



**TECHNICAL UNIVERSITY OF
CRETE
SCHOOL OF MINERAL
RESOURCES ENGINEERING**

DIPLOMA THESIS

**Experimental simulation and assessment
of unmanned aerial vehicles flight design
for the photogrammetric quantification
of geomorphological volumetric measurements**

CHLIARA CHRYSOULA

COMMITTEE :

P. PARTSINEVELOS, ASSOCIATE PROFESSOR (SUPERVISOR , M.R.E.)

S. P. MERTIKAS, PROFESSOR (M.R.E)

G. EXADAKTYLOS, PROFESSOR (M.R.E)

CHANIA, OCTOBER 2021



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΠΤΗΣΕΩΝ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΙΠΤΑΜΕΝΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ
ΓΙΑ ΤΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ
ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΟΓΚΟΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

ΧΛΙΑΡΑ ΧΡΥΣΟΥΛΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

**ΠΑΡΤΣΙΝΕΒΕΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (Επιβλέπων, ΜΗΧ.Ο.Π)
ΜΕΡΤΙΚΑΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (ΜΗΧ.Ο.Π)
ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (ΜΗΧ.Ο.Π)**

ΧΑΝΙΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν θα μπορούσε να έχει πραγματοποιηθεί χωρίς την πολύτιμη συμβολή ορισμένων ανθρώπων.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον αξιότιμο και αγαπητό Επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, αναπληρωτή καθηγητή Παναγιώτη Παρτσινέβελο, τόσο για την επιστημονική καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια της διεκπεραίωσης της διπλωματικής εργασίας μου, αλλά και για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του και για την ψυχολογική υποστήριξη όλους αυτούς τους μήνες σε συνδυασμό με τις ανεκτίμητης αξίας συμβουλές του.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στην ομάδα του καινοτόμου **Senselab** για τις πολύτιμες γνώσεις και εμπειρίες που μου πρόσφεραν, καθώς επίσης για την στήριξη και ενθάρρυνση τους καθ' όλη την διάρκεια των μηνών που λάμβανε χώρα η εκπόνηση της διπλωματικής μου. Ήταν τιμή μου να πορεύομαι δίπλα σε τέτοιους ανθρώπους λαμβάνοντας καθημερινά αξίες και αποκτώντας μια επαγγελματική οικογένεια.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής καθηγητή Μερτίκα Στυλιανό και καθηγητή Εξαδάκτυλο Γεώργιο για τις επιστημονικές παρατηρήσεις τους σχετικά με την διπλωματική μου εργασία.

Τέλος, ευχαριστώ τα μέλη της οικογένειάς μου, χωρίς την υποστήριξη των οποίων δεν θα μπορούσα να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αξιοπιστία μέτρησης του όγκου εδαφικών παραμορφώσεων αποτελεί ένα σημαντικό αντικείμενο αξιολόγησης των εφαρμογών που σχετίζονται τόσο με την εξόρυξη ορυκτών πόρων, όσο και με τις φυσικές καταστροφές που οδηγούν σε μετακινήσεις εδαφικών μαζών. Ο υπολογισμός του όγκου γενικά επιτυγχάνεται με κλασικές τοπογραφικές μεθοδολογίες, ωστόσο λόγω της μορφολογικής κατάστασης και θέσης των αποθεμάτων η εκτίμηση αυτή μπορεί να είναι δύσκολη, π.χ. λόγω προσβασιμότητας και γεωμετρίας. Η ανάγκη για μια ασφαλή, αξιόπιστη αλλά και οικονομική μεθοδολογία γεωμετρικής τεκμηρίωσης και ποσοτικοποίησης των εδαφικών όγκων, μπορεί να υποστηριχθεί από ιπτάμενα μη επανδρωμένα οχήματα (UAV), των οποίων η εφαρμογή παρουσιάζει μία αξιοσημείωτη άνηση στην εποχή μας.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η πειραματική αξιολόγηση του σχεδιασμού πτήσεων μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων, για τη βέλτιστη φωτογραμμετρική απόδοση γεωμορφολογικών ογκομετρήσεων. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από την διαπιστωμένη ελλιπή πληροφορία στην εκτίμηση της ακρίβειας, αλλά και την αυτοματοποιημένη παραγωγή τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων από τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται ευρέως σε σχετικές εφαρμογές ογκομέτρησης. Συνεπώς, τα εμπορικά λογισμικά δεν παρέχουν επαρκή στοιχεία σχετικά με την καταλληλότητα και αξιοπιστία της φωτογραμμετρικής μεθόδου για την παραγωγή υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατων δεδομένων, ικανών για να αποκαταστήσουν τη χρήση των παραδοσιακών μεθόδων ογκομέτρησης.

Για τον σκοπό αυτό, πραγματοποιείται συλλογή εικόνων οι οποίες τίθενται σε κατάλληλη επεξεργασία ώστε να προκύψει η ψηφιακή ανακατασκευή τριδιάστατων μοντέλων γεωμορφολογικών σχηματισμών. Επιπλέον, αξιολογούνται οι καταλληλότερες συνθήκες πτήσης, ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστη η ογκομέτρηση για την περιοχή ενδιαφέροντος. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται έμφαση στο ύψος πτήσης, τον αριθμό των σημείων ελέγχου και την πυκνότητά τους, το ποσοστό επικάλυψης των εικόνων, την ανάλυση των εικονοστοιχείων, τη μορφολογία της περιοχής μελέτης, τη φωτεινότητα των εικόνων, και τη χρήση διαφορετικών καμερών.

Καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα της πειραματικής επιβεβαίωσης ογκομετρήσεων μεγάλης κλίμακας, σχεδιάζεται και χρησιμοποιείται μία πειραματική διάταξη μικρής κλίμακας που περιλαμβάνει τη χρήση γνωστής ποσότητας άμμου, άρα και γνωστού όγκου. Έτσι δίνεται η δυνατότητα εύκολης σχετικά επαναληψιμότητας των πειραμάτων, διευκολύνεται η αναδιάταξη της άμμου σε διάφορες μορφοποιήσεις και επιτυγχάνεται η *a priori* γνώση του αναμενόμενου όγκου με μεγάλη ακρίβεια, ώστε να μπορεί να υποστηριχθεί η επικύρωση των αποτελεσμάτων.

Σύμφωνα με τα πειράματα που έλαβαν χώρα, και μέσω προσέγγισης της συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων που εξετάσαμε, τεκμηριώνεται μια ευαισθησία στην τοποθέτηση των σημείων ελέγχου, ενώ άλλες ιδιότητες όπως αυτές του ύψους πτήσης, φαίνεται να παρουσιάζουν μικρότερη βαρύτητα για την προσέγγιση του όγκου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ	1
1.2 ΣΚΟΠΟΣ.....	2
1.3 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	3
1.4 ΑΠΗΧΗΣΗ	5
1.5 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
ΣΥΝΟΨΗ	6
2.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΟΓΚΟΥ.	6
2.1.1 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕΣΩ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΟΛΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ (TOTAL STATION).....	7
2.1.1.2 Ο ΟΛΙΚΟΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΟΓΚΟΥ.	8
2.1.2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ LIDAR.	8
ΧΡΗΣΗ LIDAR ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΟΓΚΟΥ.	10
2.1.3 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ (GNSS).	11
2.1.4 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	13
2.1.4.1 ΠΑΡΑΛΛΑΞΗ.....	14
2.1.4.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	15
2.1.4.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ.....	16
2.1.4.4 ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	19
2.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΣΗΣ (SFM).....	19
2.4.1 SLAM – ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ & ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ.	20
2.4.2 VISUAL ODOMETRY – ΟΠΤΙΚΗ ΟΔΟΜΕΤΡΙΑ.....	21
2.5 ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.	21
2.8 ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	23
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	28
3.1.1 ΑΡΙΘΜΟΣ GCP ΚΑΙ Η ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ.....	29
3.1.2 ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ	30
3.1.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	32
3.1.4 Ύψος Πτήσης	32
3.1.5 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	33
3.1.6 ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ / ΣΚΙΑΣΕΙΣ	33
3.1.7 ΚΛΙΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ	33
3.1.8 ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ.....	34
3.1.9 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΑΜΕΡΕΣ	34

3.2 CONTROL POINTS & CHECK POINTS	35
3.3 ΑΚΡΙΒΕΙΑ	35
3.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	36
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	38
4 1ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	38
4.2ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΡΩΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	44
4.3 ΔΕΥΤΕΡΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.....	58
4.4 ΤΡΙΤΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.....	76
4.5 ΤΕΤΑΡΤΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.....	94
4.6 ΠΕΜΠΤΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.....	102
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 56 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Ν4.....	111
4.7 ΈΚΤΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.....	112
4.8 ΈΒΔΟΜΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.....	115
4.9 ΌΓΔΩΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.....	125
4.10 ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΕΙΚΟΝΩΝ & ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ	137
4.11 ΠΕΙΡΑΜΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ.....	140
4.12 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	141

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

FIGURE 1 : ΟΛΙΚΟΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	8
FIGURE 2 : ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ LIDAR ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ	10
FIGURE 3 : ΠΡΟΒΟΛΗ	12
FIGURE 4 : ΠΑΡΑΛΛΑΞΗ	15
FIGURE 5: ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΦΑΚΟΥ(16
FIGURE 6 : ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ 2D	16
FIGURE 7 : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΕΙΚΟΝΑΣ	19
FIGURE 8 : ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΤΑΙ Η ΜΕΘΟΔΟΣ SFM	20
FIGURE 9 : ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE 10 : ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ UAV ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΜΒΕΛΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ.	23
FIGURE 11 : ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.	24
FIGURE 12 : ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ.	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE 13 : ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ RMS.	24
FIGURE 14 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΕΛΑΒΑΝ ΧΩΡΑ.	25
FIGURE 15 : ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ.	26
FIGURE 16 : ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΓΙΑ OVERLAP	31
FIGURE 17 : ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΓΙΑ SIDE LAP	32
FIGURE 18 : ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ.	34
FIGURE 19 : ΔΙΑΦΟΡΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS.	35
FIGURE 20 : ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΚΡΙΒΕΙΩΝ	36
FIGURE 21 : ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ.	37
FIGURE 22 : ΚΑΜΒΑΣ ΜΕ 54 GCP, ΟΠΟΥ ΕΛΑΒΑΝ ΧΩΡΑ ΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ.	39
FIGURE 23 : ΠΥΚΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΝΕΦΟΥΣ	40
FIGURE 24 : ΑΧΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΝΕΦΟΥΣ	40
FIGURE 25 ΠΥΚΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΝΕΦΟΥΣ	41
FIGURE 26 : ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	41
FIGURE 27 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	42
FIGURE 28 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	43

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 1 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Μ1.....	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 2 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ1.	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 3 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ1.	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 4 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Μ2.	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 5 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ2.....	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 6 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ2.	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 7 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Μ3.	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 8: ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ3.	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 9 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ3.....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 10 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Μ5.	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 11 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ5.	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 12 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ5.	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 13 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Β1.	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 14 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Β1.	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 15 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Β1.	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 16 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Β3.	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 17 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Β1.	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 18 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Β3.	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 19 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Q1.....	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 20 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Q1.....	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 21 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Q1.....	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 22 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Ε4.	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 23 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Ε4.	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 24 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Ε4.	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 25 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΤΕΑ 40.	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 26 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΕΑ 40.	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 27 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΕΑ 40.	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 28 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΤΕΑ 50.	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 29 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΕΑ 50.	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 30 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΕΑ 50.	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 31 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ VIDEO 5- 294 FRAMES.....	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 32 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 5 -294 FRAMES.	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 33: ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 5-294 FRAMES.	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 34 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ VIDEO 5- 100 FRAMES.....	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 35 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 5- 100 FRAMES.	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 36 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 5 -100 FRAMES.	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 37 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 8.	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 38 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 8.....	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 39 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 8.	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 40 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΑΝ.	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 41 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΝ.	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 42 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΝ.....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 43 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ W.....	97
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 44 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ W.....	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 45 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ W.	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 46 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ VIDEO 4.	101

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 47 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 4.....	101
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 48 : ΟΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 4.....	102
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 49 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ S1.	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 51 : Όγκος και ποσοστιαία διαφορά για το πείραμα S1.....	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 50 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ S1.	105
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 52 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ S2.	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 53 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ S2.....	108
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 54 : Όγκος και ποσοστιαία διαφορά για το πείραμα S2.....	108
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 55 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ N4.....	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 56 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ N4.	111
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 57 : Όγκος και ποσοστιαία διαφορά για το πείραμα N4.....	111
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 58 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ K1.	114
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 59 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ K1.	115
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 60 : Όγκος και ποσοστιαία διαφορά για το πείραμα K1.	115
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 61 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 5.2.....	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 62 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.2.	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 63 : Όγκος και ποσοστιαία διαφορά για το πείραμα 5.2.....	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 64 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.3	120
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 65 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.3.	121
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 66 : Όγκος και ποσοστιαία διαφορά για το πείραμα 5.2.....	121
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 67 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.6	124
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 68 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.6.	124
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 69 : Όγκος και ποσοστιαία διαφορά για το πείραμα 5.6.....	124
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 70 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Z1.....	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 71 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Z1.....	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 72 : Όγκος και ποσοστιαία διαφορά για το πείραμα Z1.....	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 73 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Z2.....	129
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 74 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Z2.....	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 75 : Όγκος και ποσοστιαία διαφορά για το πείραμα Z2.....	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 76 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Z3.....	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 77 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Z3.....	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 78 : ΟΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Z3.	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 79 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ I.....	135
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 80 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ I.	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 81 : Όγκος και ποσοστιαία διαφορά για το πείραμα I.....	136

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 1 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.....	45
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.....	45
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 3: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP	46
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 4 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ERROR(M).	46
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 5 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP	48
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 6 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.....	48
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 7 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP	49
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 8 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).	49
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 9: ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP	51
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 10: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.....	51
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 11: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP	52
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 12: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).	52
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 13: ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.	55
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 14: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.	55
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 15: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.	56
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 16: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).	56
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 18: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΓΚΩΝ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.....	58
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 19: ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.....	59
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 20 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.....	59
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 21 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.....	60
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 22 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).	60
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 23 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.....	62
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 24 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.....	63
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 25 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.	63
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 26 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).	64
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 27: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).	67
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 28: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP	67
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 29 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.....	69
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 30 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.	70
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 31: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.	70

[illegible]

ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 96 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ $ERROR(M)$	126
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 97 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.	128
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 98 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.	128
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 99 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.	129
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 100 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ $ERROR(M)$	129
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 101 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.	131
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 102 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.	131
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 103 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.	132
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 104 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ $ERROR(M)$	132
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 105 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.	134
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 106 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.	134
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 107 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.	135
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 108 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ $ERROR(M)$	135

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η συνεχής εξόρυξη των φυσικών αποθεμάτων, η προκύπτουσα εδαφική παραμόρφωση αλλά και η ανάγκη για την ποσοτικοποίηση του όγκου των αποθεμάτων και μετακινούμενων εδαφικών όγκων, απασχολούν έντονα τους κλάδους των Γεωεπιστημών. Η έννοια των εδαφικών παραμορφώσεων προέρχεται τόσο από φυσικά (σεισμική δραστηριότητα, ηφαίστεια, κατολισθήσεις, καθιζήσεις), όσο και από τεχνητά (υπαίθριες, υπόγειες εκμεταλλεύσεις) αίτια. Η εκτίμηση του όγκου μετακίνησης στις παραπάνω εφαρμογές είναι εξαιρετικά σημαντική καθώς σχετίζεται για παράδειγμα με την εκτίμηση μεταλλεύματος που έχει αφαιρεθεί από την επιφάνεια ενός ορυχείου, τις διεργασίες αποκατάστασης εδαφών, την αποτίμηση των ζημιών από μία κατολίσθηση, τις μελέτες διάβρωσης, κ.λ.

Οι κλασικές μεθοδολογίες γεωμετρικής τεκμηρίωσης και αποτίμησης όγκων περιλαμβάνουν τη χρήση μεθοδολογιών και εξοπλισμού, όπως τη σάρωση με χρήση διατάξεων laser, τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης, την τοπογράφιση με ολικούς γεωδαιτικούς σταθμούς και τη φωτογραμμετρία. Οι παραπάνω μεθοδολογίες επιτυγχάνουν διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας, ενώ περιλαμβάνουν συχνά εξειδικευμένο εξοπλισμό μεγάλου κόστους. Εναλλακτικά, τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται όλο και πιο συχνά μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα για τη συλλογή εικόνων οι οποίες επεξεργάζονται κατάλληλα για να ανακατασκευάσουν ψηφιακά το τρισδιάστατο μοντέλο γεωμορφολογικών σχηματισμών. Η μεθοδολογία που συχνότερα ακολουθείται περιλαμβάνει την κατανομή και μέτρηση σημείων ελέγχου στο έδαφος, την αεροφωτογράφιση της περιοχής μελέτης και την επεξεργασία των δεδομένων με κατάλληλα λογισμικά. Η εν λόγω διαδικασία προσφέρει ταχύτητα στις μετρήσεις με χαμηλό σχετικά κόστος, ενώ οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται προκύπτουν αυτόματα από το λογισμικό επεξεργασίας των δεδομένων. Οι διαφοροποιήσεις στην κατανομή των σημείων ελέγχου, οι επιλογές στον σχεδιασμό της πτήσης αλλά και τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων, παίζουν σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια του τελικού προϊόντος, ήτοι στην ογκομέτρηση επιφανειών και αντικειμένων. Επιπροσθέτως, οι υπολογισμένοι όγκοι από τα σχετικά λογισμικά δεν συνοδεύονται με κάποια εξειδικευμένη ακρίβεια, αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται οι εκτιμώμενες ακρίβειες της φωτογραμμετρικής ή υπολογιστικής διαδικασίας, ως ενδεικτικοί της αξιοπιστίας μέτρησης του όγκου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μία πειραματική προσπάθεια να μελετηθούν οι διαφορετικές πιθανές επιλογές στον σχεδιασμό της φωτογραμμετρικής διαδικασίας μέσω μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων, σε συνάρτηση με τις ακρίβειες στον υπολογισμό των ογκομετρήσεων. Καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα της πειραματικής επιβεβαίωσης ογκομετρήσεων μεγάλης κλίμακας, σχεδιάζεται και χρησιμοποιείται μία πειραματική διάταξη μικρής κλίμακας που περιλαμβάνει τη χρήση γνωστής ποσότητας άμμου, άρα και

γνωστού όγκου. Έτσι δίνεται η δυνατότητα εύκολης σχετικά επαναληψιμότητας των πειραμάτων, διευκολύνεται η αναδιάταξη της άμμου σε διάφορες μορφοποιήσεις και επιτυγχάνεται η *a priori* γνώση του αναμενόμενου όγκου με μεγάλη ακρίβεια, ώστε να μπορεί να υποστηριχθεί η επικύρωση των αποτελεσμάτων.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ

Η μετρητική αποτίμηση και παρακολούθηση του όγκου σε περιοχές πλήρωσης και εκσκαφής απαιτείται για πολλές εφαρμογές, ιδίως για εκείνες των γεωτεχνικών έργων και διεργασιών εξόρυξης. Ο υπολογισμός του όγκου γενικά επιτυγχάνεται με κλασικές τοπογραφικές μεθοδολογίες, ωστόσο λόγω της μορφολογικής κατάστασης και θέσης των αποθεμάτων η εκτίμηση αυτή μπορεί να είναι δύσκολη, π.χ. λόγω προσβασιμότητας και γεωμετρίας [1].

Οι υπολογισμοί όγκων επί το πλείστον πρέπει να πραγματοποιούνται με ακρίβεια, οικονομία και σε σύντομο χρονικό διάστημα [2]. Ένας αποτελεσματικός τρόπος αποτίμησης του όγκου, ο οποίος χρησιμοποιείται συχνά τα τελευταία χρόνια και καλύπτει τις προαναφερθείσες προδιαγραφές ευκολίας, ταχύτητας και ακρίβειας, πραγματοποιείται με την χρήση μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων (UAV).

Η αξιολόγηση της καταλληλότητας χρήσης των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων και των σχετικών λογισμικών για εφαρμογές ογκομετρήσεων αποτελεί τον κύριο στόχο της παρούσας διπλωματικής μελέτης. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από την διαπιστωμένη ελλιπή πληροφορία στην εκτίμηση της ακρίβειας, αλλά και την αυτοματοποιημένη παραγωγή τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων από τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται ευρέως σε σχετικές εφαρμογές ογκομέτρησης. Συνεπώς, τα εμπορικά λογισμικά δεν παρέχουν επαρκή στοιχεία σχετικά με την καταλληλότητα και αξιοπιστία της φωτογραμμετρικής μεθόδου για την παραγωγή υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατων δεδομένων, ικανών για να αποκαταστήσουν τη χρήση των παραδοσιακών μεθόδων ογκομέτρησης. Μια σχετική έρευνα που έγινε το 2015 συνέκρινε τη χρήση των UAV με αυτή του ολικού γεωδαιτικού σταθμού για την συλλογή δεδομένων που αφορούν τον υπολογισμό όγκου αποθεμάτων. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τον πραγματικό όγκο που δόθηκε από τους μηχανικούς που εργάζονταν στον αντίστοιχο χώρο. Τα σχετικά σφάλματα σε σύγκριση με τα δεδομένα που δόθηκαν ήταν τα εξής : -0,67% για τα UAV και 2,88% για τον ολικό γεωδαιτικό σταθμό. Επίσης συγκρίθηκε ο χρόνος περάτωσης για την συλλογή δεδομένων και διαπιστώθηκε ότι η εργασία που πραγματοποιήθηκε με ολικό γεωδαιτικό σταθμό χρειάστηκε περίπου έξι φορές περισσότερο χρόνο σε σχέση με την αντίστοιχη εργασία μέσω των UAV (Arango & Morales, 2015) [3]. Λόγω της δυσκολίας γνώσης του πραγματικού όγκου των αποθεμάτων στις σχετικές εργασίες, η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μεθοδολογιών είναι αρκετά περιορισμένη και στατική. Αυτή η αδυναμία επαναληψιμότητας σχετικών πειραμάτων αποτέλεσε το έναυσμα για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον, γίνεται προσπάθεια να αξιολογηθούν οι διαφορετικές συνιστώσες και επιλογές κατά την εφαρμογή της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης με τη χρήση UAVs, ώστε να περιοριστούν τα πιθανά σφάλματα και να προταθεί μια αποτελεσματική μεθοδολογία με

απώτερο σκοπό να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα ογκομέτρησης, αλλά και ο χρόνος συλλογής δεδομένων. Με άλλα λόγια, να διευκολύνονται και βελτιστοποιούνται οι επιλογές της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης μέσω μη επανδρωμένων οχημάτων, ώστε να υπάρχει οικονομία στο χρόνο και τον εξοπλισμό που χρειάζεται η εκάστοτε εφαρμογή.

1.3 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Για την πραγμάτωση των παραπάνω στόχων, υλοποιείται ένα πειραματικό εργαστηριακό περιβάλλον, το οποίο βασίζεται στη μέτρηση του όγκου γνωστής ποσότητας άμμου. Η προσομοίωση του εξωτερικού περιβάλλοντος στον εργαστηριακό χώρο, περιλαμβάνει κάποιες παραδοχές και στοιχεία υλοποίησης τα οποία μας επιτρέπουν να επαναλαμβάνουμε τις μετρήσεις μας. Πιο αναλυτικά, στη μελέτη μας θα επικεντρωθούμε στη συσχέτιση της ακρίβειας προσδιορισμού του όγκου, σε σχέση με τις παρακάτω παραμέτρους :

- Ύψος πτήσης,
- Αριθμός σημείων ελέγχου, διασπορά και πυκνότητα αυτών,
- Μορφολογία εδάφους,
- Κλίση φωτογραφίας,
- Αριθμός φωτογραφιών,
- Στοιχεία καμερών,
- Φωτεινότητα / σκιάσεις,
- Ποσοστό επικάλυψης,
- Ανάλυση εικονοστοιχείων.

Τα ερωτήματα που θα βοηθήσει η προσέγγισή μας να απαντηθούν, περιλαμβάνουν:

Ποιος είναι ο πιο αποτελεσματικός συνδυασμός των παραπάνω παραμέτρων, ώστε να αποδοθεί με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια η ογκομέτρηση ενός γεωμορφολογικού πεδίου μέσω μιας εναέριας πτήσης;

Είναι αναγκαία η χρήση σημείων ελέγχου στο έδαφος και ποιά η επίδραση της επιλογής στο χρόνο και την ακρίβεια του αποτελέσματος;

Είναι εφικτή και θεμιτή η αντικατάσταση της κλασικής τοπογράφησης της περιοχής μελέτης με αυτή που βελτιστοποιείται μέσω των ευρημάτων της παρούσας εργασίας, με βάση την ισχύουσα νομοθεσία, δηλαδή τα επιτρεπτά όρια ακρίβειας;

Για να βοηθήσουμε στην απάντηση των παραπάνω ερωτήσεων, καλούμαστε να πραγματοποιήσουμε μια σειρά πειραμάτων τα οποία περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.

1.4 ΑΠΗΧΗΣΗ

Η συνεισφορά αυτής της εργασίας είναι να εμπλουτίσει τις μεθόδους παρακολούθησης των εδαφικών αλλαγών είτε αυτές προέρχονται από ανθρωπογενή παρέμβαση ή είναι αποτέλεσμα φυσικών καταστροφών. Έρχεται δηλαδή να δώσει υποβοηθήσει εφαρμογές που σχετίζονται με τις φυσικές καταστροφές, ρήγματα, μετακινήσεις μαζών, στις εκσκαφές αλλά και γενικότερα στους κλάδους των γεωτεχνικών. Ο συνδυασμός των μεθόδων αυτών με τη χρήση των UAV καθιστά την μεθοδολογία ιδιαίτερα ελκυστική για άμεση αποτίμηση των ζημιών π.χ. μετά από μία φυσική καταστροφή, καθώς επιτρέπει την συλλογή οπτικών δεδομένων σε περιοχές που είναι απρόσιτες ή μη ασφαλείς.

Πιο συγκεκριμένα, για τη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, διαπιστώνουμε ότι ο μεταλλευτικός κλάδος, υπό την έννοια της εκμετάλλευσης πρώτων υλών, αποτελεί ένα ευρύ επιστημονικό πεδίο εφαρμογής τοπογραφικών μεθόδων αποτύπωσης, ογκομετρήσεων και ελέγχου. Μια από τις κυριότερες παραμέτρους της δραστηριότητας είναι και οι υπολογισμοί όγκων για εκτίμηση αποθεμάτων είτε ωφέλιμου κοιτάσματος, είτε αποθεμάτων και είναι ζωτικής σημασίας στην εξορυκτική βιομηχανία καθώς και σε άλλα πεδία.

Η 3D ανακατασκευή (3D reconstruction) μέσω εικόνων μπορεί να χρησιμοποιηθεί, μεταξύ άλλων, ως ένα είδος «πλατφόρμας» για την παρακολούθηση της απόδοσης δραστηριοτήτων, π.χ. σε εργοτάξιο, όπως η παρακολούθηση προόδου στις κατασκευές (Construction Progress Monitoring).

1.5 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο επόμενο κεφάλαιο λαμβάνει χώρα η απαραίτητη θεωρητική ανασκόπηση που αναφέρεται στην φωτογραμμετρία, τις λοιπές μεθοδολογίες μέτρησης όγκου και τις χρήσιμες, ως προς την κατανόηση του έργου μας θεωρητικές έννοιες. Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται η διάρθρωση της αρχιτεκτονικής και της μεθοδολογίας της εργαστηριακής μελέτης που πραγματοποιήσαμε. Ακολουθεί το 4^ο κεφάλαιο στο οποίο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα τα οποία έγιναν με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο του κεφαλαίου 3. Τέλος στο κεφάλαιο 5 είναι συγκεντρωμένα τα συμπεράσματα που ελήφθησαν από την έρευνα μας και οι μελλοντικές εργασίες που μπορούν να εμπλουτίσουν την παρούσα εργασία μας.

ΣΥΝΟΨΗ

Σε πολλές γεωτεχνικές εφαρμογές είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας τρόπος για να επικυρωθεί η ακρίβεια των μετρήσεων κατά τη γεωμετρική τεκμηρίωση. Ακόμη και μικρά σφάλματα μπορούν να οδηγήσουν σε καθυστερήσεις ενός τεχνικού έργου, καθώς και σε υψηλότερο κόστος. Το παρόν κεφάλαιο πραγματεύεται τις ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των διαφόρων ενόργανων μεθοδολογιών αποτίμησης του όγκου γεωμορφολογικών σχηματισμών. Η έμφαση δίνεται σε κλασικούς τρόπους συλλογής, επεξεργασίας και παρουσίασης πληροφοριών, που αφορούν τη μορφή αντικειμένων και τη μαθηματική θέση σημείων τα οποία βρίσκονται στην επιφάνεια της Γης. Σκοπός μας είναι να οδηγηθούμε στη δημιουργία ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους, μέσω του οποίου γίνεται και η αποτίμηση του όγκου. Θα ακολουθήσει μια σύντομη αναφορά στις πιο σημαντικές σχετικές ορολογίες και τέλος θα παρουσιαστεί μία ανασκόπηση παρόμοιων εργασιών.

2.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΟΓΚΟΥ.

Για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου εδάφους καθίσταται αναγκαίος ο προσδιορισμός συντεταγμένων χαρακτηριστικών σημείων, τις οποίες μπορούμε να αποκτήσουμε με τη βοήθεια ενόργανων μετρητικών διαδικασιών. Υπάρχουν πολλών ειδών τοπογραφικά όργανα συμπεριλαμβανομένων των παρακάτω, χωρίς να υπονοείται κάποια μονοσήμαντη ταξινόμηση:

- Όργανα μέτρησης γωνιών,
- Όργανα μέτρησης μηκών,
- Όργανα μέτρησης υψομέτρων,
- Ολικοί γεωδαιτικοί σταθμοί,
- Όργανα μέτρησης οριζόντιων συντεταγμένων,
- Όργανα μέτρησης μέσω οπτικών αισθητήρων,
- Όργανα μέτρησης συντεταγμένων μέσω δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θέσης (GNSS).

Ανάμεσα σ' αυτές τις κατηγορίες διακρίνονται όργανα χαμηλής, μέτριας και υψηλής ακρίβειας. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής, θα πρέπει να γίνεται σωστή επιλογή μεθόδου τοπογράφησης βασισμένη στην οικονομοτεχνική μελέτη και ανάλυση του έργου [4].

2.1.1 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕΣΩ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΟΛΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ (TOTAL STATION).

Το όργανο που κατά κόρον χρησιμοποιείται σήμερα σε συνήθεις τοπογραφικές εργασίες είναι ο Ολικός Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station), ο οποίος αποτελεί τη σύζευξη του θεοδόλιχου, όπου είναι το παραδοσιακό όργανο για τη μέτρηση γωνιών, και του ηλεκτρονικού αποστασιόμετρου (Electronic Distance Measuring Device, EDM). Ο Ολικός Γεωδαιτικός Σταθμός πρωτοεμφανίστηκε το 1971, ως συνδυασμός δύο οργάνων σ' ένα. Η μέτρηση των αποστάσεων επιτυγχάνεται με τη μέτρηση του χρόνου επιστροφής του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος το οποίο διαδίδεται μέσω της ατμόσφαιρας προς το μετρούμενο σημείο ή έναν ειδικό ανακλαστήρα. Ο Ολικός Γεωδαιτικός Σταθμός διαθέτει επίσης ενσωματωμένο μικροεπεξεργαστή, ηλεκτρονικό συλλέκτη δεδομένων και σύστημα αποθήκευσης των μετρήσεων στη συσκευή (οι οποίες μπορούν να μεταφορτωθούν σε υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία).

Η διαχρονική ανάπτυξη των ολικών γεωδαιτικών σταθμών έχει αυξήσει σημαντικά την παραγωγικότητα και λειτουργικότητα τους σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Ένα πλεονέκτημα των ολικών γεωδαιτικών σταθμών είναι ότι μπορούν να λειτουργήσουν ρομποτικά. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να λειτουργήσουν από απόσταση, απαιτώντας συνεπώς μόνο έναν χειριστή στο πεδίο, αντί για παραπάνω. Ο ολικός γεωδαιτικός σταθμός μπορεί να περιλαμβάνει επίσης ενημερωμένη τεχνολογία λήψης εικόνας, η οποία μπορεί να καταγράψει οποιαδήποτε εικόνα ή προβολή οθόνης από το χώρο έρευνας, εξαλείφοντας την ανάγκη για δαπανηρές επανεξετάσεις. "Οι ηλεκτρονικοί γεωδαιτικοί σταθμοί μπορούν να εφαρμοστούν σχεδόν σε όλες τις τοπογραφικές και γεωδαιτικές εργασίες. Φυσικά όμως θα πρέπει να δίδεται προσοχή στην ακρίβεια του συστήματος σε σχέση με τις απαιτούμενες και προδιαγεγραμμένες ακρίβειες της εφαρμογής" [5].

Όσον αφορά στην ακρίβεια, έχουν μεγάλες δυνατότητες τόσο στην μέτρηση γωνιών όσο και αποστάσεων. Η ακρίβεια μέτρησης των γωνιών είναι από 1" μέχρι και 3" του τόξου. Οι εκτάσεις των περιοχών που μπορούν να καλυφθούν με την μέθοδο του ολικού γεωδαιτικού σταθμού, και εφόσον οι καιρικές συνθήκες το επιτρέψουν, είναι:

- Μ' έναν ανακλαστήρα επιτυχία κάλυψης από 1-1.5χλμ.
- Με τρεις ανακλαστήρες επιτυχία κάλυψης από 1.6-2.5 χλμ.[5]

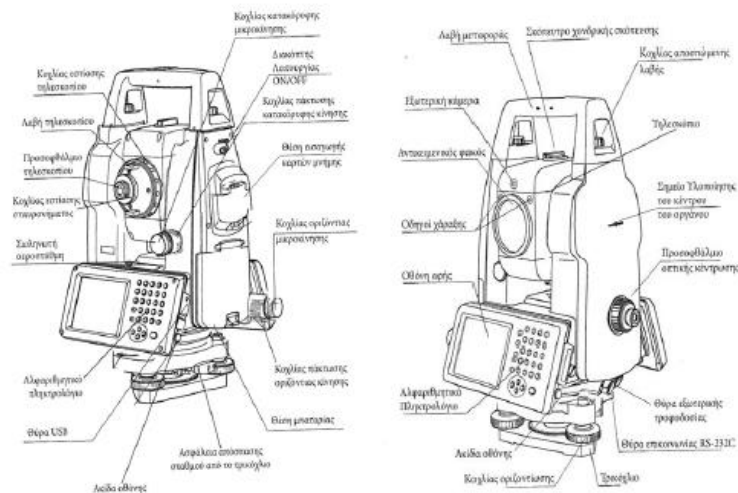


FIGURE 1 : ΟΛΙΚΟΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ

2.1.1.2 Ο ΟΛΙΚΟΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΟΓΚΟΥ.

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή της διαδικασίας ογκομέτρησης με την χρήση του ολικού γεωδαιτικού σταθμού. Πρωτεύων στόχος σε κάθε μέθοδο είναι να δημιουργήσουμε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM: Digital Terrain Model), μέσω του οποίου θα μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε τη μέτρηση του εδαφικού όγκου που μας ενδιαφέρει. Αρχικά, ανάλογα με την θέση και μορφή του χώρου προς ογκομέτρηση μπορεί να απαιτηθεί όδευση και έπειτα αποτύπωση χαρακτηριστικών σημείων του, με τη χρήση του ολικού γεωδαιτικού σταθμού.

Στη συνέχεια αποδίδεται ψηφιακά το σύνολο των σημείων που ορίζουν την επιφάνεια μελέτης, μέσω γνωστών τεχνικών, όπως για παράδειγμα με τη ψηφιακή πύκνωση πλήθους τρισδιάστατων τριγώνων (τριγωνισμός κατά Delaunay ή Dirichlet). Κάθε τρίγωνο ορίζεται από τρεις κορυφές στον χώρο οι οποίες περιλαμβάνουν την πληροφορία θέσης σε κάθε άξονα (x , y , z). Για τον υπολογισμό του όγκου ακολουθούνται διαφορετικές υπολογιστικές μεθοδολογίες οι οποίες υλοποιούνται μέσω κατάλληλων αλγορίθμων [6]. Μια άλλη μέθοδος είναι η κατασκευή τοπογραφικών διατομών, δηλαδή ο διαχωρισμός του “αντικειμένου” μας με διατομές. Το άθροισμα των όγκων των επιμέρους τμημάτων μας δίνει τον τελικό όγκο.

2.1.2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ LIDAR.

Η τεχνολογία LiDAR (Light Detection And Ranging), υποστηρίζει την ανίχνευση και παρακολούθηση των φυσικών χαρακτηριστικών μια περιοχής μετρώντας την ανακλώμενη και εκπεμπόμενη ακτινοβολία του σε απόσταση [7]. Παρόλο που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1960 όταν οι σαρωτές laser (ενίσχυση φωτός με

εξανγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας) τοποθετήθηκαν σε αεροπλάνα, το LiDAR δεν πήρε τη δημοτικότητα που του άξιζε παρά είκοσι χρόνια αργότερα. Μόνο κατά τη δεκαετία του 1980 μετά την εισαγωγή του GPS έγινε δημοφιλής μέθοδος υπολογισμού ακριβών γεωχωρικών μετρήσεων [8].

Η αρχή λειτουργίας του είναι η εξής : *Το LiDAR παράγει ένα φωτεινό παλμό laser, στη συνέχεια τον στέλνει προς τον στόχο όπου και ανακλάται και καταγράφει τον χρόνο αναχώρησης, τον χρόνο επιστροφής και την ένταση του παλμού. Η διαφορά του χρόνου επιστροφής μείον του χρόνου εκπομπής του παλμού δίνει την απόσταση , ενώ η ένταση δίνει πληροφορίες για τις ιδιότητες του στόχου [4].*

Φωτεινός παλμός laser με μήκος κύματος 500-600 nm συνήθως χρησιμοποιείται σε επίγεια συστήματα liDAR, ενώ laser με μήκος κύματος 1000-1600 nm χρησιμοποιείται σε εναέρια συστήματα [9]. Αυτή η μέθοδος λειτουργεί καλά σε όλες τις συνθήκες φωτός, αλλά αρχίζει να αποτυγχάνει με την αύξηση του χιονιού, της ομίχλης, της βροχής και της σωματιδιακής σκόνης στον αέρα, λόγω της παρεμβολής τους στο εκπεμπόμενο μήκος κύματος.

Η τεχνολογία LiDAR έχει πολύ μεγάλη ανάπτυξη και προσφέρει πρόσθετα πλεονεκτήματα στις ήδη υπάρχουσες τοπογραφικές μεθόδους. Πιο συγκεκριμένα προσφέρει:

- 1) δυνατότητα λήψης δεδομένων κατά τη νύχτα,
- 2) 3D αναπαράσταση σύνθετων περιοχών (Εικόνα 2.1.1),
- 3) ταχεία συλλογή πυκνών νεφών σημείων με γεωαναφορά για μεγάλες περιοχές,
- 4) υψηλή ακρίβεια θέσης των νεφών σημείων κατά X, Y, Z, αλλά και η ομοιογενής τους συμπεριφορά και
- 5) καταγραφή πρόσθετης πληροφορίας [10].

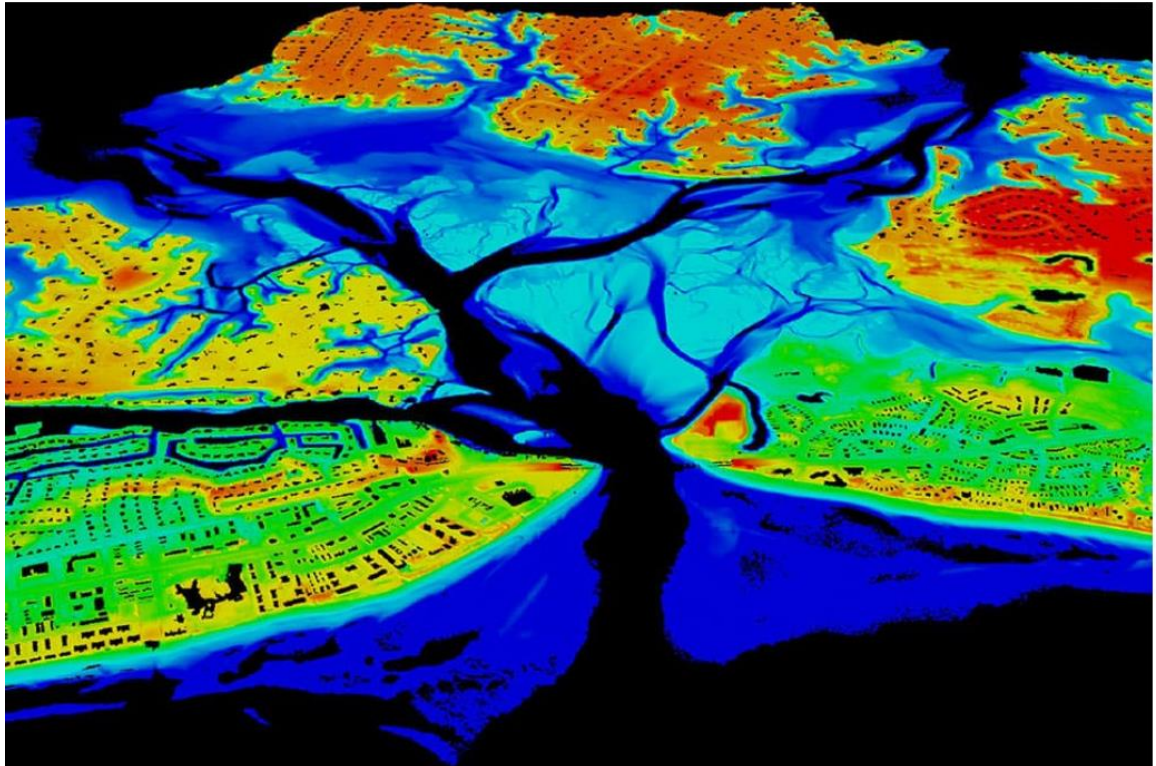


FIGURE 2 : ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ LIDAR ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ VIRGINIA([HTTPS://OCEANSERVICE.NOAA.GOV/FACTS/LIDAR.HTML](https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html)).

2.1.2.1 ΧΡΗΣΗ LIDAR ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΟΓΚΟΥ.

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή της ογκομέτρησης με τη χρήση LiDAR: οι διαφορές των χρόνων επιστροφής των παλμών καθώς και των μηκών κύματος χρησιμοποιούνται για να παραχθεί η τρισδιάστατη αναπαράσταση του στόχου και του ακριβούς υπολογισμού των αποστάσεων από το αντικείμενο. Επιπλέον, σε περίπτωση εναέριας μέτρησης και γνωρίζοντας την ακριβή θέση και τον προσανατολισμό του αεροσκάφους, είναι δυνατόν να καθοριστούν οι χωρικές συντεταγμένες καθενός επιστρεφόμενου παλμού παράγοντας ένα συνολικό γεωαναφερμένο νέφος σημείων. Με την παραγωγή του νέφους σημείων οδηγούμαστε στην τρισδιάστατη αναπαράσταση του εδαφικού μας δείγματος και με κατάλληλα λογισμικά υπολογίζεται ο όγκος.

Σημειώνεται δε ότι λόγω του μεγάλου πλήθους των αποτυπωμένων σημείων, η μείωση της γεωμετρικής πληροφορίας είναι συχνά απαραίτητη για την αποτελεσματική διαχείριση των 3D μοντέλων. Στις περιοχές όπου η επιφάνεια δεν παρουσιάζει έντονες μεταβολές μπορεί να πραγματοποιείται απλοποίηση της γεωμετρίας. Αυτή η μεθοδολογία αν και ακριβής, περιλαμβάνει εξοπλισμό μεγάλου κόστους.

2.1.3 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ (GNSS).

Από αρχαιοτάτων χρόνων τα αστέρια αποτελούσαν ένα “εργαλείο” στα χέρια των ανθρώπων για να προσδιορίζουν έστω και προσεγγιστικά τη θέση τους, αλλά και τον χρόνο. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας και σε συνδυασμό με συναφείς επιστήμες, οι άνθρωποι κατάφεραν να δημιουργήσουν και να τοποθετήσουν τα δικά τους “τεχνητά άστρα” στον ουρανό, δηλαδή δορυφόρους. Το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (GNSS) είναι ένας γενικός όρος που περιγράφει κάθε δορυφορικό σχηματισμό που παρέχει υπηρεσίες εντοπισμού θέσης, πλοήγησης και χρονισμού (PNT - Position Navigation and Time) σε παγκόσμια ή περιφερειακή βάση [11].

Η κύρια αρχή πίσω από ένα σύστημα δορυφορικής πλοήγησης είναι η δημιουργία ενός γεωμετρικού τριγωνισμού από οποιοδήποτε σημείο της επιφάνειας της γης προς τους δορυφόρους. Η απόσταση από τους δορυφόρους μετριέται από το χρόνο που χρειάζεται το εκπεμπόμενο από τον δορυφόρο σήμα για να φτάσει στον δέκτη. Επειδή ένα ραδιοσήμα ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός, για τον συγχρονισμό των μετρήσεων χρησιμοποιούνται ρολόγια υψηλής ακρίβειας. Οι δορυφόροι περιέχουν ατομικά ρολόγια και οι δέκτες προηγμένα ρολόγια χαλαζία. Η απόσταση από τον δορυφόρο μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας τον χρόνο ταξιδιού του κύματος με την ταχύτητα του φωτός. Η ακριβής θέση του δορυφόρου στο διάστημα αποτελεί προϋπόθεση για αυτή τη διαδικασία. Αυτό είναι δυνατό επειδή οι τροχιές είναι πολύ σταθερές και προβλέψιμες. Οι δορυφόροι παρατηρούνται και ελέγχονται από επίγειους σταθμούς, οι οποίοι εισάγουν τις χωρικές πληροφορίες στο σήμα [12]. Το μεταδιδόμενο σήμα ταξιδεύει μέσω της ιονόσφαιρας και της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται στην διάρκεια αυτής της διαδρομής.

Η απόδοση των GNSS βασίζεται και αξιολογείται από τα εξής κριτήρια :

- **Ακρίβεια**. Η διαφορά δηλαδή μεταξύ της μέτρησης και της πραγματικής θέσης, καθώς και της ταχύτητας του σήματος ή του χρόνου ενός δέκτη.
- **Ακεραιότητα**. Η ικανότητα το σύστημα που χρησιμοποιούμε να παρέχει ένα όριο εμπιστοσύνης και σε τυχόν “λανθασμένη” κατάσταση να υπάρξει ειδοποίηση από το σύστημα.
- Να λειτουργεί **ακατάπαυστα**.
- **Διαθεσιμότητα**. Δηλαδή το ποσοστό του χρόνου που ένα σήμα πληροί όλα τα παραπάνω [10].



FIGURE 3 : ΠΡΟΒΟΛΗ (ΠΗΓΗ [HTTPS://WWW.GLOBALPOS.COM](https://www.globalpos.com)).

Λόγω του ότι το σύστημα εντοπισμού θέσης έχει υψηλή συχνότητα σημάτων, πρέπει να υπάρχει πολύ καλή ορατότητα μεταξύ του δέκτη και του δορυφόρου για την λήψη των σημάτων. Επομένως ο εντοπισμός δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί για υποθαλάσσιους δέκτες ή για δέκτες καταλυμένους από φυλλώματα, κτίσματα κλπ. Επιπροσθέτως, το σύστημα GNSS δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε κλειστούς χώρους, όπως ένα μεταλλείο, για τον λόγο ότι η μικροκυματική ακτινοβολία των σημάτων του δεν διαπερνά στερεά σώματα. Παρόλα αυτά, δεν απαιτείται να υπάρχει ορατότητα μεταξύ των σημείων μέτρησης. Μια τεχνική που χρησιμοποιείται ευρέως στις περιπτώσεις των GNSS είναι αυτή του Πραγματικού Χρόνου Κινηματικής (Real Time Kinematic -RTK). Το RTK είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για να αυξήσει την ακρίβεια της θέσης του GNSS χρησιμοποιώντας έναν σταθερό σταθμό βάσης, η οποία στέλνει ασύρματα τα διορθωτικά δεδομένα σε έναν κινούμενο δέκτη. Πιο απλά, είναι μια δορυφορική τεχνική πλοήγησης που χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την ακρίβεια των δεδομένων θέσης που προέρχονται από δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης όπως το GPS.

Για την ογκομέτρηση μέσω συστημάτων GNSS, απαιτούνται τουλάχιστον δύο δέκτες. Ο ένας βρίσκεται σε γνωστές συντεταγμένες στο έδαφος (όπως ένας σταθμός βάσης) και ο δεύτερος δέκτης ο οποίος μετακινείται μεταξύ της θέσης που θέλουμε να καθοριστεί. Οι δέκτες λαμβάνουν δορυφορικά σήματα πλοήγησης από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους ίδιους και για τους δύο δέκτες, και να είναι σε θέση να συνδεθούν με το διαδίκτυο ώστε να παρέχουν διόρθωση συντεταγμένων. Με χρήση λοιπόν του δέκτη, μπορούμε να προσδιορίσουμε συντεταγμένες επιλεγμένων σημείων με την πυκνωση που επιθυμούμε.

Προφανώς όσα περισσότερα σημεία αποτυπωθούν, τόσο η προσέγγιση του όγκου γίνεται καλύτερη με επακόλουθη την καθυστέρηση στις μετρήσεις. Από τη στιγμή που έχουν προσδιοριστεί οι συντεταγμένες των σημείων, μπορεί να ακολουθηθεί οποιοσδήποτε υπολογιστικός τρόπος για την εύρεση του όγκου. Σημειώνεται, ότι σε περιοχές με υποβάθμιση του σήματος από τους δορυφόρους, όπως για παράδειγμα σε πρηνή με μεγάλη κλίση και ύψος, ή εντός αστικού χώρου με ψηλά κτίρια δεν είναι δυνατή η μέτρηση σημείων με την απαιτούμενη ακρίβεια.

2.1.4 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

Η φωτογραμμετρία ορίζεται ως “η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνολογία της απόκτησης αξιόπιστων πληροφοριών για φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον τους, μέσω διαδικασιών καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας εικόνων και ψηφιακών αναπαραστάσεων ενεργών μοτίβων που προέρχονται από συστήματα αισθητήρων χωρίς επαφή” [13].

Η σημαντική διαφορά ανάμεσα στην φωτογραμμετρία και τις άλλες επιστήμες είναι ότι οι φωτογραμμετρικές μετρήσεις είναι έμμεσες και γίνονται πάνω σε κάποιο μέσο όπου αποτυπώνεται ο φυσικός κόσμος και όχι απευθείας στον ίδιο τον φυσικό κόσμο. Από την διαφορά αυτή πηγάζουν και όλα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου [14].

Τα πλεονεκτήματα της φωτογραμμετρίας είναι :

- Ταχύτητα,
- οικονομία,
- προσπελασιμότητα εδάφους,
- συνεχείς απεικόνιση.

Τα μειονεκτήματα είναι με την σειρά τους τα εξής :

- Πολλές πηγές σφαλμάτων,
- απαιτήσεις σε σημεία ελέγχου [14].

Όσον αφορά στην ιστορία της φωτογραμμετρίας έχει τις ρίζες της από το 1851 και συνεχώς αναπτύσσεται, καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των αισθητήρων αλλά και των αλγοριθμικών μεθοδολογιών. Χρησιμοποιήθηκε εν τη γενέσει της στην κατασκευή χαρτών και είχε μεγάλη εφαρμογή στον Α΄ παγκόσμιο πόλεμο. Η εξέλιξη της φωτογραμμετρίας ξεκίνησε αναλογικά, έπειτα αναλυτικά και πλέον διεκπεραιώνεται ψηφιακά.

Κάθε μια από αυτές τις ιστορικές τοποθετήσεις της φωτογραμμετρίας χαρακτηρίζεται από το είδος της φωτογραφίας ή ακόμα και από τον τρόπο μοντελοποίησης της διαδικασίας συλλογής της εικόνας. Οι εικόνες μπορεί να είναι είτε αεροφωτογραφίες, είτε δορυφορικές εικόνες ή ακόμα και επίγειες λήψεις. Πιο συγκεκριμένα, οι αεροφωτογραφίες είναι αυτές για τις οποίες η φωτογράφιση πραγματοποιείται από κάποιο υψόμετρο, μέσω δορυφόρου, αεροπλάνου, ή μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος [14].

Οι εφαρμογές της φωτογραμμετρίας είναι αρκετές, ορισμένες εκ των οποίων αναφέρονται παρακάτω:

- Γεωλογία: στρωματογραφικές και γεωμορφολογικές μελέτες, σχεδιασμός γεωλογικών χαρτών, καταγραφή ζημιών από σεισμούς κλπ.
- Τοπογραφία: σύνταξη τοπογραφικών χαρτών και διαγραμμάτων, γεωμετρική τεκμηρίωση κτιρίων και μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς,
- Οδοποιία: χάραξη δρόμων,
- Γεωργία: προσδιορισμός τύπων εδαφών, οριοθέτηση καλλιεργούμενων εκτάσεων,
- Μελέτες και κατασκευές έργων: έλεγχος των μικρομετακινήσεων των κατασκευών, αναπτυξιακές μελέτες.

2.1.4.1 ΠΑΡΑΛΛΑΞΗ

Λόγω της θεματολογίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας με το αντικείμενο της φωτογραμμετρίας, θα αναφέρουμε κάποιες σχετικές αρχές και βασικές έννοιες. Η φωτογραμμετρία χρησιμοποιεί επικαλυπτόμενα ζεύγη εικόνων, για την εξαγωγή τρισδιάστατης μετρικής πληροφορίας.

Ένα στερεοζεύγος αποτελείται από δύο φωτογραφίες του ίδιου αντικειμένου, οι οποίες έχουν ληφθεί από διαφορετικά σημεία του χώρου και παρουσιάζουν ένα ποσοστό επικάλυψης.

Παράλλαξη είναι η φαινομενική μετατόπιση της θέσης ενός αντικειμένου, ως προς ένα σύστημα αναφοράς, η οποία προκαλείται από μια μετατόπιση της θέσης παρατήρησης του [14]. Άρα αν υποθέσουμε πως έχουμε ένα στερεοζεύγος αεροφωτογραφιών οι οποίες ελήφθησαν από δύο διαφορετικές θέσεις, η αλλαγή αυτής της θέσης ενός αντικειμένου, από την μια εικόνα στην άλλη ορίζει τη στερεοσκοπική παράλλαξη.

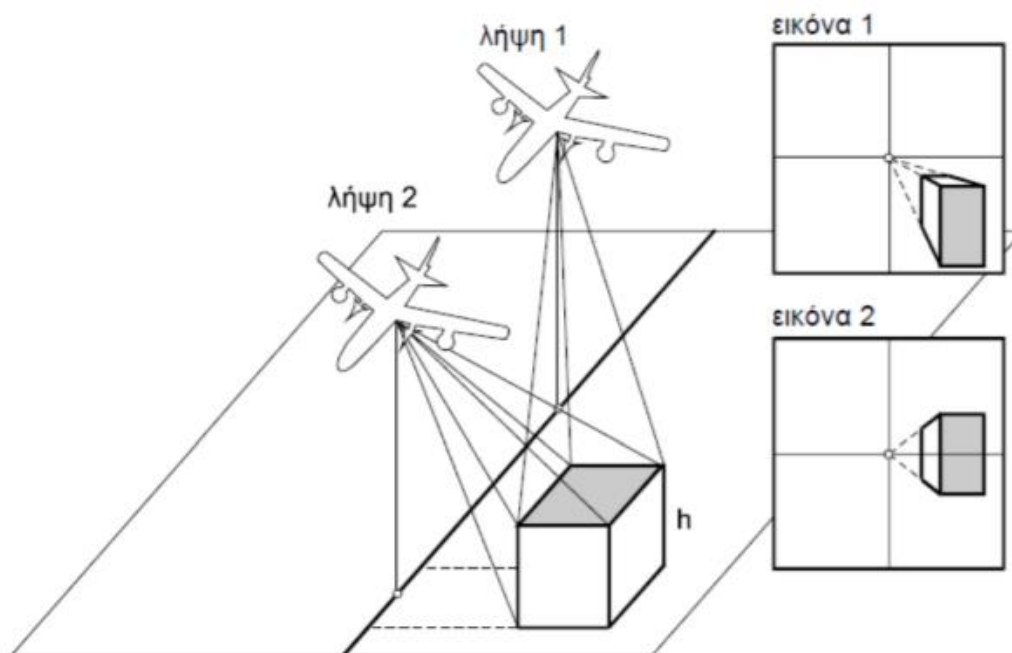


FIGURE 4 : ΠΑΡΑΛΛΑΞΗ (ΠΕΤΣΑ, 2000).

2.1.4.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Βαθμονόμηση μιας μετρικής φωτογραφικής μηχανής ονομάζεται η διαδικασία προσδιορισμού των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της. Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών είναι απαραίτητη αν οι φωτογραφίες που θα ληφθούν με τη φωτογραφική μηχανή πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για ακριβείς μετρήσεις αντικειμένων του φυσικού κόσμου ή της κατασκευής χαρτών [14].

Με τη βαθμονόμηση της κάμερας προσδιορίζονται τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού. Εσωτερικός προσανατολισμός είναι η διαδικασία κατά την οποία αποκαθίσταται η πορεία της φωτεινής ακτίνας μέσα στην κάμερα, όπως αυτή υπάρχει κατά την στιγμή της λήψης. Έτσι με τη βαθμονόμηση υπολογίζονται η βαθμονομημένη εστιακή απόσταση, οι συντεταγμένες του πρωτεύοντος σημείου και την ακτινική παραμόρφωση των φακών. Από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά είναι αυτό της εστιακής απόστασης καθώς είναι πιο εύκολα ευμετάβλητο και σχετίζεται άμεσα με την παραμόρφωση των φακών.

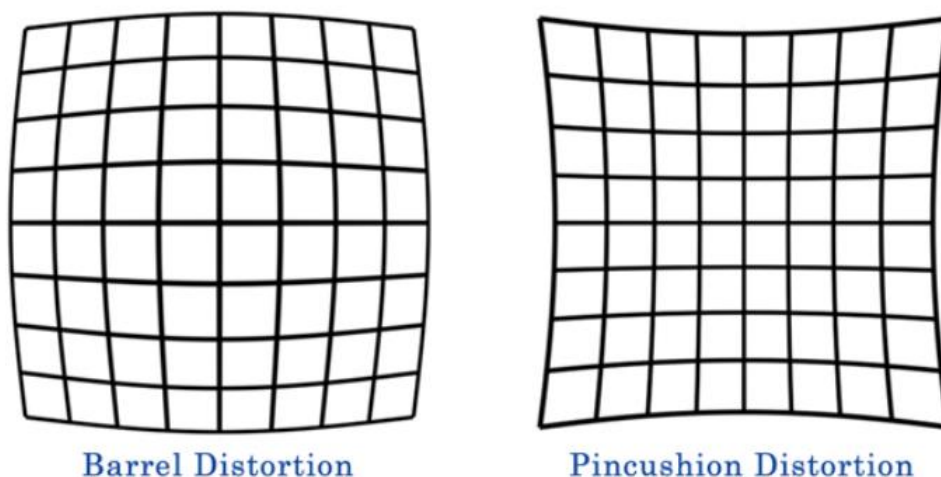


FIGURE 5: ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΦΑΚΟΥ (THE APPLICATION OF PHOTOGRAMMETRY FOR FORENSIC 3D RECORDING OF CRIME SCENES, EVIDENCE AND PEOPLE, 2020).

Η βαθμονόμηση της κάμερας είναι ένα σημαντικό βήμα προς την λήψη μιας πολύ ακριβούς αναπαράστασης του πραγματικού κόσμου. Η διαδικασία που ακολουθείται για να πραγματοποιηθεί η βαθμονόμηση είναι η εξής:

Χρησιμοποιούμε ένα σύνολο πολλών εικόνων ενός γνωστού μοτίβου. Το πιο διαδεδομένο μοτίβο είναι τύπου σκακιάρας για το οποίο γνωρίζουμε το μέγεθος των τετραγώνων. Αρχικά απεικονίζουμε τη σκακιάρα με πολλαπλές λήψεις και έπειτα με χρήση κατάλληλων λογισμικών πραγματοποιείται η σύγκριση των απεικονιστικών και πραγματικών δεδομένων. Το λογισμικό αντιλαμβάνεται αυτόματα τα σημεία ένωσης και μοντελοποιεί το σφάλμα που καταγράφεται από την κάμερα, προσδιορίζοντας τις παραμέτρους μετασχηματισμού μεταξύ των δύο οριζόμενων συστημάτων αναφοράς.

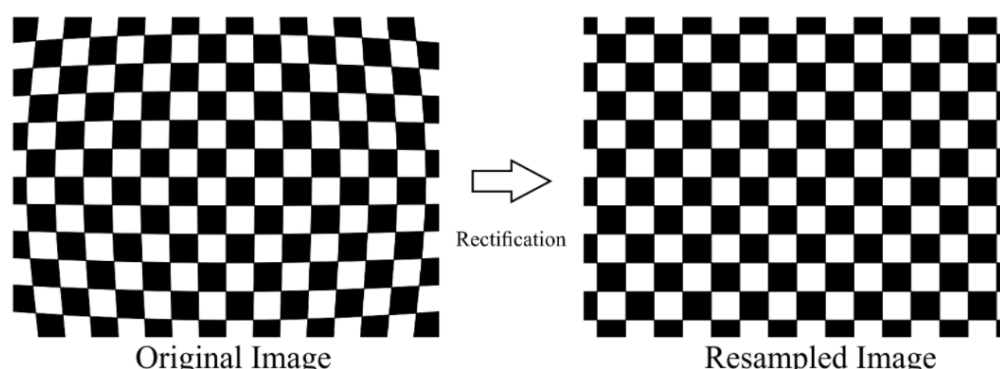


FIGURE 6 : ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ 2D ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ([HTTPS://WWW.MAYSOLUTIONSLLC.COM/TECHNOLOGIES.HTML](https://www.maysolutionsllc.com/technologies.html)).

2.1.4.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ

Με τον όρο εξωτερικός προσανατολισμός μιας φωτογραφίας εννοούμε τη σχέση ανάμεσα στο σύστημα συντεταγμένων της φωτογραφίας και σε κάποιο επίγειο σύστημα συντεταγμένων (αυθαίρετο ή μη), **[14]**. Εκφράζει τη θέση και τον προσανατολισμό της φωτογραφίας στον χώρο την στιγμή της έκθεσης με έξι παραμέτρους. Χρησιμοποιώντας την συνθήκη της συγγραμμικότητας προσδιορίζονται οι έξι παράμετροι του προσανατολισμού της μηχανής λήψης. Προϋπόθεση για την εφαρμογή αυτής της συνθήκης είναι τα τρία σημεία να βρίσκονται σε ευθεία, δηλαδή το σημείο του χώρου με το προβολικό κέντρο και το αντίστοιχο εικονοσημείο.

Η γενική μορφή της συνθήκης συγγραμμικότητας είναι η εξής :

$$\begin{bmatrix} x - x_o \\ y - y_o \\ -c \end{bmatrix} = \frac{1}{k} \cdot R \cdot \begin{bmatrix} X - X_o \\ Y - Y_o \\ Z - Z_o \end{bmatrix} \quad (2.2.3.1)$$

Όπου συνδέει τις εικονοσυντεταγμένες x, y με τις συντεταγμένες X, Y, Z στο γεωδαιτικό σύστημα μέσω των τριών βασικών στοιχείων του εσωτερικού προσανατολισμού x_o, y_o, c και των έξι στοιχείων $X_o, Y_o, Z_o, \omega, \phi, \kappa$ του εξωτερικού προσανατολισμού, με k να ορίζεται ο συντελεστής μετατροπής της κλίμακας και R ο πίνακας στροφής.

Αν τώρα αναπτύξουμε την σχέση (2.2.2) έχουμε :

$$\begin{aligned} x - x_o &= \frac{1}{k} \cdot [r_{11} \cdot (X - X_o) + r_{12} \cdot (Y - Y_o) + r_{13} \cdot (Z - Z_o)] \\ y - y_o &= \frac{1}{k} \cdot [r_{21} \cdot (X - X_o) + r_{22} \cdot (Y - Y_o) + r_{23} \cdot (Z - Z_o)] \\ -c &= \frac{1}{k} \cdot [r_{31} \cdot (X - X_o) + r_{32} \cdot (Y - Y_o) + r_{33} \cdot (Z - Z_o)] \end{aligned} \quad (2.2.3.2)$$

Το πρόβλημα είναι το εξής: Στις συνθήκες αυτές εμπεριέχεται η μεταβλητή k η οποία μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο με αποτέλεσμα θα δυσχεραίνει τις παραπάνω σχέσεις. Συνεπώς οφείλουμε να το απαλείψουμε. Αυτό επιτυγχάνεται διαιρώντας τις δύο πρώτες σχέσεις με την τρίτη και έτσι έχουμε την ολοκληρωμένη μορφή της συνθήκης συγγραμμικότητας.

$$x - x_o = -c \cdot \frac{r_{11} \cdot (X - X_o) + r_{12} \cdot (Y - Y_o) + r_{13} \cdot (Z - Z_o)}{r_{31} \cdot (X - X_o) + r_{32} \cdot (Y - Y_o) + r_{33} \cdot (Z - Z_o)}$$

$$y - y_o = -c \cdot \frac{r_{21} \cdot (X - X_o) + r_{22} \cdot (Y - Y_o) + r_{23} \cdot (Z - Z_o)}{r_{31} \cdot (X - X_o) + r_{32} \cdot (Y - Y_o) + r_{33} \cdot (Z - Z_o)}$$

(2.2.3.3)

Στην ψηφιακή φωτογραμμετρία ο προσανατολισμός μπορεί να γίνει είτε άμεσα είτε έμμεσα. Ο έμμεσος προσανατολισμός ανάλογα με το πλήθος των εικόνων που χρησιμοποιούνται μπορεί να πραγματοποιηθεί κυρίως με τους εξής δύο τρόπους:

- Σχετικός και Απόλυτος προσανατολισμός στερεοζεύγους, για 2 εικόνες,
- Αεροτριγωνισμός, για n εικόνες.

Ο σχετικός προσανατολισμός είναι η διαδικασία εκείνη κατά την οποία δύο επικαλυπτόμενες φωτογραφίες ενός στερεοζεύγους σχετίζονται μεταξύ τους, σε κάποιον αυθαίρετο χώρο, έτσι ώστε η σχέση τους αυτή να είναι η ίδια που υπήρχε και κατά την στιγμή της λήψης **[14]**. Δηλαδή είναι η διαδικασία η οποία βρίσκει κοινά σημεία μεταξύ δύο φωτογραφιών και έτσι μπορεί να επαναφέρει την σχετική θέση και να μας δώσει το τρισδιάστατο μοντέλο χωρίς κλίμακα, θέση και προσανατολισμό. Για την δημιουργία του στερεοσκοπικού μοντέλου ο σχετικός προσανατολισμός διασφαλίζει τη συνεχή στερεοσκοπική όραση και την ορθή ανάπλαση του σχήματος του αντικειμένου.

Από την άλλη ο απόλυτος προσανατολισμός είναι η συσχέτιση με το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς και περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της κατάλληλης κλίμακας/ μεγέθους και τον προσδιορισμό της θέσης του αντικειμένου. Είναι στην ουσία η διαδικασία της αποκατάστασης της πραγματικής σχέσης που υπάρχει μεταξύ του στερεομοντέλου και του εδάφους.

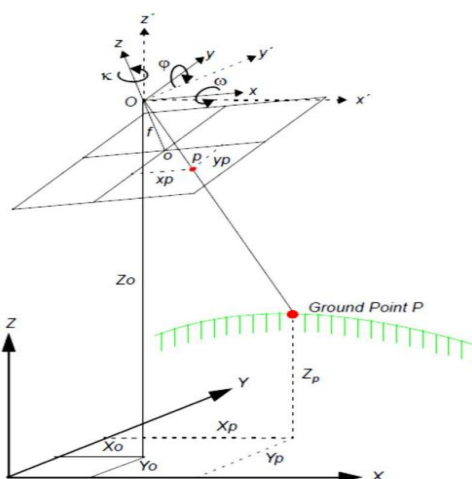


FIGURE 7 : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΠΗΓΗ: ERDAS LPS).

Στη διαδικασία του αεροτριγωνισμού επιλύονται ταυτόχρονα και ο σχετικός και ο απόλυτος προσανατολισμός σε περισσότερα από ένα στερεομοντέλα. Αντίθετα, η χρήση μόνο μιας εικόνας στην φωτογραμμετρία είναι σπάνια. Αεροτριγωνισμός είναι η διαδικασία πύκνωσης του οριζοντιογραφικού και υψομετρικού δικτύου ελέγχου, κατά την οποία οι μετρήσεις σε επικαλυπτόμενες φωτογραφίες συσχετίζονται σε ενιαία λύση στο χώρο με τη βοήθεια των προοπτικών ιδιοτήτων των εικόνων [15].

2.1.4.4 ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Κατά τη φωτογραμμετρική αποτύπωση και τον εξωτερικό/απόλυτο προσανατολισμό, για τη δημιουργία χαρτών ακρίβειας από γεωχωρικά δεδομένα απαιτείται η χρήση σημείων ελέγχου στο έδαφος, τα λεγόμενα Ground Control Points (GCP). Τα GCP είναι χαρακτηριστικά σημεία του εδάφους τα οποία είναι ευδιάκριτα σε αεροφωτογραφίες, όπως για παράδειγμα από UAV, σε επίγειες λήψεις ή δορυφορικές εικόνες. Τα σημεία αυτά αποτυπώνονται σε κάποιο δίκτυο συντεταγμένων ως προς την οριζοντιογραφική τους θέση αλλά και ως προς το υψόμετρο. Στην ουσία κάθε σημείο ελέγχου αποτελεί ένα στόχο τοποθετημένο στην περιοχή μελέτης με γνωστές συντεταγμένες οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των θέσεων των υπόλοιπων σημείων. Τα GCP μπορεί να είναι χαρακτηριστικά φυσικά σημεία ή τεχνητά των οποίων οι συντεταγμένες έχουν μετρηθεί με γεωδαιτικό σταθμό κατάλληλης ακρίβειας. Σημαντικό για την ακρίβεια της φωτογραμμετρικής απόδοσης που θα ακολουθήσει είναι τα GCP να καλύπτουν τα όρια του επικαλυπτόμενου τμήματος των φωτοζεύγων αλλά και τα υψομετρικά όρια της περιοχής.

2.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΣΗΣ (SFM)

Η τεχνική Structure from Motion (SfM), βασίζεται στον προσδιορισμό της χωρικής και γεωμετρικής σχέσης του στόχου μέσω της κίνησης μιας κάμερας. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στις ίδιες αρχές με την στερεοσκοπική φωτογραμμετρία, στην οποία ο τριγωνισμός χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την σχετική τρισδιάστατη θέση (x,y,z) του αντικειμένου από στερεοφωνικά ζεύγη [14].

Οι παραδοσιακές μέθοδοι φωτογραμμετρίας βασίζονται σε μια αναλογία της διόφθαλμης ανθρώπινης όρασης. Το βάθος μπορεί να γίνει αντιληπτό από δύο σημεία των οποίων η σχετική θέση είναι γνωστή. Ωστόσο, το βάθος, οι όγκοι ή τα χαρακτηριστικά 3D μπορούν επίσης να γίνουν αντιληπτά από ένα μόνο σημείο παρατήρησης, εάν είτε ο παρατηρητής είτε το αντικείμενο κινείται [16].

Οι μέθοδοι κατά SfM παρέχουν την δυνατότητα προσδιορισμού τρισδιάστατων συντεταγμένων με χρήση οικονομικών ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών [17]. Όπως και στην παραδοσιακή φωτογραμμετρία, η φωτογραμμετρία SfM χρησιμοποιεί επικαλυπτόμενες εικόνες που λαμβάνονται από πολλαπλές οπτικές γωνίες.

Η SfM ενσωματώνει στερεοσκοπικές τεχνικές πολλαπλής προβολής, σε σχέση με την κλασσική εναέρια φωτογραμμετρία η οποία απαιτούσε αυστηρό σχεδιασμό πτήσης και προβαθμονόμησης των φωτογραφικών μηχανών. Η SfM παρέχει απλότητα στην διαδικασία χωρίς να απαιτείται εξαντλητικός σχεδιασμός ή βαθμονόμηση φωτογραφικών μηχανών, ακόμη και από διαφορετικές κάμερες.

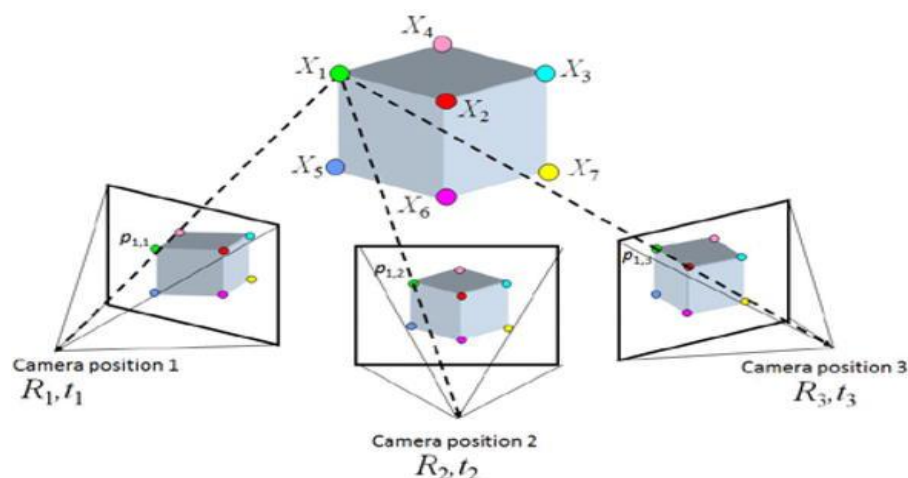


FIGURE 8 : ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΤΑΙ Η ΜΕΘΟΔΟΣ SFM (STEREO AND KINECT FUSION FOR CONTINUOUS 3D RECONSTRUCTION AND VISUAL ODOMETRY, 2013)

Για να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο αντικειμένου, χρειάζονται πολλές εικόνες μιας περιοχής με επικάλυψη υψηλού βαθμού, που λαμβάνονται από διαφορετικές γωνίες. Συνήθως οι εικόνες λαμβάνονται από κινούμενο αισθητήρα.

2.4.1 SLAM – ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ & ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ.

Μια επιπλέον τεχνική που χρησιμοποιείται για την ανακατασκευή του τρισδιάστατου χώρου βάσει εικόνων, σχετίζεται με το πρόβλημα των ρομποτικών συστημάτων πλοήγησης, με την ονομασία «ταυτόχρονος εντοπισμός και χαρτογράφηση», (Αγγλικά: Simultaneous Localization And Mapping, SLAM). Ο ταυτόχρονος εντοπισμός και χαρτογράφηση είναι το κλασικό πρόβλημα το οποίο καλείται να επιλύσει ένα αυτόνομο ρομποτικό σύστημα καθώς κινείται σε έναν άγνωστο περιβάλλοντα χώρο. Έτσι, καθώς κινείται δημιουργεί έναν χάρτη του περιβάλλοντος και, ταυτόχρονα, υπολογίζει τη θέση του εντός αυτού. Την τελευταία δεκαετία έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην επίλυση του προβλήματος ταυτόχρονου εντοπισμού και χαρτογράφησης στη διεθνή βιβλιογραφία [18].

Το SLAM επιτρέπει την δημιουργία χαρτογραφικών δεδομένων χαμηλής συχνά ποιότητας (σε σύγκριση με τις τοπογραφικές απαιτήσεις ακριβείας), σε καταστάσεις όπου το περιβάλλον είναι πολύ επικίνδυνο ή περιορισμένου χώρου ως προς τον άνθρωπο για να χαρτογραφηθεί. Με την ανακατασκευή του τρισδιάστατου χώρου, έχουμε τη δυνατότητα να υπολογίσουμε αποστάσεις και όγκους. Οι αλγόριθμοι SLAM βοηθούν και στην πλοήγηση σε χώρους για τους οποίους δεν διατίθεται κάποιος χάρτη ή σήμα GPS ή και δεν προϋπάρχουν σημεία αναφοράς.

2.4.2 VISUAL ODOMETRY – ΟΠΤΙΚΗ ΟΔΟΜΕΤΡΙΑ.

Η μέθοδος της οπτικής οδομετρίας - Visual odometry ορίζεται ως η διαδικασία εκτίμησης της κίνησης ενός ρομποτικού συστήματος παρατηρώντας μια ακολουθία εικόνων του περιβάλλοντος του.

Θεωρείται μια επιπρόσθετη διεργασία πλοήγησης επί της τεχνικής SFM, η οποία όπως έχει προαναφερθεί αντιμετωπίζει το πρόβλημα της τρισδιάστατης ανακατασκευής τόσο της δομής του περιβάλλοντος όσο και των θέσεων της κάμερας από διαδοχικά ταξινομημένα ή μη σύνολα εικόνων. Η οπτική οδομετρία μπορεί, ανάλογα με τον τύπο των αισθητήρων, να κατηγοριοποιηθεί ως Stereo Visual Odometry (δύο κάμερες σε γνωστή διάταξη), Monocular Visual Odometry (μονοεικονική), RGD-B Visual Odometry (συστήματα με αισθητήρες καταγραφής και βάθους). Η πρώτη κατηγορία μιμείται την ανθρώπινη όραση. Σε αντίθεση με τα συστήματα μιας κάμερας, στην δεύτερη περίπτωση η κλίμακα του μοντέλου είναι προφανώς απευθείας γνωστή. Ωστόσο, τα στερεοσκοπικά συστήματα απαιτούν αυστηρό συγχρονισμό στην καταγραφή της πληροφορίας, χωρίς τον οποίο το σφάλμα συγχρονισμού που μεταδίδεται με την πάροδο του χρόνου έχει ισχυρή επίδραση στην ακρίβεια της επίλυσης [19].

2.5 ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.

Είδαμε ότι από την επεξεργασία επικαλυπτόμενων εικόνων μπορούμε να παράξουμε μια σειρά από διαφορετικά είδη χαρτογραφικών προϊόντων όπως το τρισδιάστατο μοντέλο επιφάνειας. Πιο συγκεκριμένα, διακρίνονται τα παρακάτω είδη επιφανειών:

- Το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (Digital Elevation Model-DEM),

- Το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (Digital Surface Model-DSM),
- Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Digital Terrain Model-DTM).

Το DTM ως ψηφιακό μοντέλο αντιπροσωπεύει τη “γυμνή” γήινη επιφάνεια, όπου τόσο φυσικά όσο και τεχνητά χαρακτηριστικά, όπως δέντρα και κτίρια, δεν συμπεριλαμβάνονται σ’ αυτό. Θεωρείται κρίσιμης σημασίας για περιπτώσεις όπως μια υδρολογική μοντελοποίηση, ανάλυση επιφανειών και χαρτογράφηση εδάφους. Αντίθετο προς όλη την αρχή που διέπει το DTM, είναι το DEM το οποίο καταγράφει τόσο τα φυσικά (δέντρα, κορυφές) όσο και τα τεχνητά χαρακτηριστικά (κορυφές κτιρίων κ.α) του περιβάλλοντος. Το DSM με την σειρά του αποδίδει και περιγράφει τόσο το ανάγλυφο του εδάφους καθώς και οποιαδήποτε αντικείμενο ή κατασκευή η οποία εντάσσεται σε αυτή.

2.6 Ιπτάμενα μη επανδρωμένα οχήματα (UAV)

Η ιδέα της υλοποίησης των Ιπτάμενων μη επανδρωμένων οχημάτων (UAV) ή αλλιώς drones, μπορεί να χρονολογηθεί από την αρχαιότητα. Οι πρώτες όμως υλοποιήσεις πραγματοποιήθηκαν μετά από στρατιωτική έρευνα κατά την διάρκεια του 1ου παγκοσμίου πολέμου. Τα τελευταία χρόνια, όμως, σημαντικές βελτιώσεις ανάπτυξης, εφαρμογής και αποδοχής από το κοινό των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων έχουν διευρύνει την εφαρμοστικότητα τους σε πολλά διαφορετικά πεδία. Διεθνείς οργανισμοί όπως ο Ευρωπαϊκος UAV-NET και AUVERSI (Association for Unmanned Vehicle System International) ιδρύθηκαν για την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με την ανάπτυξη, την παραγωγή και την λειτουργία των UAVs για επιχειρήσεις, βιομηχανίες, ερευνητικά ινστιτούτα και πανεπιστήμια [29].

Συνεπώς, στο αντικείμενο της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, η υψηλή ευελιξία και το χαμηλό κόστος στην απόκτηση πληροφοριών σε σύγκριση με τα κλασικά συστήματα - επίγεια ή εναέρια - προσφέρουν μεγάλη ποικιλία διαφορετικών εφαρμογών [19]. Για παράδειγμα, συναντώνται μελέτες φωτογραμμετρικής αποτύπωσης αρχαιολογικών χώρων, εφαρμογές στη γεωργία, μετρήσεις τηλεπισκόπησης, ατμοσφαιρικές και περιβαλλοντικές παρακολουθήσεις, υπερφασματική και θερμική τηλεπισκόπηση, κ.α.

Τα UAV είναι αεροσκάφη με δυνατότητα λήψης φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης με σκοπό τη χαρτογράφηση και βασικά διακρίνονται σε σταθερής πτέρυγας (Fixed-wing UAV), και πολυ-κόπτερα (Multicopter UAV). Το πρώτο ενδείκνυται για κάλυψη μεγαλύτερων εκτάσεων και έχει μεγαλύτερη αυτονομία. Από την άλλη τα πολυκόπτερα έχουν δυνατότητες πιο έντονων ελιγμών, στάσης στον αέρα, είναι πιο σταθερά στον άνεμο και έχουν μικρότερο χώρο προσγείωσης και απογείωσης. Επιπλέον, τα drones αποτελούνται από ελαφρά συνθετικά υλικά υψηλής αντοχής, με σκοπό να μειωθεί το βάρος τους όσο το δυνατόν περισσότερο για να είναι όσο πιο εύκολη η ευελιξία τους και για να μεταφέρουν επιπλέον ωφέλιμο φορτίο.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε μια ταξινόμηση από τον van Blyenburgh (1999) για το φάσμα των διαφόρων UAV, που βρίσκονται στην αγορά, ανάλογα με το μέγεθος/ βάρος, το μέγιστο ύψος πτήσης και διάρκεια πτήσης τους σε μικρό, μίνι-, μικρής, περιορισμένης, μέσης εμβέλειας-, χαμηλού, μέσου και μεγάλου ύψους, καθώς και αυτονομίας.

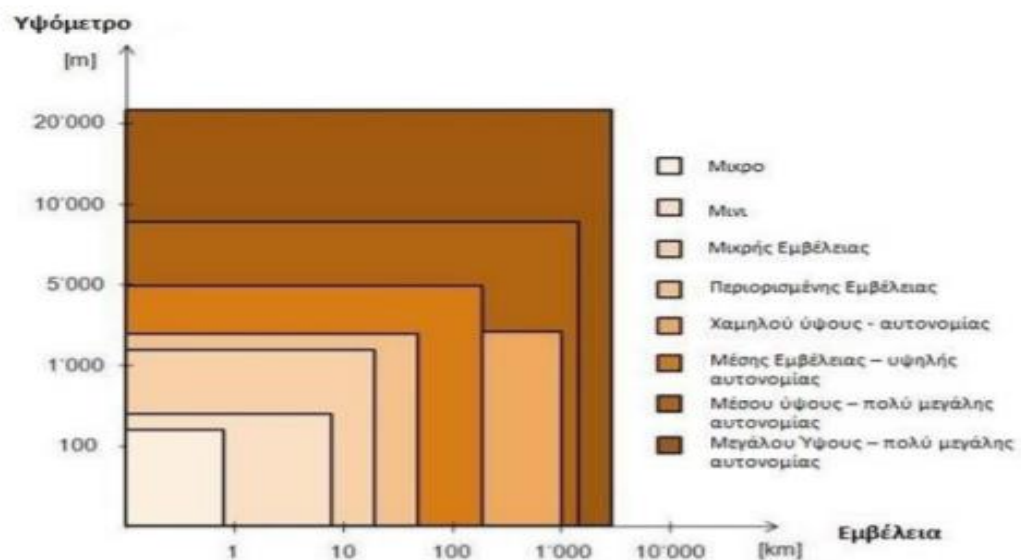


FIGURE 9 : ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ UAV ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΜΒΕΛΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (PETER VAN BLYENBURGH,1999).ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ ΑΠΟ: (EISENBEISS AND GRÜN 2009,ΑΠΟ ΔΟΥΚΑΡΗ, 2015).

Η δυνατότητα που μας δίνουν τα drones να μπορέσουμε να χαρτογραφήσουμε δυσπρόσιτες περιοχές με ευκολία είναι ένα από τα κυρίαρχα πλεονεκτήματα των μη επανδρωμένων ιπτάμενων συστημάτων στο αντικείμενο μελέτης μας. Σε αυτό το σημείο είναι αναγκαίο να επιλεγεί ο κατάλληλος συνδυασμός παραμέτρων , δηλαδή το σωστό ύψος πτήσης , η ταχύτητα ο χρόνος λήψης καθώς και άλλες παράμετροι που θα αναφερθούν αναλυτικά παρακάτω.

2.8 ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ο ποσοτικός και ποιοτικός προσδιορισμός του συνολικού όγκου και των επιφανειακών χαρακτηριστικών ενός δείγματος εδάφους είναι σημαντικός στη γεωτεχνικές μελέτες. Πιο συγκεκριμένα, σχετικά με τη χρήση και παραμετροποίηση των πτήσεων μη επανδρωμένων συστημάτων με σκοπό την ογκομέτρηση περιοχών μελέτης, έχουν λάβει χώρα εργασίες και έχουν προταθεί διάφορες σχετικές μεθοδολογίες. Οι Rafał Wróżyński et al., 2017, ασχολήθηκαν με την αξιολόγηση του εδαφικού όγκου με την μέθοδο Structure From Motion (SFM). Ταυτόχρονα συνέκριναν τα αποτελέσματα από δύο καθημερινές συσκευές στις οποίες δεν σημειώθηκαν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους αλλά και με τον πραγματικό όγκο, οι οποίες ήταν της τάξης 0.7% και 2% αντίστοιχα. Διαπιστώθηκε ότι αν αυξηθούν οι επικαλυπτόμενες εικόνες, μειώνεται και η διαφορά του μετρημένου από τον πραγματικό όγκο. Πιο συγκεκριμένα, λόγω χρήσης μη πυκνού νέφους σημείων διαπιστώθηκε 14% απόρριψη των εικόνων με αποτέλεσμα η διαφορά του πραγματικού όγκου να φτάνει το 7%. Με την πύκνωση των σημείων, το αποτέλεσμα ήταν η διαφορά να μειωθεί στο 1.5% [20]. Παρατίθενται τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των πειραμάτων:

	Test 1	Test 2	Model 1	Model 2a	Model 2b
Camera	Canon G9	iPhone5	Canon G9	iPhone5	iPhone5
Movie length (s)	151	201	89	99	99
Frames	151	201	89	99	161
Frame resolution	1024×768	1920×1080	1024×768	1920×1080	1920×1080
Used frames	151	201	87	85	160
Computation time (min)	57	118	37	63	103
Vertices	828 055	2 387 750	1 043 579	2 453 744	2 798 390
Model vertices	301 096	618 108	632 516	1 352 245	1 303 230
Density [p/cm ²]	267	539	0.9	1.9	1.8
Volume [cm ³]	2994.46	2998.93	3.028·10 ⁷	2,863·10 ⁷	3.076·10 ⁷

FIGURE 10 : ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.

Μια σχετικά απλή μελέτη που πραγματοποιήθηκε το 2015 υπέδειξε την ικανότητα των UAV, τα οποία είναι εναλλακτική τεχνολογία συλλογής δεδομένων, με εφαρμογή σε μια μικρή περιοχή μέσω παραγωγής DEM. Η περιοχή μελέτης αποτελείται από μερικώς βραχώδη λόφο με περίπου 40.000 m² και μέσο υψόμετρο 1005m από την επιφάνεια της θάλασσας. Χρησιμοποιήθηκαν 200 φωτογραφίες και 27 GCP των οποίων η ακρίβεια μετρήθηκε ως 2.37 cm. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

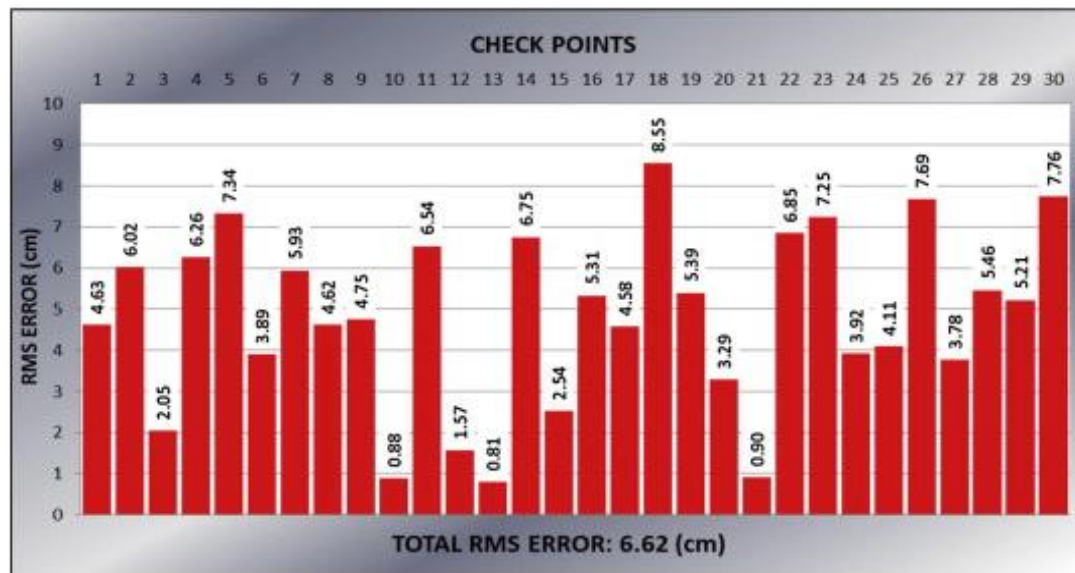


FIGURE 11 : ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ RMS.

Άρα βλέπουμε πως έχει βρεθεί ένα συνολικό σφάλμα 6.62 cm με μέγιστο το 8.55 και ελάχιστο το 0.81 cm [21].

Μια ακόμα αξιοσημείωτη έρευνα είναι αυτή που πραγματοποιήθηκε το 2018 [18] για την εκτίμηση της χαρτογράφησης με την μέθοδο της φωτογραμμετρίας μη επανδρωμένων οχημάτων βασισμένη σε σημεία ελέγχου εδάφους (GCP). Αναλύθηκε ο σημαντικός ρόλος που έχει η κατανομή αλλά και ο αριθμός των GCP κατά μία συνήθη φωτογραμμετρική διαδικασία μέσω drones. Πιο συγκεκριμένα, έγιναν δοκιμές τοποθετώντας GCP στις γωνίες, το κέντρο, περιμετρικά και στις άκρες της περιοχής μελέτης, καθώς και βάσει τυχαίας και στρωματοποιημένης κατανομής. Ακολουθεί εικονικό παράδειγμα.

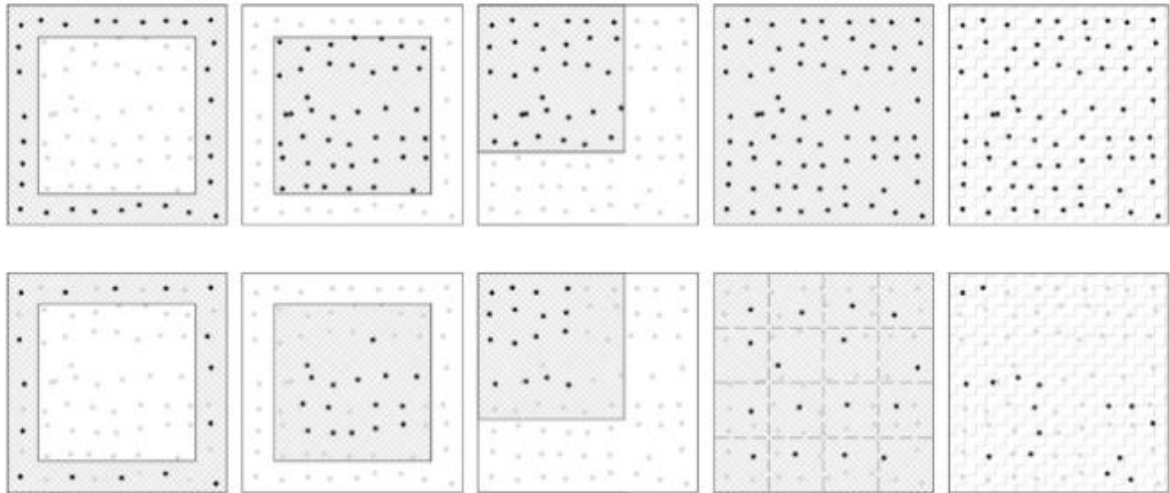


FIGURE 12 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΕΛΑΒΑΝ ΧΩΡΑ.

Βάσει της μελέτης οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η καλύτερη κατανομή είναι η περιμετρική των άκρων και η στρωματοποιημένη. Η πρώτη τοποθετείται περιμετρικά των άκρων του πεδίου μελέτης ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα και αντίστοιχα για το υψομετρικό σφάλμα καλό θα ήταν να δημιουργηθεί στρωματοποιημένη κατανομή εντός της περιοχής μελέτης. Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ακρίβεια πρέπει τα GCP να τοποθετηθούν στην άκρη της περιοχής της μελέτης αυτό όμως δεν βελτιστοποιεί τα αποτελέσματα στην υψομετρία. Άρα τα GCP πρέπει να τοποθετηθούν εντός της περιοχής μελέτης με στρωματοποιημένη κατανομή.

Καθώς αυξάνεται η πυκνότητα των GCP η ακρίβεια θα βελτιώνεται έως ότου δεν παρατηρείται περαιτέρω βελτίωση. Έτσι το συνολικό σφάλμα ελαχιστοποιείται.

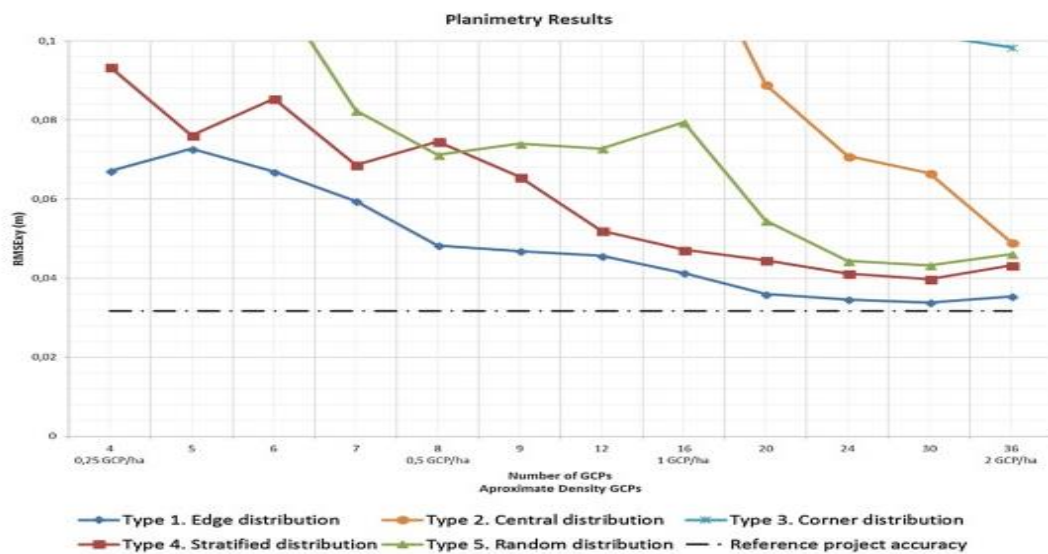


FIGURE 13 : ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ.

Ακολουθούν δύο πίνακες οι οποίοι συγκρίνουν τις μεθόδους κατανομής και δίνουν την οριζόντια ακρίβεια και την κατακόρυφη αντίστοιχα.

Οριζόντια ακρίβεια

Μέθοδος κατανομής	GCP	Ακρίβεια RMS_{xy}
Άκρων	8	↓ 0.05 m
	20-36	0.035m
Στρωματοποιημένη	16	↓ 0.05 m
	36	≈ 0.04 m
τυχαία	24 η παραπάνω	< 0.05 m

Κατακόρυφη ακρίβεια

Μέθοδος κατανομής	GCP	Ακρίβεια RMS_{EZ}
Άκρων	30++	0.05m
	20-24	0.06 m
τυχαία		Τιμές ακανόνιστες

	4-12	Χαμηλές
	16-36	Μη σαφές (0.047-0.057)
Κεντρική	-	Καθόλου καλές
Γωνίες	-	Καθόλου καλές

Συνεπώς η οριζόντια ακρίβεια είναι καλύτερη από την κατακόρυφη, αλλά και οι δύο καλυτερεύουν όταν αυξηθούν τα GCP. Επιπλέον πολύ σημαντική είναι και η απόσταση μεταξύ των GCP, καθώς όσο πιο πυκνή η κατανομή τόσο καλύτερο αποτέλεσμα.

Την περίοδο του 2016, μια έρευνα στόχευε στην δοκιμή και αξιολόγηση της ακρίβειας των δεδομένων UAV για ογκομετρικές μετρήσεις σε σχέση με μετρήσεις GNSS. Για αυτό τον σκοπό επιλέχθηκε ένα λατομείο ανοιχτού τύπου. Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής: με φωτογραμμετρικές μεθόδους μέσω UAV το αποτέλεσμα ήταν 12.749 m³ ενώ με GNSS ήταν ίσο με 12.606 m³. Η διαφορά είναι 143 m³, με τον όγκο του UAV να είναι μεγαλύτερος. Άρα παρουσιάζεται μια διαφορά όγκου 1.1% [22]. Σημειώνεται ότι σε μερικές χώρες η νομοθεσία αναφέρει ότι ο όγκος πρέπει να υπολογίζεται με ακρίβεια 3% του συνολικού υλικού.

Το 2020 πραγματοποιήθηκε μελέτη και είχε ως σκοπό να μετρήσει τον όγκο μεταφερόμενης άμμου. Εδώ ο όγκος της άμμου μετριέται με την διαφορική μέθοδο, η οποία πολλαπλασιάζει την διαφορά ύψους μεταξύ των 3D επιφανειών του σκάφους και της άμμου. Ο όγκος που λαμβάνεται από UAV είναι 2% σε σχέση με τον όγκο αναφοράς, που μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτός. Από την άλλη πλευρά ο όγκος που μετρήθηκε από την χειροκίνητη μέθοδο του πεδίου είναι χαμηλή και αναξιόπιστη ενώ με βάση UAV οι μέθοδοι μπορούν να επιτύχουν αποτελέσματα κοντά στον όγκο αναφοράς [23].

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα δοθεί μια πιο εκτενής αναφορά για τον τρόπο σχεδιασμού και εκτέλεσης της μεθόδου αποτύπωσης και κατ' επέκταση της διάρθρωσης των πειραμάτων που έλαβαν χώρα στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, θα δοθούν πληροφορίες για τη δημιουργία του τοπικού συστήματος αναφοράς, την αρχιτεκτονική και τη μεθοδολογία της εργαστηριακής μελέτης που έλαβε χώρα, καθώς επίσης και της απόδοσης σε επίπεδο ακρίβειας.

Η προσέγγιση του πειράματος μας είναι η εξής: χρησιμοποιούμε γνωστή ποσότητα όγκου σε μικρή κλίμακα ώστε να διαπιστώσουμε πώς οι συνήθεις παράμετροι οι οποίοι επηρεάζουν την ακρίβεια της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης επηρεάζουν και τον προσδιορισθέντα όγκο. Η μεταφορά των πειραμάτων στο εργαστήριο προϋποθέτει τη χρήση μικρού και ευμετάβλητου όγκου μελέτης, πράγμα που επιτυγχάνεται με τη χρήση απλής πυριτικής άμμου.

Αρχικά έλαβε χώρα ο ορισμός ενός τοπικού συστήματος αναφοράς για να μπορούμε να ποσοτικοποιούμε τις μετρήσεις μας. Το σύστημα αναφοράς ορίζεται από ένα σημείο, που είναι η αρχή του συστήματος, από έναν ή περισσότερους άξονες, οι οποίοι διέρχονται από το σημείο της αρχής, και από την μονάδα μέτρησης αντίστοιχα κατά μήκος κάθε άξονα [4].

Για την υλοποίηση του δικού μας τοπικού συστήματος αναφοράς χρησιμοποιήθηκε σχεδιαστικό πρόγραμμα στο οποίο εισαγάγαμε μία εικόνα υψηλής ανάλυσης και τοποθετήσαμε τα GCP σε γνωστές θέσεις άρα και σε γνωστές συντεταγμένες. Δημιουργήσαμε την αρχή των αξόνων μας (0,0) αυθαίρετα στο κάτω αριστερά μέρος της εικόνας. Έπειτα τοποθετήσαμε γραφικά σημεία (GCP) κατά τον άξονα του X και Y ανά 10 και 20 cm αντίστοιχα, δημιουργώντας ένα ορθογώνιο κάναβο διαστάσεων (51.5 x 85.4) cm. Το κέντρο από κάθε GCP περνούσε από την τομή των νοητών ευθειών των παράλληλων στους άξονες X & Y. Τέλος, εκτυπώθηκε η παραπάνω εικόνα υψηλής ανάλυσης η οποία απετέλεσε και το υπόβαθρο-βάση της περαιτέρω μεθοδολογίας.

Στη συνέχεια έλαβε χώρα η μέτρηση του όγκου της άμμου. Σ' ένα δοχείο μετρήθηκε ο όγκος νερού καθώς η πυκνότητα του είναι γνωστή και ισούται με 1 g/cm^3 . Άρα σύμφωνα με τον τύπο $\rho = m/v$ βρίσκουμε τον όγκο και σημειώνουμε με χαραγή την στάθμη του νερού που αντιστοιχεί σε $3 \text{ kg} = 3 \text{ l}$. Έτσι τοποθετούμε την άμμο στο ίδιο πλέον άδειο δοχείο, μέχρι τη χαραγή επιτυγχάνοντας η άμμος να έχει όγκο ίσο με 3000 cm^3 .

Αφού μετρήθηκε ο όγκος της άμμου την τοποθετούμε πάνω στην εκτυπωμένη εικόνα όπου έχουμε υλοποιήσει το τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Αναδιατάσσοντας την άμμο μπορούν να δημιουργηθούν διαφορετικοί μορφολογικοί σχηματισμοί προσομοιώνοντας όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά, βουνά, χαράδρες, πεδιάδες, κλπ. Η άμμος προφανώς καλύπτει κάποια από τα GCP πράγμα όμως που δεν μας επηρεάζει καθώς περιμετρικά της

εικόνας υπάρχουν αρκετά. Παρόλα αυτά, σε πολλά πειράματα προσθέσαμε GCP και σε υψόμετρα πάνω στην άμμο με κατάλληλες προσαρτώμενες κατασκευές, πραγματοποιώντας αργότερα τις κατάλληλες αναγωγές όγκου. Στη συνέχεια φωτογραφίζουμε την άμμο από διάφορα ύψη και σε διαφορετικές συνθήκες με τη βοήθεια οπτικών καμερών. Η αναλυτική διαδικασία που πραγματοποιείται στο λογισμικό εντοπίζεται στο Κεφάλαιο 4.

Για την εκτέλεση των πειραμάτων, οι παράμετροι που τροποποιούνται για να αποτιμηθεί η συνεισφορά τους κατά τον προσδιορισμό του όγκου και αναφέρθηκαν στην εισαγωγή της διπλωματικής, θα περιγράφουν με λίγα λόγια ώστε να γίνει κατανοητή η σημασία τους.

3.1.1 ΑΡΙΘΜΟΣ GCP ΚΑΙ Η ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ

Τα σημεία ελέγχου εδάφους (GCP) είναι θεμελιώδους σημασίας στη φωτογραμμετρία και σε σειρά άλλων μεθοδολογιών σύνδεσης συστημάτων συντεταγμένων (π.χ. στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, την τηλεπισκόπηση). Μερικές φορές τα GCP δεν είναι απαραίτητα, π.χ. όταν τα αποτελέσματα μιας μελέτης αφορούν αποκλειστικά σχετική ακρίβεια. Αλλά όταν η εναέρια έρευνα πρέπει να περιλαμβάνει απόλυτη ακρίβεια τοποθεσίας (δηλαδή, όλα τα σημεία στο χάρτη να έχουν γεωγραφική αναφορά μέσω π.χ. λόγω σύνδεσης με ένα Εθνικό ή Παγκόσμιο σύστημα αναφοράς) τα GCP είναι ένας τρόπος για να διασφαλιστεί αυτή η σύνδεση. Συμπερασματικά, η ακρίβεια των GCP παίζει ουσιαστικό ρόλο στη συσχέτιση των συστημάτων συντεταγμένων, και μπορεί να εισαγάγει σημαντικά σφάλματα στη διαδικασία. Τα GCP, καθώς αποτελούν τον τρόπο σύνδεσης των συστημάτων και μετρούνται συνήθως με ακριβής μεθόδους, συμπαρασύρουν το μοντέλο το οποίο εκπροσωπούν για να “υπακούσει” στη θέση τους [24]. Βέβαια και αυτά εισέρχονται στη διαδικασία της επίλυσης και εκτίμησης των ακριβειών, οπότε κρίνονται ως προς την αξιοπιστία τους και τη συμβολή τους κατά τη συσχέτιση των συστημάτων αναφοράς.

Ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λάβουμε υπόψη κατά τη χρήση των GCP είναι ο αριθμός των GCP που χρειαζόμαστε για την βελτιστοποίηση των φωτογραμμετρικών αποτελεσμάτων. Ανάλογα με το είδος του μετασχηματισμού που χρησιμοποιείται κατά τον εξωτερικό/απόλυτο προσανατολισμό, η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιείται με τη χρήση τουλάχιστον τριών GCP, αλλά επιτυγχάνονται υψηλότερες ακρίβειες χρησιμοποιώντας περισσότερα σημεία ελέγχου στο έδαφος [25]. Μια άλλη πλευρά δηλώνει ότι απαιτούνται τουλάχιστον τέσσερα GCP ώστε να ολοκληρωθούν οι φωτογραμμετρικές μετρήσεις.

Είναι επίσης σημαντικό να ληφθούν υπόψη τα ευρήματα του Agüera-Vega (2016), ο οποίος παρατήρησε ότι η ακρίβεια αυξάνεται με τον αριθμό των GCP που χρησιμοποιήθηκαν σε μια μελέτη που κατέληξε στο συμπέρασμα ότι 10 GCP (ο μέγιστος αριθμός που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη) απέδωσαν το καλύτερο αποτέλεσμα. Ενώ αμφισβητείται ο βέλτιστος αριθμός GCP, η πλειοψηφία των μελετών συμφωνεί ότι όσο περισσότερα GCP χρησιμοποιούνται, τόσο περισσότερο βελτιώνονται οι ακρίβειες [26].

Όπως έχει προαναφερθεί ο ελάχιστος αριθμός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστεί με επιτυχία μια θέση είναι αυτός των τριών GCP, των οποίων γνωρίζουμε τις συντεταγμένες X,Y,Z. Ανάλογα με την έκταση της περιοχής και την μορφολογία της, μπορούμε να προσθέτουμε ή να αφαιρούμε GCP ώστε να εντοπίσουμε τον συνδυασμό αριθμού και πυκνότητας τους που προσεγγίζει το σωστό αποτέλεσμα ογκομέτρησης.

Μια σειρά από πειράματα έλαβε χώρα ώστε να καταλήξουμε στις πιο αποτελεσματικές διατάξεις των GCP και τον αριθμό τους. Ιδανικά θα θέλαμε να πετύχουμε ένα προσεγγιστικά σωστό αποτέλεσμα με τη χρήση λίγων GCP και η διάταξη τους να είναι τέτοια ώστε να διευκολύνει την αποστολή.

Τα πειράματα που έλαβαν χώρα, διαφοροποιούν την επιλογή των GCP στις παρακάτω ομάδες:

- Επιλογή GCP στις άκρες του καμβά,
- Επιλογή των GCP περιμετρικά της άμμου-περιοχής μελέτης,
- Τυχαία τοποθέτηση,
- Ισεμβαδικός διαχωρισμός του καμβά σε τετραγωνικό κάναβο και τοποθέτηση τουλάχιστον ενός GCP εντός του κάθε τετραγώνου,
- Προσανατολισμένη τοποθέτηση: επιλογή ενός από τα τέσσερα σημεία του ορίζοντα και τοποθέτηση όλων των GCP προς εκείνη την κατεύθυνση,
- Υψομετρική πύκνωση σημείων,
- Επιλογή κεντρικών σημείων,
- Επιλογή σημείων στις γωνίες του κανάβου.

Σ' όλες τις περιπτώσεις υπήρξε πυκνή, μέτρια και αραιή τοποθέτηση των GCP ώστε να αντιληφθούμε ποια κατανομή δίνει τα πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα.

3.1.2 ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ

Οι αεροφωτογραφίες αποτελούνται από σειρές φωτογραφιών κατά μήκος κάθε μίας εκ των γραμμών πτήσεων. Για να εξασφαλιστεί η στερεοσκοπική κάλυψη σε ολόκληρο τον χώρο μελέτης, οι φωτογραφίες πρέπει να επικαλύπτονται σε δύο κατευθύνσεις: κατά τη γραμμή-διεύθυνση πτήσης (overlap) και μεταξύ παρακείμενων πτήσεων (sidelap) [27].

Αεροφωτογραφίες χωρίς αρκετή επικάλυψη (overlap) δεν είναι δυνατόν να δημιουργήσουν σωστό DSM και ορθοφωτογραφίες. Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχουν αρκετά κοινά σημεία μεταξύ των φωτογραφιών, έτσι ώστε να μπορεί να λάβει χώρα μια πιο ρεαλιστική αποτύπωση του χώρου και να δημιουργηθούν τα στερεοζεύγη.

Για να αυξήσουμε την αποτελεσματικότητα των μετρήσεων θέλουμε να αυξήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο το ποσοστό επικάλυψης, το οποίο καθορίζεται από το ύψος πτήσης και την ταχύτητα του αεροσκάφους μας, χωρίς όμως να επιβαρύνεται το στάδιο της επεξεργασίας των φωτογραφιών με υπερφόρτωση αυτών.

Κάθε σημείο του εδάφους που θα απεικονιστεί πρέπει να είναι εμφανές σε τουλάχιστον δύο αεροφωτογραφίες, συνεπώς για να μην υπάρχουν κενά στα στερεομοντέλα πρέπει να έχουμε ένα καλό ποσοστό επικάλυψης μεταξύ των δύο φωτογραφιών. Ο καθορισμός του ποσοστού επικάλυψης επηρεάζει τον χρόνο μεταξύ των διαδοχικών φωτογραφιών ενώ η πλευρική επικάλυψη (sidelap) την απόσταση μεταξύ των γραμμών πτήσης.

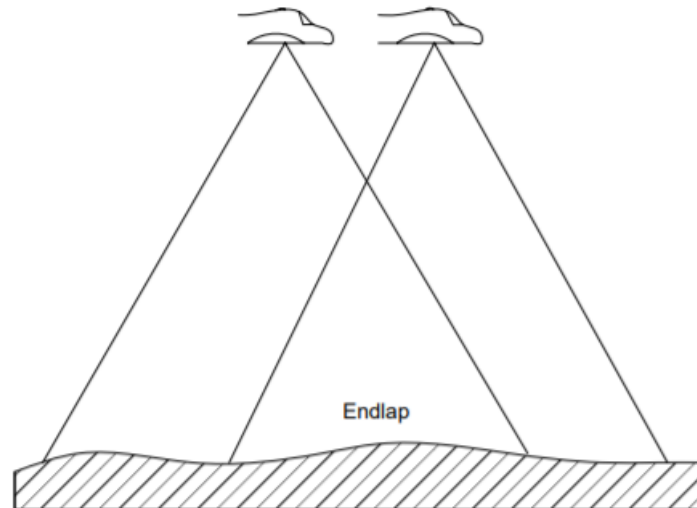


FIGURE 14 : ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΓΙΑ OVERLAP (ΠΗΓΗ : [HTTPS://GIS-LAB.INFO/DOCS/BOOKS/AERIAL-MAPPING/CR1557_06.PDF](https://gis-lab.info/docs/books/aerial-mapping/CR1557_06.pdf))

Για τα περισσότερα έργα χαρτογράφησης με επανδρωμένα αεροσκάφη το ποσοστό επικάλυψης στην γραμμή πτήσης κυμαίνεται μεταξύ 55% και 65% του μήκους μιας φωτογραφίας, με μέσο όρο 60%. Η πλευρική επικάλυψη περιλαμβάνει τις επικαλυπτόμενες περιοχές με φωτογραφίες μεταξύ παρακείμενων γραμμών πτήσης. Είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μην υπάρχουν κενά στην τρισδιάστατη κάλυψη ενός έργου πολλαπλών γραμμών.

Συνήθως, το sidelap κυμαίνεται μεταξύ 20 και 40% του πλάτους μιας φωτογραφίας, με μέσο όρο 30%. Η εικόνα 3.1.2 απεικονίζει το μοτίβο πλευρικής επικάλυψης σε ένα έργο [27]. Στη φωτογραμμετρική αποτύπωση εικόνων από UAVs με τα κοινά λογισμικά ευρείας χρήσης προτείνεται overlap 70-80% και sidelap 60-70%.

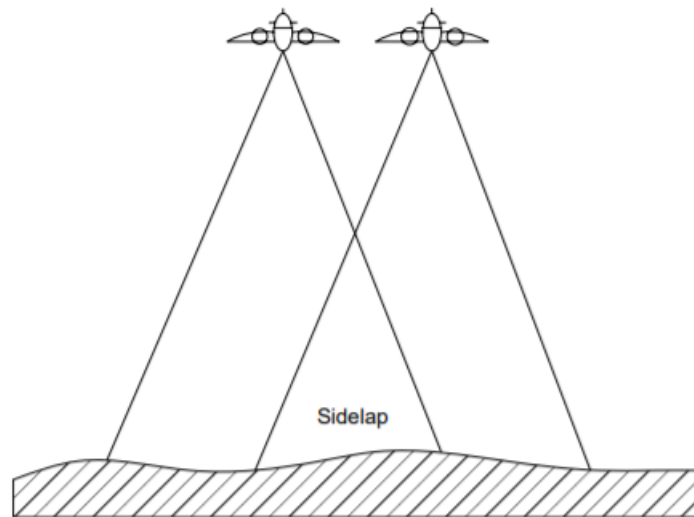


FIGURE 15 : ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΓΙΑ SIDELAP (ΠΗΓΗ : [HTTPS://GIS-LAB.INFO/DOCS/BOOKS/AERIAL-MAPPING/CR1557_06.PDF](https://gis-lab.info/docs/books/aerial-mapping/CR1557_06.pdf))

3.1.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Μια άλλη παράμετρος είναι αυτή της μορφολογίας του εδάφους. Οφείλουμε να ελέγχουμε σε τι ποσοστό η μορφολογία επηρεάζει τον προσδιορισμένο όγκο εδάφους. Για αυτό τον λόγο έλαβαν χώρα δοκιμές τόσο σε μορφές άμμου επίπεδων επιφανειών, όπως για παράδειγμα μια προσομοιωμένη πεδιάδα, όσο και σε μορφολογικά πολύπλοκες επιφάνειες όπως στην περίπτωση προσομοιωμένων βουνών, χαραδρών, κ.λ. Στόχος μας είναι να προσφέρουμε μία ποικιλία επιφανειών προς μέτρηση, για να δούμε αν επηρεάζει η μορφολογία τον μετρούμενο όγκο.

3.1.4 ΎΨΟΣ ΠΤΗΣΗΣ

Το ύψος πτήσης αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες για την όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση των γεωμορφολογικών ογκομετρήσεων. Ο προσδιορισμός του υψομέτρου, στην ουσία το βέλτιστο ύψος πτήσης, επιδρά άμεσα τόσο στα ίδια τα δεδομένα όσο και στον χρόνο και κόστος απόκτησης τους.

Στο πείραμα μας έλαβαν χώρα μια σειρά από πειράματα σε διαφορετικά υψόμετρα ώστε να προσεγγίσουμε τον όγκο του εδαφικού μας δείγματος. Σ' όλα τα υψόμετρα ελέγχουμε να είναι ευδιάκριτα τα GCP μας. Σκεπτόμενοι πως το ύψος πτήσης συνδέεται άμεσα και με τον αριθμό των φωτογραφιών αλλά και το ποσοστό επικάλυψης, με μια πρώτη σκέψη καταλήγουμε στο γεγονός ότι σε όσο πιο μικρό υψόμετρο πετάμε τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο αριθμός των φωτογραφιών ώστε να καταφέρουμε να υλοποιήσουμε ένα DEM χωρίς κενά. Ο περιορισμός στα υψόμετρα που επιλέξαμε οφείλεται στον συνδυασμό της ευκρίνειας των GCP αλλά και την μετέπειτα διαδικασία του έργου στο γραφείο.

3.1.5 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Αυτή η παράμετρος είναι άμεσα συνδεδεμένη με το ποσοστό επικάλυψης. Αν το ποσοστό επικάλυψης είναι μεγάλο αναγκαστικά και η ποσότητα φωτογραφιών θα είναι μεγαλύτερη από ότι αν το ποσοστό επικάλυψης ήταν μικρότερο. Μας ενδιαφέρει να εντοπίσουμε το καλύτερο φάσμα του αριθμού φωτογραφιών για την πιθανή ογκομέτρηση εδαφικού δείγματος, καθώς επίσης αντιλαμβανόμαστε ότι ένας ογκώδης αριθμός φωτογραφιών θα δυσχεραίνει το έργο της επεξεργασίας των μετρήσεων.

3.1.6 ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ / ΣΚΙΑΣΕΙΣ

Κατά την διάρκεια μιας πτήσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι καιρικές συνθήκες. *“Ημέρες μετά από βροχή είναι συνήθως κατάλληλες για αεροφωτογράφιση διότι η ατμόσφαιρα είναι καθαρή. Ημέρες με νέφωση αποφεύγονται για προφανείς λόγους. Αυτό ισχύει ακόμα και αν τα νέφη βρίσκονται σε ύψη μεγαλύτερα από το ύψος πτήσης. Ο λόγος είναι ότι ακόμη και τότε οι σκιές που δημιουργούνται στο έδαφος είναι ικανές είτε να αποκρύψουν είτε να καταστήσουν εν πάσει περιπτώσει δυσδιάκριτο ένα μεγάλο ποσό πληροφοριών” [14].*

3.1.7 ΚΛΙΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

Μια ακόμη παράμετρος είναι αυτή της κλίσης της αεροφωτογραφίας. Στην περίπτωση των κατακόρυφων φωτογραφιών διαπιστώνουμε ότι έχουμε σχεδόν ομοιόμορφη κλίμακα σε όλη την έκταση της αεροφωτογραφίας σε αντίθεση με τις πλάγιες, όπου μεταβάλλεται τοπικά (Εικόνα 3.1.2). Επίσης, οι πλάγιες φωτογραφίες μπορούν να ανακατασκευάσουν με καλύτερη ακρίβεια τα κεκλιμένα στοιχεία που αποτυπώνουν, σε αντίθεση με τις κατακόρυφες που συχνά χάνουν πληροφορία σε σχετικά μεγάλες υψομετρικές διαφορές. Παρόλα αυτά οι κεκλιμένες λήψεις επικεντρώνονται μόνο σε μία κατεύθυνση του αντικειμένου και χρειάζονται πολλές πτήσεις ή αισθητήρες για να καλυφθούν ισομερώς όλες οι κατευθύνσεις απεικόνισης.

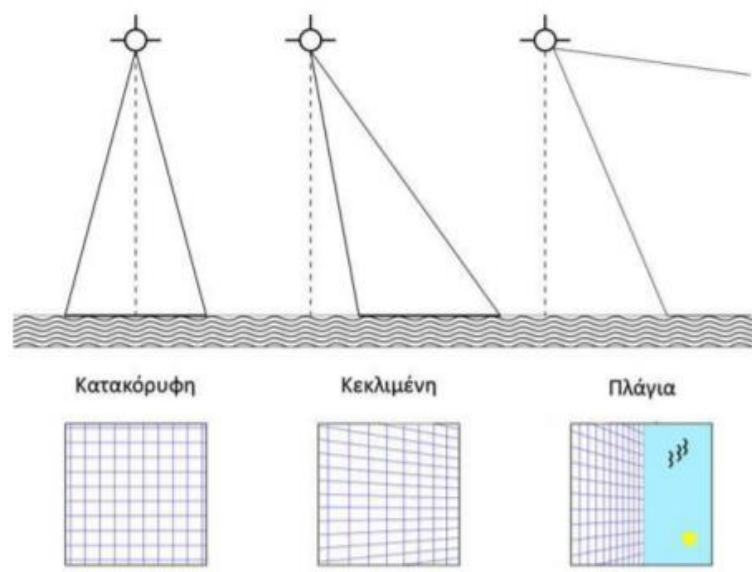


FIGURE 16 : ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ.

Τα σημεία και τα αντικείμενα που εμφανίζονται μόνο σε φωτογραφίες με πολύ χαμηλές γωνίες έχουν πολύ χαμηλότερη ακρίβεια από τα σημεία σε φωτογραφίες που απέχουν περισσότερο από 90 μοίρες. Για παράδειγμα ένα σημείο το οποίο εμφανίζεται μόνο σε δύο φωτογραφίες οι οποίες έχουν τραβηχτεί πολύ κοντά ή μια στην άλλη έχουν χαμηλή ακρίβεια.

3.1.8 ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

Μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή καταγράφει εικόνες μέσω pixel. Τα pixel είναι τα μικρότερα συστατικά ενός αισθητήρα ψηφιακής κάμερας. Συνεπώς όσο πιο μεγάλη είναι η ανάλυση τόσο περισσότερες λεπτομέρειες καταγράφονται από την φωτογραφία. Δεν είναι δεσμευτικό όμως ότι όσο πιο πολλά εικονοστοιχεία έχουμε τόσο πιο καλή η ποιότητα της εικόνας, καθώς η ποιότητα εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως είναι η φωτεινότητα, η σωστή έκθεση κ.λ. Η ανάλυση της εικόνας εξαρτάται από τον τύπο της κάμερας.

3.1.9 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΑΜΕΡΕΣ

Τα πειράματα που έλαβαν χώρα στο εργαστηριακό περιβάλλον δεν πραγματοποιήθηκαν μόνο από μια κάμερα. Εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις: αυτή από μια καθημερινή κινητή

συσκευή και από ένα drone. Κάθε τύπος κάμερας έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και κατά συνέπεια μεταβάλλονται τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού.

3.2 CONTROL POINTS & CHECK POINTS

Η διαφορά μεταξύ των σημείων ελέγχου control points (αριστερά) και των σημείων ελέγχου check points (δεξιά) εμφανίζεται στη φάση επεξεργασίας των δεδομένων. Εάν αντιστοιχίσουμε σημεία των εικόνων με τα GCP, το λογισμικό θα συνδέσει ή ακόμη και θα μετακινήσει αυτά τα σημεία ώστε να είναι σύμφωνα με τα γνωστά σημεία στο σύστημα αναφοράς που έχουμε ορίσει. Τα σημεία ελέγχου check points, από την άλλη πλευρά, είναι ένα υποσύνολο των αρχικά μετρούμενων GCP τα οποία δεν υπεισέρχονται στη φωτογραμμετρική επίλυση, αλλά χρησιμοποιούνται εκ των υστέρων για να συγκριθεί η εκτιμώμενη θέση τους με αυτή που έχει ήδη μετρηθεί.

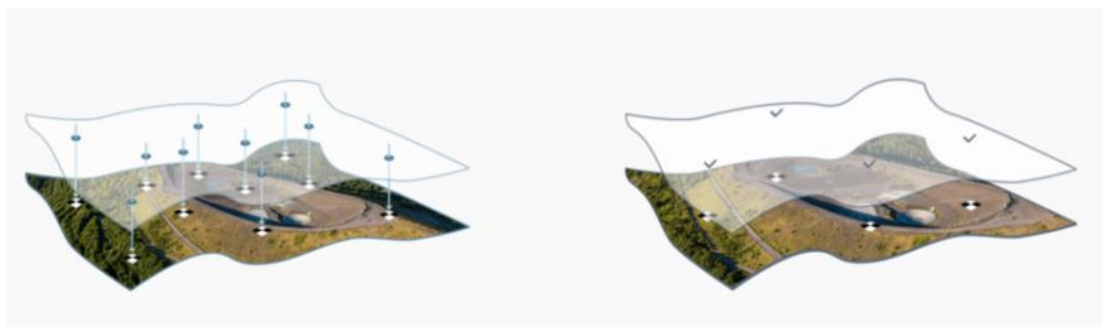


FIGURE 17 : ΔΙΑΦΟΡΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS.([HTTPS://WINGTRA.COM/GROUND-CONTROL-POINTS-HOW-MANY-DO-YOU-NEED-AND-WHEN-ARE-CHECKPOINTS-ENOUGH/](https://wingtra.com/ground-control-points-how-many-do-you-need-and-when-are-checkpoints-enough/)).

Τα GCP, συνεπώς, είναι τα σημεία που έχουμε επισημάνει στο πεδίο και έχουμε μετρήσει με ακρίβεια πριν αποκτήσουμε τις εναέριες φωτογραφίες. Αυτές οι συντεταγμένες αργότερα εισάγονται στο λογισμικό για να συνδέσουν τις εικόνες. Πρακτικά τα control points χρησιμοποιούνται στη αρχική διαδικασία γεωαναφοράς ενώ τα check points χρησιμοποιούνται μόνο στον έλεγχο αξιολόγησης.

3.3 ΑΚΡΙΒΕΙΑ

Σε μια πειραματική διαδικασία ο ποιοτικός έλεγχος τόσο των μετρήσεων όσο και των αποτελεσμάτων αποτελεί πυλώνα για περαιτέρω εφαρμογή της μεθοδολογίας που αξιολογείται. Η ακρίβεια-ορθότητα (accuracy) εκφράζει το βαθμό εγγύτητας μιας παρατήρησης ως προς την (άγνωστη) πραγματική της τιμή [24]. Αναφορικά με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εξαρτάται από όλες τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο.

Η ακρίβεια και η ορθότητα έχουν την εννοιολογική διαφορά που φαίνεται παρακάτω:

Accuracy – Ορθότητα → Μας υποδηλώνει πόσο κοντά βρίσκεται η θεωρητική στην πραγματική τιμή.

Precision - Ακρίβεια → Μας υποδηλώνει πόσο κοντά είναι μεταξύ τους οι μετρήσεις.

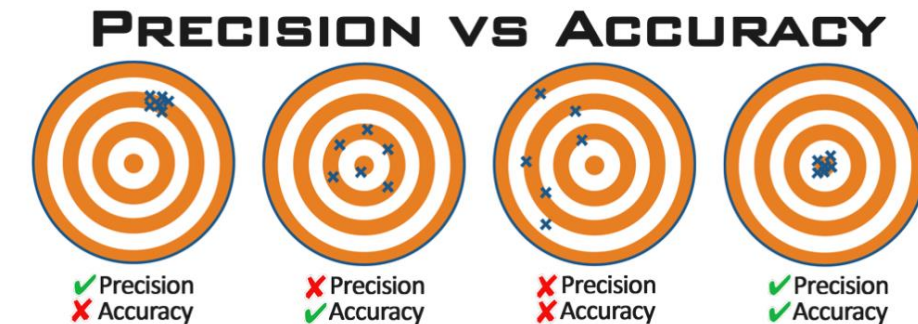


FIGURE 18 :ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΚΡΙΒΕΙΩΝ (WWW.PRECISIONRIFLEBLOG.COM).

3.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Στην παρούσα διπλωματική θελήσαμε να πραγματοποιήσουμε και μια στατιστική προσέγγιση του προβλήματος για να έχουμε μια εικόνα για τον βαθμό αλληλεξάρτησης μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών που συναντάμε στα πειράματα. Αυτή η στατιστική προσέγγιση πραγματοποιείται με τον δείκτη συσχέτισης. Η συσχέτιση είναι ένα στατιστικό μέτρο που εκφράζει τον βαθμό στον οποίο δύο μεταβλητές σχετίζονται γραμμικά, πως δηλαδή αλλάζουν μαζί, με σταθερό ρυθμό. Είναι ένα κοινό μέσο για να περιγράψει μια σχέση χωρίς όμως να επεκτείνεται σε δηλώσεις σχετικά με την αιτία και το αποτέλεσμα.

Ο συντελεστής συσχέτισης r ποσοτικοποιεί την ισχύς της σχέσης και ορίζεται ως εξής:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (3.3.1)$$

Όπου σ_{XY} είναι η συνδιασπορά και ισούται με $\text{Cov}(X, Y) = E(X, Y) - E(X)E(Y)$ και σ_X & σ_Y αντίστοιχα η διασπορά των δύο τυχαίων μεταβλητών. Η συνδιασπορά παίρνει τιμές που εξαρτώνται από το πεδίο τιμών των X και Y ενώ ο συντελεστής r παίρνει τιμές στο διάστημα $[-1, 1]$.

Οι χαρακτηριστικές τιμές του r ερμηνεύονται ως εξής:

- $r = 1$: υπάρχει τέλεια θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο τυχαίων μεταβλητών. Για μια θετική αύξηση σε μια μεταβλητή, υπάρχει επίσης μια θετική αύξηση στη δεύτερη μεταβλητή.
- $r = 0$: δεν υπάρχει καμιά (γραμμική) συσχέτιση μεταξύ των δύο τυχαίων μεταβλητών,

- $r = -1$: υπάρχει τέλεια αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δύο τυχαίων μεταβλητών. Αυτό δείχνει ότι οι μεταβλητές κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις, για μια θετική αύξηση σε μια μεταβλητή, υπάρχει μια μείωση στη δεύτερη μεταβλητή, [29,30].

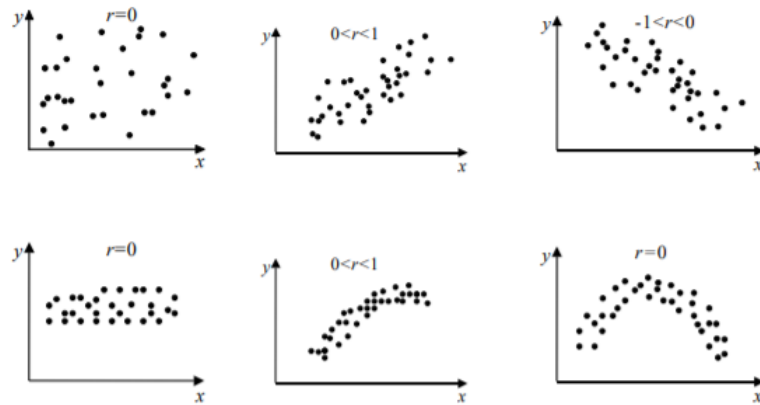


FIGURE 19 : ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιαστούν οι πειραματικές πλέον διαδικασίες και αποτελέσματα που έλαβαν χώρα για τον ογκομετρικό προσδιορισμό του εδαφικού δείγματος. Έρχεται να εμπλουτίσει το προηγούμενο θεωρητικό κεφάλαιο και να αποδώσει την πρακτική πτυχή του και την αξιολόγηση των πειραμάτων αυτών.

Είναι σημαντικό πριν παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, να περιγράψουμε μία σειρά παραδοχών που έχουν ληφθεί ως προϋπόθεση για την καλύτερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων και οι οποίες εκφράζονται βάσει των παρακάτω διατυπώσεων:

- Δεν πραγματοποιείται σύγκριση ή αξιολόγηση των αλγορίθμων εκτίμησης όγκου,
- Πραγματοποιείται η υλοποίηση σε συγκεκριμένη κλίμακα εντός του εργαστηρίου και δεν υπάρχει σαφές ανάλογο που να τις συνδέει με πραγματικές εφαρμογές πλήρους κλίμακας. Άρα τα συμπεράσματα θα είναι ενδεικτικά και όχι κατ' ανάγκη γενικεύσιμα και ανάλογα του «έξω κόσμου»,
- Δεν αξιολογούμε ως προς την αξιοπιστία τους ή αναλύουμε τα σφάλματα που μας παρέχει το λογισμικό, αλλά τα θεωρούμε ως δεδομένα και αξιολογούμε κυρίως τη συσχέτισή τους με άλλα μεγέθη. Ένας κύριος λόγος για αυτή την επιλογή, είναι ότι δεν υπάρχει σαφής εικόνα για τον τρόπο υπολογισμού των σφαλμάτων στα εγχειρίδια του λογισμικού και στην ιστοσελίδα του λογισμικού, παρά μόνο μία ασαφής περιγραφή τους.

4.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα πειράματα έλαβαν μέρος στο εργαστήριο, όπου διαρθρώθηκε κατάλληλα για την εκτίμηση του όγκου γνωστής ποσότητας άμμου. Η περιοχή μελέτης μας ορίζεται ως μία ορθογώνια επίπεδη εκτυπωμένη εικόνα διαστάσεων: 85.4 x 51.5 cm, πάνω στην οποία έχουν υλοποιηθεί τα 54 μόνιμα GCP (βλέπε εικόνα 4.1), εξαιρουμένων των περιπτώσεων όπου τοποθετήθηκαν τα 4 επιπλέον GCP σε διαφορετικά υψόμετρα. Τα υψόμετρα παρατίθενται στο παράρτημα Α'.



FIGURE 20 : ΚΑΜΒΑΣ ΜΕ 54 GCP, ΟΠΟΥ ΕΛΑΒΑΝ ΧΩΡΑ ΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ.

Τα GCP τοποθετήθηκαν ανά 10 cm στον άξονα X και ανά 20 cm στον άξονα Y και μορφοποιούνται κατάλληλα, ώστε να είναι αυτόματα αναγνωρίσιμα από το λογισμικό. Ακολουθεί αναλυτικός πίνακας με τις συντεταγμένες στο παράρτημα Α'. Ένα από τα κύρια λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του πειράματος είναι το Agisoft Photoscan Pro. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα λαμβάνει ως είσοδο ψηφιακές εικόνες για την παραγωγή ενός τρισδιάστατου μοντέλου.

Βασικός μας στόχος με την χρήση του παραπάνω λογισμικού είναι να φτάσουμε στην παραγωγή ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου και επακόλουθα να μετρήσουμε τον όγκο του.

Για να καταλήξουμε, λοιπόν, στην υλοποίηση αυτού του μοντέλου πρέπει να ακολουθήσουμε μια σειρά βημάτων με πρωταρχικό σκοπό την παραγωγή ενός πυκνού δικτύου νέφους σημείων. Πρακτικά και για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα των σημείων, τόσο πιο καθαρό και ακριβές θα είναι το ψηφιακό μοντέλο.



FIGURE 21 : ΠΥΚΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΝΕΦΟΥΣ

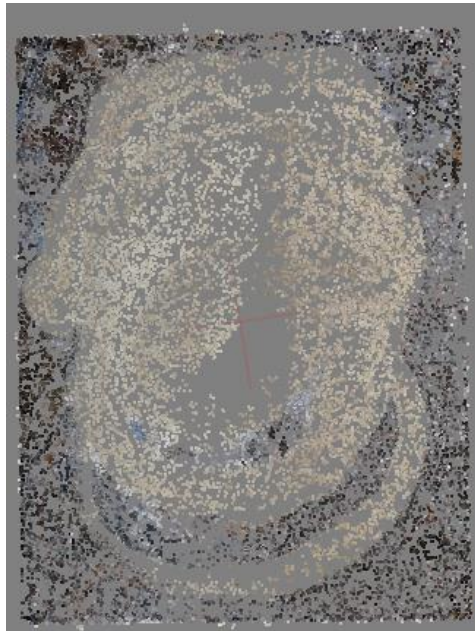


FIGURE 22 : ΑΧΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΝΕΦΟΥΣ



FIGURE 23 ΠΥΚΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΝΕΦΟΥΣ

Μετά την εισαγωγή των εικόνων στο λογισμικό, ακολουθεί η προσθήκη των δεδομένων βαθμονόμησης και διορθώνονται οι εικόνες. Έπειτα, το λογισμικό ταιριάζει τα ομοειδή σημεία μεταξύ όλων των εικόνων, ήτοι υπολογίζει τα στοιχεία του σχετικού προσανατολισμού. Στο επόμενο βήμα, πραγματοποιείται η γεωαναφορά του μοντέλου, η οποία προϋποθέτει την ύπαρξη σημείων GCP με γνωστές συντεταγμένες στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς, για να αποκτήσει το μοντέλο σωστή θέση, κλίμακα και προσανατολισμό. Σε αυτό το στάδιο γίνεται η αποκατάσταση του απόλυτου προσανατολισμού. Αρχικά πραγματοποιείται ο αυτόματος εντοπισμός των ήδη υπάρχων GCP από το σύστημα του λογισμικού και έπειτα ακολουθεί η προσθήκη των τοπικών συντεταγμένων (Εικόνα 4.7). Επιπλέον, το λογισμικό μας επιτρέπει να επιλέξουμε ποια GCP θα χρησιμοποιηθούν ως Control Points και ποια ως Check Points, παρατηρώντας παράλληλα ποια είναι τα γενικά σφάλματα των GCP στον απόλυτο προσανατολισμό και ποια τα σφάλματα σε pixel.

Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα η δημιουργία του πολυγωνικού πλέγματος (σύμφωνα με την ορολογία του Agisoft ονομάζεται mesh). Σε αυτό το στάδιο το πρόγραμμα προσπαθεί να ανακατασκευάσει ένα πολυγωνικό μοντέλο πλέγματος, βασιζόμενο στις πληροφορίες που του δόθηκαν από το πυκνό δίκτυο νέφους.

Έπειτα το τρισδιάστατο μοντέλο εμπλουτίζεται με χρώμα και μια πιο ρεαλιστική υφή και όψη. Τέλος, καταλήγουμε στον αρχικό μας στόχο ο οποίος είναι η παραγωγή του DEM, σε πινακωτή μορφή raster, ή mesh.

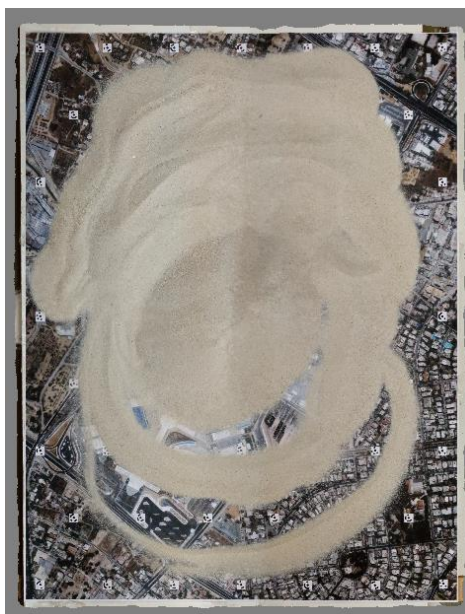


FIGURE 24 : ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΠΗΓΗ: ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ AGISOFT).

Αφού δημιουργείται και το DEM είμαστε σε θέση να μετρήσουμε τον όγκο της άμμου. Αυτό συμβαίνει στο λογισμικό, σχεδιάζοντας ένα πολύγωνο γύρω από τα όρια της άμμου ώστε να οριοθετήσουμε την περιοχή που θέλουμε να μετρηθεί.

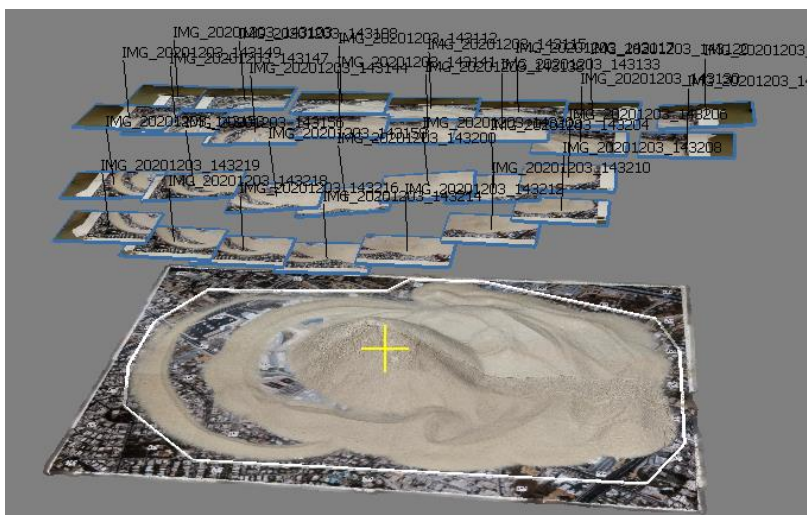


FIGURE 25 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ
(ΠΗΓΗ: ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ AGISOFT).

4.1.1.1 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Σε οποιαδήποτε μέτρηση που πραγματοποιείται για την υλοποίηση ενός πειράματος υπάρχει μια αναπόφευκτη και ποσοτικά εκφρασμένη έλλειψη ακρίβειας. Είναι μια μαθηματική διαφορά που υπάρχει αναγκαστικά στις μεθόδους μέτρησης και μας δείχνει το μέτρο της ποιότητας της ακρίβειας.

Στο λογισμικό Agisoft Photoscan Pro συναντάμε κυρίως δύο βασικά σφάλματα που αφορούν στις μετρήσεις, εκφρασμένα σε μονάδες απόστασης, και *pixel*. Από τη στιγμή που πραγματοποιείται η συσχέτιση των σημείων μεταξύ των εικόνων, λαμβάνει χώρα ο σχετικός προσανατολισμός. Άρα ανακατασκευάζοντας το τρισδιάστατο μοντέλο και σε συνδυασμό με τον σχετικό προσανατολισμό, μπορούν να προσδιοριστούν αυτόματα τα GCP στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται στόχοι γνωστής γεωμετρίας. Σε αντίθετη περίπτωση που χρησιμοποιούνται π.χ. φυσικά σημεία ως GCP, καλούμαστε να ορίσουμε οπτικά τα GCP επί λίγων εικόνων (ή και μίας) και έπειτα το λογισμικό συμπληρώνει τη θέση τους στις υπόλοιπες εικόνες. Η οπτική επιβεβαίωση και ενδεχόμενη διόρθωση των σημείων αυτών – προβολών των GCP σε όλες τις εικόνες όπου φαίνονται, προδιαγράφει το σφάλμα που υπολογίζεται και παρουσιάζεται ως αριθμός *pixels*. Στο επόμενο στάδιο όπου εισαγάγουμε τις συντεταγμένες των GCP, υπολογίζεται το σφάλμα σε μονάδες μήκους και εκφράζει τη διαφορά των υπολογισμένων από τον απόλυτο προσανατολισμό συντεταγμένων των GCP, από τις γνωστές τους συντεταγμένες που έχουν εισαχθεί στο λογισμικό. Το πρώτο σφάλμα λοιπόν που εκφράζεται σε αριθμό *pixel*, εμπεριέχει το σφάλμα της σχετικής γεωμετρίας των εικόνων και καμερών καθώς και το σφάλμα που δημιουργούν οι χρήστες, προσδιορίζοντας

οπτικά τα σημεία των GCP στις εικόνες. Το δεύτερο σφάλμα που εκφράζεται σε μονάδες μήκους, εξαρτάται από τη γεωμετρία των εικόνων και καμερών, την ακρίβεια μέτρησης των GCP, την ικανότητα του μοντέλου μετασχηματισμού συντεταγμένων να αποδώσει τη σωστή γεωμετρία της απεικόνισης και τα εναπομείναντα τυχαία σφάλματα. Το σφάλμα στα check points αποτελεί ένα δείκτη ποιότητας της συνολικής διαδικασίας και ανάλογα με την τιμή του σε σύγκριση με το σφάλμα των control points, υποδηλώνει πιθανή υπερ-παραμετροποίηση ή και λάθος.

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> target 1	0.000000	0.000000	0.000000	0.005000	0.001500	4	0.524
<input checked="" type="checkbox"/> target 2	0.300000	0.200000	0.000000	0.005000	0.001366	7	0.863
<input checked="" type="checkbox"/> target 3	0.000000	0.200000	0.000000	0.005000	0.001659	6	0.406
<input checked="" type="checkbox"/> target 4	0.100000	0.200000	0.000000	0.005000	0.000746	1	0.000
<input checked="" type="checkbox"/> target 5	0.000000	0.400000	0.000000	0.005000	0.001974	7	0.604
<input checked="" type="checkbox"/> target 7	0.000000	0.600000	0.000000	0.005000	0.001305	6	0.583
<input checked="" type="checkbox"/> target 9	0.000000	0.800000	0.000000	0.005000	0.002792	5	0.493
<input checked="" type="checkbox"/> target 10	0.200000	0.000000	0.000000	0.005000	0.000487	3	0.403
<input checked="" type="checkbox"/> target 14	0.200000	0.800000	0.000000	0.005000	0.001108	5	0.586
<input checked="" type="checkbox"/> target 15	0.400000	0.000000	0.000000	0.005000	0.001824	4	0.701
<input checked="" type="checkbox"/> target 18	0.400000	0.800000	0.000000	0.005000	0.001591	1	0.000
<input checked="" type="checkbox"/> target 20	0.600000	0.000000	0.000000	0.005000	0.001470	3	0.633
<input checked="" type="checkbox"/> target 21	0.600000	0.200000	0.000000	0.005000	0.002853	5	0.510
<input checked="" type="checkbox"/> target 22	0.600000	0.400000	0.000000	0.005000	0.001910	7	0.449
<input checked="" type="checkbox"/> target 23	0.600000	0.600000	0.000000	0.005000	0.001804	2	0.214
<input checked="" type="checkbox"/> target 24	0.600000	0.800000	0.000000	0.005000	0.002648	1	0.000
<input checked="" type="checkbox"/> target 25	0.500000	0.200000	0.000000	0.005000	0.001921	8	0.514
<input checked="" type="checkbox"/> target 30	0.100000	0.000000	0.000000	0.005000	0.000336	2	0.376
<input checked="" type="checkbox"/> target 32	0.300000	0.000000	0.000000	0.005000	0.001064	2	0.004
<input checked="" type="checkbox"/> target 34	0.300000	0.800000	0.000000	0.005000	0.001161	2	0.112
<input checked="" type="checkbox"/> target 35	0.500000	0.800000	0.000000	0.005000	0.004278	2	0.048
<input checked="" type="checkbox"/> target 36	0.050000	0.100000	0.000000	0.005000	0.001084	3	0.098
<input checked="" type="checkbox"/> target 37	0.150000	0.100000	0.000000	0.005000	0.000683	7	0.404
<input checked="" type="checkbox"/> target 38	0.250000	0.100000	0.000000	0.005000	0.001000	2	0.210
<input checked="" type="checkbox"/> target 39	0.350000	0.100000	0.000000	0.005000	0.001115	4	0.741
<input checked="" type="checkbox"/> target 41	0.550000	0.100000	0.000000	0.005000	0.001853	6	0.416
<input checked="" type="checkbox"/> target 42	0.050000	0.700000	0.000000	0.005000	0.000803	6	0.411
<input checked="" type="checkbox"/> target 47	0.550000	0.700000	0.000000	0.005000	0.002285	5	0.183
<input checked="" type="checkbox"/> target 48	0.050000	0.300000	0.000000	0.005000	0.001890	2	0.170
Total Error							
Control points					0.001798		0.499
Check points							

FIGURE 26 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ (ΠΗΓΗ : ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ AGISOFT).

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα από διάφορα πειράματα που έλαβαν χώρα. Θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων και γραφικές απεικονίσεις για την σύγκριση των παραμέτρων που επηρεάζουν το αποτέλεσμα μας.

4.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΡΩΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.

Στην πρώτη ομάδα πειραματικών προσομοιώσεων ελήφθησαν από 15 έως 25 ζεύγη φωτογραφιών. Χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμοί από τέσσερα διαφορετικά ύψη με την ίδια εστιακή απόσταση (3.789 mm), και ίδια μορφολογική δομή εδάφους που χαρακτηρίζεται από “χαράδρες”, υψόμετρα και ομοιόμορφα σημεία “πεδιάδων” και τέλος ίδια φωτογραφική ανάλυση (4160x3120).

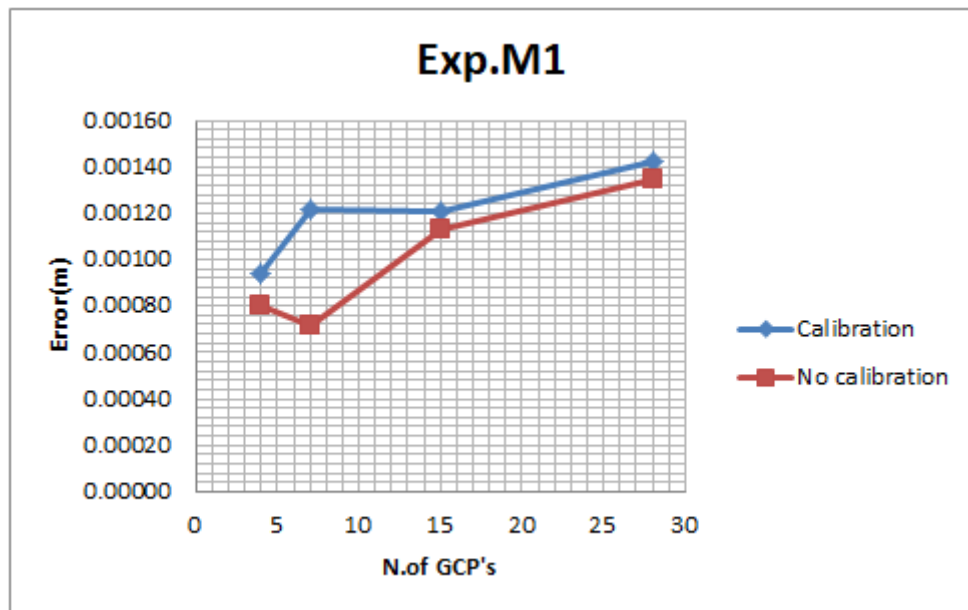
Ως προς την επίλυση του προσανατολισμού χρησιμοποιήθηκαν περίπου 28 GCP εκ των οποίων έγιναν διάφορες εναλλαγές για την προσέγγιση του όγκου. Πιο αναλυτικά στον πίνακα 4.1 είναι διαθέσιμοι οι συνδυασμοί που πραγματοποιήθηκαν.

Πείραμα	Ύψος (cm)	Αρχικός αριθμός GCP	# GCP
M1	94.1	28	4,7,15
M2	85.2	28	4,7,15
M3	73.8	28	4,7,15
M5	55.4	29	4,7,15

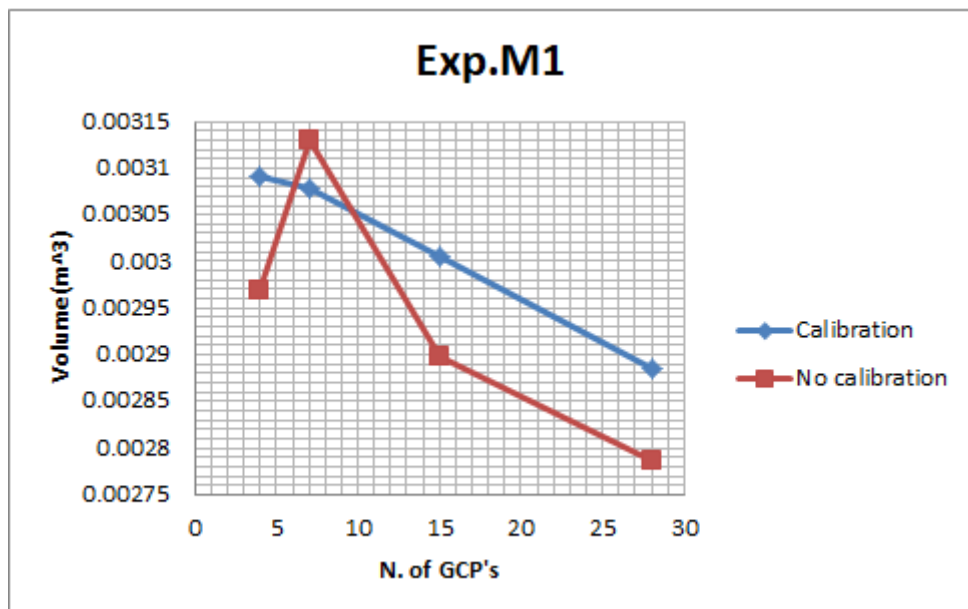
Πίνακας 4.1 : Παρουσίαση πειραμάτων με αντίστοιχο ύψος και GCP.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα σφάλματα των control points σε μέτρα ανάλογα με τα GCP που χρησιμοποιήθηκαν, οι όγκοι που ελήφθησαν ανάλογα με τον αριθμό των GCP και η διαφορά όγκου από την αναμενόμενη σε σχέση με τον αριθμό των GCP. Τα αποτελέσματα παρατίθενται και σε μορφή διαγραμμάτων για ευκολότερη εξαγωγή συμπερασμάτων.

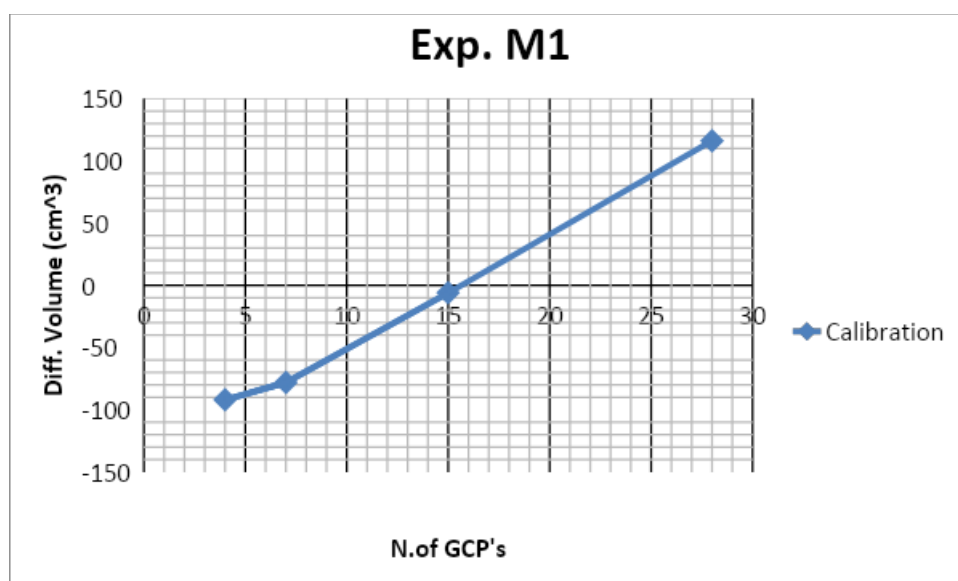
Πείραμα M1



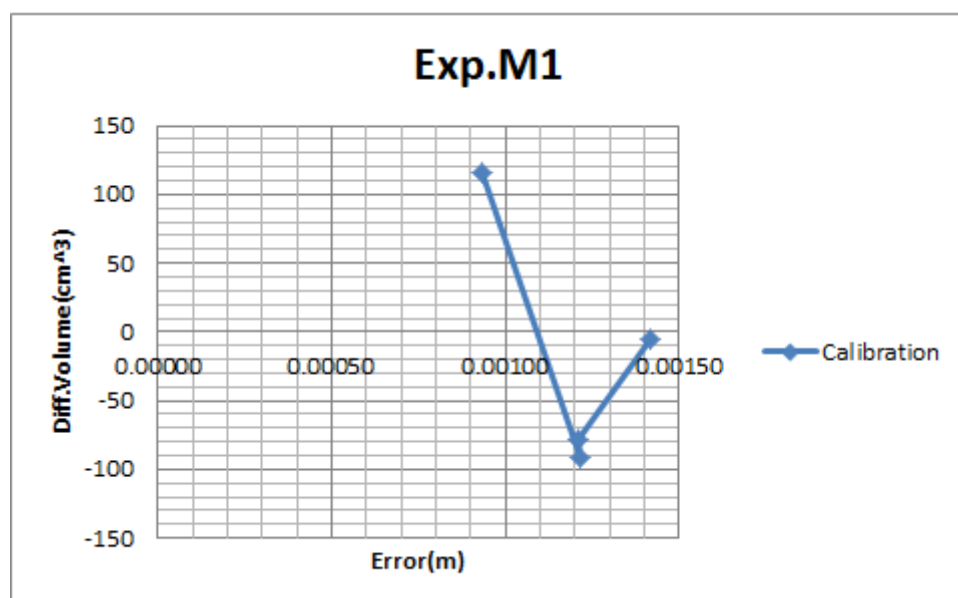
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 1 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 3: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP .



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 4 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
M1	94.1 cm	20	Φ. φως	Κινητό	4160x3120	Χαράδρες, ύψο

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 1 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ M1.

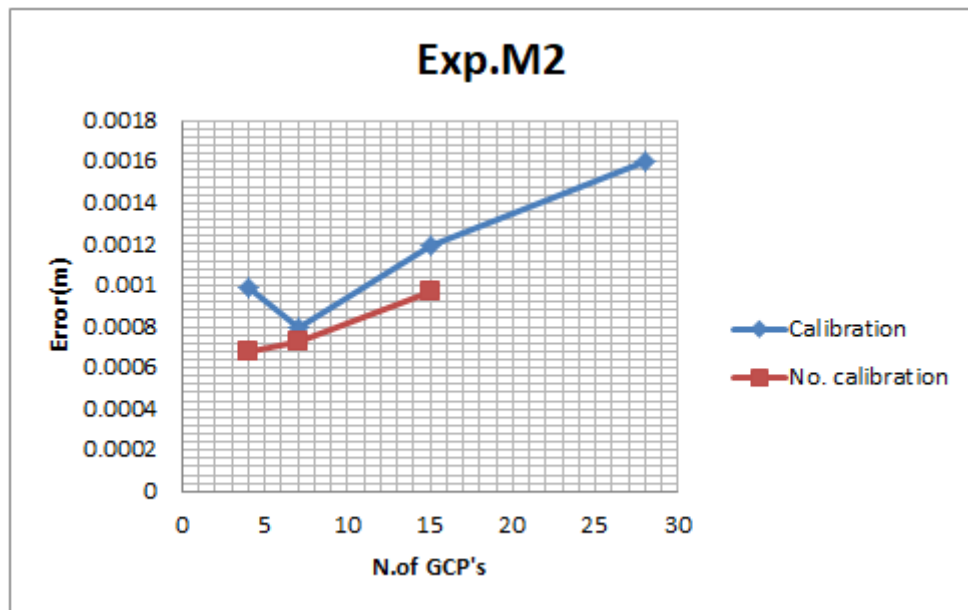
GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
28	0.00142	0.719		
4	0.00094	0.487	0.002155	0.751
7	0.00122	0.577	0.001849	0.787
15	0.00121	0.709	0.001886	0.736
4	0.000799	0.515	0.001877	0.66
7	0.000713	0.552	0.002369	0.68
15	0.001133	0.608	0.001731	0.692
28	0.001347	0.641		

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 2 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ M1.

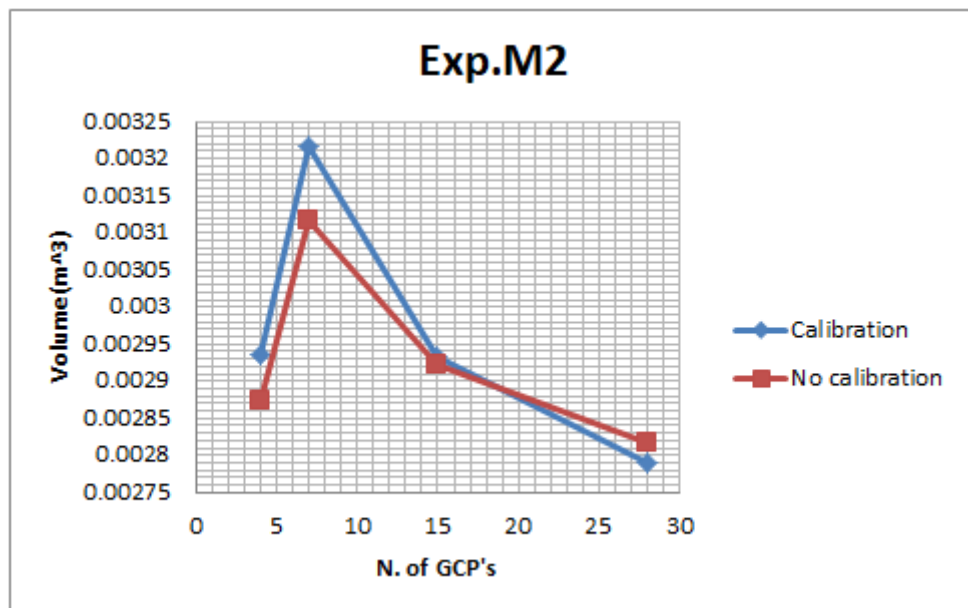
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm3	3L - L (3000cm3-)	percentage
28	0.002884	2884	116	4%
4	0.003092	3092	-92	3%
7	0.003078	3078	-78	3%
15	0.003006	3006	-6	0%
4	0.002968	2968	32	1%
7	0.003129	3129	-129	4%
15	0.002897	2897	103	3%
28	0.002787	2787	213	7%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 3 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ M1.

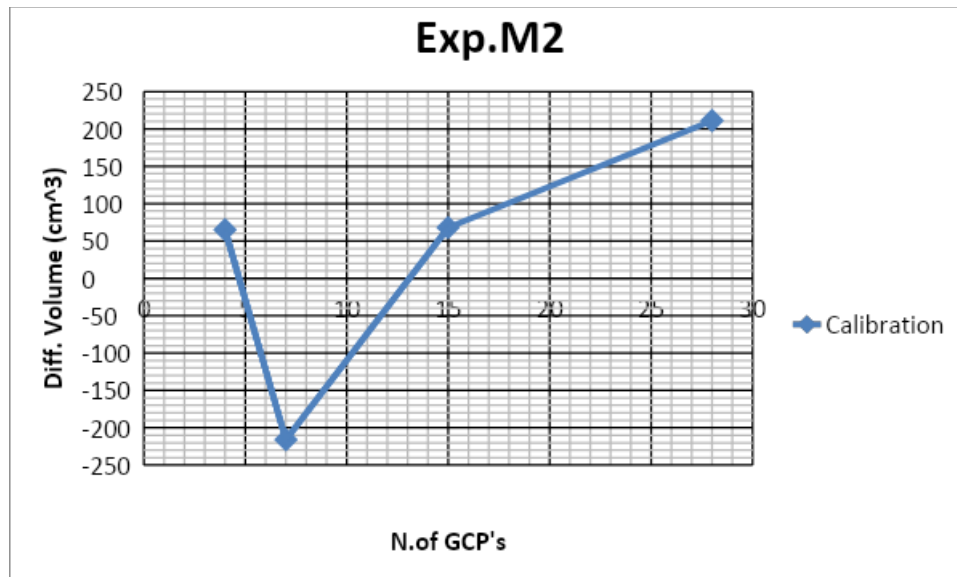
Πείραμα M2



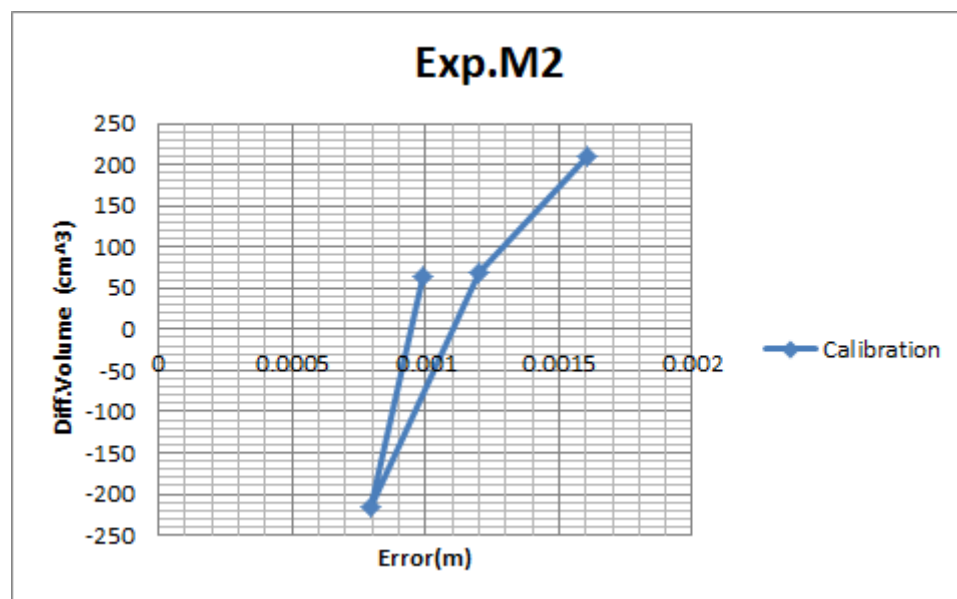
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 5 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 6 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 7 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP .



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 8 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
M2	85.2 cm	15	Φ. φώς	Κινητό	4160x3120	Χαράδρες, ύψος , επίπεδο

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 4 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ M2.

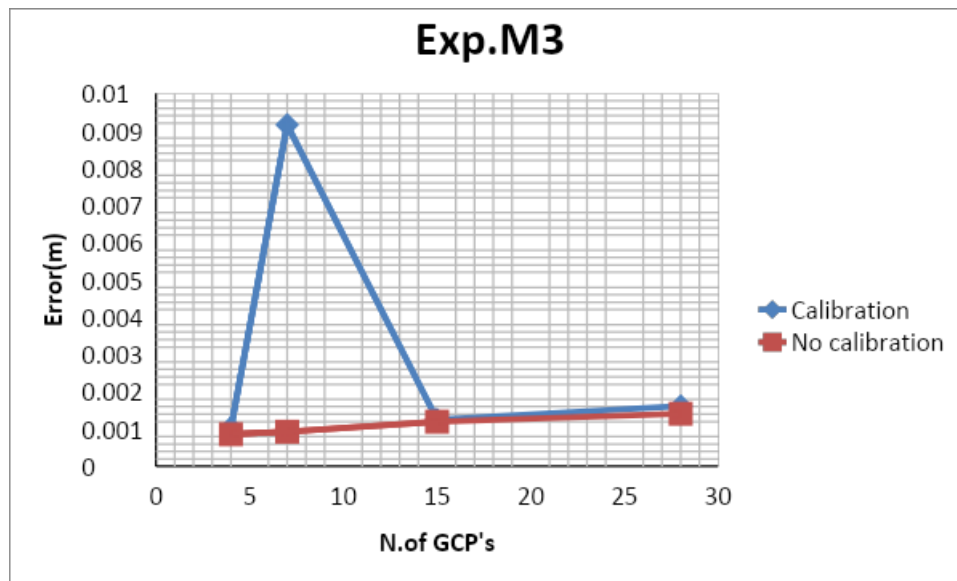
GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	check points	Check P.
28	0.001604	0.916		
4	0.000992	0.552	0.002129	0.958
7	0.000796	0.941	0.002931	0.904
15	0.001197	0.914	0.002381	0.217
4	0.000675	0.474	0.031738	0.757
7	0.000732	0.62	0.033666	0.769
15	0.000969	0.626	0.042967	0.843
28	0.029406	0.726		

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 5 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ2.

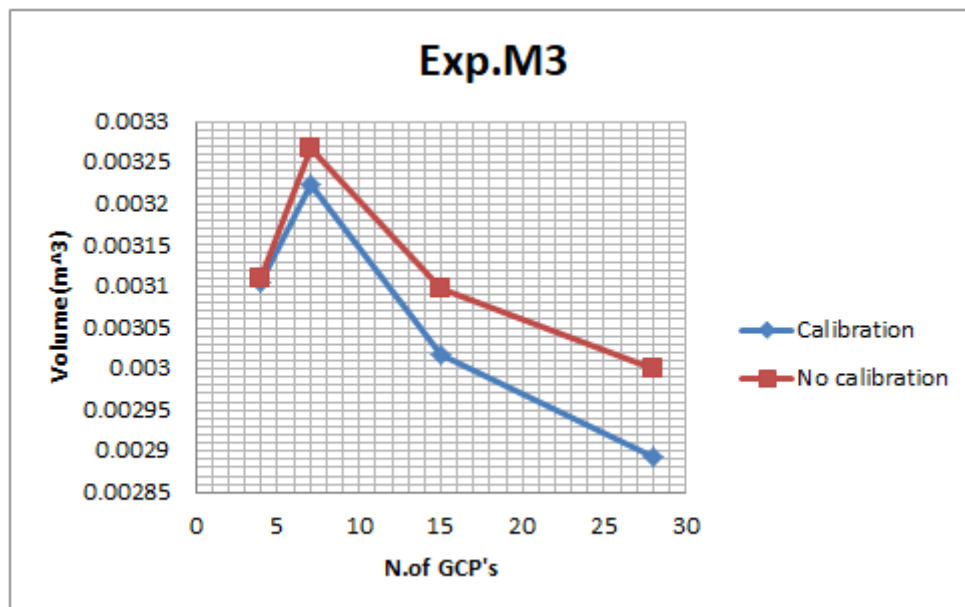
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
28	0.002789	2789	211	7%
4	0.002935	2935	65	2%
7	0.003216	3216	-216	7%
15	0.002932	2932	68	2%
4	0.002875	2875	125	4%
7	0.003116	3116	-116	4%
15	0.002921	2921	79	3%
28	0.002816	2816	184	6%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 6 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ2.

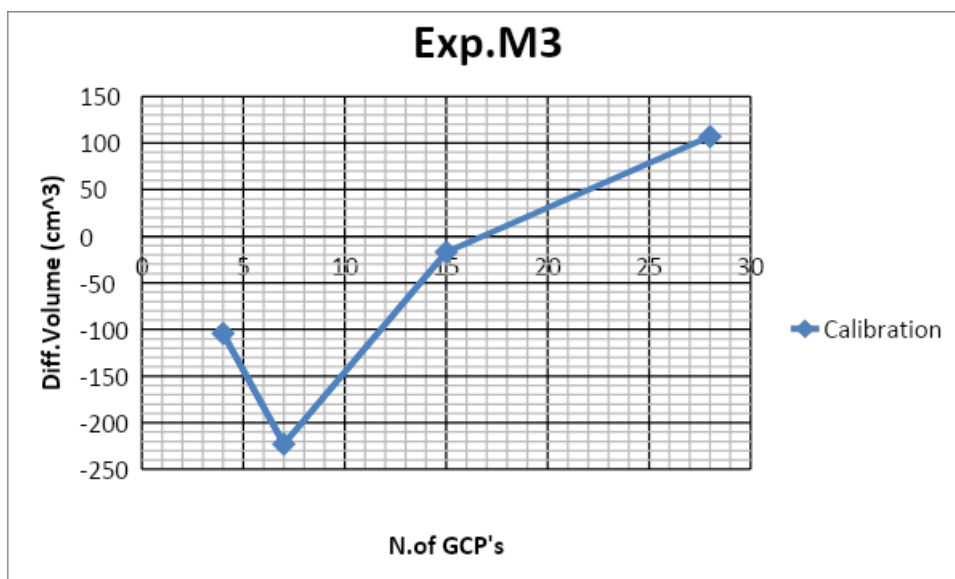
Πείραμα Μ3



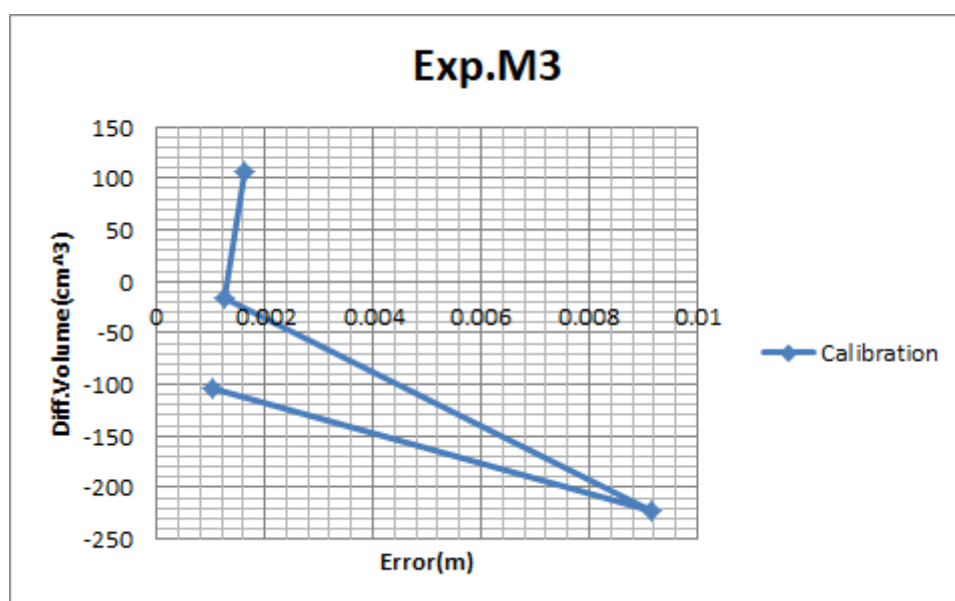
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 9: ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 10: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 11: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP .



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 12: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
M3	73.8 cm	16	Φ.Φώς	Κινητό	4160x3120	Χαράδρες, ύψος , επίπεδο

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 7 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Μ3.

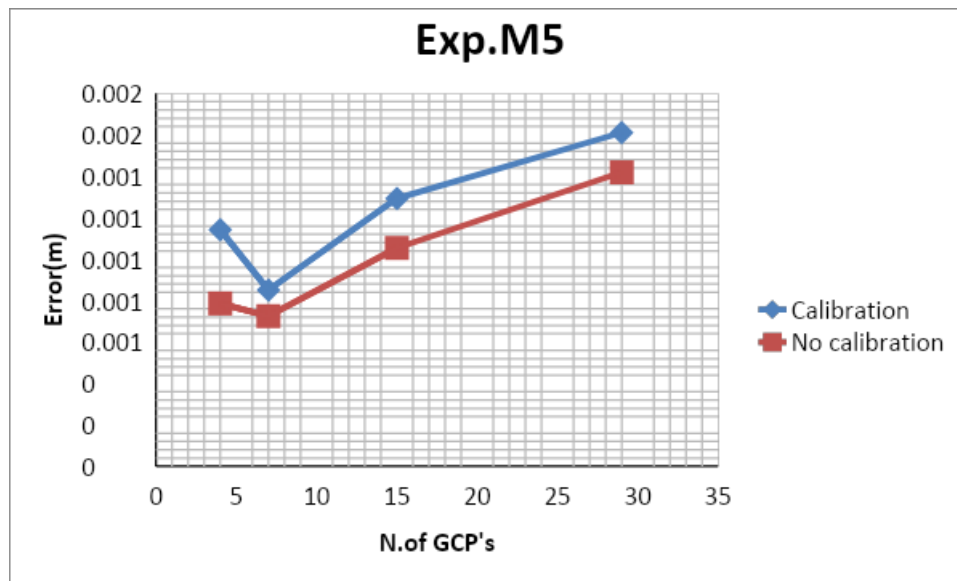
GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points		check points	
28	0.001618	0.926		
4	0.001028	0.746	0.002159	1.003
7	0.00916	0.684	0.002577	1.058
15	0.001256	0.795	0.002072	1.181
4	0.000861	0.616	0.001773	0.83
7	0.000928	0.588	0.002217	0.869
15	0.001198	0.653	0.001791	0.982
28	0.001411	0.796		

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 8: ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ3.

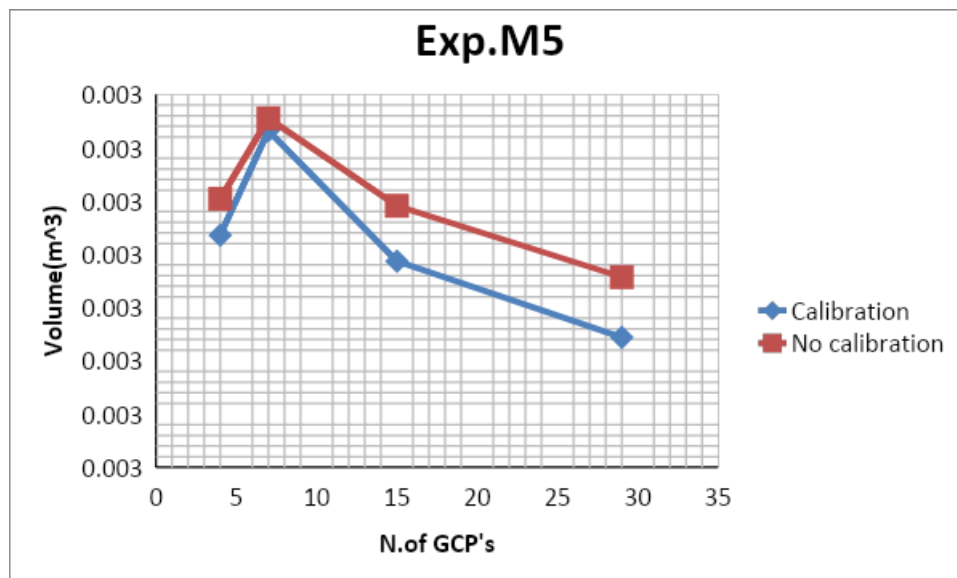
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm3	3L - L (3000cm3-)	percentage
28	0.002893	2893	107	4%
4	0.003104	3104	-104	3%
7	0.003223	3223	-223	7%
15	0.003017	3017	-17	1%
4	0.003109	3109	-109	4%
7	0.003268	3268	-268	9%
15	0.003097	3097	-97	3%
28	0.003000	3000	0	0%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 9 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΤΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ3.

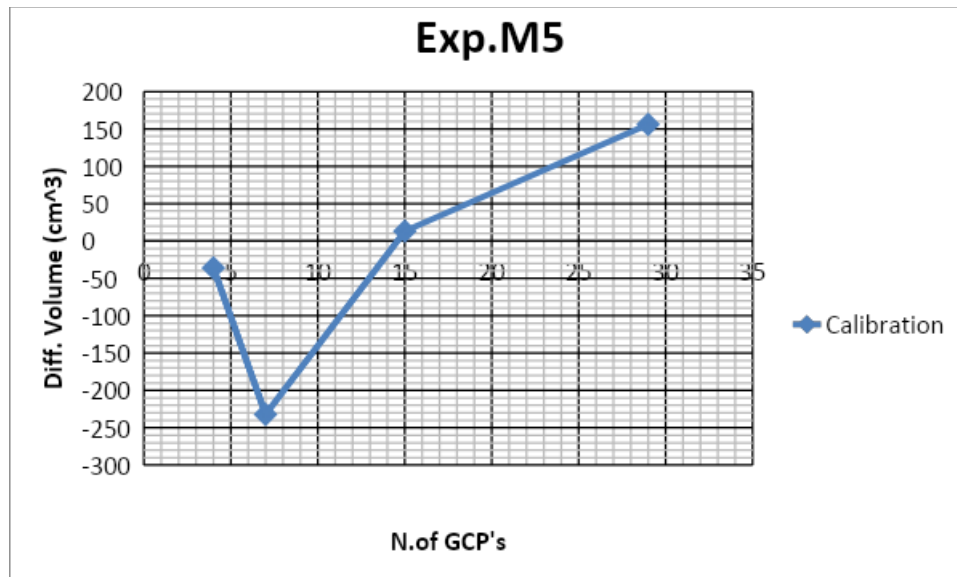
Πείραμα M5



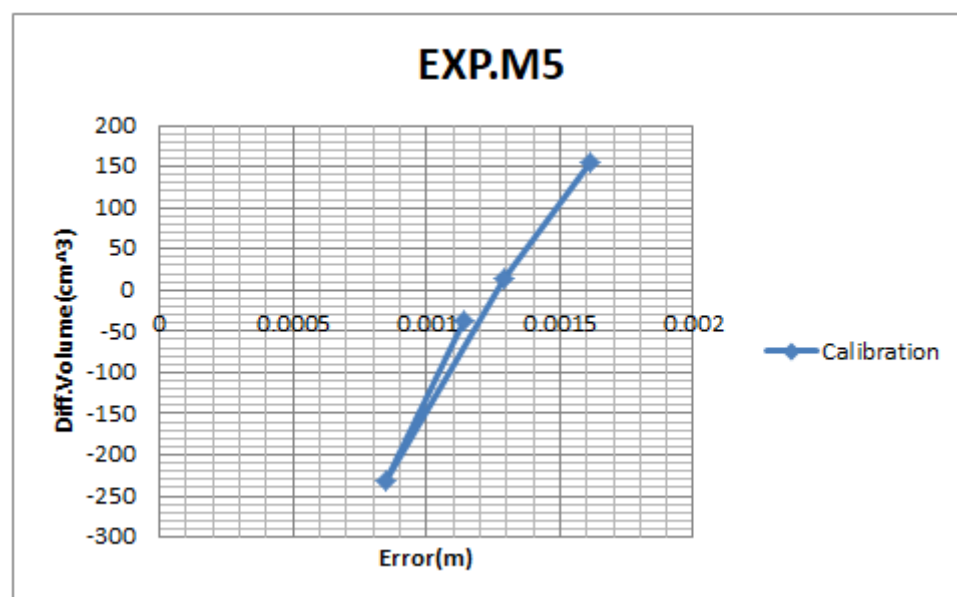
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 13: ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 14: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 15: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 16: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
M5	55.4 cm	25	Φ.Φώς	Κινητό	4160x3120	Χαράδρες, ύψος, επίπεδο.

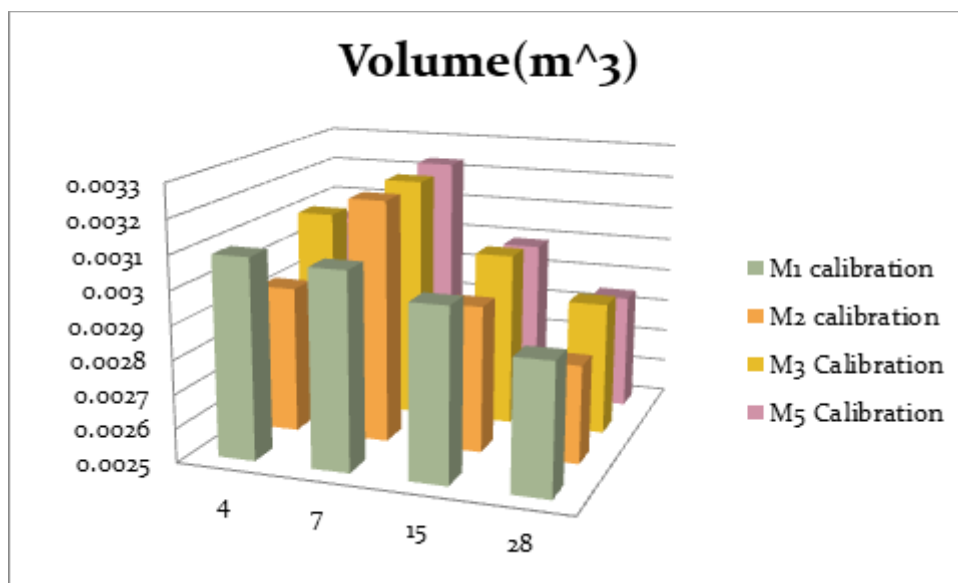
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 10 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ M5.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points		check points	
29	0.001611	0.988		
4	0.001142	0.562	0.002144	1.032
7	0.000851	1.075	0.002755	0.951
15	0.001293	1.132	0.002257	0.721
4	0.000786	0.528	0.001934	1.154
7	0.000725	0.925	0.002303	1.161
15	0.00105	1.210	0.002188	0.906
29	0.001419	1.098		

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 11 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ5.

GCP	Volume (m ³)	I/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
29	0.002844	2844	156	5%
4	0.003036	3036	-36	1%
7	0.003232	3232	-232	8%
15	0.002987	2987	13	0%
4	0.003104	3104	-104	3%
7	0.003255	3255	-255	9%
15	0.003091	3091	-91	3%
29	0.002957	2957	43	1%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 12 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Μ5.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 17:ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΓΚΩΝ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.

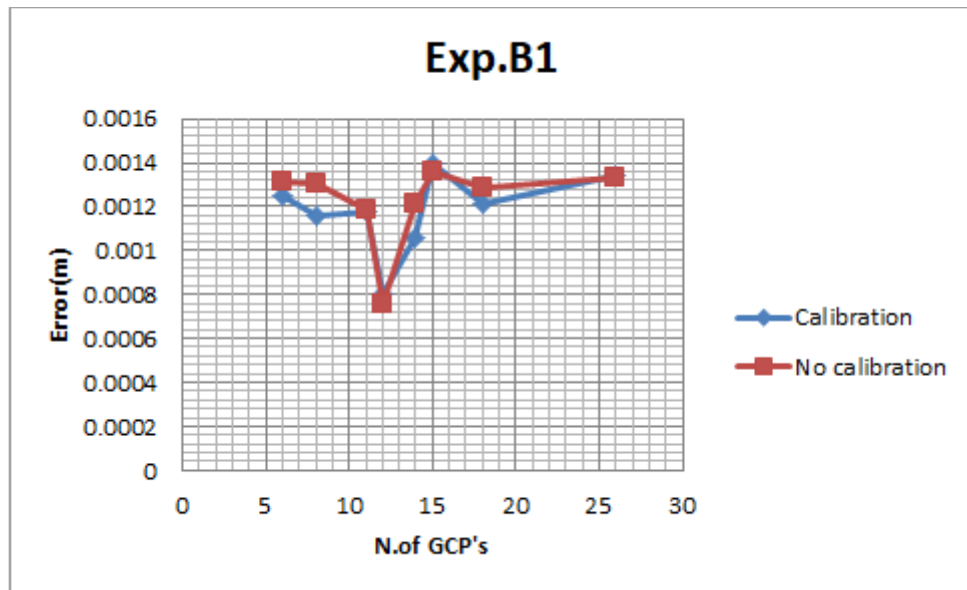
Παρατηρούμε αρχικά σε όλα τα πειράματα, ότι κατά κανόνα η καμπύλη της βαθμονόμησης είναι πολύ κοντά και τείνει να συμπίπτει μ' αυτή της μη βαθμονομημένης, πράγμα που οφείλεται στην πειραματική διάταξη μικρής κλίμακας που επιλέξαμε.

Είναι φανερό σε όλα τα διαγράμματα των GCP/ errors πως η αύξηση των πρώτων προκαλεί και αύξηση στα δεύτερα. Σ' όλα τα πειράματα διαπιστώνεται μια πολύ καλή προσέγγιση του όγκου με την χρήση 15 GCP, με εύρος 0-2% απόκλισης της πραγματικής τιμής του όγκου από την μετρούμενη, καθώς επίσης παρατηρείται και μια ομοιόμορφη μετάβαση από τα 15 GCP και πάνω. Σαφώς πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι και τα 4 GCP προσέγγισαν πολύ σωστά τον όγκο με μια απόκλιση από 1 έως 3 %. Από την άλλη μεριά όμως, στον αριθμό των επτά GCP είναι φανερή η απότομη αλλαγή της καμπύλης είτε αυτή συνοδεύεται με πτώση ή αύξηση της.

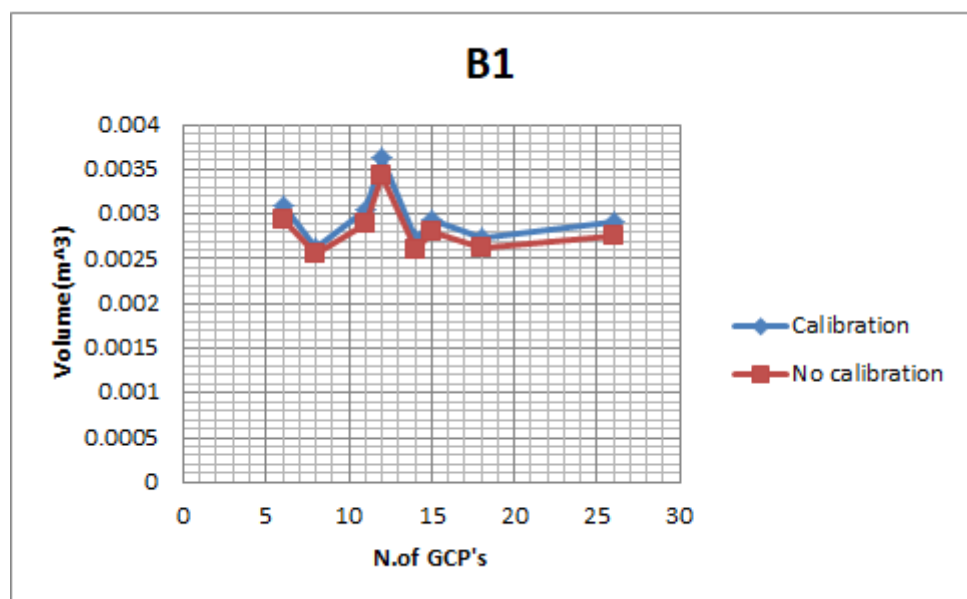
Όσον αφορά το ύψος θα επιλεχθεί ως καλύτερο αυτό του πειράματος M1 (94.1 cm) καθώς το εύρος διαφορών από την πραγματική τιμή του όγκου δεν ξεπερνά τα 4% και όλα σχεδόν τα υπο-πειράματα του M1 έχουν καλή προσέγγιση. Το τελευταίο διάγραμμα μας επιβεβαιώνει τα παραπάνω συμπεράσματα.

4.3 ΔΕΥΤΕΡΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.

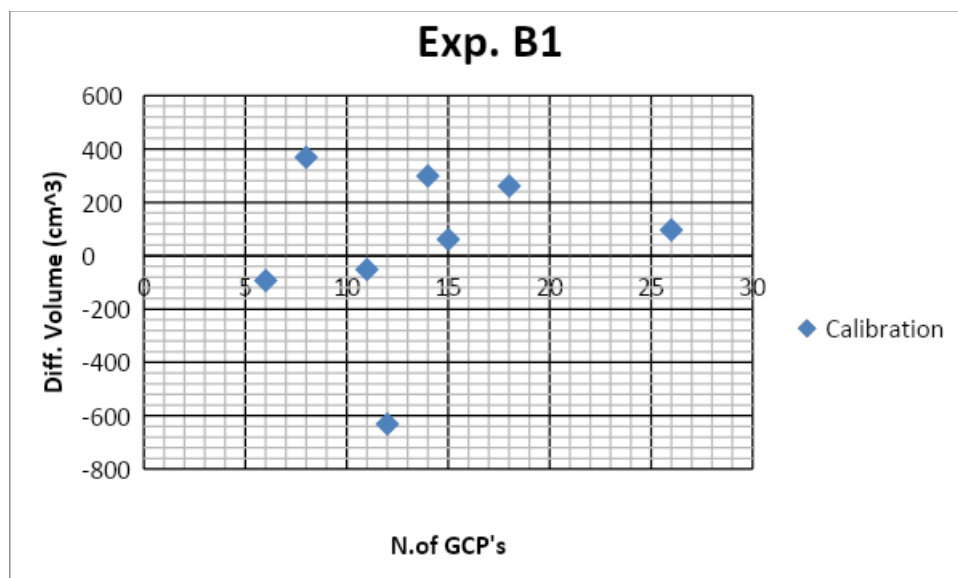
Στην δεύτερη ομάδα πειραματικών προσομοιώσεων συμπεριλαμβάνονται πειράματα με παρόμοιο ύψος πτήσης. Το ύψος πτήσης εδώ κυμαίνεται περίπου στα 40 cm (από 43.9 cm έως 46.2cm) για πέντε κύριες κατηγορίες πειραμάτων. Τα κοινά χαρακτηριστικά όλων είναι η εστιακή απόσταση (3.789 mm) και η φωτογραφική ανάλυση (4160x3120). Το πρώτο πείραμα αυτής της κατηγορίας είναι το B1 και τα αντίστοιχα διαγράμματα τα εξής :



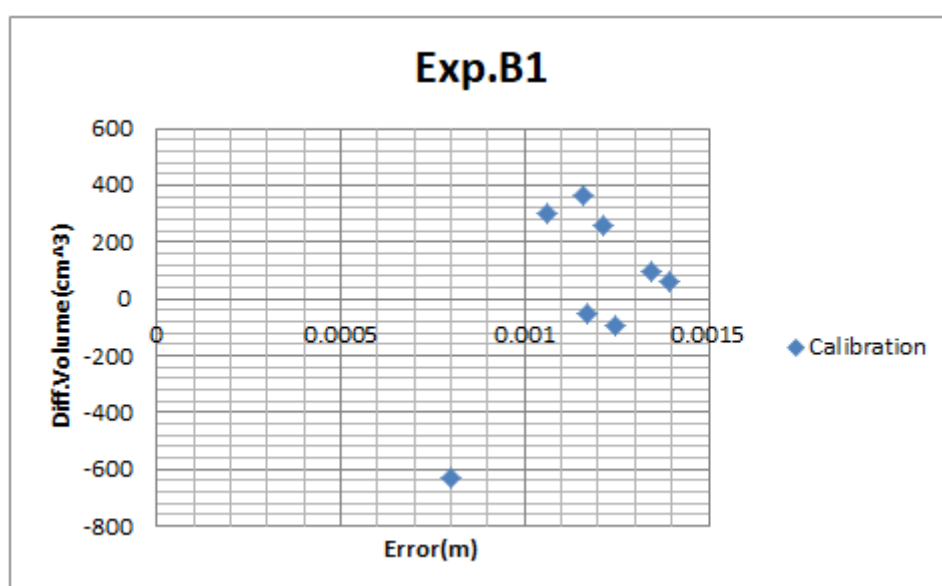
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 18: ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 19 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 20 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 21 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Το πείραμα B1 πραγματοποιήθηκε με την χρήση 26 GCP και σύνολο φωτογραφιών 29. Εντός του πειράματος B1 έλαβαν χώρα κάποια επιμέρους πειράματα βάσει των οποίων τοποθετήθηκαν και τα GCP. Πιο συγκεκριμένα είχαμε περιμετρική διάταξη GCP, κεντρική, ανάλογα με το πόσες φορές προβάλλονται στις φωτογραφίες τα εκάστοτε σημεία (επαναπροβολές) και κατανομή ανάλογα του εμβαδού. Παρατηρούμε λοιπόν πως η γραμμή της βαθμονόμησης, και εδώ, τείνει να συμπίσει με τη μη βαθμονομημένη καμπύλη και στα δύο γραφήματα, με το γράφημα των σφαλμάτων να δείχνει πως ανάλογα με τις επαναπροβολές μπορεί να μειωθεί το σφάλμα. Ενώ στο γράφημα του όγκου παρατηρείται μια σχετική σταθερότητα μετά τα 12 GCP. Οι ποσοστιαίες διαφορές με τον πραγματικό όγκο

που αντιστοιχούν στην βαθμονόμηση κυμαίνονται από 2% έως 12% , ενώ στα μη βαθμονομημένα πειράματα από 3 έως 15%.

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
B1	43.9 cm	29	Φυσικό Φως	Κινητό	4160x3120	Ύψη, χαράδρες, επίπεδο .

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 13 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Β1.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points		check points	
26	0.001344	1.094		
18 περιμετρικά	0.001216	1.175	0.001777	0.993
8 περιμετρικά	0.001160	1.164	0.002085	1.074
11 εσωτερικά	0.001173	0.976	0.001757	1.208
6 εσωτερικά	0.001246	0.713	0.001808	1.185
1 per cube(15)	0.001393	1.03	0.001336	1.187
Projections 5+(12)	0.000800	1.119	0.003719	1.036
Projections -5(14)	0.001061	0.691	0.001671	1.161
26	0.001334	1.044		
18 περιμετρικά	0.001283	1.128	0.001669	0.936
8 περιμετρικά	0.001300	1.110	0.002047	1.022
11 εσωτερικά	0.001189	0.913	0.001753	1.160
6 εσωτερικά	0.001309	0.706	0.001767	1.125
1 per cube(15)	0.001363	0.994	0.001384	1.116
Projections 5+(12)	0.000754	1.071	0.003541	0.978
Projections -5(14)	0.001217	0.944	0.001594	1.064

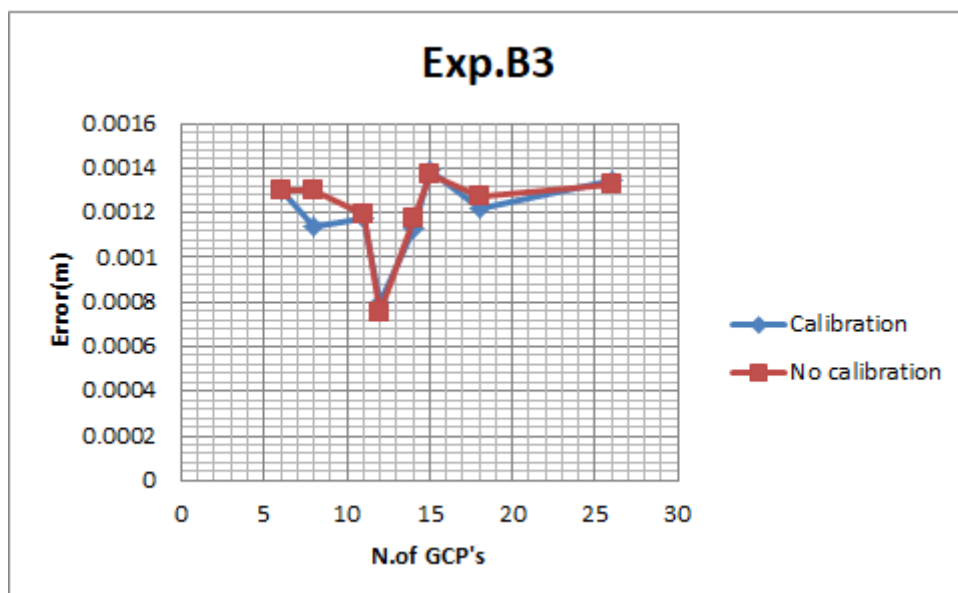
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 14 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Β1.

GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
26	0.002904	2904	96	3%
18 περιμετρικά	0.002739	2739	261	9%
8 περιμετρικά	0.002632	2632	368	12%
11 εσωτερικά	0.003052	3052	-52	2%
6 εσωτερικά	0.003093	3093	-93	3%
1 per cube(15)	0.002939	2939	61	2%
Projections 5+(12)	0.003631	3631	-631	21%

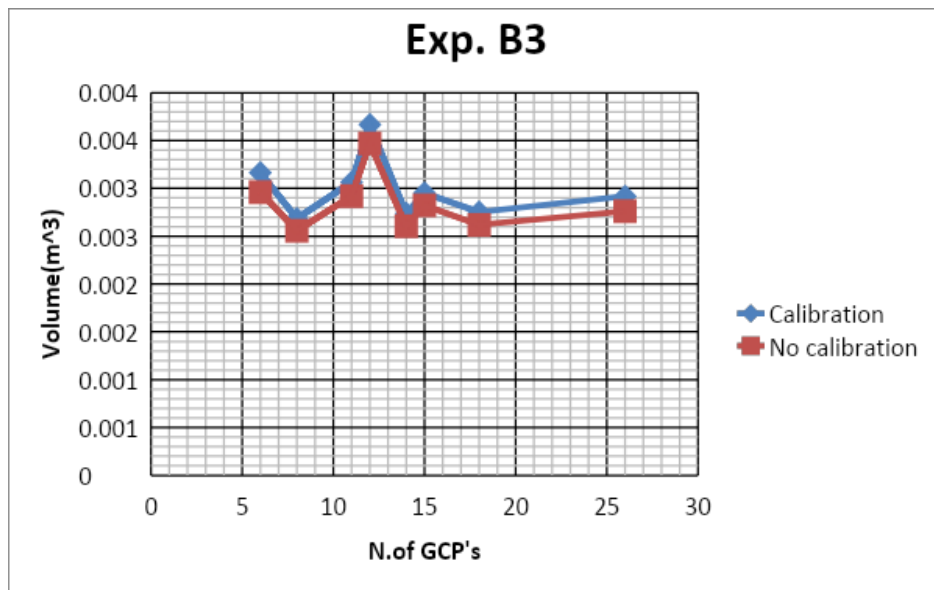
Projections -5(14)	0.002701	2701	299	10%
26	0.002765	2765	235	8%
18 περιμετρικά	0.002612	2612	388	13%
8 περιμετρικά	0.002553	2553	447	15%
11 εσωτερικά	0.002898	2898	102	3%
6 εσωτερικά	0.002932	2932	68	2%
1 per cube(15)	0.002809	2809	191	6%
Projections 5+(12)	0.003429	3429	-429	14%
Projections -5(14)	0.002598	2598	402	13%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 15 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Β1.

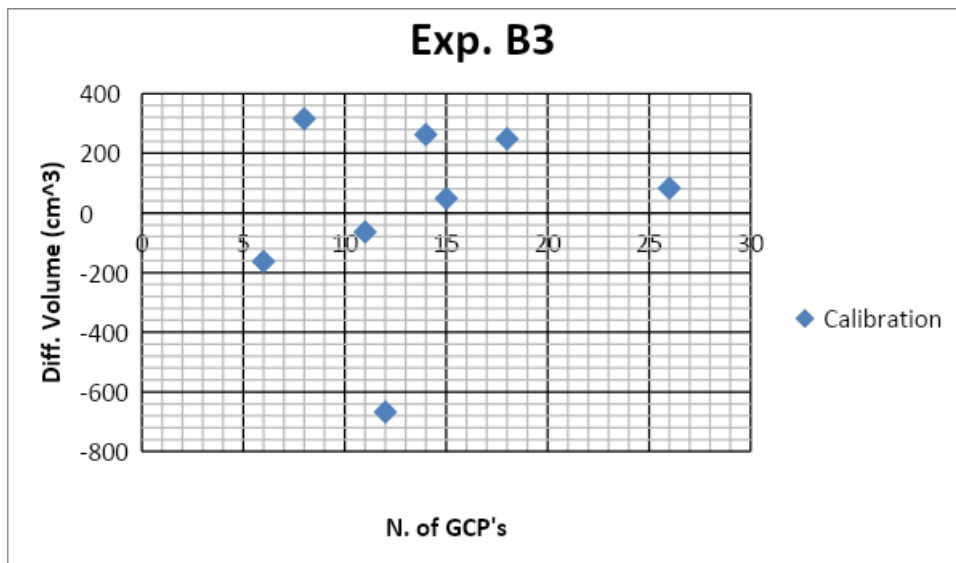
Ακολουθεί το ίδιο πείραμα με τα ίδια κύρια χαρακτηριστικά μόνο που εδώ έχει προστεθεί φώς.



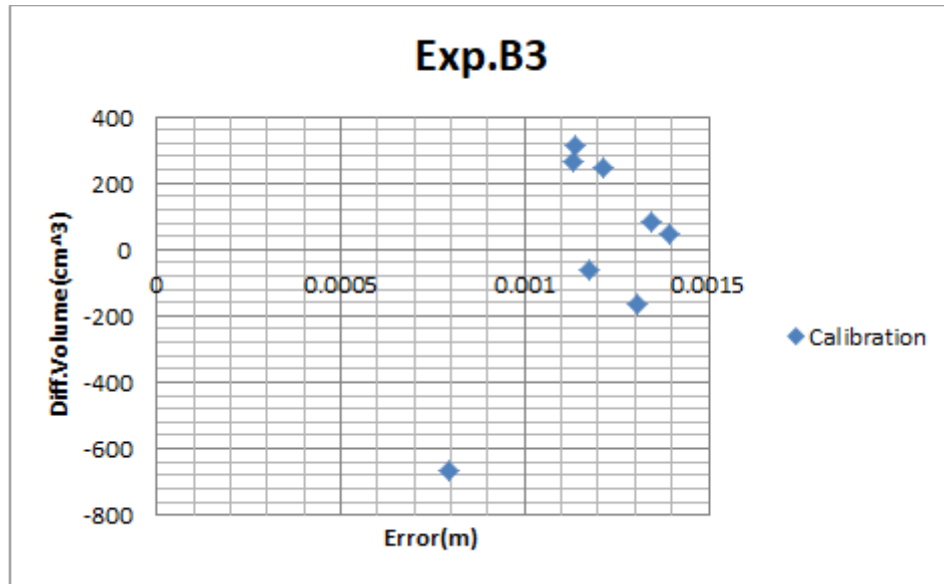
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 22 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 23 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 24 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 25 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M)

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
B3	43.9 cm		Έξτρα φως	Κινητό	4160x3120	Υψη, χαράδρες, επίπεδα

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 16 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Β3.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
26	0.001342	1.097		
18 περιμετρικά	0.001216	1.174	0.001765	0.999
8 περιμετρικά	0.001137	1.123	0.002098	1.088
11 εσωτερικά	0.001175	0.976	0.001742	1.206
6 εσωτερικά	0.001304	0.718	0.002021	1.156
1 per cube(15)	0.001394	1.033	0.001326	1.189
Projections 5+(12)	0.000793	1.124	0.003731	1.032
Projections -5(14)	0.001132	1.032	0.001687	1.124
26	0.001328	1.045		
18 περιμετρικά	0.001275	1.129	0.001687	0.937
8 περιμετρικά	0.001296	1.113	0.002048	1.022
11 εσωτερικά	0.001189	0.915	0.001757	1.160
6 εσωτερικά	0.001299	0.713	0.001784	1.125
1 per cube(15)	0.001371	0.996	0.001375	1.116
Projections 5+(12)	0.000754	1.071	0.003596	0.984

Projections -5(14)	0.001174	0.984	0.00161	1.074
--------------------	----------	-------	---------	-------

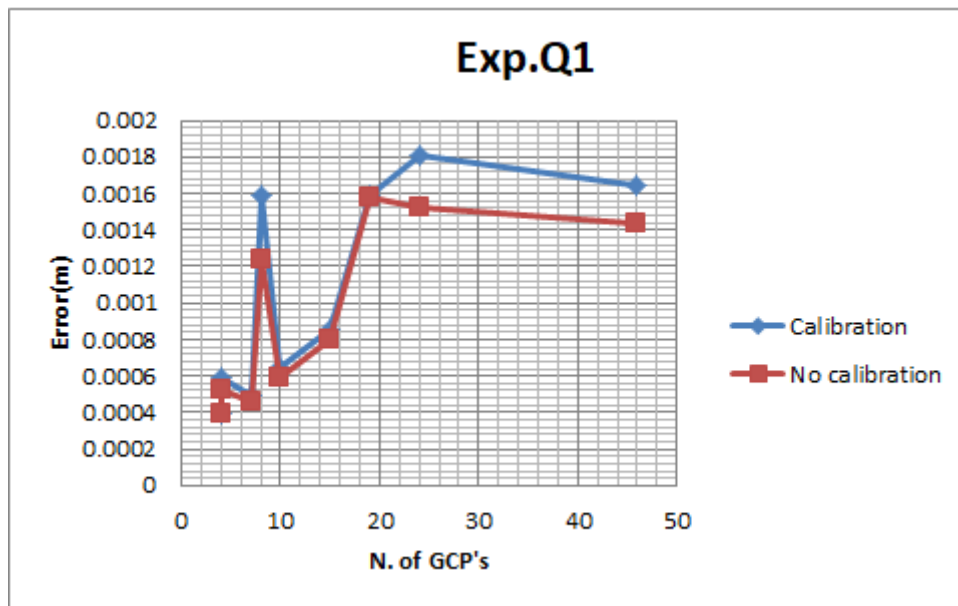
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 17 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Β1.

GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
26	0.002917	2917	83	3%
			83	3%
18 περιμετρικά	0.002752	2752	248	8%
8 περιμετρικά	0.002685	2685	315	11%
11 εσωτερικά	0.003064	3064	-64	2%
6 εσωτερικά	0.003163	3163	-163	5%
1 per cube(15)	0.002952	2952	48	2%
Projections 5+(12)	0.003667	3667	-667	22%
Projections -5(14)	0.002738	2738	262	9%
26	0.002761	2761	239	8%
18 περιμετρικά	0.002618	2618	382	13%
8 περιμετρικά	0.002557	2557	443	15%
11 εσωτερικά	0.00292	2920	80	3%
6 εσωτερικά	0.00296	2960	40	1%
1 per cube(15)	0.002823	2823	177	6%
Projections 5+(12)	0.003469	3469	-469	16%
Projections -5(14)	0.002605	2605	395	13%

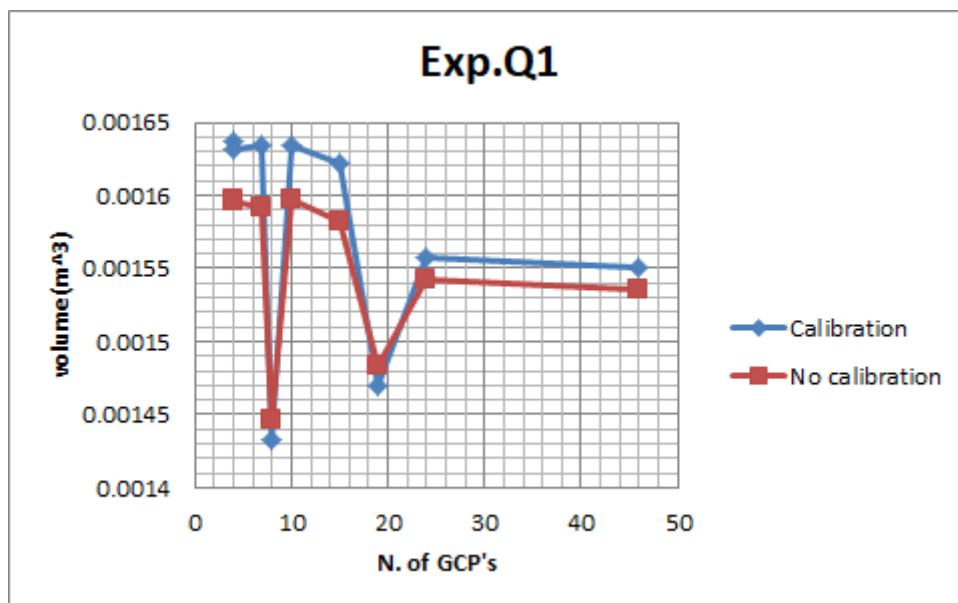
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 18 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Β3.

ΠΕΙΡΑΜΑ Q1

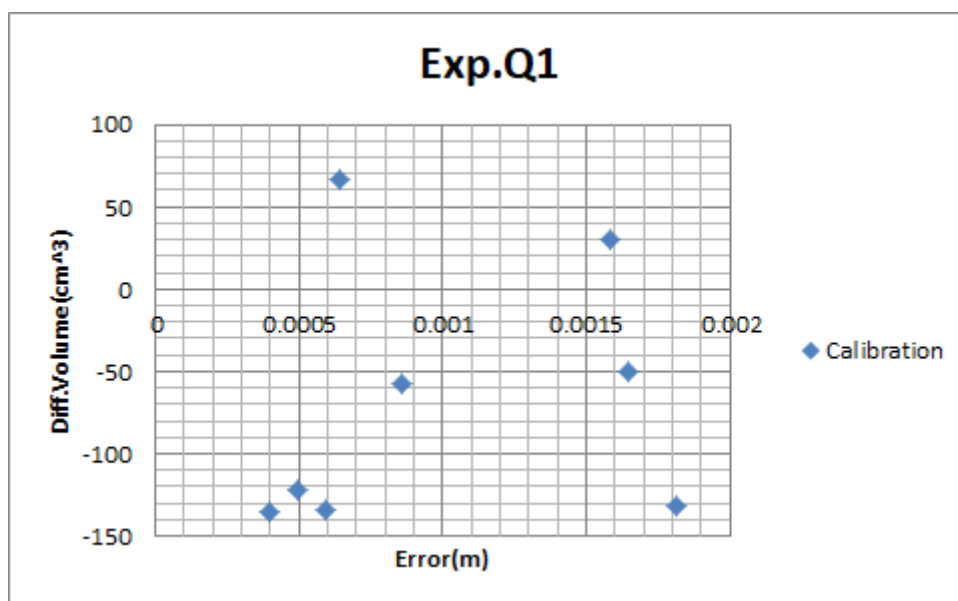
Στο πείραμα αυτό μειώθηκε ο όγκος του εδαφικού μας δείγματος στον μισό όγκο (1500 cm^3), η πτήση πραγματοποιήθηκε στο ύψος των 43.8 cm με επικάλυψη 28 φωτογραφιών. Τα GCP ανέρχονται στον αριθμό των 46 και πραγματοποιήθηκαν διαδοχικά πειράματα με αναδιατάξεις.



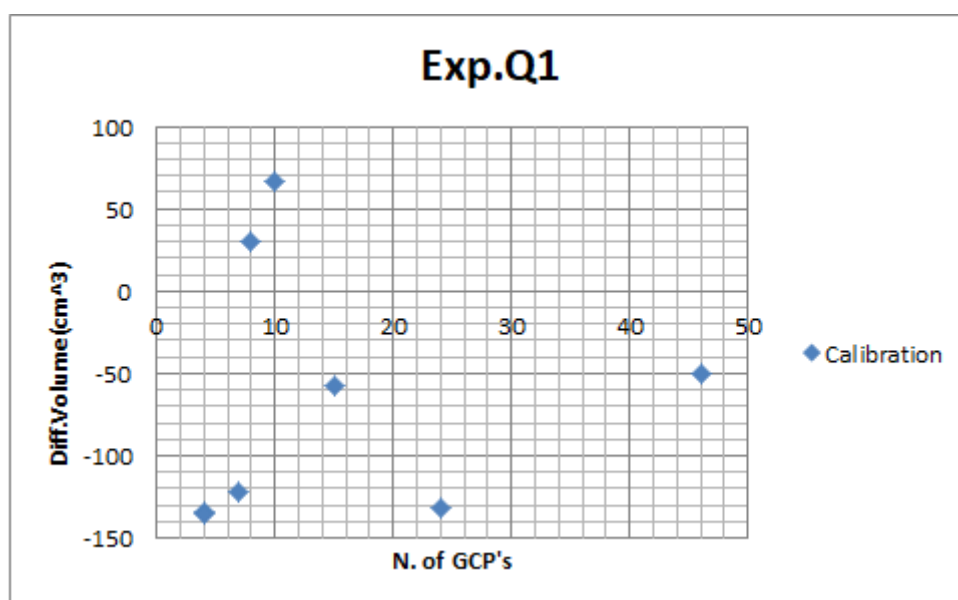
ΓΡΑΦΗΜΑ 4.25 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4.26 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 26: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 27: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP .

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
Q1	43.8 cm	28	Φ.Φως	only 1	4160x3120	Bouvó

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 19 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Q1.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
46	0.001644	1.026		
19 περιμετρικά	0.001587	1.276	0.002398	0.894
8 περιμετρικά	0.001586	1.351	0.002750	0.968
10 εσωτερικά	0.000643	0.849	0.002614	1.085
4 εσωτερικά	0.000591	0.922	0.002374	1.04
1per cube(24)	0.00181	1.053	0.001516	1.001
15	0.000855	0.863	0.002453	1.177
7	0.000494	0.989	0.002481	1.073
4	0.000396	1.063	0.002509	1.057
46	0.001432	1.003		
19 περιμετρικά	0.001579	1.270	0.001758	0.849
8 περιμετρικά	0.001242	1.402	0.002288	0.928
10 εσωτερικά	0.000593	0.830	0.002175	1.060
4 εσωτερικά	0.000520	0.843	0.001937	1.024
1per cube(24)	0.001523	0.974	0.001413	1.029
15	0.000797	0.833	0.002025	1.143
7	0.000463	0.876	0.002035	1.058
4	0.000388	1	0.002093	1.028

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 20 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΜΑΜΑ Q1.

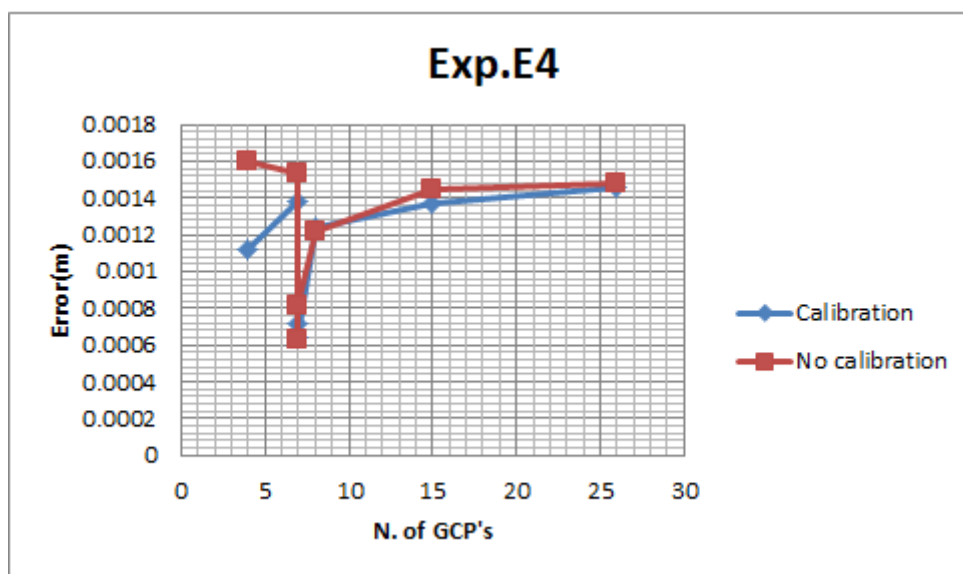
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
46	0.00155	1550	-50	3%
19 περιμετρικά	0.001470	1470	30	2%
8 περιμετρικά	0.001433	1433	67	4%
10 εσωτερικά	0.001634	1634	-134	9%
4 εσωτερικά	0.001631	1631	-131	9%
1per cube(24)	0.001558	1558	-58	4%
15	0.001622	1622	-122	8%

7	0.001635	1635	-135	9%
4	0.001637	1637	-137	9%
46	0.001535	1535	-35	2%
19 περιμετρικά	0.001483	1483	17	1%
8 περιμετρικά	0.001446	1446	54	4%
10 εσωτερικά	0.001598	1598	-98	7%
4 εσωτερικά	0.001596	1596	-96	6%
1per cube(24)	0.001543	1543	-43	3%
15	0.001582	1582	-82	5%
7	0.001592	1592	-92	6%
4	0.001597	1597	-97	6%

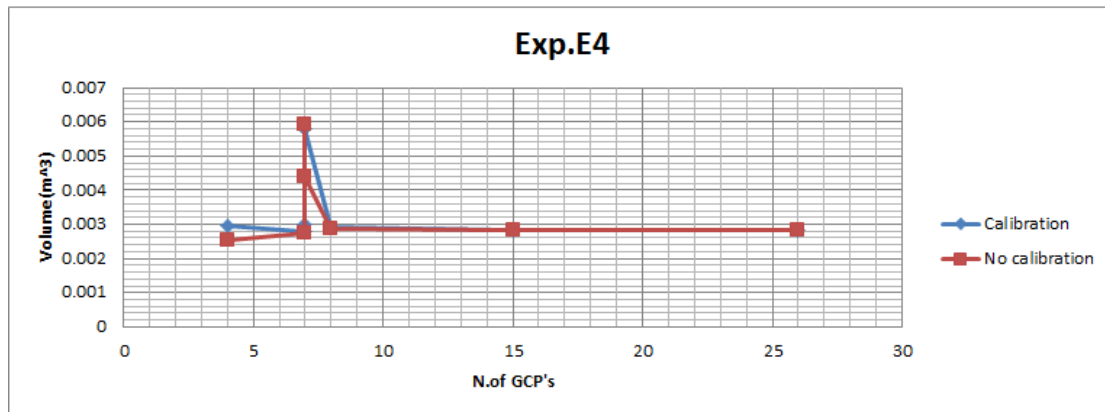
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 21 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Q1.

Παρατηρείται κι εδώ πως η καμπύλη της βαθμονόμησης είναι αρκετά κοντά με την μη βαθμονομημένη λόγω της μικρής κλίμακας που πραγματοποιούνται τα πειράματα. Πιο αναλυτικά για τα διαγράμματα είναι εμφανές ότι στο πρώτο, όσο αυξάνονται τα GCP αυξάνεται και το σφάλμα στα μέτρα, μέχρις ότου πλησιάσει όλα τα GCP όπου και εξισορροπείται. Ενώ στο δεύτερο διάγραμμα που αντιστοιχεί σ' αυτό του όγκου παρατηρούμε μια ανωμαλία στην μέτρηση όγκου για τα ελάχιστα GCP μέχρις ότου πάλι πλησιάσει τον αριθμό των 46 GCP όπου υπάρχει μια εξισορρόπηση.

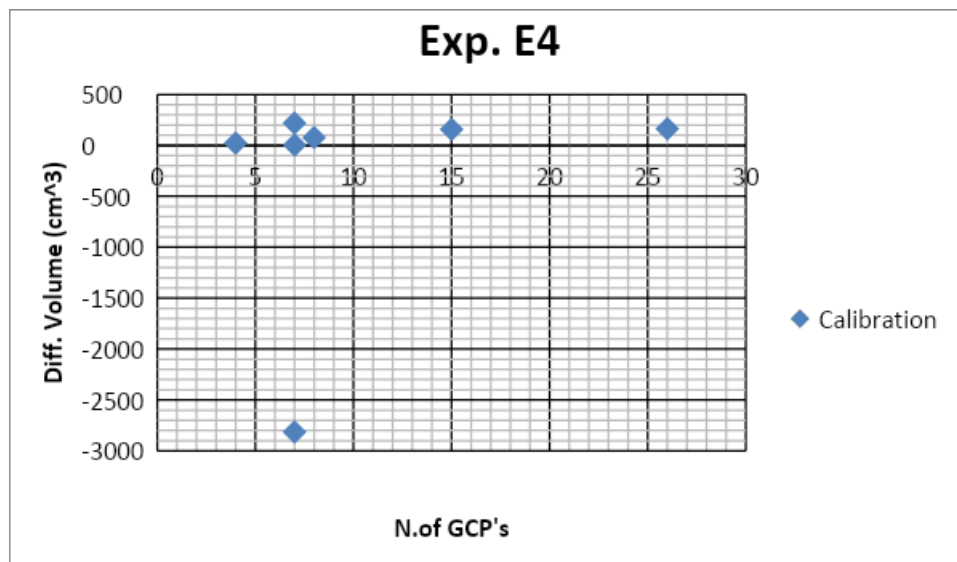
ΠΕΙΡΑΜΑ Ε4



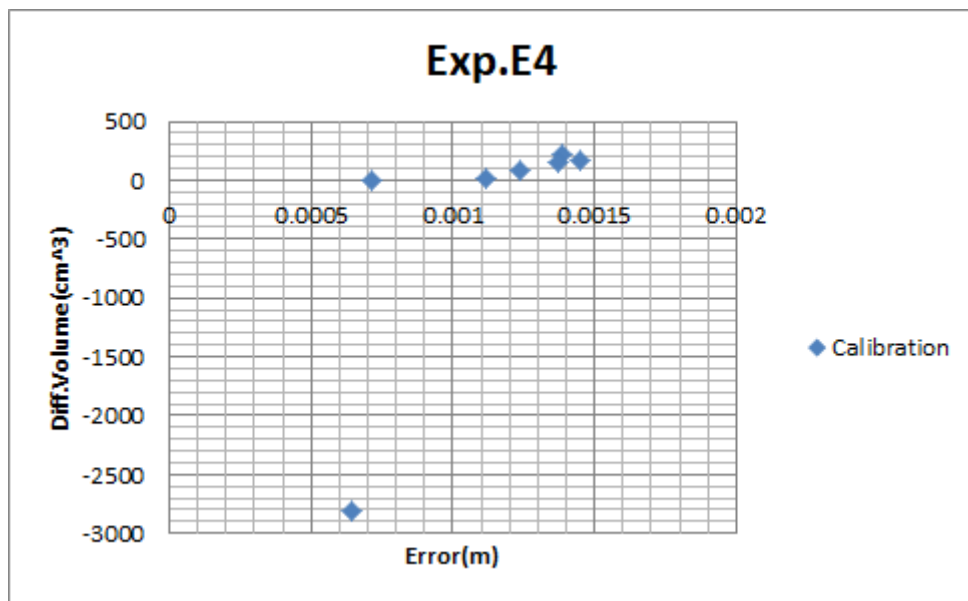
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 28 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 29 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 30: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 31: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
E4	45.6 cm	29	Σκοτεινά	only 1	4160x3120	Βουνό, ύψη, πλαγιές.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 22 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Ε4.

GCP	Error(m)	Error(px)	Error(m)	Error (px)
	Control Points	Control P.	check points	Check P.
26	0.001453	0.248		
4	0.001118	0.086	0.002168	0.261
7	0.001385	0.193	0.001573	0.264
15	0.001375	0.262	0.001793	0.212
7 left	0.000717	0.205	0.002623	0.261
7right	0.000646	0.27	0.012393	0.237
8 up_down	0.001238	0.244	0.001799	0.249
4	0.001598	0.423	0.002027	0.666
7	0.001532	0.499	0.001608	0.684
15	0.001442	0.64	0.0017	0.721

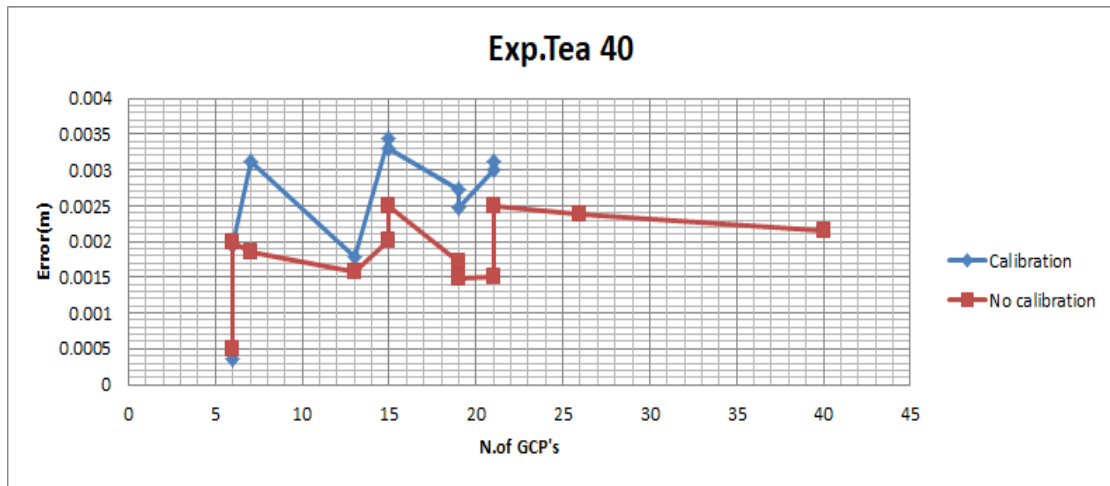
26	0.001478	0.642		
7 left	0.00063	0.703	0.012407	0.615
7 right	0.000817	0.529	0.007229	0.677
8 up_down	0.001214	0.494	0.001982	0.696

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 23 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Ε4.

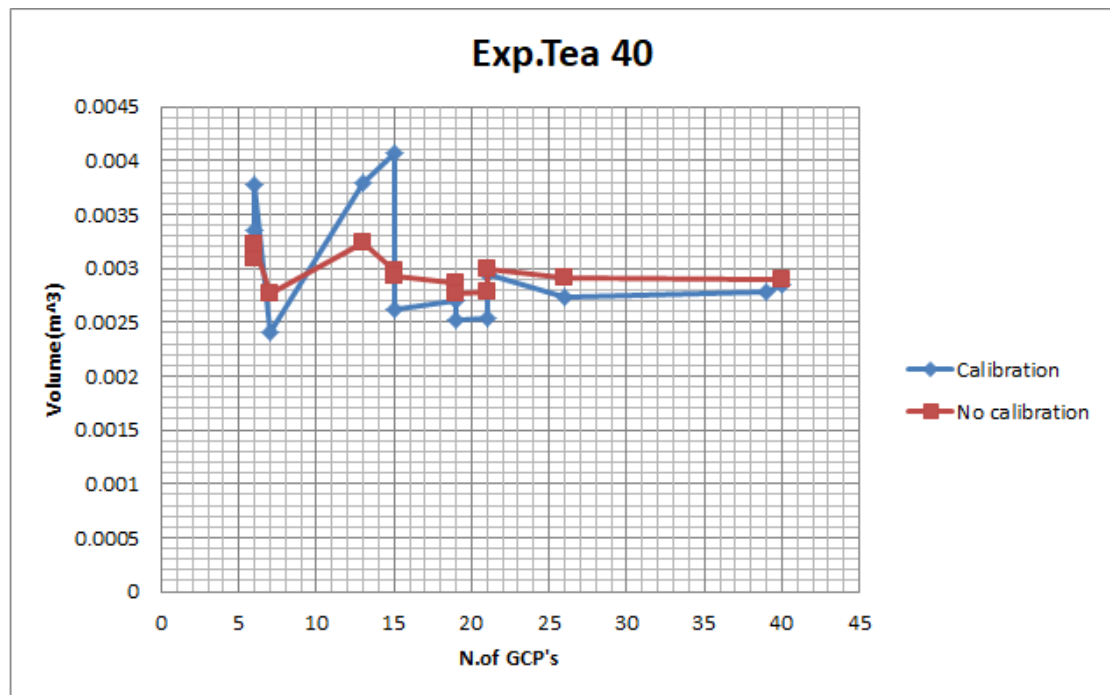
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
26	0.002837	2837	163	5%
4	0.002978	2978	22	1%
7	0.002782	2782	218	7%
15	0.002842	2842	158	5%
7 left	0.002996	2996	4	0%
7right	0.005815	5815	-2815	94%
8 up_down	0.002923	2923	77	3%
4	0.002539	2539	461	15%
7	0.002756	2756	244	8%
15	0.002841	2841	159	5%
26	0.002824	2824	176	6%
7 left	0.005923	5923	-2923	97%
7 right	0.004408	4408	-1408	47%
8 up_down	0.002868	2868	132	4%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 24 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Ε4.

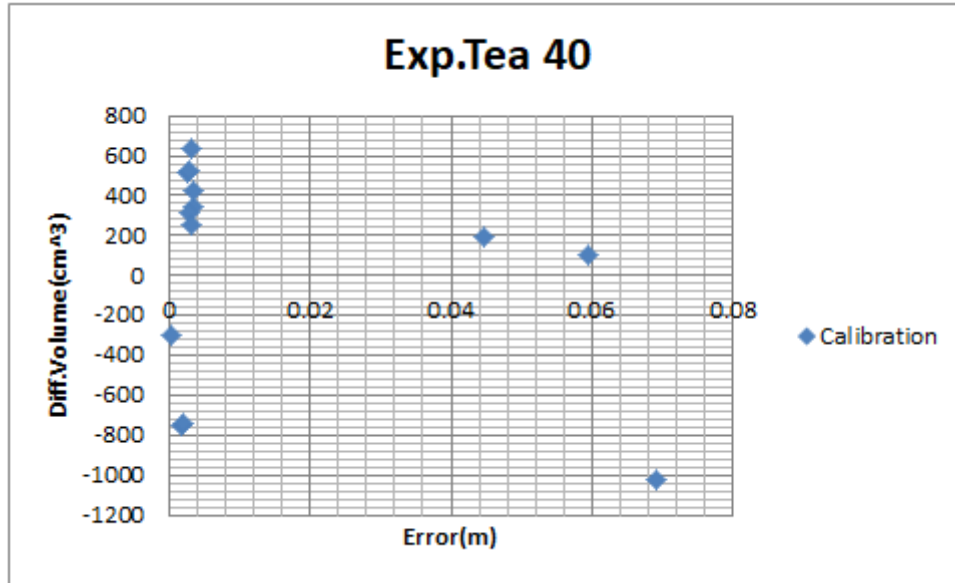
ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΕΑ 40



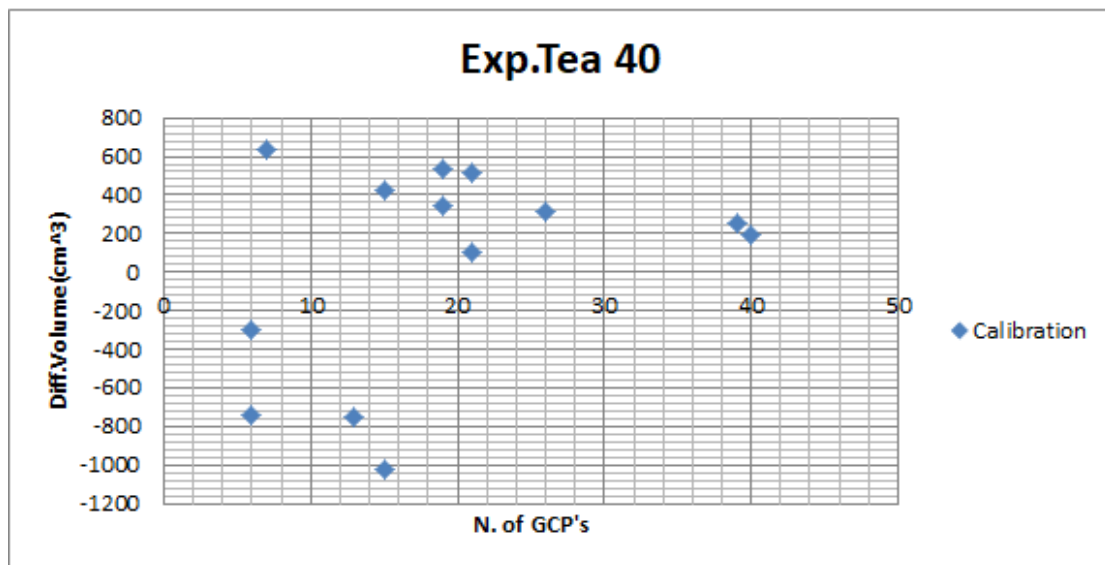
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 32 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 33: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 34 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 35 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP..

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology	geometry h.o.
Tea 40	46.2	22	Φ.Φώς	Κινητό	3120x4160	Βουνά, πλαγίες.	0.000043605 m ³

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 25 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΤΕΑ 40.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
40	0.044565	1.163		
21 περιμετρικά	0.002476	0.783	0.065945	1.365
7 περιμετρικά	0.003126	0.769	0.050819	1.206
15 κέντρο	0.069041	1.426	0.037025	0.850
6 κέντρο	0.000357	1.674	0.050259	0.982
13 γωνιά	0.001791	1.463	0.057042	0.989
6 γωνιά	0.001939	1.742	0.051538	0.979
1 per cube(19)	0.003297	1.268	0.064193	1.052
5 projections & up (21)	0.059399	1.320	0.029932	0.634
4 projections & down(19)	0.002732	0.634	0.062731	1.320
Random(26)	0.002997	1.206	0.079626	1.070
random(15)	0.003449	1.391	0.058615	1.009
39 (-1 error)	0.003115	1.136	0.287033	1.914
40	0.002150	1.116		
21 περιμετρικά	0.001497	0.694	0.002912	1.331
7 περιμετρικά	0.001845	0.725	0.002558	1.158
15 κέντρο	0.002006	1.378	0.002490	0.799
6 κέντρο	0.000488	1.728	0.00274	0.882
13 γωνιά	0.001583	1.461	0.004296	0.907
6 γωνιά	0.001997	1.798	0.004155	0.917
1 per cube(19)	0.001718	1.264	0.002571	0.958
5 projections & up (21)	0.002501	1.247	0.002096	0.841
4 projections & down(19)	0.001475	0.604	0.003040	1.268
Random(26)	0.002372	1.170	0.001693	1
random(15)	0.002487	1.277	0.002095	1.002

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 26 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΕΑ 40.

GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	expect. Diff	percentage
40	0.002846	2846	154	197	6%
21 περιμετρικά	0.002532	2532	468	511	17%
7 περιμετρικά	0.002407	2407	593	636	21%
15 κέντρο	0.004065	4065	-1065	-1,022	34%
6 κέντρο	0.003344	3344	-344	-301	10%
13 γωνιά	0.003789	3789	-789	-746	25%
6 γωνιά	0.003781	3781	-781	-738	24%

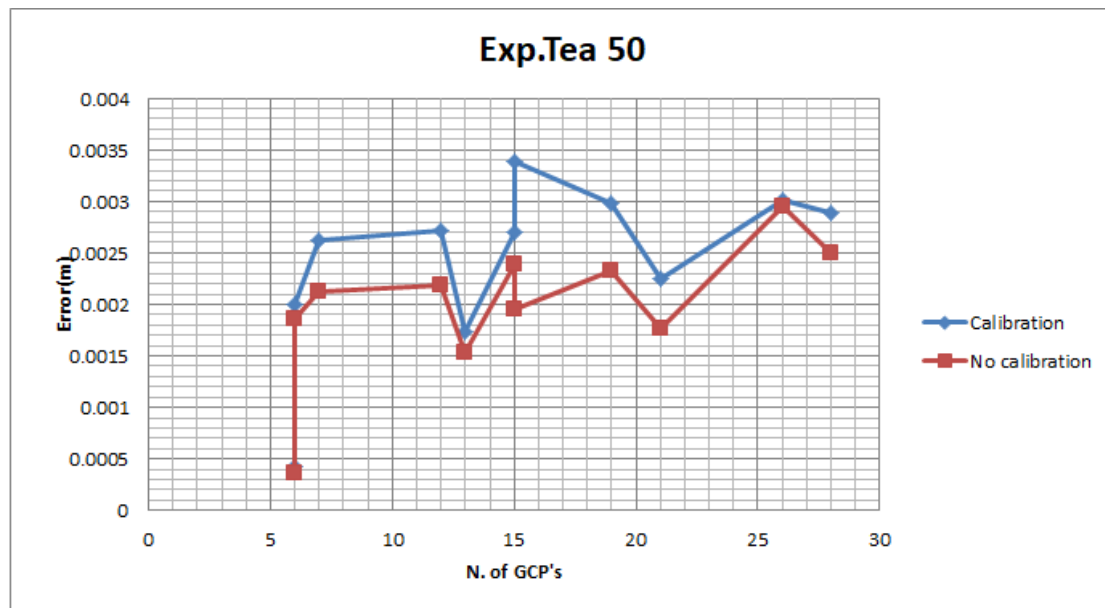
1 per cube(19)	0.002699	2699	301	344	11%
5 projections & up (21)	0.002942	2942	58	101	3%
4 projections & down(19)	0.002513	2513	487	530	17%
Random(26)	0.002730	2730	270	313	10%
random(15)	0.002614	2614	386	429	14%
39 (-1 error)	0.002787	2787	213	256	8%
40	0.002893	2893	107	150	5%
21 περιμετρικά	0.002778	2778	222	265	9%
7 περιμετρικά	0.002757	2757	243	286	9%
15 κέντρο	0.002983	2983	17	60	2%
6 κεντρο	0.003097	3097	-97	-54	2%
13 γωνιά	0.003236	3236	-236	-193	6%
6 γωνιά	0.003222	3222	-222	-179	6%
1 per cube(19)	0.002862	2862	138	181	6%
5 projections & up (21)	0.002986	2986	14	57	2%
4 projections & down(19)	0.002758	2758	242	285	9%
Random(26)	0.002917	2917	83	126	4%
random(15)	0.002924	2924	76	119	4%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 27 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΕΑ 40.

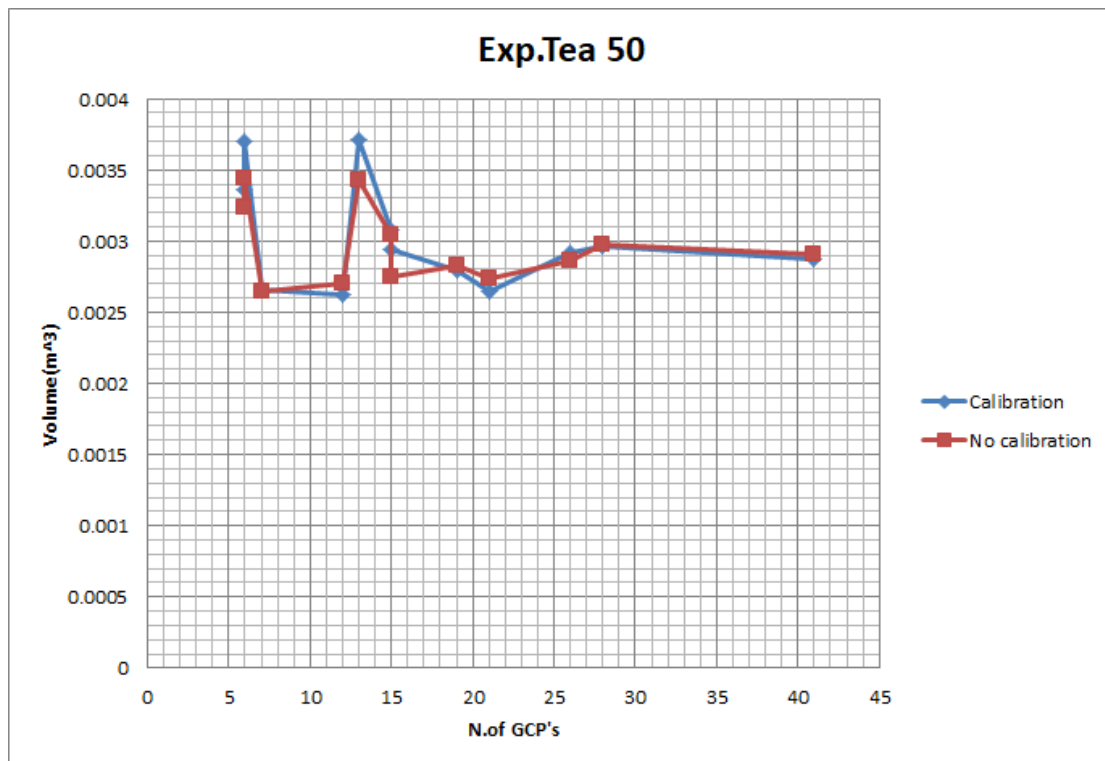
4.4 ΤΡΙΤΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.

Στην τρίτη ομάδα πειραματικών προσομοιώσεων συμπεριλαμβάνονται πειράματα με παρόμοιο ύψος πτήσης. Το ύψος πτήσης εδώ κυμαίνεται περίπου στα 50 cm (από 50.3cm έως 56.6 cm) για έξι κύριες κατηγορίες πειραμάτων. Τα κοινά χαρακτηριστικά όλων είναι η εστιακή απόσταση (3.789 mm), η φωτογραφική ανάλυση (4160x3120). Διαφοροποίηση έχουν τα πειράματα video 5(1) & video 5(2) όπου έχουν φωτογραφική ανάλυση 4096x2160 καθώς και το πείραμα video 8 με φωτογραφική ανάλυση 1080x1920 και τελευταίο το πείραμα AN. με 3120x4160.

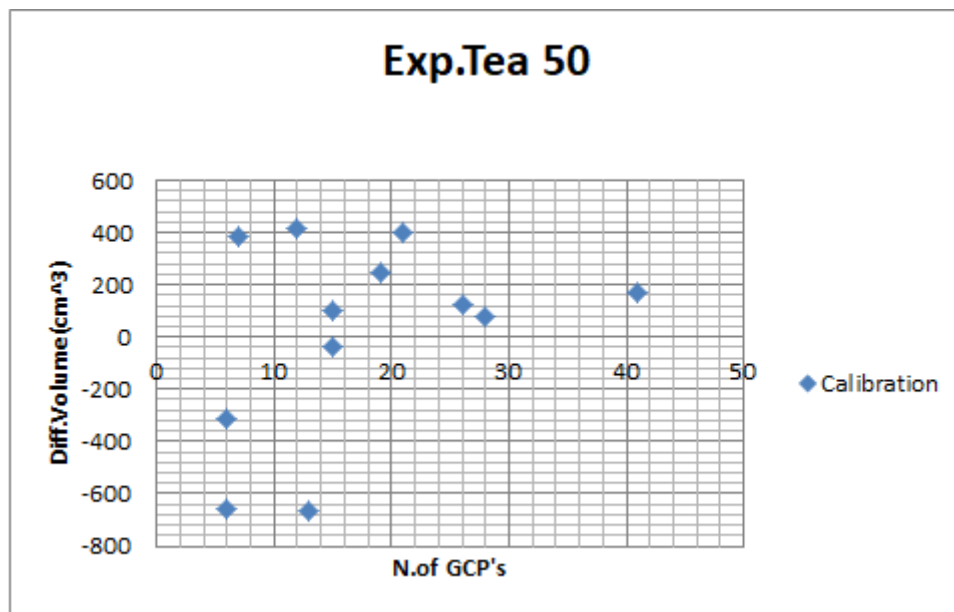
ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΕΑ 50



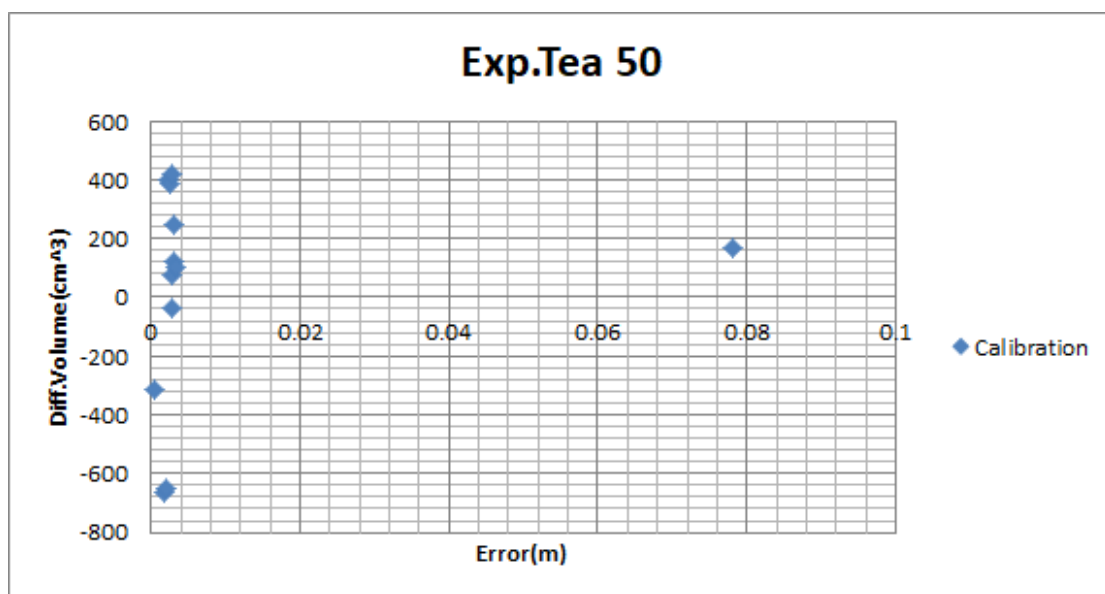
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 36 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 37: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 38 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP .



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 39 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology	geometry h.o.
Tea 50	54.3 cm	26	Φ.Φώς	Κινητό	3120x4160	Βουνά, πλαγιές.	0.000043605 m ³

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 28 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΤΕΑ 50.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
41	0.078112	1.333		
21 περιμετρικά	0.002251	1.029	0.004318	1.511
7 περιμετρικά	0.002623	1.180	0.003764	1.351
15 κέντρο	0.002700	1.561	0.003817	1.076
6 κεντρο	0.000426	1.464	0.004391	1.299
13 γωνιά	0.001732	1.326	0.007638	1.337
6 γωνία	0.001998	1.245	0.007118	1.348
1 per cube(19)	0.002983	1.338	0.003198	1.329
5 projections & up (28)	0.002884	1.356	0.003771	1.161
4 projections & down(12)	0.002722	1.178	0.003788	1.353
Random(26)	0.003015	1.222	0.003256	1.546
random(15)	0.00339	1.153	0.002944	1.427
41	0.079281	1.302		
21 περιμετρικά	0.001767	1.019	0.003553	1.470
7 περιμετρικά	0.002125	1.283	0.003253	1.305
15 κέντρο	0.002388	1.542	0.003000	1.033
6 κεντρο	0.000365	1.433	0.003406	1.269
13 γωνιά	0.001536	1.340	0.005119	1.281
6 γωνία	0.001857	1.244	0.005033	1.312
1 per cube(19)	0.002320	1.263	0.002801	1.332
5 projections & up (28)	0.002502	1.324	0.002852	1.143
4 projections & down(12)	0.002187	1.160	0.003160	1.321
Random(26)	0.002948	1.485	0.001501	0.865
random(15)	0.001955	1.029	0.003049	1.41

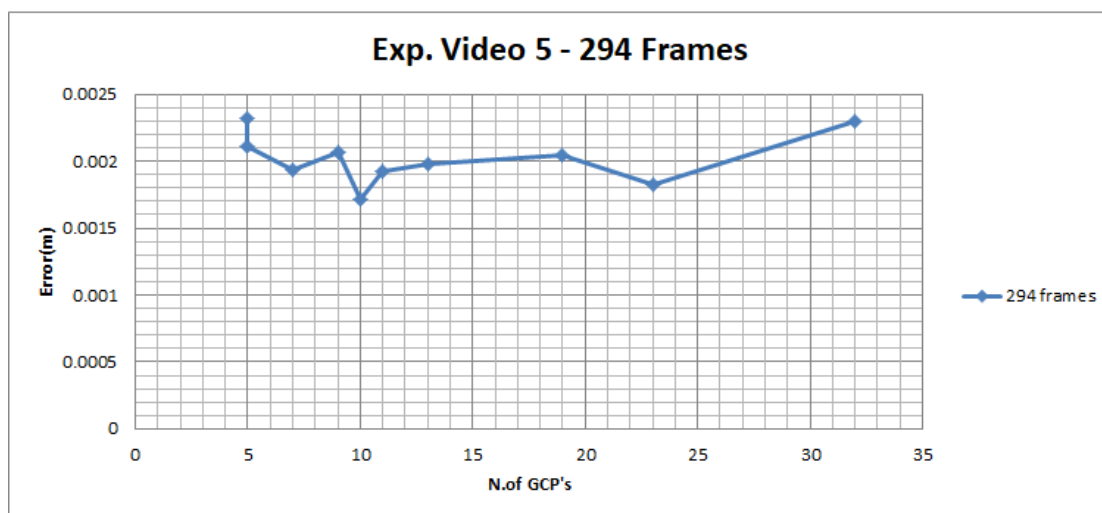
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 29 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΕΑ 50.

GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	expect. Diff	percentage
41	0.002874	2874	126	169	6%
21 περιμετρικά	0.002644	2644	356	399	13%
7 περιμετρικά	0.002657	2657	343	386	13%
15 κέντρο	0.003081	3081	-81	-38	1%
6 κέντρο	0.003356	3356	-356	-313	10%
13 γωνιά	0.003707	3707	-707	-664	22%
6 γωνιά	0.003697	3697	-697	-654	21%
1 per cube(19)	0.002797	2797	203	246	8%
5 projections & up (28)	0.002967	2967	33	76	2%
4 projections & down(12)	0.002626	2626	374	417	14%
Random(26)	0.002920	2920	80	123	4%
random(15)	0.002939	2939	61	104	3%

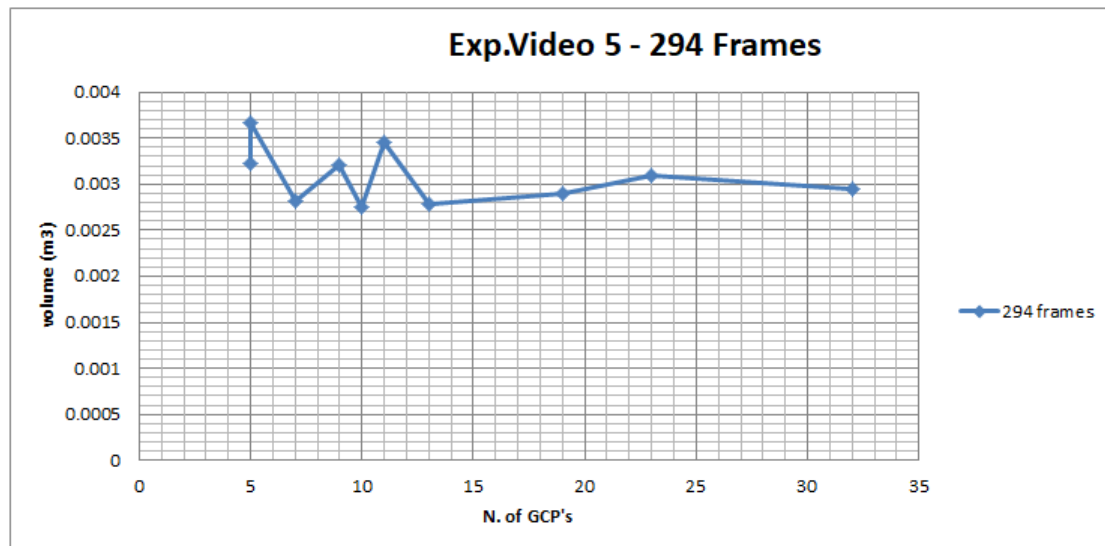
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 30 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΕΑ 50.

41	0.002903	2903	97	140	5%
21 περιμετρικά	0.002733	2733	267	310	10%
7 περιμετρικά	0.002645	2645	355	398	13%
15 κέντρο	0.003039	3039	-39	4	0%
6 κέντρο	0.003231	3231	-231	-188	6%
13 γωνιά	0.003430	3430	-430	-387	13%
6 γωνιά	0.003443	3443	-443	-400	7%
1 per cube(19)	0.002830	2830	170	213	11%
5 projections & up (28)	0.002977	2977	23	66	6%
4 projections & down(12)	0.002700	2700	300	343	10%
Random(26)	0.002867	2867	133	176	0%
random(15)	0.002750	2750	250	293	0%

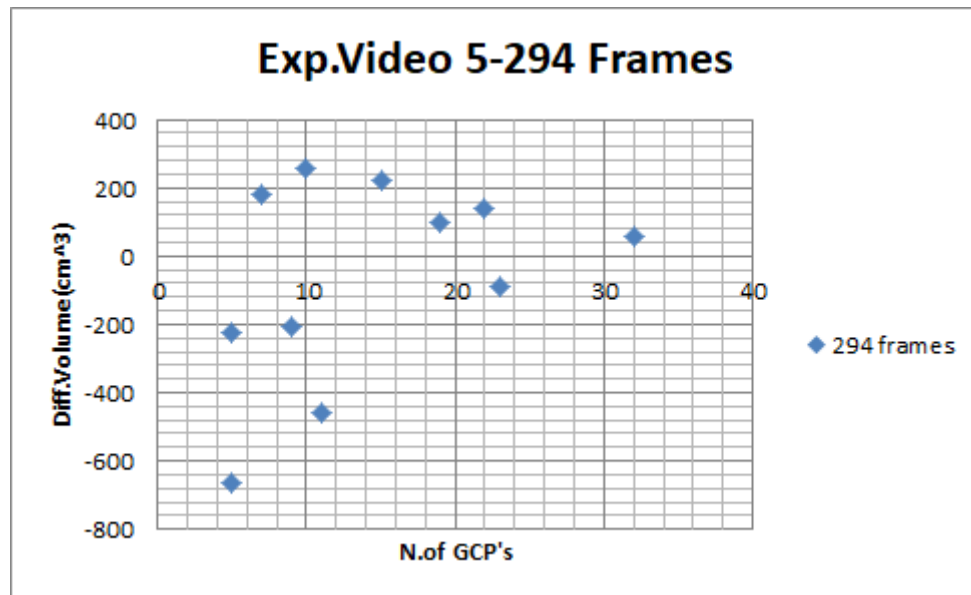
ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 5 (1&2)



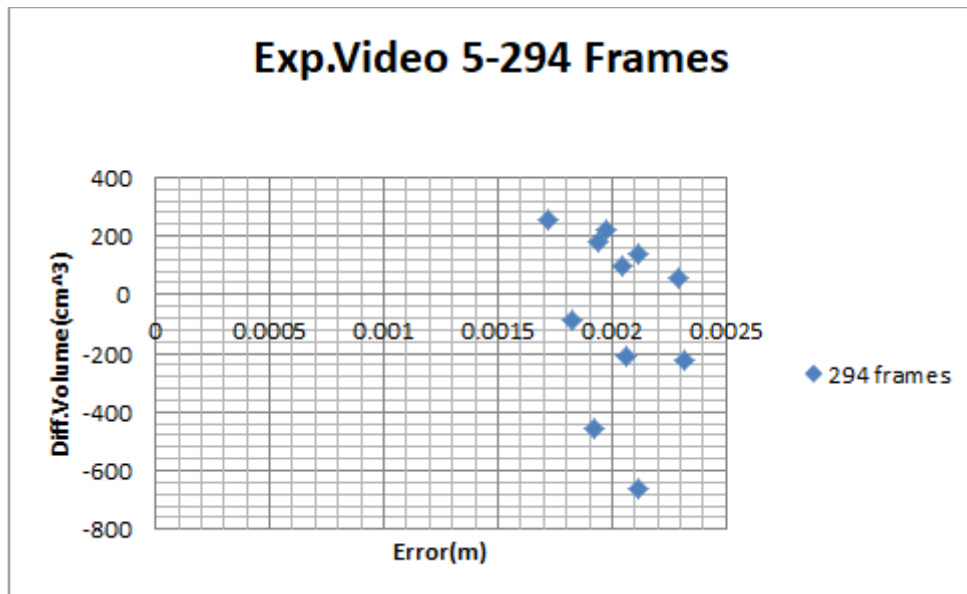
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 40 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 41 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 42 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 43 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

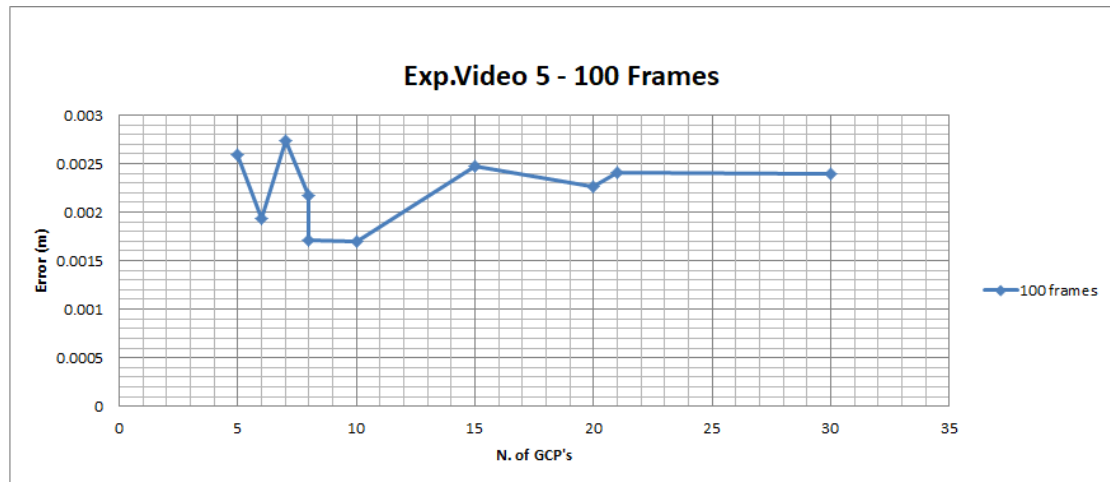
Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
video 5 / 294 Frames	53.2 cm	294 frames	Φ.Φώς	phantom	4096x2160	Βουνά, χαράδρες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 31 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ VIDEO 5- 294 FRAMES.

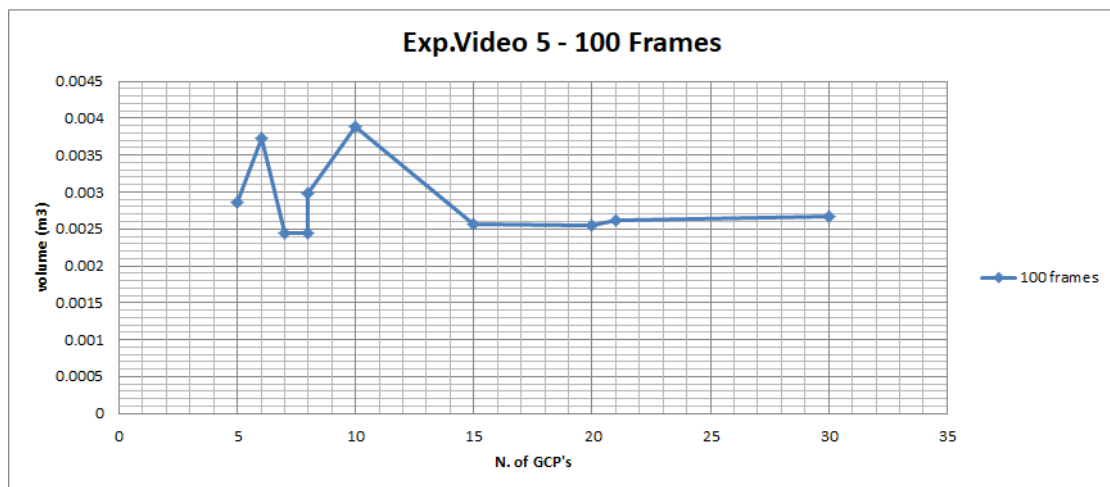
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
32	0.002943	2943	57	2%
23	0.003089	3089	-89	3%
22 περιμετρικά	0.002858	2858	142	5%
7 περιμετρικά	0.002822	2822	178	6%
9 κέντρο	0.003209	3209	-209	7%
5 κέντρο	0.003226	3226	-226	8%
11γωνία	0.003459	3459	-459	15%
5 γωνία	0.003665	3665	-665	22%
1per cube	0.002780	2780	220	7%
Projection 10 down(19)	0.002899	2899	101	3%
Projection 20 down(10)	0.002744	2744	256	9%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 32 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 5 -294 FRAMES.

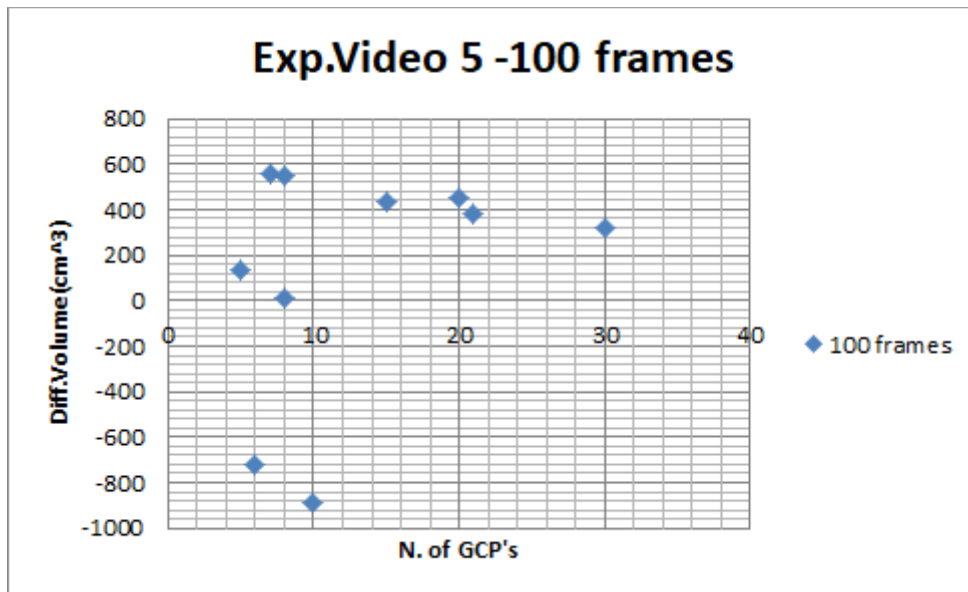
GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
32	0.002293	1.167	0.186672	598.821
23	0.001826	1.193	0.065699	315.607
22 περιμετρικά	0.002115	1.138	0.056418	239.212
7 περιμετρικά	0.001937	0.975	0.036846	155.311
9 κέντρο	0.002064	1.014	0.038309	163.184
5 κέντρο	0.002319	1.333	0.035729	148.023
11γωνία	0.001920	1.509	0.039828	168.479
5 γωνία	0.002112	1.384	0.036074	154.791
1per cube	0.001978	1.176	0.041981	178.670
Projection 10 down(19)	0.002041	1.165	0.049901	327.989
Projection 20 down(10)	0.001716	1.075	0.039125	214.875



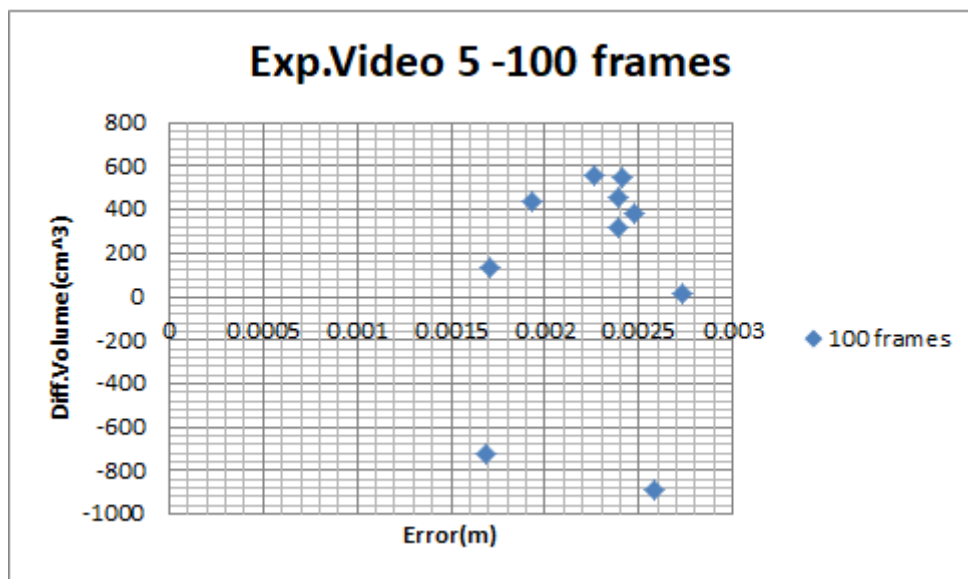
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 44 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 45 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 46 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 47 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil
------	-----------	-------	---------------	-----------	-------	------

	flight					morphology
video 5	53.2 cm	100 frames	Φ.Φώς	phantom	4096x2160	Βουνά, χαράδρες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 34 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ VIDEO 5- 100 FRAMES.

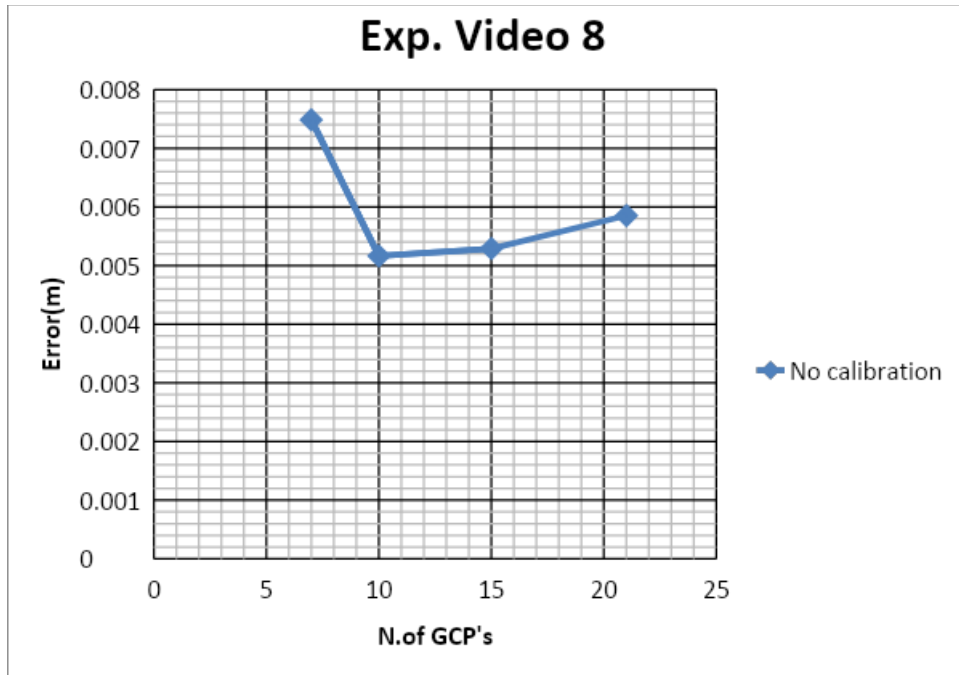
GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
30	0.002395	1.088	0.15268	613.279
20 περιμετρικά	0.002261	1.024	0.051151	244.869
7 περιμετρικά	0.002732	0.923	0.035447	168.340
8 κέντρο	0.001707	1.092	0.035334	177.716
5 κέντρο	0.002585	1.066	0.034402	166.636
10 γωνία	0.001691	1.397	0.038545	180.492
6 γωνία	0.001934	1.495	0.035558	170.096
1 pre cube (15)	0.002478	1.183	0.042651	204.428
Random 21	0.002408	1.052	0.054180	258.322
random 8	0.002172	0.963	0.035658	173.781

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 35 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 5- 100 FRAMES.

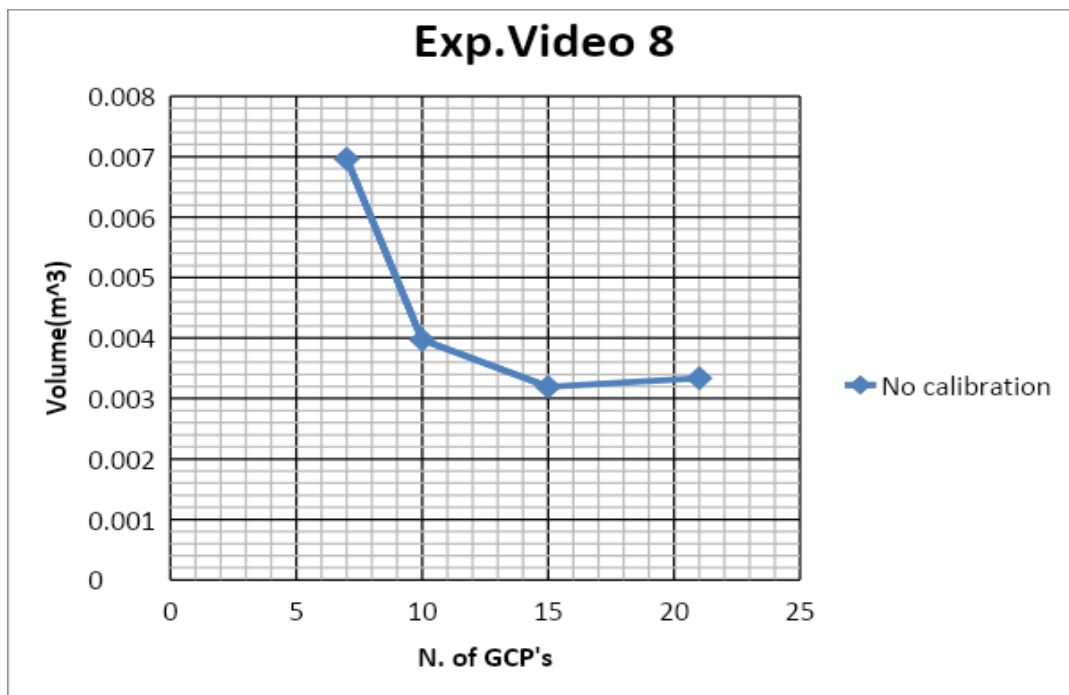
GCP	Volume (m ^{^3})	l/1000 = cm3	3L - L (3000cm3-)	percentage
30	0.002678	2678	322	11%
20 περιμετρικά	0.002544	2544	456	15%
7 περιμετρικά	0.002440	2440	560	19%
8 κέντρο	0.002988	2988	12	0%
5 κέντρο	0.002863	2863	137	5%
10 γωνία	0.003889	3889	-889	30%
6 γωνία	0.003724	3724	-724	24%
1 pre cube (15)	0.002564	2564	436	15%
Random 21	0.002615	2615	385	13%
random 8	0.002452	2452	548	18%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 36 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 5 -100 FRAMES.

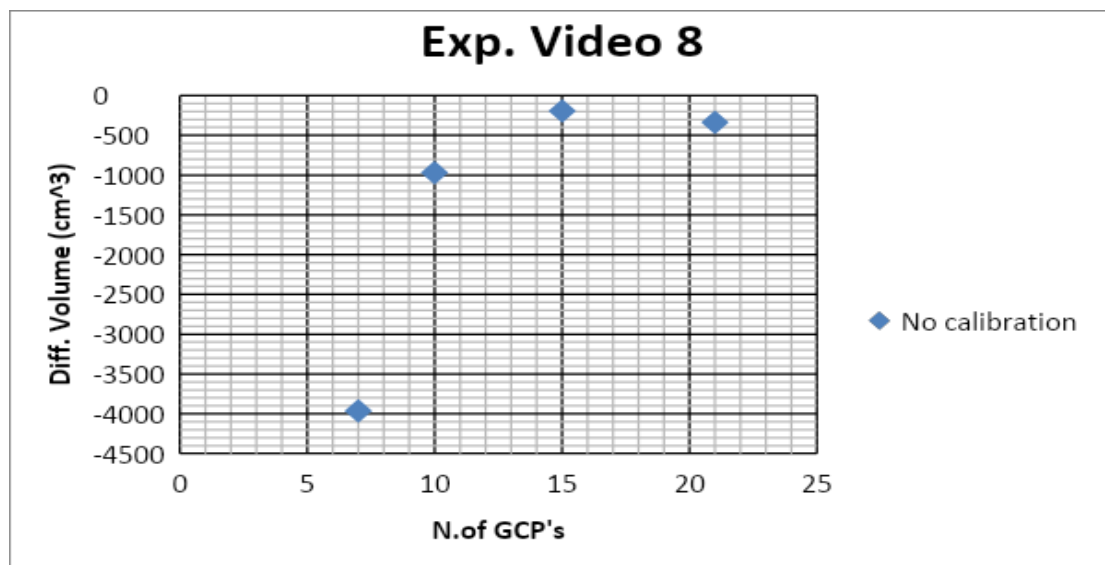
ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 8



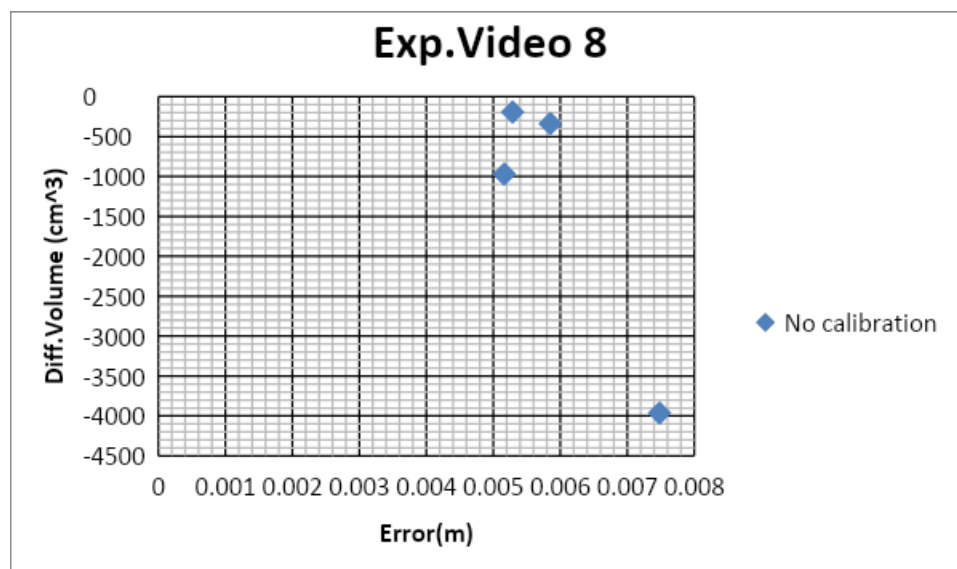
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 48 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 49 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 50 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP .



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 51 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
video 8	56.1	91 cameras	Φ.Φώς	Κινητό	1080x1920	Βουνά, χαράδρες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 37 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 8.

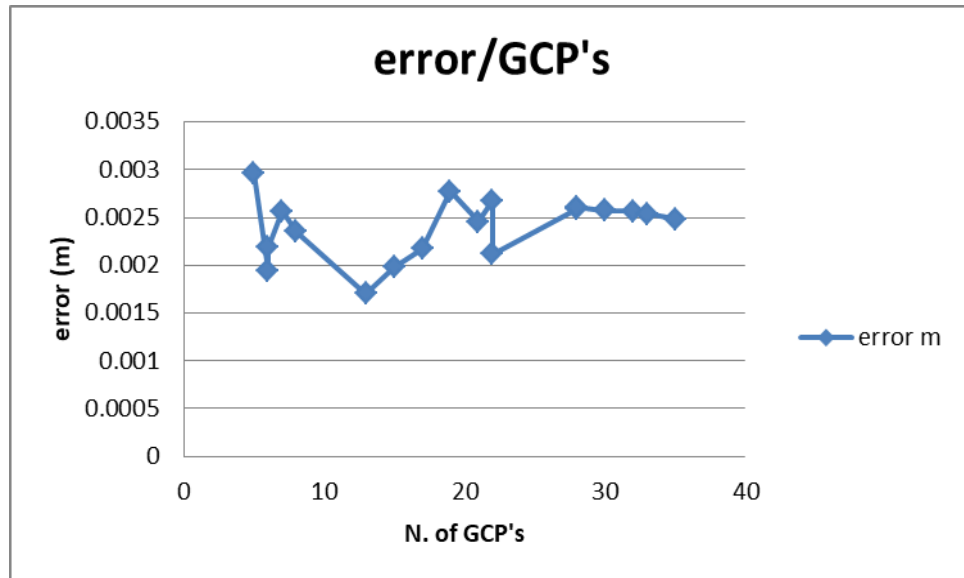
GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
21	0.005851	1.219		
Random 15	0.005288	1.396	0.006113	0.454
random 10	0.005163	0.282	0.006543	1.594
random7	0.007483	0.326	0.019275	1.448

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 38 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 8.

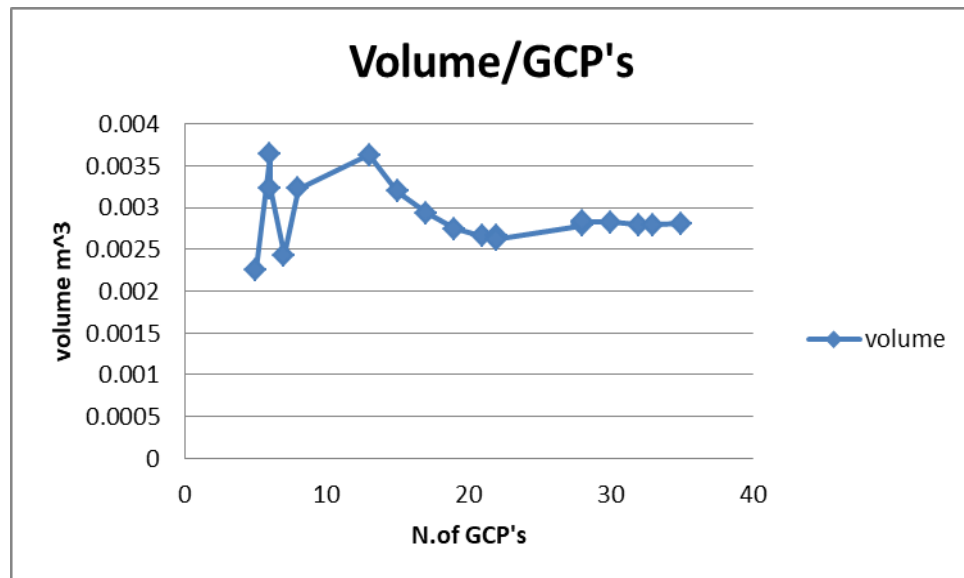
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
21	0.003338	3338	-338	11%
Random 15	0.003194	3194	-194	6%
random 10	0.00397	3970	-970	32%
random7	0.006964	6964	-3964	132%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 39 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 8.

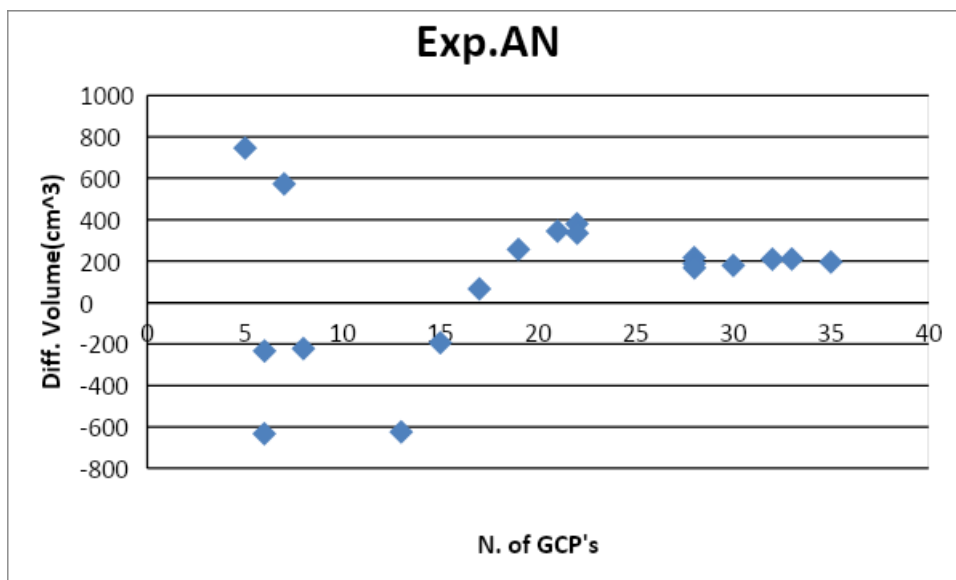
ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΝ.



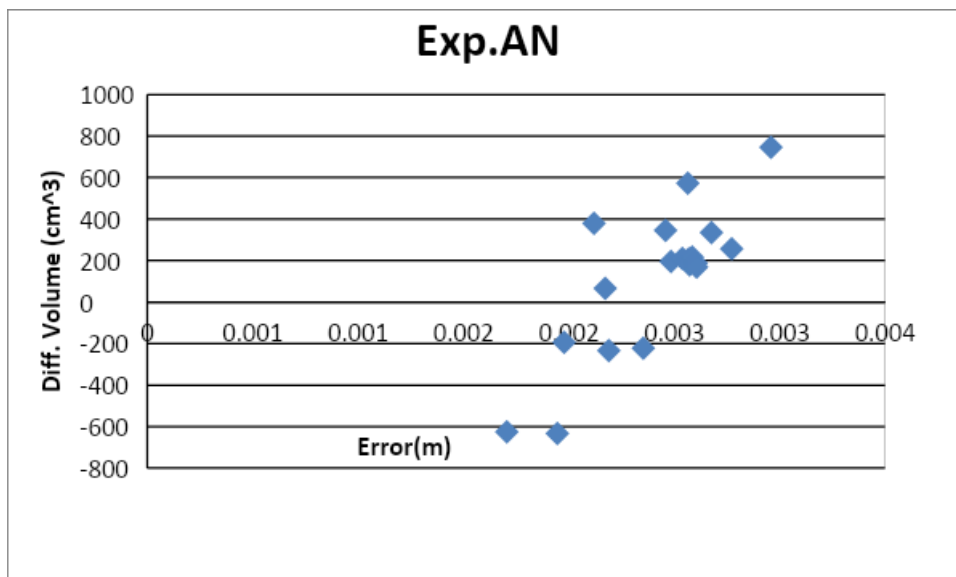
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 52 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 53 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 54 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP .



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 55 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Μια γενική παρατήρηση για τα παραπάνω πειράματα είναι πως όσο περισσότερα *GCP* έχουμε τόσο πιο ομαλοποιημένη γίνεται η καμπύλη μας τόσο στα σφάλματα όσο και στον όγκο.

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
AN	56.8 cm	27	Φ.Φώς	Κινητό	3120x4160	Βουνά

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 40 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΑΝ.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
35	0.002484	1.723		
22 περιμετρικά	0.002119	1.067	0.003347	2.234
7 περιμετρικά	0.002564	1.031	0.003325	1.815
15 κέντρο	0.001977	2.291	0.003622	1.073
6 κέντρο	0.00219	1.954	0.003497	1.776
13 γωνία	0.001706	2.019	0.006392	1.573
6 γωνία	0.001945	1.330	0.005709	2.068
all around c 21	0.002459	1.265	0.002807	2.122
allaround c 22	0.002676	1.270	0.002431	2.198
inside area 8	0.002354	1.865	0.004313	1.660
inside area plus περιμετρικά (17)	0.002172	1.558	0.00349	1.915
1 pre cube(19)	0.002772	1.947	0.002408	1.414
matrix(5)	0.002958	1.187	0.004210	1.773
Random 33	0.002538	1.767	0.001332	0.810
Random 32	0.002569	1.791	0.001270	0.796
Random 30	0.002573	1.802	0.001727	0.763
Random 28	0.002586	1.866	0.001976	0.773
Random 28	0.002605	1.683	0.001841	1.912
Random 28	0.002606	1.851	0.001865	0.737

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 41 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΝ.

GCP	Volume (m ^{^3})	l/1000 = cm3	3L - L (3000cm3-)	percentage
35	0.002804	2804	196	7%
22 περιμετρικά	0.002620	2620	380	13%
7 περιμετρικά	0.002427	2427	573	19%

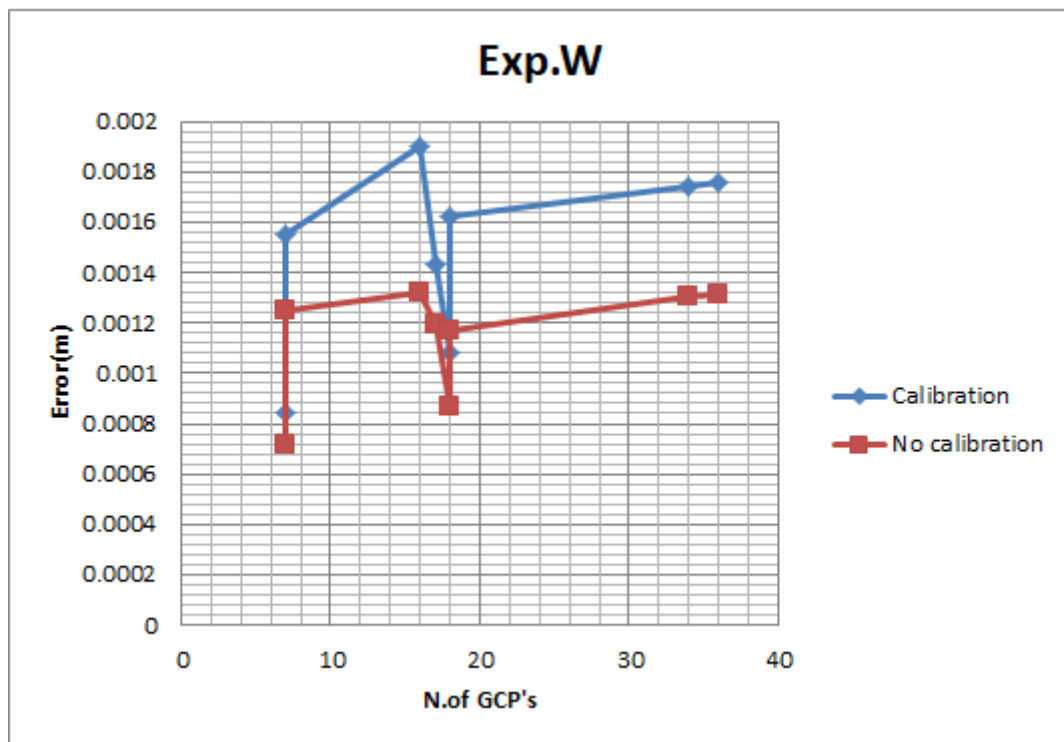
15 κέντρο	0.003194	3194	-194	6%
6 κέντρο	0.003234	3234	-234	8%
13 γωνία	0.003625	3625	-625	21%
6 γωνία	0.003633	3633	-633	21%
all around c 21	0.002655	2655	345	12%
allaround c 22	0.002665	2665	335	11%
inside area 8	0.003222	3222	-222	7%
inside area plus περιμετρικά (17)	0.002934	2934	66	2%
1 pre cube(19)	0.002743	2743	257	9%
matrix(5)	0.002254	2254	746	25%
Random 33	0.00279	2790	210	7%
Random 32	0.002791	2791	209	7%
Random 30	0.002820	2820	180	6%
Random 28	0.002783	2783	217	7%
Random 28	0.002812	2812	188	6%
Random 28	0.002832	2832	168	6%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 42 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΝ.

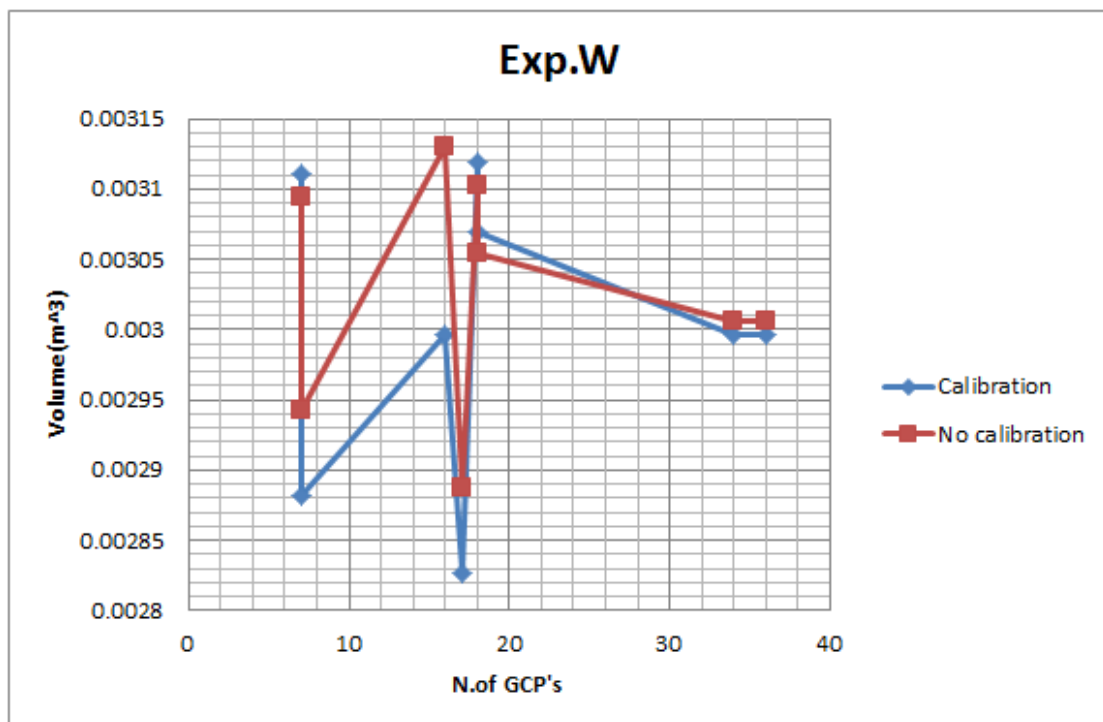
4.5 ΤΕΤΑΡΤΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.

Στην τέταρτη ομάδα πειραματικών προσομοιώσεων συμπεριλαμβάνονται πειράματα με παρόμοιο ύψος πτήσης. Το ύψος πτήσης εδώ κυμαίνεται περίπου στα 60 cm (από 60.2 cm έως 64.7 cm) για τρεις κύριες κατηγορίες πειραμάτων.

ΠΕΙΡΑΜΑ W

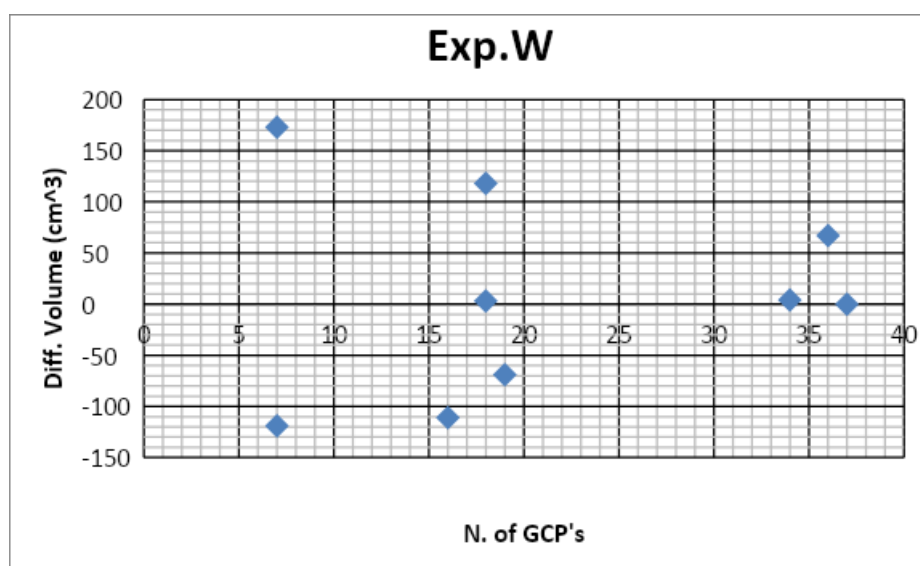


ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 56 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.

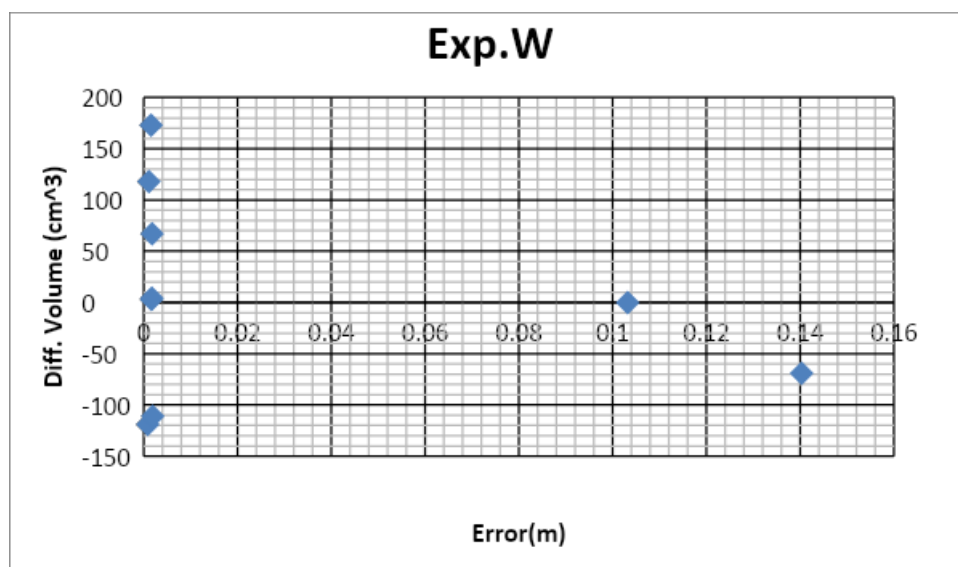


ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 57 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.

Γράφημα 4.58



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 58 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP .



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 59 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M)

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
W	62.9 cm	20	n. with shadows	Κινητό	4160x3120	Βουνά, ανώμαλο έδαφος

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 43 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ W.

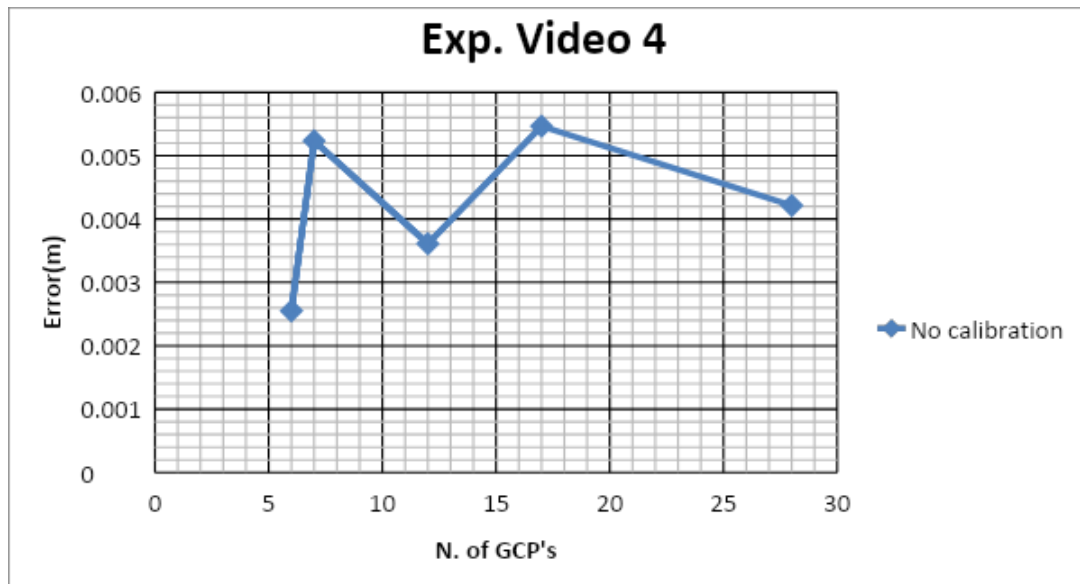
GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	check points	Check P.
37	0.103213	0.660		
17 περιμετρικά	0.001429	0.686	0.002660	0.643
7 περιμετρικά	0.001550	0.730	0.002318	0.647
18 εσωτερικά	0.001084	0.645	0.002579	0.674
7 εσωτερικά	0.000842	0.629	0.002137	0.667
1per cube(16)	0.001901	0.675	0.001596	0.646
Projections 5+(18)	0.001623	0.666	0.002203	0.649
Projections -5(19)	0.140310	0.636	0.002193	0.675
αφαίρεση το μεγάλο σφάλμα (36)	0.001759	0.662		0
projection -1 (34)	0.001740	0.666		0
37	0.103743	0.629		

17 περιμετρικά	0.001196	0.649	0.001829	0.616
7 περιμετρικά	0.001247	0.670	0.001487	0.619
18 εσωτερικά	0.000870	0.645	0.001913	0.612
7 εσωτερικά	0.000715	0.658	0.001626	0.621
1per cube(16)	0.001322	0.630	0.001321	0.627
Projections 5+(18)	0.001169	0.637	0.001661	0.614
Projections -5(19)	0.144704	0.614	0.001501	0.637
αφαίρεση το μεγάλο σφάλμα (36)	0.001313	0.631		0
projection -1 (34)	0.001306	0.635		0

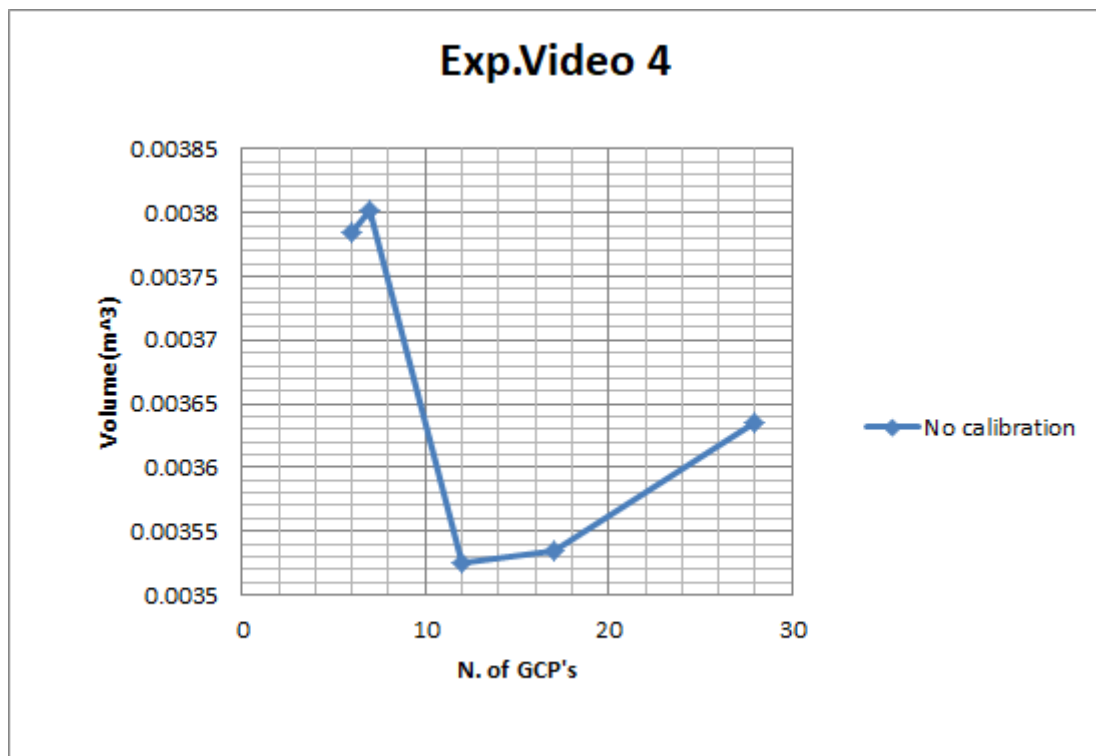
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 44 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ W.

GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
37	0.003000	3000	0	0%
17 περιμετρικά	0.002827	2827	173	6%
7 περιμετρικά	0.002882	2882	118	4%
18 εσωτερικά	0.003119	3119	-119	4%
7 εσωτερικά	0.003111	3111	-111	4%
1per cube(16)	0.002997	2997	3	0%
Projections 5+(18)	0.003069	3069	-69	2%
Projections -5(19)	0.002933	2933	67	2%
αφαίρεση το μεγάλο σφάλμα (36)	0.002996	2996	4	0%
projection -1 (34)	0.002996	2996	4	0%
37	0.003010	3010	-10	0%
17 περιμετρικά	0.002887	2887	113	4%
7 περιμετρικά	0.002942	2942	58	2%
18 εσωτερικά	0.003102	3102	-102	3%
7 εσωτερικά	0.003094	3094	-94	3%
1per cube(16)	0.00313	3130	-130	4%
Projections 5+(18)	0.003054	3054	-54	2%
Projections -5(19)	0.002968	2968	32	1%
αφαίρεση το μεγάλο σφάλμα (36)	0.003006	3006	-6	0%
projection -1 (34)	0.003006	3006	-6	0%

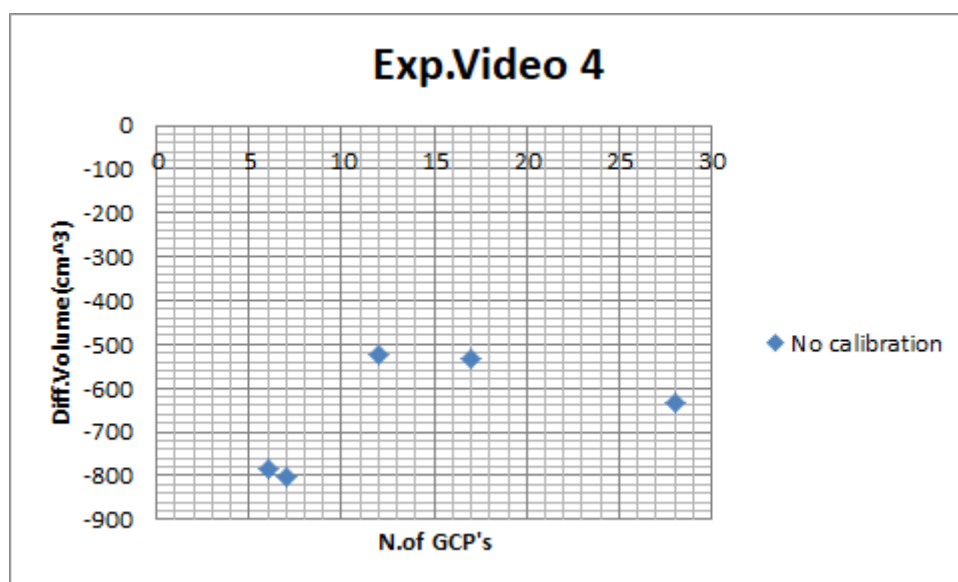
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 45 : ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ W.



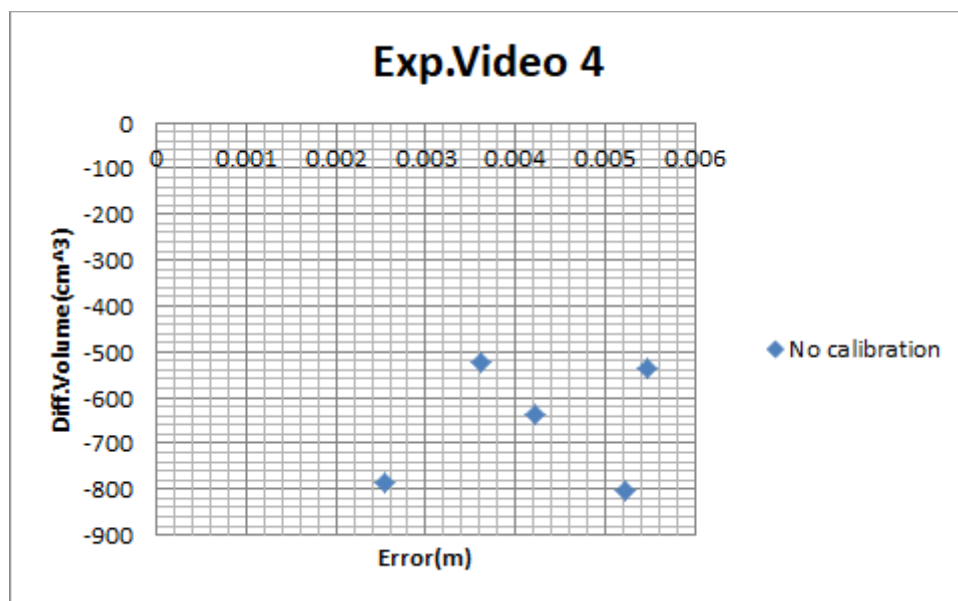
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 60 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 61 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 62 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP .



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 63 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
Video 4	60.2 cm	86 cameras	Φ.Φώς	Κινητό	1920x1080	Βουνά, ανώμαλο έδαφος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 46 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ VIDEO 4.

GCP	Error(m)	Error(px)	Error(m)	Error (px)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
28	0.004214	0.629		
Random 17	0.005465	0.715	0.005965	0.520
Random 7	0.005235	0.824	0.006887	0.552
Random 6	0.002552	0.880	0.007912	0.497
Random 12	0.003611	0.787	0.006376	0.401

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 47 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 4.

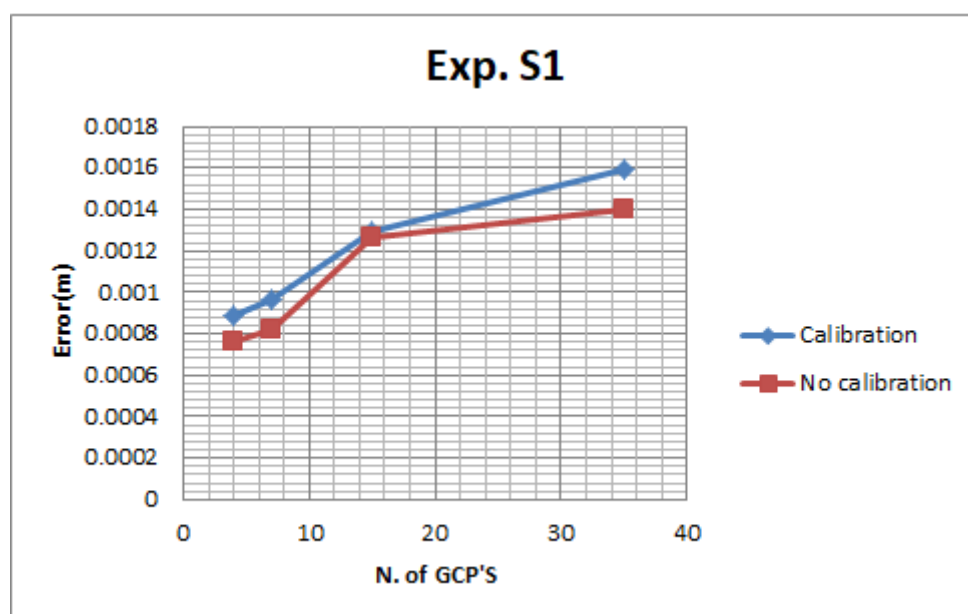
GCP	Volume (m³)	l/1000 = cm³	3L - L (3000cm³-)	percentage
28	0.003635	3635	-635	21%
Random 17	0.003534	3534	-534	18%
Random 7	0.003802	3802	-802	27%
Random 6	0.003784	3784	-784	26%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 48 : ΟΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 4.

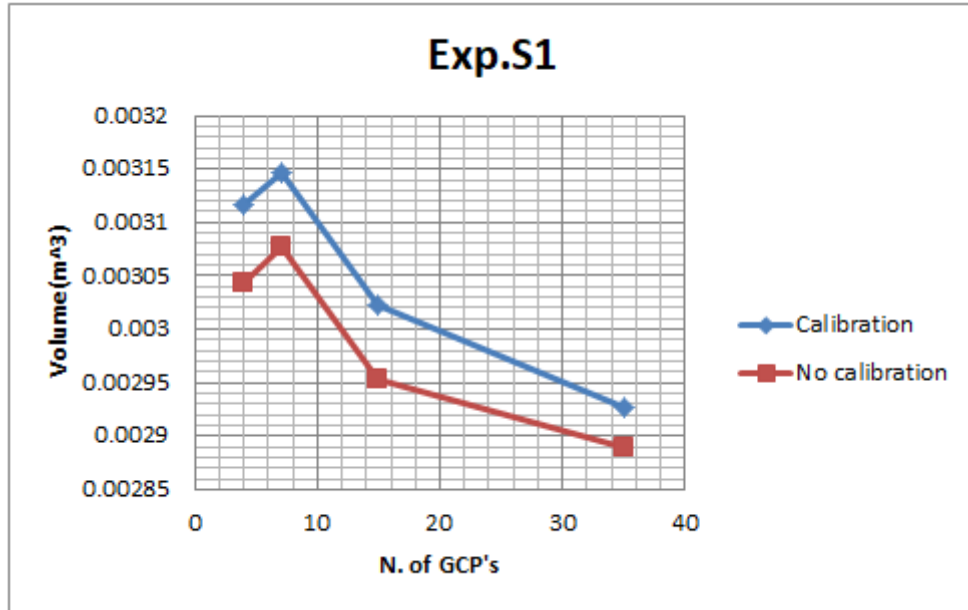
4.6 ΠΕΜΠΤΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.

Στην πέμπτη ομάδα πειραματικών προσομοιώσεων συμπεριλαμβάνονται πειράματα με παρόμοιο ύψος πτήσης. Το ύψος πτήσης εδώ κυμαίνεται περίπου στα 70 cm (από 73.8 cm έως 79 cm) για τέσσερις κύριες κατηγορίες πειραμάτων. Τα κοινά χαρακτηριστικά όλων είναι η εστιακή απόσταση (3.789 mm) και η φωτογραφική ανάλυση (4160x3120).

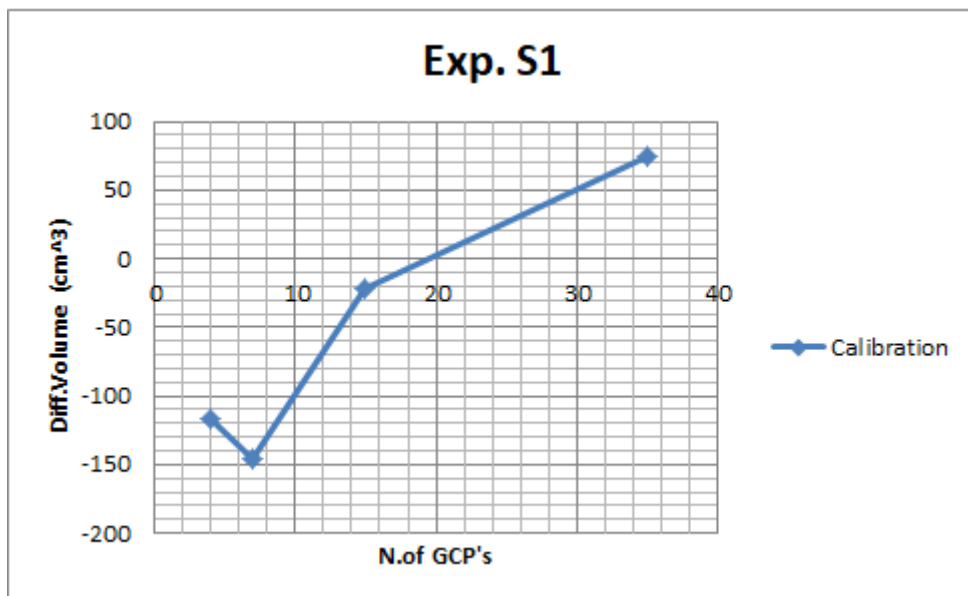
ΠΕΙΡΑΜΑ S1 & S2



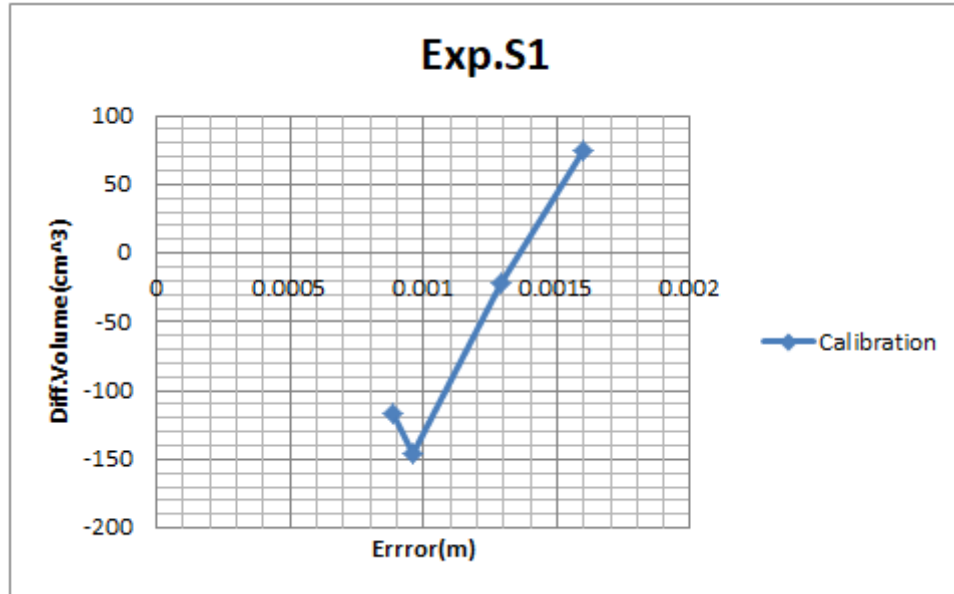
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 64 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 65 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 66 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 67 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
S1	76.1 cm	30	Φ.Φώς	Κινητό	4160x3120	Βουνά, Ανώμαλο έδαφος.

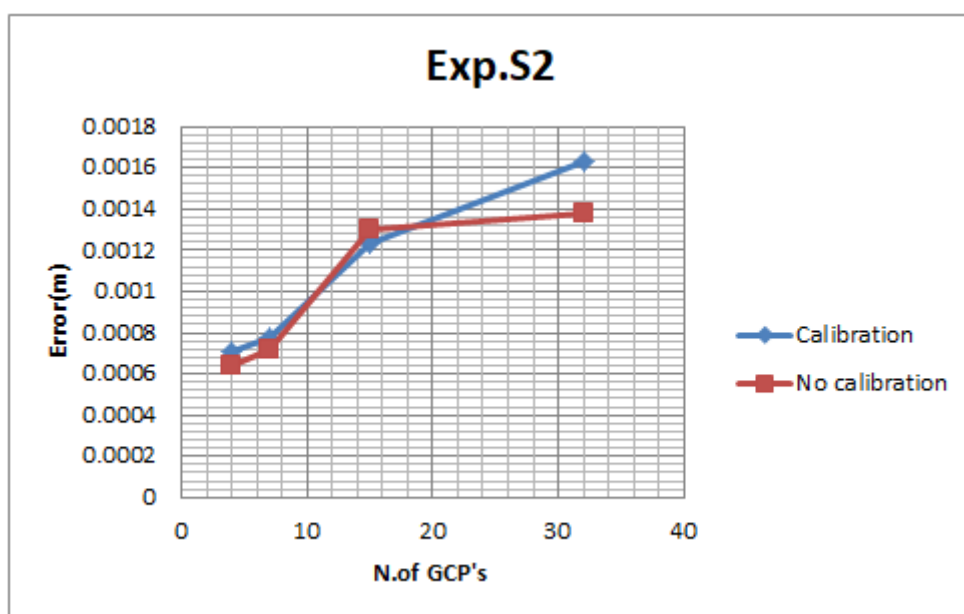
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 49 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ S1.

GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
35	0.002926	2926	74	2%
4	0.003116	3116	-116	4%
7	0.003146	3146	-146	5%
15	0.003022	3022	-22	1%
4	0.003044	3044	-44	1%
7	0.003077	3077	-77	3%
15	0.002953	2953	47	2%
35	0.00289	2890	110	4%

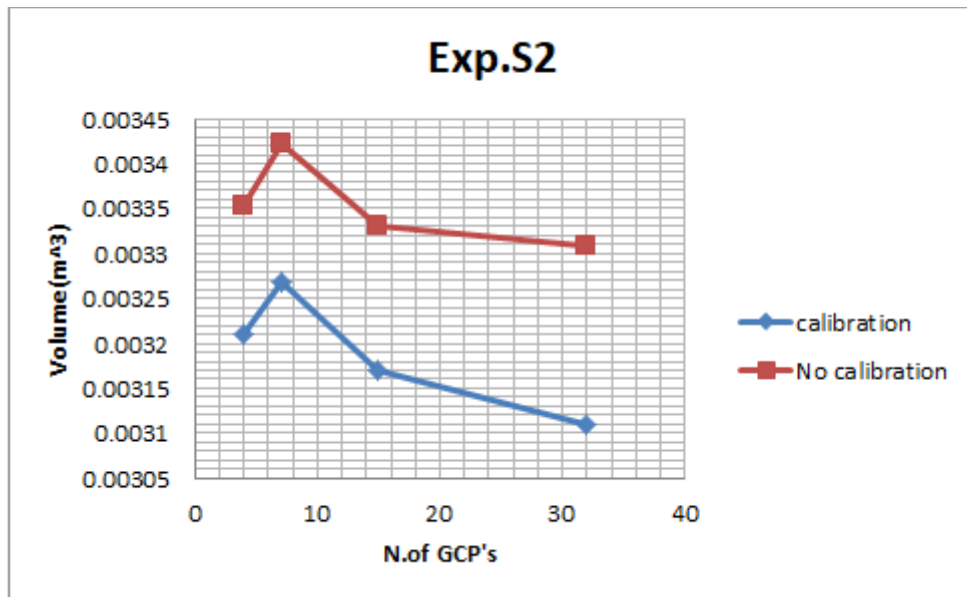
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 50 : ΌΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ S1.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
35	0.001595	0.658		
4	0.000887	0.74	0.003119	0.646
7	0.000961	0.724	0.002875	0.633
15	0.001293	0.724	0.002464	0.596
4	0.000764	0.75	0.00251	0.644
7	0.000816	0.686	0.002385	0.648
15	0.001261	0.685	0.001919	0.634
35	0.001403	0.658		

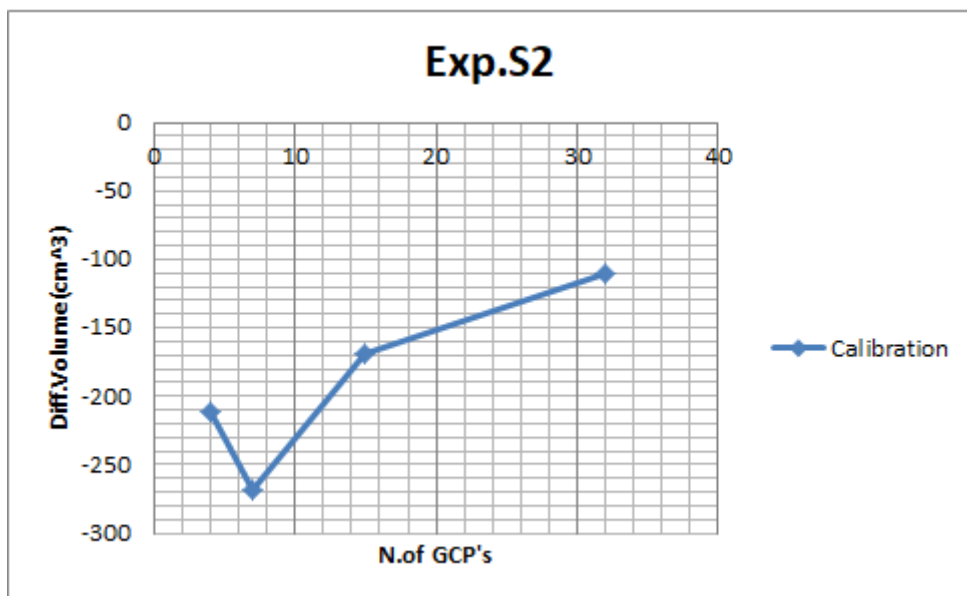
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 51 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ S1.



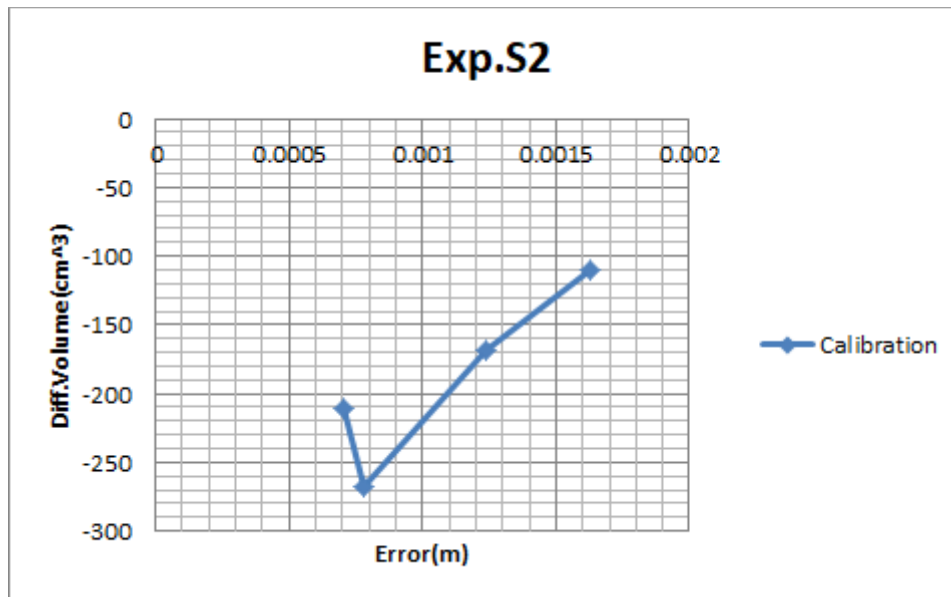
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 68 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 69 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 70 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 71 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
S2	79	12	Φ.Φώς	Κινητό	4160x3120	Βουνά, ανώμαλο έδαφος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. S2 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ S2.

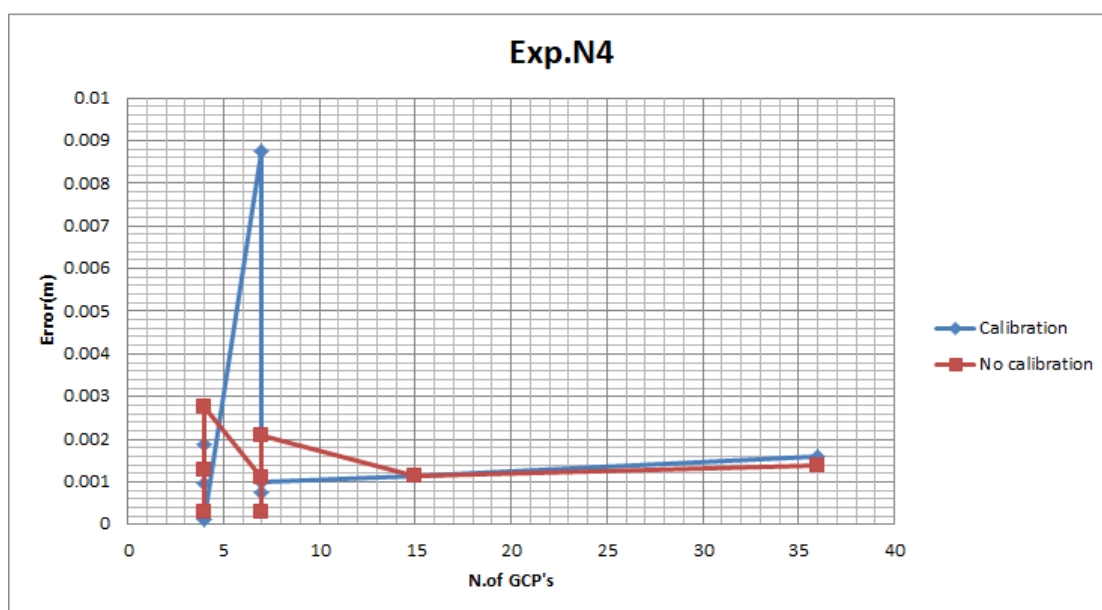
GCP	Error(m)	Error(px)	Error(m)	Error (px)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
32	0.001627	0.531		
4	0.000705	0.54	0.001772	0.53
7	0.000779	0.538	0.001975	0.528
15	0.001236	0.537	0.002039	0.525
4	0.000638	0.639	0.00166	0.554
7	0.000719	0.629	0.0001669	0.539
15	0.001305	0.619	0.001305	0.52
32	0.001378	0.567		

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 53 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ S2.

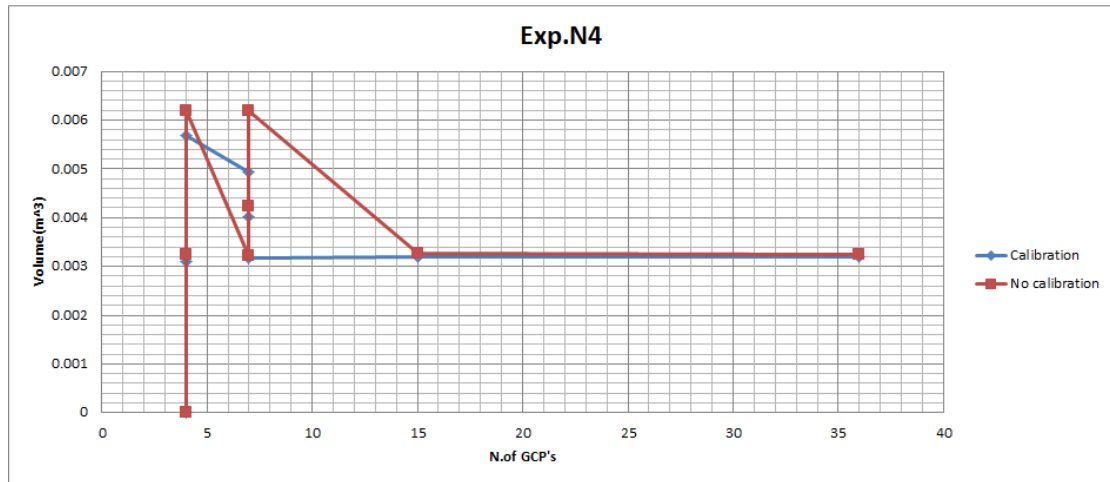
GCP	Volume (m ³)	I/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
32	0.00311	3110	-110	4%
4	0.003211	3211	-211	7%
7	0.003268	3268	-268	9%
15	0.003169	3169	-169	6%
4	0.003354	3354	-354	12%
7	0.003423	3423	-423	14%
15	0.003331	3331	-331	11%
32	0.003309	3309	-309	10%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 54 : Όγκος και ποσοστιαία διαφορά για το πείραμα S2.

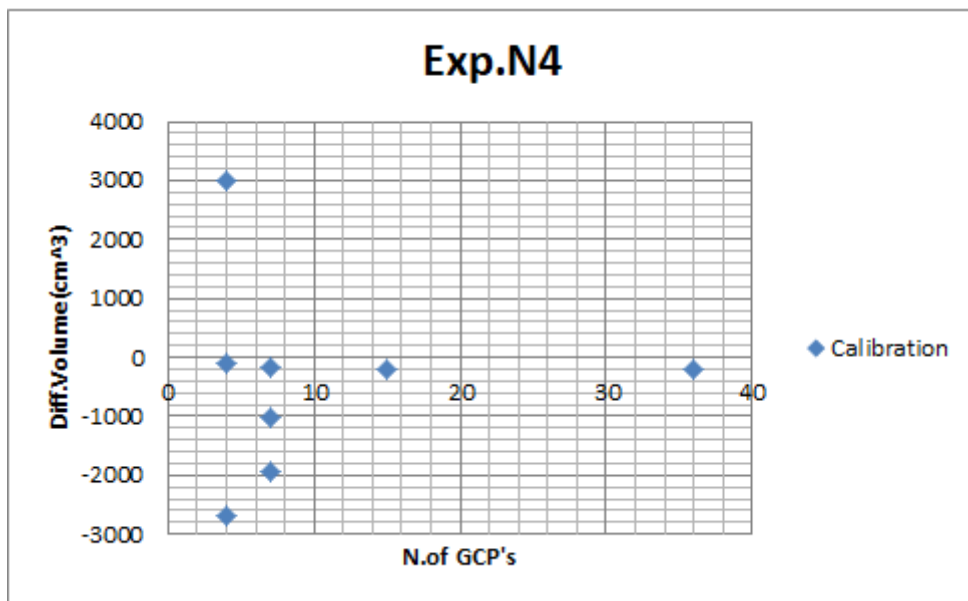
ΠΕΙΡΑΜΑ N4



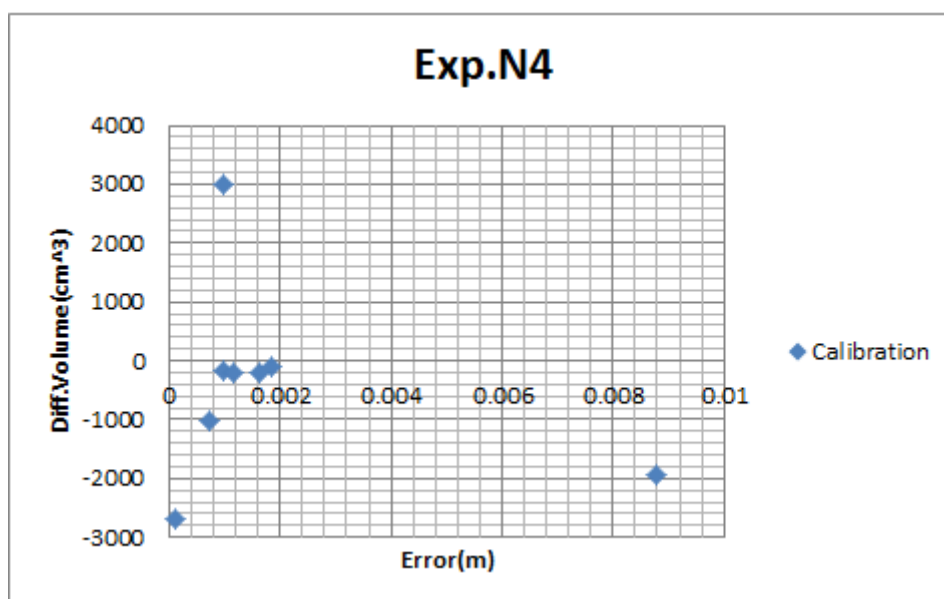
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 72 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 73 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 74 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP .



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 75: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
N4	76.1 cm	18	n.light	Κινητό	4160x3120	Βουνά, ανώμαλο έδαφος .

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 55 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Ν4.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check.P
36	0.001613	0.675		
4	0.001862	1,183	0.00168	0.625
7	0.000984	0.827	0.001843	0.639
15	0.001154	0.733	0.002243	0.606
36	0.001613	0.675		
4left	0.000966	1,097	0.455719	0.009
4right	0.0001	0.646	0.017116	0.6777
7 left	0.00877	0.974	0.016895	0.564
7 right	0.000738	0.55	0.0072	0.69

4	0.001293	1,042	0.001679	0.578
7	0.001092	0.738	0.001561	0.591
15	0.001122	0.69	0.001738	0.569
36	0.00137	0.618		
4left	0.00029	0.864	0.010036	0.53
4right	0.002755	0.546	0.018821	0.622
7 left	0.00029	0.864	0.010036	0.53
7 right	0.002097	0.52	0.019803	0.63

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 56 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Ν4.

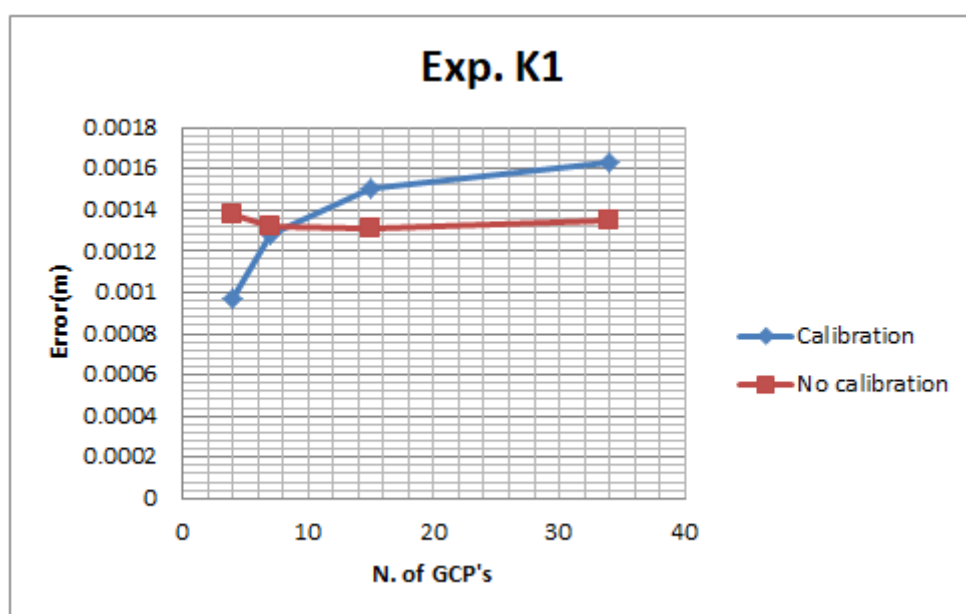
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm3	3L - L (3000cm3-)	percentage
36	0.003186	3186	-186	6%
4	0.003102	3102	-102	3%
7	0.003178	3178	-178	6%
15	0.003191	3191	-191	6%
36	0.003186	3186	-186	6%
4left	0	0	3000	100%
4right	0.00568	5680	-2680	89%
7 left	0.004945	4945	-1945	65%
7 right	0.004021	4021	-1021	34%
4	0.003236	3236	-236	8%
7	0.003232	3232	-232	8%
15	0.003269	3269	-269	9%
36	0.003249	3249	-249	8%
4left	0	0	3000	100%
4right	0.006186	6186	-3186	106%
7 left	0.004233	4233	-1233	41%
7 right	0.006186	6186	-3186	106%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 57 : ΌΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Ν4.

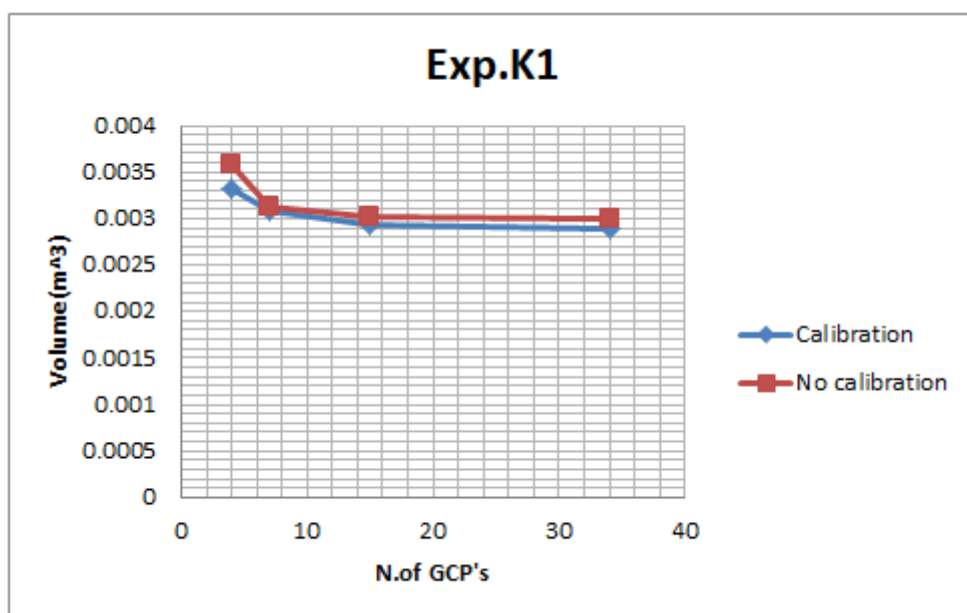
4.7 ΈΚΤΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.

Στην έκτη ομάδα πειραματικών προσομοιώσεων συμπεριλαμβάνονται πειράματα με ύψος πτήσης μεγαλύτερο των 80cm. Τα χαρακτηριστικά είναι η εστιακή απόσταση (3.789 mm) και η φωτογραφική ανάλυση (4160x3120). Τα χαρακτηριστικά κάθε πειράματος παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα Β.

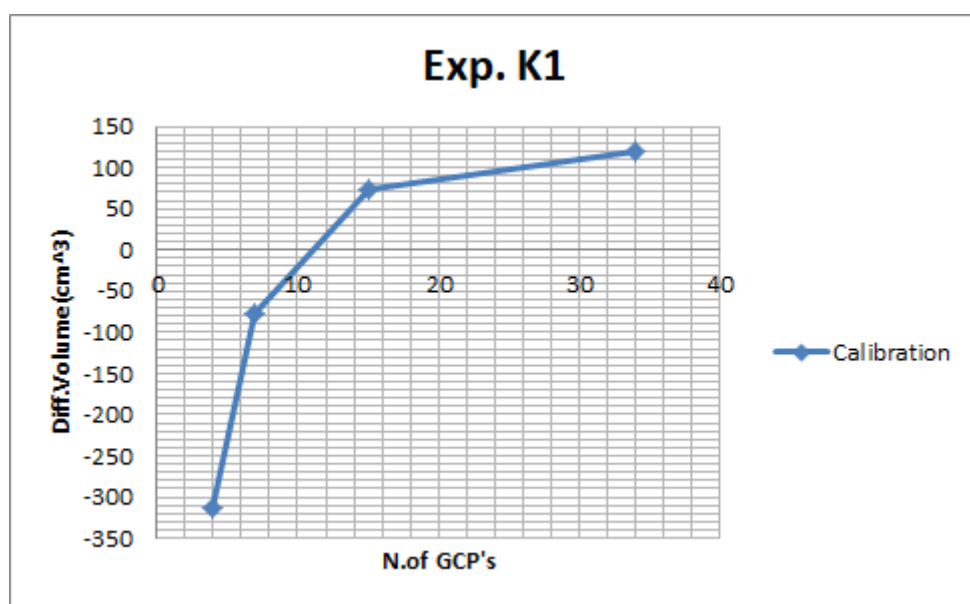
ΠΕΙΡΑΜΑ Κ1



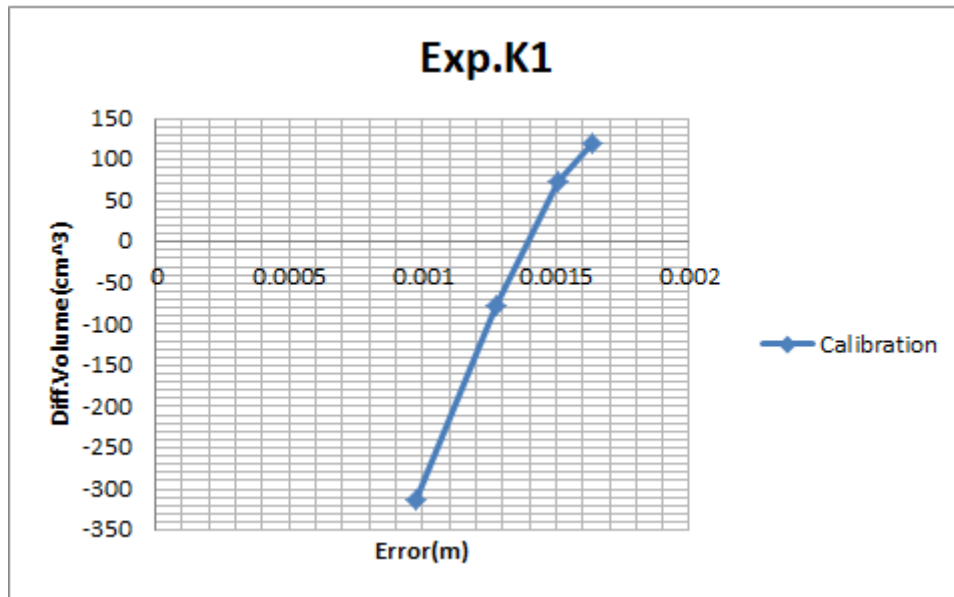
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 76: ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 77 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 78 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 79 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
K1	85.9cm	21	Φ.Φώς	Κινητό	4160x3120	Βουνά, ανώμαλο έδαφος, πεδιάδα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 58 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Κ1.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
34	0.001633	0.798		
4	0.000973	1.040	0.006222	0.767
7	0.001278	0.873	0.002909	0.789
15	0.001506	0.783	0.002438	0.809

4	0.001375	0.963	0.007539	0.754
7	0.001317	0.758	0.002219	0.778
15	0.001306	0.705	0.001723	0.822
34	0.001349	0.774		

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 59 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Κ1.

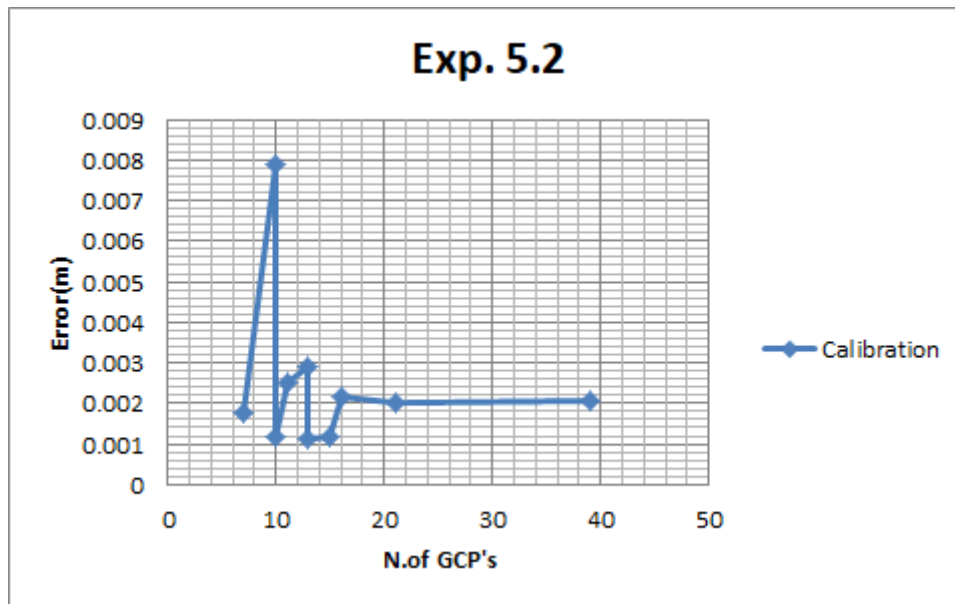
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm ³	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
34	2881	2881	119	4%
4	0.003314	3314	-314	10%
7	0.003076	3076	-76	3%
15	0.002926	2926	74	2%
4	0.003586	3586	-586	20%
7	0.003133	3133	-133	4%
15	0.003028	3028	-28	1%
34	0.003005	3005	-5	0%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 60 : ΌΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Κ1.

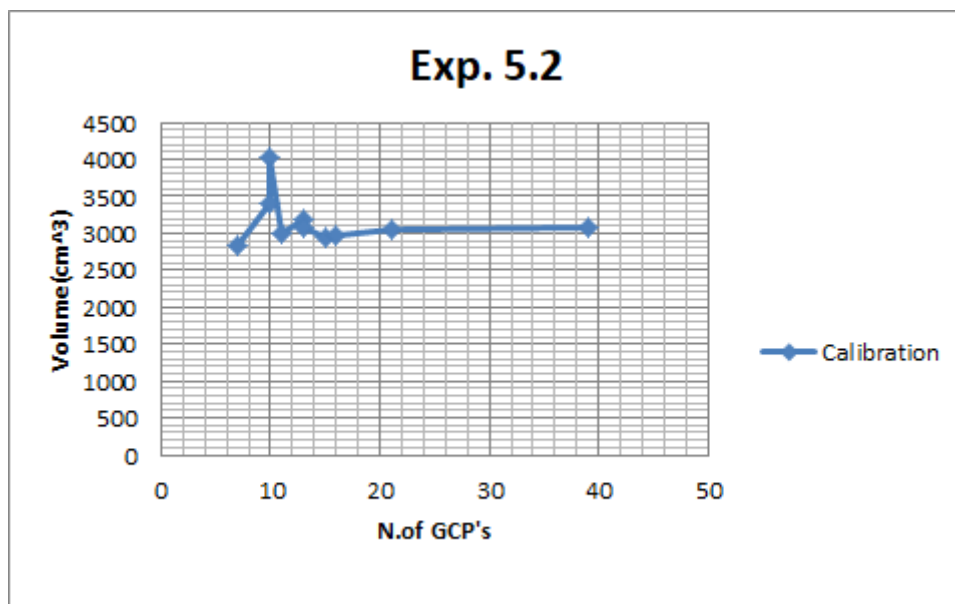
4.8 ΕΒΔΟΜΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.

Σ αυτή την κατηγορία παρουσιάζονται πειράματα που ελήφθησαν σχεδόν στο ίδιο ύψος πτήσης από ένα εύρος 52.2 cm έως 54.3 cm. Τα χαρακτηριστικά είναι η εστιακή απόσταση (3.789 mm) και η φωτογραφική ανάλυση (4160x3120).

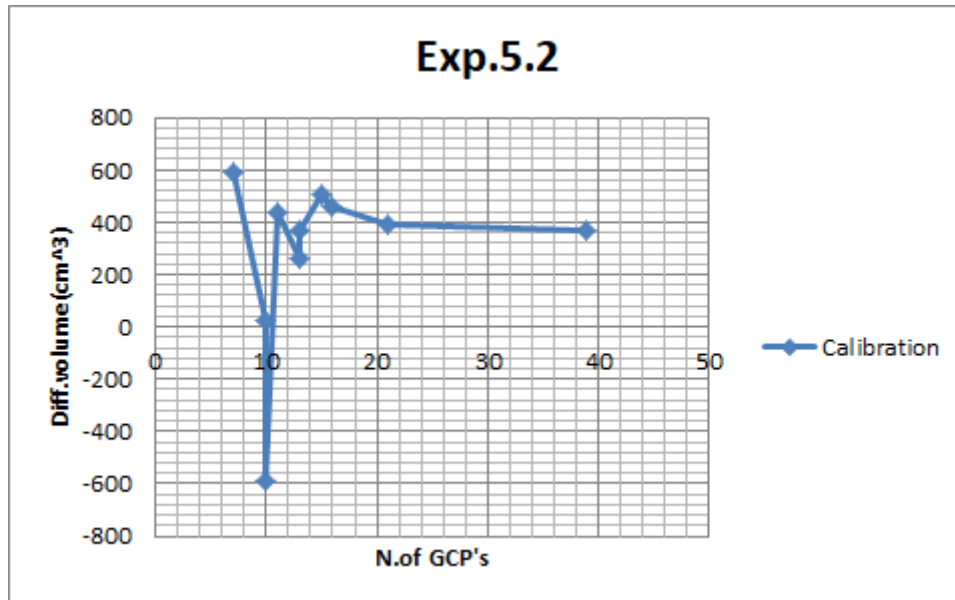
ΠΕΙΡΑΜΑ 5.2



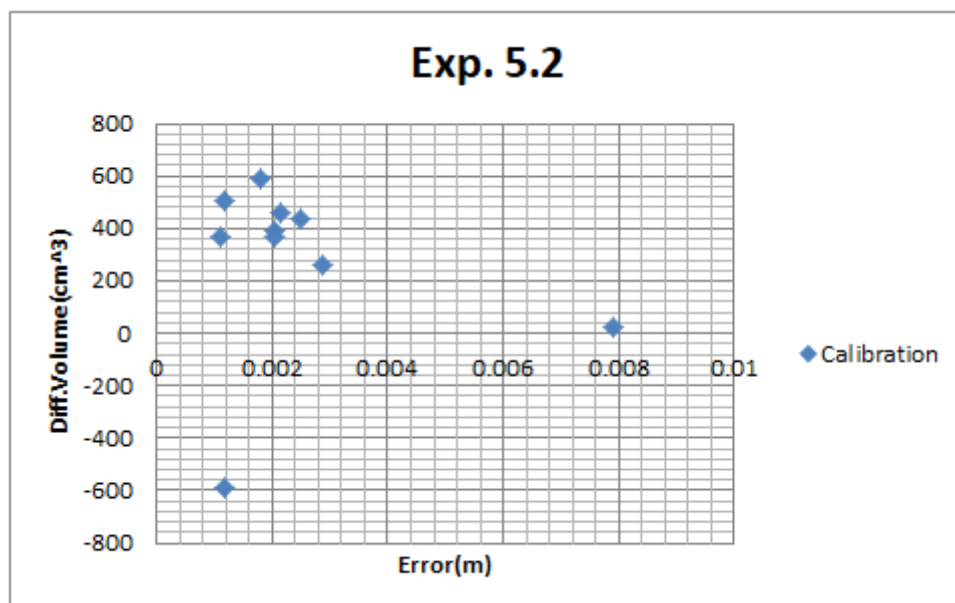
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 80 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 81 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 82 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 83 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology	geometry h.o.
5.2	54.3 cm	16	Φ.Φώς	Κινητό	4160x3120	Βουνά, απότομες κλίσεις.	0.003043605m ³

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 61 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 5.2.

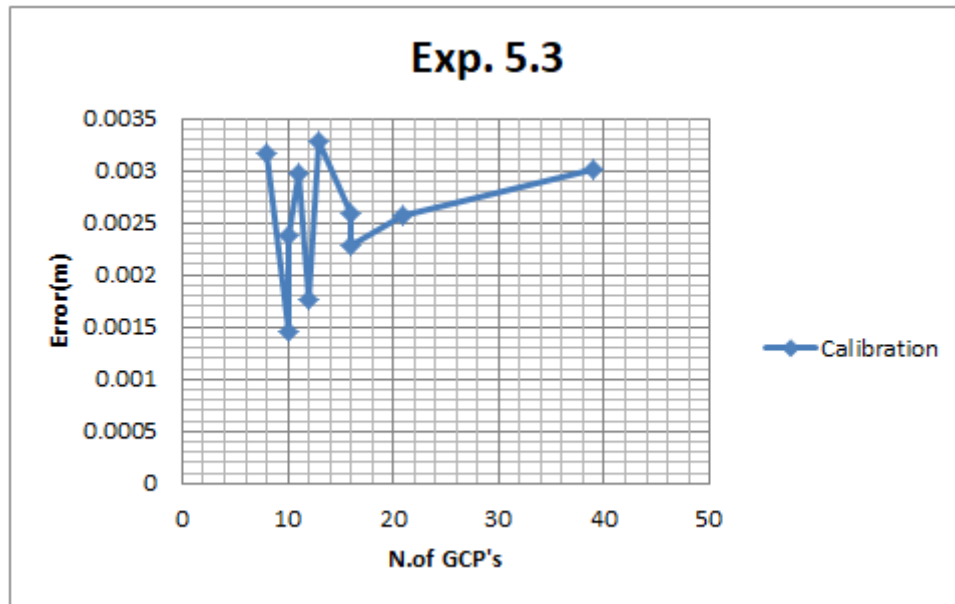
GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
39	0.002048	0.852		
15 περιμετρικά	0.001180	0.721	0.002804	0.891
7 περιμετρικά	0.001791	0.898	0.003180	0.846
21 γύρω- γύρω	0.002034	0.932	0.002331	0.651
11 γύρω-γύρω	0.002503	1.050	0.002433	0.659
10 μόνο αριστερά	0.00790	0.781	0.003904	0.882
10 μόνο δεξιά	0.001182	0.451	0.005907	0.900
13 μέσα	0.002887	1.021	0.002363	0.621
13 ακριβώς απ' έξω	0.001112	0.626	0.002523	0.930
16 και 3 υψόμετρα	0.002147	0.989	0.002212	0.738

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 62 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.2.

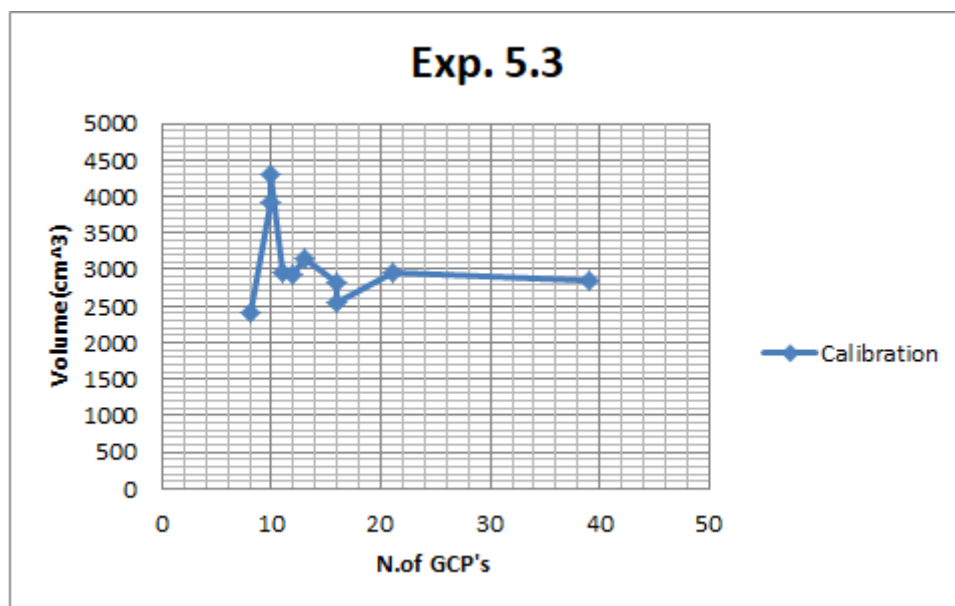
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm3	3L - L (3000cm3-)	percentage
			3436	
39	0.003069	3069	367	11%
15 περιμετρικά	0.002932	2932	504	15%
7 περιμετρικά	0.002844	2844	592	17%
21 γύρω- γύρω	0.003048	3048	388	11%
11 γύρω-γύρω	0.002999	2999	437	13%
10 μόνο αριστερά	0.003416	3416	20	1%
10 μόνο δεξιά	0.004023	4023	-587	17%
13 μέσα	0.003176	3176	260	8%
13 ακριβώς απ' έξω	0.003069	3069	367	11%
16 και 3 υψόμετρα	0.002979	2979	457	13%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 63 : ΌΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.2.

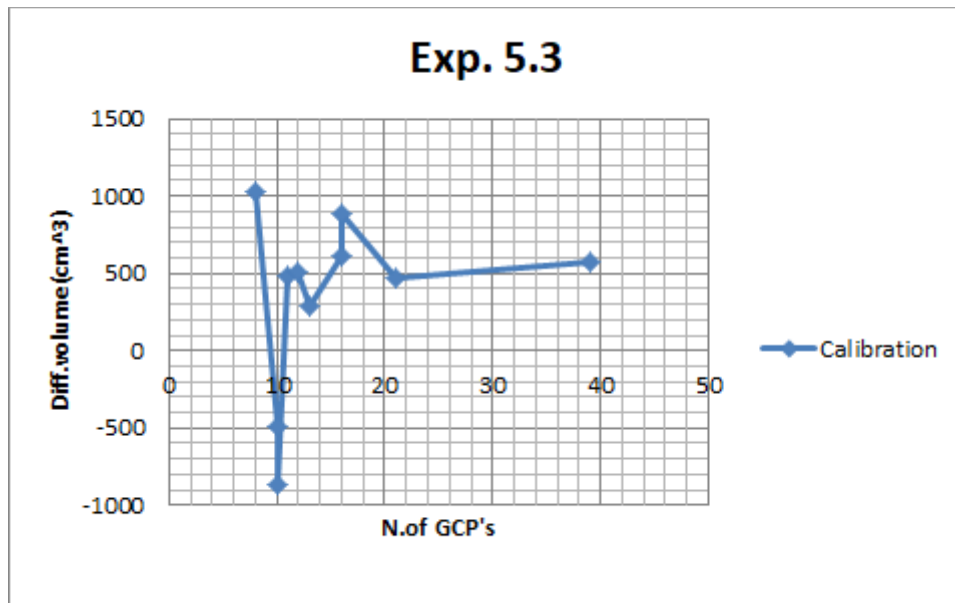
ΠΕΙΡΑΜΑ 5.3



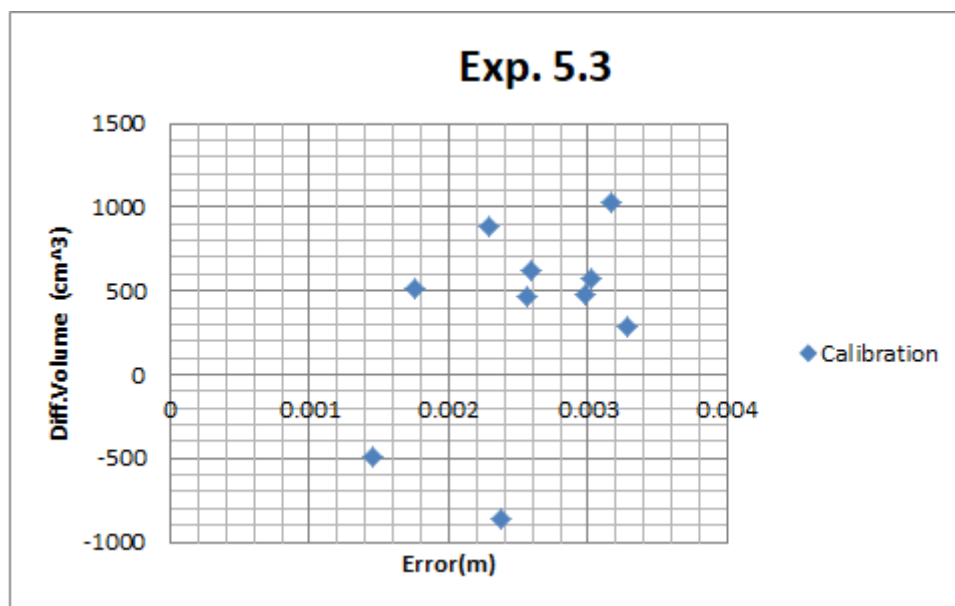
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 84 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 85: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 86 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 87: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

NAME	heigh flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology	geometry h.o.
5.3	53 cm	37	Φ.Φώς	Κινητό	3120x4160	Βουνά, απότομες κλίσεις.	0.003043605m ³

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 64 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.3

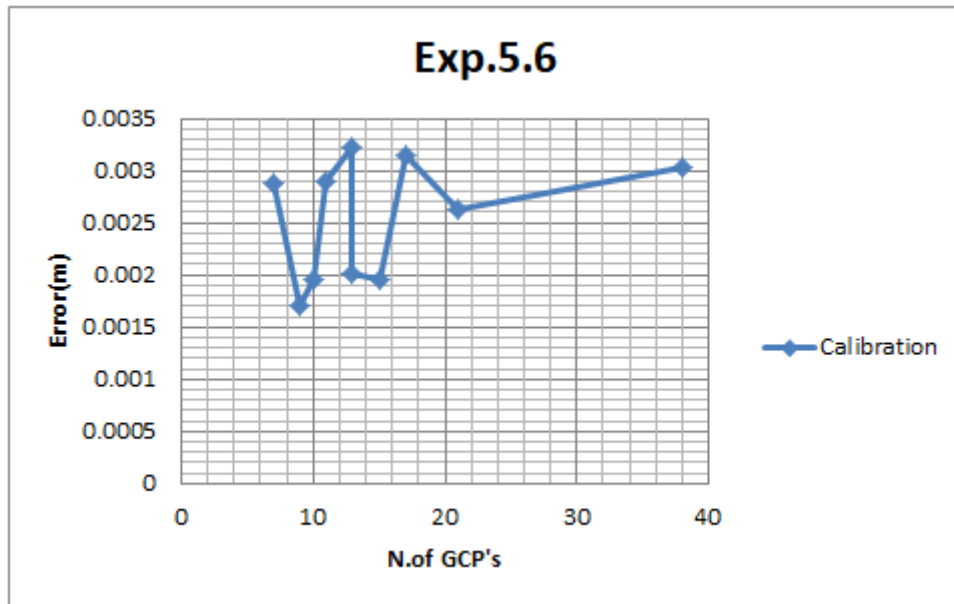
GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points		check points	
39	0.003016	1.514		
16 περιμετρικά	0.002287	1.267	0.004377	1.602
8 περιμετρικά	0.003164	1.298	0.004747	1.542
21 γύρω- γύρω	0.002566	1.729	0.003782	1.091
11 γύρω-γύρω	0.002974	1.968	0.003761	1.132
10 μόνο αριστερά	0.00146	1.623	0.008856	1.481
10 μόνο δεξιά	0.002378	0.915	0.009151	1.624
13 μέσα	0.003275	1.843	0.004027	1.150
12 ακριβώς απ' έξω	0.001758	1.221	0.003536	1.609
16 και 4 υψόμετρα	0.002595	1.636	0.003375	1.421

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 65 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.3.

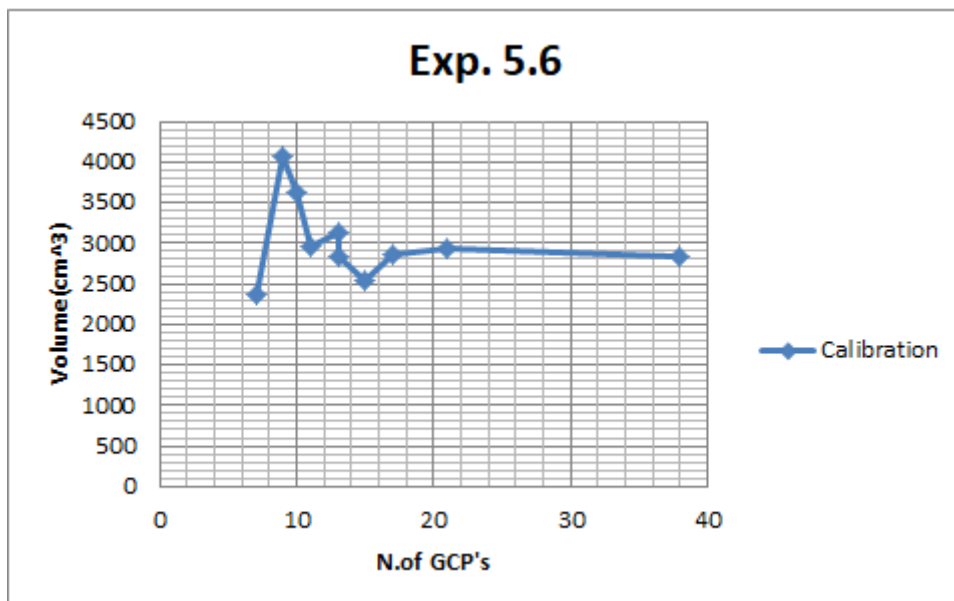
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm3	3L - L (3000cm ³ -)	percentage
39	0.002860	2860	576	17%
16 περιμετρικά	0.002552	2552	884	26%
8 περιμετρικά	0.002409	2409	1027	30%
21 γύρω- γύρω	0.002964	2964	472	14%
11 γύρω-γύρω	0.002955	2955	481	14%
10 μόνο αριστερά	0.003927	3927	-491	14%
10 μόνο δεξιά	0.004297	4297	-861	25%
13 μέσα	0.003153	3153	283	8%
12 ακριβώς απ' έξω	0.002924	2924	512	15%
16 και 4 υψόμετρα	0.002820	2820	616	18%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 66 : ΌΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.2.

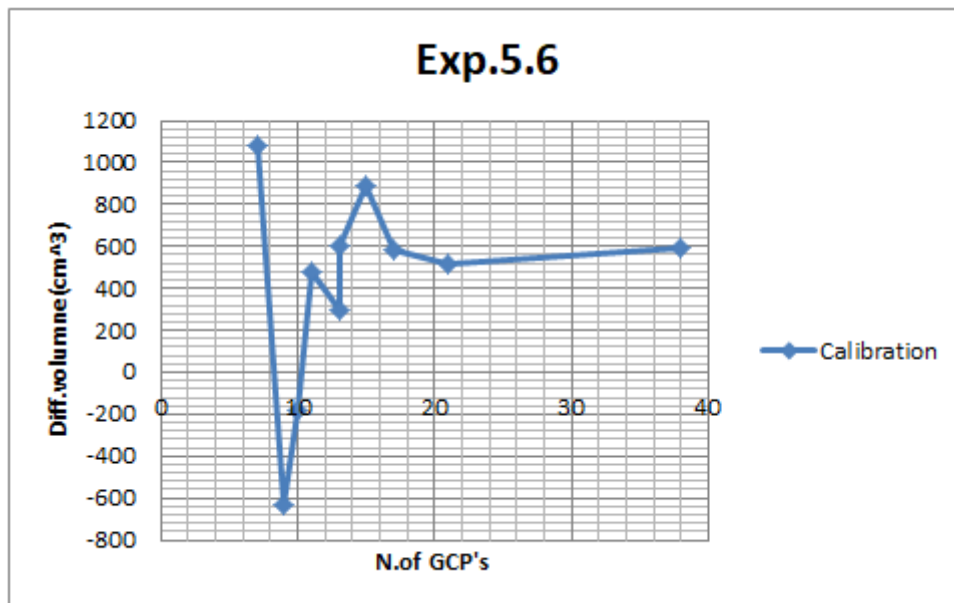
ΠΕΙΡΑΜΑ 5.6



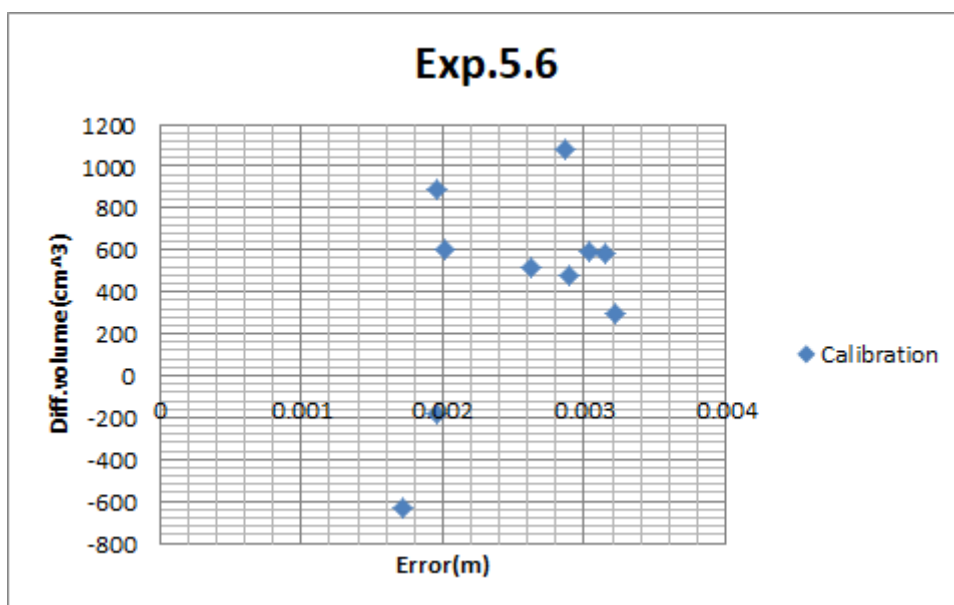
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 88 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 89 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 90 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 91 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

NAME	heigh flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology	geometry h.o.
5.5	52.2 cm	21	Φ.Φώς	Κινητό	3120x4160	Βουνά, απότομες κλίσεις.	0.003043605m ³

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 67 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.6

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points		check points	
38	0.003030	1.303		
15 περιμετρικά	0.001965	0.921	0.004312	1.401
7 περιμετρικά	0.002872	0.980	0.006015	1.335
21 γύρω- γύρω	0.002627	1.452	0.003775	0.874
11 γύρω-γύρω	0.002900	1.655	0.003869	0.91
10 μόνο αριστερά	0.001952	0.964	0.007422	1.397
9 μόνο δεξιά	0.001713	0.883	0.008078	1.360
13 μέσα	0.003214	1.576	0.004116	0.897
13 ακριβώς απ' έξω	0.002016	0.975	0.003565	1.426
17 και 4 υψόμετρα	0.003145	1.147	0.003287	1.433

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 68 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.6.

GCP	Volume (m ³)	I/1000 = cm3	3L - L (3000cm3-)	percentage
38	0.002840	2840	596	17%
15 περιμετρικά	0.002543	2543	893	26%
7 περιμετρικά	0.002355	2355	1081	31%
21 γύρω- γύρω	0.002923	2923	513	15%
11 γύρω-γύρω	0.002962	2962	474	14%
10 μόνο αριστερά	0.003615	3615	-179	5%
9 μόνο δεξιά	0.004071	4071	-635	18%
13 μέσα	0.003139	3139	297	9%
13 ακριβώς απ' έξω	0.002831	2831	605	18%
17 και 4 υψόμετρα	0.002854	2854	582	17%

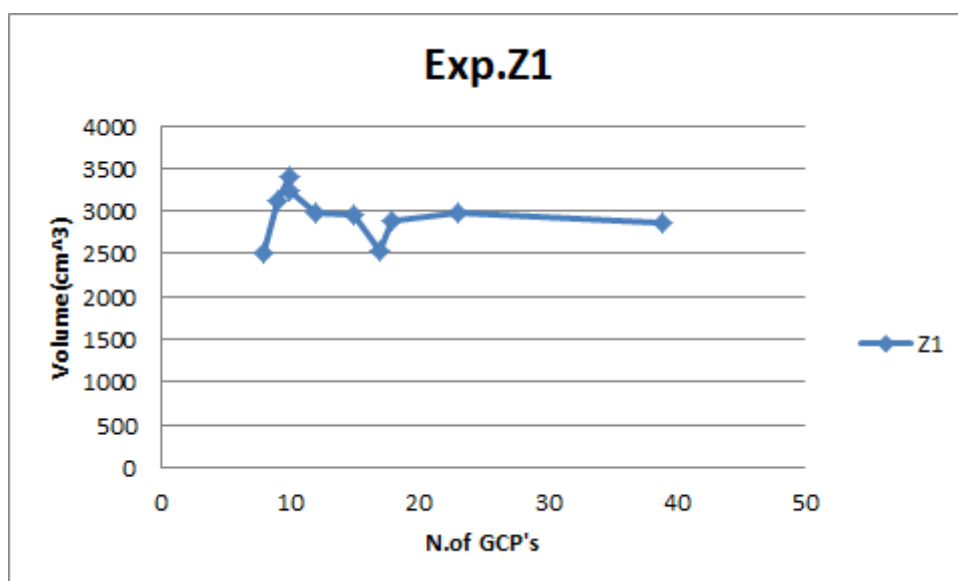
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 69 : ΌΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 5.6.

4.9 ΌΓΔΟΗ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.

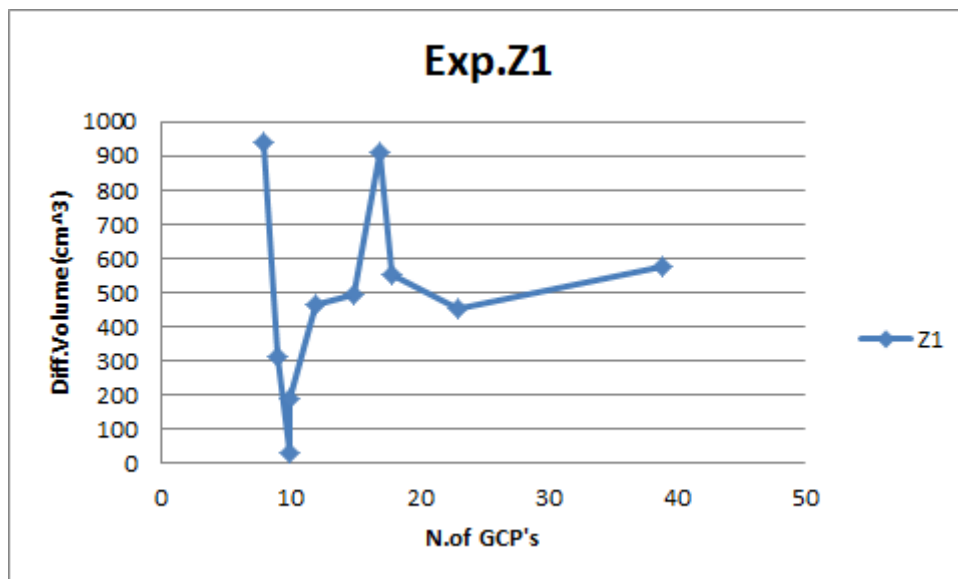
Στην παρούσα κατηγορία πειραμάτων λαμβάνει χώρα το πείραμα Z και η διαδοχική επανάληψη του, για τη διαπίστωση πιθανών διαφορών. Τα χαρακτηριστικά είναι η εστιακή απόσταση (3.789 mm) και η φωτογραφική ανάλυση (3120x4160).



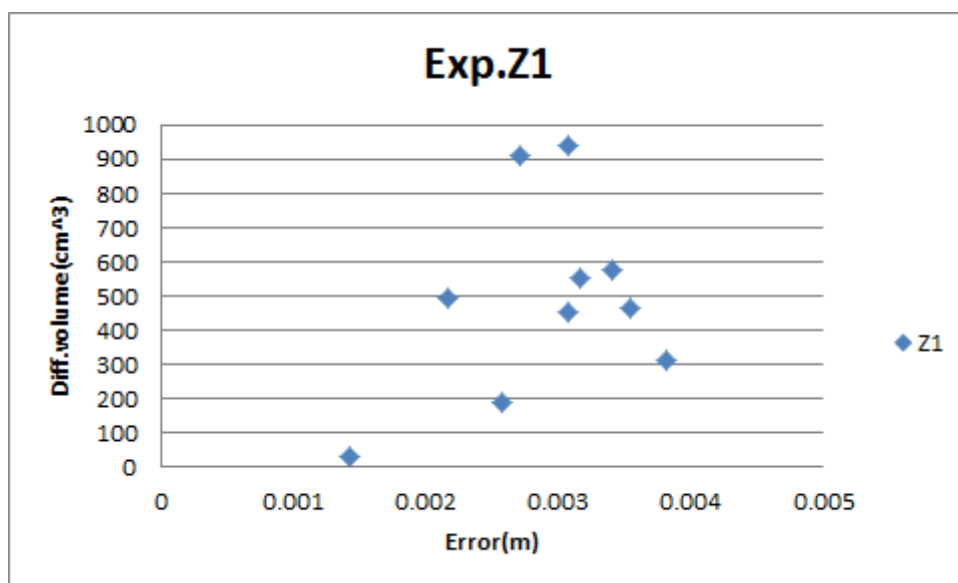
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 92 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 93 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 94 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 95 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M)

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology	geometry h.o.
z1	54.1	21	Φ.Φώς	Κινητό	3120x4160	Βουνά, απότομες	0.000043605

						κλίσεις.	m ³
--	--	--	--	--	--	----------	----------------

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 70 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Ζ1.

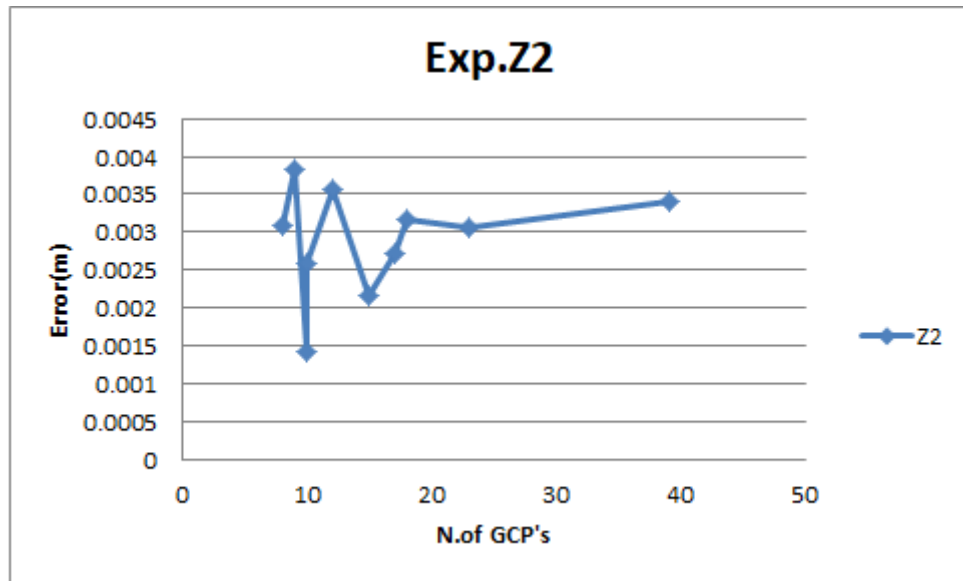
GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
39	0.003405	1.031		
17 περιμετρικά	0.002714	1.030	0.004755	1.032
8 περιμμετρικά	0.003075	0.905	0.004405	1.051
23 γύρω-γύρω	0.003071	1.070	0.005027	0.935
12 γύρω- γύρω	0.003551	1.219	0.004508	0.891
10 μόνο αριστερά	0.001426	1.061	0.006682	1.023
10 μόνα δεξιά	0.002583	0.936	0.005326	1.057
9 μέσα στο πολυγωνο	0.003822	1.157	0.004843	0.956
15 ακριβώς απ έξω	0.002170	0.948	0.004663	1.078
18 ίδιο συν υψόμετρα	0.003172	1.057	0.004321	1.007

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 71 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Ζ1.

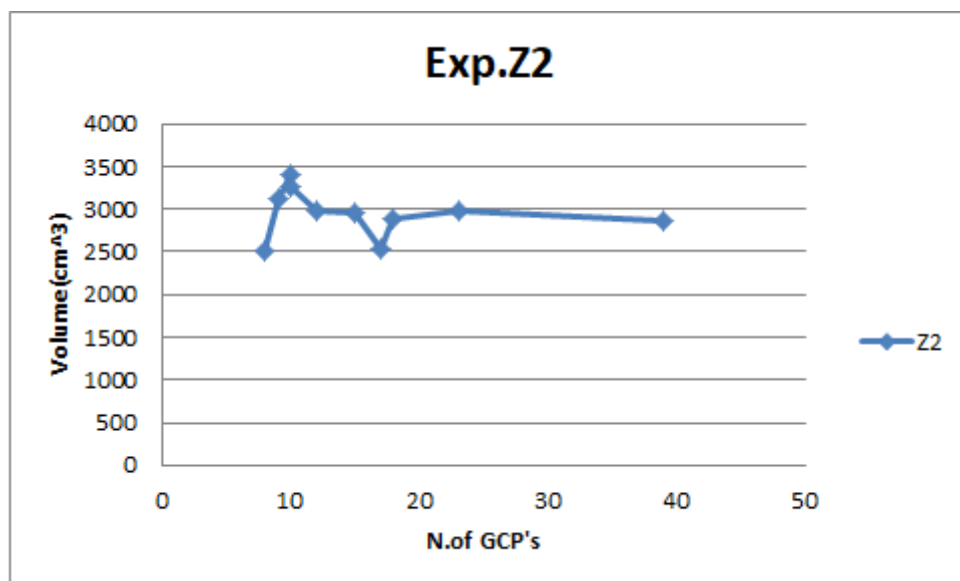
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm3	3L - L (3000cm3-)	percentage
			3,436	
39	0.002861	2861	575	17%
17 περιμετρικά	0.002526	2526	910	26%
8 περιμμετρικά	0.002499	2499	937	27%
23 γύρω-γύρω	0.002982	2982	454	13%
12 γύρω- γύρω	0.002975	2975	461	13%
10 μόνο αριστερά	0.003408	3408	28	1%
10 μόνα δεξιά	0.003250	3250	186	5%
9 μέσα στο πολυγωνο	0.003126	3126	310	9%
15 ακριβώς απ έξω	0.002946	2946	490	14%
18 ίδιο συν υψόμετρα	0.002885	2885	551	16%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 72 : ΌΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Ζ1.

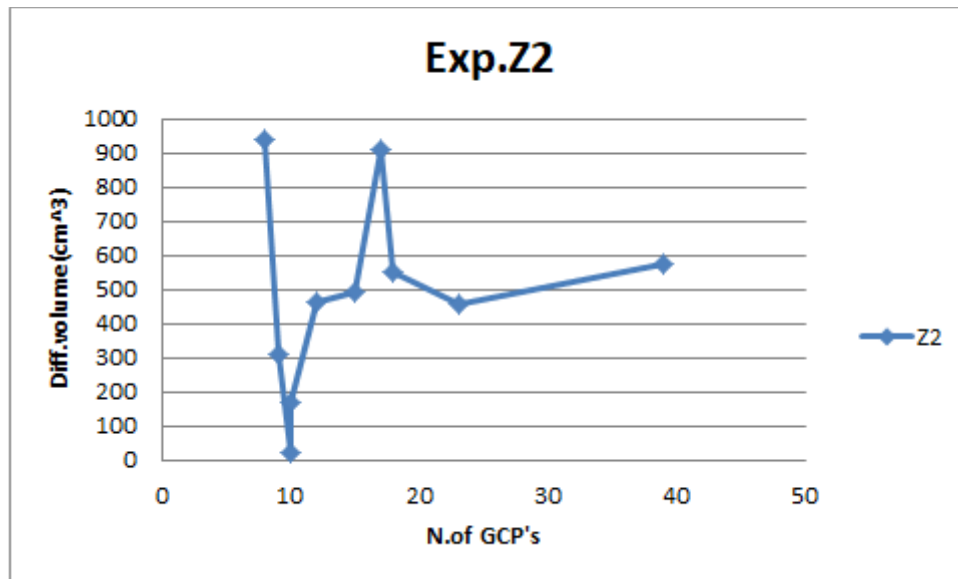
ΠΕΙΡΑΜΑ Z2



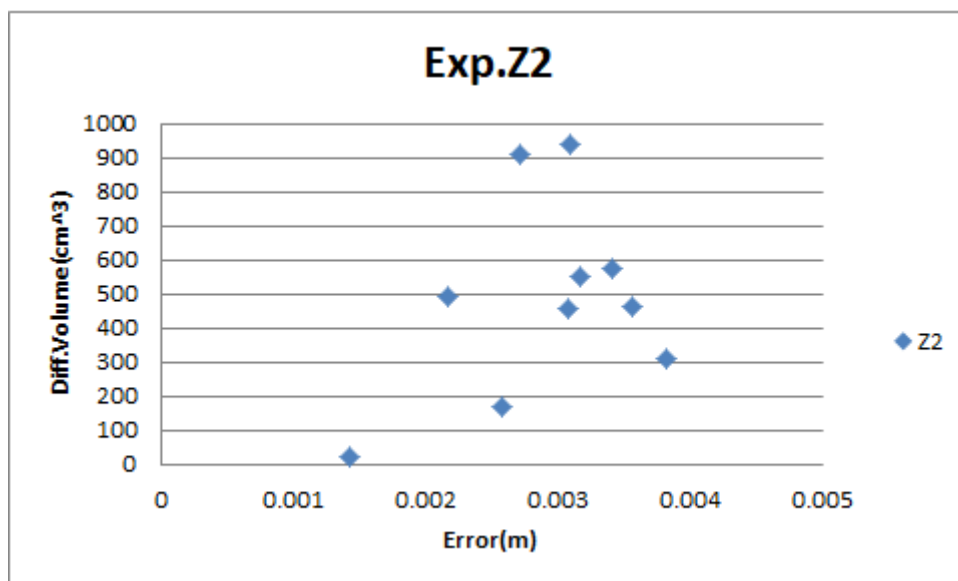
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 96 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 97 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 98 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 99 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology	geometry h.o.
z 2	54.1 cm	21	Φ.Φώς	Κινητό	3120x4160	Βουνά, απότομες κλίσεις.	0.000043605 m ³

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 73 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Z2.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
39	0.003413	1.029		
17 περιμετρικά	0.002719	1.029	0.004756	1.029
8 περιμετρικά	0.003089	0.904	0.004404	1.049
23 γύρω-γύρω	0.003073	1.068	0.005023	0.933
12 γύρω- γύρω	0.003554	1.214	0.004508	0.891
10 μόνο αριστερά	0.001429	1.056	0.006683	1.022
10 μόνα δεξιά	0.002582	0.938	0.005333	1.054
9 μέσα στο πολυγωνο	0.003824	1.115	0.004845	0.954
15 ακριβώς απ έξω	0.002172	0.945	0.004660	1.077
18 ίδιο συν υψόμετρα	0.003174	1.054	0.004319	1.005

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 74 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Z2.

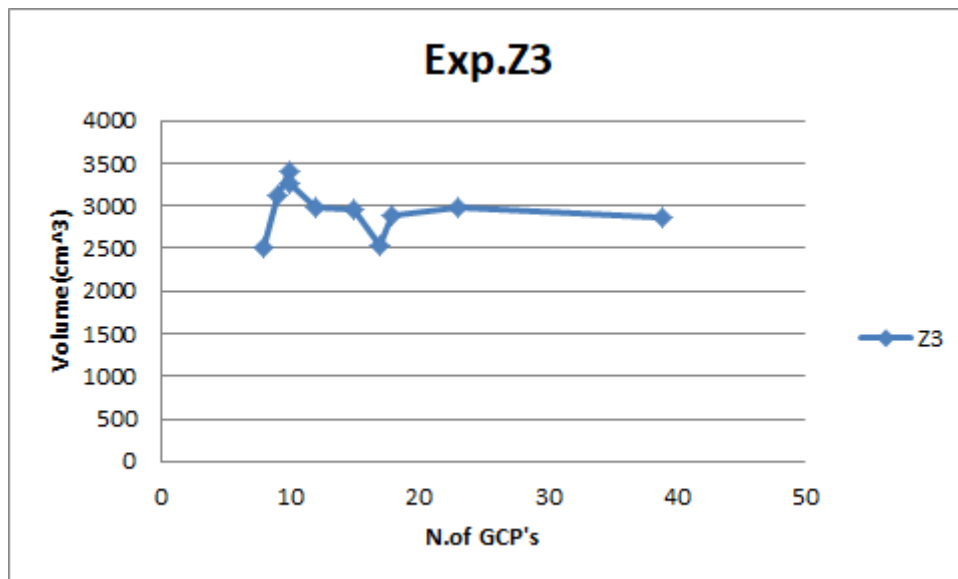
GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm3	3L - L (3000cm3-)	percentage
39	0.002864	2864	572	17%
17 περιμετρικά	0.002526	2526	910	26%
8 περιμετρικά	0.002500	2500	936	27%
23 γύρω-γύρω	0.002981	2981	455	13%
12 γύρω- γύρω	0.002973	2973	463	13%
10 μόνο αριστερά	0.003411	3411	25	1%
10 μόνα δεξιά	0.003265	3265	171	5%
9 μέσα στο πολυγωνο	0.003126	3126	310	9%
15 ακριβώς απ έξω	0.002945	2945	491	14%
18 ίδιο συν υψόμετρα	0.002884	2884	552	16%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 75 : ΌΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Z2.

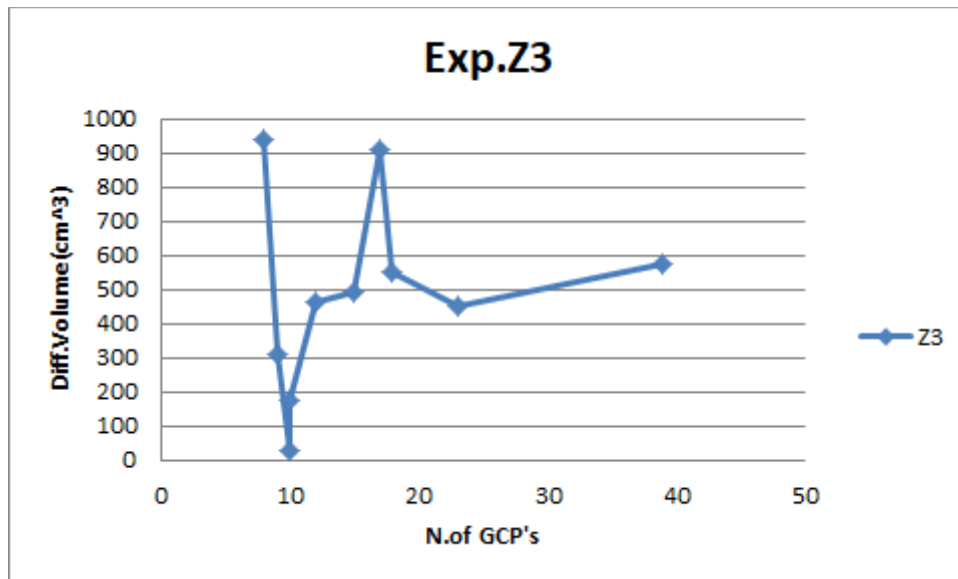
ΠΕΙΡΑΜΑ Z3



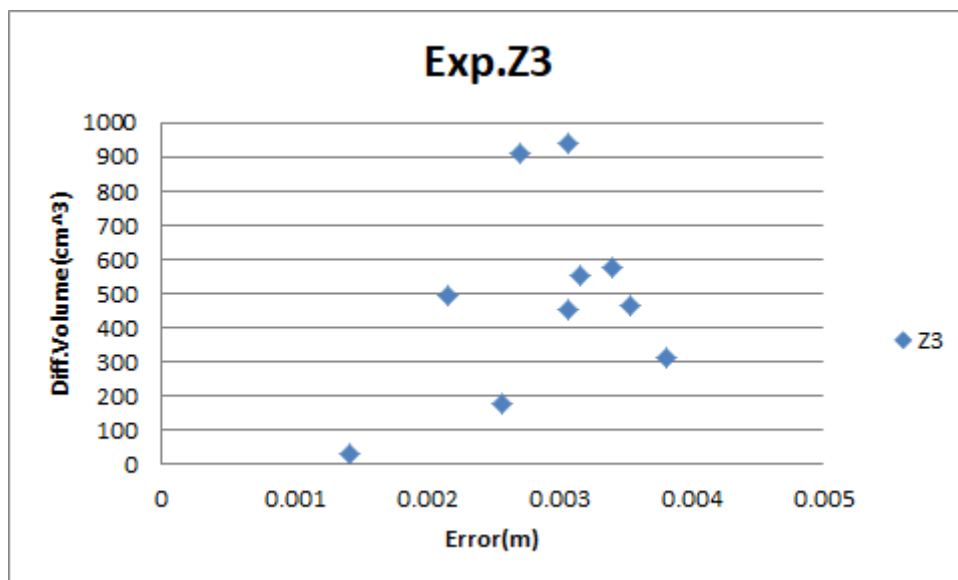
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 100 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 101 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 102 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP .



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 103 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology	geometry h.o.
z3	54.1 cm	21	Φ.Φώς	Κινητό	3120x4160	Βουνά, απότομες κλίσεις.	0.000043605 m ³

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 76 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Z3.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
39	0.003406	1.031		
17 περιμετρικά	0.002714	1.03	0.004755	1.031
8 περιμμετρικά	0.003075	0.904	0.004404	1.051
23 γύρω-γύρω	0.003073	1.069	0.005027	0.935
12 γύρω- γύρω	0.003553	1.216	0.004511	0.892
10 μόνο αριστερά	0.001427	1.063	0.006684	1.022
10 μόνα δεξιά	0.002583	0.938	0.005326	1.056
9 μέσα στο πολυγωνο	0.003824	1.158	0.004844	0.954
15 ακριβώς απ έξω	0.002172	0.944	0.004664	1.080
18 ίδιο συν υψόμετρα	0.003173	1.054	0.004323	1.008

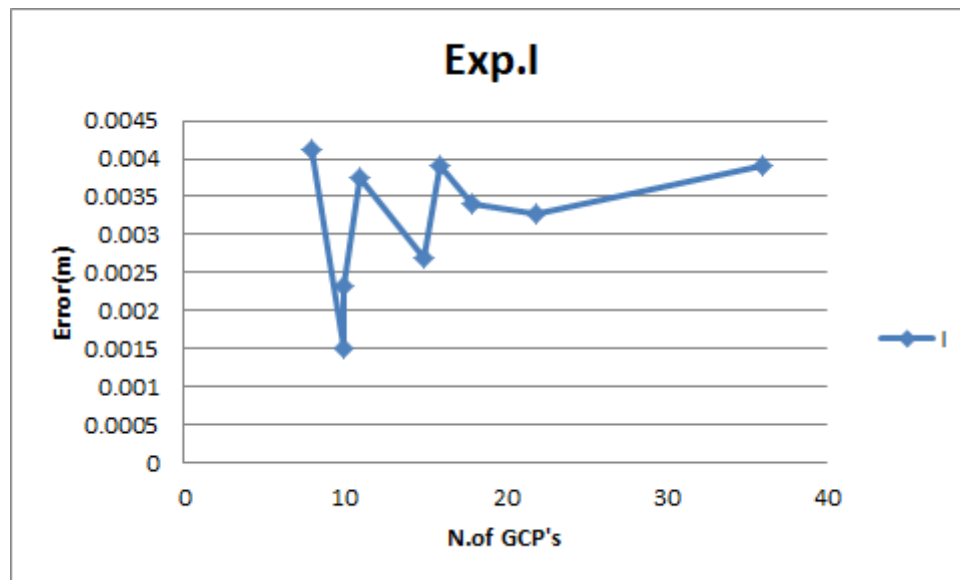
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 77 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Z3.

GCP	Volume (m^3)	I/1000 = cm3	3L - L (3000cm3-)	percentage
39	0.002862	2862	574	17%
17 περιμετρικά	0.002526	2526	910	26%
8 περιμμετρικά	0.002500	2500	936	27%
23 γύρω-γύρω	0.002982	2982	454	13%
12 γύρω- γύρω	0.002975	2975	461	13%
10 μόνο αριστερά	0.003408	3408	28	1%
10 μόνα δεξιά	0.003260	3260	176	5%
9 μέσα στο πολυγωνο	0.003127	3127	309	9%
15 ακριβώς απ έξω	0.002945	2945	491	14%
18 ίδιο συν υψόμετρα	0.002885	2885	551	16%

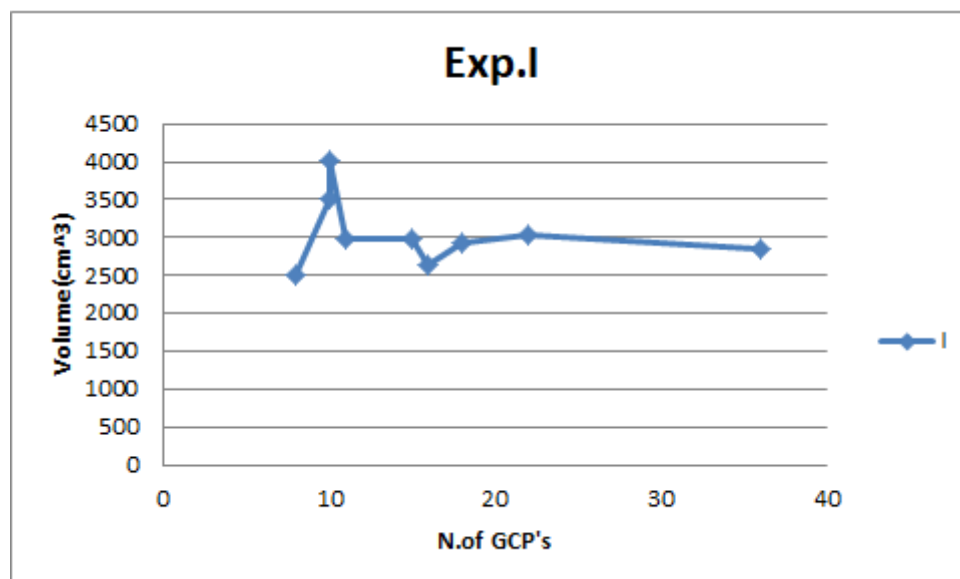
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 78 : ΟΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Z3.

ΠΕΙΡΑΜΑ I

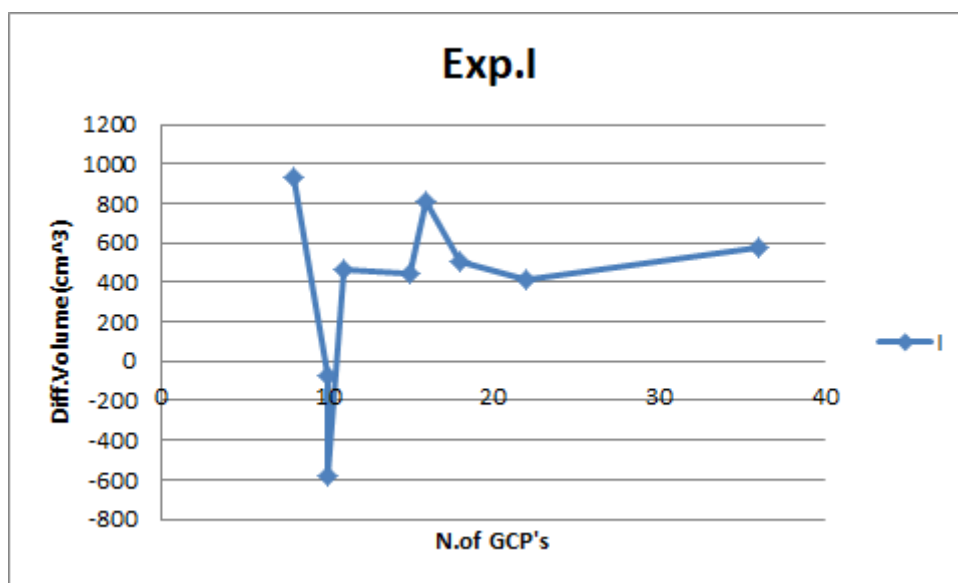
Το συγκεκριμένο πείραμα πραγματοποιήθηκε με γωνία κλίσης για να επαληθευτεί κι αυτή η μέθοδος.



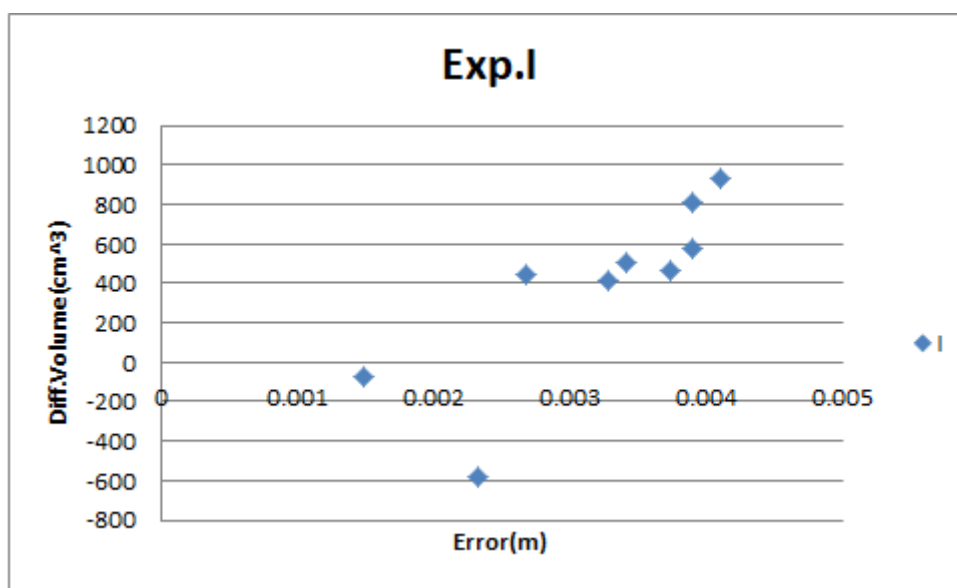
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 104 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 105 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΓΚΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ GCP



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 106 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ GCP.



ΓΡΑΦΗΜΑ 4. 107 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΑ ERROR(M).

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology	geometry h.o.
I	63.7 cm	20	Φ.Φώς	Κινητό(oblique)	3120x4160	Βουνά, απότομες κλίσεις.	0.000043605 m ³

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 79 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ Ι.

GCP	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)
	Control Points	Control P.	Check Points	Check P.
36	0.003909	0.984		
16 περιμετρικά	0.003902	0.976	0.004438	0.988
8 περιμμετρικά	0.004109	0.876	0.004741	1.001
22 γύρω-γύρω	0.003286	1.006	0.005204	0.92
11 γύρω- γύρω	0.003742	1.038	0.004579	0.941
10 μόνο αριστερά	0.001493	0.841	0.009902	1.033
10 μόνα δεξιά	0.002321	0.877	0.009457	1.005
15 ακριβώς απ έξω	0.002686	0.877	0.004774	1.061
18 ίδιο συν υψόμετρα	0.003411	0.933	0.004701	1.054

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 80 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ CONTROL POINTS & CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Ι.

GCP	Volume (m ³)	l/1000 = cm3	3L - L (3000cm3-)	percentage
36	0.002858	2858	578	17%
16 περιμετρικά	0.002627	2627	809	24%
8 περιμμετρικά	0.002508	2508	928	27%
22 γύρω-γύρω	0.003027	3027	409	12%
11 γύρω- γύρω	0.002972	2972	464	14%
10 μόνο αριστερά	0.003512	3512	-76	2%
10 μόνα δεξιά	0.004022	4022	-586	17%
15 ακριβώς απ έξω	0.002991	2991	445	13%
18 ίδιο συν υψόμετρα	0.002926	2926	510	15%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. 81 : ΌΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Ι.

4.10 ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΕΙΚΟΝΩΝ & ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ.

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε σε δύο σημαντικές παραμέτρους για την διεξαγωγή των πειραμάτων: μια είναι αυτής των αριθμών των φωτογραφιών και η άλλη παράμετρος είναι το ποσοστό επικάλυψης της περιοχής μελέτης από GCP.

Αρχικά ας ελέγξουμε την περίπτωση των αριθμών των φωτογραφιών. Για να μπορέσουν τα φωτογραμμετρικά λογισμικά να επεξεργασθούν οποιοδήποτε αντικείμενο και σημείο θελήσουμε από την περιοχή μελέτης, αυτό οφείλει να είναι ορατό σε τουλάχιστον δύο φωτογραφίες. Το ερώτημα είναι ποίος είναι ο ελάχιστος και μέγιστος αριθμός φωτογραφιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν;

Για την απάντηση αυτού του ερωτήματος έγινε μια σειρά πειραμάτων με εναλλαγές στον αριθμό των φωτογραφιών. Πιο συγκεκριμένα, στην ενότητα 4.3 με τίτλο «Τρίτη ομάδα πειραματικών προσομοιώσεων» είδαμε τα πειράματα με όνομα « VIDEO 5 -294 FRAMES» και «VIDEO 5 -100 FRAMES», όπου είναι το ίδιο πείραμα το οποίο πραγματοποιήθηκε με την λήψη βίντεο με διαφορετικό αριθμό Frames. Πρακτικά ένα βίντεο αποτελείται από μια σειρά εικόνων που προβάλλονται πολύ γρήγορα και δημιουργούν την αίσθηση κινούμενης εικόνας. Συνεπώς με τον όρο Frames per second ή αλλιώς καρέ ανά δευτερόλεπτο εννοούμε τον ρυθμό προβολής των εικόνων ανά δευτερόλεπτο. Άρα στην ενότητα 4.3 προβλήθηκε το ίδιο πείραμα διαιρώντας το βίντεο σε 294 και 100 frames αντίστοιχα τα οποία μας έδωσαν τους εξής συνδυασμούς όγκων και σφαλμάτων (Βλέπε πίνακα 4.9.1).

Exp.		Error m	Error pixel	Volume (cm ³)	Diff. Volume	Percentage
Video 5 - 100 Frames		0.002395	1.088	2678	322	11%
Video 5 - 294 Frames		0.002293	1.167	2943	57	2%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9. 1 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΌΓΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ VIDEO 5 -100 FRAMES ΚΑΙ VIDEO 5 – 294 FRAMES.

Στην συνέχεια το ίδιο βίντεο υπέστη την επεξεργασία των 20 , 50 , 200 και 500 Frames. Η επιλογή των Frames είναι εν μέρη τυχαία, καθώς σκοπός μας ήταν να πάρουμε μια γκάμα μικρού και μεγάλου αριθμού αντίστοιχα Frames. Τα αποτελέσματα είναι διαθέσιμα στον πίνακα 4.9.2.

Exp.		Error m	Error pixel	Volume (cm ³)	Diff. Volume	Percentage
					3000	
Video 5 - 20 Frames		0.269586	3.125	4783	-1783	59%
Video 5 - 50 Frames		0.040079	75.761	4784	-1784	59%
Video 5 - 200 Frames		0.004042	1.183	3194	-194	6%
Video 5 -500 Frames		0.015268	1.09	1711	1289	43%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9. 2 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΓΚΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ VIDEO 5 ΓΙΑ ΔΙΑΦΡΑ FRAMES.

Παρατηρούμε, λοιπόν ότι η επιλογή των 20 και 500 Frames έχουν μεγάλες αποκλίσεις από τον πραγματικό όγκο και ειδικά τα 20 frames δίνουν και μεγάλα σφάλματα τόσο στα μέτρα όσο και στα pixel. Επιπλέον και τα δύο πειράματα μας δίνουν λάθος μοντέλο με ελλείψεις ή παραμορφώσεις όπως φαίνεται στις εικόνες 4.9.1 και 4.9.2 , συνεπώς χαρακτηρίζονται ως μη επαρκή frames για την περίπτωση των 20 και ως πολλά στην περίπτωση των 500.

Όσον αφορά τα 50 frames διαπιστώνουμε ότι ένα GCP δίνει πολύ μεγάλο σφάλμα έτσι ξανά πραγματοποιήθηκε το πείραμα αφαιρώντας το 16^ο GCP, λόγω μεγάλου σφάλματος στα εικονοστοιχεία και μας έδωσε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Exp.		Error(m)	Error(pixel)	Error(m)	Error (pixel)	Volume (cm ³)	Diff. Volume	Percentage
		Control Points		check points		3000		
Video 5 - 50 Frames		0.011138	1.302	0.163443	298.229	3150	-150	105%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9. 3 : ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑ VIDEO 5 - 50 FRAMES ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΕΓΑΛΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ.

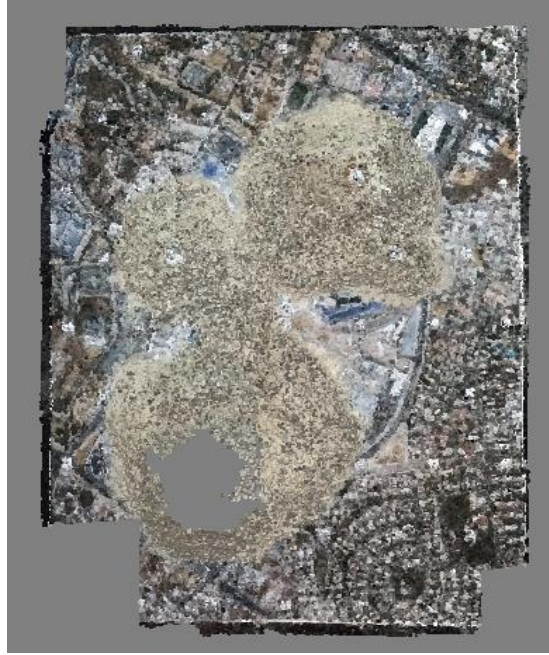


FIGURE 4.9. 1 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ 3D ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΑ 20 FRAMES.



FIGURE 4.9. 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ 3D ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΑ 500 FRAMES.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι το εύρος των frames που μπορεί να λάβει χώρα είναι μεταξύ των 50 και 300 , πάντα με επιφύλαξη βέβαια, καθώς τα αποτελέσματά τους ήταν ικανοποιητικά και ως προς τον όγκο άλλα και ως προς τα περισσότερα σφάλματα.

4.11 ΠΕΙΡΑΜΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ

Σε αυτή την υποενότητα θέλουμε να ελέγξουμε αν έχει σημασία το ποσοστό επικάλυψης ή η κατανομή των GCP. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, χωρίσαμε την περιοχή σε 25 ίσα τετράγωνα ώστε το καθένα να έχει το ίδιο εμβαδόν με τα υπόλοιπα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο πείραμα Q1 του οποίου τα χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:

Name	height of flight	fotos	light/shadows	diff cam.	pixel	soil morphology
Q1	43.8 cm	28	Φ.Φώς	only 1	4160x3120	Βουνό

4.10. 1 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ Q1.

Τα πειράματα μας ξεκίνησαν ως εξής :

Αρχικά στο πείραμα Q1 Α επιλέχθηκαν τα 21 από τα 25 τετράγωνα τοποθετώντας ένα GCP σε κάθε τετράγωνο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ποσοστό επικάλυψης να ανέρχεται στο 84%. Το δεύτερο πείραμα έχει ακριβώς τα ίδια στοιχεία με το Q1, με τη διαφορά ότι τώρα επιλέχθηκαν άλλα GCP στα τετράγωνα με αποτέλεσμα να έχουμε διαφορά στον όγκο. Στο πείραμα Q1 Γ επιλέχθηκαν 9 τετράγωνα με αποτέλεσμα το ποσοστό κάλυψης να μειωθεί στο 36%, όπου και παρατηρούμε πως η διαφορά του όγκου αυξάνεται στον αριθμό 152.

Όσον αφορά το επόμενο πείραμα Q1 Δ έχουμε προσθέσει άλλα τέσσερα GCP καλύπτοντας πλέον τα 13 από τα 25 τετράγωνα και αυξάνοντας το ποσοστό επικάλυψης στο 52%, όπου και παρατηρούμε πως η διαφορά όγκου μειώνεται και φτάνει κοντά στα δύο πρώτα πειράματα (Q1 Α & Q1 Β). Στο πείραμα Q1 Ε αποφασίσαμε να κρατήσουμε το ποσοστό 52 % ίδιο αλλά επιλέγοντας διαφορετικά GCP, με αποτέλεσμα να έχουμε την μικρότερη διαφορά όγκου. Τέλος στο πείραμα Q1 ΣΤ έχουν επιλεγεί μόνο 4 τετράγωνα, συνεπώς και μόνο 4 GCP με το ποσοστό να ανέρχεται στο 16 %, με το να μας επιβεβαιώνει ότι το ποσοστό επικάλυψης δεν είναι τόσο σημαντικό όσο η τοποθέτηση σωστών GCP, καθώς μας δίνει την απόλυτη διαφορά σε όγκο ίση με 104. Πιο αναλυτικά, τα πειράματα παρουσιάζονται ομαδοποιημένα στον παρακάτω πίνακα.

Exp.	% overlap	Error(m)	Error(pxI)	Error(m)	Error (pxI)	Volume (cm ³)	Diff. Volume	Percentage
		Control Points		check points				
Q1 A	84%	0.001777	1.130	0.001576	0.928	1551	-51	3%
Q1 B	84%	0.001368	0.930	0.001975	1.108	1572	-72	5%
Q1 Γ	36%	0.000664	0.905	0.002718	1.062	1652	-152	10%
Q1 Δ	52%	0.001851	0.952	0.002008	1.055	1578	-78	5%
Q1 E	52%	0.001355	1.225	0.001883	0.940	1534	-34	2%
Q1 ΣΤ	16%	0.001223	1.138	0.003370	1.018	1396	104	7%

4.10. 2 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η επικάλυψη δεν είναι τόσο σημαντική όσο η σωστή επιλογή τοποθέτησης των GCP, από την στιγμή που 4 μόνο GCP τα οποία βρίσκονται στην σωστή θέση μπορούν να επιφέρουν σχετικά μικρή απόλυτη διαφορά σε σχέση με τον αναμενόμενο όγκο. Και το πείραμα Q1 E είναι η ένδειξη για τα παραπάνω.

4.12 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Σ αυτή την ενότητα θα προσπαθήσουμε να μελετήσουμε την αλληλεξάρτηση που μπορεί να υπάρχει ανάμεσα στα σφάλματα και στον όγκο, στα σφάλματα και στον αριθμό των GCP καθώς και για τον όγκο με τον αριθμό των GCP. Προσπαθούμε να μελετήσουμε στην ουσία την συσχέτιση αυτών των παραμέτρων. Τα αποτελέσματα αυτής της προσπάθειας δίδονται στον πίνακα 4.10.1, ενώ στον πίνακα 4.10.2 δίνεται η χρωματική επεξήγηση που βοηθάει στην ερμηνεία του πρώτου πίνακα.

Πείραμα	R1(error-GCP)	R2(error-volume)	R3(volume-GCP)
B1	0.3339	-0.5662	-0.165
B3	0.29116	-0.587	-0.2141
Q1	0.685413	-0.8175884	-0.2909
W	0.27059	-0.1779	0.02737
M1	0.8788	-0.85218	-0.99806
M2	0.940038	-0.89254	-0.68626
M3	-0.34707	0.74368	-0.8842
M5	0.877041	-0.99032	-0.80185
K1	0.861534	-0.99383	-0.80037
S1	0.972076	-0.97655	-0.95408
S2	0.97834	-0.91035	-0.88134
E4	0.546215	-0.69856	-0.2406
N4	-0.04443	0.28723	-0.03104
VIDEO 5A	0.14619	0.25587	-0.4053
VIDEO 5B	0.21353	-0.7274	-0.3382
VIDEO 4	0.25853	-0.2164	-0.5141
VIDEO 8	-0.4559	0.91561	-0.7695
AN	0.317704	-0.81618	-0.27596
Z1	0.238659	-0.35688	-0.1942
Z2	0.2393	-0.36273	-0.19482
Z3	0.23872	-0.35545	-0.19565
I	0.3486873	-0.810565	-0.252025
5.2	-0.16281	0.172699	-0.18861
5.3	0.252826	-0.44267	-0.2424
5.5	0.346628	-0.46787	-0.22628
6.1	0.393225	-0.345628	-0.5146

Πίνακας 4.10.1 :Παρουσίαση αποτελεσμάτων συσχέτισης.

AN	$R < 0.10$	Καμία συσχέτιση
	$0.10 < R < 0.40$	χαμηλή
	$0.40 < R < 0.70$	μέτρια
	$0.70 < R < 0.99$	υψηλή

Πίνακας 4.10.2: Όρια συσχέτισης.

Παρατηρούμε πως τα αποτελέσματα της συσχέτισης δεν είναι σαφή, με συνέπεια να μην μπορούμε με ακρίβεια να κρίνουμε ποια είναι η συσχέτιση των παραμέτρων μας. Φαίνεται πως τα πειράματα που έχουν ίδια διάταξη άμμου (M1,M2,M3,M5) παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ όλων των παραμέτρων. Αντίθετα το πείραμα Z (με τις υποκατηγορίες του) δείχνει ότι υπάρχει χαμηλή συσχέτιση μεταξύ όλων των παραμέτρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε η πειραματική αξιολόγηση του σχεδιασμού πτήσεων μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων, για τη βέλτιστη φωτογραμμετρική απόδοση γεωμορφολογικών ογκομετρήσεων.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων προσομοίωσης μας οδήγησαν στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Τα πειράματα με βαθμονόμηση είχαν παρόμοια αποτελέσματα με αυτά των μη βαθμονομημένων πειραμάτων, πράγμα το οποίο οφείλεται στο γεγονός ότι εργασθήκαμε σε μικρή κλίμακα και οι διαφορές ήταν αμελητέες.
- Ορισμένα πειράματα (M1,M2,M3,M5,S1, S2, VIDEO 8) μας έδειξαν πως ο αριθμός των GCP είναι ανάλογος των σφαλμάτων των GCP στον απόλυτο προσανατολισμό. Πολλά όμως πειράματα (K1, E4, N4, B1, B3, W, Q1, TEA 40, Z1, VIDEO 5(1) , VIDEO 5(2)) μας οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι αυτό δεν ισχύει πάντοτε, δηλαδή η χρήση πολλών GCP δεν συνεπάγεται και μεγαλύτερο σφάλμα των GCP στον εξωτερικό προσανατολισμό. Συμπερασματικά, δεν υπάρχει μονοσήμαντη συσχέτιση του αριθμού των GCP με το σφάλμα του εξωτερικού προσανατολισμού.
- Σημασία φαίνεται να έχει η διάταξη των GCP και όχι ο αριθμός τους, δηλαδή το πως θα κατανεμηθούν στον χώρο.
- Η επανάληψη του ίδιου πειράματος έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν μικρό-αλλαγές στα σφάλματα των GCP στον απόλυτο προσανατολισμό και στον όγκο που όμως τα καθιστούν αμελητέας διαφοράς, άρα η μεθοδολογία επίλυσης του λογισμικού δεν παρουσιάζει ικανά σε μέγεθος σφάλματα που επηρεάζουν τα πειραματικά μας αποτελέσματα.
- Η χρήση περισσότερων GCP δεν σημαίνει και καλύτερη εκτίμηση όγκου.
- Παρατηρούμε ότι τα χαμηλά σφάλματα δίνουν τις μεγαλύτερες ποσοστιαίες διαφορές όγκου.
- Η συσχέτιση που πραγματοποιήθηκε στα πειράματα ήταν ασαφής, καθώς ορισμένα πειράματα έδειχναν μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων προς εξέταση, ενώ άλλα μας οδηγούσαν στο συμπέρασμα πως υπάρχει πολύ μικρή συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων που μελετήσαμε.
- Από το πείραμα που έλαβε χώρα για τον αριθμό των φωτογραφιών καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ούτε οι ελάχιστες φωτογραφίες μπορούν να φέρουν σωστά αποτελέσματα καθώς δεν καλύπτουν επάξια όλη την περιοχή μελέτης, αλλά ούτε και ο υπερβολικός αριθμός.
- Οι διατάξεις που προτείνονται στην κατανομή των GCP, είναι ο ισεμβαδικός διαμερισμός της περιοχής μελέτης και η τοποθέτηση τουλάχιστον ενός GCP εντός της κάθε περιοχής, ή η περιμετρική τοποθέτηση γύρω από την περιοχή ενδιαφέροντος και ταυτόχρονα η τοποθέτηση και εντός της περιοχής ενδιαφέροντος.

- Η επιλογή εικόνων με μεγαλύτερο αριθμό επαναπροβολής ενός σημείου σε περισσότερες από μια φωτογραφία μας οδηγεί στην καλύτερη προσέγγιση του όγκου.
- Η επιλογή ύψους δεν μας έδωσε σαφή αποτελέσματα, αλλά μπορούμε να περιοριστούμε σε ένα εύρος από 50 cm έως 95 cm, καθώς ανάμεσα σ αυτά τα υψόμετρα λάβαμε έως και 0% διαφορά από τον αναμενόμενο όγκο.
- Έλαβε χώρα και ένα πείραμα με γωνία κλίσης το οποίο δεν μας έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, αλλά λόγω του ότι ήταν μόνο ένα δεν μπορούμε να απαντήσουμε με σιγουριά.
- Ένα σημαντικό συμπέρασμα των πειραματικών αποτελεσμάτων που ήταν και το κύριο κίνητρο της εργασίας, είναι ότι μικρότερα σφάλματα στα control και check points, δεν υποδηλώνουν και καλύτερη αποτίμηση όγκου. Αυτό το συμπέρασμα έρχεται να ανατρέψει την αξιολόγηση μιας φωτογραμμετρικής διαδικασίας ογκομέτρησης με απόλυτη εμπιστοσύνη στα σφάλματα που μας δίνει το λογισμικό, και αποτελεί τη συνήθη πρακτική σχετικών μελετών και εργασιών. Σίγουρα, χρειάζεται επιπλέον πειραματισμός και συσχέτιση με μετρήσεις πεδίου, ώστε να διαπιστωθεί αν η παραπάνω διαπίστωση είναι γενικεύσιμη.

Όσον αφορά στην πιθανή εξέλιξη που θα μπορούσε να λάβει η παρούσα διπλωματική, υπάρχει η δυνατότητα να προστεθούν και άλλες παράμετροι σχεδιασμού πτήσης, όπως η ύπαρξη φυτικής κάλυψης ή νερού (σε μορφή ποταμίων, καναλιών, θαλασσών κ.λ.). Μια ακόμα επέκταση της παρούσας διπλωματικής, θα μπορούσε να είναι η πραγματοποίηση πειραμάτων σε μεγαλύτερη κλίμακα από αυτή που έλαβε χώρα στο εργαστήριο και κατ' επέκταση η λήψη μετρήσεων στο φυσικό γήινο περιβάλλον. Η έλλειψη σαφής πληροφορίας για το πως λειτουργεί και τί σφάλματα αποδίδει το λογισμικό υπό εξέταση μας περιορίζει ως προς την δυνατότητα να κατανοήσουμε πλήρως και αιτιολογήσουμε κάποια εκ των συμπερασμάτων. Άρα η διαδικασία δημιουργίας των προϊόντων φωτογραμμετρίας και τελικά της ογκομέτρησης θα μπορούσε να γίνει αποκλειστικά με κώδικα υλοποιημένο από εμάς, πράγμα όμως που ξεφεύγει αρκετά από τα πλαίσια μιας διπλωματικής εργασίας. Άλλωστε το θέμα προς εξέταση και προσδιορισμό αυτής της εργασίας είναι να αξιολογήσει κατά πόσο η αλόγιστη χρήση λογισμικών αυτού του τύπου από μη ειδικούς, μπορεί να κρύβει σφάλματα και λάθη που αφορούν στην ογκομέτρηση. Συμπερασματικά κρίνεται αναγκαίο στο πλαίσιο αυτής της εργασίας να γίνουν και άλλες προσπάθειες ώστε να διαφανεί πιο καθαρά το πιθανό πρόβλημα και να προταθούν τρόποι διασφάλισης της ποιότητας των μετρήσεων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

Ακολουθούν οι συντεταγμένες για κάθε GCP που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα μας.

Target	Coordinates		
	x	y	z
target 1	0	0	0
target 2	0.3	0.2	0
target 3	0	0.2	0
target 4	0.1	0.2	0
target 5	0	0.4	0
target 6	0.1	0.6	0
target 7	0	0.6	0
target 8	0.1	0.4	0
target 9	0	0.8	0
target 10	0.2	0	0
target 11	0.2	0.2	0
target 12	0.2	0.4	0
target 13	0.2	0.6	0
target 14	0.2	0.8	0
target 15	0.4	0	0
target 16	0.4	0.2	0
target 17	0.3	0.4	0
target 18	0.4	0.8	0
target 19	0.3	0.6	0
target 20	0.6	0	0
target 21	0.6	0.2	0
target 22	0.6	0.4	0
target 23	0.6	0.6	0
target	0.6	0.8	0

24			
target 25	0.5	0.2	0
target 26	0.5	0.6	0
target 27	0.4	0.6	0
target 28	0.4	0.4	0
target 29	0.5	0.4	0
target 30	0.1	0	0
target 31	0.5	0	0
target 32	0.3	0	0
target 33	0.1	0.8	0
target 34	0.3	0.8	0
target 35	0.5	0.8	0
target 36	0.05	0.1	0
target 37	0.15	0.1	0
target 38	0.25	0.1	0
target 39	0.35	0.1	0
target 40	0.45	0.1	0
target 41	0.55	0.1	0
target 42	0.05	0.7	0
target 43	0.25	0.7	0
target 44	0.15	0.7	0
target 45	0.35	0.7	0
target 46	0.45	0.7	0
target 47	0.55	0.7	0
target 48	0.05	0.3	0

target 49	0.05	0.5	0
target 50	0.55	0.3	0
target 51	0.55	0.5	0
target 52	0.05	0.3	0
target 53	0.45	0.5	0
target 54	0.15	0.5	0

ΠΙΝΑΚΑΣ Α1 1 : ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Οι συντεταγμένες από τα τέσσερα υψόμετρα :

Target	Coordinates		
	x	y	z
Target 11	0.45	0.5	0.028
Target 27	0.4	0.6	0.035
Target 65	0.15	0.5	0.022
Target 67	0.2	0.2	0.067

ΠΙΝΑΚΑΣ Α1 2: ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ

REFERENCES

[1] Investigating the applicability of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) photogrammetry for the estimation of the volume of stockpiles. Oluibukun Gbenga Ajayi , John Ajulo Department of Surveying and Geoinformatics, Federal University of Technology, Minna, Nigeria Manuscript received: September 30, 2020 (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[2] Performance of Photogrammetric and Terrestrial Laser Scanning Methods in Volume Computing of Excavation and Filling Areas. M. Yakar, H. M. Yilmaz & O. Mutluoglu Arabian Journal for Science and Engineering 2014 (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[3] UAV photogrammetry for volume calculations. K.Kokamagi 1, K. Turk 2 and N. Liba2 , 1Estonian University of Life Sciences, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Chair of Environmental Protection and Landscape Management University of Life Sciences, Institute of Forestry and Rural Engineering, Chair of Geomatics, (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[4] Χατζοπουλος γεωχωροπληροφορική τοπογραφία 2020.

[5] Εισαγωγή στην Γεωδαισία , τον Δορυφορικό εντοπισμό και την Αλτιμετρία, Στέλιος Πολ. Μερτίκας 2016.

[6] Close range photogrammetry in volume computing, ,H.M. Yilmaz. January 2010. (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[7] Determination of Building Model Key Points Using Multidirectional Shaded Relief Images Generated from Airborne LiDAR Data, Dong-Cheon Lee, David H. Lee and Dae Geon Lee. 21 Apr 2019 (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[8] Geospatial world <https://www.geospatialworld.net/blogs/what-is-lidar-technology-and-how-does-it-work/>. (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[9] LiDAR remote sensing and Applications , Pinliang Dong & Qi Chen 2018. (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[10] Geosystem Hellas. <https://www.geosystems-hellas.gr/el/dimioyrgia-sygchronon-3d-yrovathron-apo-dedomena-lidar-gia-tin-exypni-kai-asfali-diacheirisi-viomichanikon-periochon/> (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[11] Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics, <https://www.gps.gov/systems/gnss/> . (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[12]Global navigation satellite systems , WolfgangLechner & StefanBaumann 2000 (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[13] American Society For Photogrammetry and Remote Sensing . (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[14] Εισαγωγή στην φωτογραμμετρία Π. Πατιάς 1991.

[15]Φωτογραμμετρία και Τοπογραφία

<https://docplayer.gr/9684483-Fotogrammetria-topografia.html> . (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[16]Structure from Motion Photogrammetry in Forestry: a Review, Jakob Iglhaut, Carlos Cabo, Stefano Puliti, Livia Piermattei, James O'Connor & Jacqueline Rosette Current Forestry Reports volume 2019. (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[17]Micheletti N, Chandler JH, Lane SN. Structure from motion (SfM) photogrammetry. Br Soc Geomorphol. 2015. (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[18]Simultaneous localization and mapping (SLAM): part II , T. Bailey; H. Durrant-Whyte 2006 . (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[19]Unger, J.; Reich, M.; Heipke, C.: UAV-based photogrammetry: Monitoring of a building zone. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives 40 2014, DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-601-2014>. (ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΕΠΙΣΚΕΨΗ 12/10/21).

[20]Ground volume assessment using 'Structure from Motion' photogrammetry with a smartphone and a compact camera . Rafał Wróżyński, Krzysztof Pyszny, Mariusz Sojka, Czesław Przybyła and Sadzide Murat-Błażejewska 2017. (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[21]DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hillAuthors M.Uysal ,A.S.Toprak , N.Polat(Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[22]Volume computation of a stockpile – a study case comparing GPS and UAV measurements in an open pit P. L. Raevaa , S. L. Filipovaa , D. G. Filipov(Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[23]Agisoft Manual . <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/> .

[24]Wingtra Ground control points: How many do you need (and when are checkpoints enough)<https://wingtra.com/ground-control-points-how-many-do-you-need-and-when-are-checkpoints-enough/> volume. (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[25]UAS as an Inventory Tool: A Photogrammetric Approach to Volume Estimation 2017. Richard Kramer Rhodes University of Arkansas, Fayetteville.

<http://scholarworks.uark.edu/etd/2424>. (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[26]Geometry of Aerial Photographs. https://gis-lab.info/docs/books/aerial-mapping/cr1557_06.pdf.

(Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[27] Wingtra Ground control points: How many do you need (and when are checkpoints enough) <https://wingtra.com/ground-control-points-how-many-do-you-need-and-when-are-checkpoints-enough> volume. (Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[29]Stauffer, J. M., & Mendoza, J. L. 2001. The proper sequence for correcting correlation coefficients for range restriction and unreliability. Psychometrika,

(Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).

[30]The correlation coefficient: Its values range between +1/-1, or do they? Bruce Ratner .Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing volume 2009(Τελευταία επίσκεψη 12/10/21).