



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

## **ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΔΡΕΑΣ Γ. ΠΑΥΛΙΔΗΣ**

**Εξεταστική Επιτροπή:**

**Σ. ΜΕΡΤΙΚΑΣ, Καθηγητής (Επιβλέπων)**

**Μ. ΖΕΡΒΑΚΗΣ, Καθηγητής**

**Δ. ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, Αναπληρωτής Καθηγητής**

**Χανιά, Ιούνιος 2005**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να αφιερώσω μερικά λόγια σ' όλους όσους με βοήθησαν κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής.

Πρώτον απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Σ. Μερτίκα, επιβλέπων μου στη διπλωματική, για τις χρήσιμες συμβουλές του, για την επιστημονική υποστήριξή του στα προβλήματα που παρουσιάστηκαν, την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής αλλά και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Την εξεταστική επιτροπή, τον καθηγητή Μ. Ζερβάκη και τον αναπληρωτή καθηγητή Δ. Χριστόπουλο, για το χρόνο που διέθεσαν στην διόρθωση της διπλωματικής, για τις υποδείξεις της και το ενδιαφέρον τους.

Μετά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ξενοφώντα Φρατζή για την πολύτιμη βοήθειά του και τον χρόνο που διέθεσε προκειμένου να με βοηθήσει με όσα μέσα είχε στη διάθεσή του και για τις χρήσιμες υποδείξεις του που βελτίωσαν την εργασία αυτή, όπως επίσης και τον κύριο Αχιλλέα Τριπολιτσίωτη.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τις φίλες και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν στο διάστημα της διπλωματικής.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική αυτή συνοπτικά αναφέρεται στη διόρθωση και αξιολόγηση αεροφωτογραφιών από τη περιοχή Καραβέ της Γαύδου. Η αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν παρουσιάζαν γεωμετρικές παραμορφώσεις και δεν ήταν σύμφωνες με κάποιο Παγκόσμιο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών. Αποτέλεσμα αυτών είναι ότι δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως είχαν σαν χάρτες ή για την δημιουργία του φωτομωσαϊκού που είναι κι ο στόχος αυτής της εργασίας.

Το πρώτο Κεφάλαιο είναι η εισαγωγή όπου παρουσιάζεται ο σκοπός της διπλωματικής και μερικές εισαγωγικές έννοιες.

Το δεύτερο Κεφάλαιο έχει ως αντικείμενο την ψηφιακή εικόνα, τη γεωμετρία της και την διαχωριστική της ικανότητα.

Το τρίτο Κεφάλαιο αναφέρεται στην αεροφωτογραφία και ορίζει παράγοντες που διέπουν την χρησιμότητά της και τον τρόπο λειτουργίας της. Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται η μεθοδολογία λήψης αεροφωτογραφιών και οι αδιόρθωτες αεροφωτογραφίες από τη περιοχή του Καραβέ.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σημαντικότερα σφάλματα που μπορεί να έχει μια αεροφωτογραφία και γίνονται αναφορές σε σφάλματα που μπορεί να έχει μία εικόνα από δορυφόρο. Αναφέρονται και τα ραδιομετρικά σφάλματα, αλλά κυρίως αναλύονται τα γεωμετρικά σφάλματα, η διόρθωση των οποίων αφορά αυτή τη διπλωματική.

Το πέμπτο Κεφάλαιο έχει ως αντικείμενο τις χαρτογραφικές προβολές, τις γεωδαιτικές συντεταγμένες και τα γεωδαιτικά datums. Δίνονται οι παράμετροι του ελλειψοειδούς GRS – 80 και του γεωδαιτικού datum ΕΓΣΑ – 87 που χρησιμοποιήθηκε στην διπλωματική αυτή.

Το έκτο Κεφάλαιο αναφέρεται στην μέθοδο διόρθωσης των αεροφωτογραφιών με την μέθοδο των πολυώνυμων. Η μέθοδος αυτή, συνοπτικά χρησιμοποιεί απλά πολυώνυμα για να δημιουργήσει έναν πίνακα μετασχηματισμού που όταν εφαρμοστεί πάνω στις αρχικές εικόνες τις στρίβει και τις μεταφέρει κατάλληλα και αλλάζει την κλίμακά τους ώστε να ταιριάζουν με το επιθυμητό χαρτογραφικό σύστημα. Ο πίνακας δημιουργείται με τη χρήση σημείων με γνωστές συντεταγμένες στο έδαφος και στην εικόνα. Τα πολυώνυμα που επιλέχθηκαν είναι τα γραμμικά πολυώνυμα του αφινικού μετασχηματισμού. Δίνεται ο τρόπος διόρθωσης της μεθόδου και παρουσιάζεται η θεωρία του αφινικού μετασχηματισμού. Παρουσιάζονται τα σημεία ελέγχου στις εικόνες και δίνονται οι συντεταγμένες τους στο ΕΓΣΑ – 87. Μετά παρουσιάζονται οι διορθωμένες εικόνες. Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτό το κεφάλαιο έχουν πρώτα υποστεί διόρθωση της πανοραμικής παραμόρφωσης με τη μεθοδολογία που αναφέρεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Στο έβδομο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η μέθοδος διόρθωσης των αεροφωτογραφιών με τον ευθύ μετασχηματισμό. Ο μετασχηματισμός αυτός δημιουργεί έναν πίνακα μετασχηματισμού που διορθώνει τα γνωστά λάθη στην εικόνα. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε διορθώνει την πανοραμική παραμόρφωση, στρέφει και μεταφέρει τις αδιόρθωτες εικόνες κατάλληλα στο χώρο και διορθώνει την κλίμακα τους. Η πανοραμική παραμόρφωση απαλείφεται με χρήση του γωνιακού ανοίγματος του φωτογραφικού φακού και του ύψους πτήσης. Η στροφή, η μεταφορά και η διόρθωση της κλίμακας των εικόνων γίνονται με τη δημιουργία κατάλληλων πινάκων που προκύπτουν από τα σημεία ελέγχου. Δίνονται πάλι ορισμοί και απαραίτητες έννοιες και δίνεται η μεθοδολογία εύρεσης των πινάκων μετασχηματισμού. Όπως και στο προηγούμενο Κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι διορθωμένες εικόνες και η μεθοδολογία διόρθωσής τους. Στο τέλος παρουσιάζεται το φωτομωσαϊκό που προκύπτει από τις διορθωμένες εικόνες. Οι εικόνες διορθώνονται απ' την αρχή, δεν εφαρμόζεται ο ευθύς μετασχηματισμός στις εικόνες του αφινικού μετασχηματισμού.

Στο όγδοο Κεφάλαιο δίνονται τα αποτελέσματα συνοπτικά και τα συμπεράσματα από αυτή την εργασία. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά για την ακρίβεια των δεδομένων που ελήφθησαν, αλλά όχι αρκετά ικανοποιητικά λόγω της μικρής ακρίβειας του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των δεδομένων.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Ψηφιακή εικόνα</b>	<b>3</b>
Γενικά	3
2.1 Ορισμοί	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Αεροφωτογραφία</b>	<b>6</b>
Γενικά	6
3.1 Ασάφεια περίθλασης	7
3.2 Φωτογραφική διαχωριστική ικανότητα	8
3.3 Κλίμακα	9
3.4 Μετατόπιση αναγλύφου	9
3.5 Λήψη αεροφωτογραφιών	11
3.6 Αεροφωτογραφίες	13
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Σφάλματα αεροφωτογραφίας</b>	<b>18</b>
Γενικά	18
Ραδιομετρικά σφάλματα	18
Γεωμετρικά σφάλματα	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Χαρτογραφικές προβολές</b>	<b>28</b>
Γενικά	28
5.1 Χαρτογραφικές απεικονήσεις	28
5.2 Γεωδαιτικές συντεταγμένες	30
5.3 Γεωδαιτικά Datum	32

---

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Διορθώσεις γεωμετρικών παραμορφώσεων με πολώνυμα</b>	<b>35</b>
Γενικά	35
6.1 Διόρθωση με πολώνυμα	35
6.2 Τα GCP στις εικόνες	38
6.3 ο Αφινικός μετασχηματισμός	44
6.4 Οι διορθωμένες εικόνες	46
6.5 Επανάληψη της δειγματοληψίας	50
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Γεωμετρικές διορθώσεις με τον ευθύ μετασχηματισμό</b>	 <b>53</b>
Γενικά	53
7.1 Διορθώσεις με μοντέλα τροχιάς	53
7.2 Προσδιορισμός της εικόνας κατα μεσημβρινό	54
7.3 Πανοραμική διόρθωση	55
7.4 Προσδιορισμός του ευθύ μετασχηματισμού	61
7.5 Αεροφωτομωσαϊκό	71
7.6 Ορθοφωτογραφία	72
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Αποτελέσματα – συμπεράσματα</b>	 <b>75</b>
Γενικά	75
8.1 Συμπεράσματα και προτάσεις για τη λήψη των αεροφωτογραφιών	75
8.2 Συμπεράσματα και προτάσεις από τη γεωμετρική διόρθωση με πολώνυμα	75
8.3 Συμπεράσματα και προτάσεις από τον ευθύ μετασχηματισμό	76
8.4 Συμπεράσματα και προτάσεις από το φωτομωσαϊκό	76
 <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι Οι αλγόριθμοι του Matlab</b>	 <b>78</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ Το φωτομωσαϊκό</b>	<b>97</b>
 <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	 <b>100</b>
Διεθνής βιβλιογραφία	100
Ελληνική βιβλιογραφία	100
Πηγές Internet	101

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να διορθωθούν γεωμετρικά αεροφωτογραφίες που συλλέχτηκαν στις 10 Οκτωβρίου 1997 από την περιοχή του Καραβέ στη νήσο Γαύδο. Οι αεροφωτογραφίες διορθώθηκαν με χρήση του ευθύ μετασχηματισμού αλλά και με τη μέθοδο του αφινικού μετασχηματισμού. Μετά ενώθηκαν δημιουργώντας ένα φωτομωσαϊκό, δηλαδή μια ευρύτερη φωτογραφία της περιοχής κάλυψης. Προκειμένου να γίνει η ανάλυση, είναι χρήσιμοι κάποιοι ορισμοί.

**Τηλεπισκόπηση** είναι η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από ένα στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίς στην πραγματικότητα να έρθουμε σε απευθείας επαφή με αυτόν.

Παραδείγματα μετρήσεων Τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν την συμβατική φωτογραφία, την αεροφωτογραφία, τη λήψη εικόνων με Radar, κ.ά. Η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιεί πολλά μέσα για να συλλέξει την πληροφορία από το στόχο, όπως την ορατή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τις ακτίνες X, τις ακτίνες LASER, κτλ.

Η Τηλεπισκόπηση είναι μια επιστήμη σε εξέλιξη. Από το 1826 που ανακαλύφθηκε η φωτογραφία μέχρι το 1960 εφευρέθηκαν νέοι τύποι φιλμ για φωτογραφίες εκτός του ορατού φάσματος, οπτικών φακών για φωτογραφικές μηχανές, το Radar και διάφορες άλλες τεχνολογίες για λήψη επίγειων φωτογραφιών. Από το 1960 ο ανταγωνισμός στις διαστημικές και δορυφορικές έρευνες και η δημιουργία της NASA (Αμερικάνικη Αεροναυτική και Διαστημική Υπηρεσία) οδήγησαν στην ανακάλυψη δορυφορικών συστημάτων Τηλεπισκόπησης. Το 1972 εκτοξεύεται ο δορυφόρος Landsat-1 για τη παρατήρηση της επιφάνειας της Γης. Από τότε μέχρι σήμερα, συνεχώς εκτοξεύονται

---

νέοι δορυφόροι τηλεπισκόπησης, όπως πιο σύγχρονοι Landsat, spot, Quickbird και άλλοι.

**Φωτογραμμετρία** είναι η επιστήμη του προσδιορισμού της γεωμετρικής θέσης και της μορφής αντικειμένων στον χώρο από φωτογραφίες. Η Φωτογραμμετρία επιτρέπει την ανάπλαση των αντικειμένων και τον προσδιορισμό ορισμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους χωρίς την αναγκαιότητα φυσικής επαφής, γεγονός που την καθιστά σημαντική στην Τηλεπισκόπηση.

Τα αποτελέσματα μιας φωτογραμμικής απόδοσης μπορούν να είναι:

- Αριθμοί, δηλαδή συντεταγμένες σημείων των αντικειμένων που φωτογραφήθηκαν σε ένα σύστημα αναφοράς.
- Σχέδια, δηλαδή χάρτες και διαγράμματα που περιέχουν οριζοντιογραφική και υψομετρική πληροφορία.
- Ορθοφωτογραφίες (μετασχηματισμένες φωτογραφικές λήψεις) ορθοχάρτες αλλά και φωτογραφικές συνθέσεις και απεικονίσεις.

Η βασική εφαρμογή της Φωτογραμμετρίας είναι η δημιουργία τοπογραφικών υποβάθρων σε μορφή γραφικών χαρτών ή ορθοχαρτών. Επιπλέον, με τη βοήθεια της Φωτογραμμετρίας μπορούν να προσδιοριστούν πυκνά δίκτυα γνωστών σημείων για γεωδαιτικές και κτηματολογικές μετρήσεις. Άλλες εφαρμογές είναι οι αποτυπώσεις μνημείων, οι αρχιτεκτονικές αποτυπώσεις, μετρήσεις ελέγχου κατασκευών, μετρήσεις παραμορφώσεων κ.α.

Οι αεροφωτογραφίες στην αρχική τους μορφή έχουν γεωμετρικά σφάλματα που οφείλονται στο τοπογραφικό ανάγλυφο, στην κίνηση του αεροσκάφους, σε σφάλματα της φωτογραφικής μηχανής κ.ά. Έτσι δεν υπάρχει σταθερή σχέση μεταξύ των σημείων στη Γη και των αντίστοιχων σημείων στις αεροφωτογραφίες. Σκοπός των γεωμετρικών διορθώσεων είναι να εξαλείψουν αυτά τα σφάλματα ώστε να βρεθεί μια σχέση μεταξύ των σημείων στην εικόνα και των αντίστοιχων στο έδαφος.

Στο επόμενο Κεφάλαιο παρουσιάζονται πιο ειδικοί ορισμοί για την ψηφιακή φωτογραφία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

Ο όρος **εικόνα** αναφέρεται στη συνάρτηση της έντασης της ακτινοβολίας  $f(\xi, \eta)$  όπου τα  $\xi, \eta$  συμβολίζουν καρτεσιανές συντεταγμένες της εικόνας και η τιμή της  $f$  είναι ανάλογη της φωτεινότητας της εικόνας στη συγκεκριμένη θέση  $(\xi, \eta)$ .

Για να γίνει επεξεργασία της εικόνας με ηλεκτρονικούς υπολογιστές είναι αναγκαίο να ψηφιοποιηθεί η συνάρτηση  $f(\xi, \eta)$ . **Ψηφιακή εικόνα** είναι η εικόνα που προκύπτει μετά από μετατροπή της συνεχούς συνάρτησης  $f(\xi, \eta)$  σε διακριτή και ως προς την ένταση της ακτινοβολίας και ως προς τις συντεταγμένες  $\xi, \eta$ . Έτσι προκύπτει ένας πίνακας της μορφής:

$$\mathbf{F}(i, j) = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,M) \\ f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,M) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N,1) & f(N,2) & \dots & f(N,M) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Οι γραμμές και οι στήλες του πίνακα  $\mathbf{F}$  αντιστοιχούν στις συντεταγμένες της εικόνας και κάθε στοιχείο του αντιστοιχεί στην τιμή του τόνου του γκρι σ' αυτό το σημείο. Τα στοιχεία μιας τέτοιας ψηφιακής διάταξης ονομάζονται **εικονοστοιχεία** ή **pixels**. Η ένταση  $f$  είναι τώρα μια συνάρτηση με ακέραια τιμή του επιπέδου του γκρι. Στη πράξη τα επίπεδα του γκρι για την καταγραφή της έντασης της ακτινοβολίας είναι δυνάμεις του 2, δηλαδή  $G = 2^k$ . Για παράδειγμα, με  $k = 8$  (8-bit εικόνα) οι δυνατές διαβαθμίσεις του γκρι είναι  $G = 2^8 = 256$ . DN (Digital Number) = 0 αντιστοιχεί στο μαύρο της εικόνας και DN = 256 αντιστοιχεί στο λευκό.

Η ψηφιακή εικόνα δηλαδή είναι μια νέα συνάρτηση  $F(i, j)$  όπου οι συντεταγμένες ( $\xi, \eta$ ) έχουν μετατραπεί σε ακέραιους αριθμούς ( $i, j$ ) και η ένταση  $f$  σε μία συνάρτηση με ακέραια τιμή DN του επιπέδου του γκρι. Για την ψηφιοποίηση της εικόνας πρέπει να διευκρινιστεί το πλήθος των γραμμών  $N$ , το πλήθος των στηλών  $M$  και ο αριθμός των επιπέδων των διαβαθμίσεων του γκρι.

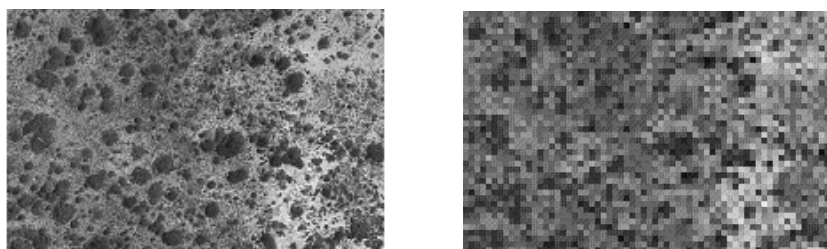
## 2.1. Ορισμοί

Η **διαχωριστική ικανότητα** αναφέρεται στη μέγιστη ανάλυση μιας μέτρησης και σχετίζεται με την ικανότητα ενός συστήματος να διαχωρίζει αντικείμενα. Διακρίνεται σε φασματική, ραδιομετρική, χωρική και διαχρονική διαχωριστική ικανότητα. **Συχνότητα δειγματοληψίας** είναι ο ρυθμός συλλογής δεδομένων και διακρίνεται σε φασματική, χωρική και διαχρονική συχνότητα δειγματοληψίας.

Η **φασματική διαχωριστική ικανότητα** (φασματική ανάλυση) ενός καταγραφικού συστήματος είναι η ικανότητά του να διαχωρίζει την ακτινοβολία σε φασματικές ζώνες. Την καθορίζουν το πλάτος, η θέση και ο αριθμός των φασματικών ζωνών που μπορεί να καταγράψει.

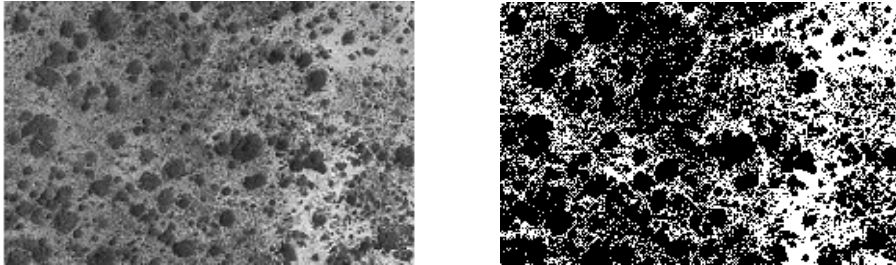
Η **φασματική δειγματοληψία** αναφέρεται στον τρόπο που καταγράφεται μια καμπύλη φασματικής απόκρισης. Είναι προφανές ότι όσο πιο στενές και πολλές είναι οι ζώνες καταγραφής, τόσο πιο καλά θα αποδοθεί η φασματική καμπύλη, και τόσο καλύτερη θα είναι η διαχωριστική ικανότητα του συστήματος.

Η **χωρική διαχωριστική ικανότητα** ή χωρική ανάλυση ενός συστήματος είναι η ικανότητα του να διακρίνει αντικείμενα στη γεωμετρική τους διάσταση και έχει να κάνει με τον τρόπο ψηφιοποίησης των συντεταγμένων ( $x, y$ ). Όσο πιο μικρές είναι οι διαστάσεις των εικονοστοιχείων του καταγραφικού συστήματος, τόσο καλύτερη είναι η χωρική ανάλυση του συστήματος (Σχ. 2.1).



**Σχήμα 2.1.** Μία εικόνα με 42496 pixels και η ίδια εικόνα με 1890 pixels.

Η **ραδιομετρική διαχωριστική ικανότητα** ή ραδιομετρική ανάλυση αναφέρεται στο πλήθος των διαβαθμίσεων που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση της έντασης  $f$  της ακτινοβολίας (Σχ. 2.2).



**Σχήμα 2.4.** Μία 8-bit εικόνα και η ίδια εικόνα 1-bit.

Η **διαχρονική ανάλυση** αναφέρεται στο πόσο συχνά μπορεί να επαναληφθεί η λήψη εικόνων μιας περιοχής.

Μερικές από τις πιο χρήσιμες εφαρμογές των ψηφιακών εικόνων για την Τηλεπισκόπηση βασίζονται στις ψηφιακές αεροφωτογραφίες στις οποίες αναφέρεται το Κεφάλαιο 3.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

**Φωτογραφία** είναι μια εικόνα που σχηματίζεται από την επίδραση της ακτινοβολίας πάνω στα φωτοευαίσθητα χημικά του φωτογραφικού φιλμ. Όλες οι φωτογραφίες της γήινης επιφάνειας που λαμβάνονται από αεροπλάνα, ελικόπτερα ή αερόστατα ονομάζονται **αεροφωτογραφίες**. Οι αεροφωτογραφίες καταγράφουν το φως που ανακλάται από μια επιφάνεια.

**Φωτεινότητα** είναι το μέτρο της ποσοστιαίας απόκρισης που δημιουργείται στο μάτι από το φως. Μεταβολές στη φωτεινότητα μπορούν να μετρηθούν σε μια κλίμακα του γκρι από το μαύρο (0%) ως το άσπρο (100%). **Αντίθεση της εικόνας** είναι ο λόγος της φωτεινότητας της πιο φωτεινής περιοχής προς τη φωτεινότητα της πιο σκοτεινής. Η αντίθεση της εικόνας είναι σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό της ικανότητας διαχωρισμού και αναγνώρισης αντικειμένων σε εικόνες, αφού τα κάνει πιο ευδιάκριτα.

Η διαχωριστική ικανότητα αντιστοιχεί στην ελάχιστη απόσταση μεταξύ αντικειμένων στο έδαφος τα οποία είναι δυνατό να απεικονιστούν στην εικόνα. Η διαχωριστική ικανότητα μιας εικόνας δεν περιγράφει πλήρως την καταλληλότητά της σε συγκεκριμένη εφαρμογή. **Ικανότητα διάκρισης** (detectability) είναι η ικανότητα ενός συστήματος απεικόνισης να καταγράφει την παρουσία ή απουσία ενός αντικειμένου. Η διαχωριστική ικανότητα της εικόνας σχετίζεται με τον διαχωρισμό αντικειμένων και όχι με το μέγεθος του μικρότερου αντικειμένου που μπορεί να παρατηρηθεί. Η ικανότητα διάκρισης σχετίζεται με το μέγεθος αυτό.

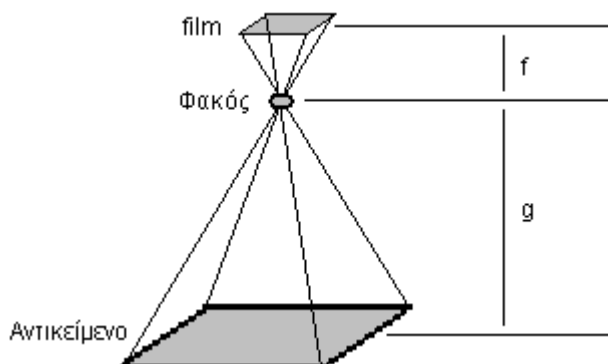
Η εξίσωση των φακών όπου  $g$  η απόσταση ενός αντικειμένου απ' τον φακό,  $\beta$  η απόσταση του ειδώλου του από τον φακό και  $f$  η εστιακή απόσταση (Σχ. 3.1) είναι [Kraus, Karl (2003)]:



$$1/g + 1/\beta = 1/f \quad (3.1)$$

Ως **διάφραγμα κ** ορίζεται ο λόγος της εστιακής απόστασης  $f$  προς τη διάμετρό του  $d$  φακού.

$$\kappa = f/d. \quad (3.2)$$



Σχήμα 3.1 Σχηματικό διάγραμμα των  $g$ ,  $f$ .

Ως **στιγματικό οπτικό πεδίο εδάφους** (GIFOV) ορίζεται το εμβαδόν της γήινης επιφάνειας από την οποία καταγράφεται η ακτινοβολία. Ως **στιγματικό οπτικό πεδίο** (IFOV) ορίζεται η επίκεντρος γωνία  $\Delta\theta$  κύκλου με κέντρο τη μηχανή λήψης, με ακτίνα το ύψος πτήσης  $h$  και η οποία περιλαμβάνει στοιχείο της γήινης επιφάνειας. Το IFOV μετριέται σε ακτίνια (rad).

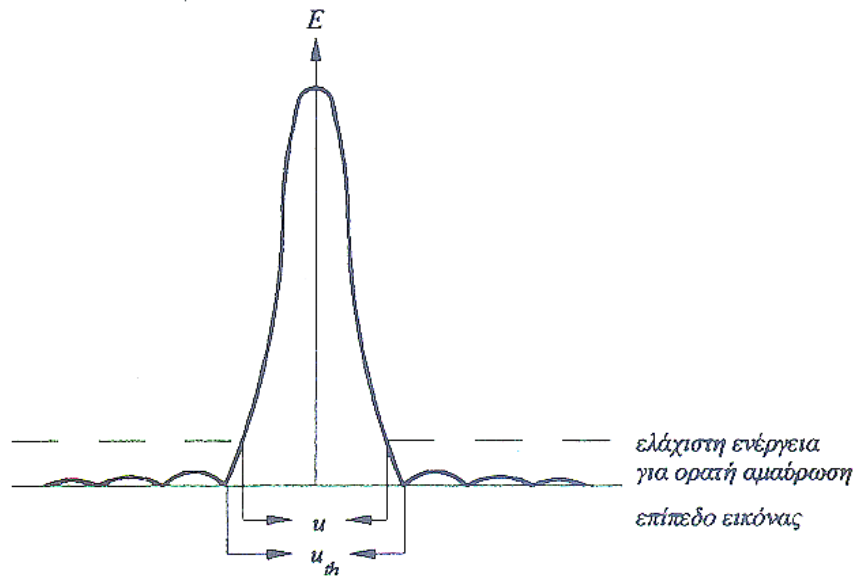
### 3.1. Αβεβαιότητα περίθλασης.

Λόγω των κυματικών ιδιοτήτων του φωτός δεν προκύπτουν ιδανικά, γεωμετρικά αδιάστατα, σημεία στην εικόνα. Αντί αυτού η ενέργεια που σχηματίζει την εικόνα ενός σημείου στην επιφάνεια ενός φωτογραφικού φιλμ δημιουργεί ένα **δίσκο περίθλασης**, δηλαδή μια κυκλική επιφάνεια στο φιλμ. Η θεωρητική διάμετρος του δίσκου περίθλασης είναι (Kraus, 2003):

$$u_{th} = 2,44 \kappa \lambda \quad [\mu m] \quad (3.3)$$

Όπου  $\kappa$  το διάφραγμα του φακού και  $\lambda$  το μήκος κύματος της ακτινοβολίας σε  $\mu m$ .

Έχει διαπιστωθεί εμπειρικά ότι μόνο η ποσότητα  $u = 0,75 u_{th}$  αποτυπώνεται στη φωτογραφία, γιατί για να διεγερθεί η φωτοευαίσθητη επιφάνεια του φιλμ χρειάζεται ένταση φωτισμού υψηλότερη από μια συγκεκριμένη ελάχιστη ένταση (Σχ 3.3).



**Σχήμα 3.2** . Κατανομή έντασης στο δίσκο περίθλασης (Kraus, 2003)

Στο Σχ. 3.2 το  $E$  αντιπροσωπεύει την ένταση φωτισμού (Ενέργεια) που ανακλάται από ένα σημείο και πως κατανέμεται στο επίπεδο της εικόνας δημιουργώντας τον δίσκο περίθλασης.

Για το  $u$  προκύπτει ένας πρακτικός εμπειρικός κανόνας. Για το μέσο μήκος κύματος του ορατού φωτός  $\lambda = 0,55 \mu\text{m}$  προκύπτει  $u \approx \kappa$  αφού (Kraus 2003):

$$u_{\text{th}} = 2,44 \kappa \cdot 0,55 = 1,34 \kappa [\mu\text{m}] \quad (3.4)$$

$$u = 0,75 u_{\text{th}} = 0,75 \cdot 1,34 \kappa = \kappa [\mu\text{m}]$$

Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο δίσκων περίθλασης που μόλις διακρίνονται ως δύο σημεία είναι  $\delta = u / 2$ .

### 3.2. Φωτογραφική διαχωριστική ικανότητα

Η διαχωριστική ικανότητα  $R$  μετριέται σε γραμμές ανά χιλιοστό (L/mm) και δίνει τον αριθμό των γραμμών με ίσα διαστήματα μεταξύ τους είναι δυνατό να διακριθούν σε ένα χιλιοστό. Δεδομένου ότι η περίθλαση επιτρέπει διαχωρισμό σημείων του ορατού φωτός ως  $\delta = \kappa / 2 \mu\text{m}$  (δίσκοι περίθλασης) προκύπτει ως όριο της θεωρητικά μέγιστης οπτικής και φωτογραφικής διαχωριστικής ικανότητας (Kraus,2003):

$$R_{\text{max}} = 2000 / \kappa \quad [\text{L/mm}] \quad (3.5)$$

Το κατά πόσο αυτές οι θεωρητικές οριακές τιμές είναι εφικτές εξαρτάται από την ποιότητα του οπτικού συστήματος. Η επίδραση των σφαλμάτων των φακών (**οπτική**

**ασάφεια)** μπορεί να μειωθεί με μείωση του διαφράγματος, που όμως προκαλεί αύξηση της ασάφειας λόγω περίθλασης. Η βέλτιστη διαχωριστική ικανότητα επιτυγχάνεται με εκείνο το διάφραγμα, για το οποίο το άθροισμα της οπτικής ασάφειας και της ασάφειας περίθλασης γίνεται ελάχιστο. Το διάφραγμα αυτό καλείται κρίσιμο διάφραγμα.

Η διαχωριστική ικανότητα των φακών προσδιορίζεται με παρατήρηση ή φωτογράφιση ειδικών στόχων διαφόρων μεγεθών, μορφών και προσανατολισμού. Για λήψεις ελέγχου υπό πραγματικές συνθήκες προσδιορίζεται η **ολική διαχωριστική ικανότητα**.

### 3.3 Κλίμακα

Κλίμακα  $m_b$  της αεροφωτογραφίας είναι ο λόγος της απόστασης μεταξύ δύο σημείων στην εικόνα προς την αντίστοιχη απόσταση στο έδαφος. Στην ειδική περίπτωση που το επίπεδο της εικόνας είναι παράλληλο με το επίπεδο του εδάφους, η λήψη αποτελεί μια σμίκρυνση του επιπέδου του εδάφους που βρίσκεται στην φωτογραφία. Η φωτογραφική κλίμακα σε αυτή τη περίπτωση, όταν θεωρείται ομοιόμορφη (για μικρό γωνιακό άνοιγμα φακού), είναι ίση με (Kraus, 2003):

$$m_b = f / H \quad (3.5)$$

όπου  $f$  η εστιακή απόσταση και  $H$  το ύψος πτήσης του αεροπλάνου.

Η κλίμακα  $m_b$  μπορεί να προσδιοριστεί και αν μετρηθεί απόσταση γνωστού μήκους στην εικόνα και διαιρεθεί με την απόσταση στο έδαφος.

### 3.4. Μετατόπιση ανάγλυφου

Μετατόπιση ανάγλυφου παρουσιάζεται σ' όλες τις κατακόρυφες φωτογραφίες. Οι κορυφές των αντικειμένων που φαίνονται στην αεροφωτογραφία, όπως κτηρίων, δέντρων, κτλ., μετατοπίζονται από τις βάσεις σε διεύθυνση ακτινική με κέντρο το κέντρο της φωτογραφίας (Σχ. 3.3). Η μετατόπιση αυτή μπορεί να εκφραστεί ως (Μερτίκας, 1999):

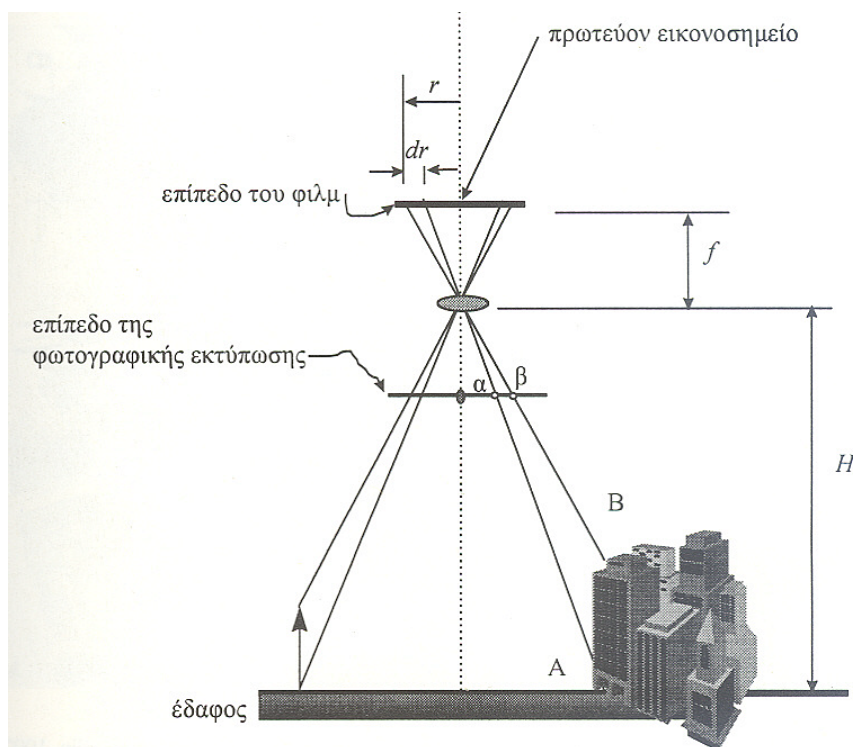
$$\Delta h = (dr / r) \cdot f \cdot m_b \text{ [m]} \quad (3.6)$$

$$\Delta h = (dr / r) \cdot H \text{ [m]}$$

Όπου  $\Delta h$  είναι το ύψος του αντικειμένου – στόχου,  $r$  είναι η ακτινική μετατόπιση από το κέντρο της φωτογραφίας μέχρι την κορυφή του μετατοπισμένου εικονοσημείου,  $f$  η εστιακή απόσταση της μηχανής,  $m_b$  η κλίμακα της εικόνας και  $H$  το ύψος πτήσης σε μέτρα [m]. Το  $dr$  είναι το μήκος του ειδώλου του αντικειμένου από τη βάση του μέχρι τη κορυφή του και ονομάζεται **ακτινική μετατόπιση της εικόνας**.

Ο υπολογισμός του ύψους των αντικειμένων χρησιμοποιώντας τη μετατόπιση του ανάγλυφου ισχύει με τις εξής προϋποθέσεις:

- Η αεροφωτογραφία να είναι κατακόρυφη, δηλαδή το κέντρο της φωτογραφίας (πρωτεύον εικονοσημείο) και το ναδίρ να μπορεί να θεωρηθεί ότι ταυτίζονται.
- Το ύψος πτήσης  $H$  πάνω από τη βάση του αντικειμένου να μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια.
- Η κορυφή B καθώς και η βάση A του αντικειμένου να εμφανίζονται ευκρινώς στην αεροφωτογραφία.
- Η ακτινική μετατόπιση του αντικειμένου στην εικόνα να μπορεί να μετρηθεί.



Σχήμα 3.3 Μετατόπιση ανάγλυφου (Μερτίκας, 1999)

### **3.5 Λήψη αεροφωτογραφιών**

#### **3.5.1. Προδιαγραφές εναέριων μετρητικών μηχανών λήψης**

Οι μηχανές εναέριων λήψεων πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές. Η βασική απαίτηση είναι η ευκρίνεια και η διαχωριστική ικανότητα. Η γεωμετρική πιστότητα, δηλαδή η έλλειψη γεωμετρικής στρέβλωσης, είναι δευτερεύουσας σημασίας. Δεδομένου ότι τοποθετούνται σε αεροσκάφη, πρέπει η εγκατάστασή τους να καλύπτει τις τεχνικές προδιαγραφές ασφαλείας που ισχύουν στην αεροπλοΐα και να μπορούν να λειτουργούν στις κατάλληλες συνθήκες, όπως π.χ. σε σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα 28 V.

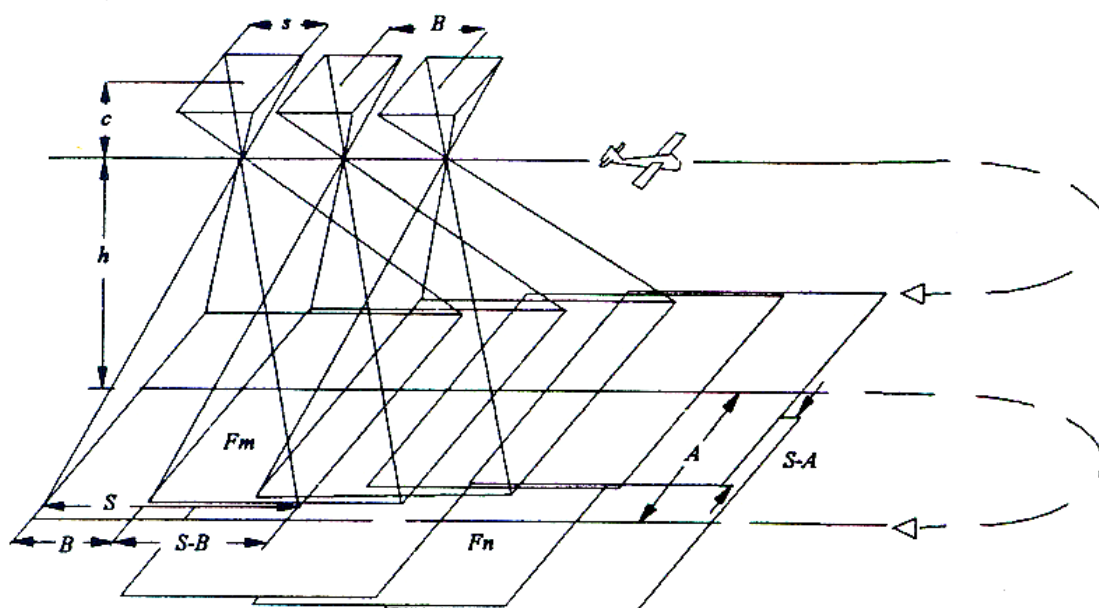
Η μηχανή λήψης πρέπει να έχει συγκεκριμένους μηχανισμούς ώστε να πληρεί τις παρακάτω προδιαγραφές:

- Η εναέρια μηχανή λήψης πρέπει να μπορεί να οριζοντιωθεί στα όρια των  $\pm 5$  grad.
  - Πρέπει να διαθέτει μηχανισμό που επιτρέπει στροφή γύρω από τον οπτικό άξονα για τη διόρθωση της απόκλισης κατά τη πτήση.
  - Το ίχνος πτήσης θα πρέπει να ακολουθείται με ακρίβεια, τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά. Επομένως η πλατφόρμα που φέρει την μηχανή θα πρέπει να διαθέτει καλό σύστημα πλοήγησης.
  - Η μηχανή λήψης πρέπει να έχει μηχανισμό τήρησης επικάλυψης.
  - Τυχόν διορθώσεις των παραμέτρων πτήσης επιτρέπεται να γίνονται μόνο στα χρονικά διαστήματα μεταξύ των λήψεων, γεγονός που κάνει απαραίτητη την ύπαρξη συστήματος ένδειξης της χρονικής στιγμής έκθεσης.
  - Η κίνηση του αεροσκάφους προκαλεί κατά την έκθεση, μια φαινομενική μετακίνηση της εικόνας, που εξαλείφεται με κατάλληλο μηχανισμό που κινεί το φίλμ προς τη διεύθυνση πτήσης.
-

### 3.5.2. Προγραμματισμός πτήσης

Κατά τον προγραμματισμό της πτήσης υπολογίζονται τα παρακάτω στοιχεία. Αυτά έχουν συνήθως επικάλυψη κατά μήκος  $l = 60\%$  και επικάλυψη κατά πλάτος  $q = 30\%$  ώστε οι εικόνες που θα προκύψουν να δίνουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Οι απλές γεωμετρικές σχέσεις για την κατάστρωση ενός σχεδιασμού αεροφωτογραφήσεων δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις με την προϋπόθεση επίπεδου εδάφους.



A	= απόσταση των αξόνων πτήσης (απόσταση λωρίδων)
B	= βάση διαδοχικών λήψεων
c	= σταθερά μηχανής
s	= πλευρά εικόνας (έως το περιθώριο)
H	= ύψος πτήσης πάνω από το έδαφος
Z	= μέσο υψόμετρο εδάφους
Z <sub>ο</sub>	= υψόμετρο πτήσης
v	= ταχύτητα πτήσης σχετικά με το έδαφος
L	= μήκος μιας λωρίδας ή της προς φωτογράφιση περιοχής (μπλοκ)
Q	= πλάτος της προς φωτογράφιση περιοχής (μπλοκ)

Σχήμα 3.3 Η γεωμετρία του προγραμματισμού πτήσης για επίπεδο έδαφος. (Kraus, 2003)

- Κλίμακα φωτογραφίας  $m_b = h/c$
- Πλευρά φωτογραφίας στο έδαφος  $S = s \cdot m_b$

- Βάση στη φωτογραφία  $b = B / m_b$
- Υψόμετρο πτήσης  $Z_0 = h + Z$
- Επιφάνεια κάλυψης εικόνας  $F_b = S^2$
- Απόσταση ζωνών για  $q\%$  κατά πλάτος επικάλυψη  $A = S \cdot \left(1 - \frac{q}{100}\right)$
- Αριθμός μοντέλων ανά λωρίδα  $n_m = \left\lceil \frac{L}{B} \right\rceil + 1$
- Αριθμός λήψεων ανά λωρίδα  $n_b = n_m + 1$
- Αριθμός λωρίδων ανά μπλοκ  $n_s = \left\lceil \frac{Q}{A} \right\rceil + 1$
- Επιφάνεια στερεοκάλυψης μοντέλου  $F_m = (S - B) \cdot S$
- Επιφάνεια μοντέλου  $F_n = A \cdot B$
- Χρόνος μεταξύ διαδοχικών λήψεων  $\Delta t = \frac{B}{v} \geq 2$

### 3.6 Οι Αεροφωτογραφίες

Στη συνέχεια παρατίθενται σε σμίκρυνση οι αεροφωτογραφίες από τη περιοχή του Καρεβέ στη Γαύδο που θα χρησιμοποιηθούν σ' αυτή τη διπλωματική.

Οι αεροφωτογραφίες αυτές λήφθηκαν στις 10 Απριλίου 1997, το ύψος πτήσης ήταν 920m. Ο φακός της φωτογραφικής μηχανής είχε γωνιακό άνοιγμα  $55,8^\circ$  και εστιακή απόσταση 153,35 mm. Η περιοχή που καλύπτουν φαίνεται στο Παράρτημα II.

Οι αεροφωτογραφίες που παρουσιάζονται έχουν σημαντικά γεωμετρικά σφάλματα, τα οποία αναλύονται στο επόμενο Κεφάλαιο.



Σχήμα 3.5 Πρώτη εικόνα (11040).





Σχήμα 3.6 Δεύτερη εικόνα (11056).



Σχήμα 3.7 Τρίτη εικόνα (11062).



Σχήμα 3.8 Τέταρτη εικόνα (11063).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

Κατά τη λήψη των αεροφωτογραφιών δημιουργούνται σφάλματα. Άλλα είναι συστηματικά κι άλλα τυχαία ώστε η εικόνα που προκύπτει δεν είναι ακριβής απεικόνιση του εδάφους. Συχνά όμως ζητείται οι πληροφορίες που περιέχονται σε εικόνες τηλεπισκόπησης να συσχετιστούν με κάποιο χάρτη ή να ενταχθούν σε ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS).

Δύο παράμετροι καθορίζουν την ποιότητα μιας εικόνας Τηλεπισκόπησης. Η χωρική διαχωριστική ικανότητα (χωρική ανάλυση) και η ραδιομετρική διαχωριστική ικανότητα (ραδιομετρική ανάλυση). Η χωρική ανάλυση περιγράφει το πόσο λεπτομερής είναι μια εικόνα στο χώρο, και κατά συνέπεια καθορίζει τον αριθμό των ψηφίδων της εικόνας. Η ραδιομετρική ανάλυση εκφράζει το πόσες λεπτομέρειες υπάρχουν κατά την καταγραφή του συστήματος της έντασης της ακτινοβολίας και επομένως αντιστοιχεί στον αριθμό των διαβαθμίσεων του γκρι.

#### 4.1. Ραδιομετρικά σφάλματα

Οι επιδράσεις στη ραδιομετρία της εικόνας οφείλονται σε παράγοντες όπως:

- Ο θόρυβος του συστήματος λήψης.
- Η κακή ή ελαττωματική λειτουργία των αισθητήρων.
- Οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας και των διασκορπισμένων σ' αυτή σωματιδίων στην ακτινοβολία που φτάνει στον ανιχνευτή.

#### **4.1.1. Σφάλματα λόγω κακής λειτουργίας των ανιχνευτών**

Ραδιομετρικά σφάλματα σ' έναν διάυλο και μεταξύ διαύλων μπορεί να προέρχονται από την κακή λειτουργία των ανιχνευτών του συστήματος. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι κανένας ανιχνευτής δεν λειτουργεί εντελώς ταυτόχρονα με τους υπόλοιπους. Αν το πρόβλημα γίνει αρκετά σοβαρό, παρατηρούνται φαινόμενα απορύθμισης της καταγραφής μίας γραμμής και φαινόμενα λωριδοποίησης των δημιουργούμενων εικόνων.

Οποιαδήποτε και να είναι η αιτία των ραδιομετρικών αυτών ατελειών, οι απωλεσθείσες γραμμές σάρωσης εμφανίζονται ως οριζόντιες λευκές ή μαύρες γραμμές στην εικόνα. Η παρουσία τέτοιων γραμμών στην εικόνα μειώνει την ευκρίνειά της και δημιουργεί προβλήματα στην ερμηνεία της.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ραδιομετρικά σφάλματα λόγω διαφοροποίησης ανιχνευτών δεν αφορούν τις αεροφωτογραφίες. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι οι μηχανές λήψης δεν αποτελούνται από πολλαπλούς ανιχνευτές και διαύλους, όπως οι σαρωτές των δορυφόρων. Αναφέρεται όμως επειδή στο μέλλον μπορεί να χρησιμοποιηθούν ψηφιακές σαρωτικές μηχανές στην αεροφωτογραφία και για λόγους πληρότητας του κειμένου.

#### **4.1.2. Σφάλματα από την επίδραση της ατμόσφαιρας**

Η παρουσία της ατμόσφαιρας αλλάζει την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία που ανακλά ο στόχος με διάφορους τρόπους όπως:

- Η ηλιακή ακτινοβολία εξασθενεί εξαιτίας της απορρόφησης από τα σύννεφα και τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας.
  - Η ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται από το στόχο σκεδάζεται από τα σωματίδια της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να εξασθενεί και να φτάνει στον ανιχνευτή μειωμένη.
  - Μέρος της ενέργειας που ανακλάται από άλλες διευθύνσεις σκεδάζεται στην ατμόσφαιρα και προστίθεται στην ακτινοβολία του στόχου που φτάνει στη μηχανή λήψης.
-



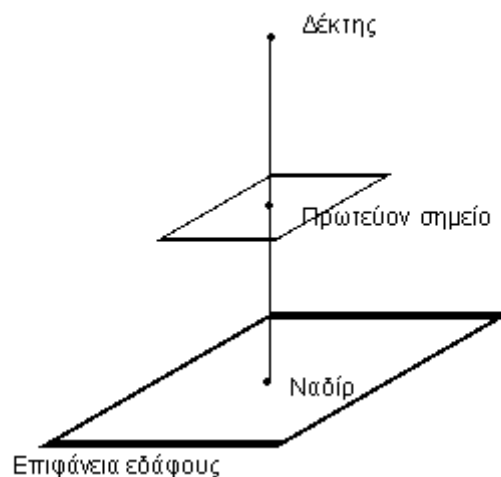
Ο συντελεστής  $T_i$  εξαρτάται από το μήκος κύματος  $\lambda$ . Τα  $E_\theta$  και  $E_D$  προφανώς αναφέρονται στην ακτινοβολία με μήκος κύματος  $\lambda$ .

Η ακτινοβολία που καταγράφεται στο δέκτη εξαρτάται από τον συντελεστή ανάκλασης του στόχου,  $\rho$ . Επιπλέον υφίσταται περαιτέρω εξασθένηση λόγω του ότι ο συντελεστής διαπερατότητας  $T_r$  κατά μήκος της ανακλώμενης ακτίνας είναι μικρότερος της μονάδας και ενίσχυση λόγω της ακτινοβολίας διαδρομής  $L_P$ . Έτσι:

$$L_q = \frac{\rho \cdot T_r}{\pi} \cdot E_G + L_P \quad [\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{sr})] \quad (4.3)$$

#### 4.2. Γεωμετρικά σφάλματα

Για την αεροφωτογραφία, η γεωμετρία της απεικόνισης είναι κεντρική προοπτική προβολή με κεντρικό σημείο (πρωτεύον σημείο) το ναδίρ της φωτογραφίας (Σχ 4.2).



Σχήμα 4. 2 Γεωμετρία της Αεροφωτογραφίας.

Οι επιδράσεις στη γεωμετρία μιας αεροφωτογραφίας δημιουργούν παραμορφώσεις. Αυτό σημαίνει ότι η αεροφωτογραφία δεν είναι ακριβής εικόνα του στόχου και έτσι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χάρτης. Οι αιτίες των παραμορφώσεων αυτών για τις αεροφωτογραφίες μπορούν να συνοψιστούν:

- Στο ανάγλυφο του εδάφους.
- Στις πανοραμικές παραμορφώσεις.

- Στην αβεβαιότητα λόγω κίνησης, δηλαδή στις μεταβολές των κλίσεων, του ύψους και της ταχύτητας του αεροσκάφους που φέρει τη μηχανή λήψης.
- Σε σφάλματα των φακών και της μηχανής λήψης.

Οι εικόνες που προέρχονται από δορυφόρους παρουσιάζουν επιπλέον γεωμετρικές παραμορφώσεις λόγω των ανωτέρω αιτιών αλλά περιλαμβάνουν κι επιπλέον αιτίες όπως:

- Την περιστροφή της Γης κατά τη διάρκεια της λήψης.
- Την πεπερασμένη ταχύτητα σάρωσης κάποιων ανιχνευτών.
- Την καμπυλότητα της Γης.

#### 4.2.1 Επιδράσεις λόγω του ανάγλυφου του εδάφους

Μία λήψη είναι αρκετή για την ανάπλαση ενός επίπεδου αντικειμένου. Όταν όμως ο στόχος δεν είναι επίπεδος, τότε υπάρχουν γεωμετρικά σφάλματα λόγω μετατόπισης ανάγλυφου. Σημεία που δεν ανήκουν στο υψομετρικό επίπεδο του αντικειμένου απεικονίζονται στην αεροφωτογραφία μετατοπισμένα ακτινικά ως προς το πρωτεύον σημείο. Η ακτινική μετατόπιση της εικόνας είναι στη διεύθυνση του πρωτεύοντος εικονοσημείου και η τιμή της  $dr$  υπολογίζεται με τη βοήθεια της σχέσης [Μερτίκας (1999)]:

$$dr = (r / H) \cdot \Delta h \text{ [m]} \quad (4.4)$$

Όπου  $\Delta h$  είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ του ύψους του σημείου και του μέσου ύψους του επιπέδου του αντικειμένου,  $r$  είναι η ακτινική μετατόπιση από το πρωτεύον εικονοσημείο μέχρι την κορυφή του μετατοπισμένου εικονοσημείου, και  $H$  το ύψος πτήσης σε μέτρα [m].

Περισσότερα για την μετατόπιση αναγλύφου έχουν αναφερθεί στο Κεφ. 3.4.





Για μικρές τιμές γωνίας παρατήρησης  $\theta$  οι γεωμετρικές αυτές παραμορφώσεις είναι αμελητέες. Οι αεροφωτογραφίες όμως έχουν μεγάλες γωνίες παρατήρησης, όσο το μισό γωνιακό άνοιγμα του φακού που χρησιμοποιείται (Πιν. 1).

Τύπος Φακού	Γωνιακό άνοιγμα (μοίρες)	$p_\theta / p$	$q_\theta / q$
Οξυγώνιος	29,7	1,07	1,03
Κανονικός	55,8	1,28	1,13
Ενδιάμεσος	76,5	1,62	1,27
Ευρυγώνιος	90	2,00	1,41
Υπερευρυγώνιος	126	4,84	2,20

Πίνακας 4.1 Γωνιακό άνοιγμα ανάλογα με τον τύπο του φακού. (Kraus, 2003)

#### 4.2.3. Αβεβαιότητα λόγω κίνησης

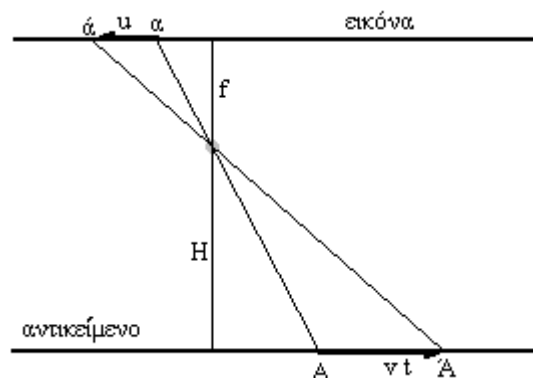
Σφάλματα λόγω κίνησης προκαλούνται από τη μετακίνηση της εικόνας κατά τη διάρκεια της έκθεσης, που προκαλείται από την κίνηση του αεροπλάνου, τις μεταβολές των κλίσεων του και τους κραδασμούς του.

##### 4.3.2.1 Μετατόπιση της εικόνας λόγω πρόσω κίνησης

Η μετατόπιση λόγω πρόσω κίνησης του ειδώλου ενός στόχου στο έδαφος δημιουργείται λόγω του ότι για να αποτυπωθεί ο στόχος στους φωτοευαίσθητους κρυστάλλους του φιλμ, πρέπει αυτοί να εκτεθούν στην ακτινοβολία για ορισμένο χρονικό διάστημα. Ο χρόνος αυτός  $t$  ονομάζεται **χρόνος έκθεσης**. Κατά τη διάρκεια του χρόνου έκθεσης που το διάφραγμα μένει ανοικτό, το αεροσκάφος κινείται προς τα εμπρός με αποτέλεσμα να αλλάζει διαρκώς η σχετική θέση του στόχου σε σχέση με τη μηχανή λήψης (Σχ 4.4).

Η **θεωρητική μετατόπιση** του ειδώλου  $u_{th}$  ενός σημείου Α του αντικειμένου στη φωτογραφία είναι (Kraus, 2003):

$$u_{th} = 10^6 \cdot v \cdot t \cdot m_b / 3600 = 278 \cdot v \cdot t \cdot m_b \quad [\text{mm}] \quad (4.7)$$



Σχήμα 4. 4 Θεωρητική μετατόπιση ειδώλου

όπου  $v$  η ταχύτητα του αεροπλάνου σε [km /h],  $t$  ο χρόνος έκθεσης σε sec, και  $m_b$  η κλίμακα της εικόνας.

Αν από το συνολικά απεικονιζόμενο είδωλο αφαιρεθεί το πραγματικό μέγεθος του (δηλαδή χωρίς τη μετατόπιση), διαπιστώνεται ότι στην εικόνα εμφανίζεται μόνο το μισό περίπου της θεωρητικής τιμής  $u_{th}$ , που είναι το σφάλμα λόγω κίνησης.

$$u \approx u_{th} / 2 = 139 \cdot v \cdot t \cdot m_b \quad [\text{mm}] \quad (4.8)$$

Σφάλματα που προκαλούνται από τη κίνηση του αεροπλάνου μειώνουν τη διαχωριστική ικανότητα  $R$ . Στην πράξη είναι αποδεκτό ότι το μέγιστο όριο ανοχής για τη θεωρητική μετατόπιση εικόνας είναι 1,5 φορές μεγαλύτερο από την αντίστροφη τιμή της διαχωριστικής ικανότητας.

$$u_{th, max} \leq 1,5 / R \quad (4.9)$$

Αυτή η μέγιστη θεωρητική μετατόπιση, περιορίζει αντίστοιχα τη μέγιστη ταχύτητα του αεροπλάνου, τη μέγιστη ανεκτή κλίμακα και το μέγιστο χρόνο έκθεσης. Δηλαδή για  $R = 80 \text{ L/ mm}$  προκύπτει  $u_{th} \leq 19 \mu\text{m}$  το οποίο σημαίνει ότι για κλίμακα  $m_b = 10^{-4}$  και χρόνο έκθεσης  $1 / 440 \text{ sec}$ , η μέγιστη ταχύτητα του αεροπλάνου μπορεί να είναι 300 km/h. Για αεροσκάφος ταχύτητας 300 km/h και χρόνο έκθεσης  $1 / 300 \text{ sec}$  η μέγιστη κλίμακα φωτογράφισης είναι  $m_{b, max} \approx 1 / 7400$ .

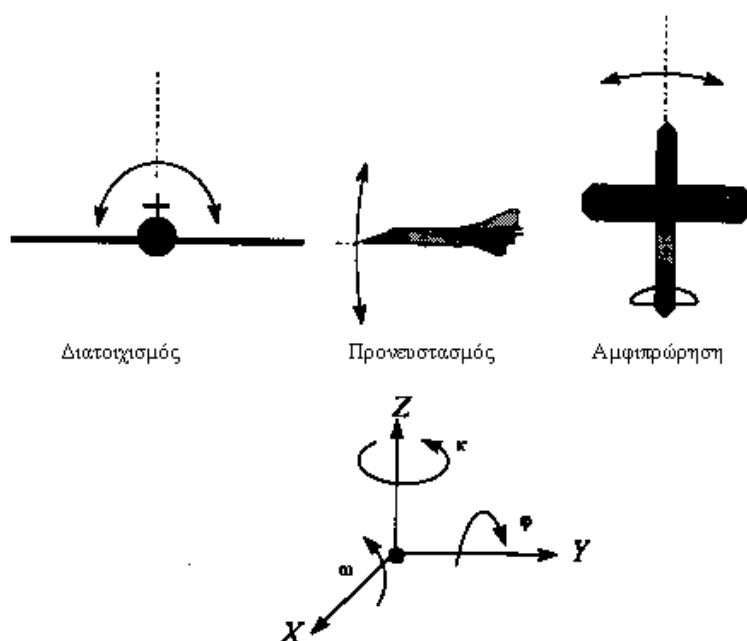
Στις σύγχρονες μετρητικές μηχανές λήψης αεροφωτογραφιών είναι δυνατό να αντισταθμιστεί η αβεβαιότητα λόγω πρόσω κίνησης, δεδομένης της σταθερής κίνησης του αεροπλάνου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μικροεπεξεργαστή που μετατοπίζει την πλάκα του φιλμ με μια ταχύτητα  $v' = c \cdot v / h$  κατά τη διάρκεια της

έκθεσης. Αυτή η μέθοδος αντιστάθμισης της κίνησης δεν εξαλείφει εντελώς το σφάλμα λόγω πρόσω κίνησης, αλλά το μεγαλύτερο μέρος της.

#### 4.2.3.2 Παραμόρφωση λόγω μεταβολής της κλίσης του αεροπλάνου

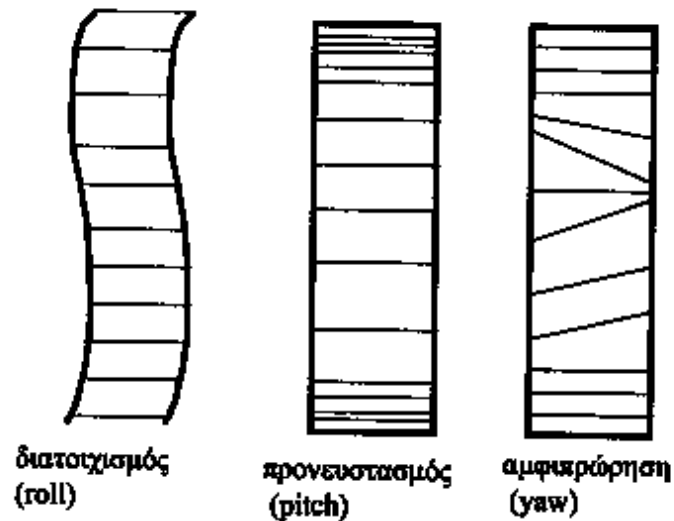
Η θέση και ο προσανατολισμός της πλατφόρμας λήψης μπορεί να προσδιοριστεί και να περιγραφεί από έξι ανεξάρτητες παραμέτρους που όλες επηρεάζουν τη γεωμετρία της εικόνας. Οι παράμετροι που καθορίζουν τη θέση της πλατφόρμας στο χώρο είναι οι καρτεσιανές συντεταγμένες ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ). Οι παράμετροι που καθορίζουν τον προσανατολισμό της πλατφόρμας είναι οι γωνίες στροφής ( $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ ) (Σχ 4.5).

Καθώς εκτελείται η πτήση, το αεροσκάφος δεν είναι απόλυτα σταθερό. Οι κινήσεις και οι ταλαντώσεις του αεροσκάφους κατά τη πτήση δημιουργούν γεωμετρικές παραμορφώσεις. Λόγω του **διατοιχισμού** δημιουργούνται στροφές  $\omega$  της μηχανής λήψης γύρω από τον άξονα  $X$ . Λόγω του **προνευστασμού** δημιουργούνται στροφές  $\phi$  της μηχανής λήψης γύρω από τον άξονα  $Y$ . Λόγω της **αμφιπρόρρησης** δημιουργούνται στροφές της μηχανής λήψης γύρω από τον άξονα  $Z$  (Σχ 4.5).



Σχήμα 4. 5 Στροφές της πλατφόρμας λήψης. (Μερτίκας, 1999)

Οι επιδράσεις των γωνιών του διατοιχισμού, του προνευστασμού και της αμφιπρόρρησης του αεροσκάφους στη γεωμετρική παραμόρφωση της εικόνας που προκύπτει φαίνονται στο Σχήμα 4.6.



**Σχήμα 4. 6** Οι γεωμετρικές παραμορφώσεις που προκαλούνται σε παράλληλες γραμμές στο έδαφος όπως εμφανίζονται στην εικόνα λόγω των στροφών της πλατφόρμας. (Μερτίκας, 1999)

Τα σφάλματα αυτά πρέπει να διορθωθούν, ώστε μετά τη διόρθωση, οι εικόνες να ανήκουν σε μία συγκεκριμένη χαρτογραφική προβολή όπου θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να μπορούν να ενωθούν σε ένα φωτομωσαϊκό. Στο επόμενο Κεφάλαιο αναπτύσσονται οι χαρτογραφικές προβολές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ

Η επιφάνεια της Γης αποδίδεται μαθηματικά από τη λεία επιφάνεια ενός ελλειψοειδούς εκ περιστροφής γνωστών παραμέτρων. Το πρόβλημα των χαρτογραφικών προβολών περιορίζεται στην απεικόνιση της επιφάνειας αυτού του ελλειψοειδούς στο επίπεδο. Το πρόβλημα παρουσιάζεται λόγω της καμπυλότητας της Γης.

**Χάρτης** είναι μια συστηματική αλλά σε σμίκρυνση γραφική αναπαράσταση ολόκληρου ή μέρους του γεωγραφικού χώρου της υδρογείου.

Κατά την αποτύπωση μιας μικρής έκτασης της Γης σε χάρτη, η καμπυλότητα της Γης δεν λαμβάνεται υπ' όψιν. Για τη σχεδίαση χαρτών μεγάλων εκτάσεων, η παραδοχή αυτή δεν είναι ικανοποιητική γιατί η καμπυλότητα της Γης δεν μπορεί πια να θεωρηθεί αμελητέα. Οι απεικονίσεις στο επίπεδο δημιουργούν γεωμετρικές παραμορφώσεις επειδή η επιφάνεια του ελλειψοειδούς δεν είναι αναπτυκτή. **Αναπτυκτή** είναι επιφάνεια που μπορεί να μετατραπεί σε επίπεδη χωρίς γεωμετρικές παραμορφώσεις.

#### 5.1. Χαρτογραφικές απεικονίσεις

**Χαρτογραφική απεικόνιση** ονομάζεται οποιαδήποτε αμφιμονοσήμαντη απεικόνιση σημείων της επιφάνειας του ελλειψοειδούς στο επίπεδο. Σε μια ιδανική χαρτογραφική απεικόνιση, χωρίς παραμορφώσεις, θα έπρεπε να ικανοποιούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- Η μορφή των γεωμετρικών σχημάτων (εκτάσεων) της Γης να μην παραμορφωθεί στο χάρτη.

- Η γωνία δύο οποιωνδήποτε εφαπτόμενων γραμμών σε σημείο της γήινης επιφάνειας να ισούται με τη γωνία των αντίστοιχων εφαπτομένων στο χαρτογραφικό επίπεδο.
- Όλες οι διευθύνσεις και τα αζιμούθια για όλα τα σημεία του χάρτη να απεικονίζονται σωστά σε σχέση με το κέντρο του χάρτη.
- Ο συντελεστής της παραμόρφωσης της απεικόνισης να διατηρείται ίσος με τη μονάδα καθόλη την έκταση του χάρτη.
- Όλα τα εμβαδά στη γήινη επιφάνεια πρέπει να καλύπτουν το ίδιο εμβαδόν στον χάρτη.
- Τα γεωδαιτικά μήκη και πλάτη ( $\phi$ ,  $\lambda$ ) όλων των σημείων της Γης θα πρέπει να απεικονίζονται σωστά.

Κανένας χάρτης δεν διατηρεί την ίδια κλίμακα καθ' όλη την έκτασή του. Συνήθως, η κλίμακα διατηρείται μόνο κατά μήκος συγκεκριμένων γραμμών. Ο **συντελεστής παραμόρφωσης** δίνει πληροφορίες για το πώς μεταβάλλεται η κλίμακα στον υπόλοιπο χάρτη.

#### **5.1.1. Κατηγορίες χαρτογραφικών απεικονίσεων**

Εξαιτίας του πολύπλοκου σχήματος της επιφάνειας της Γης, είναι αδύνατο να ικανοποιηθούν όλες οι παραπάνω συνθήκες σε μία χαρτογραφική απεικόνιση. Έτσι προκύπτουν διάφορες κατηγορίες χαρτών, σύμφωνα με τα κριτήρια που πληρούν. Οι πιο διαδεδομένες είναι:

- **Σύμμορφη ή ισόμορφη** χαρτογραφική απεικόνιση. Είναι εκείνη που διατηρεί αναλλοίωτο το σχήμα ή τη μορφή οποιουδήποτε τμήματος της επιφάνειας της Γης. Η σύμμορφη απεικόνιση διατηρεί επίσης της γωνίες αναλλοίωτες. Ο συντελεστής παραμόρφωσης γύρω από οποιοδήποτε σημείο είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μικρές εκτάσεις να εμφανίζονται με το σωστό σχήμα, αλλά τα σχήματα μεγάλων εκτάσεων να παραμορφώνονται.

- **Ισοεμβαδική** ή **ισοδύναμη** απεικόνιση είναι η απεικόνιση για την οποία ένα οποιοδήποτε τμήμα της επιφάνειας της Γης απεικονίζεται σε τμήμα ίσου εμβαδού στον χάρτη. Άρα, στην ισοεμβαδική απεικόνιση τα εμβαδά διατηρούνται, παρόλο που τα σχήματα και οι γωνίες παραμορφώνονται.
- **Ισομετρική** απεικόνιση είναι εκείνη που είναι συγχρόνως σύμμορφη και ισοεμβαδική.
- **Αξιμουθιακή** απεικόνιση είναι η απεικόνιση στην οποία απεικονίζονται σωστά τα αξιμούθια για οποιοδήποτε σημείο ως προς το κεντρικό σημείο του χάρτη.
- **Ισαπέχουσα** απεικόνιση είναι αυτή που αποδίδει σωστά τις γεωδαιτικές αποστάσεις της γήινης επιφάνειας. Η ισαπέχουσα προβολή περιορίζει την ιδιότητα της σταθερής κλίμακας σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις.

## 5.2. Γεωδαιτικές συντεταγμένες

Οι θέσεις των σημείων της γήινης επιφάνειας συνήθως δίνονται σε καρτεσιανές ( $X, Y, Z$ ) ή γεωδαιτικές ( $\varphi, \lambda, h$ ) συντεταγμένες. Οι **γεωδαιτικές συντεταγμένες** βασίζονται σε ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής. Οι θέσεις σημείων της Γης σ' αυτό το σύστημα εκφράζονται ως γωνιακές συντεταγμένες του πλάτους  $\varphi$  και του μήκους  $\lambda$  καθώς και ως μονάδες μήκους για το υψόμετρο  $h$  του σημείου από την επιφάνεια του ελλειψοειδούς (Σχ. 5.1).

**Γεωδαιτικό πλάτος  $\varphi$**  είναι η γωνία μεταξύ της καθέτου από το σημείο από το P στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς και του ισημερινού. **Γεωδαιτικό μήκος  $\lambda$**  είναι η διέδρη γωνία μεταξύ του μεσημβρινού αναφοράς και του μεσημβρινού που διέρχεται από το σημείο P. **Γεωμετρικό υψόμετρο  $h$**  ονομάζεται το μήκος της καθέτου μεταξύ του σημείου P και του ελλειψοειδούς (Σχ. 5.1).

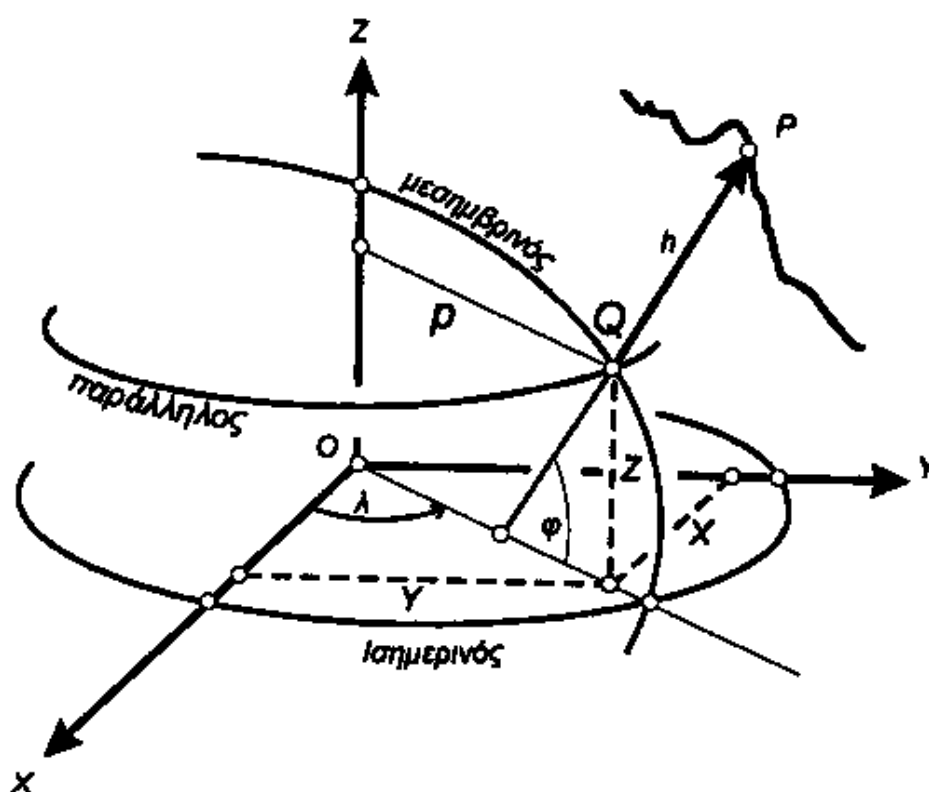
Ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής δημιουργείται αν περιστραφεί μια έλλειψη γύρω απ' τον μικρό της άξονα. Η έλλειψη αυτή ονομάζεται **μεσημβρινή έλλειψη**. Ο μεγάλος ημιάξονας  $a$  της έλλειψης θα είναι κι ο μεγάλος ημιάξονας του ελλειψοειδούς. Ο μικρός ημιάξονας  $b$  θα είναι αντίστοιχα ο μικρός άξονας του ελλειψοειδούς. Η **επιπλάτυνση  $f$**  του ελλειψοειδούς ορίζεται ως  $f = (a - b) / a$ . Οι



γεωμετρικές παράμετροι ( $a$ ,  $f$ ) μερικών ελλειψοειδών εκ περιστροφής που προσεγγίζουν το γεωειδές φαίνονται στο Πίνακα 3.1.

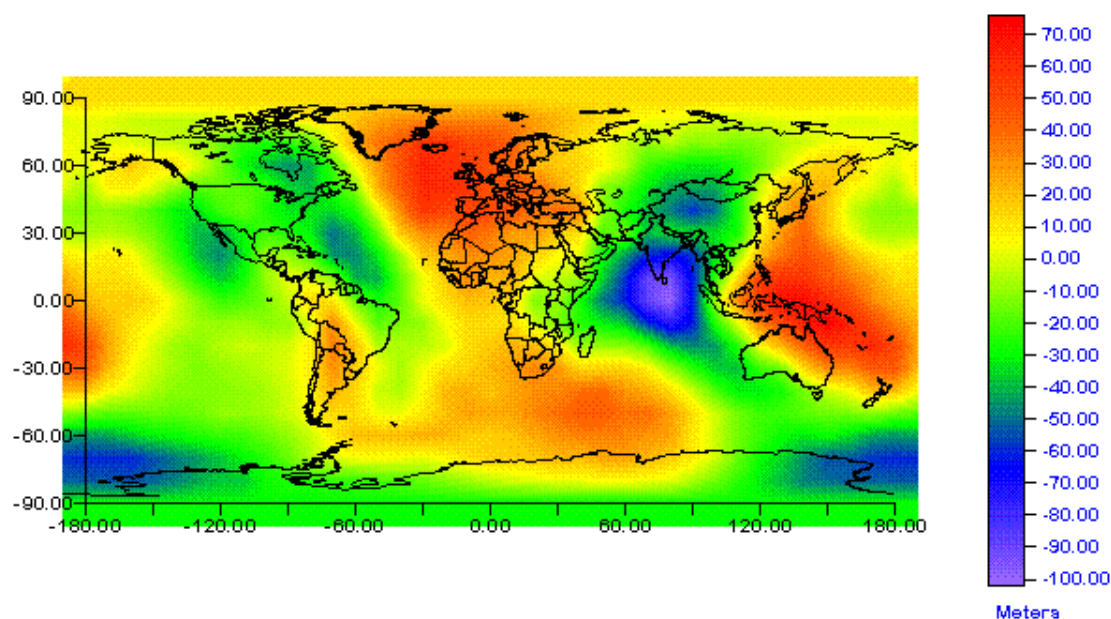
Ελλειψοειδές	Ημιάξονας $a$ (m)	Επιπλάτυνση $f$
GRS 1980	6.378.137,0	1/ 298,2572236
WGS84	6.378.136,6	1/ 298,25642
ΔΙΕΘΝΕΣ	6.378.388,0	1/ 297,0

Πιν 5.1. Παράμετροι ελλειψοειδών εκ περιστροφής (Dana, 1995)



Σχήμα 5. 1 Ορισμός των γεωδαιτικών συντεταγμένων (Μερτίκας, 2001)

Η επιφάνεια του ελλειψοειδούς που προσεγγίζει τη γήινη επιφάνεια χρησιμοποιείται κυρίως ως επιφάνεια αναφοράς για τις γεωδαιτικές συντεταγμένες  $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ . Ως επιφάνεια αναφοράς για τα υψόμετρα θεωρείται το γεωειδές. Γεωειδές ονομάζεται η ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας της Γης που προσεγγίζει τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η υψομετρική απόκλιση μεταξύ του γεωειδούς και του ελλειψοειδούς είναι της τάξης των 100 m (Σχ. 5.2).



Σχήμα 5. 2 Το ύψος του Γεωειδούς WGS84 (Dana, 1995)

### 5.3. Γεωδαιτικά Datum

Το σύνολο των παραμέτρων που καθορίζει τη σχέση ενός τοπικού ελλειψοειδούς με ένα παγκόσμιο ελλειψοειδές αναφοράς, ονομάζεται **γεωδαιτικό datum**. Τα γεωδαιτικά datum ορίζουν το σχήμα και το μέγεθος της Γης και το σημείο ορισμού των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση της. Τα σύγχρονα datums ταξινομούνται από απλά, επίπεδα μοντέλα μέχρι μοντέλα που περιγράφουν ακριβώς το σχήμα, το μέγεθος, το βαρυτικό πεδίο και τη γωνιακή ταχύτητα της Γης. Τα γεωδαιτικά datum είναι κυρίως θέμα της επιστήμης της Γεωδαισίας, αν και χρησιμοποιούνται από διάφορες άλλες επιστήμες.

Το γεωδαιτικό datum αποτελεί τη βάση για τον προσδιορισμό της θέσης σημείων της Γης και για τον καθορισμό των διαστάσεών της. Ένα γεωδαιτικό datum αποτελείται από ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής που προσεγγίζει καλύτερα την τοπική φυσική γήινη επιφάνεια.

Το ελλειψοειδές που προσεγγίζει το γεωειδές σε μια περιορισμένη περιοχή της Γης, έχοντας συγκεκριμένη και καθορισμένη σχέση με ένα κεντρικό σημείο της περιοχής, αποτελεί το **τοπικό γεωδαιτικό datum**. Το ελλειψοειδές που προσεγγίζει την

επιφάνεια του γεωειδούς σε όλη την έκταση της Γης κι έχει κέντρο το κέντρο μάζας της Γης, αποτελεί το **παγκόσμιο γεωδαιτικό datum**.

Για να οριστεί ένα τοπικό γεωδαιτικό datum απαιτούνται οκτώ παράμετροι:

- Δύο παράμετροι που καθορίζουν τις διαστάσεις του ελλειψοειδούς εκ περιστροφής, όπως ο μεγάλος ημιάξονας  $a$  και η επιπλάτυνση του ελλειψοειδούς  $f$ . Για το Ελληνικό Γεωδαιτικό datum (ΕΓΣΑ – 87) έχει οριστεί το ελλειψοειδές του GRS-80.
- Τρεις παράμετροι για να οριστεί η μετατόπιση της αρχής των αξόνων του τοπικού γεωδαιτικού συστήματος σε σχέση με ένα διεθνές γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων. Η αρχή των αξόνων του ΕΓΣΑ – 87 έχει μια εκκεντρότητα προς το διεθνές σύστημα BTS – 87. Η εκκεντρότητα αυτή είναι  $\Delta X = -199,652$  m,  $\Delta Y = +74,759$  m, και  $\Delta Z = +246,057$  m. Τα δύο αυτά συστήματα θεωρούνται παράλληλα.
- Τρεις γωνίες στροφής ώστε να καθοριστεί ο προσανατολισμός του τοπικού γεωδαιτικού συστήματος σε σχέση με κάποιο άλλο.

Ένα γεωδαιτικό datum υλοποιείται με το να προσδιοριστούν οι απόλυτες συντεταγμένες μιας αφετηρίας  $K_0$  ως προς το γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς. Οι συντεταγμένες του σημείου  $K_0$  διατηρούνται σταθερές για τις υπόλοιπες γεωδαιτικές εργασίες. Μετά καθορίζεται ένα αζιμούθιο  $A$  μιας γραμμής που διέρχεται από το  $K_0$  και οι αποκλίσεις της κατακόρυφου ( $\xi_0, \eta_0$ ) στο σημείο  $K_0$ .

Με την παραπάνω διαδικασία επιλέγονται ελλειψοειδή που η μαθηματική τους επιφάνεια προσαρμόζεται καλύτερα στο γεωειδές ορισμένων περιοχών αλλά συχνά το κέντρο τους  $O$  δεν ταυτίζεται με το κέντρο μάζας της Γης. Αποτέλεσμα αυτού είναι να υπάρχουν γεωδαιτικά datums που η αρχή των αξόνων τους και ο προσανατολισμός τους δεν ταυτίζεται με το παγκόσμιο γεωδαιτικό datum.

Ως αφετηρία του Ελληνικού Γεωδαιτικού datum ΕΓΣΑ – 87 έχει οριστεί το βασικό βάθρο στον δορυφορικό σταθμό του Διονύσου στην Αττική. Οι απόλυτες συντεταγμένες του βάθρου αυτού, ως προς το διεθνές σύστημα BTS – 87, είναι:

$$\varphi = 38^{\circ} 04' 33,8107''$$

$$\lambda = 23^{\circ} 55' 51,0095''$$

$$N = 7,000 \text{ m}$$

Οι αεροφωτογραφίες, μετά τη διόρθωσή τους είναι προσανατολισμένες σύμφωνα με το Γεωδαιτικό datum ΕΓΣΑ – 87.

Στα δύο επόμενα Κεφάλαια φαίνεται η επεξεργασία και τα αποτελέσματά της, ώστε να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός. Η επεξεργασία των αεροφωτογραφιών γίνεται με δύο ανεξάρτητες μεθόδους, ώστε να συγκριθούν τ' αποτελέσματα τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ  
ΜΕ ΠΟΛΥΩΝΥΜΑ

**Γεωμετρική διόρθωση** μιας εικόνας ονομάζεται ο μετασχηματισμός της εικόνας ώστε να διαθέτει αυτή τις γεωμετρικές ιδιότητες και το σύστημα αναφοράς συντεταγμένων μιας χαρτογραφικής προβολής. **Εγγραφή εικόνας** (image registration) ονομάζεται το ταίριασμα μιας εικόνας πάνω σε κάποια άλλη. Σκοπός της γεωμετρικής διόρθωσης της εικόνας είναι να μετασχηματιστεί το σύστημα συντεταγμένων της εικόνας ( $\xi, \eta$ ) σε συγκεκριμένο σύστημα ( $X, Y$ ) χαρτογραφικής προβολής.

Η γεωμετρικά ορθή φωτογραφία, που ονομάζεται **ορθοφωτογραφία** είναι η εικόνα που έχει μετασχηματιστεί από την φωτογραφική εικόνα με απαλοιφή των παραμορφώσεων και της μετατόπισης ανάγλυφου.

Η γεωμετρική διόρθωση ή η εγγραφή κάποιων εικόνων, απαιτεί πρώτα τον καθορισμό της σχέσης ανάμεσα στο σύστημα αναφοράς των συντεταγμένων της εικόνας και στον χάρτη ή την άλλη εικόνα. Μετά απαιτείται ο καθορισμός ενός συνόλου σημείων με βάση τα κέντρα των ψηφίδων στην εικόνα, τα οποία θα αποτελέσουν τον νέο κάρναβο της χαρτογραφικής προβολής. Τέλος, απαιτείται ο εκ νέου προσδιορισμός των τιμών του επιπέδου του γκρι στις νέες θέσεις των ψηφίδων από τις αρχικές τιμές της αδιόρθωτης εικόνας.

**6.1. Διόρθωση με πολυώνυμα**

Η μέθοδος αυτή δεν εξετάζει τις αιτίες που προκαλούν τις γεωμετρικές παραμορφώσεις στην εικόνα. Διορθώνει γεωμετρικά την εικόνα, βασισμένη σε συναρτήσεις που προκύπτουν λαμβάνοντας υπ' όψιν τις διαφορές που έχουν σημεία

---

στην εικόνα με αντίστοιχα σημεία στο έδαφος. Τα σημεία αυτά λέγονται **σημεία ελέγχου εδάφους** (GCP).

Ορίζουμε δύο συστήματα αναφοράς. Το ένα σύστημα περιγράφει τις θέσεις των σημείων στην εικόνα ( $\xi$ ,  $\eta$ ) και το άλλο είναι το σύστημα ( $X$ ,  $Y$ ) της επιθυμητής προβολής. Τα δύο συστήματα αναφοράς σχετίζονται μεταξύ τους με ένα ζευγάρι συναρτήσεων απεικονίσεων  $f$ ,  $g$ , ώστε:

$$\xi = f(X, Y) \quad (6.1)$$

$$\eta = g(X, Y)$$

Γνωρίζοντας τις συναρτήσεις  $f$ ,  $g$  μπορούμε να αντιστοιχίσουμε κάθε σημείο της εικόνας με το αντίστοιχο του στη χαρτογραφική προβολή. Ισχύει και τ' αντίστροφο.

Δηλαδή, η γεωμετρική διόρθωση με πολυώνυμα είναι μία διαδικασία προσδιορισμού των πολωνυμικών συναρτήσεων  $f$ ,  $g$  ώστε να συσχετιστούν όλα τα σημεία της εικόνας με τα αντίστοιχά τους στο έδαφος.

### 6.1.1 Σημεία ελέγχου εδάφους

Τα σημεία ελέγχου στο έδαφος (GCPs) είναι σημεία ευδιάκριτα στην αεροφωτογραφία με γνωστές συντεταγμένες ( $X$ ,  $Y$ ) στην επιθυμητή χαρτογραφική προβολή. Αυτές οι συντεταγμένες μπορούν να προσδιοριστούν με GPS, ή άλλες μεθόδους. Επειδή τα GCPs είναι ευκρινή σημεία στην εικόνα, εύκολα προσδιορίζονται οι θέσεις τους ( $\xi$ ,  $\eta$ ) σ' αυτήν.

Τα σημεία ελέγχου στο έδαφος πρέπει:

- Να διαγράφονται ευκρινώς στην εικόνα και στους χάρτες ώστε να είναι εύκολα αναγνωρίσιμα. Τέτοια σημεία είναι διασταυρώσεις δρόμων, ακτογραμμές, γωνίες απομακρυσμένων κτισμάτων, κτλ.
- Να είναι διάσπαρτα με ομοιογένεια σε όλη την εικόνα κι όχι συγκεντρωμένα στο κέντρο ή στη μία πλευρά.
- Να είναι εύκολα προσβάσιμα κι αναγνωρίσιμα από το έδαφος. Δηλαδή να μπορεί αυτός που παίρνει τις μετρήσεις των συντεταγμένων με το GPS να φτάσει εύκολα, με ασφάλεια και το δυνατόν γρήγορα στο κάθε

σημείο και να το αναγνωρίσει εύκολα ώστε να πάρει τη μέτρηση των συντεταγμένων με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια

- Να είναι αρκετά για τη μέθοδο διόρθωσης που έχει επιλεγεί. Κάθε GCP έχει γνωστές συντεταγμένες στην επιθυμητή χαρτογραφική προβολή, οπότε δίνει δύο γνωστούς συντελεστές ( $X$ ,  $Y$ ) για την επίλυση του συστήματος που χρησιμοποιείται.

Για να προκύψει η συνάρτηση απεικόνισης της γεωμετρικής διόρθωσης ως πολυώνυμο πρώτου βαθμού, απαιτούνται τρία GCPs, για γεωμετρική διόρθωση με πλήρες πολυώνυμο δεύτερου βαθμού απαιτούνται έξι GCPs, κτλ. Εκτός από τα απαραίτητα GCPs για την εφαρμογή της μεθόδου, χρειάζονται επιπλέον σημεία για στατιστική επεξεργασία ώστε να μειωθούν τα σφάλματα και για επαλήθευση των αποτελεσμάτων της διόρθωσης.

Συνήθως για μια αεροφωτογραφία, αν τα GCPs είναι τα διπλά από τα απαιτούμενα η διόρθωση είναι πολύ ικανοποιητική. Για φωτογραφίες από δορυφόρους όμως που καλύπτουν πολύ μεγαλύτερες περιοχές, χρειάζονται ακόμα περισσότερα σημεία, πέντε φορές περισσότερα από τα απαραίτητα για να κατασκευαστούν οι εξισώσεις.

### 6.1.2. Η μέθοδος της διόρθωσης

Οι **συναρτήσεις μετασχηματισμού**  $f$ ,  $g$  που συσχετίζουν την εικόνα με την επιθυμητή προβολή επιλέγονται ως απλά πολυώνυμα χαμηλού βαθμού. Στην εφαρμογή αυτή, χρησιμοποιήθηκαν γραμμικά πολυώνυμα της μορφής:

$$X = \alpha_0 + \alpha_1 \zeta + \alpha_2 \eta \quad (6.2)$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \zeta + \beta_2 \eta$$

Τα πολυώνυμα αυτά είναι τα πολυώνυμα του **αφινικού μετασχηματισμού**, οι ιδιότητες του οποίου παρουσιάζονται στο Κεφ 6.3

Αν οι συντελεστές  $(\alpha, \beta)$  είναι γνωστοί, τότε ο μετασχηματισμός από την εικόνα στον χάρτη θα είναι επίσης γνωστός. Οι τιμές των παραπάνω συντελεστών προσδιορίζονται με τη βοήθεια ορισμένων σημείων ελέγχου στο έδαφος.

Ο αριθμός των αγνώστων συντελεστών  $(\alpha, \beta)$  των παραπάνω συναρτήσεων μετασχηματισμού είναι έξι. Για να υπολογιστούν χρειάζονται τρία σημεία ελέγχου, που δίνουν έξι εξισώσεις σαν τις 6.2. Όταν διατίθενται περισσότερα σημεία, τότε η λύση δίνεται με στατιστικές μεθόδους, όπως είναι η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων.

Με  $v$  σημεία ελέγχου, λαμβάνονται οι παρακάτω εξισώσεις για το προσδιορισμό της συνάρτησης  $X=f(\xi, \eta)$

$$X_1 = \alpha_0 + \alpha_1 \xi_1 + \alpha_2 \eta_1 \text{ από το πρώτο σημείο ελέγχου.}$$

$$X_2 = \alpha_0 + \alpha_1 \xi_2 + \alpha_2 \eta_2 \text{ από το δεύτερο σημείο ελέγχου.}$$

...

...

$$X_v = \alpha_0 + \alpha_1 \xi_v + \alpha_2 \eta_v \text{ από το } v \text{ σημείο ελέγχου.}$$

Προκύπτουν λοιπόν, τα συστήματα για τις συντεταγμένες  $X, Y$ :

$$\mathbf{\Gamma} \cdot \mathbf{A} = \mathbf{X} \tag{6.3}$$

$$\mathbf{\Gamma} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{Y}$$

Όπου:

$$\mathbf{\Gamma} = \begin{bmatrix} 1 & \xi_1 & \eta_1 \\ 1 & \xi_2 & \eta_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \xi_v & \eta_v \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = [\alpha_0 \ \alpha_1 \ \alpha_2]^T$$

$$\mathbf{B} = [\beta_0 \ \beta_1 \ \beta_2]^T$$

$$\mathbf{X} = [X_1 \ X_2 \ \dots \ X_v]^T$$

$$\mathbf{Y} = [Y_1 \ Y_2 \ \dots \ Y_v]^T$$

Επειδή τα  $(\xi_1, \eta_1), (\xi_2, \eta_2), \dots (\xi_v, \eta_v), (X_1, Y_1), \dots (X_v, Y_v)$  είναι γνωστά, με επίλυση των συστημάτων προκύπτουν οι συντελεστές  $\alpha$  της συνάρτησης  $f$  και οι συντελεστές  $\beta$  της εξίσωσης  $g$ .



## 6.2. Τα GCPs στις εικόνες

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας, συλλέχθηκαν τα παρακάτω GCPs στη Γαύδο για τη γεωμετρική διόρθωση των εικόνων, όπως φαίνονται στο Πίνακα 6.1.

POINT	NORTHING (m)	EASTING (m)
GCP01	3855909,93	510737,26
GCP02	3856079,88	510657,83
GCP03	3856118,31	510330,20
GCP04	3856142,12	510138,20
GCP05	3855250,83	509739,97
GCP06	3855692,64	509817,20
GCP07	3856409,90	509944,40
GCP08	3856283,85	509601,73
GCP09	3855149,44	509979,31
GCP10	3855587,68	510166,25
GCP11	3854456,02	509673,77
GCP12	3856209,62	510966,97
GCP13	3856444,38	510995,64
GCP14	3856494,57	511224,11
GCP15	3856614,63	511169,12
GCP16	3856706,99	511123,30
GCP17	3857257,47	510883,44
GCP18	3856570,68	509933,56
GCP19	3855143,11	509237,23

**Πίνακας 6.1** GCP στις εικόνες και οι συντεταγμένες τους στο σύστημα ΕΓΣΑ-87.

Οι συντεταγμένες των σημείων δίνονται στο χαρτογραφικό σύστημα ΕΓΣΑ 87 σε **Northing** και **Easting**, δηλαδή απόσταση από το σημείο αρχής του συστήματος προς Βορρά και Ανατολή.

### 6.2.1. Επιλογή των GCPs

Σύμφωνα μ'όσα αναφέρθηκαν (Κεφ 6.1.1) τα GCPs επιλέχθηκαν με τη κατά το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια. Χρησιμοποιήθηκαν απότομες στροφές δρόμων και διασταυρώσεις, η προβλήτα του λιμένα, γωνίες χωραφιών και σημεία στις ακτές. Αυτά τα σημεία ήταν εύκολο να αναγνωριστούν στην εικόνα και στο έδαφος. Δυστυχώς δεν ήταν εύκολο να βρεθούν με ακρίβεια οι εικονοσυντεταγμένες των GCPs στην εικόνα 6.1, λόγω της έλλειψης εύκολα αναγνωρίσιμων σημείων.

Τα σημεία ελέγχου φαίνονται στις εικόνες 6.1 έως 6.4.



Σχήμα 6. 1 Τα GCPs στην πρώτη εικόνα.



Σχήμα 6. 2 Τα GCPs στην δεύτερη εικόνα.





Σχήμα 6. 3 Τα GCPs στην τρίτη εικόνα.



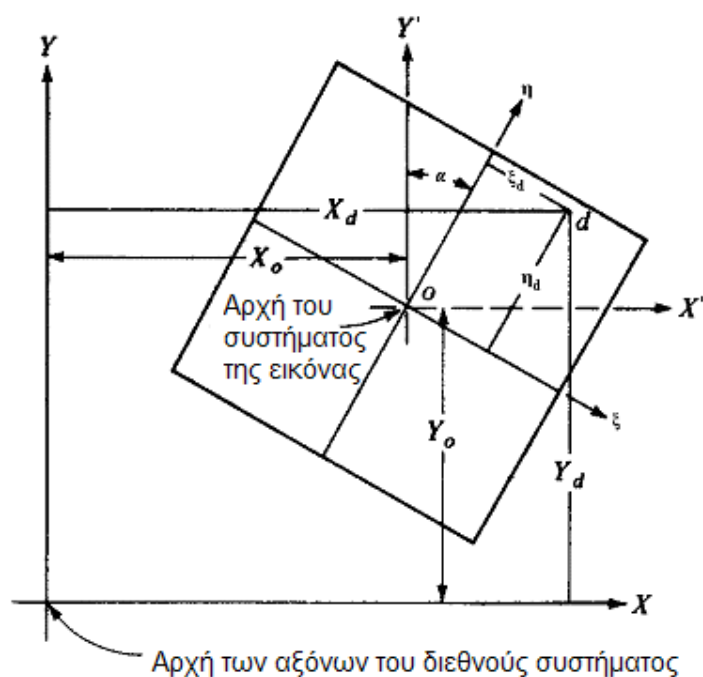
Σχήμα 6. 4 Τα GCPs στην τέταρτη εικόνα.

### 6.3. Ο αφινικός μετασχηματισμός

Ο μετασχηματισμός που χρησιμοποιήθηκε σ' αυτό το κεφάλαιο είναι ο **αφινικός μετασχηματισμός**. Ο μετασχηματισμός αυτός χρησιμοποιεί έναν πίνακα στροφής της μορφής:

$$\mathbf{R} = s \begin{bmatrix} \cos a & \sin a & 0 \\ -\sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Όπου  $s$  είναι ο αδιάστατος συντελεστής κλίμακας μεταξύ των συστημάτων  $XYZ$  και  $\xi\eta\zeta$  και  $a$  η γωνία στροφής (γύρω από τον άξονα  $\zeta$ ). Ο αφινικός μετασχηματισμός μετασχηματίζει την εικόνα ώστε οι παράλληλες ευθείες παραμένουν παράλληλες και η εικόνα που προκύπτει είναι στραμμένη κατά γωνία  $a$  και έχει διαφορετική κλίμακα από την αρχική εικόνα.



Σχήμα 6. 5 Ο αφινικός μετασχηματισμός από το σύστημα  $XY$  στο σύστημα  $\xi\eta$ .

Ο πίνακας  $\mathbf{R}$  στρέφει την εικόνα μόνο γύρω από τον άξονα  $\zeta$ , πραγματοποιώντας μετατροπές σε δύο διαστάσεις. Για απλοποίηση των πράξεων, αντί για αυτόν τον πίνακα αφινικού μετασχηματισμού, χρησιμοποιείται ένας απλοποιημένος  $2 \times 2$  πίνακας  $\mathbf{R}$ . Ο πίνακας αυτός πραγματοποιεί τις ίδιες μετατροπές, αλλά μεταξύ των συστημάτων  $XY$  και  $\xi\eta$ .

$$R = s \begin{bmatrix} \cos a & \sin a \\ -\sin a & \cos a \end{bmatrix} \quad (6.4)$$

Για κάθε εικονοσημείο με συντεταγμένες  $(X, Y)$  στο έδαφος και εικονοσυντεταγμένες  $(\xi, \eta)$  ισχύει:

$$X = R \cdot \Xi \quad (6.5)$$

$$\text{Όπου } X = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad \Xi = \begin{bmatrix} \xi - \xi_0 \\ \eta - \eta_0 \end{bmatrix}$$

Όπου  $(\xi_0, \eta_0)$  οι εικονοσυντεταγμένες της αρχής του συστήματος αναφοράς  $XY$  στο σύστημα  $\xi\eta$ . Προκύπτει ότι

$$X = (s \cos a) \xi + (s \sin a) \eta - s (\xi_0 \cos a + \eta_0 \sin a) \quad (6.6)$$

$$Y = (-s \sin a) \xi + (s \cos a) \eta + s (\xi_0 \sin a - \eta_0 \cos a)$$

Οι εξισώσεις 6.6 μπορούν να γραφτούν κι ως

$$X = \alpha_0 + \alpha_1 \xi + \alpha_2 \eta$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \xi + \beta_2 \eta$$

Δηλαδή στη μορφή των σχέσεων 6.2. Όπου:

$$\alpha_0 = -s (\xi_0 \cos a + \eta_0 \sin a)$$

$$\beta_0 = s (\xi_0 \sin a - \eta_0 \cos a)$$

$$\alpha_1 = \beta_2 = (s \cos a)$$

$$\alpha_2 = -\beta_1 = (s \sin a)$$

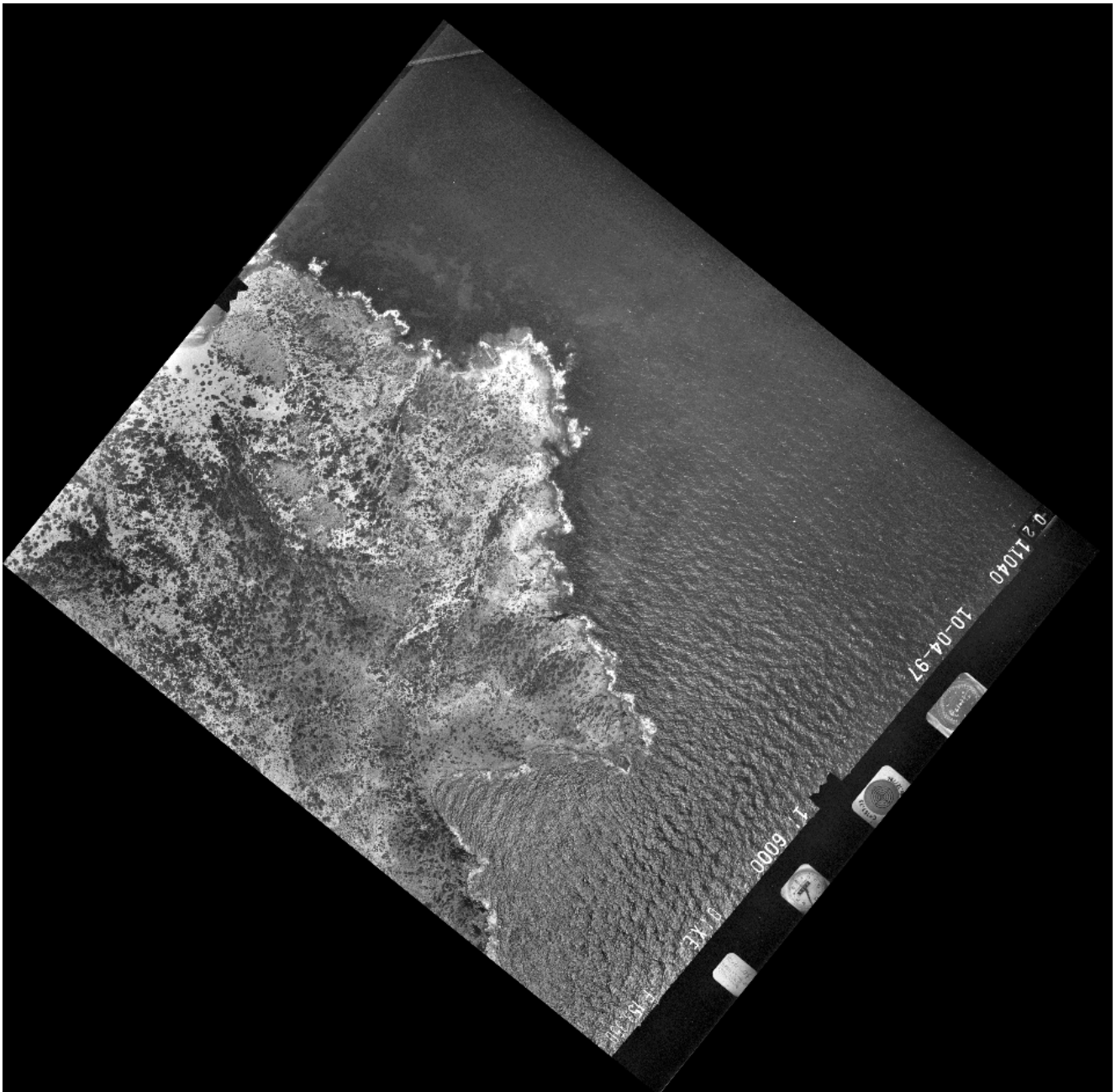
Απ' όπου προκύπτουν:

$$s = \sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2} = \sqrt{\beta_1^2 + \beta_2^2} \quad (6.7)$$

$$\alpha = \text{atan} \left( \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right) = \text{atan} \left( \frac{-\beta_2}{\beta_1} \right)$$

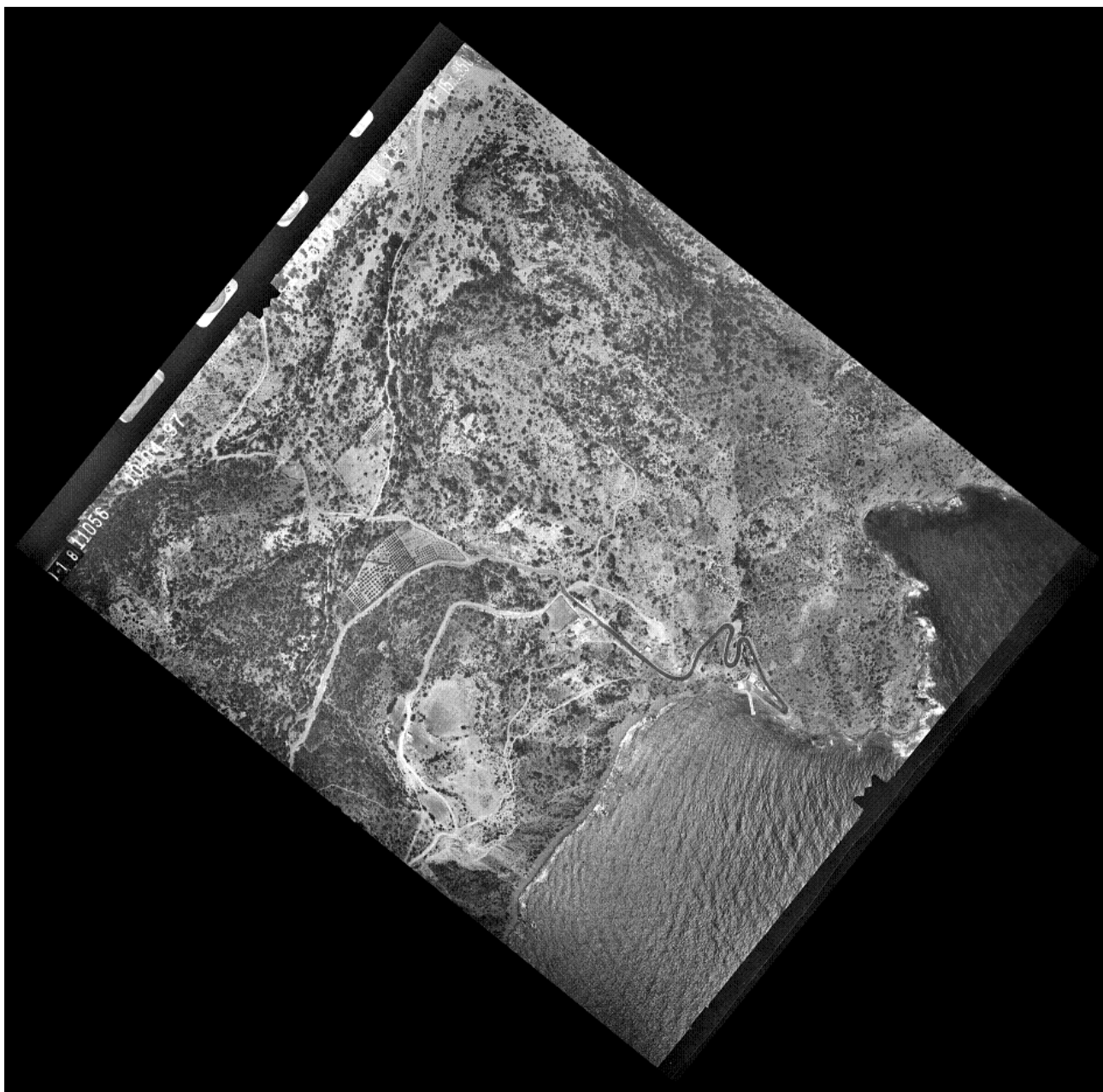
#### 6.4. Οι διορθωμένες εικόνες

Στις εικόνες 6.5 έως 6.8 έχει εφαρμοστεί ο αφινικός μετασχηματισμός. Οι εικόνες αυτές είναι απαλλαγμένες από την πανοραμική παραμόρφωση (Κεφάλαιο 7.3). Ο αφινικός μετασχηματισμός εφαρμόστηκε σαν συγκριτική μέθοδος διόρθωσης με τον ευθύ μετασχηματισμό.

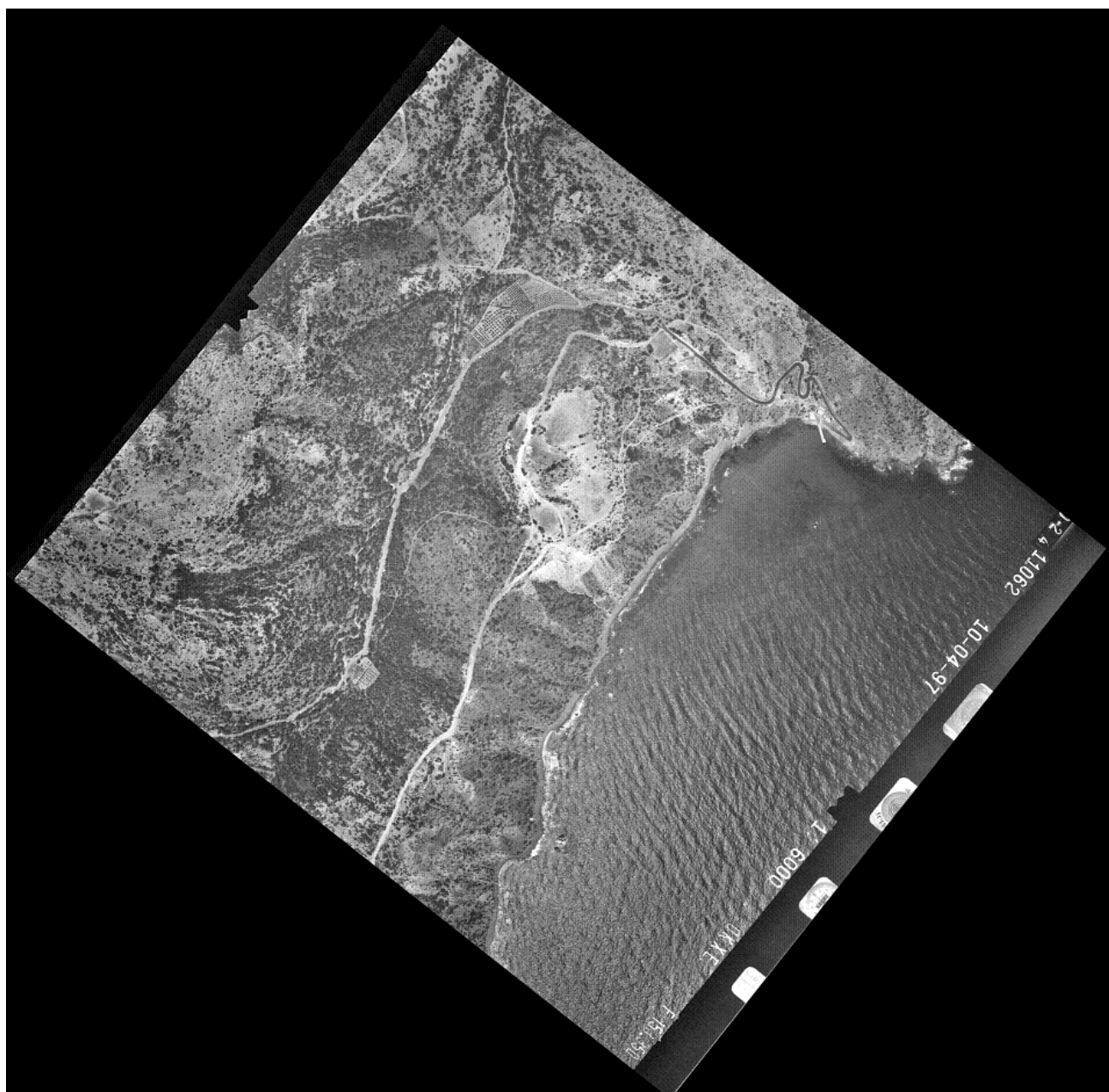


Σχήμα 6. 5 Η πρώτη εικόνα διορθωμένη με τον αφινικό μετασχηματισμό.

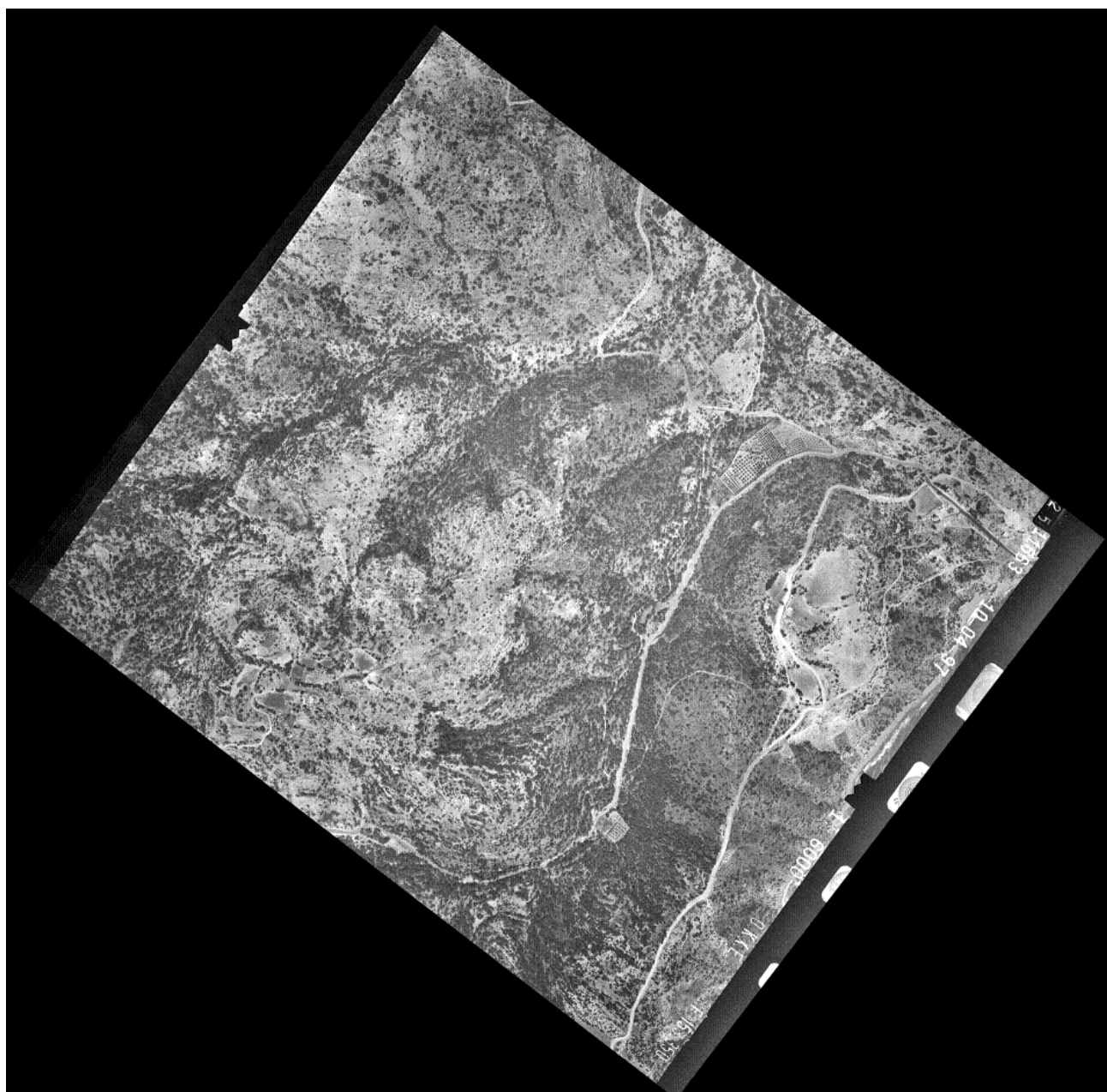




Σχήμα 6. 6 Η δεύτερη εικόνα διορθωμένη με τον αφινικό μετασχηματισμό.



Σχήμα 6. 7 Η τρίτη εικόνα διορθωμένη με τον αφινικό μετασχηματισμό.



Σχήμα 6. 8 Η τέταρτη εικόνα διορθωμένη με τον αφινικό μετασχηματισμό.

### 6.5. Επανάληψη της δειγματοληψίας

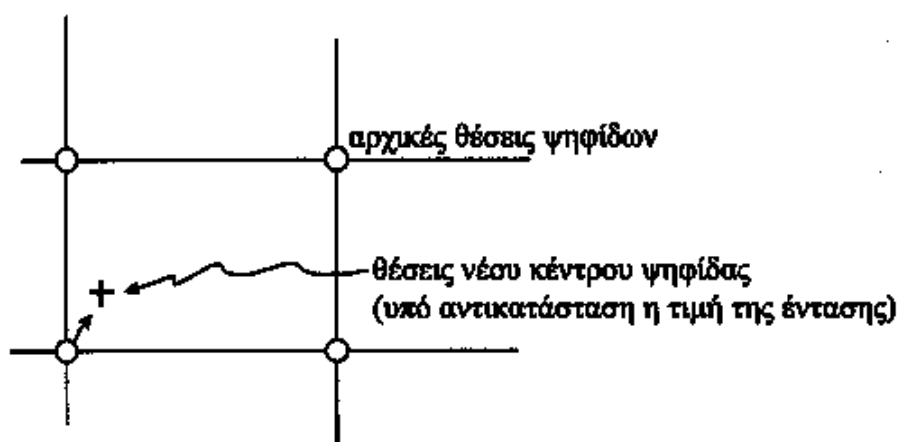
Μετά τον προσδιορισμό των πολυωνυμικών συναρτήσεων μετασχηματισμού  $\xi = f(X, Y)$  και  $\eta = g(X, Y)$ , το επόμενο βήμα είναι να υπολογιστούν οι νέες τιμές του επιπέδου του γκρι για τα νέα κέντρα του καννάβου της διορθωμένης εικόνας. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία της δειγματοληψίας. Για τον σκοπό αυτό, υπάρχουν τρεις διαφορετικές μέθοδοι:

- Η μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου.
- Η μέθοδος της διγραμμικής παρεμβολής.
- Η μέθοδος της κυβικής παρεμβολής.

Όλες οι διαδικασίες επανάληψης της δειγματοληψίας για τα επίπεδα του γκρι είναι τεχνικές παρεμβολών και μπορούν να γενικευτούν χρησιμοποιώντας τη θεωρία της συνέλιξης.

#### 6.5.1. Η μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου

Στη μέθοδο αυτή αντικαθίσταται η τιμή DN του ζητούμενου εικονοστοιχείου της διορθωμένης εικόνας με τη τιμή DN του πλησιέστερου εικονοστοιχείου της αρχικής εικόνας. Η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει ότι οι προκύπτουσες τιμές του επιπέδου του γκρι θα παραμένουν οι ίδιες με της αρχικής εικόνας. Μερικές φορές όμως δημιουργείται ομαδοποίηση ψηφίδων με ίδιο επίπεδο του γκρι DN επειδή οι ψηφιακές τιμές επαναλαμβάνονται.

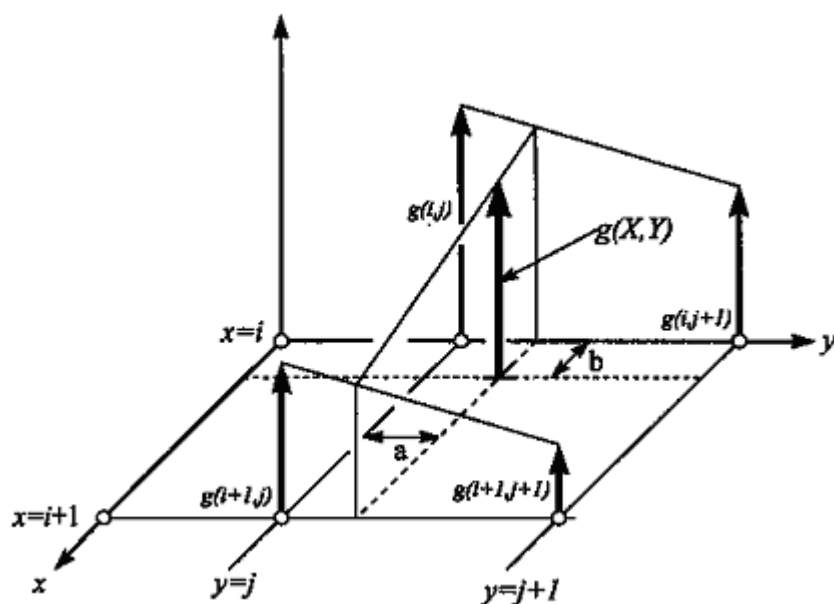


Σχήμα 6. 9 Η μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (Μερτίκας, Σ (1999), σελ 255)

### 6.5.2. Η μέθοδος της διγραμμικής παρεμβολής

Η διγραμμική παρεμβολή χρησιμοποιεί τις τιμές DN των τεσσάρων γειτονικών ψηφίδων της εικόνας που εγκλείουν το υπό αντικατάσταση εικονοστοιχείο (Σχ 6.10). Είναι μια γραμμική παρεμβολή δύο διαστάσεων όπου η νέα τιμή της φωτεινότητας  $g(X, Y)$  στη θέση  $(X, Y)$  δίνεται από τη σχέση:

$$g(X, Y) = (1 - b) \cdot [a \cdot g(i, j + 1) + (1 - a) \cdot g(i, j)] + b \cdot [a \cdot g(i + 1, j + 1) + (1 - a) \cdot g(i + 1, j)]$$

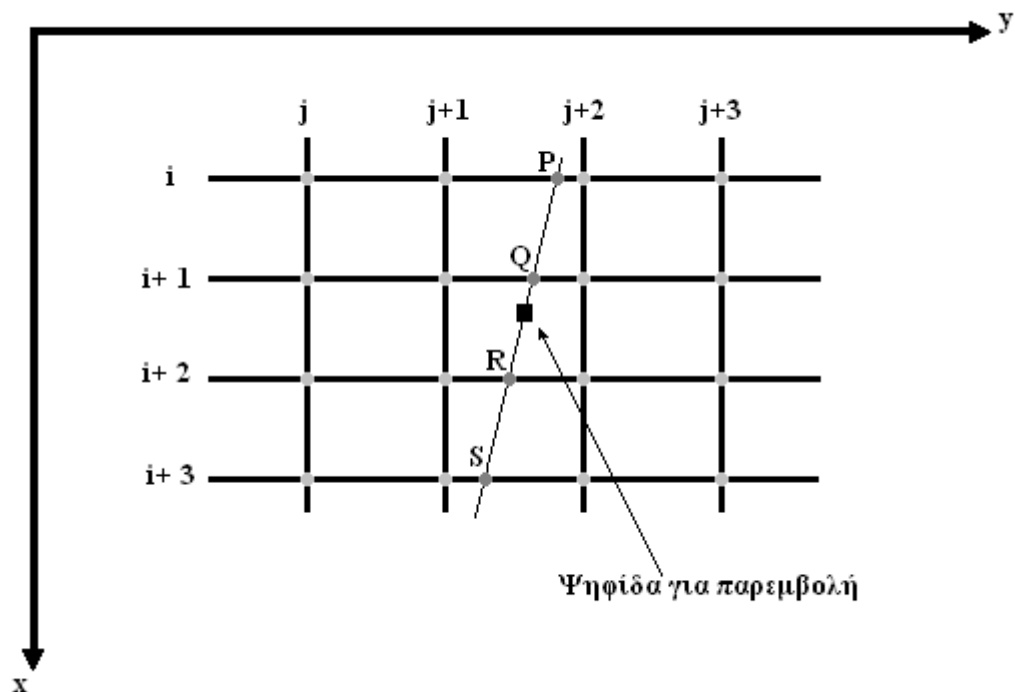


Σχήμα 6. 10 Η μέθοδος της διγραμμικής παρεμβολής. (Μερτίκας, 1999).

### 6.5.3. Η μέθοδος της κυβικής παρεμβολής

Η μέθοδος αυτή μοιάζει με τη μέθοδο της διγραμμικής παρεμβολής αλλά χρησιμοποιεί 16 αρχικές τιμές DN που είναι πλησιέστερες στην προς διόρθωση ψηφίδα. Χρησιμοποιεί δηλαδή τις  $4 \times 4$  τιμές του κάνναβου γύρω από το προς διόρθωση σημείο για καλύτερη προσέγγιση.

Για τη διαδικασία της παρεμβολής εφαρμόζονται τέσσερα πολυώνυμα τρίτου βαθμού κατά μήκος των τεσσάρων γραμμών που είναι πλησιέστερες στη ψηφίδα (Σχ. 6.11). Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν τέσσερα νέα σημεία, έστω P, Q, R, S. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ένα πέμπτο πολυώνυμο τρίτου βαθμού για το υπό εξέταση σημείο, επί της γραμμής που σχηματίζουν τα P, Q, R, S.



Σχήμα 6. 11 Η μέθοδος της κυβικής παρεμβολής.

Η μέθοδος αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας νέας, εξομαλυσμένης εικόνας. Επειδή οι τιμές της φωτεινότητας έχουν μεταβληθεί σε σχέση με την αρχική εικόνα, η μέθοδος της κυβικής παρεμβολής δεν συνίσταται για εξαγωγή συμπερασμάτων, όπως σε τεχνικές ταξινόμησης της εικόνας.

Στο επόμενο Κεφάλαιο, θα χρησιμοποιηθεί μία άλλη μέθοδος γεωμετρικής διόρθωσης αεροφωτογραφιών· η μέθοδος του ευθύ μετασχηματισμού. Οι αεροφωτογραφίες θα διορθωθούν από την αρχή μ'αυτή τη μέθοδο, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων που είναι ένας από τους στόχους αυτής της εργασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΘΥ  
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ

Ο **ευθύ μετασχηματισμός**, είναι η μέθοδος διόρθωσης κατά την οποία τα σφάλματα στην εικόνα απαλείφονται απ' ευθείας με την εφαρμογή ενός **πίνακα μετασχηματισμού**. Ο πίνακας αυτός μετασχηματίζει την αρχική εικόνα σε μια άλλη, γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα απαλλαγμένη από γεωμετρικές παραμορφώσεις. Η διαφορά του ευθύ μετασχηματισμού από τη μέθοδο με τα πολυώνυμα είναι ότι η διόρθωση δεν γίνεται προσεγγιστικά, αλλά άμεσα. Αυτό δεν σημαίνει υποχρεωτικά ότι τα αποτελέσματα είναι καλύτερα, καθώς η γνώση των γεωμετρικών σφαλμάτων και των μετασχηματισμών ενδέχεται να περιέχει εσφαλμένες πληροφορίες οι οποίες επηρεάζουν περισσότερο απ' ό,τι στη προσεγγιστική λύση με τη μέθοδο των πολυωνύμων.

7.1 Διορθώσεις με μοντέλα τροχιάς

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη γνώση των παραμέτρων που επιφέρουν τις γεωμετρικές παραμορφώσεις και διόρθωσή τους με εφαρμογή των κατάλληλων πινάκων μετασχηματισμού του πίνακα της ψηφιακής εικόνας. Τέτοιες παράμετροι είναι η τροχιά του αεροσκάφους, η μετατόπιση ανάγλυφου, η μετατόπιση της εικόνας λόγω πρόσω κίνησης, κτλ.

Η γεωμετρική διόρθωση από το σύστημα  $(\xi, \eta)$  της εικόνας στο σύστημα  $(X, Y)$  του χάρτη εκφράζεται από έναν **ευθύ μετασχηματισμό T** σύμφωνα με τη σχέση:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = T_1 \cdot T_2 \cdot \dots \cdot T_v \cdot \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} \quad (7.1)$$

Κάθε βήμα που εμπλέκεται στη διαδικασία της γεωμετρικής διόρθωσης θα πρέπει να είναι γνωστό, όπως και ο αντίστοιχος πίνακας μετασχηματισμού που εφαρμόζεται στον πίνακα της εικόνας σ' αυτό το βήμα. Επίσης ο αντίστροφος μετασχηματισμός από το σύστημα  $(X, Y)$  του χάρτη στο σύστημα  $(\xi, \eta)$  της εικόνας θα πρέπει να μπορεί να προσδιοριστεί.

Η διαδικασία αυτή είναι πολύπλοκη και χρονοβόρα, αλλά αποτελεσματική όταν η φύση και όλοι οι μηχανισμοί των γεωμετρικών παραμορφώσεων είναι γνωστοί και απολύτως καθορισμένοι. Σε μερικές περιπτώσεις, όπως και στη περίπτωση των παραμορφώσεων των αεροφωτογραφιών της παρούσας διπλωματικής, είναι απαραίτητος ο ευθύς μετασχηματισμός για την απαλοιφή μεγάλων γνωστών σφαλμάτων.

Οι πίνακες μετασχηματισμού της εικόνας που εφαρμόζονται σε κάθε βήμα ( $T_1$ ,  $T_2$ , κτλ) δεν εφαρμόζονται ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον. Δημιουργείται ένας νέος συνολικός πίνακας  $T$ , ο πίνακας του ευθύ μετασχηματισμού, ο οποίος περιλαμβάνει όλους τους προηγούμενους μετασχηματισμούς.

Δύο παραδείγματα πινάκων μετασχηματισμού παρουσιάζονται παρακάτω.

## 7.2 Προσανατολισμός της εικόνας κατά μεσημβρινό

Παρόλο που η διαδικασία δεν αποτελεί διόρθωση γεωμετρικής παραμόρφωσης, προσανατολίζει την εικόνα κατά τη διεύθυνση του μεσημβρινού για λόγους συμβατότητας. Αυτός ο πίνακας προσανατολισμού είναι ένας από τους πίνακες που περιλαμβάνει ο πίνακας του ευθύ μετασχηματισμού που εφαρμόστηκε στις εικόνες αυτής της διπλωματικής.

Έστω ότι η πορεία του αεροσκάφους αποκλίνει από τον μεσημβρινό κατά γνωστή γωνία  $\delta$  που μετρίεται από τα όργανα του αεροσκάφους. Για να γίνει περιστροφή της εικόνας κατά μία γωνία  $\delta$  (αντίστροφα της φοράς του ρολογιού), ώστε να ταυτιστεί ο άξονας των γραμμών της εικόνας με τη διεύθυνση του μεσημβρινού, προκύπτει:

$$T_I = \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ -\sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} \quad (7.2)$$



### 7.3 Πανοραμική διόρθωση

Τα σφάλματα θέσης των ψηφίδων που προκύπτουν λόγω πανοραμικής παραμόρφωσης διορθώνονται με τον ακόλουθο πίνακα μετασχηματισμού (Μερτίκας 1999):

$$T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \left( \frac{\tan \theta}{\theta} \right) \end{bmatrix} \quad (7.3)$$

όπου  $\theta$  είναι η στιγμιαία γωνία παρατήρησης, που σχετίζεται με τις συντεταγμένες  $Y'$  (του εδάφους) και  $\xi = i$  (στήλες της εικόνας) ως:

$$Y' = H \cdot \tan \theta \quad (7.4)$$

$$\xi = H \cdot \theta$$

όπου  $H$  είναι το ύψος λήψης. Το σύστημα  $(X', Y')$  δεν έχει στραφεί ακόμα προς κάποιο GIS. Στο σύστημα αυτό ο άξονας  $X$  ταυτίζεται με την πορεία του αεροπλάνου.

#### 7.3.1 Διόρθωση της πανοραμικής παραμόρφωσης με matlab 6.1

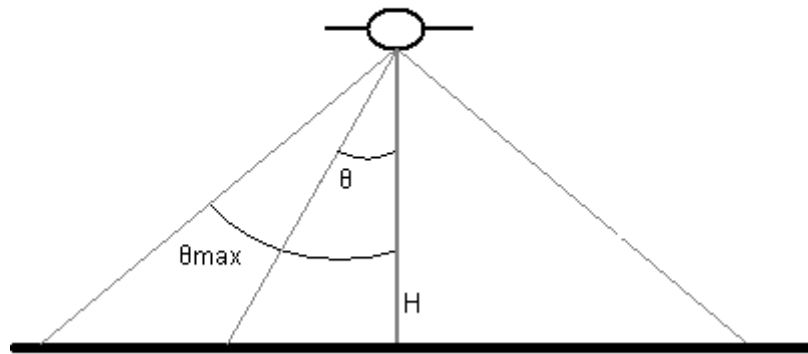
Η διόρθωση προκύπτει καθώς ο αλγόριθμος 1 (Παράρτημα Ι) μεταφέρει τις στήλες της εικόνας προς το κέντρο της κατά τόσα εικονοστοιχεία, όσα προκύπτουν από τη χρήση του τύπου (Μερτίκας 1999):

$$\Delta Y = H \cdot (\tan \theta - \theta) \quad (7.5)$$

Όπου  $\Delta Y$  η μετατόπιση της συγκεκριμένης στήλης λόγω πανοραμικών παραμορφώσεων,  $H$  το ύψος πτήσης (920 m στην συγκεκριμένη εφαρμογή) και  $\theta$  η γωνία μεταξύ της κατακόρυφου και της συγκεκριμένης στήλης (Σχ 7.1). Ο τύπος 7.5 προκύπτει από τον πίνακα 7.2.

Στις συγκεκριμένες εικόνες, ο φακός που χρησιμοποιήθηκε είχε γωνιακό άνοιγμα  $55,8^\circ$ . Άρα το πλάτος της εικόνας είναι 974 m. Η μέγιστη γωνία παρατήρησης θα είναι  $27,9^\circ$ .

Στα άκρα των εικόνων (πρβλ 4.2.2), θα υπάρχει πανοραμική παραμόρφωση 39,1 m. Όμως για γωνία παρατήρησης  $\theta = 12^\circ$  η πανοραμική παραμόρφωση είναι μόλις 2,8 m, δηλαδή μικρότερη από τα τυχαία σφάλματα της εικόνας. Έτσι, για να αποφευχθεί αλλοίωση της εικόνας η πανοραμική διόρθωση σταματά εκεί.



Σχήμα 7. 1 Αναπαράσταση της αεροφωτογραφίας.

### 7.3.2 Διορθωμένες εικόνες

Οι παρακάτω εικόνες, είναι απαλλαγμένες από τη πανοραμική παραμόρφωση σύμφωνα με τη σχέση 7.5.



Σχήμα 7. 2 Η πρώτη εικόνα διορθωμένη για πανοραμική παραμόρφωση.



Σχήμα 7. 3 Η δεύτερη εικόνα διορθωμένη για πανοραμική παραμόρφωση.





Σχήμα 7. 4 Η τρίτη εικόνα διορθωμένη για πανοραμική παραμόρφωση.



Σχήμα 7. 5 Η τέταρτη εικόνα διορθωμένη για πανοραμική παραμόρφωση.

#### 7.4 Προσδιορισμός του ευθύ μετασχηματισμού

Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 4.3.2.2 η κίνηση του αεροπλάνου δημιουργεί στροφή της εικόνας. Επιπλέον οι αεροφωτογραφίες δεν είναι προσανατολισμένες σύμφωνα με κάποιο γεωδαιτικό datum.

Για να μετασχηματιστούν οι συντεταγμένες της εικόνας ( $\xi, \eta, \zeta$ ) σε συντεταγμένες ( $X, Y, Z$ ) κάποιας χαρτογραφικής προβολής, πρέπει πρώτα να εφαρμοστεί στην εικόνα ένας **πίνακας στροφής**  $M$  ο οποίος θα στρέφει τους άξονες του συστήματος  $\xi\eta\zeta$  κατά γωνίες ( $\omega, \varphi, \kappa$ ) γύρω από τους άξονες της εικόνας  $\xi, \eta, \zeta$  αντίστοιχα.

Αυτή η στροφή θα δώσει ένα νέο σύστημα εικονοσυντεταγμένων  $\xi'\eta'\zeta'$ . Από αυτές τις εικονοσυντεταγμένες για να προκύψουν οι συντεταγμένες εδάφους ( $X, Y, Z$ ) πρέπει να εφαρμοστεί ένας συντελεστής κλίμακας  $s$  και τρεις συντελεστές μετατόπισης  $T_\xi, T_\eta, T_\zeta$ .

##### 7.4.1 Ορισμός του πίνακα $M$

Οι εξισώσεις στροφής των αξόνων ( $\xi, \eta, \zeta$ ) κατά ( $\omega, \varphi, \kappa$ ) δίνονται (Wolf, 1974):

$$\begin{aligned}\xi &= m_{11}\xi' + m_{12}\eta' + m_{13}\zeta' \\ \eta &= m_{21}\xi' + m_{22}\eta' + m_{23}\zeta' \\ \zeta &= m_{31}\xi' + m_{32}\eta' + m_{33}\zeta'\end{aligned}\tag{7.6}$$

όπου:

$$\begin{aligned}m_{11} &= \cos\varphi \cos\kappa \\ m_{12} &= \sin\omega \sin\varphi \cos\kappa + \cos\omega \sin\kappa \\ m_{13} &= -\cos\omega \sin\varphi \cos\kappa + \sin\omega \sin\kappa \\ m_{21} &= -\cos\varphi \sin\kappa \\ m_{22} &= -\sin\omega \sin\varphi \sin\kappa + \cos\omega \cos\kappa \\ m_{23} &= \cos\omega \sin\varphi \sin\kappa + \sin\omega \cos\kappa \\ m_{31} &= \sin\varphi \\ m_{32} &= -\sin\omega \cos\varphi \\ m_{33} &= \cos\omega \cos\varphi\end{aligned}\tag{7.6a}$$

Οι εξισώσεις 7.6 μπορούν να γραφτούν με τη μορφή πινάκων ως:

$$\Xi = \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{bmatrix} \quad \mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \quad \Xi' = \begin{bmatrix} \xi' \\ \eta' \\ \zeta' \end{bmatrix}$$

$$\Xi = \mathbf{M} \Xi' \quad (7.7)$$

Για τον πίνακα  $\mathbf{M}$ , επειδή είναι πίνακας στροφής, ισχύει ότι ο αντίστροφος ισούται με τον ανάστροφο πίνακα (Wolf 1974).

$$\mathbf{M}^{-1} = \mathbf{M}^T \quad (7.8)$$

Έτσι, η εξίσωση (7.7) μπορεί να γραφτεί ως:

$$\Xi' = \mathbf{M}^T \Xi \quad (7.9)$$

#### 7.4.2 Ορισμός του συντελεστή κλίμακας $s$ και των συντελεστών $T$

Οι άξονες του συστήματος  $\xi'\eta'\zeta'$  είναι παράλληλοι στο επιθυμητό σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών XYZ. Για να είναι τα μήκη των γραμμών ίσα και στα δύο συστήματα πρέπει να βρεθεί ο **συντελεστής κλίμακας**  $s$  του μετασχηματισμού. Επιπλέον, για να έχουν τα δύο συστήματα κοινή αρχή των αξόνων, πρέπει να προστεθούν στις εικονοσυντεταγμένες και τρεις **παράμετροι μετατόπισης**  $T_\xi, T_\eta, T_\zeta$ . Έτσι:

$$\begin{aligned} X &= s \xi' + T_\xi \\ Y &= s \eta' + T_\eta \\ Z &= s \zeta' + T_\zeta \end{aligned} \quad (7.10)$$

Οι εξισώσεις 7.10 με χρήση της 7.9 γράφονται:

$$\mathbf{X} = s \mathbf{M}^T \Xi + \mathbf{T} \quad (7.11)$$

Όπου:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \mathbf{T} = \begin{bmatrix} T_\xi \\ T_\eta \\ T_\zeta \end{bmatrix}$$



Στην εξίσωση (7.11) υπάρχουν συνολικά επτά άγνωστοι, οι γωνίες στροφής ( $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ ), ο συντελεστής κλίμακας  $s$  και οι τρεις παράμετροι μετατόπισης  $T$ . Μοναδική λύση μπορεί να βρεθεί αν είναι γνωστές οι συντεταγμένες ( $\xi$ ,  $\eta$ ,  $X$ ,  $Y$ ) δύο τουλάχιστον σημείων και οι συντεταγμένες ( $\zeta$ ,  $Z$ ) τριών σημείων (Wolf, 1974). Έτσι για την επίλυση του συστήματος (7.11) αρκούν τρία GCPs. Αν υπάρχουν περισσότερα σημεία ελέγχου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση του συστήματος με χρήση στατιστικών μεθόδων, όπως η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων, ώστε τα αποτελέσματα της διόρθωσης να είναι πιο ακριβή.

#### 7.4.3 Η επίλυση του συστήματος $\mathbf{X} = s \mathbf{M}^T \mathbf{\Xi} + \mathbf{T}$ .

Έστω ότι υπάρχουν τρία GCPs P, Q, R στο έδαφος και ευδιάκριτα στην εικόνα. Οι συντεταγμένες αυτών των σημείων είναι γνωστές και στα δύο συστήματα. Έστω ότι ( $\xi, \eta, \zeta$ ) οι συντεταγμένες εικόνας και ( $X, Y, Z$ ) του εδάφους. Έτσι από την εξίσωση (7.10) δημιουργούνται εννιά εξισώσεις.

$$\begin{aligned}
 1. \quad X_P &= s (m_{11}\xi_P + m_{12}\eta_P + m_{13}\zeta_P) + T_\xi \\
 2. \quad Y_P &= s (m_{21}\xi_P + m_{22}\eta_P + m_{23}\zeta_P) + T_\eta \\
 3. \quad Z_P &= s (m_{31}\xi_P + m_{32}\eta_P + m_{33}\zeta_P) + T_\zeta \\
 4. \quad X_Q &= s (m_{11}\xi_Q + m_{12}\eta_Q + m_{13}\zeta_Q) + T_\xi \\
 5. \quad Y_Q &= s (m_{21}\xi_Q + m_{22}\eta_Q + m_{23}\zeta_Q) + T_\eta \\
 6. \quad Z_Q &= s (m_{31}\xi_Q + m_{32}\eta_Q + m_{33}\zeta_Q) + T_\zeta \\
 7. \quad X_R &= s (m_{11}\xi_R + m_{12}\eta_R + m_{13}\zeta_R) + T_\xi \\
 8. \quad Y_R &= s (m_{21}\xi_R + m_{22}\eta_R + m_{23}\zeta_R) + T_\eta \\
 9. \quad Z_R &= s (m_{31}\xi_R + m_{32}\eta_R + m_{33}\zeta_R) + T_\zeta
 \end{aligned} \tag{7.12}$$

Οι εξισώσεις (1, 2, 3) είναι για το σημείο P, οι εξισώσεις (4, 5, 6) είναι για το σημείο Q και οι εξισώσεις (7, 8, 9) είναι για το σημείο R. Σε περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμα περισσότερα από τρία σημεία ελέγχου, δημιουργούνται τρεις εξισώσεις σαν τις προηγούμενες για κάθε επιπλέον σημείο ελέγχου.

Αν από τις εξισώσεις (1, 2, 3) αφαιρεθούν οι εξισώσεις (4, 5, 6) και (7, 8, 9) προκύπτουν οι παρακάτω εξισώσεις.

$$\begin{aligned}
F_Q &= X_P - X_Q = s [m_{11} (\zeta_P - \zeta_Q) + m_{12} (\eta_P - \eta_Q) + m_{13} (\zeta_P - \zeta_Q)] \\
G_Q &= Y_P - Y_Q = s [m_{21} (\zeta_P - \zeta_Q) + m_{22} (\eta_P - \eta_Q) + m_{23} (\zeta_P - \zeta_Q)] \\
H_Q &= Z_P - Z_Q = s [m_{31} (\zeta_P - \zeta_Q) + m_{32} (\eta_P - \eta_Q) + m_{33} (\zeta_P - \zeta_Q)] \\
F_R &= X_P - X_R = s [m_{11} (\zeta_P - \zeta_R) + m_{12} (\eta_P - \eta_R) + m_{13} (\zeta_P - \zeta_R)] \\
G_R &= Y_P - Y_R = s [m_{21} (\zeta_P - \zeta_R) + m_{22} (\eta_P - \eta_R) + m_{23} (\zeta_P - \zeta_R)] \\
H_R &= Z_P - Z_R = s [m_{31} (\zeta_P - \zeta_R) + m_{32} (\eta_P - \eta_R) + m_{33} (\zeta_P - \zeta_R)]
\end{aligned} \tag{7.13}$$

Οι εξισώσεις (7.13) είναι μη γραμμικές και περιλαμβάνουν τους αγνώστους  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ ,  $s$ .

Με χρήση του θεωρήματος Taylor, οι εξισώσεις αυτές γραμμικοποιούνται ως εξής:

$$\begin{aligned}
\alpha_{11} ds + \alpha_{12} d\omega + \alpha_{13} d\varphi + \alpha_{14} d\kappa &= (X_P - X_Q) - (F_Q)_0 \\
\alpha_{21} ds + \alpha_{22} d\omega + \alpha_{23} d\varphi + \alpha_{24} d\kappa &= (Y_P - Y_Q) - (G_Q)_0 \\
\alpha_{31} ds + \alpha_{32} d\omega + \alpha_{33} d\varphi + \alpha_{34} d\kappa &= (Z_P - Z_Q) - (H_Q)_0 \\
\alpha_{41} ds + \alpha_{42} d\omega + \alpha_{43} d\varphi + \alpha_{44} d\kappa &= (X_P - X_R) - (F_R)_0 \\
\alpha_{51} ds + \alpha_{52} d\omega + \alpha_{53} d\varphi + \alpha_{45} d\kappa &= (Y_P - Y_R) - (G_R)_0 \\
\alpha_{61} ds + \alpha_{62} d\omega + \alpha_{63} d\varphi + \alpha_{64} d\kappa &= (Z_P - Z_R) - (H_R)_0
\end{aligned} \tag{7.14}$$

Στις εξισώσεις (7.14), οι παράμετροι  $(F_Q)_0$ ,  $(G_Q)_0$ ,  $(H_Q)_0$  κτλ είναι υπολογισμένες από τις εξισώσεις (7.13) για τις αρχικές εκτιμήσεις των  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ ,  $s$ . Οι παράμετροι  $ds$ ,  $d\omega$ ,  $d\varphi$ ,  $d\kappa$  είναι οι διορθώσεις των αρχικών εκτιμήσεων.

$$\begin{aligned}
\omega^{(i+1)} &= \omega^{(i)} + d\omega^{(i)} \\
\varphi^{(i+1)} &= \varphi^{(i)} + d\varphi^{(i)} \\
\kappa^{(i+1)} &= \kappa^{(i)} + d\kappa^{(i)} \\
s^{(i+1)} &= s^{(i)} + ds^{(i)}
\end{aligned} \tag{7.15}$$

Οι  $d\omega$ ,  $d\varphi$ ,  $d\kappa$  μετρούνται σε ακτίνια, ενώ το  $ds$  είναι αδιάστατο. Σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα από τρία σημεία διαθέσιμα, δημιουργείται μία επιπλέον τριάδα εξισώσεων για κάθε σημείο.

Οι παράγοντες  $\alpha_{11}$ ,  $\alpha_{12}$ , κτλ δεν είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους, αλλά εξαρτώνται από τις παραμέτρους  $s$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ .

$$\begin{aligned}
\alpha_{11} &= m_{11} (\zeta_P - \zeta_Q) + m_{21} (\eta_P - \eta_Q) + m_{31} (\zeta_P - \zeta_Q) \\
\alpha_{12} &= 0
\end{aligned}$$

$$\alpha_{13} = s [(-\sin\varphi \cos\kappa) \cdot (\zeta_P - \zeta_Q) + \sin\varphi \sin\kappa (\eta_P - \eta_Q) + \cos\varphi (\zeta_P - \zeta_Q)]$$

$$\alpha_{14} = [m_{21} (\zeta_P - \zeta_Q) - m_{11} (\eta_P - \eta_Q)] s$$

$$\alpha_{21} = m_{12} (\zeta_P - \zeta_Q) + m_{22} (\eta_P - \eta_Q) + m_{32} (\zeta_P - \zeta_Q)$$

$$\alpha_{22} = [-m_{13} (\zeta_P - \zeta_Q) - m_{23} (\eta_P - \eta_Q) - m_{33} (\zeta_P - \zeta_Q)] s$$

$$\alpha_{23} = [(\sin\omega \cos\varphi \cos\kappa) (\zeta_P - \zeta_Q) - (\sin\omega \cos\varphi \sin\kappa) (\eta_P - \eta_Q) + (\sin\omega \sin\varphi) (\zeta_P - \zeta_Q)] s$$

$$\alpha_{24} = [m_{22} (\zeta_P - \zeta_Q) - m_{12} (\eta_P - \eta_Q)] s$$

$$\alpha_{31} = m_{13} (\zeta_P - \zeta_Q) + m_{23} (\eta_P - \eta_Q) + m_{33} (\zeta_P - \zeta_Q)$$

$$\alpha_{32} = [m_{12} (\zeta_P - \zeta_Q) + m_{22} (\eta_P - \eta_Q) + m_{32} (\zeta_P - \zeta_Q)] s$$

$$\alpha_{33} = [(-\cos\omega \cos\varphi \cos\kappa) \cdot (\zeta_P - \zeta_Q) + (\cos\omega \cos\varphi \sin\kappa) \cdot (\eta_P - \eta_Q) - (\cos\omega \sin\varphi) \cdot (\zeta_P - \zeta_Q)] s$$

$$\alpha_{34} = [m_{23} (\zeta_P - \zeta_Q) - m_{13} (\eta_P - \eta_Q)] s$$

Για το σημείο Q και όλα τα άλλα σημεία που πιθανόν να υπάρχουν διαθέσιμα, οι εξισώσεις είναι ίδιες, αλλά αντί για τις εικονοσυντεταγμένες του Q χρησιμοποιούνται οι εικονοσυντεταγμένες του εκάστοτε σημείου.

Όλα τα σημεία της εικόνας έχουν κατακόρυφη απόσταση από τον φακό της μηχανής λήψης ίση με την εστιακή απόσταση. Το φιλμ και το έδαφος είναι εκατέρωθεν του φακού άρα η απόσταση  $\zeta$  της αεροφωτογραφίας από το φακό είναι αρνητική. Έτσι, στις εξισώσεις αυτές η εικονοσυντεταγμένη  $\zeta$  για όλα τα σημεία είναι:

$$\zeta = -f$$

Οι εξισώσεις 7.13 μπορούν να γραφούν και με τη μορφή:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{D} = \mathbf{L} \quad (7.16)$$

Όπου:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{3v,1} & a_{3v,2} & a_{3v,3} & a_{3v,4} \end{bmatrix} \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} ds \\ d\omega \\ d\phi \\ d\kappa \end{bmatrix} \quad \mathbf{L} = \begin{bmatrix} (X_P - X_Q) - (F_q)_0 \\ (Y_P - Y_Q) - (G_q)_0 \\ (Z_P - Z_Q) - (H_q)_0 \\ \vdots \\ (Z_P - Z_{TL}) - (H_{TL})_0 \end{bmatrix}$$

Αν  $n$  είναι τα διαθέσιμα σημεία ελέγχου ( $P, Q, R, \dots, T\Lambda$ ) τότε οι πίνακες  $\mathbf{A}, \mathbf{L}$  έχουν  $3 \cdot n$  γραμμές.

Η εξίσωση (7.16) μετά τη λύση της δίνει τις διορθώσεις επί των αρχικών εκτιμήσεων των  $\omega, \varphi, \kappa, s$ . Οι διορθωμένες τιμές χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν ξανά τα στοιχεία των πινάκων  $\mathbf{M}, \mathbf{A}, \mathbf{L}$  και μετά υπολογίζονται πάλι οι διορθώσεις  $d\omega, d\varphi, d\kappa, ds$  έως ότου το αποτέλεσμα να έχει την επιθυμητή ακρίβεια. Συνήθως τρεις με τέσσερις επαναλήψεις είναι αρκετές.

Όταν προσδιοριστούν οι παράμετροι  $\omega, \varphi, \kappa, s$  τότε με αντικατάσταση στις εξισώσεις (7.12) υπολογίζεται ο πίνακας  $\mathbf{T}$ .

Από τη στιγμή που όλοι οι επτά παράγοντες προσδιοριστούν, η εξίσωση (7.11) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες εδάφους ( $X, Y, Z$ ) οποιουδήποτε σημείου της αεροφωτογραφίας με εικονοσυντεταγμένες ( $\xi, \eta, \zeta$ ).

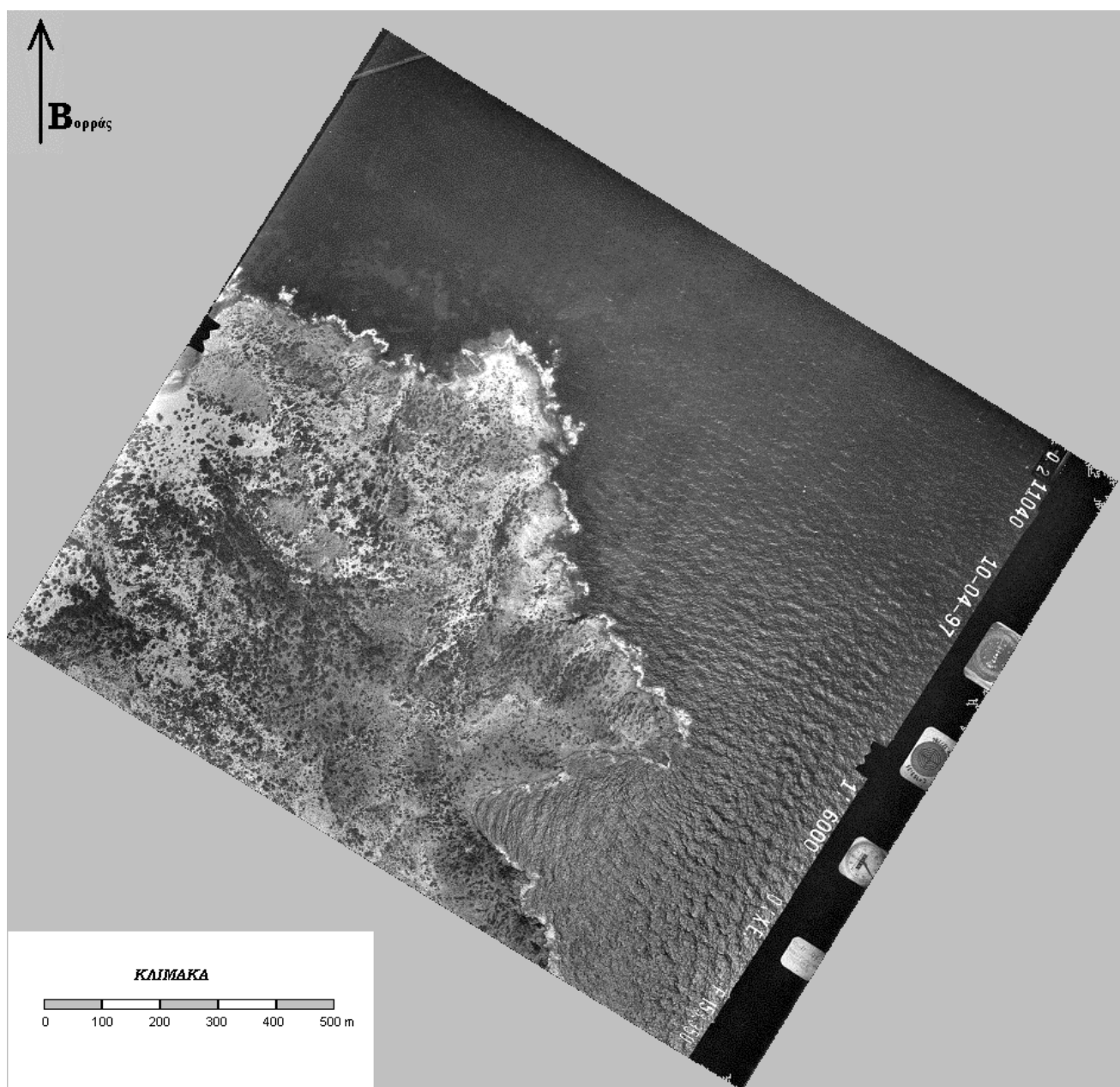
Ο αντίστροφος μετασχηματισμός, που μετατρέπει τις συντεταγμένες εδάφους ενός σημείου ( $X, Y, Z$ ) σε εικονοσυντεταγμένες, σύμφωνα με τα προηγούμενα θα είναι:

$$\Xi = \frac{1}{s} \mathbf{M} \cdot (\mathbf{X} - \mathbf{T}) \quad (7.17)$$

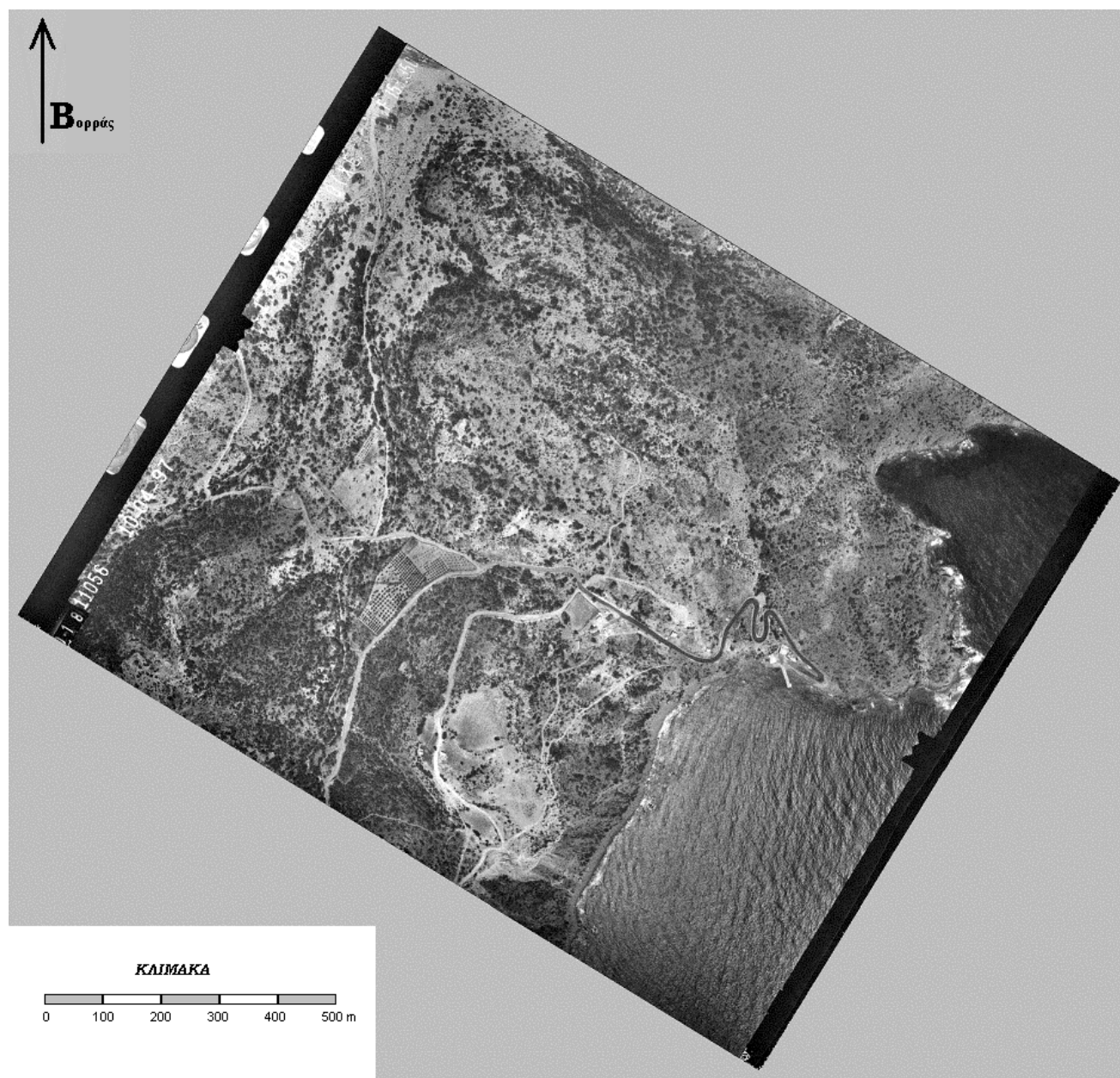
#### 7.4.4 Οι μετασχηματισμένες εικόνες

Στις εικόνες (7.6) με (7.9) η συντεταγμένη  $Z$  όλων των σημείων θεωρήθηκε ίση με το μηδέν, επειδή δεν υπήρχαν επαρκή και ακριβή στοιχεία για το υψόμετρο των GCPs.

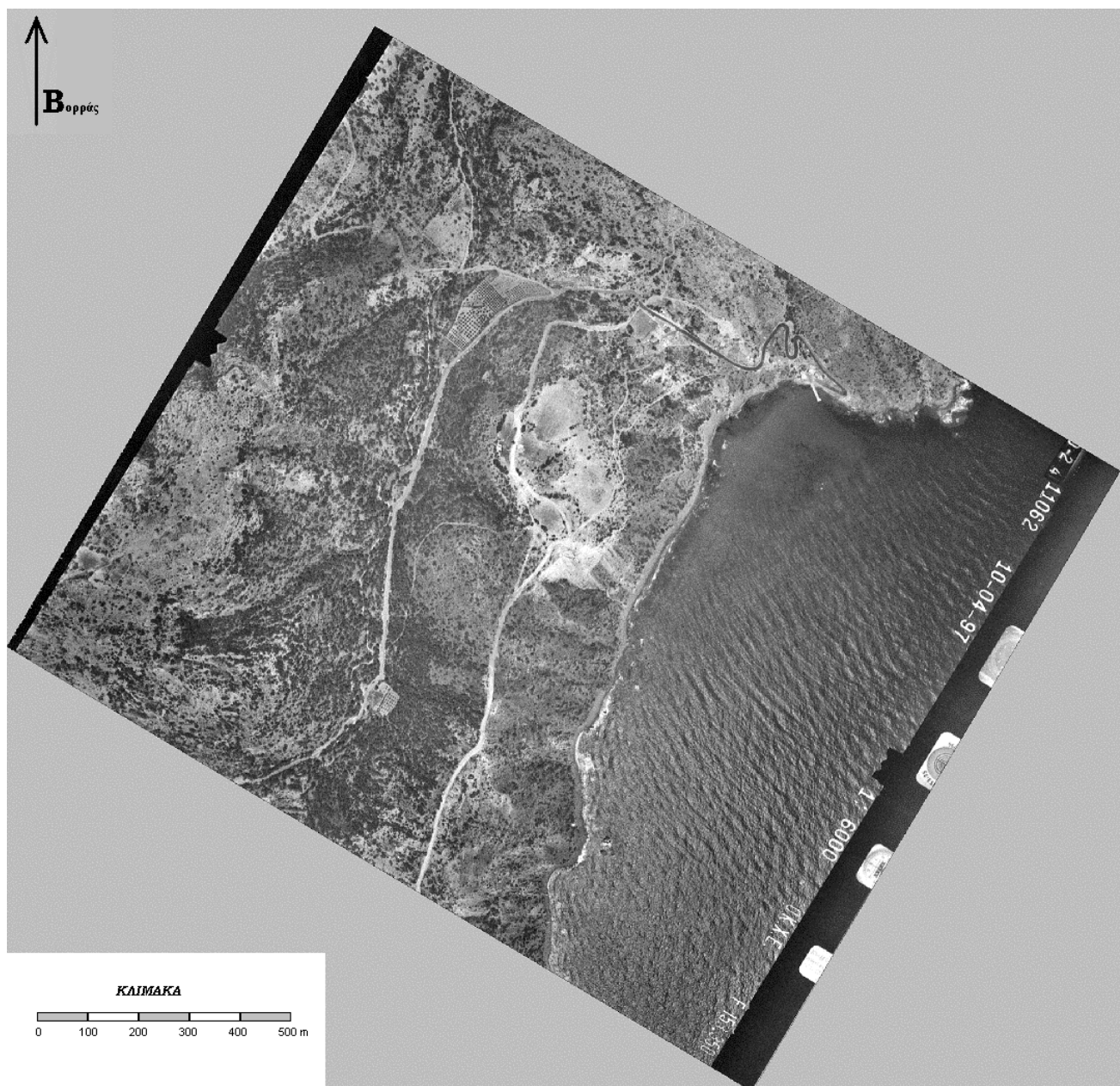
Από το GPS δεν συλλέχθηκαν στοιχεία για το υψόμετρο των σημείων ελέγχου. Η ιστοσελίδα [SRTM.usgs.gov](http://SRTM.usgs.gov) που έχει καταχωρημένα τα υψόμετρα για όλη τη Γη, για την Γαύδο δίνει το υψόμετρο σ' έναν κάνναβο ανά 90 m. Η ακρίβεια αυτή δεν είναι επαρκής για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Χρειάζεται μια πολύ ακριβέστερη προσέγγιση του ύψους των GCPs γιατί αλλιώς ενδέχεται να εισέρθουν σημαντικότερα σφάλματα στη διόρθωση απ' ό,τι αν όλα τα  $Z$  θεωρηθούν 0.



Σχήμα 7. 6 Η πρώτη εικόνα διορθωμένη με τον ευθύ μετασχηματισμό.

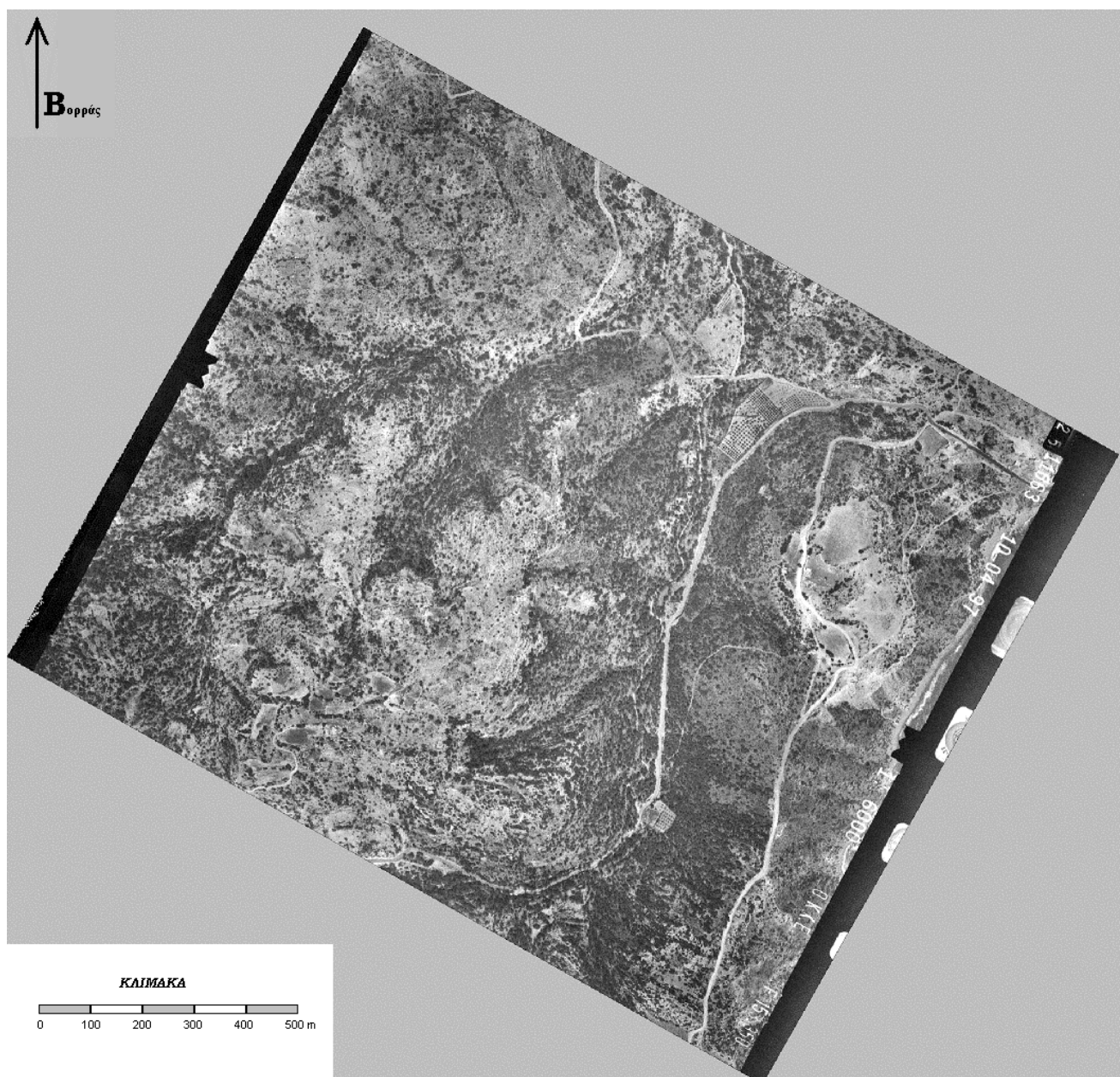


Σχήμα 7.7 Η δεύτερη εικόνα διορθωμένη με τον ευθύ μετασχηματισμό.



Σχήμα 7. 8 Η τρίτη εικόνα διορθωμένη με τον ευθύ μετασχηματισμό.





Σχήμα 7.9 Η τέταρτη εικόνα διορθωμένη με τον ευθύ μετασχηματισμό.



### 7.5. Αεροφωτομωσαϊκό

**Αεροφωτομωσαϊκό** ονομάζεται η ένωση δύο ή περισσότερων ανεξάρτητων αεροφωτογραφιών με αλληλεπικάλυψη. Η συνένωση των αεροφωτογραφιών γίνεται κόβοντας και ενώνοντας μαζί μέρη της φωτογραφίας. Η συνένωση πρέπει να γίνει με προσοχή ώστε τα κοινά κομμάτια των φωτογραφιών να ταιριάζουν όσο το δυνατόν καλύτερα.

Τα φώτομωσαϊκά έχουν πολλά κοινά σημεία με τους χάρτες και σ' αρκετές περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως χάρτες. Ένα από τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι όλα τα αντικείμενα στο φωτομωσαϊκό είναι εύκολα αναγνωρίσιμα ακόμα και από μη εξειδικευμένα άτομα. Φωτομωσαϊκά μεγάλων περιοχών μπορούν να γίνουν γρηγορότερα και με μικρότερο κόστος από χάρτες των ίδιων περιοχών. Αυτό συμβαίνει γιατί το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας υπάρχει στην φωτογραφία και δεν χρειάζεται συλλογή με όργανα στο πεδίο όπως στην κατασκευή του χάρτη. Το κυριότερο μειονέκτημά των φωτομωσαϊκών είναι τα σφάλματα που εισάγουν οι γεωμετρικές παραμορφώσεις των επιμέρους εικόνων σ' αυτά.

Στην παρούσα εφαρμογή, το φωτομωσαϊκό δημιουργήθηκε με τη χρήση **σημείων αγκύρωσης**. Τα σημεία αυτά είναι εμφανή σημεία στην αλληλεπικαλυπτόμενη περιοχή των εικόνων. Από τις εικονοσυντεταγμένες στις δύο εικόνες βρίσκονται οι συντεταγμένες τους στο έδαφος σύμφωνα με τον Ευθύ μετασχηματισμό κάθε εικόνας. Οι συντεταγμένες  $(X, Y, Z)$  του σημείου αγκύρωσης που δίνει ο Ευθύς μετασχηματισμός, θα διαφέρουν λίγο στις δύο εικόνες λόγω υπολειμματικών σφαλμάτων των διορθωμένων εικόνων. Όσο καλύτερη είναι η γεωμετρική διόρθωση, τόσο λιγότερο θα απέχουν οι συντεταγμένες του σημείου αγκύρωσης.

Ο Ευθύς μετασχηματισμός υπολογίζεται από την αρχή χρησιμοποιώντας ως επιπλέον σημεία ελέγχου τα σημεία αγκύρωσης. Συνήθως χρειάζονται τρία σημεία αγκύρωσης για κάθε ζεύγος εικόνων ώστε το αποτέλεσμα του προκύπτοντος φωτομωσαϊκού να είναι αποδεκτό και να ταιριάζουν ικανοποιητικά οι δύο εικόνες. Τρία σημεία ανά ζεύγος χρειάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του φωτομωσαϊκού από τη περιοχή του Καραβέ.

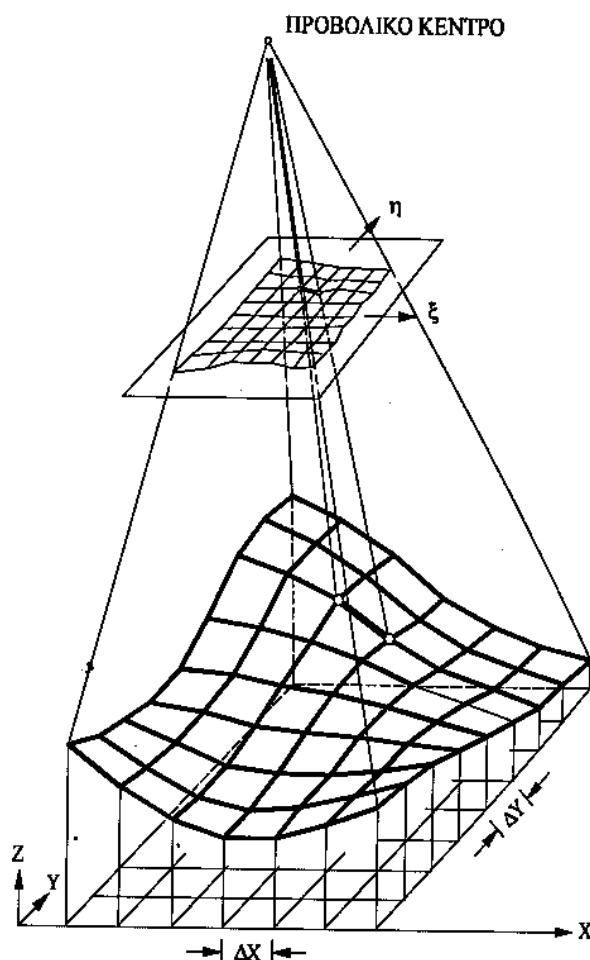
Για παράδειγμα, έστω το σημείο αγκύρωσης  $C1$  με εικονοσυντεταγμένες  $(\xi_1, \eta_1)$  στην πρώτη εικόνα και  $(\xi_2, \eta_2)$  στη δεύτερη εικόνα, όπου ο Ευθύς μετασχηματισμός έδωσε

συντεταγμένες εδάφους ( $X_1, Y_1$ ) από τη πρώτη και ( $X_2, Y_2$ ) από τη δεύτερη εικόνα. Για τις δύο εικόνες υπολογίζεται από την αρχή ο μετασχηματισμός, λαμβάνοντας ως επιπλέον σημείο ελέγχου το σημείο αγκύρωσης C1 με εικονοσυντεταγμένες ( $\xi_1, \eta_1$ ) και ( $\xi_2, \eta_2$ ) και ως συντεταγμένες στο έδαφος τις  $[(X_1 + X_2)/2, (Y_1 + Y_2)/2]$ .

### 7.6 Ορθοφωτογραφική διόρθωση.

Όπως έχει αναφερθεί, οι φωτογραφίες παρουσιάζουν σφάλματα λόγω της παραμόρφωσης αναγλύφου. Αυτό συμβαίνει γιατί η αεροφωτογραφική λήψη είναι μια κεντρική προβολή κι όχι μία ορθή προβολή. Πρέπει λοιπόν η φωτογραφική εικόνα να μετασχηματιστεί σε μια γεωμετρικά ορθή φωτογραφία, ή **ορθοφωτογραφία**.

Ο τετραγωνικός κάρναβος αντιπροσωπεύει τη μη παραμορφωμένη απεικόνιση της γήινης επιφάνειας, δηλαδή την ορθή προβολή (Σχ 7.10, 7.11)



**Σχήμα 7. 10** Η σχέση του τετραγωνικού κάρναβου ( $\Delta X = \Delta Y$ ) του XY επιπέδου με τον παραμορφωμένο κάρναβο του επιπέδου της εικόνας. (Kraus, 2003)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

### ΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΟΥ MATLAB 6.1

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται οι πιο σημαντικοί αλγόριθμοι του matlab που χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτή τη διπλωματική. Δημιουργήθηκαν όλοι από τον συγγραφέα.

Ο έλεγχος για το κατά πόσο λειτουργούν σωστά έγινε από τα αποτελέσματα (που ήταν ικανοποιητικά) και μ' επαλήθευση των μετασχηματισμών που προκύπτουν από τα υπόλοιπα σημεία ελέγχου. Σ' όλες τις φωτογραφίες εκτός από την πρώτη υπάρχουν δύο με τρία GCPs που δεν χρησιμοποιήθηκαν στην γεωμετρική διόρθωση. Αυτά χρησιμοποιήθηκαν για επαλήθευση, δηλαδή μετά την ολοκλήρωση του μετασχηματισμού κάθε εικόνας, δόθηκαν οι εικονοσυντεταγμένες ( $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$ ) αυτών των σημείων και ελέγχθηκαν τα αποτελέσματα ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) που έδωσε ο εξεταζόμενος μετασχηματισμός.

#### 1. Πανοραμική διόρθωση:

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για να γίνει η διόρθωση της πανοραμικής παραμόρφωσης (6.3) έγινε σε matlab 6.1 και είναι ο ακόλουθος. Για απλότητα, παρουσιάζεται μόνο ο αλγόριθμος για την πρώτη εικόνα.

```
pic=imread('c:\1.tif');
[nrows,ncols]=size(pic);

%nr1 = OI GRAMMES THS PIC1, nr2 = OI GRAMMES THS PIC2
%nc1 = OI STHLES THS PIC1, nc2 = OI STHLES THS PIC2
%ncend = OI ENDIAMESES STHLES // mescol H MESSAIA COL

nr1=nrows; nr2=nrows;
```

```

nc1=round(ncols/4); nc2=ncols;

mescol=round(ncols/2); ncend=round(3*ncols/4);

picc=pic(1:nr1,nc1+1:ncend);

%DY = H(tanw-w) // j OI STHLES // s GIA STIGMIAIA

%Ys= apos*t // tanws= apos*t/H => tanws= 2*apos/ncols // apos H APOSTASH
APO TO MESO

%ARA KA8E STHLH PREPEI NA EGRAFEI SE ENAN ALLO PINAKA,
METATOPISMENH

%met H METATOPISH THS js OTAN MPEI STHN ALLH EIKONA i.e. AN met=4
j2 => j6

%2*t GIA METATROPH THS METATOPISHS SE PIXELS OLOKLHRHS
EIKONAS

H=920; t=H/(ncols/2); for js=1:nc1

    apos=abs(js-mescol);

    ws=atan(2*apos/ncols);

    DY=H*(tan(ws)-ws);

    met= round(DY/(2*t));

    Y=pic(1:nr1,js);

    pica(1:nr1,(js+met))=Y;

end

%PREPEI TO k NA EINAI TOSO, WSTE NA MHN EXEI MAYRO H EIKONA

k=26;

for js=ncend+1+k:nc2

    apos=abs(js-mescol);

    ws=atan(2*apos/ncols);

    DY=H*(tan(ws)-ws);

    met= round(DY/(2*t));

    Y=pic(1:nr1,js);

    picb(1:nr1,(js-met-ncend))=Y;

```

end

pic3=[pica picc picb];

## 2. Εύρεση του πίνακα μετασχηματισμού από τα GCPs

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στο matlab για την εύρεση του πίνακα μετασχηματισμού (6.4) χρησιμοποιεί 6 σημεία ( $p, q, r, t, u, v$ ). Πρέπει να είναι γνωστές οι συντεταγμένες τους στο έδαφος και στην εικόνα.  $(X, Y, Z)$  είναι οι συντεταγμένες του πίνακα  $X$  και  $(x, y, z)$  είναι οι συντεταγμένες του πίνακα  $\Xi$ . Για απλότητα παρουσιάζεται ο αλγόριθμος μόνο της πρώτης εικόνας.

pic=imread('c:\pan1.bmp');

%  $(X, Y, Z)$  είναι οι συντεταγμένες των GCPs στο XYZ σύστημα (WGS 84)

%  $(x, y, z)$  είναι οι εικονοσυντεταγμένες των GCPs, δηλαδή στο ξηζ σύστημα

%  $p, q, r, t, u, v$  είναι τα 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup>, 3<sup>ο</sup> κτλ σημεία που χρησιμοποιήθηκαν στην εικόνα.

% Προσοχή! Δεν είναι αριθμημένα με τη σειρά που μετρήθηκαν ή παρουσιάζονται

% στον πίνακα 6.1! Έχει γίνει επιλογή σημείων, 6 για την κάθε εικόνα ώστε να

% επιτευχθεί καλύτερο αποτέλεσμα.

% Προφανώς πρέπει τα  $(X, Y, Z)$  να αντιστοιχούν στα  $(x, y, z)$  του ίδιου σημείου.

Xp=510883.44; Xq=510966.97; Xr=511169.12; Xt=510995.64;

Xu=511123.3; Xv=511224.11;

Yp=3857257.47; Yq=3856209.62; Yr=3856614.63; Yt=3856444.38;

Yu=3856706.99; Yv=3856494.57;

Zp=0; Zq=0; Zr=0; Zt=0; Zu=0; Zv=0;

xp=1024; xq=492; xr=515; xt=543; xu=645; xv=399;

yp=417; yq=1133; yr=737; yt=958; yu=712; yv=833;

zp=-0.15335; zq=-0.15335; zr=-0.15335; zt=-0.15335; zu=-0.15335; zv=-0.15335;

w=0.00123; f=0.00431; k=0.00847; s=1.00342;

% 36 EPANALHPSEIS GIA TA w, f, k, s

for i=1:36

%O PINAKAS M (SXESEIS 7.6)

```

m11=cos(f)*cos(k);
m12=sin(w)*sin(f)*cos(k)+cos(w)*sin(k);
m13=-cos(w)*sin(f)*cos(k)+sin(w)*sin(k);
m21=-cos(f)*sin(k);
m22=-sin(w)*sin(f)*sin(k)+cos(w)*cos(k);
m23=cos(w)*sin(f)*sin(k)+sin(w)*cos(k);
m31=sin(f);
m32=-sin(w)*cos(f);
m33=cos(w)*cos(f);

```

%p ARXIKO SHMEIO / q SHMEIO 2/ r SHMEIO 3/ t SHMEIO 4/ u SHMEIO 5/ v SHMEIO 6

% H DIADIKASIA POY PERIGRAFETAI STO KEF 7.

% SXESEIS 7.13

```

Fq= s*(m11*(xp-xq)+m21*(yp-yq)+m31*(zp-zq));
Gq= s*(m12*(xp-xq)+m22*(yp-yq)+m32*(zp-zq));
Hq= s*(m13*(xp-xq)+m23*(yp-yq)+m33*(zp-zq));
Fr= s*(m11*(xp-xr)+m21*(yp-yr)+m31*(zp-zr));
Gr= s*(m12*(xp-xr)+m22*(yp-yr)+m32*(zp-zr));
Hr= s*(m13*(xp-xr)+m23*(yp-yr)+m33*(zp-zr));
Ft= s*(m11*(xp-xt)+m21*(yp-yt)+m31*(zp-zt));
Gt= s*(m12*(xp-xt)+m22*(yp-yt)+m32*(zp-zt));
Ht= s*(m13*(xp-xt)+m23*(yp-yt)+m33*(zp-zt));
Fu= s*(m11*(xp-xu)+m21*(yp-yu)+m31*(zp-zu));
Gu= s*(m12*(xp-xu)+m22*(yp-yu)+m32*(zp-zu));
Hu= s*(m13*(xp-xu)+m23*(yp-yu)+m33*(zp-zu));
Fv= s*(m11*(xp-xv)+m21*(yp-yv)+m31*(zp-zv));
Gv= s*(m12*(xp-xv)+m22*(yp-yv)+m32*(zp-zv));
Hv= s*(m13*(xp-xv)+m23*(yp-yv)+m33*(zp-zv));

```

% DHMIOYRGIA TOY PINAKA A (SXESEIS 7.14)

```

A(1,1)=m11*(xp-xq)+m21*(yp-yq)+m31*(zp-zq);
A(1,2)=0;

```

$$A(1,3)=((-sin(f)*cos(k))*(xp-xq)+sin(f)*sin(k)*(yp-yq)+cos(f)*(zp-zq))*s;$$

$$A(1,4)=(m21*(xp-xq)-m11*(yp-yq))*s;$$

$$A(2,1)=m12*(xp-xq)+m22*(yp-yq)+m32*(zp-zq);$$

$$A(2,2)=(-m13*(xp-xq)-m23*(yp-yq)-m33*(zp-zq))*s;$$

$$A(2,3)=((sin(w)*cos(f)*cos(k))*(xp-xq)-(sin(w)*cos(f)*sin(k))*(yp-yq)+(sin(w)*sin(f))*(zp-zq))*s;$$

$$A(2,4)=(m22*(xp-xq)-m12*(yp-yq))*s;$$

$$A(3,1)=m13*(xp-xq)+m23*(yp-yq)+m33*(zp-zq);$$

$$A(3,2)=(m12*(xp-xq)+m22*(yp-yq)+m32*(zp-zq))*s;$$

$$A(3,3)=((-cos(w)*cos(f)*cos(k))*(xp-xq)+(cos(w)*cos(f)*sin(k))*(yp-yq)-(cos(w)*sin(f))*(zp-zq))*s;$$

$$A(3,4)=(m23*(xp-xq)-m13*(yp-yq))*s;$$

$$A(4,1)=m11*(xp-xr)+m21*(yp-yr)+m31*(zp-zr);$$

$$A(4,2)=0;$$

$$A(4,3)=((-sin(f)*cos(k))*(xp-xr)+sin(f)*sin(k)*(yp-yr)+cos(f)*(zp-zr))*s;$$

$$A(5,4)=(m21*(xp-xr)-m11*(yp-yr))*s;$$

$$A(5,1)=m12*(xp-xr)+m22*(yp-yr)+m32*(zp-zr);$$

$$A(5,2)=(-m13*(xp-xr)-m23*(yp-yr)-m33*(zp-zr))*s;$$

$$A(5,3)=((sin(w)*cos(f)*cos(k))*(xp-xr)-(sin(w)*cos(f)*sin(k))*(yp-yr)+(sin(w)*sin(f))*(zp-zr))*s;$$

$$A(5,4)=(m22*(xp-xr)-m12*(yp-yr))*s;$$

$$A(6,1)=m13*(xp-xr)+m23*(yp-yr)+m33*(zp-zr);$$

$$A(6,2)=(m12*(xp-xr)+m22*(yp-yr)+m32*(zp-zr))*s;$$

$$A(6,3)=((-cos(w)*cos(f)*cos(k))*(xp-xr)+(cos(w)*cos(f)*sin(k))*(yp-yr)-(cos(w)*sin(f))*(zp-zr))*s;$$

$$A(6,4)=(m23*(xp-xr)-m13*(yp-yr))*s;$$

$$A(7,1)=m11*(xp-xt)+m21*(yp-yt)+m31*(zp-zt);$$

$$A(7,2)=0;$$

$$A(7,3)=((-sin(f)*cos(k))*(xp-xt)+sin(f)*sin(k)*(yp-yt)+cos(f)*(zp-zt))*s;$$

$$A(7,4)=(m21*(xp-xt)-m11*(yp-yt))*s;$$

$$A(8,1)=m12*(xp-xt)+m22*(yp-yt)+m32*(zp-zt);$$

$$A(8,2)=(-m13*(xp-xt)-m23*(yp-yt)-m33*(zp-zt))*s;$$

$$A(8,3)=((sin(w)*cos(f)*cos(k))*(xp-xt)-(sin(w)*cos(f)*sin(k))*(yp-yt)+(sin(w)*sin(f))*(zp-zt))*s;$$

$$A(8,4)=(m22*(xp-xt)-m12*(yp-yt))*s;$$

$$A(9,1)=m13*(xp-xt)+m23*(yp-yt)+m33*(zp-zt);$$

$$A(9,2)=(m12*(xp-xt)+m22*(yp-yt)+m32*(zp-zt))*s;$$

$$\begin{aligned}
A(9,3) &= ((-\cos(w) \cdot \cos(f) \cdot \cos(k)) \cdot (xp-xt) + (\cos(w) \cdot \cos(f) \cdot \sin(k)) \cdot (yp-yt) - \\
&\quad (\cos(w) \cdot \sin(f)) \cdot (zp-zt)) \cdot s; \\
A(9,4) &= (m23 \cdot (xp-xt) - m13 \cdot (yp-yt)) \cdot s; \\
A(10,1) &= m11 \cdot (xp-xu) + m21 \cdot (yp-yu) + m31 \cdot (zp-zu); \\
A(10,2) &= 0; \\
A(10,3) &= ((-\sin(f) \cdot \cos(k)) \cdot (xp-xu) + \sin(f) \cdot \sin(k) \cdot (yp-yu) + \cos(f) \cdot (zp-zu)) \cdot s; \\
A(10,4) &= (m21 \cdot (xp-xu) - m11 \cdot (yp-yu)) \cdot s; \\
A(11,1) &= m12 \cdot (xp-xu) + m22 \cdot (yp-yu) + m32 \cdot (zp-zu); \\
A(11,2) &= (-m13 \cdot (xp-xu) - m23 \cdot (yp-yu) - m33 \cdot (zp-zu)) \cdot s; \\
A(11,3) &= ((\sin(w) \cdot \cos(f) \cdot \cos(k)) \cdot (xp-xu) - (\sin(w) \cdot \cos(f) \cdot \sin(k)) \cdot (yp-yu) + \\
&\quad (\sin(w) \cdot \sin(f)) \cdot (zp-zu)) \cdot s; \\
A(11,4) &= (m22 \cdot (xp-xu) - m12 \cdot (yp-yu)) \cdot s; \\
A(12,1) &= m13 \cdot (xp-xu) + m23 \cdot (yp-yu) + m33 \cdot (zp-zu); \\
A(12,2) &= (m12 \cdot (xp-xu) + m22 \cdot (yp-yu) + m32 \cdot (zp-zu)) \cdot s; \\
A(12,3) &= ((-\cos(w) \cdot \cos(f) \cdot \cos(k)) \cdot (xp-xu) + (\cos(w) \cdot \cos(f) \cdot \sin(k)) \cdot (yp-yu) - \\
&\quad (\cos(w) \cdot \sin(f)) \cdot (zp-zu)) \cdot s; \\
A(12,4) &= (m23 \cdot (xp-xu) - m13 \cdot (yp-yu)) \cdot s; \\
A(13,1) &= m11 \cdot (xp-xv) + m21 \cdot (yp-yv) + m31 \cdot (zp-zv); \\
A(13,2) &= 0; \\
A(13,3) &= ((-\sin(f) \cdot \cos(k)) \cdot (xp-xv) + \sin(f) \cdot \sin(k) \cdot (yp-yv) + \cos(f) \cdot (zp-zv)) \cdot s; \\
A(13,4) &= (m21 \cdot (xp-xv) - m11 \cdot (yp-yv)) \cdot s; \\
A(14,1) &= m12 \cdot (xp-xv) + m22 \cdot (yp-yv) + m32 \cdot (zp-zv); \\
A(14,2) &= (-m13 \cdot (xp-xv) - m23 \cdot (yp-yv) - m33 \cdot (zp-zv)) \cdot s; \\
A(14,3) &= ((\sin(w) \cdot \cos(f) \cdot \cos(k)) \cdot (xp-xv) - (\sin(w) \cdot \cos(f) \cdot \sin(k)) \cdot (yp-yv) + \\
&\quad (\sin(w) \cdot \sin(f)) \cdot (zp-zv)) \cdot s; \\
A(14,4) &= (m22 \cdot (xp-xv) - m12 \cdot (yp-yv)) \cdot s; \\
A(15,1) &= m13 \cdot (xp-xv) + m23 \cdot (yp-yv) + m33 \cdot (zp-zv); \\
A(15,2) &= (m12 \cdot (xp-xv) + m22 \cdot (yp-yv) + m32 \cdot (zp-zv)) \cdot s; \\
A(15,3) &= ((-\cos(w) \cdot \cos(f) \cdot \cos(k)) \cdot (xp-xv) + (\cos(w) \cdot \cos(f) \cdot \sin(k)) \cdot (yp-yv) - \\
&\quad (\cos(w) \cdot \sin(f)) \cdot (zp-zv)) \cdot s; \\
A(15,4) &= (m23 \cdot (xp-xv) - m13 \cdot (yp-yv)) \cdot s;
\end{aligned}$$

$$L(1,1) = (Xp - Xq) - Fq;$$

$$L(2,1) = (Yp - Yq) - Gq;$$

$$L(3,1) = (Zp - Zq) - Hq;$$

$$L(4,1) = (Xp - Xr) - Fr;$$

$$L(5,1) = (Yp - Yr) - Gr;$$



```

L(6,1)=(Zp-Zr)-Hr;
L(7,1)=(Xp-Xt)-Ft;
L(8,1)=(Yp-Yt)-Gt;
L(9,1)=(Zp-Zt)-Ht;
L(10,1)=(Xp-Xu)-Fu;
L(11,1)=(Yp-Yu)-Gu;
L(12,1)=(Zp-Zu)-Hu;
L(13,1)=(Xp-Xv)-Fv;
L(14,1)=(Yp-Yv)-Gv;
L(15,1)=(Zp-Zv)-Hv;

```

```

% H EYRESH TWN ENDIAMESWN TIMWN
X=regress(L,A);
s=s+X(1,1); w=w+X(2,1); f=f+X(3,1); k=k+X(4,1);
end

```

```

% OI TELIKES TIMES
M(1,1)=cos(f)*cos(k);
M(1,2)=sin(w)*sin(f)*cos(k)+cos(w)*sin(k);
M(1,3)=-cos(w)*sin(f)*cos(k)+sin(w)*sin(k);
M(2,1)=-cos(f)*sin(k);
M(2,2)=-sin(w)*sin(f)*sin(k)+cos(w)*cos(k);
M(2,3)=cos(w)*sin(f)*sin(k)+sin(w)*cos(k);
M(3,1)=sin(f);
M(3,2)=-sin(w)*cos(f);
M(3,3)=cos(w)*cos(f);

```

```

% O PINAKAS T
T(1,1)=Xp-(s*(M(1,1)*xp+M(2,1)*yp+M(3,1)*zp));
T(2,1)=Yp-(s*(M(1,2)*xp+M(2,2)*yp+M(3,2)*zp));
T(3,1)=Zp-(s*(M(1,3)*xp+M(2,3)*yp+M(3,3)*zp));
%[X;Y;Z]=s*transpose(M)*[x;y;-f]+T

```

```

disp('phase 2')

```

```
% H DIOR8WSH THS EIKONAS
trans2=makeform('projective',M);
pic2=imtransform(pic,trans2);
imshow(pic2)
imwrite(pic2,'c:\dior1.bmp')

% TO SCALING THS EIKONAS WSTE 1 PIXEL = 1 METRO
[nrows,ncols]=size(pic2);
P11=s*transpose(M)*[1;1;-0.15335]+T;
P1t=s*transpose(M)*[1;ncols;-0.15335]+T;
Pt1=s*transpose(M)*[nrows;1;-0.15335]+T;
Ptt=s*transpose(M)*[nrows;ncols;-0.15335]+T;
%APO P11 EWS P1t TO DX
%APO P11 EWS Ptt TO DY
DX=abs(P11(1,1)-P1t(1,1)), DY=abs(P1t(2,1)-Ptt(2,1))
SF=DX/ncols;
B = IMRESIZE(pic2,SF,'nearest');
[M,N]=size(B); KX=DX/N, KY=DY/M
imwrite(B,'c:\scaled.bmp')
imshow(B);
```

### 3. Εύρεση του μετασχηματισμού για το φωτομωσαϊκό .

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την εύρεση του μετασχηματισμού για το φωτομωσαϊκό είναι παρόμοιος με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται για τη γεωμετρική διόρθωση της μεταβολής της κλίσης . Απλά οι πίνακες είναι πιο μεγάλοι καθώς περιέχουν και τα σημεία αγκύρωσης.

```
pic=imread('c:\pan2.bmp');

Xp=510737.26; Xq=510657.83; Xr=510166.25; Xt=510138.2;
Xu=509817.2; Xv=509944.4; Xc1=510204; Xc2=510051;
Xc4=510126; Xc5=509838; Xc6b=509677; Xc5b=510456;

Yp=3855909.93; Yq=3856079.88; Yr=3855587.68; Yt=3856142.12;
Yu=3855692.64; Yv=3856409.9; Yc1=3856966.1; Yc2=3856770.8;
```

Yc4=3856054.5; Yc5=3856287.7; Yc6b=3856456; Yc5b=3855683;

Zp=0; Zq=0; Zr=0; Zt=0; Zu=0; Zv=0; Zc1=0; Zc2=0; Zc4=0; Zc5=0;  
Zc6b=0; Zc5b=0;

[nr,nc]=size(pic);  
yp=nr-296; yq=nr-421; yr=nr-566; yt=nr-841; yu=nr-873; yv=nr-1111;  
yc1=nr-1156; yc2=nr-1167; yc4=nr-806; yc5=nr-1121; yc6b=nr-1317;  
yc5b=nr-405;

xp=616; xq=528; xr=1096; xt=721; xu=1154; xv=601; xc1=108; xc2=323;  
xc4=796; xc5=737; xc6b=681; xc5b=907;

zp=-0.15335; zq=-0.15335; zr=-0.15335; zt=-0.15335; zu=-0.15335; zv=-0.15335;  
zc1=-0.15335; zc2=-0.15335; zc4=-0.15335; zc5=-0.15335; zc6b=-0.15335;  
zc5b=-0.15335;

w=0.00123; f=0.00431; k=0.00847; s=1.00342;

for i=1:36  
m11=cos(f)\*cos(k);  
m12=sin(w)\*sin(f)\*cos(k)+cos(w)\*sin(k);  
m13=-cos(w)\*sin(f)\*cos(k)+sin(w)\*sin(k);  
m21=-cos(f)\*sin(k);  
m22=-sin(w)\*sin(f)\*sin(k)+cos(w)\*cos(k);  
m23=cos(w)\*sin(f)\*sin(k)+sin(w)\*cos(k);  
m31=sin(f);  
m32=-sin(w)\*cos(f);  
m33=cos(w)\*cos(f);

Fq= s\*(m11\*(xp-xq)+m21\*(yp-yq)+m31\*(zp-zq));  
Gq= s\*(m12\*(xp-xq)+m22\*(yp-yq)+m32\*(zp-zq));  
Hq= s\*(m13\*(xp-xq)+m23\*(yp-yq)+m33\*(zp-zq));  
Fr= s\*(m11\*(xp-xr)+m21\*(yp-yr)+m31\*(zp-zr));  
Gr= s\*(m12\*(xp-xr)+m22\*(yp-yr)+m32\*(zp-zr));

$Hr = s*(m13*(xp-xr)+m23*(yp-yr)+m33*(zp-zr));$   
 $Ft = s*(m11*(xp-xt)+m21*(yp-yt)+m31*(zp-zt));$   
 $Gt = s*(m12*(xp-xt)+m22*(yp-yt)+m32*(zp-zt));$   
 $Ht = s*(m13*(xp-xt)+m23*(yp-yt)+m33*(zp-zt));$   
 $Fu = s*(m11*(xp-xu)+m21*(yp-yu)+m31*(zp-zu));$   
 $Gu = s*(m12*(xp-xu)+m22*(yp-yu)+m32*(zp-zu));$   
 $Hu = s*(m13*(xp-xu)+m23*(yp-yu)+m33*(zp-zu));$   
 $Fv = s*(m11*(xp-xv)+m21*(yp-yv)+m31*(zp-zv));$   
 $Gv = s*(m12*(xp-xv)+m22*(yp-yv)+m32*(zp-zv));$   
 $Hv = s*(m13*(xp-xv)+m23*(yp-yv)+m33*(zp-zv));$   
 $Fc1 = s*(m11*(xp-xc1)+m21*(yp-yc1)+m31*(zp-zc1));$   
 $Gc1 = s*(m12*(xp-xc1)+m22*(yp-yc1)+m32*(zp-zc1));$   
 $Hc1 = s*(m13*(xp-xc1)+m23*(yp-yc1)+m33*(zp-zc1));$   
 $Fc2 = s*(m11*(xp-xc2)+m21*(yp-yc2)+m31*(zp-zc2));$   
 $Gc2 = s*(m12*(xp-xc2)+m22*(yp-yc2)+m32*(zp-zc2));$   
 $Hc2 = s*(m13*(xp-xc2)+m23*(yp-yc2)+m33*(zp-zc2));$   
 $Fc4 = s*(m11*(xp-xc4)+m21*(yp-yc4)+m31*(zp-zc4));$   
 $Gc4 = s*(m12*(xp-xc4)+m22*(yp-yc4)+m32*(zp-zc4));$   
 $Hc4 = s*(m13*(xp-xc4)+m23*(yp-yc4)+m33*(zp-zc4));$   
 $Fc5 = s*(m11*(xp-xc5)+m21*(yp-yc5)+m31*(zp-zc5));$   
 $Gc5 = s*(m12*(xp-xc5)+m22*(yp-yc5)+m32*(zp-zc5));$   
 $Hc5 = s*(m13*(xp-xc5)+m23*(yp-yc5)+m33*(zp-zc5));$   
 $Fc6b = s*(m11*(xp-xc6b)+m21*(yp-yc6b)+m31*(zp-zc6b));$   
 $Gc6b = s*(m12*(xp-xc6b)+m22*(yp-yc6b)+m32*(zp-zc6b));$   
 $Hc6b = s*(m13*(xp-xc6b)+m23*(yp-yc6b)+m33*(zp-zc6b));$   
 $Fc5b = s*(m11*(xp-xc5b)+m21*(yp-yc5b)+m31*(zp-zc5b));$   
 $Gc5b = s*(m12*(xp-xc5b)+m22*(yp-yc5b)+m32*(zp-zc5b));$   
 $Hc5b = s*(m13*(xp-xc5b)+m23*(yp-yc5b)+m33*(zp-zc5b));$

$A(1,1)=m11*(xp-xq)+m21*(yp-yq)+m31*(zp-zq);$

$A(1,2)=0;$

$A(1,3)=((-sin(f)*cos(k))*(xp-xq)+sin(f)*sin(k)*(yp-yq)+cos(f)*(zp-zq))*s;$

$A(1,4)=(m21*(xp-xq)-m11*(yp-yq))*s;$

$A(2,1)=m12*(xp-xq)+m22*(yp-yq)+m32*(zp-zq);$

$$\begin{aligned}
A(2,2) &= (-m_{13}*(xp-xq)-m_{23}*(yp-yq)-m_{33}*(zp-zq))*s; \\
A(2,3) &= ((\sin(w)*\cos(f)*\cos(k))*(xp-xq)-(\sin(w)*\cos(f)*\sin(k))*(yp-yq)+(\sin(w)*\sin(f))*(zp-zq))*s; \\
A(2,4) &= (m_{22}*(xp-xq)-m_{12}*(yp-yq))*s; \\
A(3,1) &= m_{13}*(xp-xq)+m_{23}*(yp-yq)+m_{33}*(zp-zq); \\
A(3,2) &= (m_{12}*(xp-xq)+m_{22}*(yp-yq)+m_{32}*(zp-zq))*s; \\
A(3,3) &= ((-\cos(w)*\cos(f)*\cos(k))*(xp-xq)+(\cos(w)*\cos(f)*\sin(k))*(yp-yq)-(\cos(w)*\sin(f))*(zp-zq))*s; \\
A(3,4) &= (m_{23}*(xp-xq)-m_{13}*(yp-yq))*s; \\
A(4,1) &= m_{11}*(xp-xr)+m_{21}*(yp-yr)+m_{31}*(zp-zr); \\
A(4,2) &= 0; \\
A(4,3) &= ((-\sin(f)*\cos(k))*(xp-xr)+\sin(f)*\sin(k)*(yp-yr)+\cos(f)*(zp-zr))*s; \\
A(5,4) &= (m_{21}*(xp-xr)-m_{11}*(yp-yr))*s; \\
A(5,1) &= m_{12}*(xp-xr)+m_{22}*(yp-yr)+m_{32}*(zp-zr); \\
A(5,2) &= (-m_{13}*(xp-xr)-m_{23}*(yp-yr)-m_{33}*(zp-zr))*s; \\
A(5,3) &= ((\sin(w)*\cos(f)*\cos(k))*(xp-xr)-(\sin(w)*\cos(f)*\sin(k))*(yp-yr)+(\sin(w)*\sin(f))*(zp-zr))*s; \\
A(5,4) &= (m_{22}*(xp-xr)-m_{12}*(yp-yr))*s; \\
A(6,1) &= m_{13}*(xp-xr)+m_{23}*(yp-yr)+m_{33}*(zp-zr); \\
A(6,2) &= (m_{12}*(xp-xr)+m_{22}*(yp-yr)+m_{32}*(zp-zr))*s; \\
A(6,3) &= ((-\cos(w)*\cos(f)*\cos(k))*(xp-xr)+(\cos(w)*\cos(f)*\sin(k))*(yp-yr)-(\cos(w)*\sin(f))*(zp-zr))*s; \\
A(6,4) &= (m_{23}*(xp-xr)-m_{13}*(yp-yr))*s; \\
A(7,1) &= m_{11}*(xp-xt)+m_{21}*(yp-yt)+m_{31}*(zp-zt); \\
A(7,2) &= 0; \\
A(7,3) &= ((-\sin(f)*\cos(k))*(xp-xt)+\sin(f)*\sin(k)*(yp-yt)+\cos(f)*(zp-zt))*s; \\
A(7,4) &= (m_{21}*(xp-xt)-m_{11}*(yp-yt))*s; \\
A(8,1) &= m_{12}*(xp-xt)+m_{22}*(yp-yt)+m_{32}*(zp-zt); \\
A(8,2) &= (-m_{13}*(xp-xt)-m_{23}*(yp-yt)-m_{33}*(zp-zt))*s; \\
A(8,3) &= ((\sin(w)*\cos(f)*\cos(k))*(xp-xt)-(\sin(w)*\cos(f)*\sin(k))*(yp-yt)+(\sin(w)*\sin(f))*(zp-zt))*s; \\
A(8,4) &= (m_{22}*(xp-xt)-m_{12}*(yp-yt))*s; \\
A(9,1) &= m_{13}*(xp-xt)+m_{23}*(yp-yt)+m_{33}*(zp-zt); \\
A(9,2) &= (m_{12}*(xp-xt)+m_{22}*(yp-yt)+m_{32}*(zp-zt))*s; \\
A(9,3) &= ((-\cos(w)*\cos(f)*\cos(k))*(xp-xt)+(\cos(w)*\cos(f)*\sin(k))*(yp-yt)-(\cos(w)*\sin(f))*(zp-zt))*s; \\
A(9,4) &= (m_{23}*(xp-xt)-m_{13}*(yp-yt))*s;
\end{aligned}$$

$$A(10,1)=m11*(xp-xu)+m21*(yp-yu)+m31*(zp-zu);$$

$$A(10,2)=0;$$

$$A(10,3)=((-sin(f)*cos(k))*(xp-xu)+sin(f)*sin(k)*(yp-yu)+cos(f)*(zp-zu))*s;$$

$$A(10,4)=(m21*(xp-xu)-m11*(yp-yu))*s;$$

$$A(11,1)=m12*(xp-xu)+m22*(yp-yu)+m32*(zp-zu);$$

$$A(11,2)=(-m13*(xp-xu)-m23*(yp-yu)-m33*(zp-zu))*s;$$

$$A(11,3)=((sin(w)*cos(f)*cos(k))*(xp-xu)-sin(w)*cos(f)*sin(k)*(yp-yu)+sin(w)*sin(f)*(zp-zu))*s;$$

$$A(11,4)=(m22*(xp-xu)-m12*(yp-yu))*s;$$

$$A(12,1)=m13*(xp-xu)+m23*(yp-yu)+m33*(zp-zu);$$

$$A(12,2)=(m12*(xp-xu)+m22*(yp-yu)+m32*(zp-zu))*s;$$

$$A(12,3)=((-cos(w)*cos(f)*cos(k))*(xp-xu)+(cos(w)*cos(f)*sin(k))*(yp-yu)-cos(w)*sin(f)*(zp-zu))*s;$$

$$A(12,4)=(m23*(xp-xu)-m13*(yp-yu))*s;$$

$$A(13,1)=m11*(xp-xv)+m21*(yp-yv)+m31*(zp-zv);$$

$$A(13,2)=0;$$

$$A(13,3)=((-sin(f)*cos(k))*(xp-xv)+sin(f)*sin(k)*(yp-yv)+cos(f)*(zp-zv))*s;$$

$$A(13,4)=(m21*(xp-xv)-m11*(yp-yv))*s;$$

$$A(14,1)=m12*(xp-xv)+m22*(yp-yv)+m32*(zp-zv);$$

$$A(14,2)=(-m13*(xp-xv)-m23*(yp-yv)-m33*(zp-zv))*s;$$

$$A(14,3)=((sin(w)*cos(f)*cos(k))*(xp-xv)-sin(w)*cos(f)*sin(k)*(yp-yv)+sin(w)*sin(f)*(zp-zv))*s;$$

$$A(14,4)=(m22*(xp-xv)-m12*(yp-yv))*s;$$

$$A(15,1)=m13*(xp-xv)+m23*(yp-yv)+m33*(zp-zv);$$

$$A(15,2)=(m12*(xp-xv)+m22*(yp-yv)+m32*(zp-zv))*s;$$

$$A(15,3)=((-cos(w)*cos(f)*cos(k))*(xp-xv)+(cos(w)*cos(f)*sin(k))*(yp-yv)-cos(w)*sin(f)*(zp-zv))*s;$$

$$A(15,4)=(m23*(xp-xv)-m13*(yp-yv))*s;$$

$$A(16,1)=m11*(xp-xc1)+m21*(yp-yc1)+m31*(zp-zc1);$$

$$A(16,2)=0;$$

$$A(16,3)=((-sin(f)*cos(k))*(xp-xc1)+sin(f)*sin(k)*(yp-yc1)+cos(f)*(zp-zc1))*s;$$

$$A(16,4)=(m21*(xp-xc1)-m11*(yp-yc1))*s;$$

$$A(17,1)=m12*(xp-xc1)+m22*(yp-yc1)+m32*(zp-zc1);$$

$$A(17,2)=(-m13*(xp-xc1)-m23*(yp-yc1)-m33*(zp-zc1))*s;$$

$$A(17,3)=((sin(w)*cos(f)*cos(k))*(xp-xc1)-sin(w)*cos(f)*sin(k)*(yp-yc1)+sin(w)*sin(f)*(zp-zc1))*s;$$

$$\begin{aligned}
A(17,4) &= (m_{22}*(xp-xc1)-m_{12}*(yp-yc1))*s; \\
A(18,1) &= m_{13}*(xp-xc1)+m_{23}*(yp-yc1)+m_{33}*(zp-zc1); \\
A(18,2) &= (m_{12}*(xp-xc1)+m_{22}*(yp-yc1)+m_{32}*(zp-zc1))*s; \\
A(18,3) &= ((-\cos(w)*\cos(f)*\cos(k))*(xp-xc1)+(\cos(w)*\cos(f)*\sin(k))*(yp-yc1)- \\
&\quad (\cos(w)*\sin(f))*(zp-zc1))*s; \\
A(18,4) &= (m_{23}*(xp-xc1)-m_{13}*(yp-yc1))*s; \\
A(19,1) &= m_{11}*(xp-xc2)+m_{21}*(yp-yc2)+m_{31}*(zp-zc2); \\
A(19,2) &= 0; \\
A(19,3) &= ((-\sin(f)*\cos(k))*(xp-xc2)+\sin(f)*\sin(k)*(yp-yc2)+\cos(f)*(zp-zc2))*s; \\
A(19,4) &= (m_{21}*(xp-xc2)-m_{11}*(yp-yc2))*s; \\
A(20,1) &= m_{12}*(xp-xc2)+m_{22}*(yp-yc2)+m_{32}*(zp-zc2); \\
A(20,2) &= (-m_{13}*(xp-xc2)-m_{23}*(yp-yc2)-m_{33}*(zp-zc2))*s; \\
A(20,3) &= ((\sin(w)*\cos(f)*\cos(k))*(xp-xc2)-(\sin(w)*\cos(f)*\sin(k))*(yp-yc2)+ \\
&\quad (\sin(w)*\sin(f))*(zp-zc2))*s; \\
A(20,4) &= (m_{22}*(xp-xc2)-m_{12}*(yp-yc2))*s; \\
A(21,1) &= m_{13}*(xp-xc2)+m_{23}*(yp-yc2)+m_{33}*(zp-zc2); \\
A(21,2) &= (m_{12}*(xp-xc2)+m_{22}*(yp-yc2)+m_{32}*(zp-zc2))*s; \\
A(21,3) &= ((-\cos(w)*\cos(f)*\cos(k))*(xp-xc2)+(\cos(w)*\cos(f)*\sin(k))*(yp-yc2)- \\
&\quad (\cos(w)*\sin(f))*(zp-zc2))*s; \\
A(21,4) &= (m_{23}*(xp-xc2)-m_{13}*(yp-yc2))*s; \\
A(22,1) &= m_{11}*(xp-xc4)+m_{21}*(yp-yc4)+m_{31}*(zp-zc4); \\
A(22,2) &= 0; \\
A(22,3) &= ((-\sin(f)*\cos(k))*(xp-xc4)+\sin(f)*\sin(k)*(yp-yc4)+\cos(f)*(zp-zc4))*s; \\
A(22,4) &= (m_{21}*(xp-xc4)-m_{11}*(yp-yc4))*s; \\
A(23,1) &= m_{12}*(xp-xc4)+m_{22}*(yp-yc4)+m_{32}*(zp-zc4); \\
A(23,2) &= (-m_{13}*(xp-xc4)-m_{23}*(yp-yc4)-m_{33}*(zp-zc4))*s; \\
A(23,3) &= ((\sin(w)*\cos(f)*\cos(k))*(xp-xc4)-(\sin(w)*\cos(f)*\sin(k))*(yp-yc4)+ \\
&\quad (\sin(w)*\sin(f))*(zp-zc4))*s; \\
A(23,4) &= (m_{22}*(xp-xc4)-m_{12}*(yp-yc4))*s; \\
A(24,1) &= m_{13}*(xp-xc4)+m_{23}*(yp-yc4)+m_{33}*(zp-zc4); \\
A(24,2) &= (m_{12}*(xp-xc4)+m_{22}*(yp-yc4)+m_{32}*(zp-zc4))*s; \\
A(24,3) &= ((-\cos(w)*\cos(f)*\cos(k))*(xp-xc4)+(\cos(w)*\cos(f)*\sin(k))*(yp-yc4)- \\
&\quad (\cos(w)*\sin(f))*(zp-zc4))*s; \\
A(24,4) &= (m_{23}*(xp-xc4)-m_{13}*(yp-yc4))*s; \\
A(25,1) &= m_{11}*(xp-xc5)+m_{21}*(yp-yc5)+m_{31}*(zp-zc5); \\
A(25,2) &= 0; \\
A(25,3) &= ((-\sin(f)*\cos(k))*(xp-xc5)+\sin(f)*\sin(k)*(yp-yc5)+\cos(f)*(zp-zc5))*s;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A(25,4) &= (m_{21} * (x_p - x_{c5}) - m_{11} * (y_p - y_{c5})) * s; \\
A(26,1) &= m_{12} * (x_p - x_{c5}) + m_{22} * (y_p - y_{c5}) + m_{32} * (z_p - z_{c5}); \\
A(26,2) &= (-m_{13} * (x_p - x_{c5}) - m_{23} * (y_p - y_{c5}) - m_{33} * (z_p - z_{c5})) * s; \\
A(26,3) &= ((\sin(w) * \cos(f) * \cos(k)) * (x_p - x_{c5}) - (\sin(w) * \cos(f) * \sin(k)) * (y_p - y_{c5}) + (\sin(w) * \sin(f)) * (z_p - z_{c5})) * s; \\
A(26,4) &= (m_{22} * (x_p - x_{c5}) - m_{12} * (y_p - y_{c5})) * s; \\
A(27,1) &= m_{13} * (x_p - x_{c5}) + m_{23} * (y_p - y_{c5}) + m_{33} * (z_p - z_{c5}); \\
A(27,2) &= (m_{12} * (x_p - x_{c5}) + m_{22} * (y_p - y_{c5}) + m_{32} * (z_p - z_{c5})) * s; \\
A(27,3) &= ((-\cos(w) * \cos(f) * \cos(k)) * (x_p - x_{c5}) + (\cos(w) * \cos(f) * \sin(k)) * (y_p - y_{c5}) - (\cos(w) * \sin(f)) * (z_p - z_{c5})) * s; \\
A(27,4) &= (m_{23} * (x_p - x_{c5}) - m_{13} * (y_p - y_{c5})) * s; \\
A(28,1) &= m_{11} * (x_p - x_{c6b}) + m_{21} * (y_p - y_{c6b}) + m_{31} * (z_p - z_{c6b}); \\
A(28,2) &= 0; \\
A(28,3) &= ((-\sin(f) * \cos(k)) * (x_p - x_{c6b}) + \sin(f) * \sin(k) * (y_p - y_{c6b}) + \cos(f) * (z_p - z_{c6b})) * s; \\
A(28,4) &= (m_{21} * (x_p - x_{c6b}) - m_{11} * (y_p - y_{c6b})) * s; \\
A(29,1) &= m_{12} * (x_p - x_{c6b}) + m_{22} * (y_p - y_{c6b}) + m_{32} * (z_p - z_{c6b}); \\
A(29,2) &= (-m_{13} * (x_p - x_{c6b}) - m_{23} * (y_p - y_{c6b}) - m_{33} * (z_p - z_{c6b})) * s; \\
A(29,3) &= ((\sin(w) * \cos(f) * \cos(k)) * (x_p - x_{c6b}) - (\sin(w) * \cos(f) * \sin(k)) * (y_p - y_{c6b}) + (\sin(w) * \sin(f)) * (z_p - z_{c6b})) * s; \\
A(29,4) &= (m_{22} * (x_p - x_{c6b}) - m_{12} * (y_p - y_{c6b})) * s; \\
A(30,1) &= m_{13} * (x_p - x_{c6b}) + m_{23} * (y_p - y_{c6b}) + m_{33} * (z_p - z_{c6b}); \\
A(30,2) &= (m_{12} * (x_p - x_{c6b}) + m_{22} * (y_p - y_{c6b}) + m_{32} * (z_p - z_{c6b})) * s; \\
A(30,3) &= ((-\cos(w) * \cos(f) * \cos(k)) * (x_p - x_{c6b}) + (\cos(w) * \cos(f) * \sin(k)) * (y_p - y_{c6b}) - (\cos(w) * \sin(f)) * (z_p - z_{c6b})) * s; \\
A(30,4) &= (m_{23} * (x_p - x_{c6b}) - m_{13} * (y_p - y_{c6b})) * s; \\
A(31,1) &= m_{11} * (x_p - x_{c5b}) + m_{21} * (y_p - y_{c5b}) + m_{31} * (z_p - z_{c5b}); \\
A(31,2) &= 0; \\
A(31,3) &= ((-\sin(f) * \cos(k)) * (x_p - x_{c5b}) + \sin(f) * \sin(k) * (y_p - y_{c5b}) + \cos(f) * (z_p - z_{c5b})) * s; \\
A(31,4) &= (m_{21} * (x_p - x_{c5b}) - m_{11} * (y_p - y_{c5b})) * s; \\
A(32,1) &= m_{12} * (x_p - x_{c5b}) + m_{22} * (y_p - y_{c5b}) + m_{32} * (z_p - z_{c5b}); \\
A(32,2) &= (-m_{13} * (x_p - x_{c5b}) - m_{23} * (y_p - y_{c5b}) - m_{33} * (z_p - z_{c5b})) * s; \\
A(32,3) &= ((\sin(w) * \cos(f) * \cos(k)) * (x_p - x_{c5b}) - (\sin(w) * \cos(f) * \sin(k)) * (y_p - y_{c5b}) + (\sin(w) * \sin(f)) * (z_p - z_{c5b})) * s; \\
A(32,4) &= (m_{22} * (x_p - x_{c5b}) - m_{12} * (y_p - y_{c5b})) * s; \\
A(33,1) &= m_{13} * (x_p - x_{c5b}) + m_{23} * (y_p - y_{c5b}) + m_{33} * (z_p - z_{c5b}); \\
A(33,2) &= (m_{12} * (x_p - x_{c5b}) + m_{22} * (y_p - y_{c5b}) + m_{32} * (z_p - z_{c5b})) * s;
\end{aligned}$$



$$A(33,3)=((-cos(w)*cos(f)*cos(k))*(xp-xc5b)+(cos(w)*cos(f)*sin(k))*(yp-yc5b)-cos(w)*sin(f)*(zp-zc5b))*s;$$

$$A(33,4)=(m23*(xp-xc5b)-m13*(yp-yc5b))*s;$$

$$L(1,1)=(Xp-Xq)-Fq;$$

$$L(2,1)=(Yp-Yq)-Gq;$$

$$L(3,1)=(Zp-Zq)-Hq;$$

$$L(4,1)=(Xp-Xr)-Fr;$$

$$L(5,1)=(Yp-Yr)-Gr;$$

$$L(6,1)=(Zp-Zr)-Hr;$$

$$L(7,1)=(Xp-Xt)-Ft;$$

$$L(8,1)=(Yp-Yt)-Gt;$$

$$L(9,1)=(Zp-Zt)-Ht;$$

$$L(10,1)=(Xp-Xu)-Fu;$$

$$L(11,1)=(Yp-Yu)-Gu;$$

$$L(12,1)=(Zp-Zu)-Hu;$$

$$L(13,1)=(Xp-Xv)-Fv;$$

$$L(14,1)=(Yp-Yv)-Gv;$$

$$L(15,1)=(Zp-Zv)-Hv;$$

$$L(16,1)=(Xp-Xc1)-Fc1;$$

$$L(17,1)=(Yp-Yc1)-Gc1;$$

$$L(18,1)=(Zp-Zc1)-Hc1;$$

$$L(19,1)=(Xp-Xc2)-Fc2;$$

$$L(20,1)=(Yp-Yc2)-Gc2;$$

$$L(21,1)=(Zp-Zc2)-Hc2;$$

$$L(22,1)=(Xp-Xc4)-Fc4;$$

$$L(23,1)=(Yp-Yc4)-Gc4;$$

$$L(24,1)=(Zp-Zc4)-Hc4;$$

$$L(25,1)=(Xp-Xc5)-Fc5;$$

$$L(26,1)=(Yp-Yc5)-Gc5;$$

$$L(27,1)=(Zp-Zc5)-Hc5;$$

$$L(28,1)=(Xp-Xc6b)-Fc6b;$$

$$L(29,1)=(Yp-Yc6b)-Gc6b;$$

$$L(30,1)=(Zp-Zc6b)-Hc6b;$$

$$L(31,1)=(Xp-Xc5b)-Fc5b;$$

L(32,1)=(Yp-Yc5b)-Gc5b;

L(33,1)=(Zp-Zc5b)-Hc5b;

X=regress(L,A);

s=s+X(1,1); w=w+X(2,1); f=f+X(3,1); k=k+X(4,1);

end

MT(1,1)=cos(f)\*cos(k);

MT(1,2)=sin(w)\*sin(f)\*cos(k)+cos(w)\*sin(k);

MT(1,3)=-cos(w)\*sin(f)\*cos(k)+sin(w)\*sin(k);

MT(2,1)=-cos(f)\*sin(k);

MT(2,2)=-sin(w)\*sin(f)\*sin(k)+cos(w)\*cos(k);

MT(2,3)=cos(w)\*sin(f)\*sin(k)+sin(w)\*cos(k);

MT(3,1)=sin(f);

MT(3,2)=-sin(w)\*cos(f);

MT(3,3)=cos(w)\*cos(f);

M=transpose(MT);

T(1,1)=Xp-(s\*(M(1,1)\*xp+M(2,1)\*yp+M(3,1)\*zp));

T(2,1)=Yp-(s\*(M(1,2)\*xp+M(2,2)\*yp+M(3,2)\*zp));

T(3,1)=Zp-(s\*(M(1,3)\*xp+M(2,3)\*yp+M(3,3)\*zp));

%[X;Y;Z]=s\*transpose(M)\*[x;y;-f]+T

disp('phase 2')

trans2=makeform('projective',M);

pic2=imtransform(pic,trans2);

[nrows,ncols]=size(pic2);

P11=s\*transpose(M)\*[1;1;-0.15335]+T;

P1t=s\*transpose(M)\*[1;ncols;-0.15335]+T;

Pt1=s\*transpose(M)\*[nrows;1;-0.15335]+T;

Ptt=s\*transpose(M)\*[nrows;ncols;-0.15335]+T;

```

DX=abs(P11(1,1)-P1t(1,1)), DY=abs(P1t(2,1)-Ptt(2,1))
SF=DX/ncols;
B = IMRESIZE(pic2,SF,'nearest');
[M,N]=size(B);
KX=DX/N, KY=DY/M
imwrite(B,'c:\scaled2.bmp')
imshow(B);

```

#### 4. Εύρεση του Αφινικού μετασχηματισμού.

```

pic=imread('c:\pan3.bmp');
%picar=double(pic);
%1,2,10,4,7,8

Xp=510737.26; Xq=510657.83; Xr=510166.25; Xt=510138.2;
Xu=509944.4; Xv=509601.73;

Yp=3855909.93; Yq=3856079.88; Yr=3855587.68; Yt=3856142.12;
Yu=3856409.9; Yv=3856283.85;

Zp=0; Zq=0; Zr=0; Zt=0; Zu=0; Zv=0;

[nr,nc]=size(pic);
yp=nr-497; yq=nr-609; yr=nr-739; yt=nr-972; yu=nr-1198; yv=nr-1363;

xp=190; xq=115; xr=607; xt=266; xu=182; xv=386;

zp=-0.15335; zq=-0.15335; zr=-0.15335; zt=-0.15335;
zu=-0.15335; zv=-0.15335;

%EDW O PINAKAS X TWN AGNWSTWN EINAI O PINAKAS TWN
SYNTELESTWN A

% KRATW MONO TOYS SYNTELESTES TOY PRWTOBA8MIOY
%POLYWNYMOY,  $a_0 + a_1*x + a_2*y = X$  ΚΑΙ
%  $b_0 + b_1*x + b_2*y = Y$ 

L(1,1)=Xp;
L(2,1)=Xq;
L(3,1)=Xr;
L(4,1)=Xt;
L(5,1)=Xu;
L(6,1)=Xv;

L2(1,1)=Yp;
L2(2,1)=Yq;

```

$L2(3,1)=Yr;$

$L2(4,1)=Yt;$

$L2(5,1)=Yu;$

$L2(6,1)=Yv;$

$A(1,1)=1;$

$A(1,2)=xp;$

$A(1,3)=yp;$

$\%A(1,4)=xp*yp;$

$\%A(1,5)=xp^2;$

$\%A(1,6)=yp^2;$

$A(2,1)=1;$

$A(2,2)=xq;$

$A(2,3)=yq;$

$\%A(2,4)=xq*yq;$

$\%A(2,5)=xq^2;$

$\%A(2,6)=yq^2;$

$A(3,1)=1;$

$A(3,2)=xr;$

$A(3,3)=yr;$

$\%A(3,4)=xr*yr;$

$\%A(3,5)=xr^2;$

$\%A(3,6)=yr^2;$

$A(4,1)=1;$

$A(4,2)=xt;$

$A(4,3)=yt;$

$\%A(4,4)=xt*yt;$

$\%A(4,5)=xt^2;$

$\%A(4,6)=yt^2;$

$A(5,1)=1;$

$A(5,2)=xu;$

$A(5,3)=yu;$

$\%A(5,4)=xu*yu;$

$\%A(5,5)=xu^2;$

$\%A(5,6)=yu^2;$

$A(6,1)=1;$

$A(6,2)=xv;$

$A(6,3)=yv;$

$\%A(6,4)=xv*yv;$

$\%A(6,5)=xv^2;$

$\%A(6,6)=yv^2;$

$B(1,1)=1;$

$B(1,2)=xp;$

$B(1,3)=yp;$

$\%B(1,4)=xp*yp;$

$\%B(1,5)=xp^2;$

$\%B(1,6)=yp^2;$

$B(2,1)=1;$

$B(2,2)=xq;$

```

B(2,3)=yq;
%B(2,4)=xq*yq;
%B(2,5)=xq^2;
%B(2,6)=yq^2;
B(3,1)=1;
B(3,2)=xr;
B(3,3)=yr;
%B(3,4)=xr*yr;
%B(3,5)=xr^2;
%B(3,6)=yr^2;
B(4,1)=1;
B(4,2)=xt;
B(4,3)=yt;
%B(4,4)=xt*yt;
%B(4,5)=xt^2;
%B(4,6)=yt^2;
B(5,1)=1;
B(5,2)=xu;
B(5,3)=yu;
%B(5,4)=xu*yu;
%B(5,5)=xu^2;
%B(5,6)=yu^2;
B(6,1)=1;
B(6,2)=xv;
B(6,3)=yv;
%B(6,4)=xv*yv;
%B(6,5)=xv^2;
%B(6,6)=yv^2;

X=regress(L,A);
Y=regress(L2,B);

A*X-L;
B*Y-L2;
% EYRESH TWN SYNTELESTWN TWN POLYWNYMWN
a1= X(2,1); a2= X(3,1);
b1= Y(2,1); b2= Y(3,1);
s1 = (a1^2 + a2^2)^0.5; s2 = (b1^2 + b2^2)^0.5;
s= (s1+s2)/2
sa1 = atan(a2/a1); sa2 = atan(-b2/b1);
sa = (sa1+sa2)/2;

% EYRESH TOY PINAKA TOY AFINIKOY
AF(1,1)= cos(sa); AF(1,2)= sin(sa); AF(1,3)=0;
AF(2,1)= -sin(sa); AF(2,2)= cos(sa); AF(2,3)=0;
AF(3,1)=0; AF(3,2)=0; AF(3,3)=1;

trans2=maketform('affine',AF);
pic2=imtransform(pic,trans2);
imwrite(pic2,'c:\ex3.bmp');

```

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II ΤΟ ΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ

### 1. Δημιουργία του φωτομωσαϊκού

Το αεροφωτομωσαϊκό δημιουργείται με ένωση τμημάτων των διορθωμένων εικόνων μετά από τη διόρθωσή τους με χρήση των σημείων αγκύρωσης. Τα τμήματα αυτά πρέπει να ταιριάζουν κατά το δυνατό περισσότερο στα άκρα, ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή ένωση. Τα σημεία αγκύρωσης βοηθούν στην ένωση γιατί λόγω αυτών, οι εικόνες δεν είναι διορθωμένες η μία ανεξάρτητα απ' την άλλη. Λόγω της γεωμετρικής διόρθωσης, οι εικόνες έχουν ίδια κλίμακα και ίδιο προσανατολισμό. Όσο πιο καλή είναι η διόρθωση, τόσο ακριβέστερο θα είναι και το φωτομωσαϊκό.

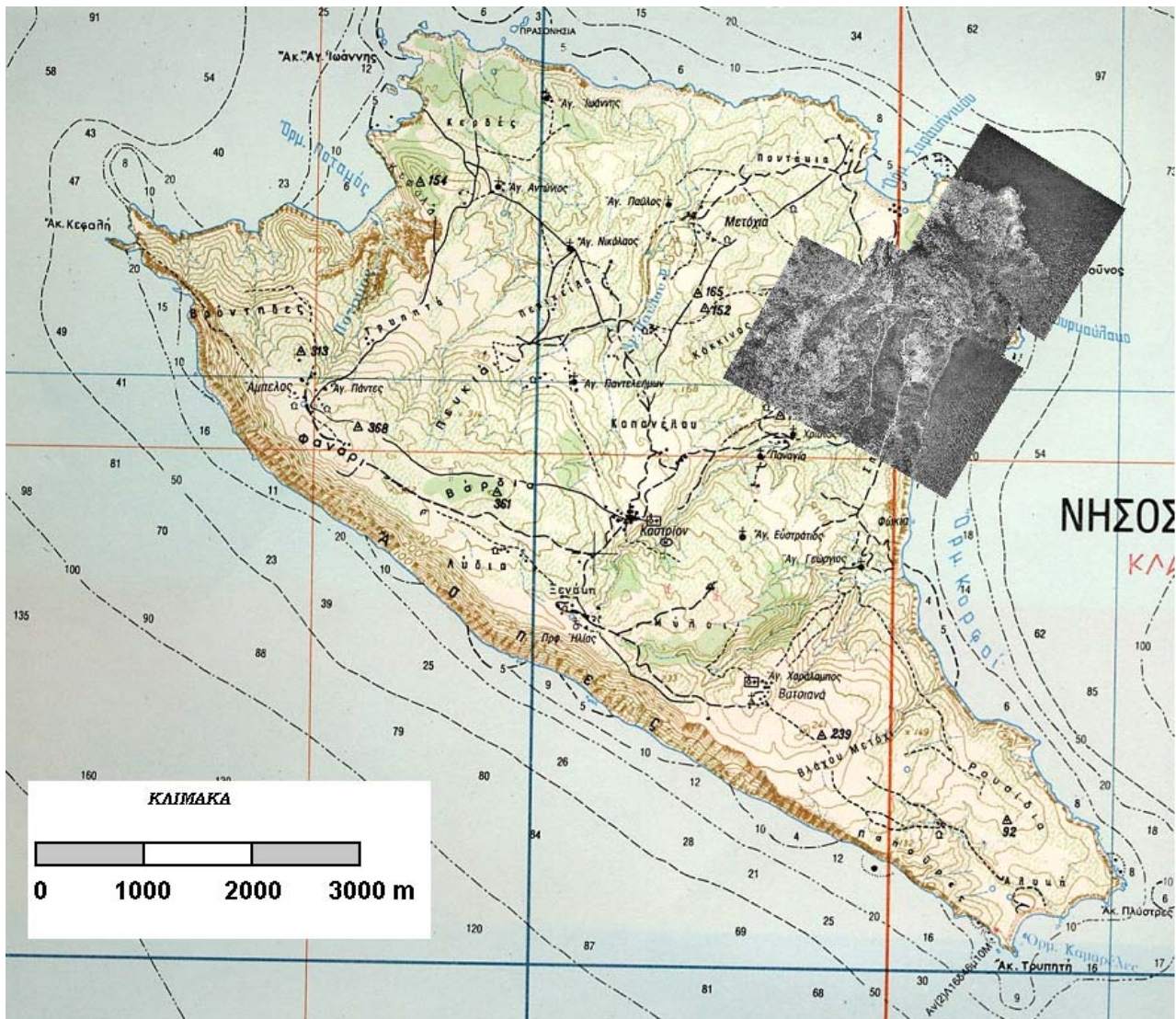
Για την ένωση αυτών των τμημάτων χρησιμοποιήθηκαν δρόμοι, ακτογραμμές και κορυφογραμμές. Η συνέχεια που παρουσιάζουν αυτά τα στοιχεία ως γραμμές είναι χρήσιμη για την καλύτερη ένωση των εικόνων.

### 2. Η Ένωση του αεροφωτομωσαϊκού με το χάρτη

Για να ενωθεί το μωσαϊκό με το χάρτη, έπρεπε πρώτα να γίνει σμίκρυνση του φωτομωσαϊκού, ώστε να έχει την ίδια κλίμακα με το χάρτη. Από υπολογισμό αποστάσεων και μήκους ευκρινών σημείων, βρέθηκε ότι πρέπει το μωσαϊκό να σμικρυνθεί έξι φορές. Αν ο χάρτης στην ηλεκτρονική του μορφή είχε κρατήσει την κλίμακά του (1:50000) θα μπορούσε να υπολογιστεί από εκεί η απαραίτητη σμίκρυνση.

Για την τοποθέτηση του μωσαϊκού στην κατάλληλη θέση πάνω στο χάρτη, χρησιμοποιήθηκαν οι θέσεις των ακτογραμμών και οι δρόμοι. Βλέποντας που

ενώνονται οι δρόμοι του χάρτη και οι ακτογραμμές με τα αντίστοιχα σημεία στο φωτομωσαϊκό έγινε μία επιτυχής ένωση, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1 Η θέση του φωτομωσαϊκού στο χάρτη της Γαύδου.

### 3. Το Αεροφωτομωσαϊκό

Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται το φωτομωσαϊκό της Γαύδου, η δημιουργία του οποίου ήταν ένας από τους στόχους αυτής της διπλοματικής.

