

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Φωτογραμμετρική αποτύπωση μετώπων εκσκαφής μορφής πρανών»

ΟΛΓΑ Ι. ΓΚΙΚΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Παρτσινέβελος Παναγιώτης (επιβλέπων) Γαλετάκης Μιχαήλ Στειακάκης Εμμανουήλ

ΧΑΝΙΑ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2012

Περιληψη

Η διπλωματική αυτή αποτελεί μια από τις πρώτες επαφές με τον τομέα της Φωτογραμμετρίας για το τμήμα μας και αντικείμενο της είναι η χρήση αυτοματοποιημένων φωτογραμμετρικών μεθόδων για την συλλογή τρισδιάστατης πληροφορίας από φυσικά πρανή και μέτωπα εκσκαφών καθώς και η αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων σε σχέση με τις επικρατούσες συνθήκες της εκάστοτε εφαρμογής.

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις σε εργαστηριακό επίπεδο με μακέτα που κατασκευάσθηκε, για τον ευκολότερο έλεγχο της μεθόδου καθώς υπήρχε άμεση επαφή με τα αντικείμενα προς απεικόνιση. Σκοπός της πειραματικής αυτής διαδικασίας ήταν η μελέτη της επιρροής που έχει η μεταβολή των γεωμετρικών συνθηκών κατά την φωτογράφιση. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκε η συσχέτιση και οι επιπτώσεις που μπορεί να έχουν στα αποτελέσματα της λύσης οι μεταβολές α) της απόστασης μεταξύ των σημείων λήψης των δύο επικαλυπτόμενων φωτογραφιών του στερεοζεύγους, β) της απόστασης των σημείων λήψης από το αντικείμενο προς απεικόνιση και τέλος γ) της εστιακής απόστασης. Προέκυψαν έτσι δώδεκα περιπτώσεις λήψης για κάθε μια από τις οποίες έγινε εκτίμηση σφάλματος γνωστών σημείων ελέγχου κατά τις τρεις χωρικές (x,y,z) διαστάσεις.

Στη συνέχεια, ακολούθησαν εφαρμογές φωτογραμμετρικής αποτύπωσης σε εξωτερικό περιβάλλον, και συγκεκριμένα σε πρανή εκατέρωθεν μέρους του οδικού δικτύου στη περιοχή των Τοπολίων καθώς και σε λατομικό χώρο στο Χορδάκι. Για τις εφαρμογές αυτές χρησιμοποιήθηκαν φωτοσταθερά που μετρήθηκαν με Ολικό Γεωδαιτικό Σταθμό στο μέτωπο της αποτύπωσης. Μετά διαδικασία συνόρθωσης ζευγών тпу των των εικόνων, πραγματοποιήθηκε η δημιουργία Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους και οπτικοποιήθηκε η τρισδιάστατη προβολή του στερεομοντέλου όπου καθίσταται εφικτή η συλλογή τρισδιάστατης μετρητικής πληροφορίας.

Για τις ανάγκες των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό LPS Project Manager της ERDAS όπου παρέχει την δυνατότητα αυτοματοποιημένης συνόρθωσης μπλοκ εικόνων με ταυτόχρονη αυτοβαθμονόμηση. Η φωτογραφική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη των εικόνων είναι μια ερασιτεχνική - ημιεπαγγελματική Nikon D50, με φακό Nikon: AF Nikkor 28-80mm 1:3.3-5.6 G.

Οι λήψεις των εικόνων για τις εφαρμογές που πραγματοποιηθήκαν είναι επίγειες και επιλέχθηκε να γίνουν με ημι-επαγγελματική φωτογραφική μηχανή έτσι ώστε να μελετηθεί η απόδοση της μεθόδου χωρίς να υπάρχει ανάγκη πρόσβασης σε υψηλού κόστους όργανα.

Προλογός - Ευχαριστιές

Με το πέρας της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου και λέκτορα κύριο Παρτσινέβελο Παναγιώτη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την υπομονή του κατά την διάρκεια της συνεργασίας μας, καθώς και για την υποστήριξη και βοήθεια που μου παρείχε.

Οφείλω να ευχαριστήσω και τον επικ. καθηγητή κύριο Μ. Γαλετάκη καθώς συνέβαλε στην αρχική επαφή μου με το αντικείμενο της φωτογραμμετρίας και στην δημιουργία τελικώς του ενδιαφέροντος μου να ασχοληθώ με αυτό το αντικείμενο.

Ευχαριστίες επίσης θα ήθελα να εκφράσω στον λέκτορα κύριο Στειακάκη Εμμανουήλ που δέχθηκε να συμμετάσχει ως μέλος της εξεταστικής επιτροπής.

Από το εργαστήριο Γεωδαισίας και Πληροφορικής των Γεωεπιστημών, ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Μερτίκα Στυλιανό για την παροχή εξοπλισμού των τοπογραφικών μετρήσεων και τον Τριπολιτσιώτη Αχιλλέα για την πολύτιμη βοήθεια του.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως:

Τους γονείς μου Γιάννη και Ευτυχία για την υποστήριξη αλλά και την υπομονή που έδειξαν, καθώς και την πίεση που μου άσκησαν όταν αυτό χρειαζόταν και τον αδερφό μου Βασίλη για την βοήθεια και κυρίως παρότρυνση που μου προσέφερε κατά την διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής.

Τις φίλες μου Μανατάκη Μερόπη, η οποία μάλιστα είχε την καλοσύνη να μας δανείσει την φωτογραφική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε και Μαντζάνα Θεοδώρα για την ηθική υποστήριξη και συμπαράσταση που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗ	ΨΗ		II			
ΠΡΟΛΟΓ	ΟΣ - ΕΥ	ΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	IV			
KATA	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ					
KATA	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ					
KATA	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝΧ					
ΚΕΦΑΛΑ	NIO 1:	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1			
1.1	ΣΚΟΠΟ	Σ	1			
1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ						
ΚΕΦΑΛΑ	IO 2:	ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ				
2.1	ΕΙΣΑΓΩ	ГН				
2.2	ΕΠΙΓΕΙΑ	Α ΨΗΦΙΑΚΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	5			
2.2	.1 ΨΗ	ΦΙΑΚΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	6			
2.2	.2 EUI	ΙΓΕΙΑ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	6			
2.2	.3 ENI	ΙΓΕΙΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ	7			
2.2	.4 ΕΦ <i>ι</i>	ΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ	9			
2.3	ΠΡΟΣΔΙ	ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ	9			
2.3	.1 KEI	ΝΤΡΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ				
2.3	.2 ΣΥΣ	ΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ				
2.3	.3 ΕΣΩ	ΩΤΕΡΙΚΌΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΌΣ				
2.3	.4 EES	ΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ				
2.3.5 ΣΥΝΘΗΚΗ ΣΥΓΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΓΕΝΙΚΗ						
11EF						
2.4			2/			
2.4			2/			
2.4			2/ 20			
2.5		$\mathbf{C}_{\mathbf{C}}$	20			
2.0 ΚΕΦΑΛΑ		ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ				
2 1			20			
2.1						
רג גר						
ר ג גר		12-1100				
ן. כי בי						
5.5			JZ			

3.4	ΠΑΡ	ΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	35		
3.4.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ		ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ	35		
3.4.2		ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ	39		
3.4.3 EA		ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ	43		
3.4.4 ΣΦΑΛΜΑΤΑ RMS		ΣΦΑΛΜΑΤΑ RMS	49		
ΚΕΦΑΛ	AIO 4	: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΧΟΡΔΑΚΙ	50		
4.1	ΕΙΣΑ	λΓΩΓΗ	50		
4.2	ΠΑΡ	ΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	58		
4.3	ΨH¢	ΡΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	62		
4.3	8.1	ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ	63		
4.3	8.2	ΧΑΡΤΗΣ ΙΣΟΥΨΩΝ – DTM POINT STATUS	65		
4.3	8.3	TERRAMODEL TIN	66		
4.4	τρις	ΔΙΑΣΤΑΤΗ ΠΡΟΒΟΛΗ	67		
ΚΕΦΑΛ	AIO 5	: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑ ΤΟΠΟΛΙΑ	69		
5.1	ΕΙΣΑ	λΓΩΓΗ	69		
5.2	5.2 ΠΕΡΙΟΧΗ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ				
5.3	5.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ76				
5.4	ΨH¢	ΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	78		
5.4	.1	ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ	78		
5.4	.2	DTM POINT STATUS	80		
5.5	τρις	ΔΙΑΣΤΑΤΗ ΠΡΟΒΟΛΗ	81		
ΚΕΦΑΛ	AIO 6	: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	82		
6.1	ΣΥΜ	ΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	82		
6.2	ΣΥΜ	ΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	84		
6.3	6.3 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ				
6.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ					
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ87					
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ					
ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ					

<u>Καταλογός Εικόνω</u>

Εικόνα 2.1: Γεωμετρική αναπαράσταση λήψης ενός αντικειμένου από δύο	
διαφορετικά σημεία, αριστερή και δεξιά εικόνα	.4
Εικόνα 2.2: Απεικόνιση λήψης επίγειων φωτογραφιών	. 7
Εικόνα 2.3: Φωτοθεοδόλιχο	. 8
Εικόνα 2.4: Στερεομετρική κάμερα	. 8
εικόνα 2.5: Μη μετρική ημι-επαγγελματική κάμερα	. 8
Εικόνα 2.6: Ορθή και Κεντρική Προβολή (πηγή: Πέτσα, 2000)	11
εικόνα 2.7 : Εκτροπή λόνω αναγλύφου και παράλλαξη (Πέτσα, 2000)	12
Εικόνα 2.8: Σύστημα συντεταγμένων εικόνας (Πέτσα, 2000)	15
εικόνα 2.9: Συστήματα συντετανμένων σε αεροφωτονραφία, αριστερά και επίνει	a
κήψη, δεξιά (πηνή: Πέτσα, 2000)	16
Εικόνα 2.10: Στροφές που απαιτούνται για την μετάβαση απο το σύστημα	
συντεταγμένων της φωτογραφίας στο επίγειο	16
εικόνα 2.11: Στοιχεία εσωτερικού προσανατολισμού (Πέτσα, 2000)	17
εικόνα 2.12: Επίδραση ακτινικής διαστροφής του φακού (Πέτσα, 2000)	19
εικόνα 2.13: Στοιχεία Εξωτερικού Προσανατολισμού Εικόνας	20
εικόνα 2.14: Φωτονραμμετρική εμπροσθοτομία από δύο εικόνες	21
εικόνα 2.15: Διαδοχικές στροφές κατά τους άξονες Χ. Υ. Ζ	23
Εικόνα 2.16: Γενική περίπτωση εικόνας με στροφές (πηνή: Πέτσα 2000)	24
Εικόνα 2.17: Στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού στερεοζεύνους	26
Εικόνα 3.1: Απεικόνιση της σχέσης αποστάσεων S από το μέτωπο και της βάσης Ι	в.
······································	31
ικόνα 3.2: Η Nikon D50	32
Ξικόνα 3.3: Φακός NIKKOR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ	ſεİ
Ξικόνα 3.3: Φακός NIKKOR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης.	ſεi
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs	τ εί 34
εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs Εικόνα 3.5: Οριζοντιογραφικά σημεία	τ εί 34 35
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs Εικόνα 3.5: Οριζοντιογραφικά σημεία Εικόνα 3.6: Κατακόρυφα σημεία	τεί 34 35 39
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs Εικόνα 3.5: Οριζοντιογραφικά σημεία Εικόνα 3.6: Κατακόρυφα σημεία Εικόνα 3.7: Τα σημεία που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο τον υψομετρικών	τ εί 34 35 39
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mmΣφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs Εικόνα 3.5: Οριζοντιογραφικά σημεία Εικόνα 3.6: Κατακόρυφα σημεία Εικόνα 3.7: Τα σημεία που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο τον υψομετρικών ιποκλίσεων Rz	τ εί 34 35 39 43
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mmΣφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs Εικόνα 3.5: Οριζοντιογραφικά σημεία Εικόνα 3.6: Κατακόρυφα σημεία Εικόνα 3.7: Τα σημεία που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο τον υψομετρικών ποκλίσεων Rz Εικόνα 4.1: Τοπογραφικές μετρήσεις των σημείων λήψης των εικόνων και των	rεi 34 35 39 43
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mmΣφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs Εικόνα 3.5: Οριζοντιογραφικά σημεία Εικόνα 3.6: Κατακόρυφα σημεία Εικόνα 3.7: Τα σημεία που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο τον υψομετρικών Ποκλίσεων Rz Εικόνα 4.1: Τοπογραφικές μετρήσεις των σημείων λήψης των εικόνων και των φωτοσταθερών που μετρήθηκαν, όπως παρουσιάζονται από διάγραμμα που	rεi 34 35 39 43
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mmΣφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs Εικόνα 3.5: Οριζοντιογραφικά σημεία Εικόνα 3.6: Κατακόρυφα σημεία Εικόνα 3.7: Τα σημεία που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο τον υψομετρικών ποκλίσεων Rz Εικόνα 4.1: Τοπογραφικές μετρήσεις των σημείων λήψης των εικόνων και των φωτοσταθερών που μετρήθηκαν, όπως παρουσιάζονται από διάγραμμα που δημιουργήθηκε στην Matlab	rεi 34 35 39 43
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mmΣφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs Εικόνα 3.5: Οριζοντιογραφικά σημεία Εικόνα 3.6: Κατακόρυφα σημεία Εικόνα 3.7: Τα σημεία που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο τον υψομετρικών ποκλίσεων Rz Εικόνα 4.1: Τοπογραφικές μετρήσεις των σημείων λήψης των εικόνων και των φωτοσταθερών που μετρήθηκαν, όπως παρουσιάζονται από διάγραμμα που δημιουργήθηκε στην Matlab	τεί 34 35 39 43 50 52
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs Εικόνα 3.5: Οριζοντιογραφικά σημεία Εικόνα 3.6: Κατακόρυφα σημεία Εικόνα 3.7: Τα σημεία που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο τον υψομετρικών ποκλίσεων Rz Εικόνα 4.1: Τοπογραφικές μετρήσεις των σημείων λήψης των εικόνων και των φωτοσταθερών που μετρήθηκαν, όπως παρουσιάζονται από διάγραμμα που δημιουργήθηκε στην Matlab Εικόνα 4.2: Αριστερή Εικόνα Στερεοζεύγους (σημείο λήψης 36)	rei 34 35 39 43 50 52 52
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs Εικόνα 3.5: Οριζοντιογραφικά σημεία Εικόνα 3.6: Κατακόρυφα σημεία Εικόνα 3.7: Τα σημεία που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο τον υψομετρικών ποκλίσεων Rz Εικόνα 4.1: Τοπογραφικές μετρήσεις των σημείων λήψης των εικόνων και των φωτοσταθερών που μετρήθηκαν, όπως παρουσιάζονται από διάγραμμα που δημιουργήθηκε στην Matlab Εικόνα 4.2: Αριστερή Εικόνα Στερεοζεύγους (σημείο λήψης 36) Εικόνα 4.3: Δεξιά εικόνα Στερεοζεύγους (σημείο λήψης 35)	rei 34 35 39 43 50 52 52
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs	rei 34 35 39 43 50 52 52 52
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs	rei 34 35 39 43 50 52 52 52
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs	rei 34 35 39 43 50 52 52 53 55
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs	rei 34 35 39 43 50 52 52 53 55 55
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs	rei 34 35 39 43 50 52 52 53 55 55
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs	rei 34 35 39 43 50 52 52 53 55 55 55
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ σελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs	rei 34 35 39 43 50 52 52 53 55 55 56 57
Εικόνα 3.3: Φακός ΝΙΚΚΟR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ πελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs	rei 34 35 39 43 50 52 52 53 55 55 55 56 57 63
 Εικόνα 3.3: Φακός NIKKOR AF 28-80mm Σφάλμα! Δεν έχει οριστ πελιδοδείκτης. Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs	rei 34 35 39 43 50 52 52 53 55 55 55 56 57 63 64

Εικόνα 4.12: DEM σε πλάγια όψη	64
Εικόνα 4.13: Χάρτης Ισουψών σε συνδυασμό με θεματικό χάρτη κατάστασης των	v
σημείων	65
Еіко̀va 4.14: TerraModel Tin	66
Εικόνα 4.15: Τρισδιάστατη στερεοσκοπική προβολή του μετώπου	68
Εικόνα 5.1: Περιοχή στα Τοπόλια όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις	69
Εικόνα 5.2: Αριστερή εικόνα του στερεοζεύγους " <i>dsc_144".</i>	70
Εικόνα 5.3: Δεξιά εικόνα του στερεοζεύγους " <i>dsc_147".</i>	70
Εικόνα 5.4: Συστήματα συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκαν	72
Εικόνα 5.5: Περιβάλλον του LPS, με την θέση των Control Points στο	
αλληλεπικαλυπτόμενο τμήμα	73
Εικόνα 5.6: Περιβάλλον του "Point Measurement Tool" του LPS, όπου γίνεται η	
επιλογή των φωτοσταθερών και των συζυγών σημείων στην αριστερή και δεξιά	
εικόνα	74
Εικόνα 5.7: Αποτελέσματα των σημείων που έχουν βρεθεί μετά την αυτόματη	
αναζήτηση για συζυγή σημεία στο αλληλεπικαλυπτόμενο τμήμα του	
στερεοζεύγους	74
Εικόνα 5.8: Αποτέλεσμα της διαδικασίας Τριγωνισμού	75
Εικόνα 5.9: Το παραγόμενο DEM και υψομετρικές καμπύλες	79
Εικόνα 5.10: Το ιστόγραμμα του DEM	79
Εικόνα 5.11: Χάρτης Ισουψών σε συνδιασμό με θεματικό χάρτη κατάστασης των	,
σημείων	80
Εικόνα 5.12: Τρισδιάστατη στερεοσκοπική προβολή του μετώπου	81

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Συνοπτικός πίνακας παρατηρήσεων και γνωστών-αγνώστων παραμέτρων για τις περιπτώσεις Βαθμονόμησης, Οπισθοτομίας και Πίνακας 3.4: Μέσοι όροι των απόλυτων τιμών των σφαλμάτων για κάθε περίπτωση λήψης......38 Πίνακας 3.5: Μέσοι όροι των απόλυτων τιμών των σφαλμάτων για κάθε Πίνακας 3.6: Σφάλματα Ry για τα κατακόρυφα σημεία και τις περιπτώσεις λήψης Πίνακας 3.7: Σφάλματα Ry για τα κατακόρυφα σημεία και τις περιπτώσεις λήψης Πίνακας 3.8: Μέσοι όροι των απόλυτων τιμών των σφαλμάτων Ry avá σημείο... 42 Πίνακας 3.9: Μέσοι όροι των απόλυτων τιμών των σφαλμάτων Ry ανά εστιακή Πίνακας 3.12: Τελικά σφάλματα RMS και για τις δώδεκα περιπτώσεις επίλυσης. . 49 Πίνακας 4.1: Τοπογραφικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή.... 51 Πίνακας 4.2: Τελικές συντεταγμένες σημείων......54 Πίνακας 4.3: Επαναλήψεις που πραγματοποιούνται για την επίλυση. 59 Πίνακας 4.4: Οι παράμετροι εξωτερικού προσανατολισμού όπως υπολογίστηκαν Πίνακας 4.5: Παράμετροι εσωτερικού προσανατολισμού όπως προέκυψαν από την αναφορά των αποτελεσμάτων του τριγωνισμού......59 Πίνακας 4.6: Σύγκριση αρχικών και διορθωμένων τιμών Χ των φωτοσταθερών.. 60 Πίνακας 4.7: Σύγκριση αρχικών και διορθωμένων τιμών Υ των φωτοσταθερών..60 Πίνακας 4.8: Σύγκριση αρχικών και διορθωμένων τιμών Ζ των φωτοσταθερών..60 Πίνακας 4.9: Συντεταγμένες Tie Points όπως προέκυψαν από τον τριγωνισμό.... 61 Πίνακας 4.10: Συντεταγμένες των Tie Points όπως μετρήθηκαν τοπογραφικά.... 61 Πίνακας 5.3: Συντεταγμένες κατά χ των φωτοσταθερών, όπου Χ η συντεταγμένη που εισάχθηκε, Χ' η διορθωμένη συντεταγμένη μετά τον τριγωνισμό και RX η Πίνακας 5.4: Συντεταγμένες κατά Υ των φωτοσταθερών, όπου Υ η συντεταγμένη που εισάχθηκε, Υ' η διορθωμένη συντεταγμένη μετά τον τριγωνισμό και RY η Πίνακας 5.5: Συντεταγμένες κατά Ζ των φωτοσταθερών, όπου Ζ η συντεταγμένη που εισάχθηκε, Ζ' η διορθωμένη συντεταγμένη μετά τον τριγωνισμό και RZ η Πίνακας 5.6: Απόλυτες τιμές των σφαλμάτων RX, RY, RZ, καθώς και κάποια στατιστικά στοιχεία για τα σφάλματα όπως οι μέσοι όροι των σφαλμάτων και η τυπική τους απόκλιση......77 Πίνακας 5.7: Παράμετροι του εξωτερικού προσανατολισμού του για τις δύο εικόνες

καταλογος γραφηματων

Γράφημα 3.1: Σφάλματα Rx των οριζοντιογραφικών σημείων για όλες τις Γράφημα 3.2: Σφάλματα Rx των οριζοντιογραφικών σημείων για όλες τις Γράφημα 3.3: Σφάλματα Ry ανά κατακόρυφο σημείο για τις περιπτώσεις λήψης με Γράφημα 3.4: Σφάλματα Ry ανά κατακόρυφο σημείο για τις περιπτώσεις λήψης με Γράφημα 3.5: Σφάλματα Rz για B=0.5μ. Το σημείο 20 βρίσκεται στην κορυφή και Γράφημα 3.6:Σφάλματα Rz για B=0.5μ. Το σημείο 25 βρίσκεται στην κορυφή και Γράφημα 3.7:Σφάλματα Rz για B=1μ. Το σημείο 22 βρίσκεται στην κορυφή και το Γράφημα 3.8:Σφάλματα Rz για B=1μ. Το σημείο 23 βρίσκεται στην κορυφή και το σημείο 25 στην βάση της πυραμίδας......46 Γράφημα 3.9: Παρουσίαση του RMSE που προκύπτει από τον τριγωνισμό για κάθε σημείο που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή, για απόσταση βάσης 0.5 μέτρα. Τα Γράφημα 3.10: Παρουσίαση του RMSE που προκύπτει από τον τριγωνισμό για κάθε σημείο που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή για την περίπτωση λήψης με

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣκοποΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη και αποτίμηση της απόδοσης ημι-αυτοματοποιημένων μεθόδων φωτογραμμετρίας με χρήση μη μετρητικής ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής, σε επίγειες εφαρμογές.

Οι εφαρμογές πραγματοποιούνται χωρίς να έχει προηγηθεί βαθμονόμηση της μηχανής και χωρίς την χρήση στοιχείων εξωτερικού προσανατολισμού ως δεδομένα εισόδου.

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ

Αρχικά παρουσιάζεται μία εισαγωγή στην θεωρία της Φωτογραμμετρίας και σε βασικές μαθηματικές αρχές και σχέσεις που βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση της φωτογραμμετρικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία.

Στην συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο ακολουθεί μία πειραματική εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε στο χώρο του Πολυτεχνείου. Κατά την εφαρμογή αυτή μελετάται η επιρροή που έχει η μεταβολή των γεωμετρικών συνθηκών κατά τη φωτογράφιση, δηλαδή της σχέσης ανάμεσα στα σημεία λήψης της εικόνας και του αντικειμένου προς αποτύπωση.

Στα δύο επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται οι εφαρμογές αποτύπωσης πρανών που πραγματοποιήθηκαν στις περιοχές των Τοπολίων και του Χορδακίου. Φαίνεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθείται μέχρι τη συνόρθωση της ομάδας των εικόνων (μπλοκ), ο μετασχηματισμός των τοπογραφικών συντεταγμένων και η αυτόματη αναζήτηση επιπλέον ομόλογων σημείων. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τριγωνισμού, τα σφάλματα που προκύπτουν στις συντεταγμένες που δόθηκαν προκειμένου να πραγματοποιηθεί η επίλυση και ο εξωτερικός προσανατολισμός του στερεοζεύγους. Τέλος, παρατίθενται τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους που κατασκευάστηκαν καθώς και η τρισδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν καθώς και κάποιες προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

2.1 Εισαγωγη

Η φωτογραμμετρία έχει οριστεί ως η επιστήμη εκείνη που χρησιμοποιεί διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων, αλλά και προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για την απόκτηση αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με τα φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον. Αποσκοπεί στην μελέτη και καθορισμό του σχήματος, των διαστάσεων και της θέσης, οποιουδήποτε αντικειμένου στον χώρο με ακρίβεια, χρησιμοποιώντας μια ή περισσότερες φωτογραφίες του αντικειμένου αυτού (Πατιάς, 1994). Ο όρος φωτογραμμετρία αναφέρεται λοιπόν σε ένα σύνολο τεχνικών που στοχεύουν στον κατά το δυνατόν πιστότερο γεωμετρικό προσδιορισμό της μορφολογίας αντικειμένων του τρισδιάστατου χώρου από μετρήσεις σε εικόνες (Πέτσα, 2000). Η ιστορία της Φωτογραμμετρίας ξεκινά από το 1851 και αναπτύσσεται συνεχώς, καθώς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Τα σημαντικότερα στάδια εξέλιξης της φωτογραμμετρίας μέχρι και σήμερα είναι, η αναλογική φωτογραμμετρία, στη συνέχεια η αναλυτική και τέλος η ψηφιακή (IΠΕΤ).

Η φωτογραμμετρία συνδέεται με άλλες επιστήμες συλλογής δεδομένων όπως η Τοπογραφία και η Γεωδαισία. Η διαφορά της έγκειται στο γεγονός ότι μέσω των τεχνικών της φωτογραμμετρίας καταγράφουμε δεδομένα όπως η θέση, το σχήμα και οι διαστάσεις αντικειμένων με έμμεσο τρόπο. Επομένως, ενώ σε άλλες επιστήμες συλλέγονται πρωτογενή δεδομένα, απευθείας πάνω στο φυσικό αντικείμενο, οι φωτογραμμετρικές μετρήσεις γίνονται έμμεσα, χρησιμοποιώντας κάποιο μέσο αποτύπωσης του πραγματικού αντικειμένου. Έτσι οι μετρήσεις δεν γίνονται πάνω στο αντικείμενο αλλά πάνω στην αποτύπωση του αντικειμένου, δηλαδή στην φωτογραφική εικόνα (Πατιάς, 1994). Η δυνατότητα της χρήσης της εικόνας για μετρητικούς σκοπούς στηρίζεται στο γεγονός ότι η σχέση του αντικειμένου στον χώρο και στην εικόνα μπορεί να εκφραστεί μέσω μαθηματικών σχέσεων. Κατά συνέπεια ακριβείς μετρήσεις στην εικόνα μπορούν να αναχθούν σε μετρήσεις του χώρου. Καθώς όμως η φωτογραφία απεικονίζει τρισδιάστατα αντικείμενα σε δυο διαστάσεις, πληροφορίες από μία φωτογραφία δεν μπορούν να προσδιορίσουν τον χώρο της τρίτης διάστασης. Ο προσδιορισμός του χώρου αυτού, επιτυγχάνεται με την λήψη και κατάλληλη συσχέτιση δύο ή περισσοτέρων επικαλυπτόμενων φωτογραφιών, χρησιμοποιώντας την αρχή της στερεοσκοπικής όρασης. Η φωτογραμμετρία έτσι χρησιμοποιεί την ίδια αρχή που χρησιμοποιεί και ο άνθρωπος, δηλαδή μέσω δύο εικόνων του ίδιου αντικειμένου που έχουν ληφθεί από δυο διαφορετικά σημεία, προσδιορίζει τον τρισδιάστατο χώρο κατ' αντιστοιχία με την ανθρώπινη όραση (Μπαντέκας, 1980).



Εικόνα 2.1: Γεωμετρική αναπαράσταση λήψης ενός αντικειμένου από δύο διαφορετικά σημεία, αριστερή και δεξιά εικόνα. (πηγή: sirovision field procedures manual)

Με βάση την αρχή αυτή κατασκευάζεται ένα φωτογραμμετρικό μοντέλο και εφόσον υπάρχει ικανοποιητική αντιστοιχία του μοντέλου αυτού με την πραγματικότητα, μετρήσεις στο μοντέλο αυτό μπορούν να αποδοθούν με ακρίβεια σε σημεία του χώρου. Μέσω αυτής της διαδικασίας μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες όπως διαγράμματα, σχέδια υψομετρικών καμπυλών, χάρτες, πίνακες συντεταγμένων, και να μετρηθούν αποστάσεις, γωνίες, όγκοι καθώς και στατιστικά στοιχεία και κατανομές (Μπαντέκας, 1980).

Η φωτογραφία θεωρείται μια κεντρική προβολή τρισδιάστατων αντικειμένων πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια, έτσι με την χρήση της φωτογραμμετρίας αυτό που επιτυγχάνεται είναι μια προσέγγιση της πραγματικότητας, και ο βαθμός προσέγγισης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως:

- Την ποιότητα των εικόνων που εξαρτάται από την κάμερα και τον φακό που χρησιμοποιείται.
- Την γεωμετρική σχέση ανάμεσα στο σημείο λήψης της εικόνας
 και του αντικειμένου που φωτογραφίζεται.
- Την φασματική και χωρική διακύμανση του αντικειμένου και την φασματική και χωρική ανάλυση της κάμερας.
- Την μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την αναγωγή των μετρήσεων και την εμπειρία του χρήστη.

2.2 ΕΠΙΓΕΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

Όπως ήδη αναφέρθηκε η φωτογραμμετρία έχει περάσει από πολλά στάδια μέχρι σήμερα για να φτάσει στην ψηφιακή εποχή. Στην παρούσα διπλωματική καθώς γίνεται χρήση επίγειας ψηφιακής φωτογραμμετρίας, γίνεται μια σύντομη αναφορά συγκεκριμένα στις κατηγορίες αυτές της Φωτογραμμετρίας.

2.2.1 ΨΗΦΙΑΚΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

Η ψηφιακή φωτογραμμετρία αναφέρεται στην περίπτωση όπου έχουμε επεξεργασία ψηφιακών εικόνων και όχι αναλογικών. Οι ψηφιακές αυτές εικόνες μπορούν να προέλθουν είτε από σάρωση φωτογραφιών είτε να ληφθούν απευθείας από ψηφιακή φωτογραφική μηχανή.

Мε тην εξέλιξη της τεχνολογίας, έχουν αναπτυχθεί ψηφιακά φωτογραμμετρικά πακέτα που χρησιμοποιούν εξειδικευμένα λογισμικά που αυτοματοποιούν τις διεργασίες της κλασσικής φωτογραμμετρίας, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιείται η απαίτηση παρέμβασης του χρήστη κατά την διάρκεια της φωτογραμμετρικής διαδικασίας. Η αυτοματοποίηση της φωτογραμμετρικής διαδικασίας εκτός του ότι παρέχει ευκολίες στον χρήση, καθιστά πολλές φορές μη απαραίτητη την ύπαρξη εξειδικευμένων γνώσεων πάνω στο αντικείμενο. Μέσω των λογισμικών αυτών μπορεί για παράδειγμα να γίνει αυτοματοποιημένα η εύρεση ομόλογων σημείων, μέσω της συσχέτισης δύο φωτογραφιών. Επιπλέον τα παραγόμενα προϊόντα της ψηφιακής φωτογραμμετρίας, τα αποτελέσματα δηλαδή από την φωτογραμμετρική επίλυση, είναι σε ψηφιακή μορφή όπως ψηφιακοί χάρτες, DEMs (Digital Elevation Models), και ψηφιακές ορθοφωτογραφίες. Είναι προφανές ότι η πρόοδος και εξέλιξη της ψηφιακής φωτογραμμετρίας είναι εξαρτώμενη από την εξέλιξη της τεχνολογίας (Erdas LPS Manual, 2010).

2.2.2 ΕΠΙΓΕΙΑ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

Μια από τις κατηγοριοποιήσεις της φωτογραμμετρίας αποτελεί ο διαχωρισμός σε επίγεια και από αἑρα φωτογραμμετρία. Η επίγεια φωτογραμμετρία αποτελεί ἐνα ξεχωριστό πεδίο του κλάδου της φωτογραμμετρίας, καθώς οι μετρήσεις δεν λαμβάνονται από τον αἑρα μἑσω δορυφόρου ή αεροπλάνων, αλλά από το ἑδαφος.

Στην περίπτωση που το σημείο λήψης είναι κοντά στο αντικείμενο με μέγιστη απόσταση της τάξης των 300 μέτρων χρησιμοποιείται ο όρος

"Close-Range Photogrammetry". Σε αντίθεση με την φωτογραμμετρία από αέρα, τα σημεία λήψης των εικόνων μπορούν να είναι γύρω από το αντικείμενο και μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις οι οπτικοί άξονες της κάμερας είναι παράλληλοι. Συνήθως συγκλίνουν προς το κέντρο του αντικειμένου όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.2: Απεικόνιση λήψης επίγειων φωτογραφιών (πηγή: www.ipet.gr)

Επιπλέον στην επίγεια φωτογραμμετρία η θέση της κάμερας είναι συνήθως προσβάσιμη, και έτσι μπορούν να γίνουν απευθείας μετρήσεις της θέσης αυτής. Ο προσανατολισμός και η κλίση της κάμερας επίσης είναι συνήθως εύκολο να υπολογισθούν ή να ορισθούν σε συγκεκριμένες τιμές έτσι ώστε τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού της φωτογραφίας να είναι γνωστά και να μην χρειάζεται να υπολογιστούν. Η γνώση των παραμέτρων του εξωτερικού προσανατολισμού αποτελεί μια πηγή ελέγχου των επίγειων λήψεων καθώς μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως ή μερικώς την ανάγκη χρήσης σημείων ελέγχου (Wolf and Dewitt, 2000 – Atkinson, 2003).

2.2.3 ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Στην επίγεια φωτογραμμετρία μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα είδη μηχανών. Μια γενική κατηγοριοποίηση αυτών είναι οι μετρικές και οι μημετρικές φωτογραφικές μηχανές. Με τον όρο μετρική φωτογραφική μηχανή εννοούμε τις κάμερες που κατασκευάζονται αποκλειστικά για φωτογραμμετρικές εφαρμογές και είναι πλήρως βαθμονομημένες πριν τη χρήση. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα φωτοθεοδόλιχα, και οι στερεομετρικές κάμερες.



Εικόνα 2.3: Φωτοθεοδόλιχο



Εικόνα 2.4: Στερεομετρική κάμερα

Το φωτοθεοδόλιχο είναι ένα όργανο που συνδυάζει μια μετρική κάμερα με θεοδόλιχο. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ακριβής υπολογισμός της κατεύθυνσης του οπτικού άξονα. Το σύστημα στερεομετρικής κάμερας αποτελείται από δύο πανομοιότυπες μετρικές κάμερες τοποθετημένες στις άκρες μίας μπάρας γνωστού μήκους. Οι οπτικοί άξονες των καμερών είναι παράλληλες μεταξύ τους και η μπάρα παρέχει γνωστή βάση ανάμεσα στις κάμερες που είναι απαραίτητη για την αποκατάσταση της κλίμακας.

Οι μη μετρικές κάμερες χρησιμοποιούνται για ερασιτεχνικούς ή και επαγγελματικούς σκοπούς όπου η ποιότητα της εικόνας είναι σημαντική αλλά οι απαιτήσεις σε γεωμετρική ακρίβεια δεν θεωρούνται σημαντικές. Οι μηχανές αυτές μπορούν να βαθμονομηθούν και να χρησιμοποιηθούν με ικανοποιητικά αποτελέσματα για πολλές επίγειες εφαρμογές της φωτογραμμετρίας (Wolf and Dewitt, 2000).



Εικόνα 2.5: Μη μετρική ημι-επαγγελματική κάμερα

2.2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

Στο παρελθόν οι επίγειες φωτογραφίες αποτελούσαν μια ιδιαίτερα χρήσιμη μέθοδο χαρτογράφησης ανώμαλων επιφανειών, οι οποίες ήταν δύσκολο να χαρτογραφηθούν με συμβατικές τοπογραφικές μεθόδους. Η χαρτογράφηση θα ήταν πολύ πιο εύκολη χρησιμοποιώντας εναέριες φωτογραφίες, όμως δεν υπήρχε κάποια πρακτική μέθοδος λήψης τέτοιων φωτογραφιών έως ότου εφευρέθηκαν τα αεροπλάνα. Έτσι η χρήση των επίγειων φωτογραφιών για χαρτογραφήσεις αντικαταστήθηκε εναέριες апо φωτογραφίες. Н επίγεια φωτογραμμετρία εξακολουθεί όμως να χρησιμοποιείται για χαρτογραφήσεις σε περιορισμένες όμως εφαρμογές όπως βαθιά φαράγγια ή τραχιά βουνά που είναι δύσκολο να χαρτογραφηθούν μέσω εναέριων φωτογραφιών. Άλλες τοπογραφικές εφαρμογές της επίγειας φωτογραμμετρίας αποτελούν η χαρτογράφηση εργοταξίων, χώρων εκσκαφών, αποθεμάτων υλικών κ.α. Με την πάροδο των χρόνων η επίγεια φωτογραμμετρία έχει αρχίσει να βρίσκει εφαρμογή και να κερδίζει έδαφος σε πολλούς διαφοροποιημένους από την τοπογραφία τομείς, όπως κατασκευές αεροσκαφών, τηλεπικοινωνίες, ρομποτική, αρχαιολογία, ανθρωπολογία, αρχιτεκτονική, μηχανική, εξορύξεις, εγκληματολογία, τροχαία ατυχήματα, ωκεανογραφία, ιατρική και πολλές ακόμα (Wolf and Dewitt, 2000).

2.3 Προσδιορισμοι και Μετρήσεις Στην Εικονά

Гіа δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου, το λεγόμενο тην στερεομοντέλο, από το οποίο μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες της γεωμετρίας του αντικειμένου που αποτυπώνεται, ακολουθείται μια σειρά φωτογραμμετρικών διαδικασιών, κύριες των οποίων αποτελούν ο εξωτερικός προσανατολισμός. 0 εσωτερικός каі 0 εσωτερικός προσανατολισμός αναφέρεται εσωτερική γεωμετρία στην тης φωτογραφικής μηχανής και ο εξωτερικός αναφέρεται στην σχέση που συνδέει το σύστημα συντεταγμένων της φωτογραφίας και ένα επίγειο

σύστημα αναφοράς. Γενικά ο εσωτερικός και ο εξωτερικός προσανατολισμός είτε αναφερόμαστε σε μια φωτογραφία είτε σε στερεοζεύγος μας είναι άγνωστοι. Για να μπορούμε όμως να εξάγουμε αξιόπιστες πληροφορίες από τις μετρήσεις στις φωτογραφίες πρέπει να προσδιοριστούν (Πατιάς, 1994).

Η αξιοποίηση των μετρικών πληροφοριών που μπορούμε να πάρουμε από μια φωτογραφία ή ένα ζεύγος φωτογραφιών μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες μεθόδους. Σχεδόν όλες οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι, βασίζονται σε αναλυτικές σχέσεις που αποτελούν την μαθηματική θεμελίωση της φωτογραμμετρίας. Οι σχέσεις αυτές συνδέουν τα στοιχεία μιας εικόνας με τα αντίστοιχα σημεία του χώρου, για την πραγματοποίηση των φωτογραμμετρικών προσδιορισμών. Οι προσδιορισμοί αυτοί γίνονται είτε μέσω υπολογισμού συντεταγμένων και αφορούν τον προσδιορισμό συντεταγμένων των σημείων του χώρου από μετρήσεις στις εικόνες (φωτογραμμετρική Εμπροσθοτομία), είτε μέσω προσδιορισμού του σημείου λήψεως каі тои εξωτερικού προσανατολισμού της εικόνας (φωτογραμμετρική Οπισθοτομία).

2.3.1 КЕМТРІКН ПРОВОЛН

Με τον όρο κεντρική προβολή εννοούμε την προβολή του τρισδιάστατου χώρου, σε έναν άλλο χώρο μέσω ευθειών που διέρχονται από ένα κέντρο προβολής, όπου το σημείο λήψης αποτελεί το προβολικό κέντρο. Για να μπορέσει κανείς να προσδιορίσει σημεία του χώρου ως τομές δύο δεσμών ακτινών, αυτές θα πρέπει να έχουν προηγουμένως τοποθετηθεί και προσανατολιστεί σωστά στον χώρο. Όμως και πριν από αυτό, πρέπει να εξασφαλιστεί ότι οι δέσμες είναι κεντρικές προβολές (Πέτσα 2000).

Μια εικόνα από γεωμετρική άποψη, ανεξάρτητα δηλαδή από την οπτική διαδικασία που τη δημιούργησε θεωρείται ότι είναι το προϊόν μιας κεντρικής προβολής. Έτσι η κεντρική προβολή αποτελεί το θεωρητικό μαθηματικό και γεωμετρικό μοντέλο που περιγράφει την ιδανική φωτογραφική απεικόνιση και χρησιμοποιείται στην φωτογραμμετρία. Εξαιτίας όμως σφαλμάτων των φακών και άλλων παραγόντων που επενεργούν στην φυσική διαδικασία της απεικόνισης, το μοντέλο της κεντρικής προβολής μπορεί μονάχα να αποτελέσει μια προσέγγιση της εικόνας (Φιλιόπουλος, 2010). Η κεντρική προβολή παρουσιάζει βασικά χαρακτηριστικά που έχουν ιδιαίτερη σημασία για την φωτογραμμετρία, όπως η μεταβλητή κλίμακα και η εκτροπή λόγω ανάγλυφου (Πέτσα 2000).



Εικόνα 2.6: Ορθή και Κεντρική Προβολή (πηγή: Πέτσα, 2000)

Η βασική προϋπόθεση που επιτρέπει τον προσδιορισμό σημείων του χώρου από δύο εικόνες, είναι να έχουν ληφθεί από δύο διαφορετικά σημεία. Το αποτέλεσμα είναι δύο διαφορετικές προοπτικές απεικονίσεις (κεντρικές προβολές), δηλαδή οι εκτροπές λόγω αναγλύφου είναι διαφορετικές στις δύο εικόνες. Η φαινομενική μετατόπιση (διαφορά των θέσεων) ενός σημείου ως προς ένα σύστημα αναφοράς η οποία προκύπτει από μια μετατόπιση της θέσης παρατήρησης του ονομάζεται παράλλαξη. Όσο πιο μικρή είναι η απόσταση του αντικειμένου από τον παρατηρητή τόσο πιο μεγάλη είναι η φαινομενική αυτή μετατόπιση. Η παράλλαξη ή οι διαφορές παράλλαξης μεταξύ δύο σημείων μας βοηθούν να υπολογίσουμε την τρίτη διάσταση η οποία είναι παράλληλη με τον άξονα λήψης. Η παράλλαξη αναλύεται σε δύο συνιστώσες τις λεγόμενες x και y παραλλάξεις. Οι δυο αυτές συνιστώσες είναι εντελώς διαφορετικές μεταξύ τους και εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς στη Φωτογραμμετρία. Η παράλλαξη κατά την x διεύθυνση σχετίζεται με τα υψόμετρα και είναι η κατά x συνιστώσα εκτροπής λόγω αναγλύφου. Αποτελεί την αλγεβρική διαφορά των κατά x εικονοσυντεταγμένων.

Όσο πιο ψηλά βρίσκεται ένα σημείο, δηλαδή όσο πιο κοντά βρίσκεται στην μηχανή, τόσο μεγαλύτερη είναι η παράλλαξη του κατά x. Για την παράλλαξη y γίνεται αναφορά στο κεφάλαιο 2.3.4 που αφορά τον Εξωτερικό προσανατολισμό της εικόνας.



Εικόνα 2.7 : Εκτροπή λόγω αναγλύφου και παράλλαξη (Πέτσα, 2000)

Διαφορετικές εκτροπές στις δύο εικόνες λόγω διακυμάνσεων του αναγλύφου δημιουργούν διαφορές παράλλαξης. Οι υψομετρικές διακυμάνσεις του αντικειμένου, δηλαδή το ανάγλυφο, καταγράφονται ως διαφορές παράλλαξης σε ζεύγη εικόνων. Εκμεταλλευόμενοι αυτές τις διαφορές μπορούμε να πραγματοποιήσουμε μετρήσεις στην τρίτη διάσταση.

Τελικά δεν είναι παρά η ίδια η κεντρική προβολή – δηλαδή η μεταβλητή κλίμακα και οι εκτροπές λόγω μεταβολών του αναγλύφου – που μας επιτρέπει να προσδιορίζουμε τον τρισδιάστατο χώρο από δύο εικόνες. Η εκμετάλλευση λοιπόν των διαφορετικών προοπτικών απεικονίσεων επιτρέπει την δημιουργία συνθηκών τεχνητής στερεοσκοπικής όρασης, στην οποία και στηρίζεται το μεγαλύτερο μέρος των φωτογραμμετρικών εφαρμογών (Πέτσα, 2000).

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την χρήση πλέον ψηφιακών αισθητήρων για την παραγωγή ψηφιακών εικόνων, το απλό μοντέλο της κεντρικής προβολής που για πολλά χρόνια κάλυπτε πλήρως τις ανάγκες της φωτογραμμετρικής διαδικασίας, έπαψε να αποτελεί το μοναδικό γενικό μοντέλο που χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις. Παρ' όλα αυτά το μοντέλο της κεντρικής προβολής συνεχίζει να εφαρμόζεται και να ισχύει (Πατιάς, 2001).

Ο φακός είναι το σημαντικότερο μέρος της φωτογραφικής μηχανής γιατί από αυτόν εξαρτάται η ποιότητα και η ευκρίνεια της εικόνας. Σε μια φωτογραφική μηχανή όμως παρουσιάζονται κάποια φαινόμενα όπου δημιουργούν δυσκολίες στην εφαρμογή του μοντέλου της κεντρικής προβολής.

- Οι φωτογραμμετρικοί φακοί είναι στην πραγματικότητα συστήματα φακών αποτελούμενα από επιμέρους φακούς διαφορετικών υλικών κατασκευής. Το σύστημα των φακών που χρησιμοποιείται για την εστίαση των ακτίνων από το χώρο του αντικειμένου στην φωτοευαίσθητη επιφάνεια έχει διαστάσεις που δεν είναι αμελητέες. Κατά συνέπεια δεν μπορεί να θεωρηθεί το σύστημα αυτό ως σημείο (προοπτικό κέντρο) όπως απαιτεί η κεντρική προβολή. Πρέπει λοιπόν να προσδιοριστεί το σημείο εκείνο που θα μπορούσε να του αποδοθεί η ιδιότητα του προοπτικού κέντρου.
- Παρατηρείται εκκεντρότητα του συστήματος των φακών ως προς το εστιακό επίπεδο που οφείλεται είτε σε κατασκευαστικές ατέλειες είτε σε έλλειψη σταθερότητας του συστήματος. Απαιτείται συνεπώς ο προσδιορισμός του σημείου προβολής του προοπτικού κέντρου στο εστιακό επίπεδο, δηλαδή το πρωτεύον σημείο.
- Τέλος κατασκευαστικές ατέλειες του ίδιου του φακού, προκαλούν γεωμετρικές παραμορφώσεις του ειδώλου (Φιλιόπουλος, 2010).

2.3.2 Συστηματά Σύντεταγμένων

Πριν την ανάλυση των μαθηματικών σχέσεων που αφορούν την βασική επεξεργασία της στερεοσκοπικής φωτογραμμετρίας, πρέπει να γίνει αναφορά στα συστήματα συντεταγμένων που χρησιμοποιούνται και στη σχέση που τα συνδέει. Για να μπορέσει λοιπόν να προσανατολίσει κανείς εσωτερικά και εξωτερικά μια δέσμη ακτίνων, δηλαδή μία εικόνα, χρειάζεται δύο τουλάχιστον συστήματα συντεταγμένων, ένα στην εικόνα (x,y) και ένα στον χώρο (X,Y,Z). Τα συνήθη στην φωτογραμμετρία συστήματα αναφοράς που επιτρέπουν να οριστούν οι προσανατολισμοί είναι: του τρισδιάστατου χώρου, του φωτογραφικού επιπέδου και της φωτογραφικής εικόνας. Σε αυτά τα συστήματα βασίζεται και η μαθηματική διατύπωση, η λεγόμενη συνθήκη συγγραμμικότητας, της κεντρικής προβολής που υιοθετεί η φωτογραμμετρία. Η συνθήκη συγγραμμικότητας συνεπώς εκφράζει την κεντρική προβολή και μέσω αυτής αντιμετωπίζονται τα κυριότερα φωτογραμμετρικά προβλήματα. Συνδέει τα στοιχεία της εικόνας με εκείνα του χώρου όπως αυτά εκφράζονται στα αντίστοιχα συστήματα συντεταγμένων (Πέτσα, 2000).

2.3.2.1 Σύστημα Φωτογραφικού Επιπέδου

Το σύστημα συντεταγμένων της φωτογραφίας (εικονοσυντεταγμένων) ή αλλιώς του φωτογραφικού επιπέδου αποτελεί ένα δισδιάστατο σύστημα αναφοράς (x,y) που απεικονίζει τα σημεία στο επίπεδο της φωτοευαίσθητης επιφάνειας. Έχει ως αρχή των αξόνων το κέντρο της εικόνας (την προβολή του κέντρου (x_o,y_o) των φακών της μηχανής στο επίπεδο του αρνητικού ή του ψηφιακού αισθητήρα) και άξονες παράλληλους στις δύο διαστάσεις της. Το κέντρο προσδιορίζεται είτε από τα εικονοσήματα στις περιπτώσεις λήψεων από μετρητικές μηχανές, είτε από σημεία reseau στης ημιμετρητικές ή από τις τέσσερις γωνίες στις ερασιτεχνικές. Το κέντρο των φακών αποτελεί το κέντρο προβολής από όπου διέρχονται όλες οι οπτικές γραμμές που αποτυπώνουν τα αντικείμενα του τρισδιάστατου χώρου στον δισδιάστατο χώρο του φωτογραφικού επιπέδου. Οι μετρήσεις στο φωτογραφικό επίπεδο έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να αναχθούν στον υπολογισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων αντικειμένων της φωτογραφίας (Πέτσα, 2000).

Όταν οι μετρήσεις δεν αναφέρονται στο παραπάνω σύστημα είναι απαραίτητη η εφαρμογή αφινικού μετασχηματισμού, στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται εκφράσεις της κεντρικής προβολής, όπως η συνθήκη συγγραμμικότητας. Ο αφινικός μετασχηματισμός αποτελεί έναν γραμμικό μετασχηματισμό συστημάτων συντεταγμένων σε δύο διαστάσεις.

2.3.2.2 Σύστημα Εικόνας - Φωτογραφικής Μηχανής.

Αποτελεί το τρισορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων (X,Y,Z) με αρχή το κέντρο των φακών και άξονες X,Y παράλληλους προς τους άξονες x,y, του συστήματος συντεταγμένων του φωτογραφικού επιπέδου και Z ο άξονας βάθους κάθετος προς το φωτογραφικό επίπεδο. Οι άξονες του δηλαδή ταυτίζονται σε θέση και προσανατολισμό με το σύστημα της φωτογραφικής μηχανής κατά την στιγμή της λήψης (Πέτσα, 2000). Η σχέση μεταξύ των συστημάτων εικονοσυντεταγμένων και του συστήματος της εικόνας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.8: Σύστημα συντεταγμένων εικόνας (Πέτσα, 2000).

Τα συστήματα παρατηρούμε ότι έχουν μια μετάθεση στην z διεύθυνση κατά c, και κατά x_o y_o στις x y διευθύνσεις. Όπου x_o y_o είναι οι

εικονοσυντεταγμένες της προβολής (Η') του σημείου λήψης (Ο) στο επίπεδο της εικόνας, το λεγόμενο πρωτεύον σημείο και c η εστιακή απόσταση της φωτογραφικής μηχανής.

2.3.2.3 Επίγειο – Γεωδαιτικό Σύστημα

Αναφέρεται στο τρισορθογώνιο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (Χ,Υ,Ζ) που υλοποιείται από το τοπογραφικό όργανο μετρήσεων των φωτοσταθερών που απεικονίζονται στις φωτογραφικές εικόνες.



Εικόνα 2.9: Συστήματα συντεταγμένων σε αεροφωτογραφία, αριστερά και επίγεια λήψη, δεξιά (πηγή: Πέτσα, 2000)

Η σύνδεση του επίγειου συστήματος αναφοράς με το σύστημα συντεταγμένων της φωτομηχανής προκύπτει αν για τη μετάβαση από το ένα σύστημα στο άλλο γίνουν τρεις μεταθέσεις (X_o,Y_o,Z_o) και τρεις στροφές (ω,φ,κ) γύρω από κάθε άξονα και τέλος μια μεταβολή κλίμακας των μετρήσεων (Φιλιόπουλος, 2010).



Εικόνα 2.10: Στροφές που απαιτούνται για την μετάβαση από το σύστημα συντεταγμένων της φωτογραφίας στο επίγειο. Η γωνία ω είναι η περιστροφή γύρω από τον x άξονα, η φ γύρω από τον y και η κ γύρω από τον z (πηγή: Erdas LPS manual).

2.3.3 ΕΣΩΤΕΡΙΚΌΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΌΣ

Ο εσωτερικός προσανατολισμός μιας εικόνας ουσιαστικά αποτελεί μια διαδικασία ανάπλασης της δέσμης των ακτίνων στο εσωτερικό της μηχανής. Αποτελεί δηλαδή την διαδικασία εύρεσης της θέσης του σημείου λήψης ως προς το επίπεδο του αρνητικού, έτσι ώστε η σύνδεση του σημείου αυτού με τα εικονοσημεία να αναπαράγει την σωστή δέσμη ακτίνων. Η διαδικασία εύρεσης της διαφοράς στην γεωμετρία της εικόνας σε μια φωτογραφική κάμερα σε σχέση με την γεωμετρία μιας κεντρικής προοπτικής προβολής αποτελεί την βαθμονόμηση της κάμερας.



Εικόνα 2.11: Στοιχεία εσωτερικού προσανατολισμού (Πέτσα, 2000)

Για την μετατροπή των συντεταγμένων από το σύστημα του φωτογραφικού επιπέδου στο σύστημα της εικόνας είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του πρωτεύοντος σημείου (Η'), δηλαδή της προβολής του κέντρου προβολής (Ο) στο φωτογραφικό επίπεδο. Οι συντεταγμένες του (Η') στο σύστημα του φωτογραφικού επιπέδου είναι x_o y_o και η απόσταση του από το (Ο) είναι ίση με τη σταθερά της μηχανής c. Η σχέση που συνδέει τα δύο συστήματα είναι:

$$\begin{bmatrix} \underline{x} \\ \underline{y} \\ \underline{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x - x_o \\ y - y_o \\ -c \end{bmatrix}$$

Τα τρία αυτά μεγέθη x_o, y_o, c είναι απαραίτητα για την μετατροπή του ενός συστήματος στο άλλο και καθορίζουν την εσωτερική γεωμετρία της μηχανής. Αποτελούν τις τρεις βασικές παραμέτρους του εσωτερικού προσανατολισμού και ο προσδιορισμός τους είναι μια διαδικασία που επιτυγχάνεται μέσω της Βαθμονόμησης. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι απαραίτητα για να μπορούμε να λάβουμε ακριβείς μετρήσεις των αντικειμένων που φωτογραφίζονται (Πέτσα, 2000). Η διαδικασία της βαθμονόμησης μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Συνήθως επιτυγχάνεται με την φωτογράφιση προτύπων συνόλων σημείων με γνωστή γεωμετρική μορφή.

Η πορεία μιας φωτεινής ακτίνας από ένα σημείο στο έδαφος μέχρι να καταγραφεί είτε σε φιλμ, είτε σε ψηφιακό αισθητήρα, παραμορφώνεται εξαιτίας μιας σειράς παραγόντων.

- Καμπυλότητα Γης
- Ατμοσφαιρική Διάθλαση
- Ακτινική Διαστροφή
- Θέση πρωτεύοντος σημείου

Έτσι εκτός από τις τρείς βασικές παραμέτρους x_o y_o c, η έννοια του εσωτερικού προσανατολισμού συμπεριλαμβάνει και την αντιμετώπιση των σφαλμάτων που προκύπτουν από τους παραπάνω παράγοντες. Η σημαντικότερη παραμόρφωση θεωρείται η ακτινική διαστροφή του φακού. Οι προβολικές ακτίνες δεν εξέρχονται από τον φακό με την ίδια γωνία που προσπίπτουν, ως αποτέλεσμα στην πραγματικότητα οι ευθείες του χώρου δεν απεικονίζονται ως ευθείες αλλά καμπυλωμένες. Η ακτινική διαστροφή λοιπόν εισάγει μια μεταβολή κλίμακας που είναι ενιαία όμως για κάθε απόσταση r στην εικόνα από το πρωτεύον σημείο της. Έτσι ένα επιπλέον ζητούμενο του εσωτερικού προσανατολισμού είναι να βρεθεί ο συνδυασμός σταθεράς c της μηχανής και πολυωνύμου ακτινικής διαστροφής Δr που θα περιγράφει όσο το δυνατόν πιστότερα την συγκεκριμένη κεντρική προβολή (Πέτσα, 2000).



Εικόνα 2.12: Επίδραση ακτινικής διαστροφής του φακού (Πέτσα, 2000).

2.3.4 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ

Με τον όρο εξωτερικός προσανατολισμός μίας φωτογραφίας εννοούμε την σχέση ανάμεσα στο σύστημα συντεταγμένων της φωτογραφίας και σε κάποιο επίγειο σύστημα συντεταγμένων (αυθαίρετο ή μη). Δηλαδή έχουμε αποκατάσταση της θέσης της δέσμης των ακτίνων στο χώρο. Επιτυγχάνεται μέσω δύο διαδικασιών: τον σχετικό και τον απόλυτο προσανατολισμό. Ο σχετικός προσανατολισμός λαμβάνει χώρα μετά τον εσωτερικό προσανατολισμό και πριν τον απόλυτο. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως μπορούν να λυθούν ταυτόχρονα ο σχετικός και ο απόλυτος προσανατολισμός (Πατιάς 1994).



Εικόνα 2.13 Στοιχεία Εξωτερικού Προσανατολισμού Εικόνας (πηγή: Erdas LPS)

2.3.4.1 Σχετικός Προσανατολισμός

Κατά τον σχετικό προσανατολισμό συσχετίζονται μεταξύ τους δυο επικαλυπτόμενες φωτογραφίες ενός στερεοζεύγους με τέτοιο τρόπο ώστε η σχέση τους να είναι η ίδια που υπήρχε κατά τις συνθήκες λήψης των φωτογραφιών. Καθώς οι συνθήκες κατά την λήψη δεν είναι γνωστές η λύση του σχετικού προσανατολισμού βασίζεται στο γεγονός ότι κάθε σημείο στο έδαφος είναι η τομή δύο ακτίνων που ενώνουν το σημείο αυτό με τα δύο κέντρα προβολής. Για να λυθεί ο σχετικός προσανατολισμός πρέπει να προσδιοριστούν πέντε άγνωστες παράμετροι που αποτελούν τα στοιχεία του σχετικού προσανατολισμού (Πατιάς, 1994).



Εικόνα 2.14: Φωτογραμμετρική εμπροσθοτομία από δύο εικόνες

Η διαδικασία αποκατάστασης του σχετικού προσανατολισμού ζεύγους φωτογραφιών είναι γνωστή και ως απαλοιφή της y-παράλλαξης. Ο σχετικός προσανατολισμός λοιπόν προκύπτει αν η y-παράλλαξη αφαιρεθεί από όλα τα σημεία του στερεοζεύγους. Η εξάλειψη της y-παράλλαξης έχει ως αποτέλεσμα την αλληλοτομία των ομόλογων ακτίνων. Για τον υπολογισμό των παραμέτρων του σχετικού προσανατολισμού απαιτούνται μετρήσεις - παρατηρήσεις της y-παράλλαξης. Αυτό επιτυγχάνεται εμμέσως με την σκόπευση-εύρεση ζευγών ομόλογων σημείων στο επικαλυπτόμενο τμήμα δύο εικόνων. Έτσι μπορούν να μετρηθούν σημεία σύνδεσης, ευκρινή και στις δύο εικόνες, τα οποία με τις δύο εικονοσυντεταγμένες x,y το κάθε ένα δίνει μια εξίσωση παρατήρησης.

Μέσω αυτής της διαδικασίας προκύπτει το τρισδιάστατο μοντέλο (στερεομοντέλο) και προκύπτει η δυνατότητα στερεοσκοπικής

παρατήρησης, στο επικαλυπτόμενο τμήμα. Το μοντέλο αυτό δεν έχει ακόμα την πραγματική σχέση με το επίγειο σύστημα συντεταγμένων, αναφέρεται δηλαδή σε αυθαίρετο χώρο και κλίμακα.

2.3.4.2 Απόλυτος Προσανατολισμός

Ο απόλυτος προσδιορισμός αποτελεί την διαδικασία εκείνη που αποκαθιστά την αυθαίρετη σχέση του στερεοζεύγους που έχει προκύψει από τον σχετικό προσανατολισμό με το επίγειο σύστημα αναφοράς. Τα στοιχεία του απόλυτου προσανατολισμού είναι επτά: η κλίμακα του στερεομοντέλου (κ), τρεις μετατοπίσεις (Χο Υο Χο) και τρεις γωνίες στροφής (ω φ κ). Ουσιαστικά πρόκειται για τον μετασχηματισμό από το τρισδιάστατο σύστημα του στερεομοντέλου στο γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων. Ο εξωτερικός προσανατολισμός μιας φωτογραφίας είναι συνήθως άγνωστος και υπολογίζεται με την χρήση φωτοσταθερών. Η σχέση που χρησιμοποιείται για την επίλυση του εξωτερικού προσανατολισμού και την εύρεση έξι αγνώστων Χ_o, Y_o, Z_o, ω, φ, κ είναι συνθήκη тων ŋ συγγραμμικότητας.

2.3.5 Σύνθηκη σύγγραμμικοτητάς και προσδιορισμοι – Γενική περιπτώση

Η συνθήκη συγγραμμικότητας όπως έχει αναφερθεί, εκφράζει την κεντρική προβολή και είναι η βασική εξίσωση της φωτογραμμετρίας, αφού μέσω αυτής αντιμετωπίζονται τα κυριότερα φωτογραμμετρικά προβλήματα. Η συνθήκη αυτή συνδέει τα στοιχεία της εικόνας με εκείνα του χώρου όπως αυτά εκφράζονται στα αντίστοιχα συστήματα συντεταγμένων. Για κάθε σημείο P του εδάφους το αντίστοιχο σημείο της εικόνας p ορίζεται ώστε τα σημεία P,p και το σημείο O που αποτελεί το σημείο λήψης της φωτογραφίας να είναι συγγραμμικά. Η γραμμή αυτή αντιπροσωπεύει την πορεία της ακτίνας φωτός που από το σημείο εδάφους P, διέρχεται μέσα από τον φακό της μηχανής (σημείο Ο) και τελικά δίνει την εικόνα p (Εικόνα 2.16).

Σε μία γενική περίπτωση λήψης η εικόνα έχει στροφές ως προς το σύστημα του χώρου δηλαδή τα συστήματα xyz και XYZ δεν είναι παράλληλα. Για να εκφραστεί το διάνυσμα του χώρου σε σύστημα παράλληλο με εκείνο της εικόνας πρέπει να το στρέψουμε ανάλογα. Για αυτόν τον σκοπό χρησιμοποιούνται οι πίνακες στροφής.

$$R\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \quad R\phi = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \quad R_{\kappa} = \begin{bmatrix} \cos \kappa & \sin \kappa & 0 \\ -\sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Οι στροφές σε ένα σύστημα γίνονται διαδοχικά όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.15: Διαδοχικές στροφές κατά τους άξονες Χ, Υ, Ζ.

Η συνολική στροφή του συστήματος περιγράφεται από τον γενικό πίνακα στροφής R που προκύπτει από πολλαπλασιασμό των πινάκων:

$$R = R_{\kappa} \cdot R_{\varphi} \cdot R_{\omega} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

Ο πίνακας στροφής μιας εικόνας περιγράφει την στροφή που έχει ήδη η εικόνα ως προς το γεωδαιτικό σύστημα, εκφράζει έτσι τις στροφές που πρέπει να υποστεί το γεωδαιτικό σύστημα ώστε να γίνει παράλληλο με της

εικόνας και όχι τις στροφές που πρέπει να επιφέρουμε στο σύστημα της εικόνας.



Εικόνα 2.16: Γενική περίπτωση εικόνας με στροφές (πηγή: Πέτσα 2000).

Έστω λοιπόν κ ο συντελεστής μετατροπής της κλίμακας και R ο πίνακας στροφής. Η γενική συνθήκη συγγραμμικότητας εκφράζεται ως εξής:

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

Η γενική μορφή της συνθήκης συγγραμμικότητας, 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, ω, φ, κ του εξωτερικού προσανατολισμού. Αναπτύσσοντας την σχέση έχουμε:

$$x - x_{o} = \frac{1}{k} \cdot \left[r_{11} \cdot (X - X_{o}) + r_{12} \cdot (Y - Y_{o}) + r_{13} \cdot (Z - Z_{o}) \right]$$

$$y - y_{o} = \frac{1}{k} \cdot \left[r_{21} \cdot (X - X_{o}) + r_{22} \cdot (Y - Y_{o}) + r_{23} \cdot (Z - Z_{o}) \right]$$

$$- c = \frac{1}{k} \cdot \left[r_{31} \cdot (X - X_{o}) + r_{32} \cdot (Y - Y_{o}) + r_{33} \cdot (Z - Z_{o}) \right]$$

Στην σχέση αυτή εμπεριέχεται η κλίμακα κ, η οποία όμως μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο και καθιστά την σχέση δύσχρηστη. Η κλίμακα κ μπορεί να επαλειφθεί διαιρώντας τις δύο πρώτες εξισώσεις με την τρίτη οπότε προκύπτει η αναλυτική μορφή της συνθήκης συγγραμμικότητας:

$$x - x_{o} = -c \cdot \frac{r_{11} \cdot (X - X_{o}) + r_{12} \cdot (Y - Y_{o}) + r_{13} \cdot (Z - Z_{o})}{r_{31} \cdot (X - X_{o}) + r_{32} \cdot (Y - Y_{o}) + r_{33} \cdot (Z - Z_{o})}$$
$$y - y_{o} = -c \cdot \frac{r_{21} \cdot (X - X_{o}) + r_{22} \cdot (Y - Y_{o}) + r_{23} \cdot (Z - Z_{o})}{r_{31} \cdot (X - X_{o}) + r_{32} \cdot (Y - Y_{o}) + r_{33} \cdot (Z - Z_{o})}$$

Οι σχέσεις αυτές αποτελούν την πιο συνηθισμένη και βολική έκφραση των εξισώσεων συγγραμμικότητας καθώς είναι λυμένες ως προς τις εικονοσυντεταγμένες x και y, οι οποίες είναι συνήθως τα μεγέθη που μετρούνται άμεσα. Το σύστημα μπορεί να λυθεί και με τρόπο ώστε να εκφράζει συντεταγμένες εδάφους ως συνάρτηση των συντεταγμένων εικόνας λύνοντας ως προς (X-X₀) και (Y-Y₀) αντίστοιχα.

Γενικά η συνθήκη συγγραμμικότητας χρησιμοποιείται για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων τις φωτογραμμετρίας ανάλογα με τις ζητούμενες παραμέτρους, και τις παρατηρήσεις που υπάρχουν στην κάθε περίπτωση. Πίνακας 2.1: Παρατηρήσεις και γνωστοί - ἀγνωστοι παρἀμετροι για τις περιπτώσεις Βαθμονόμησης, Οπισθοτομίας και Εμπροσθοτομίας.

	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
ΕΦΑΡΙΝΙΟΙ ΕΖ		ΓΝΩΣΤΕΣ	ΑΓΝΩΣΤΕΣ
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	x' y'	Χο Υο Ζο ω φ κ Χ Υ Ζ	χο γο c Δr
οπιΣθοτομιά	x' y'	xo yo c Δr X Y Z	Χο Υο Ζο ω φ κ
εμπροχοοτομία	x' y' x'' y''	xo yo c Δr (Xo Yo Zo ω φ κ)' (Xo Yo Zo ω φ κ)''	XYZ

Συνδυάζοντας τις συνθήκες συγγραμμικότητας για ένα σημείο του εδάφους (P) που έχει ληφθεί από δύο εικόνες από διαφορετικές θέσεις λήψης (O',O'') και την μεταξύ τους απόσταση (O'O'') όπως φαίνεται στην εικόνα 2.17, ορίζεται η συνθήκη συνεπιπεδότητας η οποία αποτελεί μία εναλλακτική επιλογή επίλυσης του προσανατολισμού.



Εικόνα 2.17: Στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού στερεοζεύγους.
2.4 ΨΗΦΙΑΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

Ως παράγωγα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας μπορούμε να έχουμε Ψηφιακά Μοντέλα Υψομέτρων, ορθοφωτογραφίες, ορθοφωτοχάρτες κ.α.

2.4.1 ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ

Η μαθηματική μοντελοποίηση του εδάφους αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μέρος της διαδικασίας. Тα μοντέλα φωτογραμμετρικής ψηφιακά υψομέτρων (ΨMY) στην ουσία είναι ψηφιακές μαθηματικές αναπαραστάσεις αντικειμένων και του περιβάλλοντος τους. Ο όρος ΨΜΥ είναι γενικός και μπορεί να αναφέρεται είτε στο υψόμετρο της επιφάνειας του εδάφους, είτε σε επιφάνειες πάνω από αυτό το επίπεδο όπως κτίρια. Όταν οι πληροφορίες είναι περιορισμένες σε υψόμετρα εδάφους τότε το ΨΜΥ αποκαλείται Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ) και μας δίνει μετρητικές πληροφορίες για το υψόμετρο σημείων στην επιφάνεια εδάφους και νερού. Αντίθετα τα Ψηφιακά Μοντέλα Επιφάνειας αναπαριστούν τα μέγιστο υψόμετρο στο δεδομένο σημείο το οποίο μπορεί να είναι οτιδήποτε στο φυσικό και τεχνητό περιβάλλον, έδαφος είτε κτίρια, φυτά κ.λ.

Τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων χρησιμοποιούνται ευρέος σε χαρτογραφήσεις, υδρολογικές μελέτες, προετοιμασία χαρτογραφικών χαρακτηριστικών όπως ισοϋψείς και σε προετοιμασία για τη δημιουργία ορθοφωτογραφιών (Kasser and Egels, 2002).

2.4.2 ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ - ΟΡΘΟΦΩΤΟΧΑΡΤΕΣ

Οι ορθοφωτογραφίες αποτελούν εικόνες στις οποίες έχουν απαλειφθεί οι εκτροπές των σημείων που οφείλονται στον προσανατολισμό του αισθητήρα ή της κάμερας, στο ανάγλυφο και σε λάθη σχετικά με την λήψη και επεξεργασία της εικόνας.

Η ορθοφωτογραφία και αντίστοιχα ο ορθοφωτοχάρτης έχουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός χάρτη και ταυτόχρονα την ποιότητα μίας

εικόνας. Ο ορθοφωτοχάρτης διαφοροποιείται από την ορθοφωτογραφία λόγω της επιπλέον πληροφορίας που περιέχει σε μορφή χαρτογραφικών στοιχείων όπως τοπωνύμια, διανυσματικά στοιχεία κλ.

2.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Φωτογραμμετρίας

Τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματα της φωτογραμμετρίας οφείλονται ακριβώς στο γεγονός ότι οι μετρήσεις είναι έμμεσες.

Η χαρτογράφηση περιοχών χρησιμοποιώντας φωτογραμμετρικές μεθόδους είναι ταχύτερη από μεθόδους που χρησιμοποιούν κλασικές επίγειες μετρήσεις. Αντίστοιχα και το κόστος είναι μικρότερο. Σε πολλές περιπτώσεις το έδαφος δεν είναι εύκολα προσπελάσιμο λόγω έντονου ανάγλυφου, βλάστησης ακόμα και κλιματικών συνθηκών. Αυτές οι συνθήκες καθιστούν την λήψη επίγειων μετρήσεων εξαιρετικά δύσκολη έως απαγορευτική. Η φωτογραμμετρία παρέχει την δυνατότητα μέτρησης εξ αποστάσεως καθώς δεν είναι απαραίτητη η επαφή με το μετρούμενο αντικείμενο.

Με άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούν επίγειες μετρήσεις μπορούμε να προσδιορίσουμε συντεταγμένες μεμονωμένων σημείων σε αντίθεση με την φωτογραμμετρία όπου η απεικόνιση είναι συνεχής και αποτελεί ολόκληρη την περιοχή που καλύπτει η φωτογραφία. Συνεπώς από μια φωτογραφία παρέχεται μέγεθος πληροφορίας απαγορευτικά μεγάλο για να μπορεί να αντικατασταθεί με μεμονωμένες επίγειες μετρήσεις.

Ένα μεγάλο μειονέκτημα των φωτογραμμετρικών μεθόδων είναι οι πηγές σφαλμάτων καθώς τα σφάλματα υπεισέρχονται σε πολλά στάδια της φωτογραμμετρικής διαδικασίας. Έτσι κατά την συλλογή αλλά και κατά την επεξεργασία των δεδομένων εισάγονται σφάλματα με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν πιθανών να παρέχει μικρότερες ακρίβειες απ' ότι με χρήση επίγειων μετρήσεων. Επιπλέον οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτούν πληροφορίες που προέρχονται από την χρήση επίγειων τοπογραφικών μετρήσεων, καθώς χρησιμοποιούν γνωστά σημεία στο έδαφος τα λεγόμενα φωτοσταθερά, συνεπώς δεν είναι πλήρως ανεξαρτητοποιημένες των επίγειων μετρήσεων.

2.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η φωτογραμμετρία αποτελεί μια γρήγορη, οικονομική και ακριβή μέθοδο μέτρησης, χωρίς να απαιτεί την επαφή με το αντικείμενο προς μέτρηση, έτσι χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές από λεπτές επιστημονικές και βιομηχανικές μετρήσεις, μέχρι εκτεταμένες μετρήσεις που απαιτούν την χαρτογράφηση μεγάλων εδαφικών τμημάτων, χωρών αλλά και ολόκληρων ηπείρων. Παρόλο που η δυνατότητα γρήγορης και οικονομικής σύνταξης χαρτών και τοπογραφικών διαγραμμάτων έχει συνδέσει την φωτογραμμετρία με το αντικείμενο του Τοπογράφου Μηχανικού, οι εφαρμογές της είναι σημαντικές σε πολλούς τομείς.

- Γεωλογία και Γεωφυσική
- Μελέτες και Κατασκευές Τεχνικών Έργων
- Μελέτες Οδοποιίας και πολεοδομίας
- Αρχιτεκτονική
- Αρχαιολογικές αποτυπώσεις
- Κτηματολόγιο Δασολογία και Γεωργία
- Στρατιωτικοί Σκοποί

Εφαρμογές επίσης έχει αρχίσει να βρίσκει σε τομείς όπως Ιατρική, εγκληματολογία, κυκλοφοριακές μελέτες, ωκεανογραφία, μετεωρολογία κ.α. (Μπαντέκας, 1980).

κεφαλαίο 3: Πειραματική Διαδικάσια

3.1 ΕιΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθεί είναι η μελέτη της επιρροής που έχει η μεταβολή των γεωμετρικών συνθηκών κατά την φωτογράφιση, δηλαδή της σχέσης ανάμεσα στο σημείο λήψης της εικόνας και του αντικειμένου που φωτογραφίζεται. Επιπλέον μελετάται η απόδοση, σε επίπεδο ακρίβειας που μπορεί να επιτευχθεί κατά την φωτογραμμετρική επίλυση, χρησιμοποιώντας φωτογραφίες που έχουν ληφθεί από ερασιτεχνική – ημιεπαγγελματική ψηφιακή μηχανή για τον σκοπό του πειράματος.

Κατά την δοκιμή αυτή λοιπόν επιδιώκεται η αποτίμηση και ο έλεγχος των αποκλίσεων σημείων γνωστών συντεταγμένων κατά τις x,y,z διαστάσεις. Πιο συγκεκριμένα μελετάται η συσχέτιση και οι επιπτώσεις που μπορεί να υπάρχουν στα αποτελέσματα που προκύπτουν μεταβάλλοντας τις εξής παραμέτρους:

- Μεταβολή της βάσης Β, δηλαδή την απόσταση μεταξύ των σημείων λήψης των δύο φωτογραφιών του στερεοζεύγους.
- Μεταβολή της απόστασης S, των σημείων λήψης από το αντικείμενο προς απεικόνιση.
- Μεταβολή της εστιακής απόστασης (focal length) που χρησιμοποιείται κατά την λήψη στην φωτογραφική μηχανή.



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση της σχέσης αποστάσεων S από το μέτωπο και της βάσης B.

3.2 Λογισμικο - Εξοπλισμος

3.2.1 Λογισμικο

Για την πειραματική αυτή δοκιμή χρησιμοποιήθηκε το Leica Photogrammetric Suit (LPS) Project Manager της ERDAS του εργαστηρίου Γεωδαισίας και Πληροφορικής των Γεωεπιστημών. Το LPS αποτελεί ένα ψηφιακό φωτογραμμετρικό πακέτο που επιτρέπει με ακρίβεια και ταχύτητα τις διαδικασίες τριγωνισμού και ορθοαναγωγής εικόνων που έχουν ληφθεί από κάμερες και δορυφορικούς αισθητήρες διαφόρων ειδών.

Το LPS χρησιμοποιεί την μέθοδο συνόρθωσης δέσμης με αυτοβαθμονόμηση κατά την διαδικασία αεροτριγωνισμού προσδιορίζοντας έτσι και την εσωτερική γεωμετρία της κάθε εικόνας. Παρόλα αυτά χαρακτηρίζεται ως ένα καθαρά ψηφιακό φωτογραμμετρικό λογισμικό και όχι ως λογισμικό βαθμονόμησης μηχανών.

3.2.2 ΥΛΙΚΑ - ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Η φωτογραφική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη των φωτογραφιών είναι μια ερασιτεχνική - ημιεπαγγελματική Nikon D50, με φακό Nikon: AF Nikkor 28-80mm 1:3.3-5.6 G.



Е**ік**о́va 3.2: H Nikon D50



Εικόνα 3.3: Φακός NIKKOR AF 28-80mm

Για την εργαστηριακή αυτή εφαρμογή σχεδιάστηκε πάνω σε μια βάση, ένας κάνναβος 10x10 cm για τον έλεγχο των x,y διαστάσεων εφόσον η διάσταση z θα είναι μηδενική σε όλα τα σημεία του καννάβου. Επιπλέον κατασκευάστηκαν γεωμετρικά στερεά από χαρτόνι με την μορφή κόλουρης πυραμίδας με παράλληλες βάσεις γνωστών διαστάσεων για τον έλεγχο της z διάστασης και τοποθετήθηκαν πάνω στην μακέτα. Όλες οι διαστάσεις μετρήθηκαν με ακρίβεια χιλιοστού.

3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Για την πειραματική αυτή διαδικασία λήφθηκαν 12 ζεύγη φωτογραφιών. Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμοί από τρεις διαφορετικές εστιακές αποστάσεις, δύο διαφορετικές αποστάσεις του σημείου λήψης από το αντικείμενο προς φωτογράφιση και δύο διαφορετικές βάσεις Β.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΛΗΨΗΣ					
focal length (c)	S	baseline (B)			
	3m	1m			
28mm		0.5m			
	5m	1m			
		0.5m			
	3m	1m			
50mm		0.5m			
	5m	1m			
		0.5m			
	3m	1m			
80mm		0.5m			
	5m	1m			
	27.11	0.5m			

Πίνακας 3.1: Συγκεντρωτικός πίνακας περιπτώσεων λήψης.

Για την επίλυση του τριγωνισμού σε κάθε ζεύγος φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκαν 29 σημεία (Point IDs) εκ των οποίων 4 φωτοσταθερά (GCPs) και 25 σημεία ελέγχου (Check Points). Η θέση των σημείων τους πάνω στον κάναβο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η επιλογή των θέσεων των σημείων ελέγχου έγινε με τέτοιο τρόπο όπως φαίνεται και στην εικόνα έτσι ώστε να μπορούν να ομαδοποιηθούν κατά την οριζόντια (x), κατακόρυφη (y), διαγώνια, και υψομετρική (z) διεύθυνση. Τα σημεία αυτά όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.4, είναι:

- OPIZONTIA: 8, 9, 10, 5, 1, 11, 12, 13, 14
- ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ: 2, 3, 4, 5, 6, 7
- ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ: 20, 21, 22, 23, 24, 25
- ΦΩΤΟΣΤΑΘΕΡΑ: 26, 27, 28, 29



Εικόνα 3.4: Ομόλογα σημεία και GCPs.

3.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα του τριγωνισμού μας παρέχουν τα σφάλματα που προκύπτουν Rx,Ry,Rz, κατ' αντιστοιχία με τις συντεταγμένες x,y,z που δόθηκαν ως δεδομένα, το σφάλμα RMS για κάθε σημείο καθώς και το συνολικό RMS του τριγωνισμού στην κάθε περίπτωση. Σε αυτό το κεφάλαιο αρχικά θα κατηγοριοποιηθούν και θα μελετηθούν ξεχωριστά τα σφάλματα Rx, Ry και Rz. Τελικώς παρουσιάζονται τα RMS των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν σε διαγράμματα, και σύγκριση των τελικών RMS των 12 περιπτώσεων επίλυσης.

3.4.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ

Για τον έλεγχο αυτό χρησιμοποιούνται μόνο τα σφάλματα Rx από τα οριζοντιογραφικα σημεία και για τις δώδεκα περιπτώσεις λήψης, χωρισμένα σε δύο κατηγορίες, που αντιστοιχούν στην περίπτωση λήψης με απόσταση βάσης B=0.5μ και B=1μ.



Εικόνα 3.5: Οριζοντιογραφικά σημεία.

Στους Πίνακες 3.2 και 3.3 αναφέρονται τα σφάλματα Rx για κάθε οριζοντιογραφικό σημείο που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις λήψεις και ανά περίπτωση λήψης.

Σφάλματα Rx για B=1m (mm)							
Point ID	f=80 mm S=3m	f=80 mm S=5m	f=50 mm S=3m	f=50 mm S=5 m	f=28mm S=3m	f=28mm S=5m	
8	-0,117	-0,048	-0,108	-0,010	0,257	0,154	
9	-0,207	-0,337	-0,406	-0,284	-0,712	-0,686	
10	0,157	0,030	-0,020	-0,064	-0,531	-0,524	
5	0,182	0,161	0,076	0,180	-0,230	-0,087	
1	0,610	0,679	0,675	0,647	0,275	0,396	
11	0,505	0,547	0,726	0,799	0,693	0,682	
12	0,077	0,253	0,470	0,390	0,458	0,387	
13	-0,175	-0,183	-0,057	0,020	0,047	0,171	
14	0,994	0,647	0,892	0,859	0,679	0,668	

Πίνακας 3.2: Σφάλματα Rx για απόσταση βάσης B=1μ

Πίνακας 3.3: Σφάλματα Rx για απόσταση βάσης B=0.5μ.

Σφάλματα Rx για B=0.5m (mm)							
Point ID	f=80 mm S=3m	f=80 mm S=5m	f=50 mm S=3m	f=50 mm S=5 m	f=28mm S=3m	f=28mm S=5m	
8	-0,015	-0,104	0,071	0,042	0,165	0,174	
9	-0,230	-0,231	-0,440	-0,422	-0,516	-0,351	
10	0,149	-0,052	-0,173	-0,049	-0,510	-0,455	
5	0,238	0,117	0,086	-0,045	-0,313	-0,093	
1	0,644	0,512	0,642	0,712	0,522	0,484	
11	0,543	0,303	0,669	0,683	0,714	0,613	
12	0,107	-0,143	0,281	0,283	0,600	0,258	
13	-0,196	-0,430	-0,040	-0,153	0,254	-0,315	
14	0,766	0,605	0,750	0,247	0,764	0,862	

Τα σφάλματα παρατίθενται και σε μορφή διαγραμμάτων για ευκολότερη εξαγωγή συμπερασμάτων.



Γράφημα 3.1: Σφάλματα Rx των οριζοντιογραφικών σημείων για όλες τις περιπτώσεις λήψης με απόσταση βάσης B=0.5μ.

Γράφημα 3.2: Σφάλματα Rx των οριζοντιογραφικών σημείων για όλες τις περιπτώσεις λήψης με απόσταση βάσης B=1μ.



Παρατηρείται ότι τα διαγράμματα έχουν την τάση να παρουσιάζουν την ίδια μορφή σε όλες τις περιπτώσεις. Στην περίπτωση των 28mm παρατηρούμε ότι τα σφάλματα κατά τον X άξονα έχουν την τάση να είναι μεγαλύτερα από τις άλλες λήψεις και στην περίπτωση που έχουμε απόσταση βάσης 0.5μ αλλά και στην περίπτωση του 1μ.

Πίνακας 3.4: Μέσοι όροι των απόλυτων τιμών των σφαλμάτων για κάθε περίπτωση λήψης.

ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ (mm)					
focal length	1m	0,5m			
80 mm 3m	0,336	0,321			
80 mm 5m	0,321	0,277			
50 mm 3m	0,381	0,350			
50 mm 5 m	0,361	0,293			
28mm 3m	0,431	0,516			
28mm 5m	0,417	0,484			

Πίνακας 3.5: Μέσοι όροι των απόλυτων τιμών των σφαλμάτων για κάθε οριζοντιογραφικό σημείο.

ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ (mm)					
Point ID	1m	0.5m			
8	0,116	0,095			
9	0,439	0,365			
10	0,221	0,231			
5	0,153	0,149			
1	0,547	0,586			
11	0,659	0,588			
12	0,339	0,279			
13	0,109	0,231			
14	0,790	0,666			

3.4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ

Για τον έλεγχο αυτό χρησιμοποιούνται μόνο τα σφάλματα Ry από τα κατακόρυφα σημεία και για τις δώδεκα περιπτώσεις λήψης, χωρισμένα σε δύο κατηγορίες, που αντιστοιχούν στην περίπτωση λήψης με απόσταση βάσης B=0.5μ και B=1μ.



Εικόνα 3.6: Κατακόρυφα σημεία.

Στους παρακάτω Πίνακες 3.6 και 3.7 παρουσιάζονται τα σφάλματα Ry για κάθε σημείο που χρησιμοποιήθηκε και έχουν υπολογισθεί οι τυπικές αποκλίσεις των σφαλμάτων ανά σημείο για όλες τις λήψεις και ανά περίπτωση λήψης.

Σφάλματα Ry για B=0.5m							
Point ID	f=80mm S=3m	f=80mm S=5m	f=50mm S=3m	f=50mm S=5 m	f=28mm S=3m	f=28mm S=5m	
2	-0,331	-0,293	-0,030	-0,175	0,091	-0,158	
3	0,175	0,362	0,460	0,276	0,564	0,440	
4	0,290	0,309	0,383	0,274	0,450	0,489	
5	-0,003	0,013	0,026	-0,085	-0,178	0,335	
6	-0,499	-0,590	-0,644	-0,621	-0,838	-0,300	
7	-0,174	-0,052	-0,347	-0,346	-0,695	-0,409	

Πίνακας 3.6: Σφάλματα Ry για τα κατακόρυφα σημεία και τις περιπτώσεις λήψης με απόσταση βάσης 0.5 μέτρα.

Πίνακας 3.7: Σφάλματα Ry για τα κατακόρυφα σημεία και τις περιπτώσεις λήψης με απόσταση βάσης 1 μέτρο.

Σφἀλματα Ry για B=1m							
Point ID	f=80 mm S=3m	f=80 mm S=5m	f=50 mm S=3m	f=50 mm S=5 m	f=28mm S=3m	f=28mm S=5m	
2	-0,575	-0,318	-0,22	-0,249	0,259	-0,466	
3	0,003	0,197	0,3	0,323	0,753	0,329	
4	0,224	0,196	0,496	0,351	0,504	0,374	
5	0,022	-0,112	0,017	0,04	0,093	-0,036	
6	-0,364	-0,625	-0,624	-0,518	-0,909	-0,807	
7	0,059	-0,15	-0,124	-0,201	-0,364	-0,58	

Παρατίθενται σε μορφή γραφήματος τα σφάλματα που προκύπτουν αντίστοιχα χωρίζοντας τις περιπτώσεις λήψης με βάση την απόσταση της βάσης λήψης.



Γράφημα 3.3: Σφάλματα Ry ανά κατακόρυφο σημείο για τις περιπτώσεις λήψης με απόσταση βάσης 0.5 μέτρα.

Γράφημα 3.4: Σφάλματα Ry ανά κατακόρυφο σημείο για τις περιπτώσεις λήψης με απόσταση βάσης 1 μέτρο.



Αντίστοιχα και με τα γραφήματα των Rx σφαλμάτων, παρατηρείται ότι τα διαγράμματα έχουν την τάση να παρουσιάζουν την ίδια μορφή σε όλες τις περιπτώσεις, με την περίπτωση των 28mm να αποκλίνει περισσότερο και στις δύο περιπτώσεις.

Υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των σφαλμάτων για σύγκριση των περιπτώσεων λήψης αλλάζοντας την βάση λήψης ανά σημείο (Point ID) και ανά εστιακή απόσταση στους Πίνακες 3.8 και 3.9.

ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ (mm)						
Point ID	B=1m	B=0.5m				
2	0,348	0,180				
3	0,318	0,380				
4	0,358	0,366				
5	0,053	0,107				
6	0,641	0,582				
7	0,246	0,337				

Πίνακας 3.8: Μέσοι όροι των απόλυτων τιμών των σφαλμάτων Ry ανά σημείο.

Πίνακας 3.9: Μέσοι όροι των απόλυτων τιμών των σφαλμάτων Ry ανά εστιακή απόσταση.

ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ (mm)						
Focal Length	B=1m	B=0.5m				
80 mm 3m	0,208	0,245				
80 mm5m	0,266	0,270				
50 mm 3m	0,297	0,315				
50 mm 5 m	0,280	0,296				
28mm 3m	0,480	0,469				
28mm 5m	0,432	0,355				

3.4.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ

Οι υψομετρικές συντεταγμένες που χρησιμοποιούνται για αυτή την περίπτωση αποτελούν σημεία πάνω στις πυραμίδες που κατασκευάστηκαν. Χρησιμοποιήθηκαν έξι σημεία τα οποία επιλέχθηκαν σε τοποθεσίες γνωστών συντεταγμένων πάνω στις πυραμίδες.

Έχουμε δύο σημεία στις βάσεις των πυραμίδων που θεωρητικά η συντεταγμένη Ζ θα πρέπει να είναι μηδενική. Δύο σημεία στην κορυφή των πυραμίδων, της οποίας το ύψος κατασκευής κατά την σχεδίαση μετρήθηκε 5 εκατοστά, καθώς όμως η κατασκευή έγινε με χαρτόνι μη αμελητέου πάχους το τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζει αποκλίσεις της τάξης χιλιοστού εξ αρχής. Τέλος δύο σημεία στο υψομετρικό μέσο της πυραμίδας, που υπολογίζονται στα 2,5 εκατοστά επίσης με πιθανές αποκλίσεις της τάξης του χιλιοστού.



Εικόνα 3.7: Τα σημεία που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο τον υψομετρικών αποκλίσεων Rz.

	Σφἀλματα Rz για Β=0.5μ						
poin t id	f=80 mm S=3m	f=80 mm S=5m	f=50 mm S=3m	f=50 mm S=5 m	f=28m m S=3m	f=28m m S=5m	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΠΟΛΥΤΗΣ ΤΙΜΗΣ
22	-1,911	2,797	1,017	3,581	1,353	-0,091	1,792
21	-3,536	-0,487	-2,604	-4,500	-0,563	-2,416	2,351
20	-4,980	-2,772	-4,602	-4,972	-0,757	0,700	3,131
23	0,420	-1,189	0,708	1,397	1,715	-3,058	1,415
24	-2,539	-1,531	-3,039	-3,442	1,073	-1,472	2,183
25	-3,201	-3,236	-3,095	-8,520	-4,264	-3,573	4,315

Πίνακας 3.10: Σφάλματα Rz για την περίπτωση βάσης B=0.5 μέτρα.

Πίνακας 3.11: Σφάλματα Rz για την περίπτωση βάσης B=1 μέτρο.

	Σφάλματα Rz για B=1μ						
poin t id	f=80mm S=3m	f=80mm S=5m	f=50mm S=3m	f=50mm S=5 m	f=28mm S=3m	f=28mm S=5m	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΠΟΛΥΤΗΣ ΤΙΜΗΣ
22	-0,202	1,277	0,849	-0,448	0,750	2,620	1,024
21	-1,819	-1,840	-1,533	-1,638	-1,831	-0,029	1,448
20	-3,226	-5,194	-2,526	-6,068	-3,362	-1,214	3,598
23	1,054	-1,874	1,526	2,419	1,340	3,004	1,869
24	-1,460	-2,893	-1,606	-1,129	-0,558	0,160	1,301
25	-2,835	-5,245	-2,264	-5,675	-1,344	-6,070	3,905

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο του σημείου τόσο αυξάνεται και το σφάλμα που παρουσιάζεται. Επιπλέον σε σύγκριση με τα σφάλματα Rx, Ry που ήταν της τάξης δεκάτων χιλιοστού, τα σφάλματα Rz είναι μια τάξη μεγαλύτερα με σφάλμα τάξης του χιλιοστού. Αυτό εν μέρει οφείλεται στο ότι οι αρχικές μετρήσεις των συντεταγμένων κατά x και y πραγματοποιήθηκαν με μεγαλύτερη ακρίβεια, σε αντίθεση με τις συντεταγμένες z που από τη φύση του σχήματος ήταν δυσκολότερο να μετρηθούν με την ίδια ακρίβεια, καθώς χρησιμοποιήθηκε χάρακας για την μέτρηση όλων των συντεταγμένων και διαστάσεων.



Γράφημα 3.5: Σφάλματα Rz για B=0.5μ. Το σημείο 20 βρίσκεται στην κορυφή και το σημείο 22 στην βάση της πυραμίδας.

Γράφημα 3.6: Σφάλματα Rz για B=0.5μ. Το σημείο 25 βρίσκεται στην κορυφή και το σημείο 23 στην βάση της πυραμίδας.





Γράφημα 3.7: Σφάλματα Rz για B=1μ. Το σημείο 22 βρίσκεται στην κορυφή και το σημείο 20 στην βάση της πυραμίδας.

Γράφημα 3.8: Σφάλματα Rz για B=1μ. Το σημείο 23 βρίσκεται στην κορυφή και το σημείο 25 στην βάση της πυραμίδας.





Γράφημα 3.9: Παρουσίαση του RMSE που προκύπτει από τον τριγωνισμό για κάθε σημείο που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή, για απόσταση βάσης 0.5 μέτρα. Τα σημεία 26,27,28,και 29 αποτελούν τα 4 GCPs.

Γράφημα 3.10: Παρουσίαση του RMSE που προκύπτει από τον τριγωνισμό για κάθε σημείο που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή για την περίπτωση λήψης με βάση το 1 μέτρο.



Από τα Γραφήματα 3.9 και 3.10 παρατηρείται ότι τα σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα (20-25) αντιστοιχούν στην υψομετρική βάση, μέσο και κορυφή της κόλουρης πυραμίδας που κατασκευάστηκε.

3.4.4 Σφαλματα RMS

Τα αποτελέσματα του τριγωνισμού του κάθε στερεοζεύγους αξιολογούνται με βάση τη Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (RMSE) που προκύπτει από την κάθε επίλυση. Αυτός ο δείκτης μετρά πόσο καλά «ταιριάζει» η υπολογισμένη επίλυση με τα αρχικά δεδομένα και αποτελεί μια ένδειξη της γενικής ακρίβειας που περιγράφει την ποιότητα της λύσης συνολικά. Για κάθε παρατήρηση υπολογίζεται η διαφορά της αρχικής τιμής με αυτήν που υπολογίζεται. Υπολογίζεται το τετράγωνο της διαφοράς αυτής και στην συνέχεια αθροίζονται τα τετράγωνα των διαφορών. Το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών διαιρείται με το πλήθος των παρατηρήσεων. Η τετραγωνική ρίζα αυτής της τιμής αποτελεί το RMSE.

ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΜΕΤΩΠΟ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΒΑΣΗΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ RMSE (pixel)
	2	1 m	0,2433
f	3 M	0.5 m	0,2408
f=28mm	Γ	1 m	0,205
	5 M	0.5 m	0,2131
	2	1 m	0,386
£	3 M	0.5 m	0,3702
T=SUMM	Γ	1 m	0,1855
	5 M	0.5 m	0,2031
	2	1 m	0,498
(3 M	0.5 m	0,562
T=80mm	Γ	1 m	0,2847
	5 M	0.5 m	0,3078

Πίνακας	3.12:	Τελικά	αποτελέσματα	σφαλμάτων	RMS	και	για	τις	δώδεκα	περιπτώσεις
επίλυσης	-									

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΧΟΡΔΑΚΙ

4.1 ΕιΣΑΓΩΓΗ

Το λατομείο στην περιοχή του Χορδακίου επιλέχθηκε για την εφαρμογή που παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο. Η περιοχή που πραγματοποιήθηκαν οι τοπογραφικές μετρήσεις και οι λήψεις των εικόνων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Κατά την λήψη των μετρήσεων για την εφαρμογή αυτή λήφθηκαν 5 φωτογραφίες, με θέσεις λήψης τα σημεία 32, 33, 34, 35, 36 όπου παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα. Οι λήψεις των εικόνων πραγματοποιήθηκαν με την φωτογραφική μηχανή Nikon D50. Πραγματοποιήθηκαν τοπογραφικές μετρήσεις για τις θέσεις λήψης των εικόνων και για 24 φωτοσταθερά στο μέτωπο που αποτυπώθηκε. Οι μετρήσεις έγιναν με Total Station. Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζονται τα σημεία που μετρήθηκαν.



Εικόνα 4.1: Τοπογραφικές μετρήσεις των σημείων λήψης των εικόνων και των φωτοσταθερών που μετρήθηκαν, όπως παρουσιάζονται από διάγραμμα που δημιουργήθηκε στην Matlab.

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των θέσεων των φωτοσταθερών, των σημείων λήψης των εικόνων καθώς και τη θέση που στήθηκε το Total Station. Οι συντεταγμένες παρουσιάζονται όπως λήφθηκαν από τα δεδομένα του Total Station.

Πίνακας 4.1: Τοπογραφικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή. Τα σημεία 1-24 αποτελούν φωτοσταθερά στο μέτωπο, ενώ τα σημεία 24-30 τις θέσεις λήψεων, και το σημείο S4 τη θέση του Total Station.

Name	Ground Easting (m)	Ground Northing (m)	Elevation (m)
1	990,127	1035,623	102,2
2	987,412	1037,803	108,15
3	984,183	1036,451	105,281
4	988,764	1038,492	113,746
5	983,597	1046,655	121,035
6	979,944	1056,747	138,142
7	993,052	1042,767	117,179
8	993,303	1038,89	108,175
9	1000,219	1041,924	103,099
10	1000,072	1048,499	111,682
11	986,006	1036,182	101,263
12	1009,006	1045,809	109,847
13	997,671	1057,577	139,74
14	1005,638	1056,484	139,375
15	1011,028	1060,834	148,019
16	1002,549	1047,338	119,585
17	1012,892	1055,184	139,192
18	1011,157	1046,487	119,966
19	1014,21	1046,609	115,219
21	1021,256	1058,667	141,105
22	1026,771	1055,9	137,877
23	1023,644	1047,456	112,678
24	1022,464	1045,186	107,575
30	1022,572	967,856	101,618
31	1022,538	967,852	101,672
32	1022,552	967,867	101,675
33	1012,392	970,189	101,669
34	1004,073	973,727	101,265
35	993,819	975,242	100,572
36	986,375	979,748	100,024
S4	1000	1000	100

Έπειτα από δοκιμές οι εικόνες που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν ως το στερεοζεύγος για την φωτογραμμετρική επίλυση της εφαρμογής αυτής είναι οι εικόνες από τις θέσεις λήψης 35 και 36 και παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 4.2: Αριστερή Εικόνα Στερεοζεύγους (σημείο λήψης 36)



Εικόνα 4.3: Δεξιά εικόνα Στερεοζεύγους (σημείο λήψης 35).

Εξαιτίας του έντονου αναγλύφου του μετώπου και κατά συνέπεια την έντονη αλλαγή στην προοπτική από τις διαφορετικές θέσεις λήψης και το σημείο που στήθηκε το Total Station για την μέτρηση των τοπογραφικών συντεταγμένων, δεν ήταν εφικτό να χρησιμοποιηθούν όλα τα σημεία που μετρήθηκαν για την επίλυση. Ένας αριθμός σημείων δεν εμφανίζονταν στις εικόνες που επιλέχθηκαν και κάποια ήταν αδύνατο να τοποθετηθούν με ακρίβεια, οπότε και απορρίφθηκαν.

Επιλέχθηκαν τελικώς 11 σημεία εκ των οποίων τα 5 χρησιμοποιήθηκαν ως φωτοσταθερά (Control Points) και τα υπόλοιπα 6 ως ομόλογα σημεία (Tie Points). Πραγματοποιήθηκαν μετατροπές στα συστήματα συντεταγμένων από τις γεωδαιτικές στις φωτογραμμετρικές συντεταγμένες που εισήχθησαν στο LPS, καθότι το LPS παρέχει την δυνατότητα παραγωγής Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους μόνο αν χρησιμοποιηθεί σύστημα συντεταγμένων που αντιστοιχεί σε αέριες λήψεις φωτογραφιών και όχι επίγειες. Οι μετατροπές που πραγματοποιήθηκαν είναι οι εξής:

> x' = x - 900y' = zz' = 1100 - y



Εικόνα 4.4: Συστήματα των γεωδαιτικών μετρήσεων και των φωτογραμμετρικών συντεταγμένων που χρησιμοποιούνται από το LPS.

Μετά τον μετασχηματισμό που πραγματοποιήθηκε, προκύπτουν οι τελικές συντεταγμένες που χρησιμοποιήθηκαν στο LPS και φαίνονται στον Πίνακα 4.2.

Ο συνδυασμός των Control Points που επιλέχθηκαν παρόλο που δεν έδινε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα, επιλέχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχουν κατά το δυνατόν Control Points κατανεμημένα σε όλο το εύρος της εικόνας.

Η θέση τους στο τμήμα αλληλοεπικάλυψης των εικόνων του στερεοζεύγους φαίνεται στην Εικόνα 4.5 από το περιβάλλον του LPS.

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΟΝ ΦΟΤΟΣΤΑΘΕΦΟΝ ΚΑΙ ΤΟΝ							
211							
ΟΜΟΛΟΓΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ							
Point ID	Туре	х	У	Z			
1	Tie	90,127	102,2	64,377			
2	Tie	87,412	108,15	62,197			
3	Control	84,183	105,281	63,549			
4	Tie	88,764	113,746	61,508			
5	Control	83,597	121,035	53,345			
9	Tie	100,219	103,099	58,076			
12	Tie	109,006	109,847	54,191			
14	Control	105,638	139,375	43,516			
16	Control	102,549	119,585	52,662			
18	Tie	111,157	119,966	53,513			
19	Control	114,21	115,219	53,391			

Πίνακας 4.2: Τελικές συντεταγμένες σημείων.



Εικόνα 4.5: Κατανομή των φωτοσταθερών στο τμήμα αλληλεπικάλυψης του στερεοζεύγους.

Μετά την εισαγωγή των φωτοσταθερών και των ομόλογων σημείων από τις τοπογραφικές μετρήσεις, ακολούθησε εύρεση επιπλέον ομόλογων σημείων με αυτοματοποιημένη διαδικασία από το LPS. Τα αποτελέσματα της αναζήτησης όπως προέκυψαν με βάση τα κριτήρια που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.

Z	Auto Tie Summary								
	Row #	Image ID	Image Name	Number of Intended Points	Number of Found Points	Number of Patterns	Point Success Rate %	Pattern Success Rate %	Report
	1	1	dsc_0142	130	144	130	100.00	56.92	=
	2	2	dsc_0143	130	144	130	100.00	54.62	Close
	< III Help								
	Average Point Success Rate (%): 100.00 Average Pattern Success Rate (%): 55.77								
	Total unique tie points found: 144								

Εικόνα 4.6: Αποτέλεσμα της αυτόματης αναζήτησης ομόλογων σημείων.

Προέκυψαν 144 νέα σημεία με 100% επιτυχία. Για την αναζήτηση των σημείων επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένο πρότυπο αναζήτησης με σχήμα ορθογωνικού καννάβου το οποίο είχε επιτυχία 55.77%. Δηλαδή ενώ στο «ταίριασμα» των σημείων υπήρχε απόλυτη επιτυχία δεν ακολουθήθηκε το πρότυπο αναζήτησης για όλα τα σημεία που βρέθηκαν. Τελικά η κατανομή των σημείων στο χώρο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.7: Κατανομή του συνόλου των σημείων που χρησιμοποιούνται για την επίλυση. Φωτοσταθερά και ομόλογα σημεία.

Μετά την εύρεση των σημείων ακολουθεί η διαδικασία τριγωνισμού από όπου προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα επιλέχθηκε να αναφέρονται σε μονάδες pixel. Το "Total Image Unit-Weight RMSE" που βλέπουμε στην Εικόνα 4.8 στην σύνοψη του τριγωνισμού, μας δείχνει την ρίζα του συνολικού μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Αυτή η τυπική απόκλιση του μοναδιαίου βάρους είναι μια ένδειξη της γενικής ακρίβειας που περιγράφει την ποιότητα της λύσης συνολικά (Erdas LPS Manual, 2010).

Τα στοιχεία "Image X, Image Y" αναφέρονται στην ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος για όλες τις κατά x και y αντίστοιχα συντεταγμένες των σημείων ελέγχου που αναφέρονται στο επίπεδο των εικόνων. Η τιμή στις παρενθέσεις μετά την τιμή του σφάλματος αναφέρεται στον αριθμό των παρατηρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για το κάθε πεδίο.

💋 Triangulat	ion Summary	1	-	×		
Triangulati Total Imag	Close					
Control F	Control Point RMSE: Check Point RMSE:					
Ground X:	0.0000 (5)	Ground X:	0.0000 (0)	Accept		
Ground Y:	0.0000 (5)	Ground Y:	0.0000 (0)	Report		
Ground Z:	0.0000 (5)	Ground Z:	0.0000 (0)	Review		
Image X:	10.8499 (10)	Image X:	0.0000 (0)	Help		
Image Y:	12.2320 (10)	Image Y:	0.0000 (0)			
RMSE Significant Digits: 4						

Εικόνα 4.8: Αποτέλεσμα της διαδικασίας Τριγωνισμού.

Όπως φαίνεται στην σύνοψη της συνόρθωσης του μπλοκ, το συνολικό RMS σφάλμα προκύπτει 4.2979 σε μονάδες pixel. Για τον υπολογισμό της διάστασης του ενός pixel σε μέτρα μετρήθηκαν οι μέγιστες και ελάχιστες συντεταγμένες X και Y της εικόνας, και διαιρέθηκαν οι διαφορές τους ΔX και ΔY, με τα συνολικά pixel κατά x και y αντίστοιχα. Η εικόνα έχει διαστάσεις σε pixel 3008x2000.

Xmin = 77.6198m
Xmax = 138.2129m

$$\Delta X = 60.5931m$$

 $x_{pixel} = \frac{\Delta X}{3008} = 0.020m$
Ymin = 100.6424m
Ymax = 144.0929m
 $\Delta Y = 43.4505m$
 $y_{pixel} = \frac{\Delta Y}{2000} = 0.0217m$

Παρατηρούμε ότι ενώ το pixel είναι τετραγωνικό υπάρχει απόκλιση κατά 0,0017m στις διαστάσεις του με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς. Αυτό

μπορεί να οφείλεται σε σφάλμα κατά την εύρεση των ελάχιστων και μέγιστων συντεταγμένων κατά Χ και Υ από τις εικόνες.

Θα χρησιμοποιηθεί έτσι η μέση διάσταση του pixel σε μέτρα η οποία είναι:

$$d = \frac{x_{pixel} + y_{pixel}}{2} = 0.02085m$$

Άρα με βάση το σφάλμα RMS=4.2979 pixel, το σφάλμα που προκύπτει από τον τριγωνισμό σε μονάδες μέτρων είναι:

$$S = 4.2979 \cdot 0.02085m = 0.0896m$$

4.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην αναλυτική αναφορά των αποτελεσμάτων του τριγωνισμού του στερεοζεύγους αναφέρονται οι παράμετροι εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού, οι αποκλίσεις (residuals) των συντεταγμένων των φωτοσταθερών που προκύπτουν, καθώς και το αποτέλεσμα της συνόρθωσης της δέσμης του μπλοκ με αυτοβαθμονόμηση αναλυτικότερα με βάση τις επαναλήψεις που έχουν ορισθεί να γίνουν κατά την συνόρθωση.

Παρατηρούμε από την τελευταία επανάληψη προκύπτει το RMSE του αποτελέσματος του τριγωνισμού και φαίνονται οι διορθώσεις που πραγματοποιούνται σε κάθε επανάληψη.

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT
the no. of iteration $=1$ the standard error $= 4.2972$
the maximal correction of the object points = 2.73353
the no. of iteration $=2$ the standard error $= 4.2931$
the maximal correction of the object points $= 0.13212$
the no. of iteration $=3$ the standard error $= 4.2927$
the maximal correction of the object points = 0.00774
the no. of iteration =4 the standard error = 4.2927
the maximal correction of the object points $= 0.00055$

Πίνακας 4.3: Επαναλήψεις που πραγματοποιούνται για την επίλυση.

Πίνακας 4.4: Οι παράμετροι εξωτερικού προσανατολισμού όπως υπολογίστηκαν κατά την επίλυση.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ				
image ID	1 - Right Image	2: Left Image		
Xs	94,417	84,394		
Ys	95,296	94,701		
Zs	141,573	135,786		
omega	14,437	16,039		
phi	-6,018	-12,358		
kappa	4,408	4,519		

Πίνακας 4.5: Οι παράμετροι εσωτερικού προσανατολισμού όπως προέκυψαν από την αναφορά των αποτελεσμάτων του τριγωνισμού.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ					
image ID	f(mm)	xo(mm)	yo(mm)		
1	35	0,00	0,00		
2	35	0,00	0,00		

Στους Πίνακες 4.6, 4.7 και 4.8 παρατίθενται συγκριτικά τα διορθωμένα αποτελέσματα των X, Y, Z των φωτοσταθερών, που προέκυψαν από τη συνόρθωση, με τις τοπογραφικές μετρήσεις και η διαφορά τους (residual).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΝΟΡΘΩΣΗΣ						
Control	ΑΡΧΙΚΟ	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟ	ΣΦΑΛΜΑ			
Point	X	Χ'	RX			
3	84,183	83,954	-0,229			
5	83,597	83,885	0,288			
14	105,638	105,079	-0,558			
16	102,549	102,638	0,089			
19	114,210	114,18	-0,029			

Πίνακας 4.6: Σύγκριση αρχικών και διορθωμένων τιμών Χ των φωτοσταθερών.

Πίνακας 4.7: Σύγκριση αρχικών και διορθωμένων τιμών Υ των φωτοσταθερών.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΝΟΡΘΩΣΗΣ						
Control	ΑΡΧΙΚΟ	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟ	ΣΦΑΛΜΑ			
Point	Y	Υ'	RY			
3	105,281	105,205	-0,076			
5	121,035	121,301	0,265			
14	139,375	138,122	-1,252			
16	119,585	119,638	0,052			
19	115,219	115,353	0,134			

Πίνακας 4.8: Σύγκριση αρχικών και διορθωμένων τιμών Ζ των φωτοσταθερών.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΝΟΡΘΩΣΗΣ						
Control	ΑΡΧΙΚΟ	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟ	ΣΦΑΛΜΑ			
Point	Z	Ζ'	RZ			
3	63,549	62,265	-1,283			
5	53,345	53,610	0,265			
14	43,516	45,417	1,901			
16	52,662	53,063	0,401			
19	53,391	53,337	-0,054			

Ομοίως, παρουσιάζονται τα διορθωμένα από τη συνόρθωση αποτελέσματα των Χ, Υ, Ζ των ομόλογων σημείων σε σύγκριση με τις τιμές που μετρήθηκαν τοπογραφικά.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΝΟΡΘΩΣΗΣ					
Tie Points	Х	Y	Z		
1	90,144	101,829	63,427		
2	87,369	108,182	61,333		
4	88,838	113,927	61,063		
9	100,503	103,023	57,669		
12	109,152	109,992	54,044		
18	111,075	119,99	53,852		

Πίνακας 4.9: Συντεταγμένες Tie Points όπως προέκυψαν από τον τριγωνισμό.

Πίνακας 4.10: Συντεταγμένες των Tie Points όπως μετρήθηκαν τοπογραφικά.

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΤΙΕ POINTS				
TIE POINT ID	x	Y	Z	
1	90,127	102,2	64,377	
4	88,764	113,746	61,508	
2	87,412	108,15	62,197	
9	100,219	103,099	58,076	
12	109,006	109,847	54,191	
18	111,157	119,966	53,513	

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διαφορές των διορθωμένων και των αρχικών τιμών στα ομόλογα σημεία καθώς και μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των σφαλμάτων αυτών.

ΑΠΟΛΥΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ (RESIDUALS) ΤΩΝ ΟΜΟΛΟΓΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ				
POINT ID	rX	rY	rZ	
1	0,017	0,371	0,95	
2	0,043	0,032	0,864	
4	0,074	0,181	0,445	
9	0,284	0,076	0,407	
12	0,146	0,145	0,147	
18	0,082	0,024	0,339	
ΜΑΧ	0,284	0,371	0,95	
MIN	0,017	0,024	0,147	
МО	0,108	0,138	0,525	
STDEV	0,097	0,130	0,314	

Πίνακας 4.11: Σφάλματα των συντεταγμένων και στατιστικά στοιχεία.

Γενικά παρατηρείται ότι τα υψομετρικά σφάλματα Ζ, είναι μεγαλύτερα και στην περίπτωση των φωτοσταθερών αλλά και στα ομόλογα, σε σύγκριση με τις Χ και Υ που έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια.

4.3 ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Μετά την ολοκλήρωση της συνόρθωσης του μπλοκ, μπορεί να πραγματοποιηθεί η δημιουργία Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (DTM – Digital Terrain Model). Προκειμένου να μπορεί να παραχθεί ΨΜΕ από εικόνες, πρέπει να είναι γνωστά κάποια στοιχεία για τον αισθητήρα από τον οποίο παράχθηκαν οι εικόνες. Αυτό εξασφαλίζεται έχοντας ολοκληρώσει τις διαδικασίες του εσωτερικού προσανατολισμού και του αεροτριγωνισμού του στερεοζεύγους. Με την χρήση ειδικευμένων αλγορίθμων γίνεται σύγκριση των δύο εικόνων και αναζήτηση κοινών χαρακτηριστικών στην περιοχή αλληλοεπικάλυψης. Στην συνέχεια υπολογίζεται η τρισδιάστατη θέση των χαρακτηριστικών αυτών στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου.

Σαν αποτέλεσμα της συσχέτισης των εικόνων και της δημιουργίας τρισδιάστατων συντεταγμένων κατασκευάζεται τελικώς το ΨΜΕ το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια από άλλες εφαρμογές (Erdas LPS
ATE manual, 2009). Παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας ΨΜΕ σε διάφορες μορφές όπως:

- Αρχεία ASCII (American Standard Code for Information Interchange)
- TerraModel Triangulated
- Irregular Networks (TIN)
- DEMs
- 3D Shape files

Με την δημιουργία του ΨΜΕ οποιασδήποτε μορφής παράγεται και μια αναφορά που περιέχει όλες τις παραμέτρους που έχουν οριστεί για την δημιουργία του, καθώς και πληροφορίες για την ακρίβεια και την ποιότητα των σημείων.

4.3.1 ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ

Παρουσιάζεται το DEM που κατασκευάστηκε σε δισδιάστατη και τρισδιάστατη όψη. Στην δισδιάστατη μορφή έχουμε την παρουσίαση του παραγόμενου μοντέλου σε κλίμακα του γκρι όπου οι ανοιχτόχρωμες περιοχές αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα υψόμετρα και οι σκουρόχρωμες σε χαμηλότερα.



Εικόνα 4.9: Το παραγόμενο DEM σε δυσδιάστατη απεικόνιση.

Το ιστόγραμμα του DEM μας δείχνει για κάθε τιμή του γκρι 0-255 πόσα σημεία του μοντέλου (γ άξονας) αντιστοιχούν στην συγκεκριμένη υψομετρική τιμή, και την τιμή που αντιπροσωπεύουν αυτά (χ άξονας).



Εικόνα 4.10: Ιστόγραμμα της κλίμακας του γκρι του DEM.

Τα DEM χρησιμεύουν κυρίως στην ορθοαναγωγή εικόνων και αποτελούν τα κύρια δεδομένα εισόδου για συστήματα GIS. Το DEM παρουσιάζεται σε τρισδιάστατη μορφή σε πρόσοψη και πλάγια όψη στις εικόνες παρακάτω. Τοποθετώντας τον κέρσορα πάνω σε σημεία του μοντέλου μας δίνει τις συντεταγμένες στο χώρο του σημείου αυτού.



Εικόνα 4.11: DEM σε πρόσοψη.



Εικόνα 4.12: DEM σε πλάγια όψη.

4.3.2 ΧΑΡΤΗΣ ΙΣΟΥΨΩΝ - DTM POINT STATUS

Με την δημιουργία κάθε αρχείου DTM παρέχεται η δυνατότητα επιλογής της δημιουργίας χάρτη ισοϋψών με ισοδιάσταση που καθορίζεται από τον χρήστη, καθώς και τον θεματικό χάρτη που αναπαριστά την ποιότητα συσχέτισης των σημείων.

Ο θεματικός χάρτης παρουσιάζεται παρακάτω και απεικονίζει τις περιοχές συσχέτισης με βάση μια χρωματική κλίμακα που αντιπροσωπεύει την ποιότητα των σημείων ως εξής:

- 0 "Background"
- 1 "Excellent"
- 2 "Good"
- 3 "Fair"
- 4 "Isolated"
- 5 "Suspicious"
- 6 "Measure Point (seed point)"

Επιπλέον παρουσιάζεται και ο χάρτης ισοϋψών με επιλεγμένη ισοδιάσταση το ένα μέτρο στην ίδια εικόνα.



Εικόνα 4.13: Χάρτης Ισουψών σε συνδυασμό με θεματικό χάρτη κατάστασης των σημείων.

Από την αναφορά των αποτελεσμάτων του DTM έχουμε:

```
General Mass Point Quality:
 1 Excellent % (1-0.85): 83.3172 %
 2 Good % (0.85-0.70): 15.7318 %
 3 Fair % (0.70-0.5): 0.9510 %
 4 Isolated %: 0.0000 %
 5 Suspicious %: 0.0000 %
```

Παρατηρείται στα άκρα της εικόνας ότι η συσχέτιση των σημείων είναι χειρότερη.

4.3.3 TERRAMODEL TIN

Ta TerraModel Triangulated Irregular Networks (Tin) αρχεία αποτελούνται από ακανόνιστου σχήματος τρίγωνα που εκφράζουν τις υψομετρικές αλλαγές στην εικόνα. Τα σημεία που παράγονται κατά την διαδικασία δημιουργίας του DTM χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς για την παρεμβολή των υψομετρικών τιμών, ώστε να δημιουργηθεί το DEM με μορφή πλέγματος. Συνεπώς το αποτέλεσμα είναι μια συνεχόμενη αναπαράσταση τις επιφάνειας και όχι μόνο διακριτά σημεία.



Εικόνα 4.14: TerraModel Tin

Ta DTMs σε αυτήν την μορφή χρησιμοποιούνται κυρίως ως αρχεία εισόδου σε πληθώρα εφαρμογών στον τομέα της μηχανικής.

4.4 Τρισδιάστατη Προβολή

Με το λογισμικό Stereo Analyst του Erdas παρέχεται η δυνατότητα τρισδιάστατης προβολής ζεύγους εικόνων. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται εφικτή η συλλογή τρισδιάστατης μετρητικής πληροφορίας. Μπορούν να συλλεχθούν συντεταγμένες είτε μεμονωμένων σημείων, είτε αποστάσεις, κλίσεις, γωνίες μέσω ευθειών αλλαγής κλίσης (breaklines) καθώς και εμβαδά επιφανειών μέσω πολυγώνων.

Η δυνατότητα της στερεοσκοπικής όρασης επιτυγχάνεται όταν φωτογραφίες μια κοινής περιοχής λαμβάνονται από δύο διαφορετικά σημεία λήψης και στη συνέχεια με κατάλληλο συσχετισμό παρατηρούνται ταυτόχρονα. Η ικανότητα να μπορούμε να βλέπουμε με προοπτική βάθους οφείλεται στα φαινόμενα παράλλαξης που δημιουργούνται από τα δύο διαφορετικά σημεία λήψης.

όпου βλέπουμε το στερεοζεύγος τρισδιάστατα Στο περιβάλλον αλληλεπιδρούμε με την εικόνα με έναν "στόχο" που εμφανίζεται στην θέση του κέρσορα του ποντικιού. Ο κέρσορας αποτελείται στην ουσία από δύο στόχους που αντιστοιχούν ένας στην αριστερή και ένας στην δεξιά εικόνα στερεοζεύγους. Έτσι τρισδιάστατη тои στην προβολή φαίνεται τρισδιάστατος και ο στόχος, και μπορεί να μετακινείται μέσα και έξω από την οθόνη του υπολογιστή (υψομετρικά).

Προκειμένου να συλλεχθεί με ακρίβεια τρισδιάστατη πληροφορία, πρέπει να προσαρμοστεί ο κέρσορας υψομετρικά, έτσι ώστε να φαίνεται ο στόχος να «ακουμπάει» πάνω στο σημείο όπου θέλουμε να συλλέξουμε τα χαρακτηριστικά του. Το υψόμετρο δηλαδή του στόχου να βρίσκεται στο ίδιο υψόμετρο με το σημείο που θέλουμε να πάρουμε τη μέτρηση. Μέσω αυτής της διαδικασίας γίνεται η συλλογή και μέτρηση τρισδιάστατων γεωγραφικών πληροφοριών με ακρίβεια.

Στην Εικόνα 4.15 βλέπουμε σε τρισδιάστατη προβολή μέτωπο της περιοχής που φωτογραφήθηκε για αυτή την εφαρμογή.



Εικόνα 4.15: Τρισδιάστατη στερεοσκοπική προβολή του μετώπου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑ ΤΟΠΟΛΙΑ

5.1 ΕιΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή που έλαβε χώρα στην περιοχή των Τοπολίων. Η θέση του πρανούς βρίσκεται σε εξαιρετικά δυσπρόσιτη περιοχή καθώς η ύπαρξη χαράδρας εμποδίζει την λήψη τοπογραφικών μετρήσεων από κοντινό σημείο.

Οι λήψεις των εικόνων πραγματοποιήθηκαν με την φωτογραφική μηχανή Nikon D50. Επιπλέον έγινε μέτρηση φωτοσταθερών με Total Station και για την επεξεργασία των δεδομένων που ακολούθησε χρησιμοποιήθηκε το LPS Project Manager της ERDAS. Παρουσιάζονται οι γεωδαιτικές μετρήσεις των φωτοσταθερών, τα αποτελέσματα του τριγωνισμού καθώς και τα παραγόμενα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους. Τέλος παρέχεται η δυνατότητα στερεοσκοπικής όρασης του παραγόμενου μοντέλου και η δυνατότητα καταγραφής μετρητικής πληροφορίας από το μοντέλο αυτό.

5.2 ΠΕΡΙΟΧΗ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ



Εικόνα 5.1: Περιοχή στα Τοπόλια όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις (πηγή: Google Earth)

Το ζεύγος των φωτογραφιών που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή αυτή παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες. Ο φακός που χρησιμοποιήθηκε για τις λήψεις είναι ο nikkor AF στα 28mm.



Εικόνα 5.2: Αριστερή εικόνα του στερεοζεύγους "dsc_144".



Εικόνα 5.3: Δεξιά εικόνα του στερεοζεύγους "dsc_147".

Λήφθηκαν γεωδαιτικές συντεταγμένες για 18 σημεία στην περιοχή, από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση οι πέντε από αυτές ως φωτοσταθερά (Control Points). Στον πίνακα 5.1 βλέπουμε τις γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν για τον τριγωνισμό.

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ				
Point ID	x	У	z	
1	471133,053	3918782,036	467,02	
3	471189,885	3918930,504	432,61	
7	471142,778	3918727,125	365,21	
16	471071,328	3918582,175	286,56	
18	471278,507	3918898,851	282,57	

Πίνακας 5.1: Γεωδαιτικές Συντεταγμένες των Φωτοσταθερών.

Για την φωτογραμμετρική επίλυση χρησιμοποιήθηκε αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων. Στο LPS δεν παρέχεται η δυνατότητα παραγωγής ψηφιακών ορθοφωτογραφιών και μοντέλων εδάφους αν ορίσουμε ότι οι λήψεις ήταν επίγειες και όχι αεροφωτογραφίες. Έτσι ορίσαμε ψευδώς ότι πρόκειται για λήψη από αέρα. Το σύστημα συντεταγμένων όμως που χρησιμοποιείται σε περίπτωση αέριας και επίγειας λήψης είναι διαφορετικό. Κατέστη έτσι απαραίτητο, να γίνουν μετατροπές των γεωδαιτικών συντεταγμένων προτού αυτές εισαχθούν στο πρόγραμμα. Οι μετατροπές συντεταγμένων έγιναν με βάση τα συστήματα συντεταγμένων που παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.4.

Εφόσον το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι αυθαίρετο έγινε επίσης μετάθεση των x' και z' συντεταγμένων όπως φαίνεται παρακάνω για ευκολία στις πράξεις, χωρίς αυτό να επηρεάζει τα αποτελέσματα.



Εικόνα 5.4: Συστήματα συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκαν.

Οι συντεταγμένες που εισήχθησαν στο LPS (x',y',z') προκύπτουν αν εφαρμοστούν οι παρακάτω μεταβολές στις γεωδαιτικές συντεταγμένες.

$$x'= y - 3918000$$

 $y'= z$
 $z'= x - 470000$

Οι συντεταγμένες που προκύπτουν και χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 5.2.

ΦΩΤΟΓΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ			
Point ID	x	У	z
1	782,036	467,02	1133,053
3	930,504	432,61	1189,885
7	727,125	365,21	1142,778
16	582,175	286,56	1071,328
18	898,851	282,57	1278,507

Πίνακας 5.2: Φωτογραμμετρικές Συντεταγμένες των Φωτοσταθερών



Εικόνα 5.5 Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται σε περιβάλλον του LPS, το στερεοζεύγος που χρησιμοποιείται και η θέση των Control Points στο αλληλεπικαλυπτόμενο τμήμα.

Η επίλυση επιτυγχάνεται με την χρήση τριών τουλάχιστον φωτοσταθερών τα οποία όμως δεν πρέπει να είναι συνευθειακά. Με χρήση επιπλέον φωτοσταθερών όμως τα αποτελέσματα είναι πιο αξιόπιστα καθώς ελαχιστοποιείται η πιθανότητα σφάλματος. Τα φωτοσταθερά πρέπει να είναι κατά το δυνατόν κατανεμημένα στο αλληλεπικαλυπτόμενο μέρος του ζεύγους φωτογραφιών.

Μετά την εισαγωγή των Control Points πραγματοποιήθηκε αυτόματη αναζήτηση για ομόλογα σημεία (Tie Points) όπου και προέκυψαν 241 σημεία. Η εύρεση ομόλογων σημείων βοηθά στην επίλυση του τριγωνισμού με περισσότερη ακρίβεια. Στις Εικόνες 5.6 και 5.7 φαίνονται τα σημεία που προέκυψαν σε περιβάλλον του LPS.



Εικόνα 5.6 Περιβάλλον του "Point Measurement Tool" του LPS, όπου γίνεται η επιλογή των φωτοσταθερών και των συζυγών σημείων στην αριστερή και δεξιά εικόνα.



Εικόνα 5.7 Παρουσίαση των σημείων που έχουν βρεθεί μετά την αυτόματη αναζήτηση για συζυγή σημεία στο αλληλεπικαλυπτόμενο τμήμα του στερεοζεύγους.

Μετά την διαδικασία εισαγωγής των σημείων που χρησιμοποιούνται, είτε φωτοσταθερά είτε συζυγή σημεία είτε σημεία ελέγχου, ακολουθεί η διαδικασία του τριγωνισμού. Η διαδικασία αυτή είναι αυτοματοποιημένη και παρέχεται η δυνατότητα μεταβολής κάποιων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται κατά την επίλυση.

Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τριγωνισμού.

💋 Triangulation Summary					
Triangulati Total Imag	Close				
Control F	Control Point RMSE: Check Point RMSE:			Update	
Ground X:	0.0000 (5)	Ground X:	0.0000 (0)	Accept	
Ground Y:	0.0000 (5)	Ground Y:	0.0000 (0)	Report	
Ground Z:	0.0000 (5)	Ground Z:	0.0000 (0)	Review	
Image X:	5.6994 (10)	Image X:	0.0000 (0)	Help	
Image Y:	8.4788 (10)	Image Y:	0.0000 (0)		
RMSE Significant Digits: 4					

Εικόνα 5.8: Αποτέλεσμα της διαδικασίας Τριγωνισμού.

Το συνολικό RMS σφάλμα που προκύπτει από την επίλυση μετά από 10 επαναλήψεις είναι 2.0701 pixels. Για τον υπολογισμό της διάστασης του ενός pixel σε μέτρα μετρήθηκαν οι μέγιστες και ελάχιστες συντεταγμένες X και Y της εικόνας, και διαιρέθηκαν οι διαφορές τους ΔX και ΔY, με τα συνολικά pixel κατά x και y αντίστοιχα. Η εικόνα έχει διαστάσεις σε pixel 3008x2000.

X min = 518.1976mY min = 231.7004mX max = 1027.2195mY max = 537.6914m
$$\Delta X = 509.0219m$$
 $\Delta Y = 305.991m$ $x_{pixel} = \frac{\Delta X}{3008} = 0.16m$ $y_{pixel} = \frac{\Delta Y}{2000} = 0.15m$

Παρατηρούμε ότι ενώ το pixel είναι τετραγωνικό υπάρχει απόκλιση κατά 0,01m στις διαστάσεις τους με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε σφάλμα κατά την εύρεση των ελάχιστων και μέγιστων συντεταγμένων κατά Χ και Υ από τις εικόνες.

Θα χρησιμοποιηθεί έτσι η μέση διάσταση του pixel σε μέτρα η οποία είναι:

$$d = \frac{x_{pixel} + y_{pixel}}{2} = 0.155m$$

Άρα με βάση το σφάλμα RMS=2.0701 pixel, το σφάλμα που προκύπτει από τον τριγωνισμό σε μονάδες μέτρων είναι:

$$S = 2.0701 \cdot 0.155m = 0.3209m$$

5.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι αρχικές και οι διορθωμένες τιμές που προέκυψαν από την αναφορά αποτελεσμάτων του τριγωνισμού στις συντεταγμένες των φωτοσταθερών καθώς και η διαφορά τους (residuals).

Πίνακας 5.3: Παρουσιάζονται οι συντεταγμένες κατά χ των φωτοσταθερών, όπου Χ η συντεταγμένη που εισάχθηκε, Χ' η διορθωμένη συντεταγμένη μετά τον τριγωνισμό και RX η διαφορά τους.

point id	х	Х'	RX
1	782,036	781,425	-0,611
3	930,504	932,604	2,100
7	727,125	726,320	-0,805
16	582,175	582,559	0,384
18	898,851	905,306	6,455

Πίνακας 5.4: Παρουσιάζονται οι συντεταγμένες κατά Υ των φωτοσταθερών, όπου Υ η συντεταγμένη που εισάχθηκε, Υ' η διορθωμένη συντεταγμένη μετά τον τριγωνισμό και RY η διαφορά τους.

point id	Y	Y'	RY
1	467,020	470,517	3,497
3	432,610	431,170	-1,440
7	365,210	365,873	0,663
16	286,560	287,732	1,172
18	282,570	274,754	-7,816

Πίνακας 5.5: Παρουσιάζονται οι συντεταγμένες κατά Ζ των φωτοσταθερών, όπου Ζ η συντεταγμένη που εισάχθηκε, Ζ' η διορθωμένη συντεταγμένη μετά τον τριγωνισμό και RZ η διαφορά τους.

point id	Z	Z'	RZ
1	1133,053	1137,858	4,805
3	1189,885	1184,439	-5,446
7	1142,778	1146,723	3,945
16	1071,328	1075,679	4,351
18	1278,507	1269,446	-9,061

Πίνακας 5.6: Παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι απόλυτες τιμές των σφαλμάτων RX, RY, RZ, καθώς και κάποια στατιστικά στοιχεία για τα σφάλματα όπως οι μέσοι όροι των σφαλμάτων και τυπική απόκλιση.

Απολγτή τιμή σφαλμάτων (m)				
point id	RX	RY	RZ	ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ RX RY RZ
1	0,611	3,497	4,805	2,971
3	2,100	1,440	5,446	2,995
7	0,805	0,663	3,945	1,804
16	0,384	1,172	4,351	1,968
18	6,455	7,816	9,061	7,777
sum	10,355	14,588	27,608	
max	6,455	7,816	9,061	
МО	2,071	2,918	5,522	
stdv	2,540	2,943	2,056	

Πίνακας 5.7: Παρουσιάζονται οι παράμετροι του εξωτερικού προσανατολισμού του για τις δύο εικόνες του στερεοζεύγους όπως αυτές προέκυψαν από τον τριγωνισμό.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ				
image 1 image 2				
Xs	544,3689	586,4072		
Ys	604,9415	601,1402		
Zs	1712,5275	1701,27		
omega	-21,9037	-22,7116		
phi	-19,6889	-20,1195		
kappa	-10,3691	-12,3988		

Πίνακας 5.8: Παρουσιάζονται οι παράμετροι εσωτερικού προσανατολισμού.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ				
image ID	f(mm)	xo(mm)	yo(mm)	
1	28	0,00	0,00	
2	28	0,00	0,00	

5.4 ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

5.4.1 ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ

Παρουσιάζεται το DEM που κατασκευάστηκε σε δισδιάστατη όψη όπου οι ανοιχτόχρωμες περιοχές αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα υψόμετρα και οι σκουρόχρωμες σε χαμηλότερα. Στην ίδια εικόνα παρουσιάζονται και οι υψομετρικές καμπύλες που κατασκευάστηκαν με επιλεγμένη ισοδιάσταση τα 10 μέτρα.

Παρατηρούμε ότι στην περιοχή κάτω δεξιά δεν υπάρχει καλή ανταπόκριση με την πραγματικότητα κάτι το οποίο εξακριβώνεται και από τον χάρτη κατάστασης της συσχέτισης των σημείων που φαίνεται στο επόμενο υποκεφάλαιο. Επιπλέον αν ανατρέξουμε στην Εικόνα 5.7 του κεφαλαίου παρατηρούμε ότι στην περιοχή δεν ήταν δυνατή η εύρεση ομόλογων σημείων.



Εικόνα 5.9: Το παραγόμενο DEM και υψομετρικές καμπύλες.



Εικόνα 5.10: Το ιστόγραμμα του DEM.

5.4.2 DTM POINT STATUS



Εικόνα 5.11: Χάρτης Ισουψών σε συνδιασμό με θεματικό χάρτη κατάστασης των σημείων.

Η αναφορά αποτελεσμάτων του DTM:

General Mass Point Quality: Excellent % (1-0.85): 88.8936 % Good % (0.85-0.70): 10.0626 % Fair % (0.70-0.5): 1.0438 % Isolated %: 0.0000 % Suspicious %: 0.0000 %

5.5 Τρισδιάστατη Προβολή

Παρουσιάζεται η τρισδιάστατη προβολή της περιοχής που φωτογραφήθηκε για αυτή την εφαρμογή στο περιβάλλον του Stereo Analyst.



Εικόνα 5.12: Τρισδιάστατη στερεοσκοπική προβολή του μετώπου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Συμπερασματά Πειραματικής Διαδικάσιας

Αρχικά παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα και στις δώδεκα διαφορετικές περιπτώσεις λήψεων κυμαίνονται σε κάποιο κοινό πλαίσιο. Αυτό γίνεται ευκολότερα παρατηρήσιμο από τα γραφήματα που παρουσιάστηκαν, όπου βλέπουμε όλες τις καμπύλες να παρουσιάζουν παρόμοια μορφή.

Από το γεγονός αυτό θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε ότι τα σφάλματα των αποτελεσμάτων οφείλονται ως επί το πλείστον σε σφάλματα των αρχικών μετρήσεων των συντεταγμένων. Οι αρχικές συντεταγμένες που εισήχθησαν στο λογισμικό ήταν κοινές σε όλες τις δοκιμές καθώς η μέτρηση τους πραγματοποιήθηκε μία φορά. Καθώς οι καμπύλες των διαγραμμάτων ακολουθούν την ίδια τάση, τα σφάλματα είναι συστηματικά.

Η συστηματικότητα συνεπώς των σφαλμάτων οφείλεται εν μέρει στις μετρήσεις που λήφθηκαν και εν μέρει στο γεγονός ότι η πειραματική διάταξη διαφέρει από την "ιδανική" που προβλεπόταν. Για παράδειγμα θεωρήσαμε ότι η μακέτα ήταν επίπεδη ενώ στην πραγματικότητα υπήρχε ένας βαθμός καμπυλότητας που ήταν αδύνατο να αποφευχθεί λόγω του υλικού κατασκευής.

Επίσης, η περιοδικότητα των σφαλμάτων που παρουσιάστηκαν φαίνεται να έχει άμεση σχέση με την θέση των φωτοσταθερών καθώς και τον τρόπο πάκτωσης της μακέτας στο επίπεδο.

Είναι εμφανής η διαφορά στην τάξη μεγέθους των σφαλμάτων κατά την οριζόντια (Rx) και κατακόρυφη (Ry) διεύθυνση σε σύγκριση με τις υψομετρικές τιμές σφαλμάτων (Rz).

Στην περίπτωση των x,y διευθύνσεων τα σφάλματα ανέρχονται κατά μέσο όρο σε 0,35mm ενώ στην περίπτωση των υψομέτρων ανέρχονται σε 2,36mm. Αυτό είναι αναμενόμενο, όπως και σε όλες τις εφαρμογές της φωτογραμμετρίας λόγω επιβαρυμένης γεωμετρίας, διεύθυνσης σφαλμάτων του φακού και διαφορετικής διαδικασίας προσδιορισμού της z διάστασης σε σχέση με τις εκάστοτε οριζοντιογραφικές.

Από τα σφάλματα RMS που παρουσιάστηκαν για κάθε περίπτωση επίλυσης, συγκρίνοντας τις περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκε απόσταση βάσης 0.5 μέτρο και 1 μέτρο, παρατηρούμε ότι οι διαφορές είναι αρκετά μικρές ώστε να μη μπορούμε να εξάγουμε κάποιο γενικότερο συμπέρασμα.

Αντιθέτως συγκρίνοντας τις περιπτώσεις μεταβολής της απόστασης από το μέτωπο, δηλαδή από τα 3 στα 5 μέτρα, παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα είναι σαφώς καλύτερα όταν οι εικόνες λήφθηκαν με την απόσταση των 5 μέτρων από το μέτωπο σε όλες τις εστιακές αποστάσεις που δοκιμάστηκαν. Αυτό αιτιολογείται λόγω της διαφορικής γεωμετρίας λήψης στην κοντινή απόσταση η οποία επηρεάζει αναλογικά περισσότερο την λεγόμενη επιπολική γεωμετρία.

Από τα αποτελέσματα δεν διακρίνεται να υπάρχει κάποιο σφάλμα σε σχέση με την απόσταση από το κέντρο της εικόνας. Τυχόντα σφάλματα έχουν καλυφθεί από τα σφάλματα της όλης μεθοδολογίας τα οποία αποτιμήθηκαν περίπου στο 1mm.

Σαν τελικό συμπέρασμα μπορούμε να πούμε ότι για τις δεδομένες συνθήκες λήψης με την μέθοδο που ακολουθήθηκε έχουμε καλές ακρίβειες όταν πρόκειται να αποτυπώσουμε αντικείμενα μικρού μεγέθους και με ήπιο ανάγλυφο.

Τα σφάλματα της πειραματικής διαδικασίας συγκεντρωτικά μπορούμε να πούμε ότι οφείλονται:

- σε σφάλματα των αρχικών μετρήσεων,
- στο γεγονός ότι η πειραματική διάταξη διαφέρει από την «ιδανική» που προβλεπόταν λόγω μη επιπεδότητας της μακέτας και ατελειών στην κατασκευή των πυραμίδων,

 σε ανακρίβεια κατά την στόχευση των κοινών σημείων στο περιβάλλον του λογισμικού.

6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Αρχικά αξίζει να αναφερθεί ότι οι εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν στο Χορδάκι και στα Τοπόλια αποτελούν μια πρώτη προσπάθεια αποτίμησης της φωτογραμμετρικής διαδικασίας σε εφαρμογές υπαίθρου για το εργαστήριο μας σε επίπεδο διπλωματικής εργασίας.

Παρατηρείται ότι τα σφάλματα κατά τον άξονα Ζ δηλαδή οι υψομετρικές συντεταγμένες έχουν την τάση να παρουσιάζουν μεγαλύτερο σφάλμα.

Κάποια φωτοσταθερά και στις δύο περιπτώσεις παρουσίαζαν μεγαλύτερες αποκλίσεις από τα υπόλοιπα, που σημαίνει ότι θα μπορούσαν να είχαν απορριφθεί από την επίλυση για καλύτερα αποτελέσματα, αν είχαμε δυνατότητα χρήσης άλλων δεδομένων στην θέση τους.

Τα σφάλματα οφείλονται κυρίως στο γεγονός ότι δεν ήταν ευδιάκριτες οι θέσεις των σημείων λόγω εκτροπής του αναγλύφου από τα διαφορετικά σημεία λήψης και έτσι η επιλογή της θέσης τους στις εικόνες του στερεοζεύγους έγινε με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην περιοχή των Τοπολίων παρατηρούμε ότι τα σφάλματα είναι στο σύνολο τους μεγαλύτερα από την εφαρμογή στο Χορδάκι. Φτάνουμε σε αποκλίσεις μέχρι και 9 μέτρα σε κάποια σημεία. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι οι τοπογραφικές μετρήσεις στην περίπτωση των Τοπολίων πραγματοποιήθηκαν με τρόπο που δεν παρέχει καλή ακρίβεια, κυρίως κατά τον Ζ άξονα. Η περιοχή του πρανούς ήταν εξαιρετικά δυσπρόσιτη κάτι το οποίο μας ανάγκασε να λάβουμε τις τοπογραφικές μετρήσεις από αποστάσεις σχεδόν απαγορευτικές για τις μεθοδολογίες - όργανα που χρησιμοποιήθηκαν.

Από τις παραμέτρους εξωτερικού προσανατολισμού παρατηρούμε ότι η απόσταση από το μέτωπο έχει βρεθεί να είναι περίπου 1700 μέτρα. Αυτό σημαίνει ότι σε απόσταση ενός μέτρου αντιστοιχεί σφάλμα 9/1700=0,0047m χρησιμοποιώντας το μέγιστο σφάλμα που παρατηρήθηκε.

Η μεγάλη διαφορά μεταξύ συνολικού σφάλματος (RMS) και σφάλματος των τοποσταθερών υποδεικνύει καλό σχετικό προσανατολισμό και μέτρια ποιότητα φωτοσταθερών.

Τέλος στις περιπτώσεις των εφαρμογών κυρίως στα Τοπόλια, αλλά και στο Χορδάκι μπορούμε να πούμε ότι τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρέχουν ακρίβειες τέτοιες ώστε να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα για σκοπούς που απαιτούν ακρίβειες μικρότερες της τάξης του μέτρου, αλλά με βελτίωση της ακρίβειας των τοποσταθερών μπορούμε να παρέχουμε σχετικά αξιοποιήσιμες μετρήσεις.

6.3 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Συγκεντρωτικά οι πηγές σφαλμάτων της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε οφείλονται κυρίως στα εξής:

- Σφάλματα των φακών (radial distortion) και της εσωτερικής γεωμετρίας της μηχανής
- Σφάλματα στις ακρίβειες των φωτοσταθερών
- Σφάλματα κατά την στόχευση των συζυγών σημείων και των φωτοσταθερών στο στερεοζεύγος
- Σφάλματα λόγω των διαφοροποιήσεων στις αποστάσεις των σημείων λήψης από το μέτωπο στις δύο εικόνες
- Σφάλματα λόγω ατμοσφαιρικών παραγόντων

6.4 Προτάσεις

Προκειμένου να μπορέσουν να απομονωθούν και να μοντελοποιηθούν τα σφάλματα που οφείλονται καθαρά στην μεθοδολογία που ακολουθείται είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν περαιτέρω εφαρμογές, ώστε να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία. Όσον αφορά το κομμάτι της πειραματικής διαδικασίας προτείνεται η εφαρμογή επιπλέον πειραμάτων χρησιμοποιώντας διαφορετικές αποστάσεις λήψης και βάσης. Επίσης η δοκιμή λήψεων με διαφορετικές φωτογραφικές μηχανές και με πραγματοποίηση βαθμονόμησης για τον ποσοτικό έλεγχο της επιρροής που έχει τελικά στο αποτέλεσμα.

Τέλος προτείνεται η εφαρμογή της μεθόδου σε λατομεία και πρανή με καλύτερη και πιο στρατηγική επιλογή των τοποσταθερών ώστε να μην υπάρχουν τόσο μεγάλες απώλειες λόγο σφαλμάτων κατά την μέτρηση και την στόχευση τους στο στερεοζεύγος.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δερμάνης Ι. (1991). Αναλυτική Φωτογραμμετρία. Εκδόσεις ΖΗΤΗ,
 Θεσσαλονίκη
- Μπαντέκας Ι. (1980). Φωτογραμμετρία, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
- Ξυνογαλάς Ε. (2010). Βαθμονόμηση Αναλογικών Μηχανών
 Αεροφωτογράφισης με Χρήση Πεδίου Ελέγχου. Διπλωματική Εργασία
 ΕΜΠ
- Παπαπαναγιώτου Ε.(2000). Αυτόματος Συσχετισμός Στερεοζεύγους
 Ψηφιακών Εικόνων για την Εξαγωγή Τρισδιάστατων Συντεταγμένων με
 τη Χρήση Πολυωνυμικού Γεωμετρικού Μοντέλου. Διπλωματική Εργασία,
 Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος.
- Πατιάς Π. (1994). Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία. Εκδόσεις ΖΗΤΗ,
 Θεσαλονίκη
- Πατιάς Π. (2001). Σημειώσεις Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας.
 Θεσσαλονίκη
- Πέτσα Ε. (2000). Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της
 Φωτογραμμετρίας. ΤΕΙ Αθήνας
- Φιλιόπουλος Ι. (2010) Σχεδιασμός, Ίδρυση και Μέτρηση Πεδίου
 Ελέγχου για τη Βαθμονόμηση Μηχανών Αεροφωτογράφισης.
 Διπλωματική Εργασία ΕΜΠ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Wolf P. and Dewitt B. (2000). Elements of Photogrammetry with applications in GIS. 3rd Edition
- Kasser M. and Egels Y. (2002). Digital Photogrammetry. Published by Taylor and Francis
- Atkinson K. (2003). Close Range Photogrammetry and Machine Vision.
 Whittles Pub
- CSIRO (2005) Field Procedures For Photogrammetric Pit Mapping
- ERDAS (2009) Lps Automatic Terrain Extraction User's Guide
- ERDAS (2010) Lps Project Manager User's Guide

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

Ινστιτούτο Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας (ΙΠΕΤ), Μέθοδοι Τρισδιάστατης Ψηφιοποίησης.

http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=73& Itemid=54