



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τομέας Τοπογραφίας-Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας

**«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της
Τάυτισης Γραμμικών Στοιχείων»**

Διπλωματική Εργασία
Χρυσούλα Η. Παπακώστα

Επιβλέπων Καθηγητής
Ιωαννίδης Χαράλαμπος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2009

Χρυσούλα Η. Παπακώστα

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Χρυσούλα Η. Παπακώστα, 2009

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματός αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατά τη διάρκεια του ενάμιση χρόνου περίπου, που χρειάστηκε για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, είχα τη βοήθεια και τη στήριξη κάποιων ανθρώπων, τους οποίους θα ήταν αμέλεια να μην ευχαριστήσω.

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Χαράλαμπο Ιωαννίδη, για την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε, όπως επίσης και για την πολύτιμη καθοδήγηση και τις ουσιαστικές συμβουλές και παρατηρήσεις του όλο αυτό το διάστημα.

Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα την Υποψήφια Διδάκτορα του Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Δήμητρα Βασιλάκη, για την πολύτιμη βοήθειά της και την καθοριστική συμβολή της στην πραγματοποίηση του σταδίου της πρακτικής εφαρμογής που αφορούσε τη μέθοδο ταύτισης γραμμικών στοιχείων, όπως επίσης και στη συγγραφή των κεφαλαίων που σχετίζονταν με αυτή.

Επιπλέον, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην κ. Σοφία Σοϊλέ για τη βοήθεια που μου παρείχε και τις γνώσεις της που μοιράστηκε μαζί μου, σχετικά με τη χρήση των τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών πακέτων λογισμικού, που ήταν απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν. Την ευχαριστώ ακόμη για την αμέριστη συμπαράστασή της και για το χρόνο που μου αφιέρωσε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Χρήστο Ψάλτη, όπως επίσης και τον κ. Δελτσίδα Παναγιώτη για τις πληροφορίες που μου παρείχαν σχετικά με τη χρήση του προγράμματος LPS.

Ακόμη, ευχαριστώ όλα τα υπόλοιπα μέλη του Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας για τη βοήθεια που μου παρείχαν κατά καιρούς, αλλά κυρίως για το ζεστό και θα έλεγα οικογενειακό κλίμα που έχουν «καλλιεργήσει», το οποίο συμβάλλει θετικά στη διάθεση των φοιτητών που αναλαμβάνουν να εκπονήσουν διπλωματική εργασία στο συγκεκριμένο τομέα.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τις πολύ καλές μου φίλες, πρώην συμφοιτήτριες και νυν συναδέλφους Σιώρα Εμμανουέλα, Παναγιωτοπούλου Μαρία και Ανδρέου Χαρούλα, για την ηθική τους συμπαράσταση και τις πολύτιμες συμβουλές τους, όπως επίσης και όλους τους συμφοιτητές και φίλους μου που ενθάρρυναν την προσπάθειά μου.

Τέλος, ένα ειλικρινές ευχαριστώ στους γονείς μου και την αδερφή μου, για την αγάπη και τη φροντίδα που μου δείχνουν, τη στήριξή τους και την επιβράβευση των προσπαθειών μου, τόσο στο διάστημα εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, όσο και σε όλα τα χρόνια σπουδών μου.

Τελειώνοντας, θα ήθελα να παραθέσω μία φράση που διάβασα πρόσφατα σε εφημερίδα, και η οποία νομίζω ότι ταιριάζει στη φιλοσοφία που έχω υιοθετήσει τόσο για τη συγγραφή εργασιών, όσο και σε άλλους τομείς της ζωής μου:

«Αν από την αρχή έχεις ως στόχο το τέλειο, συνήθως φτάνεις στο ικανοποιητικό. Αν από την αρχή έχεις ως στόχο το ικανοποιητικό, συνήθως δε φτάνεις πουθενά».

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	13
ABSTRACT	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
ΕΝΟΤΗΤΑ Α΄: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	19
1 Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΟΥΣ	21
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	21
1.2 Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	22
1.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	23
1.3.1 Το πρόβλημα του άγνωστου εσωτερικού προσανατολισμού και μέθοδοι αντιμετώπισής του	23
1.3.2 Το πρόβλημα της εύρεσης και στόχευσης σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων	27
2 ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ: Η ΚΛΑΣΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	29
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	29
2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΩΝ.....	31
2.2.1 Η μέθοδος της συνόρθωσης κατά δέσμες	31
2.3 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΩΝ	33
2.4 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΩΝ	34
2.5 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ	35
3 Η ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	37
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	37
3.2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	37
3.3 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΤΑΥΤΙΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	38
3.4 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΑΥΤΙΣΗΣ	39
3.4.1 Υπολογισμός ζευγών πλησιέστερων σημείων.....	40
3.4.2 Υπολογισμός του μετασχηματισμού.....	42
3.4.3 Εφαρμογή του μετασχηματισμού.....	43
3.4.4 Έλεγχος σύγκλισης	43
3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ	43
3.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΑΥΤΙΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	43
ΕΝΟΤΗΤΑ Β΄: ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	45
4 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	47
5 ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	53
5.1 ΔΙΑΘΕΤΙΚΑ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΤΟΥ 1945	53
5.2 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ	55
5.2.1 Περί δορυφορικών εικόνων γενικά.....	56
5.2.2 Ο δορυφόρος Cartosat-1.....	63
5.3 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	72
5.3.1 Διόρθωση, σύνδεση και γεωαναφορά των τοπογραφικών διαγραμμάτων.....	74
6 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΥΣ	79
6.1 ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΠΟΛΥΩΝΥΜΩΝ (RATIONAL FUNCTION MODELS, RFM).....	79
6.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΟ LPS	81
6.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ	90
7 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΤΟΥ 1945 ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΥ	92
8 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΤΟΥ 1945 ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΤΑΥΤΙΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	98

8.1	ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	99
8.1.1	Απόδοση γραμμικών στοιχείων στο μοντέλο των αεροφωτογραφιών του 1945	99
8.1.2	Απόδοση καμπυλών στο προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος	102
8.1.3	Ψηφιοποίηση καμπυλών στα τοπογραφικά διαγράμματα	103
8.2	ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΜΕ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΣ	104
8.2.1	Ταύτιση των οριογραμμών των γραμμικών στοιχείων	104
8.2.2	Ταύτιση των αξόνων των γραμμικών στοιχείων	106
8.2.3	Γεωαναφορά μοντέλου αεροφωτογραφιών του 1945	107
8.2.4	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων με χρήση ανεξάρτητων σημείων ελέγχου	109
8.3	ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΜΕ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	117
8.3.1	Ταύτιση των αξόνων των γραμμικών στοιχείων	117
8.3.2	Γεωαναφορά μοντέλου αεροφωτογραφιών του 1945	119
8.3.3	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων με χρήση ανεξάρτητων σημείων ελέγχου	119
8.4	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	122
9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	131
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	135
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	139
	ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	141
	ΦΩΤΟΣΤΑΘΕΡΑ ΣΗΜΕΙΑ (GCPS) ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ (CHECK POINTS)	142
	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΥΣ	156
	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΤΟΥ 1945	176
	ΣΧΕΔΙΑ ΤΑΥΤΙΣΗΣ	190

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1:	Κάποια βασικά χαρακτηριστικά των αεροφωτογραφιών του 1945 και του 1960	23
Πίνακας 1.2:	Οι βασικές προδιαγραφές σάρωσης των ιστορικών αεροφωτογραφιών, κατά την Κτηματολόγιο Α.Ε. [Κτηματολόγιο Α.Ε. 2005]	25
Πίνακας 5.1:	Η χωρική ανάλυση για το παγχρωματικό κανάλι κάποιων γνωστών σύγχρονων δορυφορικών δεκτών [Ιωαννίδης 2006]	57
Πίνακας 5.2:	Τα κύρια χαρακτηριστικά των φωτομηχανών του Cartosat-1	68
Πίνακας 5.3:	Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του δορυφόρου Cartosat-1	69
Πίνακας 5.4:	Το κόστος αγοράς δορυφορικών σκηνών του Cartosat-1, σύμφωνα με την εταιρεία διαχείρισής του.	69
Πίνακας 5.5:	Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του δορυφόρου Cartosat-2.	70
Πίνακας 5.6:	Οι αποκλίσεις των ψηφιοποιημένων τριγωνομετρικών σημείων από τις θέσεις τους μετά τον τελικό μετασχηματισμό, και οι μέσοι όροι τους, όπως προέκυψαν χωρίς και με αναγωγή των τοπογραφικών διαγραμμάτων.	77
Πίνακας 6.1:	Τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού των επίγειων συντεταγμένων των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου σε κάθε περίπτωση	85
Πίνακας 6.2:	Τα εναπομένοντα σφάλματα των γεωδαιτικών συντεταγμένων των φωτοσταθερών σε κάθε περίπτωση	86
Πίνακας 6.3:	Τα εναπομένοντα σφάλματα των γεωδαιτικών συντεταγμένων των σημείων ελέγχου σε κάθε περίπτωση	87
Πίνακας 7.1:	Οι εικονοσυντεταγμένες των εικονοσημάτων που εισήχθησαν στο project.	92
Πίνακας 7.2:	Το σφάλμα κλεισίματος του εσωτερικού προσανατολισμού για κάθε αεροφωτογραφία.	93
Πίνακας 7.3:	Τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού των επίγειων συντεταγμένων των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου	95

Πίνακας 8.1: Τα αποτελέσματα της ταύτισης για κάθε ζεύγος αντίστοιχων οριογραμμών κάθε γραμμικού στοιχείου.	106
Πίνακας 8.2: Τα αποτελέσματα της ταύτισης για το ζεύγος αξόνων κάθε γραμμικού στοιχείου, με άξονες αναφοράς εκείνους του προσανατολισμένου δορυφορικού στερεοζεύγους.	107
Πίνακας 8.3: Οι υπολογισμένες επτά παράμετροι του απόλυτου προσανατολισμού του στερεομοντέλου για κάθε περίπτωση.	108
Πίνακας 8.4: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης μόνο των αριστερών οριογραμμών του συνόλου των γραμμικών στοιχείων.	111
Πίνακας 8.5: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης μόνο των δεξιών οριογραμμών του συνόλου των γραμμικών στοιχείων.	112
Πίνακας 8.6: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης των αριστερών και των δεξιών οριογραμμών του συνόλου των γραμμικών στοιχείων.	113
Πίνακας 8.7: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης των αριστερών και των δεξιών οριογραμμών μόνο της γραμμικής οντότητας 01.	114
Πίνακας 8.8: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης των αξόνων του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, με άξονες αναφοράς εκείνους του προσανατολισμένου δορυφορικού στερεοζεύγους.	115
Πίνακας 8.9: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης των αξόνων μόνο της γραμμικής οντότητας 01, με άξονα αναφοράς εκείνον του προσανατολισμένου δορυφορικού στερεοζεύγους.	116
Πίνακας 8.10: Τα αποτελέσματα της ταύτισης για το ζεύγος αξόνων κάθε γραμμικού στοιχείου, με άξονες αναφοράς εκείνους των τοπογραφικών διαγραμμάτων.	118
Πίνακας 8.11: Οι υπολογισμένες επτά παράμετροι του απόλυτου προσανατολισμού για κάθε περίπτωση.	119
Πίνακας 8.12: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης των αξόνων του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, με άξονες αναφοράς εκείνους των τοπογραφικών διαγραμμάτων.	120
Πίνακας 8.13: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης των αξόνων μόνο της γραμμικής οντότητας 01, με άξονα αναφοράς εκείνον των τοπογραφικών διαγραμμάτων.	121
Πίνακας 8.14: Συγκριτικός πίνακας αξιολόγησης για τις ακραίες περιπτώσεις χρήσης μιας μόνο γραμμικής οντότητας.	122
Πίνακας 8.15: Συγκριτικός πίνακας αξιολόγησης για τις περιπτώσεις ταύτισης των αντίστοιχων οριογραμμών και αξόνων του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, με καμπύλες αναφοράς από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος.	123
Πίνακας 8.16: Συγκριτικός πίνακας αξιολόγησης για τις περιπτώσεις ταύτισης των αντίστοιχων αξόνων του συνόλου των γραμμικών στοιχείων.	123
Πίνακας 8.17: Ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων της ταύτισης για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για καθένα από τα 16 γραμμικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν.	125
Πίνακας 8.18: Ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων της γεωαναφοράς του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945, στα ανεξάρτητα σημεία ελέγχου, για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν.	130
Πίνακας 19: Οι συντεταγμένες των τριγωνομετρικών σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ 87.	141
Πίνακας 20: Οι συντεταγμένες στο σύστημα ΕΓΣΑ 87 των GCPs και των Check Points που χρησιμοποιήθηκαν για τη γεωαναφορά του δορυφορικού στερεοζεύγους, όπως προέκυψαν από τα τοπογραφικά διαγράμματα.	142
Πίνακας 21: Οι συντεταγμένες στο σύστημα ΕΓΣΑ 87 των GCPs και των Check Points που χρησιμοποιήθηκαν για τη γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών του 1945 με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού, όπως προέκυψαν από τα τοπογραφικά διαγράμματα.	143
Πίνακας 22: Οι συντεταγμένες μοντέλου των σημείων ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της γεωαναφοράς των αεροφωτογραφιών του 1945 μέσω της μεθόδου ταύτισης γραμμικών στοιχείων.	143

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Στοχευόμενο εικονόσημα [Λιάπη 2007].	25
Εικόνα 3.1: Εύρεση της θέσης του κόμβου A_i της καμπύλης (A) στο τμήμα $B_{j-1}B_j$ της καμπύλης (B) ([Vassilaki et al. 2008a]).	40
Εικόνα 3.2: Η βασική ιδέα της μεθόδου υπολογισμού των κοντινότερων σημείων με την τεχνική του «διαίρει και βασίλευε» ([Vassilaki et al. 2008a]).	41
Εικόνα 4.1: Η περιοχή μελέτης (εικόνα από το Google Earth).	47
Εικόνα 4.2: Η γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης (οριοθετείται με κόκκινο χρώμα).	47
Εικόνα 4.3: Τμήμα του Χάρτη Δασών Ελλάδος, όπου απεικονίζονται τα κυριότερα είδη βλάστησης που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης.	48
Εικόνα 4.4: Τμήμα του Γενικού Εδαφολογικού Χάρτη της Ελλάδος, όπου φαίνεται η έκταση που καταλαμβάνουν τα δασικά και λιβαδικά εδάφη στην περιοχή μελέτης.	48
Εικόνα 4.5: Τμήμα του χάρτη με τίτλο «Προγράμματα-Δράσεις Προστασίας του Φυσικού Περιβάλλοντος», όπου παρουσιάζεται η υποψηφιότητα τμήματος της περιοχής μελέτης για ένταξη στο δίκτυο “Natura 2000”.	49
Εικόνα 4.6: Τμήμα του χάρτη που παρουσιάζει το πρότυπο χωρικής ανάπτυξης για την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, σύμφωνα με το αντίστοιχο Π.Π.Χ.Σ.Α.Α. Με καφέ περίγραμμα οριοθετούνται οι ορεινοί όγκοι του Χολομώντα.	50
Εικόνα 4.7: Το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης.	51
Εικόνα 4.8: Τμήμα του χάρτη μεταβολής πληθυσμού 1991-2001 ανά νέο δήμο, σύμφωνα με το Π.Π.Χ.Σ.Α.Α. της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, που παρουσιάζει την πληθυσμιακή αύξηση στο Δήμο Πολυγύρου την τελευταία δεκαετία.	52
Εικόνα 5.1: Η κατανομή των αεροφωτογραφιών του 1945 που χρησιμοποιήθηκαν.	54
Εικόνα 5.2: Μία από τις δύο δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν. Με κόκκινο χρώμα οριοθετείται η περιοχή μελέτης.	55
Εικόνα 5.3: (α) Γραμμικός αισθητήρας και (β) επιφανειακός αισθητήρας [Γεωργόπουλος 1998].	58
Εικόνα 5.4: (α) Η along-track και (β) η across-track, τεχνική στερεοκάλυψης [Samadzadegan et al 2005].	59
Εικόνα 5.5: Αναπαράσταση της διαδικασίας απόκτησης δορυφορικής σκηνής με την pushbroom τεχνική σάρωσης ([Κατσιγιάννης 2005], [Ιωαννίδης 2006]).	59
Εικόνα 5.6: Κάθε framelet αναφέρεται σε διαφορετική χρονική στιγμή, με αποτέλεσμα τη μεταβολή των στοιχείων εξωτερικού προσανατολισμού για κάθε λωρίδα εικόνας [Ιωαννίδης 2006].	61
Εικόνα 5.7: Εφαρμογή της συνθήκης συγγραμμικότητας σε framelet από γραμμικό αισθητήρα τύπου Pushbroom. Το σημείο του εδάφους, η εικόνα του στο framelet, η εικόνα του στο εστιακό επίπεδο και το προβολικό κέντρο βρίσκονται στην ίδια ευθεία [Καροπούλου 2007].	61
Εικόνα 5.8: (α), (β) Η προετοιμασία του οχήματος PSLV για τη διαστημική αποστολή PSLV-C6. (γ) Η θέση του Cartosat-1 στην τέταρτη βαθμίδα του PSLV.	64
Εικόνα 5.9: (α) Η στιγμή εκτόξευσης της διαστημικής αποστολής PSLV-C6. (β) Ο δορυφόρος Cartosat-1 με ανοικτούς τους ηλιακούς του συλλέκτες.	64
Εικόνα 5.10: Τα στάδια που ακολούθησαν μετά την αποκοπή του Cartosat-1 από την τέταρτη βαθμίδα του PSLV.	65
Εικόνα 5.11: Η τεχνική απόκτησης στερεοζεύγους κατά τη διεύθυνση της τροχιάς (along track) από τις δύο κάμερες του δορυφόρου Cartosat-1.	66
Εικόνα 5.12: (α) Η διαμόρφωση της ηλεκτρο-οπτικής ενότητας της παγχρωματικής κάμερας του Cartosat-1. (β) Ο δορυφόρος Cartosat-1 κατά τη διαδικασία συναρμολόγησής του.	66
Εικόνα 5.13: Η μορφή του δορυφόρου Cartosat-2A.	71
Εικόνα 5.14: Περιοχή του Περθ στην Αυστραλία, όπως αποτυπώνεται σε δορυφορική απεικόνιση του Cartosat-2.	71
Εικόνα 5.15: Τμήμα τοπογραφικού διαγράμματος κλίμακας 1:5.000 που χρησιμοποιήθηκε. Μεταξύ των στοιχείων που έχουν αποτυπωθεί σε αυτό, διακρίνονται δρόμοι και κτίσματα του οικισμού «Πολύγυρος», πρανή, ισούψεις καμπύλες, όπως επίσης και κάποια ρέματα.	73
Εικόνα 5.16: Τμήμα του ειδικού φύλλου χάρτη κλίμακας 1:100.000 της Γ.Υ.Σ., βάσει του οποίου προσδιορίστηκαν τα διαγράμματα 1:5.000 που κάλυπταν την περιοχή μελέτης, η οποία οριοθετείται με το μικρό ορθογώνιο παραλληλόγραμμο.	74
Εικόνα 5.17: Το περιβάλλον του προγράμματος COORD_GR.	75

Εικόνα 5.18: Ένα από τα διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, (α) πριν και (β) μετά την αναγωγή του.....	76
Εικόνα 6.1: Η επιλογή του μαθηματικού μοντέλου.....	82
Εικόνα 6.2: Τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος ΕΓΣΑ 87.....	82
Εικόνα 6.3: Ο καθορισμός του προβολικού συστήματος και του συστήματος των υψομέτρων.....	83
Εικόνα 6.4: Η εισαγωγή των RPCs της σκηής banda στο project.....	83
Εικόνα 6.5: Στοιχεία για τις δορυφορικές εικόνες (α) πριν και (β) μετά την εισαγωγή των RPCs στο project.....	84
Εικόνα 6.6: Ένα από τα φωτοσταθερά που χρησιμοποιήθηκαν, στο περιβάλλον σκόπευσης σημείων του LPS.....	84
Εικόνα 6.7: Η κατανομή των 13 φωτοσταθερών (τρίγωνα) και των 4 σημείων ελέγχου (κύκλοι) στην περιοχή μελέτης.....	88
Εικόνα 6.8: Η κατανομή των 11 φωτοσταθερών (τρίγωνα) και των 4 σημείων ελέγχου (κύκλοι) στην περιοχή μελέτης.....	88
Εικόνα 6.9: Η κατανομή των 6 φωτοσταθερών (τρίγωνα) και των 9 σημείων ελέγχου (κύκλοι) στην περιοχή μελέτης.....	89
Εικόνα 6.10: Η κατανομή των 3 φωτοσταθερών (τρίγωνα) και των 12 σημείων ελέγχου (κύκλοι) στην περιοχή μελέτης.....	89
Εικόνα 6.11: Η τελική ορθοφωτογραφία.....	91
Εικόνα 7.1: (α) Ευδιάκριτο στοχευμένο εικονόσημα. (β) Δυσδιάκριτο στοχευμένο εικονόσημα.....	93
Εικόνα 7.2: Οι παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν για τον υπολογισμό αρχικών τιμών για τα στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων.....	94
Εικόνα 7.3: Ένα από τα φωτοσταθερά που χρησιμοποιήθηκαν, στο περιβάλλον σκόπευσης σημείων του LPS.....	95
Εικόνα 7.4: Η κατανομή και οι εμφανίσεις των φωτοσταθερών στις αεροφωτογραφίες (α) 45-064, (β) 45-065 και (γ) 45-066.....	96
Εικόνα 7.5: Η κατανομή των σημείων ελέγχου (κύκλοι).....	96
Εικόνα 8.1: (α) Το επικαλυπτόμενο τμήμα των αεροφωτογραφιών 45-064 και 45-065, στο οποίο αποδόθηκαν τα γραμμικά στοιχεία. (β) Το σημερινό, πυκνό οδικό δίκτυο εντός του οικισμού «Πολύγυρος».....	99
Εικόνα 8.2: Τα σφάλματα κλεισίματος του εσωτερικού προσανατολισμού για τις τρεις αεροφωτογραφίες.....	100
Εικόνα 8.3: Τα αποτελέσματα του σχετικού προσανατολισμού του στερεοζεύγους των αεροφωτογραφιών 45-064 και 45-065.....	100
Εικόνα 8.4: Η κατανομή των γραμμικών στοιχείων που αποδόθηκαν, στην περιοχή ενδιαφέροντος.....	101
Εικόνα 8.5: Η αποδοθείσες καμπύλες στο δορυφορικό στερεοζεύγος, στο περιβάλλον του Stereo Analyst.....	102
Εικόνα 8.6: Το ίδιο γραμμικό στοιχείο όπως φαίνεται (α) στις αεροφωτογραφίες του 1945 και (β) στις δορυφορικές εικόνες.....	103
Εικόνα 8.7: Η κατανομή των αποδοθέντων γραμμικών στοιχείων, στο επικαλυπτόμενο τμήμα των αεροφωτογραφιών 45-064 και 45-065, και των ανεξάρτητων σημείων ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της ακρίβειας γεωαναφοράς που επιτεύχθηκε με τη χρήση τους.....	110
Εικόνα 8: Το σημείο 3 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.....	144
Εικόνα 9: Το σημείο 4 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.....	144
Εικόνα 10: Το σημείο 5 στις δορυφορικές εικόνες, στο χάρτη και στις αεροφωτογραφίες του 1945.....	145
Εικόνα 11: Το σημείο 6 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.....	145
Εικόνα 12: Το σημείο 7 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.....	145
Εικόνα 13: Το σημείο 8 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.....	146
Εικόνα 14: Το σημείο 9 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.....	146
Εικόνα 15: Το σημείο 11 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.....	146
Εικόνα 16: Το σημείο 12 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.....	147
Εικόνα 17: Το σημείο 13 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.....	147
Εικόνα 18: Το σημείο 14 στις δορυφορικές εικόνες, στο χάρτη και στις αεροφωτογραφίες του 1945.....	147
Εικόνα 19: Το σημείο 15 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.....	148
Εικόνα 20: Το σημείο 16 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.....	148
Εικόνα 21: Το σημείο 41 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....	148
Εικόνα 22: Το σημείο 501 στις δορυφορικές εικόνες, στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....	149
Εικόνα 23: Το σημείο 502 στις δορυφορικές εικόνες, στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....	149
Εικόνα 24: Το σημείο 503 στις δορυφορικές εικόνες, στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....	149
Εικόνα 25: Το σημείο 506 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.....	150
Εικόνα 26: Το σημείο 801 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....	150
Εικόνα 27: Το σημείο 8031 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....	150

<i>Εικόνα 28: Το σημείο 805 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....</i>	<i>151</i>
<i>Εικόνα 29: Το σημείο 808 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....</i>	<i>151</i>
<i>Εικόνα 30: Το σημείο 809 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....</i>	<i>151</i>
<i>Εικόνα 31: Το σημείο 810 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....</i>	<i>152</i>
<i>Εικόνα 32: Το σημείο 824 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....</i>	<i>152</i>
<i>Εικόνα 33: Το σημείο 9052 (γωνία κτίσματος) στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.</i>	<i>152</i>
<i>Εικόνα 34: Το σημείο 9062 (γωνία κτίσματος) στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.</i>	<i>153</i>
<i>Εικόνα 35: Το σημείο 916 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....</i>	<i>153</i>
<i>Εικόνα 36: Το σημείο 917 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....</i>	<i>153</i>
<i>Εικόνα 37: Το σημείο 918 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....</i>	<i>154</i>
<i>Εικόνα 38: Το σημείο 919 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....</i>	<i>154</i>
<i>Εικόνα 39: Το σημείο 920 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.....</i>	<i>155</i>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ιστορικές αεροφωτογραφίες του 1945 και του 1960 αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τις επιστήμες που σχετίζονται με τη γη και τη διαχείρισή της, όπως είναι το Κτηματολόγιο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της μεγάλης χρησιμότητας που παρουσιάζουν, αποτελεί το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται για τη σύνταξη των ιστορικών ψηφιακών ορθοφωτογραφιών και ορθοφωτοχαρτών του Εθνικού Κτηματολογίου, με βάση τους οποίους καθορίζονται οι δασικές εκτάσεις στην Ελλάδα. Δυστυχώς όμως, οι παλαιές αυτές εικόνες εμφανίζουν κάποια σημαντικά προβλήματα που επηρεάζουν αρνητικά την ακρίβεια γεωαναφοράς τους, η οποία είναι απαραίτητη για την παραγωγή των φωτογραμμετρικών προϊόντων που προαναφέρθηκαν. Συγκεκριμένα, τα προβλήματα αυτά αφορούν τον άγνωστο εσωτερικό τους προσανατολισμό και τη δυσκολία εύρεσης και στόχευσης σε αυτές, φωτοσταθερών σημείων που απαιτούνται για την επίλυση του αεροτριγωνισμού, της κλασικής διαδικασίας γεωαναφοράς εικόνων.

Το πρόβλημα του άγνωστου εσωτερικού προσανατολισμού αντιμετωπίζεται είτε εφαρμόζοντας συγκεκριμένη μεθοδολογία, τα βήματα της οποίας καθορίζονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του πρώην Υπουργείου Γεωργίας, είτε με διάφορες άλλες μεθόδους που στηρίζονται στην αυτοβαθμονόμηση, ή τέλος με την εφαρμογή του Άμεσου Γραμμικού Μετασχηματισμού (DLT). Όσον αφορά το δεύτερο πρόβλημα, που εντείνεται όταν η περιοχή ενδιαφέροντος είναι ορεινή ή χαρακτηρίζεται από έντονες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί με τον εντοπισμό και την ταύτιση κοινών γραμμικών στοιχείων, αντί κοινών μεμονωμένων σημείων, ανάμεσα στις αεροφωτογραφίες και σε πιο πρόσφατα δεδομένα. Η αναγνώριση, η εύρεση και η ταύτισή τους είναι πιο εύκολη και αξιόπιστη σε σχέση με τα σημειακά χαρακτηριστικά, ακόμα και στην περίπτωση που έχει μεσολαβήσει μεγάλο χρονικό διάστημα ανάμεσα στις χρονολογίες λήψης των διαθέσιμων δεδομένων. Η διερεύνηση της μεθόδου αυτής αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ουσιαστικά στηρίζεται στον υπολογισμό ενός τρισδιάστατου μετασχηματισμού ομοιότητας, που συνδέει τις συντεταγμένες μοντέλου σημείων των ιστορικών αεροφωτογραφιών με τις επίγειες γεωδαιτικές τους συντεταγμένες. Οι παράμετροι του μετασχηματισμού αυτού είναι ουσιαστικά, οι επτά παράμετροι του απόλυτου προσανατολισμού του μοντέλου, και προσδιορίζονται με τη χρήση ζευγών ομόλογων σημείων που υπολογίζονται κατά τη διαδικασία ταύτισης των γραμμικών χαρακτηριστικών.

Η πρακτική εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας, είχε ως στόχο τη διερεύνηση των ακριβειών που επιτυγχάνονται στη γεωαναφορά ενός μοντέλου αεροφωτογραφιών του 1945 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ταύτισης γραμμικών στοιχείων. Στις αεροφωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν απεικονίζεται η περιοχή του Πολύγυρου Χαλκιδικής. Εκτός από αεροφωτογραφίες, παραλήφθηκαν πρόσφατης λήψης επικαλυπτόμενες δορυφορικές εικόνες, όπως επίσης και τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 της Γ.Υ.Σ., προκειμένου να υπολογιστούν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες φωτοσταθερών σημείων και σημείων ελέγχου, που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα στάδια της εφαρμογής. Οι διαδικασίες που ήταν αναγκαίο να πραγματοποιηθούν πριν από την απόδοση των γραμμικών οντοτήτων στα δεδομένα, ήταν η σύνδεση των χαρτών σε ενιαίο υπόβαθρο και η γεωαναφορά τους, η γεωαναφορά του δορυφορικού στερεοζεύγους και η γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών του 1945 με αεροτριγωνισμό, έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση ανάμεσα στις ακρίβειες που επιτυγχάνονται με τις δύο διαφορετικές μεθόδους. Ακολούθησε η διαδικασία της εξαγωγής των καμπυλών, οι οποίες ζητείται να γεωαναφερθούν, από το μοντέλο των αεροφωτογραφιών του 1945, άλλα και η απόδοση και ψηφιοποίησή τους, αντίστοιχα, στις δορυφορικές εικόνες και στα τοπογραφικά διαγράμματα, έτσι ώστε να αποτελέσουν δεδομένα αναφοράς για τη διαδικασία της ταύτισης.

Πραγματοποιήθηκαν δύο εφαρμογές γεωαναφοράς του μοντέλου του 1945, με καμπύλες αναφοράς από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος αρχικά, και από τους χάρτες της Γ.Υ.Σ. στη συνέχεια. Οι καμπύλες που ταυτίστηκαν ήταν τα ζεύγη των αντίστοιχων οριογραμμών ή αξόνων των γραμμικών στοιχείων. Συνολικά εξετάστηκαν οκτώ περιπτώσεις ταύτισης, ανάλογα με το είδος και το πλήθος των γραμμικών χαρακτηριστικών που ταυτίζονταν κάθε φορά.

Οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν στη γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών του 1945 με τη μέθοδο της ταύτισης γραμμικών στοιχείων είναι γενικά αρκετά καλύτερες από εκείνες του αεροτριγωνισμού, γεγονός που σε συνδυασμό με τα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα γραμμικά χαρακτηριστικά, μπορεί να συντελέσει στη διαδεδομένη χρήση της στο μέλλον.

ABSTRACT

The historical aerial photos of 1945 and 1960 are a very useful tool for the sciences which are related to land administration, such as the Cadastral. A typical example of the great usefulness of those images is that they are used in Greece to design digital historical orthorectified photos and maps, in order to define the forest land that is protected by the law. Unfortunately, these old pictures present some serious problems, which affect negatively their georeference precision. The georeference process is necessary for the production of the photogrammetric products, which were mentioned above. Specifically, the old images' problems refer to their unknown interior orientation, as well as the difficulty to accurately locate and measure Ground Control Points (GCPs) on them. GCPs are demanded for the resolution of the aerial triangulation, which is the classical method of aerial photos' georeference.

The problem of the unknown interior orientation is faced with either the implementation of a specific methodology according to the specifications of the former Ministry of Agriculture, or various other methods that rely on the self-calibration idea. Moreover, the Direct Linear Transformation (DLT) can also be used for the same purpose. As far as the second problem is concerned, which is getting worse when the area of interest is mountainous or is characterized by tense human activity, it could be treated by detecting and matching common linear features, instead of common individual points, between the aerial photos and more recent data, e.g. satellite images. Their identification, location and matching can be done more easily and reliably relatively to the point features, even if a long time period has passed between the dates of acquisition of the various available data. The investigation of this new georeference method is the scope of the present project.

In fact, the proposed process is based on the calculation of a three-dimensional similarity transformation, which connects the model coordinates of points of the old aerial photos with their geodetic coordinates on the ground. Essentially, the parameters of this transformation are the seven parameters of the absolute orientation of the model and they are determined using point correspondences, which are computed during the matching process of the linear features.

The practical implementation, that was realized for the purposes of the project, aimed to examine the precisions, which are achieved on the georeference of a model of aerial photos of 1945, using the method of matching linear features. The area of Polygyros in Chalkidiki is presented on the aerial photos which were used. Except of aerial photos, a stereo pair of recent satellite images was necessary, as well as topographic maps of medium scale (1:5.000), which were demanded in order to specify the geodetic coordinates of GCPs and Check Points, that should be used on various stages of the implementation. The processes, which needed to be done before the digitization of the linear entities on the data, included the connection of the maps and their transformation to the new national geodetic reference system, the georeference of the satellite images and finally, the georeference of the aerial photos of 1945 using the method of aerial triangulation, in order to compare the precisions that are achieved with the two different methods. The next step was the extraction of the non-registered curves from the model of aerial photos of 1945, but also their digitization on the stereo pair of satellite images and on the topographic maps, in order to constitute reference data for the matching process. The georeference of the model of 1945 was carried out with reference curves firstly from the oriented stereo pair of satellite images, and secondly from the maps. The curves which were matched, were the pairs of the corresponding edges or axes of the linear features. Totally, eight occasions of matching were examined, depending on the type and the number of linear features that were matched every time.

The accuracies which were achieved on the georeference of the aerial photos of 1945, using the method of matching linear entities, are generally much better than those of the aerial triangulation method. This fact, taking also into account the important advantages of the linear features, can contribute to the increased use of the proposed method in the future.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όπως υποδηλώνεται και από τον τίτλο της ήταν η διερεύνηση των ακριβειών που μπορούν να επιτευχθούν στη γεωαναφορά των ιστορικών αεροφωτογραφιών, και πιο συγκεκριμένα των εικόνων του 1945, στην περίπτωση που αντί για σημειακά χαρακτηριστικά που παραδοσιακά χρησιμοποιούνται, εντοπιστούν και ταυτιστούν γραμμικά στοιχεία.

Η δομή της εργασίας είναι η ακόλουθη:

Στην πρώτη ενότητα παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που αποτέλεσε τη βάση για την πραγματοποίηση της πρακτικής εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα:

- Στο 1ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη χρησιμότητα των ιστορικών αεροφωτογραφιών του 1945 και του 1960, όπως επίσης και στα δύο σημαντικότερα προβλήματά τους: τον άγνωστο εσωτερικό τους προσανατολισμό και τη δυσκολία εντοπισμού και στόχευσης σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων σε αυτές. Αναφέρονται, επίσης, μέθοδοι αντιμετώπισης του άγνωστου εσωτερικού προσανατολισμού.
- Στο 2^ο Κεφάλαιο περιγράφεται η κλασική διαδικασία του αεροτριγωνισμού, και πιο συγκεκριμένα η μεθοδολογία επίλυσής του με τη μέθοδο των δεσμών. Αναφορά γίνεται και στα σφάλματά του. Παρουσιάζεται, ακόμη, η διαδικασία γεωαναφοράς ιστορικών αεροφωτογραφιών, σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές Σύνταξης Ιστορικών Ψηφιακών Ορθοφωτοχαρτών του Εθνικού Κτηματολογίου.
- Στο 3^ο Κεφάλαιο αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζεται η προτεινόμενη μέθοδος γεωαναφοράς. Παρουσιάζεται τόσο το πώς διαμορφώνεται το πρόβλημα γεωαναφοράς αεροφωτογραφιών με χρήση γραμμικών στοιχείων, όσο και το ίδιο το πρόβλημα της ταύτισης γραμμικών χαρακτηριστικών. Επίσης, παρατίθενται τα στάδια της μεθόδου ταύτισης, που αποτελούνται από τον υπολογισμό των ζευγών πλησιέστερων σημείων, τον υπολογισμό του μετασχηματισμού, την εφαρμογή του μετασχηματισμού, και τέλος τον έλεγχο της σύγκλισης. Ακόμη γίνεται αναφορά στον τρόπο υπολογισμού της γεωαναφοράς, δηλαδή των παραμέτρων του απόλυτου προσανατολισμού. Στο τέλος του κεφαλαίου αναφέρονται κάποιες από τις εφαρμογές της μεθόδου ταύτισης γραμμικών στοιχείων.

Στη δεύτερη ενότητα παρουσιάζονται τα στάδια της πρακτικής εφαρμογής. Συγκεκριμένα:

- Στο 4ο Κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες για την περιοχή μελέτης.
- Στο 5ο Κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, δηλαδή των διαθετικών των αεροφωτογραφιών του 1945, των δορυφορικών εικόνων και των τοπογραφικών διαγραμμάτων της Γ.Υ.Σ. Στις δορυφορικές εικόνες γίνεται εκτενής αναφορά, καθώς παρατίθενται κάποιες γενικές πληροφορίες για τις δορυφορικές απεικονίσεις και κάποια βασικά στοιχεία για το δορυφόρο Cartosat-1, οι εικόνες του οποίου χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος, περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη διόρθωση, τη σύνδεση και τη γεωαναφορά των χαρτών.
- Στο 6ο Κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη γεωαναφορά του δορυφορικού στερεοζεύγους. Επιπλέον, δίνονται πληροφορίες για τα μοντέλα κλασματικών πολωνύμων, καθώς ήταν η κατηγορία προσεγγιστικών μοντέλων γεωαναφοράς που χρησιμοποιήθηκε, και αναφέρονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την παραγωγή ορθοφωτογραφίας από δορυφορικές εικόνες.

- Στο 7ο Κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία γεωαναφοράς των αεροφωτογραφιών του 1945 με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα LPS.
- Στο 8ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται το τελικό στάδιο της πρακτικής εφαρμογής, που σχετίζεται με τη μέθοδο ταύτισης γραμμικών στοιχείων που διερευνάται. Γίνεται αναφορά στον τρόπο με τον οποίο αποδόθηκαν τα γραμμικά στοιχεία στα διάφορα δεδομένα, και διορθώθηκαν για να μπορέσουν να συμμετέχουν στη διαδικασία της ταύτισης. Ακολουθεί η περιγραφή των δύο διαφορετικών εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν, για καθεμία από τις οποίες εξετάστηκαν οκτώ περιπτώσεις ταύτισης ανάλογα με το είδος και τον αριθμό των καμπυλών που συμμετείχαν κάθε φορά. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και διατυπώνονται για αυτά κρίσεις και σχόλια.
- Τέλος, στο 9ο Κεφάλαιο, λαμβάνοντας υπόψη τις παρατηρήσεις που έγιναν σε όλα τα στάδια της πρακτικής εφαρμογής, αλλά κυρίως σε αυτό που αναλύεται στο Κεφάλαιο 8, εξάχθηκαν χρήσιμα συμπεράσματα και διατυπώθηκαν κάποιες προτάσεις που στοχεύουν στη βαθύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων και στη βελτίωση της προτεινόμενης μεθόδου, όσον αφορά κυρίως το κόστος και το χρόνο που απαιτεί.

ΕΝΟΤΗΤΑ Α΄: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Στην πρώτη αυτή ενότητα κρίθηκε απαραίτητο να παρουσιαστεί το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίζεται η πρακτική εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, στα τρία κεφάλαια που ακολουθούν:

- ✓ γίνεται αναφορά στη χρησιμότητα των ιστορικών αεροφωτογραφιών και στα προβλήματα τους, τα οποία επηρεάζουν την ακρίβεια γεωαναφοράς τους με τη συνηθισμένη μεθοδολογία,
- ✓ περιγράφεται η διαδικασία του αεροτριγωνισμού, που αποτελεί την κλασική μέθοδο γεωαναφοράς εικόνων, κι επομένως και των αεροφωτογραφιών του 1945 και του 1960, και τέλος
- ✓ παρουσιάζεται η ιδέα στην οποία στηρίζεται και τα στάδια από τα οποία αποτελείται η μέθοδος γεωαναφοράς παλαιών αεροφωτογραφιών μέσω της ταύτισης γραμμικών στοιχείων, η διερεύνηση των δυνατοτήτων της οποίας, αποτελεί το αντικείμενο της πρακτικής εφαρμογής της εργασίας.

1 Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΟΥΣ

1.1 Γενικά

Ως «ιστορικές» χαρακτηρίζονται οι αεροφωτογραφίες που έχουν ληφθεί κατά τα έτη 1945 και 1960, οπότε πραγματοποιήθηκαν οι δύο παλαιότερες φωτογραμμετρικά αξιοποιήσιμες αεροφωτογραφίσεις που καλύπτουν όλη την Ελλάδα. Οι αεροφωτογραφίες αυτές, σε συνδυασμό με τη χρήση πιο πρόσφατων δεδομένων (π.χ. αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων, χαρτών κ.λ.π.), αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τις επιστήμες που σχετίζονται με τη γη και τη διαχείρισή της, όπως είναι το Κτηματολόγιο και η Πολεοδομία. Συγκεκριμένα, μία από τις βασικότερες χρήσεις τους, όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια, είναι για τη σύνταξη των δασικών χαρτών της χώρας. Η ποιοτική πληροφορία που εξάγεται από αυτά τα διαφορετικών χρονολογιών δεδομένα, είναι πολύ σημαντική για τη διατύπωση συμπερασμάτων σχετικών με τη διαχρονική μεταβολή των χρήσεων-καλύψεων γης σε μια περιοχή. Μπορεί, για παράδειγμα, να παρατηρηθεί μείωση των δασικών εκτάσεων, είτε λόγω της αποτέφρωσής τους κατά τη διάρκεια πυρκαγιών, είτε λόγω της υλοτόμησής τους, είτε λόγω της παράνομης οικοπεδοποίησής τους, είτε λόγω της νόμιμης ή παράνομης επέκτασης της δόμησης σε αυτές, ή τέλος λόγω της μετατροπής τους σε αγροτική, καλλιεργήσιμη γη. Ο εντοπισμός και η παρατήρηση τέτοιου είδους αλλαγών διευκολύνεται αν γίνει ακριβής αλληλεπίθεση (ταύτιση) των παλαιών αεροφωτογραφιών και των νεότερων δεδομένων.

Τόσο στην περίπτωση που οι παρατηρούμενες αλλαγές πρέπει να αποτυπωθούν σε κάποιο παλιό χάρτη, προκειμένου να γίνει η ενημέρωσή του, όσο και στην περίπτωση που πρέπει να παραχθούν νέα προϊόντα που να αποτυπώνουν την παρελθούσα ή την παρούσα εικόνα μιας περιοχής, όπως χάρτες, ορθοφωτογραφίες, ορθοφωτοχάρτες κ.λ.π., είναι απαραίτητη η γεωαναφορά των δεδομένων, ή αλλιώς η αποκατάσταση του εξωτερικού τους προσανατολισμού. Είναι, δηλαδή, αναγκαία η σύνδεση του συστήματος συντεταγμένων της αεροφωτογραφίας (ή του στερεομοντέλου), της δορυφορικής εικόνας ή του χάρτη, με το χρησιμοποιούμενο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή τρισδιάστατης μετρητικής πληροφορίας από τα διαθέσιμα δεδομένα. Στην περίπτωση που τα διαφορετικών χρονολογιών δεδομένα είναι αποκλειστικά εικόνες (αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες), η γεωαναφορά τους καθιστά εφικτή την ακριβή αλληλεπίθεσή τους, παρόλο που όπως είναι φυσικό έχουν ληφθεί από διαφορετικά σημεία, σε διαφορετική χρονική στιγμή και με διαφορετικό είδος αισθητήρων [Vassilaki et al. 2008a].

Οι ιστορικές αεροφωτογραφίες όμως, παρουσιάζουν κάποια σημαντικά προβλήματα που επηρεάζουν αρνητικά την ακρίβεια γεωαναφοράς τους, και κατ' επέκταση την ακρίβεια των προϊόντων που προκύπτουν μετά την εφαρμογή οποιασδήποτε άλλης φωτογραμμετρικής διαδικασίας σε αυτές. Τα προβλήματα αυτά σχετίζονται:

- ✓ καταρχήν με την έλλειψη των στοιχείων βαθμονόμησης των φωτομηχανών λήψης των αεροφωτογραφιών, δηλαδή με τον άγνωστο εσωτερικό τους προσανατολισμό, και ακολούθως
- ✓ με τη δυσκολία εύρεσης και στόχευσης σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων, τα οποία είναι απαραίτητα για την επίλυση του αεροτριγωνισμού, που αποτελεί την κλασική διαδικασία γεωαναφοράς των ιστορικών αεροφωτογραφιών.

Στις επόμενες παραγράφους γίνεται εκτενής αναφορά στη μεγάλη χρησιμότητα των αεροφωτογραφιών του 1945 και του 1960, όπως επίσης και στα προβλήματα που παρουσιάζουν.

1.2 Η Χρησιμότητα των Ιστορικών Αεροφωτογραφιών

Οι ιστορικές αεροφωτογραφίες του 1945 ή του 1960 χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των ιστορικών ψηφιακών ορθοφωτοχάρτων του Εθνικού Κτηματολογίου. Οι ορθοφωτοχάρτες αυτοί αποτελούν ιστορικό χαρτογραφικό υλικό και φωτογραμμετρικό υπόβαθρο, που αξιοποιείται στην οριοθέτηση των δασών, των δασικών και των χορτολιβαδικών εκτάσεων της χώρας, όπως επίσης και στη διερεύνηση των εμπράγματων δικαιωμάτων επί αυτών. Τα πρόσφατα δεδομένα, που χρησιμοποιούνται ως χαρτογραφικό υλικό αναφοράς, είναι αναγκαία για τη σύνταξη των ιστορικών ορθοφωτοχάρτων, λόγω του ότι απεικονίζουν την υφιστάμενη κατάσταση των δασικών περιοχών που πρόκειται να οριοθετηθούν ([Κτηματολόγιο Α.Ε. 2007], [Λιάπη 2007]).

Τα δάση και οι δασικές εκτάσεις επιτελούν κάποιες πολύ σημαντικές λειτουργίες, όπως είναι η προστασία των εδαφών από τη διάβρωση, η συγκράτηση των νερών της βροχής, η απορρόφηση των επικίνδυνων ρυπαντών της ατμόσφαιρας και ο εμπλουτισμός της με οξυγόνο, και τέλος η διατήρηση της χλωρίδας, της πανίδας και της βιοποικιλότητας των ειδών και των οικοσυστημάτων, οι οποίες καθιστούν μονόδρομο την αντιμετώπισή τους ως στοιχείο ισορροπίας του περιβάλλοντος. Συνεπώς, ο καθορισμός των δασικών περιοχών, που γίνεται με τη βοήθεια των ιστορικών ορθοφωτοχάρτων του Εθνικού Κτηματολογίου, είναι απαραίτητος για τη διασφάλισή τους, και κατ' επέκταση για την προστασία τους από την οικιστική επέκταση και την αλόγιστη τουριστική εκμετάλλευση. Βέβαια, είναι δεδομένο ότι πάντα θα υπάρχουν περιπτώσεις που για την εξυπηρέτηση του δημοσίου συμφέροντος θα απαιτηθεί να θυσιαστεί δασική γη, όμως η αλλαγή χρήσης των δασών θα πρέπει να διέπεται αυστηρά από την αρχή του δημοσίου συμφέροντος [Λιάπη 2007].

Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται αεροφωτογραφίες του 1945, κυρίως, για την παραγωγή των ιστορικών ορθοφωτοχάρτων, είναι ότι το 1945 αποτελεί το απώτερο έτος αναδρομής στο παρελθόν για το αν μια έκταση χαρακτηρίζεται ως δασική ή όχι, καθώς τότε χρονολογείται η πρώτη, και επομένως η παλαιότερη, αεροφωτογράφιση που καλύπτει ολόκληρη την Ελλάδα. Δηλαδή, όσες εκτάσεις το 1945 χαρακτηρίζονταν ως δασικές θεωρούνται πάντα ότι είναι δάση. Τα κριτήρια με τα οποία μια περιοχή χαρακτηρίζεται ως δασική αναφέρονται στο δασικό νόμο του 2003 (Ν.3208/2003). Για τα έτη πριν το 1945, κατά τις διαδοχικές περιόδους απελευθέρωσης της χώρας μας, δεν υπάρχουν ακριβή και ασφαλή στοιχεία για την έκταση που καταλάμβαναν οι δασικές περιοχές, ούτε βέβαια και ασφαλή χαρτογραφικά στοιχεία.

Η κλίμακα των αεροφωτογραφιών του 1945 είναι περίπου 1:42.000, ενώ η οπτική τους ποιότητα χαρακτηρίζεται από μέτρια έως κακή, λόγω της χαμηλής, συνήθως, ραδιομετρικής ανάλυσης που παρουσιάζουν, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ευκρίνειάς τους. Στην περίπτωση που η ποιότητά τους ή η κατάστασή τους είναι πολύ κακή (π.χ. αν είναι πολύ σκοτεινές ή σκισμένες), ή στην περίπτωση που παρουσιάζεται έλλειψη στις αεροφωτογραφίες αυτού του έτους, η σύνταξη των ιστορικών ορθοφωτοχάρτων του Εθνικού Κτηματολογίου γίνεται με τη χρήση αεροφωτογραφιών του έτους 1960, κατά το οποίο πραγματοποιήθηκε η αμέσως επόμενη χρονολογικά από το 1945, φωτογραμμετρικά αξιοποιήσιμη αεροφωτογράφιση [Λιάπη 2007].

Στον Πίνακα 1.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά των αεροφωτογραφιών του 1945 και του 1960.

Έτος φωτοληψίας	1945	1960
Κλίμακα	1:42.000	1:30.000
Σταθερά (c) της φωτομηχανής	γνωστή	γνωστή
Ύψος πτήσης	γνωστό	γνωστό
Εικονοσήματα	4	4
Πιστοποιητικά βαθμονόμησης φωτομηχανής	Δεν υπάρχουν	
Φορέας	Γ.Υ.Σ.	Γ.Υ.Σ.
Οπτική ποιότητα αεροφωτογραφιών	μέτρια έως κακή	μέτρια

Πίνακας 1.1: Κάποια βασικά χαρακτηριστικά των αεροφωτογραφιών του 1945 και του 1960.

1.3 Προβλήματα στη Γεωαναφορά των Ιστορικών Αεροφωτογραφιών

1.3.1 Το πρόβλημα του άγνωστου εσωτερικού προσανατολισμού και μέθοδοι αντιμετώπισής του

Τα στοιχεία εσωτερικού προσανατολισμού μιας μετρητικής φωτογραφικής μηχανής, που αναγράφονται στο πιστοποιητικό βαθμονόμησης της, είναι ([Πατιάς 1991], [Γεωργόπουλος 2005]):

- ✓ η βαθμονομημένη εστιακή της απόσταση, ή αλλιώς η σταθερά (c) της φωτομηχανής, δηλαδή η απόσταση του προβολικού κέντρου από το εστιακό επίπεδο,
- ✓ οι συντεταγμένες x_0 , y_0 του πρωτεύοντος σημείου, δηλαδή της προβολής του προβολικού κέντρου στο εστιακό επίπεδο, στο σύστημα του φωτογραφικού επιπέδου,
- ✓ οι τιμές της ακτινικής παραμόρφωσης (Δr) των φακών της φωτομηχανής, που εκφράζεται με την καμπύλη ακτινικής διαστρόφης, και τέλος
- ✓ οι συντεταγμένες των εικονοσημάτων στο σύστημα του φωτογραφικού επιπέδου.

Τα στοιχεία αυτά καθορίζουν το γεωμετρικό μοντέλο της Κεντρικής Προβολής που περιγράφει καλύτερα τη μορφή της δέσμης των ακτίνων, ή πιο απλά τη σταθερή εσωτερική γεωμετρία της μηχανής, κατά τη στιγμή της λήψης. Η γνώση τους είναι απαραίτητη στην περίπτωση που οι φωτογραφίες που θα ληφθούν με τη μηχανή αυτή, πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για ακριβείς μετρήσεις αντικειμένων του φυσικού κόσμου ή για την κατασκευή χαρτών.

Η αεροφωτογράφιση του 1945, που αποτελεί την πρώτη που καλύπτει ολόκληρη την Ελλάδα, έγινε από Αμερικανούς, ενώ εκείνη του 1960 από Άγγλους. Εικάζεται ότι για να καταστεί δυνατή η φωτογράφιση όλου του ελλαδικού χώρου σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν περισσότερες από μία φωτομηχανές εναέριων λήψεων. Το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι, τόσο οι Αμερικανοί όσο και οι Άγγλοι, κατά την αποχώρησή τους από την Ελλάδα πήραν μαζί τους τις φωτομηχανές αυτές και τα πιστοποιητικά διακρίβωσής τους, με αποτέλεσμα ο εσωτερικός προσανατολισμός των αεροφωτογραφιών του 1945 και του 1960 να είναι άγνωστος. Ωστόσο, για τις αεροφωτογραφίες του 1945 υπάρχει μία λίστα με τις σταθερές (c) των μηχανών λήψης, οι τιμές των οποίων μπορούν να διατεθούν στο κοινό από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού

(Γ.Υ.Σ.), που είναι και ο φορέας διάθεσης των ιστορικών αεροφωτογραφιών. Για τις αεροφωτογραφίες του 1960 η τιμή της σταθεράς της μηχανής αναγράφεται πάνω τους.

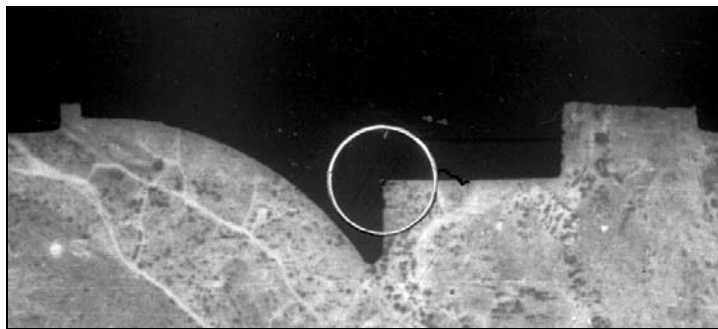
Για την αντιμετώπιση του προβλήματος του άγνωστου εσωτερικού προσανατολισμού των ιστορικών αεροφωτογραφιών του 1945 και του 1960, ακολουθείται μία συγκεκριμένη μεθοδολογία από διάφορους φορείς του ελληνικού δημοσίου, όπως επίσης και από ιδιωτικά γραφεία μελετών, τα βήματα της οποίας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του πρώην Υπουργείου Γεωργίας, είναι:

- ✓ *Η σήμανση τεσσάρων εικονοσημάτων σε συσκευή μεταφοράς φωτοσημείων επί αεροφωτογραφιών (PUG, με διάμετρο $d=40\mu\text{m}$), στην περίπτωση που αυτά δεν υπάρχουν.* Τα εικονοσημάτα είναι σημεία με σταθερή σήμανση στο εσωτερικό του σώματος κάθε μετρητικής φωτομηχανής, μεταξύ του φακού και του αρνητικού, και απεικονίζονται στο αρνητικό με κάθε λήψη. Σκοπός τους είναι ο προσδιορισμός της θέσης του κέντρου της φωτογραφίας και ο ορισμός του ορθογώνιου συστήματος συντεταγμένων της. Αποτελούν τη βασική διαφορά μεταξύ της μετρικής κάμερας και μιας κοινής αναγνωριστικής ή ερασιτεχνικής φωτογραφικής μηχανής [Πατιάς 1991]. Συνεπώς, το γεγονός ότι σε κάποιες από τις αεροφωτογραφίες του 1945 και του 1960 δεν υπάρχουν εικονοσημάτα, ενισχύει την υποψία ότι, μεταξύ των φωτομηχανών που χρησιμοποιήθηκαν τότε από τους Αμερικανούς και τους Άγγλους, υπήρχαν πιθανότατα και αναγνωριστικές, μη μετρητικές μηχανές [Λιάπη 2007].
- ✓ *Η σάρωση των διαθετικών των ιστορικών αεροφωτογραφιών σε επίπεδο φωτογραμμετρικό σαρωτή και σε ανάλυση καλύτερη από $15\mu\text{m}$ ή 1693 dpi .* Σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές Σύνταξης Ιστορικών Ψηφιακών Ορθοφωτοχαρτών του Εθνικού Κτηματολογίου, ο χρησιμοποιούμενος σαρωτής θα πρέπει να είναι πρόσφατα βαθμονομημένος (εντός του τελευταίου έτους), η γεωμετρική του ακρίβεια να είναι καλύτερη από $5\mu\text{m}$ και η ενεργή του επιφάνεια να υπερκαλύπτει την επιφάνεια της αεροφωτογραφίας ($24,5\text{cm} \times 24,5\text{cm}$) [Κτηματολόγιο Α.Ε. 2005]. Η σάρωση δεν επιτρέπεται στις εκτυπωμένες ιστορικές αεροφωτογραφίες, αλλά μόνο στα διαθετικά των ιστορικών αεροφωτογραφιών, δηλαδή στα θετικά αντίγραφα των πρωτότυπων αρνητικών τους, που μπορούν να παραχθούν είτε μέσω της φωτογράφισης των αρνητικών, ή μέσω της εξ επαφής έκθεσής τους σε ειδικούς εκτυπωτές [Πατιάς 1991]. Η κατάλληλη σάρωση των διαθετικών, τα οποία διατηρούν την υψηλή ακρίβεια των αρνητικών, οδηγεί στην αξιοποίηση του μέγιστου δυνατού ραδιομετρικού εύρους τους και στην ύπαρξη, στο ιστόγραμμα των παραγόμενων αρχείων, όλων των τόνων του αρχικού υλικού με την ίδια συχνότητα εμφάνισης τους [Κτηματολόγιο Α.Ε. 2005]. Πριν την έναρξη της διαδικασίας σάρωσης, τα διαθετικά υπόκεινται σε διαδικασία εξουδετέρωσης του στατικού ηλεκτρισμού και σε καθαρισμό με τη χρήση συσκευής ιονιστή υψηλής τάσης, προκειμένου να μειωθούν οι πιθανότητες παρουσίας σκόνης ή άλλων υπολειμμάτων. Σημάδια από υαλογράφους, μαρκαδόρους κ.λ.π. αφαιρούνται όπου είναι εφικτό, χωρίς όμως να δημιουργούνται βλάβες στα διαθετικά. Κατά τη διάρκεια της σάρωσης, δεν επιτρέπεται η συμπίεση της πρωτογενώς παραγόμενης ψηφιακής εικόνας. Οι παραγόμενες, ψηφιακά, σαρωμένες εικόνες θα πρέπει να είναι πλήρεις, χωρίς να εμφανίζουν γραμμές θορύβου από κακή σάρωση (bad scan lines), κενά τμήματα εικόνας ή διπλή εικόνα. Το εξαγόμενο από τη σάρωση ψηφιακό αρχείο (εικόνα) είναι σε μορφή TIFF, untitled, uncompressed, ενώ η τελική ραδιομετρική ανάλυση της κάθε εικόνας πρέπει να είναι 8-bit ανά κανάλι [Κτηματολόγιο Α.Ε. 2005]. Οι προδιαγραφές που, κατά την Κτηματολόγιο Α.Ε., θα πρέπει τηρούνται για τη σάρωση των ιστορικών αεροφωτογραφιών παρουσιάζονται συνοπτικά στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 1.2).

Γεωμετρική ακρίβεια σαρωτή	< 5 μm
Ανάλυση σάρωσης	< 15 μm
Ραδιομετρική Ανάλυση	8-bit, 256 επίπεδα τιμών (0 = μαύρο, 255 = λευκό)
Κορεσμός φωτεινότητας (Luminosity Saturation)	Δεν υπερβαίνει το 0.5% για κάθε άκρο του ιστογράμματος (0 και 255).
Τύπος αρχείων	TIFF, untitled, uncompressed

Πίνακας 1.2: Οι βασικές προδιαγραφές σάρωσης των ιστορικών αεροφωτογραφιών, κατά την Κτηματολογία Α.Ε. [Κτηματολόγιο Α.Ε. 2005].

- ✓ Η εισαγωγή του ψηφιακού αρχείου *.tiff, που δημιουργείται από τη σάρωση, σε κάποιο σχεδιαστικό πακέτο CAD για τη μέτρηση των συντεταγμένων των εικονοσημάτων. Για να γίνει αυτό, πρέπει πρώτα να οριστούν οι κάθετοι άξονες και η αρχή (που είναι η τομή των αξόνων) του συστήματος του φωτογραφικού επιπέδου, ενώνοντας τα αντιδιαμετρικά εικονοσήματα. Θεωρείται ότι το πρωτεύον σημείο ταυτίζεται με την αρχή του συστήματος του φωτογραφικού επιπέδου. Η θέση των σημαινόμενων εικονοσημάτων είναι ίδια σε όλες τις αεροφωτογραφίες, και όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1, ως καταλληλότερο σημείο στόχευσης καθενός από αυτά, επιλέγεται το σημείο τομής του πλαισίου της αεροφωτογραφίας με την κάθετο πλευρά της τριγωνικής προέκτασης που επεκτείνεται μέσα στην φωτογραφία. Η μέτρηση των συντεταγμένων (x,y) των εικονοσημάτων γίνεται με ακρίβεια $\pm 10\mu\text{m}$.
- ✓ Η δημιουργία του αρχείου camera report για κάθε αεροφωτογραφία. Σε αυτό περιέχονται οι συντεταγμένες των εικονοσημάτων στο σύστημα του φωτογραφικού επιπέδου, το ύψος πτήσης του αεροπλάνου και η εστιακή απόσταση ή η σταθερά της μηχανής, η τιμή της οποίας παρέχεται από την υπηρεσία που χορηγεί τις σχετικές αεροφωτογραφίες π.χ. τη Γ.Υ.Σ., τον Οργανισμό Κτηματογραφήσεων και Χαρτογραφήσεων Ελλάδος (Ο.Κ.Χ.Ε.) ή την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.



Εικόνα 1.1: Στοχευόμενο εικονόσημα [Λιάπη 2007].

Η παραπάνω διαδικασία χαρακτηρίζεται ως αρκετά απλουστευμένη, καθώς υιοθετούνται οι παραδοχές ότι η ακτινική διαστροφή είναι μηδενική ($dr=0$) σε όλη την έκταση του εστιακού επιπέδου και ότι το πρωτεύον σημείο ταυτίζεται με την αρχή του συστήματος του φωτογραφικού επιπέδου ($x_0=0$, $y_0=0$). Η ανυπαρξία τιμών για την διόρθωση της ακτινικής διαστροφής και τον ακριβή εντοπισμό του πρωτεύοντος σημείου έχει επίπτωση στον καθορισμό του γεωμετρικού μοντέλου της Κεντρικής Προβολής, ο οποίος γίνεται κατά προσέγγιση, και οδηγεί στην εμφάνιση συστηματικών σφαλμάτων στις εικόνες, το μέγεθος των οποίων δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί. Κατά συνέπεια, η ακρίβεια μέτρησης εικονοσυντεταγμένων στις αεροφωτογραφίες του 1945 και του 1960 υποβαθμίζεται, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά τόσο η ακρίβεια γεωαναφοράς τους, όσο και η ακρίβεια των προϊόντων που προκύπτουν μετά την εφαρμογή οποιασδήποτε άλλης φωτογραμμετρικής διαδικασίας σε αυτές.

Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι η χρήση της παραπάνω μεθοδολογίας για την αντιμετώπιση του προβλήματος του άγνωστου εσωτερικού προσανατολισμού των ιστορικών αεροφωτογραφιών, δεν ενδείκνυται για τη σύνταξη των ιστορικών ψηφιακών ορθοφωτοχαρτών του Εθνικού Κτηματολογίου. Σε περίπτωση εφαρμογής της, τα προβλήματα ακρίβειας στον τελικά παραγόμενο ορθοφωτοχάρτη είναι μεγάλα, ενώ το σφάλμα στο «κλείσιμο» του εσωτερικού προσανατολισμού προκύπτει μεγαλύτερο από 30μm, που είναι η απαιτούμενη ακρίβεια που ορίζουν οι προδιαγραφές [Λιάπη 2007].

Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί εναλλακτικές μέθοδοι για τη φωτογραμμετρική αξιοποίηση, δηλαδή για τον προσδιορισμό των στοιχείων εσωτερικού προσανατολισμού, των ιστορικών αεροφωτογραφιών, οι περισσότερες από τις οποίες στηρίζονται στην ιδέα της συνόρθωσης των παρατηρήσεων με ταυτόχρονη βαθμονόμηση ή αλλιώς με αυτοβαθμονόμηση. Στην περίπτωση αυτή είναι γνωστές μόνο προσεγγιστικές τιμές για τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού, για τις οποίες υπολογίζονται διορθώσεις, εισάγοντάς ως άγνωστα τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού στις εξισώσεις παρατήρησης και συνορθώνοντάς τα μαζί με τις παρατηρήσεις ([Πατιάς 1991], [Kraus 2003]). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι οι διορθώσεις να συγκλίνουν σε μία τιμή κάτω από το όριο ακρίβειας που απαιτείται.

Μία τέτοια μέθοδος παρουσιάζεται στη διπλωματική εργασία της συναδέλφου κ. Χρύσας Λιάπη το 2007, με τίτλο «Μετρητική Εκμετάλλευση Αεροφωτογραφιών Άγνωστου Εσωτερικού Προσανατολισμού», όπου με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού, προτείνεται ενιαία συνόρθωση αεροφωτογραφιών του 1945 με άγνωστο εσωτερικό προσανατολισμό και πιο πρόσφατων αεροφωτογραφιών του 1995 με γνωστό εσωτερικό προσανατολισμό, σε ένα block, θεωρώντας ως αγνώστους τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού των αεροφωτογραφιών του 1945.

Στις μεθόδους αυτές, είναι δυνατή η εισαγωγή στις εξισώσεις παρατήρησης, εκτός των στοιχείων εσωτερικού προσανατολισμού, και διορθωτικών πολυωνύμων που μπορεί να αφορούν τις επιδράσεις της διαστροφής του φακού και των ανωμαλιών του φιλμ στο μοντέλο της Κεντρικής Προβολής. Οι συντελεστές των πολυωνύμων προσδιορίζονται κατά την επίλυση (συνόρθωση block κατά δέσμες με πρόσθετες παραμέτρους ή με αυτοβαθμονόμηση). Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η εξάλειψη των συστηματικών σφαλμάτων, που μπορεί να προέρχονται από εναπομένουσα διαστροφή του φακού, μη επιπεδότητα του φιλμ, ανωμαλίες της ατμοσφαιρικής διάθλασης, την καμπυλότητα της γης κ.τ.λ., με βάση πληροφορίες που προκύπτουν από τα ίδια τα δεδομένα, γεγονός που δικαιολογεί τον όρο αυτοβαθμονόμηση ή αυτορρύθμιση ([Kraus 2003], [Ιωαννίδης 2006]).

Γενικότερα, οι μέθοδοι φωτογραμμετρικής αξιοποίησης των ιστορικών αεροφωτογραφιών που στηρίζονται στην αυτοβαθμονόμηση, χαρακτηρίζονται ως επιστημονικά ορθές, ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις ακριβείας και είναι οικονομικά βιώσιμες, χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει κάθε μέθοδος που προορίζεται για την αντιμετώπιση του εν λόγω προβλήματος [Λιάπη 2007].

Ένας τελευταίος τρόπος με τον οποίο μπορούν να υπολογιστούν τα άγνωστα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού των ιστορικών αεροφωτογραφιών, είναι η εφαρμογή του Άμεσου Γραμμικού Μετασχηματισμού (Direct Linear Transformation, DLT) για κάθε εικόνα. Η προσέγγιση DLT προσφέρεται για αναλυτικές και ψηφιακές αποδόσεις από εικόνες μη μετρητικών φωτομηχανών [Καρράς 1998]. Ο άμεσος γραμμικός μετασχηματισμός των έντεκα παραμέτρων, καθιστά δυνατή τη μετάβαση από το χώρο των δύο, στο χώρο των τριών διαστάσεων, και ειδικά στη φωτογραμμετρία εκφράζει την προβολική σχέση εικόνας και

τρισδιάστατου χώρου μέσω των παρακάτω μη αντιστρεπτών μονοσήμαντων σχέσεων [Ιωαννίδης 2006]:

$$x = \frac{a_{11}X + a_{12}Y + a_{13}Z + a_{14}}{a_{31}X + a_{32}Y + a_{33}Z + 1} \quad (1.1)$$

$$y = \frac{a_{21}X + a_{22}Y + a_{23}Z + a_{24}}{a_{31}X + a_{32}Y + a_{33}Z + 1} \quad (1.2)$$

Στις σχέσεις 1.1 και 1.2, (x, y) είναι οι μετρημένες εικονοσυντεταγμένες και (X, Y, Z) οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των έξι τουλάχιστον φωτοσταθερών που απαιτούνται για τον προσδιορισμό των έντεκα συντελεστών a_{ij} . Σε αυτούς είναι ενσωματωμένα τα στοιχεία του εσωτερικού, αλλά και του εξωτερικού, προσανατολισμού της εικόνας, καθώς τα a_{ij} είναι συναρτήσεις των εννέα στοιχείων του εσωτερικού και του εξωτερικού μετασχηματισμού [Καρράς 1998]. Οι τιμές των a_{ij} υπολογίζονται μετά από συνόρθωση με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων.

Οι εξισώσεις 1.1 και 1.2 είναι επίσης δυνατό να αντιμετωπιστούν αυστηρά ως μη γραμμικές, να γραμμικοποιηθούν δηλαδή γύρω από προσεγγιστικές τιμές των συντελεστών, οι οποίες έχουν προκύψει αυτόματα από μία πρώτη, άμεση επίλυση των εξισώσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει δυνατότητα να εισαχθούν ως πρόσθετες παράμετροι και οι συντελεστές των πολυωνύμων της ακτινικής διαστρόφης του φακού. Αν, τέλος, είναι δεδομένα ορισμένα από τα στοιχεία εσωτερικού προσανατολισμού, αυτά μπορούν να εισαχθούν ως δεσμεύσεις [Καρράς 1998].

1.3.2 Το πρόβλημα της εύρεσης και στόχευσης σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων

Η κλασική διαδικασία προσδιορισμού των στοιχείων εξωτερικού προσανατολισμού ενός μπλοκ επικαλυπτόμενων αεροφωτογραφιών, δηλαδή των γεωδαιτικών συντεταγμένων (X_0, Y_0, Z_0) του προβολικού κέντρου και των γωνιών στροφής (ω, ϕ, κ) του οπτικού άξονα της φωτομηχανής, είναι αυτή του αεροτριγωνισμού. Η επίλυσή του προϋποθέτει τη γνώση των γεωδαιτικών συντεταγμένων ορισμένων σημείων, που μπορούν να διακριθούν ευκρινώς τόσο στις αεροφωτογραφίες, όσο και πάνω στη γήινη επιφάνεια ή σε χαρτογραφικές αναπαραστάσεις της γήινης επιφάνειας (π.χ. διασταυρώσεις οδικών αρτηριών). Τα σημεία αυτά που ονομάζονται σημεία γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων ή φωτοσταθερά ή σημεία επίγειου ελέγχου (Ground Control Points, GCPs), επιλέγονται έτσι ώστε να είναι κατανοημένα κυρίως στην περίμετρο του μπλοκ, και η θέση τους στην επιφάνεια της γης προσδιορίζεται είτε από κάποιο διαθέσιμο χάρτη, ή από τοπογραφικές μετρήσεις με κλασικές διαδικασίες, με τριγωνισμό ή με GPS ([Ιωαννίδης 2006]).

Η γεωαναφορά των ιστορικών αεροφωτογραφιών με την κλασική διαδικασία του αεροτριγωνισμού όμως, σε σχέση με τις πιο πρόσφατες αεροφωτογραφίες, παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερες δυσκολίες ως προς την εύρεση σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων. Το γεγονός αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο, καθώς, όπως προαναφέρθηκε, οι αεροφωτογραφίες του 1945 και του 1960 είναι οι παλαιότερες που μπορούν να αξιοποιηθούν φωτογραμμετρικά, και από τότε μέχρι σήμερα, δηλαδή μέσα σε διάστημα 65 ή 50 ετών αντίστοιχα, έχουν σημειωθεί εντυπωσιακές μεταβολές στο φυσικό και το ανθρωπογενές περιβάλλον των περιοχών της χώρας μας: παλιά κτίρια έχουν κατεδαφιστεί, νέα έχουν ανεγερθεί, νέοι δρόμοι έχουν κατασκευαστεί, οι παλαιότεροι έχουν αναδιαμορφωθεί ή

καταργηθεί, ρέματα έχουν μπαζωθεί, πυκνή βλάστηση έχει αναπτυχθεί, δασικές εκτάσεις έχουν αποτεφρωθεί ή έχουν μετατραπεί σε καλλιεργήσιμες κ.λ.π.

Το πρόβλημα εντείνεται ακόμα περισσότερο, λόγω της μέτριας έως κακής ποιότητας των ιστορικών αεροφωτογραφιών, και ιδιαίτερα των αεροφωτογραφιών του 1945. Λόγω της παλαιότητας των λήψεων, οι φωτομηχανές που χρησιμοποιήθηκαν δε διέθεταν μηχανισμό αντιστάθμισης της πρόσθιας κίνησης (Forward Motion Compensation, F.M.C.), ο οποίος επιτρέπει την ικανοποιητική εξάλειψη του σφάλματος που προκαλείται στην εικόνα από την κίνηση του αεροσκάφους κατά την στιγμή της λήψης ([Γεωργόπουλος 2005], [Λιάπη 2007]). Ο μηχανισμός αυτός στηρίζεται στην κίνηση του φιλμ (αντίθετα με τη φορά κίνησης του αεροσκάφους), ώστε η σχετική φαινομενική κίνηση ενός αντικειμένου κατά τη διάρκεια της έκθεσης του φιλμ να είναι τόσο μικρή, που να μην επιδρά στην ποιότητα του αρνητικού [Πατιάς 1991]. Η έλλειψη του μηχανισμού αυτού δημιουργεί επιπλέον διαστροφή στη ληφθείσα αεροφωτογραφία κατά τη διάρκεια της έκθεσης του φιλμ, η οποία σε συνδυασμό με τη χαμηλή ραδιομετρική ανάλυση οδηγεί στη μειωμένη ευκρίνειά της. Έτσι, ακόμα κι αν υπάρχουν κοινά σημεία ανάμεσα στις ιστορικές αεροφωτογραφίες και τη γήινη επιφάνεια ή το χάρτη που την αναπαριστά, δεν είναι δυνατό να σκοπευθούν με την απαιτούμενη ακρίβεια. Στην ιδανική περίπτωση όπου δε θα υπήρχαν τέτοιου είδους προβλήματα, η ακρίβεια στόχευσης σημείων σε αεροφωτογραφίες του 1945 σαρωμένων με ανάλυση 15 μ m θα ήταν πολύ καλή, καθώς το μέγεθος κάθε pixel στο έδαφος δεν ξεπερνά τα 15 μ m \times 42.000=63cm.

Ως αποτέλεσμα των προβλημάτων που αναλύθηκαν στις δύο προηγούμενες παραγράφους, οι ιστορικές αεροφωτογραφίες γεωαναφέρονται με σφάλμα πολλών μέτρων, τόσο οριζοντιογραφικά, όσο και υψομετρικά. Η ακρίβεια με την οποία προσδιορίζονται, συνήθως, τα στοιχεία του εξωτερικού τους προσανατολισμού, εφαρμόζοντας την κλασική διαδικασία του αεροτριγωνισμού, κυμαίνεται από 12-15m στην καλύτερη περίπτωση και μπορεί να φτάσει και τα 20m ή και παραπάνω, όταν η περιοχή μελέτης παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο. Όπως είναι φυσικό, αυτό έχει αντίκτυπο στην ακρίβεια των παραγόμενων προϊόντων, τα οποία μπορεί να είναι χάρτες, Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Terrain Model, DTM), ορθοφωτογραφίες, ορθοφωτοχάρτες κ.λ.π. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η προσπάθεια βελτίωσης της ακρίβειας γεωαναφοράς των ιστορικών αεροφωτογραφιών, έτσι ώστε οι ιστορικοί ορθοφωτοχάρτες που θα παραχθούν να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβείς.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε μία προσπάθεια μείωσης των σφαλμάτων γεωαναφοράς των αεροφωτογραφιών του 1945 που οφείλονται στη δυσκολία εύρεσης και στόχευσης σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε μια νέα μεθοδολογία που στηρίζεται στον εντοπισμό και την ταύτιση κοινών γραμμικών στοιχείων (καμπύλων γραμμών) ανάμεσα στις παλαιές εικόνες και σε πρόσφατα δεδομένα, όπως δορυφορικές εικόνες ή τοπογραφικούς χάρτες. Οι καμπύλες αυτές γραμμές μπορεί να αναπαριστούν τμήματα του οδικού ή του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης, τα οποία, αν και το πιθανότερο είναι να έχουν υποστεί κάποιες αλλοιώσεις, θεωρείται ότι μπορούν να αναγνωριστούν ακόμη και σήμερα. Η εύρεση κοινών σημειοσειρών ανάμεσα σε παλιά και νέα δεδομένα, όπως επίσης και η ταύτισή τους, χαρακτηρίζεται ως πιο εύκολη και αξιόπιστη σε σχέση με την αναζήτηση και την αντιστοίχιση κοινών μεμονωμένων σημείων.

Τόσο η κλασική μέθοδος γεωαναφοράς των ιστορικών αεροφωτογραφιών, που στηρίζεται στην εύρεση και σκόπευση σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων, όσο και αυτή που προτείνεται, η οποία χρησιμοποιεί γραμμικά στοιχεία, περιγράφονται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια.

2 ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ: Η ΚΛΑΣΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

2.1 Γενικά

Η κλασική διαδικασία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό των στοιχείων εξωτερικού προσανατολισμού (X_0 , Y_0 , Z_0 , ω , φ , κ) ενός μπλοκ επικαλυπτόμενων αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων, παλαιών ή πρόσφατων, και κατ' επέκταση για τη γεωαναφορά τους, είναι αυτή του αεροτριγωνισμού.

Σύμφωνα με τον ορισμό που δόθηκε το 1988 από τη Διεθνή Ένωση Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS): «*Αεροτριγωνισμός* είναι η διαδικασία πύκνωσης του οριζοντιογραφικού και υψομετρικού δικτύου ελέγχου, κατά την οποία οι μετρήσεις σε επικαλυπτόμενες φωτογραφίες συσχετίζονται σε ενιαία λύση στο χώρο με τη βοήθεια των προοπτικών ιδιοτήτων των εικόνων» [Ιωαννίδης 2006].

Συνεπώς, εκτός από τα στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού όλων των εικόνων, ως κύριο προϊόν της διαδικασίας του αεροτριγωνισμού θεωρούνται επιπλέον οι τρισδιάστατες γεωδαιτικές συντεταγμένες συγκεκριμένων σημείων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φωτοσταθερά για την εφαρμογή οποιασδήποτε φωτογραμμετρικής μεθόδου και τεχνικής, όπως π.χ. της στερεοαπόδοσης, της παραγωγής ορθοφωτογραφίας κ.ο.κ. Τα σημεία αυτά, που ονομάζονται σημεία σύνδεσης, καθώς συνδέουν τις εικόνες μεταξύ τους μέσα σε κάθε λωρίδα αλλά και μεταξύ των λωρίδων του μπλοκ, εμφανίζονται σε περισσότερες από μία εικόνες κι επομένως μετρώνται σε περισσότερα του ενός στερεομοντέλα. Ως αποτέλεσμα, η εφαρμογή αεροτριγωνισμού οδηγεί στην απαλλαγή από την ανάγκη ύπαρξης, σε κάθε στερεοσκοπικό μοντέλο, τριών φωτοσταθερών προσδιορισμένων με επίγειες γεωδαιτικές μεθόδους [Kraus 2003]. Έτσι, επιτυγχάνεται σημαντικός περιορισμός των χρονοβόρων και υψηλού κόστους τοπογραφικών εργασιών υπαίθρου, που χρειάζονται σε διαφορετική περίπτωση για τον προσδιορισμό των φωτοσταθερών.

Πρέπει να αναφερθεί βέβαια, ότι στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται σύγχρονοι ψηφιακοί φωτογραμμετρικοί σταθμοί για μία διαδικασία στερεοαπόδοσης ή σύνταξης ορθοφωτογραφίας, τα στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων αποτελούν το μόνο κύριο προϊόν επίλυσης του αεροτριγωνισμού, αφήνοντας ως παραπροϊόν τις προσδιοριζόμενες συντεταγμένες των σημείων σύνδεσης. Αυτό συμβαίνει καθώς τα συγκεκριμένα όργανα παρέχουν τη δυνατότητα απευθείας εισαγωγής των παραπάνω στοιχείων [Ιωαννίδης 2006].

Όπως αναφέρει ο Γεωργόπουλος (1993), η εφαρμογή του αεροτριγωνισμού γίνεται σε τρία στάδια. Αρχικά, πραγματοποιείται μονοσκοπικά ή στερεοσκοπικά η διαδικασία μέτρησης των φωτογραμμετρικών στοιχείων εισόδου, που μπορεί να είναι εικονοσυντεταγμένες, συντεταγμένες λωρίδας ή συντεταγμένες μοντέλου (κατάλληλα προσανατολισμένου) των φωτοσταθερών και των σημείων σύνδεσης. Επίσης, προσδιορίζονται και εξαλείφονται τα συστηματικά ή τα μεγάλα και πολύ μεγάλα χονδροειδή σφάλματα, όπως είναι π.χ. η διαφορετική αρίθμηση του ίδιου σημείου σε διαδοχικές φωτογραφίες, καθώς η ύπαρξή τους εμποδίζει συχνά τη σύγκλιση της επίλυσης [Ιωαννίδης 2006].

Στο επόμενο στάδιο, με τη χρήση κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων και υπολογισμών γίνεται σύνδεση και συνόρθωση των προηγούμενων μετρήσεων που αναφέρονται σε γειτονικά στερεοζεύγη, ώστε αυτά να αποτελέσουν ένα ενιαίο σύνολο, που ονομάζεται λωρίδα ή ζώνη, και να συσχετιστούν με το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Στην περίπτωση που οι μετρήσεις αναφέρονται σε πολλές παράλληλες μεταξύ τους λωρίδες, το ενιαίο σύνολο

λωρίδων που προκύπτει από την ταυτόχρονη συνόρθωσή τους λέγεται μπλοκ ή συγκρότημα λωρίδων.

Το τρίτο και τελευταίο στάδιο του αεροτριγωνισμού, που πραγματοποιείται συνήθως παράλληλα με το δεύτερο, σχετίζεται με την ανίχνευση και εξάλειψη τυχόν σφαλμάτων που έχουν υπείσθαι κατά τα προηγούμενα βήματα ή οφείλονται σε άλλους παράγοντες.

Επομένως, στόχος της συνόρθωσης των μετρήσεων του αεροτριγωνισμού, εκτός από τον υπολογισμό των στοιχείων που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι και η εξάλειψη των σφαλμάτων. Συνόρθωση είναι δυνατό να γίνει είτε στο επίπεδο, είτε στο χώρο, με πιο συνηθισμένη τη δεύτερη περίπτωση (συνόρθωση στις τρεις διαστάσεις), ώστε να προκύψουν οι τρισδιάστατες γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων σύνδεσης.

Σε κάθε περίπτωση, για την πραγματοποίηση της συνόρθωσης των μετρήσεων του αεροτριγωνισμού είναι απαραίτητη η γνώση των γεωδαιτικών συντεταγμένων κάποιων σημείων, ευδιάκριτων τόσο στις εικόνες, όσο και πάνω στη γήινη επιφάνεια ή σε χαρτογραφικές αναπαραστάσεις της γήινης επιφάνειας. Όπως προαναφέρθηκε, τα σημεία αυτά ονομάζονται σημεία γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων ή φωτοσταθερά ή σημεία επίγειου ελέγχου (Ground Control Points, GCPs), επιλέγονται έτσι ώστε να είναι κατανοημένα κυρίως στην περίμετρο του μπλοκ, και η θέση τους στην επιφάνεια της γης προσδιορίζεται είτε από κάποιο διαθέσιμο χάρτη, ή από τοπογραφικές μετρήσεις με κλασικές διαδικασίες, με τριγωνισμό ή με GPS. Οι συντεταγμένες λωρίδας ή οι συντεταγμένες μοντέλου ή οι εικονοσυντεταγμένες των σημείων αυτών μαζί με τις γεωδαιτικές τους συντεταγμένες, παρέχουν σε συνδυασμό με τις συντεταγμένες λωρίδας ή τις συντεταγμένες μοντέλου ή τις εικονοσυντεταγμένες των σημείων σύνδεσης, την πληροφορία για τη συγχώνευση των μοντέλων σε ενιαίο σύνολο και τη συσχέτισή τους με το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

Η κατανομή και το πλήθος των αναγκαίων αυτών φωτοσταθερών διαφέρουν σε κάθε περίπτωση αεροτριγωνισμού και εξαρτώνται από μία σειρά παραγόντων, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι ([Πατιάς 1991], [Λιάπη 2007]):

- ✓ το ανάγλυφο της περιοχής (ΔZ),
- ✓ η κλίμακα της φωτογράφισης ($k = \frac{c}{H}$),
- ✓ η κατά μήκος (p %) και κατά πλάτος (q %) επικάλυψη των εικόνων του μπλοκ,
- ✓ το πλήθος των σχηματιζόμενων στερεοζευγών και η διάταξή τους,
- ✓ η μεθοδολογία επίλυσης του αεροτριγωνισμού,
- ✓ το είδος τους, αν δηλαδή είναι οριζοντιογραφικά ή υψομετρικά, και τέλος
- ✓ η απαιτούμενη ακρίβεια.

Όσον αφορά την αναγνώριση και την ακρίβεια σκόπευσης των σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων στις εικόνες, εργασία κατά την οποία υπάρχει πιθανότητα εισαγωγής χονδροειδών σφαλμάτων στη διαδικασία του αεροτριγωνισμού, εξαρτάται κυρίως από [Ιωαννίδης 2006]:

- ✓ τον τρόπο σκόπευσης των σημείων, αν δηλαδή σκοπεύονται μονοσκοπικά ή στερεοσκοπικά,
- ✓ την εμπειρία του χειριστή του φωτογραμμετρικού οργάνου και του χειριστή του πακέτου των προγραμμάτων επίλυσης του αεροτριγωνισμού,
- ✓ την κλίμακα και την ποιότητα των εικόνων, η οποία συχνά σχετίζεται με την παλαιότητά τους,
- ✓ τη μορφολογία της περιοχής όπου γίνεται ο αεροτριγωνισμός, και
- ✓ το είδος των σημείων που παρατηρούνται.

2.2 Μεθοδολογίες Επίλυσης Αεροτριγωνισμών

Υπάρχουν τρεις βασικές μεθοδολογίες επίλυσης αεροτριγωνισμών, που διαφέρουν ως προς το μαθηματικό μοντέλο συνόρθωσης που χρησιμοποιούν [Ιωαννίδης 2006]:

- ✓ η μέθοδος των διαδοχικών προσανατολισμών, με εφαρμογή σε αναλογικά φωτογραμμετρικά όργανα,
- ✓ η μέθοδος των ανεξάρτητων μοντέλων, με εφαρμογή σε αναλογικά ή αναλυτικά φωτογραμμετρικά όργανα, και τέλος
- ✓ η μέθοδος της συνόρθωσης κατά δέσμες, η οποία είναι η πιο σύγχρονη και περισσότερο διαδεδομένη, με εφαρμογή στους περισσότερους σύγχρονους ψηφιακούς φωτογραμμετρικούς σταθμούς.

Στη συνέχεια, αναπτύσσεται συνοπτικά η μέθοδος της συνόρθωσης κατά δέσμες.

2.2.1 Η μέθοδος της συνόρθωσης κατά δέσμες

Στη μέθοδο της συνόρθωσης κατά δέσμες, τα δεδομένα είναι ένα σύνολο εικόνων, σε σχηματισμό λωρίδας ή μπλοκ, με τουλάχιστον 60% κατά μήκος και 20% κατά πλάτος επικάλυψη. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο, αποκαθίσταται με αναλυτικό και άμεσο τρόπο η σχέση ανάμεσα στις συντεταγμένες εικόνας (εικονοσυντεταγμένες), που είναι και οι παρατηρούμενες ποσότητες, και τις γεωδαιτικές συντεταγμένες, χωρίς τη μεσολάβηση συντεταγμένων μοντέλου ή συντεταγμένων λωρίδας. Στη συνόρθωση κατά δέσμες το μοναδιαίο στοιχείο είναι η εικόνα ή αλλιώς η δέσμη ακτίνων στο χώρο, η οποία ορίζεται για κάθε εικόνα από τις εικονοσυντεταγμένες και το αντίστοιχο προβολικό κέντρο [Kraus 2003].

Οι n εικόνες του μπλοκ που συμμετέχουν στην επίλυση του αεροτριγωνισμού, προσανατολίζονται ταυτόχρονα με ένα βήμα, καθώς, με τη βοήθεια σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων, προσδιορίζονται ταυτόχρονα τα $6n$ στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού για τις n δέσμες των εικόνων του μπλοκ, όπως επίσης και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων σύνδεσης. Η πληροφορία που απαιτείται για το σκοπό αυτό είναι οι εικονοσυντεταγμένες των σημείων σύνδεσης και οι εικονοσυντεταγμένες και γεωδαιτικές συντεταγμένες των φωτοσταθερών [Kraus 2003].

Η αρχή της συνόρθωσης κατά δέσμες μπορεί συνεπώς να διατυπωθεί ως εξής:

Οι δέσμες

- ✓ μετατοπίζονται (τρεις μετατοπίσεις X_0 , Y_0 , Z_0) και
 - ✓ στρέφονται (τρεις στροφές ω , φ , κ),
- έως ότου οι ομόλογες ακτίνες
- ✓ να τέμνονται κατά το δυνατόν καλύτερα στα σημεία σύνδεσης και / ή
 - ✓ να ταυτίζονται κατά το δυνατόν καλύτερα στα φωτοσταθερά.

Η μαθηματική σχέση που συνδέει τις εικονοσυντεταγμένες και τις γεωδαιτικές συντεταγμένες μέσω των στοιχείων του εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού είναι η συνθήκη συγγραμμικότητας, που ισχύει για κάθε σημείο.

Οι άγνωστες παράμετροι είναι:

- ✓ τα έξι στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού καθεμιάς από τις εικόνες που συμμετέχουν στην επίλυση και απαρτίζουν το block του αεροτριγωνισμού, και
- ✓ οι τρεις γεωδαιτικές συντεταγμένες κάθε σημείου σύνδεσης.

Συνεπώς, ο συνολικός αριθμός των αγνώστων παραμέτρων σε επίλυση αεροτριγωνισμού με τη μέθοδο των δεσμών είναι $(6 \times n) + (3 \times m)$, όπου n είναι ο αριθμός των εικόνων και m είναι ο αριθμός των άγνωστων σημείων σύνδεσης.

Το σύστημα των εξισώσεων παρατήρησης υπό μορφή πινάκων γράφεται [Μπαλοδήμου 2005]:

$$v = A \delta x - \delta l \quad (2.1)$$

και των κανονικών εξισώσεων (για ισοβαρείς μετρήσεις): $A^T A \delta x = A^T \delta l$ (2.2)

ή $N \delta x = u$ (2.3)

αν τεθεί $N = A^T A$ και $u = A^T \delta l$.

Όπου:

- δx : το διάνυσμα των διορθώσεων των προσεγγιστικών τιμών των αγνώστων παραμέτρων,
- A : ο πίνακας των συντελεστών των αγνώστων ή αλλιώς ο πίνακας σχεδιασμού,
- δl : το διάνυσμα της διαφοράς των στοιχείων που υπολογίστηκαν με τις προσεγγιστικές τιμές των αγνώστων από τα μετρημένα στοιχεία, και
- v : το διάνυσμα των υπολοίπων των μετρήσεων.

Επομένως, από τη συνόρθωση προκύπτουν διορθώσεις (δx) στις προσεγγιστικές τιμές των αγνώστων. Οι τιμές αυτές είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό των μερικών παραγώγων που συμμετέχουν στη γραμμικοποίηση των εξισώσεων παρατήρησης. Για πολύ κακές προσεγγιστικές τιμές, θα πρέπει να θεωρούνται οι διορθωμένες τιμές εκ νέου ως προσεγγιστικές. Η συνόρθωση επαναλαμβάνεται έως ότου οι άγνωστοι της συνόρθωσης του μπλοκ κατά δέσμες παύουν να μεταβάλλονται σημαντικά.

Όσον αφορά την ακρίβεια της μεθόδου συνόρθωσης κατά δέσμες σε κανονικό μπλοκ με 60% κατά μήκος και 20% κατά πλάτος επικάλυψη και προσημασμένα σημεία, για το μεμονωμένο μοντέλο είναι δυνατό να δοθούν οι παρακάτω εμπειρικές τιμές [Kraus 2003]:

Οριζοντιογραφία: $\sigma_{x,y} = \pm 6 \mu\text{m}$ στην εικόνα

Υψομετρία: $\sigma_z = \pm 0.06 \%$ της απόστασης λήψης για οξυγόνιο ή ευρυγόνιο φακό

$\sigma_z = \pm 0.08 \%$ της απόστασης λήψης για υπερευρυγόνιο φακό.

Η εφαρμογή της συνόρθωσης μπλοκ κατά δέσμες με πρόσθετες παραμέτρους ή με αυτοβαθμονόμηση ενδείκνυται στην περίπτωση των λήψεων με μη μετρητικές φωτομηχανές και των αεροφωτογραφιών του 1945, όπου τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού δεν είναι γνωστά. Για τον προσδιορισμό τους εισάγονται ως άγνωστα στις εξισώσεις παρατήρησης και προκύπτουν από την επίλυση των κανονικών εξισώσεων. Η αύξηση του αριθμού των αγνώστων στα συστήματα των εξισώσεων παρατήρησης και των κανονικών εξισώσεων, αντιμετωπίζεται μόνο με τη μέτρηση πρόσθετων φωτοσταθερών και σημείων σύνδεσης, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός τους.

Εκτός από το πρόβλημα του άγνωστου εσωτερικού προσανατολισμού, στις λήψεις με μη μετρητικές φωτομηχανές εμφανίζονται συνήθως σημαντικά προβλήματα παραμορφώσεων είτε λόγω διαστροφής του φακού, είτε λόγω ανωμαλιών του φιλμ, που προκαλούν αποχές από το μοντέλο της ιδανικής κεντρικής προβολής, δηλαδή μετατοπίσεις των ειδώλων στο αρνητικό από τη γεωμετρικά σωστή τους θέση ([Πατιάς 1991], [Kraus 2003]). Οι αρνητικές αυτές επιδράσεις είναι δυνατό να ληφθούν υπόψη κατά τη συνόρθωση του μπλοκ με τη μέθοδο των δεσμών, εάν στις εξισώσεις παρατήρησης εισαχθούν και διορθωτικά πολυώνυμα, των οποίων οι συντελεστές προσδιορίζονται κατά την επίλυση. Οι μέθοδος συνόρθωσης μπλοκ κατά δέσμες με πρόσθετες παραμέτρους αποδεικνύεται, συνεπώς, εξαιρετικά αποτελεσματική για την εξάλειψη των συστηματικών σφαλμάτων, τα οποία μπορεί να προέρχονται από εναπομένουσα διαστρόφη του φακού, από μη επιπεδότητα του φιλμ, από ανωμαλίες της ατμοσφαιρικής διάθλασης κ.λ.π. Τα μοντέλα πρόσθετων παραμέτρων ποικίλουν τόσο ως προς τη δομή τους, όσο και ως προς τον αριθμό των παραμέτρων που

κυμαίνεται από 7 έως και 44. Ο σχεδιασμός τους βασίζεται είτε σε ένα φυσικό μοντέλο παραμορφώσεων, είτε σε καθαρά γεωμετρικές θεωρήσεις, όπου δεν λαμβάνονται υπόψη οι πηγές που προκάλεσαν τις παραμορφώσεις. Με τη μέθοδο επίλυσης με αυτοβαθμονόμηση η ακρίβεια βελτιώνεται κατά μέσο όρο κατά 20-30%, αλλά μπορεί να αυξηθεί έως και 60-70%, ή ακόμα και να χειροτερέψει. Για το λόγο αυτό πρέπει να γίνεται προσεκτικά η επιλογή των πρόσθετων παραμέτρων, όπως επίσης και των φωτοσταθερών. Πρέπει να αναφερθεί, τέλος, ότι επίλυση με πρόσθετες παραμέτρους μπορεί να γίνει και στην περίπτωση της μεθόδου των ανεξάρτητων μοντέλων, με μειωμένη όμως αποτελεσματικότητα καθώς στην περίπτωση αυτή είναι πιο δύσκολος ο έλεγχος των συστηματικών παραμορφώσεων [Ιωαννίδης 2006].

Συνοψίζοντας, τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου συνόρθωσης κατά δέσμες είναι:

- ✓ Η συνόρθωση με την εφαρμογή του αλγορίθμου των εμμέσων παρατηρήσεων γίνεται σε ένα στάδιο υπολογισμών και η κατανομή σφαλμάτων είναι η βέλτιστη, καθώς η σχέση μεταξύ εικονοσυντεταγμένων και γεωδαιτικών συντεταγμένων είναι άμεση, χωρίς ενδιάμεσο βήμα σχηματισμού μοντέλου, που προσθέτει επιπλέον σφάλματα.
- ✓ Για την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων με τη μέθοδο των έμμεσων παρατηρήσεων, μπορεί να χρησιμοποιηθούν οσαδήποτε φωτοσταθερά ή σημεία σύνδεσης. Όσον αφορά τα φωτοσταθερά όμως, πρέπει να αναφερθεί ότι απαιτούνται λιγότερα σε σχέση με τις παλαιότερες μεθοδολογίες επίλυσης αεροτριγωνισμού.
- ✓ Απαιτεί τη διενέργεια του ελάχιστου δυνατού όγκου εργασιών σε φωτογραμμετρικό όργανο, με αποτέλεσμα τον περιορισμό των πιθανών πηγών σφαλμάτων και τη μεγιστοποίηση των επιτυγχανόμενων ακριβειών, σε συνδυασμό βέβαια με την εφαρμογή κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων συνόρθωσης.
- ✓ Είναι δυνατός ο προσανατολισμός και η απόδοση λήψεων άγνωστου εσωτερικού προσανατολισμού.
- ✓ Υπάρχει άμεση δυνατότητα επέκτασης της εφαρμογής της συνόρθωσης μπλοκ κατά δέσμες, με σκοπό την αυτόματη ανίχνευση και εξάλειψη των συστηματικών σφαλμάτων, τα οποία αποτελούν τη βασικότερη πηγή σφαλμάτων στον αεροτριγωνισμό.
- ✓ Είναι δυνατή η συμμετοχή εξωτερικών πληροφοριών (π.χ. γνωστών στοιχείων εξωτερικού προσανατολισμού, γεωδαιτικών παρατηρήσεων ευθειών, γωνιών κ.λ.π., πληροφοριών μορφής, όπως διάταξης σημείων σε ευθεία, επίπεδο, επιφάνεια κ.λ.π.) στη διαδικασία της συνόρθωσης.

2.3 Σφάλματα Αεροτριγωνισμών

Ο αεροτριγωνισμός είναι μια φωτογραμμετρική διαδικασία που θεωρείται ότι οδηγεί στον πολύ ακριβή προσδιορισμό τόσο των στοιχείων εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων, όσο και των τρισδιάστατων γεωδαιτικών συντεταγμένων μεμονωμένων σημείων (σημείων σύνδεσης). Συνεπώς, ο εντοπισμός των παραγόντων που επηρεάζουν την ακρίβεια της επίλυσης του αεροτριγωνισμού και η εξάλειψη ή ο περιορισμός της επίδρασής τους, είναι ιδιαίτερα κρίσιμος για την επιτυχία και τη χρησιμότητα της όλης διαδικασίας [Ιωαννίδης 2006].

Σφάλματα υπεισέρχονται σε κάθε στάδιο της διαδικασίας του αεροτριγωνισμού: στη φωτογράφιση, στις μετρήσεις στα φωτογραμμετρικά όργανα, στη συνόρθωση. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις των σφαλμάτων αυτών με αντίστοιχα κριτήρια.

Ανάλογα με την αιτία που τα προκαλεί διακρίνονται σε:

- ✓ σφάλματα από τα όργανα που χρησιμοποιούνται (φωτομηχανή, σαρωτής, φωτογραμμετρικός σταθμός, αναλυτικό όργανο)
- ✓ σφάλματα χειριστή (υποκειμενικά σφάλματα), και
- ✓ σφάλματα από εξωτερικούς παράγοντες.

Με βάση τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά χωρίζονται σε:

- ✓ τυχαία σφάλματα, που είναι αναπόφευκτα όπως σε κάθε διαδικασία όπου πραγματοποιούνται μετρήσεις,
- ✓ συστηματικά σφάλματα, η εξάλειψη των οποίων είναι δυνατή με τον εμπλουτισμό του μαθηματικού μοντέλου επίλυσης του αεροτριγωνισμού με τις κατάλληλες μαθηματικές συναρτήσεις (μοντέλα πρόσθετων παραμέτρων), και
- ✓ χονδροειδή σφάλματα, που αντιμετωπίζονται με την εφαρμογή ειδικών τεχνικών, που η σωστή επιλογή τους επηρεάζει ουσιαστικά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων του αεροτριγωνισμού.

Τα συστηματικά σφάλματα, ή αλλιώς οι συστηματικές παραμορφώσεις, μπορεί να οφείλονται στην ακτινική διαστροφή των φακών της φωτομηχανής, τη συρρίκνωση του φιλμ, σε ανωμαλίες της ατμοσφαιρικής διάθλασης, κ.λ.π. Υπάρχουν όμως και άλλα συστηματικά σφάλματα, των οποίων η εξάλειψη δεν είναι τόσο εύκολη και η ύπαρξή τους υποδηλώνεται μέσω της ασυμφωνίας που παρατηρείται ανάμεσα στα θεωρητικά αναμενόμενα και τα τελικά εξαγόμενα αποτελέσματα. Μπορούν να διορθωθούν είτε πριν τη συνόρθωση, είτε μετά τη συνόρθωση ή ακόμα και κατά τη διάρκεια της συνόρθωσης, μέσω της μεθόδου επίλυσης με αυτοβαθμονόμηση στην οποία έχει ήδη γίνει αναφορά [Ιωαννίδης 2006].

Τα χονδροειδή σφάλματα μπορεί να οφείλονται σε λάθος σκοπεύσεις στα σημεία, σε λάθη στις συντεταγμένες των φωτοσταθερών ή σε λάθη στην κωδικοποίηση των σημείων. Μπορεί να υπεισέλθουν σε οποιαδήποτε από τις διαδικασίες του αεροτριγωνισμού, δηλαδή στις φωτογραμμετρικές μετρήσεις ή/ και στις επίγειες μετρήσεις για τον προσδιορισμό των φωτοσταθερών, στην αναγνώριση των σημείων στις εικόνες, στην αρίθμηση και κωδικοποίηση των σημείων κ.ο.κ. Τα μεγάλα και πολύ μεγάλα χονδροειδή σφάλματα, που θα πρέπει να προσδιορίζονται και να εξαλείφονται πριν τη συνόρθωση του μπλοκ ώστε να μην εμποδίζουν τη σύγκλιση της επίλυσης, εντοπίζονται συνήθως με διενέργεια ελέγχων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ή με μια σειρά προκαταρκτικών ελέγχων των δεδομένων [Ιωαννίδης 2006].

2.4 Προδιαγραφές Ακρίβειας Αεροτριγωνισμών

Όπως αναφέρει ο Γεωργόπουλος (1993), η μετάδοση των σφαλμάτων και οι συνθήκες ακρίβειας στους αεροτριγωνισμούς είναι προφανώς πιο πολύπλοκο θέμα σε σχέση με ένα ζευγάρι αεροφωτογραφιών. Τα ζητήματα αυτά επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τη μέθοδο επίλυσης αεροτριγωνισμού που επιλέγεται, όπως επίσης και από την περιοχή μελέτης και τα διατιθέμενα φωτοσταθερά. Γενικά, αναφέρεται ότι η ακρίβεια των συνορθώσεων εξαρτάται από μια σειρά παράγοντες, οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι:

- ✓ οι διαστάσεις και το σχήμα της περιοχής μελέτης,
- ✓ η κλίμακα λήψης,
- ✓ η σταθερά της μηχανής,

- ✓ η κατά μήκος και η κατά πλάτος επικάλυψη, και τέλος
- ✓ το είδος και η κατανομή των φωτοσταθερών, σε συνδυασμό με την ακρίβεια μέτρησης των εικονοσυντεταγμένων τους και των γεωδαιτικών συντεταγμένων τους.

Στη χώρα μας δυστυχώς δεν υπάρχουν επίσημες κρατικές προδιαγραφές για την εκτέλεση φωτογραμμετρικών εργασιών και ειδικότερα αεροτριγωνισμών, με εξαίρεση τις Τεχνικές Προδιαγραφές του Εθνικού Κτηματολογίου για τη Σύνταξη Ιστορικών Ψηφιακών Ορθοφωτοχαρτών, αναφορά στις οποίες γίνεται στην επόμενη παράγραφο. Έτσι, οι ενδιαφερόμενοι δημόσιοι ή ιδιωτικοί φορείς, για τις φωτογραμμετρικές αποδόσεις βασίζονται σε κάποιες μη επίσημες, ισχύουσες αποφάσεις [Λιάπη 2007].

2.5 Γεωαναφορά Ιστορικών Αεροφωτογραφιών σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές του Εθνικού Κτηματολογίου

Σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές Σύνταξης Ιστορικών Ψηφιακών Ορθοφωτοχαρτών του Εθνικού Κτηματολογίου, για τη γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών του 1945 και του 1960, όπως επίσης και για τον προσδιορισμό των σημείων προσαρμογής ζεύγους (σημείων σύνδεσης), ακολουθείται κατά κύριο λόγο η διαδικασία του φωτογραμμετρικού αεροτριγωνισμού. Η εκτέλεσή του απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και λογισμικό, που χρησιμοποιούν μία από τις γνωστές μεθόδους επίλυσης και συνόρθωσης κατά συγκροτήματα (block adjustment), όπως είναι η συνόρθωση κατά δέσμες. Σε κάθε φωτογραφία μετράται τουλάχιστον ένα φωτοσταθερό [Κτηματολόγιο Α.Ε. 2007].

Στην περίπτωση μικρού αριθμού μοντέλων, είναι δυνατόν να μην εκτελεσθεί αεροτριγωνισμός, αλλά να πραγματοποιηθεί σχετικός και απόλυτος προσανατολισμός μεμονωμένων στερεοζευγών αεροφωτογραφιών, για την προσαρμογή τους στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ 87). Για την επίτευξη του σχετικού προσανατολισμού, σε κάθε μοντέλο μετρώνται κατ' ελάχιστον δέκα κοινά σημεία (σημεία Gruber), τα οποία επιλέγονται σε κατάλληλες θέσεις, κατανομημένα έτσι ώστε να καλύπτουν το σύνολο του μοντέλου και να επιτρέπουν την απαλοιφή της γ-παράλλαξης, η οποία εξασφαλίζει τη στερεοσκοπική παρατήρηση σε αυτό. Στην περίπτωση ελλειπών μοντέλων, όταν δηλαδή τα σημεία Gruber είτε δε μπορούν να ορισθούν στην ιδανική τους θέση, είτε δεν μπορούν να ορισθούν καθόλου, ο αριθμός των σημείων σύνδεσης αυξάνεται σε τουλάχιστον δώδεκα [Κτηματολόγιο Α.Ε. 2007]. Τέτοιες περιπτώσεις εμφανίζονται όταν ένα μέρος του μοντέλου καταλαμβάνεται από πάγο, άμμο, υδάτινα σώματα κ.λ.π., όταν δηλαδή δεν μπορούν να ορισθούν σημεία τα οποία να εξεταστούν στερεοσκοπικά.

Για την επίτευξη του απόλυτου προσανατολισμού, σε κάθε μοντέλο μετρώνται κατ' ελάχιστον τέσσερα φωτοσταθερά [Κτηματολόγιο Α.Ε. 2007].

Για να πραγματοποιηθεί εσωτερικός έλεγχος ποιότητας του αεροτριγωνισμού, κατά την εκτέλεσή του λαμβάνονται σημεία ελέγχου (check points), ο αριθμός των οποίων ανέρχεται στο 10%, τουλάχιστον, των χρησιμοποιηθέντων φωτοσταθερών. Τα σημεία ελέγχου είναι διαφορετικά από τα χρησιμοποιηθέντα φωτοσταθερά σημεία, ευκρινώς προσδιοριζόμενα, και θα πρέπει να είναι κατανομημένα ισομερώς στο σύνολο της περιοχής, ώστε να περιλαμβάνουν πεδινές και ορεινές εκτάσεις.

Για τη διασφάλιση της απαιτούμενης ποιότητας των τελικών προϊόντων (δηλαδή των ιστορικών ορθοφωτοχαρτών) διεξάγονται έλεγχοι που, όσον αφορά τη διαδικασία του αεροτριγωνισμού, αφορούν τα υπόλοιπα συνόρθωσης ή αλλιώς τα εναπομένοντα σφάλματα (residuals) των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου [Κτηματολόγιο Α.Ε. 2007].

Οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου που απαιτούνται, μπορούν να προσδιοριστούν από [Κτηματολόγιο Α.Ε. 2007]:

- ✓ τις ορθοφωτογραφίες μεγάλης κλίμακας της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.,
- ✓ μετρήσεις πεδίου με GPS,
- ✓ τους υφιστάμενους ορθοφωτοχάρτες του ΥΠ.Α.ΑΝ.Τ (Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων), και τέλος
- ✓ από υπάρχον χαρτογραφικό υλικό ικανοποιητικής ακρίβειας (π.χ. τριγωνομετρικά σημεία, διαθέσιμους τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:1.000, 1:5.000 κ.λ.π.).

Οι επιτυγχανόμενες ακρίβειες αποκατάστασης του εξωτερικού, αλλά και του εσωτερικού προσανατολισμού των ιστορικών αεροφωτογραφιών, πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ακρίβεια των τελικών προϊόντων – ορθοφωτοχαρτών, η οποία για επίπεδο εμπιστοσύνης 90%, τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά θα πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση των 10 m. Η οριζοντιογραφική ($RMSE_{xy}$) και η υψομετρική ($RMSE_z$) ακρίβεια προκύπτουν από τη σύγκριση των συντεταγμένων (X, Y) και Z, αντίστοιχα, επιλεγμένων διακριτών σημείων στα ιστορικά υπόβαθρα, με τις συντεταγμένες των σημείων αυτών, όπως προκύπτουν από ανεξάρτητες μετρήσεις στις πρόσφατες ορθοφωτογραφίες [Κτηματολόγιο Α.Ε. 2007].

3 Η ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

3.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, για τη γεωαναφορά αεροφωτογραφιών με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού απαιτείται ο εντοπισμός φωτοσταθερών σημείων, δηλαδή σημείων με γνωστές συντεταγμένες τόσο στο σύστημα αναφοράς του αντικειμένου (X, Y, Z), όσο και στο σύστημα αναφοράς της εικόνας (x, y) ή του στερεομοντέλου εικόνων (x_m, y_m, z_m). Τα σημεία αυτά πρέπει να μπορούν να εντοπιστούν στις εκάστοτε διαθέσιμες εικόνες, όπως επίσης και στη γήινη επιφάνεια ή σε κάποιο διαθέσιμο τοπογραφικό διάγραμμα. Η διαδικασία της εύρεσης των φωτοσταθερών σημείων είναι, εν γένει, μια χρονοβόρα διαδικασία, ιδιαίτερης όμως σημασίας, αφού από τα σημεία αυτά εξαρτάται η ακρίβεια της γεωαναφοράς και όλων των σχετικών παραγόμενων προϊόντων (ορθοφωτογραφιών, ψηφιακών μοντέλων εδάφους, διανυσματικών στοιχείων κ.λ.π.). Στην ειδική περίπτωση που οι αεροφωτογραφίες είναι ιστορικές και μικρής κλίμακας, όπως αυτές του ιστορικού αρχείου της Γ.Υ.Σ., η διαδικασία της εύρεσης φωτοσταθερών σημείων είναι μια ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία. Εξαιτίας της μικρής κλίμακας (1:30.000 ή 1:42.000), της παλαιότητας (50 έως 65 ετών) και της χαμηλής ευκρίνειας (τεχνολογία λήψης και εμφάνισης αεροφωτογραφιών 50 έως 65 ετών) των αεροφωτογραφιών του 1960 και του 1945, είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να σκοπευθούν αξιόπιστα φωτοσταθερά σημεία, και σε μερικές περιπτώσεις είναι σχεδόν αδύνατο να βρεθούν.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν γραμμικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα δρόμοι, σιδηροδρομικές γραμμές, η ακτογραμμή κ.λ.π., αντί των σημειακών που παραδοσιακά χρησιμοποιούνται, κάτι το οποίο και διερευνάται στην παρούσα εργασία. Τα γραμμικά στοιχεία προσελκύουν το ενδιαφέρον της φωτογραμμετρικής κοινότητας τα τελευταία χρόνια, λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων που εμφανίζουν σε σχέση με τα σημειακά χαρακτηριστικά. Τα κυριότερα από αυτά είναι [Vassilaki et al. 2009]:

1. Η έντονη παρουσία τους στο ανθρωπογενές και το φυσικό περιβάλλον.
2. Είναι πιο εύκολο και αξιόπιστο να εντοπιστούν και να αναγνωριστούν, ακόμα και στην περίπτωση που έχουν υποστεί κάποιες αλλοιώσεις με την πάροδο του χρόνου.
3. Η ταύτισή τους είναι πιο αξιόπιστη, σε αντίθεση με τα σημεία, η ταύτιση των οποίων είναι δύσκολη και η ακριβής θέση τους είναι συχνά αμφίβολη (π.χ. διασταύρωση δρόμων).
4. Αποτελούν πηγή πληροφοριών ελέγχου για όλη την περιοχή ενδιαφέροντος.

Στις επόμενες παραγράφους γίνεται παρουσίαση του προβλήματος της γεωαναφοράς αεροφωτογραφιών με χρήση γραμμικών στοιχείων και παρουσιάζεται η σχετική μέθοδος που αναπτύσσεται στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

3.2 Το Πρόβλημα της Γεωαναφοράς Αεροφωτογραφιών με Χρήση Γραμμικών Στοιχείων

Στην παρούσα εργασία, το πρόβλημα της γεωαναφοράς αεροφωτογραφιών εξετάζεται για εφαρμογές όπου έχει αποκατασταθεί ο σχετικός προσανατολισμός του μοντέλου των αεροφωτογραφιών και ζητείται ο υπολογισμός του απόλυτου προσανατολισμού του ($X_o, Y_o, Z_o, \Omega, \Phi, K, s$), όταν υπάρχουν γνωστά γραμμικά στοιχεία (δρόμοι και ρέματα) στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου (x_m, y_m, z_m) και στο σύστημα αναφοράς του αντικειμένου (X, Y, Z). Τα τρισδιάστατα γραμμικά στοιχεία στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου (x_m, y_m, z_m) έχουν προκύψει με απόδοση σε φωτογραμμετρικό σταθμό. Τα αντίστοιχα

τρισδιάστατα γραμμικά στοιχεία στο σύστημα αναφοράς του αντικειμένου (X, Y, Z) έχουν προκύψει είτε με απόδοση σε φωτογραμμετρικό σταθμό σύγχρονων φωτογραφιών, είτε με ψηφιοποίηση από τοπογραφικά διαγράμματα κατάλληλης κλίμακας σε κατάλληλο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

Το πρόβλημα σε αυτή τη μορφή, όπως άλλωστε και όταν χρησιμοποιούνται σημειακά χαρακτηριστικά, αφορά στον υπολογισμό του τρισδιάστατου στερεού μετασχηματισμού ομοιότητας μεταξύ του συστήματος αναφοράς του μοντέλου (x_m, y_m, z_m) και του συστήματος αναφοράς του αντικειμένου (X, Y, Z).

3.3 Το Πρόβλημα της Ταύτισης Γραμμικών Χαρακτηριστικών

Τα γραμμικά στοιχεία που συναντώνται στις συνήθεις φωτογραμμετρικές εφαρμογές, είναι στοιχεία του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος (ρέματα, ακτογραμμή, δρόμοι, σιδηροδρομικές γραμμές κ.λ.π.), τα οποία στη γενική περίπτωση δεν είναι δυνατό να παρουσιαστούν με συγκεκριμένη μαθηματική σχέση (μη συναρτησιακές καμπύλες ή καμπύλες άγνωστης γεωμετρίας ή φυσικές καμπύλες). Η μορφή αυτών των γραμμικών στοιχείων κατά κανόνα καθορίζεται από πρωτογενείς μετρήσεις σημείων (κόμβων) που έχουν πραγματοποιηθεί με απόδοση ή ψηφιοποίηση εικόνων, χαρτών, στερεομοντέλων κ.λ.π. Στα περισσότερα φωτογραμμετρικά προβλήματα, τα δύο γραμμικά στοιχεία (ή καμπύλες) που πρόκειται να ταυτιστούν, απεικονίζουν μεν το ίδιο χαρακτηριστικό του πραγματικού κόσμου (π.χ. τμήμα του οδικού δικτύου), αλλά λόγω του ότι έχουν εξαχθεί από διαφορετικού τύπου δεδομένα (χάρτες, αεροφωτογραφίες κ.λ.π.) και με διαφορετικές μεθοδολογίες (στερεοσκοπική απόδοση, ψηφιοποίηση κ.λ.π.), οι δύο καμπύλες δεν είναι απόλυτα ίδιες, αφού η θέση, ο αριθμός και η πυκνότητα των κόμβων ποτέ δεν είναι ίδιος αλλά ποικίλει πολύ.

Έτσι, είναι αναπόφευκτη η θεώρηση για τη γενική περίπτωση, ότι οι δύο προς ταύτιση καμπύλες είναι ανεξάρτητες συλλογές διαδοχικών κόμβων, οι οποίοι συνδέονται με ευθύγραμμα τμήματα ή με κάποια άλλη συνάρτηση παρεμβολής, όπως είναι τα κυβικά πολυώνυμα (splines). Σε κάθε περίπτωση, οι αρχικές μετρήσεις ή πληροφορίες που αφορούν τις καμπύλες δίνονται με τη μορφή τρισδιάστατων ή δισδιάστατων συντεταγμένων κόμβων. Στην ειδική περίπτωση που οι καμπύλες έχουν γνωστή μορφή εξίσωσης (όπως ο άξονας οδού ο οποίος σε στροφή έχει μορφή κλωθοειδούς/κύκλου με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν κατασκευαστικές ατέλειες), η ίδια εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνάρτηση “παρεμβολής”.

Δεδομένων των ανωτέρω σχετικά με την μορφή των προς ταύτιση καμπυλών, το πρόβλημα της ταύτισης ανάγεται στην εύρεση κοινών (ομόλογων) σημείων μεταξύ των δύο καμπυλών, ώστε να υπολογιστεί ο κατάλληλος μετασχηματισμός που θα εξασφαλίσει την βέλτιστη υπέρθεση τους.

Το πρόβλημα της ταύτισης χαρακτηριστικών, στη γενική του μορφή, έχει ομαδοποιηθεί από τους (Κο 2003, Κο et al 2003) ανάλογα με την αρχικά διαθέσιμη πληροφορία και την σχέση των προς ταύτιση χαρακτηριστικών.

Όσον αφορά το είδος της αρχικά διαθέσιμης πληροφορίας διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

1. Να υπάρχει πλήρης πληροφορία σχετικά με τις ομολογίες των προς ταύτιση χαρακτηριστικών. Στην περίπτωση αυτή πρόκειται απλώς για τον υπολογισμό του κατάλληλου μετασχηματισμού.

2. Να παρέχεται μια πρώτη προσέγγιση σχετικά με τις ομολογίες των προς ταύτιση χαρακτηριστικών. Σε αυτή την περίπτωση ενδείκνυται η εφαρμογή επαναληπτικών μεθόδων, όπως είναι ο αλγόριθμος ICP.

3. Τέλος, μπορεί να μην είναι διαθέσιμη καμία πληροφορία σχετικά με τις ομολογίες των προς ταύτιση χαρακτηριστικών, οπότε απαιτούνται μέθοδοι υπολογισμού της πρώτης προσέγγισης ώστε να μπορέσει να επιτευχθεί η σύγκλιση επαναληπτικών μεθόδων διαδικασιών, όπως είναι ο αλγόριθμος ICP.

Μέθοδοι της περίπτωσης 1 είναι απλές υπολογιστικές μέθοδοι, αφού υπάρχει διαθέσιμη όλη η πληροφορία για την επίλυση του προβλήματος. Μέθοδοι της περίπτωσης 2 είναι μέθοδοι ημι-αυτόματης προσέγγισης του προβλήματος, αφού απαιτείται να υπολογιστεί από τον χρήστη η πρώτη προσέγγιση. Ενώ οι μέθοδοι της περίπτωσης 3 είναι μέθοδοι αυτόματης προσέγγισης αφού αυτές είναι σε θέση να επιλύουν το πρόβλημα χωρίς κανενός είδους πρόσθετη πληροφορία από τον χρήστη.

Σχετικά με τη σχέση των προς ταύτιση χαρακτηριστικών, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις

- 1 ολικής ταύτισης, όπου οι καμπύλες ταυτίζονται στο σύνολό τους.
- 2 μερικής ταύτισης, όπου η ταύτιση των καμπυλών πραγματοποιείται μέσω της ταύτισης μεμονωμένων τμημάτων τους.

Στην παρούσα εργασία θεωρείται το πρόβλημα ολικής ταύτισης χωρίς καμμία αρχική πληροφορία σχετικά με τα ομόλογα σημεία.

3.4 Η Μέθοδος Ταύτισης

Η μέθοδος που αναπτύσσεται στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για εργασίες προσανατολισμού και συσχέτισης ετερογενών τοπογραφικών δεδομένων με χρήση γραμμικών στοιχείων, βασίζεται στον αλγόριθμο Iterative Closest Point (ICP) (Besl 1992, Zhang 1994), έναν αλγόριθμο που εισήχθη ως ένας γενικός αλγόριθμος για την ταύτιση σημειακών, επιφανειακών και γραμμικών στοιχείων και έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα και με επιτυχία σε τοπογραφικές εφαρμογές που αφορούν στην ταύτιση νεφών σημείων. Ο αλγόριθμος ICP αποτελείται από τέσσερα βήματα, που επαναλαμβάνονται μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση του σφάλματος της ταύτισης σε μία τιμή εντός των ορίων ανοχής, τα οποία καθορίζονται από την επιθυμητή ακρίβεια. Τα βήματα αυτά είναι [Vassilaki et al. 2008a]:

- ✓ Υπολογισμός ζευγών πλησιέστερων σημείων
- ✓ Υπολογισμός του μετασχηματισμού
- ✓ Εφαρμογή του μετασχηματισμού
- ✓ Έλεγχος σύγκλισης

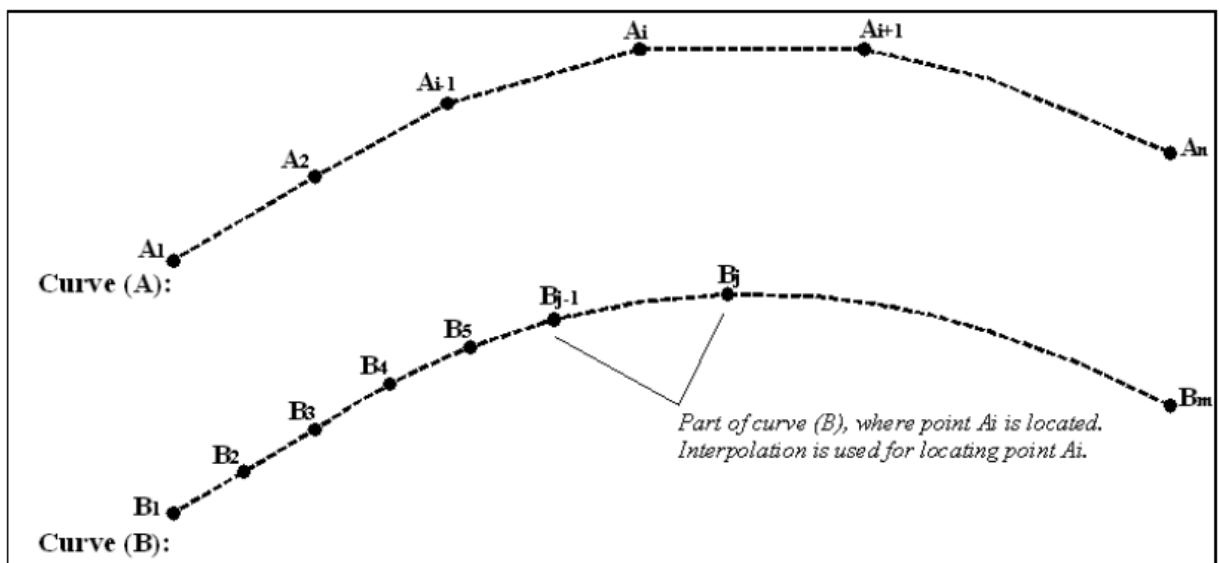
Ο αλγόριθμος ICP παρόλο που εκ πρώτης όψεως είναι ένας εύληπτος αλγόριθμος, είναι κατά γενική ομολογία ιδιαίτερα απαιτητικός σε υπολογιστικό κόστος λόγω του επαναληπτικού χαρακτήρα του. Παρόλα αυτά η μεγαλύτερη αδυναμία του είναι η απαίτηση του για μια καλή πρώτη προσέγγιση της λύσης προκειμένου να συγκλίνει. Σε κάθε περίπτωση πάντως το πιο σημαντικό και απαιτητικό βήμα για την σύγκλιση του αλγορίθμου ICP είναι ο υπολογισμός των ζευγών πλησιέστερων σημείων.

Στις επόμενες υποπαραγράφους παρουσιάζεται αναλυτικά κάθε βήμα της μεθόδου ταύτισης γραμμικών χαρακτηριστικών βάσει του αλγορίθμου ICP για το πρόβλημα της γεωαναφοράς α/φ όπως αυτό παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.2.

3.4.1 Υπολογισμός ζευγών πλησιέστερων σημείων

Ο υπολογισμός των κοντινότερων σημείων μεταξύ δύο καμπυλών (A) και (B) αποτελεί το πρώτο και το πιο κρίσιμο βήμα του αλγορίθμου ICP. Στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας του ΕΜΠ έχει αναπτυχθεί μια νέα μέθοδος για την εύρεση του σημείου της καμπύλης (B) το οποίο είναι πλησιέστερα σε ένα πρωτογενή κόμβο της καμπύλης (A).

Στην ιδανική και θεωρητική περίπτωση που οι καμπύλες αποτελούνταν από ίδιο αριθμό και θέση κόμβων, το πρόβλημα θα ήταν σχετικά απλό, αφού θα έπρεπε ο πεπερασμένος αριθμός κόμβων της μίας καμπύλης να αντιστοιχηθεί βάσει του κριτηρίου ελάχιστης απόστασης με τον επίσης πεπερασμένο αριθμό κόμβων της δεύτερης καμπύλης. Όμως στην συντριπτική πλειοψηφία των πρακτικών εφαρμογών, είναι προφανές ότι η προσέγγιση του προβλήματος από την οπτική της άμεσης αντιστοίχισης πρωτογενών κόμβων είναι αδύνατη, καθώς οι καμπύλες δεν αποτελούνται από αντίστοιχους κόμβους. Η θέση, ο αριθμός και η πυκνότητα των κόμβων είναι τελείως διαφορετική, αφού εξάγονται από διαφορετικά είδη δεδομένων (π.χ. διαφορετικά είδη αισθητήρων, δεδομένα διαφορετικής ανάλυσης κ.λ.π.) και παράγονται με διαφορετικές διαδικασίες (π.χ. χειροκίνητη ψηφιοποίηση, στερεοσκοπική απόδοση, διανυσματοποίηση, τεχνικές εξαγωγής χαρακτηριστικών, κ.α.). Έτσι ένας πρωτογενής κόμβος της μίας καμπύλης δεν αντιστοιχεί, ούτε προσεγγιστικά, σε πρωτογενή κόμβο της άλλης καμπύλης, αλλά σε ένα άγνωστο σημείο μεταξύ πρωτογενών κόμβων. Για να βρεθεί αυτό το σημείο, θα πρέπει να βρεθεί το κοντινότερο σημείο της συνάρτησης παρεμβολής μεταξύ όλων των πρωτογενών κόμβων, που σε περίπτωση μη γραμμικής παρεμβολής οδηγεί σε πρόβλημα έντονα μη γραμμικής ελαχιστοποίησης που επιλύεται με χρονοβόρες διαδοχικές προσεγγίσεις. Αλλά και σε γραμμική παρεμβολή δημιουργείται το πρόβλημα της εύρεσης του κοντινότερου ευθυγράμμου τμήματος με μη ευτελή επίλυση.

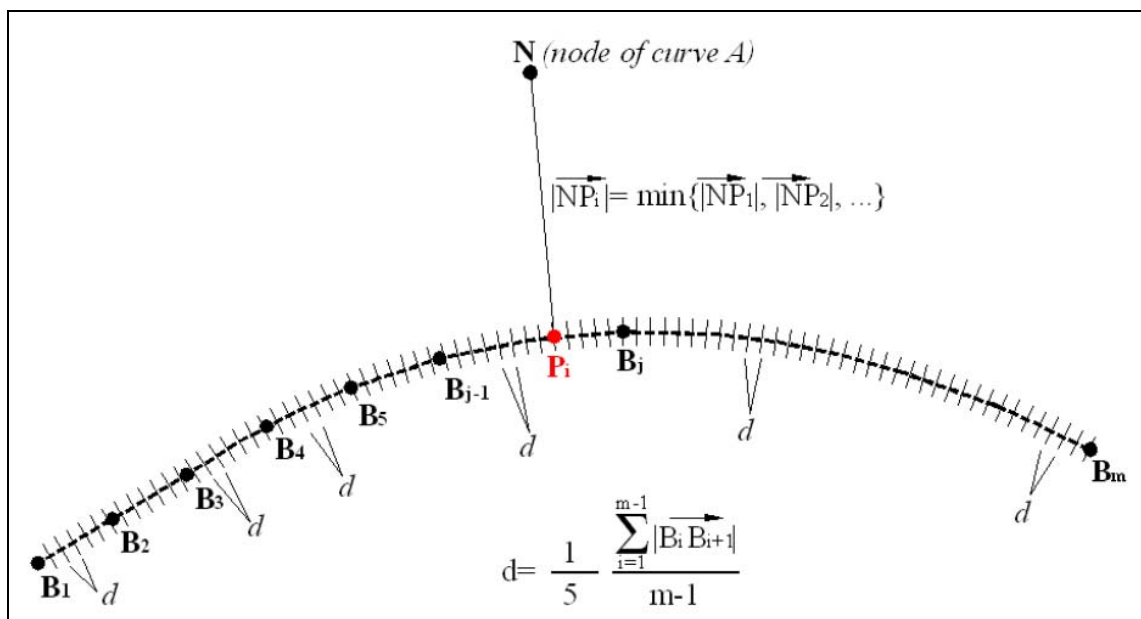


Εικόνα 3.1: Εύρεση της θέσης του κόμβου A_i της καμπύλης (A) στο τμήμα $B_{j-1}B_j$ της καμπύλης (B) ([Vassilaki et al. 2008a]).

Στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας του ΕΜΠ έχει αναπτυχθεί μια νέα μέθοδος για την εύρεση του κοντινότερου σημείου. Αν ήταν δυνατό να ελεγχθεί κάθε ένα από τα άπειρα σημεία της καμπύλης (B), το κοντινότερο θα ήταν αυτό που έχει τη μικρότερη απόσταση. Επειδή όμως αυτό είναι αδύνατο, η καμπύλη (B) μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα μεγάλο πλήθος σημείων παρεμβολής που απέχουν πολύ λίγο μεταξύ τους. Το κοντινότερο σημείο είναι αυτό με τη μικρότερη απόσταση. Προκειμένου το αποτέλεσμα να είναι ακριβές, πρέπει η απόσταση παρεμβολής να είναι αρκετά μικρή, για παράδειγμα κλάσμα του α -priori

σφάλματος των σημείων της καμπύλης (B). Έτσι το σφάλμα που εισάγεται είναι αμελητέο σε σχέση με το σφάλμα των πρωτογενών κόμβων. Η συνάρτηση παρεμβολής μπορεί να είναι οποιαδήποτε ανάλογα με το πρόβλημα, και δεν επιβάλλεται ή περιορίζεται από τη μέθοδο.

Ο υπολογισμός παρεμβαλλόμενων σημείων και στις δύο καμπύλες εισάγει αναπόφευκτα σφάλματα παρεμβολής και στα δύο σημεία. Επιπλέον μεγάλος αριθμός παρεμβαλλόμενων σημείων και στις δύο καμπύλες, που οδηγεί σε αύξηση κοντινότερων ζευγών, δεν οδηγεί απαραίτητα σε καλύτερα αποτελέσματα, αφού από ένα όριο και μετά δεν παρέχουν πρόσθετη πληροφορία, αλλά είναι μεταξύ τους εξηρημένα. Οπότε η αμέσως επόμενη καλύτερη στρατηγική είναι να ταυτιστεί ένας πρωτογενής κόμβος της μίας καμπύλης (καμπύλη A), ο οποίος δεν έχει καθόλου σφάλμα παρεμβολής, με ένα σημείο της άλλης καμπύλης (καμπύλη B), το οποίο συνήθως βρίσκεται ανάμεσα σε δύο κόμβους της και παρουσιάζει το αναπόφευκτο σφάλμα παρεμβολής. Το σφάλμα αυτό προφανώς μειώνεται όσο πιο πυκνοί είναι οι κόμβοι της καμπύλης (B). Συνεπώς, η πυκνότητα των κόμβων θα πρέπει να αποτελεί το βασικό κριτήριο για τον καθορισμό της καμπύλης στην οποία θα πρέπει να γίνεται η παρεμβολή. Εφόσον οι δύο καμπύλες θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν το ίδιο χαρακτηριστικό του πραγματικού κόσμου, η παρεμβολή θα πρέπει να γίνεται στην καμπύλη που εμφανίζει τη μεγαλύτερη πυκνότητα, κι επομένως το μεγαλύτερο αριθμό κόμβων, και η οποία θα χαρακτηρίζεται ως δεύτερη καμπύλη (B). Συνοψίζοντας, κάθε κόμβος της πρώτης καμπύλης (A), η οποία έχει το μικρότερο αριθμό κόμβων, θα πρέπει να αντιστοιχηθεί σε ένα σημείο, στη συντριπτική πλειοψηφία παρεμβαλλόμενο, της δεύτερης καμπύλης (B). Και επειδή ο αλγόριθμος ICP, βασίζεται σε ζεύγη πλησιέστερων σημείων, κάθε κόμβος της πρώτης καμπύλης (A) θα πρέπει να αντιστοιχηθεί σε ένα (παρεμβαλλόμενο) σημείο της καμπύλης (B) που να είναι πλησιέστερα στον πρωτογενή κόμβο της καμπύλης (A).



Εικόνα 3.2: Η βασική ιδέα της μεθόδου υπολογισμού των κοντινότερων σημείων με την τεχνική του «διαίρει και βασίλευε» ([Vassilaki et al. 2008a]).

Είναι προφανές ότι η μικρή απόσταση παρεμβολής σημείων στην καμπύλη (B) οδηγεί σε μεγάλο πλήθος παρεμβαλλόμενων σημείων. Η διαπίστωση αυτή εκ πρώτης όψεως υποβαθμίζει την πρακτικότητα της μεθόδου, αφού αυξάνει, ενδεχομένως απαγορευτικά, την απαραίτητη μνήμη και το υπολογιστικό κόστος (χρόνο υπολογισμού), καθώς απαιτούνται εκατομμύρια υπολογισμοί απόστασης. Παρόλα αυτά, η υιοθέτηση επαρκώς μικρής απόστασης για την κάλυψη των υψηλών απαιτήσεων ακριβείας των φωτογραμμετρικών

εφαρμογών, αποδεικνύεται ότι δεν είναι σε καμία περίπτωση απαγορευτική με τους σύγχρονους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Απόσταση παρεμβολής ίση με κλάσμα του γραμμικού a r i o i σφάλματος της δεύτερης καμπύλης οδηγεί σε πολύ καλής ακρίβειας αποτελέσματα και σε ικανοποιητικό χρόνο.

Η προαναφερθείσα βασική ιδέα για τον υπολογισμό των πλησιέστερων σημείων είναι σχετικά εύκολο να επιταχυνθεί και να μειωθεί το υπολογιστικό της κόστος, με παράλληλη αύξηση της ακρίβειας χρησιμοποιώντας την υπολογιστική τεχνική *divide-and-conquer* ως εξής. Η δεύτερη καμπύλη (B) χωρίζεται σε μικρά τμήματα με ένα πεπερασμένο αριθμό παρεμβαλλόμενων σημείων με κατάλληλα επιλεγείσα απόσταση παρεμβολής. Το κοντινότερο σημείο σε ένα κόμβο της πρώτης καμπύλης προσδιορίζεται όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Τότε, η απόσταση ανάμεσα στο προηγούμενο και το επόμενο σημείο του κοντινότερου σημείου στην καμπύλη (B) χωρίζεται ξανά σε ένα σύνολο σημείων με μικρότερη απόσταση παρεμβολής, και ένα νέο κοντινότερο σημείο προσδιορίζεται. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η απόσταση παρεμβολής να μειωθεί αρκετά ώστε να πληρωθούν οι απαιτήσεις σε ακρίβεια και να συγκλίνει ο αλγόριθμος ICP. Απόσταση παρεμβολής ίση το ένα πέμπτο της μέσης απόστασης των κόμβων της καμπύλης (B), οδηγεί σε πολύ καλής ακρίβειας αποτελέσματα και σε πολύ ικανοποιητικό χρόνο προκειμένου να μπορεί να υποστηρίξει και μη γραμμικές παρεμβολές.

Παρατηρείται ότι για τον υπολογισμό όλων των ζευγών πλησιέστερων σημείων μεταξύ δύο ετερογενών καμπυλών (A) και (B), θα πρέπει η παραπάνω διαδικασία να πραγματοποιηθεί, σε κάθε επανάληψη του ICP, τόσες φορές όσοι και οι κόμβοι της καμπύλης (A). Και επειδή η διαδικασία αυτή και οι απαιτούμενοι υπολογισμοί είναι ανεξάρτητοι για κάθε κόμβο, είναι δυνατόν να επιτευχθεί περαιτέρω βελτιστοποίηση του υπολογιστικού χρόνου με τεχνικές παράλληλου προγραμματισμού.

3.4.2 Υπολογισμός του μετασχηματισμού

Βάσει των ζευγών πλησιέστερων σημείων που υπολογίστηκαν με την μέθοδο που αναπτύχθηκε στην προηγούμενη παράγραφο είναι δυνατό να υπολογιστεί ο κατάλληλος μεταξύ τους μετασχηματισμός. Όπως παρουσιάστηκε στην 1.1 στην περίπτωση της γεωαναφοράς a/f όπου έχει αποκατασταθεί ο σχετικός προσανατολισμός του μοντέλου των a/f και ζητείται ο υπολογισμός του απόλυτου προσανατολισμού $(X_0, Y_0, Z_0, \Omega, \Phi, K, s)$, όταν υπάρχουν γνωστά γραμμικά στοιχεία (δρόμοι) στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου (x_m, y_m, z_m) και στο σύστημα αναφοράς του αντικειμένου (X, Y, Z) ο μετασχηματισμός που θα πρέπει να υπολογιστεί είναι ο μετασχηματισμός ομοιότητας στις τρεις διαστάσεις. Δηλαδή θα πρέπει να υπολογιστεί η μετάθεση $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ - εδώ ταυτίζονται με τις X_0, Y_0, Z_0 , η στροφή (Ω, Φ, K) και η κλίμακα (s) που θα πρέπει να εφαρμοστεί στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου ώστε αυτό να ταυτιστεί με το σύστημα αναφοράς του αντικειμένου.

$$[X] = [\Delta X] + s \cdot [R] \cdot [x]$$

$$R = [R_\Omega] \cdot [R_\Phi] \cdot [R_K]:$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos \Phi \cdot \cos K & \cos \Phi \cdot \sin K & -\sin \Phi \\ \sin \Omega \cdot \sin \Phi \cdot \cos K - \cos \Omega \cdot \sin K & \sin \Omega \cdot \sin \Phi \cdot \sin K + \cos \Omega \cdot \cos K & \sin \Omega \cdot \cos \Phi \\ \cos \Omega \cdot \sin \Phi \cdot \cos K + \sin \Omega \cdot \sin K & \cos \Omega \cdot \sin \Phi \cdot \sin K - \sin \Omega \cdot \cos K & \cos \Omega \cdot \cos \Phi \end{bmatrix}$$

Επειδή ο αριθμός των γνωστών σημείων στα δύο συστήματα αναφοράς (ζεύγη πλησιέστερων σημείων) είναι σημαντικά μεγαλύτερος από τον αριθμό των ελάχιστων 3 απαιτούμενων σημείων για τον υπολογισμό του μετασχηματισμού, απαιτείται ελαχιστοτετραγωνική συνόρθωση.

3.4.3 Εφαρμογή του μετασχηματισμού

Βάσει των παραμέτρων ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Omega, \Phi, K, s$) και τις γνωστές συντεταγμένες (x_m, y_m, z_m) κάθε σημείου στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου υπολογίζονται οι συντεταγμένες (X, Y, Z) στο σύστημα αναφοράς του αντικειμένου.

3.4.4 Έλεγχος σύγκλισης

Με την εφαρμογή του μετασχηματισμού υπολογίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ των ομόλογων σημείων. Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία μεταξύ της μετασχηματισμένης καμπύλης μοντέλου και της καμπύλης αντικειμένου, και υπολογίζεται νέο σφάλμα. Η επανάληψη τερματίζεται όταν το σφάλμα συγκλίνει

3.5 Υπολογισμός Γεωαναφοράς

Η μέθοδος ταύτισης εφαρμόζεται για πολλά ζεύγη καμπυλών (μοντέλου και αντικειμένου αντίστοιχα). Κάθε ζεύγος καμπυλών δίνει παρόμοιο αλλά διαφορετικό μετασχηματισμό ομοιότητας και, ως παραπροϊόν, ένα μεγάλο αριθμό ζευγών ομόλογων σημείων. Παρόλο που όλοι οι μετασχηματισμοί είναι κοντά στην πραγματική λύση, κανένας από αυτούς δεν είναι εκείνος που θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μετασχηματισμός γεωαναφοράς, διότι καθένας προσαρμόζεται τοπικά στη θέση που είναι η καμπύλη. Για την εύρεση του μετασχηματισμού γεωαναφοράς, πρέπει να ληφθούν υπόψη όλα τα ζεύγη καμπυλών. Ένας γρήγορος τρόπος είναι να υπολογιστεί ο μετασχηματισμός με όλα τα ομόλογα σημεία όλων των ζευγών καμπυλών.

Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι επειδή υπολογίζονται ομόλογα σημεία, ο μετασχηματισμός γεωαναφοράς μπορεί να υπολογιστεί από οποιοδήποτε φωτογραμμετρικό πρόγραμμα, βάσει των παραδοσιακών μεθόδων που βασίζονται σε σημειακά χαρακτηριστικά. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι για να συγκλίνει ο αλγόριθμος ICP, πρέπει να δοθεί μια καλή αρχική προσέγγιση. Έτσι θεωρείται ότι οι αρχικές καμπύλες, η εξαγωγή των οποίων έγινε ανεξάρτητα, από δεδομένα διαφορετικού τύπου ή διαφορετικής χρονικής στιγμής απόκτησης, βρίσκονται ήδη στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων. Θεωρείται, δηλαδή, ότι οι καμπύλες έχουν ήδη υποστεί προευθυγράμμιση (prealignment).

3.6 Εφαρμογές της Μεθόδου Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων

Η μέθοδος ταύτισης γραμμικών στοιχείων που αναπτύσσεται στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας του ΕΜΠ παρουσιάζει κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά που καθιστούν κατάλληλη την εφαρμογή της σε διάφορες κατηγορίες δεδομένων.

Καταρχήν, το γεγονός ότι δεν εξαρτάται από τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά και την ανάλυση των δεδομένων, καθώς η εξαγωγή των γραμμικών χαρακτηριστικών από αυτά γίνεται ανεξάρτητα, καθιστά εφικτή την εφαρμογή της σε ετερογενή δεδομένα π.χ. σε εικόνες,

σε τοπογραφικά διαγράμματα, σε ορθοφωτογραφίες, σε δεδομένα GIS κ.λ.π., ή σε εικόνες που έχουν ληφθεί από διαφορετικούς αισθητήρες (οπτικούς, αισθητήρες radar, αερομεταφερόμενους, διαστημικούς κ.λ.π.). Επιπλέον, η μέθοδος γεωαναφοράς μέσω της ταύτισης γραμμικών στοιχείων είναι ανεξάρτητη από διαχρονικές μεταβολές του φυσικού ή του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος (π.χ. μεταβολές βλάστησης, αστικής ανάπτυξης κ.λ.π.), αφού συχνά η αναγνώριση των γραμμικών χαρακτηριστικών, είναι δυνατή παρά τις όποιες μεταβολές έχουν συντελεσθεί. Έτσι, η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου ενδείκνυται για τη γεωαναφορά δεδομένων που έχουν αποκτηθεί σε διαφορετική χρονική στιγμή. Ακόμη, η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί και για την ταύτιση καμπυλών διαφορετικών διαστάσεων, π.χ. δισδιάστατων και τρισδιάστατων, που εξάγονται από διαφορετικά είδη δεδομένων. Τέλος, με τη χρήση γραμμικών χαρακτηριστικών για τη γεωαναφορά δεδομένων ή συγκεκριμένα εικόνων μπορεί να αντιμετωπιστούν δύσκολες περιπτώσεις, όπου δεν είναι διαθέσιμα καθόλου φωτοσταθερά.

Με βάση τα παραπάνω γενικά χαρακτηριστικά της προτεινόμενης μεθόδου και τις γενικές δυνατότητες εφαρμογής της που αναφέρθηκαν, μπορούν να διατυπωθούν πιο συγκεκριμένες περιπτώσεις στις οποίες μπορεί να εφαρμοστεί οδηγώντας σε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Μία από τις περιπτώσεις αυτές, που αποτελεί και το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι ο προσανατολισμός παλαιών αεροφωτογραφιών, όπου είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να σκοπευθούν με ακρίβεια σημεία γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων (GCPs), λόγω σημαντικών μεταβολών στο φυσικό και το ανθρωπογενές περιβάλλον της περιοχής που απεικονίζουν. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να οφείλονται είτε σε έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα, π.χ. στην αστική ανάπτυξη της περιοχής μετά την ενδεχόμενη ένταξή της σε σχέδιο πόλης, είτε στη μακρά περίοδο που έχει μεσολαβήσει μετά τη χρονολογία λήψης των αεροφωτογραφιών, όπως στις ιστορικές αεροφωτογραφίες του 1945 και του 1960. Δύο ακόμη περιπτώσεις εφαρμογής της προτεινόμενης μεθόδου είναι :

- 1 η υψηλής ακρίβειας γεωαναφορά δορυφορικών εικόνων χωρίς τη χρήση GCPs, και
- 2 η γεωαναφορά εικόνων προερχόμενων από μη οπτικούς αισθητήρες π.χ. από αισθητήρες SAR, όπου ο εντοπισμός GCPs δεν είναι εύκολο θέμα όπως στις εικόνες από οπτικούς αισθητήρες.

ΕΝΟΤΗΤΑ Β΄: ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

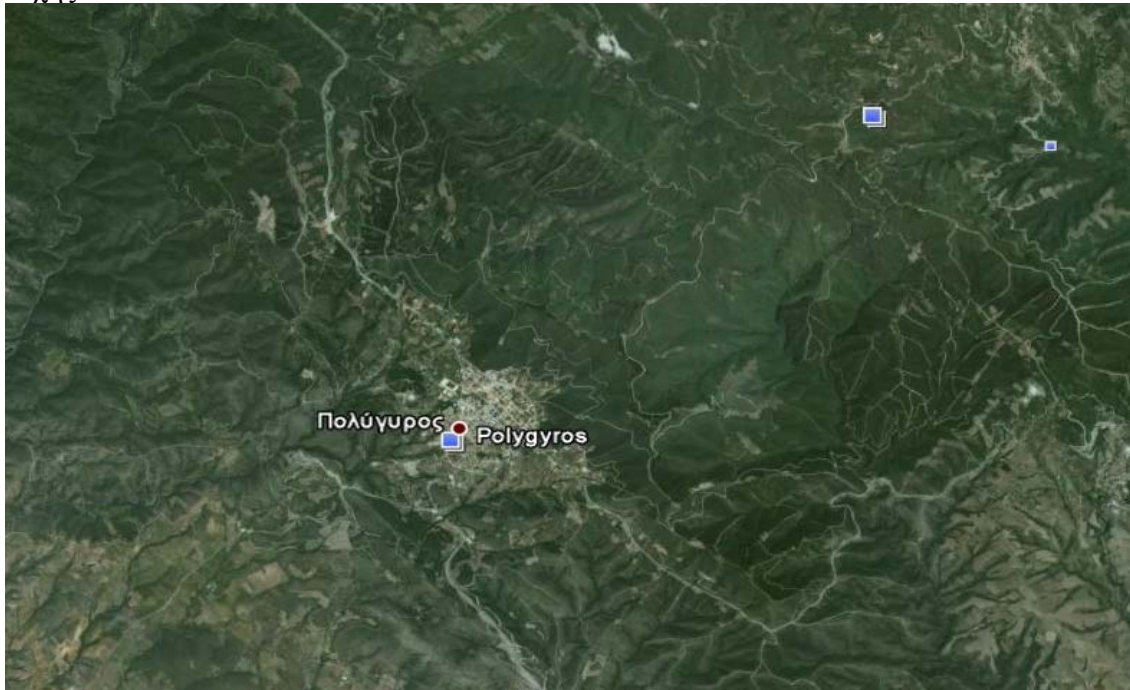
Μετά την ανάλυση του θεωρητικού υποβάθρου της διπλωματικής εργασίας, που έγινε στην πρώτη ενότητα, στη δεύτερη ενότητα παρουσιάζονται τα στάδια της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων της μεθόδου ταύτισης γραμμικών στοιχείων στη γεωαναφορά των ιστορικών αεροφωτογραφιών, που αποτέλεσε το στόχο της πρακτικής εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα, στα επόμενα κεφάλαια:

- ✓ δίνονται πληροφορίες για την περιοχή μελέτης και για τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, δηλαδή για τις αεροφωτογραφίες του 1945, τις δορυφορικές εικόνες και τα τοπογραφικά διαγράμματα,
- ✓ περιγράφεται η διαδικασία γεωαναφοράς του ζεύγους των δορυφορικών εικόνων και των αεροφωτογραφιών του 1945 με την κλασική μέθοδο του αεροτριγωνισμού, και
- ✓ παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη γεωαναφορά ενός μοντέλου αεροφωτογραφιών του 1945 με τη μέθοδο της ταύτισης γραμμικών στοιχείων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της δεύτερης ενότητας διατυπώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά τη διερεύνηση των δυνατοτήτων της νέας μεθόδου στη γεωαναφορά των ιστορικών αεροφωτογραφιών. Γίνονται επίσης κάποιες προτάσεις που, μετά από περαιτέρω πειραματική διερεύνηση, μπορούν να συντελέσουν στην βελτίωση της διαδικασίας και στη μείωση του κόστους και του χρόνου που αυτή απαιτεί.

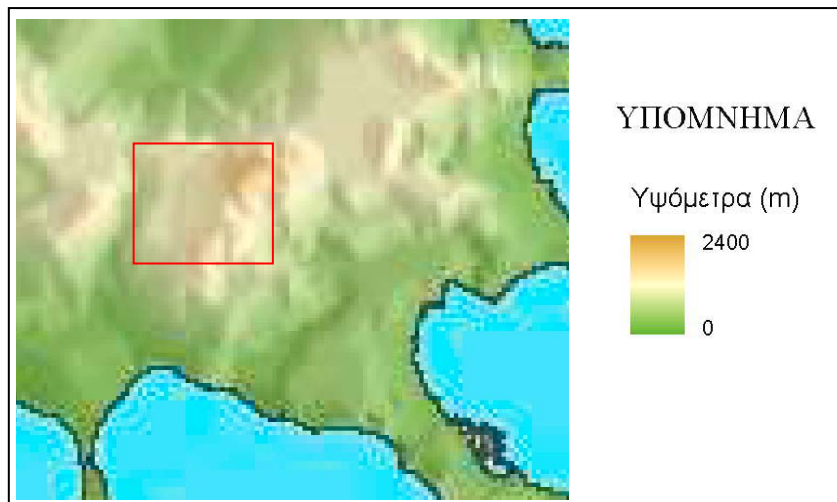
4 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε μία έκταση περίπου 100 km² στην Κεντρική Μακεδονία, στο Νομό Χαλκιδικής και πιο συγκεκριμένα στην ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας του νομού, τον Πολύγυρο. Ο Πολύγυρος, που αποτελεί και καποδιστριακό δήμο, βρίσκεται στο κέντρο της Χερσονήσου της Χαλκιδικής και είναι χτισμένος στους πρόποδες του όρους Χολομώντας ή αλλιώς όρους Υψίζωνος, σε πλαγιές αλληπάλληλων λόφων. Το μέσο υψόμετρο της περιοχής είναι 560 m.



Εικόνα 4.1: Η περιοχή μελέτης (εικόνα από το Google Earth).

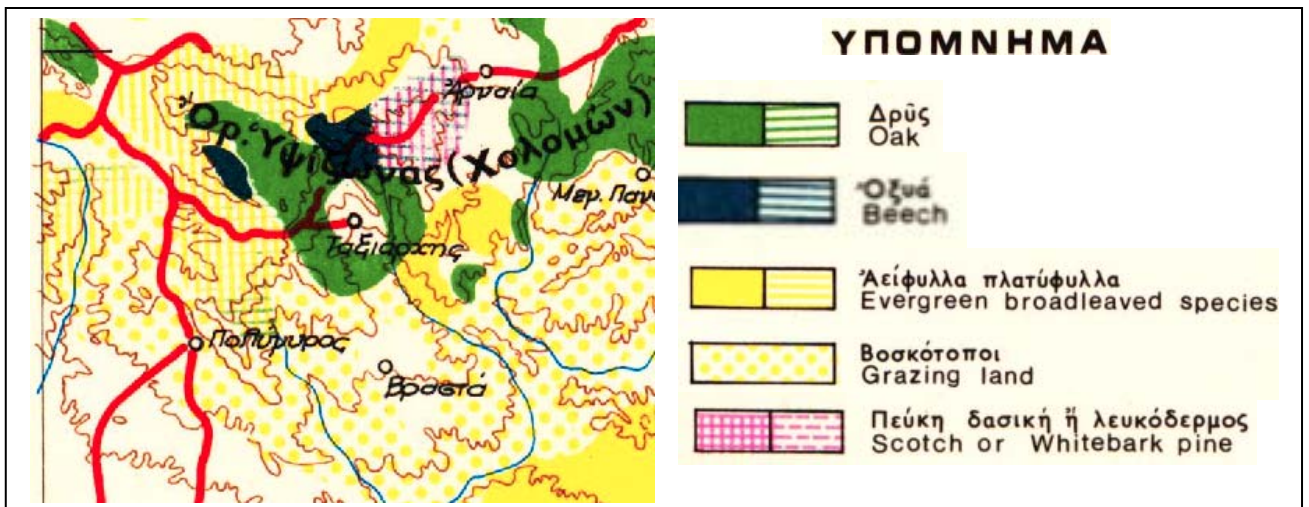
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1, αλλά και στο αντίστοιχο τμήμα του Χάρτη Γεωμορφολογίας στην Εικόνα 4.2, η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο, που της προσδίδουν κυρίως οι ορεινοί όγκοι του Χολομώντα, ο οποίος υψώνεται στα βορειοανατολικά του Πολυγύρου. Πρόκειται για το υψηλότερο βουνό της Χαλκιδικής, που καταλαμβάνει έκταση 155.436 στρέμματα και καλύπτει σχεδόν όλο το ανατολικό και κεντρικό τμήμα του νομού. Έχει μέγιστο υψόμετρο 1.165 m και ελάχιστο 320 m.



Εικόνα 4.2: Η γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης (οριοθετείται με κόκκινο χρώμα).

Πηγή: Υπουργείο Ανάπτυξης (2003).

Στο Όρος Χολομώντας, που εκτός από την περιοχή του Πολυγύρου εκτείνεται και στις περιοχές της Αρναίας και του Γερωπλάτανου Χαλκιδικής, αναπτύσσονται συμπαγή και πυκνά δάση κυρίως από φυλλοβόλα δέντρα, όπως είναι οι βελανιδιές (δρύς), οι οξυές και τα πεύκα, πλατύφυλλα και διάφορα θαμνοδενδρώδη δέντρα. Γενικά, στο Χολομώντα απαντώνται πολύ περισσότερα από δώδεκα διαφορετικά σκληρόξυλα είδη δέντρων. Επίσης, σε πολλές θέσεις του όρους καλλιεργούνται αειθαλή κωνοφόρα, που συνιστούν φυτείες χριστουγεννιάτικων δέντρων. Ακόμη, στην περιοχή βρίσκεται το δάσος του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, που χρησιμοποιείται για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Τέλος, το νότιο τμήμα του όρους Χολομών καλύπτεται από βοσκότοπους, οι οποίοι όμως τα τελευταία χρόνια έχουν υπερβοσκηθεί, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται στην περιοχή σοβαρά προβλήματα διάβρωσης του εδάφους. Στην Εικόνα 4.3 που ακολουθεί, απεικονίζεται τμήμα του Χάρτη Δασών Ελλάδος, στο οποίο φαίνονται τα κυριότερα είδη βλάστησης που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 4.3: Τμήμα του Χάρτη Δασών Ελλάδος, όπου απεικονίζονται τα κυριότερα είδη βλάστησης που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης.

Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας (1976).

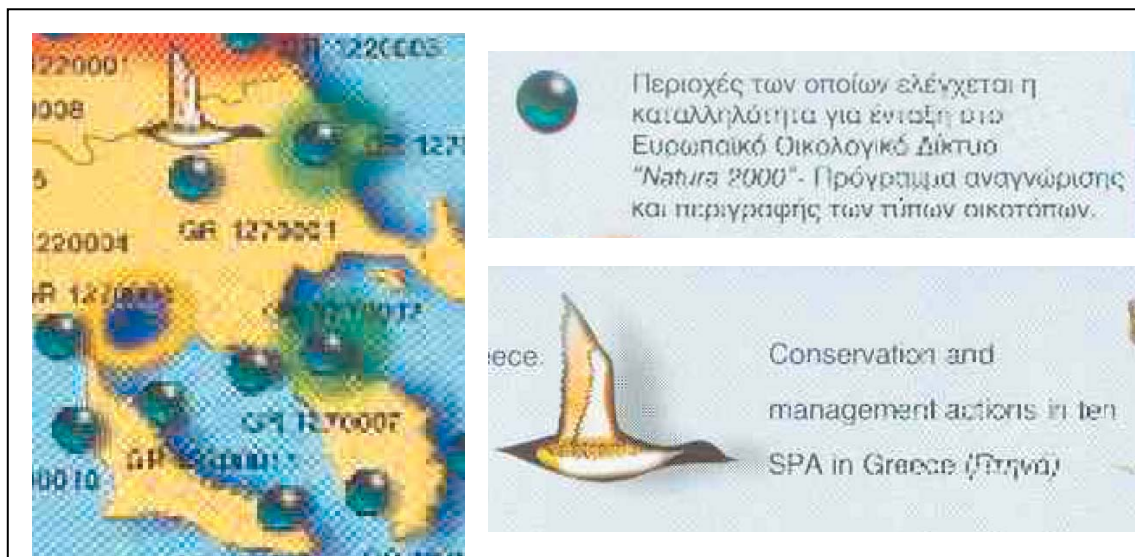


Εικόνα 4.4: Τμήμα του Γενικού Εδαφολογικού Χάρτη της Ελλάδος, όπου φαίνεται η έκταση που καταλαμβάνουν τα δασικά και λιβαδικά εδάφη στην περιοχή μελέτης.

Πηγή: Ίδρυμα Δασικών Ερευνών Αθηνών (1977).

Στην Εικόνα 4.4 που προηγήθηκε, παρουσιάζεται τμήμα του Γενικού Εδαφολογικού Χάρτη της Ελλάδος, όπου φαίνεται ότι στην ευρύτερη περιοχή μελέτης υπάρχουν αξιόλογα και πολύτιμα δασικά και λιβαδικά εδάφη. Γενικά, τα δάση στο Δήμο Πολυγύρου καλύπτουν το 60% της συνολικής του έκτασης.

Όσον αφορά την πανίδα της περιοχής του Χολομώντα, στις δασικές του εκτάσεις βρίσκουν καταφύγιο 53 διαφορετικά είδη πτηνών (αετοί, χρυσαετοί, γεράκια, σπίνοι, κ.α.), όπως επίσης και πέντε διαφορετικά είδη αμφίβιων και ερπετών. Μεγάλο τμήμα του όρους μάλιστα, που υπάγεται στο δασαρχείο Αρναίας, αποτελεί βιότοπο και έχει ενταχθεί στο Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο “Natura 2000” με κωδικό GR 1270001, όπως φαίνεται στο σχετικό τμήμα του χάρτη με τίτλο «Προγράμματα-Δράσεις Προστασίας του Φυσικού Περιβάλλοντος», στην Εικόνα 4.5, αλλά και στην Εικόνα 4.6.



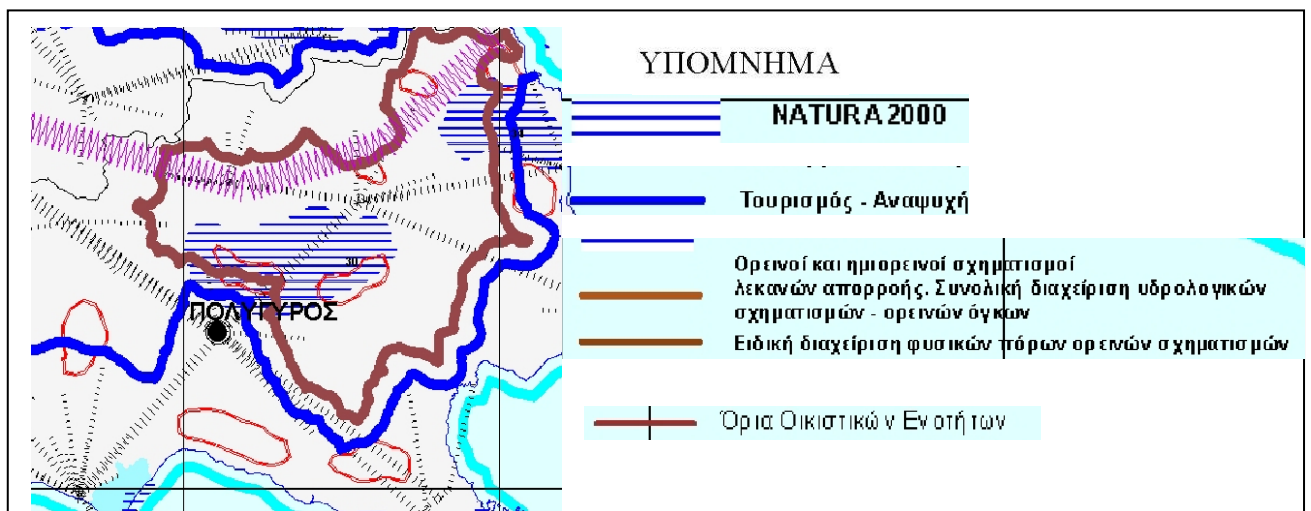
Εικόνα 4.5: Τμήμα του χάρτη με τίτλο «Προγράμματα-Δράσεις Προστασίας του Φυσικού Περιβάλλοντος», όπου παρουσιάζεται η υποψηφιότητα τμήματος της περιοχής μελέτης για ένταξη στο δίκτυο “Natura 2000”.

Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων.

Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή, του 2001, το πολεοδομικό συγκρότημα του Πολυγύρου έχει 6.232 κατοίκους, ενώ ο καποδιστριακός δήμος 10.721 (πραγματικός πληθυσμός). Η γεωργία, μαζί με την κτηνοτροφία, τη δασοπονία και το κυνήγι, αποτελούν τις κύριες δραστηριότητες των κατοίκων της περιοχής. Σχετικά με τη γεωργική παραγωγή, οι ετήσιες καλλιέργειες καταλαμβάνουν το 60% της γεωργικής γης, οι δενδρώδεις καλλιέργειες και τα αμπέλια το 35% και οι αγραναπαύσεις το 5%. Στην ομάδα των δενδρωδών καλλιεργειών, η ελαιοκαλλιέργεια καταλαμβάνει το 90% της παραγωγής. Συνεπώς, το ελαιόλαδο αποτελεί το βασικότερο γεωργικό προϊόν της περιοχής, και ακολουθούν το σκληρό σιτάρι, τα φρούτα, οι ξηροί καρποί και κάποια θερμοκηπιακά προϊόντα. Όσον αφορά την κτηνοτροφία κυριαρχεί η εκτροφή αιγοπροβάτων.

Αναφορικά με το υπέδαφος της περιοχής του Δήμου Πολυγύρου, λόγω των υπάρχοντων γεωλογικών σχηματισμών είναι πλούσιο σε ορυκτά και μεταλλεύματα, περισσότερο σε λευκόλιθο και λιγότερο σε λιγνίτη, σιδηροπυρίτη και χρωμίτη. Τα ορυκτά αυτά, παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον και αποτελούν αντικείμενο επιχειρηματικής εκμετάλλευσης, ενώ η εξόρυξή τους στα ορυχεία της περιοχής αποτελεί αντικείμενο εργασίας ενός ποσοστού κατοίκων.

Στην Εικόνα 4.6, που απεικονίζει τμήμα του χάρτη που παρουσιάζει το πρότυπο χωρικής ανάπτυξης για την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, σύμφωνα με το αντίστοιχο Περιφερειακό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (Π.Π.Χ.Σ.Α.Α.), αποτυπώνεται ότι βασική οικονομική δραστηριότητα των κατοίκων, αποτελεί και ο τουρισμός. Η περιοχή του Δήμου Πολυγύρου, σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, διαθέτει τοποθεσίες φυσικού κάλλους, ενταγμένες στο δίκτυο “Natura 2000”, που την καθιστούν τόπο αναψυχής και σημαντικό παραθεριστικό κέντρο της Μακεδονίας. Η τουριστική της αξιοποίηση είναι συνεχής. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονη οικοδομική δραστηριότητα στην περιοχή, καθώς έχουν κατασκευαστεί ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις σε πολλά σημεία της, όπως επίσης και παραθεριστικές κατοικίες, με αποτέλεσμα να επεκτείνεται σημαντικά ο οικιστικός ιστός των οικισμών της. Τα συγκριτικά φυσικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η περιοχή ενδιαφέροντος διαμορφώνουν, μέσω της τουριστικής της ανάπτυξης την οποία ευνοούν, το υπόβαθρο στο οποίο στηρίχθηκε η κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής του Πολυγύρου τα τελευταία χρόνια.



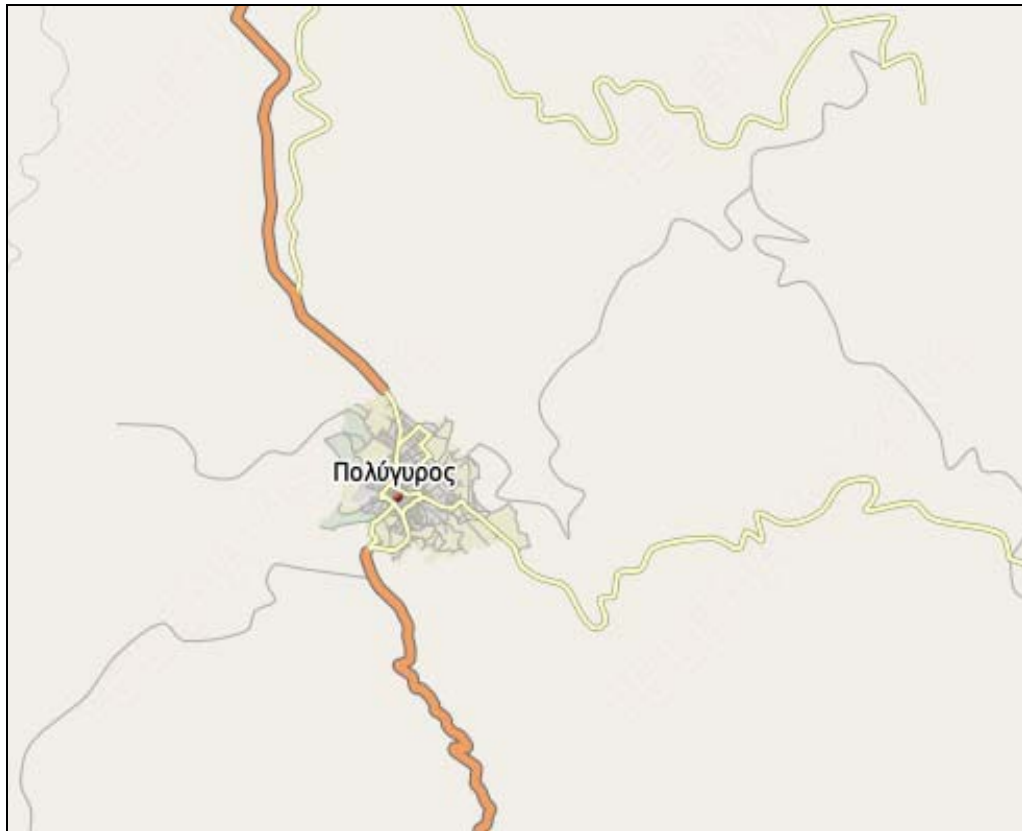
Εικόνα 4.6: Τμήμα του χάρτη που παρουσιάζει το πρότυπο χωρικής ανάπτυξης για την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, σύμφωνα με το αντίστοιχο Π.Π.Χ.Σ.Α.Α. Με καφέ περίγραμμα οριοθετούνται οι ορεινοί όγκοι του Χολομώντα.

Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (2003).

Η πυκνότητα του οδικού δικτύου στο Δήμο Πολυγύρου είναι 0.4 km δρόμων /km συνολικής έκτασης, δηλαδή είναι χαμηλή κυρίως λόγω των μεγάλων ορεινών όγκων της περιοχής. Το κυριότερο οδικό πρόβλημα εντοπίζεται στη σύνδεση του Πολυγύρου με τους οικισμούς που βρίσκονται στα ανατολικά του, όπου το οδικό δίκτυο είναι δύσβατο.

Το κύριο οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.7, περιλαμβάνει τμήμα της Εθνικής Οδού Θεσσαλονίκης-Πολυγύρου (πορτοκαλί χρώμα), όπως επίσης και επαρχιακές και κοινοτικές οδούς (κίτρινο χρώμα). Υπάρχει ακόμη το δευτερεύον οδικό δίκτυο (γκρι χρώμα), καθώς και πολλοί αγροτικοί και δασικοί δρόμοι.

Τόσο στο κύριο οδικό δίκτυο, όσο και στο εσωτερικό οδικό δίκτυο έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές παρεμβάσεις, που κρίνονται απαραίτητες για τη συντήρηση και βελτίωσή τους, έτσι ώστε να εξυπηρετούν τις μετακινήσεις των κατοίκων και των τουριστών, τις ανάγκες των πολυάριθμων χωριών και τη διακίνηση και το εμπόριο των γεωργικών και κτηνοτροφικών προϊόντων, και μεταλλευμάτων.



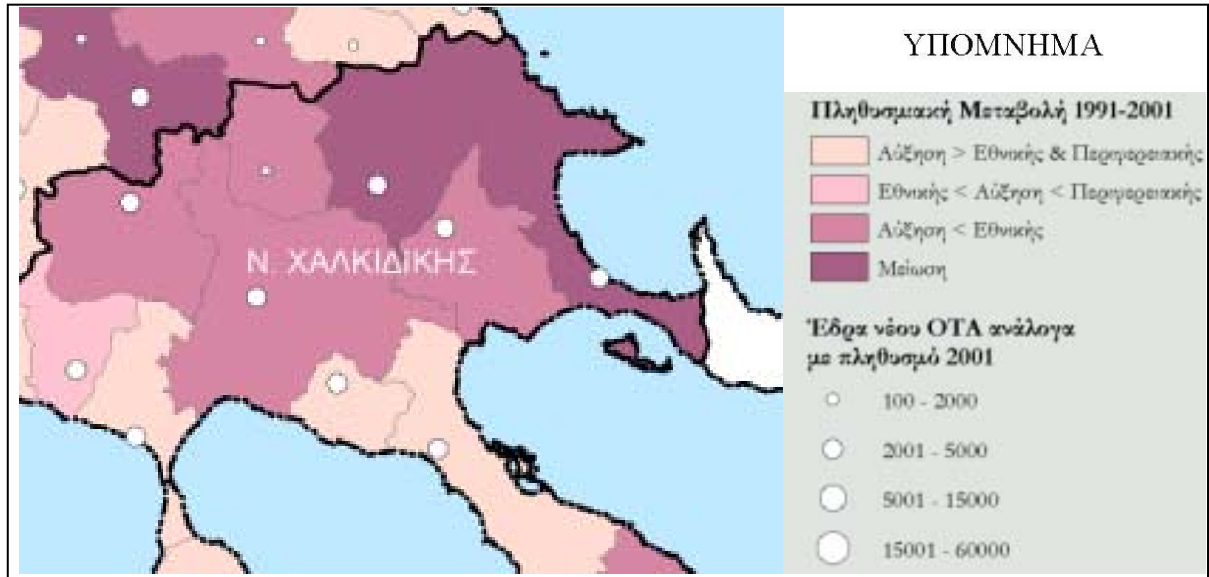
Εικόνα 4.7: Το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης.

Πηγή: *maps.in.gr*.

Η εικόνα της περιοχής τα τελευταία χρόνια έχει μεταβληθεί σημαντικά. Στο γεγονός αυτό έχει συντελέσει, εκτός από την τουριστική ανάπτυξη, και η πληθυσμιακή αύξηση στο Δήμο Πολυγύρου κατά τη δεκαετία 1991-2001, που απεικονίζεται στο τμήμα του χάρτη μεταβολής πληθυσμού ανά δήμο σύμφωνα με το Π.Π.Χ.Σ.Α.Α. της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, στην Εικόνα 4.8. Η εξυπηρέτηση των αναγκών των όλο και περισσότερων κατοίκων, οδήγησε στην ανέγερση περισσότερων κατοικιών και στην επέκταση του οδικού δικτύου της περιοχής.

Συνέπεια των αναπτυσσόμενων, και πολλές φορές ανεξέλεγκτων, ανθρωπογενών δράσεων τόσο στο εσωτερικό των οικισμών του Δημοτικού διαμερίσματος Πολυγύρου, όσο και στον αγροτικό χώρο, είναι η εμφάνιση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Δύο χαρακτηριστικές αιτίες πρόκλησης περιβαλλοντικών προβλημάτων είναι η οικιστική δομή ορισμένων οικισμών και τα νομοθετικά κενά σχετικά με τις χρήσεις γης. Η παράνομη και αυθαίρετη δόμηση προσδιορίζει μία ακόμη σημαντική διάσταση του περιβαλλοντικού προβλήματος της περιοχής. Για την εξυπηρέτηση των παράνομων κτισμάτων, συχνά διανοίγονται αυθαίρετα δρόμοι, γεγονός που αποτελεί μία ακόμη περιβαλλοντική επιβάρυνση, καθώς οδηγεί στην καταστροφή του τοπίου.

Στην καταστροφή του δασικού πλούτου της περιοχής μπορούν να οδηγήσουν επίσης, οι αραιώσεις στα ιδιωτικά ή δημόσια δάση, που γίνονται με σκοπό την πώληση και εμπορία των δέντρων που υλοτομούνται, την περίοδο των Χριστουγέννων, πιθανές πυρκαγιές, αλλά και η υπερβόσκηση των δασικών και λιβαδικών εκτάσεων, που προκαλεί σοβαρά προβλήματα διάβρωσης του εδάφους. Όπως προαναφέρθηκε, το τελευταίο αυτό φαινόμενο παρατηρείται στο νότιο τμήμα του όρους Χολομών.



Εικόνα 4.8: Τμήμα του χάρτη μεταβολής πληθυσμού 1991-2001 ανά νέο δήμο, σύμφωνα με το Π.Π.Χ.Σ.Α.Α. της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, που παρουσιάζει την πληθυσμιακή αύξηση στο Δήμο Πολυγύρου την τελευταία δεκαετία.

Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (2003).

Για την προστασία και τη διασφάλιση των δασικών εκτάσεων του Δημοτικού διαμερίσματος Πολυγύρου είναι απαραίτητη η σύνταξη των αντίστοιχων Ιστορικών Ψηφιακών Ορθοφωτοχαρτών του Εθνικού Κτηματολογίου από αεροφωτογραφίες του 1945. Μετά από σχεδόν 65 χρόνια όμως, και με δεδομένη τη σημαντική μεταβολή του ανθρωπογενούς και του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής τα τελευταία χρόνια, είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν και να σκοπευθούν με ακρίβεια σημεία γνωστών γεωδατικών συντεταγμένων για τη γεωαναφορά των ιστορικών αεροφωτογραφιών με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού. Αντίθετα, είναι πολύ πιθανό να έχουν διατηρηθεί, στη γενική τους μορφή, κάποιοι δρόμοι ή ρέματα. Επομένως, η συγκεκριμένη περιοχή ενδείκνυται για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων της χρήσης γραμμικών στοιχείων στη γεωαναφορά παλαιών εικόνων.

5 ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Για την πραγματοποίηση της πρακτικής εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα:

- ✓ διαθετικά αεροφωτογραφιών του 1945 που κάλυπταν στερεοσκοπικά την περιοχή μελέτης,
- ✓ πρόσφατης λήψης επικαλυπτόμενες δορυφορικές εικόνες της περιοχής, και τέλος
- ✓ τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 της Γ.Υ.Σ. για την περιοχή, με σκοπό τον προσδιορισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων φωτοσταθερών σημείων και σημείων ελέγχου που ήταν απαραίτητα σε διάφορα στάδια της διαδικασίας.

Στις επόμενες παραγράφους γίνεται αναλυτική περιγραφή για καθένα από τα παραπάνω χρησιμοποιηθέντα υλικά.

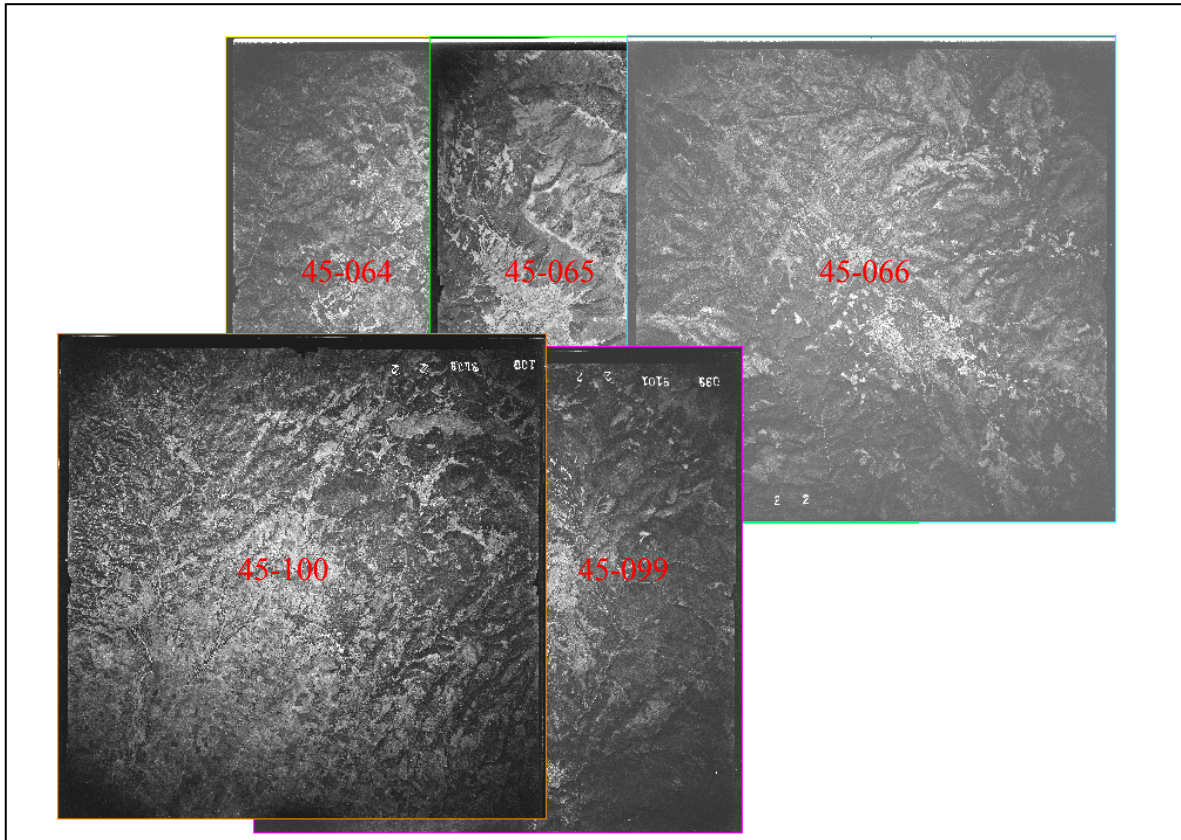
5.1 Διαθετικά Αεροφωτογραφιών του 1945

Η προμήθεια των διαθετικών των αεροφωτογραφιών του 1945 που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν, έγινε από τη Γ.Υ.Σ.. Κατά τη διάρκεια επίσκεψης που πραγματοποιήθηκε εκεί, καθορίστηκαν οι κωδικοί αριθμοί των ιστορικών αεροφωτογραφιών που κάλυπταν στερεοσκοπικά την περιοχή μελέτης, οι οποίοι σημειώνονται, μαζί με τα κέντρα τους, σε διαφάνειες που προσαρμύζονται στους χάρτες κλίμακας 1:100.000 ή 1:50.000 της Γ.Υ.Σ..

Πρόκειται για πέντε ασπρόμαυρες παγχρωματικές αεροφωτογραφίες με κωδικούς αριθμούς 45-064, 45-065, 45-066, 45-099 και 45-100, οι οποίες είναι σχεδόν κατακόρυφες και ανήκουν σε δύο διαδοχικές λωρίδες. Συγκεκριμένα, οι τρεις πρώτες βρίσκονται στη μία λωρίδα και οι υπόλοιπες δύο στην ακριβώς από κάτω λωρίδα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.1. Συνολικά σχηματίζονται τρία στερεοζεύγη. Ο προσανατολισμός των γραμμών πτήσης, οι οποίες είναι σχεδόν παράλληλες, είναι από Δύση προς Ανατολή στην πρώτη λωρίδα και αντίστροφα στη δεύτερη. Τέλος, όσον αφορά τις επικαλύψεις, η κατά μήκος επικάλυψη μεταξύ των διαδοχικών αεροφωτογραφιών σε κάθε λωρίδα είναι περίπου 60%, και η κατά πλάτος (ή πλάγια) επικάλυψη ανάμεσα στις δύο λωρίδες είναι περίπου 35%.

Δυστυχώς, δε δόθηκε από τη Γ.Υ.Σ. το φύλλο όπου αναγράφονται τα διαθέσιμα στοιχεία της φωτομηχανής με την οποία λήφθηκαν οι παραπάνω αεροφωτογραφίες. Παρ' όλα αυτά, είναι γνωστή η κλίμακά τους (1:42.000), ενώ για τη σταθερά της μηχανής επιλέχθηκε η τιμή $c=153\text{mm}$, καθώς είναι η πιο συνηθισμένη για τις αεροφωτογραφίες αυτού του έτους. Δηλαδή, η λήψη τους έγινε με χρήση ευρυγώνιου φακού και το φορμάτ τους είναι τετραγωνικό, μεγέθους 23cm x 23cm. Το ύψος πτήσης (H) σύμφωνα με τη σχέση $k = \frac{c}{H}$, προκύπτει περίπου ίσο με $H \cong 6400\text{m}$.

Κατά την παραλαβή των διαθετικών των αεροφωτογραφιών του 1945 σε αναλογική μορφή, έγινε έλεγχος ώστε να εξασφαλίζουν την πλήρη στερεοσκοπική κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος, όπως επίσης και έλεγχος της ποιότητάς τους, προκειμένου να διασφαλιστεί η κατά το δυνατό καλύτερη φωτογραφική πληροφορία που είναι απαραίτητη για τη σωστή φωτοερμηνεία. Παρόλο που δε δόθηκαν στοιχεία για την ποιότητα των αεροφωτογραφιών (π.χ. για τη ραδιομετρική τους ανάλυση), με βάση την οπτική αξιολόγησή τους χαρακτηρίζονται ως κακής ποιότητας, όπως μπορεί να παρατηρηθεί στην Εικόνα 5.1. Το πρόβλημα είναι πιο έντονο στα άκρα τους, όπου είναι πολύ σκοτεινές έως και μαύρες.



Εικόνα 5.1: Η κατανομή των αεροφωτογραφιών του 1945 που χρησιμοποιήθηκαν.

Όσον αφορά τη σάρωση των διαθετικών, ώστε να μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή, χρησιμοποιήθηκε επίπεδος ψηφιακός φωτογραμμετρικός σαρωτής, ο οποίος εξασφαλίζει υψηλή γεωμετρική ακρίβεια, ανάλυση και ποιότητα σάρωσης. Πιο συγκεκριμένα, τα διαθετικά σαρώθηκαν με ανάλυση 1200 dpi, που αντιστοιχεί σε μέγεθος pixel 21 μ m στην κλίμακα της αεροφωτογραφίας, και η οποία είναι λίγο χειρότερη από τις προδιαγραφές σάρωσης ιστορικών αεροφωτογραφιών που αναφέρει η Κτηματολόγιο Α.Ε. και παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 1.2. Επίσης, η σάρωση των διαθετικών έγινε παγχρωματικά, δηλαδή σε 256 τόνους του γκρι. Συνεπώς, η ραδιομετρική τους ανάλυση είναι 8 bit ανά κανάλι. Τέλος, τα ψηφιακά αρχεία (εικόνες) που δημιουργήθηκαν από τη σάρωση, αποθηκεύτηκαν σε μορφή TIFF, untitled, uncompressed, καθώς με αυτό τον τρόπο δεν εμφανίζονται απώλειες στις οπτικές ή τις άλλες ιδιότητες των εικόνων.

Στις επόμενες παραγράφους και τα επόμενα κεφάλαια, θα χρησιμοποιείται ο όρος «αεροφωτογραφίες του 1945», αλλά ουσιαστικά θα πρόκειται για τα διαθετικά τους.

5.2 Δορυφορικές Εικόνες

Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν, αποκτήθηκαν από το δορυφόρο Cartosat-1 τον Αύγουστο του 2006 και ήταν διαθέσιμες σε ψηφιακή μορφή. Χαρακτηρίζονται ως δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης, καθώς η χωρική τους ανάλυση είναι 2.5 m, με αποτέλεσμα να καλύπτουν επαρκώς τις απαιτήσεις ακρίβειας της πρακτικής εφαρμογής. Εικόνες ακόμα μεγαλύτερης ανάλυσης δεν είχε νόημα να χρησιμοποιηθούν, καθώς, όπως έχει αναφερθεί, η ακρίβεια που επιτυγχάνεται, συνήθως, στη γεωαναφορά των ιστορικών αεροφωτογραφιών είναι μερικές δεκάδες μέτρα. Σχετικά με τη ραδιομετρική ανάλυση των δορυφορικών εικόνων του Cartosat-1, κανονικά ήταν 10 bit, αλλά μειώθηκε στα 8 bit με τη βοήθεια του προγράμματος SSK, προκειμένου να είναι δυνατή η διαχείριση και η επεξεργασία τους. Είναι ασπρόμαυρες και απεικονίζουν μία περιοχή έκτασης περίπου $30 \times 30 \text{ km}^2$, στην ευρύτερη περιοχή του όρους Χολομώντα στη Χαλκιδική. Η επικάλυψη των εικόνων είναι πολύ μεγάλη (σχεδόν 100%) κι επομένως αποτελούν στερεοζεύγος. Οι εικόνες του Cartosat-1 αναφέρονται στο Ελλειψοειδές και το Datum του Παγκόσμιου Γεωδαιτικού Συστήματος 1984 (World Geodetic System 84, WGS 84).



Εικόνα 5.2: Μία από τις δύο δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν. Με κόκκινο χρώμα οριοθετείται η περιοχή μελέτης.

Επειδή οι συγκεκριμένες δορυφορικές εικόνες ήταν το πρώτο υλικό που επιλέχθηκε, ουσιαστικά βάσει αυτών καθορίστηκε η περιοχή μελέτης. Λόγω της μεγάλης έκτασης που αποτυπώνεται στις δορυφορικές απεικονίσεις του Cartosat-1, ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε ένα μικρό τμήμα τους, έκτασης 100 km^2 περίπου, αναφορά στο οποίο έγινε στο προηγούμενο

κεφάλαιο. Το τμήμα αυτό έχει οριοθετηθεί με κόκκινο χρώμα στην Εικόνα 5.2, όπου παρουσιάζεται η μία από τις δύο δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν.

Η επιλογή μικρότερης, τελικά, έκτασης ως περιοχή μελέτης, έγινε κυρίως για λόγους μείωσης του κόστους, καθώς έπρεπε να αγοραστούν από τη Γ.Υ.Σ. τοπογραφικά διαγράμματα και διαθετικά αεροφωτογραφιών του 1945 που θα την κάλυπταν στερεοσκοπικά. Επίσης, σε περίπτωση που είχε επιλεγθεί μεγαλύτερη έκταση θα ήταν δυσκολότερη η διαχείριση των δεδομένων, ενώ θα αυξανόταν, εκτός από το κόστος, και ο χρόνος επεξεργασίας τους, καθώς θα απαιτούταν πολύ μεγαλύτερος αριθμός σαρώσεων και φωτοσταθερών για τα επιπλέον στερεοζεύγη και τη γεωαναφορά τους. Συνεπώς, έγινε προσπάθεια η έκταση της περιοχής μελέτης να είναι τέτοια, ώστε να μπορεί να εξυπηρετήσει τους σκοπούς της διπλωματικής εργασίας, και παράλληλα να εξασφαλίζει όσο το δυνατό μικρότερο κόστος για τα απαραίτητα υλικά που έπρεπε να αγοραστούν από τη Γ.Υ.Σ., και λιγότερο χρόνο για την επεξεργασία τους.

Στις δύο επόμενες παραγράφους κρίθηκε σκόπιμο να αναφερθούν κάποιες βασικές πληροφορίες:

- ✓ για τις δορυφορικές εικόνες γενικά, καθώς ο τρόπος συλλογής τους, η γεωμετρία τους και η διαδικασία γεωαναφοράς τους παρουσιάζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις αεροφωτογραφίες, και
- ✓ για το δορυφόρο Cartosat-1.

5.2.1 Περί δορυφορικών εικόνων γενικά

Οι δορυφορικές εικόνες είναι ψηφιακές εικόνες στις οποίες καταγράφεται η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, που συλλέγεται και αποθηκεύεται από αισθητήρες που βρίσκονται σε ψηφιακούς δορυφορικούς δέκτες. Οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να καταγράφουν τόσο το ορατό φάσμα, όσο και συγκεκριμένες περιοχές του μη ορατού φάσματος, της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε κανάλια, ανάλογα με την ευαισθησία τους. Στην περίπτωση των πολυφασματικών απεικονίσεων, η ορθή εικόνα αποδίδεται με συνδυασμό των καναλιών [Ιωαννίδης 2006].

Ως ψηφιακές εικόνες που είναι, αποτελούνται από εικονοστοιχεία (pixel). Με βάση τις διαστάσεις κάθε pixel στο έδαφος, δηλαδή με βάση την εδαφοψηφίδα, οι δορυφορικές εικόνες κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες [Κατσιγιάννης 2005]:

- Δορυφορικές εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης: Εδαφοψηφίδα $\leq 1\text{m}$
- Δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης: $1\text{m} < \text{Εδαφοψηφίδα} \leq 5\text{m}$
- Δορυφορικές εικόνες μέσης ανάλυσης: $5\text{m} < \text{Εδαφοψηφίδα} \leq 20\text{m}$
- Δορυφορικές εικόνες χαμηλής ανάλυσης: $20\text{m} < \text{Εδαφοψηφίδα} \leq 50\text{m}$
- Δορυφορικές εικόνες πολύ χαμηλής ανάλυσης: Εδαφοψηφίδα $> 50\text{m}$

Τα τελευταία χρόνια έγιναν σημαντικές προσπάθειες για το σχεδιασμό και την εκτόξευση δορυφορικών συστημάτων υψηλής ανάλυσης για χαρτογραφικές εφαρμογές. Η επιτυχής εκτόξευση και ανάπτυξη των συστημάτων αυτών, οδηγεί στη συνεχή βελτίωση της γεωμετρικής ακρίβειας των δορυφορικών απεικονίσεων, με αποτέλεσμα την τελευταία δεκαετία οι εικόνες που λαμβάνονται από τους σύγχρονους δορυφορικούς δέκτες να χαρακτηρίζονται ως μέσης, υψηλής και πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης. Στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί, αναφέρεται ενδεικτικά η χωρική ανάλυση για το παγχρωματικό κανάλι του δέκτη ή των δεκτών κάποιων γνωστών σύγχρονων δορυφόρων. Ανάμεσα τους είναι και ο δορυφόρος IRS-P5 Cartosat 1, από τον οποίο αποκτήθηκε το στερεοζεύγος δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Δορυφόρος	Έτος εκτόξευσης	Χωρική ανάλυση	Χαρακτηρισμός Δορυφορικών Εικόνων
LANDSAT-7	1999	15m	Μέσης ανάλυσης
ASTER	1999	15m	Μέσης ανάλυσης
SPOT-5	2002	2.5-5m	Υψηλής ανάλυσης
IRS-P5 Cartosat 1	2005	2.5m	Υψηλής ανάλυσης
EROS-A1	2000	1.9m	Υψηλής ανάλυσης
IKONOS	1999	1m	Πολύ υψηλής ανάλυσης
ORBVIEW-3	2003	1m	Πολύ υψηλής ανάλυσης
Cartosat 2	2007	1m	Πολύ υψηλής ανάλυσης
QuickBird II	2001	0.61m	Πολύ υψηλής ανάλυσης
Cartosat 2A	2008	< 1m	Πολύ υψηλής ανάλυσης

Πίνακας 5.1: Η χωρική ανάλυση για το παγχρωματικό κανάλι κάποιων γνωστών σύγχρονων δορυφορικών δεκτών [Ιωαννίδης 2006].

Παρά το υψηλό κόστος αγοράς των δορυφορικών εικόνων, και ιδιαίτερα των στερεοζευγών, αποτελούν μία πολύ σημαντική πηγή δεδομένων, τόσο για τη Φωτογραμμετρία όσο και για την Τηλεπισκόπηση, και παρουσιάζουν κάποια ουσιαστικά πλεονεκτήματα, που συντελούν στην όλο και περισσότερο διαδεδομένη χρήση τους. Μερικά από αυτά είναι:

- ✓ η κάλυψη περιοχής μεγάλης έκτασης, λόγω των μεγάλων, συνήθως, διαστάσεών τους,
- ✓ η δυνατότητα απόκτησης δεδομένων σε χώρους όπου απαγορεύονται οι πτήσεις με άλλα εναέρια μέσα (π.χ. αεροπλάνα ή ελικόπτερα),
- ✓ η δυνατότητα διαχρονικής καταγραφής περιοχών μέσω της συχνής επισκεψιμότητας κάθε περιοχής από το δορυφόρο,
- ✓ οι υψηλές ραδιομετρικές τους ακρίβειες, που τις καθιστούν πιο «καθαρές», ευκρινείς και οπτικά ποιοτικές, σε σχέση με τις αεροφωτογραφίες (10, 11 ή 16 bit έναντι 8 bit),
- ✓ η δυνατότητα ταυτόχρονης καταγραφής δεδομένων σε διαφορετικά μέρη του φάσματος, δηλαδή σε πολυφασματική μορφή, και τέλος,
- ✓ η δυνατότητα απόκτησης τους σε ψηφιακή μορφή.

Τα προϊόντα που μπορούν να προκύψουν από τη φωτογραμμετρική επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης, είναι στερεομοντέλα, ορθοανηγμένες εικόνες, ορθοφωτοχάρτες και ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEM). Τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως στην καταγραφή, τη χαρτογράφηση και την παρακολούθηση της φυσικής γήινης επιφάνειας, και κατ' επέκταση των φυσικών διαθεσίμων. Όμως, βρίσκουν εφαρμογή και σε πολλά άλλα πεδία, τα κυριότερα από τα οποία είναι το Περιβάλλον, η Ωκεανογραφία, η Γεωγραφία, ο Αστικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός, η Αστική και Περιφερειακή Ανάπτυξη, η Τοπική Αυτοδιοίκηση, οι Υποδομές, οι Μεταφορές, οι Τηλεπικοινωνίες και η Εθνική Ασφάλεια [Ιωαννίδης 2006].

Σχετικά με τον τρόπο δημιουργίας των δορυφορικών εικόνων, μία δορυφορική απεικόνιση ή δορυφορική σκηνή (image scene), όπως αλλιώς λέγεται, δημιουργείται από τη συνένωση χιλιάδων διαδοχικών μη επικαλυπτόμενων λωρίδων εικόνας (framelet), οι οποίες συλλέγονται από αισθητήρα (sensor) που κινείται. Κάθε framelet ορίζεται ως η απεικόνιση στοιχείων της γήινης επιφάνειας σε μία θέση έκθεσης [Καροπούλου 2007].

Οι αισθητήρες αποτελούν βασικά στοιχεία των δορυφορικών συστημάτων απεικόνισης. Με βάση την τεχνική σάρωσης που ακολουθούν, διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- ✓ τους αισθητήρες με περιστρεφόμενο κάτοπτρο, ή αλλιώς *Panoramic* αισθητήρες, και
- ✓ τους αισθητήρες τύπου *Pushbroom*.

Και στις δύο κατηγορίες αισθητήρων, η σάρωση του εδάφους γίνεται με διεύθυνση κάθετη σε αυτή της κίνησης του δορυφόρου.

Στη δεύτερη κατηγορία αισθητήρων αξίζει να γίνει περαιτέρω αναφορά, καθώς τέτοιου είδους αισθητήρες διαθέτει ο δορυφόρος Cartosat-1.

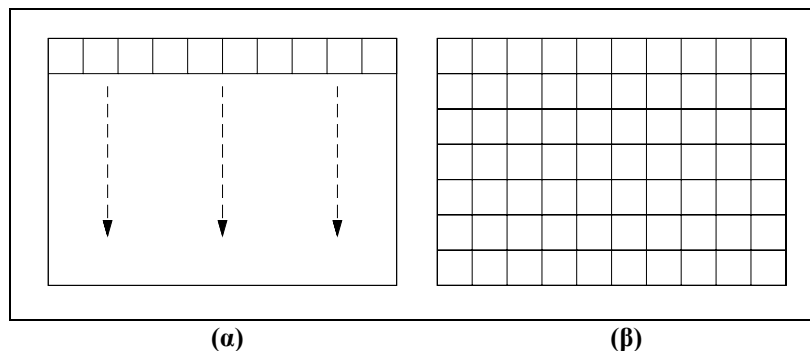
Κάθε αισθητήρας τύπου Pushbroom είναι μία διάταξη που αποτελείται από μία βάση από ημιαγώγιμο υλικό, πάνω στην οποία είναι προσαρμοσμένο ένα σύνολο φωτοευαίσθητων στοιχείων (sensor elements, sels) τετράγωνου, συνήθως, σχήματος. Για τη λειτουργία των αισθητήρων αυτών χρησιμοποιείται κυρίως η τεχνική CCD (Charge Couple Device, συσκευή συζευγμένου φορτίου). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, η ποσότητα φωτονίων που συλλέγει κάθε sel, και κατ' επέκταση η τιμή κάθε pixel της παραγόμενης δορυφορικής σκηνής, αντιπροσωπεύει την ισχύ της ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας [Γεωργόπουλος 1998].

Οι Pushbroom αισθητήρες, η φασματική ευαισθησία των οποίων περιορίζεται στο ορατό φως και στο εγγύς υπέρυθρο, διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με αντίστοιχα κριτήρια ταξινόμησης [Γεωργόπουλος 1998].

Με βάση τις θέσεις και τον αριθμό των φωτοστοιχείων (sel) διακρίνονται κυρίως σε:

- ✓ γραμμικούς, όπου χιλιάδες sel βρίσκονται σε μια ενιαία γραμμή, και
- ✓ επιφανειακούς, όπου τα sel είναι κατανομημένα σε πολλές παράλληλες γραμμές CCD και σχηματίζουν ορθογωνική, συνήθως, διάταξη (γραμμές και στήλες).

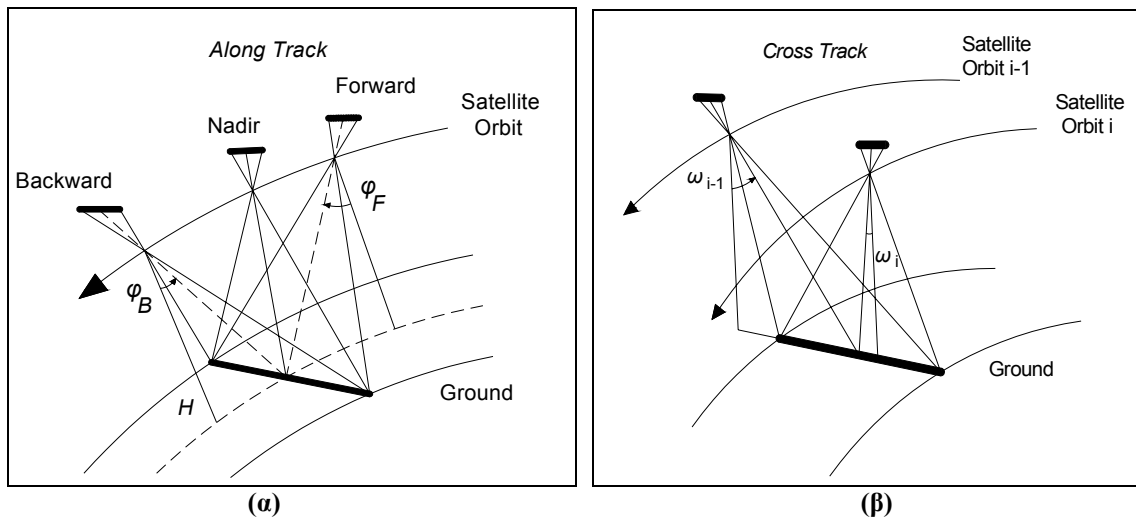
Τα δύο αυτά είδη αισθητήρων φαίνονται στην Εικόνα 5.3, που ακολουθεί.



Εικόνα 5.3: (α) Γραμμικός αισθητήρας και (β) επιφανειακός αισθητήρας [Γεωργόπουλος 1998].

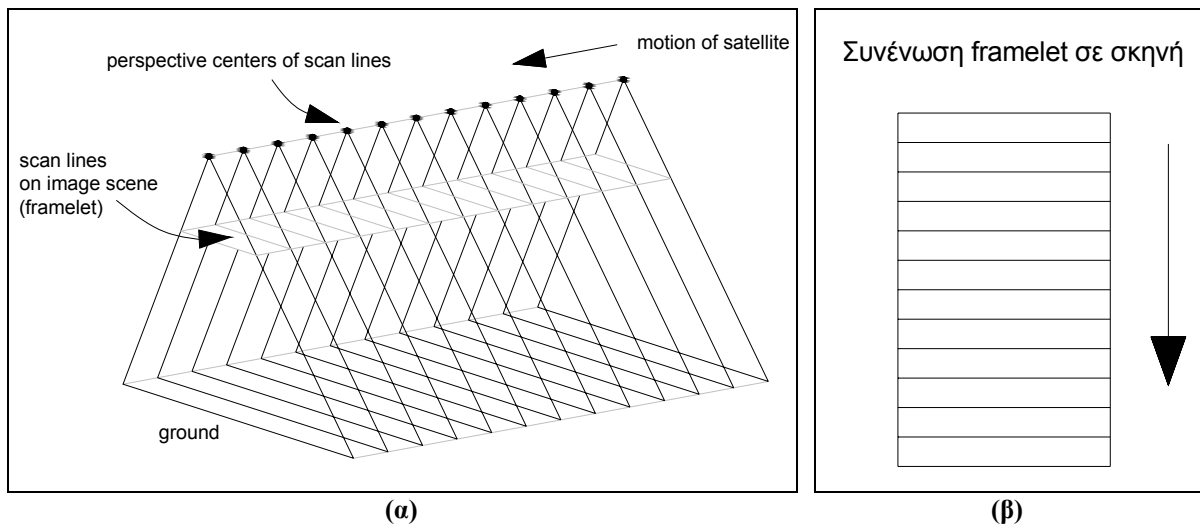
Μία ακόμη βασική διάκριση των δορυφορικών Pushbroom αισθητήρων, με κριτήριο την τεχνική απόκτησης στερεοζεύγους, είναι ([Samadzadegan et al 2005], [Ιωαννίδης 2006], [Καροπούλου 2007]):

- ✓ σε αισθητήρες *along-track*, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στις όπισθεν και εμπροσθεν οπτικές διατάξεις του δορυφόρου, και με τους οποίους η απόκτηση του στερεοζεύγους γίνεται κατά τη διεύθυνση της τροχιάς (orbit) του δορυφόρου, και
- ✓ σε αισθητήρες *across-track*, οι οποίοι χρησιμοποιούν τις μη ναδιρικές δυνατότητες θέασης που έχουν, με αποτέλεσμα το στερεοζεύγος να αποκτάται από διαδοχικές γειτονικές τροχιές, σε διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση πτήσης του δορυφόρου.



Εικόνα 5.4: (α) Η along-track και (β) η across-track, τεχνική στερεοκάλυψη [Samadzadegan et al 2005].

Η σάρωση της περιοχής κατόπτρευσης με ένα γραμμικό αισθητήρα τύπου Pushbroom, και κατ' επέκταση η δημιουργία της δορυφορικής σκηνής, πραγματοποιείται καθώς αυτός κινείται παράλληλα με την κίνηση του δορυφόρου, κατά μήκος της τροχιάς του, σαν σκούπα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.5. Για το λόγο αυτό, και η τεχνική σάρωσης ονομάζεται αντίστοιχα push-broom scanning [Γεωργόπουλος 1998]. Η διεύθυνση των λωρίδων σάρωσης (framelet) είναι κάθετη στη διεύθυνση κίνησης του δορυφόρου.



Εικόνα 5.5: Αναπαράσταση της διαδικασίας απόκτησης δορυφορικής σκηνής με την pushbroom τεχνική σάρωσης ([Κατσιγιάννης 2005], [Ιωαννίδης 2006]).

Η σάρωση της περιοχής γίνεται με σταθερό ρυθμό. Καθώς ο δορυφόρος διέρχεται από διαδοχικές θέσεις της τροχιάς του, η πληροφορία περνάει από τα οπτικά του συστήματα και αποθηκεύεται στον αισθητήρα. Η ενέργεια που αποθηκεύεται από κάθε ανιχνευτή επεξεργάζεται και καταγράφεται ψηφιακά. Μετά από την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, τα φωτοευαίσθητα στοιχεία του αισθητήρα είναι ελεύθερα και έτοιμα για την καταγραφή του επόμενου framelet [Κατσιγιάννης 2005]. Η λήψη framelet είναι συνεχής, με συχνότητα αντίστοιχη της ταχύτητας σάρωσης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επαρκής κάλυψη της γήινης επιφάνειας κατά τη διεύθυνση της πτήσης του δορυφόρου. Βέβαια, μειονέκτημα για τις δορυφορικές απεικονίσεις που προκύπτουν με αυτή την τεχνική σάρωσης, αποτελεί το γεγονός ότι κάθε framelet έχει το δικό του εξωτερικό προσανατολισμό.

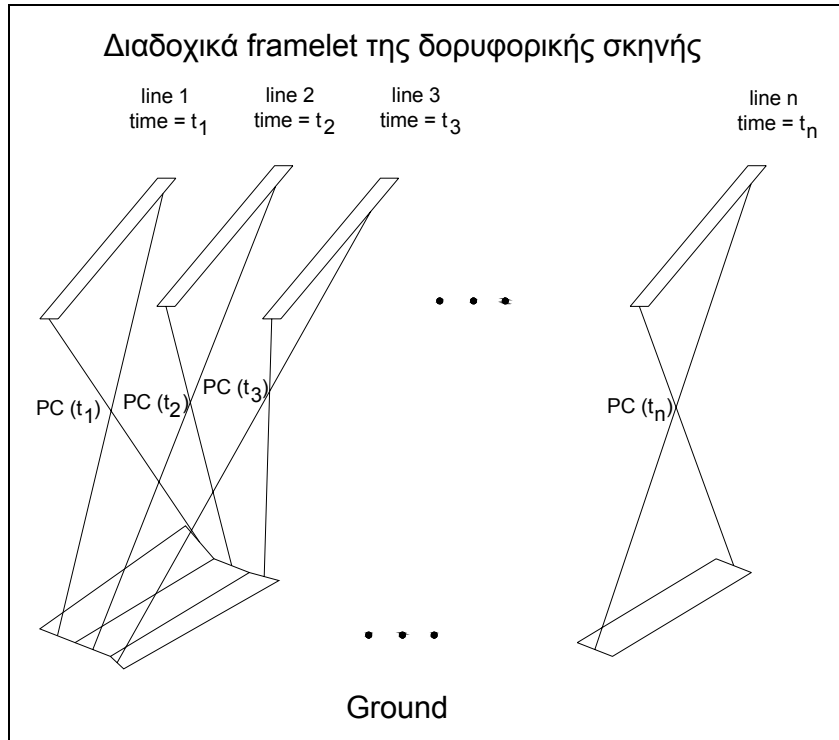
Στη βασική του μορφή, κάθε framelet, που είναι το δομικό στοιχείο μιας image scene, αποτελείται από μία σειρά εικονοστοιχείων (pixel), η διεύθυνση της οποίας είναι κάθετη σε αυτή της κίνησης του δορυφόρου. Το μήκος κάθε framelet είναι ίδιο με το μήκος του γραμμικού αισθητήρα, ενώ το πλάτος του είναι ίδιο με το πλάτος του pixel. Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.5, η συνένωση χιλιάδων framelet σχηματίζει την τελικά λαμβανόμενη δορυφορική σκηνή, το πλάτος της οποίας είναι ίδιο με το μήκος κάθε framelet.

Όσον αφορά τον εσωτερικό προσανατολισμό των δορυφορικών δεκτών, περιλαμβάνει παραμέτρους για τις θέσεις και το μέγεθος των αισθητήρων και των φωτοστοιχείων τους, για την εστιακή απόσταση ή αλλιώς για το μήκος της σταθεράς της μηχανής, για τη θέση του πρωτεύοντος σημείου, και τέλος για την οπτική διαστροφή των φακών ([Κατσιγιάννης 2005], [Ιωαννίδης 2006]).

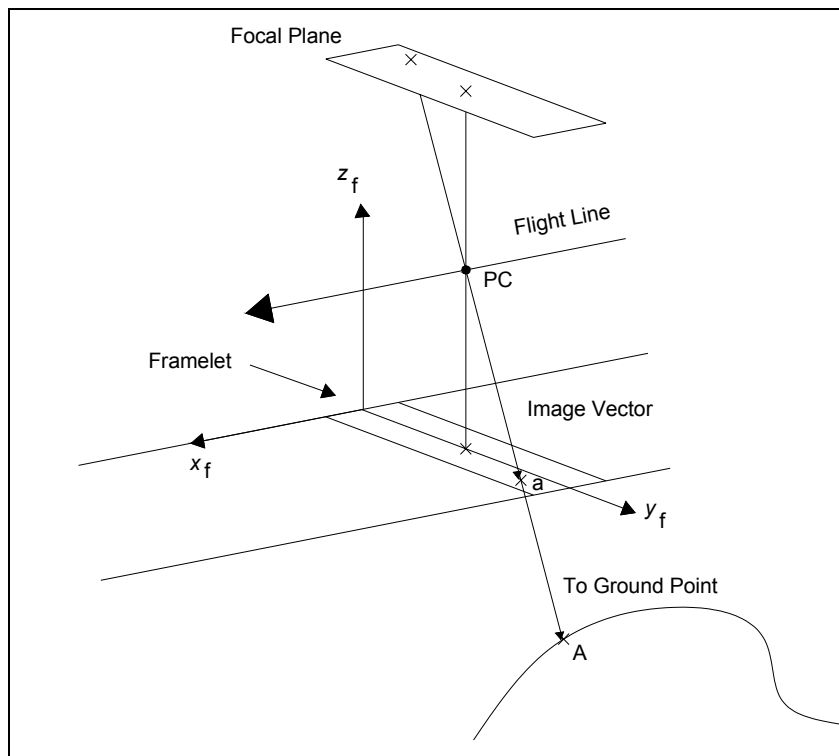
Η θέση των αισθητήρων CCD στους δορυφορικούς δέκτες, συνήθως βρίσκεται εκεί όπου από τα οπτικά στοιχεία (φακούς, κάτοπτρα κ.λ.π.) δημιουργείται το είδωλο της απεικόνισης, δηλαδή στο εστιακό επίπεδο. Κάθε γραμμικός αισθητήρας CCD αντιστοιχεί σε μια σειρά pixel στη δορυφορική σκηνή, δηλαδή σε ένα framelet, και κατ' επέκταση σε μία σαρωμένη λωρίδα εδάφους της περιοχής κατόπτρευσης. Έτσι, η απεικόνιση που προκύπτει πλησιάζει στην κεντρική προβολή [Γεωργόπουλος 1998].

Η γεωμετρία των δορυφορικών εικόνων και η αποκατάσταση του εξωτερικού τους προσανατολισμού είναι πολύ πιο πολύπλοκα ζητήματα σε σχέση με τις αεροφωτογραφίες και τις επίγειες λήψεις. Στην περίπτωση των δορυφορικών απεικονίσεων, οι παράμετροι του εξωτερικού προσανατολισμού δεν είναι σταθερές για όλη τη σκηνή, αλλά αντίθετα μεταβάλλονται για κάθε framelet. Πιο συγκεκριμένα, μία δορυφορική σκηνή που έχει αποκτηθεί με την Pushbroom τεχνική σάρωσης δεν αναφέρεται στο σύνολό της σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, αλλά, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.6, καθένα από τα framelet που την αποτελούν αναφέρεται σε συγκεκριμένη, διαφορετική κάθε φορά, χρονική στιγμή. Επομένως, γίνεται κατανοητό ότι χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα για τη δημιουργία της δορυφορικής απεικόνισης. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη μεγάλη ταχύτητα του δορυφόρου, έχει ως συνέπεια τη συνεχή μεταβολή της σχετικής θέσης δορυφόρου-γης κατά τη λήψη κάθε framelet της δορυφορικής σκηνής, και κατ' επέκταση τη μεταβολή των στοιχείων εξωτερικού προσανατολισμού για κάθε λωρίδα εικόνας (framelet), συναρτήσει της κίνησης του δορυφόρου.

Παρ' όλη την πολυπλοκότητα που παρουσιάζει η γεωμετρία μιας δορυφορικής απεικόνισης, η βασική αρχή της μπορεί να περιγραφεί από τη συνθήκη συγγραμμικότητας. Η εφαρμογή της συνθήκης και των εξισώσεων συγγραμμικότητας είναι δυνατή για κάθε framelet, καθώς καθένα από αυτά θεωρείται ότι έχει την ίδια προβολική γεωμετρία με μία αεροφωτογραφία. Δηλαδή, η γεωμετρία του μπορεί να περιγραφεί από το μοντέλο της κεντρικής προβολής. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.7, η συνθήκη συγγραμμικότητας δηλώνει ότι ένα σημείο του εδάφους (A), η εικόνα του (a) στο framelet της σκηνής στο οποίο έχει αποτυπωθεί, το προβολικό κέντρο (PC), και η εικόνα του σημείου στο εστιακό επίπεδο συνδέονται μεταξύ τους με μία ευθεία γραμμή. Η μορφή των εξισώσεων συγγραμμικότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, εξαρτάται κάθε φορά από τον τύπο του αισθητήρα και από τον τύπο των διαθέσιμων δεδομένων [Καροπούλου 2007].



Εικόνα 5.6: Κάθε framelet αναφέρεται σε διαφορετική χρονική στιγμή, με αποτέλεσμα τη μεταβολή των στοιχείων εξωτερικού προσανατολισμού για κάθε λωρίδα εικόνας [Ιωαννίδης 2006].



Εικόνα 5.7: Εφαρμογή της συνθήκης συγγραμμικότητας σε framelet από γραμμικό αισθητήρα τύπου Pushbroom. Το σημείο του εδάφους, η εικόνα του στο framelet, η εικόνα του στο εστιακό επίπεδο και το προβολικό κέντρο βρίσκονται στην ίδια ευθεία [Καροπούλου 2007].

Για τη γεωαναφορά μιας δορυφορικής σκηνής, απαιτείται ο υπολογισμός χιλιάδων άγνωστων παραμέτρων του εξωτερικού προσανατολισμού, έξι $(X_o, Y_o, Z_o, \omega, \phi, \kappa)$ για κάθε framelet. Σε αυτούς τους αγνώστους προστίθενται και τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού

των συστημάτων σάρωσης, ή αλλιώς οι παράμετροι του δέκτη, τα οποία συνήθως είναι άγνωστα. Τελικά, προκύπτει η ανάγκη προσδιορισμού ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων, που όμως είναι πρακτικά ανέφικτος, λόγω του μεγάλου αριθμού σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων και σημείων ελέγχου, που απαιτούνται. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η προσπάθεια μείωσης αυτών των άγνωστων παραμέτρων, έτσι ώστε να γίνει ευκολότερη η χρήση και η διαχείριση των δορυφορικών εικόνων.

Μία σημαντική μείωσή τους μπορεί να επιτευχθεί, με την παραδοχή ότι η κίνηση του δορυφόρου είναι γνωστή και σταθερή, με συνέπεια και ο εξωτερικός προσανατολισμός των framelet να θεωρείται ότι μεταβάλλεται με προβλέψιμο τρόπο, ώστε να μπορεί να μοντελοποιηθεί. Δηλαδή, απαιτείται ένα δυναμικό μαθηματικό μοντέλο δέκτη για την περιγραφή της γεωμετρίας της δορυφορικής λήψης και για τη γεωαναφορά της, η οποία είναι αναγκαία για την παραγωγή οποιουδήποτε φωτογραμμετρικού προϊόντος από δορυφορικές εικόνες. Τα μοντέλα αυτά ονομάζονται *μαθηματικά μοντέλα δεκτών* ή *μοντέλα αισθητήρων* ή *μοντέλα γεωαναφοράς*. Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται κάθε φορά, μαζί με το είδος του αισθητήρα, αν δηλαδή είναι γραμμικός ή επιφανειακός, και τον τρόπο δημιουργίας της εικόνας, δηλαδή την τεχνική σάρωσης, αποτελούν τους παράγοντες καθορισμού της γεωμετρίας του συστήματος [Ιωαννίδης 2006].

Τα μαθηματικά μοντέλα δεκτών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα αυστηρά και τα προσεγγιστικά. Το είδος του μοντέλου που τελικά θα εφαρμοστεί, καθορίζεται κυρίως από το απαιτούμενο επίπεδο ακρίβειας, αλλά και από τα διαθέσιμα δεδομένα, τα οποία, μεταξύ άλλων, αφορούν την τροχιά του δορυφόρου και τον αριθμό των σημείων ελέγχου.

Για την εφαρμογή ενός αυστηρού μαθηματικού μοντέλου ή γεωμετρικού αλγορίθμου, όπως αλλιώς λέγεται, πρέπει να είναι γνωστά:

- ✓ το φυσικό μοντέλο του δέκτη, το οποίο περιγράφει το πως συνδέονται οι εικονοσυντεταγμένες των σημείων της δορυφορικής απεικόνισης, με το προβολικό κέντρο και τις αντίστοιχες γεωδαιτικές τους συντεταγμένες [Κατσιγιάννης 2005], και
- ✓ το μοντέλο με βάση την τροχιά του δορυφόρου, το οποίο στηρίζεται σε παραμέτρους που αφορούν την τροχιά του δορυφόρου, τη θέση του και τον προσανατολισμό του δέκτη ή των δεκτών του σε σχέση με ένα γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς.

Συνεπώς, τα αυστηρά μαθηματικά μοντέλα χαρακτηρίζονται και ως παραμετρικά, με τις παραμέτρους που εμπλέκονται σε αυτά να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους και να έχουν φυσική σημασία [Καροπούλου 2007].

Τα συγκεκριμένα μοντέλα, για την αποκατάσταση των χωρικών σχέσεων ανάμεσα στην απεικόνιση και την απεικονιζόμενη περιοχή της γήινης επιφάνειας, χρησιμοποιούν τις εξισώσεις συγγραμμικότητας, οι οποίες έχουν προσδιοριστεί αυστηρώς μαθηματικά, με βάση το διαθέσιμο φυσικό και τροχιακό μοντέλο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, με την εφαρμογή τους να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ακρίβεια γεωαναφοράς, με την προϋπόθεση οι σχετικές φυσικές παράμετροι να είναι γνωστές με ικανοποιητική ακρίβεια, καθώς περιγράφουν με τον καλύτερο τρόπο τη φυσική διαδικασία απεικόνισης [Καροπούλου 2007].

Στην πράξη όμως, τα αυστηρά μαθηματικά μοντέλα παρουσιάζουν περιορισμούς στην εφαρμογή τους και πολλά μειονεκτήματα, τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια ([Samadzagan et al 2005], [Ιωαννίδης 2006]):

- ✓ Χαρακτηρίζονται για την πολυπλοκότητά τους.
- ✓ Τα περισσότερα εξαρτώνται από τον εκάστοτε αισθητήρα, που σημαίνει ότι πρέπει να τροποποιηθούν για την εφαρμογή τους σε δεδομένα από διαφορετικούς αισθητήρες.

- ✓ Οι περισσότερες εταιρείες πώλησης δορυφορικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης δεν είναι πρόθυμες να γνωστοποιήσουν το φυσικό μοντέλο των αισθητήρων που χρησιμοποιούν, όπως επίσης και ακριβή δεδομένα για την εφημερίδα του δορυφόρου. Αυτό σημαίνει ότι ένας μεγάλος αριθμός παραμέτρων είναι άγνωστες, και δε μπορούν να προσδιοριστούν με την απαιτούμενη ακρίβεια μόνο από τη δορυφορική εικόνα.

Παρά την υψηλή ακρίβεια γεωαναφοράς που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή των αυστηρών μαθηματικών μοντέλων, τα σημαντικά μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οδηγούν στη διαδεδομένη χρήση των προσεγγιστικών μαθηματικών μοντέλων, που είναι ανεξάρτητα από τον τύπο του αισθητήρα που χρησιμοποιεί ο εκάστοτε δορυφόρος.

Τα προσεγγιστικά μοντέλα αποτελούν μια εξελιγμένη λύση για την επιτυχή αντιμετώπιση των περιορισμών των αυστηρών μαθηματικών μοντέλων [Samadzadegan et al 2005]. Στην περίπτωση των προσεγγιστικών μοντέλων, ο μετασχηματισμός ανάμεσα στο σύστημα συντεταγμένων της εικόνας και στο επίγειο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, εκφράζεται με γενικευμένες σχέσεις, χωρίς να περιγράφεται αυστηρά η φυσική διαδικασία της απεικόνισης. Τα μοντέλα αυτά, που αναφέρονται και ως μη παραμετρικά, προσεγγίζουν ουσιαστικά το αυστηρό μαθηματικό μοντέλο του αισθητήρα, χωρίς να απαιτούν δεδομένα σχετικά με το φυσικό μοντέλο του δέκτη ή την εφημερίδα του δορυφόρου. Αντίθετα, χρησιμοποιούν ένα μεγάλο αριθμό σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων (GCPs) [Καροπούλου 2007].

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούν τα προσεγγιστικά μοντέλα για να μετασχηματίσουν τις εικονοσυντεταγμένες σημείων της γήινης επιφάνειας, x_i, y_i ή i, j , στις σωστές γεωδαιτικές τους συντεταγμένες, X, Y, Z , είναι της μορφής:

$$x_i = i = f_1(X, Y, Z) \quad (5.1)$$

$$y_i = j = f_2(X, Y, Z) \quad (5.2)$$

όπου f_1, f_2 , οι συναρτήσεις μετασχηματισμού.

Οι συναρτήσεις αυτές μπορεί να είναι γραμμικά πολυώνυμα προσαρμογής (πολυώνυμα 1^{ου} βαθμού), πολυώνυμα 2^{ου} ή 3^{ου} βαθμού, κλάσματα γραμμικών πολυωνύμων, ή τέλος κλάσματα πολυωνύμων 3^{ου} ή μεγαλύτερου βαθμού, όπως στην περίπτωση των *μοντέλων κλασματικών πολυωνύμων (Rational Function Models, RFM)*, τα οποία αποτελούν την πιο διαδεδομένη, σε χρήση, κατηγορία προσεγγιστικών μαθηματικών μοντέλων.

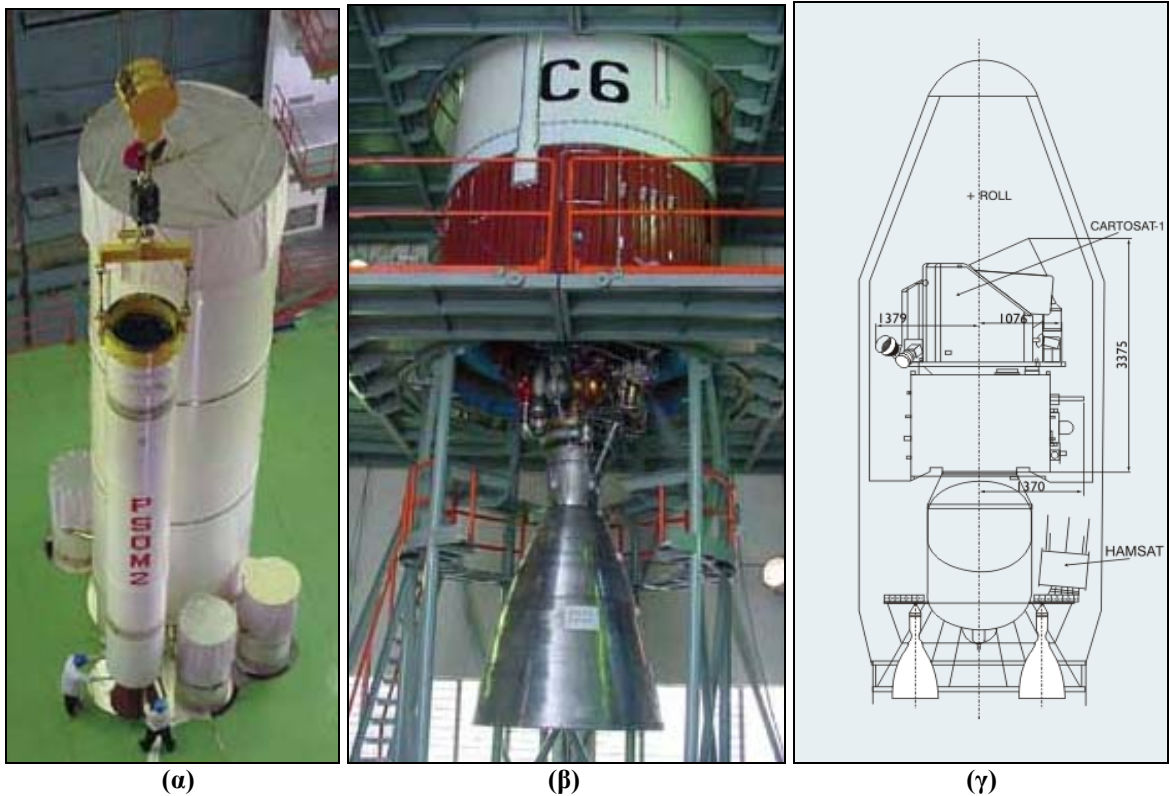
Εκτενής αναφορά στα RFM γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο, όπου περιγράφεται η διαδικασία με την οποία πραγματοποιήθηκε η γεωαναφορά του δορυφορικού στερεοζεύγους του Cartosat-1, καθώς η συγκεκριμένη κατηγορία προσεγγιστικών μοντέλων γεωαναφοράς ήταν εκείνη που χρησιμοποιήθηκε.

5.2.2 Ο δορυφόρος Cartosat-1

Ο δορυφόρος IRS-P5 Cartosat-1 είναι ένας τηλεπισκοπικός δορυφόρος της γης με δυνατότητα στερεοκάλυψης, που κατασκευάστηκε, εκτοξεύθηκε και υποστηρίζεται από την Ινδική Οργάνωση Έρευνας του Διαστήματος (Indian Space Research Organization - ISRO).

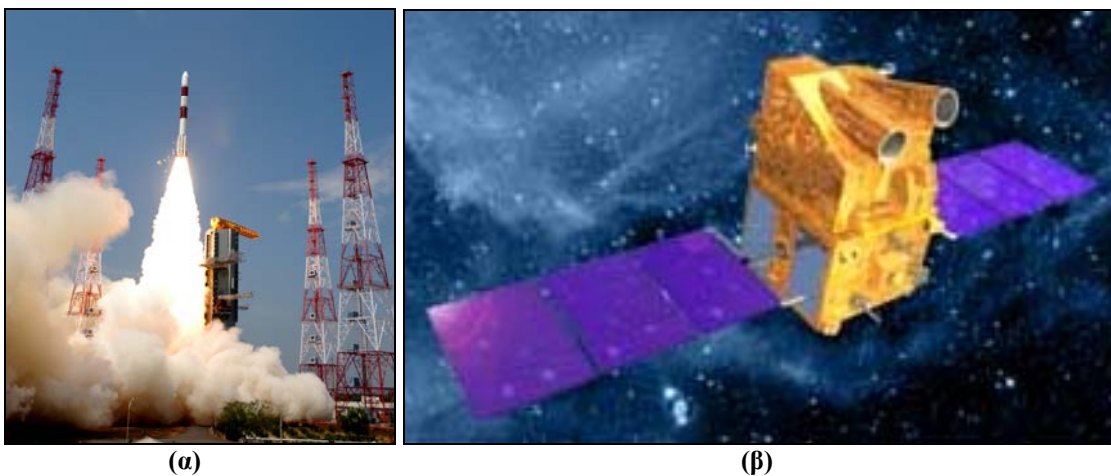
Για την εκτόξευσή του, χρησιμοποιήθηκε το ινδικό όχημα πολιτικής εκτόξευσης δορυφόρων PSLV (Polar Satellite Launch Vehicle) της ISRO, και η διαστημική αποστολή ονομάστηκε PSLV-C6. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ίδιο όχημα χρησιμοποιήθηκε στην αποστολή Chandrayaan-1, που εκτοξεύθηκε τον Οκτώβριο του 2008 και είναι η πρώτη μη επανδρωμένη αποστολή της Ινδίας στη Σελήνη. Το PSLV, που έχει ύψος 44 m και βάρος 295 ton,

αποτελείται από τέσσερις βαθμίδες που χρησιμοποιούν εναλλάξ στερεά και υγρά προωθητικά συστήματα.



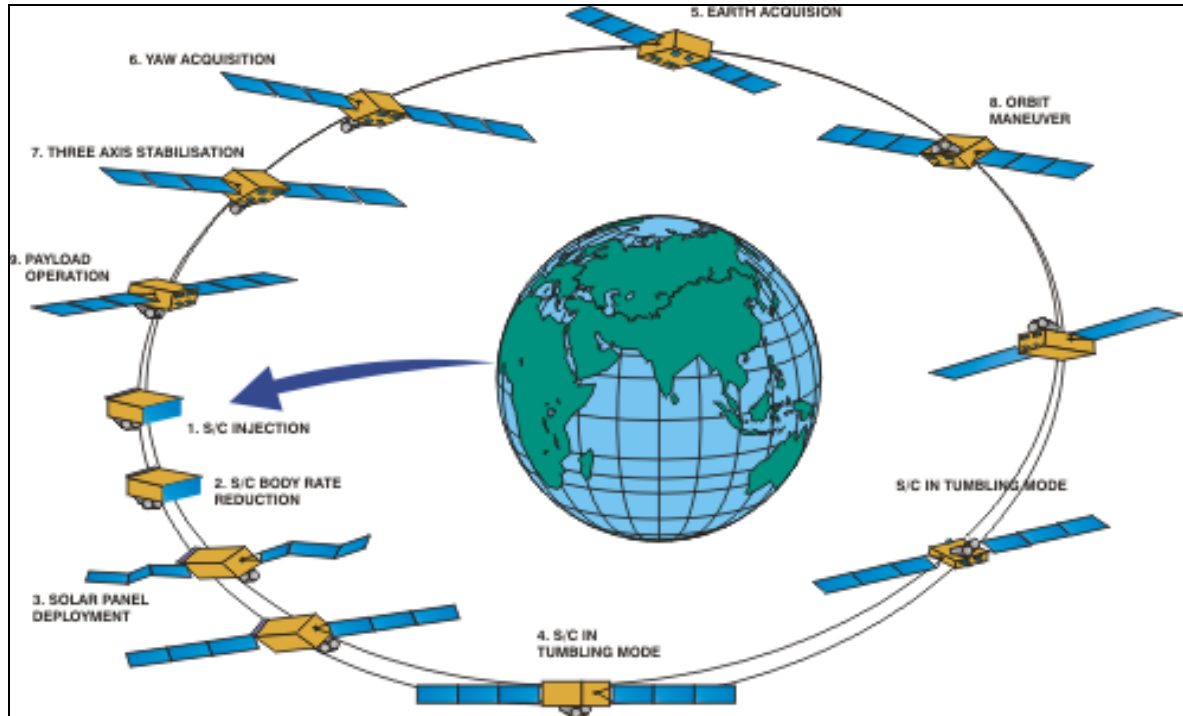
Εικόνα 5.8: (α), (β) Η προετοιμασία του οχήματος PSLV για τη διαστημική αποστολή PSLV-C6.
(γ) Η θέση του Cartosat-1 στην τέταρτη βαθμίδα του PSLV.

Στις 5 Μαΐου 2005, η διαστημική αποστολή PSLV-C6 εκτοξεύθηκε από το Διαστημικό Κέντρο SHAR του Satish Dhawan (SDSC SHAR), που είναι διαστημική βάση στην ανατολική ακτή της Ινδίας. Σταδιακά, οι διάφορες βαθμίδες του διαστημικού οχήματος μετά την ανάφλεξή τους αποκολλήθηκαν από αυτό, και 1078 δευτερόλεπτα μετά από την απογείωση, ο Cartosat-1 αποκόπηκε επιτυχώς από την τέταρτη βαθμίδα υγρής πρόωσης του PSLV. Ο δορυφόρος τέθηκε σε ηλιοσύγχρονη πολική τροχιά ύψους 618 km, με μια κλίση $97,9^\circ$ ως προς τον Ισημερινό.



Εικόνα 5.9: (α) Η στιγμή εκτόξευσης της διαστημικής αποστολής PSLV-C6. (β) Ο δορυφόρος Cartosat-1 με ανοικτούς τους ηλιακούς του συλλέκτες.

Οι δύο ηλιακοί συλλέκτες του Cartosat-1 (ένας σε κάθε πλευρά του δορυφόρου), οι οποίοι τον τροφοδοτούν με ενέργεια, ξεδιπλώθηκαν αμέσως μετά την τοποθέτησή του σε τροχιά. Ακολούθησε ένας εξονυχιστικός έλεγχος των διάφορων υποσυστημάτων του δορυφόρου, η έναρξη λειτουργίας των δύο φωτομηχανών που μεταφέρει και η τελειοποίηση της τροχιάς του μετά από μια σειρά πολύπλοκων ελιγμών.

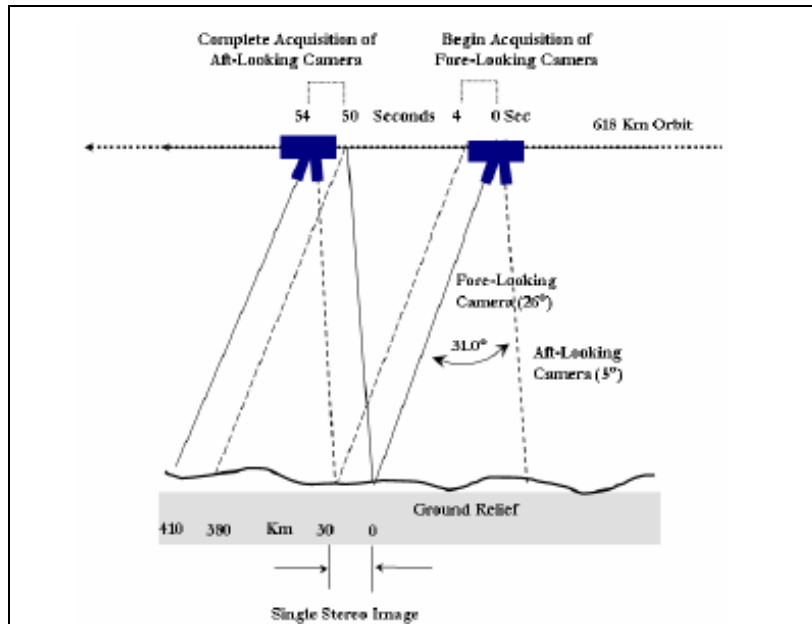


Εικόνα 5.10: Τα στάδια που ακολούθησαν μετά την αποκοπή του Cartosat-1 από την τέταρτη βαθμίδα του PSLV.

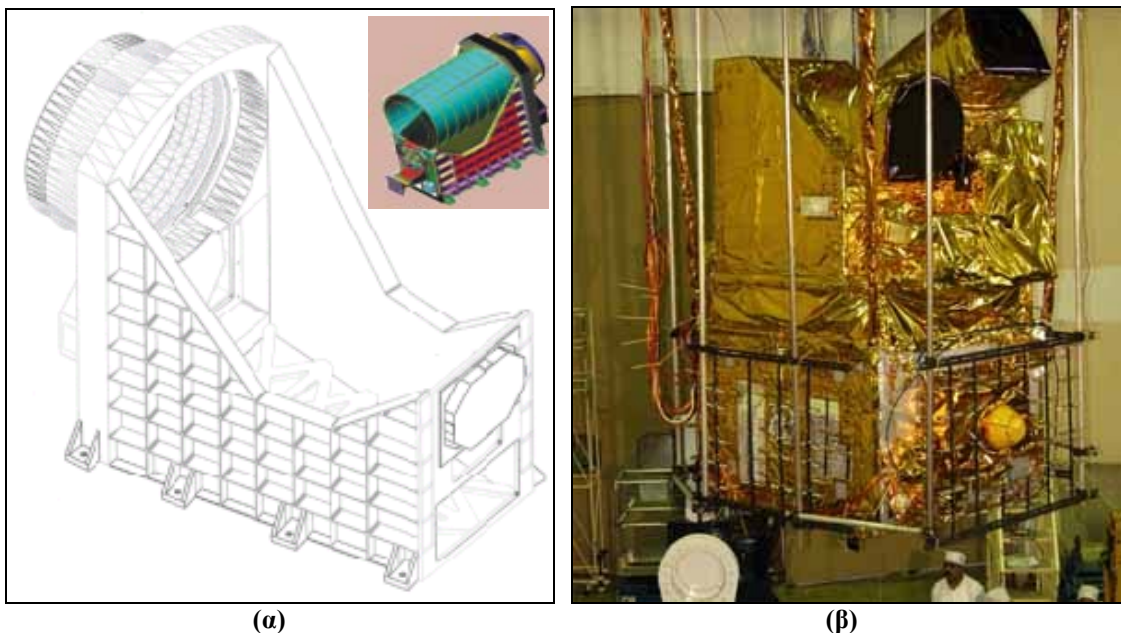
Οι τροχιακές παράμετροι του δορυφόρου Cartosat-1 επιλέχθηκαν με βάση διάφορες μελέτες. Η τροχιά του επιλέχθηκε να είναι ηλιοσύγχρονη, δηλαδή το τροχιακό επίπεδο του δορυφόρου να περιστρέφεται γύρω από τη γη με τον ίδιο ρυθμό που ο ήλιος κινείται κατά μήκος της γήινης επιφάνειας. Ο συγκεκριμένος τύπος τροχιάς εξασφαλίζει τη συλλογή εικόνων κάτω από σχεδόν συνεχείς συνθήκες φωτισμού καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του δορυφόρου, όπως επίσης και την επαναλαμβανόμενη κάλυψη της ίδιας περιοχής σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Προκειμένου ο δορυφόρος να επισκέπτεται ξανά την ίδια περιοχή σε ένα μικρότερο χρονικό διάστημα από τον επαναληπτικό κύκλο, παρέχεται μία μη ναδιρική δυνατότητα θέασης. Χρησιμοποιώντας αυτή τη δυνατότητα, κάθε περιοχή που πιθανότατα να μη μπορούσε να απεικονιστεί σε μια δεδομένη ημέρα, π.χ. λόγω νεφοκάλυψης, τώρα μπορεί να απεικονιστεί κάποια άλλη ημέρα. Ο τυπικός κύκλος επανεπίσκεψης λαμβάνοντας υπόψη αυτή τη δυνατότητα είναι πέντε ημέρες.

Το ωφέλιμο φορτίο του Cartosat-1 είναι δύο ψηφιακοί δέκτες που δουλεύουν σε παγχρωματική ευαισθησία, η οποία αποτελεί την πλέον ενδιαφέρουσα για φωτογραμμετρικές εφαρμογές. Οι παγχρωματικές αυτές κάμερες λαμβάνουν ασπρόμαυρες στερεοσκοπικές εικόνες της γης στην ορατή περιοχή του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η μπροστινή κάμερα είναι τοποθετημένη στο δορυφόρο με μία κλίση $+26^\circ$ και η πίσω κάμερα με μία κλίση -5° από τον άξονα yaw, ώστε από το συνδυασμό τους να αποκτούνται στερεοσκοπικά ζεύγη εικόνων κατά τη διεύθυνση της τροχιάς (along track). Ο χρόνος που απαιτείται για την απόκτηση ενός στερεοζεύγους είναι περίπου 53 δευτερόλεπτα. Στην Εικόνα 5.11 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνονται επικαλυπτόμενες εικόνες κατά τη διεύθυνση της τροχιάς από τις δύο κάμερες του δορυφόρου. Οι κάμερες είναι

καλωδιωμένες κάθετα στη διεύθυνση κίνησης του δορυφόρου, προκειμένου να διευκολύνουν τη συχνότερη απεικόνιση μιας περιοχής. Επιπλέον, ο δορυφόρος κινείται και κατά πλάτος της τροχιάς, έτσι ώστε να παρέχεται ευρύτερη κάλυψη σε μικρότερο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 5.11: Η τεχνική απόκτησης στερεοζεύγους κατά τη διεύθυνση της τροχιάς (along track) από τις δύο κάμερες του δορυφόρου Cartosat-1.



Εικόνα 5.12: (α) Η διαμόρφωση της ηλεκτρο-οπτικής ενότητας της παγχρωματικής κάμερας του Cartosat-1. (β) Ο δορυφόρος Cartosat-1 κατά τη διαδικασία συναρμολόγησής του.

Κάθε κάμερα αποτελείται από τρία κατοπτρικά, αξονικά, ανακλαστικά τηλεσκόπια με πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή κάτοπτρα. Τα κάτοπτρα αυτά είναι κατασκευασμένα από ειδικό γυαλί και επικαλυμμένα με ενισχυμένη επίστρωση AlO_2 (Διοξειδίου του Αργιλίου). Είναι τοποθετημένα στην ηλεκτρο-οπτική ενότητα της κάμερας (Εικόνα 5.12α), με τέτοιο τρόπο ώστε η διαστροφή σε αυτά να είναι ελάχιστη. Το πλάτος σάρωσης των

φωτομηχανών υψηλής ανάλυσης του Cartosat-1 είναι $30 \times 30 \text{ km}^2$ και η χωρική τους ανάλυση είναι 2.5 m. Για το λόγο αυτό, μία γραμμική συστοιχία CCD με διάσταση φωτοστοιχείου 7 μm χρησιμοποιείται ως αισθητήρας. Τα ηλεκτρονικά συστήματα επεξεργασίας της CCD χρησιμοποιούν συσκευές υψηλής ταχύτητας, προκειμένου να αναταποκρίνονται στις απαιτήσεις γρήγορου ρυθμού απόκτησης των δεδομένων.

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των φωτομηχανών του Cartosat-1. Μεταξύ άλλων αναγράφονται στοιχεία για τις εξής παραμέτρους [Γεωργόπουλος 1998]:

- ✓ Τη *χωρική ανάλυση* ή *χωρική διαχωριστική ικανότητα*, η οποία σχετίζεται με το μέγεθος του pixel στο έδαφος κι επομένως έχει άμεση επίδραση στη γεωμετρική ποιότητα της ψηφιακής δορυφορικής απεικόνισης. Το κυριότερο κριτήριο για τον ορισμό της είναι το στιγμιαίο γεωμετρικό οπτικό πεδίο (Instantaneous Geometric Field of View – IGFOV), που ορίζεται ως το τμήμα της επιφάνειας της γης που απεικονίζεται από τη φωτομηχανή σε μια δεδομένη χρονική στιγμή και από ένα δεδομένο ύψος πτήσης. Συνήθως μετράται είτε ως γωνιακό μέγεθος, είτε ως επιφανειακό.
- ✓ Τη *φασματική ανάλυση* ή *φασματική διαχωριστική ικανότητα*, που αφορά το εύρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που είναι σε θέση να καταγράψει ο δέκτης.
- ✓ Τη *ραδιομετρική ανάλυση* ή *ραδιομετρική διαχωριστική ικανότητα* ή *ραδιομετρική ευαισθησία*, η οποία αναφέρεται στον αριθμό των τιμών που μπορεί να πάρει η καταγραφόμενη ακτινοβολία. Ο αριθμός των τιμών αυτών, που μπορεί να είναι δύο το ελάχιστο, αντιστοιχεί στον αριθμό των bits που απασχολούνται για να δώσουν την τιμή της ακτινοβολίας σε ένα συγκεκριμένο σημείο (pixel) της εικόνας. Αναγράφεται, επίσης, η τιμή του *λόγου σήματος προς θόρυβο* (Signal-to-Noise Ratio – SNR), ο οποίος είναι το πηλίκο του καταγραφόμενου σήματος, δηλαδή του ποσού της πληροφορίας που περιέχεται στα καταγραφόμενα από το δέκτη δεδομένα, προς τον επίσης καταγραφόμενο θόρυβο. Ως θόρυβος νοείται κάθε άχρηστη ακτινοβολία που μπερδεύεται και καταγράφεται μαζί με το χρήσιμο σήμα και συνήθως προέρχεται από λειτουργικές ατέλειες των τμημάτων του δέκτη. Ο SNR δίνει το μέτρο του θορύβου για κάθε σύστημα καταγραφής και μετράται σε dB. Το επίπεδο του θορύβου κατά την καταγραφή επηρεάζει άμεσα τόσο τη ραδιομετρική, όσο και τη φασματική διαχωριστική ικανότητα, καθώς όσο πιο περιορισμένη είναι η περιοχή του φάσματος που καταγράφει ένας δέκτης, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η φασματική διαχωριστική του ικανότητα, τόσο πιο μεγάλος είναι ο SNR.
- ✓ Τη *συμπίεση* των δεδομένων, που ορίζεται ως η μείωση του μεγέθους των ψηφιακών αρχείων των εικόνων, όσο το δυνατό χωρίς απώλειες της περιεχόμενης πληροφορίας. Ο αλγόριθμος JPEG αποτελεί το σημαντικότερο πρότυπο συμπίεσης ψηφιακών εικόνων, με ελεγχόμενες απώλειες.
- ✓ Τέλος, το *λόγο B/H για στερεοζεύγος*, δηλαδή το λόγο βάσης προς ύψος πτήσης, που σχετίζεται με την εξασφάλιση στερεοσκοπικής όρασης και με την επιφάνεια του σχηματιζόμενου στερεομοντέλου.

Οι συμπίεσμένες εικόνες που λαμβάνονται από τις κάμερες του Cartosat-1, αποθηκεύονται σε ένα στερεό καταγραφέα χωρητικότητας 120 GB που μεταφέρει ο δορυφόρος. Όταν ο Cartosat-1 βρεθεί εντός της ζώνης ορατότητας ενός επίγειου σταθμού, οι αποθηκευμένες εικόνες μπορούν να διαβιβαστούν σε αυτόν, ο οποίος τις ανακατασκευάζει από τα δεδομένα που λαμβάνει. Ο Εθνικός Οργανισμός Τηλεπισκόπησης της Ινδίας (National Remote Sensing Agency – NRSA) στο Hyderabad, λαμβάνει, επεξεργάζεται και διανέμει τα δεδομένα από τον Cartosat-1.

α/α	Όνομα Παραμέτρου	Χαρακτηριστικά μπροστά κάμερας (Fore)	Χαρακτηριστικά πίσω κάμερας (Aft)
1	Χωρική Ανάλυση (IGFOV) (m) (Across track × Along track)	2.5 × 2.78	2.22 × 2.23
2	Φασματική Ανάλυση (α) Αριθμός Καναλιών (β) Εύρος Καναλιών	(α) 1 (Παγχρωματικό) (β) 500 nm έως 850 nm	
3	Ραδιομετρική Ανάλυση SNR	10 bit 345 dB	
4	Πλάτος Σάρωσης (km) (α) Στερεοσκοπικά (β) Μονοσκοπικά	(α) 30 (β) 26.855	
5	Παράμετροι CCD: (α) Αριθμός Στοιχείων (β) Μέγεθος Στοιχείου Ανιχνευτή	(α) 12000 ανά κάμερα (β) 7 × 7 μm	
6	Οπτικά (α) Αριθμός κατόπτρων (β) Πραγματική Εστιακή Απόσταση (mm) (γ) Οπτικό Πεδίο (μοίρες)	(α) 3 (β) 1945 (γ) +/- 1.08°	
7	Χρόνος Ολοκλήρωσης Λήψης (ms)	0.336	
8	Ρυθμός Απόκτησης Δεδομένων	105 Mb/s	
9	Συμπίεση Δεδομένων (α) Αλγόριθμος (β) Λόγος Συμπίεσης	(α) JPEG (β) 3.2 (ο μέγιστος)	
10	Ονομαστικός λόγος Β/Η για στερεοζεύγος	0.62	

Πίνακας 5.2: Τα κύρια χαρακτηριστικά των φωτομηχανών του Cartosat-1.

Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζονται συνοπτικά τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του δορυφόρου Cartosat-1.

CARTOSAT-1 - ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Ημερομηνία εκτόξευσης	5 Μαΐου 2005
Διάρκεια αποστολής	5 χρόνια
Μέγεθος	2.4 m × 2.7 m
Μάζα απογείωσης	1560 kg
Ωφέλιμο φορτίο	Δύο παγχρωματικές κάμερες
Δυνατότητα Απόκτησης Στερεοζεύγους	NAI - Κατά τη διεύθυνση της τροχιάς (Along track)
Χωρική Ανάλυση (Παγχρωματικό)	2.5 m
Πλάτος Σάρωσης	30 × 30 km ²
Φασματικό Κανάλι	0.50 - 0.85 μm
Στερεός Καταγραφέας	Χωρητικότητα 120 GB για την αποθήκευση εικόνων
Ταχύτητα απόκτησης δεδομένων	105 Mbps για κάθε κάμερα
Ηλεκτρική ισχύς	Ηλιακοί Συλλέκτες 15 m ² , που παράγουν συνολικά ισχύ 1100 Watt έως το τέλος της αποστολής, για την ικανοποίηση της λειτουργίας του ωφέλιμου φορτίου

CARTOSAT-1 – ΤΡΟΧΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Τύπος τροχιάς	Κυκλική Πολική Ηλιοσύγχρονη
Ύψος τροχιάς	618 km
Ταχύτητα	7,5 km/sec
Ημισημαντικός άξονας	6996.128 km
Εκκεντρότητα	0.001
Κλίση τροχιακού επιπέδου	97,87°
Περίοδος τροχιάς	97 min
Αριθμός τροχιών ανά ημέρα	14
Τοπική ώρα διέλευσης από τον Ισημερινό	10:30 π.μ.
Τροχιακή Επαναληψιμότητα κύκλου	126 ημέρες
Μέγιστος χρόνος αναμονής για επανεπίσκεψη	5 ημέρες

Πίνακας 5.3: Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του δορυφόρου Cartosat-1.

Τα προϊόντα που προκύπτουν από τον Cartosat-1 είναι διορθωμένες μονοσκοπικές παγχρωματικές εικόνες raster υψηλής ανάλυσης, ή στερεοζεύγη αυτών, ενώ έμμεσα με βάση αυτές μπορούν να παραχθούν ορθοανηγμένες εικόνες, ορθοφωτοχάρτες ή τέλος, ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου (DEM) υψομετρικής ακριβείας 4m στην καλύτερη περίπτωση. Οι εικόνες διατίθενται συνήθως σε μορφή Geotiff, έχουν υποστεί δηλαδή μόνο ραδιομετρικές διορθώσεις, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από σχεδιαστικά πακέτα λογισμικού, όπως επίσης και από πακέτα λογισμικού Γεωγραφικών Συστημάτων πληροφοριών (GIS). Οι εικόνες Geotiff, μαζί με τους συντελεστές των μοντέλων κλασματικών πολωνύμων (RFM) που χρησιμοποιούνται για τη γεωαναφορά τους, και τα μεταδεδομένα τους, συνιστούν τον τύπο προϊόντων που ονομάζεται Orthokit.

Σχετικά με τις εφαρμογές των προϊόντων του Cartosat-1, γενικά αφορούν την τηλεπισκόπηση, τις χαρτογραφήσεις μεγάλης κλίμακας, και το Κτηματολόγιο και πιο συγκεκριμένα την αστική και αγροτική ανάπτυξη, τη διαχείριση της γης και των υδάτινων πόρων, τον εντοπισμό μεταβολών στις χρήσεις/ καλύψεις γης, την εκτίμηση καταστροφών, το σχεδιασμό και τη διαχείριση προληπτικών μέτρων, την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κ.α.

Τέλος, όσον αφορά το κόστος αγοράς των δορυφορικών σκηνών του Cartosat-1, σύμφωνα με το διεθνή τιμοκατάλογο που εκδόθηκε το 2007 από την εταιρεία διαχείρισής του (την Antrix), ισχύουν οι τιμές που αναγράφονται στον Πίνακα 5.4.

Sl. No.	Type of the Product	Per Sqkm (Archive) & (Fresh)	Per Scene (Archive) & (Fresh)
		International List price for (Archive) and (Fresh) in Sq Km in USD for orders more than 50,000 Sq Km.	International List price for (Archive) and (Fresh) per scene in USD
1	GEO REFERENCED MONO SCENE (27.5 km X 27.5 km) (only digital, Orthokit + Geotiff + RPC)	1.81	1145
2	STEREO PAIR(27.5 km X 27.5 km) (only digital, Orthokit + Geotiff + RPC)	2.72	1715

Πίνακας 5.4: Το κόστος αγοράς δορυφορικών σκηνών του Cartosat-1, σύμφωνα με την εταιρεία διαχείρισής του.

Μετά το δορυφόρο Cartosat-1, ακολούθησαν από την ISRO οι εκτοξεύσεις των δορυφόρων Cartosat-2 και Cartosat-2A. Πρόκειται για δύο επίσης τηλεπισκοπικούς δορυφόρους της γης, που εκτοξεύθηκαν με τις διαστημικές αποστολές PSLV-C7 και PSLV-C9, αντίστοιχα, από το SDSC SHAR στην Ινδία. Το διαστημόπλοιο που μεταφέρει καθέναν από αυτούς είναι εξαγωνικού σχήματος (Εικόνα 5.12) και μικρού βάρους, αφού κατά την απογείωση ζυγίζει 650kg και 690kg αντίστοιχα. Τόσο ο Cartosat-2, όσο και ο Cartosat-2A, διαθέτουν από μία παγχρωματική κάμερα χωρικής ανάλυσης μικρότερης του 1 m και ραδιομετρικής ανάλυσης 10 bit, η οποία χρησιμοποιεί δύο τηλεσκόπια και ένα γραμμικό αισθητήρα CCD 12000 φωτοστοιχείων. Η κάμερα αυτή έχει τη δυνατότητα να στρέφεται κατά 45° κατά μήκος, αλλά και εγκάρσια της τροχιάς, προκειμένου να διευκολύνει τη συχνότερη απεικόνιση οποιασδήποτε περιοχής.

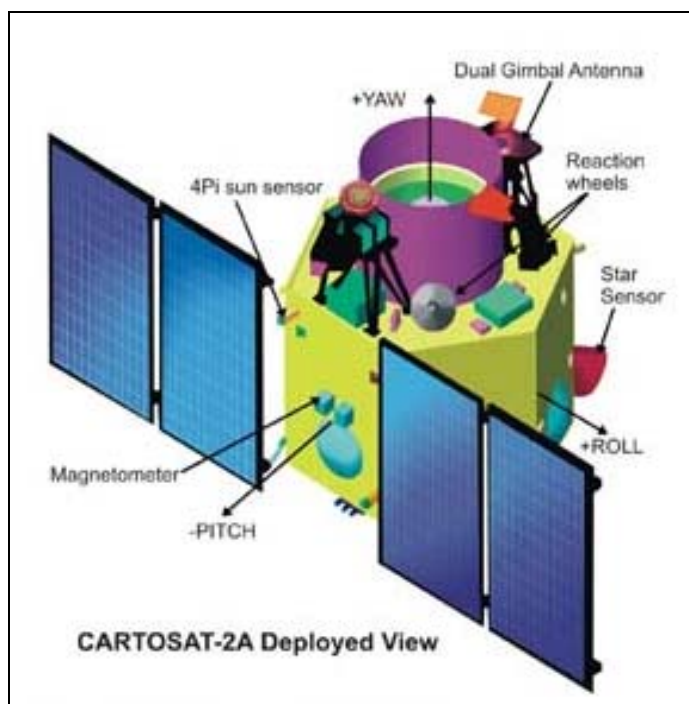
Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του Cartosat-2 παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5.

CARTOSAT-2 - ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Ημερομηνία εκτόξευσης	10 Ιανουαρίου 2007
Διάρκεια αποστολής	5 χρόνια
Μάζα απογείωσης	650 kg
Ωφέλιμο φορτίο	Μία παγχρωματική κάμερα
Χωρική Ανάλυση (Παγχρωματικό)	0.8 - 1 m
Πλάτος Σάρωσης	9.6×9.6 km ²
Φασματικό Κανάλι	0.50 - 0.85 μm
Στερεός Καταγραφέας	Χωρητικότητα 64 GB για την αποθήκευση εικόνων
Ηλεκτρική ισχύς	Ηλιακοί Συλλέκτες 15 m ² , που παράγουν συνολικά ισχύ 900 Watt έως το τέλος της αποστολής, για την ικανοποίηση της λειτουργίας του ωφέλιμου φορτίου
CARTOSAT-2 – ΤΡΟΧΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Τύπος τροχιάς	Κυκλική Πολική Ηλιοσύγχρονη
Ύψος τροχιάς	635 km
Κλίση τροχιακού επιπέδου	97.92°
Περίοδος τροχιάς	97.4 min
Αριθμός τροχιών ανά ημέρα	14
Τοπική ώρα διέλευσης από τον Ισημερινό	09:30 π.μ.
Τροχιακή Επαναληψιμότητα κύκλου	310 ημέρες
Μέγιστος χρόνος αναμονής για επανέπικοινωνία	4 ημέρες

Πίνακας 5.5: Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του δορυφόρου Cartosat-2.

Οι εφαρμογές των προϊόντων των δύο αυτών δορυφόρων είναι παρόμοιες με εκείνες του Cartosat-1. Ο Cartosat-2A ειδικότερα, που εκτοξεύθηκε στις 28 Απριλίου του 2008, εξυπηρετεί τους σκοπούς των ινδικών δυνάμεων στρατού.

Στις εικόνες που ακόλουθούν παρουσιάζεται η μορφή του δορυφόρου Cartosat-2A (Εικόνα 5.13) και μία δορυφορική απεικόνιση που προέρχεται από τον Cartosat-2, όπου αποτυπώνεται περιοχή του Περθ στην Αυστραλία (Εικόνα 5.14).



Εικόνα 5.13: Η μορφή του δορυφόρου Cartosat-2A.



Εικόνα 5.14: Περιοχή του Περθ στην Αυστραλία, όπως αποτυπώνεται σε δορυφορική απεικόνιση του Cartosat-2.

5.3 Τοπογραφικά Διαγράμματα

Η χρήση τοπογραφικών διαγραμμάτων ήταν απαραίτητη, προκειμένου να προσδιοριστούν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των αναγκαίων, για τα διάφορα στάδια της εργασίας, φωτοσταθερών σημείων (GCPs) και σημείων ελέγχου (Check points). Επειδή για την περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε, δεν ήταν διαθέσιμες παλαιότερες επίγειες τοπογραφικές μετρήσεις σημείων με κλασικές διαδικασίες, με τριγωνισμό ή με GPS, τα τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 της Γ.Υ.Σ., που χαρακτηρίζονται ως χάρτες μεγάλης κλίμακας, αποτέλεσαν την καλύτερη εναλλακτική λύση.

Το πρόβλημα θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί επίσης, με την πραγματοποίηση μετρήσεων πεδίου στην περιοχή, κάτι όμως που δεν ήταν εύκολο να συμβεί, λόγω της μεγάλης απόστασης που χωρίζει την Αθήνα από τη Χαλκιδική, αλλά κυρίως λόγω της πυκνής βλάστησης και του έντονου αναγλύφου της περιοχής, που την καθιστά δυσπρόσιτη σε αρκετά σημεία. Σε αυτή την περίπτωση δηλαδή, θα ήταν πολύ μεγαλύτερο τόσο το κόστος, όσο και ο χρόνος εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, εξαιτίας της μεγάλης διάρκειας παραμονής στο πεδίο, γεγονός που δεν ήταν επιθυμητό.

Βέβαια, ο προσδιορισμός συντεταγμένων σημείων από χάρτες δεν είναι τόσο αξιόπιστος όσο οι επίγειες τοπογραφικές μετρήσεις σημείων. Οι μετρήσεις σημείων από χάρτες είναι έμμεσες, αφού δε γίνονται απευθείας στο φυσικό κόσμο, αλλά στο μέσο που τον αναπαριστά. Συνεπώς, η συλλογή της πληροφορίας από τοπογραφικά διαγράμματα χαρακτηρίζεται ως δευτερογενής, καθώς η ακρίβεια των συντεταγμένων που μετρώνται από αυτά εξαρτάται από την ακρίβεια των μετρήσεων βάσει των οποίων κατασκευάστηκαν. Επιπλέον, στους χάρτες δεν αποδίδεται με ακρίβεια η θέση και το σχήμα των πραγματικών οντοτήτων, αφού αυτές έχουν υποστεί διαδικασίες γενίκευσης και συμβολισμού, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται συχνά μετατοπισμένες και με παραμορφωμένο σχήμα [Κάβουρας 2003]. Παρόλα αυτά, η συλλογή δεδομένων ικανοποιητικής ακρίβειας από τοπογραφικά διαγράμματα μεγάλης κλίμακας, με μεγάλη ταχύτητα και μικρό κόστος, συντελεί στην πολύ συχνή χρήση τους.

Στην προκειμένη περίπτωση, τα τοπογραφικά διαγράμματα μεγάλης κλίμακας ήταν αναγκαία επίσης, για την ψηφιοποίηση γραμμικών οντοτήτων σε αυτά, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα αναφοράς κατά τη διερεύνηση των δυνατοτήτων της χρήσης γραμμικών στοιχείων στη διαδικασία γεωαναφοράς ιστορικών αεροφωτογραφιών.

Τα τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 της Γ.Υ.Σ. έχουν ως σύστημα αναφοράς το Παλαιό Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (Π.Ε.Γ.Σ.Α.) ή Σύστημα Hatt. Σε αυτά αποτυπώνονται φυσικά ή τεχνητά διακριτά στοιχεία, όπως π.χ. πρηνή, ρέματα, δρόμοι, κτίσματα κ.α., και επιπλέον παρουσιάζεται έμμεσα η μορφή της γήινης επιφάνειας, μέσω των ισοϋψών καμπυλών και της αναγραφής των υψομέτρων (Εικόνα 5.15). Τα περισσότερα χαρτογραφικά στοιχεία συμβολίζονται με μονές ή διπλές γραμμές (π.χ. τα ρέματα, οι δρόμοι, κ.λ.π.), ενώ για τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται σημειακά σύμβολα (π.χ. για τα υψομετρικά και τα τριγωνομετρικά σημεία) ή κείμενο (π.χ. για τις ονομασίες οικισμών, βουνών, τριγωνομετρικών σημείων, κ.λ.π.). Σύμφωνα με την κλίμακά τους, και λαμβάνοντας υπόψη τη διακριτική ικανότητα του ανθρώπινου ματιού, που είναι 0,25 – 0,50 mm, τα διάφορα αντικείμενα απεικονίζονται σε αυτά με ακρίβεια 1,25 – 2,5 m. Η κλίμακα των διαγραμμάτων, οπότε, αποτελεί δείκτη της ακρίβειάς τους, η οποία στην προκειμένη περίπτωση είναι υπεραρκετή για τις απαιτήσεις της εργασίας.

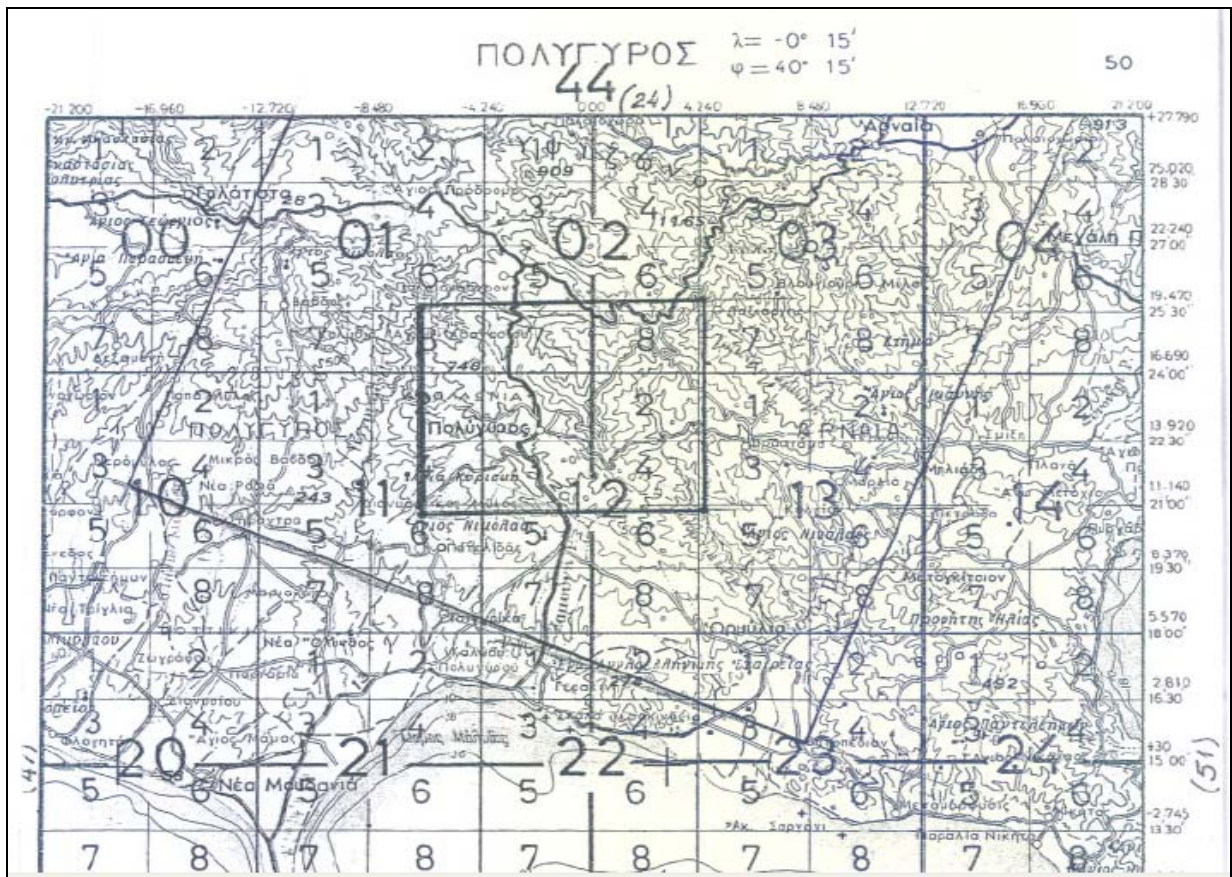


Εικόνα 5.15: Τμήμα τοπογραφικού διαγράμματος κλίμακας 1:5.000 που χρησιμοποιήθηκε. Μεταξύ των στοιχείων που έχουν αποτυπωθεί σε αυτό, διακρίνονται δρόμοι και κτίσματα του οικισμού «Πολύγυρος», πρανή, ισούψεις καμπύλες, όπως επίσης και κάποια ρέματα.

Για τον προσδιορισμό των διαγραμμάτων που κάλυπταν την περιοχή ενδιαφέροντος, με χρήση του προγράμματος Google Earth αυτή εντοπίστηκε και οριοθετήθηκε στο ειδικό φύλλο χάρτη κλίμακας 1:100.000 της Γ.Υ.Σ., που αφορούσε τον Πολύγυρο Χαλκιδικής και στο οποίο παρουσιάζεται η κατανομή των κωδικοποιημένων διαγραμμάτων (Εικόνα 5.16). Διαπιστώθηκε ότι για την κάλυψη της περιοχής μελέτης απαιτούνταν εννέα χάρτες κλίμακας 1:5.000, με αριθμούς φύλλου 4401/8, 4402/7, 4402/8, 4411/2, 4412/1, 4412/2, 4411/4, 4412/3 και 4412/4, οι οποίοι είναι ανά τρεις κατανομημένοι σε τρεις διαδοχικές σειρές. Εκτός από τα εννιά προηγούμενα διαγράμματα όμως, χρειάστηκε να παραληφθούν από τη Γ.Υ.Σ. τρεις επιπλέον χάρτες κλίμακας 1:5.000, με αριθμούς φύλλου 4411/6, 4412/5 και 4412/6, που βρίσκονταν στην αμέσως επόμενη, τέταρτη σειρά. Η χρήση τους ήταν απαραίτητη για την εύρεση φωτοσταθερών σημείων και σημείων ελέγχου στο κάτω τμήμα του στερεοζεύγους 45-099, 45-100 των αεροφωτογραφιών του 1945, ώστε να είναι δυνατή η γεωαναφορά του.

Τα οκτώ από τα δώδεκα, συνολικά, τοπογραφικά διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, ανήκουν στο φύλλο χάρτη κλίμακας 1:50.000 που αναφέρεται στην περιοχή του Πολύγυρου Χαλκιδικής, ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα στο αντίστοιχο φύλλο χάρτη που αναφέρεται στην περιοχή της Αρναίας Χαλκιδικής. Τα φωτοζεύγη που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή τους λήφθηκαν κατά το έτος 1980, ενώ η απόδοσή τους πραγματοποιήθηκε κατά τα έτη 1982 και 1984. Επίσης, η ισοδιάσταση των ισούψων καμπυλών που παρουσιάζονται στα διαγράμματα είναι 4 m.

Όλα τα διαγράμματα παραλήφθηκαν σε αναλογική μορφή από τη Γ.Υ.Σ.



Εικόνα 5.16: Τμήμα του ειδικού φύλλου χάρτη κλίμακας 1:100.000 της Γ.Υ.Σ., βάσει του οποίου προσδιορίστηκαν τα διαγράμματα 1:5.000 που κάλυπταν την περιοχή μελέτης, η οποία οριοθετείται με το μικρό ορθογώνιο παραλληλόγραμμο.

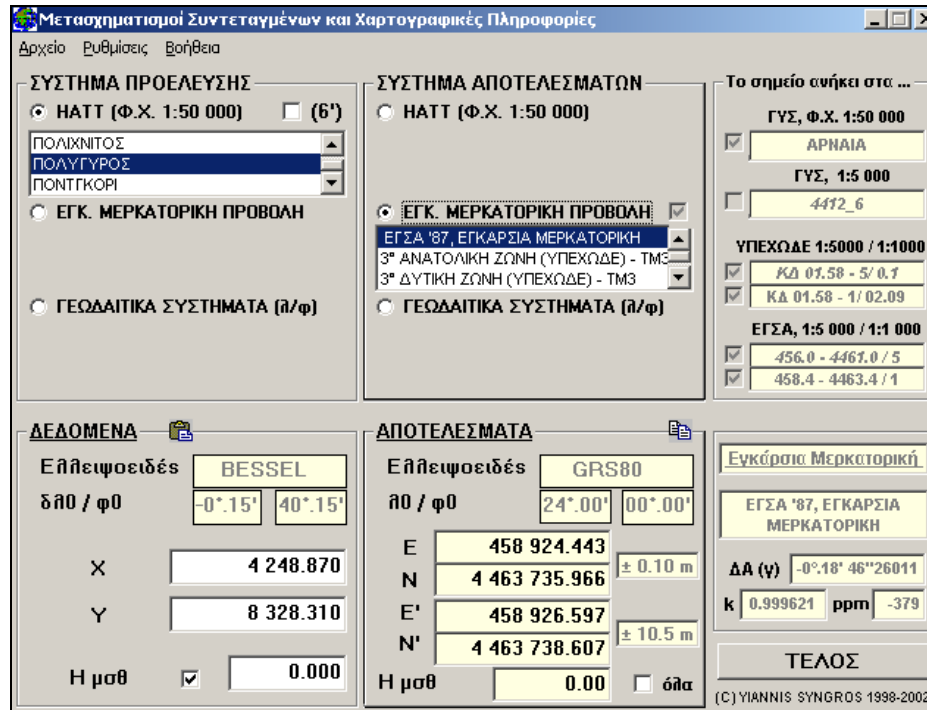
Για να είναι χρήσιμοι οι αναλογικοί αυτοί χάρτες, ήταν απαραίτητη η μετατροπή τους σε ψηφιακή κανονικοποιημένη (raster) μορφή με τη διαδικασία της σάρωσης (αυτόματη ψηφιοποίηση). Συγκεκριμένα, καθένα από τα δώδεκα διαγράμματα σαρώθηκε με διακριτική ανάλυση 300 dpi (dots per inch) (μέγεθος pixel 21 μm), σε αποχρώσεις του γκρι (greyscale), και αποθηκεύτηκε ως αρχείο τύπου jpg.

Στη συνέχεια, τα τοπογραφικά διαγράμματα έπρεπε να διορθωθούν από πιθανές παραμορφώσεις (π.χ. λόγω στροφής από τη σάρωση, διαστολής ή τσακίσματος του χαρτιού, κ.λ.π.), να αποκατασταθεί η κλίμακά τους, να «ενωθούν» σε ενιαίο υπόβαθρο και να γεωαναφερθούν, δηλαδή να γίνει ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων τους από το σύστημα αναφοράς Hatt στο σύστημα ΕΓΣΑ 87. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται αναλυτικά στην επόμενη υποπαράγραφο.

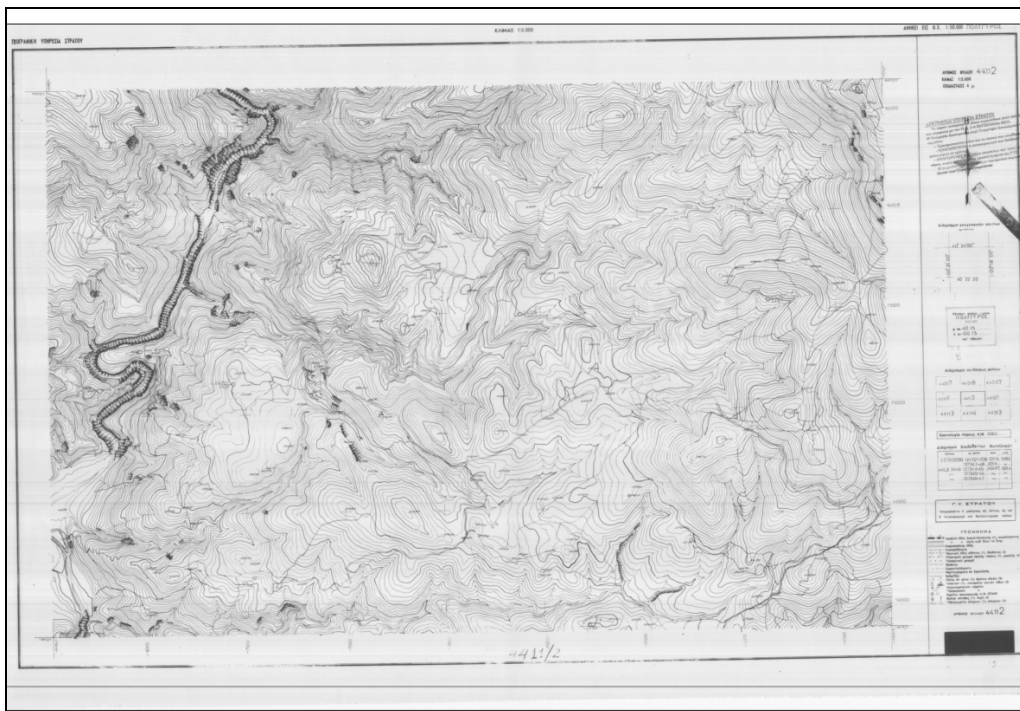
5.3.1 Διόρθωση, σύνδεση και γεωαναφορά των τοπογραφικών διαγραμμάτων

Μία πρώτη διόρθωση των διαγραμμάτων από πιθανή στροφή κατά τη σάρωση, έγινε με χρήση του προγράμματος ψηφιακής αναγωγής “Archis”. Σε καθέναν από τους δώδεκα χάρτες πραγματοποιήθηκε αναλυτική αναγωγή, έτσι ώστε να αποτελέσει κατακόρυφη εικόνα. Για την πραγματοποίηση της αναγωγής, που ουσιαστικά είναι προβολικός μετασχηματισμός οκτώ παραμέτρων και ισοδυναμεί με την οπτική διόρθωση, είναι αναγκαία τουλάχιστον τέσσερα σημεία γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων. Στην προκειμένη περίπτωση, ως τέτοια σημεία χρησιμοποιήθηκαν οι τέσσερις γωνίες κάθε χάρτη ή οι τέσσερις ακραίες κορυφές του γεωδαιτικού του κανάβου, και όλα ή κάποια από τα τριγωνομετρικά σημεία που

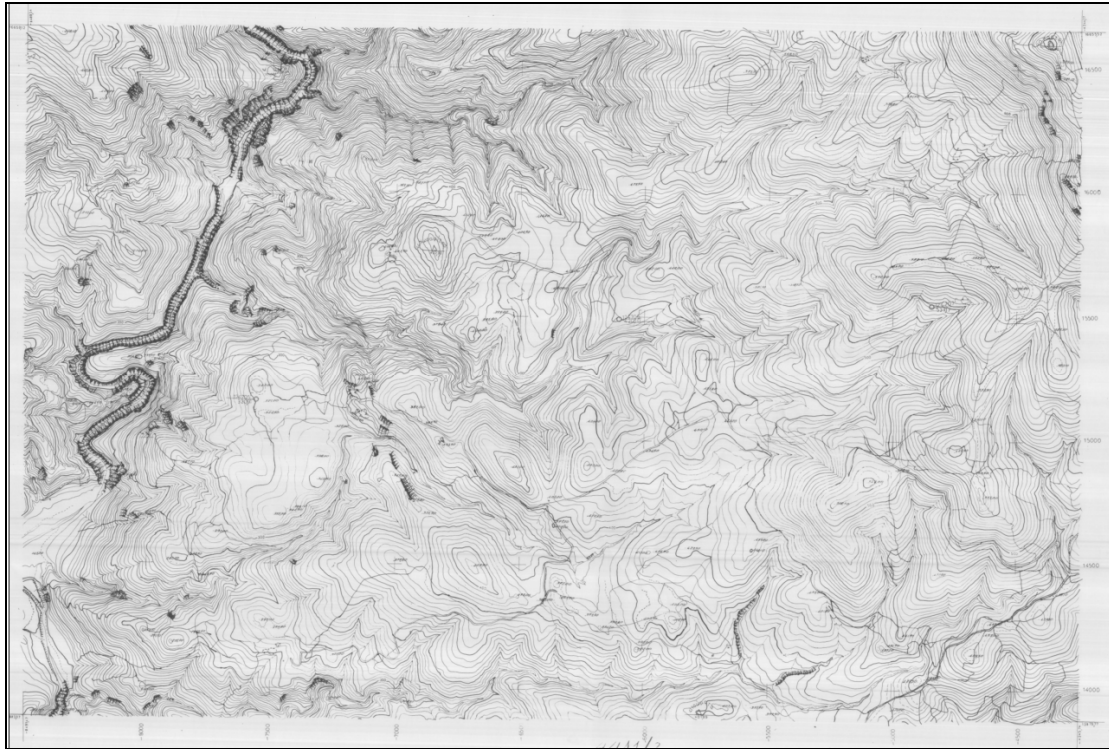
απεικονίζονταν σε αυτόν, αν υπήρχαν. Στην περίπτωση χρήσης περισσότερων από τέσσερα σημεία, οι παράμετροι του μετασχηματισμού εκτιμήθηκαν με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων. Βέβαια, χρειάστηκε η μετατροπή των συντεταγμένων των σημείων από το σύστημα αναφοράς Hatt στο σύστημα ΕΓΣΑ 87, η οποία έγινε με χρήση του προγράμματος “COORD_GR: Μετασχηματισμοί Συντεταγμένων και Χαρτογραφικές Πληροφορίες”.



Εικόνα 5.17: Το περιβάλλον του προγράμματος COORD_GR.



(α)



(β)

Εικόνα 5.18: Ένα από τα διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, (α) πριν και (β) μετά την αναγωγή του.

Τα ανηγμένα διαγράμματα εισήχθησαν στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCad, ώστε να διορθωθούν από τις υπόλοιπες παραμορφώσεις και να πραγματοποιηθεί ο μετασχηματισμός τους από το σύστημα αναφοράς της οθόνης, στο γεωδαιτικό σύστημα στην κλίμακα του χάρτη. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε ο αφινικός ή ομοπαράλληλος μετασχηματισμός των έξι παραμέτρων, που αναπαριστά δύο μεταθέσεις, διαφορετικές κλίμακες κατά x και y, στροφή και μη καθετότητα των αξόνων. Η εκτίμηση των παραμέτρων αυτών έγινε με βάση ένα σύνολο σημείων ακκίστρωσης (περισσότερων από τρία), γνωστής θέσης και στα δύο συστήματα συντεταγμένων, χρησιμοποιώντας τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων.

Για την αποκατάσταση της κλίμακας των τοπογραφικών διαγραμμάτων και την περαιτέρω διόρθωσή τους από πιθανές παραμορφώσεις, για καθένα από αυτά ψηφιοποιήθηκε ο παραμορφωμένος γεωδαιτικός του κάρναβος και σχεδιάστηκε ο αντίστοιχος σωστός ορθογώνιος κάρναβος με τις σωστές διαστάσεις. Επιλέχθηκαν 19 σημεία ακκίστρωσης, που ήταν κάποιες από τις κορυφές του λανθασμένου κάρναβου κατανεμημένες ομοιόμορφα σε όλο το χάρτη, και με την εντολή Map→Tools→Rubber Sheet του AutoCad, αντιστοιχήθηκαν στις σωστές τους θέσεις στο νέο κάρναβο. Πρέπει να αναφερθεί ότι για τα διαγράμματα 4411/6, 4412/5 και 4412/6, επειδή παραλήφθηκαν αργότερα από τα υπόλοιπα, χρησιμοποιήθηκε η εντολή Image→Correlate→Rubber Sheet→Polynomial, που οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα από την προηγούμενη και παρουσιάζει το σφάλμα του μετασχηματισμού. Δυστυχώς, αυτή η δυνατότητα του προγράμματος δεν ήταν γνωστή κατά το μετασχηματισμό των υπόλοιπων διαγραμμάτων που πραγματοποιήθηκε νωρίτερα. Επιλέγοντας μετασχηματισμό 3^{ου} βαθμού, το συνολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Total RMSE) για καθέναν από τους τρεις παραπάνω χάρτες ήταν αντίστοιχα 0.451m, 0.264m και 0.484m.

Στη συνέχεια, κάθε χάρτης μετακινήθηκε στη σωστή του θέση που όριζε το σύστημα Hatt, με βάση το κέντρο του για καλύτερη κατανομή σφαλμάτων. Με τον τρόπο αυτό, τα δώδεκα διαγράμματα ενώθηκαν σε ενιαίο υπόβαθρο, οι συντεταγμένες του οποίου αναφέρονταν στο σύστημα Hatt. Για τη μετατροπή τους στο σύστημα ΕΓΣΑ 87, ψηφιοποιήθηκαν περίπου επτά

σημεία, έξι περιμετρικά του ενιαίου υποβάθρου και ένα περίπου στο κέντρο του, οι συντεταγμένες τους μετατράπηκαν στο ΕΓΣΑ 87 με το πρόγραμμα COORD_GR, και με αυτά ως σημεία ακρίστρωσης, όλοι οι ενωμένοι χάρτες μετασχηματίστηκαν από το σύστημα Hatt στο σύστημα ΕΓΣΑ 87.

Πριν το μετασχηματισμό του ενιαίου χαρτογραφικού υποβάθρου στο σύστημα ΕΓΣΑ 87, ψηφιοποιήθηκαν τα 15 τριγωνομετρικά σημεία που υπήρχαν στα διαγράμματα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν αργότερα ως σημεία ελέγχου για την εκτίμηση της γεωμετρικής ποιότητας της διαδικασίας. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ένας ακόμη αφινικός μετασχηματισμός όλου του υποβάθρου, αντιστοιχίζοντας τα ψηφιοποιημένα τριγωνομετρικά σημεία, στις σωστές τους θέσεις στο ΕΓΣΑ 87. Ο μέσος όρος των αποκλίσεων των ψηφιοποιημένων τριγωνομετρικών σημείων από τις θέσεις τους όπως προέκυψαν από τον τελευταίο μετασχηματισμό, αποτέλεσε μέτρο ακρίβειας της γεωαναφοράς των τοπογραφικών διαγραμμάτων κλίμακας 1:5.000 της Γ.Υ.Σ. Οι αποκλίσεις αυτές και ο μέσος όρος τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6, μαζί με τις αντίστοιχες τιμές που θα προέκυπταν εάν δεν είχε πραγματοποιηθεί αναγωγή των διαγραμμάτων. Παρατηρείται ότι πραγματοποιώντας αναγωγή τα αποτελέσματα βελτιώθηκαν κατά μισό μέτρο περίπου, όπως προκύπτει από τη σύγκριση των αντίστοιχων μέσων όρων. Επίσης, παρατηρείται ότι για τα πέντε τελευταία τριγωνομετρικά σημεία οι αποκλίσεις είναι πολύ μικρές, καθώς ανήκουν στα τρία διαγράμματα που, όπως προαναφέρθηκε, μετασχηματίστηκαν χωριστά από τα υπόλοιπα, με άλλη εντολή. Για το λόγο αυτό, συμπεριλαμβάνοντας τα σημεία αυτά στον υπολογισμό του μέσου όρου, η τιμή του μειώνεται σημαντικά.

α/α	ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ			ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ (m)	
	Κωδικός	Όνομα	Πεντάρι	Χωρίς αναγωγή	Με αναγωγή
1	55	Παρούση Τούμπα	4402/8	1,64	4,40
2	52	Στηθούρι	4402/7	3,56	1,29
3	50	Χονδροβούνι	4402/8	3,29	0,64
4	40	Καστρί	4411/2	3,12	2,59
5	47	Βράχος	4412/1	6,07	4,46
6	44	Χωραφίτσα	4411/2	0,94	0,83
7	42	Σταυρού Τούμπα	4412/1	4,60	1,15
8	41	Ισώματα	4411/2	1,97	2,51
9	37	Άγιος Βλάσιος	4412/3	2,18	4,44
10	38	Άγκανος	4412/4	2,28	3,00
		Μέσος Όρος (για τα 10 τριγ/κά σημεία)		2.97	2.53
11	32	Καθαρός	4411/6	-	0,45
12	26	Ακονορράχη	4411/6	-	0,67
13	35	Καστριά	4412/5	-	0,58
14	31	Λυχνάδες	4412/6	-	0,34
15	28	Παλιοφυλακή	4412/6	-	0,98
		Μέσος Όρος (για τα 15 τριγ/κά σημεία)		-	1.89

Πίνακας 5.6: Οι αποκλίσεις των ψηφιοποιημένων τριγωνομετρικών σημείων από τις θέσεις τους μετά τον τελικό μετασχηματισμό, και οι μέσοι όροι τους, όπως προέκυψαν χωρίς και με αναγωγή των τοπογραφικών διαγραμμάτων.

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, η ακρίβεια γεωαναφοράς των τοπογραφικών διαγραμμάτων, δηλαδή η ακρίβεια με την οποία προσδιορίστηκαν οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου από αυτά, είναι κατά μέσο όρο 2-2,5 m. Βέβαια, πρέπει να αναφερθεί ότι σε τρία από τα δώδεκα διαγράμματα, με αριθμούς

φύλλου 4401/8, 4412/2, και 4411/4, δεν εντοπίστηκε κάποιο τριγωνομετρικό σημείο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει κάποια ένδειξη για την ακρίβεια γεωαναφοράς τους. Ακόμη, στα όρια των ψηφιοποιημένων φύλλων χάρτη εμφανίζονται ασυμφωνίες, οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά την ακρίβεια προσδιορισμού συντεταγμένων σημείων από αυτά.

Τέλος, όσον αφορά τα υψόμετρα των σημείων, προσδιορίστηκαν από τα τοπογραφικά διαγράμματα πραγματοποιώντας γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις ισοϋψείς καμπύλες, λαμβάνοντας υπόψη ότι η μεταξύ τους ισοδιάσταση είναι 4m. Ο προσδιορισμός υψομέτρων κατ' αυτό τον τρόπο δεν χαρακτηρίζεται ως ο πλέον ακριβής.

6 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΥΣ

Η γεωαναφορά του στερεοζεύγους των δορυφορικών εικόνων του Cartosat-1 πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού ERDAS IMAGINE 9.3 και συγκεκριμένα του mode LPS (Leica Photogrammetric Suite). Ήταν απαραίτητη προκειμένου τα γραμμικά στοιχεία που θα αποδίδονταν σε αυτό να έχουν σωστές συντεταγμένες, ώστε να αποτελέσουν δεδομένα αναφοράς. Πριν όμως περιγραφεί αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει αναφορά στα μοντέλα κλασματικών πολωνύμων (*Rational Function Models, RFM*), που χρησιμοποιήθηκαν στην προκειμένη περίπτωση και αποτελούν την πιο διαδεδομένη, σε χρήση, κατηγορία προσεγγιστικών μοντέλων γεωαναφοράς δορυφορικών απεικονίσεων.

6.1 Μοντέλα Κλασματικών Πολωνύμων (Rational Function Models, RFM)

Τα μοντέλα κλασματικών πολωνύμων είναι ουσιαστικά ρητές συναρτήσεις που περιέχουν όλη την πληροφορία για τον προσανατολισμό των δορυφορικών εικόνων. Για τα RFM, οι εξισώσεις μετασχηματισμού ανάμεσα στις εικονοσυντεταγμένες σημείων της δορυφορικής απεικόνισης και στις επίγειες συντεταγμένες τους είναι της μορφής [Samadzadegan et al 2005]:

$$r_n = x_n = \frac{P_A(X_n, Y_n, Z_n)}{P_B(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^{I_A} \sum_{j=0}^{J_A} \sum_{k=0}^{K_A} a_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^{I_B} \sum_{j=0}^{J_B} \sum_{k=0}^{K_B} b_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k} \quad (6.1)$$

$$c_n = y_n = \frac{P_C(X_n, Y_n, Z_n)}{P_D(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^{I_C} \sum_{j=0}^{J_C} \sum_{k=0}^{K_C} c_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^{I_D} \sum_{j=0}^{J_D} \sum_{k=0}^{K_D} d_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k} \quad (6.2)$$

Όπου:

$I_{(\cdot)}, J_{(\cdot)}, K_{(\cdot)}$: οι μέγιστοι βαθμοί των X, Y, Z, αντίστοιχα, για κάθε πολυώνυμο,

$a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}, d_{ijk}$: οι παράμετροι μετασχηματισμού-συντελεστές των πολωνύμων, και τέλος,

(r_n, c_n) ή (x_n, y_n) και (X_n, Y_n, Z_n) : οι κανονικοποιημένες εικονοσυντεταγμένες (σε στήλες και γραμμές-pixels) και γεωδαιτικές συντεταγμένες, αντίστοιχα, των σημείων της δορυφορικής απεικόνισης, που προκύπτουν από τους ακόλουθους τύπους:

$$x_n = \frac{x - x_{offset}}{x_{scale}}, \quad y_n = \frac{y - y_{offset}}{y_{scale}} \quad (6.3), (6.4)$$

$$\text{και } X_n = \frac{X - X_{offset}}{X_{scale}}, \quad Y_n = \frac{Y - Y_{offset}}{Y_{scale}}, \quad Z_n = \frac{Z - Z_{offset}}{Z_{scale}} \quad (6.5), (6.6), (6.7)$$

Οι τιμές *scale* και *offset* είναι διαφορετικές για κάθε δορυφορική εικόνα και περιλαμβάνονται στα μεταδεδομένα της (βοηθητικά αρχεία των εικόνων). Η κανονικοποίηση γίνεται συνήθως μεταξύ των διαστημάτων (-1, 1) ή (-0,5, 0,5) και πραγματοποιείται για λόγους σταθερότητας

της συνόρθωσης, η οποία ακολουθεί για τον προσδιορισμό των συντελεστών [Κατσιγιάννης 2005].

Τα πολυώνυμα $3^{ου}$, συνήθως, βαθμού που χρησιμοποιούνται στον αριθμητή και στον παρονομαστή των RFM, έχουν από 20 όρους το καθένα και είναι της μορφής:

$$\begin{aligned}
 P(X, Y, Z) = & a_1 + a_2 Y + a_3 X + a_4 Z + a_5 YX + a_6 YZ + a_7 XZ + a_8 Y^2 + a_9 X^2 + a_{10} Z^2 \\
 & + a_{11} XYZ + a_{12} Y^3 + a_{13} YX^2 + a_{14} YZ^2 + a_{15} Y^2 X + a_{16} X^3 + a_{17} XZ^2 \\
 & + a_{18} Y^2 Z + a_{19} X^2 Z + a_{20} Z^3
 \end{aligned} \tag{6.8},$$

όπου X, Y, Z είναι οι κανονικοποιημένες γεωδαιτικές συντεταγμένες.

Οι 80 συντελεστές των κλασματικών πολυωνύμων (Rational Polynomial Coefficients, RPCs) (40 για το x και 40 για το y) δεν έχουν κάποια φυσική σημασία. Συνήθως οι RPCs, που υπολογίζονται από την εταιρεία διαχείρισης του εκάστοτε δορυφόρου με βάση το φυσικό μοντέλο του αισθητήρα, παρέχονται μαζί με τις δορυφορικές εικόνες στα μεταδεδομένα τους, όπως στην προκειμένη περίπτωση, και ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τους βελτιώσει. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται παρατηρήσεις φωτοσταθερών (GCPs) στην περιοχή που καλύπτεται από την εικόνα. Με κατάλληλη επεξεργασία επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή προσαρμογή του μοντέλου των Rational Functions στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Πιο συγκεκριμένα, για τη βελτίωση των RPCs χρησιμοποιείται η *Μέθοδος Terrain Dependent*, η οποία στηρίζεται στη γνώση των γεωδαιτικών συντεταγμένων ενός αριθμού GCPs, ομοιόμορφα κατανεμημένων σε όλη την έκταση της δορυφορικής σκηνής. Τα σημεία αυτά, πέρα από το ότι πρέπει να καλύπτουν επαρκώς οριζοντιογραφικά την περιοχή κατόπτρευσης, πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά του αναγλύφου της. Για τη βελτιστοποίηση του μοντέλου των RF πραγματοποιείται συνόρθωση με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων, εισάγοντας στις Σχέσεις (6.1) και (6.2), που αποτελούν τις εξισώσεις παρατήρησης, τις εικονοσυντεταγμένες και τις γεωδαιτικές συντεταγμένες των GCPs. [Κατσιγιάννης 2005]. Τα GCPs, που τελικά θα χρησιμοποιηθούν στη συνόρθωση για τη βελτίωση των 80 συντελεστών, επιλέγονται με διάφορες τεχνικές. Πρέπει να αναφερθεί ότι η λύση που προκύπτει μεταβάλλεται όταν χρησιμοποιηθούν διαφορετικά GCPs.

Μετά τη βελτιστοποίηση του μοντέλου των RF και την προσαρμογή του στην περιοχή μελέτης, είναι δυνατός ο υπολογισμός των γεωδαιτικών συντεταγμένων οποιουδήποτε σημείου της δορυφορικής απεικόνισης, ένδειξη της ακρίβειας των οποίων αποτελεί το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) προσδιορισμού των γεωδαιτικών συντεταγμένων των GCPs, που εξαρτάται από την ακρίβεια επαναπροσδιορισμού των συντελεστών.

Για την εκτίμηση της ακρίβειας αυτής ακολουθείται η εξής διαδικασία. Αρχικά, δημιουργείται ένα δίκτυο σημείων ελέγχου (Check Points) στο χώρο του αντικειμένου, με πυκνότητα πολύ μεγαλύτερη από εκείνη των GCPs. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τις νέες τιμές των συντελεστών που υπολογίστηκαν και με γνωστές τις εικονοσυντεταγμένες των Check Points, από τις Σχέσεις (6.1) και (6.2) προσδιορίζονται οι επίγειες συντεταγμένες τους. Από τις αποκλίσεις των επίγειων αυτών συντεταγμένων, από τις πραγματικές γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, εκτιμάται η ακρίβεια προσαρμογής του μοντέλου που βελτιστοποιήθηκε, στην περιοχή μελέτης.

Τα μοντέλα κλασματικών πολυωνύμων παρουσιάζουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα, που δικαιολογούν την πιο διαδεδομένη χρήση τους σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα γεωαναφοράς:

- ✓ Τα RFM έχουν τη ιδιότητα να προσομοιάζουν ικανοποιητικά τις προοπτικές εξισώσεις. Με χρήση επαρκούς αριθμού φωτοσταθερών, μπορούν να επιτύχουν πολύ υψηλή

ακρίβεια προσαρμογής. Αυτός είναι ο κυριότερος λόγος για τον οποίο τα RFM μπορούν να υποκαταστήσουν ικανοποιητικά τα φυσικά μοντέλα αισθητήρων. Συνεπώς, θεωρούνται κατάλληλα για τη γεωαναφορά ενός μεγάλου φάσματος δορυφορικών εικόνων διαφορετικής γεωμετρίας, προερχόμενων από διαφορετικούς δέκτες, καθώς δεν είναι απαραίτητη η γνώση στοιχείων για το φυσικό μοντέλο του δέκτη και για την εφημερίδα του δορυφόρου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση ακόμα και πολύπλοκων γεωμετρικών δομών, λόγω των καλών δυνατοτήτων υπολογισμού που έχουν [Samadzadegan et al 2005].

- ✓ Τα RFM μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση φωτογραμμετρικών διαδικασιών, όπως ορθοαναγωγή, στερεοαπόδοση και δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM), διατηρώντας την ακρίβεια του δέκτη, χωρίς σημαντική απώλεια ακρίβειας, παρόλο που δεν εμπλέκονται σε αυτά οι παράμετροι του φυσικού μοντέλου του αισθητήρα.
- ✓ Τέλος, τα RFM έχουν μεγάλη ευελιξία στη χρήση συστημάτων αναφοράς, καθώς μπορούν να παρέχουν συντεταγμένες αντικειμένου σε κάθε σύστημα, όπως γεωκεντρικό, γεωγραφικό ή σύστημα που αναφέρεται σε συγκεκριμένη χαρτογραφική προβολή.

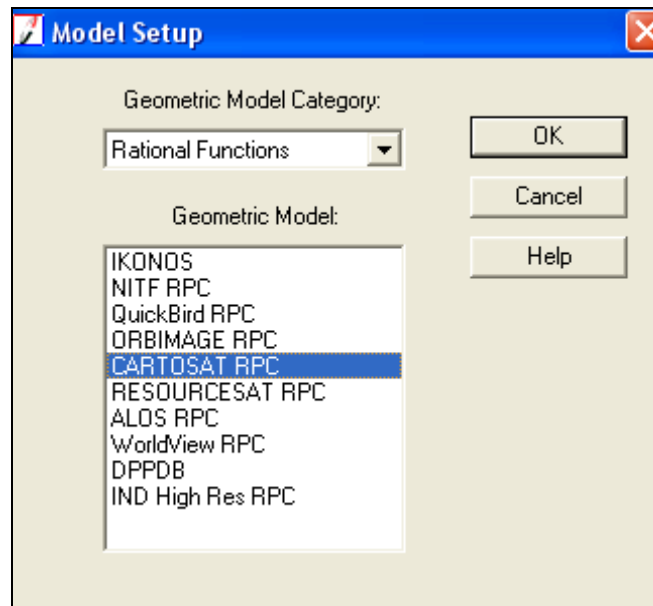
Παρόλα αυτά όμως, εμφανίζουν και ορισμένα βασικά μειονεκτήματα ([Samadzadegan et al 2005], [Ιωαννίδης 2006]):

- ✓ Με την εφαρμογή των RFM δε μοντελοποιούνται οι τοπικές διαστροφές της δορυφορικής εικόνας.
- ✓ Οι ενσωματωμένοι όροι τους, όπως και ο βαθμός των πολυωνύμων στον αριθμητή και τον παρονομαστή τους, δεν έχουν κάποια φυσική σημασία, γεγονός που κάνει δύσκολη την ερμηνεία και την εμπέδωση της σημασίας τους.
- ✓ Η επιπλέον συνόρθωση που γίνεται για τον υπολογισμό των συντελεστών των πολυωνύμων, έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή θορύβου στα δεδομένα.
- ✓ Αν στον αριθμητή και τον παρονομαστή χρησιμοποιούνται πολυώνυμα με όλους τους όρους (πλήρη πολυώνυμα), για τους αισθητήρες που δεν απαιτούν πλήρη πολυώνυμα (όπως π.χ. αισθητήρες με υψηλή γεωμετρική σταθερότητα) θα πρέπει να πραγματοποιηθεί περαιτέρω παραμετρικοποίηση. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα οι πρόσθετοι όροι να εμφανίζουν συσχέτιση σε μεγάλο βαθμό, γεγονός που θα οδηγήσει σε ασταθή λύση.
- ✓ Τέλος, δεν επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ακρίβεια γεωαναφοράς με την εφαρμογή τους, καθώς δεν εμπλέκεται πουθενά το φυσικό μοντέλο του δέκτη.

6.2 Διαδικασία Γεωαναφοράς των Δορυφορικών Εικόνων στο LPS

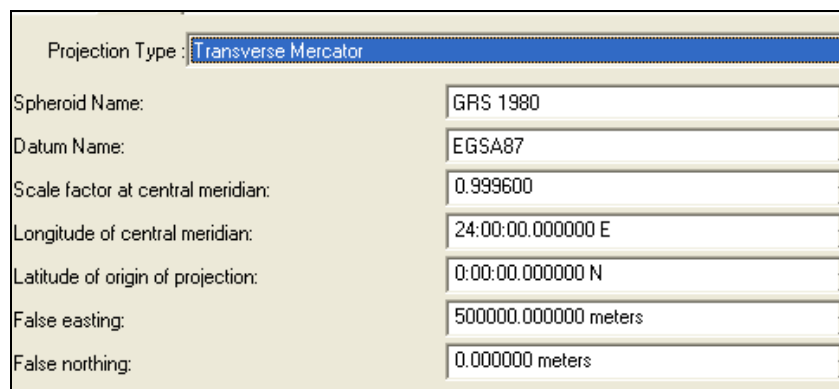
Πρώτο βήμα μετά την εκκίνηση του ERDAS και την επιλογή του mode LPS ήταν η δημιουργία ενός νέου project με την κατάληξη blk (block file).

Στη συνέχεια καθορίστηκε το μαθηματικό μοντέλο που θα εφαρμοζόταν για τη γεωαναφορά των δορυφορικών απεικονίσεων. Το ERDAS παρέχει στο χρήστη πολλές δυνατότητες, καθώς, εκτός από αεροφωτογραφίες και αναλογικές και ψηφιακές κάμερες, μπορεί να διαχειριστεί εικόνες προερχόμενες από πολλούς δορυφόρους (IKONOS, QuickBird, κ.λ.π.) μεταξύ των οποίων είναι και ο CARTOSAT. Στην προκειμένη περίπτωση, από την κατηγορία των Rational Functions επιλέχθηκε το μοντέλο CARTOSAT RPC (Εικόνα 6.1).



Εικόνα 6.1: Η επιλογή του μαθηματικού μοντέλου.

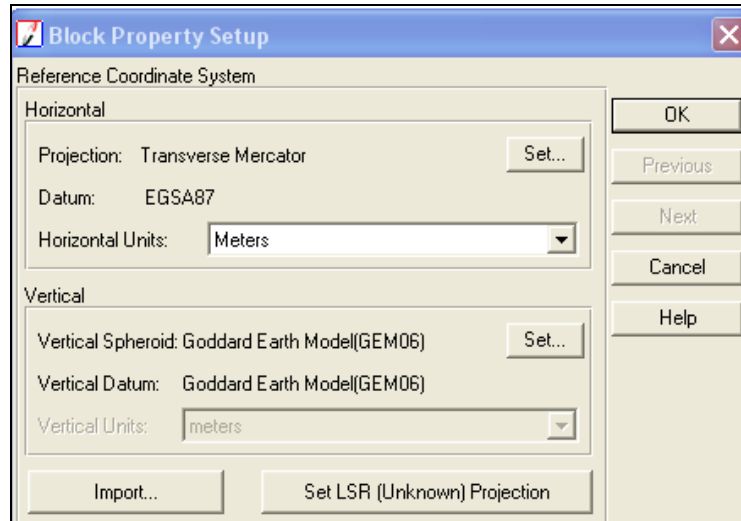
Ακολούθησε ο ορισμός του συστήματος αναφοράς των συντεταγμένων των φωτοσταθερών που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν, η σωστή επιλογή του οποίου είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή γεωαναφορά των εικόνων. Όσον αφορά την οριζοντιογραφία, ως προβολικό σύστημα επιλέχθηκε το ΕΓΣΑ 87, που χρησιμοποιεί την Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή και εφαρμόζεται σήμερα στην Ελλάδα. Τα βασικά του χαρακτηριστικά, δηλαδή το σφαιροειδές, το datum, ο συντελεστής κλίμακας (k) στον κεντρικό μεσημβρινό, το γεωγραφικό μήκος του κεντρικού μεσημβρινού κ.λ.π., παρουσιάζονται στην Εικόνα 6.2.



Εικόνα 6.2: Τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος ΕΓΣΑ 87.

Σχετικά με τα υψόμετρα, ως σφαιροειδές και datum επιλέχθηκε από μία μεγάλη λίστα το Goddard Earth Model (GEM 06), αντί του GRS 1980, καθώς το επιλεγμένο σφαιροειδές είναι καλύτερα ενημερωμένο για το μοντέλο του γεωειδούς.

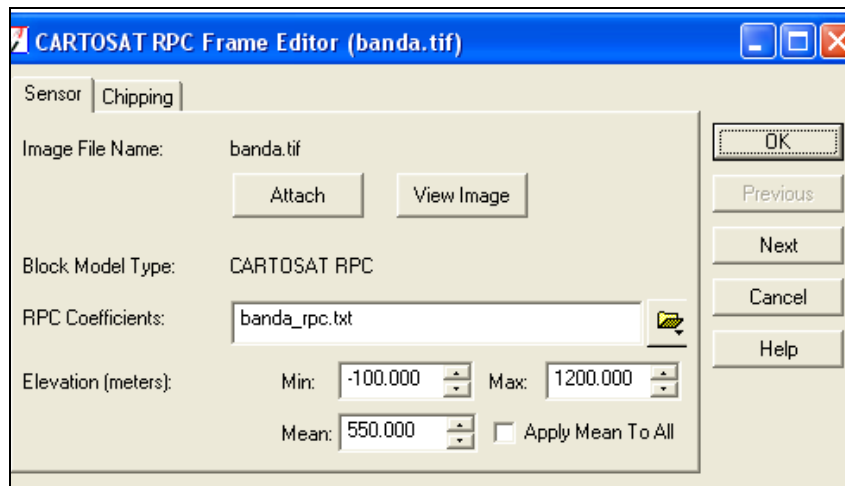
Οι μονάδες τόσο των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων, όσο και των υψομέτρων, καθορίστηκαν να είναι σε m.



Εικόνα 6.3: Ο καθορισμός του προβολικού συστήματος και του συστήματος των υψομέτρων.

Επόμενο βήμα ήταν η εισαγωγή των δύο δορυφορικών εικόνων, banda.tif και bandf.tif, στο project, και η δημιουργία πυραμίδων για το στερεοζεύγος. Στόχος της δημιουργίας πυραμίδων είναι να διευκολύνουν τη συσχέτιση των ομόλογων σημείων σε όποιες φωτογραμμετρικές εφαρμογές απαιτείται, όπως στον αυτόματο εντοπισμό σημείων σύνδεσης και στην παραγωγή αυτόματου DEM.

Κατόπιν, σειρά είχε η εισαγωγή των συντελεστών των μοντέλων κλασματικών πολυωνύμων (RPCs) για κάθε δορυφορική σκηνή, οι οποίοι περιλαμβάνονταν στα μεταδεδομένα που τις συνόδευαν.



Εικόνα 6.4: Η εισαγωγή των RPCs της σκηνής banda στο project.

Αμέσως μετά την εισαγωγή των RPCs και των δύο σκηνών στο project, αποκαταστάθηκαν αυτόματα ο εσωτερικός (Int.) και ο εξωτερικός (Ext.) προσανατολισμός τους, όπως υποδηλώνεται από την αλλαγή του χρώματος από κόκκινο σε πράσινο στα αντίστοιχα κουτάκια (Εικόνα 6.5). Το πράσινο χρώμα δηλώνει την ολοκλήρωση κάθε διαδικασίας.

Row #	Image ID	Description	Image Name	Active	Pyr.	Int.	Ext.	DTM	Ortho	Online
1	1		c:/chryssa/cholomontas_doruforikes/product1/banda.tif	X	Green	Red	Red	Red	Red	Green
2	2		c:/chryssa/cholomontas_doruforikes/product1/bandf.tif	X	Green	Red	Red	Red	Red	Green

(α)

Row #	Image ID	Description	Image Name	Active	Pvr.	Int.	Ext.	DTM	Ortho	Online
1	1		c:/chryssa/cholomontas_doruforikes/product1/banda.tif	X						
2	2		c:/chryssa/cholomontas_doruforikes/product1/bandf.tif	X						

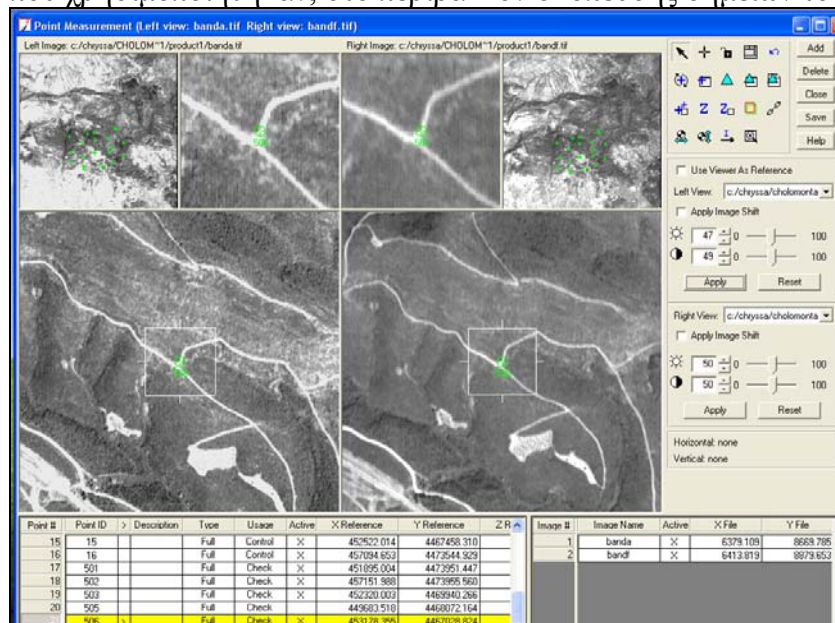
(β)

Εικόνα 6.5: Στοιχεία για τις δορυφορικές εικόνες (α) πριν και (β) μετά την εισαγωγή των RPCs στο project.

Τελευταίο στάδιο πριν την πραγματοποίηση της συνόρθωσης για τη βελτίωση των τιμών των RPCs από το πρόγραμμα, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη προσαρμογή του μοντέλου των RF στην περιοχή μελέτης, ήταν η εισαγωγή στο project, με ένα αρχείο txt, των γεωδαιτικών συντεταγμένων των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου (σε ΕΓΣΑ 87), και η σκόπευσή τους στις δορυφορικές σκηνές. Κανονικά τα σημεία αυτά θα έπρεπε να σκοπευτούν στερεοσκοπικά, ώστε να είναι όσο το δυνατό αντιπροσωπευτικά του αναγλύφου της περιοχής, όμως, λόγω προσωρινού τεχνικού προβλήματος, δεν ήταν δυνατό να αξιοποιηθεί αυτή η δυνατότητα του προγράμματος.

Εξετάστηκαν τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις, χρησιμοποιώντας διαφορετικό αριθμό και διαφορετικούς συνδυασμούς GCPs κάθε φορά, έτσι ώστε να διερευνηθεί η κατάλληλη κατανομή και αριθμός φωτοσταθερών που απαιτούνται για να προκύψει ικανοποιητική ακρίβεια γεωαναφοράς. Συγκεκριμένα εξετάστηκε η ακρίβεια επαναπροσδιορισμού των συντελεστών των πολυωνύμων με χρήση 13, 11, 6, και 3 GCPs και αντίστοιχα 4, 4, 9, και 12 ανεξάρτητων σημείων ελέγχου (Independent Check Points, ICPs).

Τα φωτοσταθερά ήταν όσο το δυνατό ομοιόμορφα κατανεμημένα στην περιοχή ενδιαφέροντος και οι συντεταγμένες τους προέκυψαν από τα τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 της Γ.Υ.Σ. Ο εντοπισμός τους παρουσίασε κάποιες δυσκολίες, καθώς από το έτος φωτοληψίας των αεροφωτογραφιών για τη σύνταξη των χαρτών (1980) μέχρι το έτος απόκτησης των δορυφορικών εικόνων (2006) έχει μεσολαβήσει ένα διάστημα 26 ετών, κατά τη διάρκεια του οποίου σημειώθηκαν σημαντικές αλλαγές στην περιοχή ενδιαφέροντος. Επιπλέον, τα τοπογραφικά διαγράμματα περιλάμβαναν αρκετά επικαλυπτόμενα στοιχεία, σύμβολα και ονόματα, που δεν διευκόλυναν την εύρεση των GCPs, που κυρίως ήταν διασταυρώσεις δρόμων ή τομές ρεμάτων. Στην Εικόνα 6.6 παρουσιάζεται ένα από τα φωτοσταθερά που χρησιμοποιήθηκαν, στο περιβάλλον σκόπευσης σημείων του LPS.



Εικόνα 6.6: Ένα από τα φωτοσταθερά που χρησιμοποιήθηκαν, στο περιβάλλον σκόπευσης σημείων του LPS.

Το LPS, για καθεμία από τις τέσσερις περιπτώσεις, μετά από συνόρθωση των παρατηρήσεων επαναπροσδιόρισε τους συντελεστές των κλασματικών πολυωνύμων (RPCs), χωρίς όμως να παρουσιαστούν στο χρήστη οι τελικές τους τιμές και ο τρόπος υπολογισμού τους. Με τη χρήση και των δύο εικόνων του στερεοζεύγους εκτελέστηκε εμπροσθοτομία και υπολογίστηκαν οι νέες γεωδαιτικές συντεταγμένες των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου. Μεταξύ των αποτελεσμάτων που εξάχθηκαν κάθε φορά από το πρόγραμμα ήταν τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού των επίγειων συντεταγμένων των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου, όπως επίσης και τα εναπομένοντα σφάλματά τους, δηλαδή οι διαφορές των υπολογισμένων γεωδαιτικών συντεταγμένων, από τις αντίστοιχες που προέκυψαν από τους χάρτες της Γ.Υ.Σ. και εισήχθησαν στο project. Τα αναλυτικά αποτελέσματα, όπως προέκυψαν από το LPS, για κάθε περίπτωση παρατίθενται στο Παράρτημα. Μία συνοπτική παρουσίασή τους γίνεται στους Πίνακες 6.1, 6.2 και 6.3. Ακόμη, στις Εικόνες 6.7, 6.8, 6.9 και 6.10 φαίνεται η κατανομή των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου σε κάθε περίπτωση, όχι σε όλη την έκταση του δορυφορικού στερεοζεύγους, αλλά μόνο στο τμήμα του που απεικονίζει την περιοχή μελέτης. Για το λόγο αυτό η γεωαναφορά δεν αναφέρεται στο σύνολο του δορυφορικού στερεοζεύγους, όπως καταχρηστικά λέγεται, αλλά μόνο στο μικρό αυτό τμήμα του, όπου έχουν σκοπευθεί τα φωτοσταθερά και τα σημεία ελέγχου.

	Επίλυση με:		Επίλυση με:		Επίλυση με:		Επίλυση με:	
	13 GCPs	4 ICPs	11 GCPs	4 ICPs	6 GCPs	9 ICPs	3 GCPs	12 ICPs
RMSE X (m)	4,872	4,520	4,031	5,331	2,655	7,076	3,345	4,788
RMSE Y (m)	4,768	4,134	3,877	2,300	2,999	4,281	2,438	5,168
RMSE Z (m)	3,744	3,207	4,123	2,248	3,150	4,023	3,750	3,921

Πίνακας 6.1: Τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού των επίγειων συντεταγμένων των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου σε κάθε περίπτωση.

«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων»

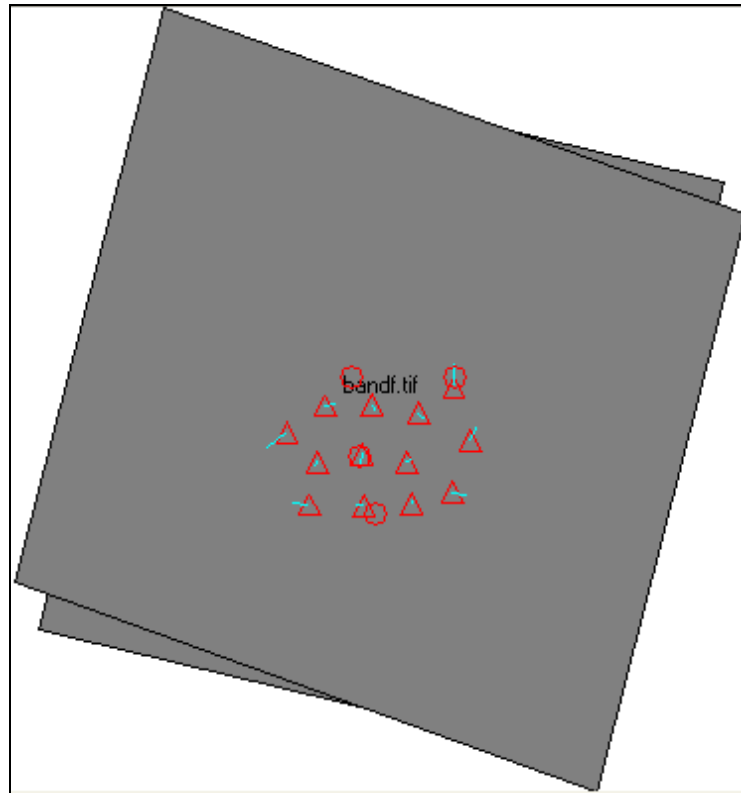
Point ID	Control Point Residuals											
	X (m)				Y (m)				Z (m)			
	Επίλυση με:				Επίλυση με:				Επίλυση με:			
	13 GCPs	11 GCPs	6 GCPs	3 GCPs	13 GCPs	11 GCPs	6 GCPs	3 GCPs	13 GCPs	11 GCPs	6 GCPs	3 GCPs
3	5,483	6,902	-	-	-1,417	-0,752	-	-	0,464	-0,419	-	-
4	2,282	-	-	-	3,568	-	-	-	-1,389	-	-	-
5	3,318	4,747	-	-	3,628	4,290	-	-	-8,392	-9,273	-	-
6	-10,414	-	-	-	7,387	-	-	-	1,894	-	-	-
7	2,766	4,201	-	4,659	-6,797	-6,136	-	-3,330	3,355	2,476	-	1,737
8	-1,300	0,120	-	-	2,648	3,313	-	-	4,002	3,119	-	-
9	2,445	-	-	-	-1,043	-	-	-	0,309	-	-	-
11	-8,256	-6,836	-4,017	-	-1,285	-0,621	0,503	-	3,619	2,737	2,890	-
12	0,606	2,037	4,861	-	-1,760	-1,098	0,025	-	-2,914	-3,794	-3,638	-
13	7,510	-	-	-	1,051	-	-	-	-2,798	-	-	-
14	-0,439	0,985	-	-	5,356	6,019	-	-	5,912	5,030	-	-
15	-3,649	-	-	-	-0,232	-	-	-	-0,221	-	-	-
16	-0,189	-	-	-	-11,143	-	-	-	-3,780	-	-	-
501	-	-3,469	-0,651	-3,018	-	-0,371	0,753	2,437	-	-4,463	-4,310	-5,203
502	-	-4,042	-1,219	-	-	-6,492	-5,369	-	-	0,164	0,321	-
503	-	-2,488	0,333	-	-	3,746	4,869	-	-	0,228	0,382	-
506	-	-2,113	0,709	-1,659	-	-1,907	-0,784	0,900	-	4,218	4,373	3,478

Πίνακας 6.2: Τα εναπομένοντα σφάλματα των γεωδαιτικών συντεταγμένων των φωτοσταθερών σε κάθε περίπτωση.

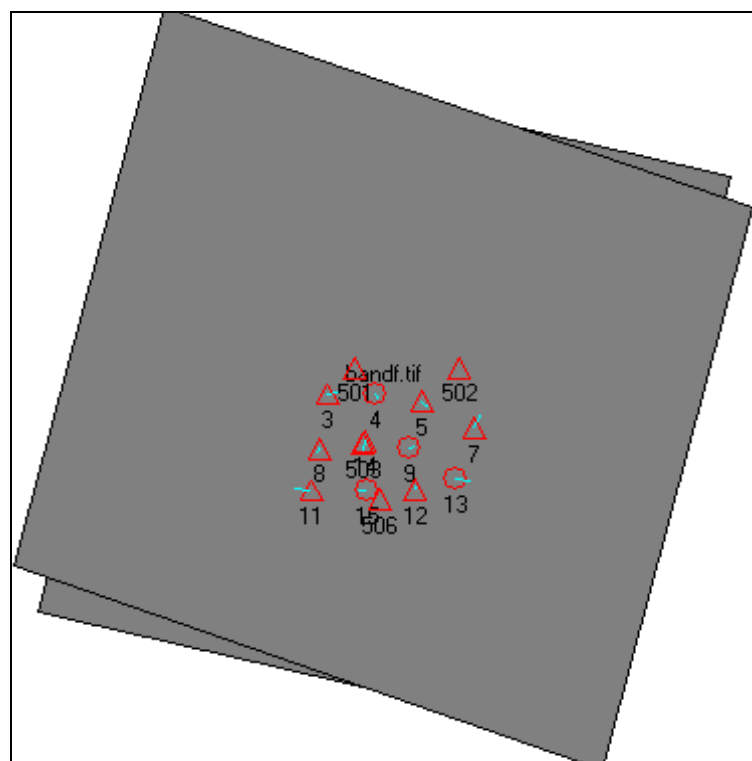
«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων»

Point ID	Check Point Residuals											
	X (m)				Y (m)				Z (m)			
	Επίλυση με:				Επίλυση με:				Επίλυση με:			
	13 GCPs	11 GCPs	6 GCPs	3 GCPs	13 GCPs	11 GCPs	6 GCPs	3 GCPs	13 GCPs	11 GCPs	6 GCPs	3 GCPs
3	-	-	9,719	7,353	-	-	0,372	2,056	-	-	-0,266	-1,159
8	-	-	2,938	0,571	-	-	4,437	6,121	-	-	3,272	2,379
9	-	3,874	6,696	4,329	-	-0,381	0,742	2,426	-	-0,572	-0,417	-1,311
11	-	-	-	-6,385	-	-	-	2,187	-	-	-	1,997
12	-	-	-	2,493	-	-	-	1,709	-	-	-	-4,533
13	-	8,945	11,772	9,403	-	1,712	2,834	4,518	-	-3,677	-3,520	-4,416
14	-	-	3,806	1,438	-	-	7,143	8,827	-	-	5,184	4,291
15	-	-2,223	0,599	-1,769	-	0,431	1,555	3,239	-	-1,103	-0,948	-1,842
4	-	3,706	6,526	4,159	-	4,231	5,355	7,039	-	-2,270	-2,116	-3,010
501	-4,891	-	-	-	-1,035	-	-	-	-3,581	-	-	-
502	-5,474	-	-	-3,586	-7,154	-	-	-3,686	1,044	-	-	-0,575
503	-3,912	-	-	-2,035	3,082	-	-	6,553	1,110	-	-	-0,512
506	-3,541	-	-	-	-2,569	-	-	-	5,098	-	-	-
5	-	-	7,569	5,203	-	-	5,414	7,097	-	-	-9,117	-10,012
7	-	-	7,027	-	-	-	-5,014	-	-	-	2,633	-

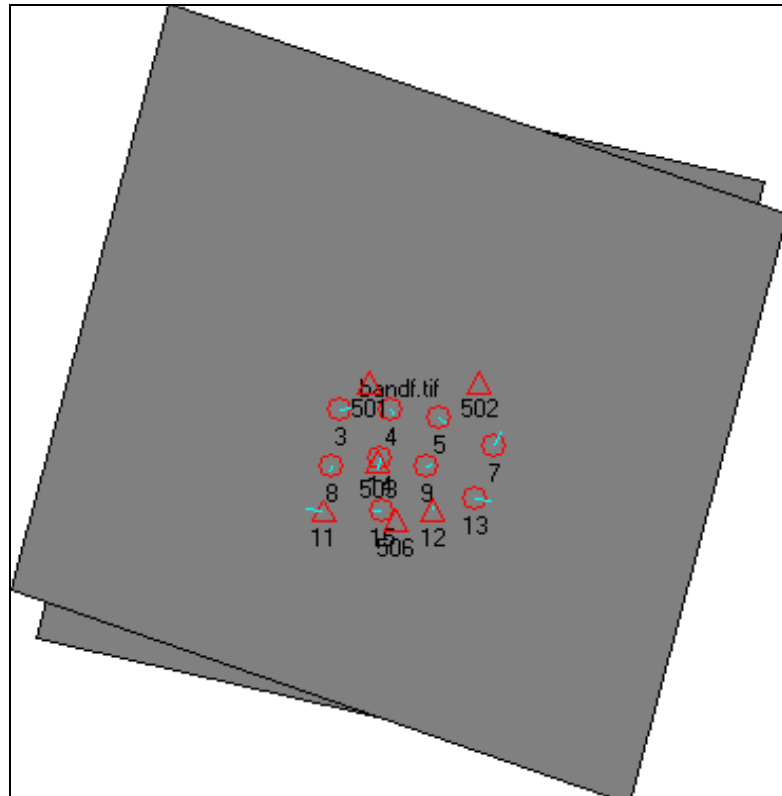
Πίνακας 6.3: Τα εναπομένοντα σφάλματα των γεωδαιτικών συντεταγμένων των σημείων ελέγχου σε κάθε περίπτωση.



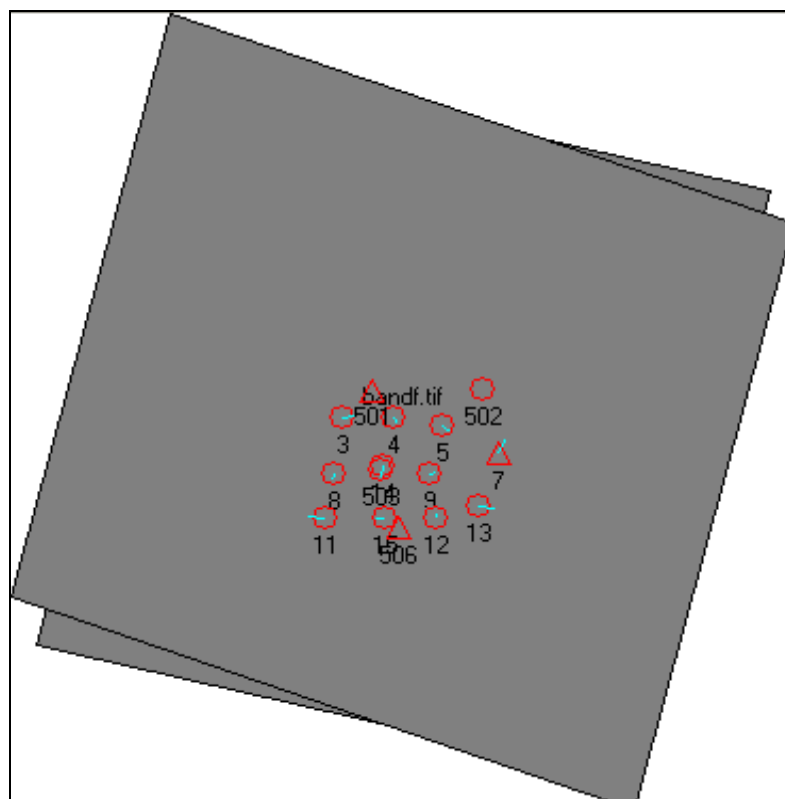
Εικόνα 6.7: Η κατανομή των 13 φωτοσταθερών (τρίγωνα) και των 4 σημείων ελέγχου (κύκλοι) στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 6.8: Η κατανομή των 11 φωτοσταθερών (τρίγωνα) και των 4 σημείων ελέγχου (κύκλοι) στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 6.9: Η κατανομή των 6 φωτοσταθερών (τρίγωνα) και των 9 σημείων ελέγχου (κύκλοι) στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 6.10: Η κατανομή των 3 φωτοσταθερών (τρίγωνα) και των 12 σημείων ελέγχου (κύκλοι) στην περιοχή μελέτης.

Παρατηρώντας τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού των επίγειων συντεταγμένων των ανεξάρτητων σημείων ελέγχου, που προέκυψαν για κάθε περίπτωση και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1 που προηγήθηκε, μειώνοντας τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων φωτοσταθερών, η ακρίβεια γεωαναφοράς μειώνεται οριακά ή παραμένει σχεδόν ίδια. Βέβαια, για να εξαχθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα θα έπρεπε να είχαν χρησιμοποιηθεί περισσότερα από 4 ICPs, στις δύο πρώτες περιπτώσεις. Με τα ισχύοντα δεδομένα όμως, ως καλύτερη επίλυση θεωρείται εκείνη στην οποία χρησιμοποιήθηκαν 11 φωτοσταθερά και 4 σημεία ελέγχου. Τελικά όμως, στη συνέχεια της πρακτικής εφαρμογής, για την απόδοση των γραμμικών στοιχείων λήφθηκε υπόψη η πρώτη περίπτωση γεωαναφοράς του δορυφορικού στερεοζεύγους, όπου χρησιμοποιήθηκαν 13 φωτοσταθερά και 4 σημεία ελέγχου, καθώς η ακρίβεια γεωαναφοράς που επιτυγχάνεται είναι σχεδόν ίδια με την περίπτωση της καλύτερης επίλυσης. Η υψομετρική ακρίβεια είναι περίπου 3m, ενώ η οριζοντιογραφική περίπου 5m ή 2 pixel, σύμφωνα με τη χωρική ανάλυση των δορυφορικών εικόνων του Cartosat-1 που είναι 2,5m. Η επιτυχανόμενη ακρίβεια είναι δικαιολογημένη, αφού ήδη το σφάλμα που έχει υπεισέλθει στον προσδιορισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου από τους χάρτες της Γ.Υ.Σ. είναι περίπου 2,5m, δηλαδή 1 pixel. Αν είχαν πραγματοποιηθεί επίγειες τοπογραφικές μετρήσεις σημείων, πιθανώς η ακρίβεια να ήταν πολύ καλύτερη, γύρω στο 1-1,5 pixel.

6.3 Παραγωγή Ορθοφωτογραφίας από Δορυφορικές Εικόνες

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας γεωαναφοράς των δορυφορικών σκηνών, οι δύο τελευταίες δυνατότητες που παρέχει στο χρήστη το LPS είναι η δημιουργία αυτόματου DTM (Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους) και η παραγωγή ορθοανηγμένης εικόνας (ορθοφωτογραφίας). Παρόλο που οι φωτογραμμετρικές αυτές διαδικασίες δεν ήταν απαραίτητες για τη συνέχεια της πρακτικής εφαρμογής, πραγματοποιήθηκαν για εκπαιδευτικούς σκοπούς, εφόσον είχαν ολοκληρωθεί όλα τα προηγούμενα αναγκαία στάδια.

Όσον αφορά τη δημιουργία αυτόματου DTM από το δορυφορικό στερεοζεύγος, στο αντίστοιχο παράθυρο του προγράμματος ως Output DTM Type, δηλαδή ως μορφή του τελικού προϊόντος της εφαρμογής αυτής, επιλέχθηκε το Terramodel TIN, καθώς θεωρείται ότι είναι πιο αποδοτικό και εύκολο στη διαχείριση και τη διόρθωσή του σε σχέση με το απλό DTM.

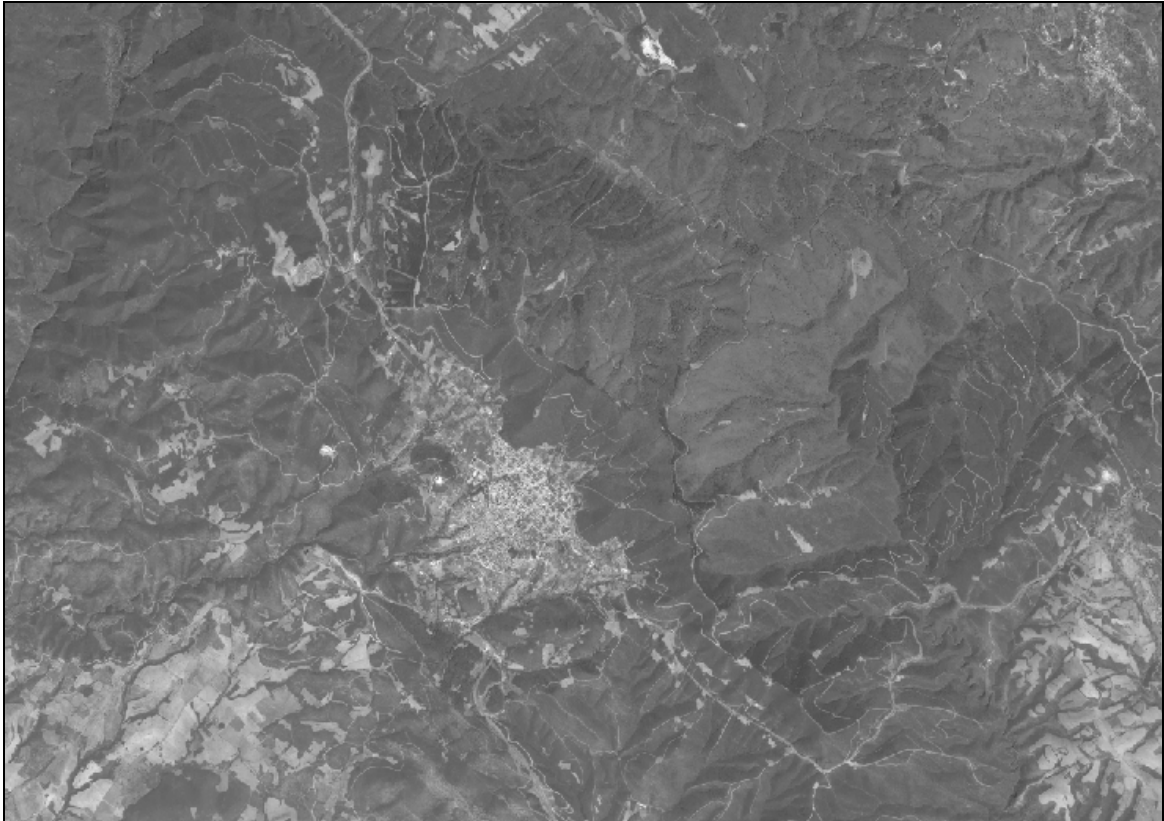
Το βήμα του κανάβου για τη συλλογή του DTM προκύπτει από την εμπειρική σχέση: (0,5cm έως 1,5cm) × τον συντελεστή κλίμακας της ορθοφωτογραφίας για την παραγωγή της οποίας προορίζεται. Στην προκειμένη περίπτωση, θεωρώντας την κλίμακα της ορθοφωτογραφίας 1:5.000 και λαμβάνοντας τη μέση τιμή του διαστήματος (0,5cm - 1,5cm), δηλαδή 1 cm, το βήμα του DTM υπολογίστηκε ίσο με 50m. Τελικά, η κλίμακα της ορθοφωτογραφίας που παράχθηκε ήταν 1:10.000, οπότε η πυκνότητα των σημείων του DTM είναι πολύ μεγαλύτερη από την απαιτούμενη.

Τέλος, το DTM επιλέχθηκε να δημιουργηθεί μόνο για την περιοχή μελέτης και όχι για όλη την έκταση που απεικονιζόταν στις δορυφορικές εικόνες του στερεοζεύγους.

Το σύστημα αναφοράς και οι μονάδες του DTM που δημιουργήθηκε, είναι ίδια με αυτά που ορίστηκαν για τις δορυφορικές σκηνές κατά την εισαγωγή τους στο project.

Μετά τη δημιουργία του DTM ακολούθησε έλεγχος του με στερεοσκοπική παρατήρηση, από τον οποίο προέκυψε ότι τελικά δε χρειαζόταν διόρθωση, καθώς τα σημεία του ακολουθούσαν ικανοποιητικά το ανάγλυφο της περιοχής ενδιαφέροντος.

Το τελευταίο στάδιο της ορθοαναγωγής, πραγματοποιήθηκε μόνο για μία από τις δύο δορυφορικές εικόνες, και συγκεκριμένα για την bandf, η οποία επιλέχθηκε τυχαία. Η εδαφοψηφίδα μιας ορθοφωτογραφίας καθορίζεται από την εμπειρική, και πάλι, σχέση: $100\mu\text{m} \times \text{τον συντελεστή κλίμακας της ορθοφωτογραφίας}$. Έτσι, στην προκειμένη περίπτωση, το μέγεθος της εδαφοψηφίδας της τελικής ορθοφωτογραφίας κλίμακας 1:10.000 ορίστηκε ίσο με 1 m. Η μέθοδος αναδόμησης (επαναδειγματοληψίας) που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή της δικυβικής συνέλιξης. Αξιολογώντας οπτικά την ορθοφωτογραφία, η οποία παρουσιάζεται σε σμίκρυνση στην Εικόνα 6.11 και παρατίθεται στην πραγματική της κλίμακα στο τέλος του τεύχους, το αποτέλεσμα θεωρήθηκε αρκετά καλό.



Εικόνα 6.11: Η τελική ορθοφωτογραφία.

7 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΤΟΥ 1945 ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΥ

Για τη γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών του 1945 με την κλασική μέθοδο του αεροτριγωνισμού χρησιμοποιήθηκε και πάλι το πρόγραμμα LPS.

Μετά τη δημιουργία του project, ως γεωμετρικό μοντέλο επιλέχθηκε αυτό της μη μετρητικής φωτομηχανής (Non Metric Camera).

Ακολούθησε ο ορισμός του συστήματος αναφοράς των συντεταγμένων των φωτοσταθερών που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν. Όσον αφορά την οριζοντιογραφία, ως προβολικό σύστημα επιλέχθηκε το ΕΓΣΑ 87, που εφαρμόζεται σήμερα στην Ελλάδα και χρησιμοποιεί την Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή και το ομώνυμο datum. Σχετικά με τα υψόμετρα, ως σφαιροειδές και datum επιλέχθηκε το GRS 1980, καθώς δεν ήταν ακόμη γνωστό ότι το Goddard Earth Model (GEM 06) είναι καλύτερα ενημερωμένο για το μοντέλο του γεωειδούς. Οι μονάδες τόσο των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων, όσο και των υψομέτρων, καθορίστηκαν να είναι σε μέτρα (m).

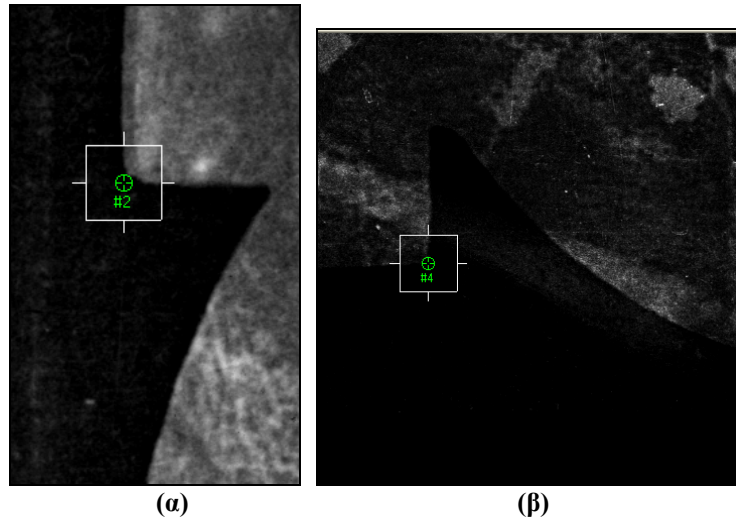
Ακόμη, ορίστηκε ως σύστημα στροφών το ωφκ και οι μονάδες των γωνιών να είναι σε βαθμούς (gons), δηλώθηκε ότι πρόκειται για εναέριες λήψεις και αναγράφηκε το μέσο ύψος πτήσης $H \cong 6400$ m, όπως προέκυψε από τον τύπο $H=c \times \kappa$, με $c=153$ mm και $\kappa=42.000$.

Μετά την εισαγωγή στο project των αρχείων των σαρωμένων διαθετικών του 1945, και τη δημιουργία πυραμίδων για το καθένα από αυτά, ακολούθησε η εισαγωγή των προσεγγιστικών στοιχείων του εσωτερικού προσανατολισμού της κάμερας. Συγκεκριμένα, η εστιακή απόσταση θεωρήθηκε ίση με $f=153$ mm, οι συντεταγμένες του πρωτεύοντος σημείου $x_0=y_0=0$, και η ακτινική διαστρόφη $dr=0$. Αναφορικά με τη μέτρηση των συντεταγμένων των εικονοσημάτων στο σύστημα του φωτογραφικού επιπέδου, ακολούθησε η εξής διαδικασία. Κάθε αεροφωτογραφία εισήχθη στο AutoCad και συνδέοντας τα αντιδιαμετρικά της εικονοσήματα ορίστηκαν οι κάθετοι άξονες και η αρχή (που είναι η τομή των αξόνων) του συστήματος του φωτογραφικού επιπέδου. Κάνοντας την παραδοχή, όπως προαναφέρθηκε, ότι το πρωτεύον σημείο ταυτίζεται με την αρχή του συστήματος του φωτογραφικού επιπέδου ($x_0=y_0=0$), μετρήθηκαν οι εικονοσυντεταγμένες των εικονοσημάτων. Επειδή θεωρητικά η θέση των σημαινόμενων εικονοσημάτων είναι ίδια σε όλες τις αεροφωτογραφίες, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των εικονοσυντεταγμένων των αντίστοιχων εικονοσημάτων στις πέντε αεροφωτογραφίες. Τελικά, οι εικονοσυντεταγμένες των εικονοσημάτων που εισήχθησαν στο project ήταν οι ακόλουθες:

Εικονοσυντεταγμένες εικονοσημάτων		
a/a	x	y
1	112,446	0
2	-112,435	0
3	0	112,210
4	0	-112,323

Πίνακας 7.1: Οι εικονοσυντεταγμένες των εικονοσημάτων που εισήχθησαν στο project.

Επόμενο στάδιο ήταν η σκόπευση των εικονοσημάτων κάθε αεροφωτογραφίας, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η μετατροπή του αριστερόστροφου συστήματος (i, j) κάθε ψηφιακής εικόνας, στο σύστημα των εικονοσυντεταγμένων (x, y), μέσω αφινικού προσανατολισμού. Ως καταλληλότερο σημείο στόχευσης κάθε εικονοσήματος, επιλέχθηκε το σημείο τομής του πλαισίου της αεροφωτογραφίας με την κάθετο πλευρά της τριγωνικής προέκτασης που επεκτείνεται μέσα στην φωτογραφία (Εικόνα 7.1).



Εικόνα 7.1: (α) Ευδιάκριτο στοχευμένο εικονόσημα. (β) Δυσδιάκριτο στοχευμένο εικονόσημα

Τα σφάλματα κλεισίματος του εσωτερικού προσανατολισμού για τις πέντε αεροφωτογραφίες, όπως προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία, αναγράφονται στον Πίνακα 7.2. Όπως παρατηρείται είναι αρκετά υψηλά, γεγονός που οφείλεται τόσο στις προσεγγιστικές τιμές των συντεταγμένων των εικονοσημάτων που εισήχθησαν στο project, όσο και στη μη ευκρινή σκόπευση κάποιων εικονοσημάτων, εξαιτίας της χαμηλής φωτεινότητας στα άκρα των διαθετικών (Εικόνα 7.1β)

Κωδικός αεροφωτογραφίας	Σφάλμα κλεισίματος εσωτερικού προσανατολισμού (μm)
45-064	97,57
45-065	99,20
45-066	99,46
45-099	98,50
45-100	99,56

Πίνακας 7.2: Το σφάλμα κλεισίματος του εσωτερικού προσανατολισμού για κάθε αεροφωτογραφία.

Για την αποκατάσταση του σχετικού προσανατολισμού των αεροφωτογραφιών, η οποία, όπως και η αποκατάσταση του εσωτερικού τους προσανατολισμού, αποτελούσε προϋπόθεση για την πραγματοποίηση του αεροτριγωνισμού, ήταν απαραίτητο να εντοπιστούν ομόλογα σημεία (σημεία σύνδεσης) στα επικαλυπτόμενα τμήματα τους. Με αυτό τον τρόπο θα εξασφαλιζόταν η αλληλοτομία των ομόλογων ακτίνων. Το LPS παρέχει τη δυνατότητα αυτόματου υπολογισμού σημείων σύνδεσης (Tie Points), αρκεί να δοθούν τιμές σε κάποιες παραμέτρους για τον υπολογισμό αρχικών τιμών για τα στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων. Οι παράμετροι αυτές παρουσιάζονται στην Εικόνα 7.2, στο αντίστοιχο παράθυρο του προγράμματος. Σημειώνεται ότι οι τιμές που εμφανίζονται στην εικόνα αυτή δεν είναι εκείνες που δόθηκαν.

Στην προκειμένη περίπτωση, αυτή η δυνατότητα του προγράμματος δε λειτούργησε, με αποτέλεσμα η σκόπευση ομόλογων σημείων μεταξύ των εικόνων να πραγματοποιηθεί χειροκίνητα, διαδικασία που ήταν αρκετά κουραστική και χρονοβόρα.

Row #	Flight NO.	Image NO.	Image ID	Image Name
1	1	1	2	c:/chryssa/chryssa_aerofoto_1945/45-065.tif
2	1	2	1	c:/chryssa/chryssa_aerofoto_1945/45-064.tif
3	1	3	3	c:/chryssa/chryssa_aerofoto_1945/45-066.tif
4	2	1	4	c:/chryssa/chryssa_aerofoto_1945/45-099.tif
5	2	2	5	c:/chryssa/chryssa_aerofoto_1945/45-100.tif

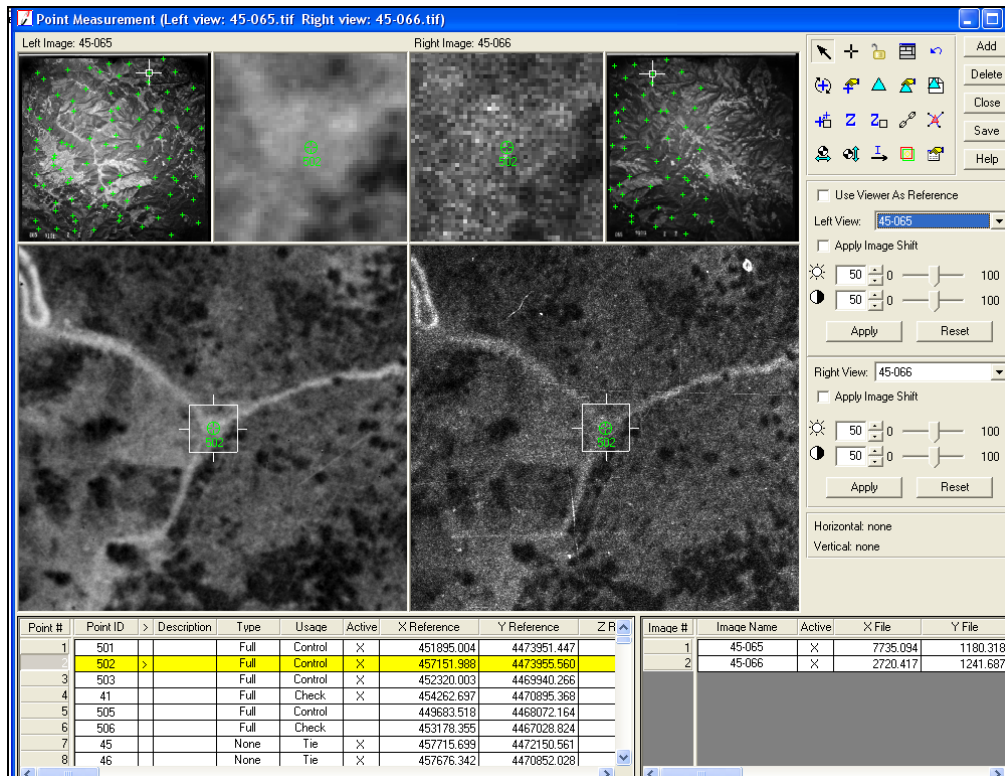
Εικόνα 7.2: Οι παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν για τον υπολογισμό αρχικών τιμών για τα στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων.

Τελευταίο στάδιο πριν την πραγματοποίηση του αεροτριγωνισμού, ήταν η εισαγωγή στο project, με ένα αρχείο txt, των γεωδαιτικών συντεταγμένων των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου (σε ΕΓΣΑ 87), και η σκόπευσή τους (μονοσκοπικά) στις αεροφωτογραφίες. Η διαδικασία εντοπισμού σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων στις αεροφωτογραφίες του 1945 έγινε με οπτική αντιπαραβολή αυτών με τα τοπογραφικά διαγράμματα της Γ.Υ.Σ. Ήταν μία πολύ δύσκολη, κουραστική και χρονοβόρα διαδικασία, καθώς από το έτος λήψης των αεροφωτογραφιών (1945) μέχρι το έτος φωτοληψίας των αεροφωτογραφιών για τη σύνταξη των χαρτών (1980) μεσολάβησαν 35 έτη, κατά τη διάρκεια των οποίων το φυσικό και το ανθρωπογενές περιβάλλον στην περιοχή ενδιαφέροντος είχε μεταβληθεί σημαντικά. Το πρόβλημα εντεινόταν εξαιτίας του έντονου αναγλύφου της περιοχής, όπως επίσης και λόγω της χαμηλής ραδιομετρικής ανάλυσης και της κακής, γενικά, οπτικής ποιότητας των εικόνων του 1945. Μετά από επισταμένη μελέτη εντοπίστηκε ένας αριθμός τέτοιων σημείων, από τα οποία επιλέχθηκαν ως GCPs και Check Points εκείνα που εμφανίζονταν σε περισσότερες της μιας φωτογραφίες και ήταν όσο το δυνατό ομοιόμορφα κατανομημένα στην περιοχή μελέτης. Στην πλειοψηφία τους, επρόκειτο για διασταυρώσεις δρόμων και τομές ρεμάτων.

Έγιναν πολλές προσπάθειες, με διάφορους συνδυασμούς θέσεων και αριθμού GCPs, ώστε η επίλυση του αεροτριγωνισμού να πραγματοποιηθεί με τη συμμετοχή και των πέντε αεροφωτογραφιών. Δυστυχώς όμως, για λόγους που δεν είναι κατανοητοί, σε όλες τις

περιπτώσεις, για τις αεροφωτογραφίες 45-099 και 45-100 της κάτω λωρίδας προέκυπτε αρνητική τιμή για το υψόμετρο Ζο του προβολικού κέντρου, κατά τον υπολογισμό των στοιχείων εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων από το πρόγραμμα. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε οι δύο αυτές φωτογραφίες να μη συμμετέχουν τελικά στην επίλυση του αεροτριγωνισμού.

Συνεπώς, με τη διαδικασία του αεροτριγωνισμού προσανατολίστηκαν οι υπόλοιπες τρεις αεροφωτογραφίες της πάνω λωρίδας, με κωδικούς 45-064, 45-065 και 45-066. Για τη γεωαναφορά τους, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 6 φωτοσταθερά και 14 σημεία ελέγχου. Στην Εικόνα 7.3 παρουσιάζεται ένα από τα φωτοσταθερά που χρησιμοποιήθηκαν, στο περιβάλλον σκόπευσης σημείων του LPS.



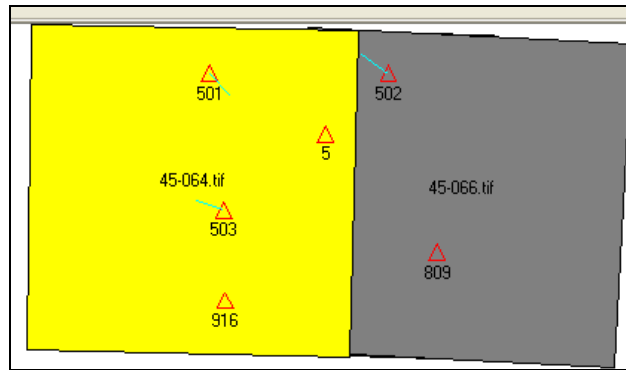
Εικόνα 7.3: Ένα από τα φωτοσταθερά που χρησιμοποιήθηκαν, στο περιβάλλον σκόπευσης σημείων του LPS.

Εκτός από τα στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων και τις γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων ελέγχου και των σημείων σύνδεσης, το πρόγραμμα υπολογίζει επίσης, μεταξύ άλλων, τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού των επίγειων συντεταγμένων των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου (Πίνακας 7.3), όπως επίσης και τα εναπομένοντα σφάλματά τους, δηλαδή τις διαφορές των υπολογισμένων γεωδαιτικών συντεταγμένων, από τις αντίστοιχες που προέκυψαν από τους χάρτες της Γ.Υ.Σ. και εισήχθησαν στο project. Τα αναλυτικά αποτελέσματα, όπως προέκυψαν από το LPS, για τη γεωαναφορά των τριών αεροφωτογραφιών παρατίθενται στο Παράρτημα.

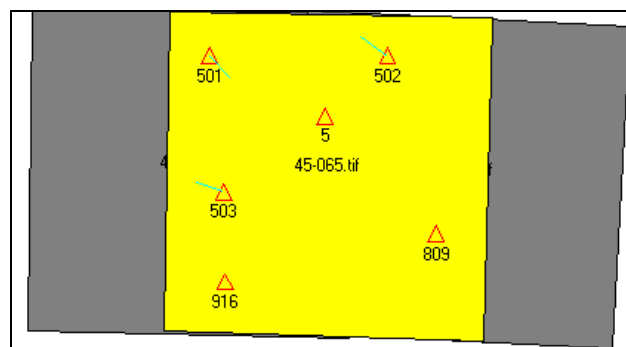
	RMSE X (m)	RMSE Y (m)	RMSE Z (m)
GCPs	6,383	13,837	15,649
Check Points	5,856	15,891	16,884

Πίνακας 7.3: Τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού των επίγειων συντεταγμένων των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου.

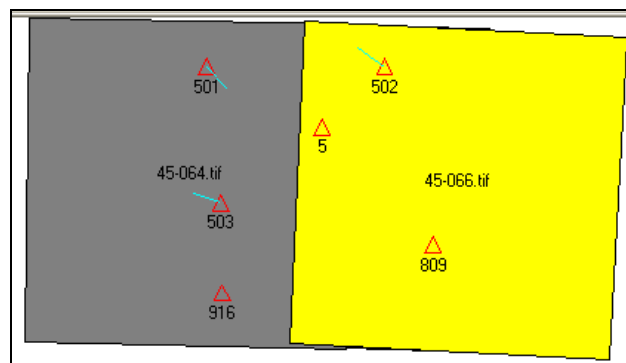
Τέλος, στην Εικόνα 7.4 παρουσιάζονται η κατανομή και οι εμφανίσεις των φωτοσταθερών σε καθεμία από τις τρεις αεροφωτογραφίες, ενώ στην Εικόνα 7.5 παρουσιάζεται η κατανομή των σημείων ελέγχου.



(α)

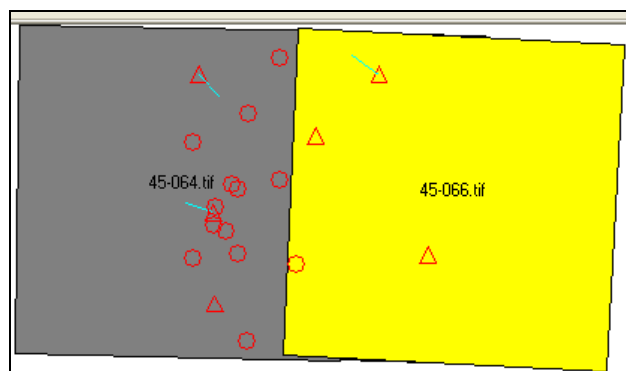


(β)



(γ)

Εικόνα 7.4: Η κατανομή και οι εμφανίσεις των φωτοσταθερών στις αεροφωτογραφίες (α) 45-064, (β) 45-065 και (γ) 45-066.



Εικόνα 7.5: Η κατανομή των σημείων ελέγχου (κύκλοι).

Τα μέτρια έως κακά αποτελέσματα, που προέκυψαν κατά τη διαδικασία γεωαναφοράς των αεροφωτογραφιών του 1945 με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού, ήταν αναμενόμενα κυρίως λόγω της μη ευκρινούς σκόπευσης των φωτοσταθερών στις αεροφωτογραφίες. Επίσης, το σφάλμα 2,5m περίπου, που έχει υπεισέλθει στον προσδιορισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου από τα τοπογραφικά διαγράμματα, επηρεάζει αρνητικά την επιτυγχανόμενη ακρίβεια γεωαναφοράς με τη συγκεκριμένη μέθοδο.

8 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΤΟΥ 1945 ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΤΑΥΤΙΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων της ταύτισης γραμμικών στοιχείων στη γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών του 1945, επιλέχθηκε ένα από τα διαθέσιμα ζεύγη αεροφωτογραφιών και αποδόθηκαν οι οριογραμμές και οι άξονες γραμμικών οντοτήτων (οδών και ρεμάτων), τόσο στο επικαλυπτόμενο τμήμα του, όσο και στην αντίστοιχη έκταση στο προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος και στα τοπογραφικά διαγράμματα της Γ.Υ.Σ.. Για τη γεωαναφορά του μοντέλου των αεροφωτογραφιών πραγματοποιήθηκαν δύο εφαρμογές και εξετάστηκαν συνολικά οκτώ περιπτώσεις:

- *Εφαρμογή 1:* Γεωαναφορά με καμπύλες αναφοράς από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος,
 1. μέσω της ταύτισης μόνο των αριστερών οριογραμμών του συνόλου των γραμμικών στοιχείων,
 2. μέσω της ταύτισης μόνο των δεξιών οριογραμμών του συνόλου των γραμμικών στοιχείων,
 3. μέσω της ταύτισης των αριστερών και των δεξιών οριογραμμών του συνόλου των γραμμικών στοιχείων,
 4. μέσω της ταύτισης των αριστερών και των δεξιών οριογραμμών μίας μόνο γραμμικής οντότητας,
 5. μέσω της ταύτισης των αξόνων του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, και τέλος
 6. μέσω της ταύτισης των αξόνων μίας μόνο γραμμικής οντότητας.
- *Εφαρμογή 2:* Γεωαναφορά με καμπύλες αναφοράς από τα τοπογραφικά διαγράμματα,
 7. μέσω της ταύτισης των αξόνων του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, και
 8. μέσω της ταύτισης των αξόνων μίας μόνο γραμμικής οντότητας.

Και στις δύο εφαρμογές, ως καμπύλες αναφοράς λήφθηκαν, ανάλογα με την περίπτωση, οι οριογραμμές ή οι άξονες των αποδοθέντων γραμμικών οντοτήτων. Σε καθεμία από τις οκτώ περιπτώσεις υπολογίστηκε ο απόλυτος προσανατολισμός του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945. Τα αποτελέσματα ελέγχθηκαν και αξιολογήθηκαν με χρήση ανεξάρτητων σημείων ελέγχου.

Οι εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα «3D curve Matching Algorithms», δηλαδή «Αλγόριθμοι Ταύτισης τρισδιάστατων καμπυλών», που συντάχθηκε από την κ. Δήμητρα Βασιλάκη, υποψήφια διδάκτορα του Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η δυνατότητα του προγράμματος για ολική ταύτιση δύο τρισδιάστατων μη συναρτησιακών καμπυλών, με γνωστή μια πρώτη προσέγγιση της σχετικής τους θέσης.

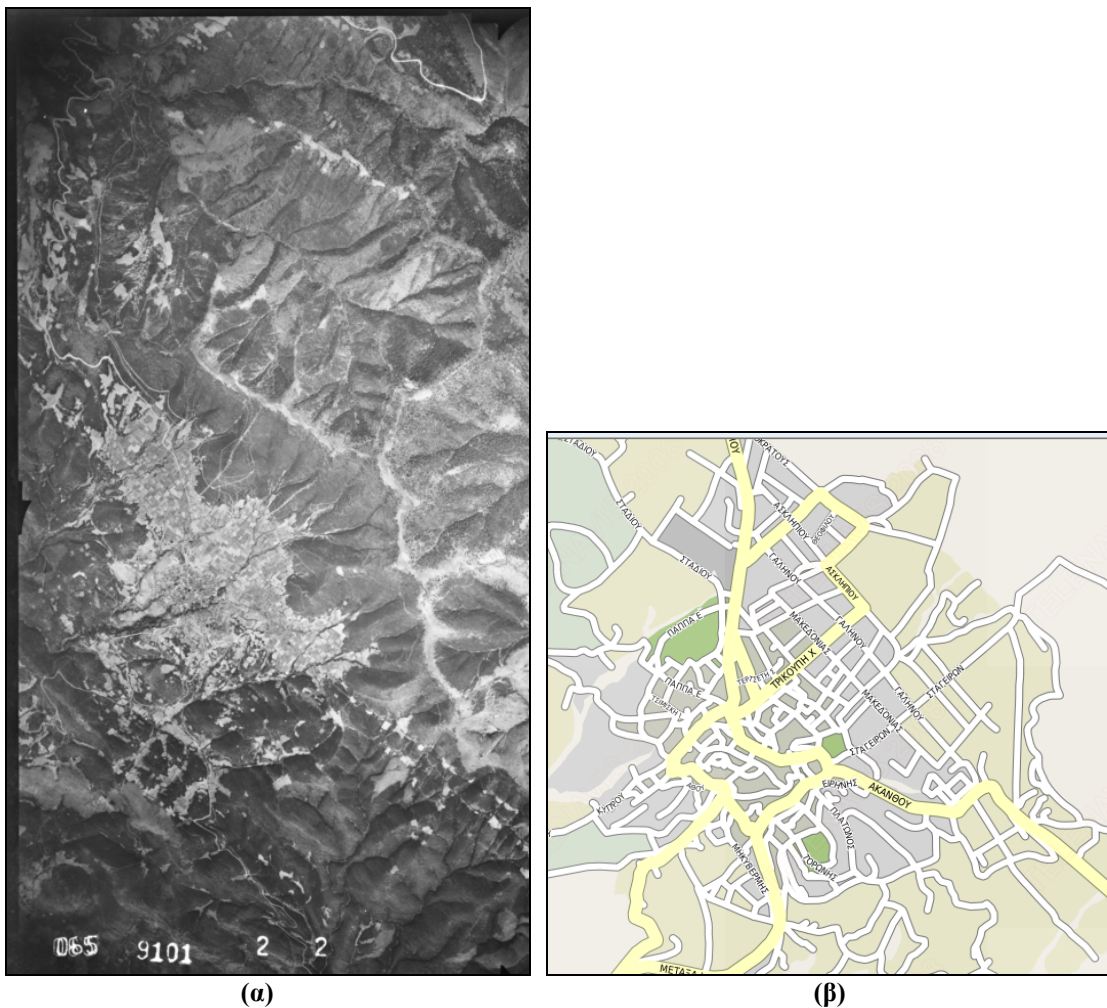
Το πρόγραμμα αυτό είναι ενσωματωμένο σε ένα σχεδιαστικό πακέτο ανοιχτού λογισμικού ονόματι ThanCad, για λόγους αποτελεσματικότητας, ευκολίας και φιλικότητας προς το χρήστη.

Στις επόμενες παραγράφους, αρχικά περιγράφεται η διαδικασία απόδοσης και προετοιμασίας των γραμμικών στοιχείων και στη συνέχεια ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση των δύο παραπάνω εφαρμογών. Στο τέλος του κεφαλαίου, γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

8.1 Απόδοση και Προετοιμασία Γραμμικών Στοιχείων

8.1.1 Απόδοση γραμμικών στοιχείων στο μοντέλο των αεροφωτογραφιών του 1945

Το στερεοζεύγος στο οποίο αποδόθηκαν τελικά τα γραμμικά στοιχεία, αποτελείται από τις αεροφωτογραφίες 45-064 και 45-065. Η συγκεκριμένη επιλογή έγινε, καθώς στο επικαλυπτόμενο των αεροφωτογραφιών αυτών (Εικόνα 8.1α) απεικονίζεται ο οικισμός του Πολύγυρου Χαλκιδικής, και κατ' επέκταση περισσότεροι δρόμοι σε σχέση με το άλλο διαθέσιμο στερεοζεύγος των αεροφωτογραφιών 45-065 και 45-066.



Εικόνα 8.1: (α) Το επικαλυπτόμενο τμήμα των αεροφωτογραφιών 45-064 και 45-065, στο οποίο αποδόθηκαν τα γραμμικά στοιχεία. (β) Το σημερινό, πυκνό οδικό δίκτυο εντός του οικισμού «Πολύγυρος».

Στο project που δημιουργήθηκε στο λογισμικό SSK, έγινε η εισαγωγή των αρχείων των σαρωμένων διαθετικών του 1945, και ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- ✓ *Αποκατάσταση εσωτερικού προσανατολισμού των εικόνων.*
Αρχικά εισήχθησαν στο πρόγραμμα οι τιμές των στοιχείων του εσωτερικού προσανατολισμού της μηχανής λήψης των αεροφωτογραφιών. Οι τιμές αυτές, των συντεταγμένων του πρωτεύοντος σημείου, της ακτινικής διαστρωφής του φακού και των εικονοσυντεταγμένων των εικονοσημάτων, ήταν ίδιες με εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν για τη γεωαναφορά των εικόνων του 1945 με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού στο πρόγραμμα LPS. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι $f=153\text{mm}$, $x_0=y_0=0$, και $dr=0$, ενώ ως προσεγγιστικές τιμές των εικονοσυντεταγμένων των εικονοσημάτων λήφθηκαν εκείνες

που αναγράφονται στον Πίνακα 7.1 του προηγούμενου κεφαλαίου. Συνεπώς, επιτεύχθηκε μερική και όχι πλήρης αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού. Στην Εικόνα 8.2 παρουσιάζονται τα σφάλματα κλεισίματος του εσωτερικού προσανατολισμού των αεροφωτογραφιών του 1945, όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα. Παρατηρείται ότι είναι αρκετά μεγάλα, και μάλιστα μεγαλύτερα των αντίστοιχων που προέκυψαν κατά τη διαδικασία απόκατάστασης του εσωτερικού προσανατολισμού στο πρόγραμμα LPS (Πίνακας 7.2).

Strip Id	Photo Id	Status	IO Done	IO Sigma	# Fids	Camera Id	Camera
1	45-064n.tif	—	Yes	129.1	4	1945	0
1	45-065n.tif	—	Yes	177.2	4	1945	0
1	45-066n.tif	—	Yes	139.3	4	1945	0

Εικόνα 8.2: Τα σφάλματα κλεισίματος του εσωτερικού προσανατολισμού για τις τρεις αεροφωτογραφίες.

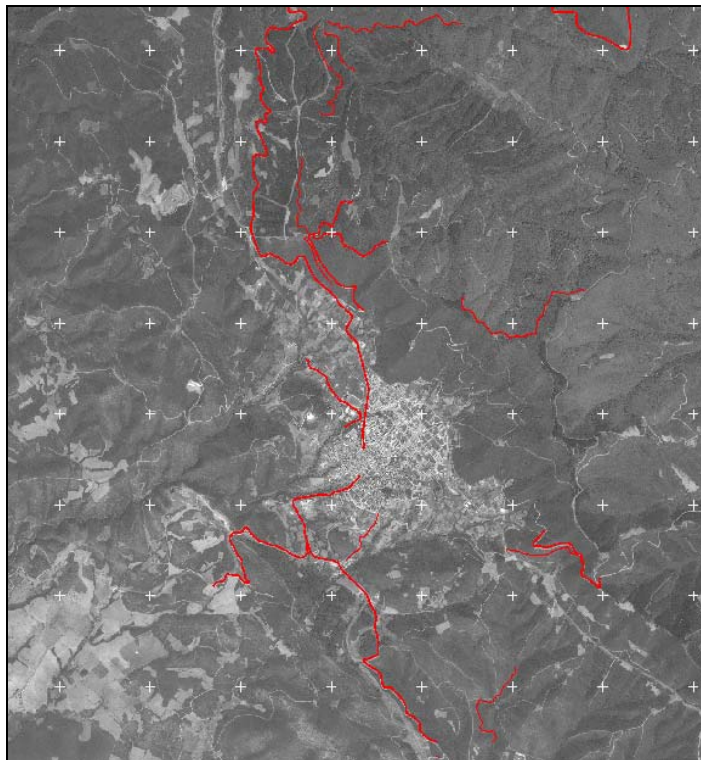
Point...	St...	Stri...	Ph...	Paral...	X-Residu...	Y-Residu...	Redundan...	X-Obs (mm)	Y-Obs (mm)
145-0...	M...	1	45...	4.1	0.006	2.067	0.1	-0.130	77.655
145-0...	M...	1	45...	4.1	-0.001	-2.066	0.1	-99.647	78.142
145-0...	M...	1	45...	4.7	0.007	2.331	0.4	50.863	55.361
145-0...	M...	1	45...	4.7	-0.001	-2.330	0.4	-48.962	55.727
145-0...	M...	1	45...	6.2	-0.009	-3.084	0.2	-0.084	-2.518
145-0...	M...	1	45...	6.2	0.003	3.082	0.2	-97.841	-2.080
145-0...	M...	1	45...	9.6	-0.014	-4.825	0.4	47.029	-36.024
145-0...	M...	1	45...	9.6	0.005	4.824	0.4	-51.869	-35.689
145-0...	M...	1	45...	7.2	0.010	3.619	0.1	0.690	-71.163
145-0...	M...	1	45...	7.2	-0.004	-3.617	0.1	-95.836	-70.760
145-0...	M...	1	45...	9.6	-0.014	-4.791	0.1	80.787	71.974
145-0...	M...	1	45...	9.6	0.003	4.790	0.1	-21.845	72.271
145-0...	M...	1	45...					0.190	89.324
145-0...	M...	1	45...	11.9	0.017	5.929	0.2	103.316	6.683
145-0...	M...	1	45...	11.9	-0.005	-5.929	0.2	1.234	6.952
145-0...	M...	1	45...					52.844	48.926
145-0...	M...	1	45...	2.5	-0.004	-1.238	0.0	96.612	-76.602
145-0...	M...	1	45...	2.5	0.001	1.238	0.0	-2.303	-76.361
145-0...	M...	1	45...					47.976	-45.350
145-0...	M...	1	45...					100.698	76.576
145-0...	M...	1	45...					98.888	-1.275
145-0...	M...	1	45...					92.219	-83.466

Parameter	Left Photo	Right Ph...
XC	0.000	100.008
YC	0.000	-0.288
ZC	153.000	152.997
Omega	0.000	0.013
Phi	0.000	-0.041
Kappa	0.000	0.116

Εικόνα 8.3: Τα αποτελέσματα του σχετικού προσανατολισμού του στερεοζεύγους των αεροφωτογραφιών 45-064 και 45-065.

- ✓ *Αποκατάσταση σχετικού προσανατολισμού στερεοζεύγους.*
Ακολούθησε η διαδικασία αποκατάστασης του σχετικού προσανατολισμού του στερεοζεύγους των αεροφωτογραφιών 45-064 και 45-065, που πραγματοποιήθηκε σκοπεύοντας κάποια ομόλογα σημεία στις δύο εικόνες. Το βήμα αυτό ήταν απαραίτητο για τη δημιουργία του στερεομοντέλου. Στην Εικόνα 8.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του σχετικού προσανατολισμού, όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα. Εξαιτίας των σφαλμάτων που υπεισέρχονται στη διαδικασία αποκατάστασης του σχετικού, όπως επίσης και του εσωτερικού προσανατολισμού, τα γραμμικά στοιχεία που πρόκειται να αποδοθούν δεν θα αποδίδονται στην απόλυτα σωστή τους θέση.
- ✓ *Στερεοσκοπική απόδοση γραμμικών στοιχείων σε σύστημα μοντέλου*
Τα γραμμικά στοιχεία που επιλέχθηκαν, αποδόθηκαν στερεοσκοπικά σε σύστημα μοντέλου, έτσι ώστε να είναι γνωστή η πληροφορία για το υψόμετρό τους. Συγκεκριμένα, μετρήθηκαν οι συντεταγμένες μοντέλου (x_m , y_m , z_m) των οριογραμμών τους.

Εντοπίστηκαν συνολικά 16 γραμμικές οντότητες (13 δρόμοι και 3 ρέματα), των οποίων οι οριογραμμές μπορούσαν να αποδοθούν. Ο αριθμός τους δεν είναι πολύ μεγάλος, γεγονός που είναι αναμενόμενο, καθώς, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4, ακόμα και σήμερα η πυκνότητα του οδικού δικτύου στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλή, λόγω της ύπαρξης μεγάλων ορεινών όγκων. Γενικά, τα 16 γραμμικά στοιχεία είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα στο επικαλυπτόμενο τμήμα των αεροφωτογραφιών, με εξαίρεση τη δεξιά περιοχή του (ανατολικά του οικισμού), όπου, λόγω του έντονου αναγλύφου, το 1945 δεν είχαν κατασκευαστεί πολλοί δρόμοι. Όπως είναι λογικό, το οδικό δίκτυο αναπτύσσεται κατά κύριο λόγο εντός και περιμετρικά του οικισμού «Πολύγυρος», περιοχές στις οποίες συγκεντρώνονται οι περισσότερες από τις γραμμικές οντότητες που αποδόθηκαν. Η κατανομή των γραμμικών χαρακτηριστικών στην περιοχή ενδιαφέροντος παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.4 που ακολουθεί, όπου απεικονίζεται τμήμα της ορθοφωτογραφίας που συντάχθηκε από τη δορυφορική απεικόνιση.



Εικόνα 8.4: Η κατανομή των γραμμικών στοιχείων που αποδόθηκαν, στην περιοχή ενδιαφέροντος.

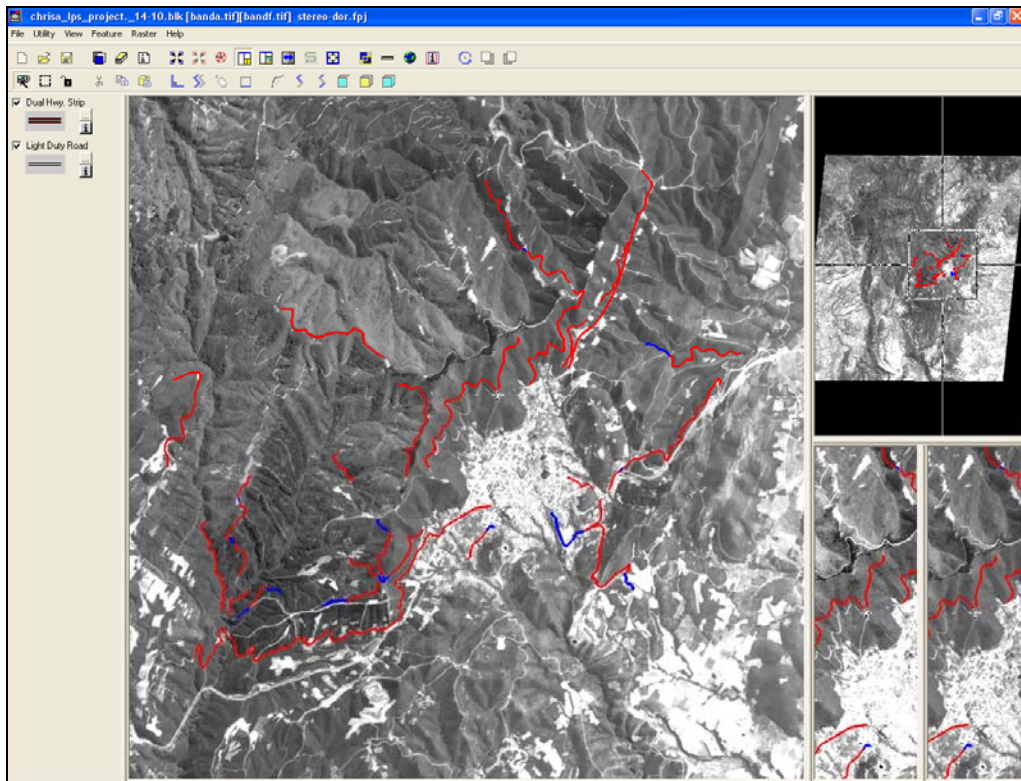
Η εξαγωγή των καμπυλών πραγματοποιήθηκε χειροκίνητα, ενώ δε χρησιμοποιήθηκε κάποιο φίλτρο για την ανίχνευσή τους. Τα σημεία που λήφθηκαν ήταν περισσότερα στις καμπές των καμπυλών, ώστε να περιγράφουν όσο το δυνατό καλύτερα τη μορφή τους. Ήταν μία χρονοβόρα και κουραστική διαδικασία, λόγω της πολύωρης στερεοσκοπικής παρατήρησης, αλλά και δύσκολη, καθώς δεν ήταν πάντα ευδιάκριτες οι οριογραμμές των δρόμων και των ρεμάτων λόγω πυκνής βλάστησης και της γενικότερης κακής ποιότητας των αεροφωτογραφιών του 1945 (ακραίες τιμές φωτεινότητας, χαμηλές ή υψηλές). Για να αντιμετωπιστούν οι δυσκολίες κατά την απόδοση των καμπυλών, που οφείλονταν στη ραδιομετρία των εικόνων, χρειάστηκε να μεταβληθεί το ιστόγραμμα τους.

Μετά την εξαγωγή τους από το SSK οι καμπύλες εισήχθησαν στο AutoCad, όπου διορθώθηκαν από πιθανά γεωμετρικά προβλήματα που είχαν προκύψει κατά την απόδοσή τους. Οι διορθώσεις αυτές αφορούσαν κυρίως τεμνόμενα ευθύγραμμα τμήματα και καμπύλες που παρουσίαζαν ασυνέχειες.

Μετά από αυτή τη διαδικασία, οι τρισδιάστατες και ενιαίες, πλέον, οριογραμμές των γραμμικών οντοτήτων ήταν έτοιμες για την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα ThanCad. Εκεί, εφαρμόζοντας τεχνικές σκελετοποίησης, υπολογίστηκαν από τις αποδοθείσες οριογραμμές οι άξονες των γραμμικών στοιχείων.

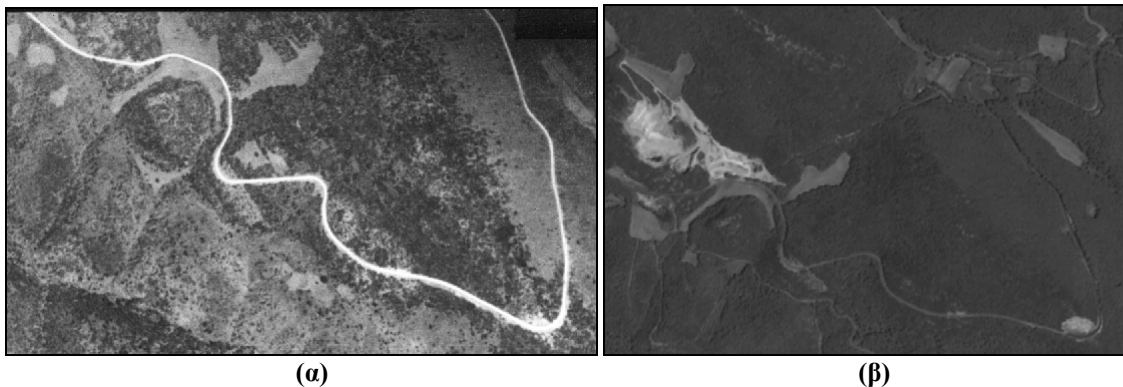
8.1.2 Απόδοση καμπυλών στο προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος

Οι οριογραμμές των 16 οδών και ρεμάτων που εξάχθηκαν από το μοντέλο των αεροφωτογραφιών του 1945, αποδόθηκαν στερεοσκοπικά και στο δορυφορικό στερεοζεύγος, που είχε προσανατολιστεί με 13 GCPs και 4 Check Points, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 6. Για την απόδοση επιλέχθηκε το mode Stereo Analyst του ERDAS IMAGINE 9.3.



Εικόνα 8.5: Η αποδοθείσες καμπύλες στο δορυφορικό στερεοζεύγος, στο περιβάλλον του Stereo Analyst.

Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.5, στο βασικό παράθυρο του Stereo Analyst, το δορυφορικό στερεοζεύγος, για άγνωστο λόγο, απεικονίζονται πλάγια, με το Βορρά του να «δείχνει» προς τη Δύση, χωρίς ευτυχώς να επηρεάζεται η διαδικασία της απόδοσης των καμπυλών. Τα 16 κοινά, με το μοντέλο του 1945, γραμμικά στοιχεία εντοπίστηκαν δύσκολα, λόγω των 60, περίπου, ετών που έχουν μεσολαβήσει ανάμεσα στις χρονολογίες λήψης των δορυφορικών εικόνων και των αεροφωτογραφιών (Εικόνα 8.6). Στο στερεοζεύγος του Cartosat-1 απεικονίζονται, όπως είναι φυσικό, περισσότεροι δρόμοι σε σχέση με τις εικόνες του 1945, οι οποίοι έχουν πρόσφατα κατασκευαστεί. Κάποιοι από αυτούς, μάλιστα, που βρίσκονται ανατολικά του οικισμού και εμφανίζονται στο πάνω τμήμα του παραθύρου της Εικόνας 8.5, αποδόθηκαν παρόλο που δεν επρόκειτο να συμμετέχουν στη συνέχεια της πρακτικής εφαρμογής.



Εικόνα 8.6: Το ίδιο γραμμικό στοιχείο όπως φαίνεται (α) στις αεροφωτογραφίες του 1945 και (β) στις δορυφορικές εικόνες.

Κατά τη χειροκίνητη εξαγωγή των καμπυλών από τις δορυφορικές εικόνες, αντιμετωπίστηκαν παρόμοιες δυσκολίες με την περίπτωση απόδοσής τους στο μοντέλο των αεροφωτογραφιών του 1945, αλλά εμφανίστηκε ένα επιπλέον πρόβλημα που σχετίζεται με τη λειτουργία του προγράμματος. Πιθανότατα λόγω μη σωστού καθορισμού παραμέτρων για την ιπτάμενη μάρκα, κάνοντας μεγάλο zoom «χανόταν» η στερεοσκοπική παρατήρηση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η απόδοση των καμπυλών να πραγματοποιηθεί σε μικρότερο zoom από αυτό που έπρεπε κανονικά. Έτσι, η μορφή των οριογραμμών των γραμμικών οντοτήτων που αποδόθηκαν στο δορυφορικό στερεοζεύγος, περιγράφεται ικανοποιητικά μεν, αλλά όχι με τη λεπτομέρεια που θα αποδιδόταν αν χρησιμοποιούταν μεγαλύτερο zoom. Αξίζει να αναφερθεί βέβαια, ότι στο Stereo Analyst η κούραση που προκαλείται στον παρατηρητή από την πολύωρη στερεοσκοπική παρατήρηση δεν είναι τόσο έντονη όσο στο SSK.

Μετά την εξαγωγή τους από το πρόγραμμα, οι τρισδιάστατες καμπύλες διορθώθηκαν από πιθανά γεωμετρικά προβλήματα στο AutoCad, και στη συνέχεια εισήχθησαν στο ThanCad, όπου με τεχνικές σκελετοποίησης υπολογίστηκαν οι άξονες των γραμμικών στοιχείων από τις αποδοθείσες οριογραμμές.

8.1.3 Ψηφιοποίηση καμπυλών στα τοπογραφικά διαγράμματα

Τα 16 γραμμικά στοιχεία εντοπίστηκαν τέλος, και στο ενιαίο υπόβαθρο των τοπογραφικών διαγραμμάτων κλίμακας 1:5.000 της Γ.Υ.Σ. Στην προκειμένη περίπτωση αποδόθηκαν κυρίως οι άξονες των γραμμικών οντοτήτων και οι οριογραμμές τους, όπου ήταν σχεδιασμένες. Εκτός από τις γραμμικές οντότητες όμως, ψηφιοποιήθηκαν χειροκίνητα και οι ισούψείς καμπύλες που τις έτεμναν, έτσι ώστε να δοθεί πληροφορία για το υψόμετρό τους.

Η ψηφιοποίηση, που πραγματοποιήθηκε στο AutoCad, ήταν λιγότερο χρονοβόρα και κουραστική διαδικασία, σε σχέση με τη στερεοσκοπική απόδοση. Τα προβλήματα που εμφανίστηκαν σχετίζονταν κυρίως με τη διάκριση των οριογραμμών ή των αξόνων των γραμμικών οντοτήτων, καθώς συχνά μπερδευόνταν ή επικαλύπτονταν κατά μήκος με τις υψομετρικές καμπύλες.

Σε αυτή την περίπτωση δε χρειάστηκε διόρθωση των καμπυλών. Όσες οριογραμμές γραμμικών στοιχείων είχαν ψηφιοποιηθεί, εισήχθησαν απευθείας στο ThanCad για να υπολογιστούν οι άξονες τους από αυτές, με τεχνικές σκελετοποίησης.

8.2 Γεωαναφορά με Καμπύλες Αναφοράς από το Προσανατολισμένο Δορυφορικό Στερεοζεύγος

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν οι 32 οριογραμμές και οι 16 άξονες των 16 γραμμικών οντοτήτων που αποδόθηκαν στο επικαλυπτόμενο τμήμα των αεροφωτογραφιών 45-064 και 45-065 (σε σύστημα μοντέλου), και οι αντίστοιχες οριογραμμές και άξονες που εξάχθηκαν από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος (σε σύστημα ΕΓΣΑ 87). Για το σύνολο των γραμμικών στοιχείων πραγματοποιήθηκε σε πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης (AutoCad) χονδρική συσχέτιση (prealignment), προκειμένου να εκτιμηθεί μια πρώτη προσέγγιση της σχετικής τους θέσης.

Εξετάστηκαν οι ακόλουθες έξι περιπτώσεις υπολογισμού του απόλυτου προσανατολισμού του μοντέλου, βάσει ταύτισης:

5. μόνο των αριστερών οριογραμμών όλων των γραμμικών στοιχείων,
6. μόνο των δεξιών οριογραμμών όλων των γραμμικών στοιχείων,
7. των αριστερών και των δεξιών οριογραμμών όλων των γραμμικών στοιχείων,
8. των αριστερών και των δεξιών οριογραμμών μόνο της γραμμικής οντότητας 01, η οποία είναι και η μεγαλύτερη σε μήκος,
9. των αξόνων όλων των γραμμικών στοιχείων, και τέλος
10. των αξόνων μόνο της γραμμικής οντότητας 01.

Στις επόμενες υποπαραγράφους παρουσιάζονται, αρχικά η διαδικασία και τα αποτελέσματα της ταύτισης των οριογραμμών και των αξόνων των γραμμικών στοιχείων, αντίστοιχα, και στη συνέχεια η διαδικασία προσανατολισμού του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945 για καθεμία από τις έξι προαναφερθείσες περιπτώσεις.

8.2.1 Ταύτιση των οριογραμμών των γραμμικών στοιχείων

Η ταύτιση των οριογραμμών πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για κάθε ζεύγος αντίστοιχων οριογραμμών κάθε γραμμικής οντότητας, και υπολογίστηκε ο μεταξύ τους τρισεδιάστατος μετασχηματισμός ομοιότητας και ζεύγη ομόλογων σημείων. Υπολογίστηκαν, δηλαδή, σημεία κοινά ανάμεσα στις αντίστοιχες οριογραμμές, οι οποίες αποτελούνταν από διαφορετικούς κόμβους σε πλήθος και θέση, καθώς είχαν αποδοθεί με διαφορετικό τρόπο.

Για τρία ζεύγη οριογραμμών (06_RIGHT, 13_LEFT, 13_RIGHT) δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί η ταύτιση, λόγω μη ικανοποιητικής πρώτης προσέγγισης για τη σύγκλιση του αλγορίθμου ICP. Για τέσσερα ακόμα ζεύγη οριογραμμών (04_LEFT, 04_RIGHT, 16_LEFT, 16_RIGHT) διαπιστώθηκε μεγάλη υψομετρική διαφορά των οριογραμμών, και παρ' όλο που η ταύτιση πραγματοποιήθηκε κανονικά, οι οριογραμμές αυτές θεωρήθηκαν αναξιόπιστες και δε χρησιμοποιήθηκαν τελικά. Έτσι, τα επτά, από τα 32 συνολικά, ζεύγη

οριογραμμών που είχαν αποδοθεί, εξαιρέθηκαν από τη συνέχεια της εφαρμογής, στην οποία τελικά συμμετείχαν τα υπόλοιπα 25 ζεύγη οριογραμμών.

Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζονται για κάθε ζεύγος οριογραμμών:

- ✓ το όνομά του (ως LEFT χαρακτηρίζεται το ζεύγος των αριστερών και ως RIGHT το ζεύγος των δεξιών οριογραμμών κάθε γραμμικής οντότητας),
 - ✓ το είδος των οριογραμμών του, αν δηλαδή πρόκειται για οριογραμμές οδού ή ρέματος,
 - ✓ το πραγματικό μήκος της οριογραμμής αναφοράς, που στην προκειμένη περίπτωση είναι εκείνη που αποδόθηκε στο προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος, σε m, όπως υπολογίστηκε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD,
- και τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά τη σύγκλιση της ταύτισης, τα οποία περιλαμβάνουν:
- ✓ το οριζοντιογραφικό τετραγωνικό σφάλμα της ταύτισης, RMSxy, σε m,
 - ✓ το υψομετρικό τετραγωνικό σφάλμα της ταύτισης, RMSz, σε m, και τέλος
 - ✓ τον αριθμό των υπολογισμένων ζευγών ομόλογων σημείων.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΣ					
ΟΝΟΜΑ ΖΕΥΓΟΥΣ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΩΝ	ΕΙΔΟΣ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΩΝ	Μήκος (m)	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΥΤΙΣΗΣ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΩΝ		
			RMSxy (m)	RMSz (m)	Υπολογισμένα Ζεύγη Ομόλογων Σημείων (τεμ.)
01 LEFT	Οριογραμμές οδού	7397.57	3.59	3.50	348
02 LEFT	Οριογραμμές οδού	2023.70	6.41	6.82	109
03 LEFT	Οριογραμμές ρέματος	1304.34	6.42	6.10	87
04 LEFT	Οριογραμμές οδού	-	Αναξιόπιστη. Μεγάλη διαφορά στα Z.		
05 LEFT	Οριογραμμές ρέματος	443.76	3.19	2.48	41
06 LEFT	Οριογραμμές οδού	1000.05	3.85	4.34	83
07 LEFT	Οριογραμμές οδού	1730.79	4.57	3.19	218
08 LEFT	Οριογραμμές οδού	752.00	7.19	5.20	47
09 LEFT	Οριογραμμές οδού	1162.60	4.88	3.92	95
10 LEFT	Οριογραμμές οδού	878.70	5.16	2.50	90
11 LEFT	Οριογραμμές οδού	2065.18	4.78	2.80	87
12 LEFT	Οριογραμμές οδού	1416.87	6.80	3.18	56
13 LEFT	Οριογραμμές οδού	-	Μη ικανοποιητική πρώτη προσέγγιση για ICP.		
14 LEFT	Οριογραμμές οδού	2738.68	4.89	2.92	214
15 LEFT	Οριογραμμές ρέματος	1763.54	4.52	4.40	162
16 LEFT	Οριογραμμές οδού	-	Αναξιόπιστη. Μεγάλη διαφορά στα Z.		
01 RIGHT	Οριογραμμές οδού	7394.42	3.82	3.49	284
02 RIGHT	Οριογραμμές οδού	1989.55	6.21	6.75	101
03 RIGHT	Οριογραμμές ρέματος	1290.27	6.98	5.75	87
04 RIGHT	Οριογραμμές οδού	-	Αναξιόπιστη. Μεγάλη διαφορά στα Z.		
05 RIGHT	Οριογραμμές ρέματος	432.33	3.52	2.42	34
06 RIGHT	Οριογραμμές οδού	-	Μη ικανοποιητική πρώτη προσέγγιση για ICP.		
07 RIGHT	Οριογραμμές οδού	1732.66	5.25	3.38	170
08 RIGHT	Οριογραμμές οδού	757.81	6.54	4.67	64
09 RIGHT	Οριογραμμές οδού	1179.64	5.00	3.78	95
10 RIGHT	Οριογραμμές οδού	886.42	4.09	2.46	71
11 RIGHT	Οριογραμμές οδού	2100.08	4.73	4.20	84
12 RIGHT	Οριογραμμές οδού	1382.16	6.04	2.95	62
13 RIGHT	Οριογραμμές οδού	-	Μη ικανοποιητική πρώτη προσέγγιση για ICP.		

14 RIGHT	Οριογραμμές οδού	2789.40	5.45	3.38	230
15 RIGHT	Οριογραμμές ρέματος	1732.44	4.46	3.48	177
16 RIGHT	Οριογραμμές οδού	-	Αναξιόπιστη. Μεγάλη διαφορά στα Z.		
		RMSxy(min): 3.19 m		RMSz(min): 2.42 m	
		RMSxy(max): 7.19 m		RMSz(max): 6.82 m	

Πίνακας 8.1: Τα αποτελέσματα της ταύτισης για κάθε ζεύγος αντίστοιχων οριογραμμών κάθε γραμμικού στοιχείου.

Στο Παράρτημα παρατίθενται τα σχέδια ταύτισης των οριογραμμών.

Συνολικά υπολογίστηκαν 3.096 ζεύγη ομόλογων σημείων, τα οποία και χρησιμοποιούνται στη συνέχεια, όλα ή υποσύνολά τους, για τον υπολογισμό του απόλυτου προσανατολισμού του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945.

8.2.2 Ταύτιση των αξόνων των γραμμικών στοιχείων

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, η ταύτιση των αξόνων πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για το ζεύγος αξόνων κάθε γραμμικής οντότητας, και υπολογίστηκε ο μεταξύ τους τρισδιάστατος μετασχηματισμός ομοιότητας, όπως επίσης και ζεύγη ομόλογων σημείων.

Για ένα ζεύγος αξόνων (13_DORYF) δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί η ταύτιση, λόγω μη ικανοποιητικής πρώτης προσέγγισης για τη σύγκλιση του αλγορίθμου ICP. Για δύο ακόμη ζεύγη αξόνων (04_DORYF, 16_DORYF) διαπιστώθηκε μεγάλη υψομετρική διαφορά ανάμεσα στους άξονες, και παρ' όλο που η ταύτιση πραγματοποιήθηκε κανονικά, οι άξονες αυτοί θεωρήθηκαν αναξιόπιστοι και δε χρησιμοποιήθηκαν τελικά. Έτσι, τα τρία, από τα 16 συνολικά διατιθέμενα, ζεύγη αξόνων εξαιρέθηκαν από τη συνέχεια της εφαρμογής, στην οποία τελικά συμμετείχαν τα υπόλοιπα 13 ζεύγη αξόνων.

Στον Πίνακα 8.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται για κάθε ζεύγος αξόνων:

- ✓ το όνομά του, που αποτελείται από τον κωδικό του αριθμό και τη λέξη «DORYF», η οποία δηλώνει ότι ο άξονας αναφοράς σε αυτή την περίπτωση είναι εκείνος του προσανατολισμένου δορυφορικού στερεοζεύγους,
- ✓ το είδος των αξόνων του, αν δηλαδή πρόκειται για άξονες οδού ή ρέματος,
- ✓ το πραγματικό μήκος του άξονα αναφοράς σε m, όπως υπολογίστηκε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD,

και τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά τη σύγκλιση της ταύτισης, τα οποία περιλαμβάνουν:

- ✓ το οριζοντιογραφικό τετραγωνικό σφάλμα της ταύτισης, RMSxy, σε m,
- ✓ το υψομετρικό τετραγωνικό σφάλμα της ταύτισης, RMSz, σε m, και τέλος
- ✓ τον αριθμό των υπολογισμένων ζευγών ομόλογων σημείων.

Τόσο στην περίπτωση ταύτισης των αξόνων των γραμμικών στοιχείων, όσο και στην περίπτωση ταύτισης των αντίστοιχων οριογραμμών τους, τα RMSxy και RMSz εκφράζουν το πόσο διαφέρουν μεταξύ τους οι συντεταγμένες των υπολογισμένων ομόλογων σημείων. Στη θεωρητική περίπτωση που ο άξονας ή η οριογραμμή αναφοράς, που προέρχεται από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος, και ο άξονας ή η οριογραμμή από το μοντέλο των αεροφωτογραφιών, είχαν προκύψει με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, δηλαδή αποτελούνταν από τους ίδιους κόμβους σε πλήθος και θέση, τα RMSxy και RMSz θα ήταν μηδενικά. Συνεπώς, αποτελούν ένα πρώτο κριτήριο αξιολόγησης της διαδικασίας της ταύτισης.

Περαιτέρω αξιολόγηση της διαδικασίας γίνεται σε επόμενη υποπαράγραφο με χρήση ανεξάρτητων σημείων ελέγχου.

Στο Παράρτημα παρατίθενται τα σχέδια ταύτισης των αξόνων.

Συνολικά υπολογίστηκαν 4.468 ζεύγη ομόλογων σημείων, τα οποία και χρησιμοποιούνται στην συνέχεια, όλα ή υποσύνολο τους, για τον υπολογισμό του απόλυτου προσανατολισμού του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΣ					
ΟΝΟΜΑ ΖΕΥΓΟΥΣ ΑΞΟΝΩΝ	ΕΙΔΟΣ ΑΞΟΝΩΝ	Μήκος (m)	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΥΤΙΣΗΣ ΑΞΟΝΩΝ		
			RMSxy (m)	RMSz (m)	Υπολογισμένα Ζεύγη Ομόλογων Σημείων (τεμ.)
01_DORYF	Άξονες οδού	7377.89	2.88	2.88	998
02_DORYF	Άξονες οδού	2024.48	5.77	5.50	383
03_DORYF	Άξονες ρέματος	1290.47	6.01	5.23	261
04_DORYF	Άξονες οδού	-	Αναξιόπιστη. Μεγάλη διαφορά στα Z.		
05_DORYF	Άξονες ρέματος	435.01	2.64	1.54	96
06_DORYF	Άξονες οδού	966.48	3.37	3.85	185
07_DORYF	Άξονες οδού	1715.84	4.19	2.45	445
08_DORYF	Άξονες οδού	756.47	5.83	3.18	176
09_DORYF	Άξονες οδού	1165.73	4.12	3.22	230
10_DORYF	Άξονες οδού	879.06	4.37	2.13	174
11_DORYF	Άξονες οδού	2067.03	3.80	2.68	297
12_DORYF	Άξονες οδού	1393.23	5.43	2.43	204
13_DORYF	Άξονες οδού	-	Μη ικανοποιητική πρώτη προσέγγιση για ICP.		
14_DORYF	Άξονες οδού	2751.18	4.52	2.75	573
15_DORYF	Άξονες ρέματος	1732.59	3.67	3.63	446
16_DORYF	Άξονες οδού	-	Αναξιόπιστη. Μεγάλη διαφορά στα Z.		
			RMSxy(min): 2.64 m	RMSz(min): 1.54 m	
			RMSxy(max): 6.01 m	RMSz(max): 5.50 m	

Πίνακας 8.2: Τα αποτελέσματα της ταύτισης για το ζεύγος αξόνων κάθε γραμμικού στοιχείου, με άξονες αναφοράς εκείνους του προσανατολισμένου δορυφορικού στερεοζεύγους.

8.2.3 Γεωαναφορά μοντέλου αεροφωτογραφιών του 1945

Η γεωαναφορά του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945, δηλαδή ο προσδιορισμός των παραμέτρων του απόλυτου προσανατολισμού του, πραγματοποιήθηκε βάσει των ζευγών ομόλογων σημείων που υπολογίστηκαν κατά τη διαδικασία της ταύτισης. Πιο συγκεκριμένα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, κατά την ξεχωριστή ταύτιση κάθε ζεύγους οριογραμμών ή αξόνων κάθε γραμμικού στοιχείου, εκτός από ζεύγη ομόλογων σημείων, υπολογίστηκαν οι επτά παράμετροι του μεταξύ τους τρισδιάστατου μετασχηματισμού ομοιότητας. Το γεγονός ότι έχει προηγηθεί prealignment, έχει ως αποτέλεσμα οι συντεταγμένες μοντέλου των σημείων της καμπύλης (οριογραμμής ή άξονα) των αεροφωτογραφιών του 1945 να έχουν διαφοροποιηθεί από εκείνες που προέκυψαν από το SSK. Εφαρμόζοντας καθένα από τους συνολικά 32 ή 16 (ανάλογα με το αν ταυτίστηκαν οριογραμμές ή άξονες) διαφορετικούς μετασχηματισμούς που υπολογίστηκαν, και με στοιχεία εισόδου τις αυθεντικές συντεταγμένες μοντέλου των σημείων κάθε καμπύλης των αεροφωτογραφιών του 1945, οι

νέες συντεταγμένες που προκύπτουν δεν είναι οι ζητούμενες τελικές στο γεωδαιτικό σύστημα, αλλά προσεγγιστικές. Για να προκύψουν οι τελικές τους συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ 87, χρειάστηκε να υπολογιστούν οι επτά παράμετροι ενός ακόμη κοινού αυτή τη φορά τρισδιάστατου μετασχηματισμού ομοιότητας για όλα τα ζεύγη καμπυλών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των ζευγών ομόλογων σημείων που υπολογίστηκαν κατά τις ξεχωριστές ταύτισεις των 16 αξόνων ή των 32 οριογραμμών των γραμμικών στοιχείων. Προσθέτοντας τις τιμές των επτά παραμέτρων του τελευταίου μετασχηματισμού, στις αντίστοιχες μέσες τιμές τους που προέκυψαν από τους πολλούς διαφορετικούς μετασχηματισμούς, προκύπτουν τελικά οι επτά παράμετροι του απόλυτου προσανατολισμού του στερεομοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945. Οι παράμετροι αυτές αναγράφονται στον Πίνακα 8.3 όπως υπολογίστηκαν σε κάθε περίπτωση.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΣ								
ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΜΕ ΤΑΥΤΙΣΗ ΤΩΝ:		ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΛΥΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ						
		X₀ (m)	Y₀ (m)	Z₀ (m)	ω (°)	φ (°)	κ (°)	s (scale)
1.	Αριστερών οριογραμμών	451351.86	4470412.74	6761.41	0.2416	-0.6465	0.9789	39934
2.	Δεξιών οριογραμμών	451353.67	4470412.99	6760.43	0.2332	-0.6050	0.9433	39929
3.	Αριστερών και Δεξιών οριογραμμών	451352.77	4470412.85	6760.90	0.2377	-0.6257	0.9604	39932
4.	Αριστερών και Δεξιών οριογραμμών μόνο της γραμμικής οντότητας 01	451350.88	4470411.84	6754.56	0.0941	-0.2029	0.9361	39927
5.	Αξόνων	451352.79	4470413.00	6761.11	0.2322	-0.6170	0.9657	39932
6.	Αξόνων μόνο της γραμμικής οντότητας 01	451350.57	4470408.85	6760.05	0.0920	-0.2064	0.9441	39960
ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ		451358.62	4470390.22	6718.05	-0.0093	0.0157	-0.8700	-

Πίνακας 8.3: Οι υπολογισμένες επτά παράμετροι του απόλυτου προσανατολισμού του στερεομοντέλου για κάθε περίπτωση.

Στην τελευταία σειρά του παραπάνω πίνακα, ως παράμετροι του απόλυτου προσανατολισμού του στερεομοντέλου των αεροφωτογραφιών 45-064 και 45-065, που προέκυψαν με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού, λήφθηκαν τα στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού που υπολογίστηκαν για την αεροφωτογραφία με κωδικό 45-064.

8.2.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων με χρήση ανεξάρτητων σημείων ελέγχου

Προκειμένου να ελεγχθεί η ακρίβεια με την οποία υπολογίζονται, μέσω του μετασχηματισμού που προσδιορίστηκε σε καθεμία από τις παραπάνω περιπτώσεις, οι επίγειες συντεταγμένες των σημείων του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945, και κατ' επέκταση για τον έλεγχο της ακρίβειας γεωαναφοράς του, χρησιμοποιήθηκαν σημεία ελέγχου (Check Points), των οποίων οι συντεταγμένες εδάφους προέκυψαν από τα τοπογραφικά διαγράμματα της Γ.Υ.Σ. Τα σημεία αυτά ήταν ίδια με τα σημεία ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διαδικασία γεωαναφοράς των αεροφωτογραφιών του 1945 με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού, έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση ανάμεσα στις ακρίβειες που επιτυγχάνονται με τις δύο μεθόδους. Με βάση καθένα από τους έξι διαφορετικούς μετασχηματισμούς που προσδιορίστηκαν και με στοιχεία εισόδου τις συντεταγμένες μοντέλου αεροφωτογραφιών των Check Points, υπολογίστηκαν οι επίγειες συντεταγμένες τους σε σύστημα ΕΓΣΑ 87.

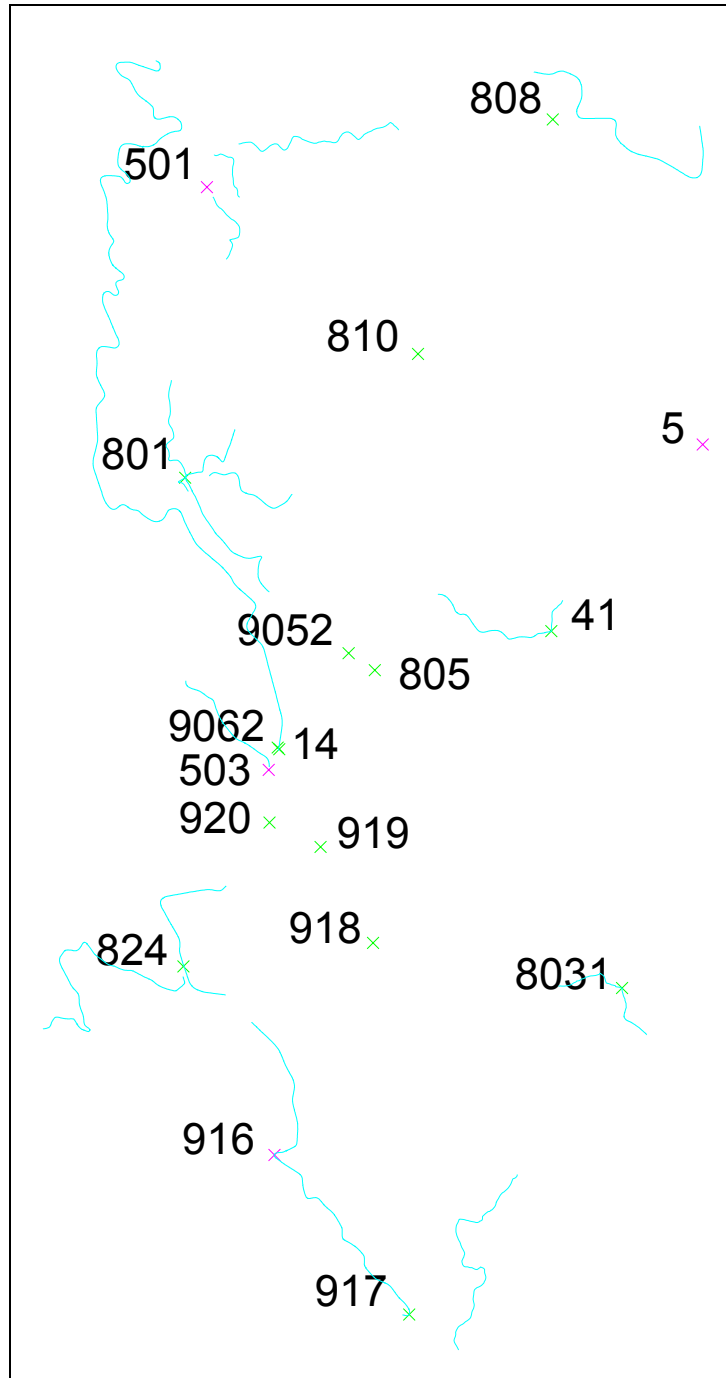
Έτσι, για κάθε περίπτωση προσανατολισμού προέκυψε ένας πίνακας, στον οποίο παρουσιάζονται για κάθε σημείο ελέγχου:

- ✓ ο κωδικός του αριθμός,
- ✓ οι επίγειες συντεταγμένες του (X_{gys} , Y_{gys} , Z_{gys}) σε m, όπως προέκυψαν από τα τοπογραφικά διαγράμματα της Γ.Υ.Σ.,
- ✓ οι υπολογισμένες από το μετασχηματισμό επίγειες συντεταγμένες του (computed X, computed Y, computed Z) σε m,
- ✓ οι διαφορές (DX , DY , DZ) σε m, των υπολογισμένων επίγειων συντεταγμένων του από τις αντίστοιχες επίγειες συντεταγμένες του της Γ.Υ.Σ., και τέλος
- ✓ η οριζοντιογραφική απόκλιση D_{XY} , σε m.

Επιπλέον, σε κάθε πίνακα αναγράφονται σε m για τα σημεία ελέγχου στο σύνολό τους:

- ✓ το μέσο τετραγωνικό σφάλμα προσδιορισμού καθεμιάς από τις συντεταγμένες X, Y, Z, δηλαδή τα RMS_x , RMS_y , RMS_z ,
- ✓ το οριζοντιογραφικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα προσδιορισμού τους, RMS_{xy} , και
- ✓ το υψομετρικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα προσδιορισμού τους, που είναι ίσο με το μέσο τετραγωνικό σφάλμα προσδιορισμού της συντεταγμένης Z (RMS_z).

Τέλος, για να διευκολυνθεί η σύγκριση των επιτυγχανόμενων ακριβειών, σε κάθε πίνακα αναγράφονται επίσης σε m, τα αντίστοιχα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού των συντεταγμένων X, Y, Z (RMS_x , RMS_y , RMS_z) και το αντίστοιχο οριζοντιογραφικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS_{xy}) και υψομετρικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS_z), που προέκυψαν κατά τη διαδικασία γεωαναφοράς του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945 με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού.



Εικόνα 8.7: Η κατανομή των αποδοθέντων γραμμικών στοιχείων, στο επικαλυπτόμενο τμήμα των αεροφωτογραφιών 45-064 και 45-065, και των ανεξάρτητων σημείων ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της ακρίβειας γεωαναφοράς που επιτεύχθηκε με τη χρήση τους.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΣ										
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1: ΤΑΥΤΙΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΩΝ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ										
#Point	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ			ΣΥΝ/ΝΕΣ ΒΑΣΕΙ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			ΔΙΑΦΟΡΕΣ			
	Xgys (m)	Ygys (m)	Zgys (m)	computed X (m)	computed Y (m)	computed Z (m)	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	D _{XY} (m)
501	451895.00	4473951.45	559.73	451908.70	4473973.10	557.07	-13.70	-21.65	2.66	25.62
808	454273.45	4474417.76	631.48	454265.70	4474413.24	631.26	7.75	4.52	0.22	8.97
801	451744.40	4471951.62	688.00	451742.21	4471954.75	691.67	2.19	-3.13	-3.67	3.81
5	455305.09	4472180.10	854.11	455295.00	4472188.34	858.67	10.09	-8.24	-4.56	13.03
805	453048.81	4470627.50	676.00	453037.40	4470626.50	677.46	11.41	1.00	-1.46	11.45
9052	452869.25	4470744.06	752.30	452868.16	4470747.14	752.35	1.09	-3.08	-0.05	3.27
503	452320.00	4469940.27	541.48	452313.59	4469942.51	542.75	6.41	-2.24	-1.27	6.79
9062	452380.93	4470094.52	544.65	452376.63	4470096.43	550.57	4.30	-1.91	-5.92	4.71
824	451733.10	4468587.81	452.83	451724.20	4468587.02	455.27	8.90	0.79	-2.44	8.94
8031	454749.46	4468438.59	688.00	454744.51	4468444.21	695.36	4.95	-5.62	-7.36	7.49
810	453346.22	4472803.00	568.00	453342.68	4472798.78	573.80	3.54	4.22	-5.80	5.51
14	452391.94	4470082.58	544.65	452384.34	4470081.91	547.75	7.60	0.67	-3.10	7.63
41	454262.70	4470895.37	859.14	454255.19	4470894.90	866.67	7.51	0.48	-7.53	7.53
916	452358.52	4467289.67	483.75	452349.61	4467280.40	484.88	8.91	9.27	-1.13	12.86
917	453285.28	4466191.59	386.93	453282.01	4466184.06	391.12	3.28	7.53	-4.19	8.21
918	453037.68	4468750.01	525.30	453030.43	4468732.38	528.18	7.25	17.63	-2.88	19.06
919	452675.85	4469410.35	530.87	452665.67	4469402.03	530.27	10.18	8.32	0.60	13.15
920	452325.50	4469578.22	528.00	452320.10	4469580.50	536.21	5.40	-2.28	-8.21	5.87
				ΑΡΙΣΤΕΡΕΣ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΕΣ RMS (m)			7.64	8.04	4.31	11.09
				ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ RMS (m)			5.86	15.89	16.88	16.94

Πίνακας 8.4: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης μόνο των αριστερών οριογραμμών του συνόλου των γραμμικών στοιχείων.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2: ΤΑΥΤΙΣΗ ΔΕΞΙΩΝ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ										
#Point	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ			ΣΥΝ/ΝΕΣ ΒΑΣΕΙ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			ΔΙΑΦΟΡΕΣ			
	Xgys (m)	Ygys (m)	Zgys (m)	computed X (m)	computed Y (m)	computed Z (m)	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	D _{XY} (m)
501	451895.00	4473951.45	559.73	451908.28	4473973.26	557.81	-13.28	-21.81	1.92	25.54
808	454273.45	4474417.76	631.48	454264.66	4474414.81	633.75	8.79	2.95	-2.27	9.27
801	451744.40	4471951.62	688.00	451742.98	4471955.04	691.96	1.42	-3.42	-3.96	3.70
5	455305.09	4472180.10	854.11	455295.06	4472190.80	861.53	10.03	-10.70	-7.42	14.67
805	453048.81	4470627.50	676.00	453038.85	4470627.76	678.48	9.96	-0.26	-2.48	9.97
9052	452869.25	4470744.06	752.30	452869.49	4470748.28	753.26	-0.24	-4.22	-0.96	4.23
503	452320.00	4469940.27	541.48	452315.65	4469943.43	543.16	4.35	-3.16	-1.68	5.37
9062	452380.93	4470094.52	544.65	452378.58	4470097.37	551.05	2.35	-2.85	-6.40	3.69
824	451733.10	4468587.81	452.83	451727.24	4468587.76	455.06	5.86	0.05	-2.23	5.86
8031	454749.46	4468438.59	688.00	454747.09	4468446.82	697.28	2.37	-8.23	-9.28	8.56
810	453346.22	4472803.00	568.00	453342.80	4472799.99	575.39	3.42	3.01	-7.39	4.56
14	452391.94	4470082.58	544.65	452386.30	4470082.86	548.23	5.64	-0.28	-3.58	5.65
41	454262.70	4470895.37	859.14	454256.18	4470896.86	868.59	6.53	-1.49	-9.45	6.69
916	452358.52	4467289.67	483.75	452353.37	4467281.68	484.91	5.15	7.99	-1.16	9.51
917	453285.28	4466191.59	386.93	453286.40	4466186.07	391.67	-1.12	5.52	-4.74	5.63
918	453037.68	4468750.01	525.30	453033.17	4468733.90	528.92	4.51	16.11	-3.62	16.73
919	452675.85	4469410.35	530.87	452668.03	4469403.24	530.85	7.82	7.11	0.02	10.57
920	452325.50	4469578.22	528.00	452322.39	4469581.47	536.57	3.11	-3.25	-8.57	4.50
				ΔΕΞΙΕΣ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΕΣ RMS (m)			6.35	7.96	5.21	10.18
				ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ RMS (m)			5.86	15.89	16.88	16.94

Πίνακας 8.5: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης μόνο των δεξιών οριογραμμών του συνόλου των γραμμικών στοιχείων.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3: ΤΑΥΤΙΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΩΝ ΚΑΙ ΔΕΞΙΩΝ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ											
#Point	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ			ΣΥΝ/ΝΕΣ ΒΑΣΕΙ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			ΔΙΑΦΟΡΕΣ				
	Xgys (m)	Ygys (m)	Zgys (m)	computed X (m)	computed Y (m)	computed Z (m)	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	D _{XY} (m)	
501	451895.00	4473951.45	559.73	451908.45	4473973.17	557.42	-13.45	-21.72	2.31	25.54	
808	454273.45	4474417.76	631.48	454265.13	4474414.04	632.48	8.32	3.72	-1.00	9.11	
801	451744.40	4471951.62	688.00	451742.58	4471954.88	691.80	1.82	-3.26	-3.80	3.73	
5	455305.09	4472180.10	854.11	455295.00	4472189.61	860.09	10.09	-9.51	-5.98	13.86	
805	453048.81	4470627.50	676.00	453038.12	4470627.14	677.97	10.69	0.36	-1.97	10.69	
9052	452869.25	4470744.06	752.30	452868.82	4470747.72	752.80	0.43	-3.66	-0.50	3.68	
503	452320.00	4469940.27	541.48	452314.63	4469942.97	542.95	5.37	-2.70	-1.47	6.01	
9062	452380.93	4470094.52	544.65	452377.61	4470096.90	550.81	3.32	-2.38	-6.16	4.09	
824	451733.10	4468587.81	452.83	451725.74	4468587.38	455.17	7.36	0.43	-2.34	7.37	
8031	454749.46	4468438.59	688.00	454745.82	4468445.55	696.33	3.64	-6.96	-8.33	7.85	
810	453346.22	4472803.00	568.00	453342.71	4472799.39	574.58	3.51	3.61	-6.58	5.03	
14	452391.94	4470082.58	544.65	452385.32	4470082.38	547.99	6.62	0.20	-3.34	6.62	
41	454262.70	4470895.37	859.14	454255.67	4470895.90	867.62	7.03	-0.53	-8.48	7.05	
916	452358.52	4467289.67	483.75	452351.53	4467281.04	484.90	6.99	8.63	-1.15	11.11	
917	453285.28	4466191.59	386.93	453284.26	4466185.08	391.41	1.02	6.51	-4.48	6.59	
918	453037.68	4468750.01	525.30	453031.82	4468733.15	528.55	5.86	16.86	-3.25	17.85	
919	452675.85	4469410.35	530.87	452666.87	4469402.64	530.56	8.98	7.71	0.31	11.84	
920	452325.50	4469578.22	528.00	452321.25	4469580.99	536.39	4.25	-2.77	-8.39	5.07	
				ΑΡΙΣΤΕΡΕΣ ΚΑΙ ΔΕΞΙΕΣ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΕΣ			RMS (m)	6.93	7.97	4.74	10.56
				ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ			RMS (m)	5.86	15.89	16.88	16.94

Πίνακας 8.6: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης των αριστερών και των δεξιών οριογραμμών του συνόλου των γραμμικών στοιχείων.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 4: ΤΑΥΤΙΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΩΝ ΚΑΙ ΔΕΞΙΩΝ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΩΝ ΜΟΝΟ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΟΝΤΟΤΗΤΑΣ 01 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ											
#Point	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ			ΣΥΝ/ΝΕΣ ΒΑΣΕΙ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			ΔΙΑΦΟΡΕΣ				
	Xgys (m)	Ygys (m)	Zgys (m)	computed X (m)	computed Y (m)	computed Z (m)	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	D _{XY} (m)	
501	451895.00	4473951.45	559.73	451905.56	4473972.20	564.83	-10.55	-20.75	-5.10	23.28	
808	454273.45	4474417.76	631.48	454261.15	4474413.86	658.37	12.30	3.90	-26.89	12.91	
801	451744.40	4471951.62	688.00	451739.64	4471953.75	692.91	4.76	-2.13	-4.90	5.22	
5	455305.09	4472180.10	854.11	455290.20	4472189.57	887.97	14.89	-9.47	-33.86	17.64	
805	453048.81	4470627.50	676.00	453035.70	4470626.76	685.30	13.11	0.74	-9.30	13.13	
9052	452869.25	4470744.06	752.30	452865.82	4470747.07	759.17	3.43	-3.01	-6.87	4.56	
503	452320.00	4469940.27	541.48	452313.62	4469942.70	543.25	6.38	-2.43	-1.77	6.83	
9062	452380.93	4470094.52	544.65	452376.46	4470096.62	551.96	4.47	-2.10	-7.31	4.94	
824	451733.10	4468587.81	452.83	451726.08	4468587.24	447.74	7.02	0.57	5.09	7.05	
8031	454749.46	4468438.59	688.00	454744.01	4468446.13	710.79	5.45	-7.54	-22.79	9.31	
810	453346.22	4472803.00	568.00	453340.02	4472799.15	589.62	6.20	3.85	-21.62	7.30	
14	452391.94	4470082.58	544.65	452384.20	4470082.12	549.16	7.74	0.46	-4.51	7.75	
41	454262.70	4470895.37	859.14	454251.55	4470895.55	884.59	11.15	-0.18	-25.45	11.15	
916	452358.52	4467289.67	483.75	452352.15	4467281.25	478.81	6.37	8.42	4.94	10.56	
917	453285.28	4466191.59	386.93	453285.93	4466186.07	389.46	-0.65	5.52	-2.53	5.56	
918	453037.68	4468750.01	525.30	453031.36	4468733.37	531.12	6.32	16.64	-5.82	17.80	
919	452675.85	4469410.35	530.87	452666.14	4469402.62	532.11	9.71	7.73	-1.24	12.41	
920	452325.50	4469578.22	528.00	452320.45	4469580.78	535.83	5.05	-2.56	-7.83	5.66	
				ΑΡΙΣΤΕΡΕΣ ΚΑΙ ΔΕΞΙΕΣ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΕΣ 01			RMS (m)	8.35	7.73	14.75	11.38
				ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ			RMS (m)	5.86	15.89	16.88	16.94

Πίνακας 8.7: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης των αριστερών και των δεξιών οριογραμμών μόνο της γραμμικής οντότητας 01.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 5: ΤΑΥΤΙΣΗ ΑΞΟΝΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ										
#Point	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ			ΣΥΝ/ΝΕΣ ΒΑΣΕΙ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			ΔΙΑΦΟΡΕΣ			
	Xgys (m)	Ygys (m)	Zgys (m)	computed X (m)	computed Y (m)	computed Z (m)	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	D _{XY} (m)
501	451895.00	4473951.45	559.73	451908.82	4473973.34	557.94	-13.82	-21.89	1.79	25.89
808	454273.45	4474417.76	631.48	454265.58	4474414.00	633.41	7.88	3.76	-1.93	8.73
801	451744.40	4471951.62	688.00	451742.74	4471955.02	692.11	1.66	-3.40	-4.11	3.78
5	455305.09	4472180.10	854.11	455295.23	4472189.40	860.97	9.87	-9.30	-6.86	13.56
805	453048.81	4470627.50	676.00	453038.19	4470627.14	678.35	10.62	0.36	-2.35	10.63
9052	452869.25	4470744.06	752.30	452868.88	4470747.73	753.16	0.37	-3.67	-0.86	3.69
503	452320.00	4469940.27	541.48	452314.64	4469943.03	543.15	5.36	-2.76	-1.67	6.03
9062	452380.93	4470094.52	544.65	452377.63	4470096.96	551.03	3.30	-2.44	-6.38	4.10
824	451733.10	4468587.81	452.83	451725.63	4468587.49	455.15	7.47	0.32	-2.32	7.48
8031	454749.46	4468438.59	688.00	454745.71	4468445.35	696.76	3.75	-6.76	-8.76	7.73
810	453346.22	4472803.00	568.00	453343.00	4472799.41	575.21	3.22	3.59	-7.21	4.82
14	452391.94	4470082.58	544.65	452385.35	4470082.45	548.21	6.59	0.13	-3.56	6.59
41	454262.70	4470895.37	859.14	454255.76	4470895.77	868.22	6.94	-0.40	-9.08	6.96
916	452358.52	4467289.67	483.75	452351.30	4467281.06	484.85	7.22	8.61	-1.10	11.23
917	453285.28	4466191.59	386.93	453283.96	4466185.01	391.39	1.32	6.58	-4.46	6.71
918	453037.68	4468750.01	525.30	453031.74	4468733.13	528.75	5.94	16.88	-3.45	17.90
919	452675.85	4469410.35	530.87	452666.83	4469402.67	530.76	9.02	7.68	0.11	11.85
920	452325.50	4469578.22	528.00	452321.23	4469581.05	536.56	4.27	-2.83	-8.56	5.12
				ΑΞΟΝΕΣ DORYF RMS (m)			6.94	7.98	5.03	10.58
				ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ RMS (m)			5.86	15.89	16.88	16.94

Πίνακας 8.8: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης των αξόνων του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, με άξονες αναφοράς εκείνους του προσανατολισμένου δορυφορικού στερεοζεύγους.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 6: ΤΑΥΤΙΣΗ ΑΞΟΝΩΝ ΜΟΝΟ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΟΝΤΟΤΗΤΑΣ 01 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ										
#Point	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ			ΣΥΝ/ΝΕΣ ΒΑΣΕΙ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			ΔΙΑΦΟΡΕΣ			
	Xgys (m)	Ygys (m)	Zgys (m)	computed X (m)	computed Y (m)	computed Z (m)	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	D _{XY} (m)
501	451895.00	4473951.45	559.73	451906.19	4473972.04	565.38	-11.19	-20.59	-5.65	23.44
808	454273.45	4474417.76	631.48	454263.77	4474413.73	658.88	9.68	4.03	-27.40	10.49
801	451744.40	4471951.62	688.00	451739.87	4471951.96	693.50	4.54	-0.34	-5.50	4.55
5	455305.09	4472180.10	854.11	455293.36	4472187.47	888.51	11.73	-7.37	-34.40	13.85
805	453048.81	4470627.50	676.00	453036.80	4470623.72	685.76	12.01	3.78	-9.76	12.59
9052	452869.25	4470744.06	752.30	452866.80	4470744.14	759.71	2.45	-0.08	-7.41	2.46
503	452320.00	4469940.27	541.48	452314.02	4469939.20	543.61	5.98	1.07	-2.13	6.07
9062	452380.93	4470094.52	544.65	452376.94	4470093.24	552.33	3.99	1.28	-7.68	4.19
824	451733.10	4468587.81	452.83	451725.81	4468582.73	448.01	7.29	5.08	4.82	8.89
8031	454749.46	4468438.59	688.00	454746.19	4468441.07	711.08	3.27	-2.48	-23.08	4.11
810	453346.22	4472803.00	568.00	453341.66	4472797.83	590.07	4.56	5.17	-22.07	6.89
14	452391.94	4470082.58	544.65	452384.68	4470078.72	549.53	7.26	3.86	-4.88	8.22
41	454262.70	4470895.37	859.14	454253.69	4470892.55	885.14	9.01	2.83	-26.00	9.44
916	452358.52	4467289.67	483.75	452352.21	4467275.59	479.02	6.31	14.08	4.73	15.43
917	453285.28	4466191.59	386.93	453286.59	4466179.39	389.50	-1.31	12.20	-2.57	12.27
918	453037.68	4468750.01	525.30	453032.18	4468728.79	531.38	5.50	21.22	-6.08	21.92
919	452675.85	4469410.35	530.87	452666.76	4469398.64	532.42	9.09	11.71	-1.55	14.83
920	452325.50	4469578.22	528.00	452320.81	4469576.99	536.18	4.69	1.23	-8.18	4.85
				ΑΞΟΝΑΣ DORYF 01 RMS (m)			7.36	9.22	15.07	11.79
				ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ RMS (m)			5.86	15.89	16.88	16.94

Πίνακας 8.9: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης των αξόνων μόνο της γραμμικής οντότητας 01, με άξονα αναφοράς εκείνου του προσανατολισμένου δορυφορικού στερεοζεύγους.

8.3 Γεωαναφορά με Καμπύλες Αναφοράς από τα Τοπογραφικά Διαγράμματα

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν οι 16 άξονες των 16 γραμμικών οντοτήτων που αποδόθηκαν στο επικαλυπτόμενο των αεροφωτογραφιών 45-064 και 45-065 (σε σύστημα μοντέλου) και οι αντίστοιχοι άξονες που εξάχθηκαν από τα τοπογραφικά διαγράμματα της Γ.Υ.Σ. (σε σύστημα ΕΓΣΑ 87). Για το σύνολο των γραμμικών στοιχείων υιοθετήθηκε η ίδια πρώτη προσέγγιση που είχε εκτιμηθεί στην 1η εφαρμογή, όπου χρησιμοποιήθηκαν καμπύλες αναφοράς από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος.

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή εξετάστηκε η περίπτωση ταύτισης μόνο των αξόνων των γραμμικών στοιχείων, καθώς, όπως έχει ήδη αναφερθεί, στα διαγράμματα της Γ.Υ.Σ. για τις περισσότερες γραμμικές οντότητες που χρησιμοποιήθηκαν, δεν ήταν σχεδιασμένες οι δύο οριογραμμές τους, αλλά ο άξονάς τους. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν οι ακόλουθες δύο περιπτώσεις υπολογισμού του απόλυτου προσανατολισμού του μοντέλου, βάσει ταύτισης:

4. των αξόνων του συνόλου των γραμμικών στοιχείων και,
5. των αξόνων μόνο της γραμμικής οντότητας 01, η οποία είναι και η μεγαλύτερη σε μήκος.

Στις επόμενες υποπαραγράφους παρουσιάζονται, αρχικά η διαδικασία και τα αποτελέσματα της ταύτισης των αξόνων των γραμμικών στοιχείων, και στη συνέχεια η διαδικασία προσανατολισμού του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945 για καθεμία από τις δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις.

8.3.1 Ταύτιση των αξόνων των γραμμικών στοιχείων

Όπως και στις περιπτώσεις που εξετάστηκαν στην 1η εφαρμογή, η ταύτιση των αξόνων έγινε ξεχωριστά για το ζεύγος αξόνων κάθε γραμμικής οντότητας, και υπολογίστηκε ο μεταξύ τους τρισδιάστατος μετασχηματισμός ομοιότητας, όπως επίσης και ζεύγη ομόλογων σημείων.

Για ένα ζεύγος αξόνων (13_GYS) δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί η ταύτιση, λόγω μη ικανοποιητικής πρώτης προσέγγισης για τη σύγκλιση του αλγορίθμου ICP, φαινόμενο που παρατηρήθηκε και στην 1η εφαρμογή. Φαινόμενα μεγάλης υψομετρικής διαφοράς ανάμεσα στους αντίστοιχους άξονες δεν εντοπίστηκαν για κανένα ζεύγος αξόνων, σε αντίθεση με την 1η εφαρμογή, όπου το πρόβλημα παρατηρήθηκε τόσο κατά την ταύτιση των αξόνων όσο και κατά την ταύτιση των αντίστοιχων οριογραμμών, των γραμμικών στοιχείων 04 και 16. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι δύο αυτές γραμμικές οντότητες που είναι οδοί, έχουν υποστεί μηκοτομικές επεμβάσεις τα τελευταία χρόνια, καθώς από το 1945 μέχρι και το 1980, που αποτελεί το έτος φωτοληψίας των αεροφωτογραφιών για τη σύνταξη των χαρτών της Γ.Υ.Σ., δεν έχουν μεταβληθεί σημαντικά και δεν εμφανίζεται πρόβλημα κατά την ταύτιση των αντίστοιχων οριογραμμών ή των αξόνων τους. Έτσι, μόνο ένα από τα 16 συνολικά διατιθέμενα ζεύγη αξόνων εξαιρέθηκε από τη συνέχεια της εφαρμογής, στην οποία τελικά συμμετείχαν τα υπόλοιπα 15 ζεύγη αξόνων.

Στον Πίνακα 8.10 παρουσιάζονται για κάθε ζεύγος αξόνων:

- ✓ το όνομά του, που αποτελείται από τον κωδικό του αριθμό και τη λέξη «GYS», η οποία δηλώνει ότι ο άξονας αναφοράς σε αυτή την περίπτωση είναι εκείνος των τοπογραφικών διαγραμμάτων της Γ.Υ.Σ.,
- ✓ το είδος των αξόνων του, αν δηλαδή πρόκειται για άξονες οδού ή ρέματος,
- ✓ το πραγματικό μήκος του άξονα αναφοράς σε m, όπως υπολογίστηκε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD,

και τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά τη σύγκλιση της ταύτισης, τα οποία περιλαμβάνουν:

- ✓ το οριζοντιογραφικό τετραγωνικό σφάλμα της ταύτισης, RMSxy, σε m,
- ✓ το υψομετρικό τετραγωνικό σφάλμα της ταύτισης, RMSz, σε m, και τέλος
- ✓ τον αριθμό των υπολογισμένων ζευγών ομόλογων σημείων.

Τα RMSxy και RMSz εκφράζουν το πόσο διαφέρουν μεταξύ τους οι συντεταγμένες των υπολογισμένων ομόλογων σημείων. Στη θεωρητική περίπτωση που ο άξονας αναφοράς, δηλαδή εκείνος των τοπογραφικών διαγραμμάτων της Γ.Υ.Σ., και ο άξονας από το μοντέλο των αεροφωτογραφιών αποτελούνταν από τους ίδιους κόμβους σε πλήθος και θέση, τα RMSxy και RMSz θα ήταν μηδενικά. Συνεπώς, αποτελούν ένα πρώτο κριτήριο αξιολόγησης της διαδικασίας της ταύτισης. Περαιτέρω αξιολόγηση της διαδικασίας γίνεται σε επόμενη υποπαράγραφο με χρήση ανεξάρτητων σημείων ελέγχου.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ					
ΟΝΟΜΑ ΖΕΥΓΟΥΣ ΑΞΟΝΩΝ	ΕΙΔΟΣ ΑΞΟΝΩΝ	Μήκος (m)	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΥΤΙΣΗΣ ΑΞΟΝΩΝ		
			RMSxy (m)	RMSz (m)	Υπολογισμένα Ζεύγη Ομόλογων Σημείων (τεμ.)
01_GYS	Άξονες οδού	7401.34	2.74	2.39	998
02_GYS	Άξονες οδού	2000.17	4.48	5.39	382
03_GYS	Άξονες ρέματος	1352.41	4.65	3.27	261
04_GYS	Άξονες οδού	568.08	5.41	1.38	385
05_GYS	Άξονες ρέματος	430.27	3.40	1.64	96
06_GYS	Άξονες οδού	949.77	1.76	1.49	184
07_GYS	Άξονες οδού	1734.85	3.78	1.20	443
08_GYS	Άξονες οδού	758.70	5.22	2.39	176
09_GYS	Άξονες οδού	1198.86	4.01	2.37	228
10_GYS	Άξονες οδού	877.06	3.23	1.27	173
11_GYS	Άξονες οδού	2091.22	2.23	2.00	296
12_GYS	Άξονες οδού	1373.26	7.34	1.77	204
13_GYS	Άξονες οδού	-	Μη ικανοποιητική πρώτη προσέγγιση για ICP.		
14_GYS	Άξονες οδού	2751.17	3.92	2.73	573
15_GYS	Άξονες ρέματος	1764.98	3.29	2.88	446
16_GYS	Άξονες οδού	924.32	4.61	2.60	630
			RMSxy(min)=1.76 m	RMSz(min)=1.20 m	
			RMSxy(max)=7.34 m	RMSz(max)=5.39 m	

Πίνακας 8.10: Τα αποτελέσματα της ταύτισης για το ζεύγος αξόνων κάθε γραμμικού στοιχείου, με άξονες αναφοράς εκείνους των τοπογραφικών διαγραμμάτων.

Συνολικά υπολογίστηκαν 5.475 ζεύγη ομόλογων σημείων, τα οποία και χρησιμοποιούνται στη συνέχεια, όλα ή υποσύνολό τους, για τον υπολογισμό του απόλυτου προσανατολισμού του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945.

8.3.2 Γεωαναφορά μοντέλου αεροφωτογραφιών του 1945

Η γεωαναφορά του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945, δηλαδή ο προσδιορισμός των παραμέτρων του απόλυτου προσανατολισμού του, πραγματοποιήθηκε βάσει των ζευγών ομόλογων σημείων που υπολογίστηκαν κατά τη διαδικασία της ταύτισης. Πιο συγκεκριμένα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, κατά την ξεχωριστή ταύτιση του ζεύγους αξόνων κάθε γραμμικού στοιχείου, εκτός από ζεύγη ομόλογων σημείων, υπολογίστηκαν οι επτά παράμετροι του μεταξύ τους τρισδιάστατου μετασχηματισμού ομοιότητας. Το γεγονός ότι έχει προηγηθεί *prealignment*, έχει ως αποτέλεσμα οι συντεταγμένες μοντέλου των σημείων του άξονα των αεροφωτογραφιών του 1945 να έχουν διαφοροποιηθεί από τις αρχικές τους. Εφαρμόζοντας καθένα από τους συνολικά 16 διαφορετικούς μετασχηματισμούς που υπολογίστηκαν, και με στοιχεία εισόδου τις αυθεντικές συντεταγμένες μοντέλου των σημείων του άξονα των αεροφωτογραφιών του 1945, οι νέες συντεταγμένες που προκύπτουν δεν είναι οι ζητούμενες τελικές στο γεωδαιτικό σύστημα, αλλά προσεγγιστικές. Για να προκύψουν οι τελικές τους συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ 87, χρειάστηκε να υπολογιστούν οι επτά παράμετροι ενός ακόμη, κοινού αυτή τη φορά, τρισδιάστατου μετασχηματισμού ομοιότητας για όλα τα ζεύγη αξόνων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των ζευγών ομόλογων σημείων που υπολογίστηκαν κατά τις ξεχωριστές ταύτισεις των 16 ζευγών αξόνων των γραμμικών στοιχείων. Προσθέτοντας τις τιμές των επτά παραμέτρων του τελευταίου μετασχηματισμού, στις αντίστοιχες μέσες τιμές τους που προέκυψαν από τους πολλούς διαφορετικούς μετασχηματισμούς, προκύπτουν τελικά οι επτά παράμετροι του απόλυτου προσανατολισμού του στερεομοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945. Οι παράμετροι αυτές αναγράφονται στον Πίνακα 8.11 όπως υπολογίστηκαν σε κάθε περίπτωση.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ								
ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΜΕ ΤΑΥΤΙΣΗ ΤΩΝ:		ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΛΥΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ						
		X ₀ (m)	Y ₀ (m)	Z ₀ (m)	ω (°)	φ (°)	κ (°)	s (scale)
7.	Αξόνων	451359.52	4470415.78	6756.33	0.2178	-0.6298	1.0204	39917
8.	Αξόνων μόνο της γραμμικής οντότητας 01	451353.24	4470407.77	6765.04	0.0797	-0.3588	0.9865	40005
ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ		451358.62	4470390.22	6718.05	-0.0093	0.0157	-0.8700	-

Πίνακας 8.11: Οι υπολογισμένες επτά παράμετροι του απόλυτου προσανατολισμού για κάθε περίπτωση.

8.3.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων με χρήση ανεξάρτητων σημείων ελέγχου

Προκειμένου να ελεγχθεί η ακρίβεια με την οποία υπολογίζονται, μέσω του μετασχηματισμού που προσδιορίστηκε σε καθεμία από τις δύο παραπάνω περιπτώσεις, οι επίγειες συντεταγμένες των σημείων του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945, και κατ'επέκταση για τον έλεγχο της ακρίβειας γεωαναφοράς του, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με την 1η εφαρμογή, που περιγράφηκε στην υποπαράγραφο 8.2.4.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 7: ΤΑΥΤΙΣΗ ΑΞΟΝΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ										
#Point	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ			ΣΥΝ/ΝΕΣ ΒΑΣΕΙ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			ΔΙΑΦΟΡΕΣ			
	Xgys (m)	Ygys (m)	Zgys (m)	computed X (m)	computed Y (m)	computed Z (m)	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	D _{XY} (m)
501	451895.00	4473951.45	559.73	451918.71	4473974.22	556.30	-23.71	-22.77	3.44	32.88
808	454273.45	4474417.76	631.48	454274.99	4474412.44	631.32	-1.54	5.32	0.16	5.54
801	451744.40	4471951.62	688.00	451750.80	4471956.81	689.96	-6.40	-5.19	-1.96	8.24
5	455305.09	4472180.10	854.11	455302.17	4472187.67	858.02	2.92	-7.57	-3.91	8.12
805	453048.81	4470627.50	676.00	453044.47	4470628.21	675.60	4.34	-0.71	0.40	4.39
9052	452869.25	4470744.06	752.30	452875.37	4470748.90	750.45	-6.12	-4.84	1.85	7.80
503	452320.00	4469940.27	541.48	452320.52	4469945.09	540.45	-0.52	-4.82	1.03	4.85
9062	452380.93	4470094.52	544.65	452383.64	4470098.91	548.35	-2.71	-4.39	-3.70	5.16
824	451733.10	4468587.81	452.83	451730.43	4468590.66	452.28	2.67	-2.85	0.55	3.91
8031	454749.46	4468438.59	688.00	454749.26	4468445.63	693.10	0.20	-7.04	-5.10	7.05
810	453346.22	4472803.00	568.00	453351.22	4472799.37	572.96	-5.00	3.63	-4.96	6.17
14	452391.94	4470082.58	544.65	452391.34	4470084.38	545.53	0.60	-1.80	-0.88	1.90
41	454262.70	4470895.37	859.14	454261.87	4470895.54	865.19	0.83	-0.17	-6.05	0.85
916	452358.52	4467289.67	483.75	452354.62	4467284.14	481.53	3.90	5.53	2.22	6.77
917	453285.28	4466191.59	386.93	453285.84	4466187.64	387.63	-0.56	3.95	-0.70	3.99
918	453037.68	4468750.01	525.30	453036.18	4468734.98	525.60	1.50	15.03	-0.30	15.11
919	452675.85	4469410.35	530.87	452672.06	4469404.60	527.86	3.79	5.75	3.01	6.88
920	452325.50	4469578.22	528.00	452326.77	4469583.25	533.77	-1.27	-5.03	-5.77	5.18
				ΑΞΟΝΕΣ GYS RMS (m)			6.43	7.83	3.21	10.13
				ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ RMS (m)			5.86	15.89	16.88	16.94

Πίνακας 8.12: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης των αξόνων του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, με άξονες αναφοράς εκείνους των τοπογραφικών διαγραμμάτων.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 8: ΤΑΥΤΙΣΗ ΑΞΟΝΩΝ ΜΟΝΟ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΟΝΤΟΤΗΤΑΣ 01 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ										
#Point	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ			ΣΥΝ/ΝΕΣ ΒΑΣΕΙ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			ΔΙΑΦΟΡΕΣ			
	Xgys (m)	Ygys (m)	Zgys (m)	computed X (m)	computed Y (m)	computed Z (m)	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	D _{XV} (m)
501	451895.00	4473951.45	559.73	451911.93	4473974.63	562.58	-16.93	-23.18	-2.85	28.70
808	454273.45	4474417.76	631.48	454272.76	4474415.04	650.00	0.69	2.72	-18.52	2.81
801	451744.40	4471951.62	688.00	451744.25	4471952.34	690.86	0.15	-0.72	-2.86	0.74
5	455305.09	4472180.10	854.11	455302.48	4472185.44	876.69	2.61	-5.34	-22.58	5.94
805	453048.81	4470627.50	676.00	453041.64	4470621.62	679.39	7.17	5.88	-3.39	9.27
9052	452869.25	4470744.06	752.30	452871.74	4470742.29	753.89	-2.49	1.77	-1.59	3.05
503	452320.00	4469940.27	541.48	452317.16	4469936.89	538.85	2.84	3.38	2.63	4.41
9062	452380.93	4470094.52	544.65	452380.29	4470091.06	547.45	0.64	3.46	-2.80	3.52
824	451733.10	4468587.81	452.83	451727.02	4468579.33	444.42	6.08	8.48	8.41	10.43
8031	454749.46	4468438.59	688.00	454751.42	4468435.21	699.73	-1.96	3.38	-11.73	3.90
810	453346.22	4472803.00	568.00	453348.22	4472798.01	583.23	-2.00	4.99	-15.23	5.38
14	452391.94	4470082.58	544.65	452388.02	4470076.52	544.62	3.92	6.06	0.03	7.22
41	454262.70	4470895.37	859.14	454260.65	4470889.81	875.81	2.05	5.56	-16.67	5.93
916	452358.52	4467289.67	483.75	452353.24	4467270.23	473.53	5.29	19.44	10.22	20.14
917	453285.28	4466191.59	386.93	453287.62	4466172.11	381.19	-2.34	19.48	5.74	19.62
918	453037.68	4468750.01	525.30	453035.20	4468724.58	524.44	2.48	25.43	0.86	25.56
919	452675.85	4469410.35	530.87	452669.86	4469395.45	526.60	5.99	14.90	4.27	16.06
920	452325.50	4469578.22	528.00	452323.67	4469574.27	531.32	1.83	3.95	-3.32	4.35
				ΑΞΟΝΑΣ GYS 01 RMS (m)			5.29	11.67	9.95	12.81
				ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ RMS (m)			5.86	15.89	16.88	16.94

Πίνακας 8.13: Οι υπολογισμένες επίγειες συντεταγμένες των σημείων ελέγχου, τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτών με τις επίγειες συντεταγμένες τους της Γ.Υ.Σ. και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού τους, στην περίπτωση ταύτισης των αξόνων μόνο της γραμμικής οντότητας 01, με άξονα αναφοράς εκείνων των τοπογραφικών διαγραμμάτων.

8.4 Συγκριτική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τα όσα παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, εξετάστηκαν οι εξής οκτώ περιπτώσεις γεωαναφοράς μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945 μέσω της ταύτισης γραμμικών στοιχείων, σε δύο εφαρμογές:

Εφαρμογή 1: με καμπύλες αναφοράς από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος:

1. τις αριστερές οριογραμμές του συνόλου των γραμμικών στοιχείων,
2. τις δεξιές οριογραμμές του συνόλου των γραμμικών στοιχείων,
3. τις αριστερές και τις δεξιές οριογραμμές του συνόλου των γραμμικών στοιχείων,
4. τις αριστερές και τις δεξιές οριογραμμές μόνο της γραμμικής οντότητας 01,
5. τους άξονες του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, και τέλος
6. τον άξονα μόνο της γραμμικής οντότητας 01.

Εφαρμογή 2: με καμπύλες αναφοράς από τα τοπογραφικά διαγράμματα:

7. τους άξονες του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, και
8. τον άξονα μόνο της γραμμικής οντότητας 01.

Διαπιστώθηκαν τα εξής:

- ✓ Σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, η χρήση γραμμικών στοιχείων οδήγησε σε σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα οριζοντιογραφικά και θεαματικά καλύτερα αποτελέσματα υψομετρικά, στα ανεξάρτητα σημεία ελέγχου, σε σχέση με τη χρήση φωτοσταθερών σημείων, όπως αναλυτικά φαίνεται στον Πίνακα 8.18, για όλες τις περιπτώσεις και των δύο εφαρμογών, και συνοπτικά στους Πίνακες 8.14, 8.15, 8.16, για συγκεκριμένες περιπτώσεις. Το χαμηλότερο οριζοντιογραφικό και υψομετρικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα προσδιορισμού της θέσης των σημείων ελέγχου, παρατηρούνται στην περίπτωση ταύτισης των αντίστοιχων αξόνων του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, με άξονες αναφοράς εκείνους των τοπογραφικών διαγραμμάτων της Γ.Υ.Σ.
- ✓ Ακόμη και στις ακραίες περιπτώσεις (4), (6) και (8), όπου χρησιμοποιήθηκε μία μόνο γραμμική οντότητα, τα αποτελέσματα στα ανεξάρτητα σημεία ελέγχου προέκυψαν καλύτερα σε σχέση με εκείνα του αεροτριγωνισμού με σημεία (Πίνακας 8.14).

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ			
ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΧΡΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΜΟΝΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΟΝΤΟΤΗΤΑΣ			
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ		
	RMSxy (m)	RMSz (m)	RMSxyz (m)
(4) Μέσω ταύτισης των αριστερών και δεξιών οριογραμμών μόνο της γραμμικής οντότητας 01	11.38	14.75	18.63
(6) Μέσω ταύτισης των αξόνων μόνο της γραμμικής οντότητας 01, με άξονα αναφοράς από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος	11.79	15.07	19.14
(8) Μέσω ταύτισης των αξόνων μόνο της γραμμικής οντότητας 01, με άξονα αναφοράς από τα τοπογραφικά διαγράμματα	12.81	9.95	16.22
Αεροτριγωνισμός με Σημεία	16.94	16.88	23.91

Πίνακας 8.14: Συγκριτικός πίνακας αξιολόγησης για τις ακραίες περιπτώσεις χρήσης μιας μόνο γραμμικής οντότητας.

- ✓ Στην 1η εφαρμογή, όπου χρησιμοποιούνται καμπύλες αναφοράς από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος, οι περιπτώσεις (1), (2), (3), που βασίζονται στην ταύτιση των αντίστοιχων οριογραμμών του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, φαίνεται να είναι ισοδύναμες από άποψης ακρίβειας τόσο μεταξύ τους, όσο και με την περίπτωση (5), η οποία βασίζεται στην ταύτιση των αντίστοιχων αξόνων, αφού δίνουν περίπου τα ίδια αποτελέσματα στα ανεξάρτητα σημεία ελέγχου (Πίνακας 8.15).

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΣ			
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΑΥΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΙ ΑΞΟΝΩΝ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ			
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ		
	RMSxy (m)	RMSz (m)	RMSxyz (m)
(1) Μέσω ταύτισης αριστερών οριογραμμών	11.09	4.31	11.90
(2) Μέσω ταύτισης δεξιών οριογραμμών	10.18	5.21	11.44
(3) Μέσω ταύτισης αριστερών και δεξιών οριογραμμών	10.56	4.74	11.58
(5) Μέσω ταύτισης αξόνων	10.58	5.03	11.71
Αεροτριγωνισμός με Σημεία	16.94	16.88	23.91

Πίνακας 8.15: Συγκριτικός πίνακας αξιολόγησης για τις περιπτώσεις ταύτισης των αντίστοιχων οριογραμμών και αξόνων του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, με καμπύλες αναφοράς από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος.

- ✓ Όσον αφορά τις περιπτώσεις όπου ταυτίστηκαν οι αντίστοιχοι άξονες του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, η περίπτωση (7), με άξονες αναφοράς από τα τοπογραφικά διαγράμματα, υπερτερεί σαφώς υψομετρικά της περίπτωσης (5), με άξονες αναφοράς από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος. Οι δύο περιπτώσεις φαίνεται να είναι ισοδύναμες οριζοντιογραφικά (Πίνακας 8.16).

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΑΥΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΑΞΟΝΩΝ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ			
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ		
	RMSxy (m)	RMSz (m)	RMSxyz (m)
(5): Μέσω ταύτισης αξόνων με άξονες αναφοράς από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος	10.58	5.03	11.71
(7): Μέσω ταύτισης αξόνων με άξονες αναφοράς από τα τοπογραφικά διαγράμματα.	10.13	3.21	10.63
Αεροτριγωνισμός με Σημεία	16.94	16.88	23.91

Πίνακας 8.16: Συγκριτικός πίνακας αξιολόγησης για τις περιπτώσεις ταύτισης των αντίστοιχων αξόνων του συνόλου των γραμμικών στοιχείων.

- ✓ Στην 1η εφαρμογή, όπου οι καμπύλες αναφοράς προέρχονται από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος, στις περιπτώσεις (1), (2), (3), όπου χρησιμοποιήθηκαν οριογραμμές, ο αριθμός των ομόλογων σημείων που υπολογίστηκαν κατά τη διαδικασία

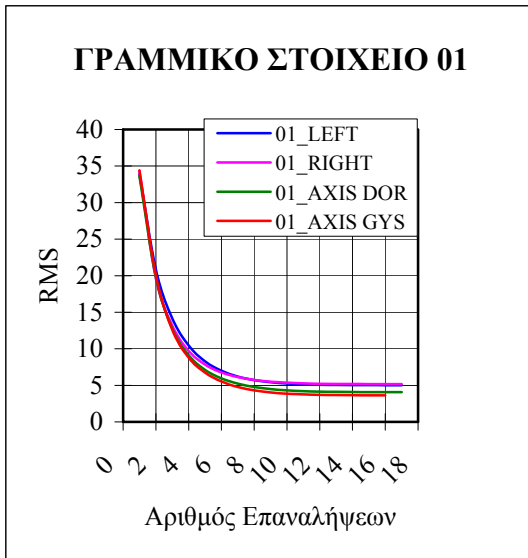
της ταύτισης, είναι μικρότερος σε σχέση με την περίπτωση (5), όπου χρησιμοποιήθηκαν άξονες (Πίνακας 8.17).

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΥΤΙΣΗΣ					
ΟΝΟΜΑ ΖΕΥΓΟΥΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ	ΕΙΔΟΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΥΤΙΣΗΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ			
		RMS _{xy} (m)	RMS _z (m)	RMS _{xyz} (m)	Υπολογισμένα Ζεύγη Ομόλογων Σημείων (τεμ.)
01_LEFT	Οριογραμμές οδού	3,59	3,50	5,01	348
01_RIGHT	Οριογραμμές οδού	3,82	3,49	5,17	284
01_DORYF	Άξονες οδού	2,88	2,88	4,07	998
01_GYS	Άξονες οδού	2,74	2,39	3,64	998
02_LEFT	Οριογραμμές οδού	6,41	6,82	9,36	109
02_RIGHT	Οριογραμμές οδού	6,21	6,75	9,17	101
02_DORYF	Άξονες οδού	5,77	5,50	7,97	383
02_GYS	Άξονες οδού	4,48	5,39	7,01	382
03_LEFT	Οριογραμμές ρέματος	6,42	6,10	8,86	87
03_RIGHT	Οριογραμμές ρέματος	6,98	5,75	9,04	87
03_DORYF	Άξονες ρέματος	6,01	5,23	7,97	261
03_GYS	Άξονες ρέματος	4,65	3,27	5,68	261
04_LEFT	Οριογραμμές οδού	<i>Αναξιόπιστη. Μεγάλη διαφορά στα Z.</i>			
04_RIGHT	Οριογραμμές οδού	<i>Αναξιόπιστη. Μεγάλη διαφορά στα Z..</i>			
04_DORYF	Άξονες οδού	<i>Αναξιόπιστη. Μεγάλη διαφορά στα Z.</i>			
04_GYS	Άξονες οδού	5,41	1,38	5,58	385
05_LEFT	Οριογραμμές ρέματος	3,19	2,48	4,04	41
05_RIGHT	Οριογραμμές ρέματος	3,52	2,42	4,27	34
05_DORYF	Άξονες ρέματος	2,64	1,54	3,06	96
05_GYS	Άξονες ρέματος	3,40	1,64	3,77	96
06_LEFT	Οριογραμμές οδού	3,85	4,34	5,80	83
06_RIGHT	Οριογραμμές οδού	<i>Μη ικανοποιητική πρώτη προσέγγιση για ICP.</i>			
06_DORYF	Άξονες οδού	3,37	3,85	5,12	185
06_GYS	Άξονες οδού	1,76	1,49	2,31	184
07_LEFT	Οριογραμμές οδού	4,57	3,19	5,57	218
07_RIGHT	Οριογραμμές οδού	5,25	3,38	6,24	170
07_DORYF	Άξονες οδού	4,19	2,45	4,85	445
07_GYS	Άξονες οδού	3,78	1,20	3,97	443
08_LEFT	Οριογραμμές οδού	7,19	5,20	8,87	47
08_RIGHT	Οριογραμμές οδού	6,54	4,67	8,04	64
08_DORYF	Άξονες οδού	5,83	3,18	6,64	176
08_GYS	Άξονες οδού	5,22	2,39	5,74	176
09_LEFT	Οριογραμμές οδού	4,88	3,92	6,26	95
09_RIGHT	Οριογραμμές οδού	5,00	3,78	6,27	95
09_DORYF	Άξονες οδού	4,12	3,22	5,23	230
09_GYS	Άξονες οδού	4,01	2,37	4,66	228

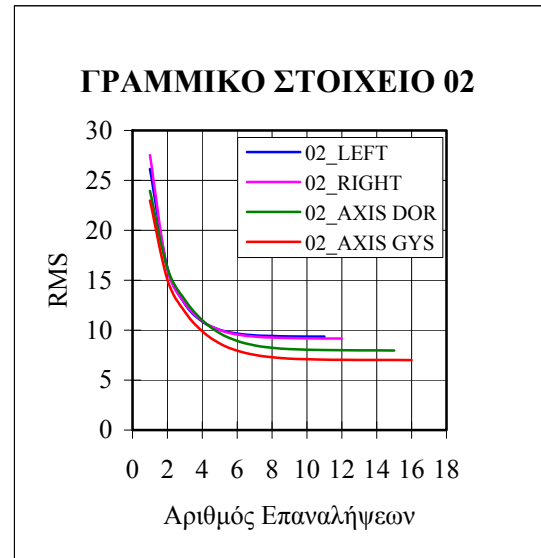
10_LEFT	Οριογραμμές οδού	5,16	2,50	5,73	90
10_RIGHT	Οριογραμμές οδού	4,09	2,46	4,77	71
10_DORYF	Άξονες οδού	4,37	2,13	4,86	174
10_GYS	Άξονες οδού	3,23	1,27	3,47	173
11_LEFT	Οριογραμμές οδού	4,78	2,80	5,54	87
11_RIGHT	Οριογραμμές οδού	4,73	4,20	6,33	84
11_DORYF	Άξονες οδού	3,8	2,68	4,65	297
11_GYS	Άξονες οδού	2,23	2,00	3,00	296
12_LEFT	Οριογραμμές οδού	6,80	3,18	7,51	56
12_RIGHT	Οριογραμμές οδού	6,04	2,95	6,72	62
12_DORYF	Άξονες οδού	5,43	2,43	5,95	204
12_GYS	Άξονες οδού	7,34	1,77	7,55	204
13		<i>Μη ικανοποιητική πρώτη προσέγγιση για ICP.</i>			
14_LEFT	Οριογραμμές οδού	4,89	2,92	5,70	214
14_RIGHT	Οριογραμμές οδού	5,45	3,38	6,41	230
14_DORYF	Άξονες οδού	4,52	2,75	5,29	573
14_GYS	Άξονες οδού	3,92	2,73	4,78	573
15_LEFT	Οριογραμμές ρέματος	4,52	4,40	6,31	162
15_RIGHT	Οριογραμμές ρέματος	4,46	3,48	5,66	177
15_DORYF	Άξονες ρέματος	3,67	3,63	5,16	446
15_GYS	Άξονες ρέματος	3,29	2,88	4,37	446
16_LEFT	Οριογραμμές οδού	<i>Αναξιόπιστη. Μεγάλη διαφορά στα Z.</i>			
16_RIGHT	Οριογραμμές οδού	<i>Αναξιόπιστη. Μεγάλη διαφορά στα Z.</i>			
16_DORYF	Άξονες οδού	<i>Αναξιόπιστη. Μεγάλη διαφορά στα Z.</i>			
16_GYS	Άξονες οδού	4,61	2,60	5,29	630

Πίνακας 8.17: Ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων της ταύτισης για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για καθένα από τα 16 γραμμικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν.

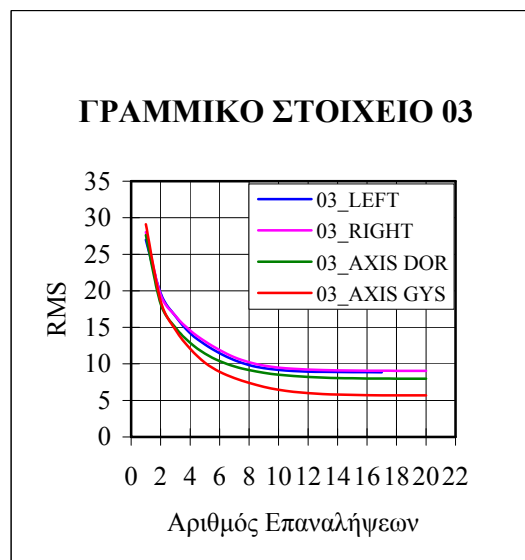
- ✓ Η συμπεριφορά του αλγορίθμου ICP σε σχέση με την πορεία της σύγκλισης και τον αριθμό των απαιτούμενων επαναλήψεων, όπως φαίνεται στα Διαγράμματα 8.1 έως 8.15, είναι σχεδόν ίδια είτε χρησιμοποιούνται οριογραμμές είτε άξονες.



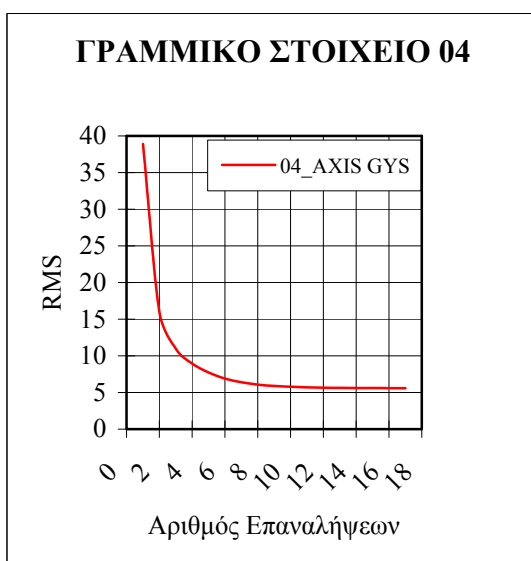
(8.1)



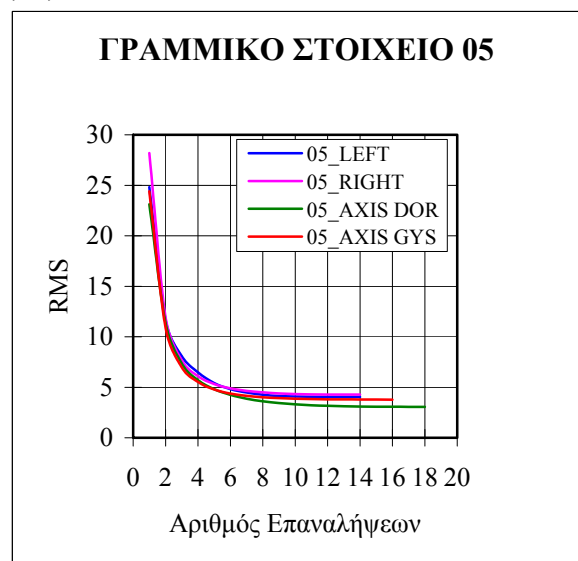
(8.2)



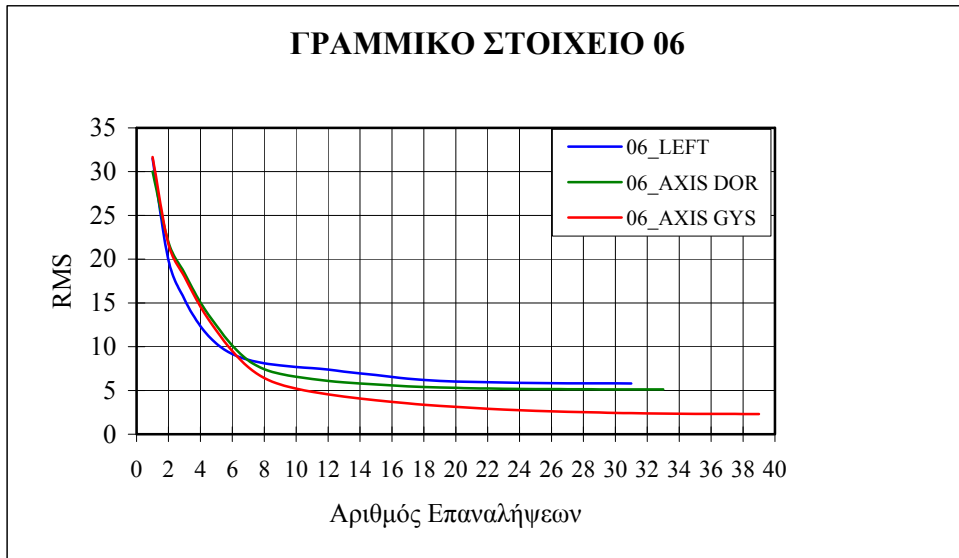
(8.3)



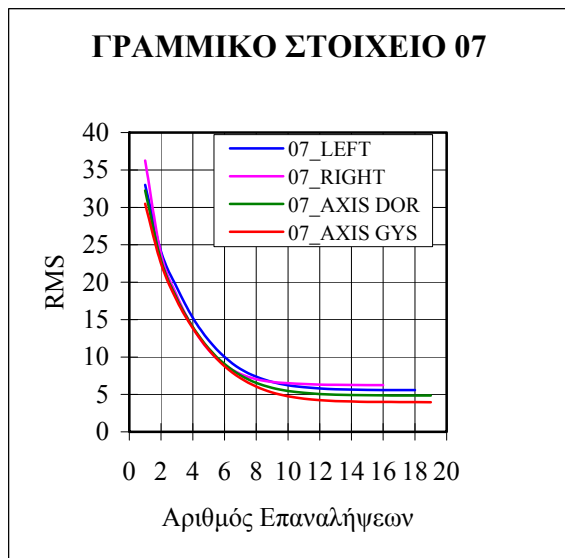
(8.4)



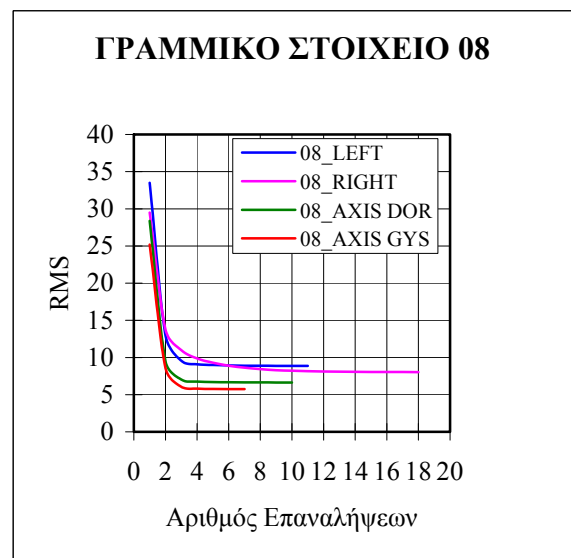
(8.5)



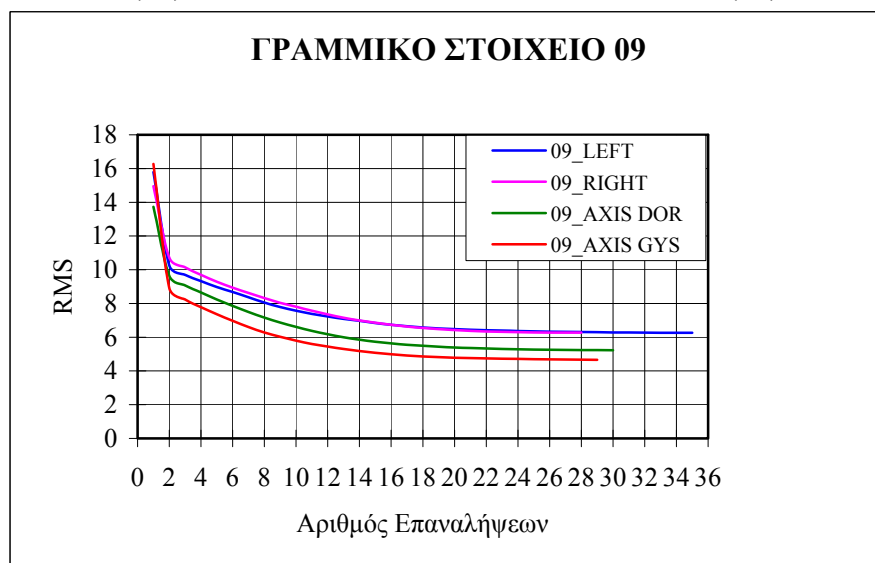
(8.6)



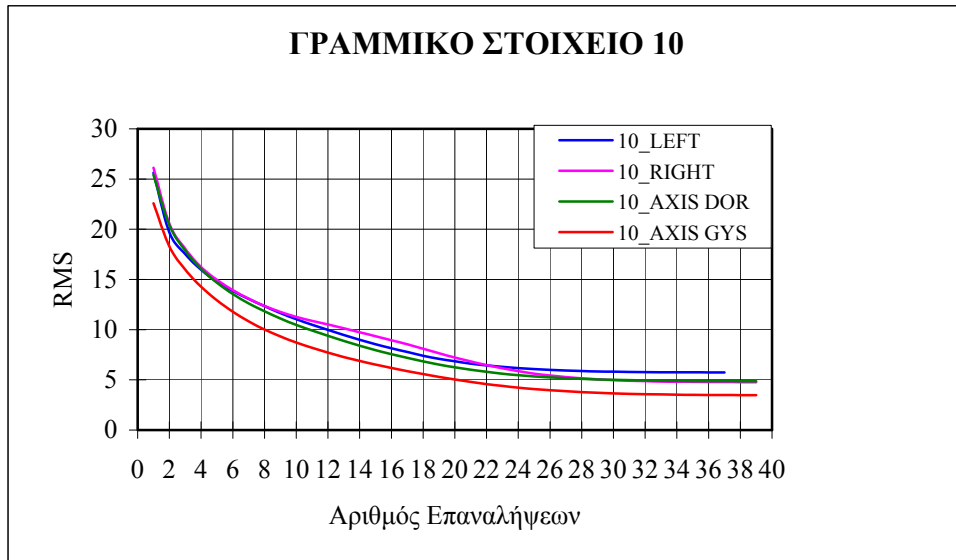
(8.7)



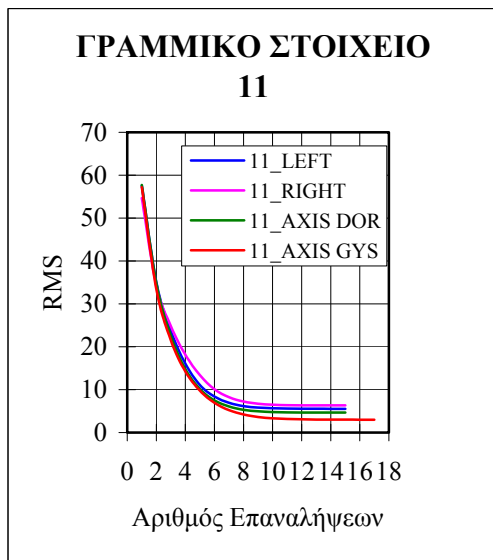
(8.8)



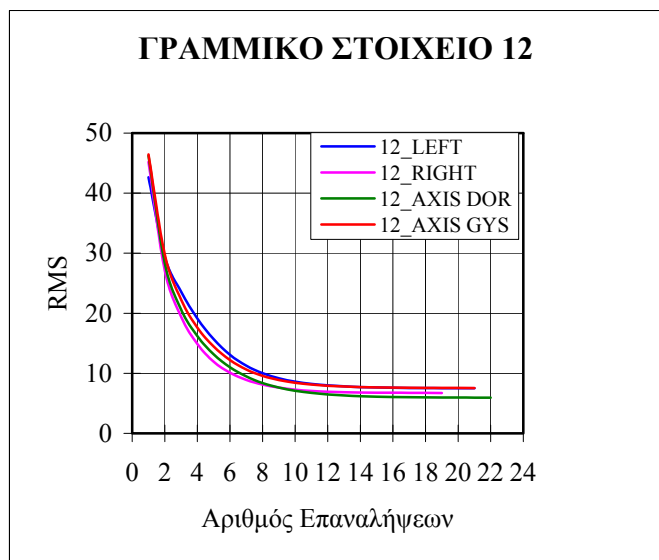
(8.9)



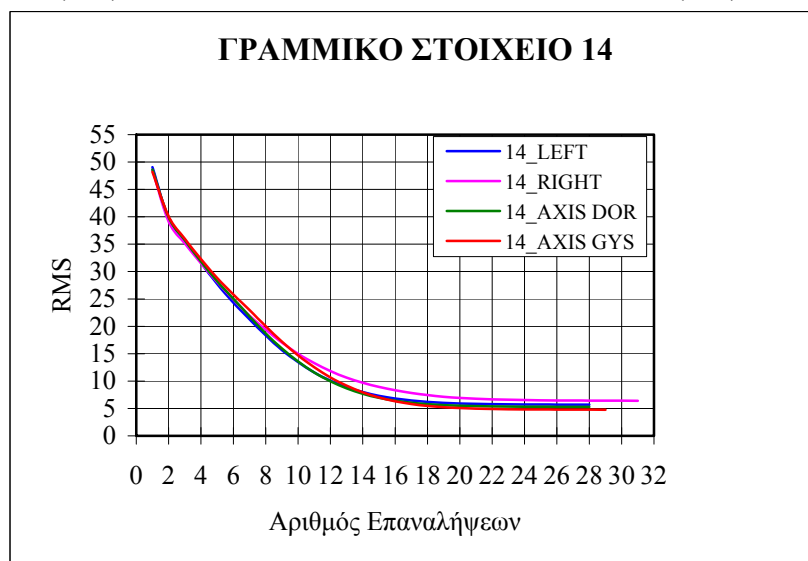
(8.10)



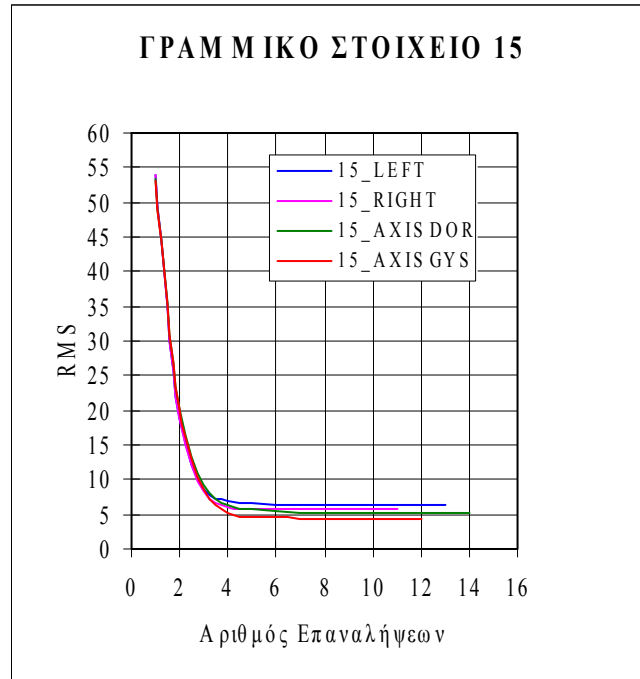
(8.11)



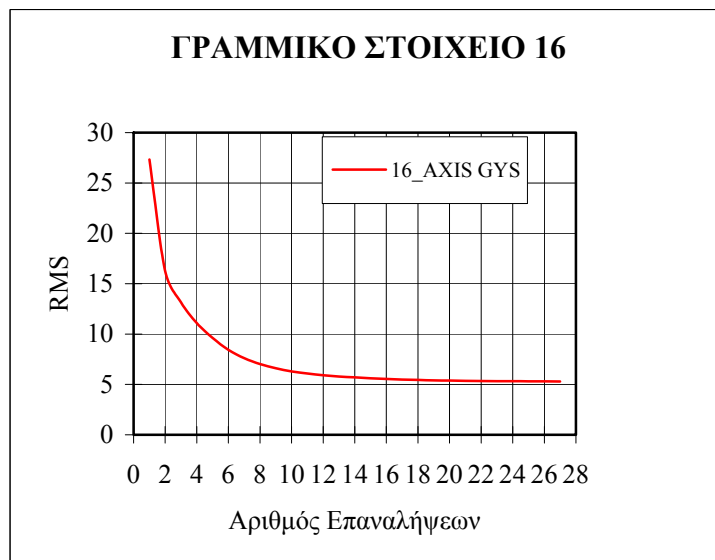
(8.12)



(8.13)



(8.14)



(8.15)

Διαγράμματα 8.1 έως 8.15: Η μεταβολή του RMS_{xyz} , που προέκυψε μετά τη σύγκλιση της ταύτισης κάθε ζεύγους καμπυλών, για κάθε γραμμικό στοιχείο, σε συνάρτηση με τον αριθμό των επαναλήψεων που απαιτήθηκαν κάθε φορά για την ολοκλήρωσή της.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΝΑΦΟΡΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ Α/Φ ΕΤΟΥΣ 1945 ΣΤΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ							
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΓΕΩΝΑΦΟΡΑΣ:		RMSx (m)	RMSy (m)	RMSz (m)	RMSxy (m)	RMSz (m)	RMSxyz (m)
ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1η: με καμπύλες αναφοράς από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος							
1.	<i>Ταύτιση αριστερών οριογραμμών</i>	7.64	8.04	4.31	11.09	4.31	11.90
2.	<i>Ταύτιση δεξιών οριογραμμών</i>	6.35	7.96	5.21	10.18	5.21	11.44
3.	<i>Ταύτιση αριστερών και δεξιών οριογραμμών</i>	6.93	7.97	4.74	10.56	4.74	11.58
4.	<i>Ταύτιση αριστερών και δεξιών οριογραμμών μόνο της γραμμικής οντότητας 01</i>	8.35	7.73	14.75	11.38	14.75	18.63
5.	<i>Ταύτιση αξόνων</i>	6.94	7.98	5.03	10.58	5.03	11.71
6.	<i>Ταύτιση αξόνων μόνο της γραμμικής οντότητας 01</i>	7.36	9.22	15.07	11.79	15.07	19.14
ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2η: με καμπύλες αναφοράς από τα τοπογραφικά διαγράμματα							
7.	<i>Ταύτιση αξόνων</i>	6.43	7.83	3.21	10.13	3.21	10.63
8.	<i>Ταύτιση αξόνων μόνο της γραμμικής οντότητας 01</i>	5.29	11.67	9.95	12.81	9.95	16.22
ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ							
<i>Αεροτριγωνισμός με Σημεία</i>		5.86	15.89	16.88	16.94	16.88	23.91

Πίνακας 8.18: Ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων της γεωαναφοράς του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945, στα ανεξάρτητα σημεία ελέγχου, για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν.

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση τα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά μέσα τετραγωνικά σφάλματα, που προέκυψαν στα ανεξάρτητα σημεία ελέγχου κατά τις δύο εφαρμογές της μεθόδου ταύτισης γραμμικών στοιχείων στη γεωαναφορά του μοντέλου των αεροφωτογραφιών του 1945, αλλά και βάσει των συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων της ταύτισης, μπορούν να εξαχθούν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα και να διατυπωθούν κάποιες προτάσεις που στοχεύουν στη βελτίωση της διαδικασίας, όσον αφορά το κόστος και το χρόνο που απαιτεί.

Καταρχήν, είναι προφανές ότι σε κάθε περίπτωση η ταύτιση γραμμικών στοιχείων με καμπύλες αναφοράς είτε από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος, είτε από τα τοπογραφικά διαγράμματα της Γ.Υ.Σ., οδήγησε σε καλύτερα αποτελέσματα στα ανεξάρτητα σημεία ελέγχου σε σχέση με τον αεροτριγωνισμό (Πίνακας 8.18). Με εξαίρεση τις ακραίες περιπτώσεις (4) και (6) της 1ης εφαρμογής, όπου χρησιμοποιείται μόνο ένα γραμμικό στοιχείο, οι επιτυγχανόμενες υψομετρικές ακρίβειες είναι γενικά πολύ καλύτερες από τις αντίστοιχες οριζοντιογραφικές. Η διαφοροποίηση αυτή μεταξύ οριζοντιογραφικών και υψομετρικών ακριβειών είναι αναμενόμενη, καθώς η αβεβαιότητα για την οριζοντιογραφική θέση κάθε γραμμικού στοιχείου είναι μεγαλύτερη από ότι για την υψομετρική. Μετά από τόσα χρόνια είναι πολύ πιθανό οι οριογραμμές ορισμένων γραμμικών οντοτήτων να έχουν μετατοπιστεί (π.χ. λόγω διαπλάτυνσης οδών ή διάβρωσης στις όχθες των ρεμάτων), αλλά ουσιαστικά η υψομετρική τους θέση παραμένει σχεδόν ίδια. Εξήγηση για τα χειρότερα οριζοντιογραφικά αποτελέσματα μπορεί να αποτελέσει επίσης, η θέση των σημείων που επιλέχθηκαν για να περιγράψουν τη μορφή κάθε γραμμικού στοιχείου κατά το στάδιο της απόδοσης. Συχνά, οι οριογραμμές των οδών και των ρεμάτων δεν ήταν ευδιάκριτες, τόσο στις αεροφωτογραφίες όσο και στις δορυφορικές εικόνες, με αποτέλεσμα για την απόδοσή τους να συλλέγονται κόμβοι που δεν βρίσκονταν στις απόλυτα σωστές τους θέσεις οριζοντιογραφικά. Αντίθετα, οι αποκλίσεις των κόμβων από τις σωστές υψομετρικές τους θέσεις ήταν συνήθως πολύ μικρές.

Μία ακόμη ερμηνεία για τις καλύτερες υψομετρικές ακρίβειες που προκύπτουν, μπορεί να δοθεί αν παρατηρηθούν οι Πίνακες 8.3 και 8.11, όπου παρουσιάζονται οι παράμετροι του απόλυτου προσανατολισμού του μοντέλου, που υπολογίστηκαν για καθεμία από τις οκτώ περιπτώσεις ταύτισης που εξετάστηκαν, όπως επίσης και οι τιμές των παραμέτρων αυτών, όπως προέκυψαν από την επίλυση του αεροτριγωνισμού. Είναι εμφανές ότι το Z_0 που υπολογίστηκε από τον αεροτριγωνισμό, είναι αρκετά μικρότερο (κατά 40 μέτρα περίπου) από τις τιμές του Z_0 που προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της ταύτισης γραμμικών στοιχείων. Μικρή, αλλά αξιοσημείωτη, διαφορά παρατηρείται επίσης, ανάμεσα στις αντίστοιχες τιμές της γωνίας κ . Τόσο το Z_0 , όσο και το κ σχετίζονται με τον υπολογισμό του υψομέτρου. Θεωρώντας πιο σωστές τις τιμές των παραμέτρων που υπολογίστηκαν με τη χρήση γραμμικών χαρακτηριστικών, είναι αναμενόμενο ότι όσο χειρότερα έχουν προσδιοριστεί τα Z_0 και κ με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού, τόσο καλύτερα θα έχει προσδιοριστεί το υψόμετρο των σημείων ελέγχου στις εξεταζόμενες περιπτώσεις με την προτεινόμενη μέθοδο. Τέλος, παρατηρώντας τους πίνακες 8.4 έως 8.9 και 8.12, 8.13, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τα χειρότερα οριζοντιογραφικά αποτελέσματα πιθανότατα να έχουν προκύψει λόγω της συμμετοχής του σημείου 501 στα ανεξάρτητα σημεία ελέγχου για τον έλεγχο της επιτυγχανόμενης ακρίβειας γεωαναφοράς με τη διερευνώμενη μέθοδο. Οι διαφορές ανάμεσα στις υπολογισμένες συντεταγμένες X και Y και τις αντίστοιχες συντεταγμένες αναφοράς, για το σημείο αυτό είναι πολύ μεγάλες, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το οριζοντιογραφικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα του συνόλου των ανεξάρτητων σημείων ελέγχου. Με αφαίρεση του σημείου 501 θα ήταν σημαντική η βελτίωση του RMS_{xy} .

Όσον αφορά τις περιπτώσεις όπου ταυτίστηκαν οι αντίστοιχοι άξονες του συνόλου των γραμμικών στοιχείων, η περίπτωση (7), με άξονες αναφοράς από τα τοπογραφικά διαγράμματα, για την οποία παρατηρούνται και τα χαμηλότερα μέσα τετραγωνικά σφάλματα προσδιορισμού της θέσης των σημείων ελέγχου, είναι λίγο καλύτερη οριζοντιογραφικά, ενώ υπερτερεί σαφώς υψομετρικά της περίπτωσης (5), με άξονες αναφοράς από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος (Πίνακας 8.16). Αυτό ήταν αναμενόμενο, αφού η οριζοντιογραφική και η υψομετρική ακρίβεια γεωαναφοράς του δορυφορικού στερεοζεύγους είναι 5m και 4m, αντίστοιχα, δηλαδή χειρότερες από εκείνες των χαρτών της Γ.Υ.Σ., οι οποίοι γεωαναφέρθηκαν κατά μέσο όρο με σφάλμα 2-2,5m οριζοντιογραφικά, ενώ η ακρίβεια προσδιορισμού των υψομέτρων από αυτούς ήταν μικρότερη των 4m. Επιπλέον, ένας ακόμη λόγος για τον οποίο προκύπτουν καλύτερα αποτελέσματα με καμπύλες αναφοράς από τα διαγράμματα της Γ.Υ.Σ., είναι ότι τα φωτοζεύγη βάσει των οποίων συντάχθηκαν οι χάρτες λήφθηκαν κατά το έτος 1980, χρονολογία που είναι πιο κοντά στο 1945 σε σχέση με το 2006, οπότε αποκτήθηκαν οι επικαλυπτόμενες δορυφορικές σκηνές του Cartosat-1. Συνεπώς, τα κοινά γραμμικά στοιχεία που εντοπίζονται ανάμεσα στο μοντέλο των αεροφωτογραφιών του 1945 και στα διαγράμματα, και κυρίως οι κοινοί δρόμοι, το πιθανότερο είναι να έχουν υποστεί οριζοντιογραφικές ή υψομετρικές μεταβολές (π.χ. εξαιτίας διαπλάτυνσης ή μηκοτομικής επέμβασης) σε μικρότερο βαθμό ή και καθόλου, σε σχέση με εκείνους που απεικονίζονται στις δορυφορικές εικόνες.

Σύμφωνα με το προηγούμενο συμπέρασμα, εφόσον η χρήση δορυφορικού στερεοζεύγους στην αντίστοιχη εφαρμογή της διερευνώμενης μεθοδολογίας δεν οδήγησε στα βέλτιστα αποτελέσματα, η αγορά του μπορεί να αποφευχθεί. Η ενέργεια αυτή οδηγεί σε μείωση του απαιτούμενου κόστους της μεθόδου, καθώς είναι υψηλό το κόστος αγοράς στερεοσκοπικών ζευγών δορυφορικών εικόνων από τις εταιρείες διαχείρισης των δορυφόρων, όπως επίσης και σε μείωση του χρόνου που απαιτείται για την επεξεργασία των δεδομένων, δηλαδή για τη γεωαναφορά του δορυφορικού στερεοζεύγους και για τη στερεοσκοπική απόδοση των γραμμικών στοιχείων σε αυτό.

Μια επίσης σημαντική παρατήρηση είναι ότι στην 1η εφαρμογή, όπου οι καμπύλες αναφοράς προέρχονται από το προσανατολισμένο δορυφορικό στερεοζεύγος, στις περιπτώσεις, όπου χρησιμοποιήθηκαν οριογραμμές, ο αριθμός των ομόλογων σημείων που υπολογίστηκαν κατά τη διαδικασία της ταύτισης, ήταν μικρότερος σε σχέση με την περίπτωση, όπου χρησιμοποιήθηκαν άξονες (Πίνακας 8.17). Αυτό οφείλεται στην τεχνική σκελετοποίησης που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των αξόνων από τις οριογραμμές που είχαν αποδοθεί. Η διαπίστωση αυτή, μετά από περαιτέρω πειραματική διερεύνηση θα μπορούσε να οδηγήσει στην υιοθέτηση πιο ελαστικών συνθηκών στο φίλτρο απλοποίησης (μείωσης των σημείων) που ήδη εφαρμόζεται στα αποτελέσματα της σκελετοποίησης, προκειμένου να μειωθεί ο υπολογιστικός φόρτος, με κριτήριο πάντα τη διατήρηση της ακρίβειας.

Τα ομόλογα σημεία των καμπυλών, οι συντεταγμένες των οποίων υπολογίζονται ως υποπροϊόν κατά τη διαδικασία της ταύτισης, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως φωτοσταθερά σημεία για τη γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών του 1945 με την κλασική μέθοδο του αεροτριγωνισμού.

Όπως προκύπτει τέλος, από τα Διαγράμματα 8.1 έως 8.15, η συμπεριφορά του αλγορίθμου ICP σε σχέση με την πορεία της σύγκλισης και τον αριθμό των απαιτούμενων επαναλήψεων, είναι η ίδια είτε χρησιμοποιούνται οι οριογραμμές, είτε οι άξονες των γραμμικών στοιχείων, γεγονός που μεταφράζεται σε ίδιο υπολογιστικό φόρτο και για τις δύο περιπτώσεις.

Σύμφωνα με όλα όσα προαναφέρθηκαν, η μέθοδος της ταύτισης γραμμικών στοιχείων κρίνεται ως κατάλληλη να αντικαταστήσει τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού στη γεωαναφορά ιστορικών αεροφωτογραφιών, ειδικά στις περιπτώσεις που είναι πολύ δύσκολη έως και

αδύνατη η εύρεση φωτοσταθερών σημείων, όπως σε ορεινές περιοχές ή σε περιοχές με έντονες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Οι εμφανώς βελτιωμένες ακρίβειες που επιτυγχάνονται μετά την εφαρμογή της, σε συνδυασμό με τον ευκολότερο εντοπισμό γραμμικών στοιχείων στις αεροφωτογραφίες σε σχέση με μεμονωμένα σημεία, αποτελούν ουσιαστικά πλεονεκτήματα που μπορεί στο μέλλον να συντελέσουν στη διαδεδομένη χρήση της μεθόδου. Επίσης, ο απαιτούμενος χρόνος για την ολοκλήρωση της ταύτισης, δηλαδή για τη σύγκλιση του αλγορίθμου ICP, για κάθε ζεύγος καμπυλών, δεν είναι μεγάλος, με εξαίρεση την περίπτωση που δεν έχει δοθεί πολύ καλή προσέγγιση της σχετικής τους θέσης, οπότε παρατηρείται μία καθυστέρηση στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων της ταύτισης από το λογισμικό.

Αντίθετα, σημαντικός είναι ο χρόνος που απαιτείται και η κούραση που προκαλείται στον παρατηρητή κατά το στάδιο της στερεοσκοπικής απόδοσης και της προετοιμασίας των γραμμικών στοιχείων, προβλήματα που συνιστούν αξιοσημείωτα μειονεκτήματα της μεθόδου. Περιορισμός τους μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση της εμπειρίας του χρήστη στη στερεοσκοπική παρατήρηση και απόδοση, ή με μερικό αυτοματισμό της διαδικασίας εξαγωγής των γραμμικών οντοτήτων, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα ημιαυτόματες τεχνικές για την ανίχνευσή τους, χωρίς ωστόσο να μπορεί να υποκατασταθεί πλήρως ο ανθρώπινος παράγοντας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγατζά – Μπαλοδήμου, Α.Μ., 2005. *Θεωρία Σφαλμάτων & Συνορθώσεις I*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.
2. Besl, P.J. and McKay, N.D. (1992), *A Method for Registration of 3-D Shapes*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14(2), pp. 239-256.
3. Γεωργόπουλος, Α., 1998. *Ψηφιακή Φωτογραμμετρία*. Σημειώσεις, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Τομέας Τοπογραφίας ΣΑΤΜ, ΕΜΠ
4. Γεωργόπουλος, Α., 2005. *Διαφάνειες από τις διαλέξεις του μαθήματος της Φωτογραμμετρίας I*. Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Τομέας Τοπογραφίας ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.
5. Evans, G., Ramachandran, B., Zhang, Z., Bailey, B. & Cheng, P., 2008. *An Accuracy Assessment of Cartosat-1 Stereo Image Data-Derived Digital Elevation Models: A Case Study of the Drum Mountains, Utah*. In: Proceedings of “The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, (Beijing, China), Vol. XXXVII, Part B1, pp. 1161-1164.
6. Zhang, Z. (1994), *Iterative Point Matching for Registration of Freeform Curves and Surfaces*, International Journal of Computer Vision, Vol. 13(2), pp. 119-152.
7. Ιωαννίδης, Χ., 2006. *Συμπληρωματικές Σημειώσεις και Διαφάνειες από τις παραδόσεις του μαθήματος της Φωτογραμμετρίας II*. Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Τομέας Τοπογραφίας ΣΑΤΜ, ΕΜΠ
8. Κάβουρας, Μ., 2003. *Αρχές Γεωπληροφορικής και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών*. ΣΑΤΜ, ΕΜΠ
9. Καροπούλου, Θ., 2007. *Ανάπτυξη Αλγορίθμου για Απευθείας Γεωαναφορά Δορυφορικών Εικόνων: Εφαρμογή σε Εικόνες ASTER*. Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Τομέας Τοπογραφίας ΣΑΤΜ, ΕΜΠ
10. Καρράς, Γ., 1998. *Γραμμικοί Μετασχηματισμοί Συντεταγμένων στη Φωτογραμμετρία*. Σημειώσεις, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Τομέας Τοπογραφίας ΣΑΤΜ, ΕΜΠ
11. Κατσιγιάννης, Α., 2005. *Διερεύνηση Διαδικασιών Σύνταξης Ορθοανηγμένων Εικόνων από Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης*. Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Τομέας Τοπογραφίας ΣΑΤΜ, ΕΜΠ
12. Ko K & N. Patrikalakis, 2003. *Computational Geometry*, Lecture 21, 13.472J/1.128J/2.158J/16.940J (Massachusetts Institute of Technology), 16 pp
13. Ko K H, 2003. *Algorithms for Three- Dimensional Free-Form Object Matching*. Phd thesis (Massachusetts Institute of Technology), 126 pp
14. Kraus, K., 2003. *Φωτογραμμετρία Τόμος I: Βασικές Έννοιες και Μέθοδοι*. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
15. Krishnaswamy, M. & Kalyanaraman, S., 2002. *Indian Remote Sensing Satellite Cartosat-1: Technical features and data products*.

16. Κτηματολόγιο Α.Ε., 2005. *Διαγωνισμός Ιστορικών Ορθοφωτοχαρτών: Τεύχος Τεχνικών Προδιαγραφών για την Παραγωγή Ιστορικών Ψηφιακών Ορθοφωτογραφιών.*
17. Κτηματολόγιο Α.Ε., 2007. *Διαγωνισμός Ιστορικών Ορθοφωτοχαρτών: Τεύχος Τεχνικών Προδιαγραφών για την Παραγωγή Ιστορικών Ψηφιακών Ορθοφωτοχαρτών Α/Φ 1945.*
18. Λιάπη, Χ., 2007. *Μετρητική Εκμετάλλευση Αεροφωτογραφιών Αγνώστου Εσωτερικού Προσανατολισμού.* Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Τομέας Τοπογραφίας ΣΑΤΜ, ΕΜΠ
19. Lutes, J., 2006. *First Impressions of CARTOSAT-1.* In: Proceedings of JACIE Workshop, March 14-16
20. Πατιάς, Π., 1991. *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
21. Samadzadegan, F., Azizi A. & Abootalebi A., 2005. *Automatic Determination of the Optimum Generic Sensor Model Based on Genetic Algorithm Concepts.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 71, No. 3, pp. 277-288. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
22. Vassilaki, D., Ioannidis, Ch. & Stamos, A., 2008a. *Registration of 2D Free-Form Curves Extracted from High Resolution Satellite Imagery using Iterative Closest Point Algorithm.* In: Proceedings of EARSeL's Workshop on Remote Sensing – New Challenges of High Resolution, (Bochum, Germany), March 5-7, ISBN: 978-3-925143-79-3, pp. 141-150.
23. Vassilaki, D., Ioannidis, Ch. & Stamos, A., 2008b. *Computation of the Closest Points for Matching Curves of Different Dimensionality.* In: Proceedings of 3rd International Conference “From Scientific Computing to Computational Engineering”, (Athens, Greece), July 9-12.
24. Vassilaki, D., Ioannidis, Ch. & Stamos, A., 2008c. *Geospatial Data Integration using Automatic Global Matching of Free-Form Curves.* In: Proceedings of Digital Earth Summit on Geoinformatics: Tools for Global Change Research, (Potsdam, Germany), pp. 195-200.
25. Vassilaki, D., Ioannidis, Ch. & Stamos, A., 2009. *Multitemporal Data Registration through Global Matching of Networks of Free-Form Curves.* In: Proceedings of FIG Working Week – Surveyors Key Role in Accelerated Development, (Eilat, Israel), May 3-8.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<http://en.wikipedia.org/wiki/CARTOSAT>

<http://en.wikipedia.org/wiki/CARTOSAT-2>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Cartosat-2A>

<http://maps.in.gr>

<http://www.antrix.gov.in/main/Antrix%20Cartosat-1%20International%20Price%20List.pdf>

<http://www.antrix.gov.in/main/irsp5.html>

http://www.euromap.de/docs/doc_004.html

<http://www.hinduonnet.com/2005/05/07/stories/2005050713451300.htm>

<http://www.isro.org>

<http://www.itia.ntua.gr/filotis/SitesData/GR1270001.pdf>

<http://www.ndtv.com/convergence/ndtv/story.aspx?id=NEWEN20070015064>

<http://www.poligiros.gr>

<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/cartosat-1.html>

<http://www.scanex.ru/en/data/default.asp?submenu=cartosat&id=delivery>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται οι συντεταγμένες στο σύστημα ΕΓΣΑ 87 των 15 τριγωνομετρικών σημείων που χρησιμοποιήθηκαν για τη γεωαναφορά του ενιαίου υποβάθρου των τοπογραφικών διαγραμμάτων της Γ.Υ.Σ.. Κάποια από αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως φωτοσταθερά για την αναγωγή των χαρτών.

α/α	ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ			ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΕΓΣΑ 87		
	Κωδικός	Όνομα	Πεντάρι	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	55	Παρούση Τούμπα	4402/8	457269,441	4474253,498	940,090
2	52	Στηθούρι	4402/7	454025,491	4473516,240	738,042
3	50	Χονδροβούνι	4402/8	455704,822	4472686,152	913,912
4	40	Καστρί	4411/2	450360,142	4472061,074	746,847
5	47	Βράχος	4412/1	452103,107	4471753,276	785,050
6	44	Χωραφίτσα	4411/2	447876,621	4471240,148	432,294
7	42	Σταυρού Τούμπα	4412/1	454653,486	4469635,708	942,362
8	41	Ισώματα	4411/2	448942,174	4469376,776	401,968
9	37	Άγιος Βλάσιος	4412/3	451275,477	4468349,462	536,668
10	38	Άγκανος	4412/4	455869,421	4467494,948	742,112
11	32	Καθαρός	4411/6	448864,069	4466217,260	351,727
12	26	Ακονορράχη	4411/6	447739,170	4464459,265	210,325
13	35	Καστριά	4412/5	452001,270	4466471,326	544,632
14	31	Λυχνάδες	4412/6	455628,406	4465350,570	568,885
15	28	Παλιοφυλακή	4412/6	457091,889	4464334,661	504,450

Πίνακας 19: Οι συντεταγμένες των τριγωνομετρικών σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ 87.

ΦΩΤΟΣΤΑΘΕΡΑ ΣΗΜΕΙΑ (GCPs) ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ (Check Points)

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ GCPs ΚΑΙ ΤΩΝ CHECK POINTS

A. ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΥΣ

α/α	Κωδικός	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΕΓΣΑ 87		
		X (m)	Y (m)	Z (m)
1	3	450552,911	4472562,402	662,673
2	4	452920,023	4472585,662	654,902
3	5	455305,088	4472180,096	854,109
4	6	448579,764	4471227,194	397,349
5	7	457919,499	4470761,533	631,487
6	8	450129,620	4469713,526	455,587
7	9	454698,008	4469685,999	918,154
8	11	449731,544	4467485,847	331,442
9	12	454956,743	4467524,533	541,518
10	13	457043,442	4468129,283	513,054
11	14	452391,937	4470082,578	544,653
12	15	452522,014	4467458,310	501,701
13	16	457094,653	4473544,929	856,500
14	501	451895,004	4473951,447	559,731
15	502	457151,988	4473955,560	870,127
16	503	452320,003	4469940,266	541,478
17	506	453178,355	4467028,824	467,462

Πίνακας 20: Οι συντεταγμένες στο σύστημα ΕΓΣΑ 87 των GCPs και των Check Points που χρησιμοποιήθηκαν για τη γεωαναφορά του δορυφορικού στερεοζεύγους, όπως προέκυψαν από τα τοπογραφικά διαγράμματα.

B. ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΤΟΥ 1945 ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΥ

α/α	Κωδικός	Είδος	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΕΓΣΑ 87		
			X (m)	Y (m)	Z (m)
1	5	GCP	455305,088	4472180,096	854,109
2	501	GCP	451895,004	4473951,447	559,731
3	502	GCP	457151,988	4473955,560	870,127
4	503	GCP	452320,003	4469940,266	541,478
5	809	GCP	458584,490	4468704,975	464,000
6	916	GCP	452358,522	4467289,666	483,754
7	14	Check Point	452391,937	4470082,578	544,653
8	41	Check Point	454262,697	4470895,368	859,142
9	801	Check Point	451744,398	4471951,616	688,000
10	8031	Check Point	454749,459	4468438,592	688,000
11	805	Check Point	453048,810	4470627,498	676,000
12	808	Check Point	454273,446	4474417,758	631,480
13	810	Check Point	453346,215	4472803,004	568,000
14	824	Check Point	451733,104	4468587,813	452,826
15	9052	Check Point	452869,249	4470744,058	752,302

α/α	Κωδικός	Είδος	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΕΓΣΑ 87		
			X (m)	Y (m)	Z (m)
16	9062	Check Point	452380,930	4470094,520	544,653
17	917	Check Point	453285,276	4466191,588	386,930
18	918	Check Point	453037,680	4468750,008	525,296
19	919	Check Point	452675,854	4469410,347	530,866
20	920	Check Point	452325,497	4469578,223	528,000

Πίνακας 21: Οι συντεταγμένες στο σύστημα ΕΓΣΑ 87 των GCPs και των Check Points που χρησιμοποιήθηκαν για τη γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών του 1945 με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού, όπως προέκυψαν από τα τοπογραφικά διαγράμματα.

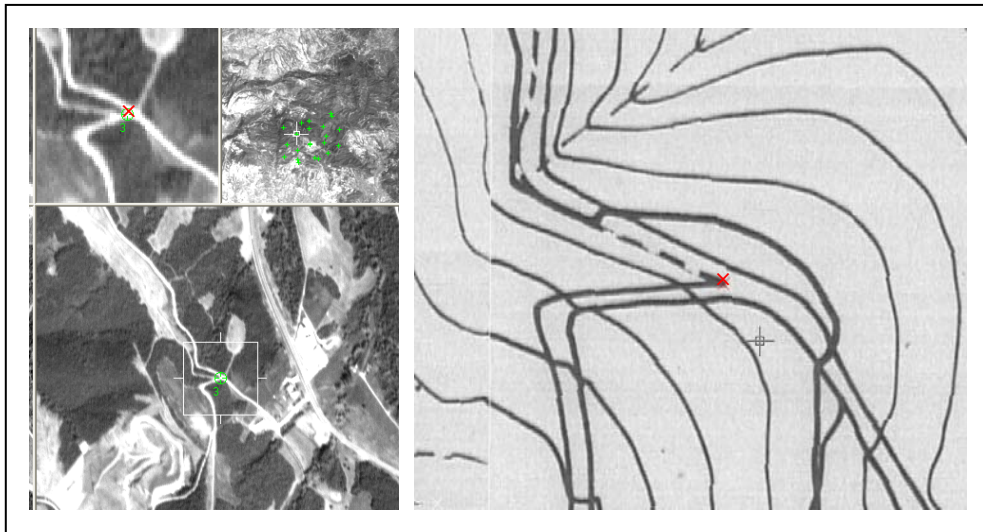
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΩΝ CHECK POINTS ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΩΝ Α/Φ ΤΟΥ 1945 ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΑΥΤΙΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Στον πίνακα που ακολουθεί, αναγράφονται οι συντεταγμένες μοντέλου αεροφωτογραφιών του 1945 των σημείων ελέγχου, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των επίγειων συντεταγμένων τους, μέσω του μετασχηματισμού που προσδιορίστηκε σε καθεμία από τις οκτώ περιπτώσεις που εξετάστηκαν.

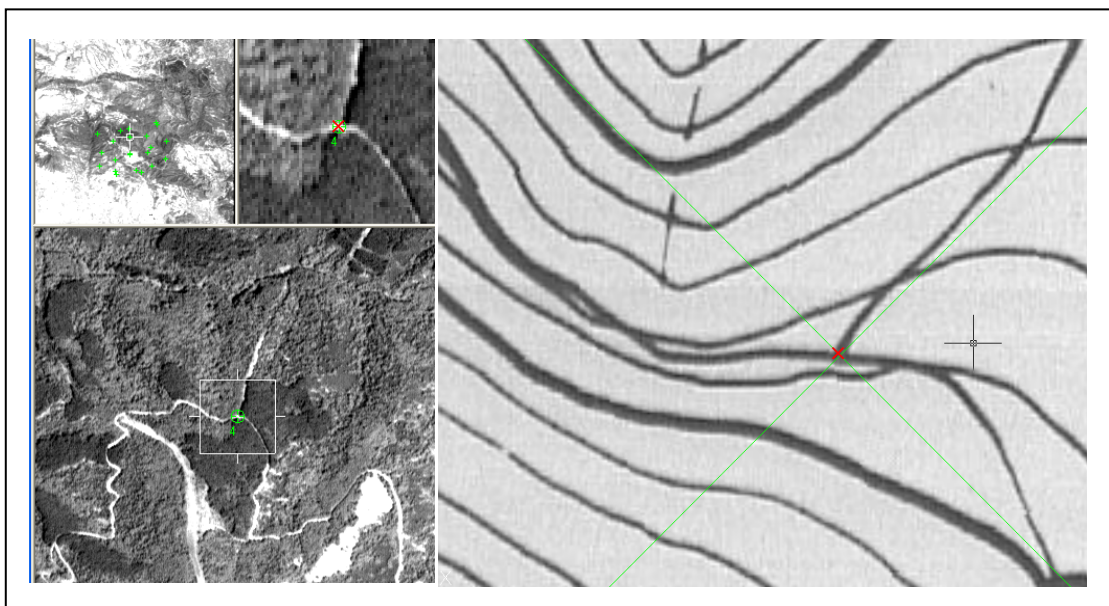
α/α	Κωδικός	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ Α/Φ 1945		
		x	y	z
1	5	97,9002	46,1184	6,4873
2	501	12,4449	89,3904	-1,8342
3	503	24,3127	-11,3453	-2,4955
4	916	26,3686	-77,9774	-4,2215
5	14	26,0238	-7,8272	-2,3394
6	41	72,4180	13,2883	6,2569
7	801	9,1002	38,7749	1,2798
8	8031	85,7743	-47,8424	1,8473
9	805	42,1017	6,0721	1,1479
10	808	71,2378	101,4068	0,7446
11	810	48,8435	60,5993	-1,1259
12	824	10,1641	-45,5310	-4,9995
13	9052	37,7866	9,0120	2,9865
14	9062	25,8223	-7,4692	-2,2722
15	917	50,2058	-105,0193	-6,4247
16	918	42,7832	-41,3403	-2,7937
17	919	33,3565	-24,7335	-2,7698
18	920	24,6337	-20,4149	-2,7000

Πίνακας 22: Οι συντεταγμένες μοντέλου των σημείων ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της γεωαναφοράς των αεροφωτογραφιών του 1945 μέσω της μεθόδου ταύτισης γραμμικών στοιχείων.

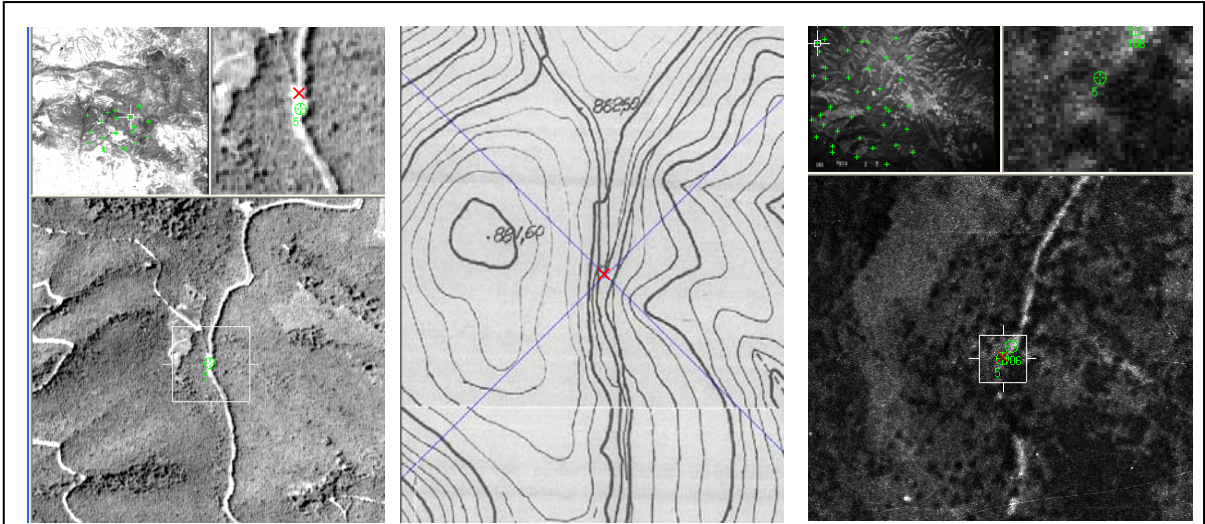
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΩΝ GCPs ΚΑΙ ΤΩΝ CHECK POINTS ΣΤΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ, ΣΤΙΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΟΥ 1945 ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ



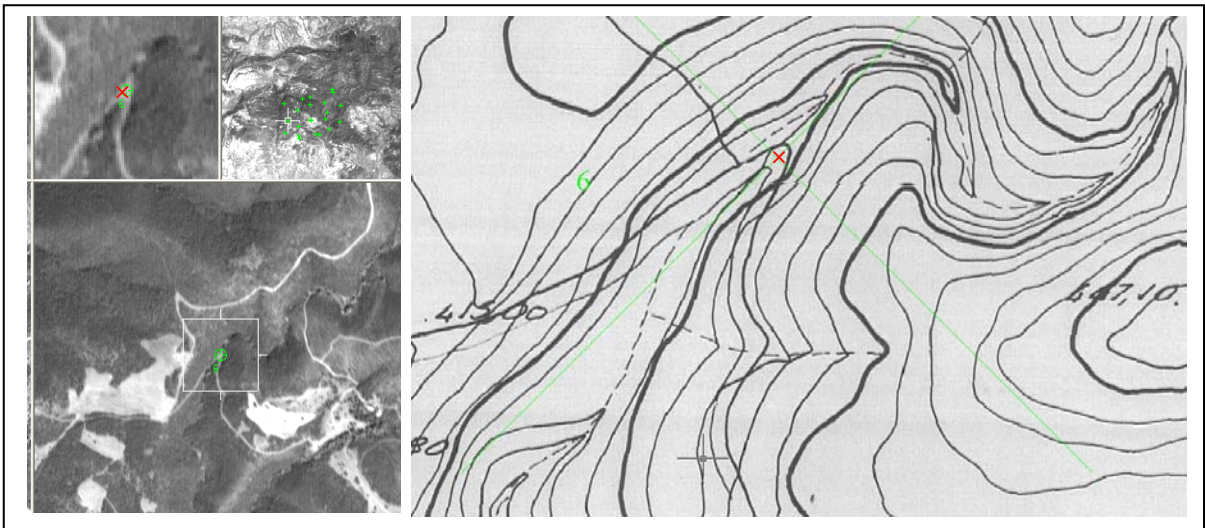
Εικόνα 8: Το σημείο 3 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.



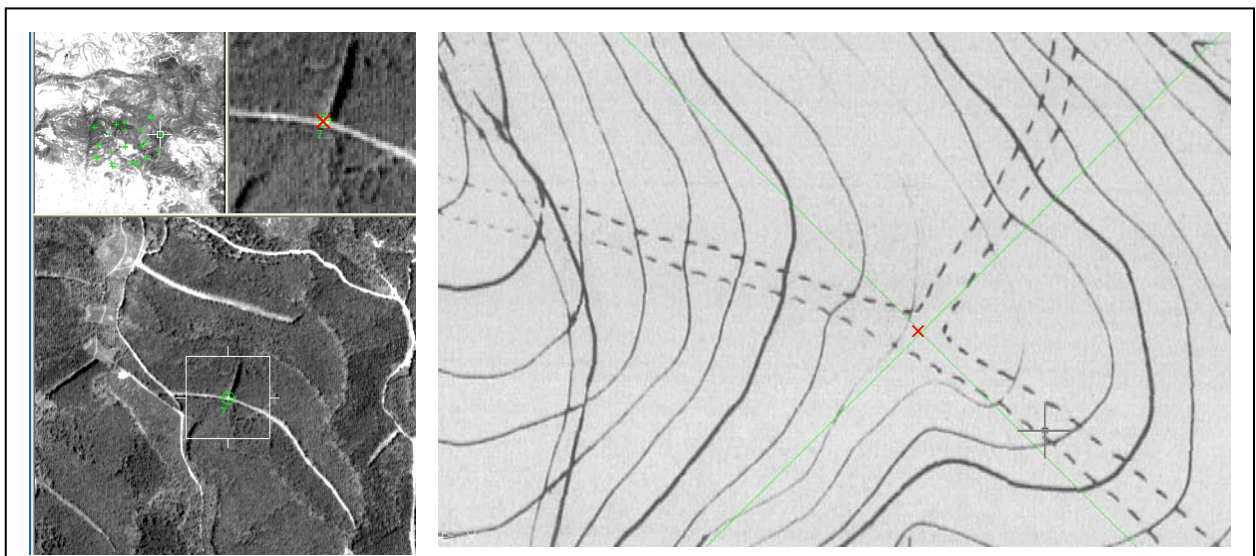
Εικόνα 9: Το σημείο 4 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.



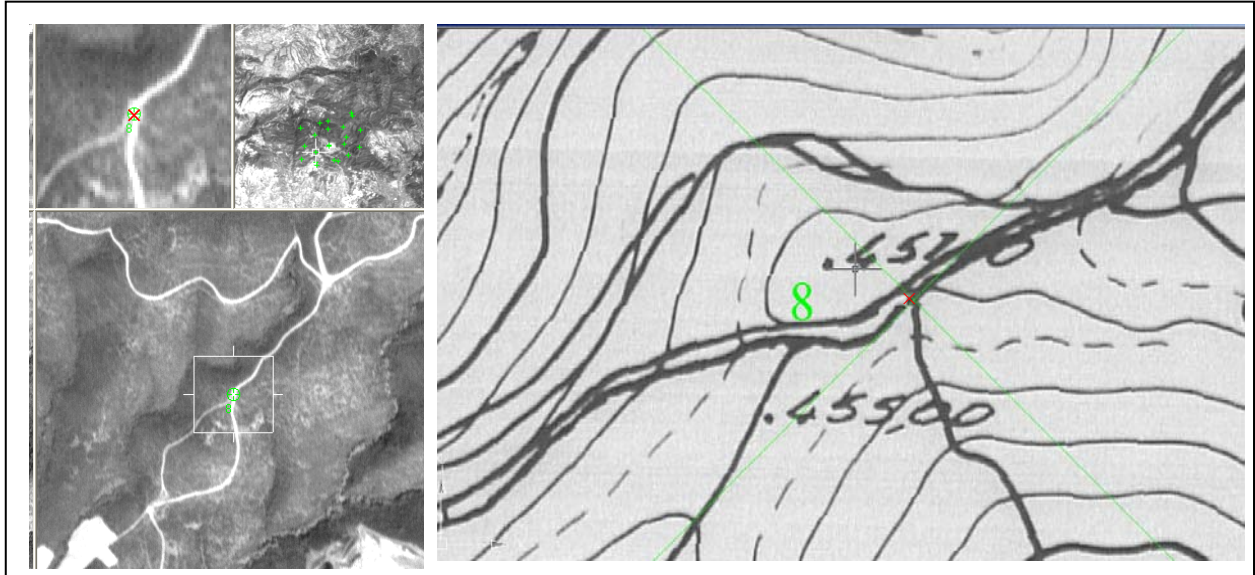
Εικόνα 10: Το σημείο 5 στις δορυφορικές εικόνες, στο χάρτη και στις αεροφωτογραφίες του 1945.



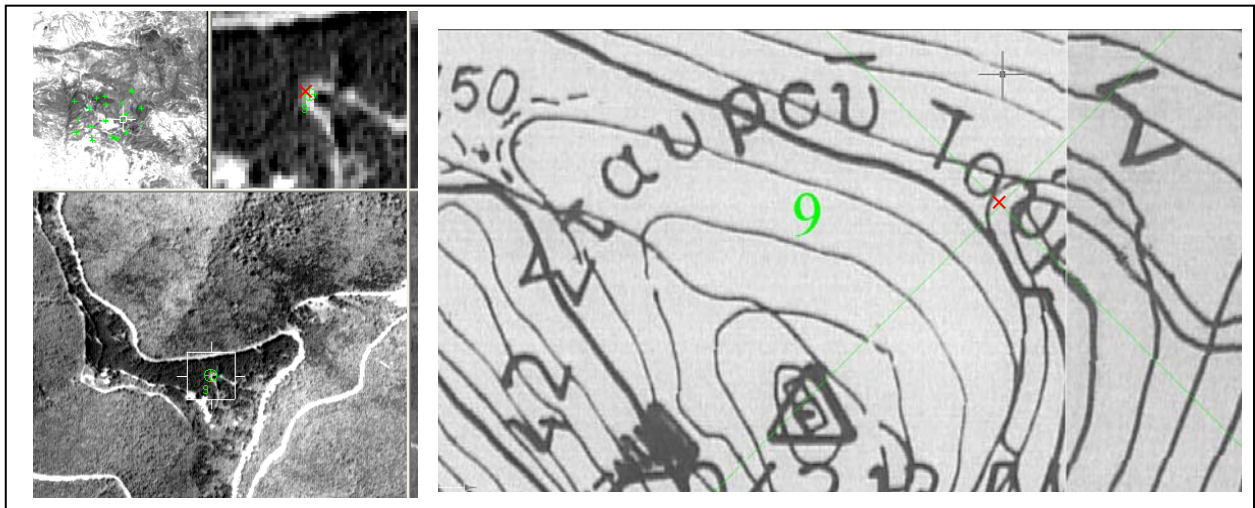
Εικόνα 11: Το σημείο 6 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.



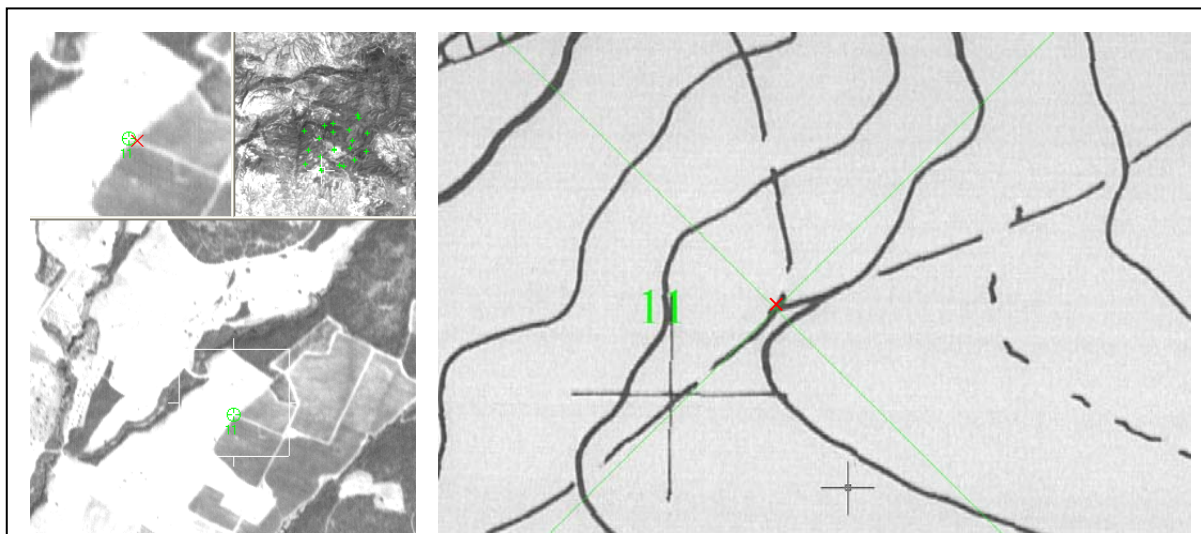
Εικόνα 12: Το σημείο 7 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.



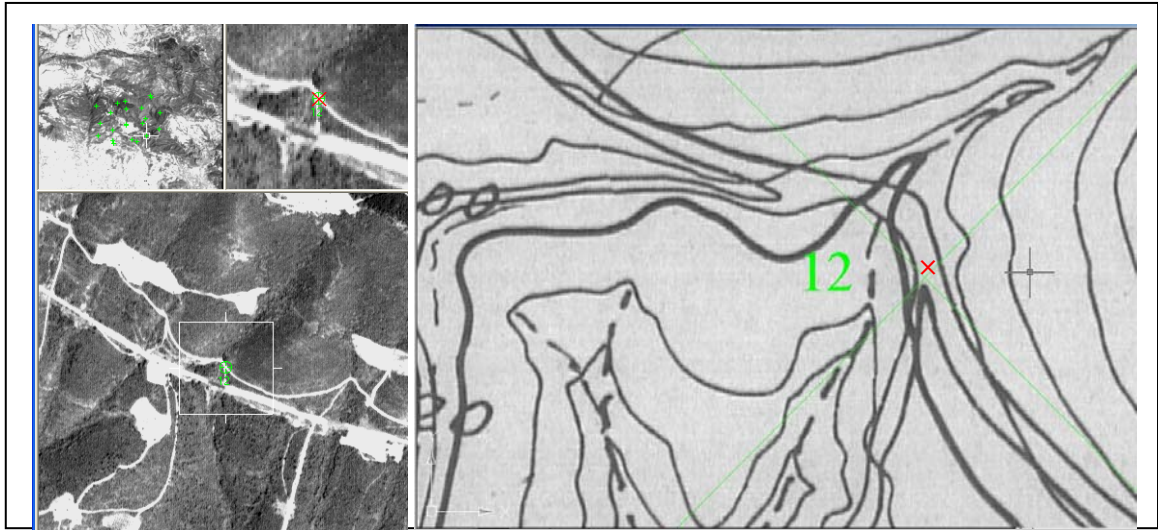
Εικόνα 13: Το σημείο 8 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.



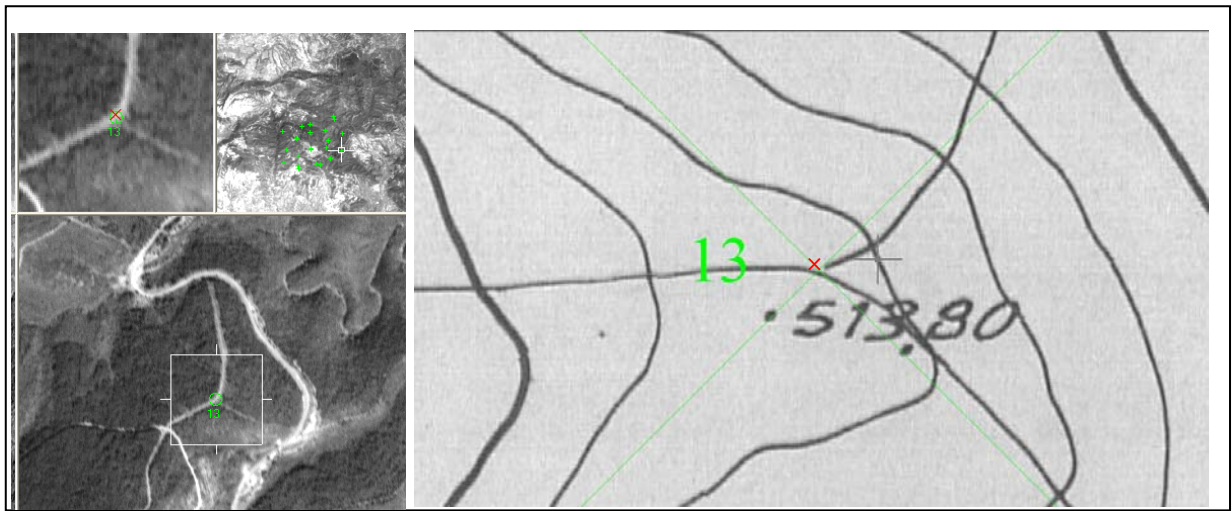
Εικόνα 14: Το σημείο 9 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.



Εικόνα 15: Το σημείο 11 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.



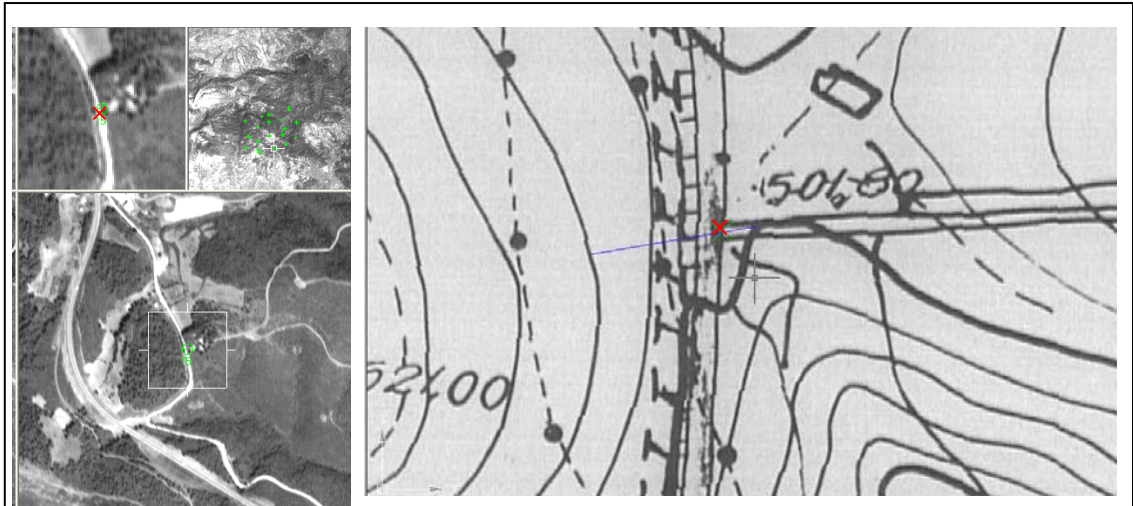
Εικόνα 16: Το σημείο 12 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.



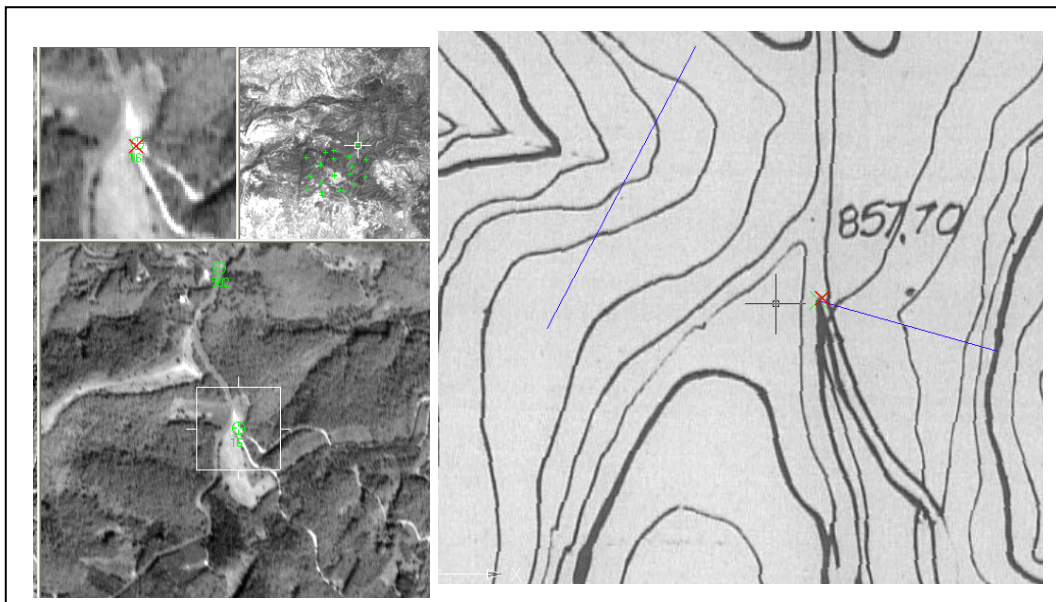
Εικόνα 17: Το σημείο 13 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.



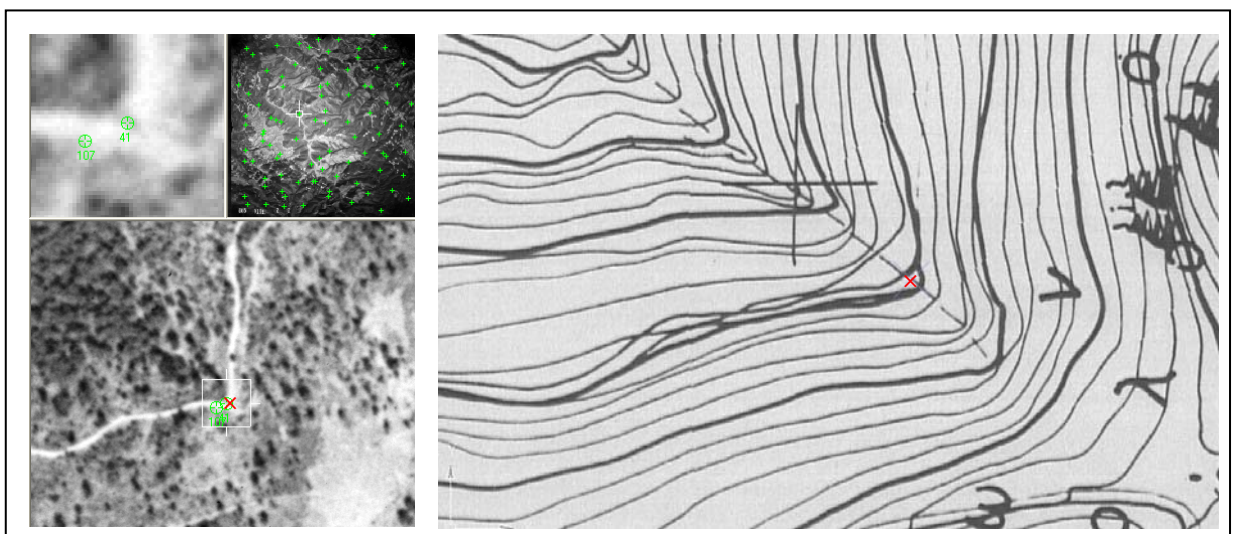
Εικόνα 18: Το σημείο 14 στις δορυφορικές εικόνες, στο χάρτη και στις αεροφωτογραφίες του 1945.



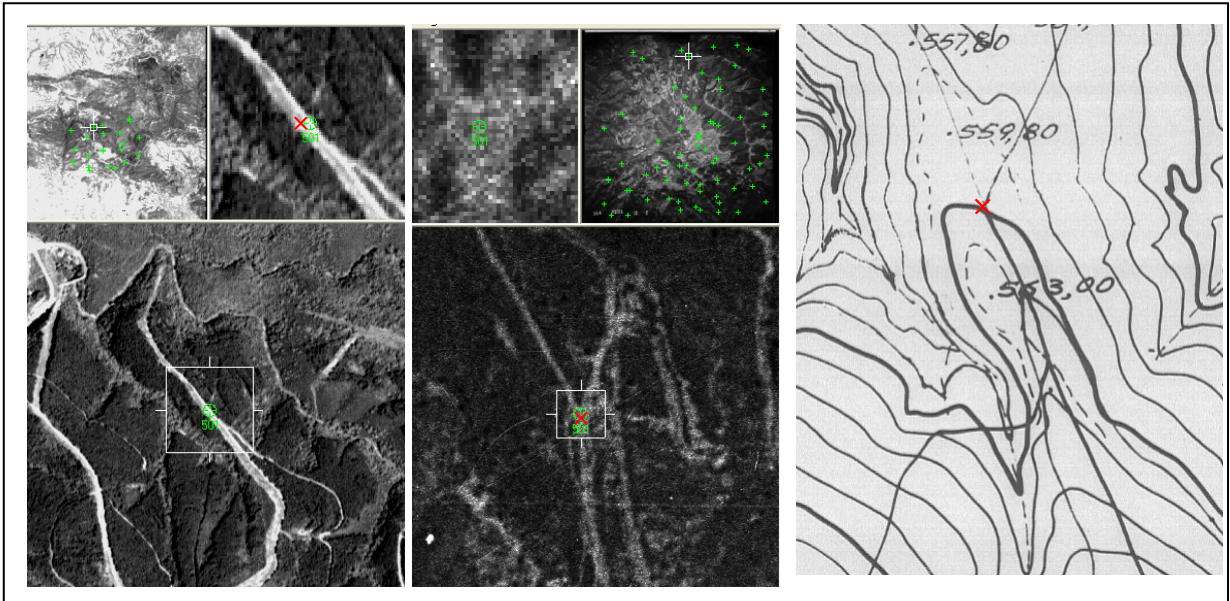
Εικόνα 19: Το σημείο 15 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.



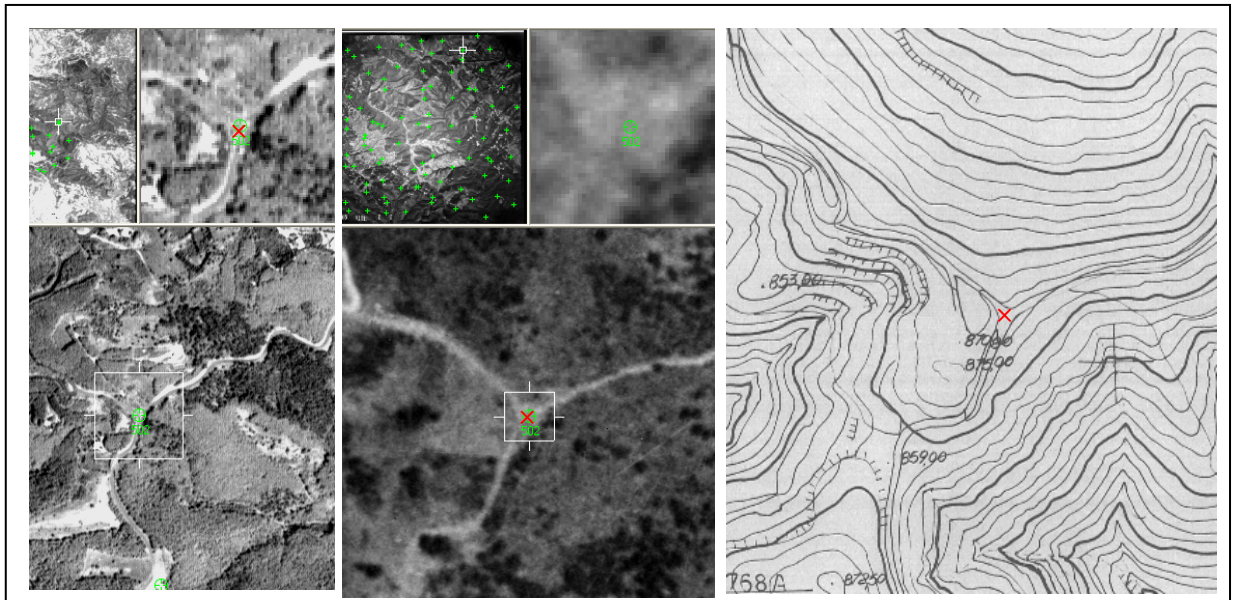
Εικόνα 20: Το σημείο 16 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.



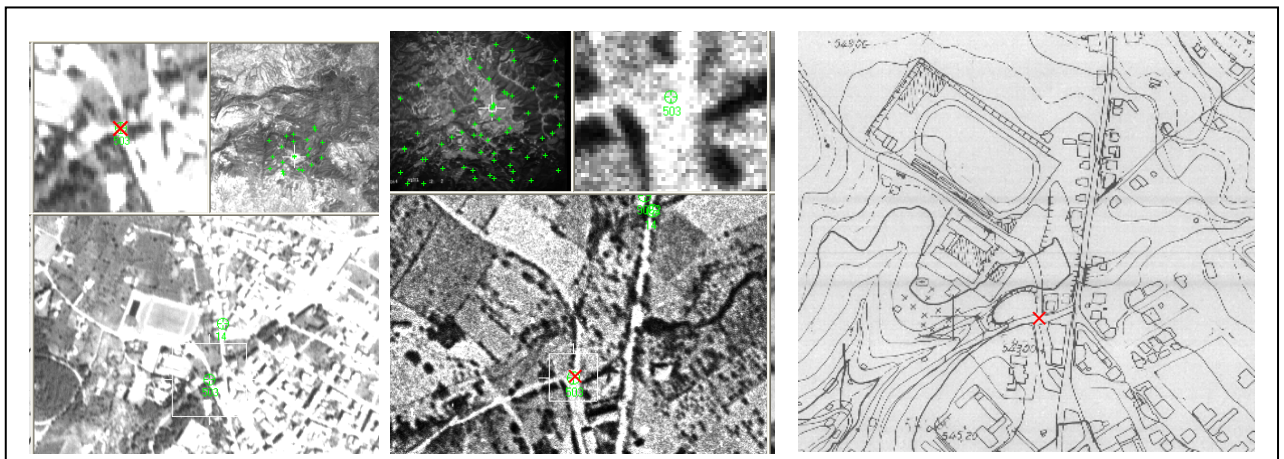
Εικόνα 21: Το σημείο 41 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



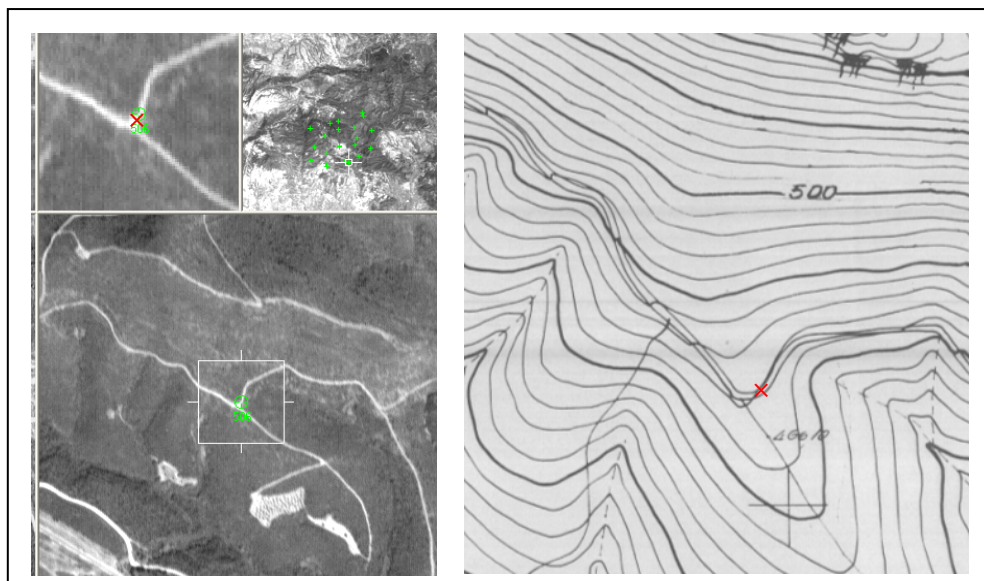
Εικόνα 22: Το σημείο 501 στις δορυφορικές εικόνες, στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



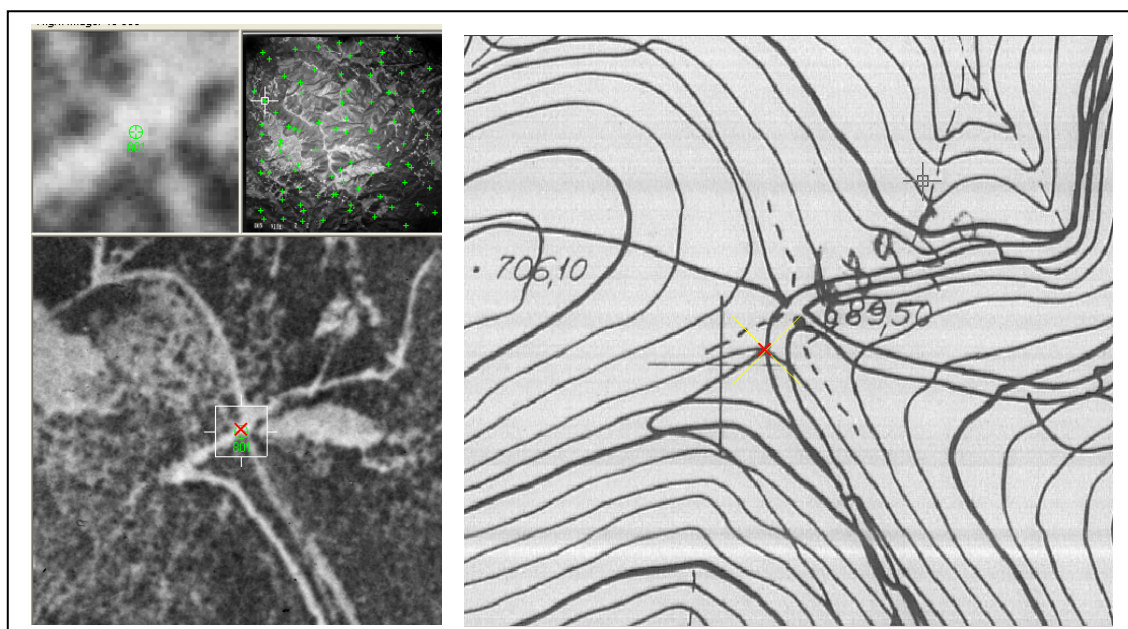
Εικόνα 23: Το σημείο 502 στις δορυφορικές εικόνες, στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



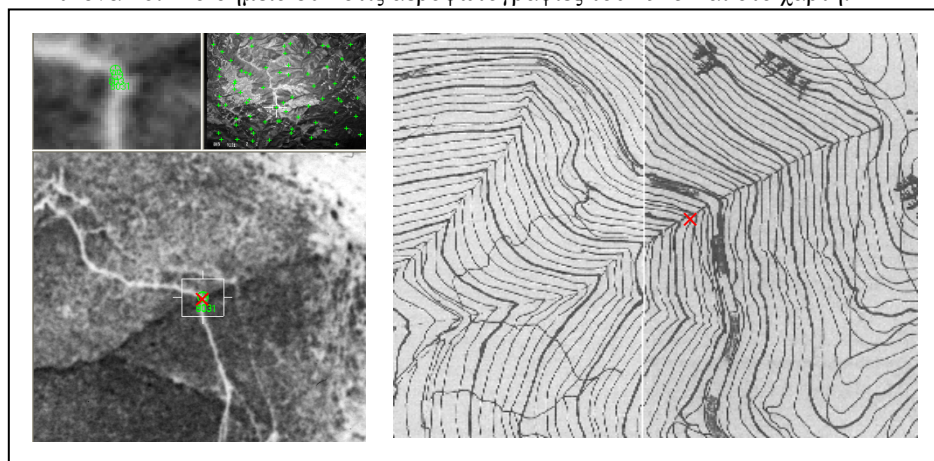
Εικόνα 24: Το σημείο 503 στις δορυφορικές εικόνες, στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



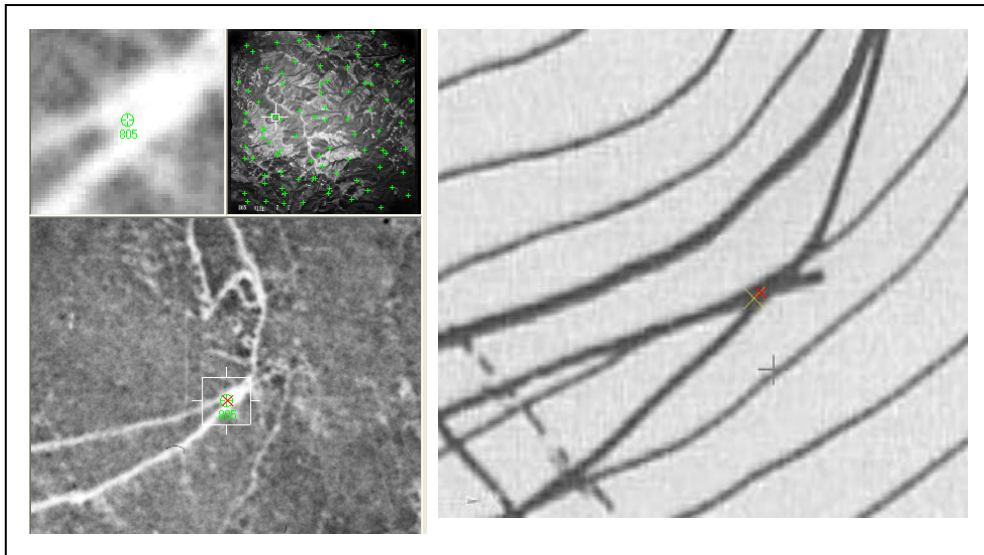
Εικόνα 25: Το σημείο 506 στις δορυφορικές εικόνες και στο χάρτη.



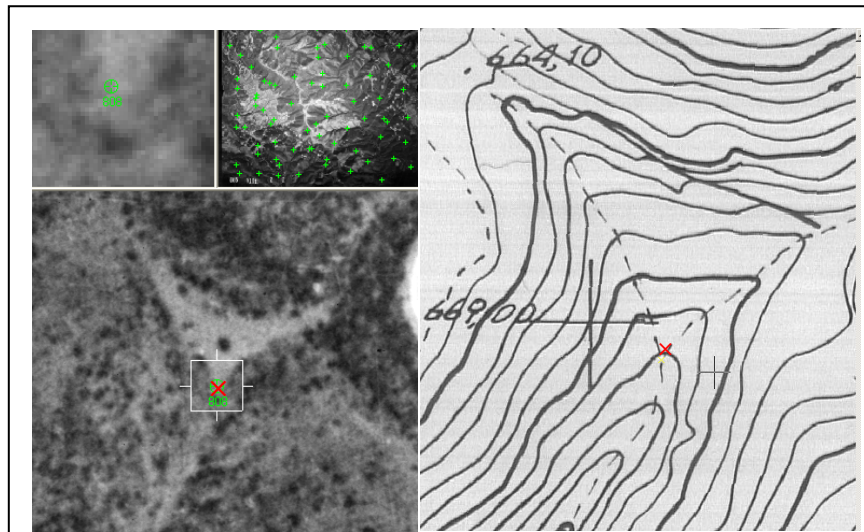
Εικόνα 26: Το σημείο 801 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



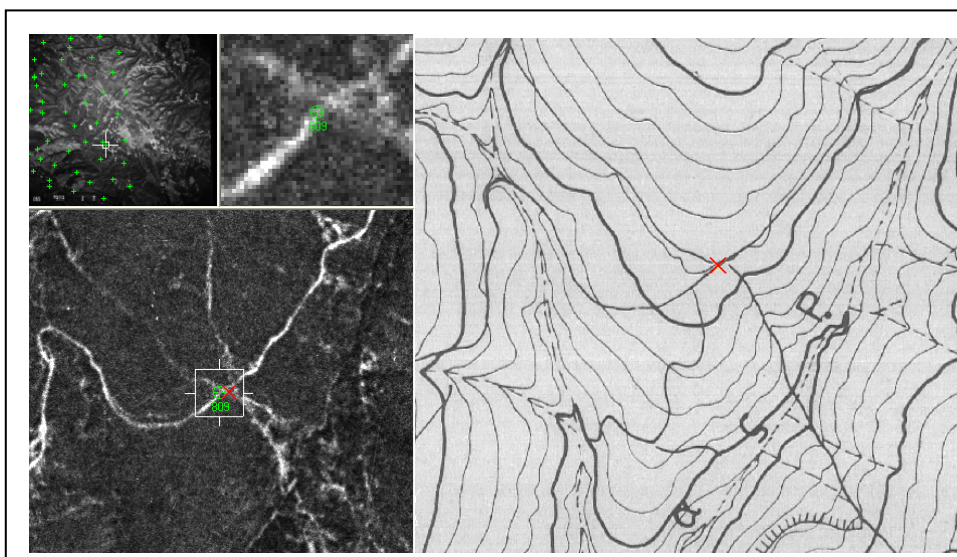
Εικόνα 27: Το σημείο 8031 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



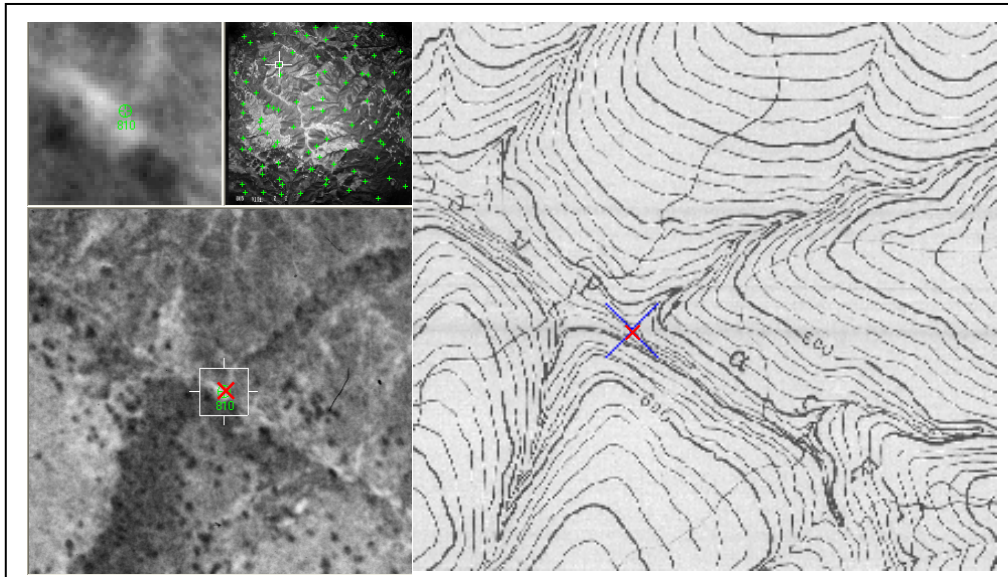
Εικόνα 28: Το σημείο 805 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



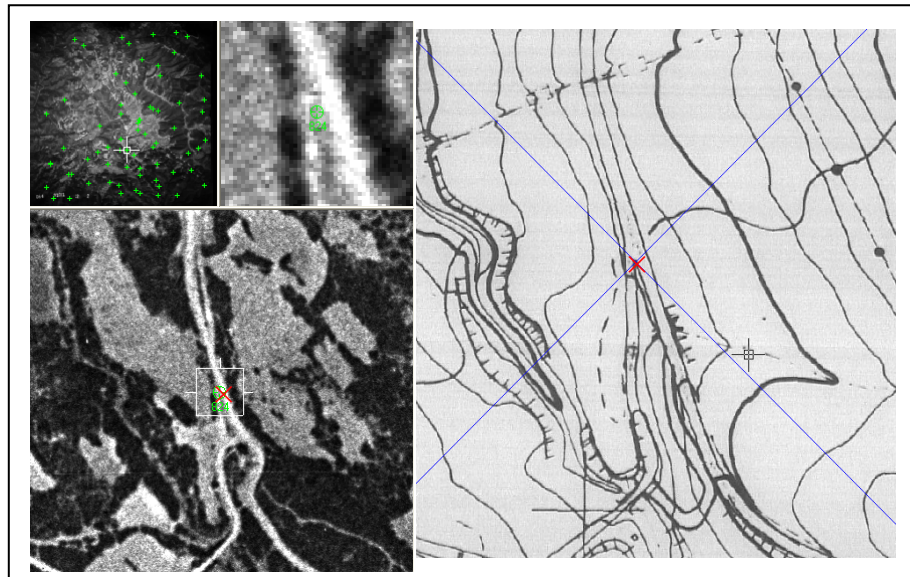
Εικόνα 29: Το σημείο 808 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



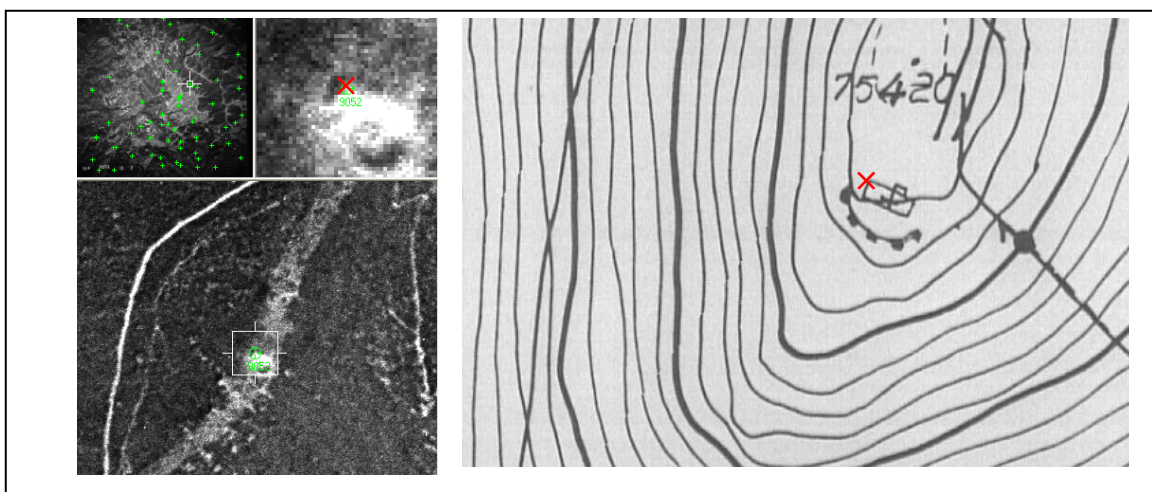
Εικόνα 30: Το σημείο 809 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



Εικόνα 31: Το σημείο 810 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



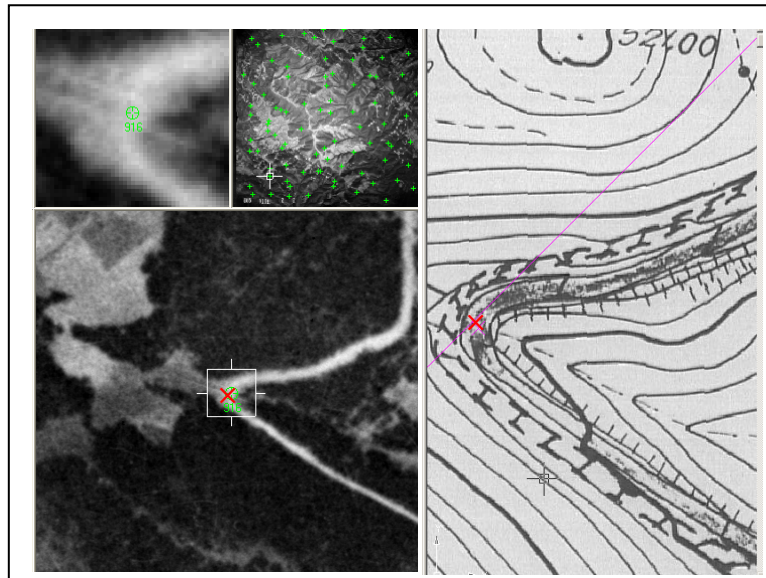
Εικόνα 32: Το σημείο 824 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



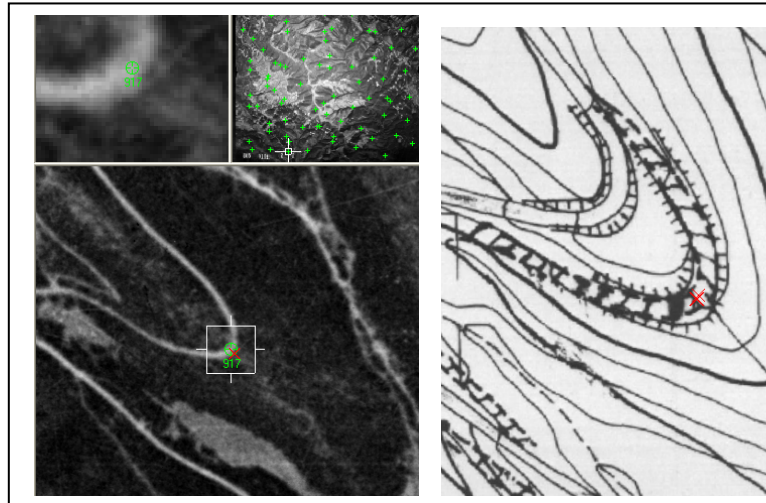
Εικόνα 33: Το σημείο 9052 (γωνία κτίσματος) στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



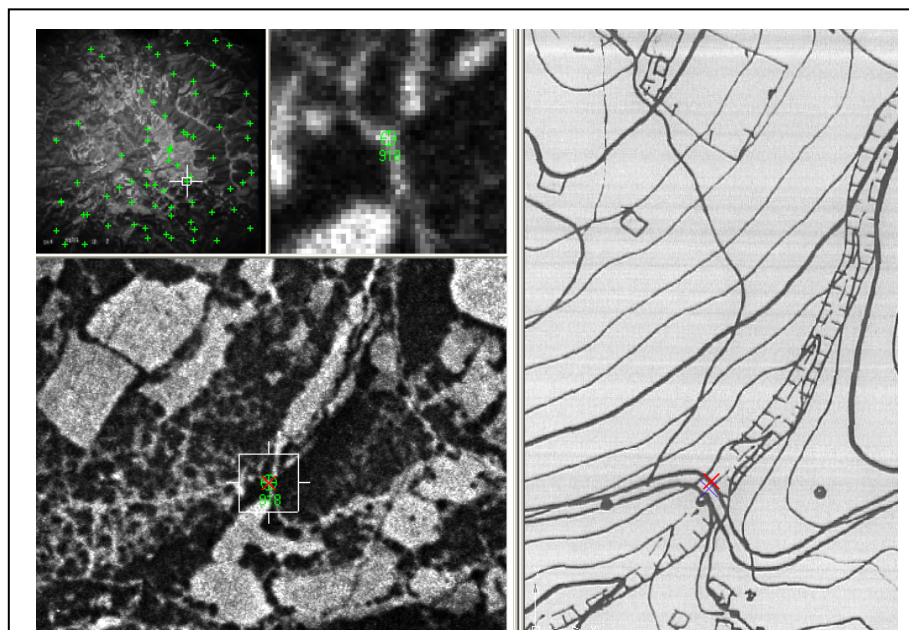
Εικόνα 34: Το σημείο 9062 (γωνία κτίσματος) στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



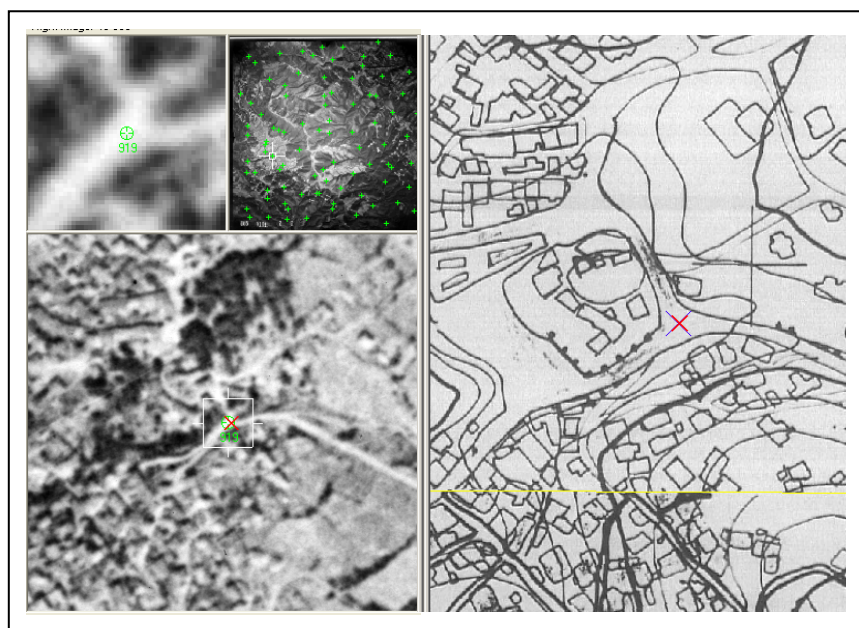
Εικόνα 35: Το σημείο 916 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



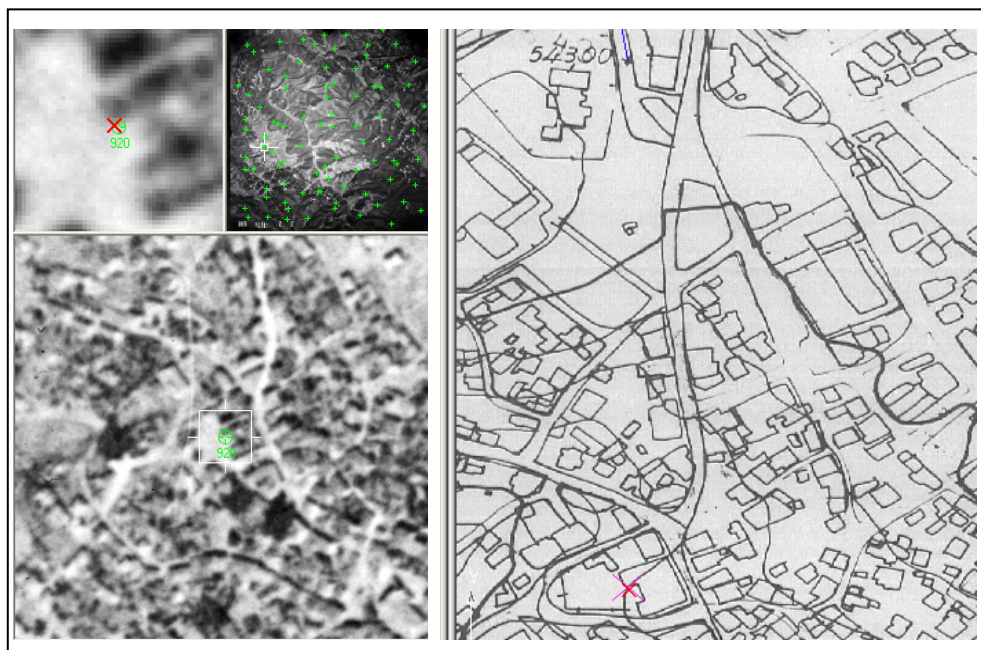
Εικόνα 36: Το σημείο 917 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



Εικόνα 37: Το σημείο 918 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



Εικόνα 38: Το σημείο 919 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.



Εικόνα 39: Το σημείο 920 στις αεροφωτογραφίες του 1945 και στο χάρτη.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΥΣ

ME 13 GCPs ΚΑΙ 4 CHECK POINTS

Triangulation Report With LPS

The output image x, y units: pixels
The output ground X, Y, and their residual units: meters
The output ground Z and its residual units: meters

Input Image Coordinates
Image ID = 1

Point ID	x	y
3	4725.855	6786.419
4	5697.884	6558.045
5	6742.456	6485.424
6	4022.463	7487.832
7	7952.160	6799.566
8	4834.039	7922.391
9	6763.456	7494.262
11	4894.078	8818.321
12	7066.625	8312.875
13	7861.249	7888.657
14	5737.047	7567.836
15	6064.417	8563.987
16	7336.011	5804.147
501	5118.925	6136.501
502	7314.711	5640.024
503	5720.340	7630.413
506	6379.109	8669.785

Initial values of correction parameters
a[0]=139.8
b[0]=-522.35

Image ID = 2

Point ID	x	y
3	4932.997	7206.153
4	5805.023	6878.713
5	6739.765	6751.851
6	4303.613	7910.129
7	7823.132	6891.549
8	5030.357	8280.825
9	6759.476	7778.891
11	5084.086	9140.189
12	7029.541	8470.801
13	7741.430	7959.322
14	5838.553	7859.792
15	6133.097	8812.329
16	7270.588	6012.263
501	5285.362	6488.811
502	7252.153	5854.724
503	5824.183	7922.037
506	6413.819	8879.653

Initial values of correction parameters
a[0]=107.79
b[0]=-673.78

Point ID	Coordinates of control points			Overlap
	X	Y	Z	
3	450552.9110	4472562.4020	662.6730	2
4	452920.0230	4472585.6620	654.9020	2
5	455305.0880	4472180.0960	854.1090	2
6	448579.7640	4471227.1940	397.3490	2
7	457919.4990	4470761.5330	631.4870	2
8	450129.6200	4469713.5260	455.5870	2
9	454698.0080	4469685.9990	918.1540	2
11	449731.5440	4467485.8470	331.4420	2
12	454956.7430	4467524.5330	541.5180	2
13	457043.4420	4468129.2830	513.0540	2
14	452391.9370	4470082.5780	544.6530	2
15	452522.0140	4467458.3100	501.7010	2
16	457094.6530	4473544.9290	856.5000	2

Point ID	Coordinates of check points			Overlap
	X	Y	Z	
501	451895.0040	4473951.4470	559.7310	2
502	457151.9880	4473955.5600	870.1270	2
503	452320.0030	4469940.2660	541.4780	2
506	453178.3550	4467028.8240	467.4620	2

OUTPUT OF BUNDLE BLOCK REFINEMENT

iteration number = 1 unit-weight standard error = 1.7039
 maximum correction of the object points =0.14287

iteration number = 2 unit-weight standard error = 1.7039
 maximum correction of the object points =0.00000

Final adjustment parameters

Image ID = 1
 a[0]=139.78
 b[0]=-522.35
 Image ID = 2
 a[0]=107.81
 b[0]=-673.78

Point ID	Control point residuals		
	rX	rY	rZ
3	5.4829	-1.4171	0.4633
4	2.2824	3.5676	-1.3892
5	3.3185	3.6276	-8.3929
6	-10.4139	7.3864	1.8936
7	2.7656	-6.7969	3.3545
8	-1.3003	2.6479	4.0008
9	2.4452	-1.0435	0.3079
11	-8.2562	-1.2851	3.6185
12	0.6063	-1.7598	-2.9144
13	7.5102	1.0506	-2.7984
14	-0.4392	5.3555	5.9110
15	-3.6489	-0.2318	-0.2221
16	-0.1892	-11.1429	-3.7808

«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων»

meanX	meanY	meanZ
0.0126	-0.0032	0.0040
rmseX	rmseY	rmseZ
4.8717	4.7677	3.7440

Point ID	Check point residuals		
	rX	rY	rZ
501	-4.8908	-1.0356	-3.5812
502	-5.4738	-7.1541	1.0436
503	-3.9120	3.0819	1.1091
506	-3.5410	-2.5694	5.0977

meanX	meanY	meanZ
-4.4544	-1.9193	0.9173
rmseX	rmseY	rmseZ
4.5201	4.1338	3.2066

Point ID	Object point coordinates			Overlap
	X	Y	Z	
3	450558.3939	4472560.9849	663.1363	2
4	452922.3054	4472589.2296	653.5128	2
5	455308.4065	4472183.7236	845.7161	2
6	448569.3501	4471234.5804	399.2426	2
7	457922.2646	4470754.7361	634.8415	2
8	450128.3197	4469716.1739	459.5878	2
9	454700.4532	4469684.9555	918.4619	2
11	449723.2878	4467484.5619	335.0605	2
12	454957.3493	4467522.7732	538.6036	2
13	457050.9522	4468130.3336	510.2556	2
14	452391.4978	4470087.9335	550.5640	2
15	452518.3651	4467458.0782	501.4789	2
16	457094.4638	4473533.7861	852.7192	2
501	451890.1132	4473950.4114	556.1498	2
502	457146.5142	4473948.4059	871.1706	2
503	452316.0910	4469943.3479	542.5871	2
506	453174.8140	4467026.2546	472.5597	2

Total number of object points = 17

Image point residuals

Point	Image	Vx	Vy
3	1	-3.267	-0.013
3	2	-1.295	0.101

Point	Image	Vx	Vy
4	1	-0.136	1.517
4	2	-0.740	1.925

Point	Image	Vx	Vy
5	1	-0.066	1.354
5	2	-0.427	3.546

Point	Image	Vx	Vy
6	1	4.293	1.945
6	2	5.145	0.967

Point	Image	Vx	Vy
7	1	-1.406	-2.214
7	2	-2.774	-2.858

Point	Image	Vx	Vy
8	1	0.032	1.057
8	2	0.936	-0.024
Point	Image	Vx	Vy
9	1	-0.600	-0.164
9	2	-1.636	-0.124
Point	Image	Vx	Vy
11	1	2.561	-1.105
11	2	3.114	-2.336
Point	Image	Vx	Vy
12	1	-0.025	-0.736
12	2	-0.335	0.034
Point	Image	Vx	Vy
13	1	-2.123	0.978
13	2	-3.120	1.981
Point	Image	Vx	Vy
14	1	-0.176	2.249
14	2	0.689	0.701
Point	Image	Vx	Vy
15	1	1.856	-0.436
15	2	0.944	-0.524
Point	Image	Vx	Vy
16	1	-0.715	-4.432
16	2	-0.755	-3.387
Point	Image	Vx	Vy
501	1	1.817	-0.989
501	2	2.425	-0.292
Point	Image	Vx	Vy
502	1	1.771	-3.201
502	2	0.845	-3.610
Point	Image	Vx	Vy
503	1	1.716	0.864
503	2	1.802	0.395
Point	Image	Vx	Vy
506	1	0.683	-1.103
506	2	0.736	-2.493

Control point image residuals

The image ID = 1			
Point	ID	Vx	Vy
	3	-3.267	-0.013
	4	-0.136	1.517
	5	-0.066	1.354
	6	4.293	1.945
	7	-1.406	-2.214
	8	0.032	1.057
	9	-0.600	-0.164
	11	2.561	-1.105

```

12      -0.025      -0.736
13      -2.123       0.978
14      -0.176       2.249
15       1.856      -0.436
16      -0.715      -4.432
meanx=0.017, meany=-0.000
rmsex=1.892, rmsey=1.788

```

```

      The image ID = 2
Point ID      Vx      Vy
3      -1.295      0.101
4      -0.740      1.925
5      -0.427      3.546
6       5.145      0.967
7      -2.774     -2.858
8       0.936     -0.024
9      -1.636     -0.124
11     3.114     -2.336
12     -0.335      0.034
13     -3.120      1.981
14     0.689      0.701
15     0.944     -0.524
16     -0.755     -3.387
meanx=-0.020, meany=0.000
rmsex=2.177, rmsey=1.902

```

```

Total number of all control image points = 26
Total meanx = -0.001, meany = 0.000
Total rmsex = 2.039, rmsey = 1.846

```

Check point image residuals

```

      The image ID = 1
Point ID      Vx      Vy
501     1.817     -0.989
502     1.771     -3.201
503     1.716      0.864
506     0.683     -1.103
meanx=1.496, meany=-1.107
rmsex=1.569, rmsey=1.816

```

```

      The image ID = 2
Point ID      Vx      Vy
501     2.425     -0.292
502     0.845     -3.610
503     1.802      0.395
506     0.736     -2.493
meanx=1.452, meany=-1.500
rmsex=1.611, rmsey=2.207

```

```

Total number of all check image points = 8
Total meanx = 1.474, meany = -1.304
Total rmsex = 1.590, rmsey = 2.021

```

ME 11 GCPs ΚΑΙ 4 CHECK POINTS

Triangulation Report With LPS

The output image x, y units: pixels
 The output ground X, Y, and their residual units: meters
 The output ground Z and its residual units: meters

Input Image Coordinates

Image ID = 1

Point ID	x	y
3	4725.855	6786.419
4	5697.884	6558.045
5	6742.456	6485.424
7	7952.160	6799.566
8	4834.039	7922.391
9	6763.456	7494.262
11	4894.078	8818.321
12	7066.625	8312.875
13	7861.249	7888.657
14	5737.047	7567.836
15	6064.417	8563.987
501	5118.925	6136.501
502	7314.711	5640.024
503	5720.340	7630.413
506	6379.109	8669.785

Initial values of correction parameters

a[0]=139.8
 b[0]=-522.35

Image ID = 2

Point ID	x	y
3	4932.997	7206.153
4	5805.023	6878.713
5	6739.765	6751.851
7	7823.132	6891.549
8	5030.357	8280.825
9	6759.476	7778.891
11	5084.086	9140.189
12	7029.541	8470.801
13	7741.430	7959.322
14	5838.553	7859.792
15	6133.097	8812.329
501	5285.362	6488.811
502	7252.153	5854.724
503	5824.183	7922.037
506	6413.819	8879.653

Initial values of correction parameters

a[0]=107.79
 b[0]=-673.78

Coordinates of control points

Point ID	X	Y	Z	Overlap
3	450552.9110	4472562.4020	662.6730	2
5	455305.0880	4472180.0960	854.1090	2
7	457919.4990	4470761.5330	631.4870	2
8	450129.6200	4469713.5260	455.5870	2

11	449731.5440	4467485.8470	331.4420	2
12	454956.7430	4467524.5330	541.5180	2
14	452391.9370	4470082.5780	544.6530	2
501	451895.0040	4473951.4470	559.7310	2
502	457151.9880	4473955.5600	870.1270	2
503	452320.0030	4469940.2660	541.4780	2
506	453178.3550	4467028.8240	467.4620	2

Point ID	Coordinates of check points			Overlap
	X	Y	Z	
9	454698.0080	4469685.9990	918.1540	2
13	457043.4420	4468129.2830	513.0540	2
4	452920.0230	4472585.6620	654.9020	2
15	452522.0140	4467458.3100	501.7010	2

OUTPUT OF BUNDLE BLOCK REFINEMENT

iteration number = 1 unit-weight standard error = 1.4534
 maximum correction of the object points =1.34024

iteration number = 2 unit-weight standard error = 1.4534
 maximum correction of the object points =0.00000

Final adjustment parameters

Image ID = 1
 a[0]=140.27
 b[0]=-522.7
 Image ID = 2
 a[0]=108.16
 b[0]=-674.41

Point ID	Control point residuals		
	rX	rY	rZ
3	6.9023	-0.7523	-0.4197
5	4.7473	4.2900	-9.2735
7	4.2007	-6.1361	2.4756
8	0.1200	3.3125	3.1181
11	-6.8354	-0.6208	2.7359
12	2.0373	-1.0980	-3.7944
14	0.9853	6.0189	5.0294
501	-3.4693	-0.3713	-4.4636
502	-4.0423	-6.4924	0.1637
503	-2.4876	3.7453	0.2274
506	-2.1133	-1.9068	4.2169
	meanX	meanY	meanZ
	0.0041	-0.0010	0.0014
	rmseX	rmseY	rmseZ
	4.0307	3.8773	4.1229

Point ID	Check point residuals		
	rX	rY	rZ
9	3.8740	-0.3812	-0.5728
13	8.9451	1.7114	-3.6773
4	3.7065	4.2312	-2.2709
15	-2.2227	0.4312	-1.1033

«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων»

meanX	meanY	meanZ
3.5757	1.4982	-1.9061
rmseX	rmseY	rmseZ
5.3315	2.3002	2.2486

Point ID	Object point coordinates			Overlap
	X	Y	Z	
3	450559.8133	4472561.6497	662.2533	2
5	455309.8353	4472184.3860	844.8355	2
7	457923.6997	4470755.3969	633.9626	2
8	450129.7400	4469716.8385	458.7051	2
11	449724.7086	4467485.2262	334.1779	2
12	454958.7803	4467523.4350	537.7236	2
14	452392.9223	4470088.5969	549.6824	2
501	451891.5347	4473951.0757	555.2674	2
502	457147.9457	4473949.0676	870.2907	2
503	452317.5154	4469944.0113	541.7054	2
506	453176.2417	4467026.9172	471.6789	2
9	454701.8820	4469685.6178	917.5812	2
13	457052.3871	4468130.9944	509.3767	2
4	452923.7295	4472589.8932	652.6311	2
15	452519.7913	4467458.7412	500.5977	2

Total number of object points = 15

Image point residuals

Point	Image	Vx	Vy
3	1	-3.749	0.337
3	2	-1.646	0.722
5	1	-0.548	1.704
5	2	-0.778	4.167
7	1	-1.887	-1.864
7	2	-3.125	-2.237
8	1	-0.450	1.407
8	2	0.585	0.597
11	1	2.079	-0.755
11	2	2.763	-1.715
12	1	-0.507	-0.386
12	2	-0.686	0.655
14	1	-0.657	2.598
14	2	0.338	1.321
501	1	1.335	-0.639
501	2	2.074	0.328
502	1	1.289	-2.851
502	2	0.494	-2.990

Point	Image	Vx	Vy
503	1	1.234	1.213
503	2	1.451	1.015
Point	Image	Vx	Vy
506	1	0.201	-0.753
506	2	0.385	-1.872
Point	Image	Vx	Vy
9	1	-1.082	0.185
9	2	-1.987	0.497
Point	Image	Vx	Vy
13	1	-2.605	1.327
13	2	-3.471	2.602
Point	Image	Vx	Vy
4	1	-0.618	1.867
4	2	-1.091	2.546
Point	Image	Vx	Vy
15	1	1.375	-0.086
15	2	0.594	0.096

Control point image residuals

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
3	-3.749	0.337
5	-0.548	1.704
7	-1.887	-1.864
8	-0.450	1.407
11	2.079	-0.755
12	-0.507	-0.386
14	-0.657	2.598
501	1.335	-0.639
502	1.289	-2.851
503	1.234	1.213
506	0.201	-0.753

meanx=-0.151, meany=0.001
rmsex=1.599, rmsey=1.553

The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
3	-1.646	0.722
5	-0.778	4.167
7	-3.125	-2.237
8	0.585	0.597
11	2.763	-1.715
12	-0.686	0.655
14	0.338	1.321
501	2.074	0.328
502	0.494	-2.990
503	1.451	1.015
506	0.385	-1.872

meanx=0.169, meany=-0.001
rmsex=1.608, rmsey=1.953

Total number of all control image points = 22
Total meanx = 0.009, meany = -0.000
Total rmsex = 1.604, rmsey = 1.764

Check point image residuals

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
9	-1.082	0.185
13	-2.605	1.327
4	-0.618	1.867
15	1.375	-0.086

meanx=-0.733, meany=0.823
rmsex=1.599, rmsey=1.150

The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
9	-1.987	0.497
13	-3.471	2.602
4	-1.091	2.546
15	0.594	0.096

meanx=-1.489, meany=1.435
rmsex=2.094, rmsey=1.837

Total number of all check image points = 8
Total meanx = -1.111, meany = 1.129
Total rmsex = 1.863, rmsey = 1.533

ME 6 GCPs KAI 9 CHECK POINTS

Triangulation Report With LPS

The output image x, y units: pixels
 The output ground X, Y, and their residual units: meters
 The output ground Z and its residual units: meters

Input Image Coordinates

Image ID = 1

Point ID	x	y
3	4725.855	6786.419
4	5697.884	6558.045
5	6742.456	6485.424
7	7952.160	6799.566
8	4834.039	7922.391
9	6763.456	7494.262
11	4894.078	8818.321
12	7066.625	8312.875
13	7861.249	7888.657
14	5737.047	7567.836
15	6064.417	8563.987
501	5118.925	6136.501
502	7314.711	5640.024
503	5720.340	7630.413
506	6379.109	8669.785

Initial values of correction parameters

a[0]=139.8
 b[0]=-522.35

Image ID = 2

Point ID	x	y
3	4932.997	7206.153
4	5805.023	6878.713
5	6739.765	6751.851
7	7823.132	6891.549
8	5030.357	8280.825
9	6759.476	7778.891
11	5084.086	9140.189
12	7029.541	8470.801
13	7741.430	7959.322
14	5838.553	7859.792
15	6133.097	8812.329
501	5285.362	6488.811
502	7252.153	5854.724
503	5824.183	7922.037
506	6413.819	8879.653

Initial values of correction parameters

a[0]=107.79
 b[0]=-673.78

Coordinates of control points

Point ID	X	Y	Z	Overlap
11	449731.5440	4467485.8470	331.4420	2
12	454956.7430	4467524.5330	541.5180	2
501	451895.0040	4473951.4470	559.7310	2
502	457151.9880	4473955.5600	870.1270	2

503	452320.0030	4469940.2660	541.4780	2
506	453178.3550	4467028.8240	467.4620	2

Point ID	Coordinates of check points			Overlap
	X	Y	Z	
3	450552.9110	4472562.4020	662.6730	2
4	452920.0230	4472585.6620	654.9020	2
13	457043.4420	4468129.2830	513.0540	2
14	452391.9370	4470082.5780	544.6530	2
15	452522.0140	4467458.3100	501.7010	2
5	455305.0880	4472180.0960	854.1090	2
7	457919.4990	4470761.5330	631.4870	2
8	450129.6200	4469713.5260	455.5870	2
9	454698.0080	4469685.9990	918.1540	2

OUTPUT OF BUNDLE BLOCK REFINEMENT

iteration number = 1 unit-weight standard error = 0.8144
 maximum correction of the object points =4.46816

iteration number = 2 unit-weight standard error = 0.8144
 maximum correction of the object points =0.00000

Final adjustment parameters

Image ID = 1
 a[0]=141.32
 b[0]=-523.4
 Image ID = 2
 a[0]=109.1
 b[0]=-675.17

Point ID	Control point residuals		
	rX	rY	rZ
11	-4.0164	0.5031	2.8886
12	4.8615	0.0246	-3.6389
501	-0.6505	0.7528	-4.3108
502	-1.2187	-5.3695	0.3193
503	0.3329	4.8689	0.3810
506	0.7093	-0.7838	4.3715
	meanX	meanY	meanZ
	0.0030	-0.0007	0.0018
	rmseX	rmseY	rmseZ
	2.6548	2.9992	3.1497

Point ID	Check point residuals		
	rX	rY	rZ
3	9.7195	0.3721	-0.2675
4	6.5265	5.3549	-2.1174
13	11.7717	2.8335	-3.5207
14	3.8058	7.1425	5.1830
15	0.5989	1.5544	-0.9492
5	7.5694	5.4132	-9.1187
7	7.0270	-5.0140	2.6322
8	2.9384	4.4365	3.2706
9	6.6958	0.7421	-0.4180

«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων»

meanX	meanY	meanZ
6.2948	2.5372	-0.5895
rmseX	rmseY	rmseZ
7.0759	4.2811	4.0231

Point ID	Object point coordinates			Overlap
	X	Y	Z	
11	449727.5276	4467486.3501	334.3306	2
12	454961.6045	4467524.5576	537.8791	2
501	451894.3535	4473952.1998	555.4202	2
502	457150.7693	4473950.1905	870.4463	2
503	452320.3359	4469945.1349	541.8590	2
506	453179.0643	4467028.0402	471.8335	2
3	450562.6305	4472562.7741	662.4055	2
4	452926.5495	4472591.0169	652.7846	2
13	457055.2137	4468132.1165	509.5333	2
14	452395.7428	4470089.7205	549.8360	2
15	452522.6129	4467459.8644	500.7518	2
5	455312.6574	4472185.5092	844.9903	2
7	457926.5260	4470756.5190	634.1192	2
8	450132.5584	4469717.9625	458.8576	2
9	454704.7038	4469686.7411	917.7360	2

Total number of object points = 15

Image point residuals

Point	Image	Vx	Vy
11	1	1.021	-0.059
11	2	1.817	-0.953
12	1	-1.565	0.310
12	2	-1.633	1.417
501	1	0.277	0.057
501	2	1.127	1.091
502	1	0.231	-2.155
502	2	-0.452	-2.227
503	1	0.176	1.909
503	2	0.505	1.778
506	1	-0.857	-0.057
506	2	-0.562	-1.110
3	1	-4.807	1.033
3	2	-2.593	1.484
4	1	-1.676	2.563
4	2	-2.038	3.308
13	1	-3.663	2.023
13	2	-4.417	3.364

Point	Image	Vx	Vy
14	1	-1.715	3.294
14	2	-0.609	2.084
Point	Image	Vx	Vy
15	1	0.317	0.610
15	2	-0.353	0.859
Point	Image	Vx	Vy
5	1	-1.606	2.400
5	2	-1.725	4.929
Point	Image	Vx	Vy
7	1	-2.945	-1.168
7	2	-4.072	-1.475
Point	Image	Vx	Vy
8	1	-1.508	2.103
8	2	-0.362	1.359
Point	Image	Vx	Vy
9	1	-2.140	0.881
9	2	-2.934	1.259

Control point image residuals

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
11	1.021	-0.059
12	-1.565	0.310
501	0.277	0.057
502	0.231	-2.155
503	0.176	1.909
506	-0.857	-0.057
meanx=-0.120, meany=0.001		
rmsex=0.855, rmsey=1.183		

The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
11	1.817	-0.953
12	-1.633	1.417
501	1.127	1.091
502	-0.452	-2.227
503	0.505	1.778
506	-0.562	-1.110
meanx=0.134, meany=-0.001		
rmsex=1.156, rmsey=1.498		

Total number of all control image points = 12
 Total meanx = 0.007, meany = -0.000
 Total rmsex = 1.017, rmsey = 1.350

Check point image residuals

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
3	-4.807	1.033
4	-1.676	2.563

```
13      -3.663      2.023
14      -1.715      3.294
15       0.317      0.610
 5      -1.606      2.400
 7      -2.945     -1.168
 8      -1.508      2.103
 9      -2.140      0.881
meanx=-2.194, meany=1.526
rmsex=2.592, rmsey=1.980
```

```
      The image ID = 2
Point ID      Vx      Vy
 3      -2.593      1.484
 4      -2.038      3.308
13      -4.417      3.364
14      -0.609      2.084
15      -0.353      0.859
 5      -1.725      4.929
 7      -4.072     -1.475
 8      -0.362      1.359
 9      -2.934      1.259
meanx=-2.122, meany=1.908
rmsex=2.564, rmsey=2.570
```

```
Total number of all check image points = 18
Total meanx = -2.158, meany = 1.717
Total rmsex = 2.578, rmsey = 2.294
```


ME 3 GCPs KAI 12 CHECK POINTS

Triangulation Report With LPS

The output image x, y units: pixels
 The output ground X, Y, and their residual units: meters
 The output ground Z and its residual units: meters

Input Image Coordinates

Image ID = 1		
Point ID	x	y
3	4725.855	6786.419
4	5697.884	6558.045
5	6742.456	6485.424
7	7952.160	6799.566
8	4834.039	7922.391
9	6763.456	7494.262
11	4894.078	8818.321
12	7066.625	8312.875
13	7861.249	7888.657
14	5737.047	7567.836
15	6064.417	8563.987
501	5118.925	6136.501
502	7314.711	5640.024
503	5720.340	7630.413
506	6379.109	8669.785

Initial values of correction parameters

a[0]=139.8
 b[0]=-522.35

Image ID = 2		
Point ID	x	y
3	4932.997	7206.153
4	5805.023	6878.713
5	6739.765	6751.851
7	7823.132	6891.549
8	5030.357	8280.825
9	6759.476	7778.891
11	5084.086	9140.189
12	7029.541	8470.801
13	7741.430	7959.322
14	5838.553	7859.792
15	6133.097	8812.329
501	5285.362	6488.811
502	7252.153	5854.724
503	5824.183	7922.037
506	6413.819	8879.653

Initial values of correction parameters

a[0]=107.79
 b[0]=-673.78

Coordinates of control points				
Point ID	X	Y	Z	Overlap
7	457919.4990	4470761.5330	631.4870	2
501	451895.0040	4473951.4470	559.7310	2
506	453178.3550	4467028.8240	467.4620	2

Point ID	Coordinates of check points			Overlap
	X	Y	Z	
3	450552.9110	4472562.4020	662.6730	2
8	450129.6200	4469713.5260	455.5870	2
9	454698.0080	4469685.9990	918.1540	2
11	449731.5440	4467485.8470	331.4420	2
12	454956.7430	4467524.5330	541.5180	2
13	457043.4420	4468129.2830	513.0540	2
14	452391.9370	4470082.5780	544.6530	2
15	452522.0140	4467458.3100	501.7010	2
4	452920.0230	4472585.6620	654.9020	2
502	457151.9880	4473955.5600	870.1270	2
503	452320.0030	4469940.2660	541.4780	2
5	455305.0880	4472180.0960	854.1090	2

OUTPUT OF BUNDLE BLOCK REFINEMENT

iteration number = 1 unit-weight standard error = 0.6999
 maximum correction of the object points =3.50032

iteration number = 2 unit-weight standard error = 0.6999
 maximum correction of the object points =0.00000

Final adjustment parameters

Image ID = 1
 a[0]=140.09
 b[0]=-523.79
 Image ID = 2
 a[0]=108
 b[0]=-675.67

Point ID	Control point residuals		
	rX	rY	rZ
7	4.6589	-3.3305	1.7349
501	-3.0178	2.4360	-5.2052
506	-1.6587	0.8998	3.4757
meanX meanY meanZ			
-0.0059 0.0018 0.0018			
rmseX rmseY rmseZ			
3.3449 2.4383 3.7498			

Point ID	Check point residuals		
	rX	rY	rZ
3	7.3530	2.0551	-1.1614
8	0.5709	6.1199	2.3764
9	4.3297	2.4251	-1.3139
11	-6.3844	2.1867	1.9943
12	2.4935	1.7082	-4.5353
13	9.4031	4.5172	-4.4181
14	1.4384	8.8259	4.2880
15	-1.7689	3.2380	-1.8446
4	4.1594	7.0381	-3.0124
502	-3.5854	-3.6864	-0.5772
503	-2.0346	6.5523	-0.5140
5	5.2029	7.0963	-10.0146

«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων»

meanX	meanY	meanZ
1.7648	4.0063	-1.5611
rmseX	rmseY	rmseZ
4.7880	5.1677	3.9215

Point ID	Object point coordinates			Overlap
	X	Y	Z	
7	457924.1579	4470758.2025	633.2219	2
501	451891.9862	4473953.8830	554.5258	2
506	453176.6963	4467029.7238	470.9377	2
3	450560.2640	4472564.4571	661.5116	2
8	450130.1909	4469719.6459	457.9634	2
9	454702.3377	4469688.4241	916.8401	2
11	449725.1596	4467488.0337	333.4363	2
12	454959.2365	4467526.2412	536.9827	2
13	457052.8451	4468133.8002	508.6359	2
14	452393.3754	4470091.4039	548.9410	2
15	452520.2451	4467461.5480	499.8564	2
4	452924.1824	4472592.7001	651.8896	2
502	457148.4026	4473951.8736	869.5498	2
503	452317.9684	4469946.8183	540.9640	2
5	455310.2909	4472187.1923	844.0944	2

Total number of object points = 15

Image point residuals

Point	Image	Vx	Vy
7	1	-1.712	-0.779
7	2	-2.968	-0.977

Point	Image	Vx	Vy
501	1	1.510	0.446
501	2	2.232	1.589

Point	Image	Vx	Vy
506	1	0.376	0.332
506	2	0.543	-0.612

Point	Image	Vx	Vy
3	1	-3.574	1.422
3	2	-1.488	1.982

Point	Image	Vx	Vy
8	1	-0.275	2.492
8	2	0.743	1.857

Point	Image	Vx	Vy
9	1	-0.907	1.271
9	2	-1.829	1.758

Point	Image	Vx	Vy
11	1	2.254	0.331
11	2	2.921	-0.455

Point	Image	Vx	Vy
12	1	-0.332	0.700
12	2	-0.528	1.916

Point	Image	Vx	Vy
13	1	-2.430	2.413
13	2	-3.313	3.862

Point	Image	Vx	Vy
14	1	-0.482	3.684
14	2	0.496	2.582
Point	Image	Vx	Vy
15	1	1.549	0.999
15	2	0.751	1.357
Point	Image	Vx	Vy
4	1	-0.443	2.952
4	2	-0.933	3.806
Point	Image	Vx	Vy
502	1	1.464	-1.766
502	2	0.652	-1.729
Point	Image	Vx	Vy
503	1	1.409	2.299
503	2	1.609	2.276
Point	Image	Vx	Vy
5	1	-0.373	2.789
5	2	-0.620	5.427

Control point image residuals

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
7	-1.712	-0.779
501	1.510	0.446
506	0.376	0.332
meanx=0.058, meany=-0.000		
rmsex=1.336, rmsey=0.552		

The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
7	-2.968	-0.977
501	2.232	1.589
506	0.543	-0.612
meanx=-0.065, meany=0.000		
rmsex=2.167, rmsey=1.133		

Total number of all control image points = 6
 Total meanx = -0.003, meany = 0.000
 Total rmsex = 1.800, rmsey = 0.892

Check point image residuals

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
3	-3.574	1.422
8	-0.275	2.492
9	-0.907	1.271
11	2.254	0.331
12	-0.332	0.700
13	-2.430	2.413
14	-0.482	3.684
15	1.549	0.999

```
4      -0.443      2.952
502     1.464     -1.766
503     1.409     2.299
5      -0.373     2.789
meanx=-0.179, meany=1.632
rmsex=1.630, rmsey=2.155
```

```
      The image ID = 2
Point ID      Vx      Vy
3      -1.488     1.982
8       0.743     1.857
9      -1.829     1.758
11     2.921    -0.455
12     -0.528     1.916
13     -3.313     3.862
14     0.496     2.582
15     0.751     1.357
4      -0.933     3.806
502     0.652    -1.729
503     1.609     2.276
5      -0.620     5.427
meanx=-0.128, meany=2.053
rmsex=1.607, rmsey=2.737
```

```
Total number of all check image points = 24
Total meanx = -0.153, meany = 1.843
Total rmsex = 1.618, rmsey = 2.463
```

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΤΟΥ 1945

ME 6 GCPs ΚΑΙ 14 CHECK POINTS

The Triangulation Report With LPS

The output image x, y units: pixels
The output angle unit: degrees
The output ground X, Y, Z units: meters

The Input Image Coordinates

image ID = 2

Point ID	x	y
501	1468.818	1514.834
502	7735.094	1180.318
503	2045.433	6258.498
45	8446.294	3438.432
46	8405.337	5018.018
48	5979.168	7250.582
50	8113.677	7393.030
51	10506.010	7330.895
57	5992.580	9637.048
60	8288.489	9774.452
67	1093.718	1158.356
68	3284.780	3458.310
71	1016.425	5154.821
75	3159.295	5558.534
76	1017.498	5699.845
78	1072.118	7208.390
82	3102.042	7440.251
88	5436.255	7701.708
89	1000.860	7866.781
99	3394.867	9978.127
100	4001.014	2102.451
101	623.527	3319.269
102	1794.172	4534.730
103	2284.430	2500.361
104	2906.420	980.696
105	4834.861	1123.292
106	5496.234	3430.630
107	4211.513	5071.162
108	4018.669	6556.876
109	4170.771	9145.332
110	2175.786	8904.956
111	1010.573	9943.869
112	5971.554	9937.079
113	4454.140	10509.958
114	2238.991	10414.555
115	5795.372	4888.144
116	5961.410	1360.064
117	9288.129	1079.761
118	7112.612	2422.445
119	5884.125	3243.743
120	7140.296	3924.314
121	7080.894	5524.460
122	8820.566	2310.156
123	8907.822	6275.954
124	7519.357	6419.927

«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων»

125	7151.790	7907.647
126	8997.260	8405.008
127	6428.653	8739.854
128	7630.608	9171.773
129	7340.768	10294.270
130	5447.020	2372.326
131	5166.709	5404.482
132	5558.271	3951.665
133	5023.827	9040.888
134	10382.454	2074.564
135	10018.159	3296.152
136	9441.177	4413.033
137	10246.116	5739.328
138	10852.547	4463.205
139	9170.682	7398.289
140	10391.179	8696.226
141	9694.220	9614.598
142	10693.110	10055.049
143	9033.687	10763.749
144	6574.082	602.242
145	8589.013	350.955
146	5332.699	620.770
182	5577.494	8325.175
185	3166.366	8690.360
801	1225.621	3866.658
805	2810.791	5438.015
808	4210.669	859.733
809	9369.166	7563.177
810	3172.052	2856.182
41	4222.084	5066.655
5	5486.638	3440.124
916	2179.789	9341.587
9052	2563.887	5289.321
9062	2112.469	6078.147
917	3319.237	10529.152
824	1451.629	7833.700
14	2121.524	6095.481
918	2917.378	7661.025
919	2472.892	6885.415
920	2066.981	6685.546
8031	4908.125	8033.125

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-117.1873	0.020996	-0.000055	120.7740	-0.000060	-0.020992

image ID = 1

Point ID	x	y
501	6182.456	1503.824
503	6741.962	6258.533
67	5754.301	1144.266
68	8060.021	3451.500
71	5718.526	5152.612
75	7926.976	5557.474
76	5688.096	5698.442
78	5685.006	7210.725
82	7809.492	7444.661
88	10293.980	7711.856
89	5638.712	7871.358
99	8002.901	9991.521
100	8879.124	2091.513

«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων»

101	5391.181	3312.616
102	6564.946	4530.491
103	6993.139	2491.733
104	7633.276	968.313
105	9682.793	1108.175
106	10472.475	3420.202
107	9184.669	5068.422
108	8899.565	6557.415
109	8845.772	9154.545
110	6836.063	8911.400
111	5565.470	9958.213
112	10674.737	9951.758
113	9029.745	10525.192
48	10738.499	7253.268
114	6859.587	10427.846
115	10644.173	4884.282
185	7857.994	8697.020
147	2304.468	7736.675
148	1503.674	8663.265
155	2605.149	9318.320
149	1282.765	10043.944
156	2640.433	10758.830
161	3815.545	9819.967
178	4904.748	8706.219
179	4907.816	7686.050
174	5047.418	9764.740
177	6055.314	8873.435
180	6500.200	8152.413
176	6586.109	10226.501
801	6036.625	3862.970
805	7618.351	5434.241
808	8998.169	853.680
810	7905.326	2849.906
41	9192.518	5063.472
5	10464.983	3425.853
916	6828.192	9351.413
9052	7433.841	5288.985
9062	6813.077	6077.750
917	7900.878	10545.346
824	6072.326	7835.547
14	6821.207	6092.628
918	7603.030	7667.001
919	7161.746	6885.944
920	6754.708	6686.213
8031	9735.125	8041.375

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-117.5787	0.021003	-0.000018	120.6763	-0.000024	-0.021002

image ID = 3

Point ID	x	y
502	2720.417	1241.687
45	3584.722	3449.324
46	3635.469	5031.661
48	1346.768	7311.440
50	3593.586	7399.631
51	5943.546	7282.688
57	1475.390	9684.561
60	3830.516	9774.465
115	1026.477	4963.427

88	720.077	7779.663
112	1443.544	9983.926
116	1116.938	1460.547
117	4428.355	1098.629
118	2188.454	2484.390
119	1010.861	3333.005
120	2369.901	3970.814
121	2394.007	5564.876
122	3949.798	2335.742
123	4298.369	6270.195
124	2945.996	6446.014
125	2624.002	7937.406
126	4522.231	8390.241
127	1756.153	8784.811
128	3095.237	9188.581
129	2885.287	10313.415
130	555.563	2475.801
131	341.513	5491.103
132	678.098	4039.291
133	482.130	9112.757
134	5602.205	2054.222
135	5212.632	3284.466
136	4683.876	4405.636
137	5528.860	5705.454
138	6012.441	4423.091
139	4612.006	7380.022
140	5887.183	8650.066
141	5227.006	9582.321
142	6247.559	10010.460
143	4707.490	10759.960
144	1638.646	699.205
145	3531.904	398.378
146	453.820	745.407
182	938.774	8395.199
809	4813.648	7541.325
106	572.026	3525.058
5	563.370	3537.069
8031	227.356	8113.547

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-117.5411	0.021004	-0.000015	120.6995	-0.000022	-0.021002

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

the no. of iteration =1 the standard error = 5.5364
the maximal correction of the object points = 32.10704

the no. of iteration =2 the standard error = 5.5377
the maximal correction of the object points = 0.21389

the no. of iteration =3 the standard error = 5.5377
the maximal correction of the object points = 0.00180

the no. of iteration =4 the standard error = 5.5377
the maximal correction of the object points = 0.00003

«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων»

The exterior orientation parameters

image ID	Xs	Ys	Zs	OMEGA	PHI	KAPPA
2	455367.9206	4470331.1743	6737.6405	-0.0545	0.1022	-0.8115
1	451358.6214	4470390.2161	6718.0494	-0.0093	0.0157	-0.8700
3	459367.6482	4470209.0630	6742.5995	0.1428	0.3977	-2.2801

The interior orientation parameters of photos

image ID	f (mm)	xo (mm)	yo (mm)
2	153.0000	0.0000	0.0000
1	153.0000	0.0000	0.0000
3	153.0000	0.0000	0.0000

The residuals of the control points

Point ID	rX	rY	rZ
501	10.7868	22.7758	-19.2856
502	-10.5708	9.4605	-9.2132
503	-1.7342	-8.1678	-18.9967
809	-2.3360	-7.4664	-12.7502
5	-2.7644	4.9250	-6.6598
916	0.4590	-19.8445	-21.0882

	aX	aY	aZ
	-1.0266	0.2805	-14.6656
	mX	mY	mZ
	6.3825	13.8369	15.6489

The residuals of the check points

Point ID	rX	rY	rZ
808	-10.4600	15.4990	-10.1184
41	-6.6685	-9.0456	-8.4800
810	-4.1183	-1.7339	-8.9563
801	-2.5856	-8.4420	-17.2556
805	-12.1504	-12.2993	-16.2576
917	7.6516	-25.3461	-20.7310
9052	-3.8553	-8.3613	-13.9045
9062	-0.4947	-9.3732	-17.5054
824	-0.1594	-16.6755	-25.2428
14	-4.6063	-11.3180	-18.7465
918	-1.7152	-32.0853	-20.2313
919	-6.7213	-20.3415	-20.1090
920	-0.5057	-11.8559	-16.5679
8031	3.4217	-14.0617	-12.9692

	aX	aY	aZ
	-3.0691	-11.8172	-16.2197
	mX	mY	mZ
	5.8563	15.8913	16.8843

The coordinates of object points

Point ID	X	Y	Z	Overlap
501	451895.0040	4473951.4470	559.7310	2
502	457151.9880	4473955.5600	870.1270	2
503	452320.0030	4469940.2660	541.4780	2
809	458584.4900	4468704.9750	464.0000	2
5	455305.0880	4472180.0960	854.1090	3
916	452358.5220	4467289.6660	483.7540	2
808	454262.9860	4474433.2570	621.3616	2
41	454256.0285	4470886.3224	850.6620	2
810	453342.0967	4472801.2701	559.0437	2
801	451741.8124	4471943.1740	670.7444	2
805	453036.6596	4470615.1987	659.7424	2

«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων»

917	453292.9276	4466166.2419	366.1990	2
9052	452865.3937	4470735.6967	738.3975	2
9062	452380.4353	4470085.1468	527.1476	2
824	451732.9446	4468571.1375	427.5832	2
14	452387.3307	4470071.2600	525.9065	2
918	453035.9648	4468717.9227	505.0647	2
919	452669.1327	4469390.0055	510.7570	2
920	452324.9913	4469566.3671	511.4321	2
8031	454752.8807	4468424.5303	675.0308	3
45	457735.8448	4472182.7817	729.8064	2
46	457707.0690	4470884.5550	661.1941	2
48	455661.1002	4469041.5390	580.0349	3
50	457518.4853	4468851.4787	405.7677	2
51	459566.3723	4468881.1161	447.9193	2
57	455640.2225	4466977.8545	491.7330	2
60	457639.8529	4466774.0767	395.6001	2
67	451549.7791	4474327.5761	471.7421	2
68	453446.0903	4472272.9778	613.4411	2
71	451462.8899	4470886.8233	534.4577	2
75	453308.3259	4470510.3919	607.4010	2
76	451430.0849	4470423.6888	493.7899	2
78	451407.2692	4469115.5806	418.4525	2
82	453206.8780	4468910.8581	532.3871	2
88	455199.3237	4468698.8900	707.2821	3
89	451358.0672	4468555.2041	453.9903	2
99	453378.3993	4466668.1034	401.2114	2
100	454093.9158	4473339.4995	737.0351	2
101	451212.1758	4472425.8786	618.6246	2
102	452178.5504	4471389.2679	617.4939	2
103	452581.5006	4473128.9410	531.0429	2
104	453140.4500	4474401.1643	549.2402	2
105	454790.1097	4474160.3374	695.2636	2
106	455309.4679	4472192.4520	846.5165	3
107	454248.0407	4470882.3441	853.9232	2
108	454048.0928	4469674.2059	745.9394	2
109	454083.6763	4467421.9573	485.9112	2
110	452369.3205	4467653.5505	477.8823	2
111	451264.6582	4466698.3693	344.0205	2
112	455616.8602	4466734.1333	515.3142	3
113	454284.2675	4466157.6031	351.0351	2
114	452376.9690	4466321.1442	426.4798	2
115	455536.3392	4471027.9252	691.2418	3
116	455721.1840	4473956.0929	680.2111	2
117	458501.1118	4474155.4850	649.7218	2
118	456638.1876	4473006.3494	793.2163	2
119	455626.8907	4472361.8513	769.7084	2
120	456672.6924	4471820.0502	642.7491	2
121	456613.0843	4470484.2794	582.2925	2
122	458069.9252	4473110.2791	704.9350	2
123	458187.3361	4469815.5674	485.7909	2
124	457004.1416	4469708.8909	453.3416	2
125	456668.6708	4468427.7645	441.2597	2
126	458287.1594	4467946.4275	370.1747	2
127	456008.5613	4467811.3296	664.6083	2
128	457051.7845	4467350.5009	486.8103	2
129	456803.6084	4466347.3483	415.4298	2
130	455281.2235	4473080.5693	774.9949	2
131	455010.4417	4470604.8949	779.0284	2
132	455350.5982	4471781.2271	801.9547	2
133	454820.4798	4467513.7755	518.4533	2
134	459453.2040	4473350.6846	568.4474	2

135	459084.1200	4472298.3077	641.9282	2
136	458599.9694	4471380.0203	618.4172	2
137	459266.2594	4470256.9967	602.7975	2
138	459710.8687	4471301.1204	716.2550	2
139	458413.5085	4468843.0155	451.3349	2
140	459470.4659	4467691.0303	414.0235	2
141	458863.6831	4466895.1466	396.2633	2
142	459737.0161	4466483.9873	378.8441	2
143	458345.5483	4465787.6122	238.3233	2
144	456228.2511	4474515.1183	764.1177	2
145	457832.0426	4474606.1459	878.8413	2
146	455210.1826	4474556.1777	713.4690	2
182	455304.4287	4468150.0195	618.8468	2
185	453236.8775	4467837.8653	513.0239	2

The total object points = 86

The residuals of image points

Point	Image	Vx	Vy
501	2	-25.146	16.531
501	1	-10.527	11.317

Point	Image	Vx	Vy
502	2	16.670	5.610
502	3	8.874	2.776

Point	Image	Vx	Vy
503	2	-9.046	-7.964
503	1	5.387	-8.115

Point	Image	Vx	Vy
809	2	10.241	-6.269
809	3	0.666	-3.867

Point	Image	Vx	Vy
5	2	6.531	0.712
5	1	7.488	8.374
5	3	-3.758	1.209

Point	Image	Vx	Vy
916	2	-12.480	-12.224
916	1	3.228	-9.650

Point	Image	Vx	Vy
808	2	0.019	3.817
808	1	-0.012	-3.805

Point	Image	Vx	Vy
41	2	-0.000	-0.019
41	1	0.000	0.019

Point	Image	Vx	Vy
810	2	0.007	1.925
810	1	-0.005	-1.918

Point	Image	Vx	Vy
801	2	0.007	2.925
801	1	-0.004	-2.912

«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων»

Point	Image	Vx	Vy
805	2	-0.001	-0.546
805	1	0.001	0.544
Point	Image	Vx	Vy
917	2	0.001	-0.543
917	1	-0.001	0.540
Point	Image	Vx	Vy
9052	2	0.003	1.585
9052	1	-0.002	-1.578
Point	Image	Vx	Vy
9062	2	0.000	0.150
9062	1	-0.000	-0.149
Point	Image	Vx	Vy
824	2	-0.002	-2.055
824	1	0.001	2.045
Point	Image	Vx	Vy
14	2	-0.002	-1.114
14	1	0.002	1.109
Point	Image	Vx	Vy
918	2	0.000	0.177
918	1	0.000	-0.176
Point	Image	Vx	Vy
919	2	-0.001	-0.990
919	1	0.001	0.986
Point	Image	Vx	Vy
920	2	-0.001	-0.450
920	1	0.000	0.448
Point	Image	Vx	Vy
8031	2	0.949	0.470
8031	1	-0.472	-0.322
8031	3	-0.483	-0.137
Point	Image	Vx	Vy
45	2	0.080	-5.318
45	3	0.056	5.345
Point	Image	Vx	Vy
46	2	-0.004	0.296
46	3	-0.003	-0.297
Point	Image	Vx	Vy
48	2	2.769	-0.120
48	1	-1.388	2.308
48	3	-1.437	-2.174
Point	Image	Vx	Vy
50	2	0.018	-1.231
50	3	0.009	1.233
Point	Image	Vx	Vy
51	2	0.027	-1.761
51	3	0.013	1.761

Point	Image	Vx	Vy
57	2	0.022	-1.359
57	3	0.007	1.361
Point	Image	Vx	Vy
60	2	0.013	-0.811
60	3	0.004	0.810
Point	Image	Vx	Vy
67	2	0.009	1.703
67	1	-0.007	-1.697
Point	Image	Vx	Vy
68	2	0.003	0.813
68	1	-0.002	-0.810
Point	Image	Vx	Vy
71	2	0.003	1.329
71	1	-0.002	-1.323
Point	Image	Vx	Vy
75	2	0.001	0.444
75	1	-0.001	-0.442
Point	Image	Vx	Vy
76	2	0.001	0.682
76	1	-0.001	-0.679
Point	Image	Vx	Vy
78	2	-0.000	-0.467
78	1	0.000	0.465
Point	Image	Vx	Vy
82	2	-0.000	-0.209
82	1	0.000	0.208
Point	Image	Vx	Vy
88	2	2.641	3.977
88	1	-1.337	0.244
88	3	-1.405	-4.206
Point	Image	Vx	Vy
89	2	-0.000	-0.706
89	1	0.000	0.702
Point	Image	Vx	Vy
99	2	0.001	-0.774
99	1	-0.001	0.770
Point	Image	Vx	Vy
100	2	0.002	0.308
100	1	-0.001	-0.307
Point	Image	Vx	Vy
101	2	0.008	2.649
101	1	-0.005	-2.638
Point	Image	Vx	Vy
102	2	0.003	1.163
102	1	-0.002	-1.158

Point	Image	Vx	Vy
103	2	0.008	1.781
103	1	-0.005	-1.775
Point	Image	Vx	Vy
104	2	0.008	1.455
104	1	-0.006	-1.450
Point	Image	Vx	Vy
105	2	-0.009	-1.362
105	1	0.007	1.358
Point	Image	Vx	Vy
106	2	2.246	-2.232
106	1	-1.108	1.582
106	3	-1.132	0.674
Point	Image	Vx	Vy
107	2	0.001	0.202
107	1	-0.000	-0.202
Point	Image	Vx	Vy
108	2	-0.001	-0.660
108	1	0.001	0.657
Point	Image	Vx	Vy
109	2	0.001	-1.159
109	1	-0.001	1.153
Point	Image	Vx	Vy
110	2	-0.000	-2.061
110	1	-0.000	2.050
Point	Image	Vx	Vy
111	2	0.001	-0.439
111	1	-0.001	0.436
Point	Image	Vx	Vy
112	2	-0.073	-0.998
112	1	0.056	-1.311
112	3	0.065	2.315
Point	Image	Vx	Vy
113	2	0.002	-0.791
113	1	-0.001	0.787
Point	Image	Vx	Vy
114	2	0.003	-1.945
114	1	-0.002	1.934
Point	Image	Vx	Vy
115	2	2.967	-1.230
115	1	-1.467	0.534
115	3	-1.492	0.730
Point	Image	Vx	Vy
116	2	0.012	-0.979
116	3	0.014	0.988

Point	Image	Vx	Vy
117	2	-0.020	1.794
117	3	-0.029	-1.806
Point	Image	Vx	Vy
118	2	0.012	-0.942
118	3	0.013	0.949
Point	Image	Vx	Vy
119	2	-0.006	0.476
119	3	-0.006	-0.479
Point	Image	Vx	Vy
120	2	0.026	-1.905
120	3	0.022	1.916
Point	Image	Vx	Vy
121	2	0.009	-0.620
121	3	0.006	0.623
Point	Image	Vx	Vy
122	2	-0.035	3.202
122	3	-0.049	-3.220
Point	Image	Vx	Vy
123	2	0.003	-0.194
123	3	0.002	0.194
Point	Image	Vx	Vy
124	2	0.001	-0.070
124	3	0.001	0.070
Point	Image	Vx	Vy
125	2	-0.003	0.199
125	3	-0.002	-0.199
Point	Image	Vx	Vy
126	2	0.016	-1.047
126	3	0.007	1.047
Point	Image	Vx	Vy
127	2	-0.007	0.456
127	3	-0.003	-0.457
Point	Image	Vx	Vy
128	2	-0.003	0.175
128	3	-0.001	-0.175
Point	Image	Vx	Vy
129	2	0.016	-0.979
129	3	0.004	0.979
Point	Image	Vx	Vy
130	2	0.025	-1.919
130	3	0.025	1.935
Point	Image	Vx	Vy
131	2	0.022	-1.519
131	3	0.015	1.528

Point	Image	Vx	Vy
132	2	0.024	-1.726
132	3	0.020	1.738
Point	Image	Vx	Vy
133	2	0.005	-0.302
133	3	0.002	0.302
Point	Image	Vx	Vy
134	2	-0.009	0.717
134	3	-0.010	-0.720
Point	Image	Vx	Vy
135	2	-0.038	3.405
135	3	-0.049	-3.419
Point	Image	Vx	Vy
136	2	-0.015	1.199
136	3	-0.014	-1.203
Point	Image	Vx	Vy
137	2	-0.004	0.269
137	3	-0.003	-0.269
Point	Image	Vx	Vy
138	2	-0.024	1.913
138	3	-0.023	-1.917
Point	Image	Vx	Vy
139	2	0.028	-1.866
139	3	0.014	1.868
Point	Image	Vx	Vy
140	2	0.025	-1.593
140	3	0.010	1.591
Point	Image	Vx	Vy
141	2	0.036	-2.208
141	3	0.010	2.204
Point	Image	Vx	Vy
142	2	-0.028	1.885
142	3	-0.011	-1.880
Point	Image	Vx	Vy
143	2	-0.068	5.024
143	3	-0.033	-5.012
Point	Image	Vx	Vy
144	2	-0.013	1.178
144	3	-0.019	-1.188
Point	Image	Vx	Vy
145	2	-0.021	1.963
145	3	-0.033	-1.979
Point	Image	Vx	Vy
146	2	0.018	-1.437
146	3	0.022	1.451

Point	Image	Vx	Vy
182	2	-0.043	3.202
182	3	-0.027	-3.210

Point	Image	Vx	Vy
185	2	-0.000	-1.531
185	1	-0.000	1.524

The image residuals of the control points

The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
501	-25.146	16.531
502	16.670	5.610
503	-9.046	-7.964
809	10.241	-6.269
5	6.531	0.712
916	-12.480	-12.224

RMSE of 6 points: mx=14.693, my=9.639

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
501	-10.527	11.317
503	5.387	-8.115
5	7.488	8.374
916	3.228	-9.650

RMSE of 4 points: mx=7.182, my=9.449

The image ID = 3

Point ID	Vx	Vy
502	8.874	2.776
809	0.666	-3.867
5	-3.758	1.209

RMSE of 3 points: mx=5.577, my=2.836

The image residuals of the check points

The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
808	0.019	3.817
41	-0.000	-0.019
810	0.007	1.925
801	0.007	2.925
805	-0.001	-0.546
917	0.001	-0.543
9052	0.003	1.585
9062	0.000	0.150
824	-0.002	-2.055
14	-0.002	-1.114
918	0.000	0.177
919	-0.001	-0.990
920	-0.001	-0.450
8031	0.949	0.470

RMSE of 14 points: mx=0.254, my=1.623

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
808	-0.012	-3.805
41	0.000	0.019

«Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων»

810	-0.005	-1.918
801	-0.004	-2.912
805	0.001	0.544
917	-0.001	0.540
9052	-0.002	-1.578
9062	-0.000	-0.149
824	0.001	2.045
14	0.002	1.109
918	0.000	-0.176
919	0.001	0.986
920	0.000	0.448
8031	-0.472	-0.322

RMSE of 14 points: mx=0.126, my=1.614

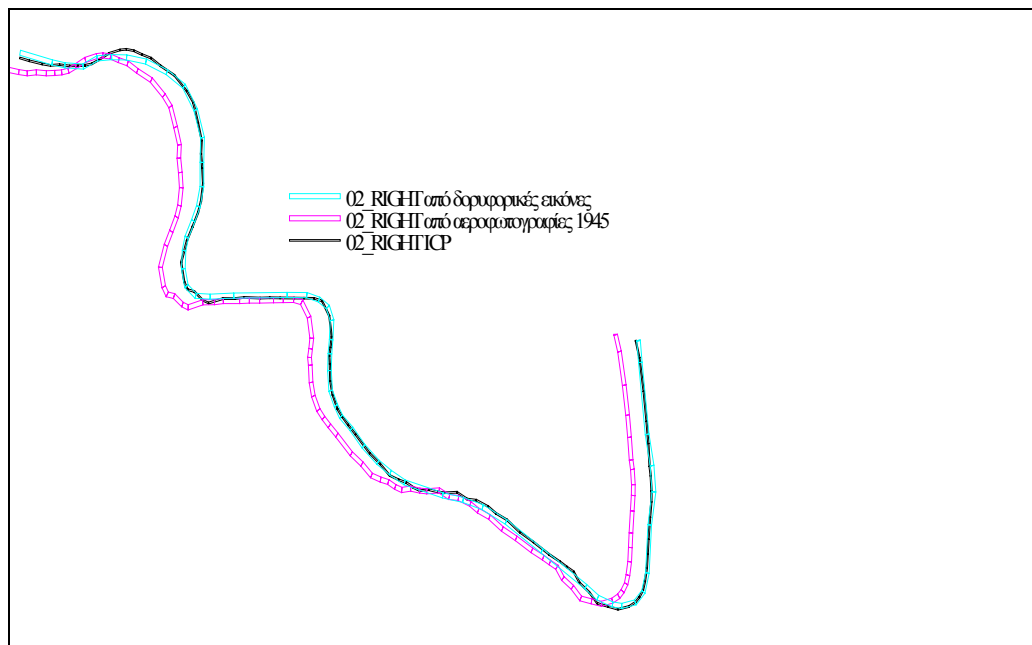
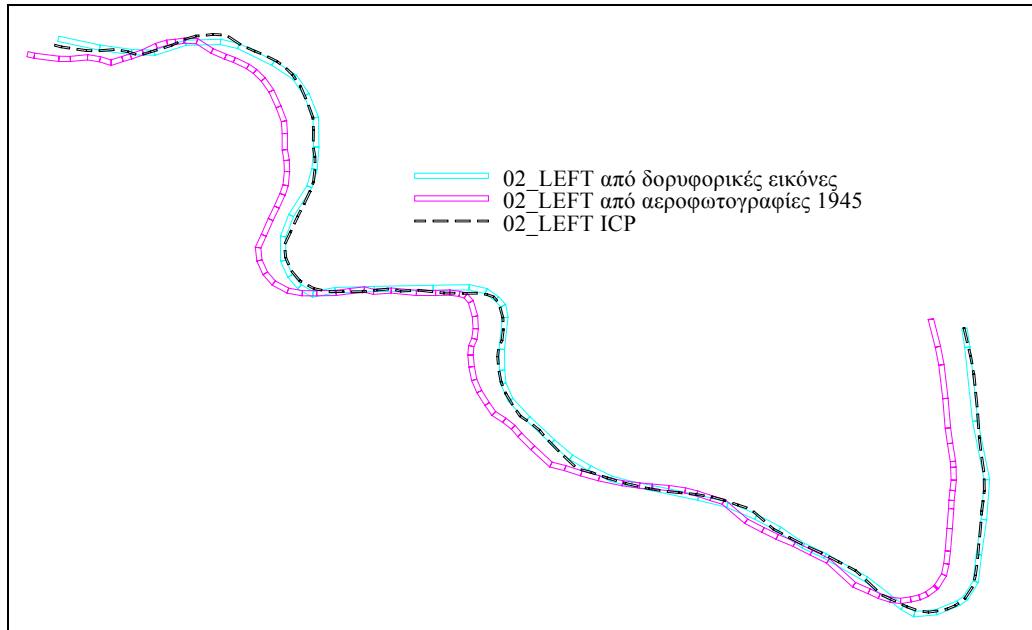
The image ID = 3

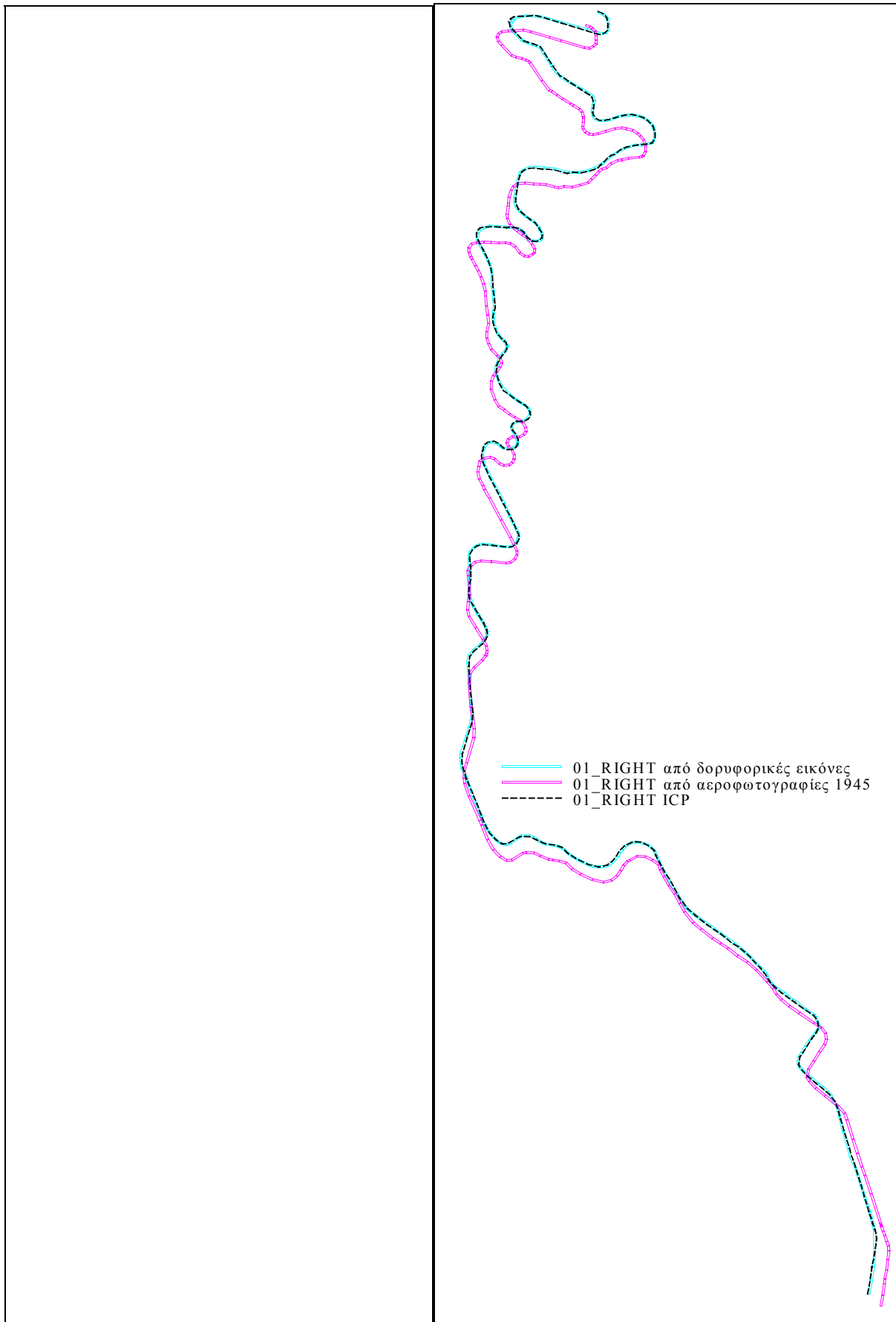
Point ID	Vx	Vy
8031	-0.483	-0.137

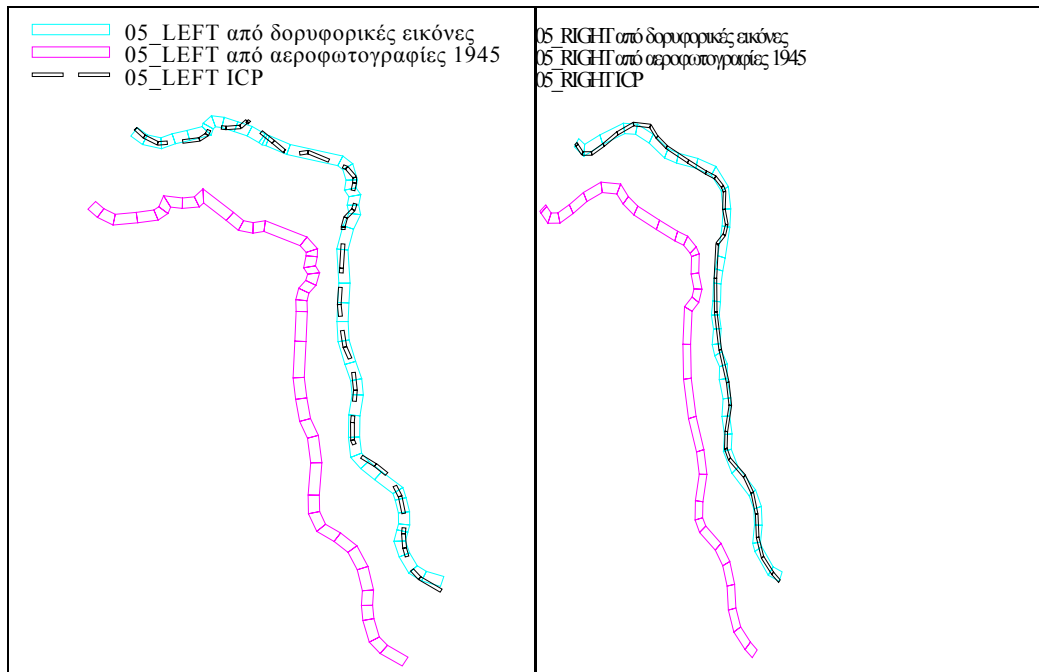
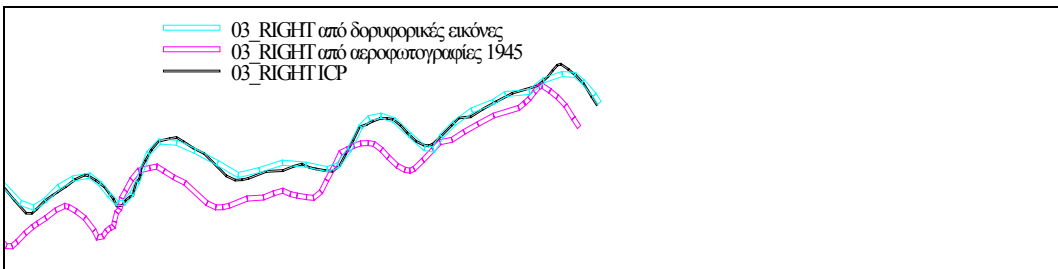
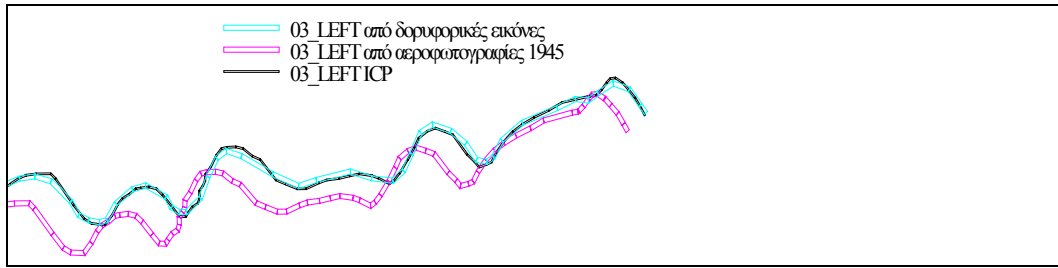
RMSE of 1 points: mx=0.483, my=0.137

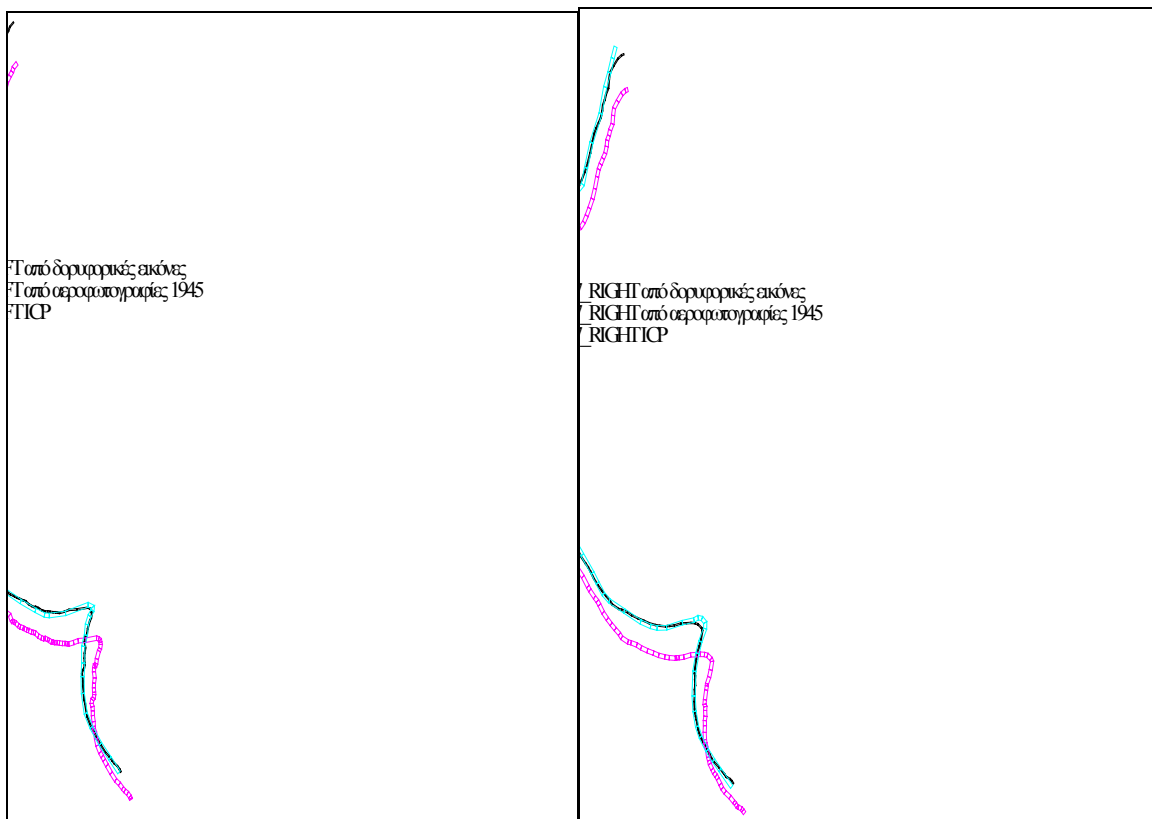
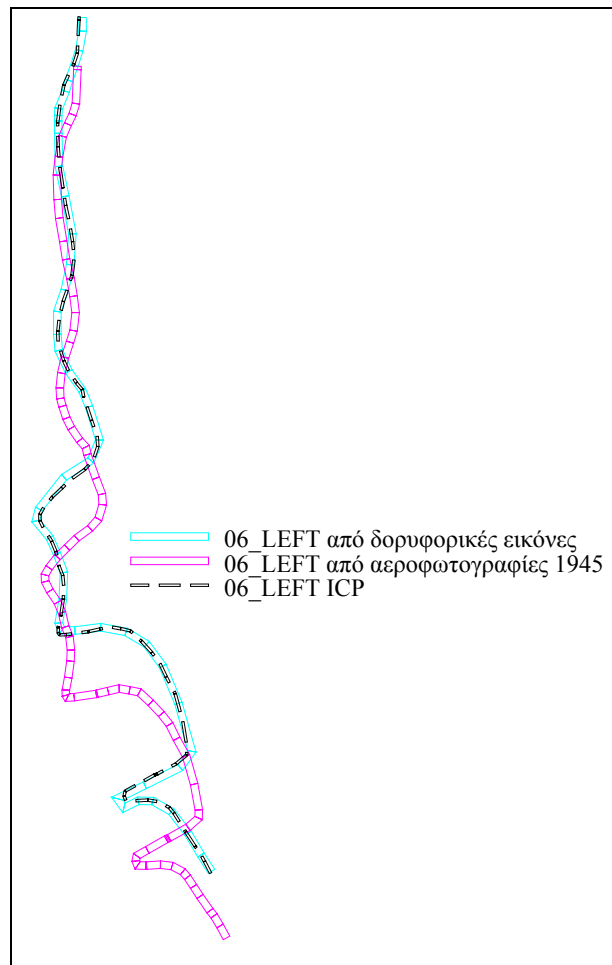
ΣΧΕΔΙΑ ΤΑΥΤΙΣΗΣ

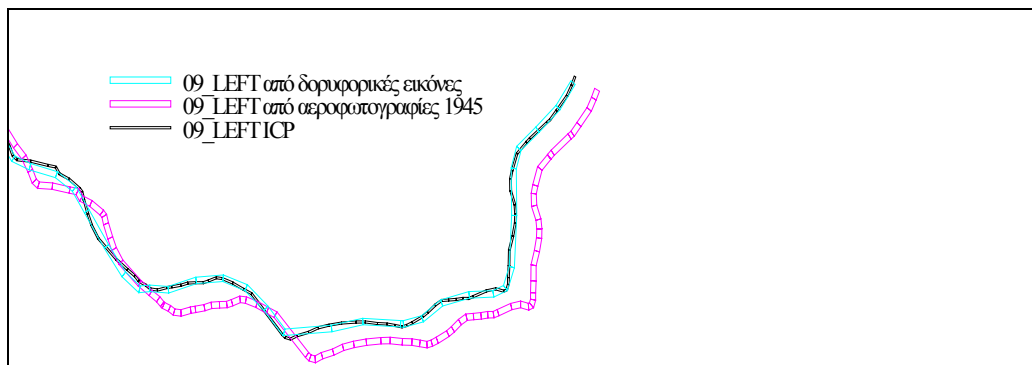
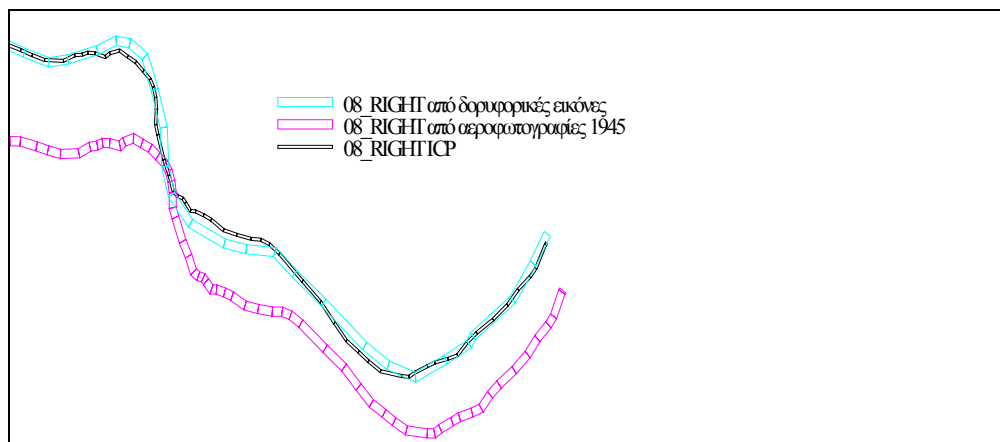
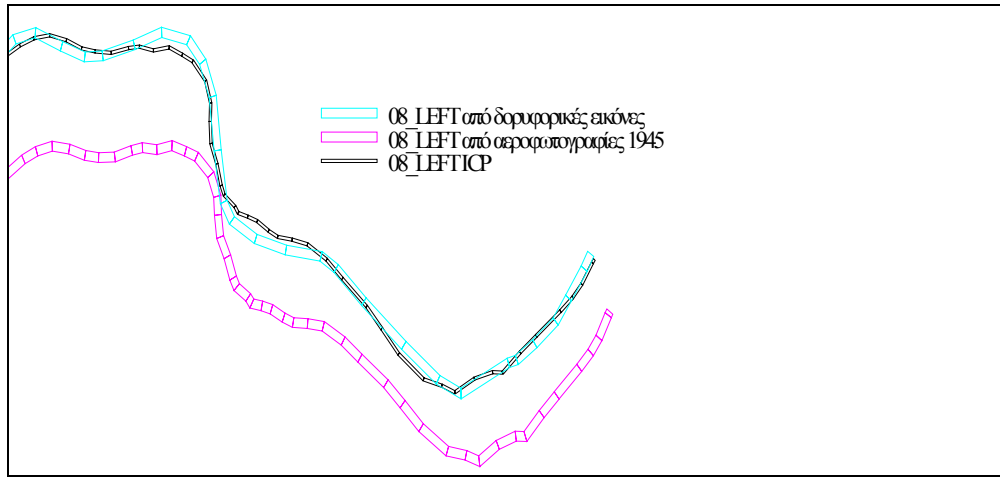
Α) ΤΑΥΤΙΣΗ ΤΩΝ ΟΡΙΟΓΡΑΜΜΩΝ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

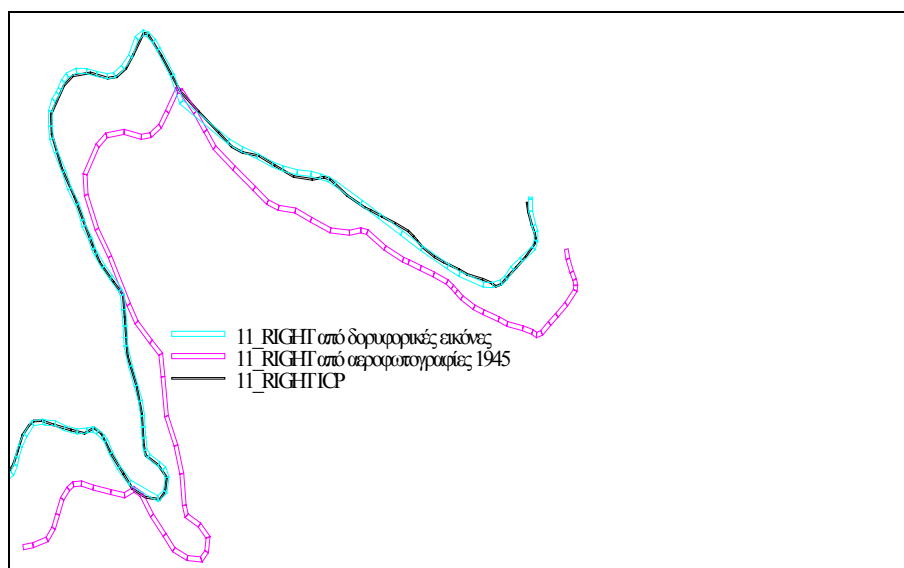
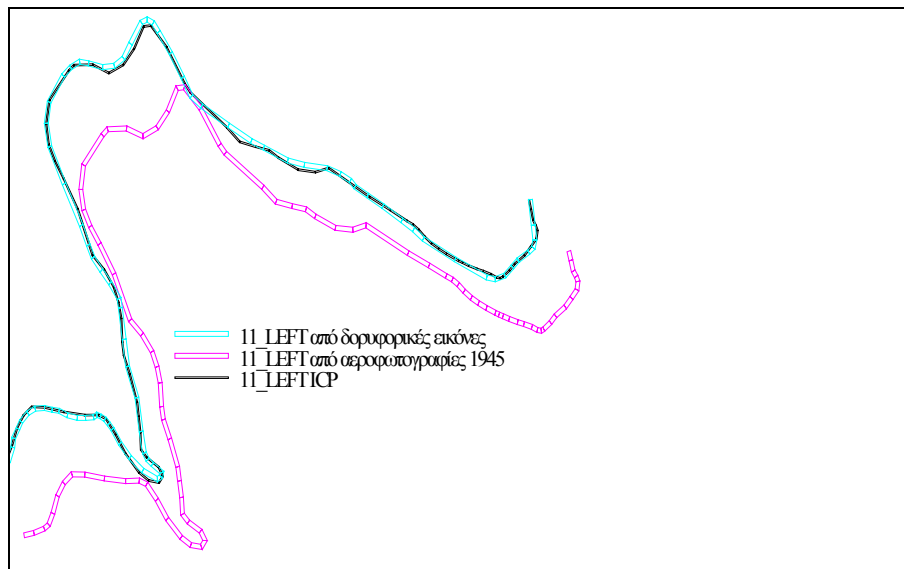
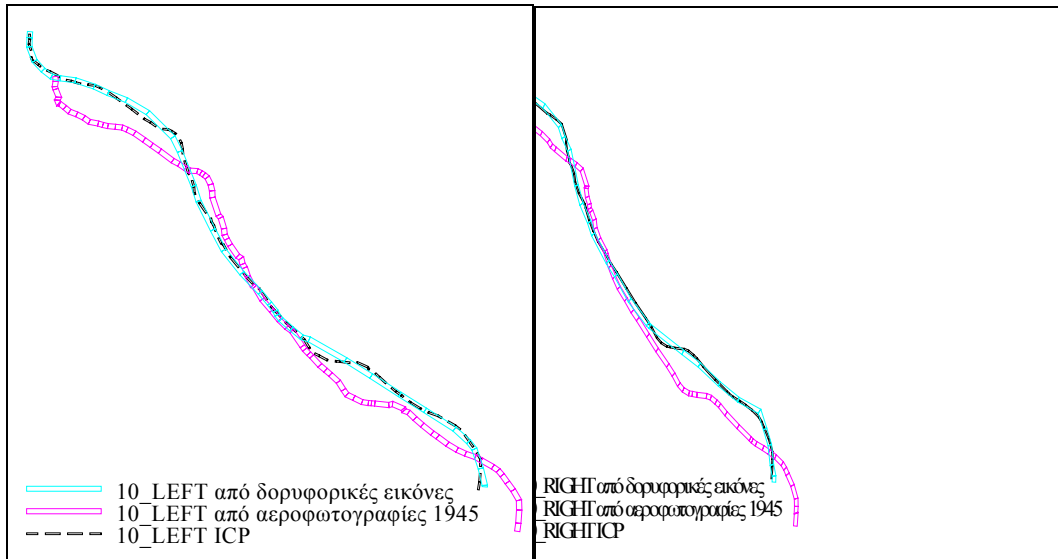


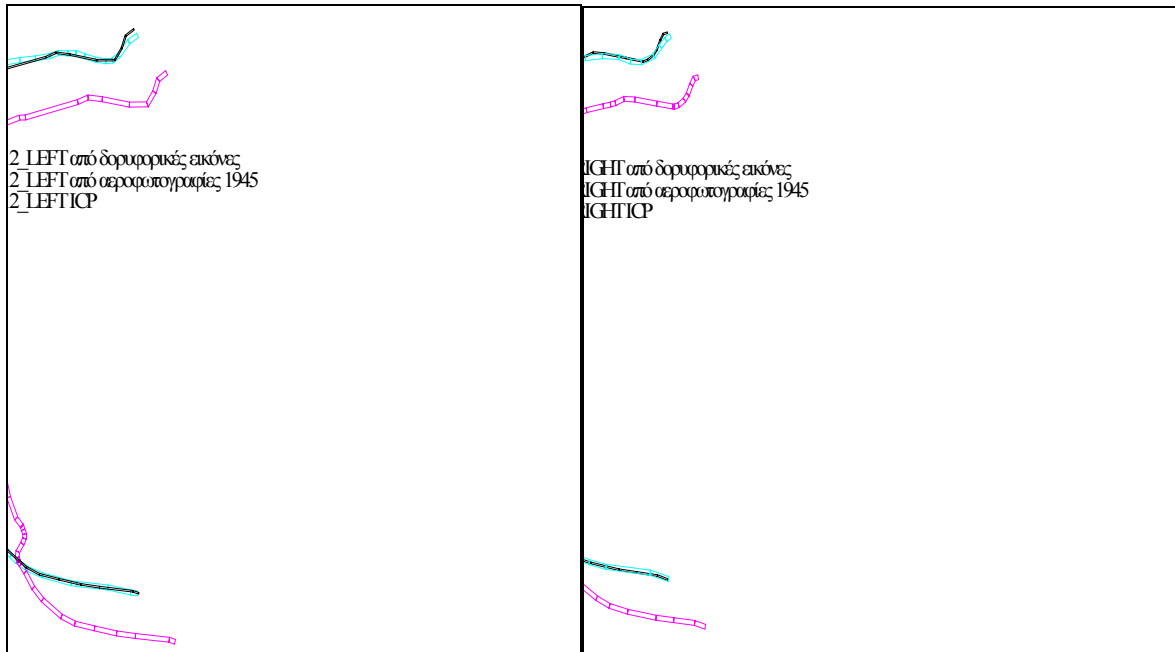


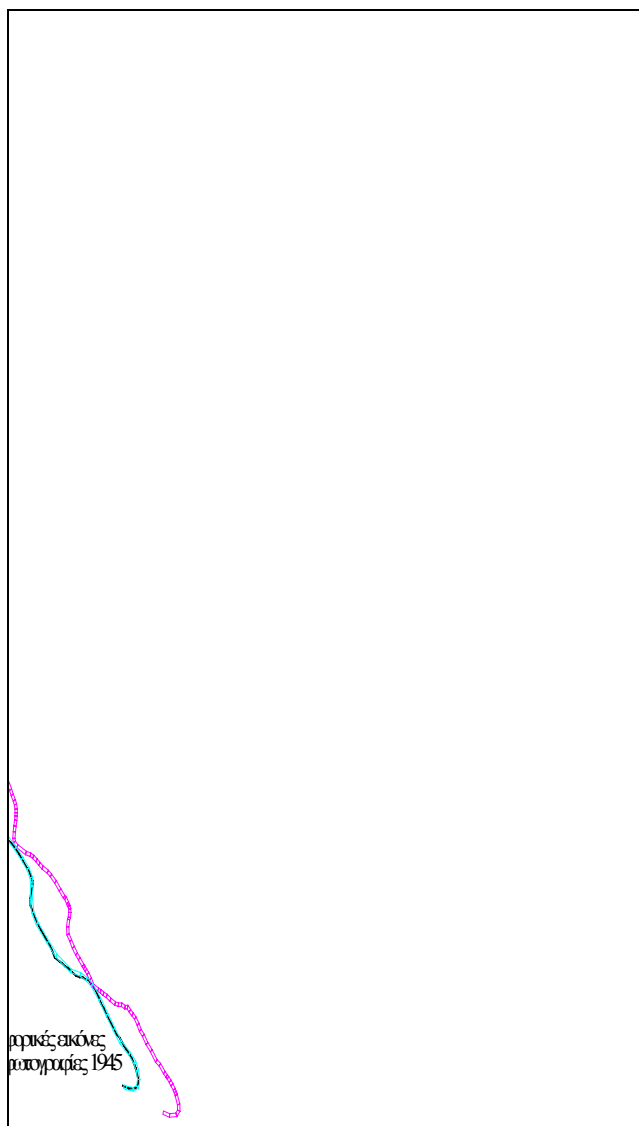


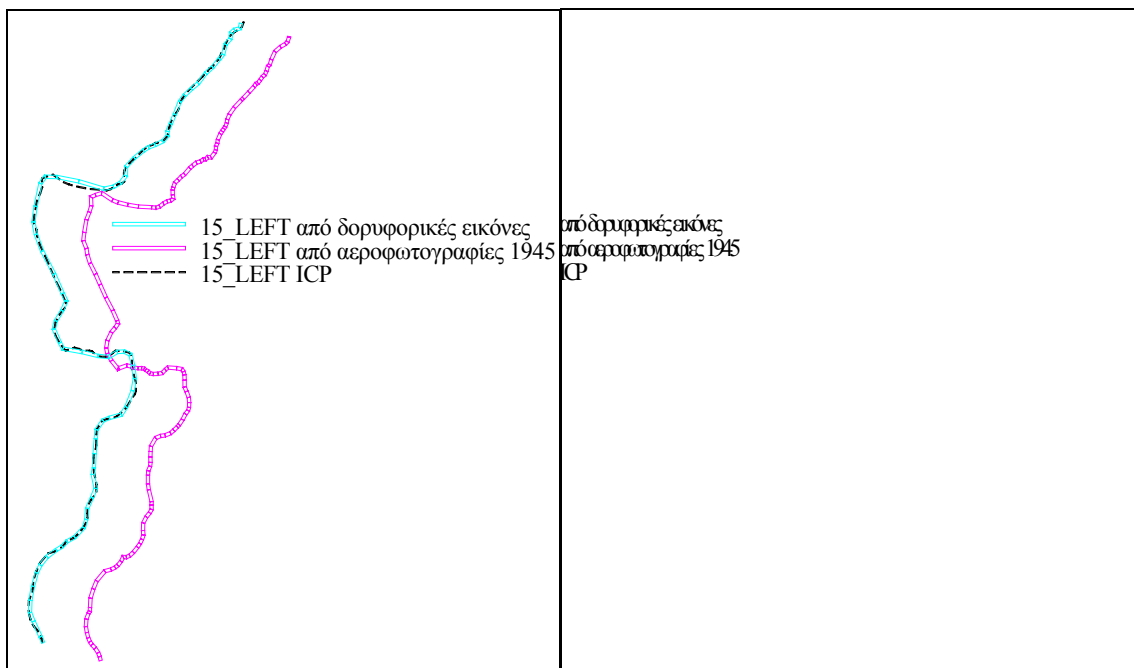
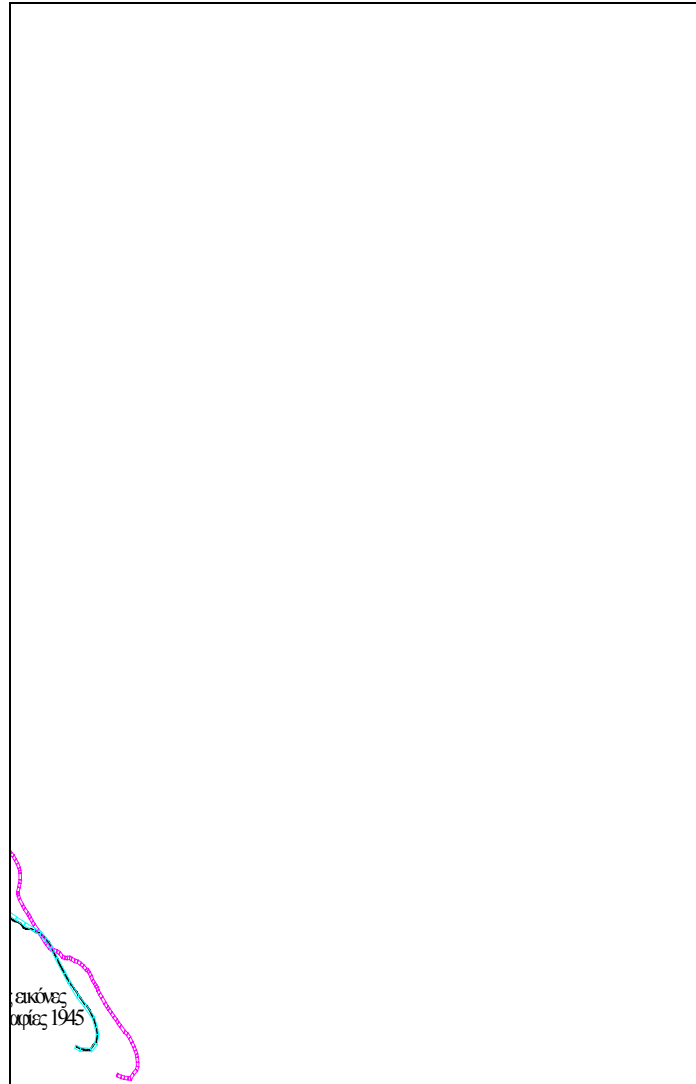












Β) ΤΑΥΤΙΣΗ ΤΩΝ ΑΞΟΝΩΝ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΑΞΟΝΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΣ

