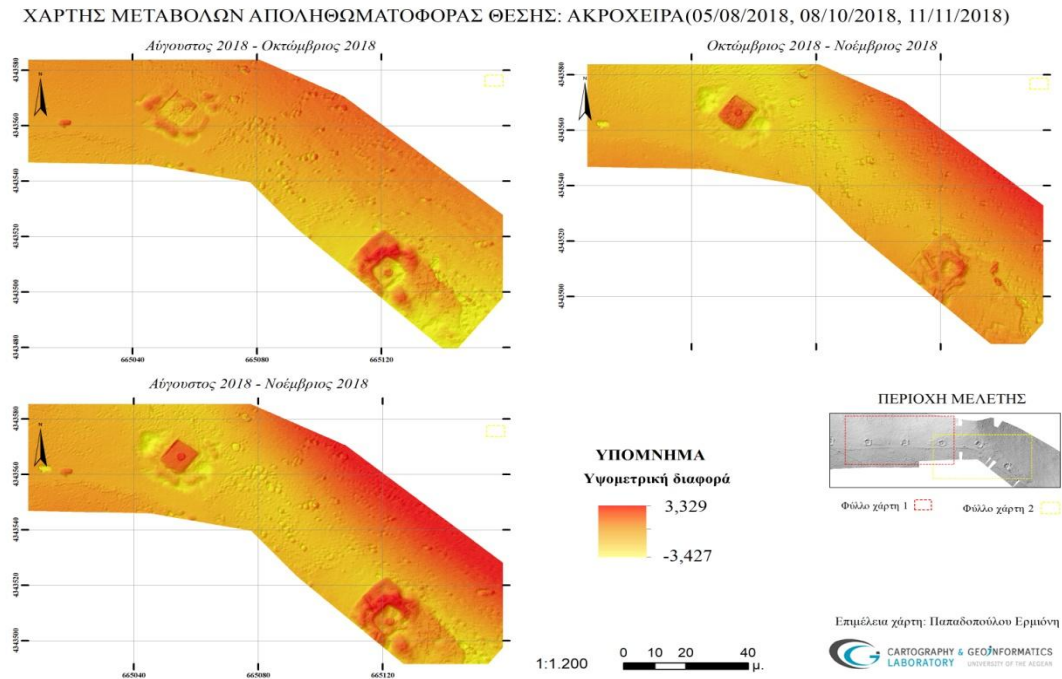


Χάρτης 22: Σειρά χαρτών μεταβολών κλίμακας 1:1000

Στο χάρτη DOD-1 παρουσιάζεται το δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, σε χαρτογραφική κλίμακα 1:1.200 και περιλαμβάνει τέσσερις από τις έξι βάσεις ανεμογεννητριών.

Αναλυτικότερα, κάθε ένας από τους τρεις χάρτες αποτυπώνει την διαφορά μεταξύ δυο ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου. Τα DSM τα οποία συνέβαλλαν στη διαδικασία της αφαίρεσης και της δημιουργίας των ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου της διαφοράς, είχαν χωρική ανάλυση 8cm. Οι μέγιστες θετικές διαφορές των DOD ήταν 3,329m και οι μέγιστες αρνητικές 3,427. Συνολικά έγιναν τρεις πράξεις, μια μεταξύ της πρώτης ημερομηνίας καταγραφής αφαιρώντας την δεύτερη ημερομηνία καταγραφής, μια μεταξύ της δεύτερης με την τρίτη και μια μεταξύ της πρώτης με την τρίτη. Αναλυτικότερα στον πρώτο χάρτη Αύγουστος 2018 - Οκτώβριο 2018 παρατηρούνται θετικές διαφορές μεταξύ των δυο DSM περιμετρικά των βάσεων, αυτό σημαίνει πως τα χωματοουργικά εναποτέθηκαν στα συγκεκριμένα τμήματα. Με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζονται οι τιμές κοντά στο 0, συνεπώς δεν υπάρχει καμία μεταβολή σε αυτές τις περιοχές. Με κίτρινο χρώμα οπτικοποιούνται οι αρνητικές μεταβολές και από την γεωμετρία των κίτρινων περιοχών καταλήγει πως αυτές οφείλονται σε οχήματα που υπήρχαν στην μια ημερομηνία αλλά μετακινήθηκαν στην άλλη. Στον δεύτερο χάρτη του DOD-1 παρατίθεται η αφαίρεση μεταξύ του DSM που παράχθηκε για την δεύτερη ημερομηνία καταγραφής και του DSM που παράχθηκε για την τρίτη ημερομηνία. Στην πρώτη θέση υπάρχουν έντονες αρνητικές υψομετρικές διαφορές και μπορούν να παρατηρηθούν τρεις απολιθωμένοι κορμοί. Αυτό σημαίνει πως στη συγκεκριμένη περιοχή υπήρξε έντονη ανασκαφική δραστηριότητα. Στη θέση 2,4 εμφανίζονται θετικές διαφορές γεγονός που υποδηλώνει πως δεν εκτελέστηκε ανασκαφικό έργο σε αυτές, καθώς δεν αποτελούν θέσεις εγκατάστασης νέων ανεμογεννητριών, και απλά μεταφέρθηκαν τα χωματοουργικά που υπήρχαν γύρω από τις βάσεις τους στην δεύτερη ημερομηνία καταγραφής. Η τρίτη πράξη γίνεται μεταξύ της πρώτης και της τρίτης ημερομηνίας για να αποτυπωθούν οι συνολικές μεταβολές από την πρώτη ημερομηνία καταγραφής μέχρι την τελευταία. Έντονη ανασκαφική δραστηριότητα παρατηρείται στην πρώτη θέση εγκατάστασης ανεμογεννήτριας όπου και εμφανίζονται συνολικά 4 απολιθωμένοι κορμοί. Στην δεύτερη θέση εγκατάστασης(3) η συγκεκριμένη μέθοδος δεν κατάφερε να αποτυπώσει τους απολιθωμένους κορμούς οι οποίοι ανασκάφτηκαν.

Χαρτογραφική κλίμακα 1:1200, (DOD-2)

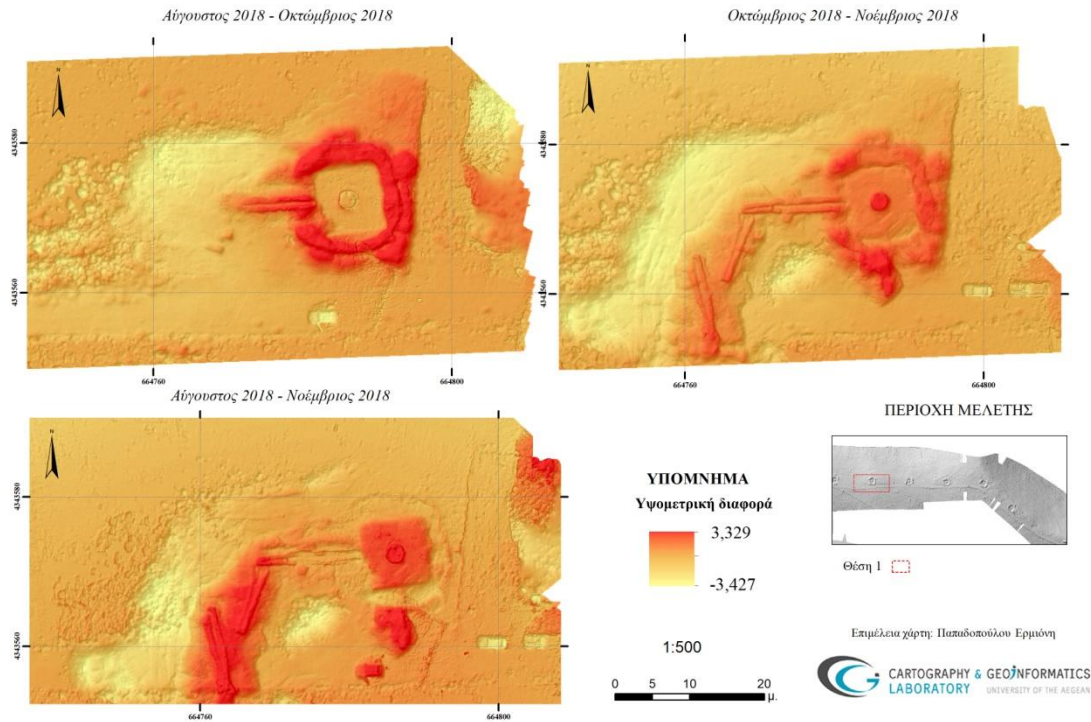


Χάρτης 23: Χάρτης μεταβολών κλίμακας 1:1200 της ΝΑ περιοχής μελέτης

Στο χάρτη DOD-2 παρουσιάζεται το νότιο-ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, σε χαρτογραφική κλίμακα 1:1.200 και περιλαμβάνει δύο από τις έξι βάσεις ανεμογεννητριών. Το συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης είναι συνέχεια του προηγούμενου και η πρώτη θέση η οποία συναντάται είναι η τέταρτη θέση του προηγούμενου χάρτη (ΧΑΡΤΗΣ). Στην έκτη βάση(τρίτη θέση νέας εγκατάστασης) 3 απολιθωμένοι κορμοί εμφανίζονται μετά την μετακίνηση των χωματοουργικών την στο ψηφιακό μοντέλο της διαφοράς Οκτωβρίου 2018-Νοεμβρίου 2018, καθώς επίσης και από το τρίτο DOD. Οι υψομετρικές διαφορές υποδεικνύουν πως οι απολιθωμένοι κορμοί ανασκάφηκαν στην δεύτερη ημερομηνία καταγραφής και παρέμειναν στη θέση τους μέχρι και την τρίτη ημερομηνία.

Χαρτογραφική κλίμακα 1:500, (DOD-3)

ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΑΠΟΛΗΘΩΜΑΤΟΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ: ΑΚΡΟΧΕΙΡΑ(05/08/2018, 08/10/2018, 11/11/2018)



Χάρτης 24: Χάρτης μεταβολών κλίμακας 1:500

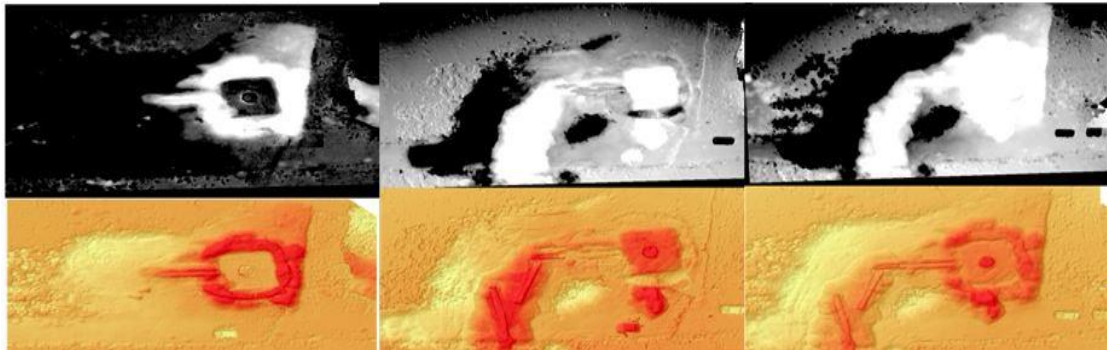
Για τη χαρτογραφική κλίμακα 1:500, και τη δημιουργία της σειράς χαρτών με τη χαρτογραφική μέθοδο DOD χρησιμοποιήθηκαν τα ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου που δημιουργήθηκαν από τη φωτογραμμετρική επεξεργασία με εικόνες από τις πτήσεις που γίνανε σε χαμηλότερο υψόμετρο. Το DSM που χρησιμοποιήθηκε ως μοντέλο αναφοράς είχε χωρική ανάλυση 8cm, για τον λόγο πως την πρώτη ημερομηνία καταγραφής δεν υλοποιήθηκε πτήση σε χαμηλότερο υψόμετρο καθώς δεν υπήρχαν απολιθωμένοι κορμοί στην περιοχή μελέτης. Τα DSM για της 08 Οκτωβρίου και 11 Νοεμβρίου έχουν χωρική ανάλυση 2cm, καθώς υπάρχουν ευρήματα και στις δυο ημερομηνίες, άρα προκύπτει και η ανάγκη λεπτομερής αποτύπωσης. Στο πρώτο χάρτη διαφοράς υψομέτρου (Αύγουστος 2018- Οκτωβρίου 2018)

3.3.1 3Δ Επαυξημένοι χάρτες

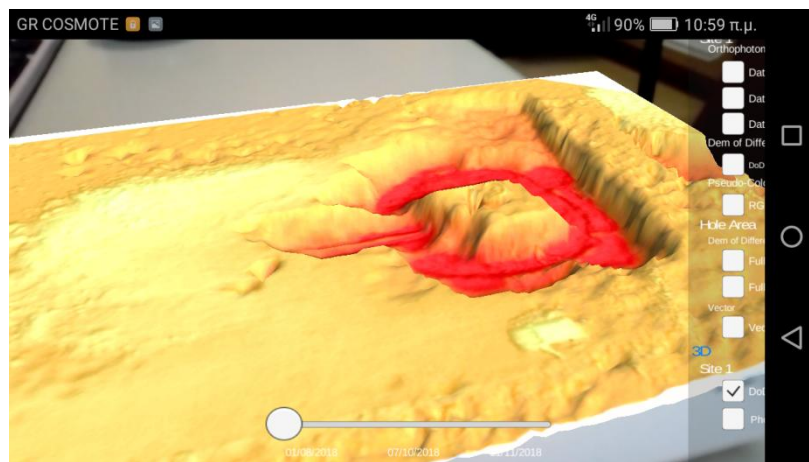
Συνολικά δημιουργήθηκαν 2 3Δ επαυξημένοι χάρτες για τις τρεις ημερομηνίες καταγραφής (01/08/2018, 07/10/2018, 11/11/2018) σε χαρτογραφική κλίμακα: 1:50.

01/08/2018	07/10/2018	11/11/2018
(DOD-3D) Θέση εκσκαφής-1 (PHR-3D) Θέση εκσκαφής-1	(DOD-3D) Θέση εκσκαφής-1 (PHR-3D) Θέση εκσκαφής-1	(DOD-3D) Θέση εκσκαφής-1 (PHR-3D) Θέση εκσκαφής-1

Θέση εκσκαφής-1(DOD-3D)



Χάρτης 25: Θέση εκσκαφής-1(DOD-3D)

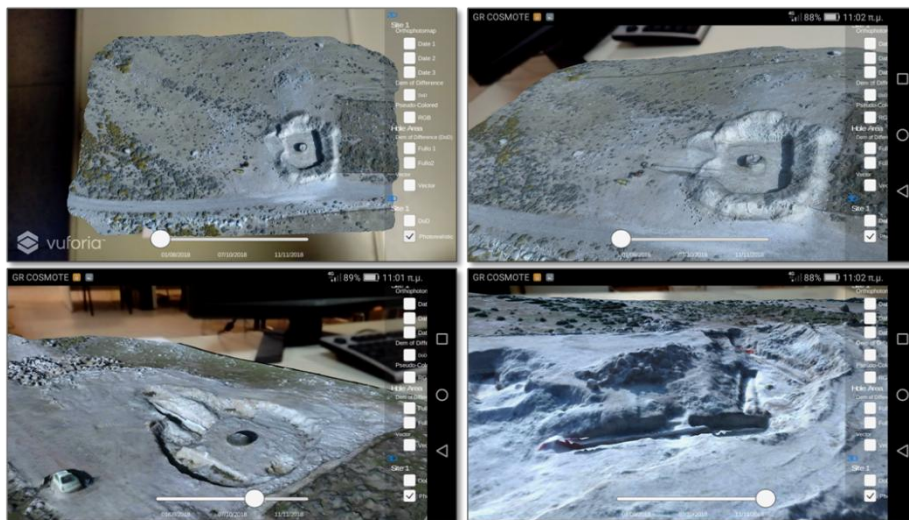


Εικόνα 22: Θέση εκσκαφής-1(DOD-3D) Τρισδιάστατος επαυξημένος μέσα από την εφαρμογή

Ο DOD-3D είναι ο πρώτος τρισδιάστατος επαυξημένος χάρτης ο οποίος δημιουργήθηκε. Για την σύνθεση του χρησιμοποιήθηκαν τα τρία ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου της διαφοράς των DSM για την χαρτογραφική κλίμακα 1:50 της πρώτης θέσης εγκατάστασης νέας ανεμογεννήτριας. Αναλυτικότερα, όπως φαίνεται και στη ΕΙΚΟΝΑ δημιουργήθηκαν τρία ζευγάρια δεδομένων, τα οποία αποτελούνταν από ένα raster αρχείο που έφερε ως πληροφορία τις υψομετρικές τιμές και ένα αρχείο χρωματικής παλέτας αντίστοιχης χωρικής ανάλυσης 2cm. Κάθε κελί του DSM ανάλογα με την υψομετρική του τιμή αντιστοιχούσε και σε ένα συγκεκριμένο RGB του αρχείου με τη χρωματική παλέτα. Κάθε ζευγάρι αντιστοιχεί στην υψομετρική μεταβολή μεταξύ δυο ημερομηνιών καταγραφής. Η τρισδιάστατη

οπτικοποίηση των δεδομένων έγινε με βάση τις υψομετρικές τιμές των κελιών και την γεωαναφορά. Όπως φαίνεται στην Εικόνα, το τρισδιάστατο μοντέλο εφαρμόζει πάνω στον αναλογικό χάρτη και με έντονο κόκκινο χρώμα επισημαίνονται οι μεταβολές μεταξύ τη πρώτης και τις δεύτερης ημερομηνίας καταγραφής. Η κλίμακα του τρισδιάστατου μοντέλου είναι ανάλογη με του ορθοφωτοχάρτη στον οποίο αντιστοιχεί και επιτρέπει την παρατήρηση της θέσης των κορμών, το υψόμετρο στο οποίο ανασκάφτηκαν, την τρισδιάστατη χωρική μεταβολή της περιοχής μελέτης, τις χωρικές σχέσεις μεταξύ των κορμών, τα επίπεδα εύρεσης των απολιθωμένων κορμών, καθώς επιτρέπει την σύγκριση της κατάστασης μεταξύ των ημερομηνιών. Η χρωματική παλέτα η οποία επιλέχθηκε για να δείξει θεματικά πάνω στο τρισδιάστατο μοντέλο τις έντονες μεταβολές, αποτελείται από αποχρώσεις κίτρινο- κόκκινο, με το κόκκινο χρώμα να αντιπροσωπεύει τις έντονες μεταβολές μεταξύ δυο ημερομηνιών. Η επιλογή των συγκεκριμένων χρωμάτων έγινε με σκοπό, να μην υπάρξει οπτική σύγχυση και περιττή πληροφορία στον επαυξημένο χάρτη, καθώς η επαύξηση της πραγματικότητας προσθέτει ήδη παραπάνω πληροφορία στη ήδη υπάρχουσα, και η τομή του λειτουργικού με του περιττού είναι λεπτή. Συνεπώς σκοπός ήταν να γίνει αντιληπτή η μεταβολή και να επισημανθούν οι απολιθωμένοι κορμοί.

Θέση εκσκαφής-1(PHR-3D)



Εικόνα 23: Θέση εκσκαφής-1(PHR-3D)

Ο επαυξημένος χάρτης PHR-3D, αποτελείται από τρία φωτορεαλιστικά τρισδιάστατα μοντέλα τα οποία είναι παραγόμενα προϊόντα της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας. Στις παραπάνω εικόνες παρουσιάζεται η οπτικοποίηση αυτών των χαρτογραφικών προϊόντων. Η χαρτογραφική κλίμακα του επαυξημένου χάρτη είναι 1:50, και η περιοχή μελέτης η οποία οπτικοποιήτε είναι η πρώτη θέση εγκατάστασης όπως και στο χάρτη DOD-3D. Κάθε ένα τρισδιάστατο μοντέλο αντιπροσωπεύει την περιοχή μελέτης σε κάθε μια από τις ημερομηνίες καταγραφής (01/08/2018, 07/10/2018, 11/11/2018). Παρατηρείται πως η χωρική ανάλυση των μοντέλων είναι πολύ υψηλή, και μπορούν να διακριθούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των απολιθωμένων κορμών, το υψόμετρο το οποίο ανασκάφτηκαν, η κλίση τους και ο προσανατολισμός του. Η συγκεκριμένη χαρτογραφική μέθοδος επιλέχθηκε να συνδυαστεί και να οπτικοποιηθεί με τεχνικές επαυξημένης πραγματικότητας για τον λόγο πως μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικές με την πραγματική υφή των απολιθωμάτων αλλά και του αναγλύφου της περιοχής μελέτης. Τα

τρισδιάστατα μοντέλα τοποθετήθηκαν με βάση την γεωαναφορά τους πάνω στο αναλογικό χάρτη και σχηματίστηκε μια μπάρα στο κάτω μέρος του εικονικού περιβάλλοντος όπου ο χρήστης μπορεί να μεταβάλει κατά βούληση του την χρονική περίοδο την οποία θέλει να παρατηρήσει. Επιπλέον λόγω της φύσης του επαυξημένου χάρτη και της διάδρασης του ψηφιακού αντικειμένου και του πραγματικού εκτυπωμένου χάρτη, η τρισδιάστατη φωτορεαλιστική πληροφορία μπορεί να παρατηρηθεί από πολλές διαφορετικές οπτικές γωνίες καθώς επίσης υπάρχει και η δυνατότητα μεγέθυνσης της χαρτογραφικής πληροφορίας πλησιάζοντας την κινητή πλατφόρμα στο σημείο ενδιαφέροντος.

Δεν δημιουργήθηκαν επαυξημένοι χάρτες για μικρότερες χαρτογραφικές κλίμακες καθώς , η επαυξημένη πληροφορία δεν θα ήταν εύκολα διαχειρίσιμη από τους χρήστες.

3.3.2 Εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας(όλα τα χαρτογραφικά προϊόντα)

Για τον εύκολο διαμοιρασμό της χαρτογραφικής πληροφορίας η οποία παράχθηκε αναπτύχθηκε μια εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας ειδικά σχεδιασμένη για λογισμικά android Η συγκεκριμένη εφαρμογή αποτελείται από μια βάση δεδομένων η οποία εμπεριέχει όλα α χαρτογραφικά δεδομένα τα οποία παρήχθησαν, σε δύο και σε τρεις διαστάσεις.



Εικόνα 24: Εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας

Η συγκεκριμένη εφαρμογή σχεδιάστηκε με σκοπό τη διαδραστικότητα και την οπτικοποίηση διαχρονικών δεδομένων. Για την επίτευξη αυτού του στόχου σχεδιάστηκε μια μπάρα μεταβολής του χρόνου στο κάτω μέρος του ψηφιακού περιβάλλοντος της εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας όπου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ποια χρονική στιγμή θέλει να παρατηρήσει καθώς και να δει με μορφή κίνησης τη μετάβαση από την μια ημερομηνία στην άλλη. Η εφαρμογή αναπτύχθηκε για Android κινητά.

Το περιβάλλον της απαρτίζεται από έναν πίνακα περιεχομένων στη δεξιά πλευρά της οθόνης. Εμφανίζεται ένας κατάλογος όπου αρχειοθετούνται πρώτα τα δισδιάστατα χαρτογραφικά προϊόντα και στη συνέχεια τα τρισδιάστατα. Όταν ο χρήστης έχει επιλεγμένη την καρτέλα των τρισδιάστατων χαρτογραφικών προϊόντων αυτομάτως του εμφανίζεται μια μπάρα μεταβολής του χρόνου. Συνεπώς ο χρήστης μπορεί να αλληλοεπιδράσει με τον ψηφιακό χώρο και να αλλάξει τον χρόνο κατά βούληση του, ανάλογα τι είναι αυτό που θέλει να παρατηρήσει.

Επιπλέον η εφαρμογή δίνει την δυνατότητα να αναγνωρίσει η κάμερα του κινητού το μοτίβο ζεύξης, δίχως να επηρεάζει εάν το κινητό είναι κάθετα ή οριζόντια. Ο κατάλογος παρουσίασης των αποτελεσμάτων περιστρέφεται ανάλογα με την θέση του κινητού. Η εφαρμογή είναι αρκετά εύχρηστη καθώς από την ενεργοποίηση της προβάλλεται και το διαδραστικό επαυξημένο περιβάλλον. Επίσης δίνεται η δυνατότητα επιλογής ποιας χαρτογραφικής μεθόδου θα προβληθεί ανάλογα με τη μεταβολή την οποία θέλει να παρατηρήσει ο εκάστοτε ενδιαφερόμενος. Είναι εύκολο να παρατηρηθούν επιφανειακές μεταβολές και όγκου καθώς η διακριτική ικανότητα των τρισδιάστατων μοντέλων αλλά και των δισδιάστατων χαρτών είναι μεγάλη.

Η επαύξηση της πραγματικότητας δίνει επιπρόσθετη πληροφορία από αυτή που υπάρχει πραγματικά στο φυσικό περιβάλλον για αυτό τον λόγο είναι και πολύ λεπτή η τομή μεταξύ της περιττή και της χρήσιμης πληροφορίας. Για να αποφευχθεί αυτό η συγκεκριμένη εφαρμογή στήθηκε με την μορφή καταλόγου και διαδραστικών κουμπιών ώστε ο χρήστης να ορίζει τι είναι αυτό που θέλει να δει πόσο κοντά να πλησιάσει και από ποια οπτική γωνία να το παρατηρήσει.

4. Συμπεράσματα

Ο κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση μεθόδων οπτικοποίησης της διαδικασίας ανασκαφής απολιθωματοφόρας θέσεων με σκοπό την ανάπτυξη μεθοδολογίας για την αποδοτική παρακολούθηση της διαδικασίας εκσκαφής απολιθωμάτων. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας η οποία αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία καταλήγει σε διακριτά συμπεράσματα για κάθε ένα από τα στάδια της μεθοδολογίας.

Αναλυτικότερα, τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από το στάδιο της συλλογής δεδομένων, είναι:

- Τα ΣμηΕΑ αποτελούν ένα αποτελεσματικό μέσω συλλογής δεδομένων, καθώς οι φωτογραφίες οι οποίες συλλέγονται είναι πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης και η συλλογή των δεδομένων από το πεδίο γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- Τα ΣμηΕΑ δίνουν την δυνατότητα συλλογής δεδομένων μεγάλης γεωγραφικής κλίμακας όπως ολόκληρη η περιοχή μελέτης αλλά και μικρότερης γεωγραφικής κλίμακας, όπως σε επίπεδο επιμέρους θέσεων.
- Για μια αποδοτική παρακολούθηση ο τρόπος συλλογής των δεδομένων (καλό θα ήταν), να γίνεται με τον ίδιο τρόπο, ούτως ώστε τα παραγόμενα χαρτογραφικά προϊόντα να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους και να μπορούν να παρατηρηθούν μεταβολές μεταξύ των χρονικών περιόδων καταγραφής. Τα εξειδικευμένα λογισμικά σχεδιασμού πτήσεων επιτρέπουν την υλοποίηση πτήσεων ακριβώς με τα ίδια χαρακτηριστικά πτήσης σε διακριτές ημερομηνίες, συνεπώς ελαχιστοποιείται η πιθανότητα εσφαλμένης παρατήρησης λόγω του τρόπου λήψης των πρωτογενή δεδομένων.
- Σχετικά με τα σχέδια πτήσης τα οποία σχεδιάστηκαν, εξάγεται το συμπέρασμα πως ήταν αποδοτικά για την καταγραφή της περιοχής μελέτης, και η πλάγια αλληλοεπικάλυψη των φωτογραφιών στο 60% επαρκής. Τα σχέδια πτήσης κάλυψαν ολόκληρη την περιοχή μελέτης, καθώς και τις επιμέρους θέσεις εγκατάστασης νέων ανεμογεννητριών, επιπλέον αποτύπωσαν και τα φωτοσταθερά σημεία τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για την γεωαναφορά των αποτελεσμάτων.
- Στη συγκεκριμένη μεθοδολογία ο τύπος των δεδομένων τα οποία συλλέγει το ΣμηΕΑ είναι βίντεο. Τα βίντεο τα οποία συλλέχτηκαν ήταν σε πολύ υψηλή ανάλυση 4K και η ταχύτητα καταγραφής στιγμιότυπων στον αισθητήρα 59 fps. Αυτό σημαίνει πως η εμπρόσθια επικάλυψη μεταξύ των φωτογραφιών ήταν >90%. Το ποσοστό της επικάλυψης των εικόνων για την συγκεκριμένη εφαρμογή αποφασίστηκε να είναι 70%, άρα από πλευράς παράλλαξης το βίντεο κάλυπτε αυτή την ανάγκη. Σε αντίθεση με τις φωτογραφίες, το βίντεο στο ίδιο χρονικό διάστημα δίνει την δυνατότητα καταγραφής περισσότερη πληροφορίας. Συνεπώς με την συγκεκριμένη επιλογή τύπου καταγραφής δόθηκε μεγαλύτερη ευελιξία σχετικά με το ποιο καρέ θα επιλεγεί για να συμμετέχει στην φωτογραμμετρική επεξεργασία. Εάν κάποιο καρέ ήταν θολών ή ο δείκτης IQI είχε χαμηλή τιμή μπορούσε να αντικατασταθεί γρήγορα από κάποιο άλλο καρέ του βίντεο χωρίς να χρειαστεί μετάβαση στο πεδίο.
- Επιπλέον όσον αφορά τη συλλογή των δεδομένων παρατηρήθηκε πως οι συνθήκες φωτισμού είναι καθοριστικός παράγοντας για την πληροφορία η οποία συλλέγεται. Καθώς ο αισθητήρας ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ήταν η φωτογραφική μηχανική και

κατέγραφε το οπτικό φάσμα. Σε περιπτώσεις παρακολούθησης μεταβολών σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή είναι κρίσιμο τα δεδομένα είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους, για να μπορέσουν να παρατηρηθούν μεταβολές στο RGB των σημείων εφόσον εξετάζεται το οπτικό φάσμα. Σε περίπτωση που η τιμή του RGB ενός σημείου έχει αλλάξει, υποδηλώνει και μεταβολή στη συγκεκριμένη θέση, εάν όμως αυτή η τιμή έχει μεταβληθεί λόγω των καιρικών συνθηκών και των συνθηκών φωτισμού, υπάρχει η πιθανότητα εσφαλμένης παρατήρησης. Καταλήγει συνεπώς το συμπέρασμα πως η χρονική στιγμή η οποία θα γίνει η συλλογή των δεδομένων είναι υψίστης σημασίας καθώς επηρεάζει τα συμπεράσματα της έρευνας.

Το επόμενο στάδιο της μεθοδολογίας ο οποία αναπτύχθηκε είναι η επεξεργασία των δεδομένων. Τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από το συγκεκριμένο στάδιο είναι τα ακόλουθα:

- Από την επεξεργασία των δεδομένων σε χαρτογραφική κλίμακα 1:500 προκύπτει το συμπέρασμα πως μπορούν να παρατηρηθούν οι μεταβολές σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης και οι θέσεις στις οποίες ανασκάφτηκαν απολιθωμένοι κορμοί. Για την ανάλυση όμως των γεωμετρικών τους χαρακτηριστικών η συγκεκριμένη κλίμακα δεν εξυπηρετούσε. Για την περαιτέρω ανάλυση των απολιθωμάτων κρίθηκε αναγκαία η αποτύπωση της ανασκαφικής διαδικασίας σε μεγαλύτερη χαρτογραφική κλίμακα. Από την χαρτογραφική κλίμακα 1:50 και τα παραγόμενα χαρτογραφικά προϊόντα τα οποία προέκυψαν, η παρατήρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, του προσανατολισμού, της θέσης και της λεπτομερής καταγραφής της θέσης εύρεσης των κορμών κατέστη εφικτή.
- Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας αντιμετωπίστηκαν ορισμένες δυσκολίες. Μια από αυτές τις δυσκολίες ήταν η παραμόρφωση της γεωμετρίας της περιοχής, έπειτα από τη γεωαναφορά των τρισδιάστατων νεφών σημείων. Η δυσκολία αυτή αντιμετωπίστηκε με την παράληψη του βήματος της συνόρθωσης δέσης, εφόσον το σφάλμα της γεωαναφοράς ήταν ανεκτό (<0.10cm). Έπειτα από την παραπάνω διαπίστωση δημιουργήθηκαν ερευνητικά ερωτήματα σχετικά με το ποιος παράγοντας επηρεάζει και δημιουργεί τη συγκεκριμένη παραμόρφωση.

Με βάση τα αποτελέσματα τις φωτογραμμετρικής και της χαρτογραφικής επεξεργασίας προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Κάθε ένα από τα παραγόμενα χαρτογραφικά προϊόντα τα οποία δημιουργούνται από την φωτογραμμετρική επεξεργασία εξυπηρετούν ένα και παραπάνω σκοπούς. Προκύπτει συνεπώς το συμπέρασμα πως από τα τρισδιάστατα νέφη σημείων μπορούν να γίνουν μετρήσεις και στις τρεις διαστάσεις στο ίδιο x,y που μπορεί όμως να διαφέρει στο z. Μπορούν να γίνουν μετρήσεις μεταξύ σημείων σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον καθώς και να απομονωθούν τμήματα του συνολικού νέφους και στη συνέχεια να επεξεργαστούν μεμονωμένα. Επιπλέον τα τρισδιάστατα νέφος σημείων αποτελεί βασικό τρισδιάστατο χαρτογραφικό προϊόν καθώς είναι το πρώτο το οποίο δημιουργείται από τα πρωτογενή δεδομένα αλλά αποτελεί και την βάση για την δημιουργία όλων των μετέπειτα χαρτογραφικών προϊόντων.
- Στη συνέχεια τα τρισδιάστατα ψηφιακά αντικείμενα τα οποία δημιουργούνται από τα σημεία του, 3D νέφους δίνουν την δυνατότητα μέτρησης του όγκου των

απολιθωμένων κορμών αλλά είναι και τα βασικά αντικείμενα τα οποία μπορεί να υποστηρίξει μια εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας για να αποδοθεί στη συνέχεια φωτορεαλιστικά και τρισδιάστατα η μεταβολή στην περιοχή μελέτης.

- Τα ψηφιακά μοντέλα ανάγλυφου είναι απαραίτητο χαρτογραφικό προϊόν καθώς φέρουν την πληροφορία του ύψους και σε πολύ υψηλή ανάλυση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης οι υψομετρικές διαφορές μεταξύ των χρονικών περιόδων είναι αυτές οι οποίες φανερώνουν τη ακριβή-υψόμετρο θέση εύρεσης των απολιθωμένων κορμών.
- Από τους ορθοφωτοχάρτες οι οποίοι δημιουργήθηκαν συμπεράνετε πως οι επιφανειακές μεταβολές είναι ευδιάκριτες καθώς και ο προσδιορισμός της θέσης των κορμών. Επιπλέον λόγω της πολύ υψηλής τους ανάλυσης μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις υψηλής ακρίβειας στις δυο διαστάσεις.

Επιπροσθέτως τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από τα αποτελέσματα της χαρτογραφικής επεξεργασίας, είναι:

- Ο στατικός χάρτης ΣΧ-1 παρουσιάζει ταυτόχρονα την επιφάνεια την οποία εκσκάφτηκε και στις τρεις χρονικές στιγμές καταγραφής, καθώς και την περιοχή την οποία ανασκάφτηκαν οι απολιθωμένοι κορμοί. Λόγω της χαρτογραφικής κλίμακας 1:1000 όμως δεν δυνατόν να αποδώσει περεταίρω πληροφορία σχετικά με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κορμών, παρά μόνο το πλήθος τους.
- Ο στατικός χάρτης ΣΧ-2 βοηθάει στο να παρατηρηθεί καλύτερα η ημερομηνία την οποία εκσκάφτηκαν οι απολιθωμένοι κορμοί. Η συγκεκριμένη μέθοδος αποδίδει αποτελεσματικά τις μεταβολές στη θέση εγκατάστασης 1 και στις τρεις χρονικές περιόδους καταγραφής, αλλά δεν εξυπηρετεί για την οπτικοποίηση των μεταβολών σε μεγαλύτερη χαρτογραφική κλίμακα. Δηλαδή σε επίπεδο ολόκληρης της περιοχής μελέτης καθώς οι μέγιστες υψομετρικές τιμές των DSM επηρεάζουν και υπερκαλύπτουν τις επιμέρους μεταβολές οι οποίες δεν είναι εμφανές σε μικρότερη χαρτογραφική κλίμακα.
- Οι χάρτες DOD-1, DOD-2, DOD-3, αποτελούνται από μια σειρά χαρτών, αποδίδουν τις μεταβολές μεταξύ δυο χρονικών περιόδου και κάνουν πιο εύκολα αντιληπτή μεταξύ ποιον δυο περιόδων υπήρχε ποιο έντονη ανασκαφική δραστηριότητα. φαίνονται ταυτόχρονα τα ευρήματα και βοηθάει στον παρατηρητή να υπολογίσει και να καταλάβει πόση ήταν η υψομετρική διαφορά μεταξύ των ευρημάτων, και τις στρωματοποιήσεις του αναγλύφου. Επιπλέον καθώς οι έντονες μεταβολές οπτικοποιήθηκαν με έντονο χρώμα, ο χρήστης αναγνωρίζει εύκολα ότι οι μεταβολές είναι και στις περιοχές όπου εμφανίζονται απολιθωμένοι κορμοί.

Από την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων

- Ένας ακόμα στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να συνδυάζει τεχνικές επαυξημένης πραγματικότητας και μεθόδους δισδιάστατης και τρισδιάστατης χαρτογραφίας για την οπτικοποίηση χωροχρονικών δεδομένων. Το περιβάλλον της εφαρμογής η οποία δημιουργήθηκε είναι κατανοητό και εύχρηστο καθώς ο χρήστης έχει απλά να επιλέξει ποια χαρτογραφική μέθοδο επιθυμεί να εμφανίσει. Στη συνέχεια του δίνεται η δυνατότητα να καθορίσει την χρονική περίοδο που τον ενδιαφέρει και να μεταβάλει τον χρόνο αυτοβούλως.

- Ο περιορισμός ο οποίος υπάρχει, είναι πως για να λειτουργήσει η συγκεκριμένη εφαρμογή απαιτείτε το μοτίβο αναγνώρισης(αναλογικός χάρτης), και η πληροφορία μπορεί να εμφανιστεί στην οθόνη της κινητής πλατφόρμας μόνο εάν υπάρχει στο οπτικό πεδίο της κάμερας το μοτίβο αναγνώρισης.
- Η χρήση ενός AR 3D χάρτη βελτιώνει την αντίληψη χωρικών δεδομένων σε σχέση με τους παραδοσιακούς 2D χάρτες, ή 2D και 3D απεικονίσεις GIS, καθώς επιτρέπουν την παρατήρηση του τρισδιάστατου γεωγραφικού χώρου από πολλές και διαφορετικές οπτικές γωνίες.
- Παρέχει την δυνατότητα αναπαραγωγής δεδομένων πολλαπλών χαρακτηριστικών, και θεματικής πληροφορίας, σε ένα τρισδιάστατο, επαυξημένο περιβάλλον.
- Υποστηρίζει πολλαπλές προβολές στο ίδιο σύνολο δεδομένων, συνεπώς και την χρήση σε κοινό χώρο εργασίας.
- Επιπλέον η συγκέντρωση των δεδομένων σε έναν κατάλογο, διευκολύνει το χρήστη να ανακαλέσει, οποιαδήποτε χαρτογραφική μέθοδος τον εξυπηρετεί ανάλογα με το αντικείμενο που θέλει να παρατηρήσει. Η εφαρμογή επίσης βοηθάει τόσο στην συγκέντρωση των χαρτογραφικών προϊόντων όσο και στην μεταφορά αυτής της πληροφορίας οπουδήποτε, επιτρέποντας την χρήση της οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Καταλήγει συνεπώς το συμπέρασμα πως η συγκεκριμένη μεθοδολογία εξυπηρετεί του επιμέρους στόχους και τα ερευνητικά ερωτήματα το οποία τέθηκαν στην εισαγωγή της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας και δημιουργεί επιπλέον ερευνητικά ερωτήματα για ανάλυση και διερεύνηση.

Βιβλιογραφία

- Arya S, Mount DM, Netanyahu NS, et al. (1998) An optimal algorithm for approximate nearest neighbor searching in fixed dimensions. *Journal of the Association for Computing Machinery* 45: 891–923.
- Azuma, R. 1997, *A survey of augmented reality, Presence-Teleop Virt*,
- Ballard DH and Brown CM (1982) *Computer Vision*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Bentley JL (1975) Multidimensional binary search trees used for associative searching. *Communications of the Association for Computing Machinery* 18(9): 509–517.
- Billinghurst, Mark. "Augmented reality in education." *New horizons for learning 12.5* (2002).
- Bleisch, S. *3D geovisualization—definition and structures for the assessment of usefulness. ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2012,
- C. Manzo*, A. Mei, G. Fontinovo, A. Allegrini, C. Bassani, *Integrated remote sensing for multi-temporal analysis of anthropic activities in the south-east of Mt. Vesuvius National Park, 2015*
- Česnulevičius, A., Bautrenas, A., Bevainis, L., Ovodas, D., & Papsys, K. (2018). *Applicability of unmanned aerial vehicles in research on aeolian processes*
- Carpendale, M.S.T.; Cowperthwaite, D.J.; Fracchia, F.D. *Distortion viewing techniques for 3-dimensional data. In Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization'96, San Francisco, CA, USA, 28–29 October 1996,*
- Clapuyt, F., Vanacker, V., & Van Oost, K. *Reproducibility of UAV-based earth topography reconstructions based on structure-from-motion algorithms, 2016*
- Dandois JP and Ellis EC (2010) Remote sensing of vegetation structure using computer vision. *Remote Sensing* 2: 1157–1176.
- Dandois JP and Ellis EC (2013) High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision. *Remote Sensing of Environment* 136: 259–276. de Haas T, Ventra D, Carbonne
- Egenhofer, M.J.; Mark, D.M. *Naive Geography; Springer: Berlin, Germany, 1995,*
- Eisenbeiss, H., & Institute (Eds.). (2008). *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*
- Frank Paul, Tobias Bolch, Andreas Käb, Thomas Nagler, Christopher Nuth, Killian Scharrer, Andrew Shepherd, Tazio Strozzi, Francesca Ticconi, Rakesh Bhambri, Etienne Berthier, Suzanne Bevan, Noel Gourmelen, Torborg Heid, Seongsu Jeong, Matthias Kunz, Tom Rune Lauknes, Adrian Luckman, John Peter Merryman Boncori, Geir Moholdt, Alan Muir, Julia Neelmeijer, Melanie Rankl, Jeffrey VanLooy, Thomas Van Niel, *The glaciers climate change initiative: Methods for creating glacier area, elevation change and velocity products, 2013*
- Fricker, H. A., Borsa, A., Minster, B., Carabajal, C., Quinn, K., & Bills, B. *Assessment of ICESat performance at the Salar de Uyuni, Bolivia, (2005).*

Glander, T.; Döllner, J. *Abstract representations for interactive visualization of virtual 3D city models*. *Comput. Environ. Urban Syst.* 2009,

Granshaw SI (1980) Bundle adjustment methods in engineering photogrammetry. *The Photogrammetric Record* 10: 181–207.

Hartley R and Zisserman A (2003) *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge: Cambridge University Press.

Hartley RI and Sturm P (1997) Triangulation. *Computer Vision and Understanding* 68: 146–157.

Hatch, M. Environmental geophysics: Developments in miniaturisation technology, 2017

James MR and Robson S (2012) Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 117: F03017. doi: 10.1029/2011JF002289.

James MR and Robson S (2014a) Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks. *Earth Surface Processes and Landforms* 39(10): 1413–1420. doi: 10.1002/esp.3609.

James MR and Robson S (2014b) Sequential digital elevation models of active lava flows from ground-based stereo time-lapse imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 97: 160–170.

James MR and Varley N (2012) Identification of structural controls in an active lava dome with high resolution DEMs: Volcán de Colima, Mexico. *Geophysical Research Letters* 39: L22303. doi: 10.1029/2012GL054245.

James MR, Robson S, Pinkerton H, et al. (2006) Oblique photogrammetry with visible and thermal images of active lava flows. *Bulletin of Volcanology* 69: 105_108.

Javernick L, Brasington J and Caruso B (2014) Modelling the topography of shallowbraided rivers using Structurefrom-Motion photogrammetry. *Geomorphology* 213: 166–182. doi:10.1016/j.geomorph.2014.01.006.

Javernick L, Hicks DM, Measures R, et al. (2015) Numerical modelling of braided rivers with Structurefrom-Motion-derived terrain models. *River Research and Applications* doi: 10.1002/rra.2918.

Jobst, M.; Germanchis, T. The employment of 3D in cartography—An overview. In Multimedia Cartography; Springer: Berlin, Germany, 2007,

Joerg, P. C., Morsdorf, F., & Zemp, M. Uncertainty assessment of multi-temporal airborne laser scanning data: A case study on an Alpine glacier, (2012).

Kasprzak, M., Jancewicz, K., & Michniewicz, A. UAV and SfM in detailed geomorphological mapping of granite tors: An example of Staros'cin'skie Skaly (Sudetes, SW Poland), 2018

Kraak, M.-J. Geovisualization illustrated. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 2003,

Longuet-Higgins HC (1981) A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections. *Nature* 293: 133–135.

Lowé DG (1999) Object recognition from local scaleinvariant features. In: International Conference on ψomputer Vision, 20–27 September 1999, Kerkyra, pp. 1150–1157. Corfu, Greece.

Lowé DG (2001) Local feature view clustering for 3D object recognition. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 8–14 December 2001. Kauai, Hawaii.

Lowé DG (2004) Distinctive image features from scaleinvariant keypoints. *International Journal of Computer Vision* 60: 91–110.

Menno-Jan Kraak And Ferjan Ormeling, Cartography: Visualization of Geospatial Data, 2010

Métral, C.; Ghoula, N.; Silva, V.; Falquet, G. A repository of information visualization techniques to support the design of 3D virtual city models. In Innovations in 3D Geo-Information Sciences; Springer: Berlin, Germany, 2014,

Midttun, M., Helland, R., & Finnstrom, E. , Virtual reality— adding value to exploration and production, 2000

Niste´r D (2004) An efficient solution to the five-point relative pose problem. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 26: 756–777.

Nuth, C., & Kääb, A. Co-registration and bias corrections of satellite elevation data sets for quantifying glacier thickness change. The Cryosphere, (2011).

Snaveley N (2008) Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections. PhD thesis, University of Washington, USA.

Snaveley N, Seitz SN and Szeliski R (2008) Modeling the world from Internet photo collections. *International Journal of Computer Vision* 80: 189–210.

Szeliski R (2011) *Computer Vision: Algorithms and applications*. London: Springer.

T OMASZ NIEDZIELSKI, Applications of Unmanned Aerial Vehicles in Geosciences: Introduction, 2018

Torr PHS and Zisserman A (2000) MLESAC: A new robust estimator with application to estimating image geometry. *Computer Vision and Image Understandin* 78: 138–156.

Ullman S (1979) The interpretation of Structure from Motion. *Proceedings of the Royal Society B* 203: 405–426.

Van Niel, T. G., McVicar, T. R., Li, L. T., Gallant, J. C., & Yang, Q. K. The impact of misregistration on SRTM and DEM image differences, (2008).

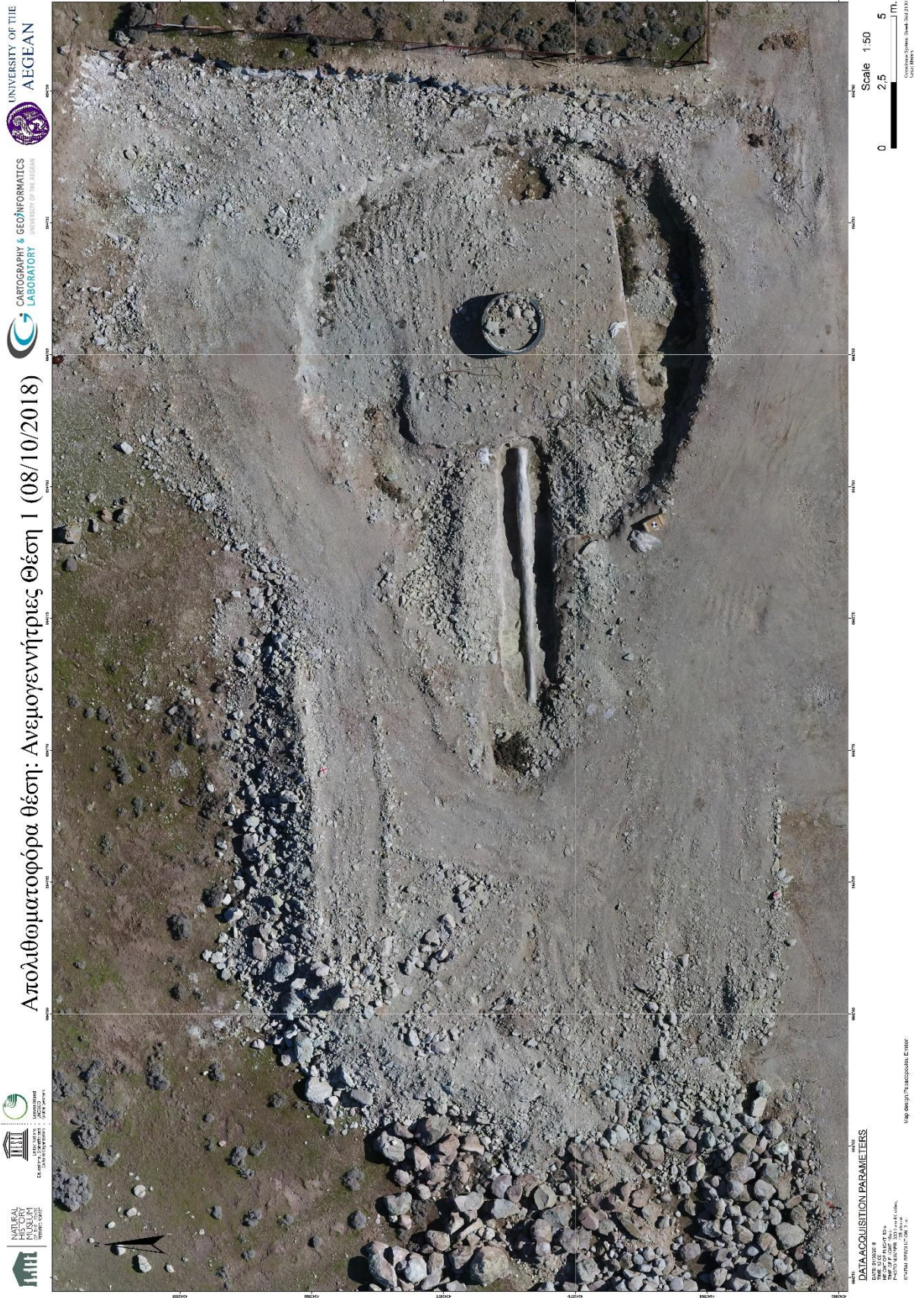
Wang, Z. and Bovik, A. C. (2002). A universal image quality index. *IEEE Signal Processing Letters*, 9(3):81–84.

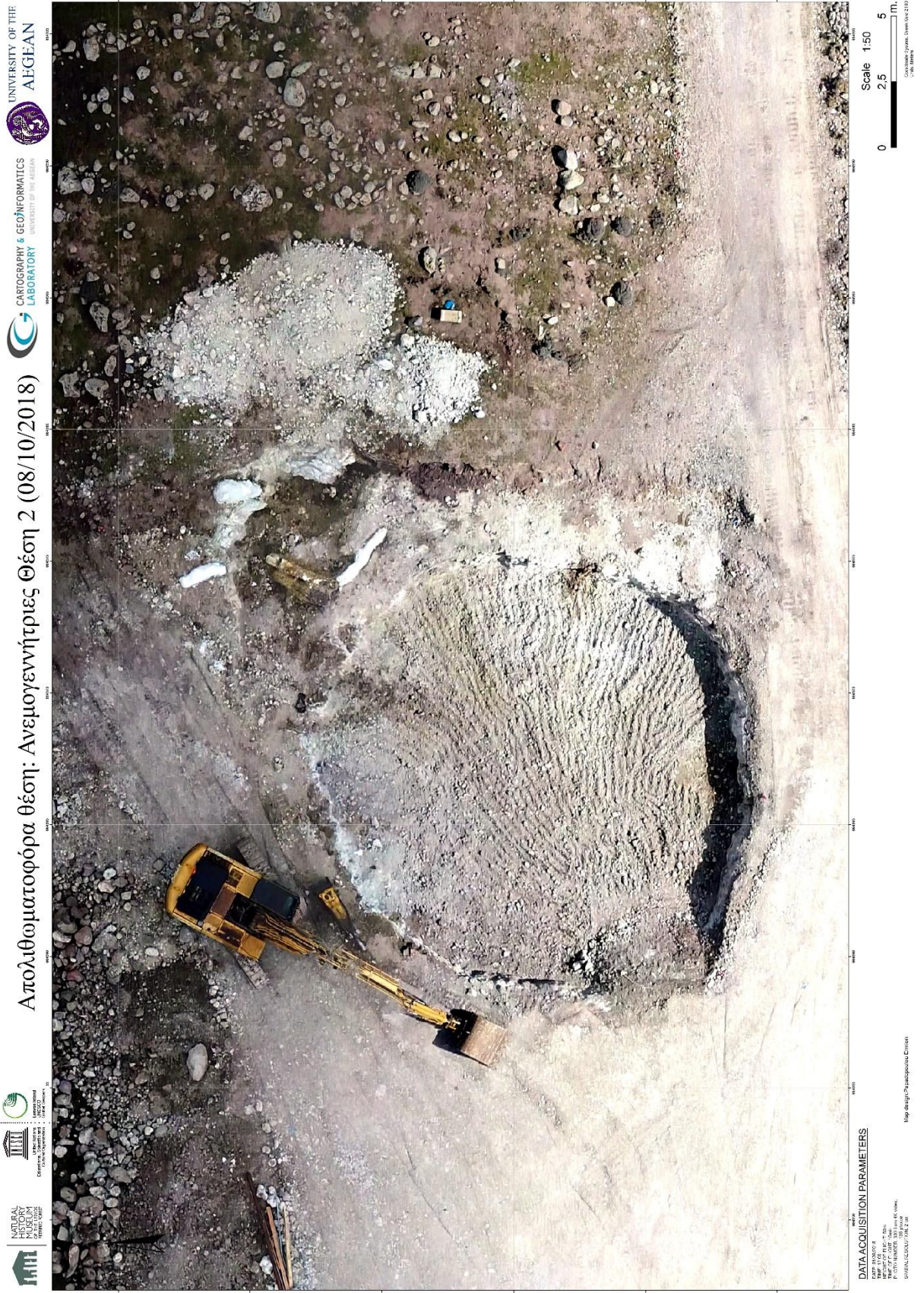
Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications, 2012

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΡΤΩΝ











Απολιθωματοφόρα θέση: Ανεμογεννήτριες Θέση 3 (08/10/2018)



DATA ACQUISITION PARAMETERS

DATE: 01/09/2018
TIME: 12:20
HEIGHT OF FLIGHT: 10m
TYPE OF CAMERA: 10cm
PHOTO NUMBER: 100 from 80 videos
SPATIAL RESOLUTION: 2 cm

Map design: Παπαρούτσου Έμμανου



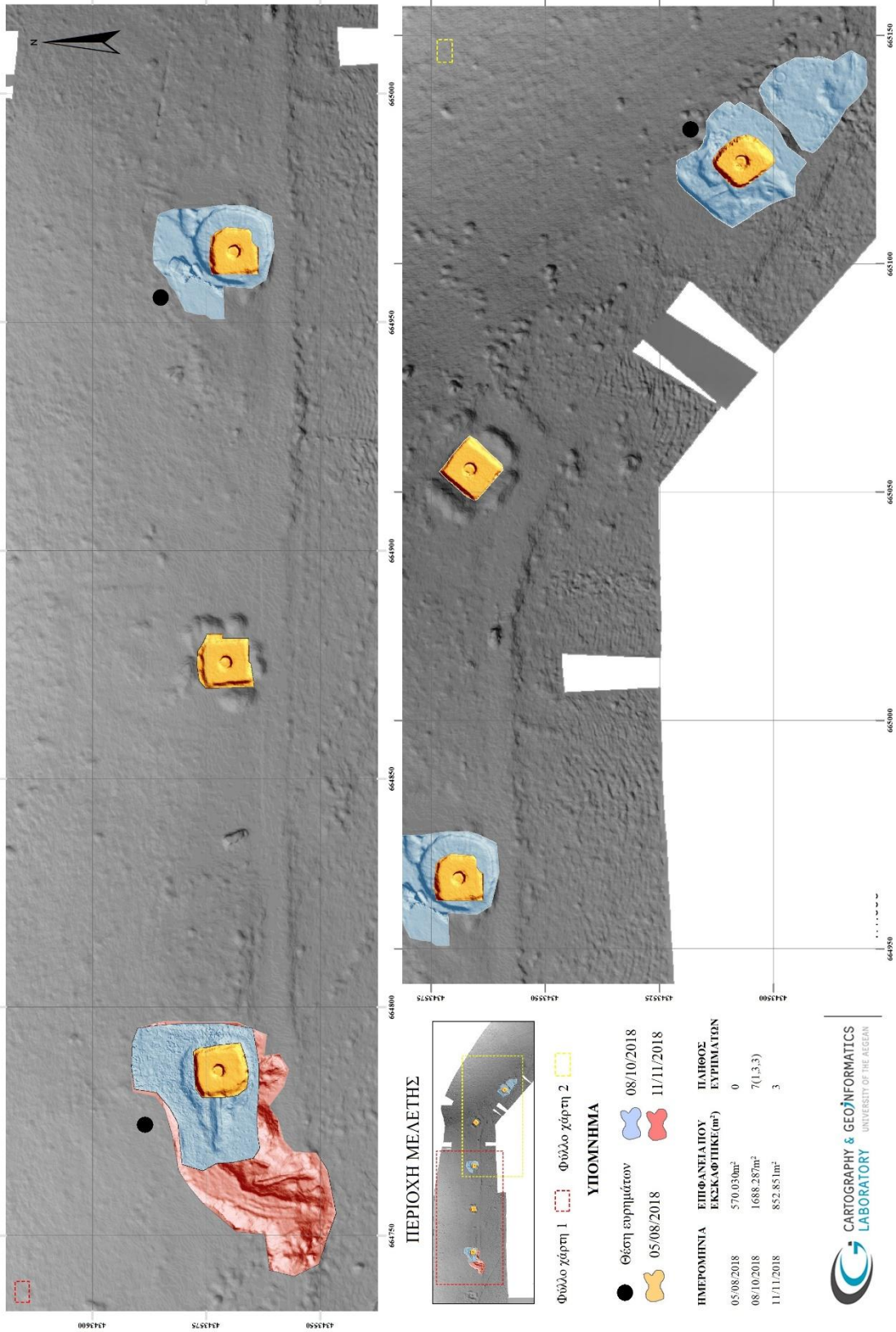
Scale 1:60
0 2,5 5 m.

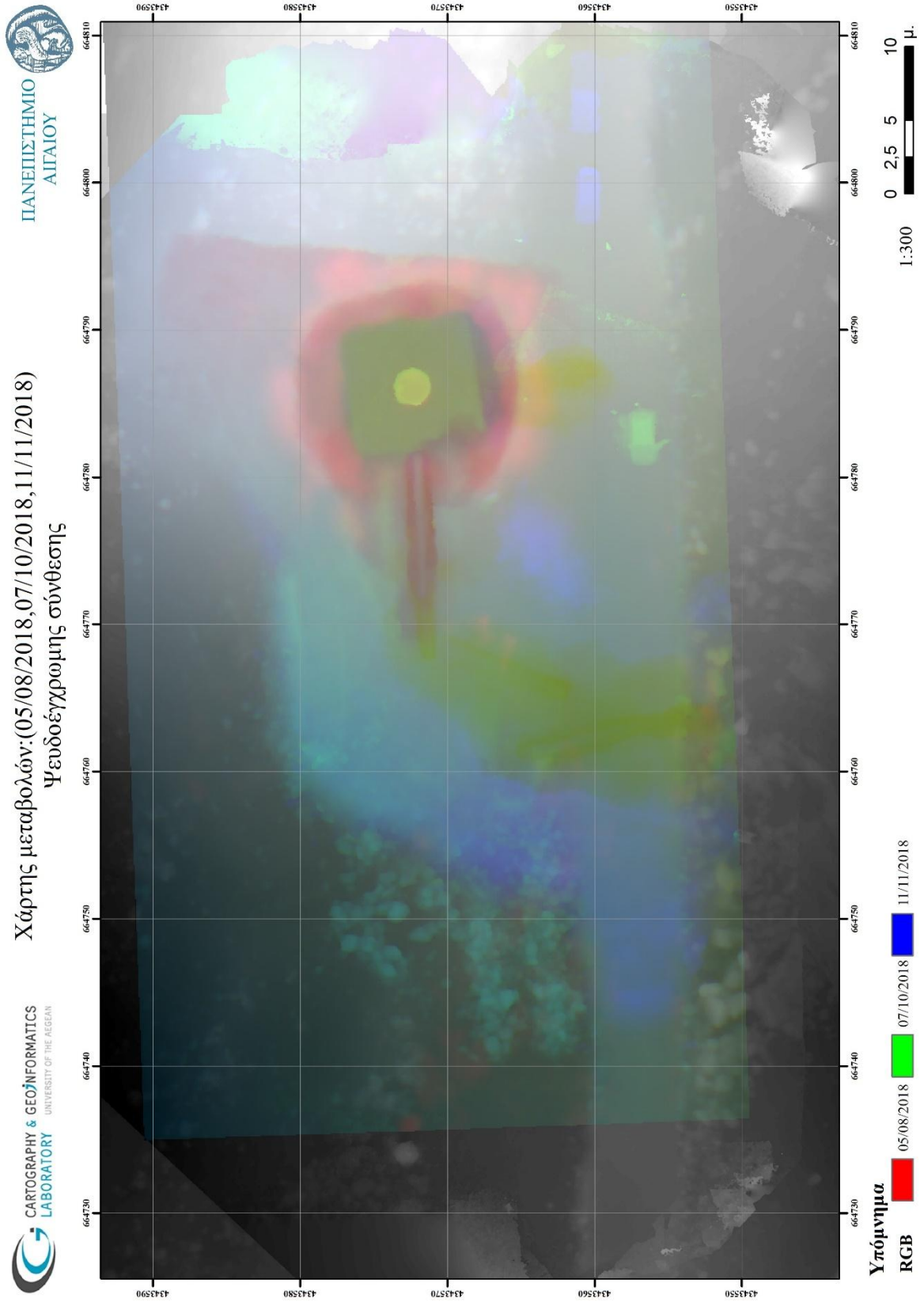
Coordinate System: Greek Grid 2180
Units: Meters





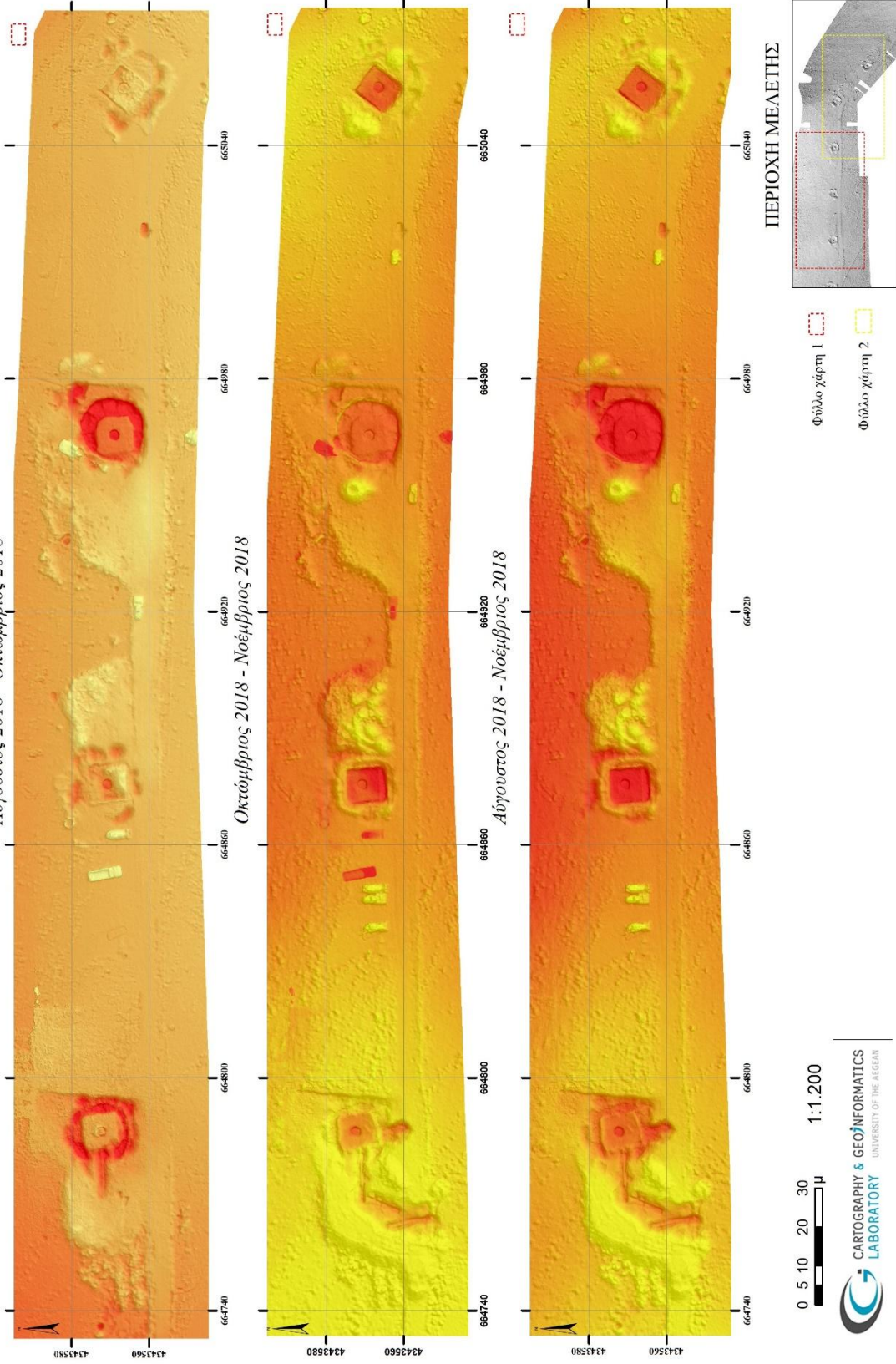
ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΑΠΟΛΗΘΩΜΑΤΟΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ: ΑΚΡΟΧΕΙΡΑ(05/08/2018, 08/10/2018, 11/11/2018)



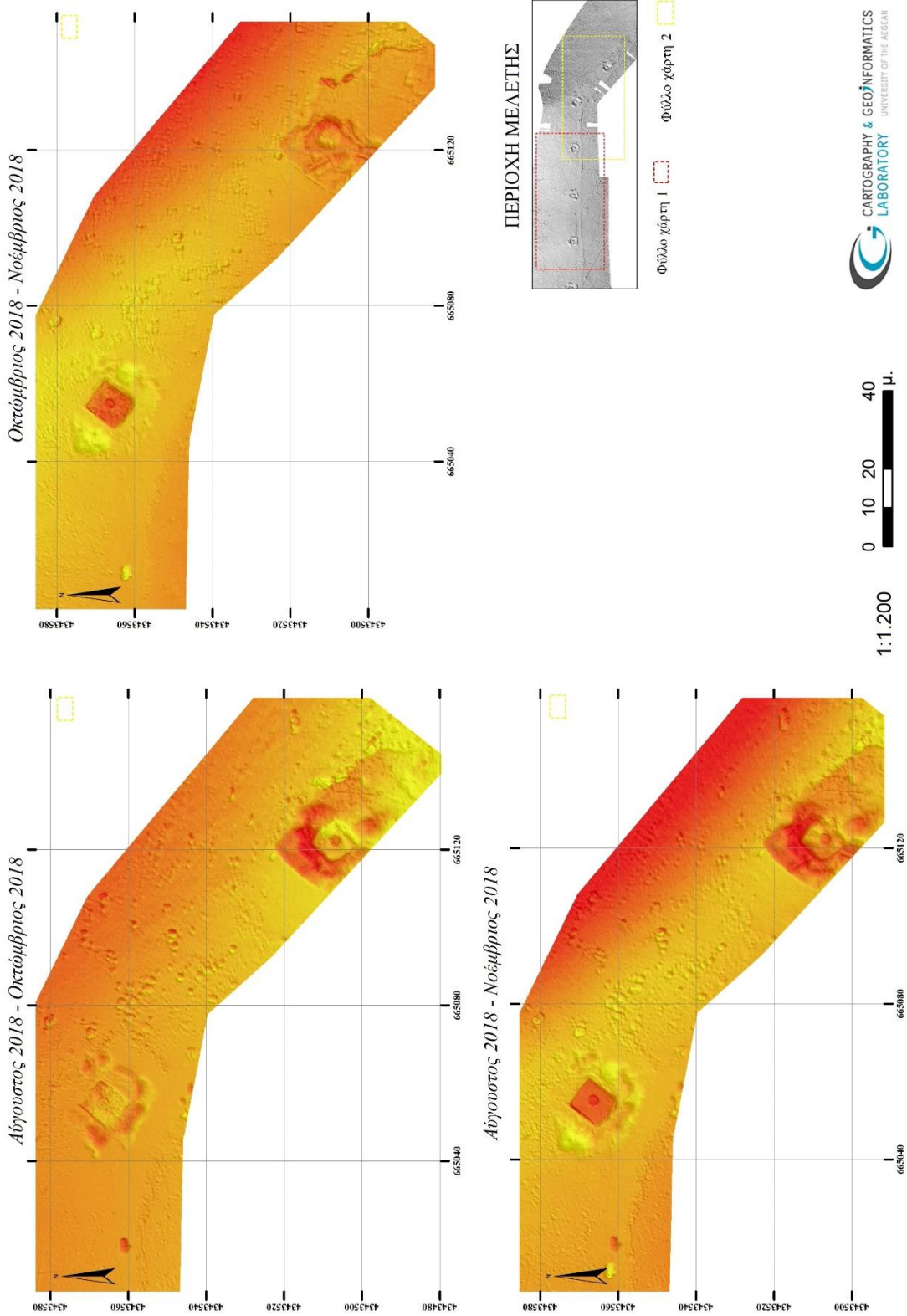


ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΑΠΟΛΗΘΩΜΑΤΟΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ: ΑΚΡΟΧΕΙΡΑ(05/08/2018, 08/10/2018, 11/11/2018)

Αύγουστος 2018 - Οκτώβριος 2018



ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΑΠΟΛΗΘΩΜΑΤΟΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ: ΑΚΡΟΧΕΙΡΑ(05/08/2018, 08/10/2018, 11/11/2018)



ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΑΠΟΛΗΘΩΜΑΤΟΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ: ΑΚΡΟΧΕΙΡΑ(05/08/2018, 08/10/2018, 11/11/2018)

