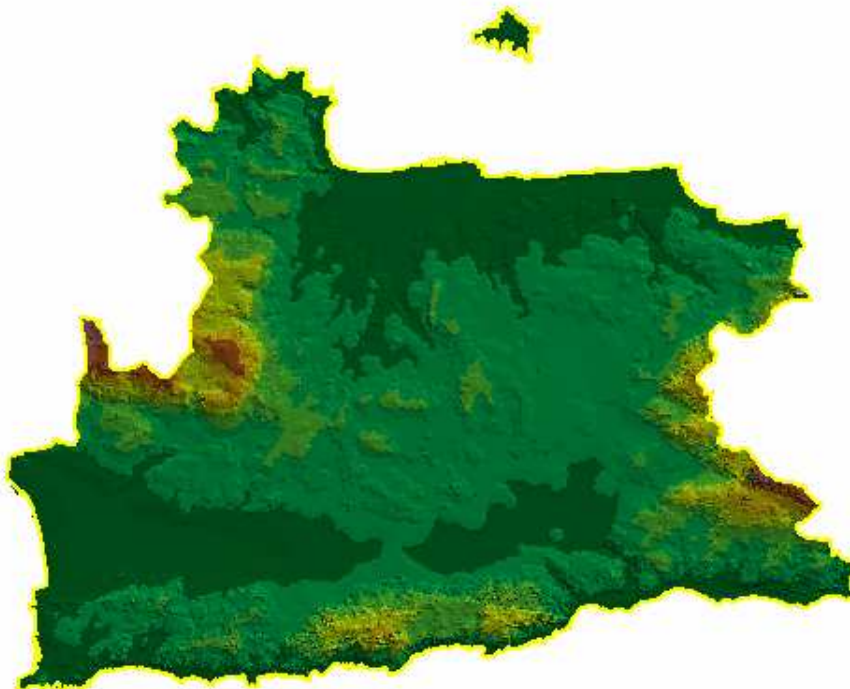


ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ GPS ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗ
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ»



**ΒΡΕΝΤΖΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ
ΚΑΜΑΡΑΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ**

ΧΑΝΙΑ 2004

Π Ρ Ο Λ Ο Γ Ο Σ

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η χρήση της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης ως μέσο για την δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους (**D**igital **E**levation **M**odel-**D.E.M**) για τον Νομό Ηρακλείου Κρήτης, με χρήση εικόνων ASTER (**A**dvanced **S**paceborne **T**hermal **E**mission and **R**eflection **R**adiometer. Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος REALDEMS (**R**Emote sensing **A**pplication for **L**and cover and **D**igital **E**levation **M**odels **S**ervice) που υλοποιείται από το I.T.E. (Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας) σε συνεργασία με το JPL (**J**et **P**ropulsion **L**aboratory) της NASA (**N**ational **A**eronautics and **S**pace **A**dministration). Η εργασία εκπονήθηκε για το Τμήμα Διαχείρισης Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης, παραρτήματος Χανίων.

Η πραγματοποίηση της εργασίας ολοκληρώθηκε στο Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας Ηρακλείου και απο τούτη εδώ τη θέση, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον Ερευνητή του Ιδρύματος Δρ. Νεκτάριο Χρυσουλάκη για τη βιβλιογραφική και εργαστηριακή υποστήριξη, την συλλογή πληροφοριών σε σχέση με την Δορυφορική Τηλεπισκόπηση, καθώς και για τη διάθεση των απαραίτητων δορυφορικών δεδομένων και των εξειδικευμένων λογισμικών επεξεργασίας τους.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Δρ. Α. Σαρρή, Ερευνητή του Ινστιτούτου Μεσογειακών Σπουδών (I.T.E.), για τις ουσιαστικές και εύστοχες παρατηρήσεις του καθώς και για τις γνώσεις που μας μετέδωσε κατά την διάρκεια των σπουδών μας.

«Οι περισσότεροι άνθρωποι θα μπορούσαν κάλλιστα να επιζήσουν χωρίς να χρειαστεί να κάνουν ποτέ καμία μέτρηση. Τα ανθρώπινα όργανα και οι αισθήσεις μας παρέχουν τη δυνατότητα για εξειδικευμένες λειτουργίες ανάμεσα στις οποίες και την εκτίμηση του χώρου που μας περιβάλλει. Η ποσοτική περιγραφή των σχέσεων στο χώρο γίνεται αναγκαία μόνον όταν είναι ανάγκη να υπάρξει επικοινωνία ιδεών που εμπλέκουν διαστάσεις» (Gates, 1984)

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

| | |
|--|------------|
| 1. Εισαγωγή | 4 |
| 1.1. Σκοπός της εργασίας..... | 4 |
| 1.2. Περιοχή μελέτης..... | 4 |
| 1.3. Χρονικό διεξαγωγής της εργασίας..... | 5 |
| 1.4. Περίληψη περιεχομένων..... | 6 |
| 2. Στοιχεία τηλεπισκόπησης | 7 |
| 2.1. Γενικά..... | 7 |
| 2.2. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα..... | 8 |
| 2.3. Δορυφορικά Συστήματα Τηλεπισκόπησης..... | 11 |
| 2.4. Συστήματα καταγραφής H/M ακτινοβολίας..... | 13 |
| 2.5. Το δορυφορικό σύστημα EOS..... | 16 |
| 2.6. Terra satellite..... | 18 |
| 2.7. Το καταγραφικό A S T E R..... | 18 |
| 2.8. Το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης..... | 27 |
| 3. Στοιχεία φωτογραμμετρίας | 35 |
| 3.1. Γενικά..... | 35 |
| 3.2. Κατηγορίες φωτογραμμετρίας..... | 37 |
| 3.3. Ψηφιακή φωτογραμμετρική εικόνα..... | 37 |
| 3.4. Παραμορφώσεις εικόνας..... | 41 |
| 3.5. Φυσική στερεοσκοπική όραση..... | 43 |
| 3.6. Ο Φωτογραμμετρικός τριγωνισμός..... | 43 |
| 3.7. Η μετατόπιση λόγω αναγλύφου..... | 44 |
| 3.8. Η στερεοσκοπική παράλλαξη..... | 45 |
| 3.9. Εξαγωγή ύψους από στερεο - ζεύγος..... | 46 |
| 3.10. Αυτόματο συνταίριασμα εικόνων (image matching – stereo correlation)..... | 48 |
| 4. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους DEM | 50 |
| 4.1. Ορισμοί..... | 50 |
| 4.2. Μορφές DEM..... | 50 |
| 4.3. Μέθοδοι εξαγωγής DEM..... | 53 |
| 4.4. Εφαρμογές..... | 54 |
| 5. Μεθοδολογία εργασίας | 55 |
| 5.1. Διαθέσιμα δεδομένα..... | 55 |
| 5.2. Έλεγχος υψομετρικής πιστότητας GPS..... | 58 |
| 5.3. Μεθοδολογία πεδίου (συλλογή επίγειων σημείων ελέγχου GCP's)..... | 59 |
| 5.4. Εξαγωγή DEM από εικόνες ASTER..... | 70 |
| 5.5. Μαθηματικά μοντέλα..... | 71 |
| 5.5.1. Βήματα λογισμικού επεξεργασίας..... | 76 |
| 6. Τελικά προϊόντα και αξιολόγηση | 90 |
| 6.1. Τελικά προϊόντα..... | 90 |
| 6.2. Πηγές σφαλμάτων..... | 98 |
| 6.3. Μεθοδολογία εκτίμησης – ακρίβεια προϊόντος..... | 99 |
| 7. Βιβλιογραφικές αναφορές | 115 |
| 8. Παραρτήματα | 117 |
| 8.1. Παράρτημα I : Τεκμηρίωση GCP's..... | 117 |
| 8.2. Παράρτημα II: Δεδομένα – Μετρήσεις για την αξιολόγηση του DEM..... | 180 |

1. Εισαγωγή

1.1. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και η εξειδίκευση σε θέματα δορυφορικής τηλεπισκόπησης και ειδικότερα η κατανόηση της διαδικασίας εξαγωγής ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) από τηλεπισκοπικά δεδομένα. Ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους, το οποίο αποτελεί τρισδιάστατη αναπαράσταση της επιφάνειας της γης, είναι σήμερα μία από τις σημαντικότερες δομές δεδομένων που χρησιμοποιείται στην χωρική ανάλυση. Αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο πολλών εφαρμογών των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (Geographical Information Systems-GIS), τέτοιες εφαρμογές αναφέρονται εκτενέστερα σε αντίστοιχο κεφάλαιο.

1.2. Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης της εργασίας είναι ο νομός Ηρακλείου (Εικ. 1.1). Ο νομός Ηρακλείου είναι ο μεγαλύτερος από τους τέσσερις νομούς της Κρήτης. Βρίσκεται ανάμεσα στους νομούς Ρεθύμνου και Λασιθίου. Η έκτασή του είναι 2.641 τ.χλμ. και ο πληθυσμός φτάνει τους 293.000 κατοίκους. Όσον αφορά την γεωμορφολογία του νομού, διαθέτει ψηλά βουνά που σε άλλα σημεία εμφανίζουν έντονη βλάστηση και σε άλλα είναι βραχώδη. Συγκεκριμένα χωροθετείται ανάμεσα σε δύο βασικές οροσειρές, την Ίδη στα δυτικά και τη Δίκτη στα ανατολικά, επίσης μια χαμηλή οροσειρά υψώνεται στο μέσο του και κατεβαίνει έως την Πεδιάδα της Μεσαράς. Στη νότια πλευρά του νομού υπάρχουν παρατεταγμένα σε διεύθυνση Ανατολής Δύσης τα Αστερούσια όρη, που στην ουσία χωρίζουν την πεδιάδα από την ακτή. Η εντυπωσιακή κορυφή του Ψηλορείτη, 2.456 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, είναι ορατή σχεδόν από όλα τα σημεία του νομού Ηρακλείου.

Το κλίμα της περιοχής είναι αντίστοιχο με αυτό που επικρατεί σε ολόκληρη την Ελλάδα. Έχει περιορισμένη εποχή βροχών, αρκετή θερινή ξηρασία, μεγάλη ηλιοφάνεια και ήπιο χειμώνα.



Εικ. 1.1: Νομός Ηρακλείου Κρήτης ανάμεσα στους νομούς Ρεθύμνου από τα δυτικά και Λασιθίου από τα ανατολικά.

1.3. Χρονικό διεξαγωγής της εργασίας

Η εκπόνηση της παρούσας εργασίας ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2004 και ολοκληρώθηκε τις αρχές του Σεπτεμβρίου του ίδιου έτους. Η εργασία πραγματοποιήθηκε σε τρία βασικά στάδια, αρχικά συλλέχθηκαν πληροφορίες και βιβλιογραφία σχετική με το θέμα της εργασίας, έπειτα σε συνεργασία με τον Τομέα Περιφερειακής Ανάλυσης του Ινστιτούτου Υπολογιστικών Μαθηματικών του ΙΤΕ οργανώθηκαν εργασίες υπαίθρου προκειμένου να ληφθούν μετρήσεις φώτο-σταθερών σημείων χρησιμοποιώντας διαφορικό GPS (Global Positioning System). Οι εργασίες πεδίου για τη συλλογή φώτο-σταθερών ήταν απαραίτητες για την εξαγωγή απόλυτου ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν δέκα ταξίδια προς όλες τις κατευθύνσεις του νομού και συλλέχθηκαν 150 σημεία, 70 από αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως επίγεια σημεία ελέγχου GCP's για την εξαγωγή του απόλυτου ψηφιακού μοντέλου εδάφους για το νομό ενώ τα υπόλοιπα χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία ελέγχου (Check points) για την αξιολόγηση του αποτελέσματος. Παράλληλα, έπειτα από μελέτη των θεωρητικών στοιχείων τηλεπισκόπησης και φωτογραμμετρίας είχε ξεκινήσει η εκμάθηση – «πειραματισμός» με το ειδικό λογισμικό επεξεργασίας των εικόνων και η παραγωγή των πρώτων αποτελεσμάτων. Η συγγραφή του κειμένου της εργασίας έγινε συγχρόνως με τα παραπάνω στάδια.

1.4. Περίληψη περιεχομένων

Κεφ. 1: Εισαγωγή. Δίνεται μία γενική εικόνα για το θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας καθώς και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά αυτής όπως η περιοχή μελέτης και ο χρόνος διεξαγωγής της.

Κεφ. 2: Στοιχεία Τηλεπισκόπησης. Γίνεται αναφορά στις βασικές γνώσεις που χρειάζονται για την πραγματοποίηση της εργασίας.. Επίσης γίνεται αναφορά στο δορυφορικό σύστημα EOS και στο ραδιόμετρο ASTER εικόνες του οποίου χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή του τελικού προϊόντος.

Κεφ. 3: Στοιχεία Φωτογραμμετρίας. Δίδεται η έννοια της ψηφιακής φωτογραμμετρίας, των μεθόδων εξαγωγής της τρίτης διάστασης από στερεοζεύγος καθώς και η μεθοδολογία του αυτόματου ταιριάσματος εικόνων (image matching).

Κεφ. 4: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Παρατίθεται ορισμός του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και των διαφόρων μορφών του. Επίσης γίνεται αναφορά στις ποικίλες εφαρμογές που μπορεί να έχει ένα τέτοιο ψηφιακό προϊόν.

Κεφ. 5: Μεθοδολογία εργασίας. Παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους από ζεύγη εικόνων ASTER.

Κεφ. 6: Τελικά προϊόντα και αξιολόγηση. Παρατίθεται το τελικό προϊόν (DEM νομού Ηρακλείου) και παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την αξιολόγηση και τον έλεγχο της αξιοπιστίας του τελικού προϊόντος.

Κεφ. 7: Βιβλιογραφικές Αναφορές.

Κεφ. 8: Παραρτήματα.

2. Στοιχεία τηλεπισκόπησης

2.1. Γενικά

Στο κοντινό παρελθόν, ο μοναδικός τρόπος παρατήρησης της γης ήταν η θέα από ένα ψηλό βουνό. Η επιστημονική έρευνα και η έκρηξη της τεχνολογίας στις μέρες μας, δίνει την ευκαιρία στον άνθρωπο να παρατηρεί τη γη όπως ποτέ άλλοτε, ειδικότερα, προηγμένες έρευνες, σε πεδία όπως η οπτική, η πληροφορική, η φυσική και η αεροπλοΐα, έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή, οπτικοποίηση και *αντίληψη* του συνόλου των πληροφοριών της επιφάνειας της γης. Σήμερα η παρατήρηση της επιφάνειας της γης επιτυγχάνεται με προηγμένα αερο μεταφερόμενα και δορυφορικά συστήματα επιτρέποντας την συλλογή δεδομένων για την παραγωγή εικόνων, που δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης, κατανόησης και σχεδιασμού της διαχείρισης των ανθρώπινων και φυσικών πόρων (Toutin, 1999).

Μια από τις νέες επιστήμες που θεμελιώθηκε στην αρχή του προηγούμενου αιώνα και εξετάζει θέματα τηλεπαρατήρησης είναι η τηλεπισκόπηση. Η λέξη τηλεπισκόπηση συντίθεται από το αρχαίο επίρρημα «τήλε» (= μακρόθεν, από μακριά), ως το πρώτο συνθετικό της, και το ρήμα «επισκοπέω-επισκοπώ», που σημαίνει εξετάζω, βλέπω από ψηλά, επιθεωρώ. Τηλεπισκόπηση (Remote sensing), επομένως, σημαίνει αντίληψη αντικειμένων ή φαινομένων από απόσταση. Ορίζεται ως 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 ο παρατηρητής να έρθει σε απευθείας επαφή με αυτό. Τα στοιχεία Τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται σήμερα για παρακολούθηση κλιματολογικών μεταβολών, παρατήρηση ωκεανών, ανίχνευση ορυκτών πόρων, μελέτη βλάστησης αλλά επίσης και καταγραφή κτηματικής παρουσίας για τη φορολόγηση της, στο κτηματολόγιο, σε στρατιωτικές εφαρμογές, κλπ. Ο στόχος ή το αντικείμενο της Τηλεπισκόπησης μπορεί να είναι είτε μεγάλης κλίμακας, όπως η Γη, ή η Σελήνη και οι άλλοι πλανήτες, είτε μικρής κλίμακας, όπως τα βιολογικά κύτταρα, που ερευνώνται με μικροσκοπία στην Ιατρική και στην Βιολογία. Επίσης η τηλεπισκόπηση θεωρείται ως η επιστήμη και η τεχνική συλλογής, επεξεργασίας και ανάλυσης ποιοτικών και ποσοτικών πληροφοριών της Γης, των ωκεανών και της ατμόσφαιρας.

Ιστορική αναδρομή Τηλεπισκόπησης:

Μερικές από τις ιστορικές χρονολογίες της τηλεπισκόπησης είναι επιγραμματικά οι ακόλουθες (Μερτίκας, 1999):

- **1826** Γεννάται η τηλεπισκόπηση με την ανακάλυψη της φωτογραφίας. Στη συνέχεια, αναπτύσσονται νέοι τύποι φιλμ ώστε να γίνεται καταγραφή φωτογραφιών και σε ζώνες εκτός του ορατού φάσματος
- **1939** Αναπτύσσεται η υπέρυθρη φωτογραφία και το RADAR κατά τη διάρκεια του Β' παγκοσμίου πολέμου
- **1960** Δίδεται μεγάλη ώθηση στην τηλεπισκόπηση από τον ανταγωνισμό στις διαστημικές και δορυφορικές έρευνες, κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου και από τη δημιουργία της Αμερικής Αεροναυτικής και Διαστημικής Υπηρεσίας NASA (National Aeronautic & Space Administration)
- **1970** Εκτοξεύονται δορυφόροι, όπως ο Αμερικανικός δορυφόρος Landsat 1 (1972), για την παρατήρηση της επιφάνειας της γης.
- **1982 - 86** Κατασκευάζεται η δεύτερη γενεά δεκτών και δορυφόρων Landsat, εξοπλισμένοι με το θεματικό χαρτογράφο Thematic Mapper. Άλλοι δορυφόροι τηλεπισκόπησης εκτοξεύονται από χώρες όπως η Ινδία (IRS-1a, IRS-1b), ή Ιαπωνία (MOS – 1, MOS – 1b) και η Ρωσία.
- **1986** Γαλλικός δορυφόρος SPOT (Système Pour l' Observation de la Terre). Στη συνέχεια αναπτύσσονται τα εικονοληπτικά φασματόμετρα (Imaging spectrometers) όπως τα GEOSCAN II (32 κανάλια), MONITEQ (288 κανάλια), CASI (288 κανάλια), Intres Research.
- **1990** Δημιουργείται το EOS (Earth Observing Systems) στις ΗΠΑ για την παροχή δεδομένων στην παρακολούθηση παγκόσμιων μεταβολών.

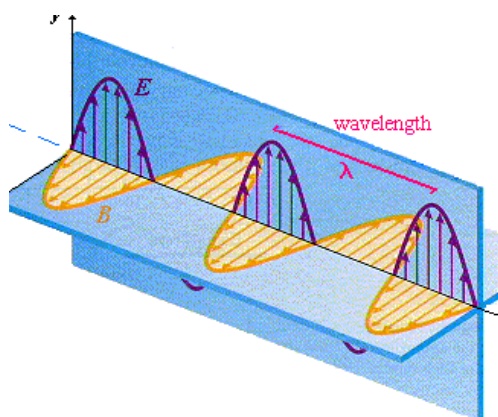
2.2. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένα, η σύγχρονη τηλεπισκόπηση, βασίζεται στην αλληλεπίδραση των αντικειμένων της επιφάνειας της γης με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η δυνατότητα συλλογής ακτινοβολίας σε μια μεγάλη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπει ή ανακλά κάθε σώμα σε διάφορα μήκη κύματος είναι χαρακτηριστική της φυσικής κατάστασης και της χημικής του σύστασης, οδηγεί στην εξ απόστασης αναγνώρισης και μελέτης του (Καρτάλης, 1993).

Ως ηλεκτρομαγνητικό φάσμα θεωρούμε την ταξινόμηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σύμφωνα με το μήκος κύματος ή σύμφωνα με την συχνότητα ή την ενέργεια. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συνήθως εκτείνεται μεταξύ των κοσμικών ακτινών και των ραδιοκυμάτων.

Πυρηνικές αντιδράσεις στον Ήλιο παράγουν ένα πλήρες φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, το οποίο διαδίδεται στο διάστημα χωρίς μεγάλες αλλαγές στον χαρακτήρα του. Καθώς αυτή η ακτινοβολία πλησιάζει τη Γη, διέρχεται από την ατμόσφαιρα και τελικά καταλήγει στη γήινη επιφάνεια, τμήμα αυτής της ακτινοβολίας ανακλάται από την γήινη επιφάνεια. Η ανακλώμενη αυτή ακτινοβολία είναι εκείνη στην οποία βασίζεται η λήψη των συμβατικών φωτογραφιών. Επίσης, τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης και επανεκπέμπεται ως θερμική πλέον ακτινοβολία. Η θερμική αυτή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ειδικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Τέλος η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιεί και τεχνητή ακτινοβολία, όπως αυτή των ενεργητικών συστημάτων (Radar).

Η θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας θεωρεί ότι η ενέργεια μεταδίδεται με τη μορφή αρμονικού ημιτονοειδούς κύματος (Εικ. 2.1). Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο E , που αντιπροσωπεύει τις ηλεκτρικές μεταβολές και το οποίο μεταβάλλεται εγκάρσια προς τη διεύθυνση διάδοσης του. Επιπλέον, υπάρχει και ένα μαγνητικό πεδίο H , που είναι αλληλένδετο με το προηγούμενο αλλά είναι προσανατολισμένο κάθετα προς το ηλεκτρικό πεδίο και διαδίδεται με την ίδια φάση.



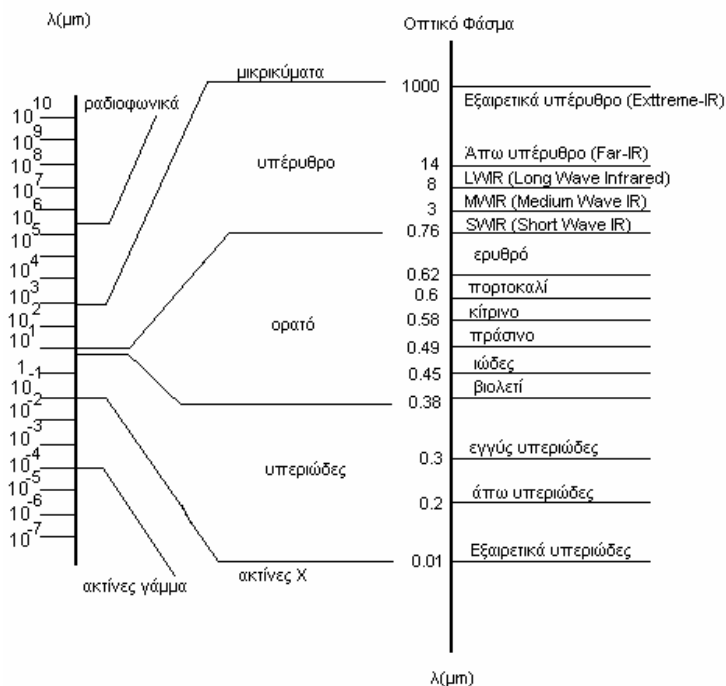
Εικ. 2.1: Διάδοση ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο χώρο

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, όπως και κάθε αρμονικό κύμα, εμφανίζει τρία χαρακτηριστικά:

- ✓ Μήκος κύματος: Είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών του αρμονικού κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος μετρείται με μονάδες μήκους.
- ✓ Συχνότητα: Μετρείται ως αριθμός των κορυφών του αρμονικού κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που διέρχονται από συγκεκριμένο σταθερό σημείο στη μονάδα του χρόνου. Η συχνότητα ν συχνά μετρείται σε Hertz, που ισοδυναμεί με ένα κύκλο (cycle) ανά δευτερόλεπτο (second).
- ✓ Πλάτος: Ισοδυναμεί με το ύψος της κάθε κορυφής του αρμονικού κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το πλάτος συνήθως μετρείται σε επίπεδα ενέργειας (spectral irradiance)

Κύρια τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος:

Ολόκληρο το εύρος των μηκών κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Για τον Ήλιο το φάσμα αυτό εκτείνεται από τις ακτίνες γάμμα (μικρό μήκος κύματος και υψηλή ενέργεια) μέχρι τα ραδιοκύματα (μεγάλο μήκος κύματος και χαμηλή ενέργεια). Για λόγους ευκολίας, διακρίνουμε το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα σε ζώνες που παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Μία φασματική ζώνη (spectral band) είναι μία συγκεκριμένη φασματική περιοχή που περιλαμβάνει ένα καθορισμένο σύνολο μηκών κύματος. Οι φασματικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μπορούν επιγραμματικά να χωριστούν στις ακόλουθες ομάδες σύμφωνα με το μήκος κύματος (Πίνακας 2.1).

| Φασματική Ζώνη | Μήκος κύματος (λ) |
|-----------------------|-------------------|
| Ακτίνες γάμμα | <0,03nm |
| Ακτίνες X | 0,03nm-300nm |
| Υπεριώδης ακτινοβολία | 0,3μm-0,38μm |
| Ορατό | 0,38μm-0,72μm |
| Εγγύς Υπέρυθρο | 0,72μm-1,3μm |
| Μέσο Υπέρυθρο | 1,3μm-3μm |
| Θερμικό Υπέρυθρο | 7μm-15μm |
| Μικροκύματα | 0,3cm-30cm |
| Ραδιοφωνικά κύματα | >30cm |

Πίνακας 2.1: Οι φασματικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος του ήλιου

Οι κύριες διαιρέσεις του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ορίζονται στην ουσία αυθαίρετα αφού μεταξύ συγκεκριμένων ζωνών του φάσματος υπάρχουν υποδιαιρέσεις (αποχρώσεις), επειδή η μετάβαση από τη μία ζώνη στην άλλη είναι βαθμιαία και όχι απότομη.

Το ανακλώμενο φάσμα – τα μήκη κύματος που μπορούν να ανακλαστούν και να διαθλαστούν με φακούς και κάτοπτρα – εκτείνεται από περίπου 0,38μm μέχρι 30μm και ορίζει το τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται στην τηλεπισκόπηση (Μερτίκας, 1999).

2.3. Δορυφορικά Συστήματα Τηλεπισκόπησης

Τα δορυφορικά συστήματα τηλεανίχνευσης διακρίνονται ως εξής:

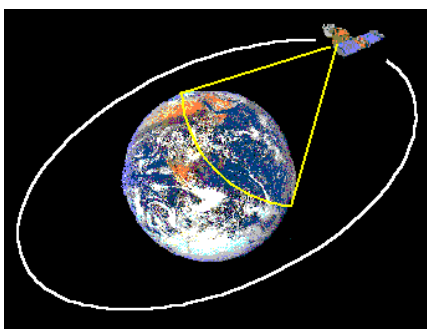
- I. Με βάση τις εφαρμογές τους (Μετεωρολογικοί δορυφόροι, δορυφόροι Φυσικών πόρων)
- II. Με βάση τις τροχιές τους (γεωσύγχρονοι, ηλιοσύγχρονοι, γεωστατικής τροχιάς ή γεωστάσιμοι, πολικής τροχιάς δορυφόροι). Πιο συγκεκριμένα:
 - ο *Ηλιο-σύγχρονης τροχιάς*, το επίπεδο τροχιάς του δορυφόρου έχει την ίδια κλίση ως προς τον ήλιο (παράδειγμα: ηλιοσύγχρονης πολικής τροχιάς είναι ο δορυφόρος Landsat)
 - ο *Πολικής τροχιάς* (Εικ. 2.1), το επίπεδο του ισημερινού και το επίπεδο τροχιάς του δορυφόρου είναι κάθετα μεταξύ τους δηλαδή σχηματίζουν γωνία 90° (e=0 κυκλική τροχιά), (ένας πολικής τροχιάς τοποθετείται σε

οποιαδήποτε απόσταση από τη Γη, συνήθως χαμηλά, έχει καλή ανάλυση αλλά μεγάλες τριβές οπότε ο χρόνος ζωής του θα είναι σημαντικά περιορισμένος)



Εικ. 2.1: Πολική τροχιά δορυφόρου

- *Γεωσύγχρονη τροχιά*, όταν η περίοδος περιστροφής του δορυφόρου είναι ίση με την περίοδο περιστροφής της Γης = 23h 56min 4.6sec
- *Γεωστατικοί ή γεωστάσιμοι* (εικ. 2.2), είναι οι δορυφόροι που κινούνται όπως ακριβώς κινείται και η Γη και βρίσκονται πάντα πάνω από το ίδιο σημείο. Αυτοί οι δορυφόροι κινούνται πάντα στο επίπεδο του Ισημερινού και μάλιστα όπως μπορεί να αποδειχτεί έχουν μια συγκεκριμένη απόσταση από την επιφάνεια της Γης = 35.784Km. Δεν είναι ορατές οι πολύ βόρειες και πολύ νότιες περιοχές αλλά γίνεται συνεχής λήψη εικόνας οπότε γίνεται αντιληπτή κάποια εξέλιξη. Οι γεωστάσιμοι δορυφόροι δεν έχουν καλή ανάλυση αλλά έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής αφού οι τριβές με την ατμόσφαιρα είναι αμελητέες. (π.χ. Meteosat)



Εικ. 2.2: Γεωστάσιμη τροχιά δορυφόρου

III. Με βάση την Διακριτική τους ικανότητα:

- Χωρική Διακριτική Ικανότητα δηλαδή μέγεθος pixel
- Ραδιομετρική δηλαδή πόσο εύκολα μπορεί να καταγραφεί η ένταση της ακτινοβολίας σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος
- Χρονική Διακριτική Ικανότητα. δηλαδή με τι συχνότητα περνάει ο δορυφόρος πάνω από το ίδιο σημείο.
- Με βάση την Φασματική διακριτική ικανότητα

2.4. Συστήματα καταγραφής H/M ακτινοβολίας

Οι μέθοδοι τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούν τρεις τύπους συστημάτων καταγραφής (ανιχνευτών) ακτινοβολίας .

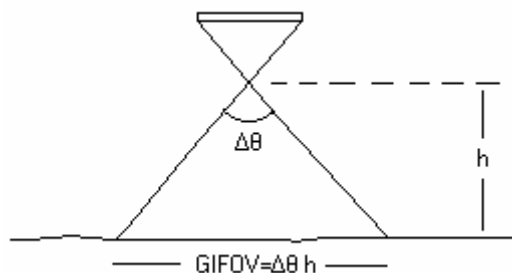
- **Τα συστήματα σάρωσης γραμμών**, (line scanning systems), που χρησιμοποιούν ένα επίπεδο κάτοπτρο το οποίο ταλαντώνεται ή περιστρέφεται ώστε να ανακλάται η ακτινοβολία από την επιφάνεια της γης και να κατευθύνεται σε μια σειρά ανιχνευτών (Landsat h=700km πολικής τροχιάς u=7km/sec $\Delta t=0.01\text{sec}$ χρόνος καταγραφής=>pixel 70m)
- **Τα συστήματα διανυσματικής καταγραφής**, (array sensor systems), που χρησιμοποιούν μια σειρά ανιχνευτών σε διάταξη μονοδιάστατου (ή δισδιάστατου) πίνακα για να ανιχνεύουν και να καταγράφουν την ακτινοβολία από τη Γη.(Spot Γραμμική σειρά 3000 ανιχνευτές, στιγμιαίο πεδίο 20μ => 20*3000=60Km έκταση που καλύπτει)
- **Τα συστήματα κεραιών**, (antenna systems), που είναι ιδανικά σχεδιασμένα για την ζώνη των μικροκυμάτων και μπορεί να είναι πραγματικού ανοίγματος (RAR) ή συνθετικού ανοίγματος κεραίας (SAR).

Κάθε ένας από τους ανιχνευτές ή τις κεραιές είναι σχεδιασμένος να ανιχνεύει και να καταγράφει ακτινοβολία σε συγκεκριμένη φασματική ζώνη $\Delta\lambda$ του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Παρακάτω ακολουθεί εκτενέστερη αναφορά για το σύστημα διανυσματικής καταγραφής το οποίο διαθέτει και το καταγραφικό ASTER:

Συστήματα διανυσματικής καταγραφής

Ένα σύστημα διανυσματικής καταγραφής (linear array system) (Σχ. 2.3) δεν χρησιμοποιεί κάτοπτρο για να σαρώνει εγκάρσια την επιφάνεια της γης, καθώς κάθε στοιχείο της εικόνας (ψηφίδα) καταγράφεται από ανεξάρτητο στοιχείο του ανιχνευτή. Το πλάτος κάθε ηλεκτρονικού στοιχείου του ανιχνευτή όταν προβάλλεται στην

επιφάνεια της γης από το ύψος h της πλατφόρμας του αισθητήρα, καθορίζει το GIFOV¹ κατά την εγκάρσια της πτήσης διάσταση, όπως φαίνεται στο σχήμα



Η πρόσω ταχύτητα της πλατφόρμας του αισθητήρα και η ταχύτητα δειγματοληψίας καθορίζει τη διάσταση του GIFOV κατά μήκος της κατεύθυνσης της πτήσης.

Στον δορυφόρο TERRA ο ολικός αριθμός των ανιχνευτών του ASTER κατά μήκος του διανύσματος (array) πολλαπλασιαζόμενος με GIFOV ίσο με 15m και μία γραμμική σειρά 4.000 ανιχνευτών δίνει ένα ολικό πλάτος λωρίδας της εικόνας της γήινης επιφάνειας ίσο με $15 \text{ m} \times 4000 = 60 \text{ km}$.

Κάθε ανιχνευτής μετρά ακτινοβολία και αποθηκεύει το σήμα που προκύπτει στον χρόνο που χρειάζεται η πλατφόρμα για να μετακινηθεί στην επόμενη θέση της γραμμής της εικόνας. Για παράδειγμα, αν ο δορυφόρος έχει μια εφαπτομενική ταχύτητα $v = 7 \text{ km/s}$ και η κατά μήκος διάσταση του GIFOV είναι 15 m, τότε ο ανιχνευτής πρέπει να μετρήσει και να καταγράψει την ψηφίδα σε $15 \text{ m} / 7000 \text{ km/s} = 0,0021 \text{ sec}$. Τα καταγεγραμμένα σήματα της ακτινοβολίας ονομάζονται ψηφιακές τιμές DN (Digital Numbers) ή τιμές αρίθμησης CN (Count Values). Όλα τα DN, για ολόκληρη την γραμμή σάρωσης, μεταδίδονται προς κάποιον επίγειο σταθμό λήψης συνήθως στο ίδιο κλάσμα του δευτερολέπτου κατά το οποίο καταγράφονται. Απαιτείται επομένως μεταφορά μεγάλου αριθμού δεδομένων από τους δορυφόρους στους επίγειους σταθμούς.

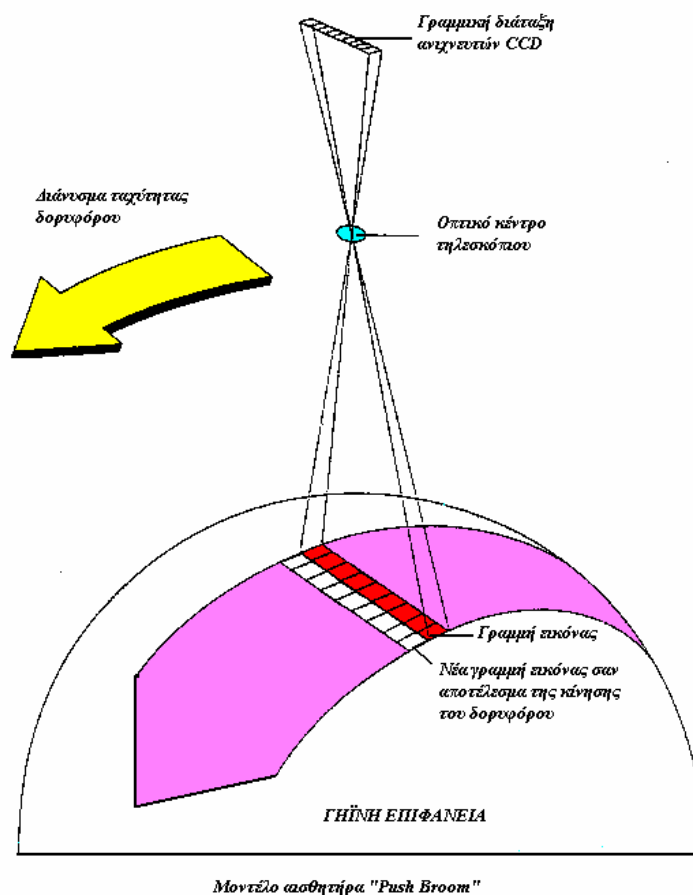
Τα μελλοντικά γραμμικά συστήματα θα διαθέτουν ανιχνευτές δύο διαστάσεων έτσι ώστε ολόκληρη η εικόνα να καταγράφεται στιγμιαία, με τον ίδιο τρόπο που γίνεται η καταγραφή της αεροφωτογραφίας. Τέτοια είδη συστημάτων πωλούνται ήδη στην αγορά και αντικαθιστούν τις συμβατικές φωτογραφικές μηχανές των φιλμ και των φωτογραφικών γαλακτωμάτων.

¹ Το στιγμιαίο οπτικό πεδίο εδάφους GIFOV μετρείται σε (rad) και αναφέρεται στην επίκεντρο γωνία $\Delta\theta$ κύκλου με κέντρο τον ανιχνευτή και με ακτίνα το ύψος πτήσης h και η οποία βαίνει του στοιχείου της γήινης επιφάνειας. Από αυτή την γωνιακή τιμή $\Delta\theta$ και το ύψος της πτήσης h της πλατφόρμας μπορεί να καθοριστεί το GIFOV του ανιχνευτή στο έδαφος.

Η σχετική γεωμετρία μεταξύ των διαφόρων ψηφίδων θα είναι διαφορετική για τα γραμμικά συστήματα και για τα κατοπτρικά συστήματα σάρωσης. Με τα κατοπτρικά συστήματα σάρωσης, κάθε GIFOV μετρείται σε ξεχωριστή χρονική στιγμή από τα υπόλοιπα, κατά τη διάρκεια της οποίας το κάτοπτρο και η πλατφόρμα του ανιχνευτή μετακινούνται. Επομένως εφόσον μεταβάλλεται η θέση και ο προσανατολισμός του αισθητήρα τότε η γεωμετρία του GIFOV των ψηφίδων συνολικά είναι διαφορετική η μία από τις υπόλοιπες.

Όμως, με τα γραμμικά συστήματα ολόκληρη η γραμμή και οι αντίστοιχες τιμές της ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας καταγράφονται την ίδια χρονική στιγμή. Επομένως, η σχετική γεωμετρία των ψηφίδων είναι ίδια για όλη την γραμμή. Η επόμενη γραμμή που θα καταγραφεί, θα έχει εντούτοις μία ελαφρώς διαφορετική γεωμετρία από την προηγούμενη. Για καταγραφή δύο διαστάσεων (επιφανειακή σε ορθογώνιο πλαίσιο) όλα τα GIFOV ολόκληρης της εικόνας θα καταγράφονται με την ίδια σχετική γεωμετρία όπως ακριβώς και σε μία αεροφωτογραφία. Επομένως, το τελευταίο σύστημα καταγραφής σε ορθογώνιο πλαίσιο (framing systems) παρουσιάζει μία πιο ευσταθή γεωμετρία από ότι τα συστήματα διανυσματικής καταγραφής και ακόμη πιο ευσταθή από τα κατοπτρικά συστήματα σάρωσης.

Είναι πολύ σημαντικό κάθε ένας από τους ανιχνευτές στην διανυσματική γραμμική διάταξη να λειτουργεί και να είναι ρυθμισμένος με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Αν εντούτοις ένας ή περισσότεροι ανιχνευτές καταγράφουν ελαφρώς υψηλότερες ή χαμηλότερες τιμές ακτινοβολίας από ότι οι γειτονικοί ανιχνευτές, τότε η εικόνα που σχηματίζεται θα εμφανίζει κάποιες ελαττωματικές λωρίδες παράλληλες προς την διεύθυνση πτήσης (Μερτίκας, 1999).



Σχήμα 2.3: Σύστημα διανυσματικής καταγραφής

2.5. Το δορυφορικό σύστημα EOS

Αμέσως μετά την ίδρυση της NASA, το 1958 ξεκίνησαν εκτεταμένες προσπάθειες μελέτης της γης και του γήινου περιβάλλοντος, ξεκίνησαν επιστημονικές παρατηρήσεις της ατμόσφαιρας, των πάγων, του χιονιού καθώς και της επιρροής αυτών στο κλίμα και τις καιρικές συνθήκες της γης. Σήμερα γίνεται αντιληπτό ότι το κλειδί για την απόκτηση μιας καλύτερης άποψης του περιβάλλοντος είναι η εξέταση της αλληλεπίδρασης της γης, των ωκεανών, της ατμόσφαιρας και της βιόσφαιρας. Αυτή η προσέγγιση λέγεται «επιστήμη συστήματος γης» και εμπεριέχει επιστημονικά πεδία όπως Μετεωρολογία, Ωκεανογραφία, Βιολογία και Ατμοσφαιρική επιστήμη.

Το 1991 η NASA δρομολόγησε την δημιουργία ενός περιεκτικού προγράμματος για τη συστηματική μελέτη της γης, σήμερα το πρόγραμμα αυτό ονομάζεται «Επιχείρηση επιστημών γης». Χρησιμοποιώντας δορυφόρους και άλλα εργαλεία τελευταίας τεχνολογίας για την λεπτομερή μελέτη της γης, υπάρχει ελπίδα επέκτασης του τρόπου με τον οποίο γίνονται αντιληπτά η γη και το περιβάλλον.

Το σύστημα δορυφόρων της «επιχείρησης επιστημών γης» - Earth Science Enterprise αποτελείται από δύο βασικά μέρη, από τους δορυφόρους παρατήρησης (Earth Observation Satellites) και από ένα εξειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό για την επεξεργασία και ανάλυση των συλλεχθέντων δεδομένων.

Το σύστημα παρατήρησης της γης από τη NASA, έγινε σε δύο φάσεις, αρχικά οι παρατηρήσεις συλλέγονταν από διαστημικά οχήματα, και από δορυφόρους «ελεύθερης πτήσης» χωρίς κάποιο οργανωμένο τρόπο, στη συνέχεια το Δεκέμβριο του 1999 με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου παρατήρησης γης (Earth Observation Satellite EOS-AM1) μπήκε σε εφαρμογή ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρατήρησης της γης και των διαδικασιών αυτής. Ορισμένα δορυφορικά συστήματα του EOS είναι τα παρακάτω.

- OrbView-2
- TRMM
- Landsat-7
- QuikSCAT
- **EOS Terra**
- EOS Aqua
- EOS Aura

2.6. Terra satellite

Ο δορυφόρος «Terra» που στα λατινικά σημαίνει γη, είναι ένας από τους βασικούς δορυφόρους του συστήματος EOS. Εκτοξεύθηκε στις 18 Δεκεμβρίου 1999 και ξεκίνησε να παρέχει δεδομένα τον Φεβρουάριο του 2000, είναι ένας δορυφόρος σχεδόν πολικής – ηλιοσύγχρονης τροχιάς. Το ύψος πτήσης του είναι στα **705km** και η γωνία κλίσης (από τον άξονα περιστροφής της Γης) του **98,2°** . Έχει επαναληπτικότητα **16** ημερών και η ηλιοσύγχρονη πολική τροχιά φέρει τον δορυφόρο πάνω από τον Ισημερινό τοπική ώρα **10:30 π.μ.**

Ο δορυφόρος Terra μεταφέρει πέντε καταγραφικά τα οποία συλλέγουν πληροφορίες για την επιφάνεια και το περιβάλλον της γης. Οι αισθητήρες που υπάρχουν πάνω στον Terra είναι οι:

- **ASTER**
- **CERES**
- **MISR**
- **MODIS**
- **MOPPIT**



Εικ. 2.3: Δορυφόρος Terra

2.7. Το ραδιόμετρο A S T E R

Το σύστημα ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), είναι ένα υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας ραδιόμετρο του δορυφόρου Terra. Ο πολυφασματικός δέκτης ακτινοβολίας – ASTER, καλύπτει μία ευρεία φασματική περιοχή από το ορατό μέχρι το θερμικό υπέρυθρο με 14 φασματικές ζώνες υψηλής χωρικής διακριτικής και ραδιομετρικής ευκρίνειας. Έτσι λοιπόν εποπτεύει την Γη με τρία διαφορετικά υποσυστήματα :

- ✓ Δέκτης ορατού – εγγύς υπέρυθρου (VNIR), το οποίο αποτελείται από 3 φασματικές ζώνες που κατοπτεύουν στο ναδίρ και μία επιπλέον στο εγγύς υπέρυθρο η οποία κατοπτεύει προς τα πίσω, παρέχοντας στερεοσκοπική κάλυψη
- ✓ Δέκτης υπέρυθρου μικρού κύματος (SWIR), το οποίο αποτελείται από 6 φασματικές ζώνες

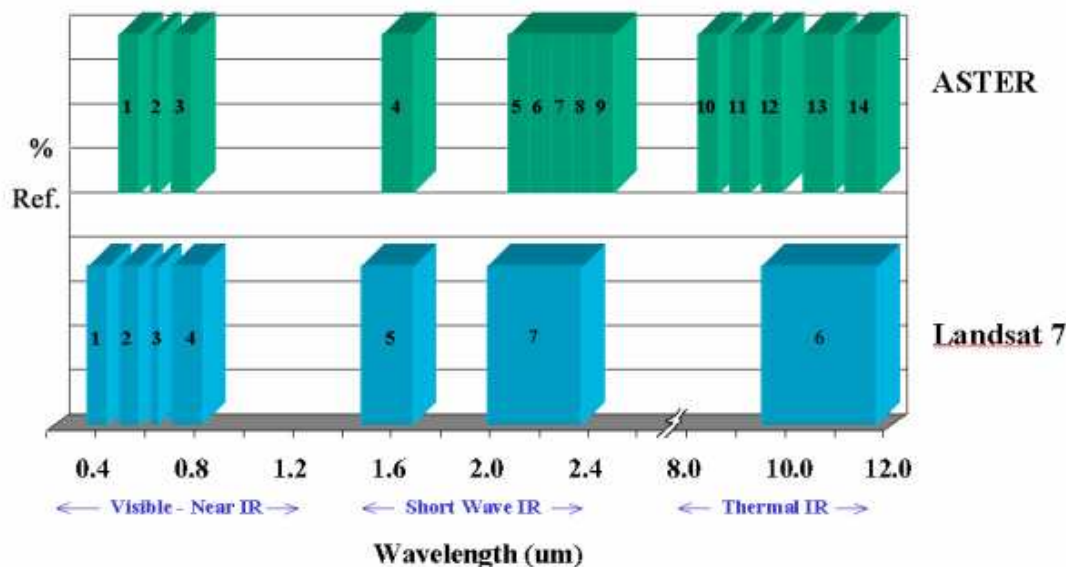
- ✓ Δέκτης θερμικού υπέρυθρου (TIR), το οποίο αποτελείται από 5 φασματικές ζώνες.

Η χωρική διακριτική ικανότητα στα τρία υποσυστήματα είναι αντίστοιχα 15m, 30m και 90m όπως φαίνεται και στον πίνακα 2.2.

| | Ζώνες | Ηλ/μαγν. Φάσμα (μm) | Χ. Δ.Ικανότητα | Signal Quantization Levels |
|---|-------|-------------------------------------|----------------|----------------------------------|
| Κοντινό Υπέρυθρο - VNIR | 1 | 0,52-0,6 | 15m | 8 bits |
| | 2 | 0,63-0,69 | | |
| | 3N | 0,78-0,86 | | |
| | 3B | 0,78-0,86 | | |
| Υπέρυθρο μικρού κύματος SWIR | 4 | 1,6-1,7 | 30m | 8 bits |
| | 5 | 2,145-2,185 | | |
| | 6 | 2,185-2,225 | | |
| | 7 | 2,235-2,285 | | |
| | 8 | 2,295-2,365 | | |
| Θερμικό Υπέρυθρο - TIR | 9 | 2,360-2,430 | 90m | 12bits |
| | 10 | 8,125-8,475 | | |
| | 11 | 8,475-8,825 | | |
| | 12 | 8,925-9,275 | | |
| | 13 | 10,25-10,95 | | |
| | 14 | 10,95-11,65 | | |

Πίνακας 2.2: Φασματικές ζώνες ASTER

Μία σύγκριση των διαπερατών φίλτρων με θεματικό χάρτη Landsat παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



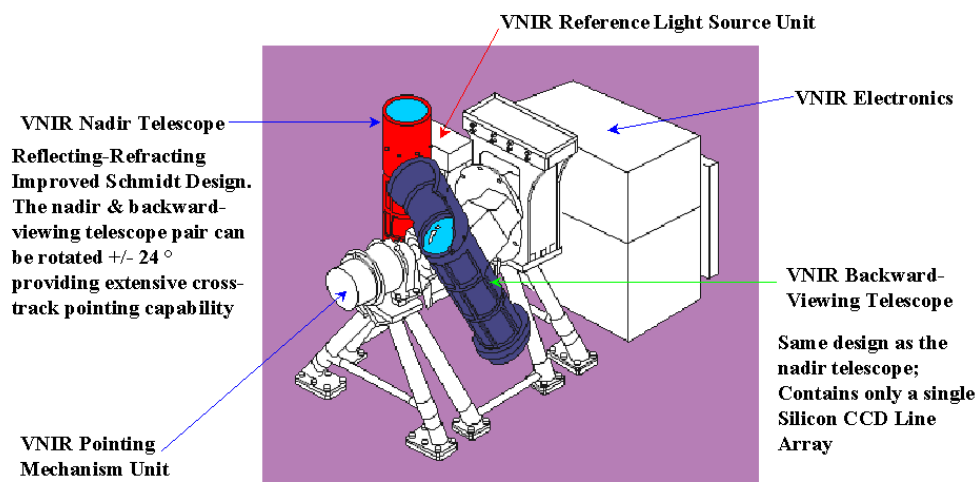
Εικ. 2.4: Σύγκριση ASTER – LANDSAT

Υποσύστημα VNIR

Το υποσύστημα VNIR (Εικ. 2.5) αποτελείται από δύο ανεξάρτητα τηλεσκόπια. Τα τηλεσκόπια αυτά είναι παρατεταγμένα το ένα κατακόρυφα (τηλεσκόπιο 3N nadir) και το άλλο προς τα πίσω (τηλεσκόπιο 3B backwards) σχηματίζοντας μεταξύ τους γωνία **26,8** μοίρες. Αυτή ακριβώς η διάταξη εξασφαλίζει την στερεοκάλυψη. Οι ανιχνευτές για κάθε μία ζώνη αποτελούνται από 5.000 στοιχεία πυριτίου. Μόνο 4.000 από αυτά χρησιμοποιούνται οποιαδήποτε στιγμή. Κατά την διάρκεια της περιόδου περιστροφής της γης μετατοπίζεται το κέντρο της εικόνας. Το υποσύστημα VNIR εξάγει αυτόματα τα 4000 pixel βασισμένα στη θέση της τροχιάς που παρέχεται από τον EOS.

Το τηλεσκόπιο στο πίσω μέρος του σκάφους περιέχει μία ενιαία σειρά ανιχνευτών και χρησιμοποιεί ένα φίλτρο για διάκριση μηκών κύματος. Το τηλεσκόπιο και οι ανιχνευτές διατηρούνται σε θερμοκρασία $296\pm 3\text{K}$ χρησιμοποιώντας θερμικό έλεγχο και ψύξη από την παροχή πλατφόρμας.

ASTER Instrument: VNIR Subsystem Design



Εικ. 2.5: Καταγραφικό τηλεσκόπιο ASTER

Υποσύστημα SWIR

Το υποσύστημα SWIR χρησιμοποιεί ένα ενιαίο σφαιρικό τηλεσκόπιο διάθλασης. Ο ανιχνευτής σε κάθε μία από τις έξι ζώνες είναι μία ένωση πυριτίου και λευκόχρυσου όπου εμποδίζει την ψύξη στους 80K. Η ψύξη παρέχεται από συμπιεστές και ενεργό ισορροπιστή για αντιστάθμιση του αποσυμπιεστή. Η διάρκεια ζωής του δοχείου είναι 50000 ώρες. Αν και ο ASTER λειτουργεί με χαμηλό κύκλο καθήκοντος (8% μέσος χρόνος συλλογής δεδομένων), η παροχή ψύξης λειτουργεί συνεχώς γιατί ο χρόνος σταθεροποίησης είναι μεγάλος. Ακόμα καμία παροχή ψύξης δεν έχει δείξει αυτό το μήκος απόδοσης και η ανάπτυξη αυτής της μεγάλης διάρκειας ψύξης ήταν μια πρόκληση για την ομάδα ASTER.

Έξι οπτικά διαπερατά φίλτρα χρησιμοποιούνται για παροχή φασματικού διαχωρισμού. Μια συσκευή βαθμονόμησης παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται στο VNIR χρησιμοποιείται και στην εν-πτήση βαθμονόμηση. Η εξαίρεση είναι ότι το υποσύστημα SWIR έχει μόνο μία τέτοια συσκευή.

Υποσύστημα TIR

Το υποσύστημα TIR χρησιμοποιεί ένα καταδιοπτρικό σύστημα με μη σφαιρικό κάτοπτρο και φακούς για διόρθωση της παρέκκλισης. Αντίθετα με τα τηλεσκόπια στα υποσυστήματα VNIR και SWIR, το τηλεσκόπιο στο υποσύστημα TIR είναι σταθερό μαζί με τον καθορισμό σημείων και σάρωση που ανιχνεύει μέσω κατόπτρου. Κάθε ζώνη χρησιμοποιεί δέκα ανιχνευτές υδραργύρου-καδμίου-τελουρίου (Hg-Cd-Te) σε μια κλιμακωτή περιοχή με οπτικές ζώνες και διαπερατά φίλτρα πέρα από κάθε στοιχείο ανιχνευτών. Κάθε ανιχνευτής έχει το δικό του ενισχυτή.

Όπως τα υποσύστημα SWIR, το TIR χρησιμοποιεί ένα μηχανικό διασπασμένο δοχείο ψύξης (Stirling) για τη διατήρηση ανιχνευτών στους 80K. Σε αυτή την περίπτωση, δεδομένου ότι το δοχείο ψύξης καθορίζεται, η θερμότητα των αποβλήτων που παράγει αφαιρείται χρησιμοποιώντας στην πλατφόρμα μια ψυχρή πλάκα.

Το κάτοπτρο ανίχνευσης λειτουργεί για την σάρωση. Στον τρόπο σάρωσης το κάτοπτρο ταλαντώνεται με συχνότητα 7Hz. Για βαθμονόμηση, το κάτοπτρο σάρωσης στρέφεται 180° από τη θέση ναδίρ. Το σύστημα περιέχει και σύστημα για τον έλεγχο και παρακολούθηση της θερμοκρασίας μέσω δέσμης φωτός.

Το συνολικό ποσοστό στοιχείων στο TIR, περιλαμβάνει συμπληρωματική τηλεμετρία και εφαρμοσμένη μηχανική τηλεμετρία, όπου είναι 4,2 Mbps. Επειδή το υποσύστημα TIR μπορεί να επιστρέψει χρήσιμα στοιχεία για ημέρα και νύχτα, ο κύκλος λειτουργίας τίθεται σε 16%.

Δεδομένα ASTER επιπέδου-1

Το όργανο ASTER παράγει δύο τύπους δεδομένων επιπέδου-1: Επίπεδο -1A (L1A) και επίπεδο -1B (L1B). Τα δεδομένα ASTER L1A ορίζονται τυπικά ως τα αναδομημένα, μη επεξεργασμένα στοιχεία οργάνων σε πλήρη ανάλυση. Αποτελούνται από τα δεδομένα εικόνας, τους ραδιομετρικούς συντελεστές, τους γεωμετρικούς συντελεστές και άλλα βοηθητικά στοιχεία χωρίς εφαρμογή των συντελεστών στα δεδομένα εικόνας, διατηρώντας κατά συνέπεια τις αρχικές τιμές των δεδομένων. Τα L1B δεδομένα παράγονται με την εφαρμογή αυτών των συντελεστών για τη ραδιομετρική βαθμονόμηση και τη γεωμετρική λήψη δείγματος.

Όλα τα επίκτητα στοιχεία εικόνας υποβάλλονται σε επεξεργασία L1A. Οι επί του σκάφους περιορισμοί αποθήκευσης περιορίζουν την λήψη του ASTER σε περίπου 650 L1A εικόνες ανά ημέρα. Ένας μέγιστος αριθμός 310 εικόνων ανά ημέρα υποβάλλεται σε επεξεργασία L1B βασισμένος στην νεφοκάλυψη.

Δεδομένα επιπέδου-1A

Δεδομένα ASTER επιπέδου-1A δημιουργούνται από δεδομένα επιπέδου-0, και αποτελούνται από ανεπεξέργαστες ψηφιακές αριθμήσεις οργάνων. Αυτό το προϊόν περιέχει, αποδιαλυωμένα και ευθυγραμμισμένα εκ νέου, στοιχεία εικόνας οργάνων με τους γεωμετρικούς συντελεστές διορθώσεων και τους ραδιομετρικούς συντελεστές βαθμονόμησης επισυναπτόμενους αλλά που δεν εφαρμόζονται. Αυτοί οι συντελεστές περιλαμβάνουν τη διόρθωση παράλλαξης στο SWIR καθώς επίσης και καταγραφή τηλεσκοπίων. (Το λάθος παράλλαξης στο SWIR προκαλείται από την αντιστάθμιση στην ευθυγράμμιση ανιχνευτών στη διαμήκη κατεύθυνση και εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ του διαστημικού σκάφους και της παρατηρούμενης γήινης επιφάνειας. Για τις ζώνες SWIR οι διορθώσεις παράλλαξης πραγματοποιούνται με την τεχνική εικόνας ή τη βάση δεδομένων DEM, ανάλογα με την νεφοκάλυψη). Επίσης συμπεριλαμβάνονται τα στοιχεία εφαρμοσμένης μηχανικής βοηθημάτων και οργάνων διαστημικών σκαφών. Οι ραδιομετρικοί συντελεστές βαθμονόμησης, που αποτελούνται από την αντιστάθμιση και τις πληροφορίες ευαισθησίας, παράγονται από μία βάση δεδομένων για όλους τους ανιχνευτές, και ενημερώνονται περιοδικά. Η γεωμετρική διόρθωση είναι ο ισότιμος μετασχηματισμός για την καταγραφή με την μέθοδο band-to-band. Τα δεδομένα από το υποσύστημα TIR είναι 12-bit με ένα ενιαίο κέρδος.

Δεδομένα ASTER επιπέδου-1B

Τα δεδομένα ASTER επιπέδου-1B είναι L1A δεδομένα στα οποία έχουν εφαρμοστεί ραδιομετρικοί και γεωμετρικοί συντελεστές. Όλα αυτά τα στοιχεία αποθηκεύονται μαζί με τα μεταδεδομένα σε ένα αρχείο HDF. Η παραγωγή δεδομένων επιπέδου-1B περιλαμβάνει επίσης την καταγραφή του SWIR ειδικότερα, τα λάθη παράλλαξης λόγω των χωρικών θέσεων των ζωνών του διορθώνονται. Τα στοιχεία του επιπέδου-1B καθορίζουν ένα κέντρο εικόνας που λαμβάνεται από L1A χαρακτηριστικά που ονομάζονται “Scene Center” στο HDF-EOS χαρακτηρίζονται «προϊόντα μεταδεδομένων .0». Ο καθορισμός του κέντρου εικόνας L1B είναι το πραγματικό κέντρο στις στρεφόμενες συντεταγμένες (L1B συντεταγμένες) όχι όπως στα δεδομένα L1A (Abrams and Hook, 2002).

Προϊόντα ASTER:

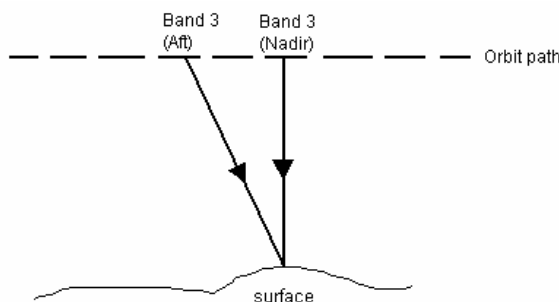
Τα προϊόντα ASTER τα οποία παρέχονται για πληθώρα εφαρμογών φαίνονται στον πίνακα:

| product code | product name |
|--------------|--|
| 1A | Αναδομημένα , ανεπεξέργαστα δεδομένα |
| 2B | Ακτινοβολία στο καταγραφικό |
| 2A01 | Βαθμοί φωτεινότητας στο καταγραφικό |
| 12A02 | Σχετική φασματική εκπομπή (D-stretch) |
| 2A03 | Σχετική φασματική ακτινοβολία (D-stretch) |
| 2B01 | Ακτινοβολία επιφάνειας |
| 2B03 | Θερμοκρασία επιφάνειας |
| 2B04 | Εκπομπές επιφάνειας |
| 2B05 | Ανάκλαση επιφάνειας |
| 4A | Πολικός χάρτης νεφοκάλυψης (μετά την εκτόξ.) |
| 4A21 | Απόλυτο ψηφιακό μοντέλο εδάφους |
| 3A01 | Ακτινοβολία του καταγραφικού με ορθοδιόρθωση |
| 4A01 | Σχετικό ψηφιακό μοντέλο εδάφους |

Πίνακας 2.3: Προϊόντα ASTER

Τα προϊόντα ASTER εμφανίζονται πιο αναβαθμισμένα από άλλα τηλεπισκοπικά προϊόντα του παρελθόντος, έχοντας τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- ✓ Με 14 φασματικές ζώνες παρέχουν μία ευρύτερη κάλυψη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από τα 0,52μm μέχρι τα 11,65μm με μία υψηλότερη χωρική ανάλυση.
- ✓ Η χωρική διακριτική ικανότητα είναι 15m, 30m και 90m για το ορατό και κοντινό υπέρυθρο, για το υπέρυθρο μικρού κύματος και για το θερμικό υπέρυθρο αντίστοιχα.
- ✓ Τα κανάλια της φασματικής ζώνης 3 του εγγύς υπέρυθρου δηλαδή από τα 0,76μm μέχρι τα 0.86μm (3N και 3B) χρησιμοποιούνται για στερεοσκοπική κάλυψη λαμβάνοντας εικόνες σχεδόν ταυτόχρονα κατά μήκος της τροχιάς. (Εικ. 2.6)



Εικ. 2.6: Απλουστευμένο σχέδιο της γεωμετρίας της κατά μήκος της τροχιάς λήψης εικόνας από τα κανάλια 3N και 3B.

Προϊόντα ASTER υψηλότερου επιπέδου

Ο πίνακας 2.4 παρακάτω απαριθμεί κάθε ένα από τα υψηλότερου επιπέδου τυποποιημένα προϊόντα ASTER και μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

| <i>Short Name</i> | <i>Level</i> | <i>Parameter Name</i> | <i>Production Mode</i> | <i>Units</i> | <i>Absolute Accuracy</i> | <i>Relative Accuracy</i> | <i>Horizontal Resolution (m)</i> |
|-------------------|--------------|--|------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| AST_06V | 2 | Decorrelation stretch -VNIR | routine | none | N/A | N/A | 15 |
| AST_06S | 2 | Decorrelation stretch -SWIR | routine | none | N/A | N/A | 30 |
| AST_06T | 2 | Decorrelation stretch -TIR | routine | none | N/A | N/A | 90 |
| AST_04 | 2 | Brightness temperature | on-demand | degrees C | 1-2 C | 0.3 C | 90 |
| AST_07 | 2 | Surface reflectance VNIR,SWIR | on-demand | none | 4 % | 1% | 15, 30 |
| AST_09 | 2 | Surface radiance -VNIR, SWIR | on-demand | W/m ² /sr/μm | 2 % | 1% | 15, 30 |
| AST_09T | 2 | Surface radiance -TIR | on-demand | W/m ² /sr/μm | 2 % | 1% | 90 |
| AST_05 | 2 | Surface emissivity | on-demand | none | 0.05-0.1 | 0.005 | 90 |
| AST_08 | 2 | Surface kinetic temperature | on-demand | degrees K | 1-4 K | 0.3 K | 90 |
| AST13POL | 2 | Polar surface and cloud classification | on-demand | none | 3 % | 3% | 15, 30, 90 |
| AST14DEM | 3 | Digital elevation model (DEM) | on-demand | m | >= 7 m | >= 10 m | 30 |

Πίνακας 2.4: Προϊόντα ASTER υψηλότερου επιπέδου

Ψηφιακό μοντέλο εδάφους από το καταγραφικό ASTER:

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους από το καταγραφικό σύστημα ASTER είναι ένα προϊόν το οποίο εξάγεται από στερεο-ζεύγος εικόνων τύπου Level 1A ή Level 1B. Το ζεύγος αυτό περιλαμβάνει τα κανάλια 3N (ναδύρ-κατακόρυφα) και 3B (aft-viewing-πίσω) που παρέχουν στερεοσκοπική κάλυψη κατά μήκος της τροχιάς του δορυφόρου στη περιοχή φάσματος από 0,78 μέχρι τα 0,86μm δηλαδή στο εγγύς υπέρυθρο. Ψηφιακό

μοντέλο εδάφους από το σύστημα ASTER μπορεί να εξαχθεί με ή χωρίς σημεία επίγειου ελέγχου (GCPs-ground control points). Ένα απόλυτο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (absolute DEM²) δημιουργείται με την βοήθεια επίγειων σημείων ελέγχου (GCPs) τα οποία παρέχονται από τον τελικό χρήστη του προϊόντος. Αυτού του είδους τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους είναι δυνατόν να έχουν μία απόλυτη οριζόντια και κατακόρυφη ακρίβεια γύρω στα 7 μέτρα. Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να εξαχθεί, από το σύστημα ASTER, ένα σχετικό ψηφιακό μοντέλο εδάφους (relative DEM³) χωρίς επίγεια σημεία ελέγχου.

Αυτού του είδους τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή απόλυτων κλίσεων και προσανατολισμού. Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους που εξάγονται από το καταγραφικό ASTER αναμένονται να ικανοποιούν τις προδιαγραφές ακρίβειας χαρτών κλίμακας από 1:50000 μέχρι 1:250000.

Αυτή η εξαγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους από το ραδιόμετρο ASTER βασίζεται στην αρχή των τεχνικών της αυτόματης στερεοσυσχέτισης (stereo-correlation). Η ακρίβεια με την οποία τα απόλυτα ψηφιακά μοντέλα εδάφους μπορούν να εξαχθούν με την βοήθεια των τεχνικών της φωτογραμμετρίας επηρεάζεται από:

- ✓ Την αναλογία B/H
- ✓ Την αξιοπιστία της διαδικασίας συσχέτισης
- ✓ Την ακρίβεια και την πυκνότητα των επίγειων σημείων ελέγχου

Η ακρίβεια του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, σύμφωνα με την Altmaier (2002), εξαρτάται κυρίως από τους ακόλουθους παράγοντες:

- ✓ Από το μοντέλο του ανιχνευτή
- ✓ Από τις παραμορφώσεις της εικόνας
- ✓ Από την γεωμετρική ακρίβεια και ευκρίνεια του σαρωτή
- ✓ Από την ακρίβεια του εσωτερικού προσανατολισμού

Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι είναι πολύ σημαντικά ο αριθμός, η ακρίβεια και η συμμετρική κατανομή τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφα των επίγειων σημείων ελέγχου. Σύμφωνα με τον Welch (1998), η διαφορά ύψους Δh προσεγγίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

² Absolute DEM: Απόλυτο ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι η ακριβής τρισδιάστατη απεικόνιση με χρήση GCP's

³ Relative DEM: Σχετικό ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι η σχετική τρισδιάστατη απεικόνιση χωρίς την χρήση την χρήση GCP's

$$\Delta h \approx \frac{\Delta p}{\tan a} \approx \frac{\Delta p}{(B/H)}$$

Η γωνία a σχηματίζεται μεταξύ του κάθετου άξονα από τη ζώνη 3N του δορυφορικού συστήματος 1 και της τεμνόμενης ακτίνας από την ζώνη 3B στο πίσω μέρος του δορυφορικού συστήματος 2. Αυτή η γωνία παράγει μία αναλογία B/H ίση με 0,6 για το σύστημα ASTER. Η διαφορά στην παράλλαξη (Δp) υπολογίζεται με τη διαδικασία της στερεο συσχέτισης και είναι ανάλογη της ανύψωσης του εδάφους. Η ικανότητα να ελέγχεται το σφάλμα της παράλλαξης εξαρτάται από την διαθεσιμότητα και την ακρίβεια των επίγειων σημείων ελέγχου (Yamaguchi, 1998).

Αυτές οι μετρήσεις σχετικού ύψους μπορούν να μεταμορφωθούν σε απόλυτες τιμές ύψους ενωμένες με ένα κατακόρυφο σημείο αναφοράς λαμβάνοντας επαρκή και ομοιόμορφα καταναμημένα επίγεια σημεία ελέγχου. Τέτοια σημεία μπορεί να βρεθούν από υπάρχοντες μεγάλης ή μεσαίας κλίμακας τοπογραφικούς χάρτες ή από χαρτογραφήσεις του παγκόσμιου συστήματος προσδιορισμού θέσης (Global Positioning System – GPS).

Σήμερα η επιστημονική ομάδα του ASTER εκτελεί μία 6 χρονη αποστολή για την παγκόσμια κάλυψη της επιφάνειας της Γης με το σύστημα στερεοσκοπικής κάλυψης κατά μήκος της τροχιάς όσο το δυνατό πιο συνεκτικής, ψηφιακής και χωρίς νέφη. Το σύστημα έχει ρυθμιστεί να λαμβάνει δεδομένα με μία αναλογία B/H 0,6, με χωρική διακριτική ικανότητα 15m και 50700x600km στερεοζεύγη ανά ημέρα. Ο αντικειμενικός στόχος είναι:

- ✓ Λήψη στερεοεικόνων χωρίς νέφη του 80% της επιφάνειας της Γης ανάμεσα στις 85° N και 85° S
- ✓ Παραγωγή, με εμπορικό λογισμικό, ψηφιακών μοντέλων εδάφους DEMs με ρυθμό ένα την ημέρα από την στιγμή της εκτόξευσης και μετά.

2.8. Το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης

Το GPS προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Global Positioning System, Παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης (στίγματος) στην επιφάνεια της γης. Το διασημότερο και ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα GPS είναι το αμερικάνικο NAVSTAR, το οποίο απαρτίζεται από 24 δορυφόρους σε 6 διαφορετικές τροχιές στο διάστημα, σε απόσταση περίπου 11 χιλιάδων ναυτικών μιλίων από τη γη.

Οι δορυφόροι αυτοί βρίσκονται διαρκώς σε κίνηση, κάνοντας 2 πλήρεις περιφορές γύρω από τη γη σε λιγότερο από 24 ώρες.

Το GPS βασίζεται σε σήματα που εκπέμπονται από ένα δίκτυο καλά προσδιορισμένων δορυφόρων οι οποίοι βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη. Κάθε δορυφόρος μεταδίδει πληροφορίες για την ακριβή ώρα και θέση του στο χώρο, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα σε έναν κατάλληλο δέκτη (συσκευή GPS) να υπολογίσει με τριγωνισμό⁴ τη δική του θέση, η οποία εμφανίζεται στην οθόνη του εκφρασμένη σε συντεταγμένες ενός συγκεκριμένου γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς (προεπιλεγμένο είναι πάντα το WGS 84).

Το δίκτυο δορυφόρων που αναγνωρίζουν οι συσκευές του εμπορίου (“NAVSTAR”) έχει τεθεί σε τροχιά από τις Υπηρεσίες Άμυνας των ΗΠΑ (υπάρχει και αντίστοιχο ρωσικό δίκτυο “GLONASS” και αναμένεται στο εγγύς μέλλον το ευρωπαϊκό “GALLILEO”). Το εν χρήσει GPS δίκτυο εκπέμπει σε δύο συχνότητες, από τις οποίες η μία χρησιμοποιείται μόνο για στρατιωτικούς σκοπούς, ενώ η δεύτερη, που είναι ανοιχτή σε κοινή χρήση, παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια.

Υπάρχουν διαφόρων τύπων δέκτες δορυφορικών σημάτων GPS, που εξυπηρετούν διαφορετικές εφαρμογές και απαιτήσεις ακρίβειας και βασίζονται σε συγκεκριμένες τεχνικές εξάλειψης σφαλμάτων.

Μερικά ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται: Ο πρώτος δορυφόρος του Αμερικανικού συστήματος GPS εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 1978. Ο κάθε δορυφόρος ζυγίζει κάτι λιγότερο από 1 τόνο, και το πλάτος του δεν ξεπερνά τα 5 μέτρα με τις ηλιακές κυψέλες σε ανοιχτή θέση. Η ισχύς του πομπού του έχει μέγιστη τιμή 50 watt.

Κάθε δορυφόρος εκπέμπει σε τρεις διαφορετικές συχνότητες. Τα GPS πολιτικής χρήσης χρησιμοποιούν τη συχνότητα “L1”, στα 1575.42 MHz.

Οι δορυφόροι GPS έχουν μέση διάρκεια ζωής 10 χρόνια. Η αντικατάστασή τους γίνεται κανονικά εδώ και χρόνια με νέους δορυφόρους.

Οι προγραμματισμένες διαστημικές αποστολές σήμερα περιλαμβάνουν αντικαταστάσεις δορυφόρων GPS μέχρι το 2006.

⁴ Τριγωνισμός: Επίλυση εξισώσεων για τον προσδιορισμό θέσης



Εικ. 2.7: Παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης

Οι τροχιές των δορυφόρων GPS (Εικ. 2.7) περνούν από περίπου 60 μοίρες βόρεια μέχρι 60 μοίρες νότια. Αυτό σημαίνει ότι κάποιος μπορεί να έχει σήμα από τους δορυφόρους σε οποιοδήποτε σημείο πάνω στη γη, οποιαδήποτε στιγμή. Καθώς πληθαίνουμε προς τους πόλους οι δορυφόροι δε θα περνούν πλέον από πάνω μας, με αποτέλεσμα να χάνουμε λίγο σε ακρίβεια.

Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα του GPS έναντι των παραδοσιακών συστημάτων προσδιορισμού θέσης, μέσω σταθμών εδάφους (π.χ LORAN) είναι ότι το GPS είναι παντός καιρού και έχει σχεδόν πλήρη κάλυψη της γήινης επιφάνειας.

Όπως προαναφέρθηκε, κάθε δορυφόρος, εκπέμπει προς τον αντίστοιχο δέκτη προκειμένου να υπολογιστεί η θέση του δέκτη. Το περιεχόμενο των πληροφοριών που εκπέμπει ένας δορυφόρος αναλύεται παρακάτω.

Το σήμα του GPS περιέχει ένα "ψευδο-τυχαίο" κωδικό, τον ephemeris (ή εφημερίδα του δορυφόρου) καθώς και κάποια δεδομένα Almanac όπως λέγονται. Ο ψευδο-τυχαίος κωδικός προσδιορίζει την ταυτότητα του εκάστοτε δορυφόρου που εκπέμπει. Κάθε δορυφόρος έχει ένα χαρακτηριστικό αριθμό PRN (pseudo-random number), από το 1 μέχρι το 32. Αυτός ο αριθμός φαίνεται και στην οθόνη του GPS για να καταλαβαίνουμε ποιος ή ποιοι δορυφόροι είναι στην εμβέλειά μας. Τα δεδομένα Ephemeris εκπέμπονται συνεχώς από κάθε δορυφόρο και περιέχουν σημαντικές πληροφορίες για την ακρίβεια των υπολογισμών, όπως η κατάσταση του δορυφόρου

(αν είναι σε λειτουργία ή όχι, αν έχει προβλήματα και που, κτλ.), η ημερομηνία και η **ώρα**. Χωρίς αυτά τα στοιχεία και ειδικά της ακριβούς ώρας, το GPS θα εισήγαγε σημαντικά σφάλματα στην ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης.

Τα δεδομένα “Almanac” πληροφορούν το GPS για τη θέση που θα βρίσκεται κάθε δορυφόρος σε οποιαδήποτε στιγμή της μέρας, Έτσι κάθε δορυφόρος εκπέμπει πληροφορίες για την τροχιά του και τη θέση του, καθώς και για κάθε άλλο δορυφόρο στο δίκτυο για επιπλέον ασφάλεια.

Το GPS λαμβάνει αυτές τις πληροφορίες και τις αποθηκεύει, τα δεδομένα “Ephemeris”, και “Almanac” χρησιμοποιούνται τόσο για τον υπολογισμό της θέσης τη στιγμή που λαμβάνονται αλλά χρησιμοποιούνται και στη συνέχεια, σε επόμενες μετρήσεις. Με βάση αυτές τις πληροφορίες, το GPS μπορεί και κάνει διορθώσεις στο εσωτερικό του ρολόι ώστε να υπάρχει συγχρονισμός.

Γιατί ο χρονικός προσδιορισμός του σήματος είναι απαραίτητος;

Για να προσδιορίσει την ακριβή θέση του, το GPS συγκρίνει την ώρα που ο δορυφόρος εξέπεμψε το μήνυμα, με την ώρα που το μήνυμα ελήφθη από το GPS. Η διαφορά αυτή δείχνει στο GPS πόσο μακριά είναι ο δορυφόρος-αποστολέας. Αν τώρα προσθέσουμε και τις μετρήσεις που παίρνουμε και από τους άλλους δορυφόρους που βρίσκονται στην εμβέλειά μας, προσδιορίζουμε την ακριβή θέση μας με τριγωνομετρικούς υπολογισμούς. Αυτό ακριβώς είναι το αντικείμενο του GPS. **Γι’ αυτό χρειάζονται τουλάχιστον (θεωρητικά) τρεις δορυφόροι ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί το γεωγραφικό μήκος και πλάτος (latitude/longitude), το στίγμα μας σε δύο διαστάσεις. Με περισσότερους από τρεις δορυφόρους διαθέσιμους, ένα GPS μπορεί να προσδιορίσει και την τρίτη διάσταση (το ύψος-elevation).** Επειδή η πληροφορία αυτή εκπέμπεται συνεχώς από όλους τους δορυφόρους, το GPS μπορεί με τη διαφορά χρόνου και θέσης να προσδιορίσει και την ταχύτητα και την διεύθυνση που κινείται ('ground speed' ή SOG - Speed Over Ground, και 'ground track' ή COG - Course Over Ground).

Γιατί δεν είναι τόσο ακριβές ?

Γιατί όμως στην πράξη η απόδοση του GPS δεν είναι τόσο καλή; Γιατί το στίγμα που λαμβάνεται δεν είναι τόσο ακριβές όσο περιγράφεται;

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που αυξάνουν το σφάλμα στις μετρήσεις. Ο κυριότερος παράγοντας ήταν μέχρι το 2000 το Selective Availability (SA). Όπως λέει και η ίδια η λέξη, γίνεται επιλεκτική μείωση της ακρίβειας του σήματος από το ίδιο το σύστημα. Το Αμερικάνικο Υπουργείο Άμυνας κρίνει ότι η ακρίβεια που παρέχει το σύστημα

GPS είναι αρκετή για χρήση μη-στρατιωτική. Αντίθετα, οι Αμερικάνικες στρατιωτικές δυνάμεις έχουν στη διάθεσή τους το σύστημα σε πλήρη λειτουργία δίνοντάς τους ακρίβεια εκατοστού.

Έτσι για την Ελλάδα, έχοντας την επιλεκτική διαθεσιμότητα (SA) της Αμερικής, η ακρίβεια του στίγματος έχει απόκλιση περίπου 100 μέτρων. Ευτυχώς με διάφορες διαδικασίες (τρικς) τα ίδια τα GPS ελαττώνουν την απόκλιση στα 30 μέτρα.

Ο αρχικός σκοπός του GPS ήταν καθαρά στρατιωτικός. Καθώς όμως το σύστημα εξελισσόταν και ο κόσμος εξοικειωνόταν στην ιδέα των δορυφόρων, άρχισαν να εμφανίζονται ιδέες για την εκμετάλλευση του συστήματος σε μη στρατιωτικές εφαρμογές. Στις αρχές του 1980 το σύστημα GPS διατέθηκε προς χρήση στο κοινό, με τη διαφορά που προαναφέραμε, ότι δηλαδή η πλήρης λειτουργικότητα του συστήματος θα είναι διαθέσιμη μόνο στον Αμερικάνικο Στρατό. Ο λόγος ήταν να μην χρησιμοποιηθεί το σύστημα από τρομοκράτες και εχθρικές δυνάμεις.

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια του GPS είναι η "γεωμετρία" των δορυφόρων. Με απλά λόγια, η γεωμετρική θέση των δορυφόρων είναι το σημείο που βρίσκεται ο καθένας σε σχέση με τους άλλους δορυφόρους, όπως φαίνεται από τον GPS. Αν τώρα ένα GPS έχει στην εμβέλειά του τέσσερις δορυφόρους (που είναι αρκετοί για να δώσουν ένα ακριβές στίγμα) αλλά και οι τέσσερις είναι π.χ. βορειοδυτικά σε σχέση με το GPS, η "γεωμετρία" των δορυφόρων δεν είναι κατάλληλη. Στην πραγματικότητα, το GPS μπορεί να μην είναι σε θέση να δώσει καν στίγμα. Αυτό συμβαίνει γιατί όλες οι μετρήσεις της απόστασης από όλους τους δορυφόρους προέρχονται από την ίδια διεύθυνση, ΒΔ. Δηλαδή, τα τριγωνομετρικά δεδομένα που λαμβάνει το GPS όσον αφορά την περιοχή στην οποία βρίσκεται το στίγμα μας είναι ασαφή, η περιοχή που ορίζεται από τις τομές των αποστάσεων είναι πολύ μεγάλη, και έτσι ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης του GPS είναι αδύνατος. Σε αυτή την περίπτωση το σφάλμα του στίγματος μπορεί να είναι της τάξης των 90 έως 150 μέτρων.

Στην αντίθετη περίπτωση, με τέσσερις δορυφόρους στην εμβέλεια του GPS κατανεμημένους στα τέσσερα σημεία του ορίζοντα, η ακρίβεια του στίγματος είναι η μέγιστη δυνατή. Η καλύτερη γεωμετρία των δορυφόρων είναι όταν αυτοί βρίσκονται ανά 90 μοίρες σε σχέση με το GPS. Το στίγμα μας βρίσκεται στην περιοχή που ορίζεται εκεί που τέμνονται οι διευθύνσεις της απόστασης από τους τέσσερις δορυφόρους, και η περιοχή αυτή είναι τώρα πάρα πολύ μικρή. Ακόμα και με το Selective Availability, η ακρίβεια του στίγματος είναι της τάξης των 30 μέτρων.



Συνεπώς, γιατί η ακρίβεια που δίνει κάθε κατασκευαστής για το GPS του, είναι θεωρητική και μόνο κάτω από βέλτιστες συνθήκες. Η ακρίβεια του GPS επίσης είναι μικρότερη όταν κινούμαστε με μεγάλη ταχύτητα ή όταν βρισκόμαστε ανάμεσα σε ψηλά βουνά ή άλλα εμπόδια. Όταν το σήμα δεν φτάνει μέχρι το GPS λόγω των φυσικών εμποδίων, οι δορυφόροι υπολογίζουν τη θέση τους σε σχέση με τους υπόλοιπους και το GPS μπορεί τότε να καταλάβει εάν είναι σε θέση να δώσει ένα ακριβές στίγμα. Ένα καλό GPS μπορεί να δώσει ένδειξη όχι μόνο ποιοι δορυφόροι είναι εντός εμβέλειας και εν λειτουργία, αλλά και που ακριβώς βρίσκονται (αζιμούθιο και υψόμετρο), ώστε ο χρήστης του GPS να καταλάβει τι βαθμό αξιοπιστίας έχει το στίγμα που του δίνει το όργανο.

Ένα άλλο πρόβλημα που επηρεάζει την ακρίβεια του στίγματος είναι οι ανακλάσεις. Με απλά λόγια, κάθε ραδιο-σήμα ανακλάται πάνω στα διάφορα αντικείμενα του φυσικού περιβάλλοντος και το σήμα φτάνει στο GPS καθυστερημένα αφού έχει ταξιδέψει μεγαλύτερη απόσταση από την αναμενόμενη. Αυτός ο επιπλέον χρόνος κάνει το GPS να πιστεύει ότι ο δορυφόρος που το εξέπεμψε βρίσκεται μακρύτερα από ότι είναι στην πραγματικότητα και έτσι προσδιορίζει λανθασμένα το σχετική θέση του. Αυτό το επιπλέον σφάλμα επιβαρύνει την ακρίβεια του στίγματος με άλλα 4-5 μέτρα [http://www.gps-com.gr/body_navstar.html].

Τι είναι το PDOP

Η ακρίβεια μιας θέσης υπολογιζόμενη από έναν δέκτη GPS είναι στην ουσία συνάρτηση της γεωμετρίας που έχουν οι διάφοροι δορυφόροι σε σχέση με τη θέση του παρατηρητή και το χρόνο παρατήρησης. Όταν οι δορυφόροι έχουν καλή διασπορά στο χώρο, το GPS είναι ικανό να υπολογίσει ακριβείς θέσεις. Εάν δύο οι περισσότεροι δορυφόροι είναι πολύ κοντά ο ένας στον άλλον τότε τα μικρά σφάλματα που υπάρχουν κατά τη μέτρηση του σήματος μειώνουν την ακρίβεια της υπολογιζόμενης θέσης - στίγματος. Υπάρχουν διάφοροι Dilution of Precision (DOP) συντελεστές για το GPS αυτοί οι DOP συντελεστές εκφράζουν μία πρόχειρη ένδειξη, όσον αφορά την ακρίβεια προσδιορισμού του GPS συστήματος. Οι DOP συντελεστές έχουν γραμμική εξάρτηση με το αναμενόμενο σφάλμα, οπότε μια μικρή DOP τιμή είναι καλύτερη από

μια μεγάλη. Ο καλύτερος συνολικός δείκτης για την γεωμετρία των δορυφόρων είναι το PDOP (Position Dilution of Precision). Γενικά μια PDOP τιμή 4.0 ή μικρότερη τείνει να δίνει έξοχη ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης (μικρότερη από μέτρο). Μια τιμή PDOP μεταξύ 4 και 8 δίνει σχετικά καλή ακρίβεια, ενώ μια τιμή PDOP μεγαλύτερη από 8 επηρεάζει σημαντικά την ακρίβεια. Όταν οι δορυφόροι είναι σχεδόν συνευθειακοί, τότε το PDOP μπορεί να πάρει τριψήφια ή ακόμη και τετραψήφια τιμή σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι λογικό να περιμένουμε την ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης να είναι ανακριβής.

Το GPS που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, επέτρεπε την εισαγωγή μάσκας, όσον αφορά το PDOP, οπότε στην περίπτωση που είχαμε ανεπαρκή γεωμετρία δορυφόρων, $PDOP > 6$, στην οθόνη του δέκτη εμφανίζονταν το μήνυμα “PDOP is too High” και δεν καταγράφονταν οι μετρήσεις.

[Trimble GPS Asset Surveyor – User Guide]

Τεχνικές παρατήρησης για τον προσδιορισμό θέσης:

1. *Στατικός προσδιορισμός:* ο δέκτης είναι στάσιμος καθ’ όλη τη διάρκεια των παρατηρήσεων (από μερικά λεπτά μέχρι και ώρες). Εκ των υστέρων ακολουθεί επεξεργασία των μετρήσεων.
2. *Απόλυτος προσδιορισμός:* εντοπισμός σε ένα γεωκεντρικό, γεωσταθερό σύστημα αναφοράς συντεταγμένων. Η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης είναι συνάρτηση της αβεβαιότητας των παρεχόμενων δορυφορικών εφημερίδων και είναι της τάξης των $\pm 10\text{-}80\text{m}$.
3. *Σχετικός προσδιορισμός:* η θέση του δέκτη προσδιορίζεται σε σχέση με κάποιον άλλο στάσιμο και γνωστό δέκτη.
4. *Διαφορικός προσδιορισμός:* ο ίδιος δορυφόρος παρατηρείται από 2 δέκτες. Ο ένας από αυτούς είναι ο χρήστης και βρίσκεται σε κίνηση ενώ ο άλλος δέκτης σταθμός αναφοράς βρίσκεται σε μία σταθερή θέση γνωστών συντεταγμένων. Εάν χρησιμοποιηθούν οι ίδιοι δορυφόροι από το σταθμό αναφοράς και του δέκτη, τότε οι ακρίβειες φτάνουν τα $\pm 5\text{m}$ για αποστάσεις μεταξύ χρήστη και σταθμού αναφοράς εκατοντάδων Km (Lachapelle et al., 1986)
5. *Τεχνική Στάσης και Αναχώρησης (Stop & Go):* Συνδυασμός στατικού και κινηματικού προσδιορισμού (ακρίβεια του στατικού και παραγωγικότητα του κινηματικού εντοπισμού). Ο κινούμενος δέκτης ξεκινάει από ένα τριγωνομετρικό σημείο και έπειτα πραγματοποιεί συνεχείς μετρήσεις και

ακινητοποιείται σε επιλεγμένα σημεία όπου γίνονται μετρήσεις μερικών λεπτών.

6. *Κινηματικός προσδιορισμός*: Ο ένας δέκτης παραμένει σταθερός σε σημείο γνωστών συντεταγμένων σε μικρή απόσταση από τον δεύτερο δέκτη ο οποίος κινείται συνεχώς. Η θέση προκύπτει ως λύση μιας χρονοσειράς της τροχιάς του κινητού δέκτη και των χρονικών καθυστερήσεων του χρονομέτρου του. Αρχικά προσδιορίζεται μία βάση αναφοράς και στη συνέχεια ο προσδιορισμός των συντεταγμένων του συνεχώς μετακινούμενου δέκτη.
7. *Άμεσος κινηματικός προσδιορισμός* : είναι ένας κινηματικός προσδιορισμός στον οποίο γίνεται άμεση μετάδοση των διορθώσεων της βάσης από τον σταθερό στον κινούμενο δέκτη (είτε μέσω τηλεφωνικών γραμμών (modems) είτε μέσω εκπομπής ραδιοσημάτων HF, UHF, VHF)
8. *Ταχύς στατικός εντοπισμός (Rapid Static)*: Απαιτεί πιο σύντομες παρατηρήσεις από τον κλασικό στατικό προσδιορισμό (5-20min), ανάλογα με την απόσταση κατανομής των σημείων και τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων.
9. *Τεχνική Ανακατάληψης*: Ταχύτερη από τον κλασικό στατικό προσδιορισμό και απαιτεί παρατηρήσεις μερικών λεπτών για κάθε σταθμό, εφόσον αυτές ληφθούν σε ένα διάστημα μερικών ωρών. Υπάρχουν δύο σταθμοί λήψης, ο σταθερός και ο κινητός. Ο κινητός σταθμός πρέπει να επανακαταλάβει το ίδιο δευτερεύον σημείο εντός μερικών ωρών για να κάνει τις απαραίτητες διορθώσεις για την αλλαγή της γεωμετρίας των δορυφόρων, επιτυγχάνοντας ακρίβεια μερικών εκατοστών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια των μετακινήσεων, ο κινητός σταθμός λήψης μπορεί να παραμένει κλειστός.

3. Στοιχεία φωτογραμμετρίας

3.1. Γενικά

Ο πρώτος τρόπος μέτρησης διάστασης ήταν η απ'ευθείας σύγκριση του άγνωστου μεγέθους με κάποιο άλλο γνωστής διάστασης. Το ίδιο αρχαίος είναι και ο τρόπος μέτρησης χωρίς να έρθει κανείς σε επαφή με το άγνωστης διάστασης αντικείμενο. Οι αρχαίοι Έλληνες έκαναν μετρήσεις (π.χ μέτρηση της ακτίνας της γης) χρησιμοποιώντας τις ακτίνες του ήλιου, βασισμένοι στη μοναδική υπόθεση ότι το φως διαδίδεται σε ευθεία γραμμή, αρχή που εφαρμόζεται και στα σημερινά ηλεκτρονικά τοπογραφικά όργανα. Οι οπτικές μέθοδοι μετρήσεων από απόσταση βρήκαν ευρεία εφαρμογή όταν έγινε κατανοητό ότι στην επιφάνεια ενός απλού σκοτεινού θαλάμου είναι δυνατόν να μετρήσει κανείς διαστάσεις πολλών αντικειμένων συγχρόνως. Για να εκτελεσθεί όμως μια τέτοια σειρά μετρήσεων με ευκολία και ακρίβεια θα έπρεπε το είδωλο του αντικειμένου να είναι σταθερό και μεταφερό. Η φωτογραφία έδωσε αυτή τη δυνατότητα, η οποία συνιστά και τη μεγάλη διαφορά ανάμεσα στη φωτογραμμετρική και στις άλλες μεθοδολογίες μετρήσεων: *Η διαδικασία καταγραφής της πληροφορίας ξεχωρίστηκε από τη διαδικασία μέτρησης.* Με τον τρόπο αυτό η διάρκεια και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται η καταγραφή δεν επηρεάζουν τη μεγαλύτερη σε διάρκεια και την κάτω από τις πλέον ευνοϊκές συνθήκες διαδικασία των μετρήσεων. Οι φωτογραμμετρικές τεχνικές αποτελούν έμμεσους τρόπους καταγραφής **της θέσης, του σχήματος** και των **διαστάσεων** των αντικειμένων, καθώς δεν χρησιμοποιούν απ'ευθείας μετρήσεις πάνω στο αντικείμενο, αλλά χρησιμοποιούν τη μετρική πληροφορία που συλλέγεται πάνω σε μια φωτογραφική εικόνα. Με τις τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων χρόνων, ο ορισμός της Φωτογραμμετρίας έχει επεκταθεί, καλύπτει ακόμα και την καταγραφή σημάτων από ηλεκτρομαγνητικές και ηχητικές πηγές. Στην παρούσα εργασία, γίνεται αναφορά μόνο με τις βασικές αρχές της κλασικής Φωτογραμμετρίας, δηλαδή με τις οπτικές και γεωμετρικές σχέσεις καθώς και τις εφαρμογές των κλασικών «φωτογραφικών εικόνων» (αναλογικών / ψηφιακών).

Η φωτογραμμετρία ως επιστήμη συλλογής στοιχείων από τον φυσικό κόσμο έχει μεγάλη σχέση με αντίστοιχες επιστήμες συλλογής πρωτογενών δεδομένων όπως η Τοπογραφία η Γεωδαισία και η Τηλεπισκόπηση. Τονίζεται όμως ότι η σημαντική διαφορά ανάμεσα στη Φωτογραμμετρία και τις άλλες επιστήμες είναι ότι οι

φωτογραμμετρικές μετρήσεις είναι *έμμεσες* και γίνονται πάνω σε κάποιο μέσο, όπου αποτυπώνεται ο φυσικός κόσμος και όχι απ'ευθείας στον ίδιο το φυσικό κόσμο. Από τη διαφορά αυτή πηγάζουν όλα τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα της Φωτογραμμετρίας, μερικά από τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια.

Πλεονεκτήματα φωτογραμμετρίας:

1. Ταχύτητα:

Η παραγωγή χαρτών με φωτογραμμετρικές μεθόδους είναι ταχύτερη από οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία που στηρίζεται σε επίγειες μετρήσεις. Με μία λήψη π.χ από ύψος πτήσης 1.5 km καλύπτουμε μια περιοχή μεγαλύτερη από 5 km², ενώ η αντίστοιχη περιοχή θα απαιτούσε προφανώς πάρα πολύ μεγάλο χρόνο για να καλυφθεί από επίγειες μετρήσεις.

2. Οικονομία

Στενά συνδεδεμένο με την ταχύτητα της συλλογής δεδομένων είναι και το κόστος τους. Αυτός είναι και ο λόγος που σε περιοχές όπου υπήρξε η ανάγκη μαζικής χαρτογράφησης (π.χ μεγάλες εκτάσεις του Καναδά, της Αυστραλίας, χώρες του τρίτου κόσμου κλπ) η πάγια τακτική ήταν και είναι να χρησιμοποιούνται φωτογραμμετρικές διαδικασίες ως οι πιο ενδεδειγμένες από άποψη ταχύτητας και κόστους.

3. Προσπελασιμότητα – εδάφους

Ένα σαφές πλεονέκτημα των φωτογραμμετρικών έναντι των επίγειων μετρήσεων είναι οι περιπτώσεις δύσκολης ή απαγορευτικής προσπελασιμότητας του εδάφους. Αναφέρονται ενδεικτικά οι αρκτικές περιοχές, περιοχές πυκνής βλάστησης, απόκρημνα μέρη, έρημοι, ηφαιστιογενείς περιοχές κλπ.

4. Συνεχής απεικόνιση

Ενώ οι επίγειες μετρήσεις έχουν ως σκοπό τον προσδιορισμό των συντεταγμένων διακριτών σημείων λεπτομερειών, η φωτογραφία είναι μια συνεχής απεικόνιση του φυσικού κόσμου και μπορεί να αποδοθεί σαν τέτοια. Η υπεροχή της Φωτογραμμετρίας γίνεται εύκολα κατανοητή αν θεωρηθεί, για παράδειγμα, η χαρτογραφική απόδοση της όψης ενός κτιρίου. Ο αριθμός των λεπτομερειών που πρέπει να αποτυπωθούν με επίγειες μετρήσεις είναι απαγορευτικά μεγάλος, ενώ αντίθετα όλη αυτή η πληροφορία υπάρχει σε μία φωτογραφία.

Μειονεκτήματα φωτογραμμετρίας:

1. Πολλές πηγές σφαλμάτων

Οι πηγές σφαλμάτων κατά τη φωτογραμμετρική συλλογή είναι πολλές. Έτσι οι μεθοδολογίες επεξεργασίας των δεδομένων είναι πολυπλοκότερες ενώ τα τελικά προϊόντα είναι μερικές φορές μικρότερης ακρίβειας, από ότι αν συλλέγονταν με επίγειες μετρήσεις.

2. Απαιτήσεις σε σημεία ελέγχου

Όπως θα δούμε στη συνέχεια, η φωτογραμμετρία βασίζει τις μεθοδολογίες της σε κάποια ήδη υπάρχουσα πληροφορία. Απαιτεί δηλαδή την ύπαρξη γνωστών σημείων στο έδαφος. Εξαρτάται με άλλα λόγια από το αποτέλεσμα προηγούμενων επίγειων μετρήσεων και με την έννοια αυτή είναι ένα δευτερογενές στάδιο συλλογής πληροφορίας.

3.2. Κατηγορίες φωτογραμμετρίας:

Εκείνες οι Φωτογραμμετρικές διαδικασίες που ξεκινούν με τη λήψη φωτογραφικών εικόνων και πραγματοποιούν την απόδοση με οπτικό-μηχανικά όργανα συνιστούν την αναλογική φωτογραμμετρία. Οι αντίστοιχες διαδικασίες, που στηρίζονται σε φωτογραφικές εικόνες, αλλά όλη η διαδικασία απόδοσης πραγματοποιείται με τη βοήθεια της τεχνολογίας ηλεκτρονικής επεξεργασίας δεδομένων, συνιστούν την **ψηφιακή φωτογραμμετρία**. Στην περίπτωση της ψηφιακής φωτογραμμετρίας, όλη η απόδοση γίνεται με τη βοήθεια Η/Υ, ακόμα και η ανθρώπινη όραση π.χ διαδικασία ερμηνείας και αναγνώρισης προσομοιώνονται αλγοριθμικά από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

(Πατιάς, 1991)

3.3. Ψηφιακή φωτογραμμετρική εικόνα

Μια ψηφιακή εικόνα αποτελείται από ένα (δισδιάστατο) πίνακα **G** με εικονοστοιχεία g_{ij} . Στη διεθνή βιβλιογραφία το εικονοστοιχείο αναφέρεται ως pixel (**p**icture **x** **e**lement). Ο δείκτης των γραμμών **i** παίρνει τιμές από το **1** έως το **I** με βήμα ίσο με **1** οι αντίστοιχοι δείκτες των στηλών ορίζονται ως **j**. Επειδή σε κάθε στοιχείο του πίνακα αντιστοιχεί μια συγκεκριμένη επιφάνεια, αυτό δεν ονομάζεται εικονοσημείο αλλά εικονοστοιχείο. Το μέγεθος ενός εικονοστοιχείου ορίζεται ως $\Delta\xi \times \Delta\eta$

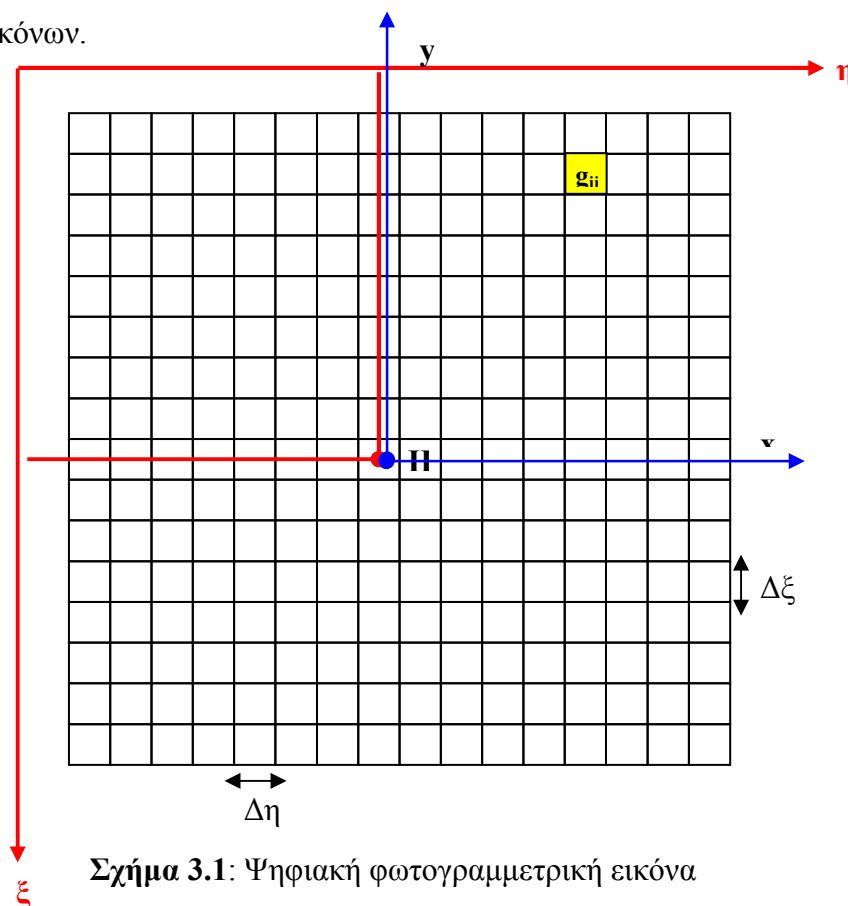
Τα εικονοστοιχεία g_{ij} είναι οι φορείς της πληροφορίας μιας ψηφιακής εικόνας, το εύρος των τιμών τους, που ονομάζεται και **βάθος της εικόνας** εξαρτάται από το

σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη της και από τον τύπο και τις δυνατότητες του ηλεκτρονικού υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε. Σύνηθες είναι το εύρος τιμών από 0 έως 255, το οποίο υπερβαίνει σημαντικά την ικανότητα της ανθρώπινης όρασης να ξεχωρίζει διάφορους τόνους.

Η πληροφορία των 256 διαφορετικών τιμών μπορεί να περιγραφεί με 8 bit ($=2^8$ συνδυασμοί δυαδικών στοιχείων –bit). Στους περισσότερους Η/Υ, μια ομάδα από 8bit αποτελεί ένα Byte. Εκτός από το δυαδικό σύστημα συναντά κανείς στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών το οκταδικό και το δεκαεξαδικό σύστημα παράστασης. Στις ασπρόμαυρες εικόνες οι τιμές των Pixel αντιστοιχούν στις διαβαθμίσεις (τόνους) του γκρι (συνήθως το μαύρο έχει την τιμή 0 και το άσπρο την τιμή 255). Οι έγχρωμες εικόνες αποτελούνται από τρεις φασματικές περιοχές, οι οποίες ορίζονται με τη βοήθεια τριών ίδιου μεγέθους εικονο-πινάκων. Στην περίπτωση αυτή αναφέρεται ο χρωματικός κύβος με τρία επίπεδα.

Σε μια ψηφιακή εικόνα, η οποία προορίζεται για φωτογραμμετρική επεξεργασία, είναι πρωτεύουσας σημασίας ο συσχετισμός της θέσης του κάθε pixel με ένα σύστημα εικονοσυντεταγμένων ξ, η ή r, c (row, column).

Ψηφιακές φωτογραμμετρικές εικόνες, μπορούν να προκύψουν με δύο τρόπους, είτε με σάρωση ήδη υπάρχοντων αναλογικών φωτογραφιών είτε με την απευθείας λήψη ψηφιακών εικόνων.



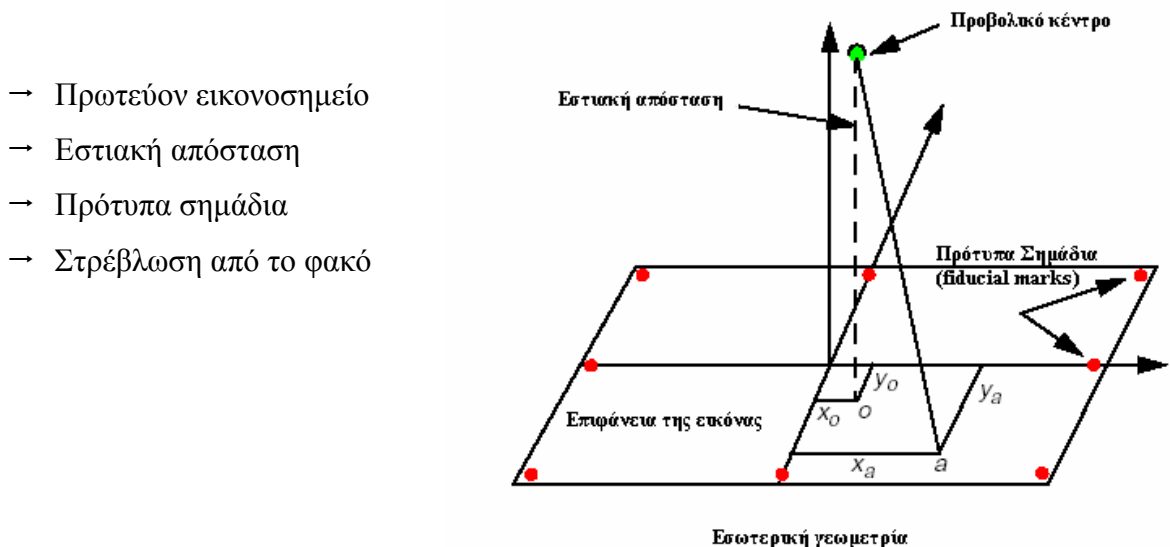
Σχήμα 3.1: Ψηφιακή φωτογραμμετρική εικόνα

Εκτός από το σύστημα εικονοσυντεταγμένων (Pixel Coordinate System), σε μια εικόνα χρειάζεται να οριστεί ένα νέο σύστημα συντεταγμένων με αρχή το πρωτεύον εικονοσημείο της εικόνας (pp principal point) το σύστημα αυτό (Image Coordinate System) είναι επίσης δισδιάστατο και οι άξονες του φαίνονται στο παραπάνω σχήμα (x, y). Σε αντίθεση με το σύστημα εικονοσυντεταγμένων, όπου οι συντεταγμένες διαστασιοποιούνται σαν Pixels, εδώ τα x, y μετρούνται σε μονάδες μήκους (συνχνά συναντώνται σε mm)

Ένα άλλο επίσης σημαντικό σύστημα συντεταγμένων στη φωτογραμμετρία είναι το σύστημα συντεταγμένων «χώρου εικόνας» (Image Space Coordinates) που δεν είναι τίποτε άλλο από το προηγούμενο σύστημα, με τη μοναδική διαφορά ότι εδώ έχουμε έναν επιπλέον άξονα z . Η αρχή των αξόνων σε αυτή την περίπτωση ορίζεται το προβολικό κέντρο (σημείο λήψης της εικόνας) το οποίο βρίσκεται σε απόσταση ίση με την εστιακή απόσταση της φωτογραφικής μηχανής-αισθητήρα. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό θέσεων στο εσωτερικό του αισθητήρα και εδώ χρησιμοποιούνται μονάδες μήκους (συνήθως mm)

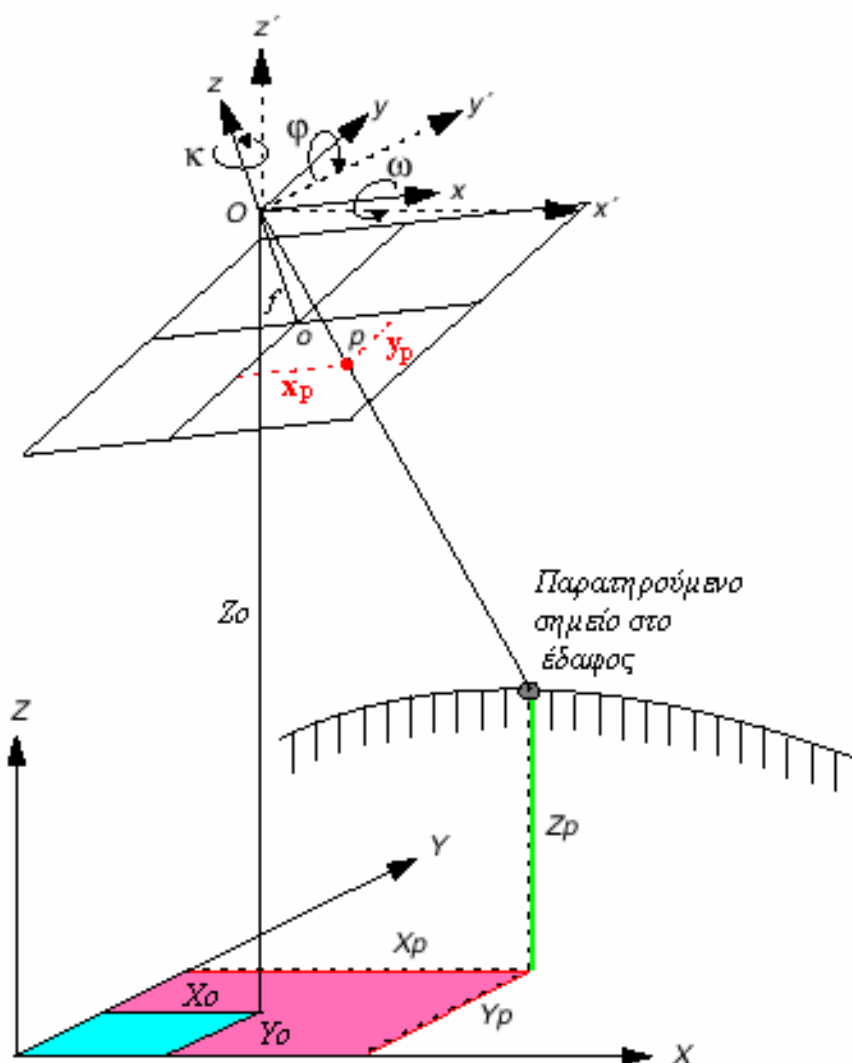
Εσωτερικός προσανατολισμός

Ο εσωτερικός προσανατολισμός καθορίζει την εσωτερική γεωμετρία του αισθητήρα κατά τη διάρκεια της λήψης. Με τη διαδικασία του εσωτερικού προσανατολισμού, καθορίζονται οι μεταβλητές που σχετίζονται με τον χώρο της εικόνας, χρησιμοποιείται κυρίως για τον μετασχηματισμό από το σύστημα εικονοσυντεταγμένων (Pixel Coordinate System) στο σύστημα συντεταγμένων χώρου της εικόνας. Παρακάτω φαίνονται οι μεταβλητές που σχετίζονται με την εσωτερική γεωμετρία μιας εικόνας



Εξωτερικός προσανατολισμός

Ο εξωτερικός προσανατολισμός είναι ο καθορισμός της θέσης και του προσανατολισμού της εικόνας σε ένα σύστημα συντεταγμένων εδάφους, τη στιγμή λήψης. Οι μεταβλητές που καθορίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό μιας εικόνας αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού. Για τον προσανατολισμό μιας εικόνας, συνήθως χρησιμοποιούνται τρεις γωνίες, η γωνία ω , η γωνία φ και η γωνία κ . στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού μιας εικόνας.



Στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού

ω είναι μια στροφή γύρω από τον «φωτογραφικό x-άξονα, φ είναι μια στροφή γύρω από το φωτογραφικό y – άξονα και κ είναι μια στροφή γύρω από τον φωτογραφικό z – άξονα (Kraus, 2003).

3.4. Παραμορφώσεις εικόνας

Οι εικόνες δεν είναι χάρτες. Ωστόσο συχνά ζητείται οι πληροφορίες που περιέχονται σε εικόνες Τηλεπισκόπησης να συσχετιστούν με κάποιον χάρτη της περιοχής ή να ενταχθούν σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. Ο μετασχηματισμός μιας εικόνας ώστε να διαθέτει αυτή τις γεωμετρικές ιδιότητες και το σύστημα αναφοράς συντεταγμένων μιας χαρτογραφικής προβολής ονομάζεται **γεωμετρική διόρθωση** της εικόνας. Η γεωμετρική διόρθωση απαιτεί (Μερτίκας, 1999):

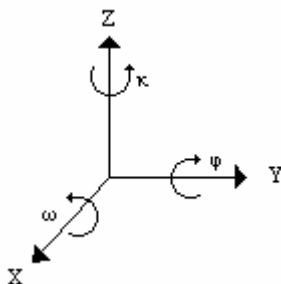
- Τον καθορισμό της σχέσης ανάμεσα στο σύστημα αναφοράς των συντεταγμένων της εικόνας και στον χάρτη
- Τον καθορισμό ενός συνόλου σημείων με βάση τα κέντρα των ψηφίδων στη συνορθωμένη εικόνα, τα οποία σημεία θα αποτελέσουν τον νέο κάρναβο της χαρτογραφικής προβολής
- Τον εκ νέου προσδιορισμό των τιμών του επιπέδου του γκρι στις νέες θέσεις των ψηφίδων από τις αρχικές τιμές της αδιόρθωτης εικόνας.

(Μερτίκας, 1999)

Επιδράσεις στη γεωμετρία της εικόνας

Στην τηλεπισκόπηση υπάρχουν τρεις τύποι γεωμετρίας των απεικονίσεων: η αεροφωτογραφία, η σάρωση και το ωστικό σάρωθρον ή διανυσματική απεικόνιση (push broom). Στην διανυσματική απεικόνιση (ASTER καταγραφικό) κάθε γραμμή έχει το δικό της προοπτικό σημείο και είναι προφανές ότι είναι αρκετά δύσκολο να διορθωθούν γεωμετρικά εικόνες που έχουν ληφθεί με αυτόν τον τύπο.

Η θέση και ο προσανατολισμός της πλατφόρμας λήψης μπορεί να προσδιοριστεί και να περιγραφεί από 6 παραμέτρους, που όλες επηρεάζουν τη γεωμετρία της εικόνας. Οι παράμετροι αυτές είναι οι καρτεσιανές συντεταγμένες (X,Y,Z) της θέσης της πλατφόρμας και οι γωνίες στροφής της (ω, φ, κ).



Σχήμα 3.2: Γωνίες στροφής μιας πλατφόρμας λήψης εικόνων

Πέραν των ανωτέρω παραγόντων, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την γεωμετρία της εικόνας, όπως η ταχύτητα της πλατφόρμας, οι ατμοσφαιρικές διαταράξεις και το ανάγλυφο του εδάφους. Για τους δορυφόρους οι παράγοντες που επιδρούν στη γεωμετρία των εικόνων έχουν να κάνουν με την περιστροφή της Γης και με τις κινήσεις των τεκτονικών πλακών (επηρεάζουν την τροχιά). Κατά κανόνα οι διάφορες πηγές γεωμετρικών παραμορφώσεων των εικόνων μπορούν να συνοψιστούν στις παραμορφώσεις που οφείλονται στον «*παρατηρητή*» όπως πεπερασμένη ταχύτητα σάρωσης μερικών ανιχνευτών, ευρύ οπτικό πεδίο ορισμένων ανιχνευτών, σφάλματα ανιχνευτών, μεταβολές των γωνιών στροφής, του ύψους και της ταχύτητας της πλατφόρμας, και στις παραμορφώσεις που οφείλονται στο «*αντικείμενο παρατήρησης*» όπως περιστροφή της Γης κατά την διάρκεια της λήψης, καμπυλότητα της Γης, πανοραμικές παραμορφώσεις, ανάγλυφο εδάφους, ατμοσφαιρικές διαταράξεις (Toutin, 2002).

| <i>Κατηγορία</i> | <i>Υποκατηγορία</i> | <i>Περιγραφή των πηγών σφάλματος</i> |
|----------------------------------|--|---|
| <i>"παρατηρητής"</i> | Πλατφόρμα-Ανιχνευτές Μετρητικά όργανα | σφάλματα ανιχνευτών (VIR, SAR ή HR) μεταβολές γωνιών στροφής, ύψους, ταχύτητας πλατφόρμας πεπερασμένη ταχύτητα σάρωσης ανιχνευτών ευρύ οπτικό πεδίο ορισμένων ανιχνευτών |
| <i>"αντικείμενο παρατήρησης"</i> | Ατμόσφαιρα Γη Χάρτης | ατμοσφαιρικές διαταράξεις καμπυλότητα, περιστροφή της Γης Γεωειδές, ελλειψοειδές |

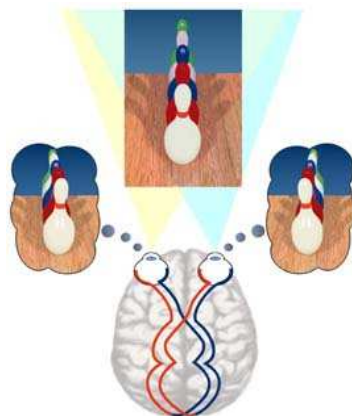
Πίνακας 3.1: Περιγραφή των πηγών σφαλμάτων (κατηγορίες και υποκατηγορίες αυτών)

Όλες αυτές οι παραμορφώσεις στην γεωμετρία της εικόνας που αναφέρθηκαν παραπάνω, απαιτούν μοντέλα και μαθηματικές εξισώσεις για την διόρθωση τους. Τα μοντέλα είναι τόσο 2D/3D εμπειρικά (όπως 2D/3D πολυωνυμικά ή 3D διαφορικών εξισώσεων) όσο ακριβή 2D/3D φυσικά μοντέλα⁵.

⁵ Το φυσικό μοντέλο αναλύεται στην παράγραφο 5.5 (τροχιακό μοντέλο)

3.5. Φυσική στερεοσκοπική όραση

Οι άνθρωποι, διαθέτουν δύο μάτια το ένα *πλάι* στο άλλο, αυτό επιτρέπει την παρατήρηση ενός αντικειμένου στο χώρο κάτω από δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες. Κάθε μάτι λαμβάνει διαφορετική εικόνα για το ίδιο αντικείμενο και τη στέλνει στον εγκέφαλο για επεξεργασία, μέσα σε ανύποπτο χρόνο, ο εγκέφαλος υπολογίζει παραλλάξεις για το συγκεκριμένο αντικείμενο και το γύρω περιβάλλον του και συγχωνεύει τις δύο εικόνες σε μία τρισδιάστατη, παρέχοντας έτσι την πληροφορία για το βάθος - απόσταση από το αντικείμενο. Ο όρος «στερεοσκοπική όραση» - stereoscopic vision, προέρχεται από την ελληνική λέξη «στέρεος» που σημαίνει συμπαγής, δηλαδή δυνατότητα όρασης συμπαγών - τρισδιάστατων αντικειμένων.



Εικ. 3.1: Ανθρώπινη όραση

3.6. Ο Φωτογραμμετρικός τριγωνισμός

Οι μέθοδοι του αεροτριγωνισμού απαλλάσσουν τη φωτογραμμετρία από την ανάγκη ύπαρξης σε κάθε στερεοσκοπικό μοντέλο τριών φωτοσταθερών προσδιορισμένων με επίγειες γεωδαιτικές μεθόδους. Με τον αεροτριγωνισμό είναι δυνατόν να γεφυρωθούν περιοχές χωρίς γεωδαιτικά σταθερά σημεία. Το αποτέλεσμα του αεροτριγωνισμού είναι τα στοιχεία του προσανατολισμού όλων των εικόνων, δηλαδή στερεομοντέλων και οι συντεταγμένες X, Y, Z συγκεκριμένων σημείων σε ένα δεδομένο σύστημα συντεταγμένων (συνήθως γεωδαιτικό). Τα σημεία αυτά μπορεί να είναι:

- Σημεία που έχουν επισημανθεί πριν από την πτήση,
- Φυσικά σημεία που επιλέγονται στις μετρητικές φωτογραφίες
- Τεχνητά σημεία που έχουν επιλεγεί και επισημανθεί στις αεροφωτογραφίες με κάποιο όργανο μεταφοράς σημείων

3.7. Η μετατόπιση λόγω αναγλύφου

Μετατόπιση αναγλύφου παρουσιάζεται σε όλες τις κατακόρυφες, και μη, φωτογραφίες. Οι κορυφές αντικειμένων, όπως κτιρίων, δέντρων, κλπ, μετατοπίζονται από τις βάσεις σε διεύθυνση ακτινική με κέντρο το πρωτεύον εικονοσημείο (principal point) ή το κέντρο της φωτογραφίας (Εικ. 3.2). Η μετατόπιση αυτή dr μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως (Avery and Berlin, 1992):

$$dr = \frac{\Delta hr}{H} \quad \text{ή} \quad \Delta h = \frac{H dr}{r}$$

όπου Δh είναι το ύψος του αντικειμένου – στόχου, r είναι η ακτινική απόσταση από το πρωτεύον εικονοσημείο μέχρι την κορυφή του μετατοπισμένου εικονοσημείου στη φωτογραφία και H το ύψος πτήσης του καταγραφικού από το έδαφος.



Εικ. 3.2: Καθορισμός υψών από αεροφωτογραφίες (όχι σε κλιμάκια) (Avery and Berlin, 1992)

Η μετατόπιση της εικόνας αυξάνει με την απόσταση r από το πρωτεύον εικονοσημείο. Ο υπολογισμός του ύψους των αντικειμένων χρησιμοποιώντας την μετατόπιση του αναγλύφου ισχύει με τις εξής προϋποθέσεις:

- ✓ Το πρωτεύον εικονοσημείο και το ναδίρ θεωρούνται ότι ταυτίζονται, δηλαδή ότι η φωτογραφία είναι αυστηρά κατακόρυφη.

- ✓ Το ύψος της πτήσης **H** πάνω από την βάση του αντικειμένου μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια.
- ✓ Η κορυφή **B** καθώς και η βάση **A** του αντικειμένου εμφανίζονται ευκρινώς στη φωτογραφία.
- ✓ Η ακτινική μετατόπιση dr του αντικειμένου στην εικόνα μπορεί να μετρηθεί.

Αν ισχύουν όλες οι παραπάνω συνθήκες, τότε το ύψος Δh του αντικειμένου μπορεί να προσδιοριστεί από την σχέση :

$$\Delta h = \frac{dr}{r} H$$

όπου dr είναι το μήκος του παρατηρούμενου ειδώλου του αντικειμένου από την βάση μέχρι την κορυφή, r η ακτινική απόσταση από το ναδίρ μέχρι την κορυφή του αντικειμένου και H είναι το ύψος πτήσης από την βάση του αντικειμένου.

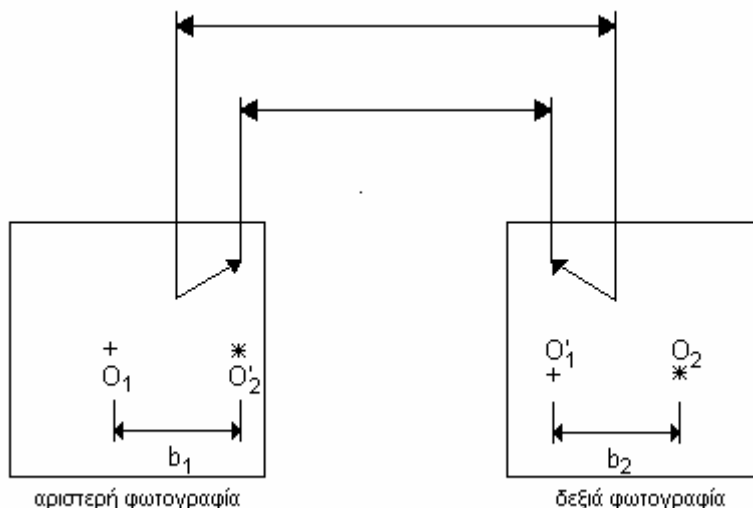
3.8. Η στερεοσκοπική παράλλαξη

Για περιοχές με έντονο ανάγλυφο η πιο κοινή τεχνική μέτρησης υψών αντικειμένων είναι η μέτρηση της στερεοσκοπικής παράλλαξης σε ένα ζευγάρι αεροφωτογραφιών. Τί είναι όμως στερεοσκοπική παράλλαξη;

Είναι η μετατόπιση ενός αντικειμένου που προκαλείται από την αλλαγή γωνίας παρατήρησης. Η στερεοσκοπική παράλλαξη προκαλείται λαμβάνοντας φωτογραφίες του ίδιου αντικειμένου αλλά από διαφορετικά σημεία παρατήρησης. Επικαλυπτόμενες αερο-φωτογραφίες καλούνται στερεοζεύγη και χρησιμοποιούνται στη μέτρηση του ύψους ενός αντικειμένου. Κατά την μέτρηση υψών αντικειμένων σε στερεο – ζεύγη μπορούν να καθοριστούν δύο ειδών παραλλάξεις: η απόλυτη στερεοσκοπική παράλλαξη και η διαφορική παράλλαξη.

Η απόλυτη στερεοσκοπική παράλλαξη p

Η απόλυτη στερεοσκοπική παράλλαξη p (παράλλαξη κατά x , εφόσον η διεύθυνση πτήσης είναι παράλληλη με τον άξονα x) είναι το άθροισμα των αποστάσεων μεταξύ της βάσης συζυγών στόχων και των αντίστοιχων σημείων των ναδίρ μιας εικόνας. Η απόλυτος παράλλαξη p μετρείται πάντα παράλληλα με τη γραμμή πτήσης. Για λόγους απλότητας, ως απόλυτη παράλλαξη p λαμβάνεται η μέση αριθμητική τιμή του μήκους της βάσης των δύο εικόνων που συνιστούν το στερεοζεύγος. Ως μήκος b της βάσης της εικόνας λογίζεται η απόσταση, συνήθως σε [mm], μεταξύ του πρωτεύοντος εικονοσημείου (κέντρο της μίας εικόνας) και του αντίστοιχου συζυγούς εικονοσημείου του κέντρου της άλλης εικόνας.



Σχήμα 3.3: Μετρήσεις παράλλαξης

$$p = \frac{b_1 + b_2}{2} = \bar{b}$$

Συνήθως γίνεται χρήση 2 διαδοχικών αεροφωτογραφιών με επικάλυψη 60% και οι μετρήσεις γίνονται από το κέντρο της αεροφωτογραφίας.

Η διαφορική παράλλαξη dp

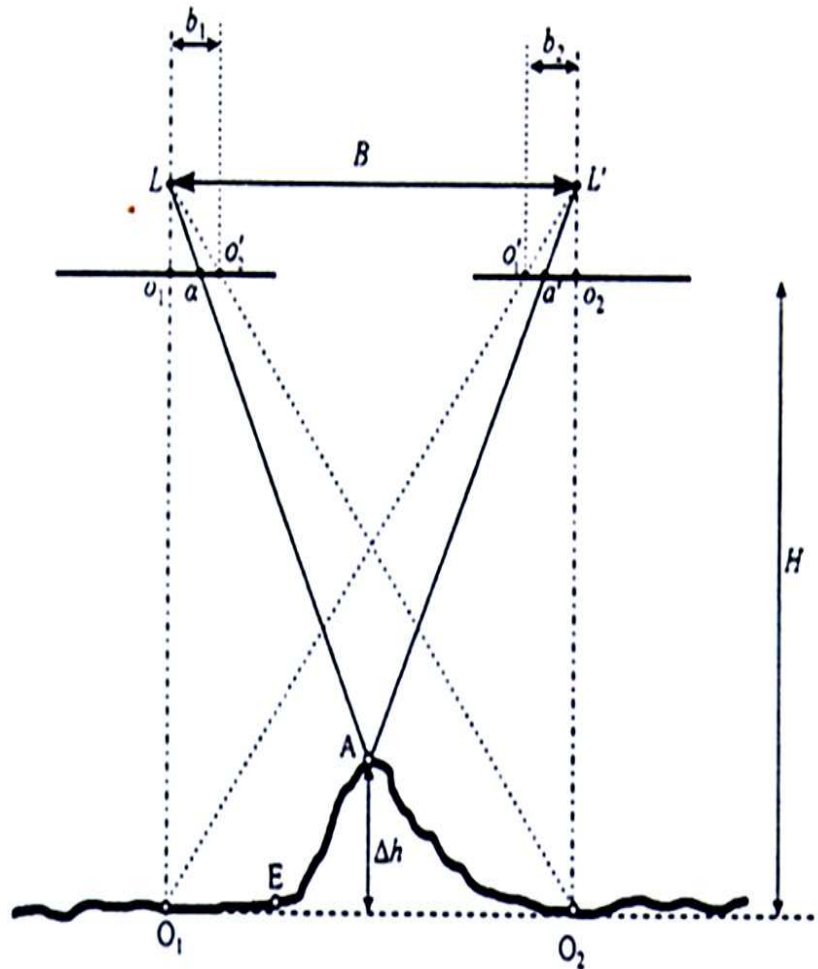
Διαφορική παράλλαξη dp είναι η διαφορά της απόλυτης παράλλαξης στην κορυφή και στη βάση ενός αντικειμένου (στόχου) που μετρείται σε ένα στερεο - ζεύγος φωτογραφιών : $dp = p_A - p_E$

Η διαφορική παράλλαξη μετρείται με ειδικά όργανα, όπως η παραλλακτική ράβδος ή ηλεκτρονικά, με άλλα εξειδικευμένα όργανα.

3.9. Εξαγωγή ύψους από στερεο - ζεύγος

Γιατί ένα στερεοζεύγος μπορεί να παρέχει απ'ευθείας X,Y και Z συντεταγμένες;
 Μαθηματικά, μία εικόνα είναι η αναπαράσταση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου σε ένα δισδιάστατο χώρο. Η φυσική σχέση μεταξύ των δύο χώρων αντιστοιχεί στη συνθήκη συγγραμμικότητας. Η συνθήκη αυτή λέει ότι το κέντρο έκθεσης (exposure centre), το σημείο στο έδαφος, και το σημείο στην εικόνα βρίσκονται στην ίδια ευθεία. Σαν αποτέλεσμα της συνθήκης συγγραμμικότητας, ένας βαθμός ελευθερίας χάνεται μεταξύ τρισδιάστατης πραγματικότητας και της δισδιάστατης εικόνας.
 Συνεπώς , επιπλέον πληροφορία είναι απαραίτητη για την ανακατασκευή της τρίτης διάστασης από δισδιάστατες εικόνες. Μία εικόνα μπορεί να δώσει μόνο χ και ψ

συντεταγμένες σημείων στην εικόνα (γι' αυτό χρειάζονται δεδομένα υψομέτρου στην διαδικασία ορθό-ανόρθωσης).



Σχήμα 3.4: Μετρήσεις παράλαξης

Επομένως το ύψος Δh ενός αντικειμένου καθορίζεται από μετρήσεις παραλλάξεων σύμφωνα με την προσεγγιστική σχέση (Campbell, 1987, Moffitt and Mikhail, 1980, Wolf, 1997):

$$\Delta h = H \frac{dp}{b + dp}$$

Όπου H το ύψος πτήσης του καταγραφικού συστήματος πάνω από την βάση του αντικειμένου, $b=p$ η απόλυτος παράλλαξη στη βάση του αντικειμένου που μετρείται

($b = \frac{b_1 + b_2}{2}$), και dp η διαφορική παράλλαξη.

3.10. Αυτόματο συνταίριασμα εικόνων (*image matching – stereo correlation*)

«Συνταίριασμα» εικόνων καλείται ο αυτόματος τρόπος αναγνώρισης και μέτρησης αντίστοιχων σημείων σε δύο ή περισσότερες επικαλυπτόμενες εικόνες. Υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι ταιριάσματος εικόνων, οι αλγόριθμοι αυτοί ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Συνταίριασμα με βάση την επιφάνεια
- Συνταίριασμα με βάση χαρακτηριστικά
- Σχετικό συνταίριασμα.

Οι τεχνικές στερεοταύτησης με βάση την επιφάνεια ονομάζονται επίσης τεχνικές ταιριάσματος με βάση το σήμα και καθορίζουν την αντιστοιχία μεταξύ δύο επιφανειών της εικόνας εξετάζοντας την ομοιότητα των τιμών του γκριζου. Οι πιο γνωστές μέθοδοι αυτής της κατηγορίας είναι ο αλγόριθμος **δια-συσχετισμού (cross correlation)** και ο αλγόριθμος συσχετισμού **ελαχίστων τετραγώνων (least square correlation)**

Οι τεχνικές ταιριάσματος με βάση την επιφάνεια, χρησιμοποιούν παράθυρα συσχέτισης. Αυτά τα παράθυρα αποτελούνται από τοπικά γειτονικά εικονοστοιχεία. Ένα παράδειγμα παραθύρων συσχέτισης είναι τα τετράγωνα παράθυρα γειτονικών εικονοστοιχείων (π.χ 3x3, 5x5, 7x7 pixels). Στην πράξη, κάθε τεχνική ταιριάσματος χρησιμοποιεί παράθυρα που ποικίλουν στο σχήμα και τις διαστάσεις. Οι τεχνικές ταιριάσματος με βάση την επιφάνεια χρησιμοποιούν τα διάφορα χαρακτηριστικά των παραθύρων για το ταίριασμα επίγειων χαρακτηριστικών που διακρίνονται και στην μία και στην άλλη εικόνα.

Ένα παράθυρο αναφοράς είναι το πηγαίο παράθυρο στην πρώτη εικόνα, το οποίο παραμένει σταθερό. Οι διαστάσεις του είναι συνήθως τετραγωνικές. Τα παράθυρα «αναζήτησης» είναι υποψήφια παράθυρα στη δεύτερη εικόνα που αξιολογούνται σε σχέση με το σταθερό παράθυρο αναφοράς. Κατά τη διάρκεια του συσχετισμού, διάφορα παράθυρα «αναζήτησης» εξετάζονται μέχρι να βρεθεί η κατάλληλη θέση που αντιστοιχεί στο παράθυρο αναφοράς.

Υπολογισμοί συσχέτισης:

Για την υπολογιστική συσχέτιση των παραθύρων που προαναφέρθηκαν, υπάρχουν δύο κύριες τεχνικές, η μία είναι η **δια-συσχέτιση (cross correlation)** και η άλλη είναι με τη χρήση ελαχίστων τετραγώνων. Η δια-συσχέτιση υπολογίζει τον συντελεστή

συσχέτισης των τιμών του γκριζου μεταξύ του πρότυπου παραθύρου και του εκάστοτε παραθύρου «αναζήτησης», σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

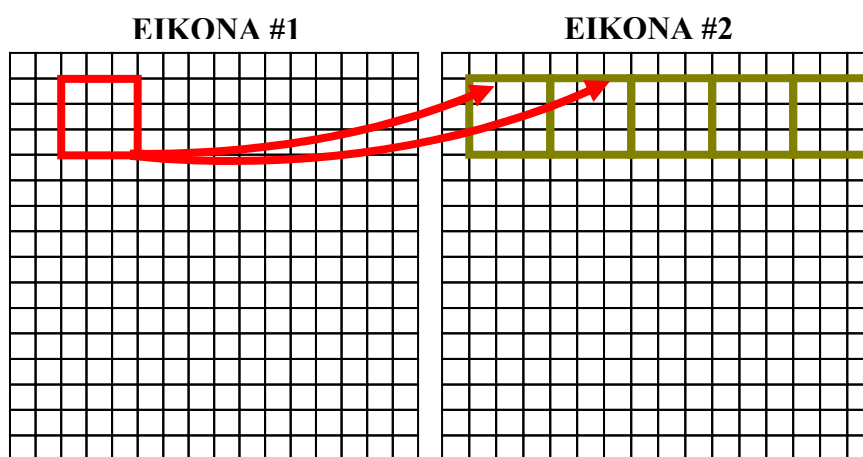
$$\rho = \frac{\sum_{i,j} [g_1(c_1, r_1) - \bar{g}_1][g_2(c_2, r_2) - \bar{g}_2]}{\sqrt{\sum_{i,j} [g_1(c_1, r_1) - \bar{g}_1]^2 \sum_{i,j} [g_2(c_2, r_2) - \bar{g}_2]^2}}$$

όπου:

$$\bar{g}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} g_1(c_1, r_1), \quad \bar{g}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} g_2(c_2, r_2)$$

και:

- ρ = ο συντελεστής συσχέτισης
- $g(c,r)$ = η τιμή του γκριζου του εικονοστοιχείου (c,r)
- $c1,r1$ = οι συντεταγμένες στην αριστερή εικόνα
- $c2,r2$ = οι συντεταγμένες στην δεξιά εικόνα
- n = ο αριθμός των εικονοστοιχείων στο παράθυρο
- i,j = δείκτες στο παράθυρο συσχέτισης



Η διαδικασία “Image matching” είναι μια χρονοβόρα διαδικασία, γι’αυτό συνήθως χρησιμοποιείται η τεχνική της πυραμίδας έτσι ώστε να υπάρχουν καλύτερα αποτελέσματα και να μειώνεται ο χρόνος της διαδικασίας ταιριάσματος. Χρησιμοποιώντας την τεχνική της πυραμίδας, όπως θα δούμε στη συνέχεια, η συσχέτιση γίνεται βαθμωτά σε διαφορετικές αναλύσεις των εικόνων (Πατιάς, 1994).

4. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους DEM

4.1. Ορισμοί

Ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι η ψηφιακή περιγραφή της επιφάνειας, η οποία βασίζεται σε μετρήσεις σημείων της και συνοδεύεται από ένα σύνολο κανόνων, που επιτρέπουν να εξαχθεί μία πληροφορία.

Ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους αποτελείται από :

- Έναν κατάλογο συντεταγμένων X,Y,Z
- Ένα σύνολο κατάλληλων κανόνων παρεμβολής π.χ. να βρεθεί το Z για ένα οποιοδήποτε άλλο ζεύγος X,Y

Οι πρώτοι ορισμοί:

Ο Jaurequi (1984) προσδιορίζει το ψηφιακό μοντέλο εδάφους σαν μία στατιστική απεικόνιση μιας συνεχόμενης επιφάνειας εδάφους από ένα μεγάλο αριθμό επιλεγμένων σημείων με γνωστές συντεταγμένες x,y,z. Ο Aronoff (1990) αντιτίθεται ότι υπάρχει ένα ζεύγος μετρήσεων ανύψωσης για περιοχές της γήινης επιφάνειας και ότι έχει (αυτό το ζεύγος) διαφορετικά ονόματα: digital elevation model, digital terrain model, digital terrain data. Ο Meijerink et al (1994) διαφοροποιεί το DEM από το DTM. Καθορίζει ένα digital terrain model ως μία χωρική κατανομή από χαρακτηριστικά του εδάφους, ως έναν τοπογραφικό χάρτη σε ψηφιακή μορφή, όπου δεν αποτελείται μόνο από το DEM αλλά και από κλίσεις, προσανατολισμό, χρήσεις γης, οικισμούς, λεκάνες απορροής και άλλα πολλά.. Γενικά ένα DEM είναι ένα ψηφιακό αρχείο αποτελούμενο από ανυψώσεις εδάφους (ανάγλυφο εδάφους) και ένα DTM αποτελείται από συμπληρωματικές πληροφορίες του εδάφους.

4.2. Μορφές DEM

Ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους μπορεί να εμφανίζεται με διαφορετικά format δηλαδή με διαφορετικές μορφές. Οι κυριότερες είναι: point model – σημειακό μοντέλο , line model – γραμμικό μοντέλο, grid/raster model – μοντέλο πλέγματος και το μοντέλο TIN (triangular irregular network) (Kiyngi, 1998).

- Σημειακό μοντέλο - Point Model

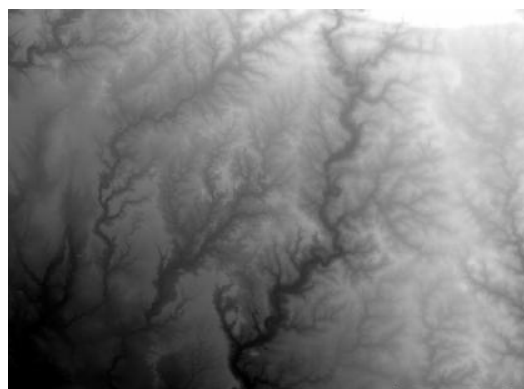
Σε αυτό το μοντέλο οι ανυψώσεις περιγράφονται από συγκεκριμένο αριθμό σημείων . Για ένα συγκεκριμένο σημείο , οι z συντεταγμένες προστίθενται για να αντιστοιχιστούν με τις x,y συντεταγμένες. Η χωρική ανάλυση, όπως η παρεμβολή, μπορεί να εφαρμοσθεί στα δεδομένα του μοντέλου αυτού.

- Γραμμικό μοντέλο - Line model

Το έδαφος περιγράφεται από ισοϋψείς των οποίων οι z συντεταγμένες (συντεταγμένες ύψους) διατηρούνται σταθερές για τις συντεταγμένες x, y κατά μήκος μιας ισοϋψούς. Βάση της παρεμβολής, μπορεί να εξαχθεί το υψόμετρο σημείων, μεταξύ γειτονικών ισοϋψών. Μπορεί να γίνει μία απλή ανάλυση επικάλυψης (υπέρθηση) σε θεματικούς χάρτες (Ramgool 1995) ή τηλεπισκοπικά δεδομένα με σκοπό να καθοριστεί το υψόμετρο και έτσι να σκιαγραφιστούν οι ζώνες για την λήψη αποφάσεων.

- grid/ raster δομή – Μοντέλο πλέγματος

Τα μοντέλα πλέγματος είναι όμοια με τα ψηφιδωτά μοντέλα, όπου το υψόμετρο απεικονίζεται σε κάθε ένα εικονοστοιχείο – pixel. Με τον τρόπο αυτό, γίνεται εύκολος υπολογισμός της κλίσης, του προσανατολισμού, της διεύθυνσης ροής, της ορατότητας, κ.α.



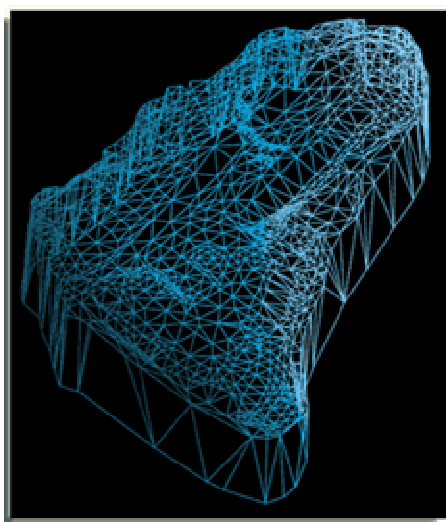
Εικ. 4.1: grid – raster μορφή DEM

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους αυτού του τύπου αναπαριστούνται ως BFW εικόνες στις οποίες οι φωτεινές περιοχές αντιστοιχούν σε μεγάλα υψόμετρα και οι σκοτεινές περιοχές σε χαμηλά υψόμετρα (Εικ. 4.1). Αυτή είναι μία από τις πιο κοινές μορφές ενός DEM . «Περιγράφει το έδαφος από ένα δειγματοληπτούμενο σύνολο υψομέτρων για έναν αριθμό θέσεων εδάφους και αυτά τα σημεία εδάφους είναι κατανεμημένα σε κανονικά διαστήματα μεταξύ τους» (Moore et al. 1991). Ένα μειονέκτημα αυτού του τύπου DEM είναι ότι για μεγάλες περιοχές ξοδεύεται μία μεγάλη ποσότητα μνήμης αποθηκεύοντας μεγάλη ποσότητα περιττής υψομετρικής πληροφορίας. Περισσότερο πολύπλοκες δομές δεδομένων όπως τα quadtrees μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί των arrays έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απαιτήσεις αποθήκευσης των κανονικών πλεγμάτων (regular grids), ωστόσο ή εφαρμογές τους είναι πολύ πιο πολύπλοκες. Τέτοιου είδους προβλήματα μπορούν να λυθούν χρησιμοποιώντας

αλγορίθμους συμπίεσης δεδομένων και εξαρτάται από την ακρίβεια των τιμών z. Τέλος αυτό το μοντέλο είναι απλό και τείνει να γίνει πιο αποδοτικό από τα άλλα. Τα υψομετρικά δεδομένα σε αυτή την μορφή του πλέγματος – grid format είναι σχετικά άφθονα και φθηνά. Μειονεκτήματα εμφανίζει όταν το έδαφος παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα ή όταν υπάρχουν γραμμικά στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Τα μειονεκτήματα αυτά συνίστανται στο ότι μπορεί να χαθεί πληροφορία μεταξύ των εικονοστοιχείων – pixels.

- Triangular Irregular Network (TIN)

Ένα μοντέλο TIN (εικ. 4.2) αποτελείται από ένα συνεχές πλέγμα ακανόνιστων τριγώνων, τα οποία διαφοροποιούνται ως προς το μέγεθος τους ανάλογα με την ακρίβεια αποτύπωσης της τραχύτητας της επιφάνειας. Μεγάλα τρίγωνα για σχετικά επίπεδες ή ομαλά κεκλιμένες επιφάνειες και μικρά τρίγωνα για επιφάνειες μεταβλητής κλίσης. Η κλίση, ο προσανατολισμός και η διεύθυνση ροής μπορούν άμεσα να υπολογιστούν από ένα μοντέλο TIN.



Εικ. 4.2: Μοντέλο TIN

Αυτό το μοντέλο είναι η δεύτερη γνωστότερη μορφή για τα DEMs, είναι βασισμένο στα σημεία, τις γραμμές και τα τρίγωνα.

TIN ή grid/raster μορφή;

Τα μοντέλα TIN χρησιμοποιούνται για πιο λεπτομερείς εφαρμογές. Αν η ακρίβεια θέσης της πηγής δεδομένων δεν είναι πολύ μεγάλη ή όταν δεν απαιτείται η ακριβής παρουσίαση γραμμικών χαρακτηριστικών όπως δρόμοι ή ποτάμια τότε συνιστάται η χρήση ενός μοντέλου πλέγματος. Από την άλλη αν η πηγή δεδομένων είναι πολύ ακριβής ή όταν απαιτείται η παρουσίαση γραμμικών χαρακτηριστικών τότε συνιστάται η χρήση ενός μοντέλου TIN (Esri, 2002).

4.3. Μέθοδοι εξαγωγής DEM

Με τις μοντέρνες επιστημονικές μεθόδους και τεχνολογίες, υπάρχει ένας αριθμός στρατηγικών για την συλλογή ψηφιακών δεδομένων ανύψωσης από φωτογραμμετρικά στερεομοντέλα, από στερεομοντέλα ωηφιοποιημένων ισοϋψών, από ψηφιακούς τοπογραφικούς χάρτες ισοϋψών, από μετασχηματισμένα υψογραφικά και από υδρογραφικά διανυσματικά αρχεία. Από αυτές τις τεχνικές εξαγωγής DEM, η εξαγωγή από διανυσματικά υψογραφικά δεδομένα παράγει ένα από τα πιο ακριβή μοντέλα. Επιπλέον, εξαιτίας της δυσκολίας συλλογής σχετικών δεδομένων και την ακριβή παραγωγική διαδικασία, η χρήση δορυφορικών δεδομένων για την παραγωγή DEM είναι ένα πρόσφατο αναπτυσσόμενο θέμα έρευνας. Το DEM μπορεί να εξαχθεί από αυτόματη συσχέτιση εικόνων δορυφορικής τηλεπισκόπησης.

Γενικά υπάρχουν πολλά στάδια που πρέπει να ξεπεραστούν για την δημιουργία και μετά για την χρήση του DEM. Η εκτέλεση των διαδικασιών του DEM (για την παραγωγή DEM) πρέπει να προσανατολιστεί προς την κατόρθωση των παρακάτω:

- ✓ Εμφάνιση (από τα εξαγόμενα προϊόντα)
- ✓ Ακρίβεια (σαφήνεια και κατανόηση)
- ✓ Αποδοτικότητα (με σεβασμό στον χρόνο και στο κόστος)
- ✓ Αξιοπιστία
- ✓ Απλότητα (των λειτουργιών) και
- ✓ Προσαρμοστικότητα (του συστήματος DEM στους χρήστες)

Οι βασικές λειτουργίες να την κατόρθωση των παραπάνω φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 4.1: Η σχέση μεταξύ των κύριων διαδικασιών εξαγωγής DEM

4.4. Εφαρμογές

- Υπολογισμός ιδιοτήτων της επιφάνειας του εδάφους (υψόμετρο σε κάθε σημείο, κλίση, προσανατολισμός, φωτοσκίαση, κ.α.)
- Εντοπισμός στοιχείων όπως οι λεκάνες απορροής, κορυφογραμμές, δίκτυα επικοινωνιών και υδροδότησης, δίκτυα ορατότητας, κ.α.
- Μοντελοποίηση υδρολογικών λειτουργιών, ενεργειακή ροή, δασικές πυρκαγιές, μετακίνηση πληθυσμού, κ.α.
- *Ανάλυση ορατότητας-LOS(line of sight)*
 - Ανάλυση ορατότητας –οπτικής επικοινωνίας σημείων πάνω σε μία επιφάνεια.
 - Οπτική επαφή σημείων
 - Υπολογισμός της ορατότητας (ευθείας γραμμής) που ενώνει το pixel του παρατηρητή με κάθε άλλο pixel στην επιφάνεια. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση την εφαπτομένη από τον παρατηρητή προς κάθε κοντινότερο pixel. Όσο αυξάνει η εφαπτομένη, το pixel γίνεται ορατό.

Το DEM ίνα σημαντικό σε εφαρμογές στην επιφάνεια της γης, όπως για τον σχεδιασμό υδραυλικών και υδρολογικών μοντέλων, για την εκτίμηση των πηγών εδάφους, για την διαχείριση των λεκανών απορροής και των οικοσυστημάτων καθώς και για τον υπολογισμό του όγκου των πετρωμάτων.

Συγκεκριμένα είναι χρήσιμο για :

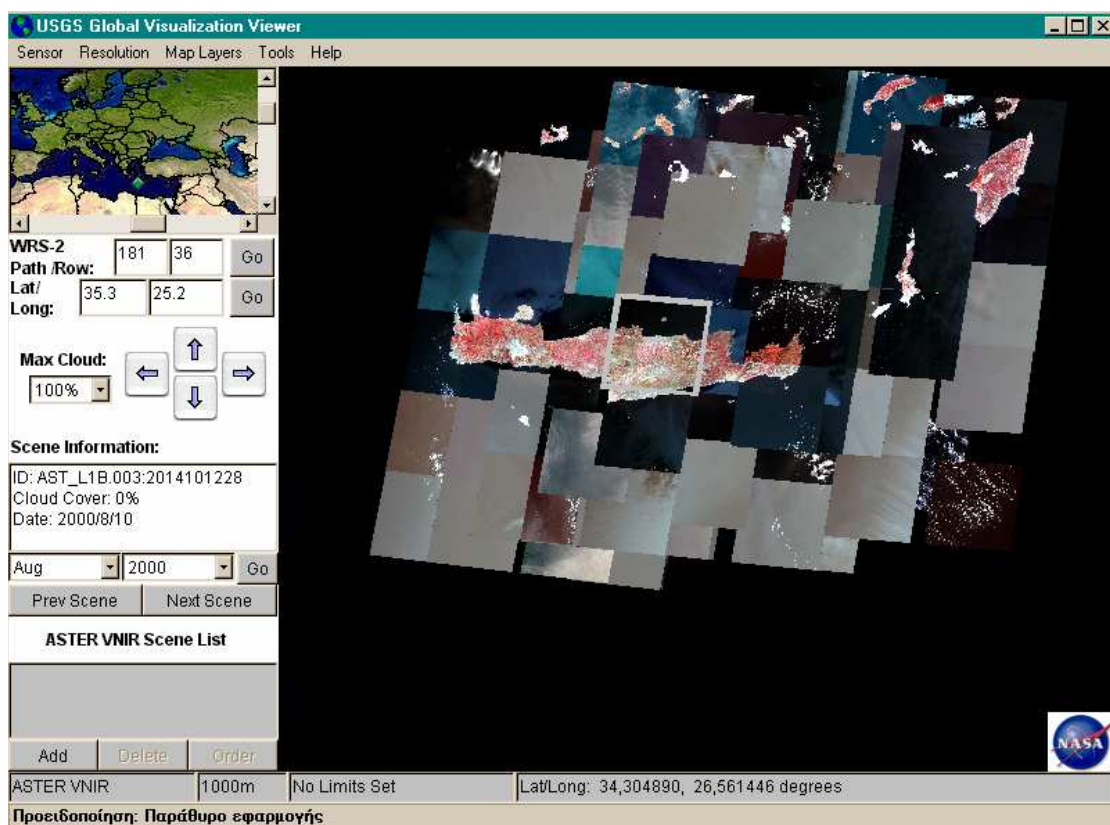
- ✓ Χωροθέτηση και έλεγχο
- ✓ Μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- ✓ Δίκτυο κεραιών κινητής τηλεφωνίας
- ✓ Δομικές γεωλογικές μελέτες
- ✓ Οργάνωση χερσαίων επιχειρήσεων
- ✓ Εξομοίωση αμυντικών σχεδίων
- ✓ Γεωγραφικά συστήματα Πληροφοριών

Ένα DEM αποτελεί υπόβαθρο πολλών εφαρμογών των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών συμπεριλαμβανομένου των υδρολογικών αναλύσεων, καθώς και των αναλύσεων για την διάκριση των γεωλογικών δομών. Τέλος ένα DEM είναι ζωτικό για την δημιουργία ορθοανορθωμένων εικόνων (Erdas 2001).

5. Μεθοδολογία εργασίας

5.1. Διαθέσιμα δεδομένα

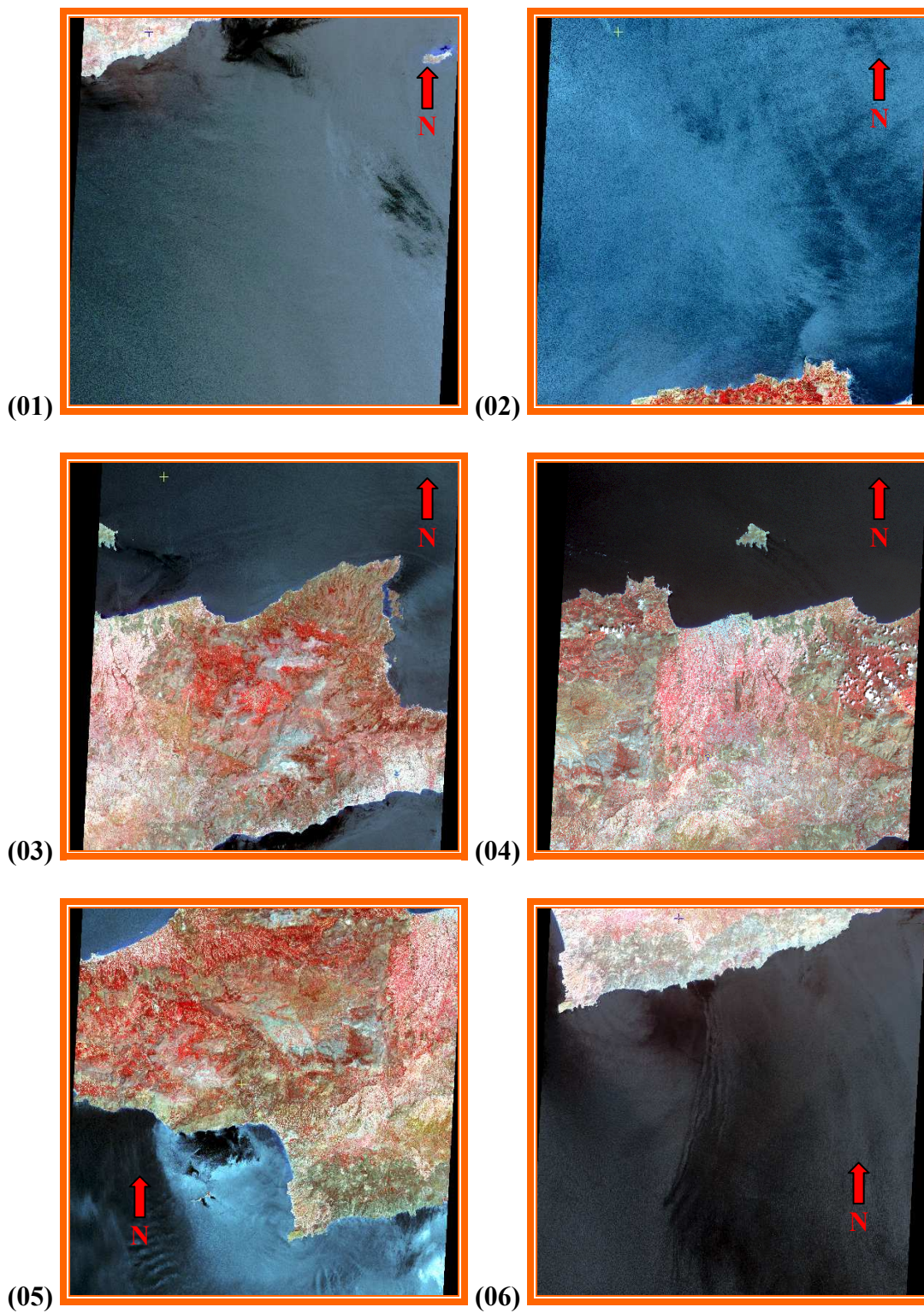
Για την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν L1B δορυφορικά δεδομένα του καταγραφικού ASTER σε format HDF EOS. Μια προεπισκόπηση των εικόνων οι οποίες ήταν διαθέσιμες φαίνεται στην παρακάτω οθόνη:

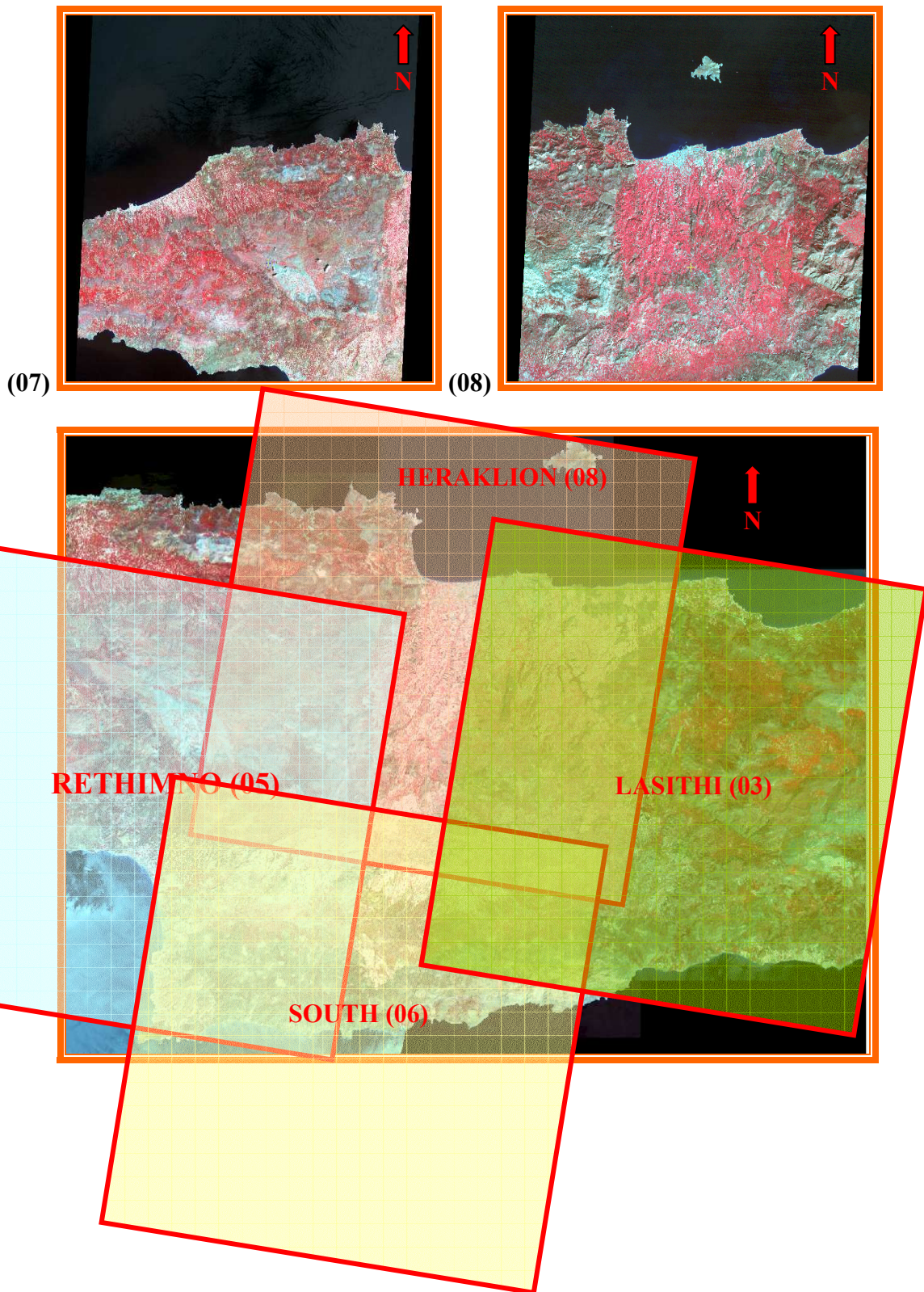


Επίσης από τις εργασίες πεδίου με τη χρήση διαφορικού GPS, συλλέχθηκε πληθώρα σημείων επίγειου ελέγχου GCPs (Ground Control Points) και απλών σημείων ελέγχου C.P (Check Points), τα οποία παρατίθενται στο παράρτημα I της εργασίας. Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι ακόλουθες:

| Κωδικός: | Όνομα αρχείου εικόνας: | Περιγραφή: |
|----------|---|--------------------------------|
| 01 | AST_L1B_003_06072000092622_04232003145453.hdf | Νότια ακτή κεντρικού Ηρακλείου |
| 02 | AST_L1B_003_06142000093211_04242003075135.hdf | Βόρειο-Δυτικό Ηράκλειο |
| 03 | AST_L1B_003_06072000092613_04232003144412.hdf | Β.Δ Λασιθι – Ν.Δυτικό Ηράκλειο |
| 04 | AST_L1B_003_08102000092525_06192003033124.hdf | Βόρειο & Κεντρικό Ηράκλειο |
| 05 | AST_L1B_003_06142000093220_04242003075211.hdf | Κεντρικό Ρέθυμνο |
| 06 | AST_L1B_003_08102000092534_06192003034353.hdf | Ν.Δυτική ακτή του Ηρακλείου |
| 07 | AST_L1B_003_06162003091102_07032003165627.hdf | Κεντρικό Ανατολικό Ρέθυμνο |
| 08 | AST_L1B_003_10192002091155_11052002093315.hdf | Β&Κ Ηράκλειο – χωρίς σύννεφα |

Στο τελικό μοντέλο για την εξαγωγή ,DEM χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες 03,05,06,08





5.2. Έλεγχος υψομετρικής πιστότητας GPS

Πριν από τις εργασίες πεδίου και την συλλογή GCP's πραγματοποιήθηκε έλεγχος της υψομετρικής ακρίβειας του οργάνου με σκοπό την αποφυγή σφαλμάτων στις μετέπειτα μετρήσεις. Στην παρούσα εργασία ο έλεγχος της ακρίβειας του οργάνου εκτελέστηκε ως εξής:

- Μέτρηση GCP σε καλά καθορισμένα από πριν , ως προς το ύψος σημεία.
- Μέτρηση GCP σε διάφορα ύψη πάλι σε καλά καθορισμένα ως προς το ύψος σημεία.
- Σύγκριση του ύψους που δίνει η μέτρηση με το ύψος του σημείου που μετρήθηκε και που έχει ακριβή z παράμετρο.

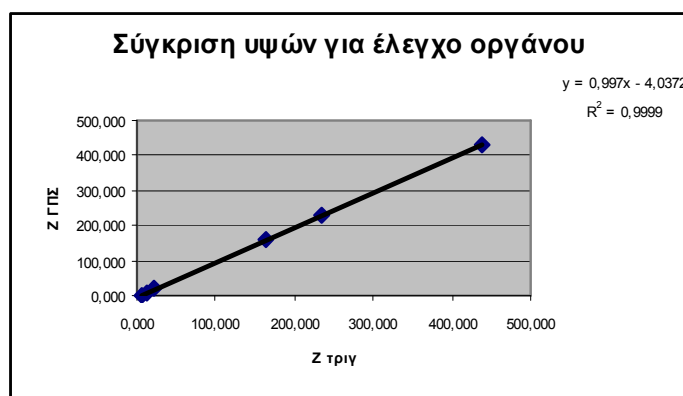
Τα αποτελέσματα του «ελέγχου» του οργάνου θεωρήθηκαν αρκετά ικανοποιητικά αφού οι αποκλίσεις ήταν σχετικά μικρές. Πιο συγκεκριμένα:

Σημεία με καθορισμένο ύψος – Z trig

Μέτρηση στα συγκεκριμένα σημεία – Z GPS:

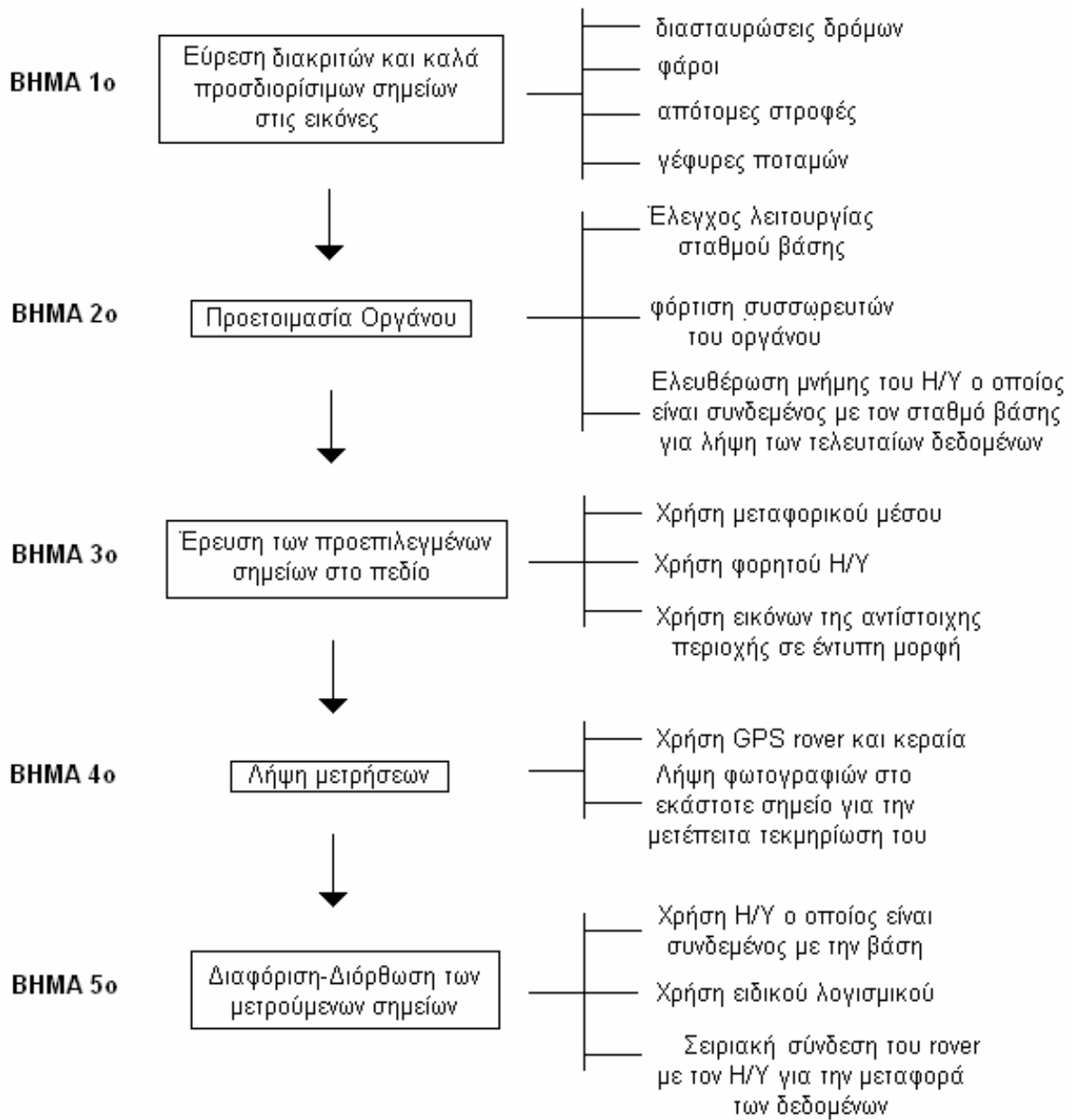
Διαφορές – ΔZ

| Z GPS | Z trig | ΔZ |
|---------|---------|-------|
| 164,500 | 160,285 | 4,215 |
| 438,210 | 433,790 | 4,420 |
| 11,321 | 5,530 | 5,791 |
| 20,443 | 19,860 | 0,583 |
| 235,410 | 228,476 | 6,934 |
| 6,990 | 2,050 | 4,940 |



Γίνεται φανερό ότι η ακρίβεια του οργάνου είναι καλή και μπορεί να δώσει αξιόπιστα και ακριβή αποτελέσματα. Πρέπει να τονιστεί ότι η παραπάνω διαδικασία ελέγχου ακρίβειας του οργάνου δεν ακολουθεί κάποιο στατιστικό μοντέλο ελέγχου αλλά ολοκληρώνεται γρήγορα μετά την κτήση μετρήσεων σε 5 ή 6 σημεία.

5.3. Μεθοδολογία πεδίου (συλλογή επίγειων σημείων ελέγχου GCP's)



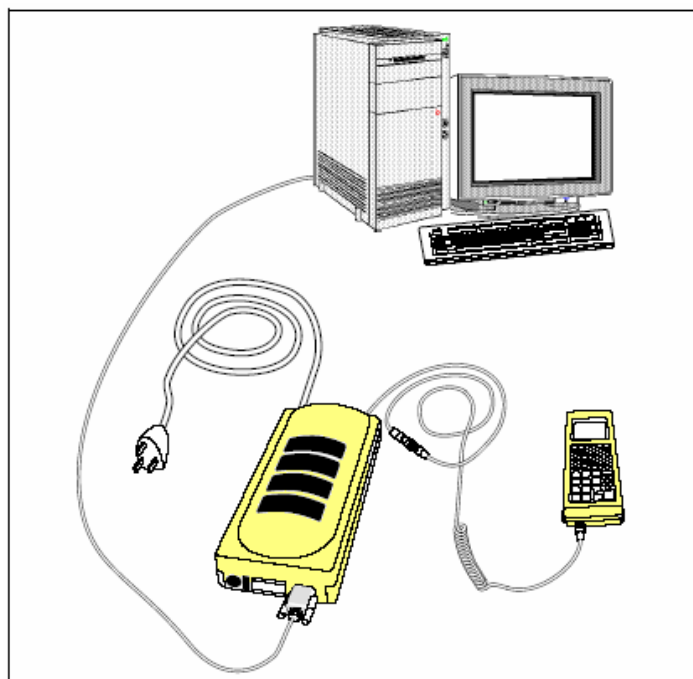
Διάγ. 5.1: Στάδια μεθοδολογίας πεδίου

1. Αναγνώριση διακριτών και καλά προσδιορισμένων σημείων στις εικόνες

Αρχικά γίνεται η επιλογή της περιοχής στην οποία θα ληφθούν οι μετρήσεις. Στην συνέχεια από τις εικόνες ASTER που διατίθενται για όλο τον νομό προσδιορίζεται η περιοχή και σε αυτήν κάποια διακριτά και εμφανή σημεία. Τα σημεία αυτά θα πρέπει να είναι τόσο προσεχτικά επιλεγμένα έτσι ώστε αργότερα να μπορούν να προσδιοριστούν στην εικόνα με ακρίβεια ενός pixel. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι γίνεται χρήση των εικόνων του καναλιού 3 (0.78-0.86μm) αφού η εισαγωγή των σημείων μετέπειτα στο ειδικό λογισμικό (PCI Geomatica 9) θα γίνει στις εικόνες 3N και 3B. Παραδείγματα εμφανών και καλά προσδιορίσιμων σημείων είναι : διασταυρώσεις δρόμων, φάροι, λιμενοβραχίονες, γέφυρες ποταμών, απότομες στροφές (180°) κ.α.

2. Προετοιμασία Οργάνου

Το όργανο προσδιορισμού θέσης (GPS) που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας Trimble. Το συγκεκριμένο GPS είναι διαφορικό⁶ και διαθέτει σταθμό βάσης και κινητό δέκτη-rover (Εικ.5.1). Όσον αφορά την προετοιμασία του, απαιτείται έλεγχος των συσσωρευτών, έλεγχος λειτουργίας του σταθμού αναφοράς αλλά και ελευθέρωση μνήμης από τον Η/Υ, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με την βάση, έτσι ώστε να ληφθούν και οι πιο πρόσφατες μετρήσεις.



Εικ. 5.1: Σταθμός αναφοράς και κινητός δέκτης-rover

⁶ Βλέπε διαφορικό GPS παράγραφος 2.8

3. Εύρεση των προεπιλεγμένων σημείων στο πεδίο

Πραγματοποιείται η μετάβαση στα σημεία που έχουν επιλεγεί στο βήμα 1. Για γρήγορη και ακριβή μετακίνηση στα σημεία γίνεται χρήση φορητού υπολογιστή στον οποίο υπάρχει ειδικό λογισμικό (ArcView 3.2) με δεδομένα το οδικό δίκτυο του νομού, οι οικισμοί καθώς και τα σημεία που έχουν προεπιλεγεί. Επίσης βοηθητική είναι και η έντυπη μορφή της εικόνας της περιοχής όπου αναζητώνται τα σημεία.

4. Λήψη μετρήσεων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η λήψη των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με GPS της εταιρείας Trimble. Στην εικόνα 5.2 φαίνεται ο κινητός δέκτης-rover του συστήματος. Το rover αποτελεί τον απαραίτητο εξοπλισμό για κάθε εργασία πεδίου.



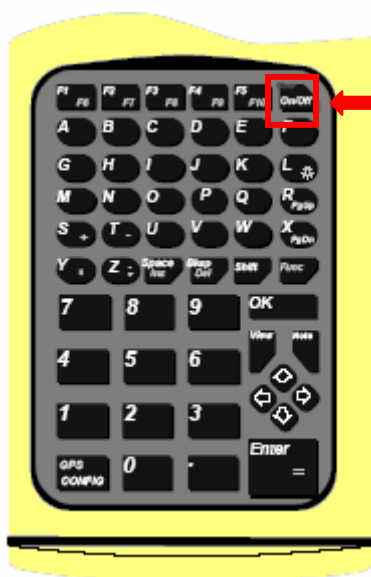
Εικ. 5.2: κινητός δέκτης rover –Trimble TDC1

Η λήψη των μετρήσεων έγινε με συγκεκριμένη τεχνική⁷, την τεχνική του στατικού διαφορικού προσδιορισμού. Σύμφωνα με αυτήν ο κινούμενος δέκτης είναι στάσιμος καθ' όλη την διάρκεια των παρατηρήσεων (από μερικά λεπτά μέχρι ώρες). Εκ των υστέρων πραγματοποιείται επεξεργασία των μετρήσεων (συνήθως με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων: τρεις συντεταγμένες του δέκτη και μία χρονοσειρά των χρονικών καθυστερήσεων του δέκτη).

Πιο συγκεκριμένα ο χειρισμός του rover-TDC1 και της κεραίας στο πεδίο για λήψη μετρήσεων γίνεται ως εξής:

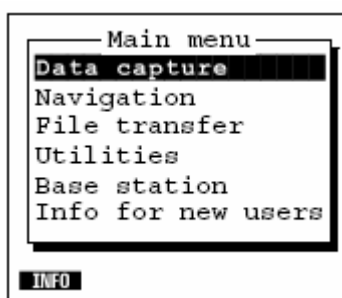
⁷ Υπάρχουν διάφορες τεχνικές παρατήρησης για τον προσδιορισμό της θέσης με το GPS οι οποίες αναφέρονται στην παράγραφο 2,8

- Αρχικά στο πληκτρολόγιο του rover (Εικ.5.3) επιλέγεται το on/off για να εμφανιστεί το κεντρικό μενού επιλογών (main menu).



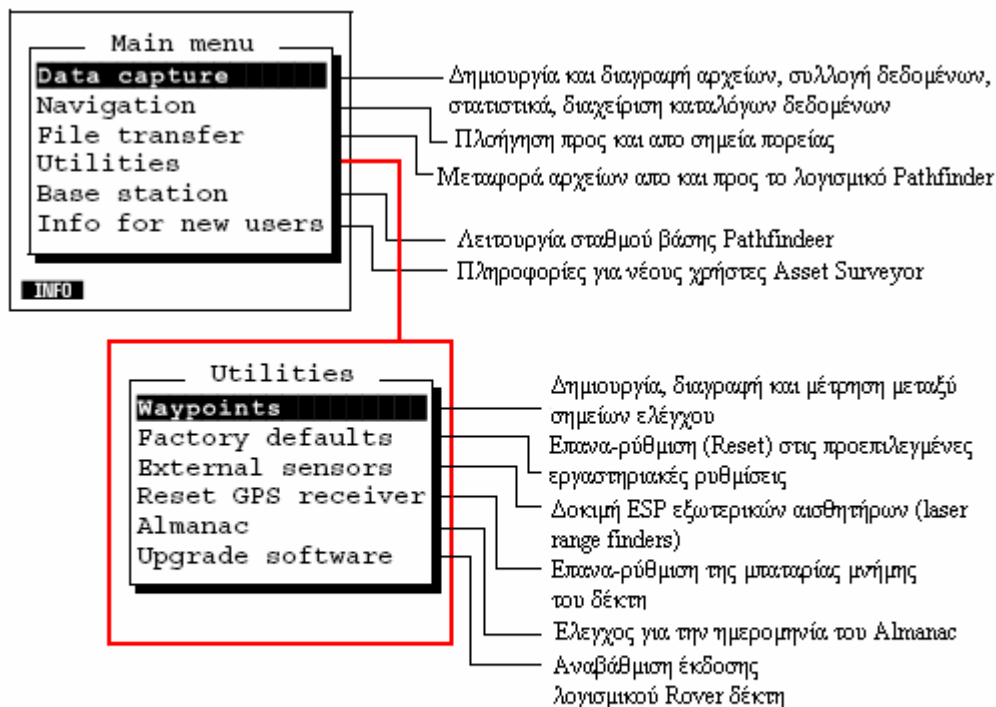
Εικ. 5.3: Keypad του rover


- Το κεντρικό μενού επιλογών εμφανίζεται στην οθόνη και με την βοήθεια των πλήκτρων (πλήκτρα με βέλος) του πληκτρολογίου είναι δυνατή η πλοήγηση στις επιλογές αυτού του μενού. (Εικ.5.4)



Εικ. 5.4: κεντρικό μενού επιλογών

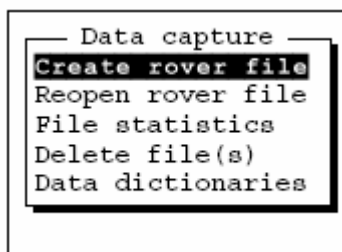
Γενικά οι λειτουργίες της κάθε επιλογής του κεντρικού μενού φαίνονται στην εικόνα 5.5 που ακολουθεί.



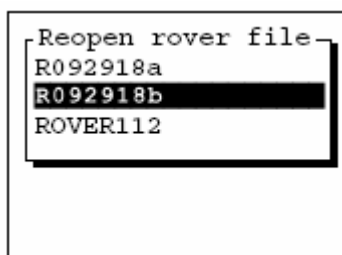
Πιέζοντας το πλήκτρο  για αναθεώρηση και/ή διόρθωση αρχείου δεδομένων. Στη φάση της αναθεώρησης, υπάρχει δυνατότητα διαγραφής χαρακτηριστικών και σημειώσεων, εμφάνιση της θέσης χαρακτηριστικών και δημιουργία σημείων πορείας απο αυτά τα χαρακτηριστικά.

Εικ. 5.5: Βασικές λειτουργίες των κεντρικών μενού επιλογών

- Από τις επιλογές του κεντρικού μενού επιλέγεται εκείνη που επιτρέπει δημιουργία αρχείου και συλλογή δεδομένων δηλαδή η επιλογή «data capture» Εικ.5.6. Από τις επιλογές που εμφανίζονται στο μενού «data capture» επιλέγεται εκείνη που επιτρέπει δημιουργία ενός νέου αρχείου για την αποθήκευση των μετρήσεων «create rover file» διαφορετικά αν υπάρχει ήδη αρχείο επιλέγεται εκείνη που επιτρέπει ξανά άνοιγμα ενός ήδη υπάρχοντος αρχείου «reopen rover file» Εικ.5.7.

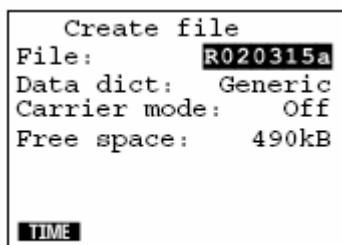


Εικ. 5.6: Μενού επιλογών για την συλλογή δεδομένων



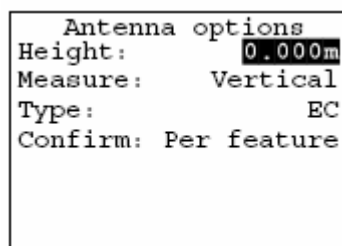
Εικ. 5.7: Μενού ανοίγματος ενός ήδη υπάρχοντος αρχείου

- Για την δημιουργία ενός νέου αρχείου εμφανίζεται το μενού της εικόνας 5.8. Σε αυτό το μενού υπάρχουν κάποιες παράμετροι που πρέπει να συμπληρωθούν και αφορούν το αρχείο που δημιουργείται. Συγκεκριμένα δίδεται όνομα, επιλέγεται κατάλογος δεδομένων (για επιπλέον attributes), αφού συμπληρωθούν τα παραπάνω δίδεται η εντολή **OK**.



Εικ. 5.8: Μενού δημιουργίας νέου αρχείου

- Στη συνέχεια εμφανίζεται το μενού επιλογών της κεραίας Εικ. 5.9. Σε αυτό το μενού θα πρέπει να καθοριστούν κάποιες παράμετροι που αφορούν την κεραία και τον τύπο της μέτρησης. Δίδεται το ύψος της κεραίας από το έδαφος και η μέθοδος μέτρησης “Vertical” Αφού συμπληρωθούν τα παραπάνω δίδεται η εντολή **OK**.



Εικ. 5.9: Μενού επιλογών κεραίας

- Η επόμενη φόρμα που εμφανίζεται αφορά την επιλογή τύπου χαρακτηριστικού, σημείο, γραμμή ή πολύγωνο. Για λήψη μετρήσεων σημείου επιλέγεται η πρώτη και επιλέγεται **ENTER**.

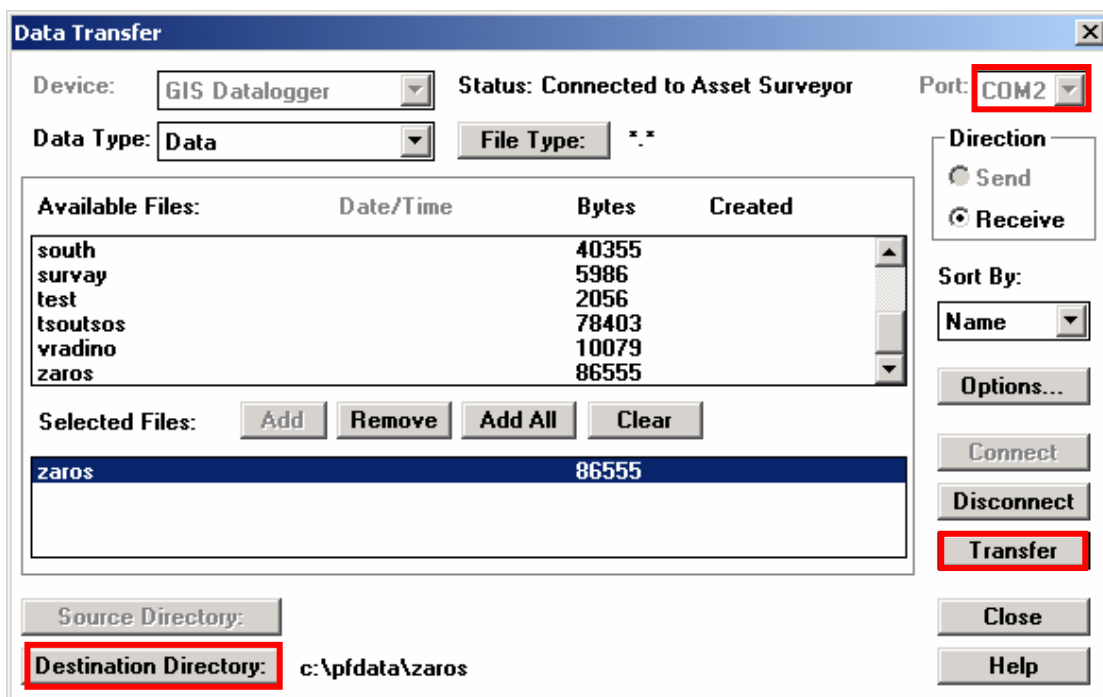
- Στην συνέχεια εμφανίζεται πάλι το μενού επιλογών κεραίας (εικ.9) και επιλέγεται **OK** αν οι παράμετροι δεν χρειάζεται να αλλάξουν.
- Σε αυτό το στάδιο ξεκινούν οι μετρήσεις ενώ δίδεται περιγραφή αναγνώρισης στο σημείο στο πεδίο «Comment». Κατά την διάρκεια των μετρήσεων, στην οθόνη φαίνεται η παράμετρος «PDOP», για την εποπτεία της γεωμετρικής διάταξης των δορυφόρων, καθώς επίσης και ο αριθμός των δορυφόρων π.χ. 7/7 ή 7/9. Ο αριθμός των μετρήσεων που λαμβάνονται εξαρτάται από την ακρίβεια που απαιτείται στην μέτρηση. Περισσότερες μετρήσεις στο ίδιο σημείο επιτρέπουν πιο ακριβή αποτελέσματα. Στο πέρας των μετρήσεων επιλέγεται **OK** και στη συνέχεια για την έξοδο από τα μενού επιλέγεται «**CLEAR**», «**F2**», «**Func**» και «**CLEAR**».

5. Διαφόριση-Διόρθωση των μετρούμενων σημείων

Μετά τις μετρήσεις πεδίου, ακολουθεί διαφορίση αυτών με τη χρήση H/Y ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το σταθμό βάσης και διαθέτει εγκατεστημένο το ειδικό λογισμικό Pathfinder. Στον ίδιο H/Y συνδέεται και το rover από το οποίο γίνεται η ενσύρματη μεταφορά των αρχείων (file transfer).

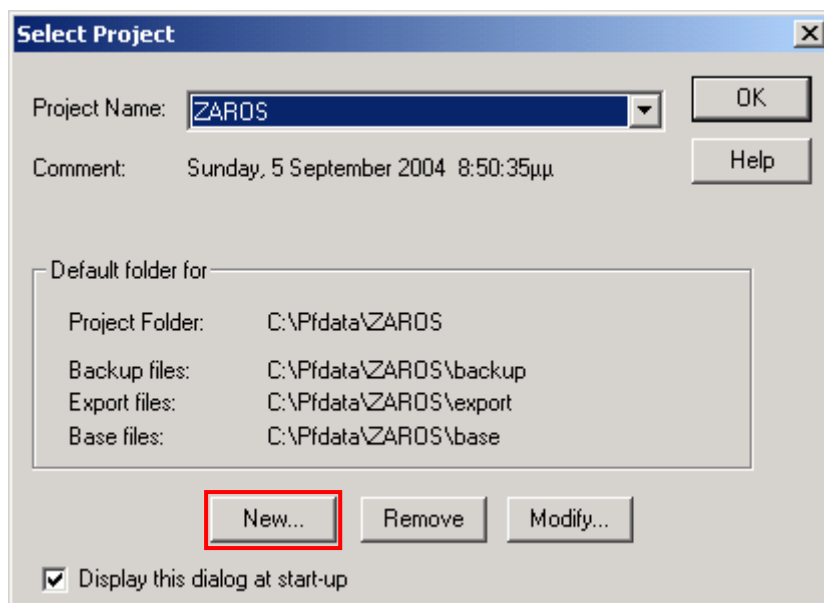
Βήματα διαφορίσης:

- Πραγματοποιείται σύνδεση του H/Y με τον δέκτη Rover, ενώ το τελευταίο βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας (**ON**). Από το κεντρικό μενού (main menu εικ. 4) γίνεται επιλογή **File Transfer** για τη μεταφορά των αρχείων δεδομένων στον H/Y.
- Χρησιμοποιώντας την εφαρμογή (utility) “data transfer” του λογισμικού pathfinder εμφανίζεται η παρακάτω οθόνη (εικ. 5.10):



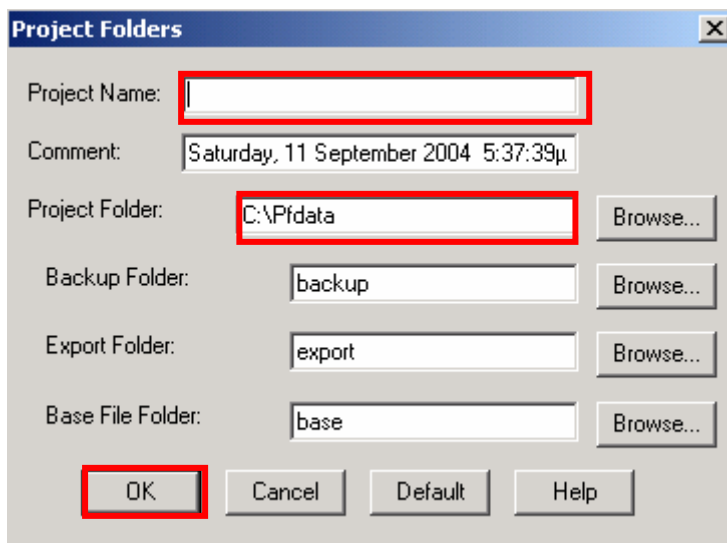
Εικ. 5.10: Εφαρμογή μεταφοράς δεδομένων από τον δέκτη Rover.

- Επιλέγεται θύρα επικοινωνίας από το πτυσσόμενο μενού και δίδεται η εντολή Transfer, οπότε πραγματοποιείται μεταφορά των δεδομένων στον φάκελο του H/Y που έχει ήδη ορισθεί (κατά προτίμηση, επιλέγεται ο φάκελος του project π.χ C:\pfddata\zaros)
- Δημιουργία νέου project μέσω του λογισμικού Pathfinder



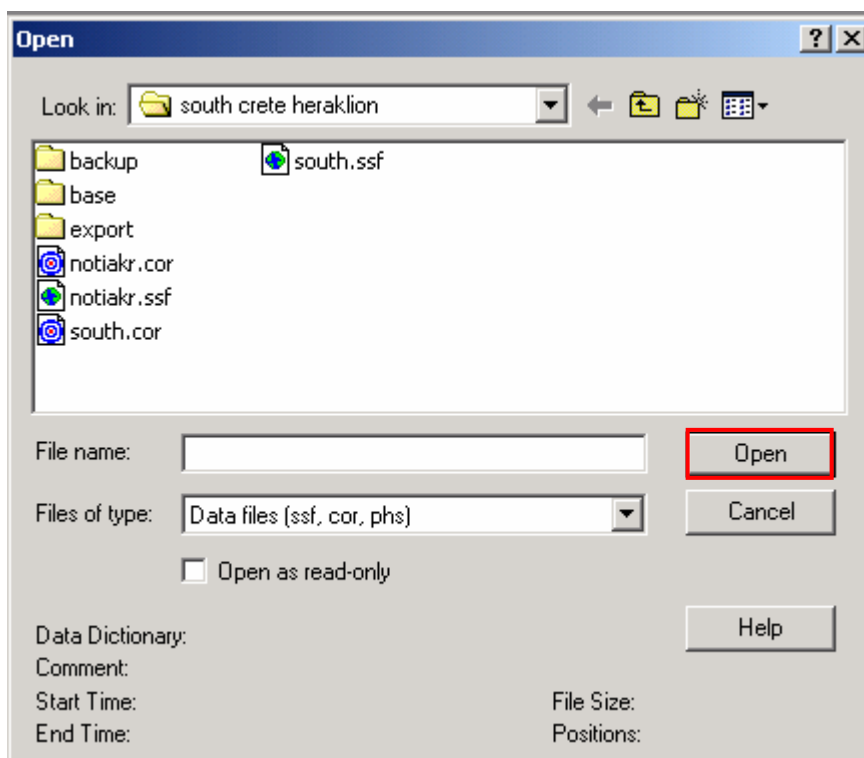
Εικ. 5.11: παράθυρο επιλογής project

Όπως φαίνεται και από τις παρακάτω οθόνες, δίδονται ορισμένες παράμετροι στο λογισμικό



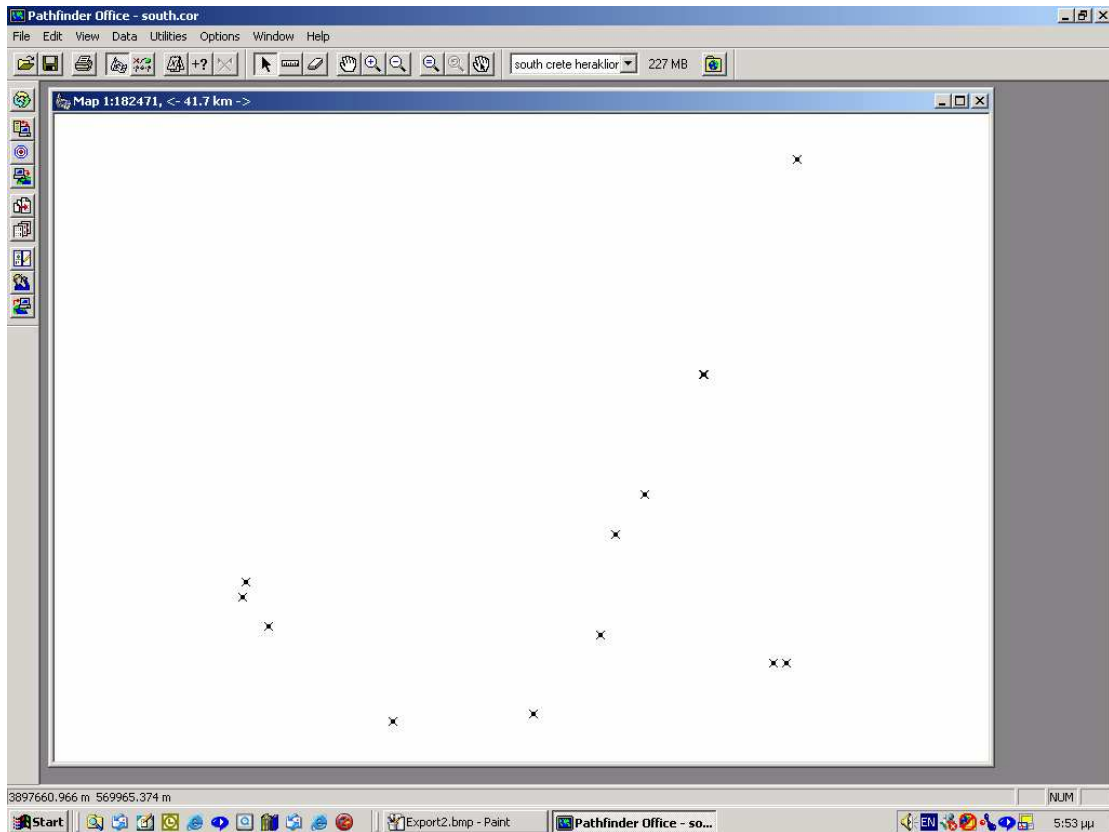
Εικ. 5.12: Παράθυρο καθορισμό παραμέτρων project

Έπειτα γίνεται επιλογή του αρχείου που είναι αποθηκευμένες οι μετρήσεις του Rover



Εικ. 5.13: Παράθυρο εύρεσης αρχείου

Οι μετρήσεις του Rover, εμφανίζονται στην παρακάτω οθόνη σε μορφή χάρτη.



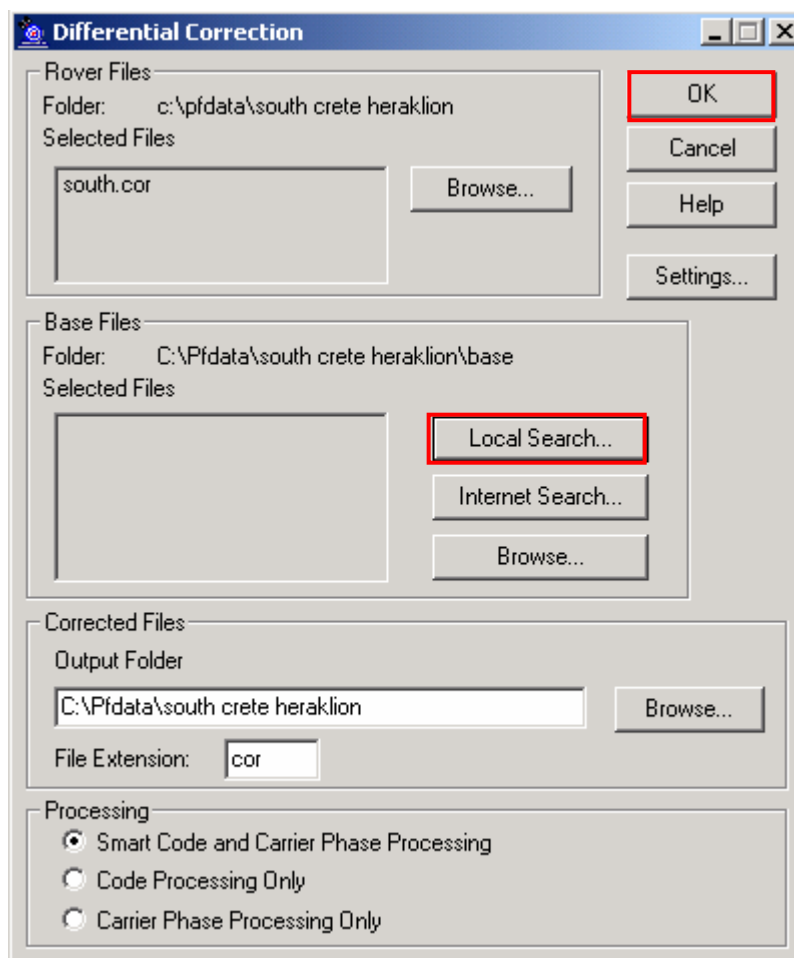
Εικ. 5.14: Παράθυρο απεικόνισης σημείων σε μορφή χάρτη

Από την εργαλειοθήκη του προγράμματος επιλέγεται το παρακάτω πλήκτρο:



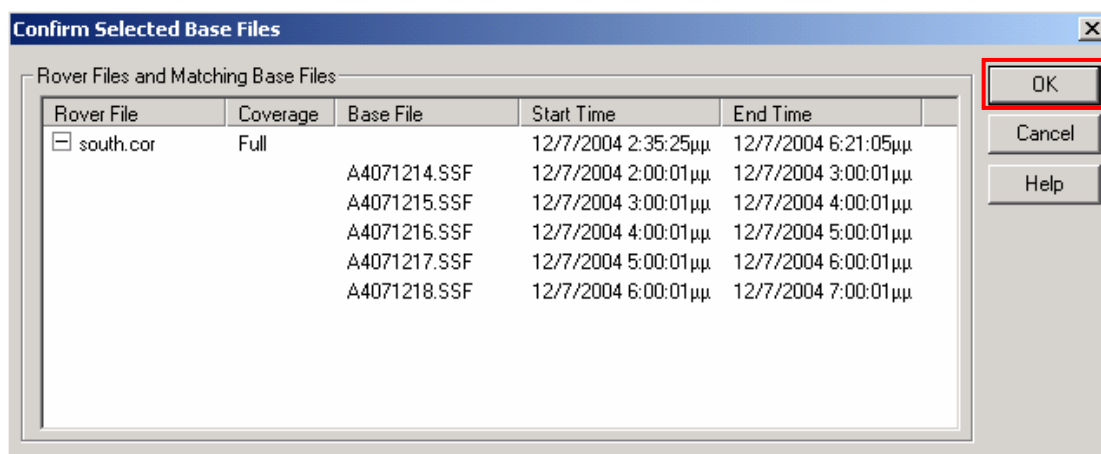
Εικ. 5.15: εργαλειοθήκη του λογισμικού pathfinder

Έπειτα, εμφανίζεται η οθόνη της διαφορικής διόρθωσης (Differential Correction), από την οποία προσπελάζεται ο δίσκος (πέζοντας το πλήκτρο “Local Search”) για την εύρεση των αρχείων σταθμού βάσης.



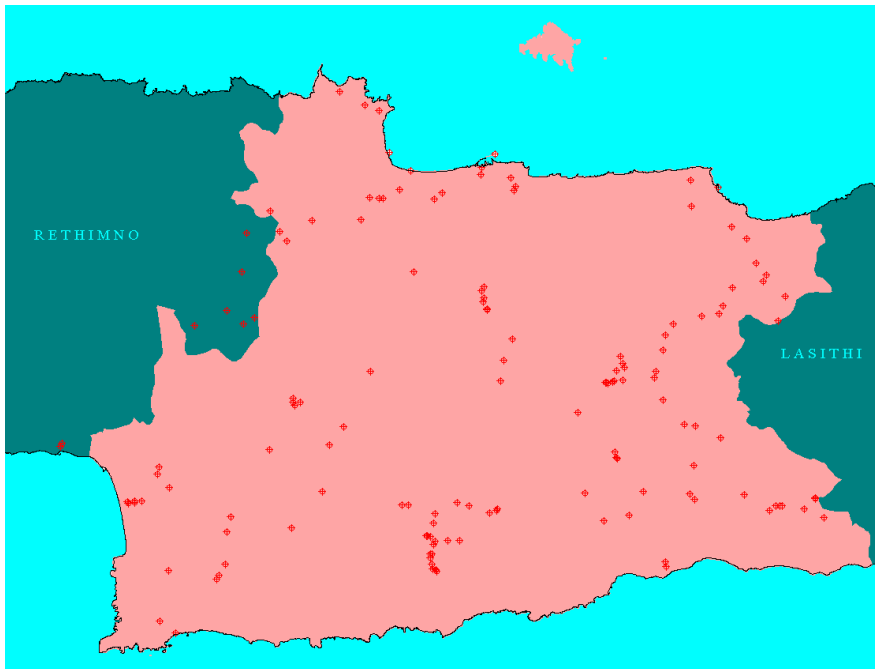
Εικ. 5.16: Παράθυρο διαφορικής διόρθωσης

Εμφανίζεται μια ενδιάμεση οθόνη για την επιβεβαίωση ταύτισης των αρχείων Rover με τα αρχεία του σταθμού βάσης.



Εικ. 5.17: Παράθυρο επιβεβαίωσης αρχείων κατά την διαδικασία της διαφόρισης
Στην παρούσα φάση, η διαδικασία διαφόρισης των μετρήσεων έχει γίνει και τα αποτελέσματα, διορθωμένα πλέον εμφανίζονται στην αρχική οθόνη σαν χάρτης. Τα

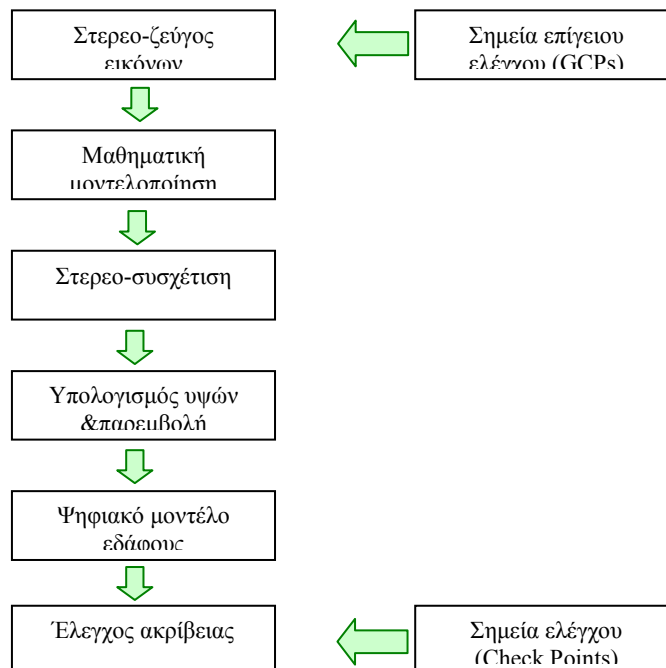
διορθωμένα δεδομένα μετρήσεων, εξάγονται από το λογισμικό pathfinder σε μορφή αρχείου (Arc View) shape.



Εικ. 5.18: Μετρήσεις GPS

5.4. Εξαγωγή DEM από εικόνες ASTER

Γενικά, για την εξαγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους ακολουθείται η διαδικασία που φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διαγ. 5.2: Στάδια δημιουργίας DEM

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, η όλη διαδικασία ξεκινά με την προμήθεια των εικόνων του καταγραφικού. Κάθε εικόνα περιέχει 14 κανάλια. Για την εξαγωγή DEM χρησιμοποιείται μόνο το κανάλι **3** (0,78 – 0,86 μm) το οποίο έχοντας δύο τηλεσκόπια παρέχει στερεοσκοπική κάλυψη (3N & 3B).

Στη συνέχεια συλλέγονται τα σημεία επίγειου ελέγχου, με τη χρήση διαφορικού GPS. Τα υπόλοιπα βήματα μέχρι την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους πραγματοποιούνται με το ειδικό λογισμικό επεξεργασίας. Για τον έλεγχο ποιότητας – ακρίβειας του μοντέλου ακολουθούνται άλλες διαδικασίες που αναλύονται αναλυτικά σε παρακάτω κεφάλαιο της εργασίας. Το λογισμικό επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε έχει τη δυνατότητα εξαγωγής DEM είτε από μία εικόνα, είτε από περισσότερες επικαλυπτόμενες εικόνες (Block), χρησιμοποιώντας κατάλληλα GCP's και TP's. Τα βήματα του λογισμικού είναι κοινά και για τις δύο μεθοδολογίες, συνοπτικά τα βήματα της επεξεργασίας για την εξαγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους είναι: **α)** Δημιουργία project - ορισμός προβολικού και γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς για τις εικόνες και για τα σημεία επίγειου ελέγχου GCP's, **β)** εισαγωγή εικόνων, **γ)** Προσδιορισμός των GCP's και TP's στα ζεύγη των εικόνων, **δ)** δημιουργία επιπολικών ζευγών και τέλος αυτόματη εξαγωγή και γεω-κωδικοποίηση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

Η εξαγωγή της υψομετρικής πληροφορίας από ζεύγος εικόνων ASTER (εξαγωγή DEM) βασίζεται στην αρχή της στερεοσκοπικής παράλλαξης δηλαδή στην «φαινόμενη» μεταβολή της θέσης δύο ή περισσότερων σταθερών αντικειμένων όταν αυτά παρατηρούνται υπό διαφορετικές οπτικές γωνίες.

5.5. Μαθηματικά μοντέλα

Τα μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για την αντιστοίχιση - σύνδεση των εικονοστοιχείων μιας εικόνας με τα αντίστοιχα σημεία στο έδαφος. Η επιλογή μαθηματικού μοντέλου έχει άμεση επίπτωση στο αποτέλεσμα της επεξεργασίας, οπότε ανάλογα με την ακρίβεια που απαιτείται, επιλέγεται το κατάλληλο μοντέλο. Το λογισμικό PCI Geomatica, διαθέτει πέντε μαθηματικά μοντέλα:

- **Αεροφωτογραφίας (Aerial Photography)**
- **Τροχιάς δορυφόρου (Satellite Orbital)**
- **Ρητών συναρτήσεων (Rational Functions) και**
- **Thin Plate Spline (TPS)**

Μοντέλο αεροφωτογραφιών (Aerial Photography model)

Το πρώτο από τα μοντέλα είναι ένα «αυστηρό» μαθηματικό μοντέλο, βασισμένο στη γεωμετρία αερομεταφερόμενης κάμερας πλαισίων. Το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να εξισορροπήσει τις παραμορφώσεις που δημιουργούν στην εικόνα παράμετροι όπως: το ανάγλυφο, ο φακός της μηχανής – εστιακή απόσταση – κυρτότητα του φακού, ο προσανατολισμός κτλ. Κατά τον υπολογισμό του μοντέλου, προσδιορίζεται η θέση της μηχανής και ο προσανατολισμός της τη στιγμή λήψης της εικόνας. Η χρήση του μοντέλου αυτού είναι απαγορευτική όταν πρόκειται για μέρος μιας εικόνας, όταν η εικόνα έχει διορθωθεί γεωμετρικά, ή όταν δεν υπάρχουν ή δεν μπορούν να εκτιμηθούν δεδομένα ρύθμισης (calibration) για τη συγκεκριμένη μηχανή.

Τροχιακό μοντέλο (satellite orbital)

Το «τροχιακό» μοντέλο δορυφόρου είναι το μοντέλο που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία. Είναι ένα αυστηρό μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Dr. Toutin στο κέντρο τηλεπισκόπησης του Καναδά (CCRS Canada Center for Remote Sensing) για την εξισορρόπηση και διόρθωση παραμορφώσεων της εικόνας που οφείλονται στη γεωμετρία των αισθητήρων, στην τροχιά του δορυφόρου, και στις μεταβολές του ύψους, του σχήματος της γης, της στροφής και του ανάγλυφου. Αυτό το μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί σε εικόνες ASTER, AVHRR, IKONOS, LANDSAT, SPOT, IRS, Quick Bird, και εικόνες RADAR των συστημάτων: ASAR, RADARSAT, ERS-1 και JERS1. Κατά τον υπολογισμό του μοντέλου, προσδιορίζεται η θέση και ο προσανατολισμός του αισθητήρα τη στιγμή της λήψης. Το μοντέλο αυτό δεν χρησιμοποιείται όταν η εικόνα δεν είναι ολόκληρη ή όταν έχει διορθωθεί γεωμετρικά, ή όταν δεν διατίθενται και δεν μπορούν να εκτιμηθούν πληροφορίες της τροχιάς του δορυφόρου.

Το μοντέλο τροχιάς δορυφόρου (Satellite Orbital model) είναι βασισμένο στη συνθήκη συγγραμμικότητας, η οποία αξιοποιεί το φυσικό νόμο μετατροπής συντεταγμένων από το χώρο της εικόνας, στο χώρο της γης (εδάφους). Χρησιμοποιεί αρχές σχετιζόμενες με φωτογραμμετρία, τροχιο-γραφία, γεωδαισία και χαρτογραφία. Το μοντέλο αντικατοπτρίζει τη φυσική πραγματικότητα ολόκληρης της οπτικής γεωμετρίας, και λαμβάνει υπ' όψιν όλες τις παραμορφώσεις⁸ που εισάγονται κατά την καταγραφή της εικόνας, τέτοιες όπως αυτές που γίνονται λόγω:

⁸ Στην παράγραφο 3.4 περιγράφονται αναλυτικότερα οι παραμορφώσεις εικόνας καθώς και οι πηγές σφαλμάτων οι οποίες μοντελοποιούνται με το τροχιακό μοντέλο (Toutin, 2002)

- **Της πλατφόρμας** - δορυφόρου (θέση, ταχύτητα και προσανατολισμός)
- **Του αισθητήρα** (προσανατολισμός, χρόνος καταγραφής & οπτικού πεδίου)
- **Της επιφάνειας της γης** (γεωϊδές, ελλειψοειδές και ανάγλυφο)
- **Την χαρτογραφική προβολή** (ελλειπτική και χαρτογραφική)

Η επίλυση του συγκεκριμένου μοντέλου είναι εύκολη, καθότι οι εξισώσεις της μοντελοποίησης είναι απλές και ευθείες, με ελάχιστους αγνώστους, κάθε ένας από τους οποίους είναι συνδυασμός διάφορων σχετιζόμενων μεταβλητών της γεωμετρίας οπτικού πεδίου, οπότε έχουμε μείωση του αριθμού των αγνώστων σε ένα ανεξάρτητο σύνολο. Οι εξισώσεις του μοντέλου λύνονται με λίγα επίγεια σημεία ελέγχου GCP's και με σημεία σύνδεσης, αν χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία εικόνες.

Έτσι οι εξισώσεις της συνθήκης συγκραμμικότητας είναι οι εξής:

$$x = (-f) \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = (-f) \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

όπου: (x,y) είναι οι συντεταγμένες της εικόνας,

(X,Y,Z) είναι οι συντεγμένες του χάρτη,

(X₀,Y₀,Z₀) είναι οι συντεταγμένες του προβολικού κέντρου,

-f είναι η εστιακή απόσταση του φακού

m_{ij} είναι τα εννιά στοιχεία του πίνακα στροφής

Θεωρητικά, η ακρίβεια του μοντέλου «τροχιάς δορυφόρου» είναι περίπου στο ένα τρίτο του εικονοστοιχείου για εικόνες στο κοντινό υπέρυθρο και περίπου ένα εικονοστοιχείο για εικόνες RADAR όταν χρησιμοποιούνται ακριβή σημεία επίγειου ελέγχου. Ο Toutin απέδειξε την ακρίβεια του μαθηματικού του μοντέλου εκτελώντας πειράματα χρησιμοποιώντας πολλές διαφορετικές εικόνες από διαφορετικές περιοχές διαφορετικού ανάγλυφου.

Μοντέλο ρητών συναρτήσεων (Rational Functions Model)

Αυτό το μαθηματικό μοντέλο είναι ένα απλό μαθηματικό μοντέλο το οποίο «χτίζει» σχέση μεταξύ των εικονοστοιχείων και των θέσεων τους στον πραγματικό – γήινο χώρο. Το μοντέλο αυτό ενδείκνυται όταν δεν διατίθενται οι απαραίτητες πληροφορίες

για τη χρησιμοποίηση αυστηρού μαθηματικού μοντέλου. Όταν δηλαδή ο τύπος του αισθητήρα είναι κρυφός (απόρρητος) ή όταν η εικόνα έχει επεξεργαστεί γεωμετρικά, ή όταν ο προμηθευτής των δεδομένων υπολόγισε ήδη το μαθηματικό μοντέλο και το διένειμε μαζί με την εικόνα ή όταν δεν υπάρχει ολόκληρη η εικόνα..

Το μοντέλο αυτό μπορεί πολλές φορές να είναι πιο ακριβές από τα αντίστοιχα μοντέλα, όπως πολυωνμικό ή Thin Plate Spline, επειδή λαμβάνει υπ'όψην του υψόμετρα. Ωστόσο, απαιτεί πολλά σημεία επίγειου ελέγχου (**GCP's**). Το μαθηματικό μοντέλο υπολογίζεται για κάθε εικόνα ξεχωριστά. Το μοντέλο Rational Functions χρησιμοποιεί έναν λόγο δύο πολυωνυμικών συναρτήσεων για να υπολογίσει τις γραμμές (lines) της εικόνας και αντίστοιχα έναν λόγο για να υπολογίσει τις στήλες της εικόνας. Και τα τέσσερα πολυώνυμα είναι συναρτήσεις τριών επίγειων συντεταγμένων (μήκους, πλάτους και ύψους) Τα πολυώνυμα αυτά περιγράφονται χρησιμοποιώντας ένα σύνολο από 20 συντελεστές, ωστόσο κάποιοι συντελεστές είναι συχνά μηδέν.

Οι πολυωνυμικοί συντελεστές, συχνά καλούνται **RPC** (Rapid Positioning Capability) δεδομένα και μπορούν να βρεθούν με δύο τρόπους:

- Συλλέγοντας έναν αριθμό επίγειων σημείων ελέγχου και τρέχοντας την ειδική ρουτίνα που έχει το Ortho Engine του PCI
- Έχοντας έτοιμους τους συντελεστές από την εταιρία που διανέμει τα δεδομένα αυτά.

Οι τρεις συντεταγμένες εδάφους και οι δύο συντεταγμένες εικόνας αντισταθμίζονται και δίδονται υπό κλίμακα ώστε να έχουν εύρος από -1 σε +1 στην εικόνα.

Για κάθε εικόνα τα πηλικά πολυωνύμων που καθορίζονται έχουν τη μορφή:

$$Row\ n = \frac{P_1(X_n, Y_n, Z_n)}{Q_2(X_n, Y_n, Z_n)}$$

$$Col\ n = \frac{P_2(X_n, Y_n, Z_n)}{Q_2(X_n, Y_n, Z_n)}$$

όπου:

Row n είναι ο κανονικοποιημένος δείκτης γραμμών μιας εικόνας

Col n ο κανονικοποιημένος δείκτης στηλών σε μια εικόνα

X_n, Y_n, Z_n = κανονικοποιημένες συντεταγμένες εδάφους.

Τα πολυώνυμα P και Q έχουν τη μορφή:

$$P = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} A_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k$$

$$Q = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} B_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k$$

όπου:

A_{ijk} και B_{ijk} = πολωνυμικοί συντελεστές

Η μέγιστη δύναμη για κάθε συντεταγμένη (m_1, m_2, m_3, n_1, n_2 και n_3) περιορίζεται στο 3 και η συνολική δύναμη όλων των επίγειων συντεταγμένων περιορίζεται στο 3. Αυτό συμβαίνει γιατί οι πολωνυμικοί συντελεστές καθορίζονται να είναι μηδέν όταν

$$i + j + k > 3$$

Πολωνυμικό μοντέλο (Polynomial)

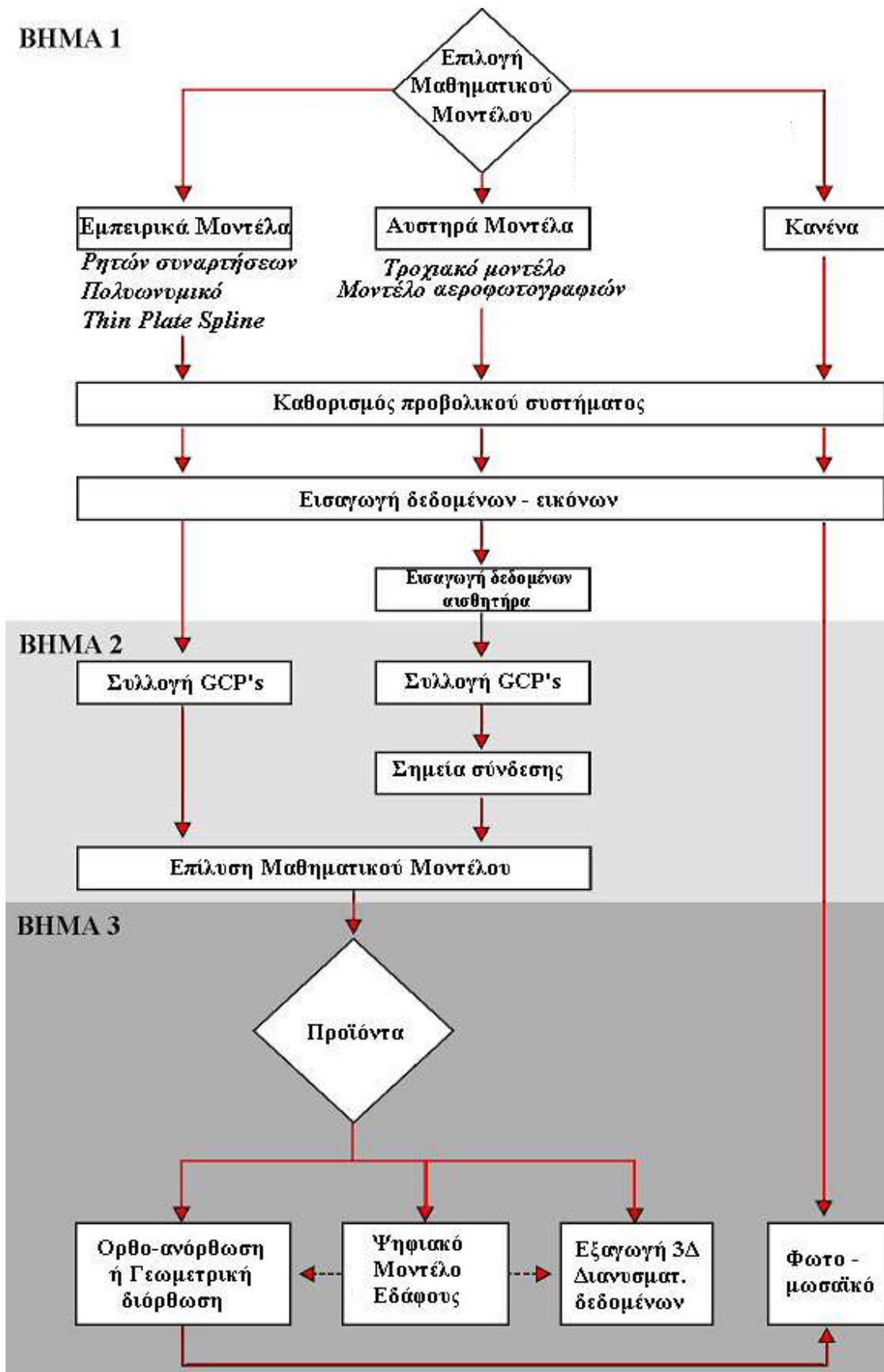
Το πολωνυμικό μαθηματικό μοντέλο είναι ένα απλό μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιεί ένα πρώτης – έως – πέμπτης τάξης πολωνυμικό μετασχηματισμό, ο μετασχηματισμός αυτός υπολογίζεται βασιζόμενος σε δυσδιάστατα σημεία επίγειου ελέγχου GCP's. Οι πολωνυμικές εξισώσεις «ταιριάζονται» στις x και y συντεταγμένες των GCP's χρησιμοποιώντας κριτήρια ελαχίστων τετραγώνων για τη μοντελοποίηση της διόρθωσης της εικόνας, χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψιν η πηγή των παραμορφώσεων. Ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια, επιλέγεται η πολωνυμική τάξη και το πλήθος των GCP's που θα χρησιμοποιηθούν για την επίλυση. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται από το λογισμικό ERDAS για τη δημιουργία DEM.

Thin Plate Spline μοντέλο


Στο μοντέλο αυτό, χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα όλα τα συλλεγμένα σημεία επίγειου ελέγχου για τη διόρθωση της εικόνας, με αυτό τον τρόπο η στρέβλωση που τυχόν δημιουργείται είναι κατανεμημένη σε ολόκληρη την εικόνα δημιουργώντας την ελάχιστη δυνατή κύρτωση μεταξύ των GCP's. Το μοντέλο "Thin Plate Spline" ταιριάζει απόλυτα στα GCP's, οπότε ένα GCP μπορεί να προστεθεί σε μια περιοχή που εμφανίζει μη ικανοποιητική μετατροπή για την βελτίωση του αποτελέσματος.

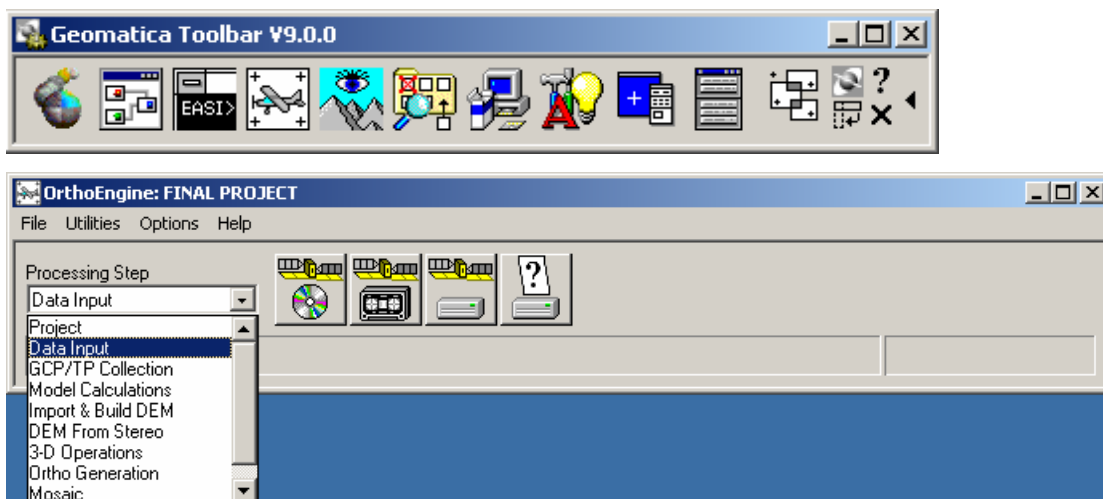
Το μοντέλο αυτό μπορεί να χειριστεί καλύτερα την διαφοροποίηση του ανάγλυφου μιας γήινης επιφάνειας, σε σχέση με το αντίστοιχο πολωνυμικό μοντέλο, λόγω του ότι δέχεται τρισδιάστατα σημεία επίγειου ελέγχου, ελαχιστοποιώντας τα σφάλματα – extrapolation μεταξύ των σημείων επίγειου ελέγχου (PCI, 2003)

5.5.1. Βήματα λογισμικού επεξεργασίας



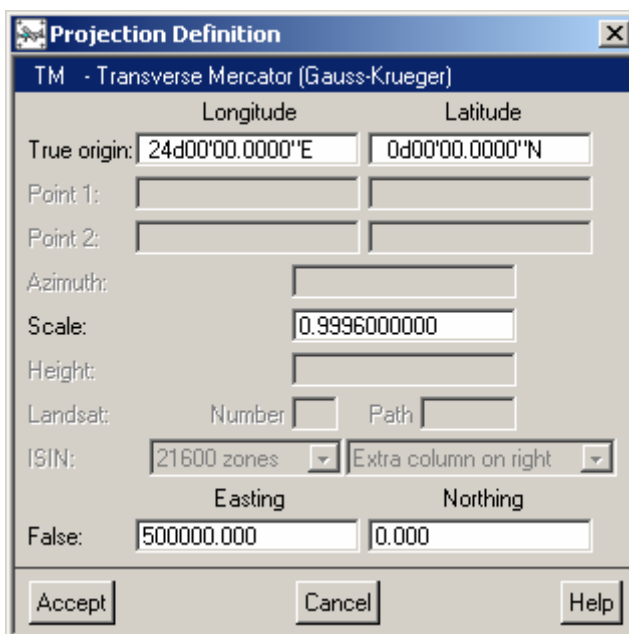
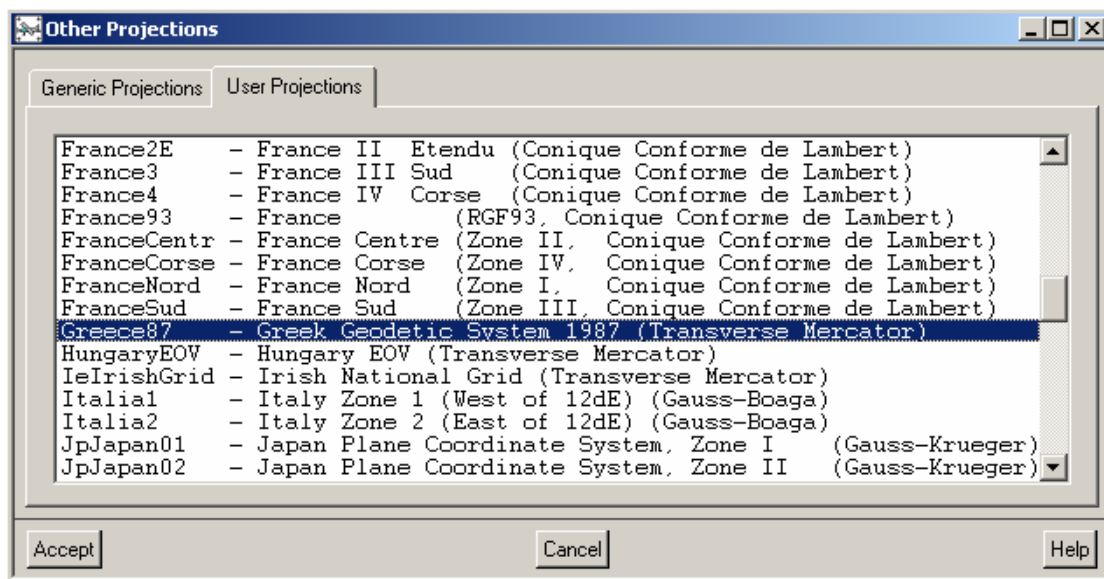
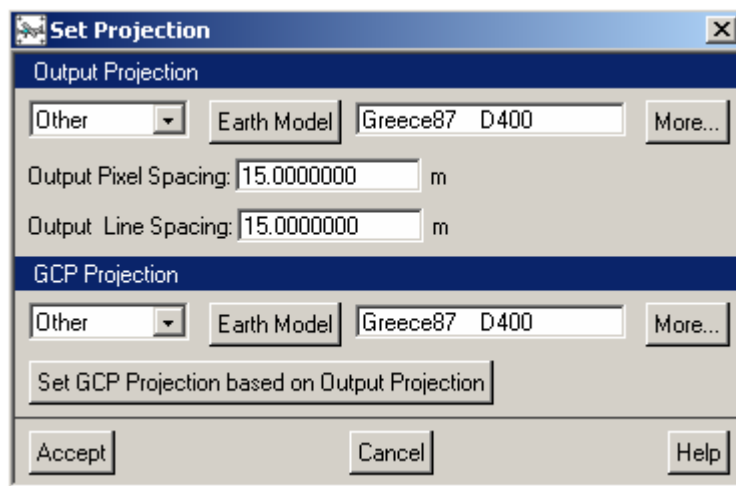
Η επεξεργασία για την εξαγωγή DEM πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα PCI-Geomatica, Ortho-engine. Αρχικά τίθεται σε λειτουργία το PCI και έπειτα το υπο-

πρόγραμμα Ortho engine, επιλέγοντας το «πλήκτρο» :  της εργαλειοθήκης του προγράμματος:



Δημιουργείται ένα νέο περιβάλλον εργασίας (Project) και επιλέγεται το μαθηματικό μοντέλο, στην παρούσα περίπτωση έγινε χρήση του Satellite Orbital math model. Το μοντέλο αυτό όπως προαναφέρθηκε είναι ένα αυστηρό μαθηματικό μοντέλο που εξισορροπεί για γνωστές παραμορφώσεις υπολογίζοντας θέση και προσανατολισμό του αισθητήρα, κατά τη στιγμή λήψης.

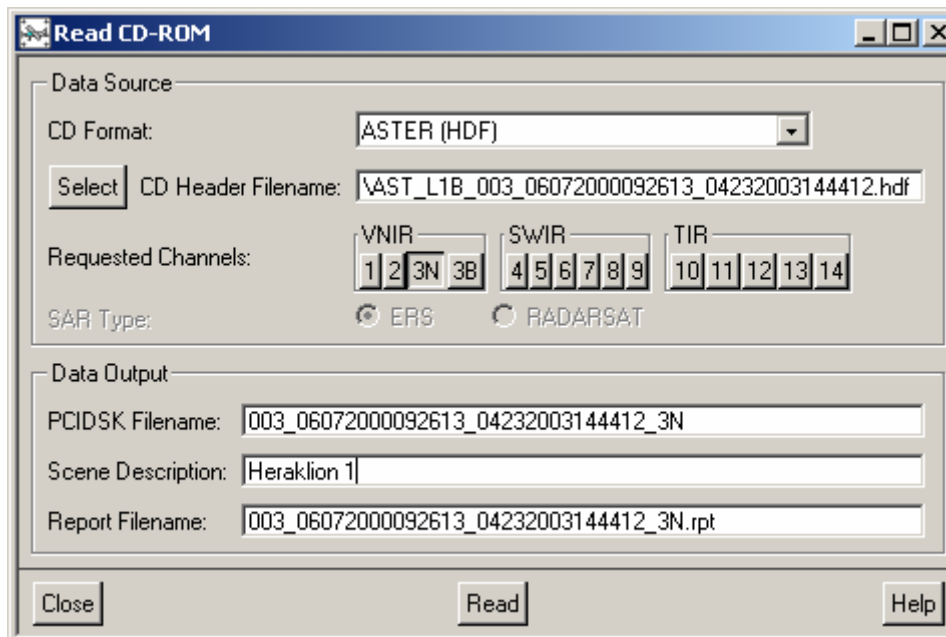
- Καθορίζεται το προβολικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί. Προβολή είναι μια μέθοδος απεικόνισης όλης ή μέρους της επιφάνειας της γης σε μια επίπεδη επιφάνεια. Η επιλογή “**Output Projection**” καθορίζει την τελική προβολή για τα προϊόντα μετά την επεξεργασία, είτε αυτά είναι ορθό-εικόνες, είτε μωσαϊκά είτε ψηφιακά μοντέλα εδάφους. (DEM’s). Η επιλογή “**GCP’s projection**” είναι για τον καθορισμό του προβολικού συστήματος που χρησιμοποιήθηκε κατά τη συλλογή των σημείων επίγειου ελέγχου - για την εργασία αυτή, χρησιμοποιήθηκε το ίδιο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87. Στις εικόνες παρακάτω φαίνονται οι παράμετροι που ορίστηκαν για το προβολικό σύστημα.



□ Διαδικασία εισαγωγής εικόνων ASTER στο Ortho engine.



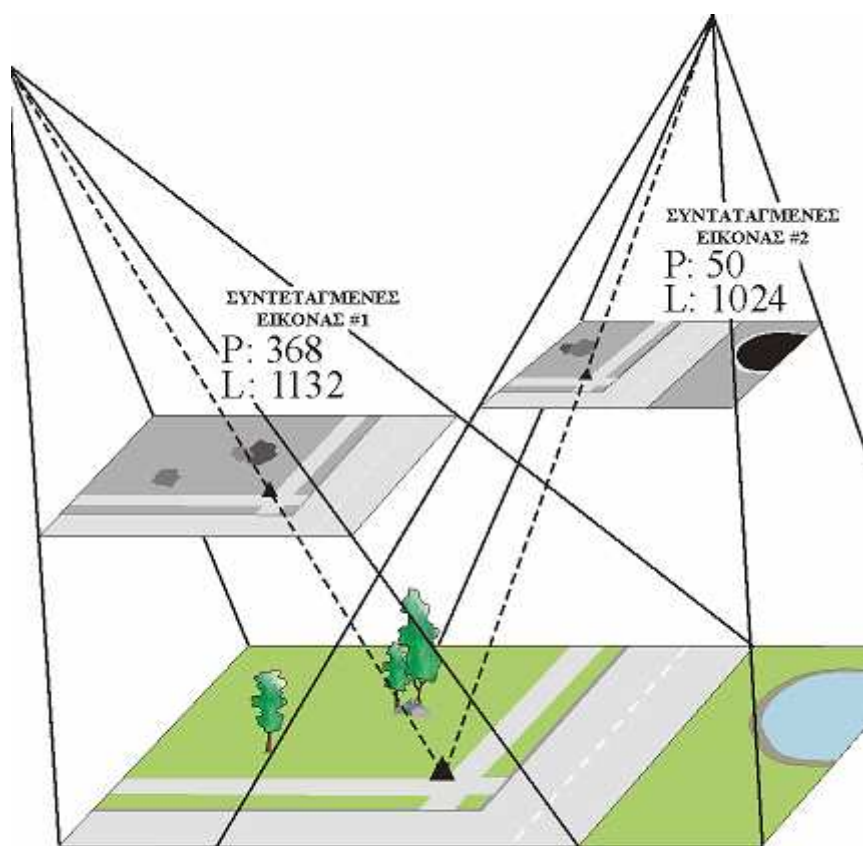
Από την εργαλειοθήκη του OrthoEngine χρησιμοποιώντας το πτυσσόμενο μενού επιλέγεται **Data Input**, οπότε εμφανίζονται τέσσερις επιλογές, ανάλογα με τη μορφή που διατίθενται τα δεδομένα, επιλέγεται το κατάλληλο «πλήκτρο». Στην παρούσα περίπτωση, εφόσον χρησιμοποιούνται **HDF-EOS** δεδομένα, επιλέγεται το πρώτο, «εισαγωγή από CD-ROM». Εμφανίζεται η παρακάτω οθόνη:



Από το πτυσσόμενο μενού CD Format επιλέγεται ASTER (HDF) και έπειτα γίνεται επιλογή στο πλήκτρο **select** προσπελάζεται ο δίσκος και υποδεικνύεται στο πρόγραμμα, που βρίσκεται αποθηκευμένη η εικόνα, στη συνέχεια επιλέγεται ποίο ή ποια κανάλια πρέπει να εισαχθούν πιέζοντας τα αντίστοιχα πλήκτρα στην επιλογή “Requested Channels”. Το πρόγραμμα εισάγει τα δεδομένα και τα αποθηκεύει στο φάκελο του Project με την κατάληξη *. **pix** Δίνεται όνομα και περιγραφή της εικόνας.

□ **Εισαγωγή σημείων σύνδεσης & επίγειου ελέγχου.**

Τα σημεία επίγειου ελέγχου και τα σημεία σύνδεσης “Tie points”, αποτελούν σημεία τα οποία μπορούν να προσδιορισθούν με ακρίβεια σε μία ή περισσότερες εικόνες και χρησιμοποιούνται για την επίλυση των εξισώσεων του μαθηματικού μοντέλου. Η διαφορά των επίγειων σημείων ελέγχου με τα σημεία σύνδεσης είναι ότι για τα πρώτα πρέπει να γνωρίζουμε με μεγάλη ακρίβεια τις τρεις συντεταγμένες (x,y,z) εδάφους σε ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς εδάφους. Σε αντίθεση με τα σημεία επίγειου ελέγχου, που χρησιμοποιούνται στην ουσία για τη συσχέτιση των εικόνων με κάποιο επίγειο σύστημα συντεταγμένων, τα σημεία σύνδεσης, συνδέουν-συσχετίζουν τις εικόνες του μοντέλου μεταξύ τους (Lillesand, Kiefer, 2000).

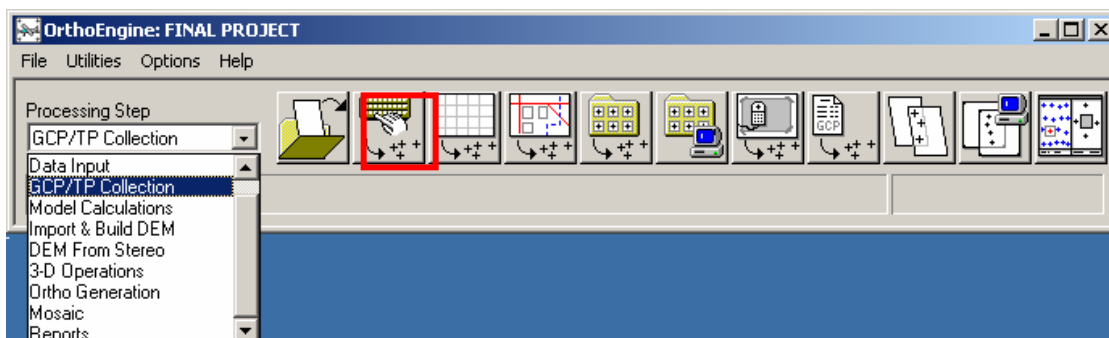


Σημεία σύνδεσης (Tie Points)

Το σημαντικότερο τμήμα της μεθοδολογίας, μετά την συλλογή των σημείων επίγειου ελέγχου είναι η εισαγωγή τους στο φωτογραμμετρικό μοντέλο, δηλαδή η σαφής αναγνώριση του Pixel και η ανάθεση των συντεταγμένων (x,y,z). Η διαδικασία εισαγωγής GCP/TP αποτελεί το μοναδικό κομμάτι στη διαδικασία εξαγωγής DEM από εικόνες, το οποίο δεν έχει αυτοματοποιηθεί. Για την αυτοματοποίηση και αυτής της διαδικασίας διεξάγεται αυτή τη στιγμή επισταμένη

έρευνα σχετικά με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης και έμπειρων συστημάτων ώστε να αντικατασταθεί πλήρως, αν είναι δυνατόν, η ανθρώπινη όραση και η διεργασία αναγνώρισης τους από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο τελευταίος, βασιζόμενος στους κανόνες που χρησιμοποιεί ο ανθρώπινος νους για να αναγνωρίσει γνωστές δομές, θα εντοπίζει με μεγαλύτερη ταχύτητα και χωρίς σφάλματα που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα (PCI, 2003).

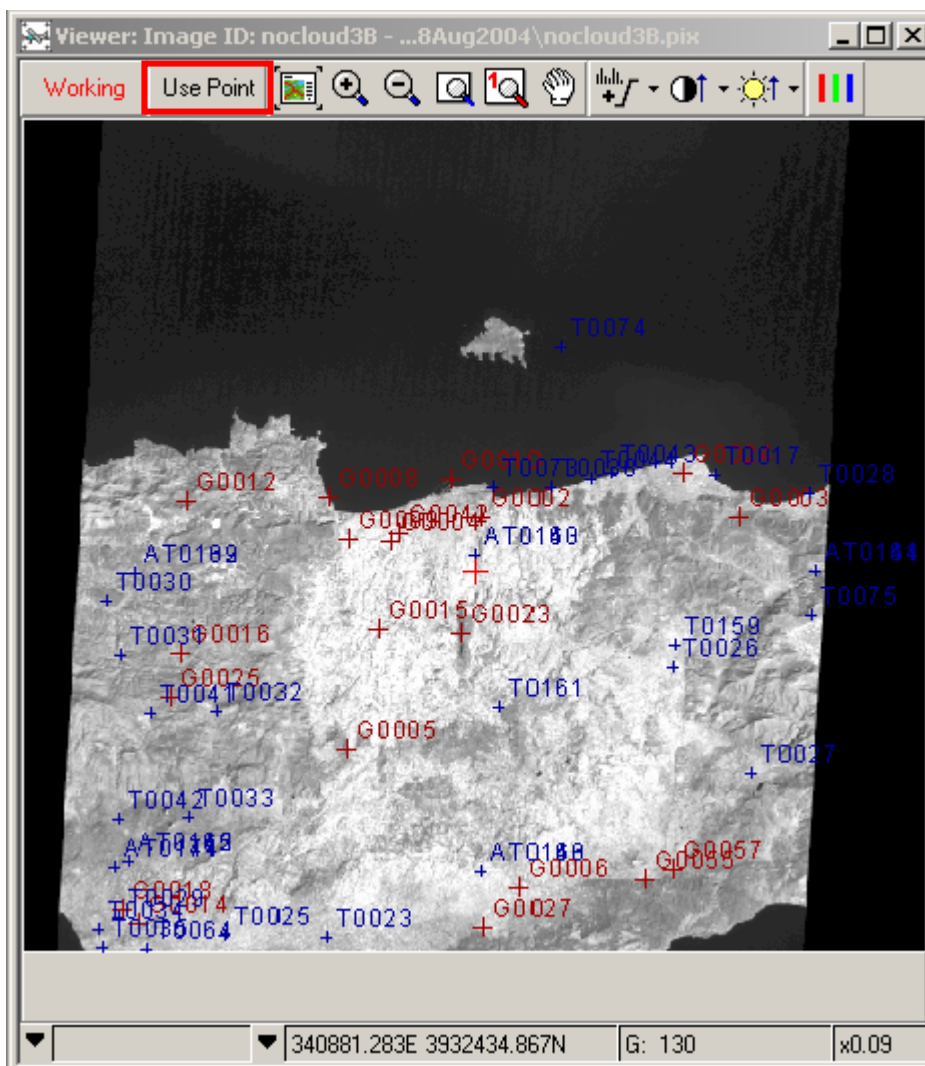
Από το πτυσσόμενου μενού της εργαλειοθήκης του Ortho-engine επιλέγεται “GCP/TP Collection”. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την εισαγωγή GCP, εισαγωγή με το χέρι, από γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα, από αρχεία διανυσματικών δεδομένων, από βάση δεδομένων chip, από ψηφιοποιητή ταμπλέτας, ή από κάποιο αρχείο.



Έπειτα ανοίγονται οι εικόνες της περιοχής ενδιαφέροντος σε διαφορετικά παράθυρα – Viewers. Στη συνέχεια επιλέγεται το δεύτερο πλήκτρο της εργαλειοθήκης για την εισαγωγή GCP χειροκίνητα.

Για την εισαγωγή των συντεταγμένων χρησιμοποιείται επικουρικά το λογισμικό ArcView 3.2 στο οποίο έχουν εισαχθεί υπό μορφή shape file τα ήδη διορθωμένα σημεία επίγειου ελέγχου (Pathfinder). Εντοπίζονται τα σημεία στις εικόνες εκτελώντας διαδοχικά zoom και βελτιώνοντας την εμφάνιση μεταβάλλοντας ανάλογα το ιστόγραμμα της εικόνας.

Εφόσον αναγνωρισθεί το σημείο σε επίπεδο Pixel σε όλες τις υποψηφίες εικόνες, τοποθετείται το σταυρόνημα και δίδεται η εντολή για χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου σημείου στο μοντέλο (Use Point) . Η διαδικασία φαίνεται στην εικόνα παρακάτω.



Κατά την προσθήκη σημείων GCP και σημείων TP υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονου (Real Time) υπολογισμού του μαθηματικού μοντέλου, οπότε μπορεί να εκτιμηθεί – (μια πρώτη εικόνα) η ποιότητα των σημείων επίγειου ελέγχου που εισάγονται κάθε φορά. Ο έλεγχος αυτός, γίνεται χρησιμοποιώντας τα υπολειμματικά (Residuals).

Τα υπολειμματικά “σφάλματα” (residual errors) αποτελούν τη διαφορά μεταξύ της θέσης (εικονοσυντεταγμένες) που δηλώθηκε ένα συγκεκριμένο GCP σε μια συγκεκριμένη εικόνα, και της θέσης που υπολογίζει για αυτό το σημείο, το μοντέλο, μέσω του “bundle adjustment”. Ο αλγόριθμος “bundle adjustment” αναζητεί την καλύτερη δυνατή θέση κάθε εικονοστοιχείου σε μια εικόνα, χρησιμοποιώντας όλα τα GCP/TP και στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού (EO) που είναι διαθέσιμα. Το κριτήριο για την επίλυση αυτή είναι η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων (least squares). Αυτό σημαίνει ότι κανένα GCP ή TP θα ταιριάζει απόλυτα (μηδέν υπολειμματικό). Τα

υπολειμματικά σφάλματα είναι η παραμένουσα μετατόπιση από την υπολογιζόμενη θέση. Τα υπολειμματικά, σε αυτή τη φάση δεν είναι λάθη που πρέπει να διορθωθούν, απλά βοηθούν στην εποπτεία της διαδικασίας εισαγωγής σημείων επίγειου ελέγχου ή σημείων σύνδεσης.

Point ID: G0059

Ground Control Point (GCP)

Auto Locate Bundle Update

Image Position

+/- 0.5 Pixel

+/- 0.5 Line

Georeferenced Position: TM D400

Elev +/- 1.000 m

+/- 1.0 E

+/- 1.0 N

Long Lat

Accept Delete New Point

Accepted Points: 20 Total

Residual Units: Ground Pixels

RMS: 1.20 X RMS: 0.91 Y RMS: 0.78

| Point ID | Residual | Res X | Res Y | Type |
|----------|----------|-------|-------|------|
| G0025 | 2.24 | -2.03 | 0.93 | GCP |
| G0023 | 1.90 | 0.26 | -1.88 | GCP |
| G0055 | 1.79 | -1.76 | 0.34 | GCP |
| G0003 | 1.61 | -1.11 | 1.16 | GCP |
| G0015 | 1.41 | 0.77 | -1.18 | GCP |
| G0057 | 1.29 | 0.66 | 1.11 | GCP |
| G0014 | 1.26 | -1.23 | 0.24 | GCP |

Auxiliary Information

Select DEM: Extract Elevation

Close Help

Tie Point ID: T0196

Elevation +/- m

Auto Locate Bundle Update

Working Image Tie Point

nocloud3B +/- P

+/- L

Reference Image Tie Points

| Image ID | Pixels | Lines |
|----------|--------|-------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Quick Open Image

Accept Delete Clear Center Images on Points

Accepted Tie Points: 36 Total

Residual Units: Ground Pixels

| Point ID | Residual | Res X | Res Y | Type | Image |
|----------|----------|-------|-------|------|-------|
| T0017 | 0.084 | 0.08 | 0.00 | TP | 3E |
| T0023 | 0.262 | 0.26 | 0.00 | TP | 1E |
| T0025 | 0.193 | -0.10 | -0.17 | TP | 11 |
| T0026 | 0.009 | 0.01 | 0.00 | TP | 3E |
| T0027 | 0.400 | -0.40 | -0.01 | TP | 4E |
| T0028 | 0.131 | -0.13 | -0.00 | TP | 4E |
| T0029 | 0.228 | 0.23 | 0.01 | TP | 5E |
| T0030 | 0.692 | 0.02 | 0.69 | TP | 4E |

Auxiliary Information

Select DEM:

Κανονικά, στόχος είναι να διατηρούνται τα υπολειμματικά για κάθε GCP σε διαστάσεις υπό-pixel, αυτός ο στόχος βέβαια προϋποθέτει, τη δυνατότητα ακριβών μετρήσεων GPS (ακρίβεια μικρότερη του pixel).

Η μέθοδος “Bundle Adjustment” ή συντόθωση κατά δέσμες αποτελεί τον υπολογισμό του αυστηρού μαθηματικού μοντέλου, είναι μια μέθοδος για τον υπολογισμό της θέσης και του προσανατολισμού του αισθητήρα τη στιγμή της λήψης. Όταν ο προσανατολισμός και η θέση του αισθητήρα έχουν αναγνωριστεί, η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ακριβή διόρθωση της εικόνας από

γνωστές παραμορφώσεις. Στο «τροχιακό μοντέλο», η θέση και ο προσανατολισμός του δορυφόρου περιγράφεται από ένα συνδυασμό μεταβλητών οπτικής γεωμετρίας λόγω των επιδράσεων της θέσης, της ταχύτητας, του προσανατολισμού, του χρόνου λήψης και του οπτικού πεδίου του δορυφόρου. Η μέθοδος “Bundle adjustment” συνόρθωση μπλοκ εικόνων κατά δέσμες χρησιμοποιεί σημεία επίγειου ελέγχου GCP’s και σημεία σύνδεσης TP’s σε συνδυασμό με τη γνωστή γεωμετρία του αισθητήρα, ώστε να υπολογίσει το καλύτερο δυνατό ταίριασμα για όλες τις εικόνες του μοντέλου *ταυτόχρονα*.

Με την προσθήκη νέων σημείων επίγειου ελέγχου και σημείων σύνδεσης, επανακαθορίζεται η λύση του μαθηματικού μοντέλου, ωστόσο δεν έχουν όλα τα σημεία την ίδια επιρροή και αξιοπιστία στο μαθηματικό μοντέλο, κατά τον υπολογισμό του μοντέλου, λαμβάνει χώρα αξιολόγηση των νέων παραμέτρων σε σχέση με το προηγούμενο μοντέλο και χρησιμοποιούνται τα πιο αξιόπιστα για τη λύση.

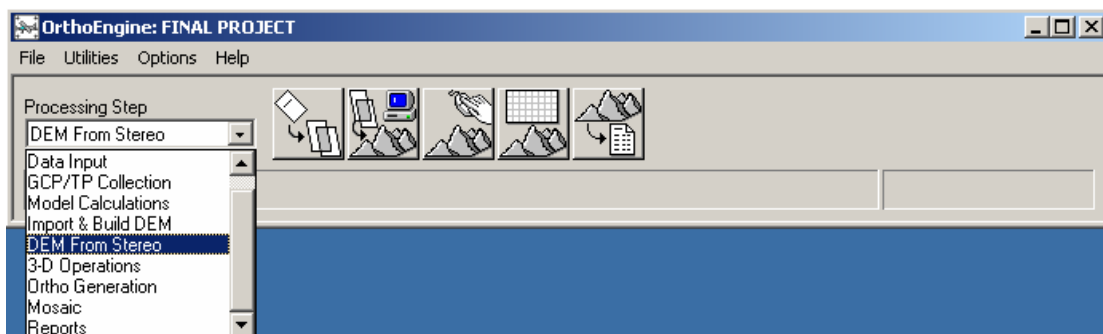
□ Δημιουργία Ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την εξαγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους, στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιώντας το λογισμικό PCI δημιουργείται DEM από επιπολικές εικόνες. Οι επιπολικές εικόνες είναι στέρεο-ζεύγη εικόνων επαναπροβλημένα ώστε η αριστερή και η δεξιά εικόνα να έχουν κοινό προσανατολισμό, ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται επιπολικές εικόνες είναι για τη διευκόλυνση του αλγόριθμου ταύτισης ομόλογων χαρακτηριστικών. Η ανίχνευση για ομόλογα χαρακτηριστικά γίνεται πάνω σε έναν κοινό άξονα x και όχι σε ολόκληρο το πλάτος της εικόνας.

Η διαδικασία που ακολουθείται αποτελείται από τα παρακάτω στάδια:

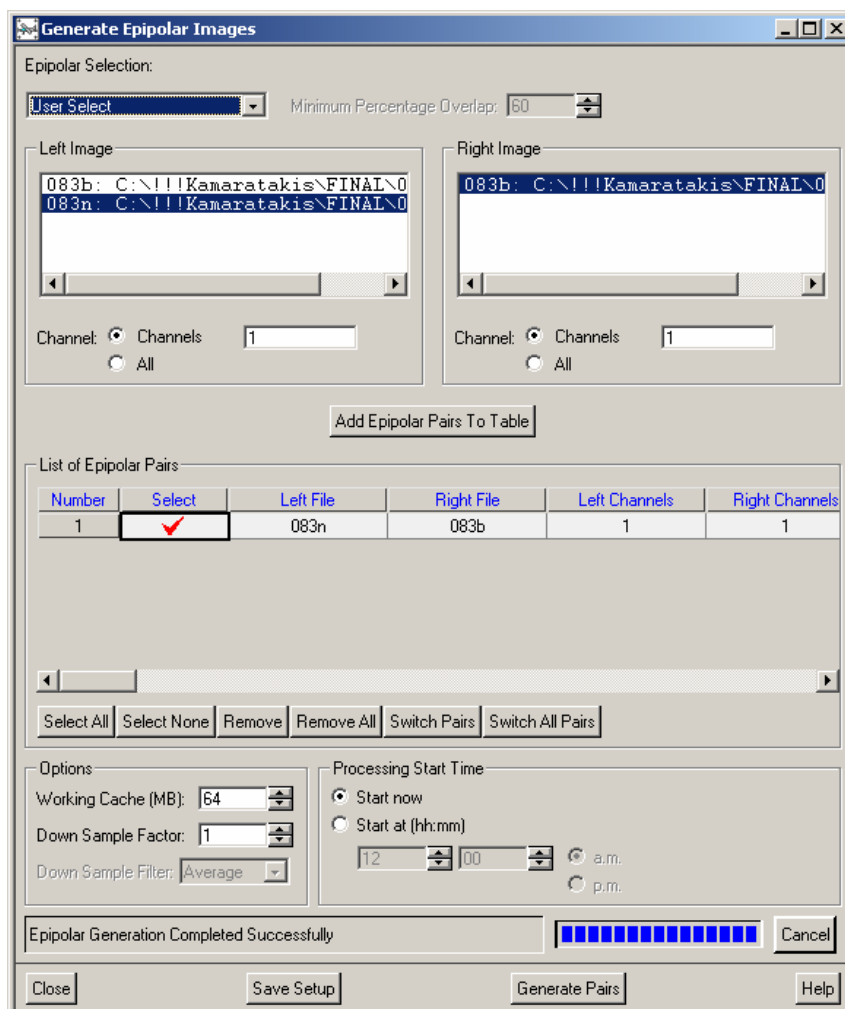
- Μετατροπή των αρχικών εικόνων σε επιπολικά ζεύγη εικόνων.
- Εξαγωγή DEM από την επικαλυπτόμενη περιοχή μεταξύ των επιπολικών DEM.
- Γεωκωδικοποίηση του DEM που προκύπτει συνολικά από το μπλοκ των εικόνων..

Από το πτυσσόμενο menu του PCI γίνεται επιλογή DEM from Stereo



Στην εργαλειοθήκη του Ortho-engine εμφανίζονται πέντε επιλογές, η πρώτη είναι για τη δημιουργία επιπολικών ζευγών, η δεύτερη για την αυτόματη εξαγωγή DEM, η τρίτη για την «δια χειρός» διόρθωση του DEM (manually edit DEM), η τέταρτη είναι για την εκ των υστέρων γεωκωδικοποίηση ενός DEM και η πέμπτη εξυπηρετεί τη διαδικασία εξαγωγής ενός DEM σε αρχείο κειμένου (*.txt)

Για την δημιουργία ζευγών επιπολικών, επιλέγεται το πρώτο πλήκτρο, οπότε εμφανίζεται η παρακάτω οθόνη:

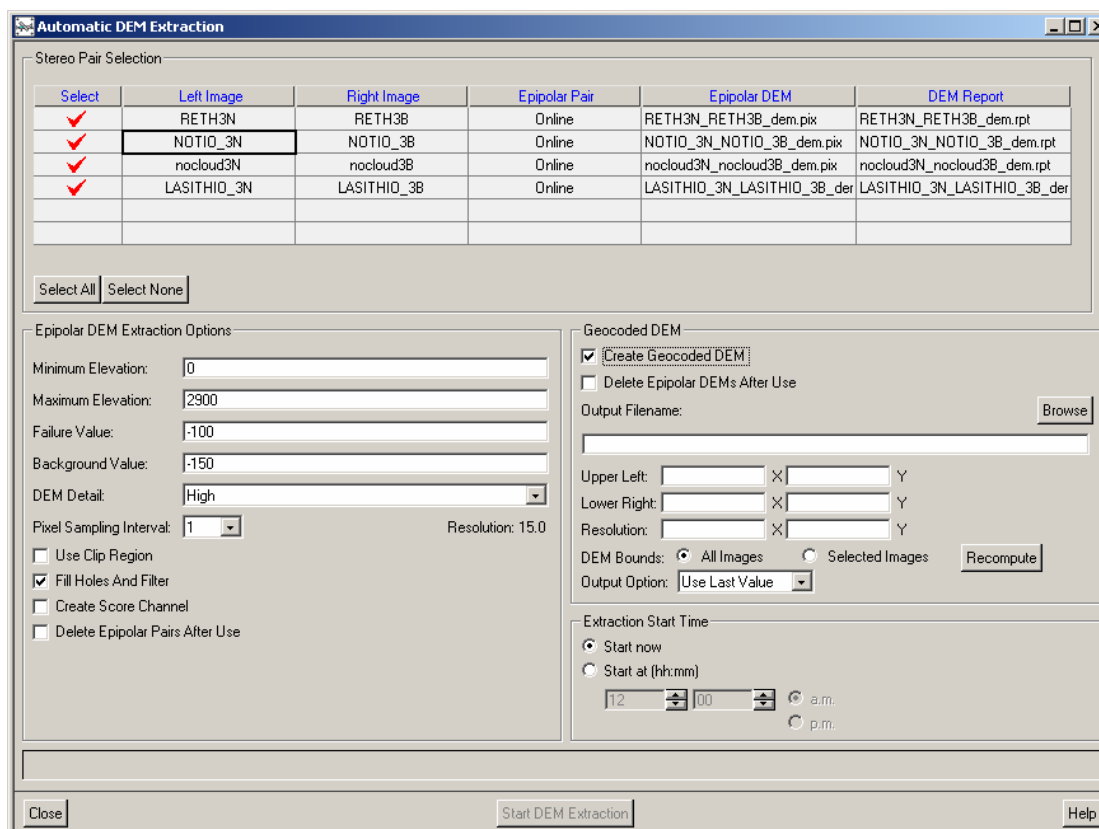


από την οθόνη αυτή γίνεται επιλογή της εικόνας – κανάλι που τοποθετείται αριστερά και την εικόνα που τοποθετείται δεξιά, έπειτα επιλέγεται το «πλήκτρο» **Add Epipolar**

Pairs To Table. Για την επιλογή επιπολικού ζεύγους (πτυσσόμενο μενού πάνω αριστερά της οθόνης), υπάρχουν τρεις τρόποι, είτε ο χρήστης αποφασίζει ποια θα είναι τα ζεύγη του, είτε το πρόγραμμα αποφασίζει με βάση τη μέγιστη επικάλυψη ή όλα τα υπάρχοντα επικαλυπτόμενα ζεύγη.

Από τις επιλογές “options” ορίζεται το μέγεθος μνήμης που θα χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα κατά τη διάρκεια της δημιουργίας ζευγών, επίσης γίνεται επιλογή των αριθμό των εικονοστοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός εικονοστοιχείου επιπολικών εικόνων.

Εφόσον έχουν δημιουργηθεί οι επιπολικές εικόνες, το επόμενο στάδιο αναφέρεται στην αυτόματη εξαγωγή DEM. Η διαδικασία αυτή ενεργοποιείται κάνοντας επιλογή το δεύτερο πλήκτρο της εργαλειοθήκης «Automatic DEM extraction» εμφανίζοντας την παρακάτω οθόνη:



Επιλέγονται ποια επιπολικά ζεύγη θα χρησιμοποιηθούν, όπως φαίνεται στην οθόνη, για κάθε εικόνα που χρησιμοποιείται αντιστοιχεί και ένα επιπολικό ζεύγος.

Επιλογές εξαγωγής:

- Μέγιστο – Ελάχιστο υψόμετρο (Minimum – Maximum Elevation)**
- Τιμή ασυσχέτιστου εικονοστοιχείου (Failure Value)**
- Τιμή εικονοστοιχείου για το φόντο (Background Value)**

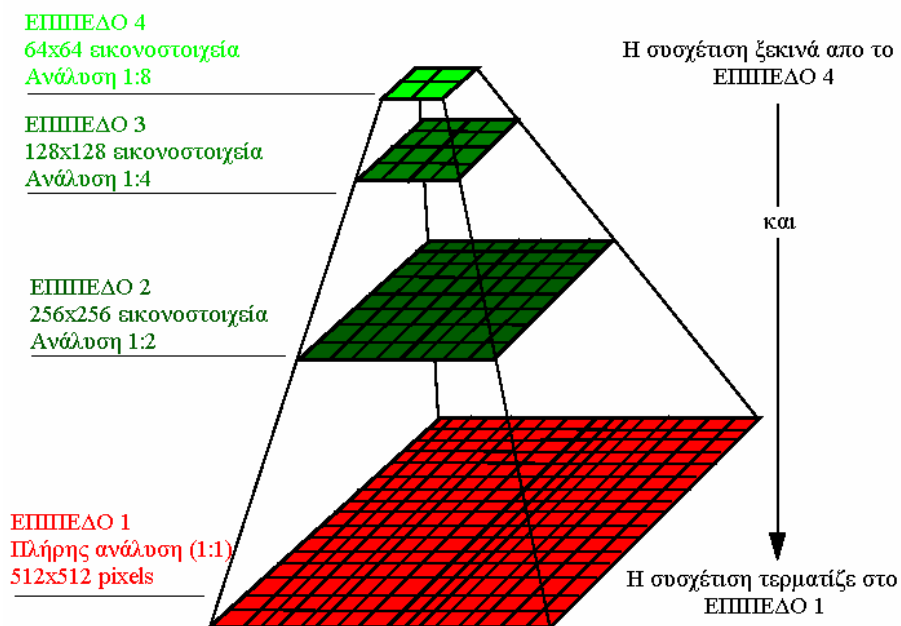
- **Διάστημα δειγματοληψίας εικονοστοιχείων (Pixel Sampling Interval)**
- **Λεπτομέρεια DEM (DEM detail)**
- **Αυτόματη πλήρωση κενών & φιλτράρισμα (Fill Holes and Filter)**
- **Δημιουργία εικόνας ελέγχου ταύτισης (Create Score Channel)**

Οι επιλογές αυτές είναι ουσιαστικές για το τελικό προϊόν, στην επιλογή για μέγιστο/ελάχιστο υψόμετρο δίδονται εκτιμώμενες τιμές έτσι ώστε να περιοριστεί η περιοχή αναζήτησης κατά τη συσχέτιση. Αυτό αυξάνει την ταχύτητα και μειώνει τα σφάλματα συσχέτισης. *Αν το DEM που παράγεται περιέχει ασυσχέτιστες περιοχές σε ψηλές κορυφές, κοιλάδες ή ακτογραμμή, ενδείκνυται η αύξηση του εύρους αυτού.*

Σαν τιμή ασυσχέτιστου εικονοστοιχείου, δίδεται η τιμή που θα έχουν τα Pixels τα οποία απέτυχαν στη διαδικασία συσχέτισης, συνήθως δίδεται μια μεγάλη αρνητική τιμή (-100), επίσης απαιτείται να οριστεί η τιμή που θα έχουν τα εικονοστοιχεία που θα αποτελούν το υπόβαθρο (-150).

Διάστημα δειγματοληψίας

Η αυτόματη διαδικασία εξαγωγής DEM χρησιμοποιεί τεχνικές ταύτισης εικόνας (Image matching) για να ταιριάζει χαρακτηριστικά στην αριστερή και τη δεξιά εικόνα ενός στερεοζεύγους. Ο καλύτερος τρόπος για να βρεθούν αυτά τα χαρακτηριστικά, είναι με την ιεραρχική προσέγγιση «πυραμίδας», χρησιμοποιώντας μια πυραμίδα από εικόνες μειωμένης ανάλυσης, η πρώτη προσπάθεια συσχέτισης πραγματοποιείται σε pixels χαμηλής διακριτικής ικανότητας των εικόνων, έπειτα η επόμενη προσπάθεια γίνεται χρησιμοποιώντας pixels καλύτερης διακριτικής ικανότητας, μέχρι τη μέγιστη χωρική διακριτική ικανότητα που υπάρχει διαθέσιμη (στην περίπτωση μας 15m). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται αύξηση της ταχύτητας της διαδικασίας συσχέτισης και μείωση του αριθμού των αποτυχημένων (να συσχετιστούν) pixels.



Πυραμίδα συσχέτισης από μικρή έως πλήρη ανάλυση

Η επιλογή διάστημα δειγματοληψίας και λεπτομέρεια DEM καθορίζουν τον τύπο DEM που θα παραχθεί, συγκεκριμένα το DEM detail καθορίζει την ακρίβεια του DEM. Επιλέγοντας υψηλή, μέση ή χαμηλή καθορίζεται σε ποιο στάδιο της πυραμίδας να σταματήσει η συσχέτιση, αν επιλεγθεί High, τότε η συσχέτιση θα γίνει **και** στη μέγιστη δυνατή ανάλυση που στην περίπτωση μας είναι 15m (ASTER VNIR Swath resolution). Το pixel sampling καθορίζει το μέγεθος του στοιχείου που θα έχει το τελικό DEM σχετικά με το μέγεθος του στοιχείου των εικόνων εισόδου. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός που θα επιλεγθεί, τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το εικονοστοιχείο του τελικού DEM (ERDAS 2000).

Εικόνα ελέγχου ταύτισης:

Η εικόνα (-κανάλι) ελέγχου ταύτισης είναι ένα ψηφιδωτό αρχείο (Raster file) που αποτελείται από τόσα στοιχεία όσα και τα εικονοστοιχεία του παραγόμενου DEM, οι τιμές των στοιχείων αυτών περιέχουν ως τιμή, το βαθμό συσχέτισης για το κάθε pixel χρησιμοποιώντας ένα εύρος τιμών από 0-99. Η «ψευδής» εικόνα που δημιουργείται χρησιμοποιείται για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου συσχέτισης – ταύτισης.



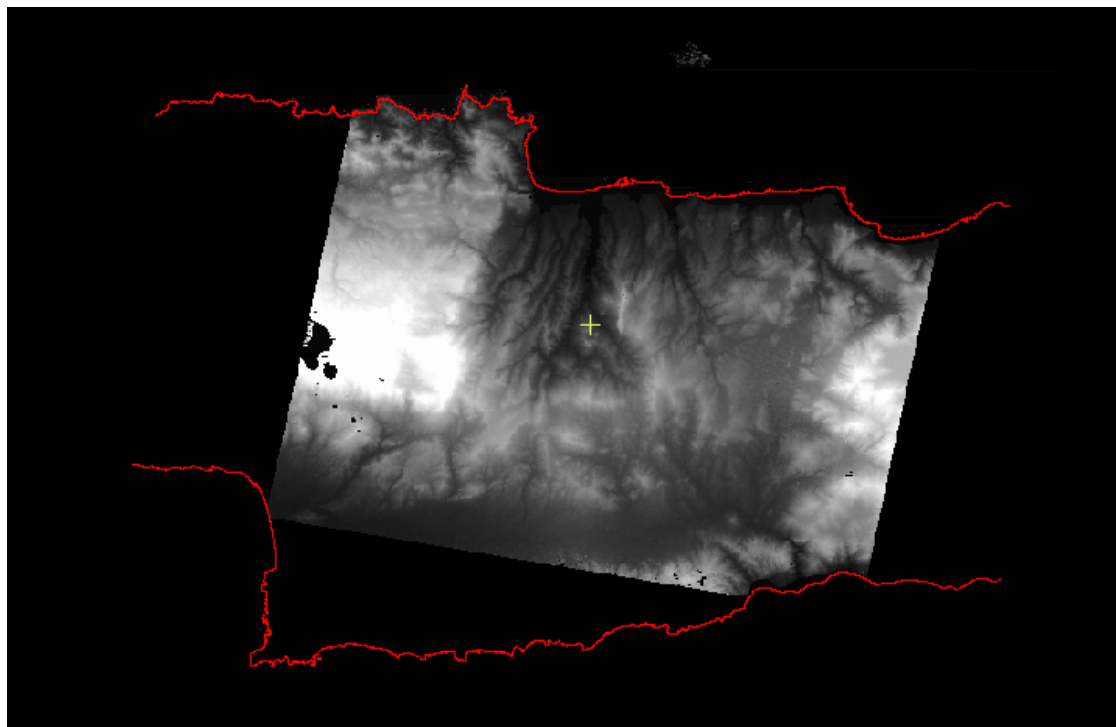
Στην παρούσα φάση, το κανάλι αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποβοήθηση της «συρραφής» (Geocoding) ενός DEM από δύο ή περισσότερες εικόνες με επικάλυψη. Χρησιμοποιώντας το “Score Channel” από το πρόγραμμα επιλέγονται τα στοιχεία (στις επικαλυπτόμενες επιφάνειες) με την καλύτερη συσχέτιση, για την παραγωγή του DEM. Στην παραπάνω εικόνα – ελέγχου ταύτισης για το νομό Ηρακλείου παρατηρείται ότι οι καλύτερα σχετιζόμενες περιοχές από το Block τεσσάρων εικόνων, βρίσκονται στο νομό Ηρακλείου (περιοχή ενδιαφέροντος) αυτό συμβαίνει γιατί η πληθώρα των σημείων επίγειου ελέγχου και σημείων σύνδεσης με τα οποία έχει τροφοδοτηθεί το μοντέλο βρίσκονται μέσα στην περιοχή αυτή.

6. Τελικά προϊόντα και αξιολόγηση.

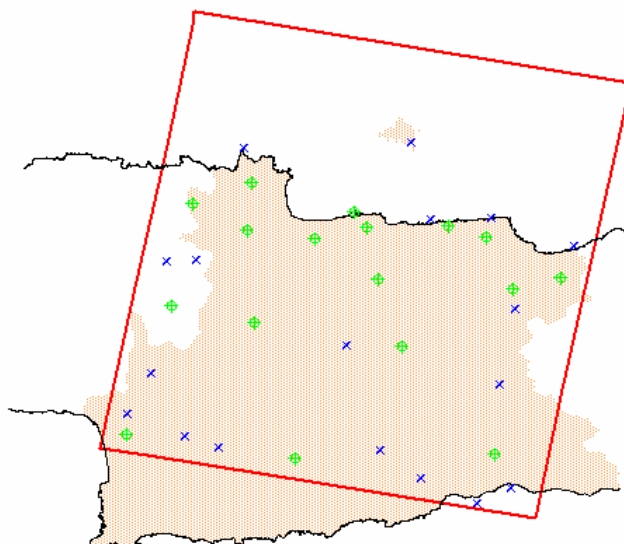
6.1. Τελικά προϊόντα

Η διαδικασία εξαγωγής DEM ακολουθώντας τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε με δύο τρόπους, ο ένας αφορούσε τη συνολική εξαγωγή DEM από μπλοκ τεσσάρων ζευγών εικόνων (HER – RET – LAS – SOU) και ο άλλος την εξαγωγή DEM για κάθε ζεύγος εικόνων ξεχωριστά, και στις δύο περιπτώσεις έγιναν δοκιμές (– πειράματα) μεταβάλλοντας τις παραμέτρους του προγράμματος. Στις παρακάτω εικόνες, φαίνονται τα αποτελέσματα για την εξαγωγή από κάθε εικόνα.

→ Εξαγωγή DEM για το ζεύγος εικόνων: **HER 3N, HER 3B (1)**:

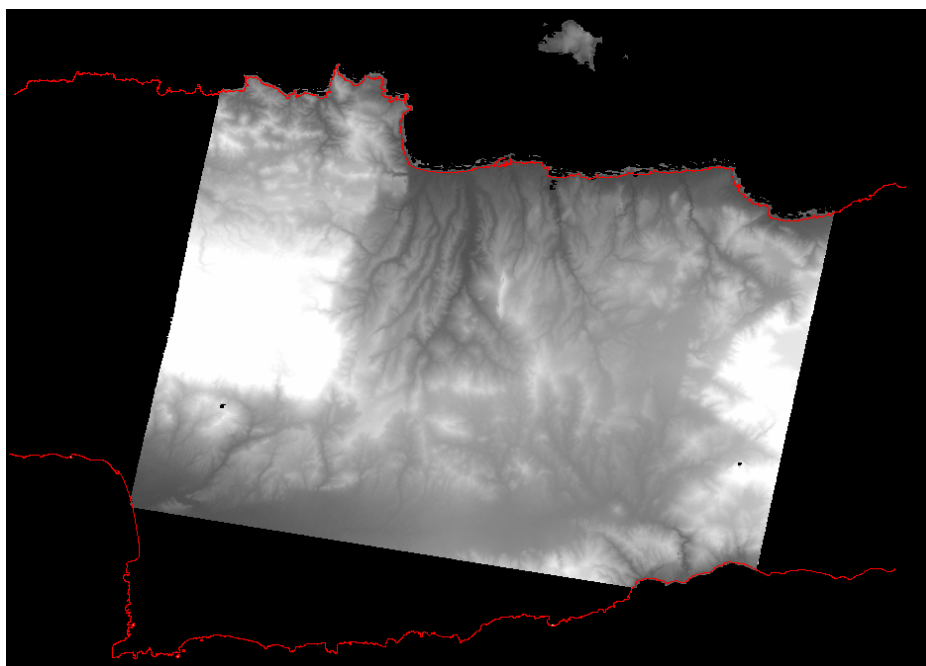


Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου της εικόνας (HER) καλύπτει σχεδόν ολόκληρο το νομό Ηρακλείου. Τα σημεία επίγειου ελέγχου και σημεία σύνδεσης που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στο παρακάτω απόσπασμα χάρτη.

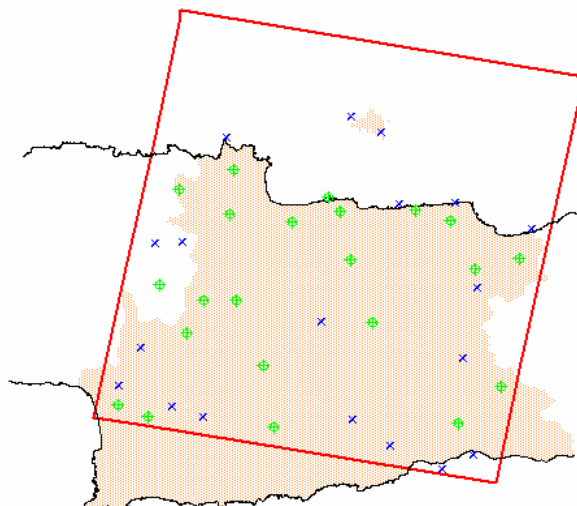


Δυτικά του νομού Ηρακλείου, κοντά στα σύνορα με το νομό Ρεθύμνου, στην οροσειρά του Ψηλορείτη παρατηρούμε ότι υπάρχει μια σημαντική έκταση αποτυχίας του αλγορίθμου “Image matching”. Ο αλγόριθμος απέτυχε να συσχετίσει τις εικόνες, αυτό οφείλεται στο έντονο ανάγλυφο της περιοχής. Όπως αναφέρεται παρακάτω, με την προσθήκη περισσότερων σημείων επίγειου ελέγχου και σημείων σύνδεσης, η περιοχή αυτή μπορεί να δώσει καλύτερο αποτέλεσμα.

→ Εξαγωγή DEM για το ζεύγος εικόνων: **HER 3N, HER 3B (2)**:

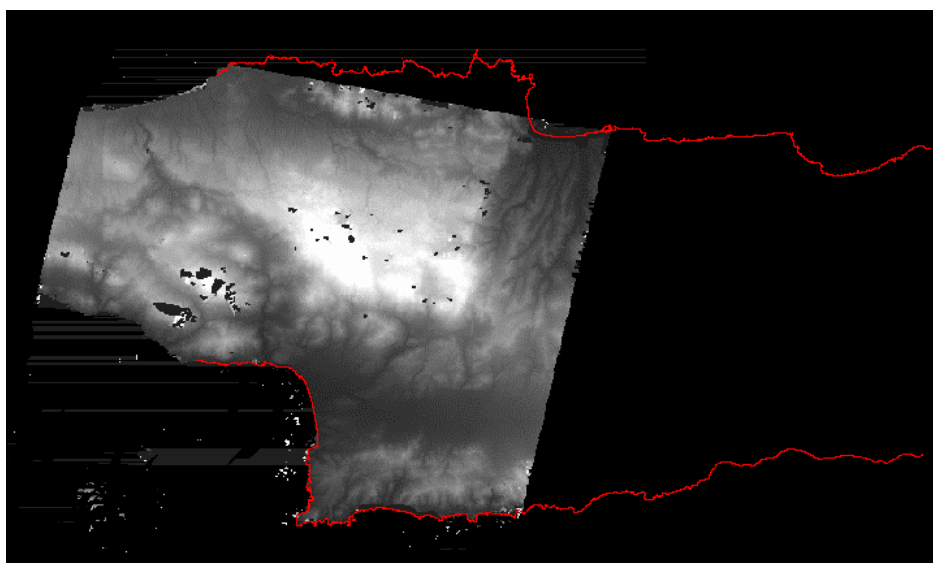


Το ίδιο ζεύγος εικόνων χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου της εικόνας (HER). Τα σημεία επίγειου ελέγχου και σημεία σύνδεσης που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στο παρακάτω απόσπασμα χάρτη.

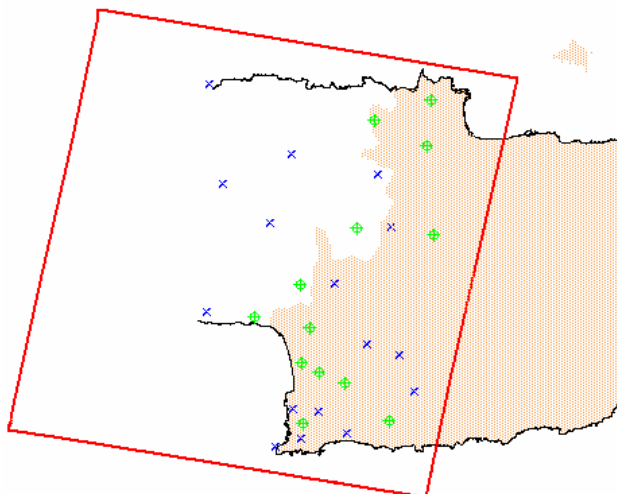


Στο συγκεκριμένο ψηφιακό μοντέλο, η ποιότητα των πρωτογενών δεδομένων (εικόνες) καθώς και το πλήθος – κατανομή των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν επαρκής ώστε να έχουμε μια πολύ καλή απόδοση του ανάγλυφου, στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής ενδιαφέροντος. Ωστόσο, με μια πιο λεπτομερή παρατήρηση, μπορεί κανείς να αντιληφθεί σημεία - κάτω αριστερά - κάτω δεξιά και κοντά στη βόρεια ακτογραμμή όπου ο αλγόριθμος συσχέτισης του μοντέλου (Image Matching) απέτυχε, λόγω της ύπαρξης υδάτινων μαζών και πληθώρας ανθρωπογενών χαρακτηριστικών στο έδαφος.

→ Εξαγωγή DEM για το ζεύγος εικόνων **RETH 3N, RETH 3B**:

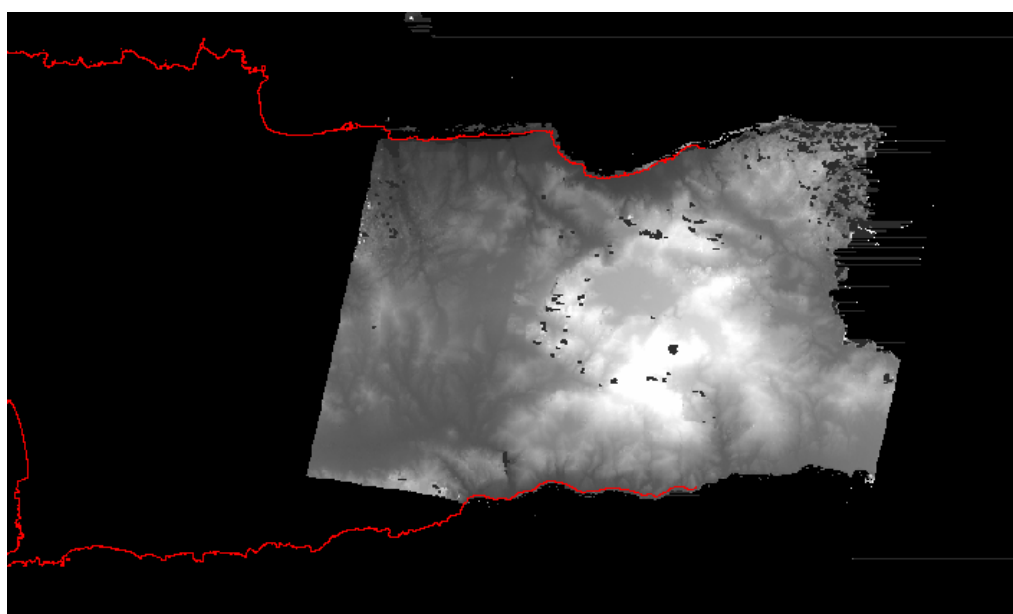


Το ζεύγος εικόνων που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου της εικόνας (RETH) καλύπτει σχεδόν ολόκληρο το νομό Ρεθύμνου. Τα σημεία επίγειου ελέγχου και σημεία σύνδεσης που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στο παρακάτω απόσπασμα χάρτη.

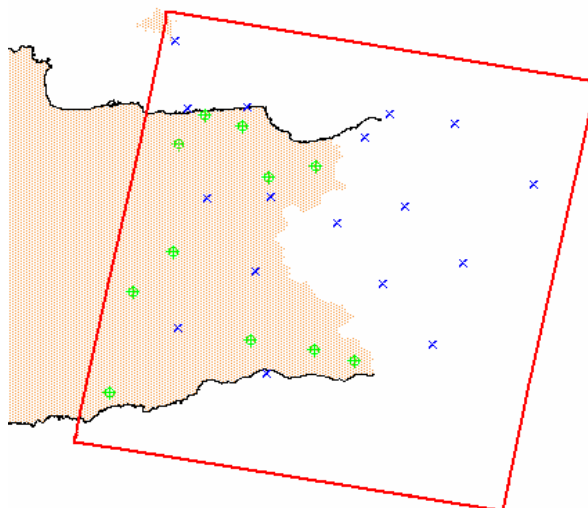


Το εν λόγω ψηφιακό μοντέλο συνολικά δεν είναι και τόσο ικανοποιητικό εξαιτίας της μεγάλης ανομοιογένειας του εδάφους σε συνδυασμό με την έλλειψη σημείων επίγειου ελέγχου σε αυτές τις περιοχές (π.χ οροσειρές Ψηλορείτη – Κουλούκωνα – Κέδρου). Ωστόσο η απόδοση του αναγλύφου στις περιοχές ενδιαφέροντος είναι πολύ καλή. Περιοχές νότιο-δυτικά του Ηρακλείου έχουν αναπαρασταθεί καλά.

→ Εξαγωγή DEM για το ζεύγος εικόνων *LAS 3N, LAS 3B*

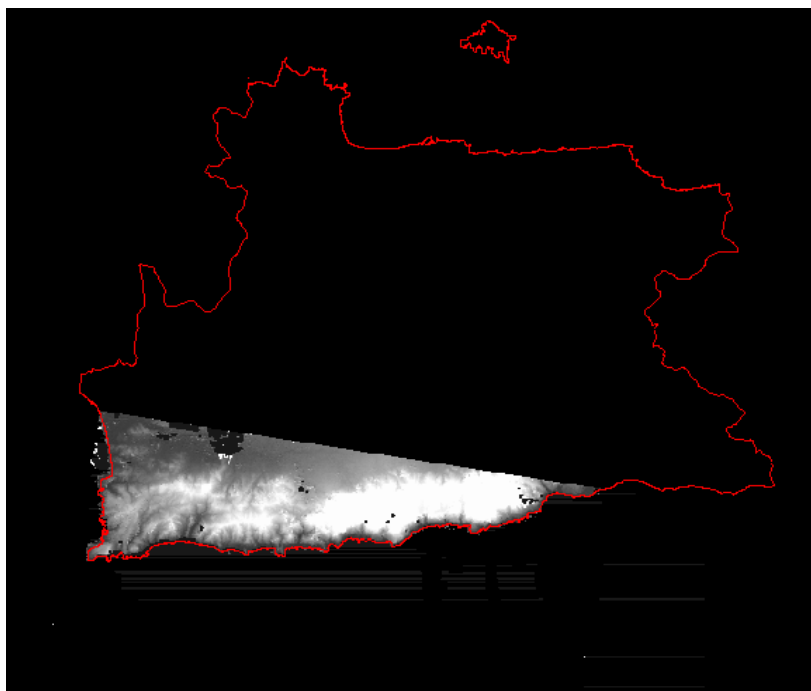


Το ζεύγος εικόνων για την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου της εικόνας (LAS) περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του νομού Λασιθίου. Τα σημεία επίγειου ελέγχου και σημεία σύνδεσης που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στο παρακάτω απόσπασμα χάρτη.



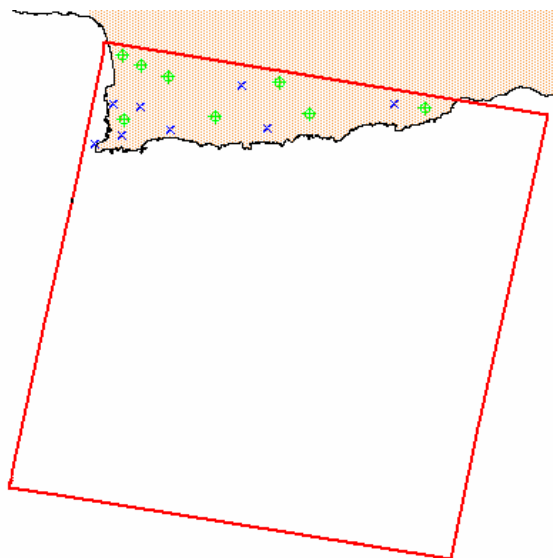
Η έλλειψη σημείων επίγειου ελέγχου στον Άγιο Νικόλαο, είναι ο κύριος λόγος αποτυχίας του αλγορίθμου συσχέτισης στην ευρύτερη περιοχή της Ελούντας.

→ Εξαγωγή DEM για το ζεύγος εικόνων *SOU 3N, SOU 3B*

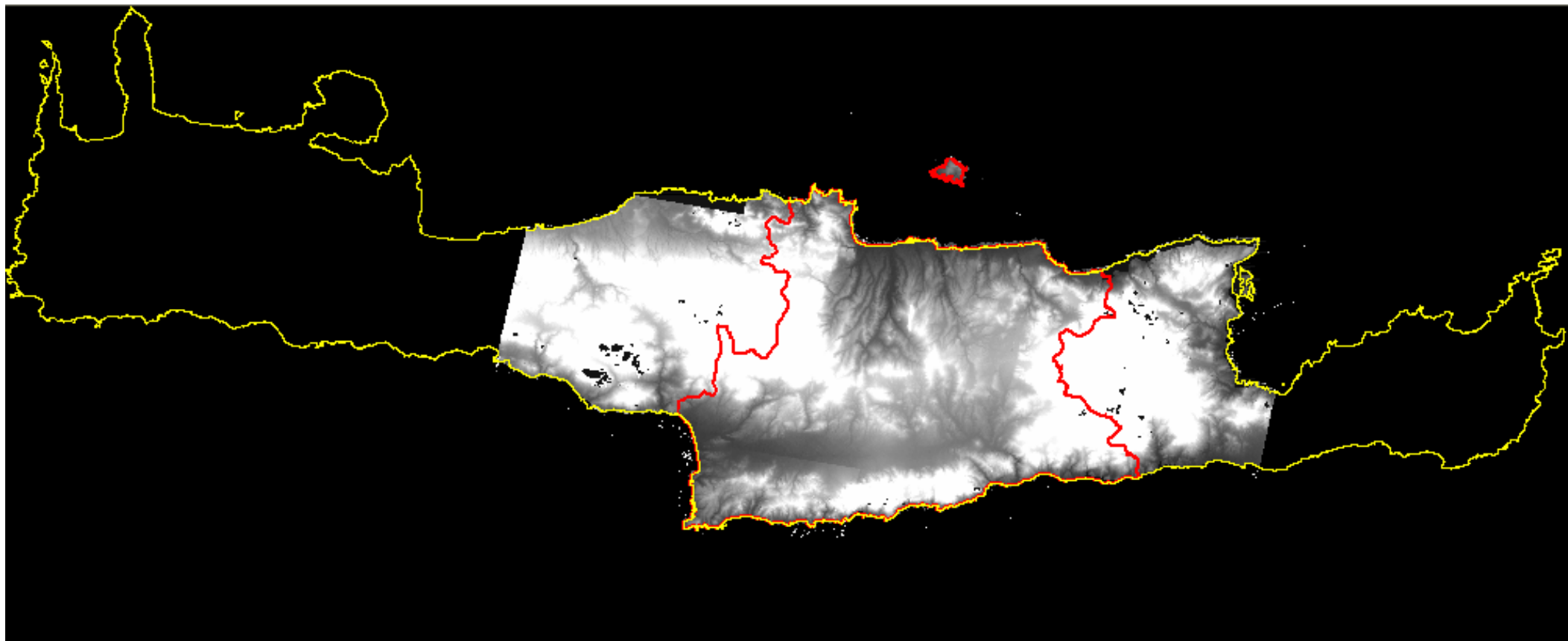


Το στέρεο-μοντέλο για την εξαγωγή του DEM της εικόνας δημιουργήθηκε από ζεύγος εικόνων όπου στο μεγαλύτερο μέρος τους (80% περίπου) περιείχαν θάλασσα, οπότε τα σημεία επίγειου ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν, αναγκαστικά

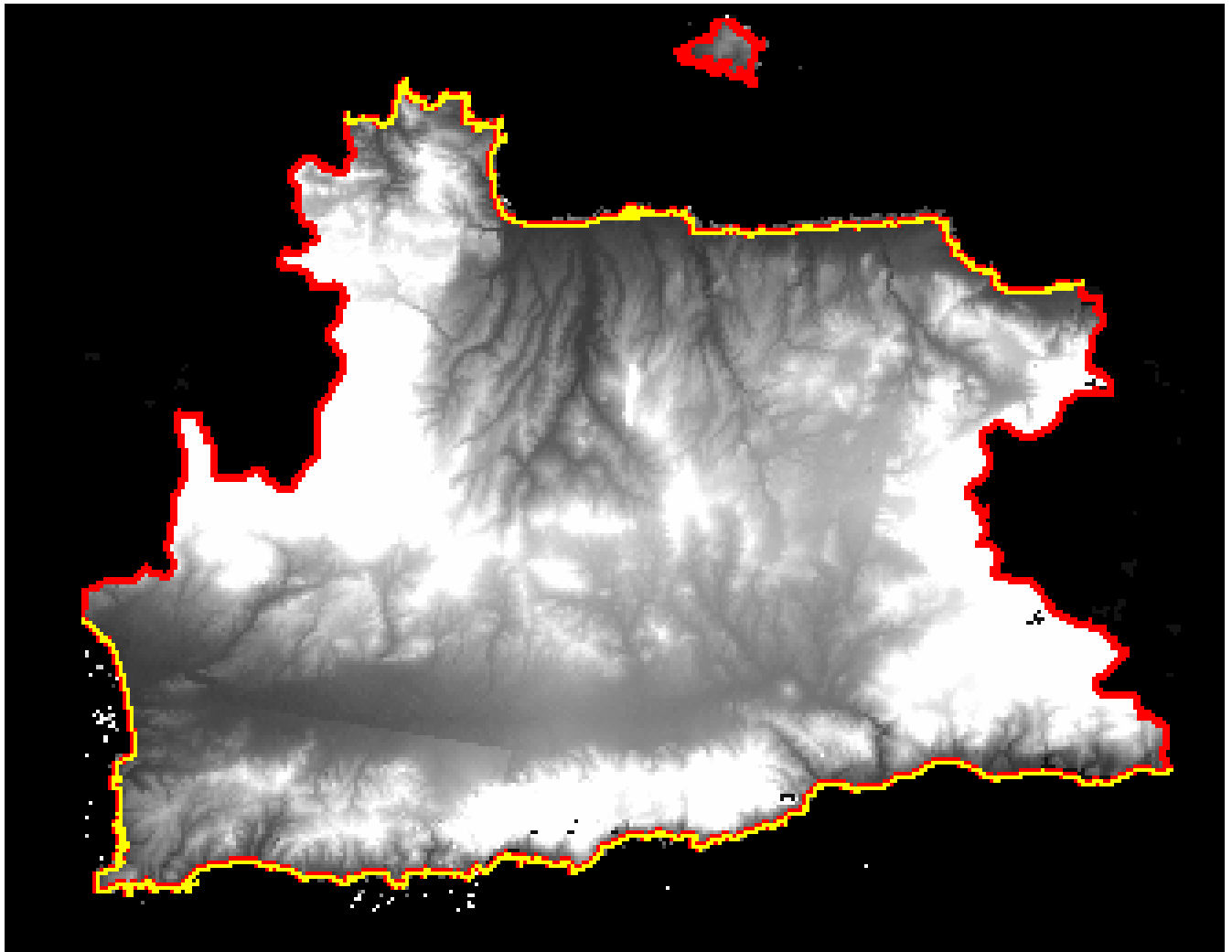
βρίσκονται συγκεντρωμένα πάνω στο τμήμα της εικόνας το οποίο περιλαμβάνει έδαφος και κατά συνέπεια χαρακτηριστικά που μπορούν να αναγνωριστούν στην εικόνα. Στο παρακάτω απόσπασμα χάρτη φαίνεται η κατανομή των σημείων.



Μετά την εξαγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους για κάθε εικόνα ακολούθησε η συνολική εξαγωγή DEM από μπλοκ τεσσάρων ζευγών εικόνων (HER – RET – LAS – SOU). Το αποτέλεσμα εμφανίζεται ικανοποιητικό στην περιοχή του νομού Ηρακλείου αφού εκεί συγκεντρώνεται η πλειοψηφία των επίγειων σημείων ελέγχου καθώς και των σημείων σύνδεσης.



Εικ. 6.1: Ψηφιακό Μοντέλο: RETH-HER-LAS-SOU



Εικ. 6.2: Τελικό προϊόν – Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους Νομού Ηρακλείου

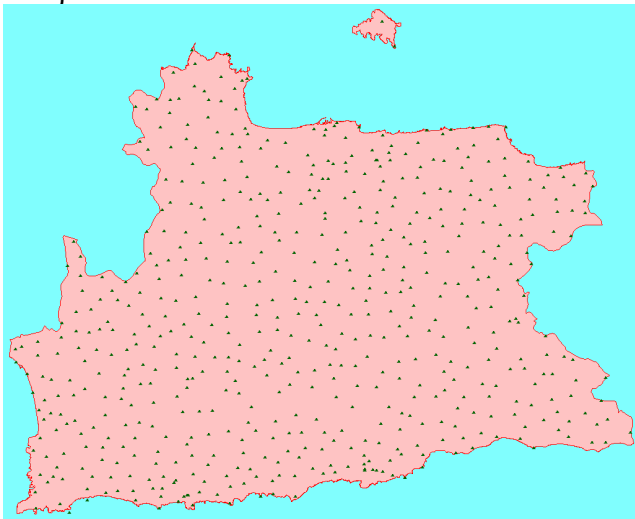
6.2. Πηγές σφαλμάτων

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια του τελικού αποτελέσματος, αφορούν την ποιότητα των αρχικών δεδομένων, την ορθότητα των μετρήσεων πεδίου καθώς και τη διαδικασία επεξεργασίας τους για την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου. Περιοχές αποτυχημένης συσχέτισης του αλγορίθμου “Image Matching” οφείλουν την ύπαρξη τους σε ατμοσφαιρικές παρεμβολές (σύννεφα), σκιές λόγω αναγλύφου, υδάτινες μάζες (φράγματα, λίμνες), πυκνές αστικές περιοχές, λατομικές ζώνες, και στην ακτογραμμή. Ο προσδιορισμός των σημείων επίγειου ελέγχου και η ακριβής αντιστοίχιση τους στις εικόνες του στερεομοντέλου είναι κρίσιμα και θα πρέπει να γίνονται με προσοχή.

Επίσης πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ομοιόμορφη κατανομή και το πλήθος των σημείων επίγειου ελέγχου και σημείων GCP στις εικόνες. Περιοχές με έντονο ανάγλυφο, απαιτούν περισσότερα σημεία επίγειου ελέγχου κατανεμημένα σε διάφορα ύψη. Μια τέτοια κατανομή εξασφαλίζει καλύτερη συσχέτιση των αρχικών εικόνων, χωρίς περιοχές «αστοχίας».

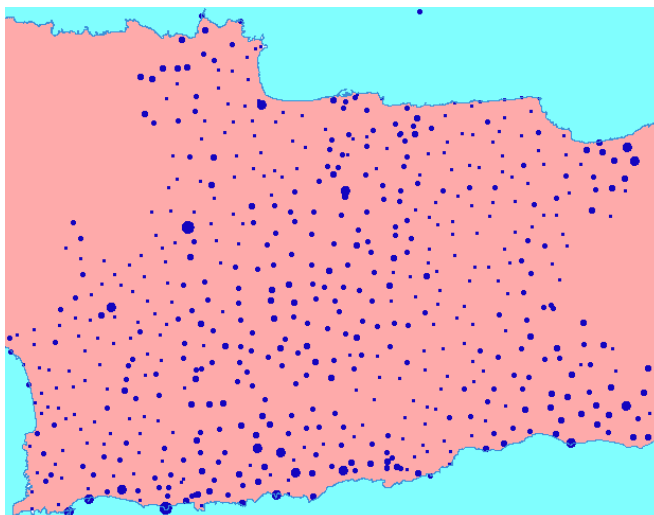
6.3. Μεθοδολογία εκτίμησης – ακρίβεια προϊόντος

Για την αξιολόγηση του DEM χρησιμοποιήθηκαν 591 τριγωνομετρικά⁹ σημεία της περιοχής του Νομού Ηρακλείου



Εικ. 6.3: Τριγωνομετρικά σημεία του νομού Ηρακλείου

Η αξιολόγηση στηρίζεται στην σύγκριση των υψών (z - συντεταγμένη) των τριγωνομετρικών σημείων με τα ύψη των αντίστοιχων σημείων του ψηφιακού μοντέλου εδάφους που έχει δημιουργηθεί. Μία πρώτη εικόνα για τις υψομετρικές διαφορές ανάμεσα στο εξαγόμενο DEM και στα τριγωνομετρικά σημεία, μπορεί να φανεί στο παρακάτω απόσπασμα χάρτη με την βοήθεια ζωνών επέκτασης (“Buffers”). Τα σημεία με μεγαλύτερη υψομετρική διαφορά, εμφανίζονται ως μεγαλύτερες ζώνες επέκτασης.

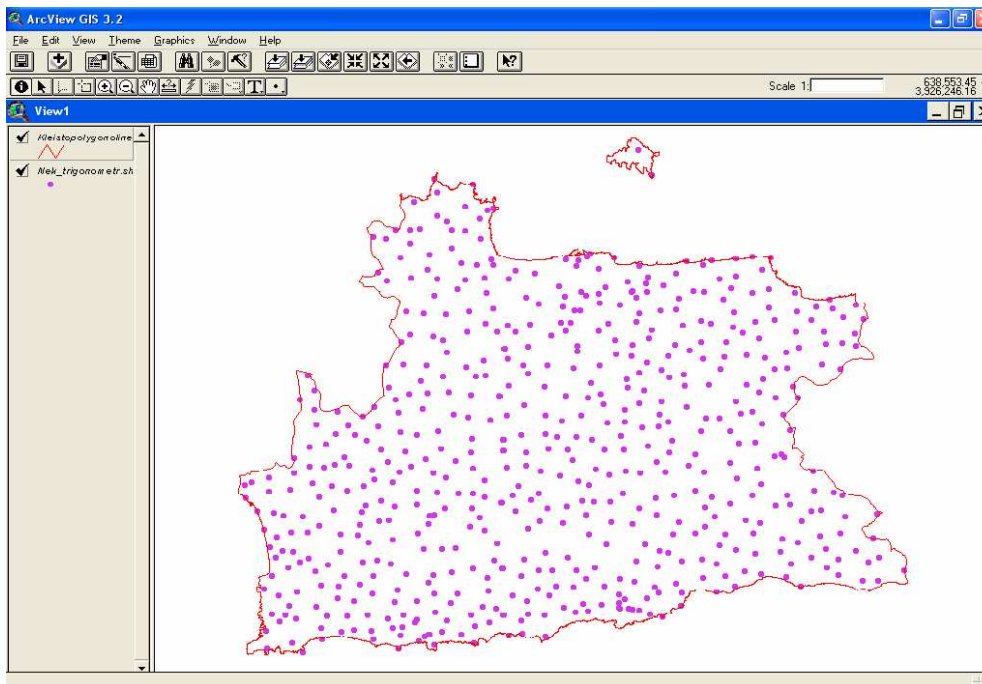


Εικ. 6.4: χάρτης υψομετρικών διαφορών

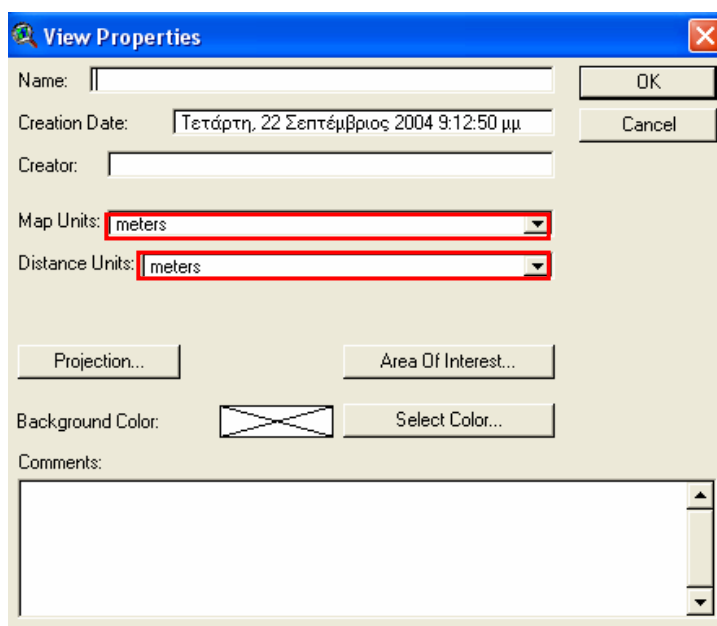
⁹ Τριγωνομετρικά σημεία: Σημεία γνωστών συντεταγμένων x, y, z στην επιφάνεια του εδάφους, προσδιορισμένα με ακριβείς επίγειες γεωδαιτικές μεθόδους από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ)

Μεθοδολογία δημιουργίας του παραπάνω χάρτη με τις ζώνες επέκτασης:

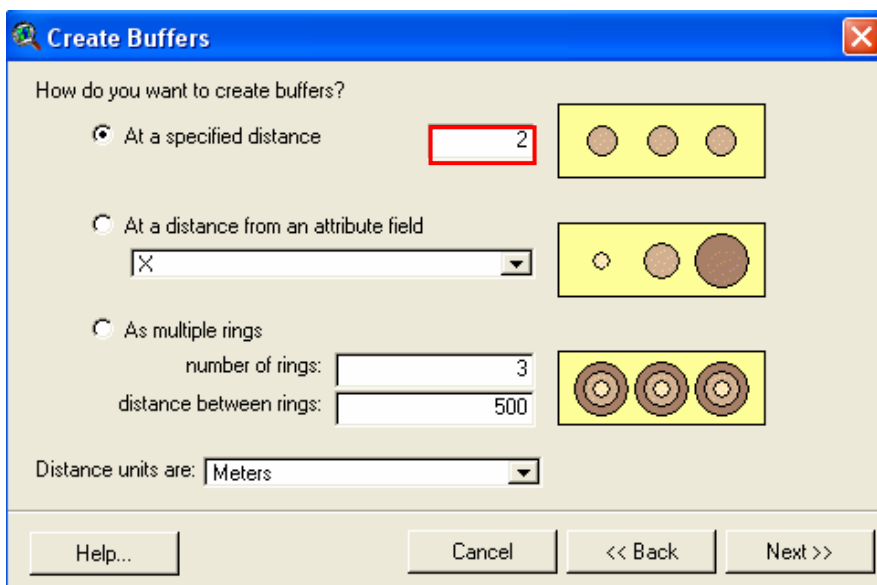
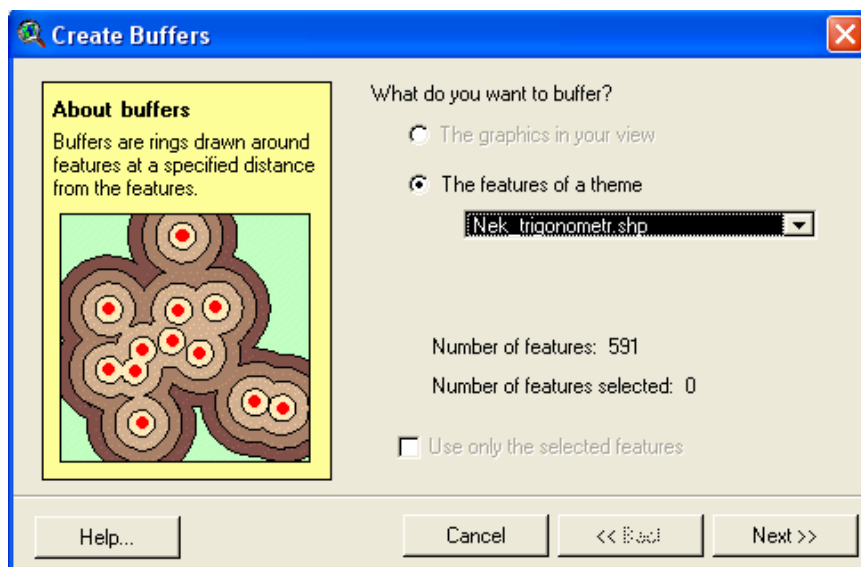
Για την δημιουργία του χάρτη με τις ζώνες επέκτασης οι οποίες αντιστοιχούν σε υψομετρικές αποκλίσεις χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ERDAS IMAGINE 8.4 και το λογισμικό ARCVIEW 3.2. Αρχικά στο περιβάλλον του ARCVIEW «φορτώνεται» το αρχείο shape file των τριγωνομετρικών σημείων του νομού Ηρακλείου:

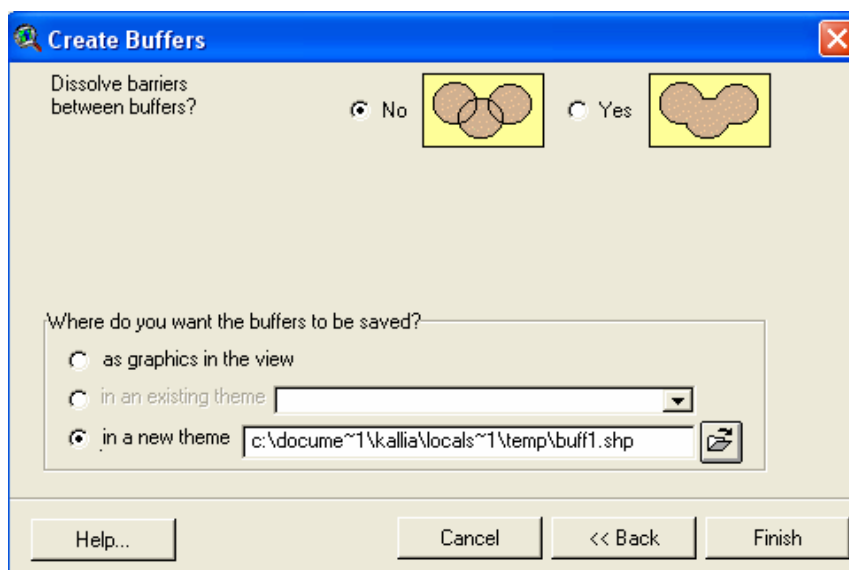


Στη συνέχεια από τις επιλογές που εμφανίζονται στο πρώτο μενού επιλέγεται η επιλογή View → Properties όπου εκεί καθορίζεται η μονάδα μέτρησης π.χ. meters έτσι ώστε μετά κατά την δημιουργία ζωνών επέκτασης οι επιλογές να αναφέρονται στις επιλεγμένες μονάδες π.χ. meters

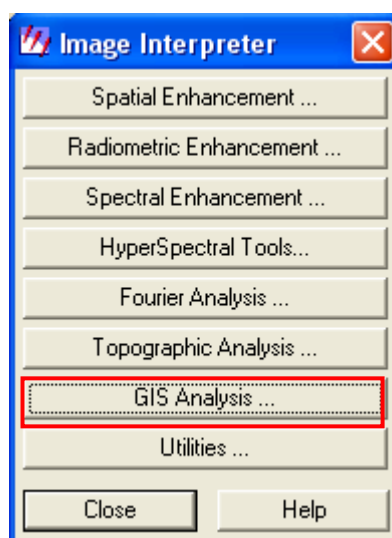
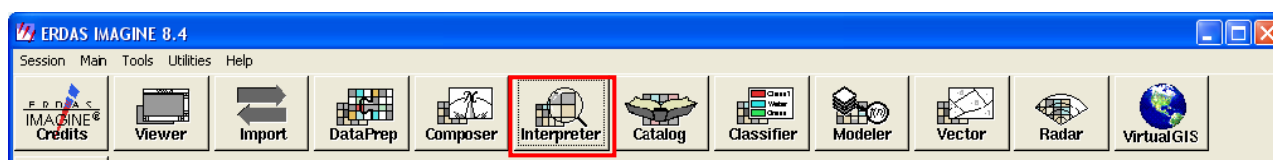


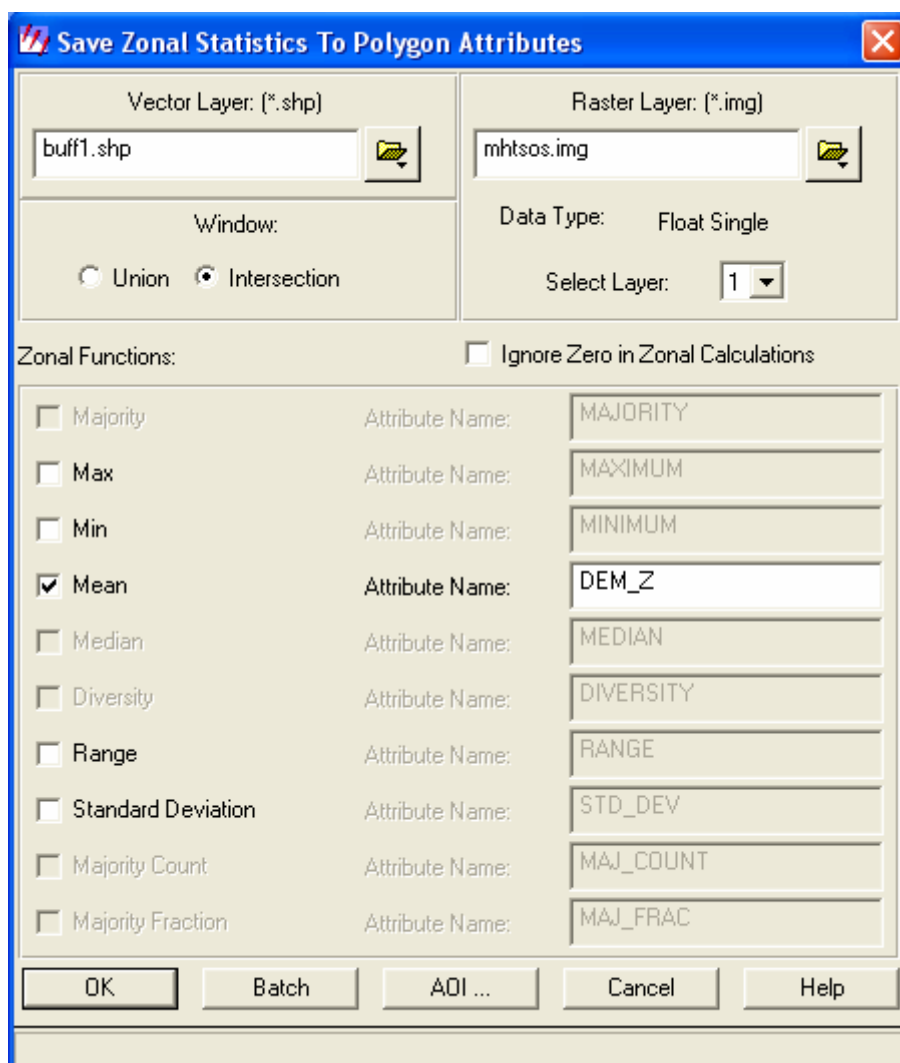
Αφού έχει γίνει η επιλογή των μονάδων που θα χρησιμοποιηθούν ακολουθεί η διαδικασία δημιουργίας μίας ζώνης επέκτασης (buffer) γύρω από κάθε τριγωνομετρικό σημείο με ακτίνα 2 μέτρα. Αυτό γίνεται από τις επολογές Theme → create buffers



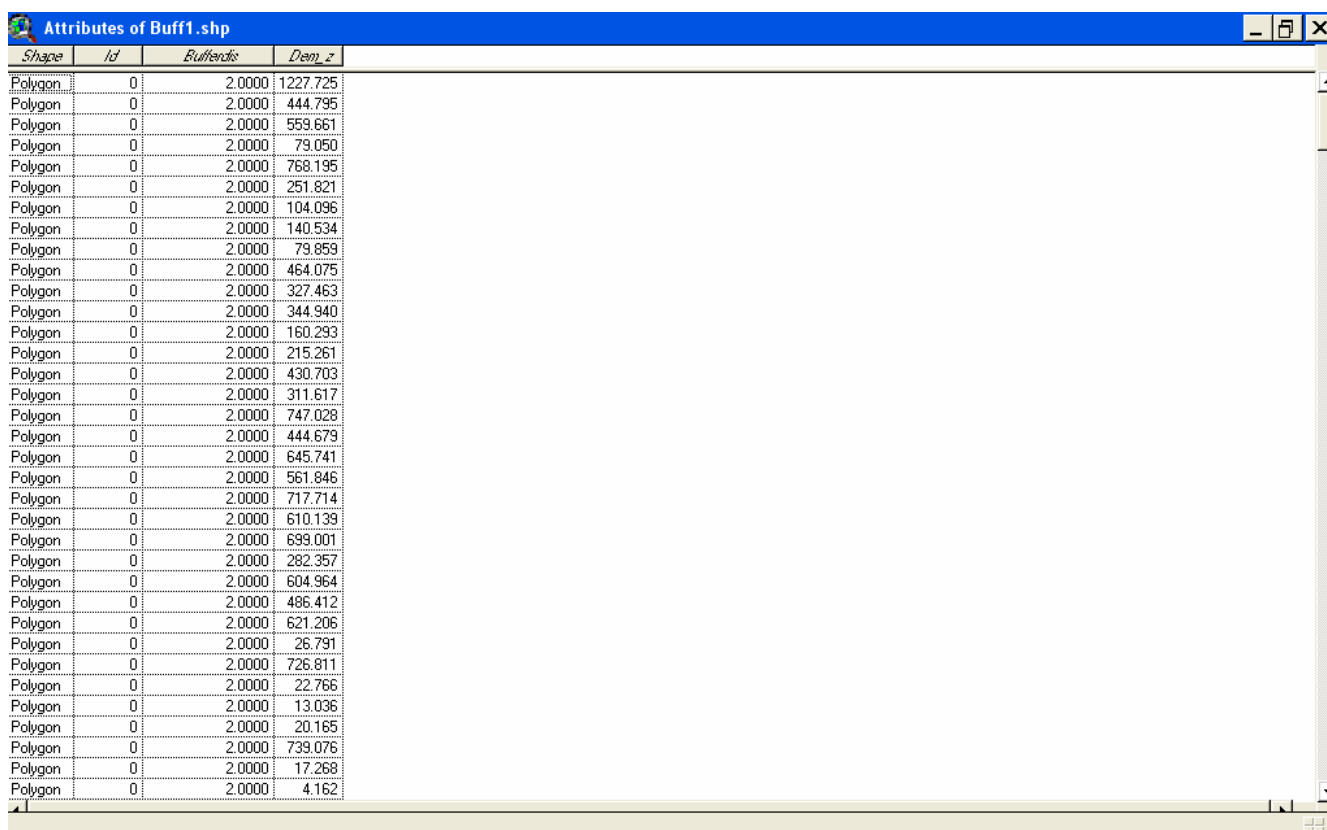


Με την επιλογή Finish εκτελείται η εντολή δημιουργίας του “buffer” με το όνομα που του έχει δοθεί. Στην συνέχεια ανοίγεται το λογισμικό ERDAS IMAGINE 8.4 όπου εκτελείται μία διαδικασία «ζωνοποίησης» χαρακτηριστικών ή “zonal attributes” :



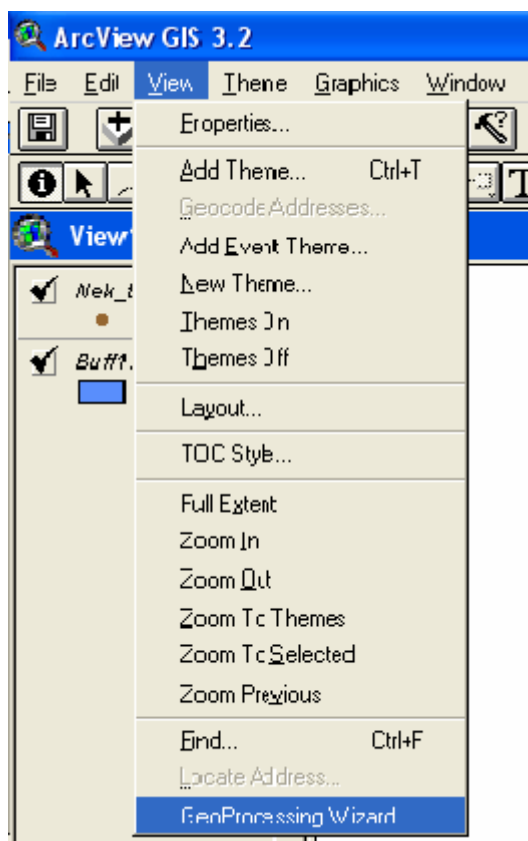
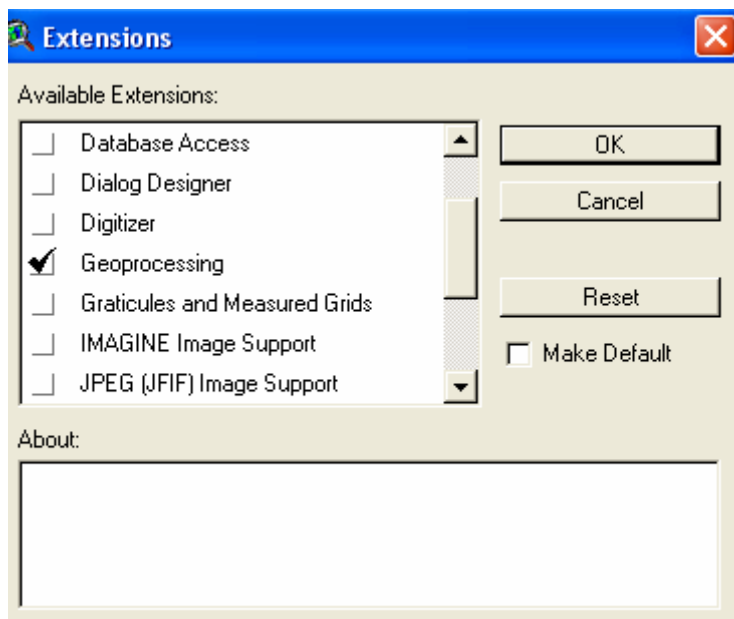


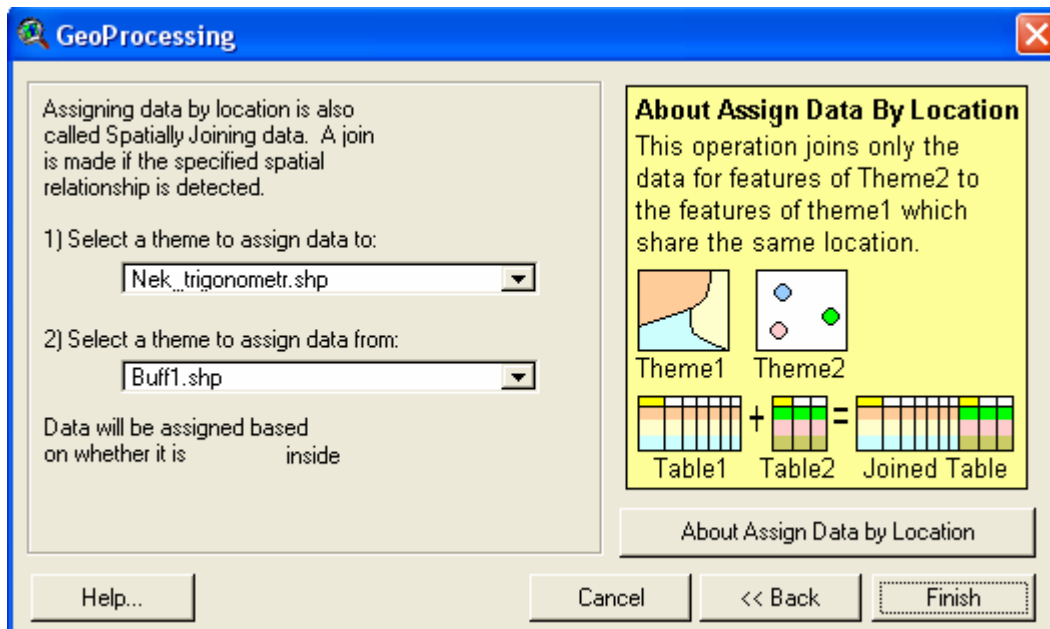
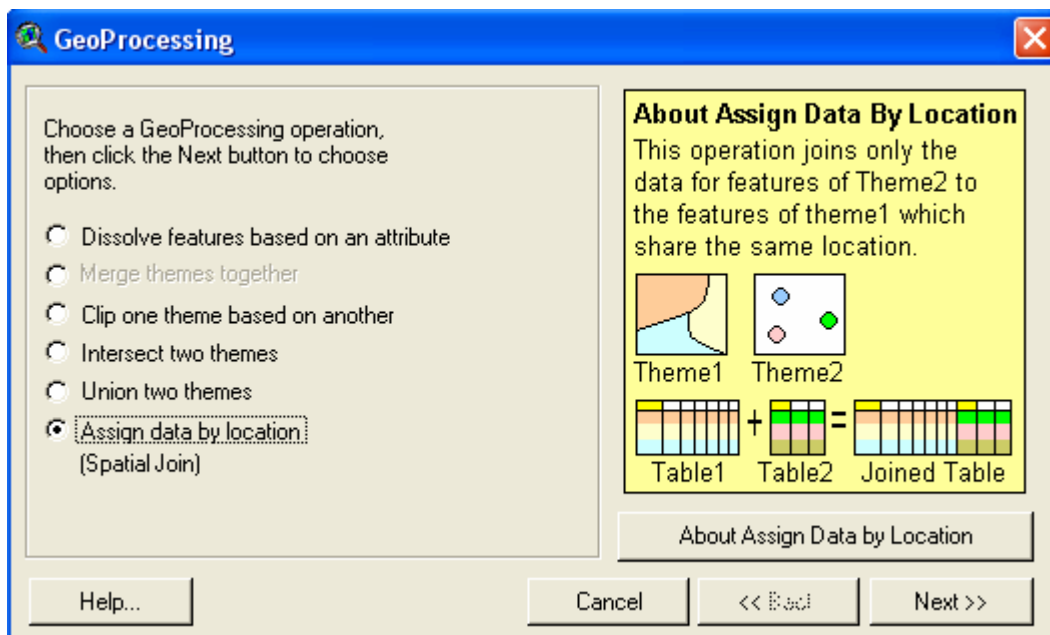
Με την παραπάνω διαδικασία προστίθενται χαρακτηριστικά του ενός αρχείου, το οποίο είναι image και αντιστοιχεί στο DEM που έχει παραχθεί, στο άλλο το οποίο είναι shape file και αντιστοιχεί στο buffer που έχει γίνει στα τριγωνομετρικά. Πηγαίνοντας στο περιβάλλον του λογισμικού ARCVIEW και ανοίγοντας πάλι το αρχείο buffer των τριγωνομετρικών παρατηρείται ότι στον πίνακα με τα χαρακτηριστικά (“attributes”) έχει προστεθεί μία στήλη με το DEM_Z το οποίο δείχνει το υψόμετρο του παραγόμενου DEM σε κάθε σημείο αντίστοιχο του τριγωνομετρικού. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τα χαρακτηριστικά του αρχείου buffer:



| Shape | Id | Buffer_z | Dem_z |
|---------|----|----------|----------|
| Polygon | 0 | 2.0000 | 1227.725 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 444.795 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 559.661 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 79.050 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 768.195 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 251.821 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 104.096 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 140.534 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 79.859 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 464.075 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 327.463 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 344.940 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 160.293 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 215.261 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 430.703 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 311.617 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 747.028 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 444.679 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 645.741 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 561.846 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 717.714 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 610.139 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 699.001 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 282.357 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 604.964 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 486.412 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 621.206 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 26.791 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 726.811 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 22.766 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 13.036 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 20.165 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 739.076 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 17.268 |
| Polygon | 0 | 2.0000 | 4.162 |

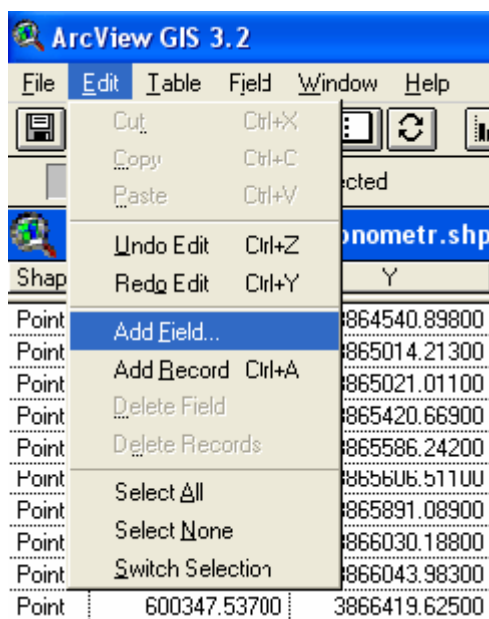
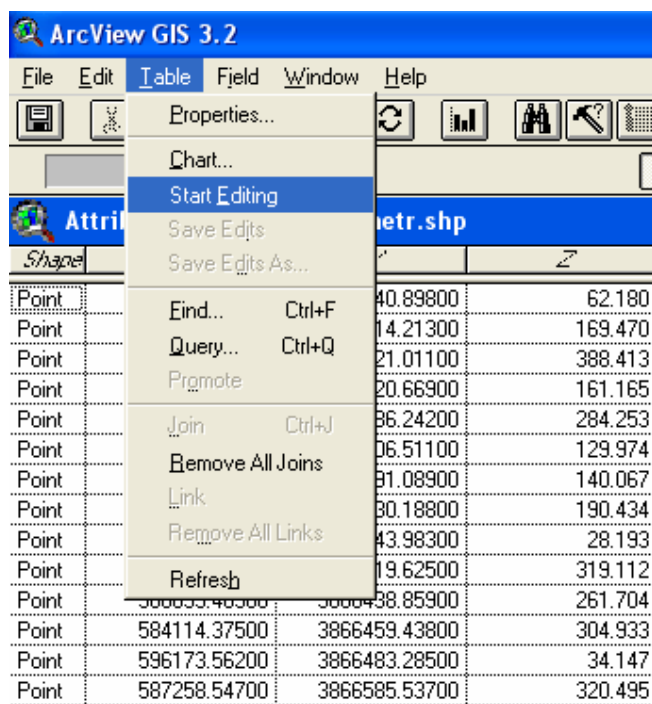
Στην συνέχεια γίνεται χωρική ένωση κάποιου χαρακτηριστικού του ενός αρχείου στο άλλο “spatial join”. Συγκεκριμένα το χαρακτηριστικό DEM_Z του αρχείου με τα πολύγωνα (buffer) ενώνεται στον πίνακα του αρχείου με τα τριγωνομετρικά. Αυτό γίνεται ακολουθώντας την διαδικασία που φαίνεται αναλυτικά παρακάτω:

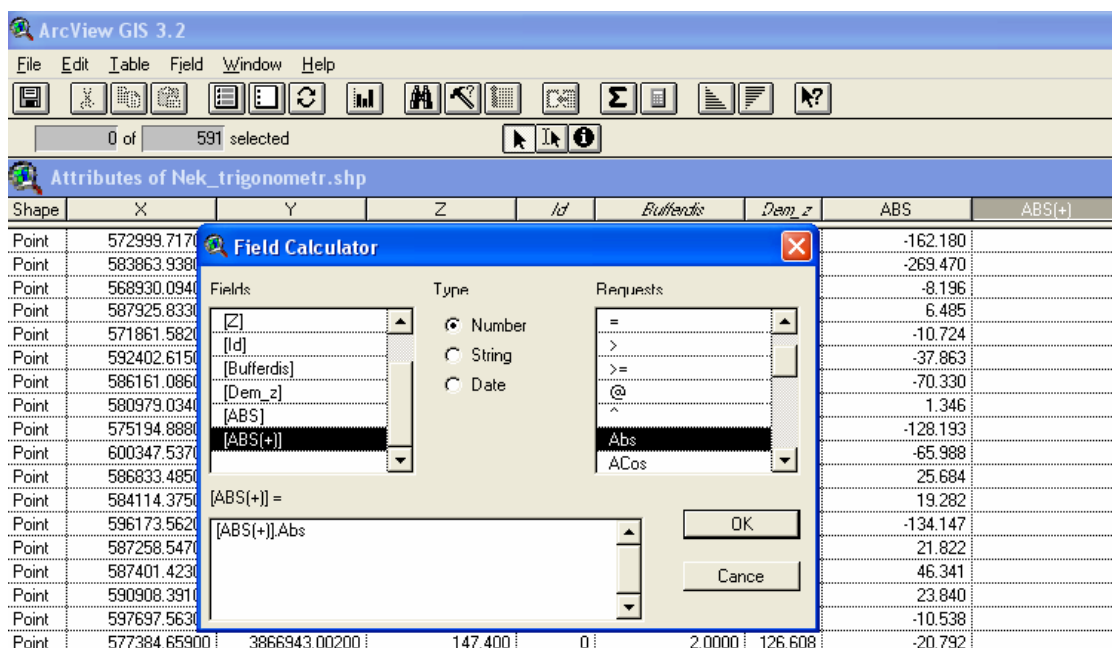




| Shape | X | Y | Z | Id | Bufferdis | Dem_z |
|-------|--------------|---------------|---------|----|-----------|----------|
| Point | 572999.71700 | 3364540.89800 | 62.180 | 0 | 2.0000 | -100.000 |
| Point | 583863.93800 | 3365014.21300 | 169.470 | 0 | 2.0000 | -100.000 |
| Point | 568930.09400 | 3365021.01100 | 388.413 | 0 | 2.0000 | 380.217 |
| Point | 587925.83300 | 3365420.66300 | 161.165 | 0 | 2.0000 | 167.650 |
| Point | 571861.58200 | 3365586.24200 | 284.253 | 0 | 2.0000 | 273.529 |
| Point | 592402.61500 | 3365606.51100 | 129.974 | 0 | 2.0000 | 92.111 |
| Point | 586161.08600 | 3365891.08900 | 140.067 | 0 | 2.0000 | 69.737 |
| Point | 580979.03400 | 3366030.18800 | 190.434 | 0 | 2.0000 | 191.780 |
| Point | 575194.88800 | 3366043.98300 | 28.193 | 0 | 2.0000 | -100.000 |
| Point | 600347.53700 | 3366419.62500 | 319.112 | 0 | 2.0000 | 253.124 |
| Point | 586833.48500 | 3366438.85900 | 261.704 | 0 | 2.0000 | 287.388 |
| Point | 584114.37500 | 3366459.43800 | 304.933 | 0 | 2.0000 | 324.215 |
| Point | 596173.56200 | 3366483.28500 | 34.147 | 0 | 2.0000 | -100.000 |
| Point | 587258.54700 | 3366585.53700 | 320.495 | 0 | 2.0000 | 342.317 |
| Point | 587401.42300 | 3366594.84500 | 342.324 | 0 | 2.0000 | 388.665 |
| Point | 590908.39100 | 3366647.26000 | 303.803 | 0 | 2.0000 | 327.643 |
| Point | 597697.56300 | 3366756.62200 | 137.171 | 0 | 2.0000 | 126.633 |
| Point | 577384.65900 | 3366943.00200 | 147.400 | 0 | 2.0000 | 126.608 |
| Point | 588762.38100 | 3366964.87300 | 487.685 | 0 | 2.0000 | 526.760 |
| Point | 568853.78000 | 3367013.01300 | 108.613 | 0 | 2.0000 | 101.741 |
| Point | 580734.91600 | 3367106.87000 | 439.050 | 0 | 2.0000 | 460.076 |
| Point | 578849.42500 | 3367146.65400 | 374.676 | 0 | 2.0000 | 214.699 |
| Point | 575142.07800 | 3367373.12100 | 376.207 | 0 | 2.0000 | 366.018 |
| Point | 583147.02700 | 3367401.10300 | 491.666 | 0 | 2.0000 | 476.389 |
| Point | 584263.71000 | 3367446.67700 | 411.543 | 0 | 2.0000 | 431.536 |
| Point | 592519.12200 | 3367628.84100 | 595.119 | 0 | 2.0000 | 612.381 |
| Point | 594153.52900 | 3368016.74400 | 796.109 | 0 | 2.0000 | 860.190 |
| Point | 585690.73500 | 3368087.82700 | 681.711 | 0 | 2.0000 | 670.683 |
| Point | 570393.43700 | 3368149.86100 | 246.406 | 0 | 2.0000 | 230.479 |
| Point | 589361.25100 | 3368262.84000 | 515.166 | 0 | 2.0000 | 536.201 |
| Point | 597609.10100 | 3368294.83500 | 846.242 | 0 | 2.0000 | 857.166 |
| Point | 585909.00300 | 3368395.83600 | 683.011 | 0 | 2.0000 | 693.753 |
| Point | 582683.86100 | 3368467.53800 | 591.417 | 0 | 2.0000 | 615.566 |
| Point | 572193.86100 | 3368527.53100 | 274.642 | 0 | 2.0000 | 266.368 |
| Point | 613632.46900 | 3368736.62300 | 8.449 | 0 | 2.0000 | 28.034 |

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι στα χαρακτηριστικά του αρχείου με τα τριγωνομετρικά έχει ενταχθεί και η πληροφορία DEM_Z του αρχείου buffer. Στην συνέχεια ακολουθείται διαδικασία προσθήκης πεδίων με ορισμένα χαρακτηριστικά που μπορούν εύκολα να εξαχθούν από πράξεις μεταξύ των πεδίων του ίδιου πίνακα. Αυτή η διαδικασία φαίνεται παρακάτω:





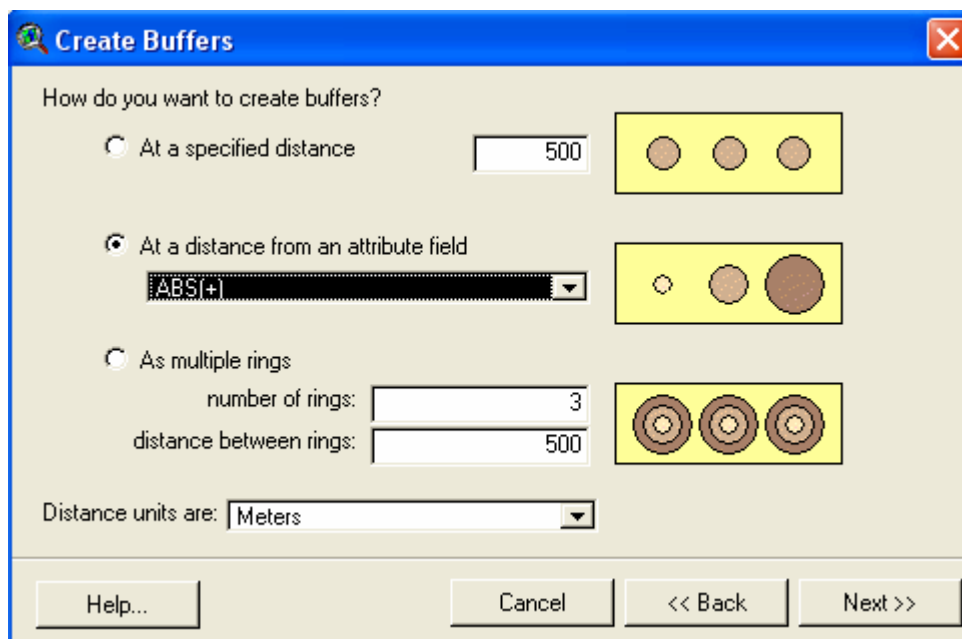
Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η πράξη που θα πραγματοποιηθεί για την συμπλήρωση του επόμενου καινούριου πεδίου. Αυτή η πράξη θα δώσει τελικά την απόλυτο τιμή του πεδίου διαγοράς (ABS) που είχε δημιουργηθεί ακριβώς πριν.

The screenshot shows the final state of the 'Attributes of Nek_trigonometr.shp' table after the field calculation. The 'ABS(+)' column now contains the absolute values of the 'ABS' column.

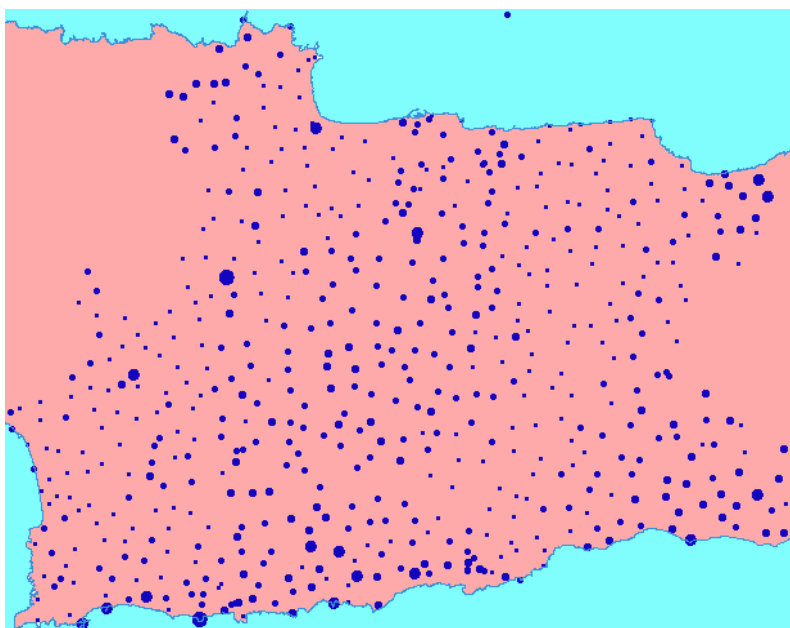
| Shape | X | Y | Z | Id | Bufferdis | Dem_z | ABS | ABS(+) |
|-------|--------------|---------------|---------|----|-----------|----------|----------|---------|
| Point | 572999.71700 | 3864540.89900 | 62.180 | 0 | 2.0000 | -100.000 | -162.180 | 162.180 |
| Point | 583863.93800 | 3865014.21300 | 169.470 | 0 | 2.0000 | -100.000 | -269.470 | 269.470 |
| Point | 568930.09400 | 3865021.01100 | 388.413 | 0 | 2.0000 | 380.217 | -8.196 | 8.196 |
| Point | 587925.83300 | 3865420.66900 | 161.165 | 0 | 2.0000 | 167.650 | 6.485 | 6.485 |
| Point | 571861.58200 | 3865586.24200 | 284.253 | 0 | 2.0000 | 273.529 | -10.724 | 10.724 |
| Point | 592402.61500 | 3865606.51100 | 129.974 | 0 | 2.0000 | 92.111 | -37.863 | 37.863 |
| Point | 586161.08600 | 3865891.08900 | 140.067 | 0 | 2.0000 | 69.737 | -70.330 | 70.330 |
| Point | 580979.03400 | 3866030.18800 | 190.434 | 0 | 2.0000 | 191.780 | 1.346 | 1.346 |
| Point | 575194.88800 | 3866043.98300 | 28.193 | 0 | 2.0000 | -100.000 | -128.193 | 128.193 |
| Point | 600347.53700 | 3866419.62500 | 319.112 | 0 | 2.0000 | 253.124 | -65.988 | 65.988 |
| Point | 586833.48500 | 3866438.85900 | 261.704 | 0 | 2.0000 | 287.388 | 25.684 | 25.684 |
| Point | 584114.37500 | 3866459.43800 | 304.933 | 0 | 2.0000 | 324.215 | 19.282 | 19.282 |
| Point | 596173.56200 | 3866483.28500 | 34.147 | 0 | 2.0000 | -100.000 | -134.147 | 134.147 |
| Point | 587258.54700 | 3866585.53700 | 320.495 | 0 | 2.0000 | 342.317 | 21.822 | 21.822 |
| Point | 587401.42300 | 3866594.84500 | 342.324 | 0 | 2.0000 | 388.665 | 46.341 | 46.341 |
| Point | 590908.39100 | 3866647.26000 | 303.803 | 0 | 2.0000 | 327.643 | 23.840 | 23.840 |
| Point | 597697.56300 | 3866756.62200 | 137.171 | 0 | 2.0000 | 126.633 | -10.538 | 10.538 |
| Point | 577384.65900 | 3866943.00200 | 147.400 | 0 | 2.0000 | 126.608 | -20.792 | 20.792 |
| Point | 588762.38100 | 3866964.87300 | 487.685 | 0 | 2.0000 | 526.760 | 39.075 | 39.075 |
| Point | 568853.78000 | 3867013.01300 | 108.613 | 0 | 2.0000 | 101.741 | -6.872 | 6.872 |
| Point | 580734.91600 | 3867106.87000 | 439.050 | 0 | 2.0000 | 460.076 | 21.026 | 21.026 |
| Point | 578849.42500 | 3867146.65400 | 374.676 | 0 | 2.0000 | 214.699 | -159.977 | 159.977 |
| Point | 575142.07800 | 3867373.12100 | 376.207 | 0 | 2.0000 | 366.018 | -10.189 | 10.189 |
| Point | 583147.02700 | 3867401.10300 | 491.666 | 0 | 2.0000 | 476.389 | -15.277 | 15.277 |
| Point | 584263.71000 | 3867446.67700 | 411.543 | 0 | 2.0000 | 431.536 | 19.993 | 19.993 |
| Point | 592519.12200 | 3867628.84100 | 595.119 | 0 | 2.0000 | 612.381 | 17.262 | 17.262 |
| Point | 594153.52900 | 3868016.74400 | 796.109 | 0 | 2.0000 | 860.190 | 64.081 | 64.081 |
| Point | 585690.73500 | 3868087.82700 | 681.711 | 0 | 2.0000 | 670.683 | -11.028 | 11.028 |
| Point | 570393.43700 | 3868149.86100 | 246.406 | 0 | 2.0000 | 230.479 | -15.927 | 15.927 |
| Point | 589361.25100 | 3868262.84000 | 515.166 | 0 | 2.0000 | 536.201 | 21.035 | 21.035 |
| Point | 597609.10100 | 3868294.83500 | 846.242 | 0 | 2.0000 | 857.166 | 10.924 | 10.924 |
| Point | 585909.00300 | 3868395.83600 | 683.011 | 0 | 2.0000 | 693.753 | 10.742 | 10.742 |
| Point | 582683.86100 | 3868467.53800 | 591.417 | 0 | 2.0000 | 615.566 | 24.149 | 24.149 |
| Point | 572193.86100 | 3868527.53100 | 274.642 | 0 | 2.0000 | 266.368 | -8.274 | 8.274 |
| Point | 613632.46900 | 3868736.62300 | 8.449 | 0 | 2.0000 | 28.034 | 19.585 | 19.585 |

Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται τελικά τα πεδία που δημιουργήθηκαν.

Τέλος ακολουθείται μία διαδικασία για την δημιουργία ενός αρχείου (πολύγωνο) που δείχνει αυτές τις υψομετρικές διαφορές (του DEM_Z με το Z των τριγωνομετρικών) σε ζώνες επέκτασης. Αυτό γίνεται ως εξής:

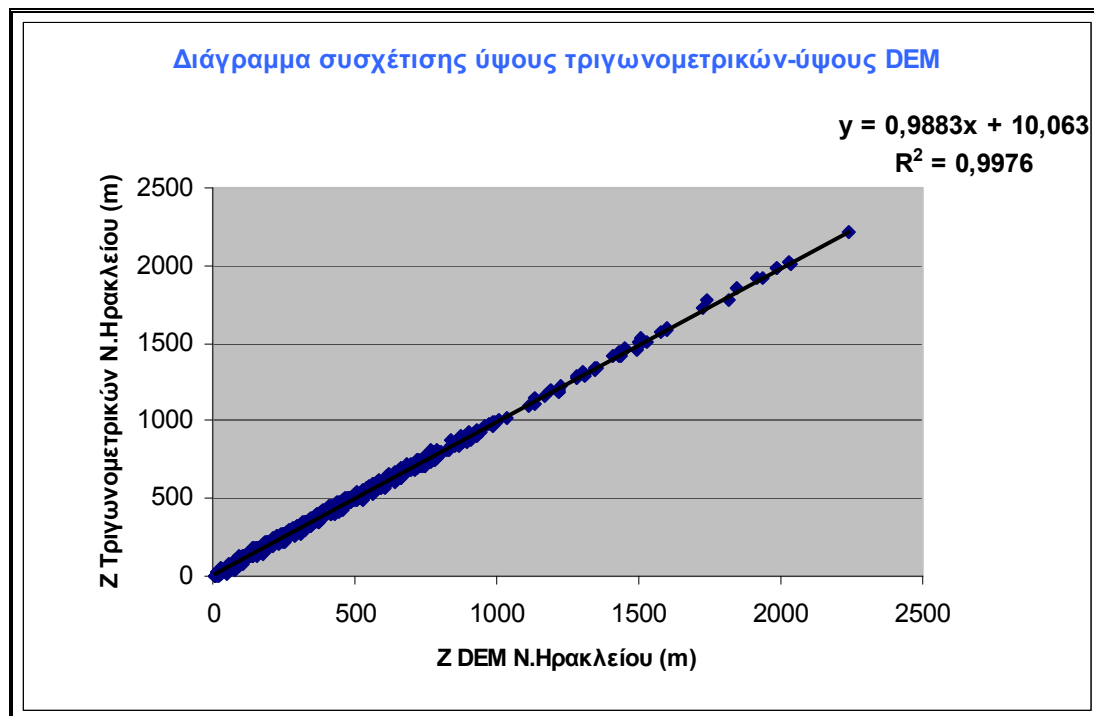


Τελικά δημιουργείται το αρχείο που δείχνει εύκολα σε ποια σημεία υπάρχουν οι μεγαλύτερες διαφορές του ύψους του DEM με τα τριγωνομετρικά.



Εδώ παρατηρείται ότι στην περιοχή του Ψηλορείτη αριστερά καθώς και νότια η διαφορά του DEM με τα τριγωνομετρικά ως προς το ύψος είναι μεγαλύτερη από ότι σε άλλα σημεία. Σε γενικές γραμμές βέβαια οι αποκλίσεις δεν είναι και τόσο μεγάλες.

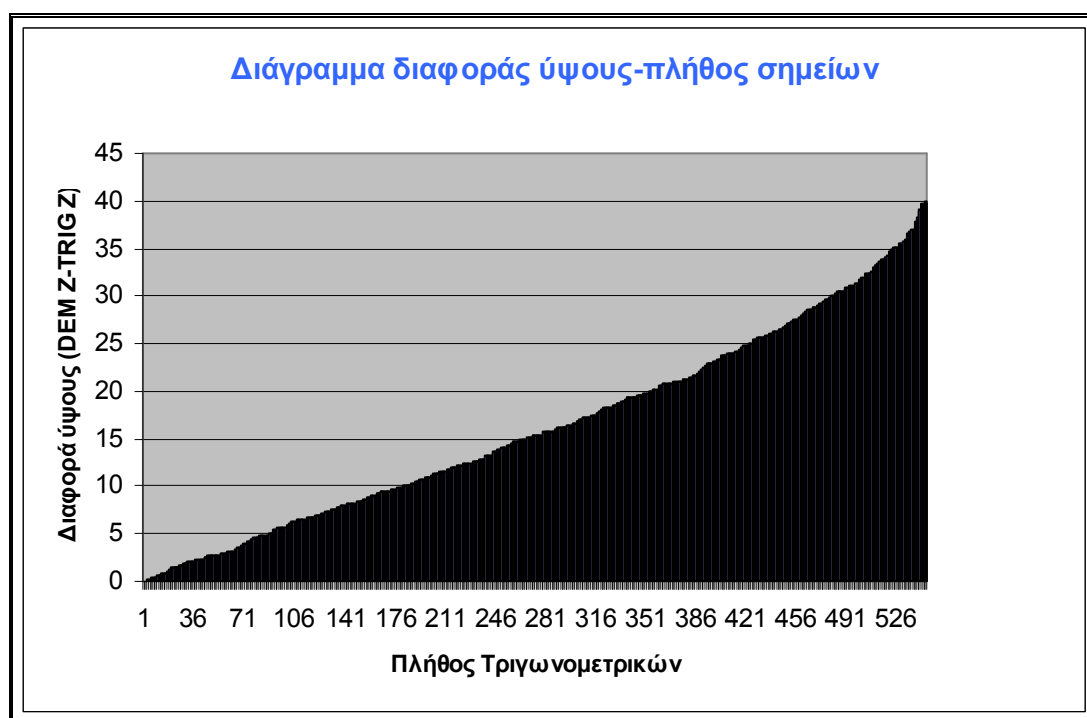
Μετά από την γρήγορη ημιποσοτική αξιολόγηση που προηγήθηκε ακολουθεί μία πιο αναλυτική. Στο παρακάτω διάγραμμα γίνεται συσχέτιση των υψών των τριγωνομετρικών σημείων με τα ύψη του εξαγόμενου ψηφιακού μοντέλου εδάφους:



Διάγραμμα 6.1: συσχέτιση τριγωνομετρικών-ύψος DEM

Παρατηρείται ότι τα υψόμετρα του DEM σχεδόν συμπίπτουν με τα τριγωνομετρικά σημεία.

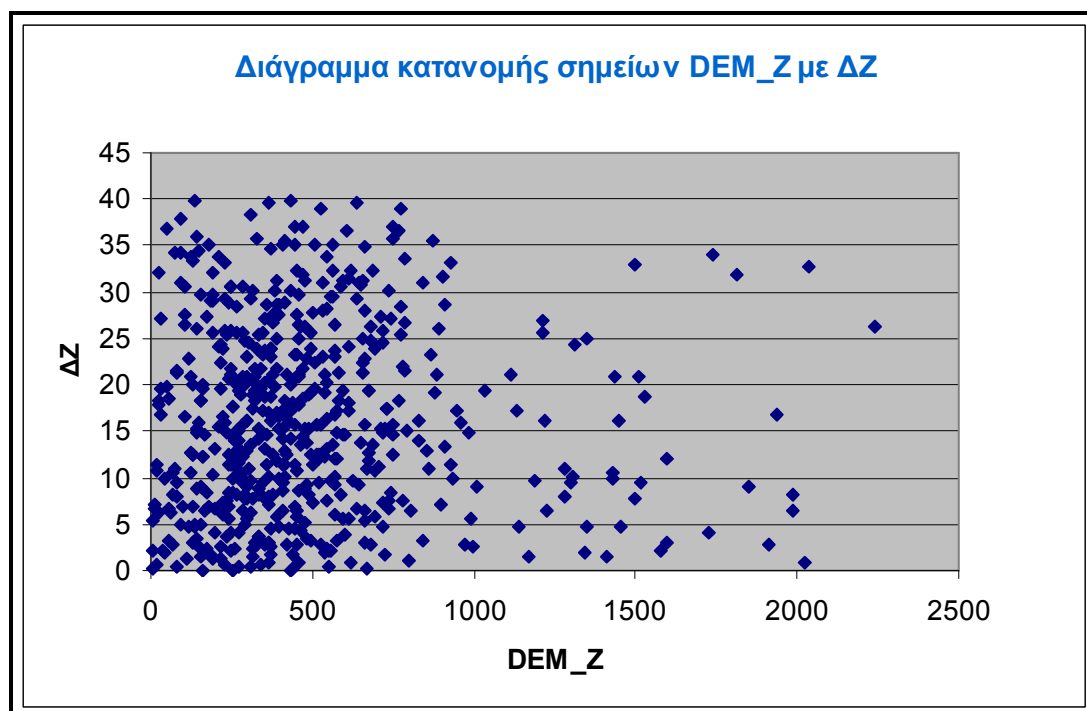
Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται το πλήθος των τιμών του ψηφιακού μοντέλου εδάφους που αποκλίνουν ΔZ από το ύψος των αντίστοιχων τριγωνομετρικών σημείων.



Διάγραμμα 6.2: Συσχέτιση πλήθους σημείων με τις διαφορές ΔZ

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι ένα μεγάλο πλήθος σημείων του DEM (92% ή 548 σημεία από τα 591), εμφανίζουν μία διαφορά από των αντίστοιχων τριγωνομετρικών κάτω από 45 μέτρα, έτσι το εξαγόμενο ψηφιακό μοντέλο εδάφους μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτό.

Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται μία κατανομή των σημείων ύψους του DEM σε σχέση με την διαφορά ΔZ .



Διάγραμμα 6.3: Κατανομή σημείων DEM_Z με ΔZ

Για το 97% του δείγματος (570 σημεία), υπολογίστηκε το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMSE(Root Mean Square Error)

$$x_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}}$$

$$\text{RMS} = 21,18 \text{ m}$$

Στο παράρτημα II παρατίθενται οι τιμές ύψους των τριγωνομετρικών καθώς και οι τιμές ύψους των αντίστοιχων σημείων του DEM.

7. Βιβλιογραφικές αναφορές

- I. Μερτίκας Π. Στέλιος, Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας, Χανιά 1999, εκδόσεις “ΙΩΝ”
- II. Πατιάς Π. Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία, Θεσσαλονίκη 1994, Εκδόσεις Ζήτη
- III. Toutin Th., Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods, Review article, Canada center of remote sensing, December 2002
- IV. Toutin Th., Cheng Ph., DEM Generation with ASTER Stereo Data, Earth Observation Magazine, 2002
- V. Toutin Th., Elevation modelling from satellite visible and infrared (VIR) data, International Journal of Remote Sensing, 1999
- VI. Tokunaga, M., Hara, S., DEM Accuracy Derived from ASTER Data, <http://www.gisdevelopment.net/aars/1996/ts10/ts10007.shtml>, ACRS 1996
- VII. ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Rmission and Reflection Radiometer), <http://asterweb.jpl.nasa.gov>, 2002
- VIII. Abrams M., Hook S., ASTER User Handbook, δεύτερη έκδοση, 2002
- IX. ASTER Digital Elevation Model, <http://edcdaac.usgs.gov/aster/ast14dem.html>, 2002
- X. Selby Richard, Creating Digital Elevation Models and Orthoimages from ASTER Imagery, United Kingdom
- XI. Xiong Ping, Digital Elevation Model Extraction from ASTER In Support of the “Coal Fire and Enviromental Research Project, China”, Ms Thesis, ITC, Netthrlands, 2003
- XII. Kraus Karl (μετάφραση: Βοζίκης Ευαγ.), Φωτογραμμετρία, Αθήνα 2003, Β’ Βελτιωμένη έκδοση
- XIII. PCI Geomatica 9 OrthoEngine User Guide , 2003
- XIV. Trimble GPS Asset Surveyor User Guide
- XV. http://www.gps-com.gr/body_navstar.html
- XVI. Yamaguchi Y., A. B. K., H. T., T. K., and M.P., Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), IEE

TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING,
VOL.36, No 4, 1998

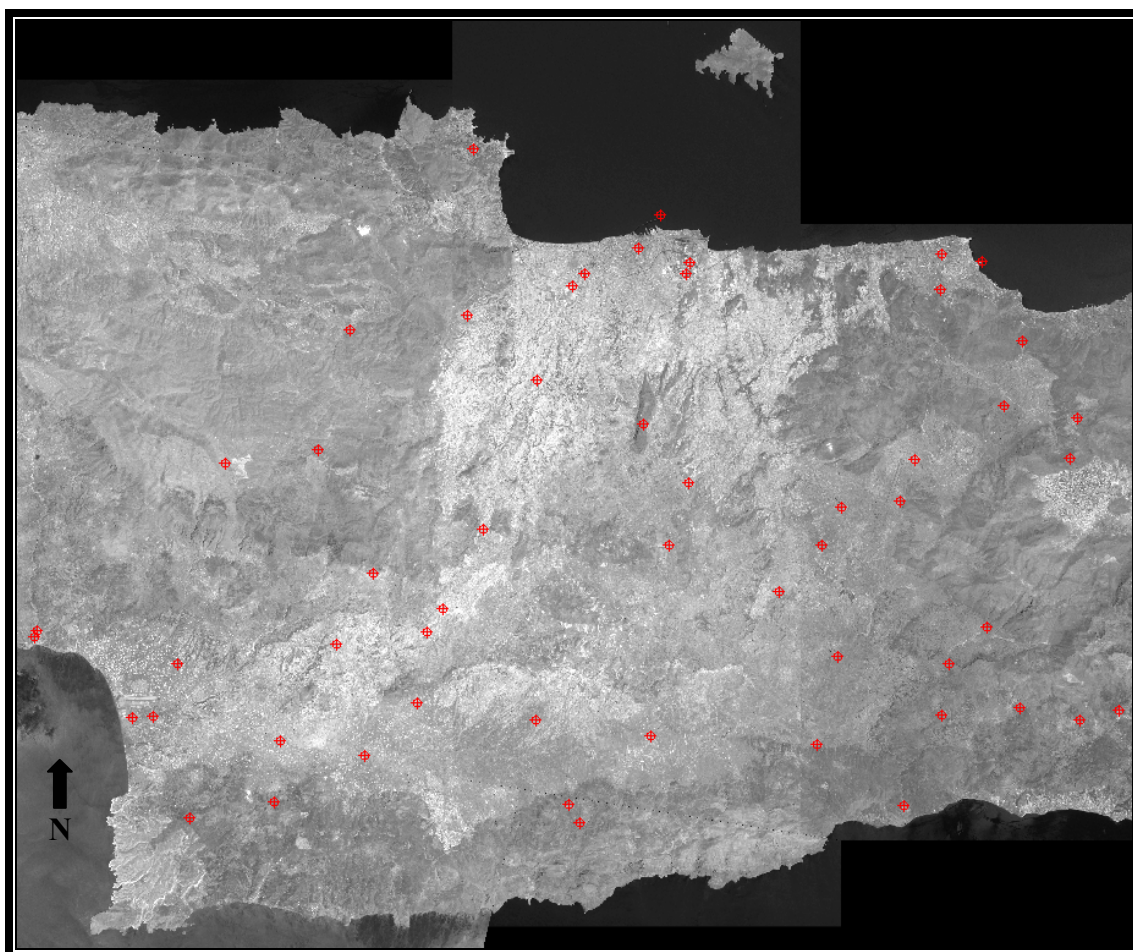
- XVII. Kinyingi K.G., Integration of Digital Elevation Models and GIS, ITC, May, 1998
- XVIII. Tomas M. Lillesand, Kiefer W. Ralph, Remote Sensing and Image Interpretation, 2000, forth edition

8. Παραρτήματα

8.1. Παράρτημα I : Τεκμηρίωση GCP's

Χάρτες γενικής άποψης – Overview Maps:

Χάρτης : Νομός Ηρακλείου (mosaic-ASTER band 3), GPC's που χρησιμοποιήθηκαν



Χάρτης 1: Β.ΒΔ. Ηράκλειο (ASTER band 3), 4 GCP's

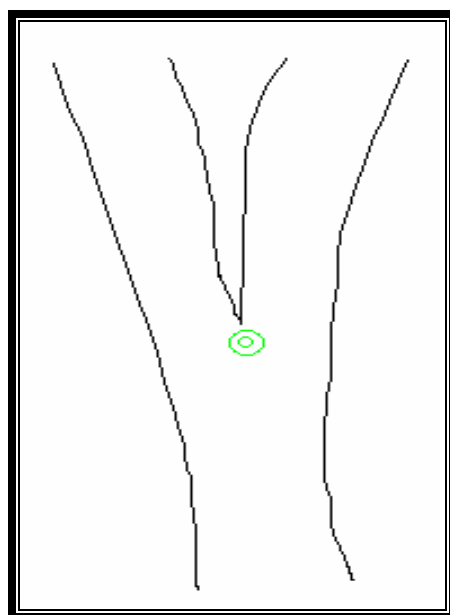


Τεκμηρίωση σημείων του χάρτη 1:

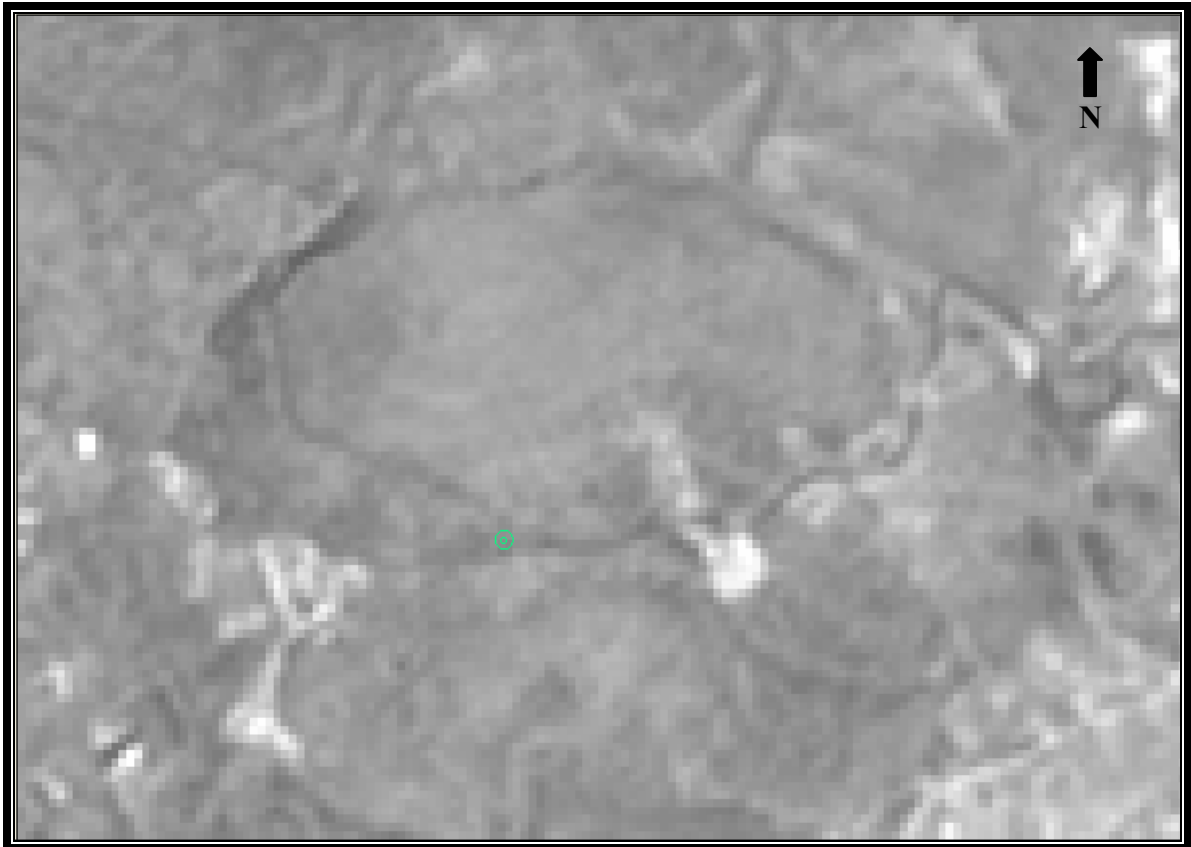
GCP_ID: [130702]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 13/7/2004 | 08:36:12 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Δυτικό Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [] 1 pixel, [] 2 pixel, [] 3 pixel, [✓] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση για Δόξα | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 593719.369 | 3908151.1 |
| GPS ύψος: | 163,370 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 2,9 | | | |
| Αρχείο Rover: | nida.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



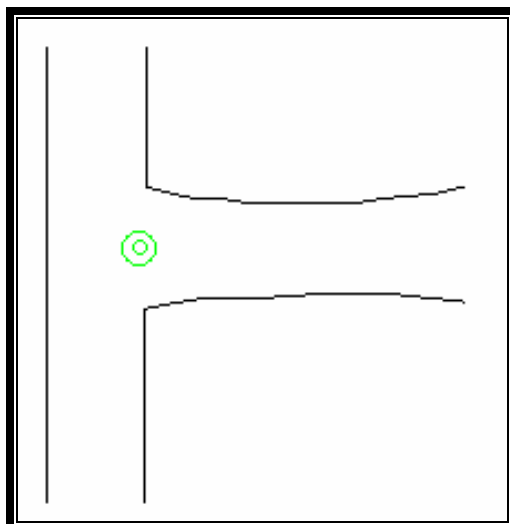
➤ Απόσπασμα εικόνας:



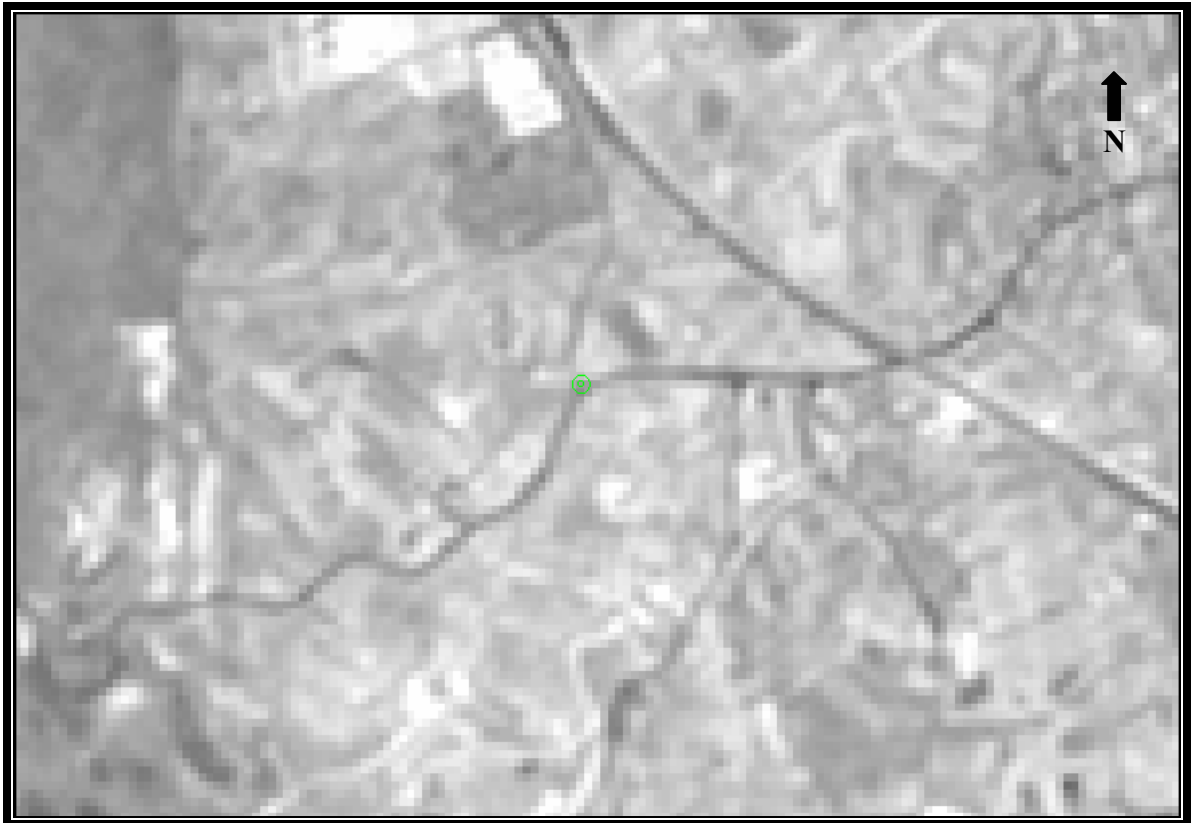
GCP_ID: [130701]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 13/7/2004 | 08:28:28 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Δυτικό Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [] 1 pixel, [✓] 2 pixel, [] 3 pixel, [] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση για Ρογδιά | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 595721.87 | 3908968.68 |
| GPS ύψος: | 22,266 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 3,1 | | | |
| Αρχείο Rover: | nida.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



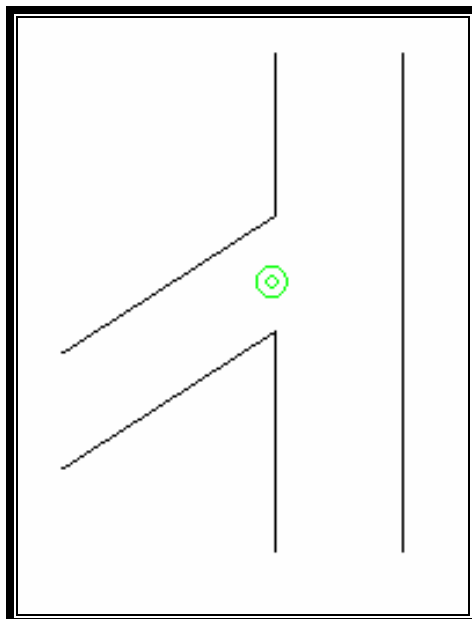
➤ Απόσπασμα εικόνας



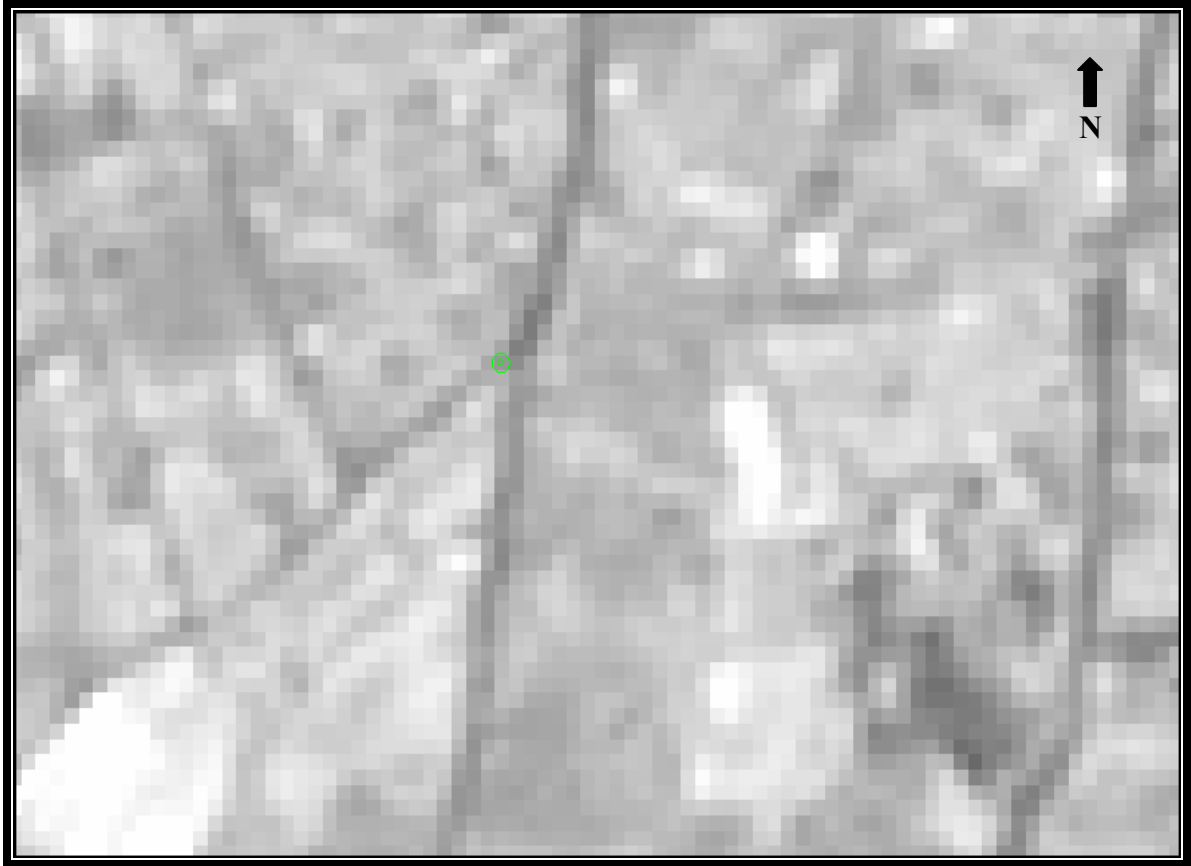
GCP_ID: [1207B]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 12/7/2004 | 13:58:16 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Πόλη Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [<input checked="" type="checkbox"/>] ακριβώς, [<input type="checkbox"/>] 1 pixel, [<input type="checkbox"/>] 2 pixel, [<input type="checkbox"/>] 3 pixel, [<input type="checkbox"/>] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση ΙΤΕ-ΠΕΠΑΓΝΗ | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 599082.99 | 3908105.15 |
| GPS ύψος: | 79,575 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 21 | | | |
| Max PDOP: | 5,5 | | | |
| Αρχείο Rover: | southkr.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



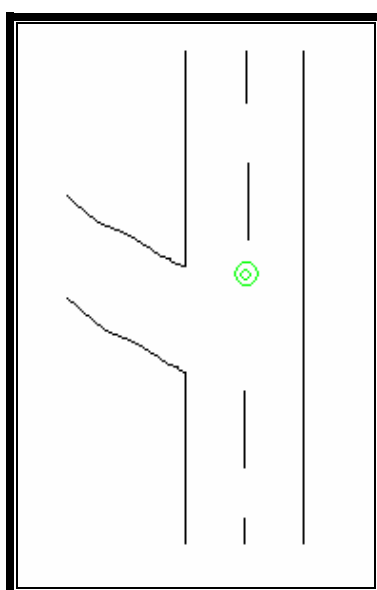
➤ Απόσπασμα εικόνας



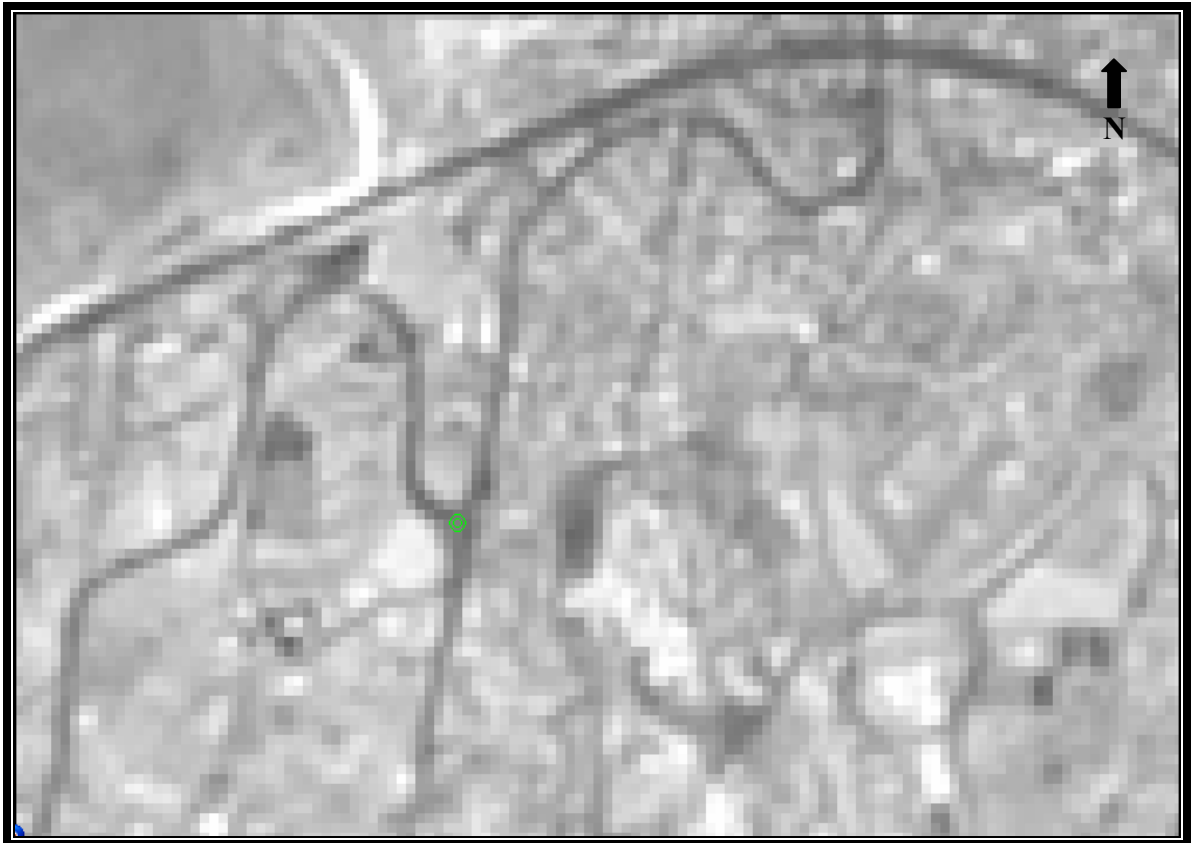
GCP_ID: [1207A]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 12/7/2004 | 14:06:10 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Πόλη Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [✓] 1 pixel, [] 2 pixel, [] 3 pixel, [] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση ΙΤΕ-Μοίρες | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 599803.82 | 3908671.79 |
| GPS ύψος: | 33,803 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 4,6 | | | |
| Αρχείο Rover: | notiakr.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 2: Β. Ηράκλειο (ASTER band 3), 2 GCP's

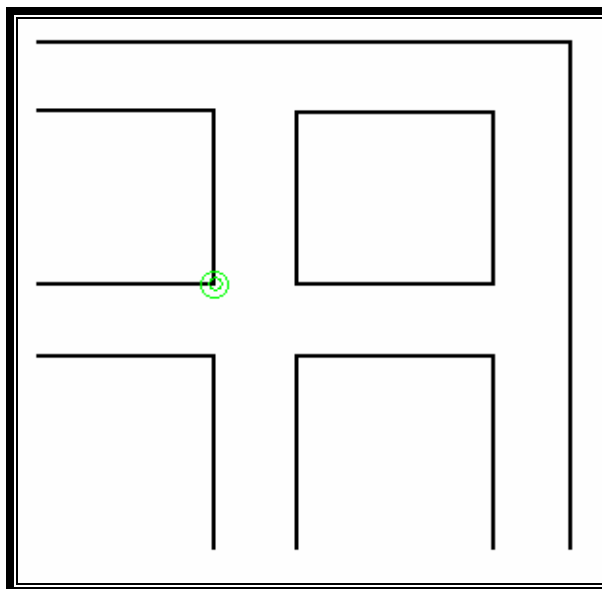


Τεκμηρίωση σημείων του χάρτη 2:

GCP_ID: [1107A]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-----------|------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 11/7/2004 | 20:44:14 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Βιομηχανική Περιοχή Ηρακλείου | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | <input checked="" type="checkbox"/> ακριβώς, <input type="checkbox"/> 1 pixel, <input type="checkbox"/> 2 pixel, <input type="checkbox"/> 3 pixel, <input type="checkbox"/> 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση στη ΒΙ.ΠΕ.Η (Δανδάλη εργοστάσιο) | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting | Northing |
| | | | 606751.88 | 3908877.55 |
| GPS ύψος: | 102,689 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 40 | | | |
| Max PDOP: | 2,1 | | | |
| Αρχείο Rover: | heraklio.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



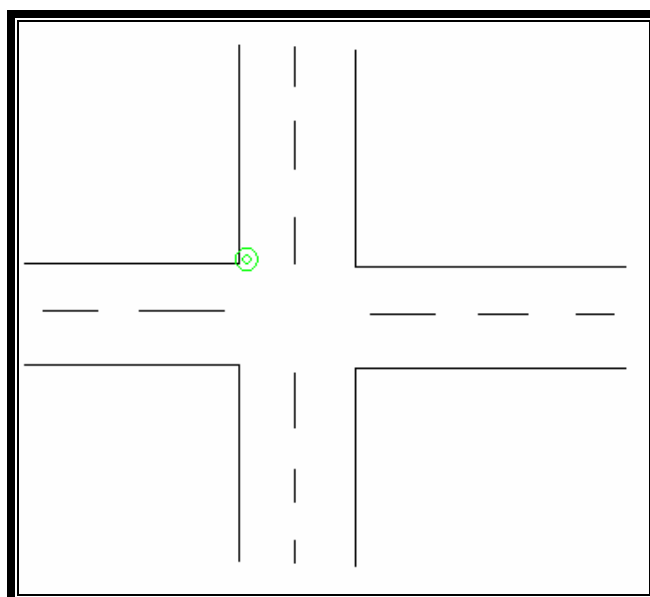
➤ Απόσπασμα εικόνας



GCP_ID: [1107B]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 11/7/2004 | 21:12:33 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Πόλη Ηρακλείου | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [<input checked="" type="checkbox"/>] 1 pixel, [] 2 pixel, [] 3 pixel, [] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση αντιστάσεως | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 603567.349 | 3910399.6 |
| GPS ύψος: | 31,165 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 40 | | | |
| Max PDOP: | 4,6 | | | |
| Αρχείο Rover: | heraklio.cor | | | |

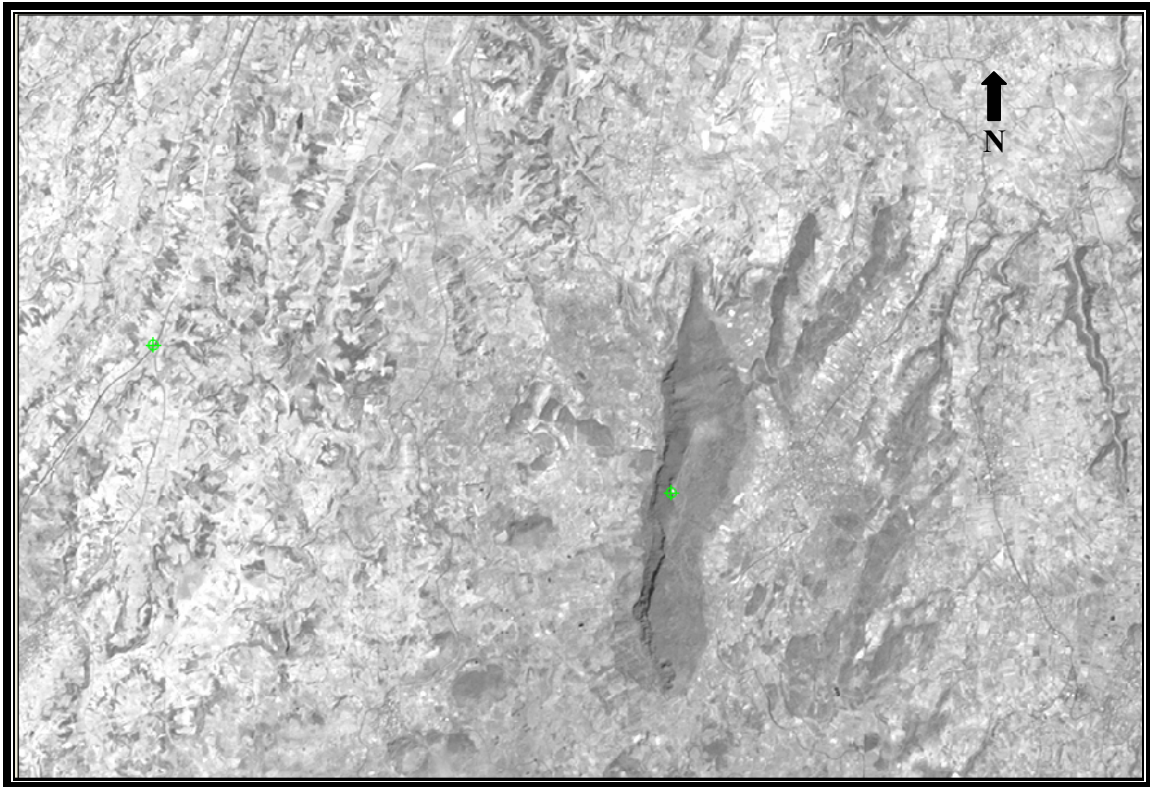
➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 3: Κεντρικό Ηράκλειο (ASTER band 3), 2 GCP's

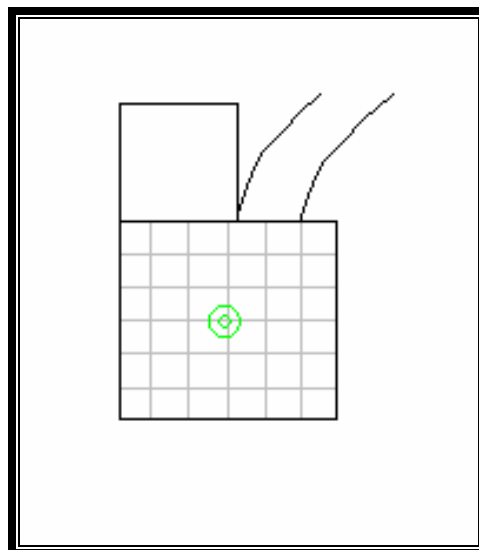


Τεκμηρίωση σημείων του χάρτη 3:

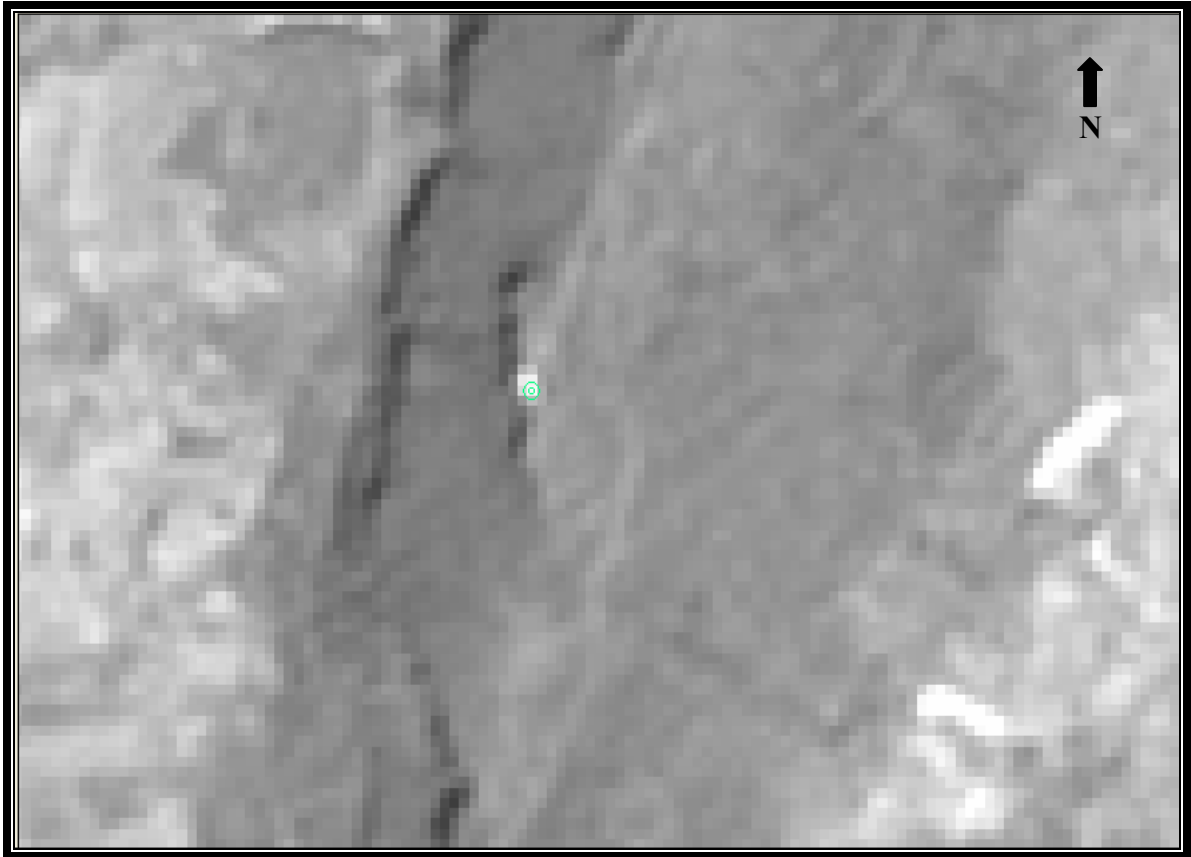
GCP_ID: [110701]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-------------------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 11/7/2004 | 12:14:28 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Όρος Γιούχτας | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | <input checked="" type="checkbox"/> ακριβώς, <input type="checkbox"/> 1 pixel, <input type="checkbox"/> 2 pixel, <input type="checkbox"/> 3 pixel, <input type="checkbox"/> 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Εκκλησιάκι στην κορυφή του Γιούχτα (αυλή) | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Πλακόστρωτη αυλή | Χρώμα: λευκό-γκρι | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 603663.049 | 3899194.236 |
| GPS ύψος: | 806,213 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 30 | | | |
| Max PDOP: | 2,4 | | | |
| Αρχείο Rover: | gouktas.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



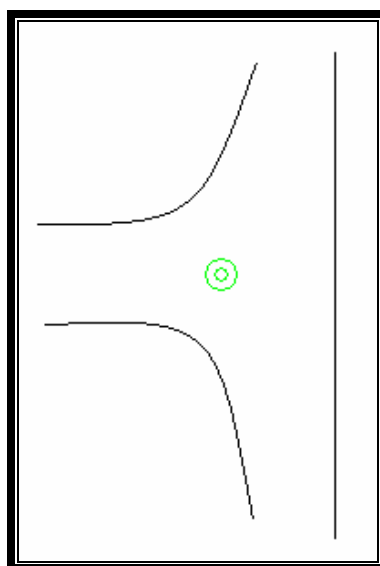
➤ Απόσπασμα εικόνας



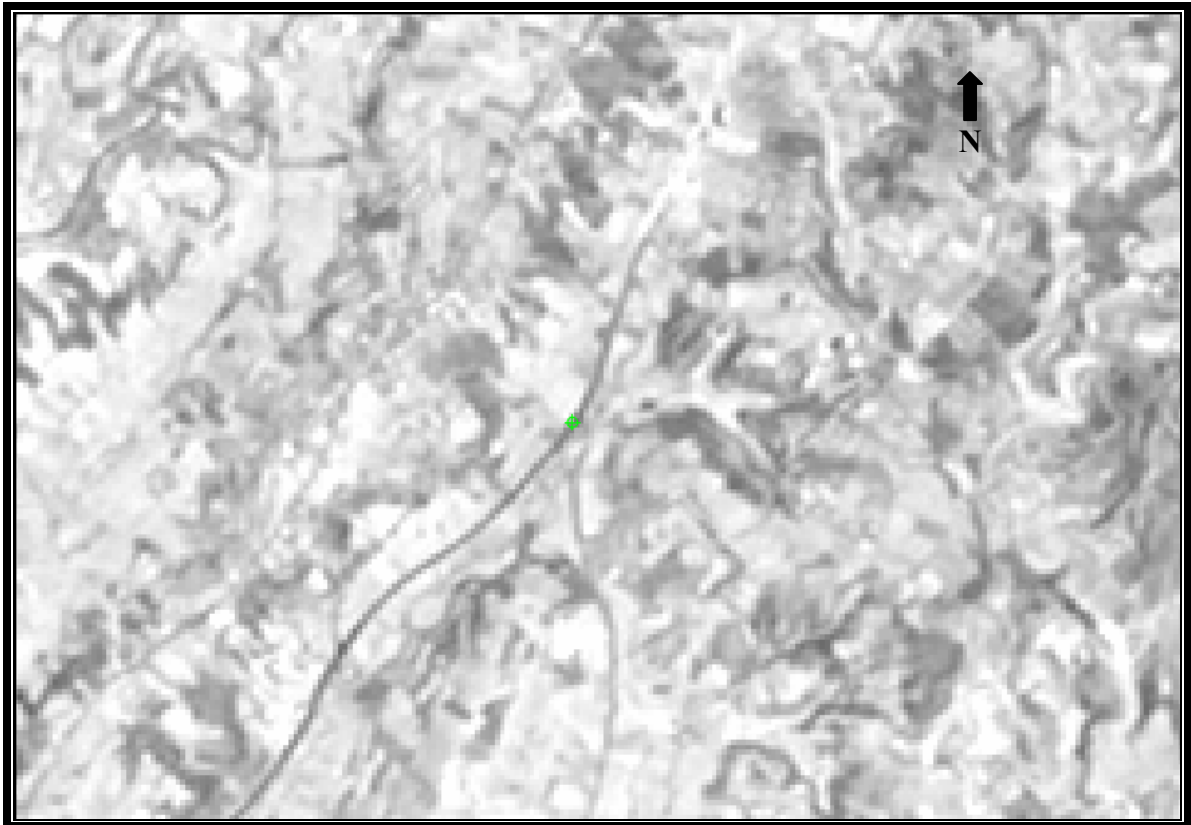
GCP_ID: [120703]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 12/7/2004 | 14:35:13 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Ανατολική πλευρά του νομού | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [<input checked="" type="checkbox"/>] 1 pixel, [] 2 pixel, [] 3 pixel, [] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση για Δαφνές | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 597035.77 | 3901088.21 |
| GPS ύψος: | 118,018 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 2,5 | | | |
| Αρχείο Rover: | south.cor | | | |

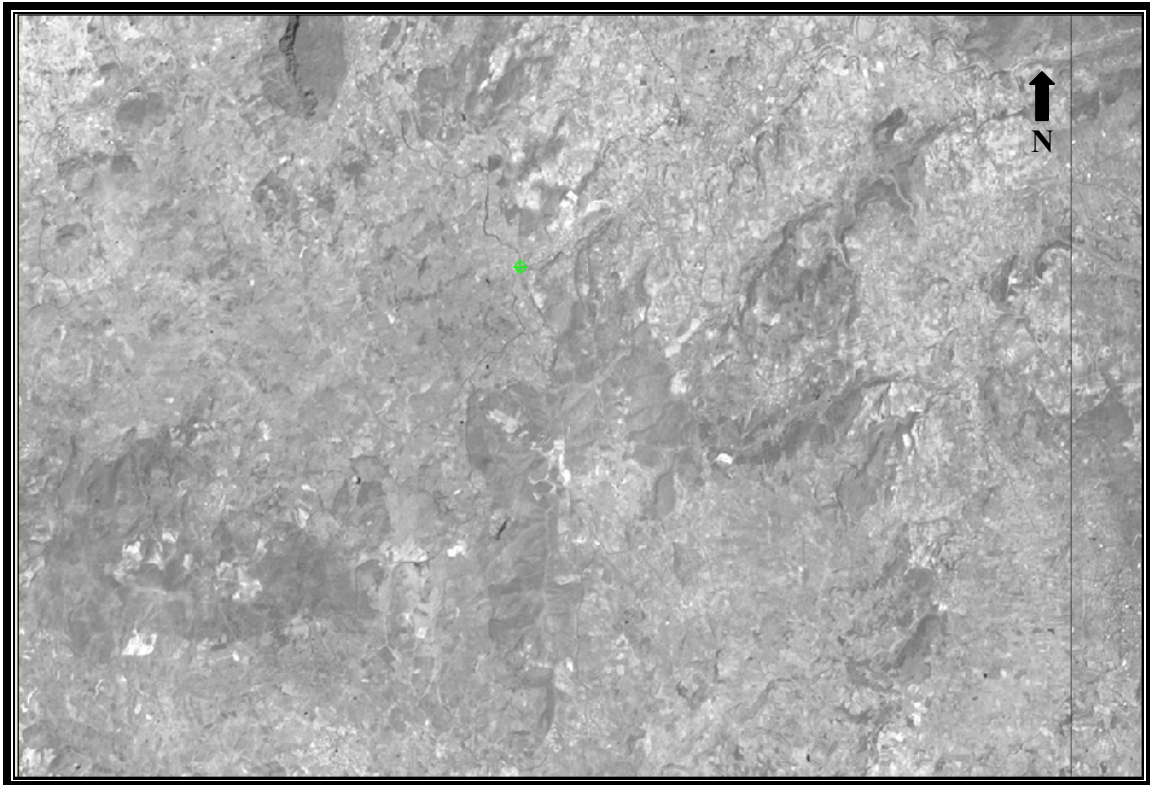
➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 4: Κεντρικό Ηράκλειο (ASTER band 3), 1 GCP's

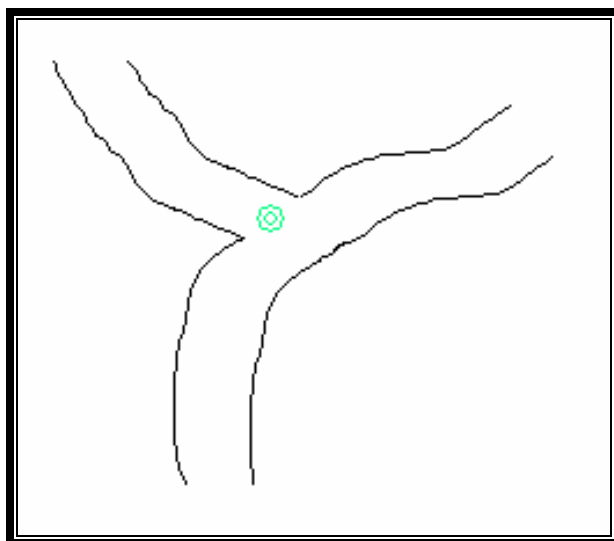


Τεκμηρίωση σημείου του χάρτη 4:

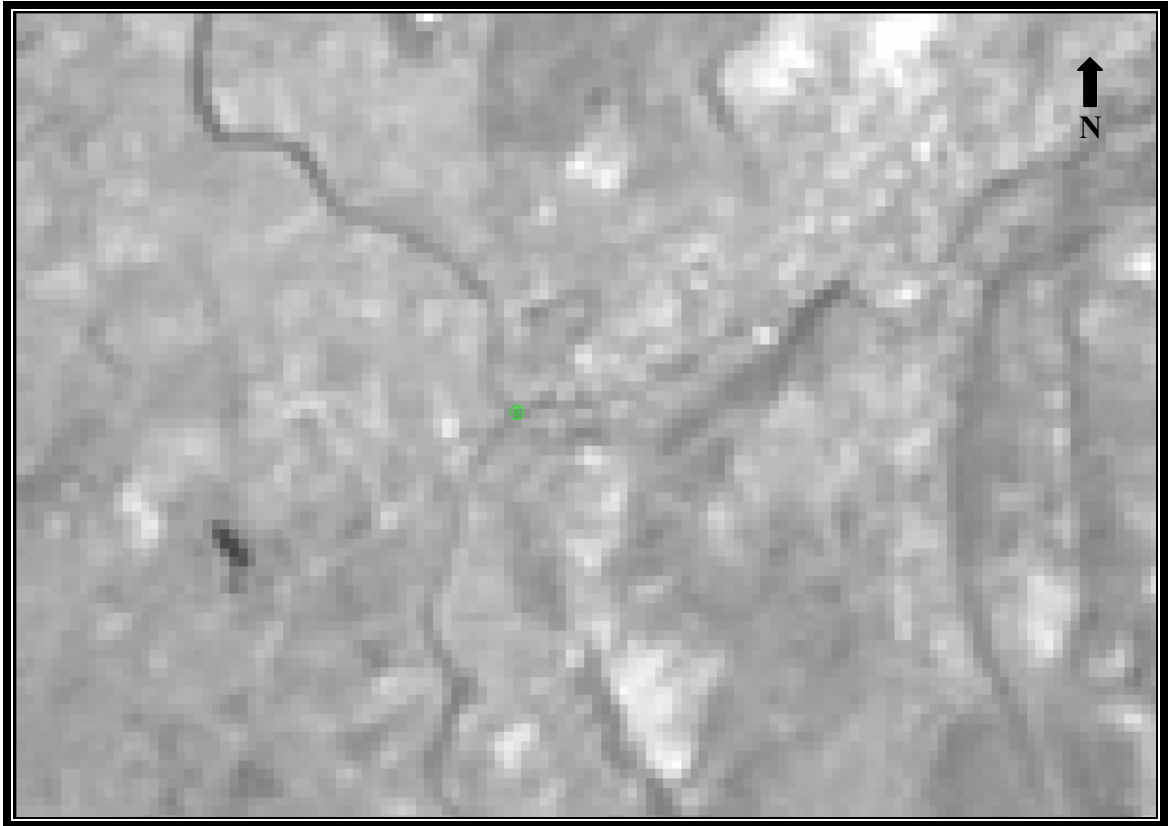
GCP_ID: [310701]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-------------------|-----------------|-------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 31/7/2004 | 7:57:15 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Κεντρικό Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | <input checked="" type="checkbox"/> ακριβώς, <input type="checkbox"/> 1 pixel, <input type="checkbox"/> 2 pixel, <input type="checkbox"/> 3 pixel, <input type="checkbox"/> 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση μετά τον Γιούγτα προς Χουδέτσι | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | Ξηρό κόκκινο χώμα | Ποώδης βλάστηση | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing(m) |
| | | | 606586.024 | 3894536.134 |
| GPS ύψος: | 472,834 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 6 | | | |
| Max PDOP: | 2,5 | | | |
| Αρχείο Rover: | tsoutsos.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 5: Ανατολική πλευρά νομού Ηρακλείου (ASTER band 3), 1 GCP

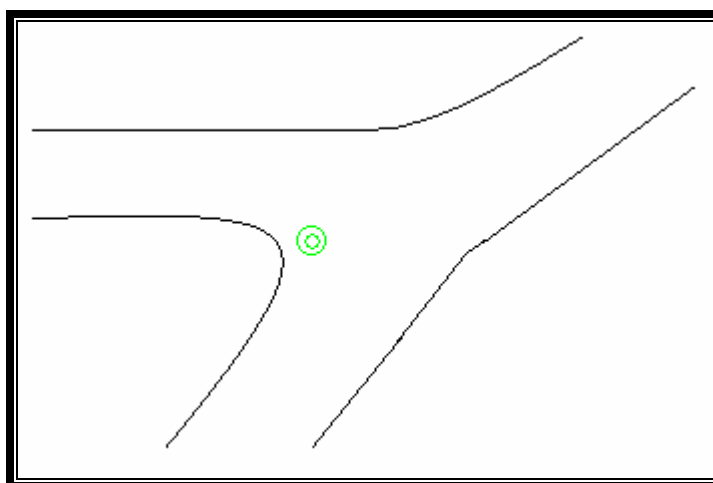


Τεκμηρίωση σημείου του χάρτη 5:

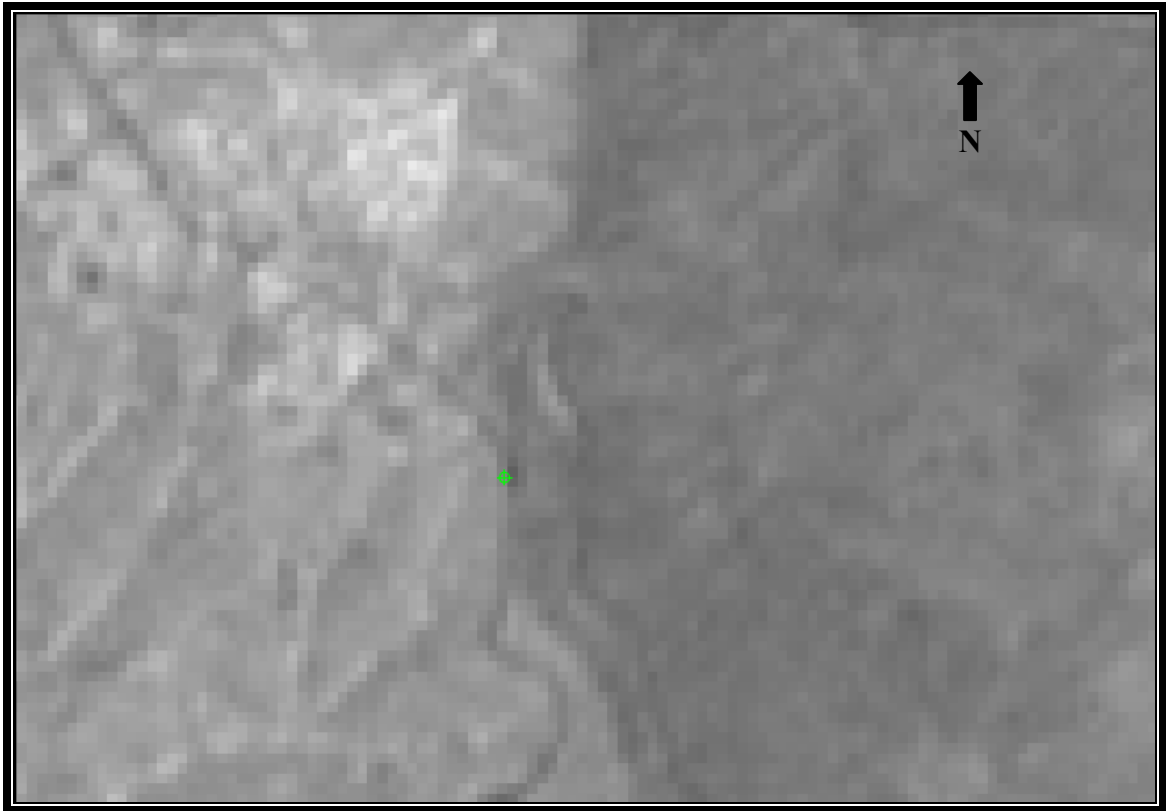
GCP_ID: [010818]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 1/8/2004 | 13:18:19 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Ανατολική πλευρά του νομού | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [<input checked="" type="checkbox"/>] 1 pixel, [] 2 pixel, [] 3 pixel, [] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση Αρκαλοχώρι-Γεράκι | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | Ξηρό χώμα | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 621175.21 | 3893472.186 |
| GPS ύψος: | 366,343 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 20 | | | |
| Max PDOP: | 2,5 | | | |
| Αρχείο Rover: | arkalos.cor | | | |

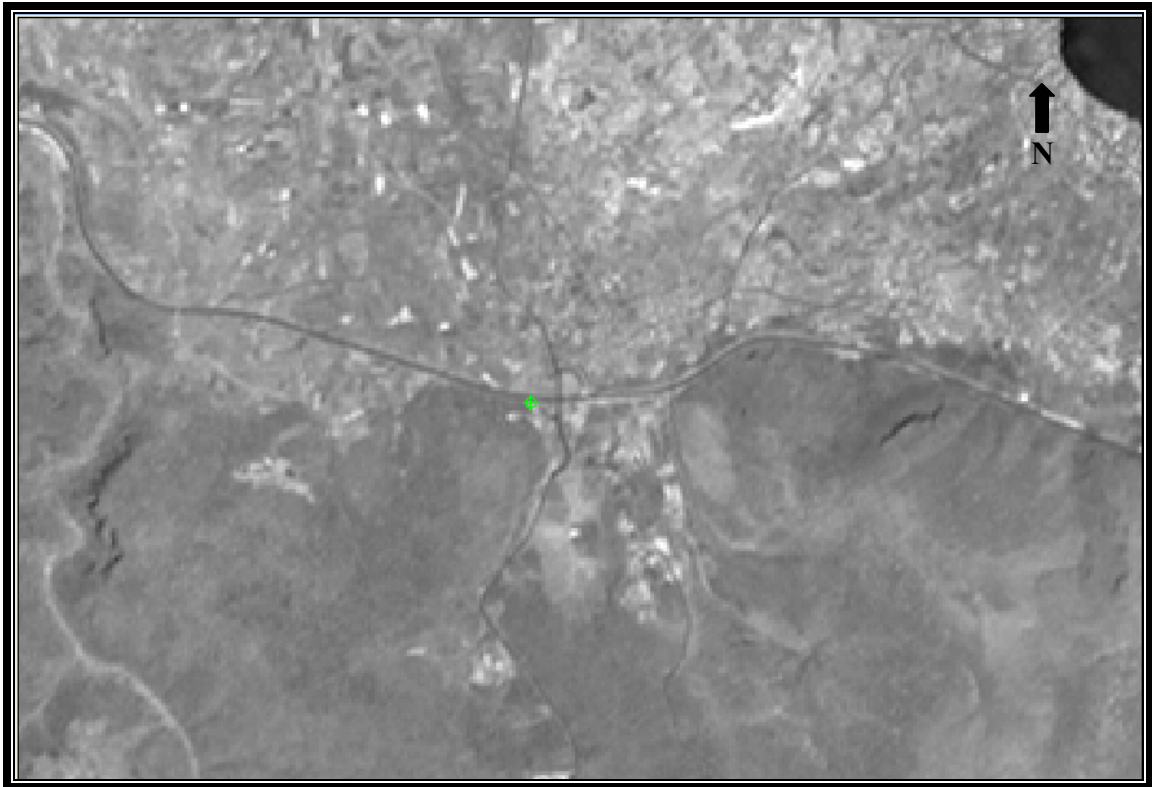
➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 6: Β.Α. οδικός άξονας του νομού Ηρακλείου (ASTER band 3), 1 GCP

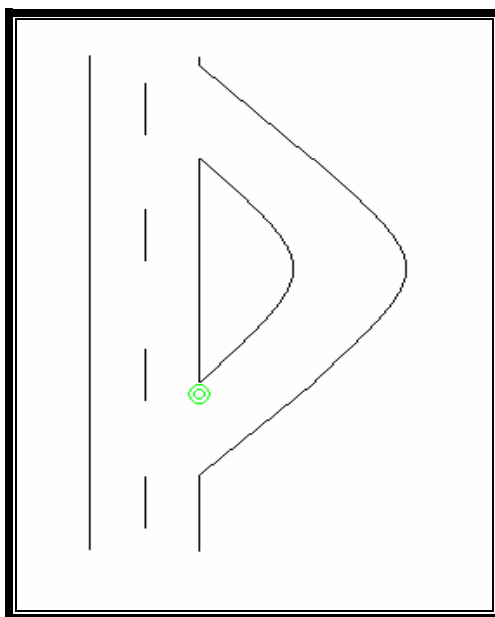


Τεκμηρίωση σημείου του χάρτη 6:

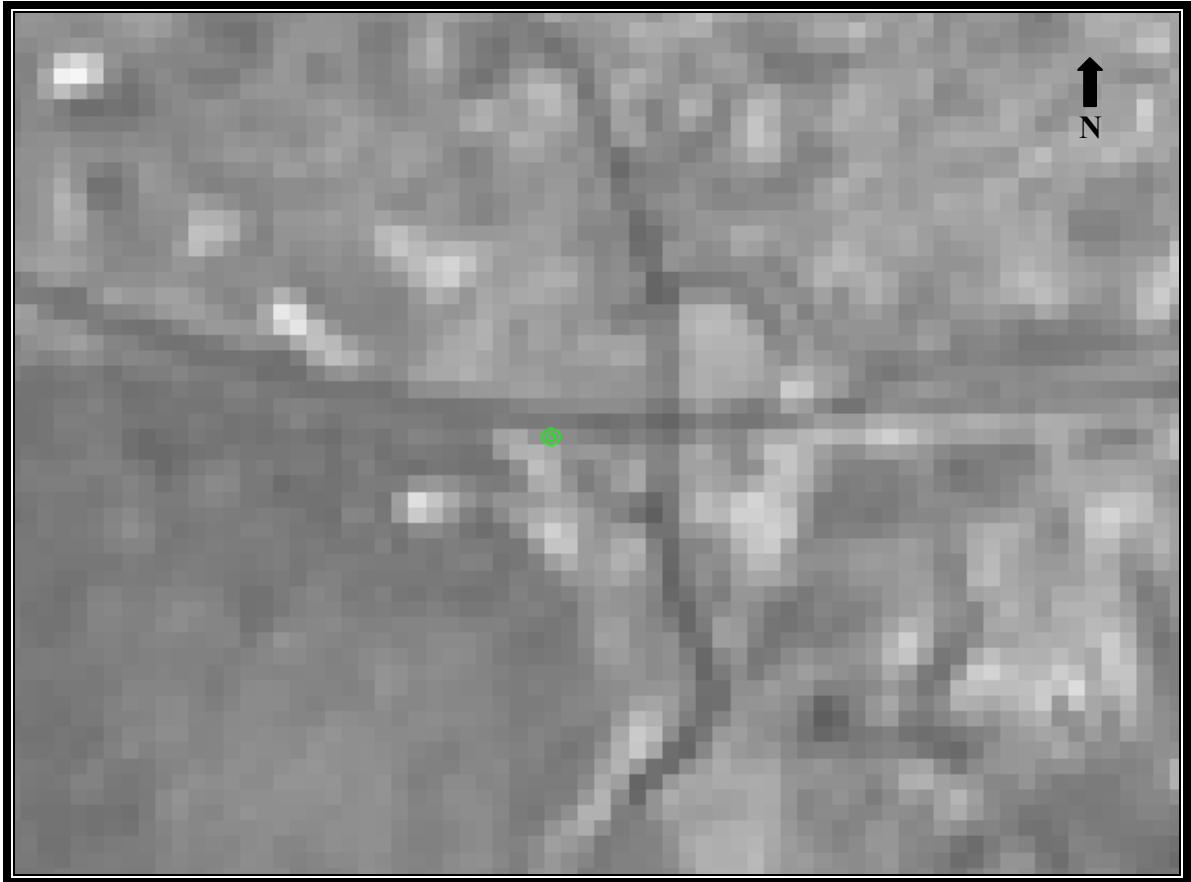
GCP_ID: [140701]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 14/7/2004 | 12:45:31 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Β.Α Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [] 1 pixel, [<input checked="" type="checkbox"/>] 2 pixel, [] 3 pixel, [] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση Νέας Εθνικής οδού για παλαιά προς Χερσόνησο | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 623951.83 | 3907403.46 |
| GPS ύψος: | 129,285 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 3,3 | | | |
| Αρχείο Rover: | Malia.cor | | | |

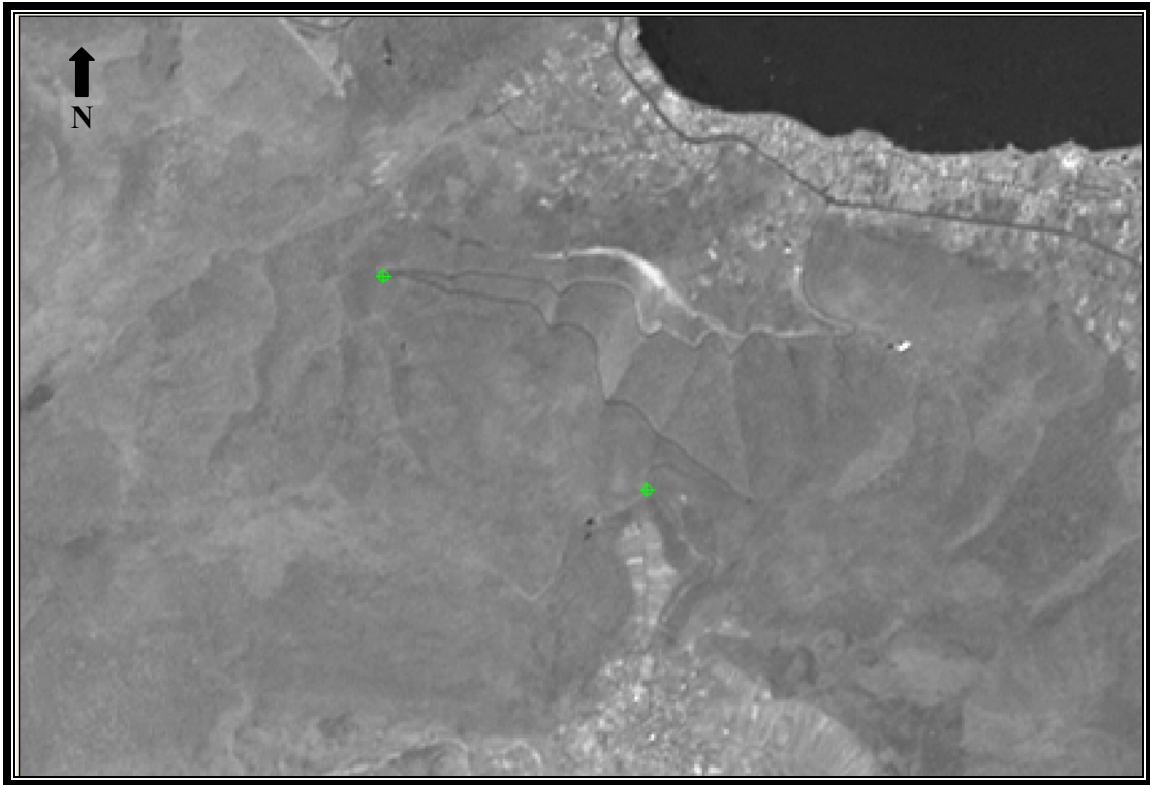
➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 7: Β.Α πλευρά του νομού Ηρακλείου (ASTER band 3), 2 GCP's

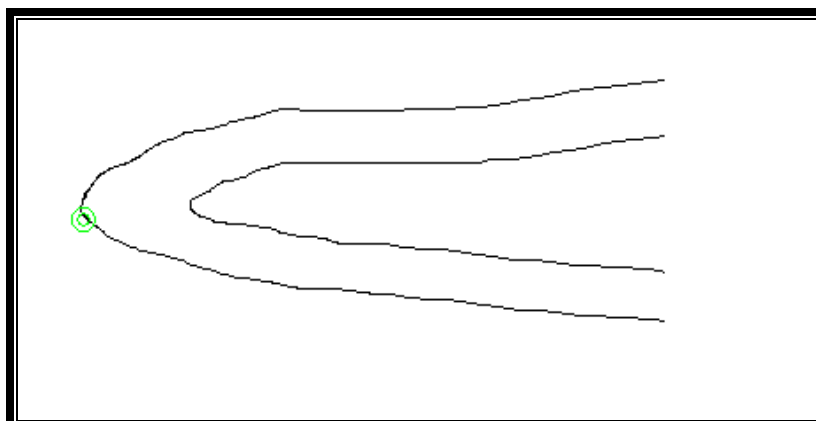


Τεκμηρίωση σημείων του χάρτη 7:

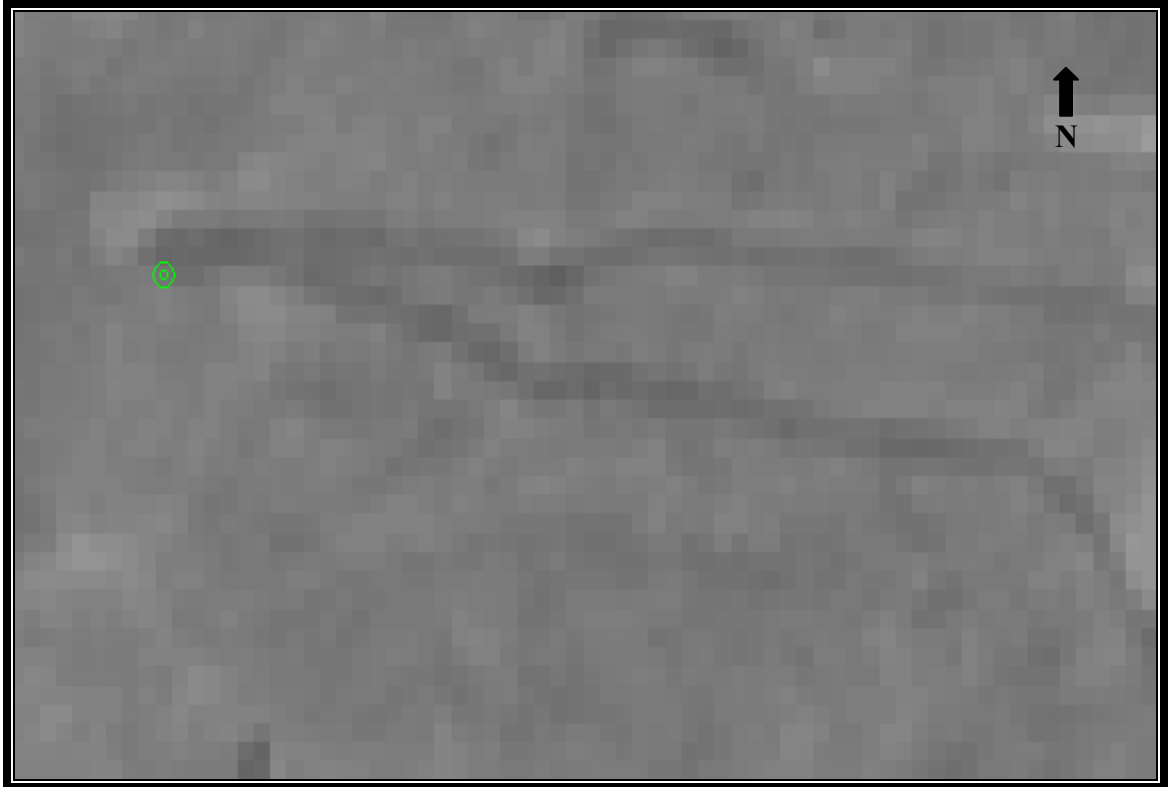
GCP_ID: [140702]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-------------------|-----------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 14/7/2004 | 13:02:32 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Β.Α Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [<input checked="" type="checkbox"/>] ακριβώς, [<input type="checkbox"/>] 1 pixel, [<input type="checkbox"/>] 2 pixel, [<input type="checkbox"/>] 3 pixel, [<input type="checkbox"/>] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Πρώτη απότομη αριστερή στροφή προς Μοχό (μετά τον κόμβο) | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | Ξηρό κόκκινο χώμα | Ποώδης βλάστηση | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 627815.58 | 3905435.871 |
| GPS ύψος: | 243.607 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 5.4 | | | |
| Αρχείο Rover: | Malia.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



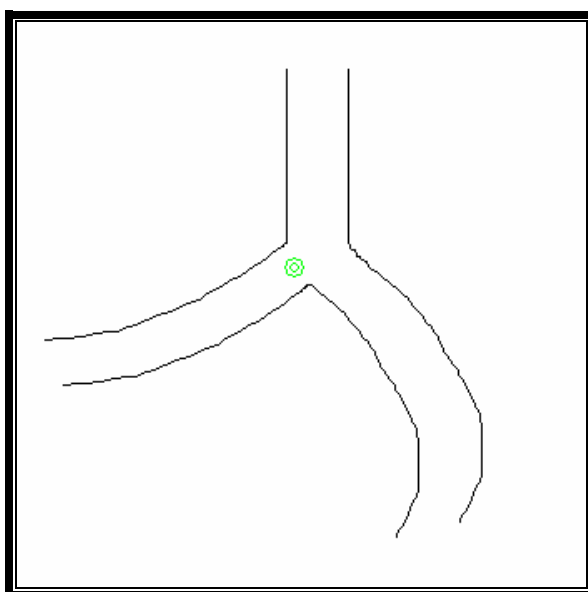
➤ Απόσπασμα εικόνας



GCP_ID: [140703]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-------------------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 14/7/2004 | 13:14:17 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Β.Α Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | <input checked="" type="checkbox"/> ακριβώς, <input type="checkbox"/> 1 pixel, <input type="checkbox"/> 2 pixel, <input type="checkbox"/> 3 pixel, <input type="checkbox"/> 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση μετά το χωριό Μοχός | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | Δρόμος: ξηρό χώμα | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 629276.623 | 3904260.02 |
| GPS ύψος: | 419,002 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 2,3 | | | |
| Αρχείο Rover: | Malia.cor | | | |

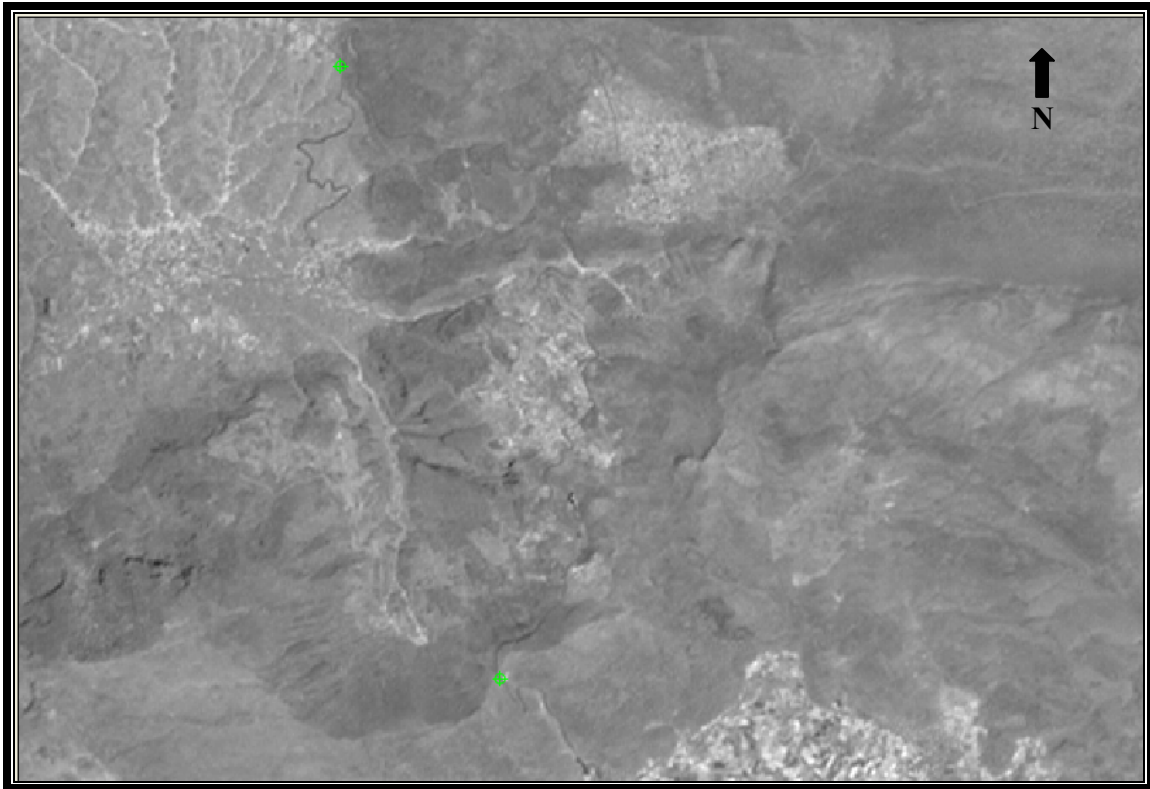
➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 8: Ανατολική πλευρά του νομού Ηρακλείου (ASTER band 3), 2 GCP's

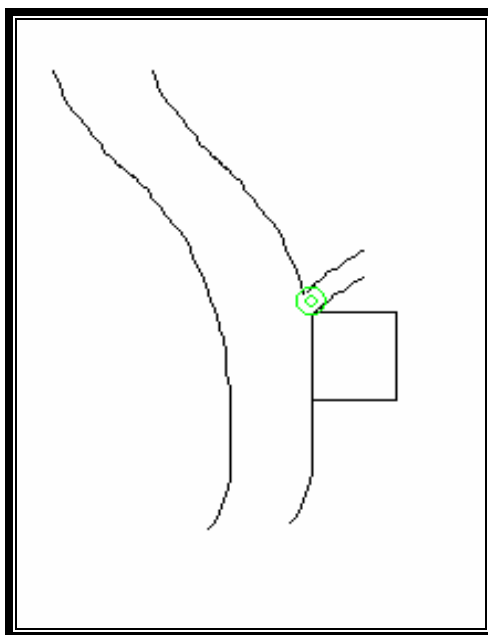


Τεκμηρίωση σημείων του χάρτη 8:

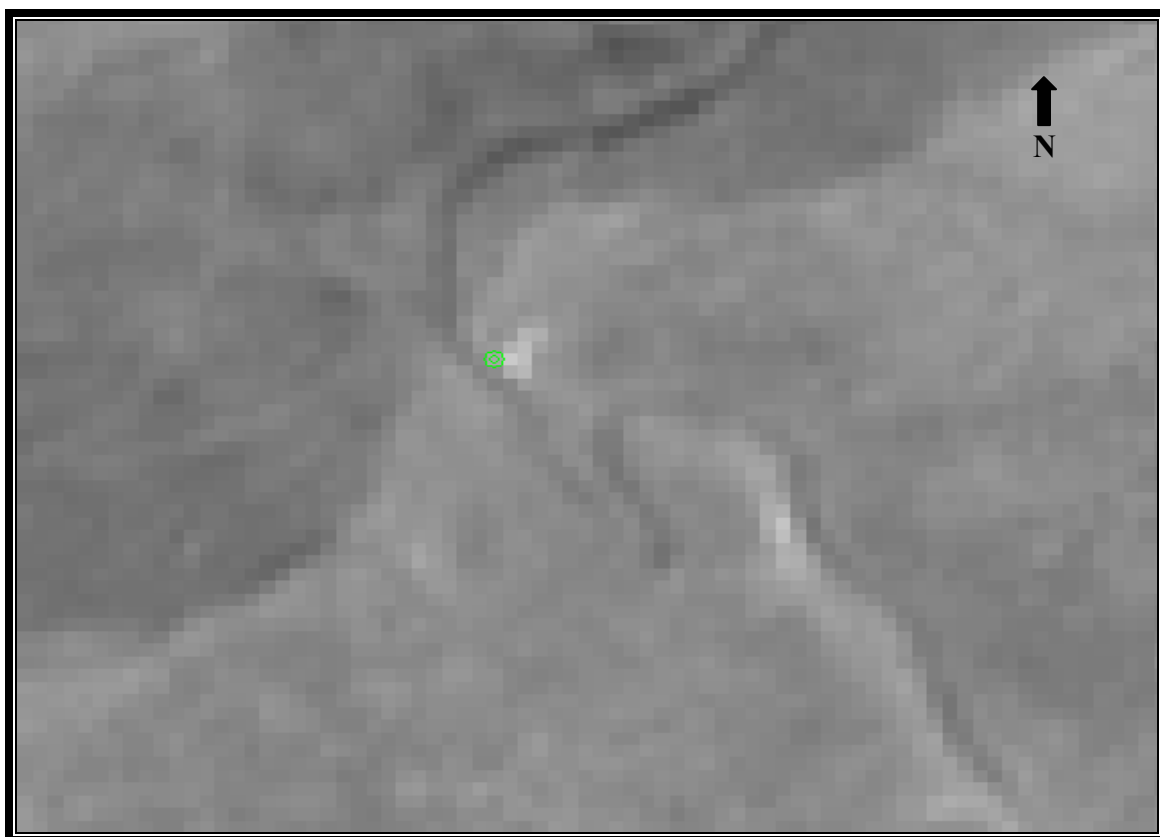
GCP_ID: [140708]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 14/7/2004 | 03:20:01 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Οροπέδιο Λασιθίου | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [<input checked="" type="checkbox"/>] 1 pixel, [] 2 pixel, [] 3 pixel, [] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Ταβέρνα φεύγοντας από οροπέδιο | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | Ξηρό χώμα | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 632306.712 | 3896342.41 |
| GPS ύψος: | 889,873 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 3,7 | | | |
| Αρχείο Rover: | malia.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



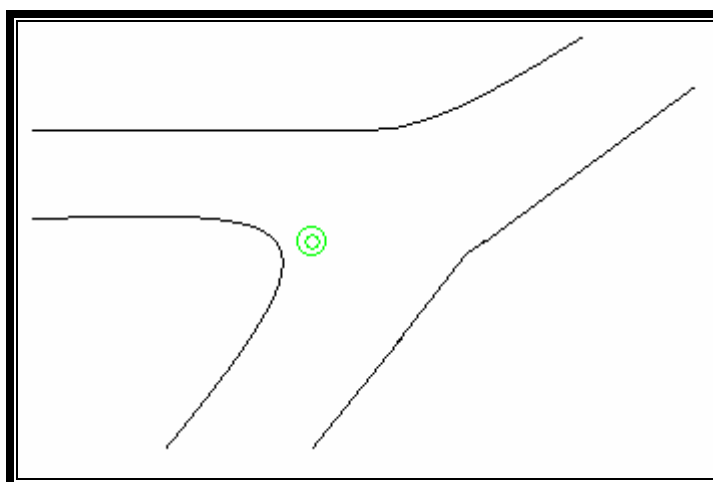
➤ Απόσπασμα εικόνας



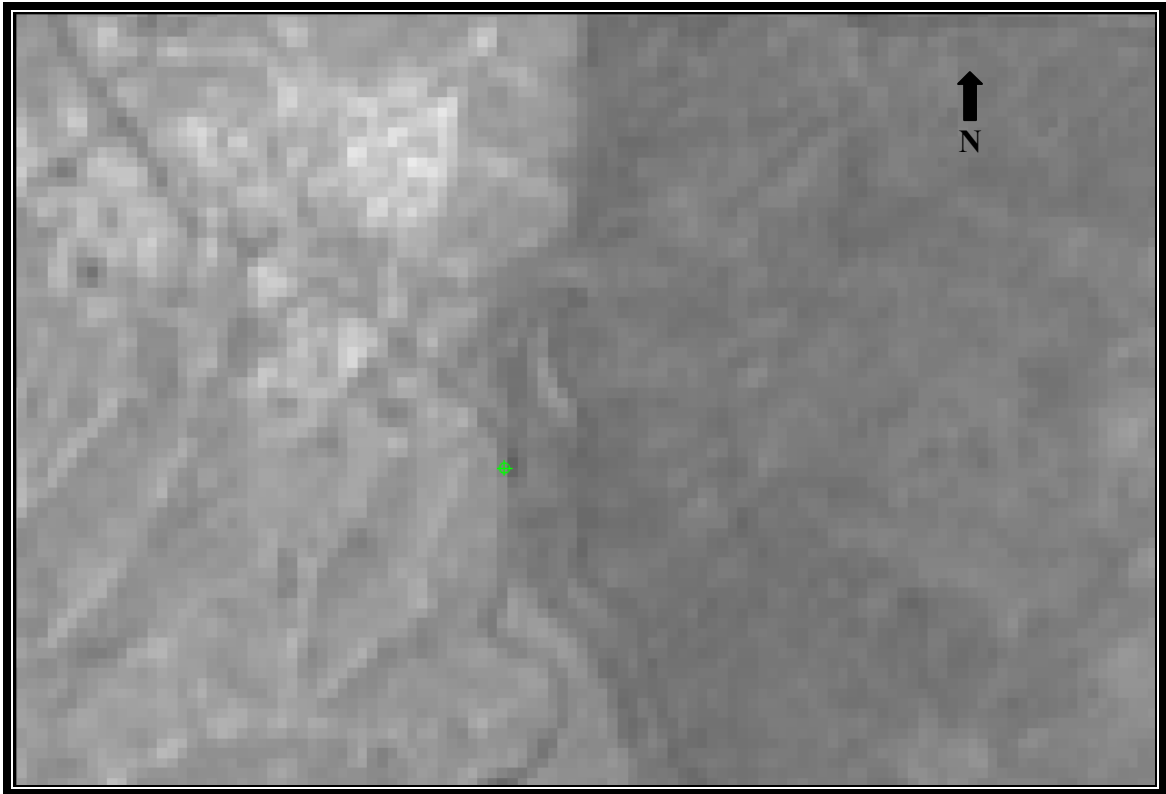
GCP_ID: [140706]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 14/7/2004 | 13:38:07 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Ανατολική πλευρά του νομού | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [<input checked="" type="checkbox"/>] 1 pixel, [] 2 pixel, [] 3 pixel, [] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση μοχού- λασιθίου | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 631171.18 | 3900746.6 |
| GPS ύψος: | 376,709 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 2,7 | | | |
| Αρχείο Rover: | malia.cor | | | |

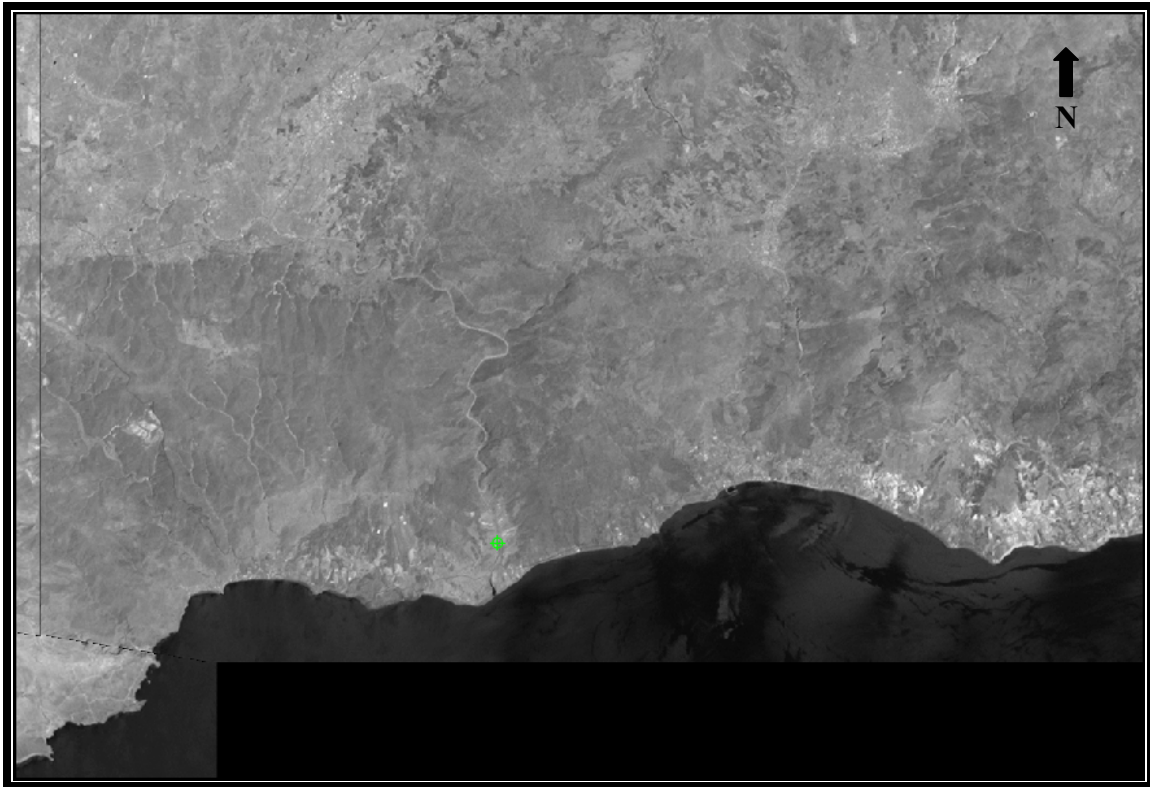
➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 9: Νότιο Κεντρική πλευρά του νομού Ηρακλείου (ASTER band 3), 1 GCP

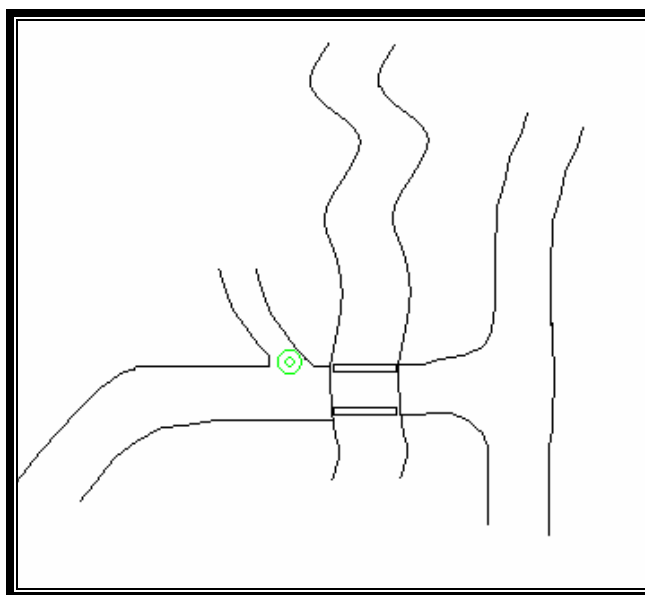


Τεκμηρίωση σημείου του χάρτη 9:

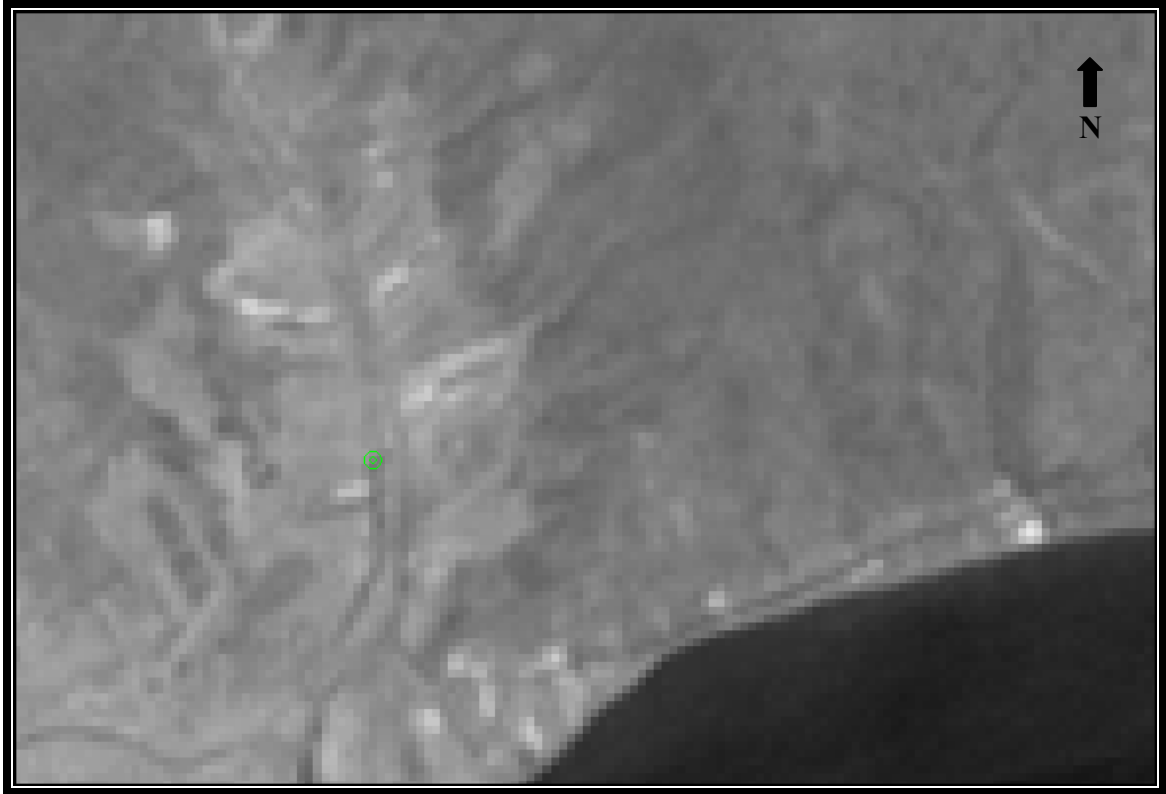
GCP_ID: [310724]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|-------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 31/7/2004 | 16:28:18 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Νότιο-Κεντρικό Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [] 1 pixel, [] 2 pixel, [<input checked="" type="checkbox"/>] 3 pixel, [] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Γεφυράκι μεγάλου ποταμού στον Τσούτσουρο | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | Ξηρό γόμα | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing(m) |
| | | | 621493.32 | 3872564.86 |
| GPS ύψος: | 4,191 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 20 | | | |
| Max PDOP: | 3,8 | | | |
| Αρχείο Rover: | Tsoutsos.cor | | | |

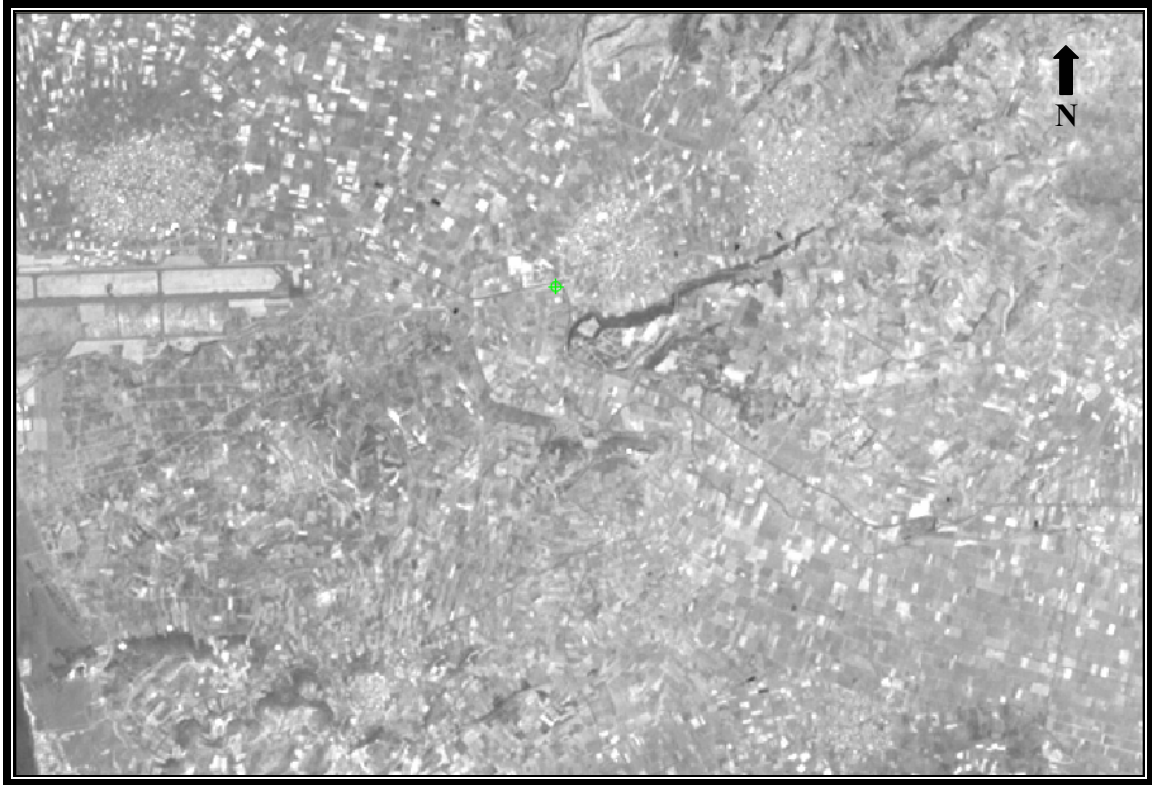
➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 10: Ανατολική πλευρά του νομού Ηρακλείου (ASTER band 3), 1 GCP

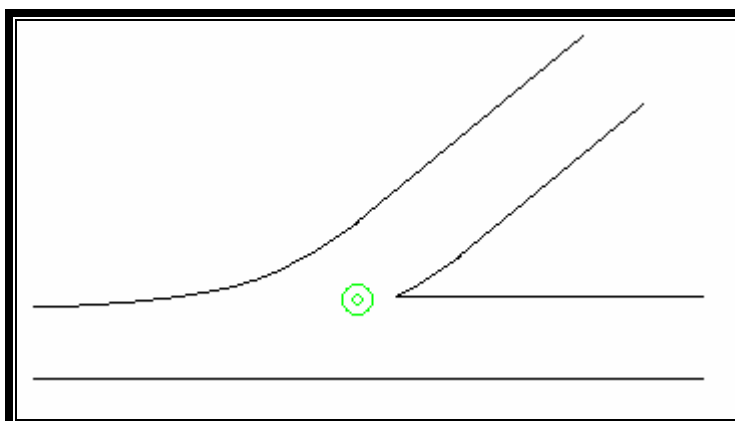


Τεκμηρίωση σημείου του χάρτη 10:

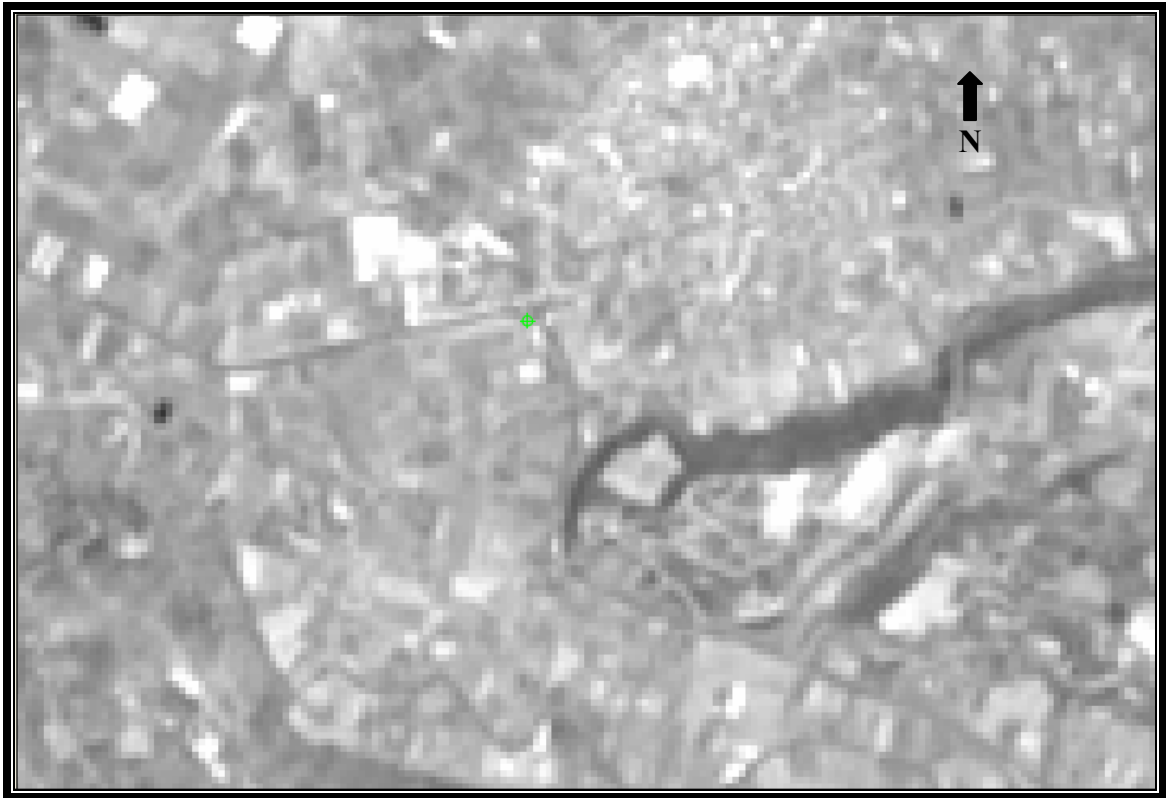
GCP_ID: [120705]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 12/7/2004 | 15:50:30 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Νότιο-Δυτική πλευρά του νομού | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [<input checked="" type="checkbox"/>] 1 pixel, [] 2 pixel, [] 3 pixel, [] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Είσοδος περιφερειακού δρόμου Βόρων στον κεντρικό | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | Ξηρό γόμα | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 573394.07 | 3880211.05 |
| GPS ύψος: | 37,141 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 21 | | | |
| Max PDOP: | 2,8 | | | |
| Αρχείο Rover: | south.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 11: Νότια-Κεντρική πλευρά του νομού Ηρακλείου (ASTER band 3), 4 GCP's

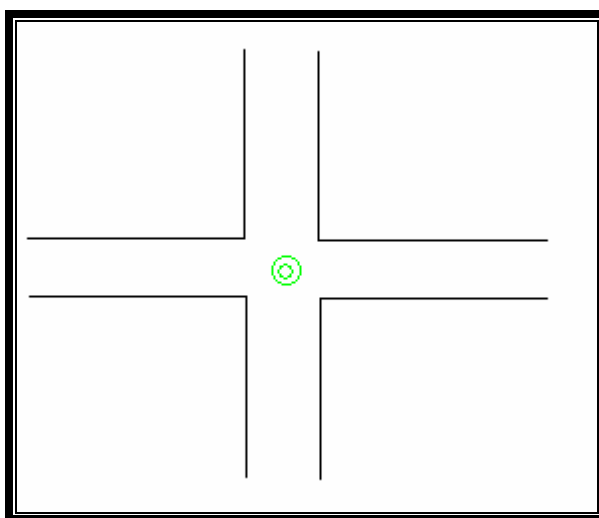


Τεκμηρίωση σημείων του χάρτη 11:

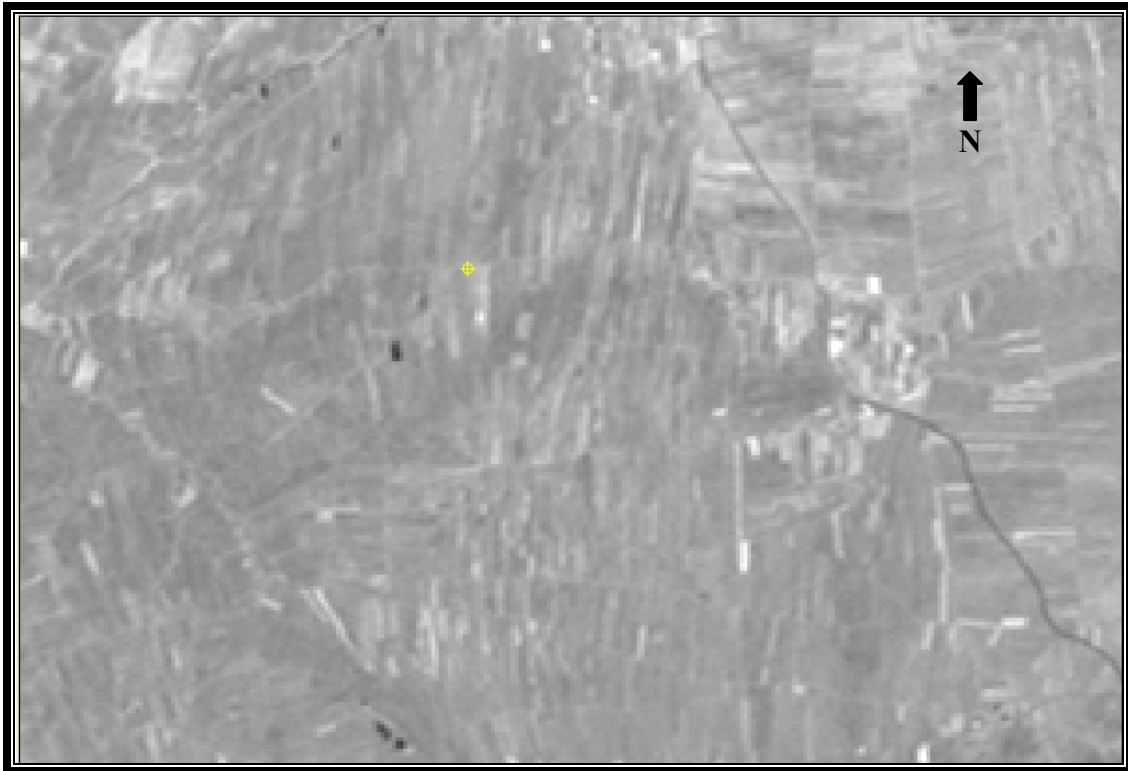
GCP_ID: [310723]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 31/7/2004 | 12:54:47 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Νότια-Κεντρική πλευρά του νομού | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [<input checked="" type="checkbox"/>] 1 pixel, [] 2 pixel, [] 3 pixel, [] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση σε καλλιέργειες στο Ασήμι | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμοι: χώμα ξηρό | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 598946.19 | 3876777.51 |
| GPS ύψος: | 259,824 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 2,7 | | | |
| Αρχείο Rover: | tsoutsos.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



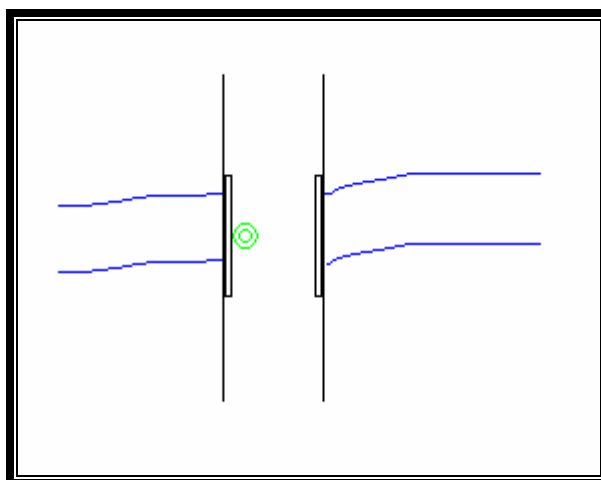
➤ Απόσπασμα εικόνας



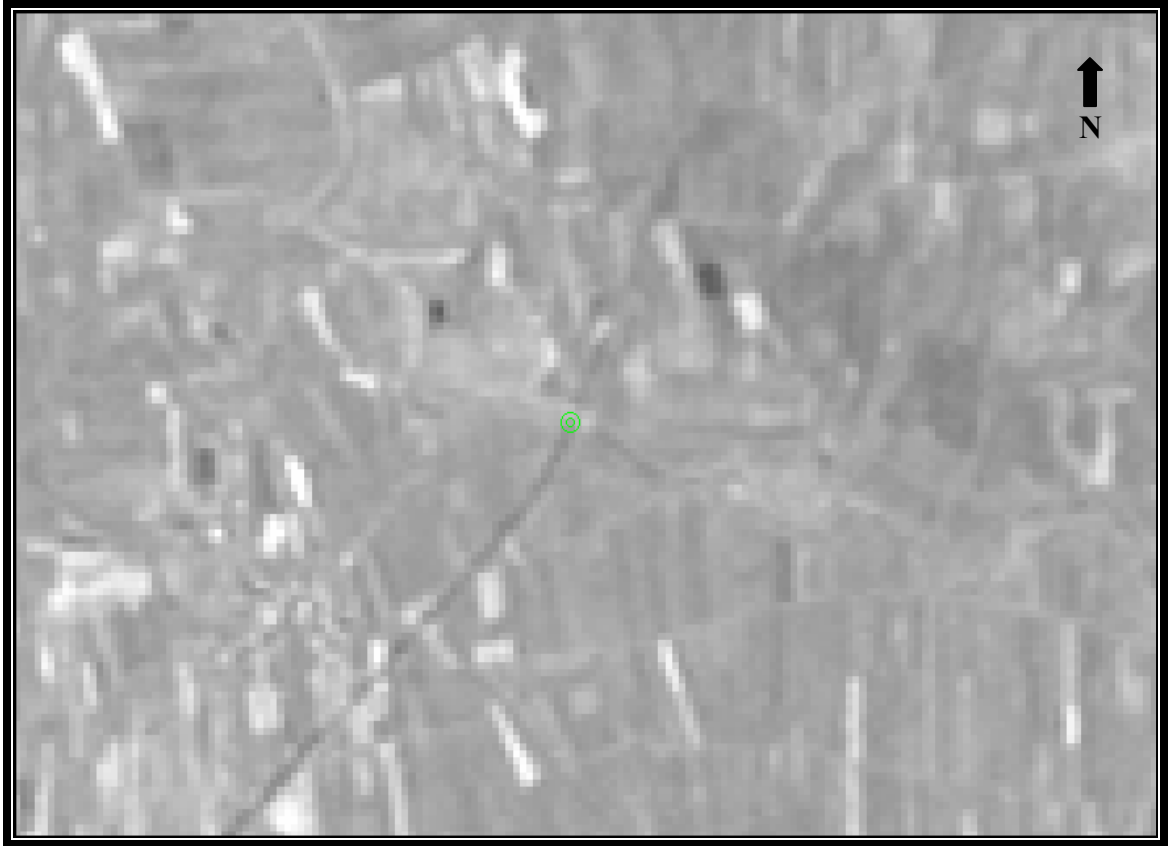
GCP_ID: [310705]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 31/7/2004 | 09:37:51 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Νότιο-Κεντρικό Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | <input checked="" type="checkbox"/> ακριβώς, <input type="checkbox"/> 1 pixel, <input type="checkbox"/> 2 pixel, <input type="checkbox"/> 3 pixel, <input type="checkbox"/> 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Γάφυρα στον ποταμό Αναποδάρη | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 605099.47 | 3877976.12 |
| GPS ύψος: | 222,664 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 4,7 | | | |
| Αρχείο Rover: | tsoutsos.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



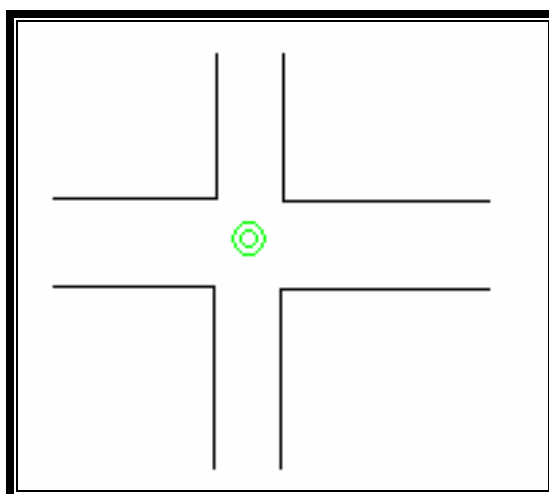
➤ Απόσπασμα εικόνας



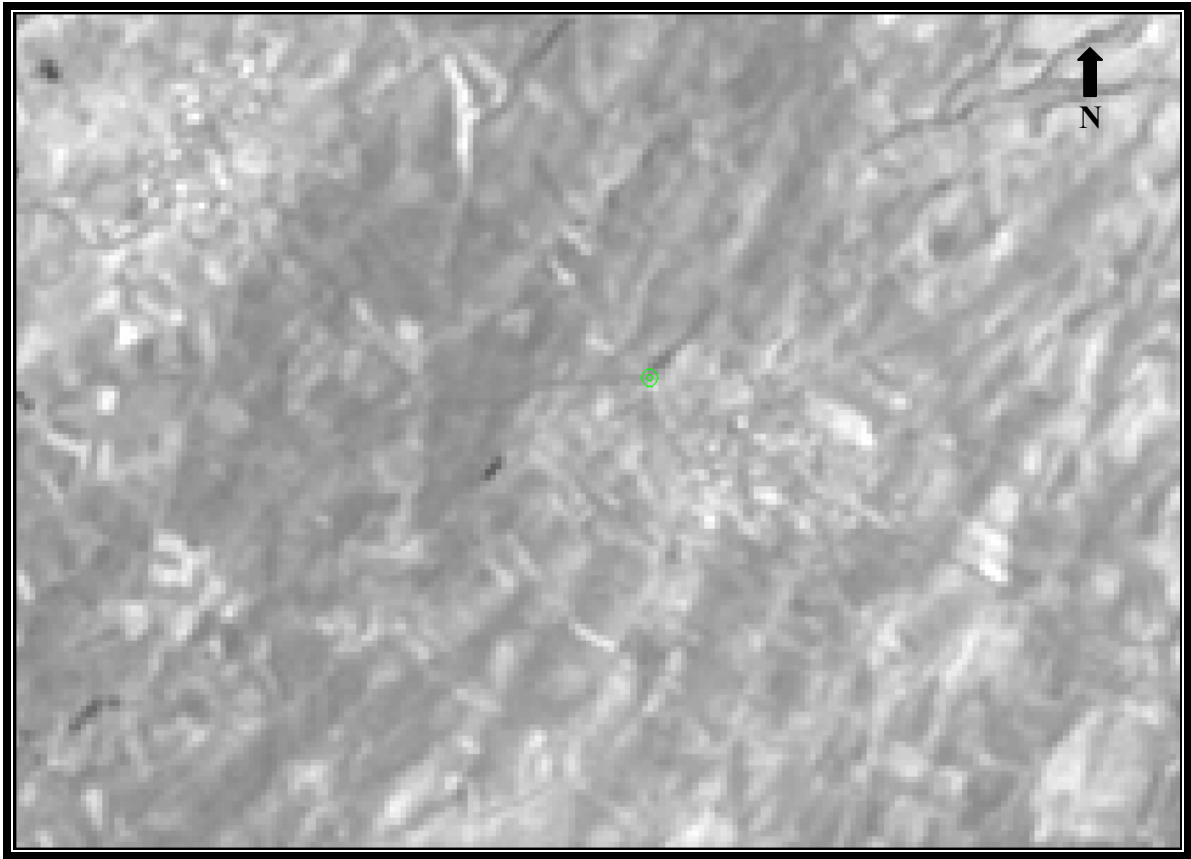
GCP_ID: [120711]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 12/7/2004 | 17:26:33 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Νότιο Κεντρικό Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | <input type="checkbox"/> ακριβώς, <input type="checkbox"/> 1 pixel, <input type="checkbox"/> 2 pixel, <input checked="" type="checkbox"/> 3 pixel, <input type="checkbox"/> 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση για Πύργο-Ασήμι | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 596555.013 | 3878571.034 |
| GPS ύψος: | 254,550 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 2,6 | | | |
| Αρχείο Rover: | south.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



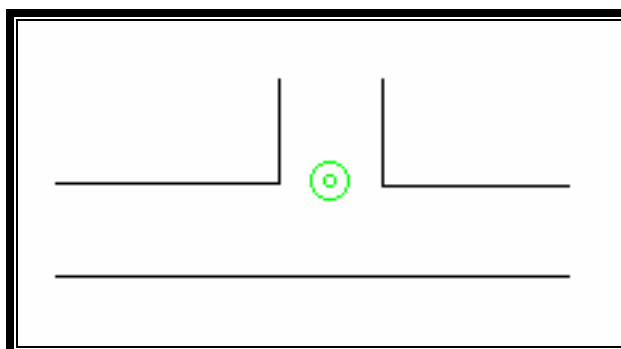
➤ Απόσπασμα εικόνας



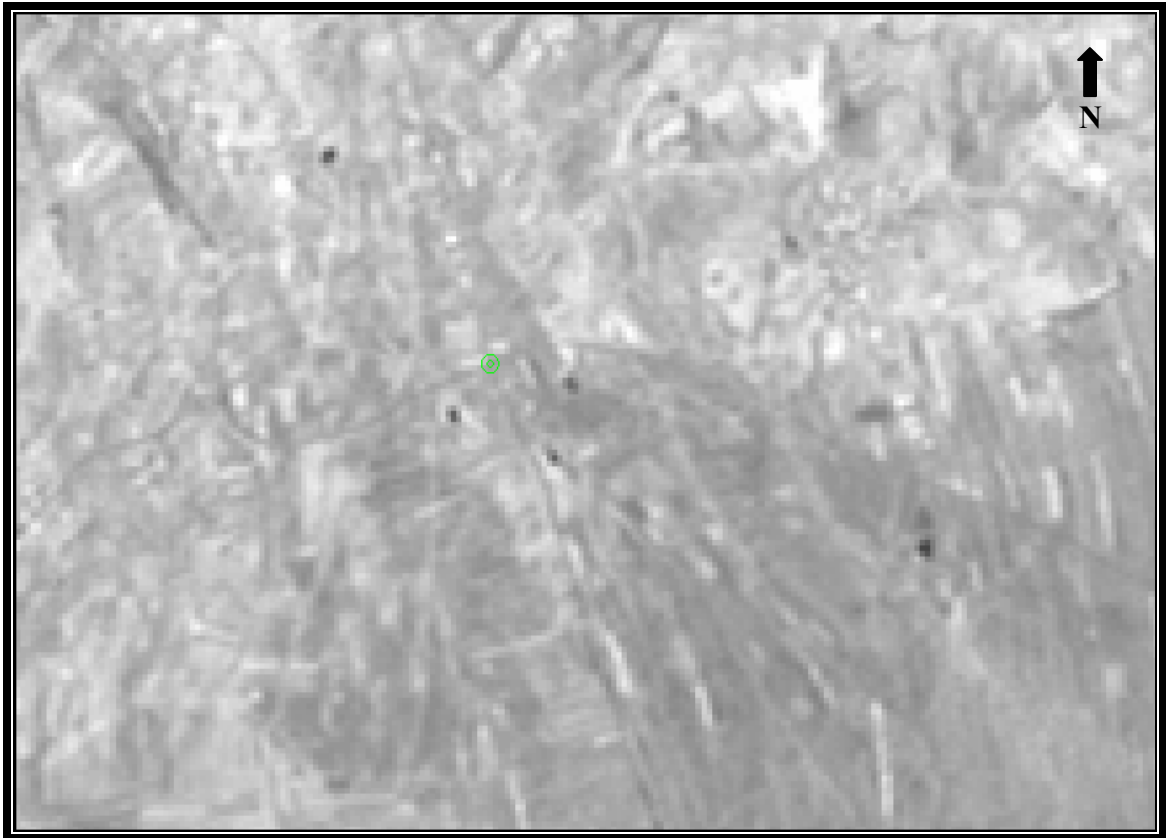
GCP_ID: [310708]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 31/7/2004 | 17:58:55 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Νότιο Κεντρικό Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [] 1 pixel, [✓] 2 pixel, [] 3 pixel, [] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση για Σοκαρά | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 601227.99 | 3878794.028 |
| GPS ύψος: | 288,096 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 21 | | | |
| Max PDOP: | 3,2 | | | |
| Αρχείο Rover: | tsoutsos.cor | | | |

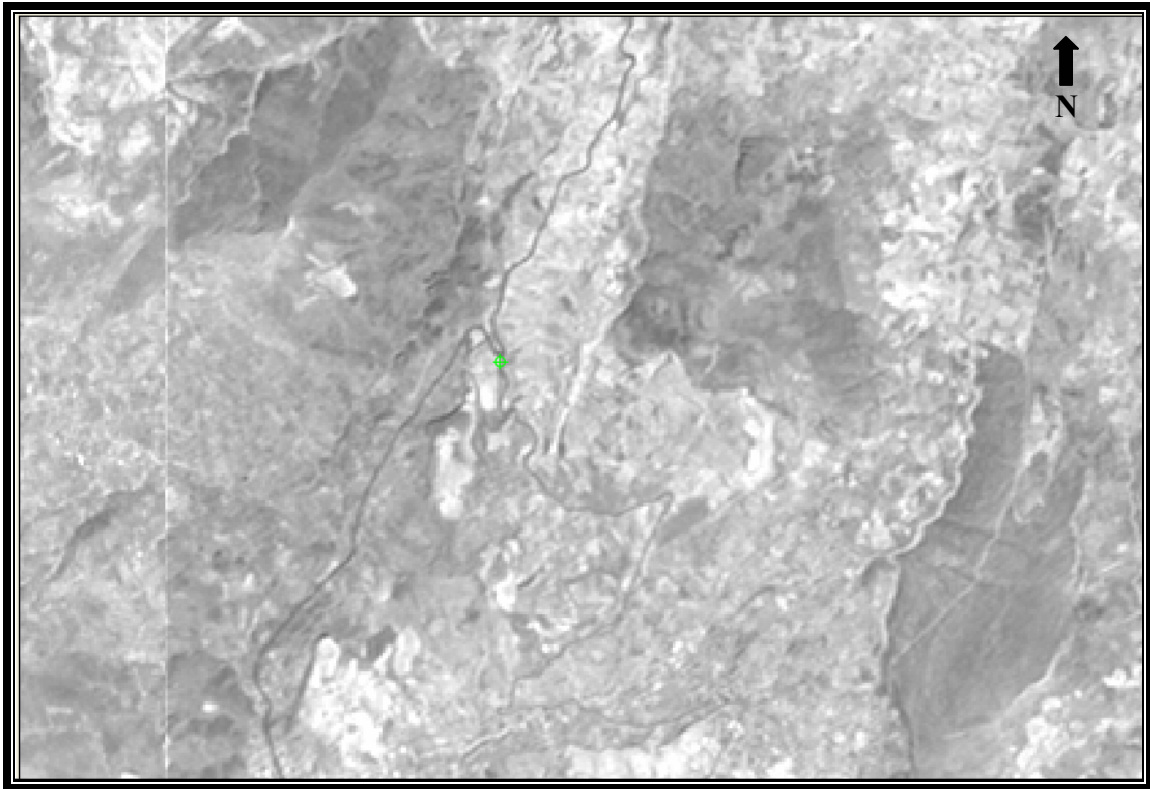
➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 12: Ν.Δ πλευρά του νομού Ηρακλείου (ASTER band 3), 1 GCP

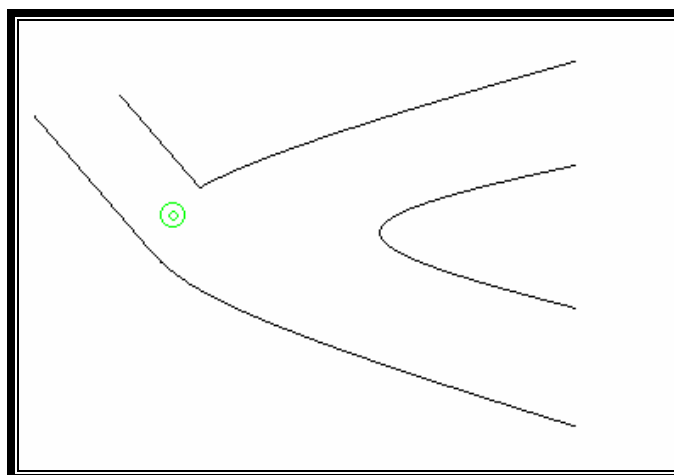


Τεκμηρίωση σημείου του χάρτη 12:

GCP_ID: [120714]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|-------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 12/7/2004 | 18:19:00 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Κεντρικό-Δυτικό Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [<input checked="" type="checkbox"/>] ακριβώς, [<input type="checkbox"/>] 1 pixel, [<input type="checkbox"/>] 2 pixel, [<input type="checkbox"/>] 3 pixel, [<input type="checkbox"/>] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση απότομη στροφής προς Αγία Βαρβάρα-Λαράρι | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing(m) |
| | | | 592847,87 | 3891453,33 |
| GPS ύψος: | 460,700 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 2,7 | | | |
| Αρχείο Rover: | south.cor | | | |

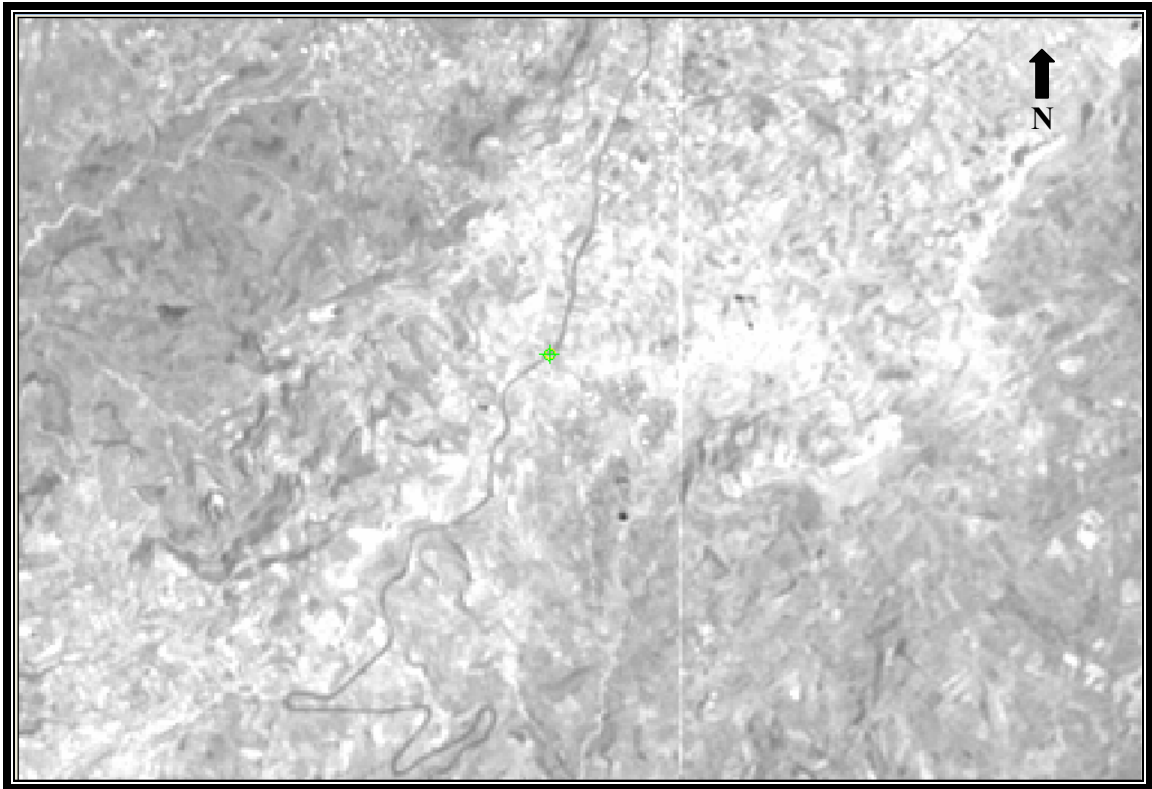
➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 13: Νότια-Κεντρική πλευρά του νομού Ηρακλείου (ASTER band 3), 1 GCP

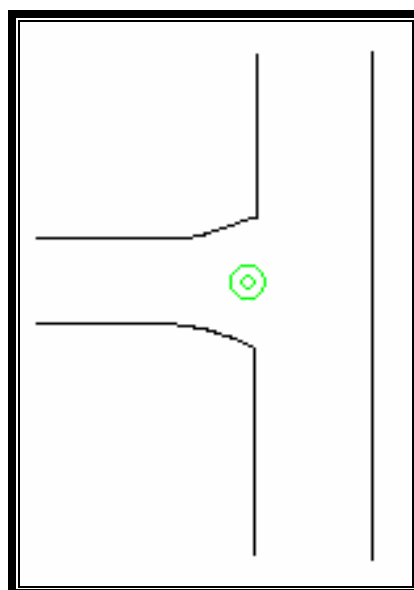


Τεκμηρίωση σημείου του χάρτη 13:

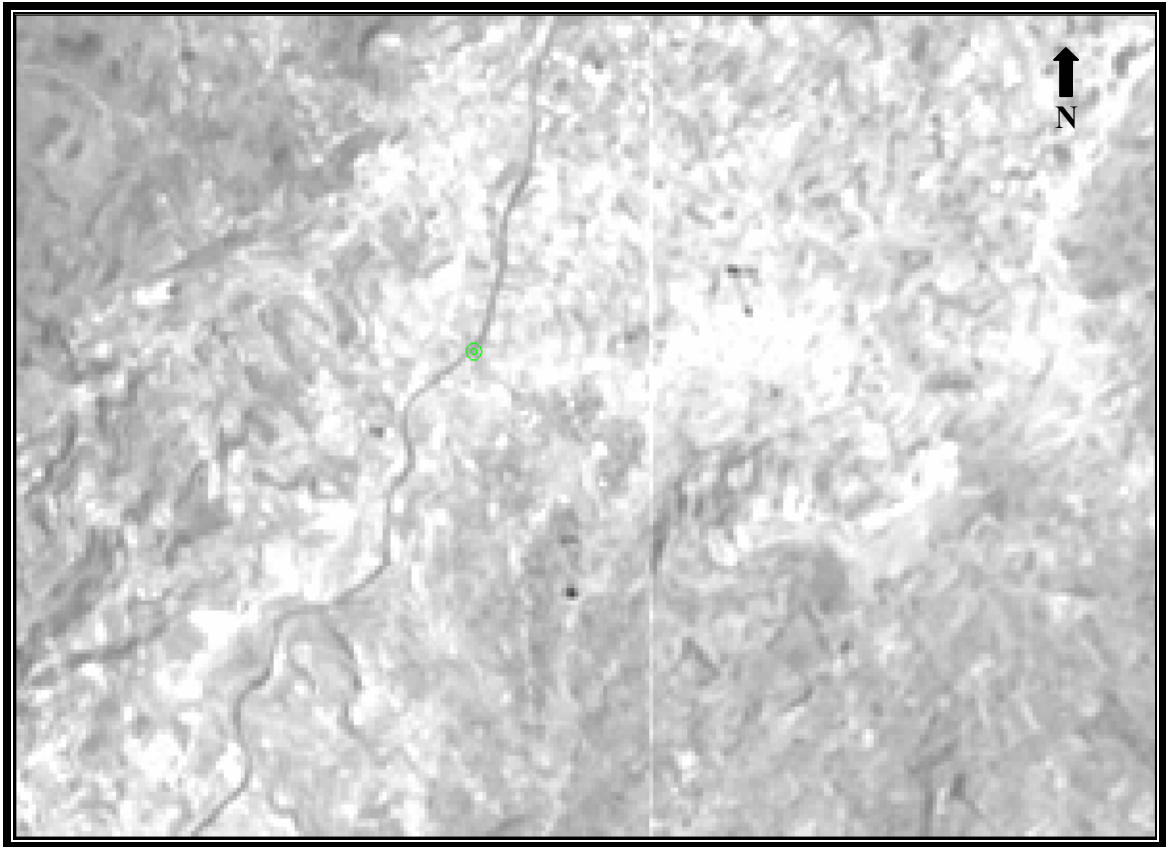
GCP_ID: [120712]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 12/7/2004 | 17:58:55 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Νότιο Κεντρικό Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | <input type="checkbox"/> ακριβώς, <input type="checkbox"/> 1 pixel, <input type="checkbox"/> 2 pixel, <input checked="" type="checkbox"/> 3 pixel, <input type="checkbox"/> 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διασταύρωση για Άνω Μούλια | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 590238.68 | 3886086.62 |
| GPS ύψος: | 646,685 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 5,5 | | | |
| Αρχείο Rover: | south.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



Χάρτης 14: Νότια-Δυτική πλευρά του νομού Ηρακλείου (ASTER band 3), 1 GCP

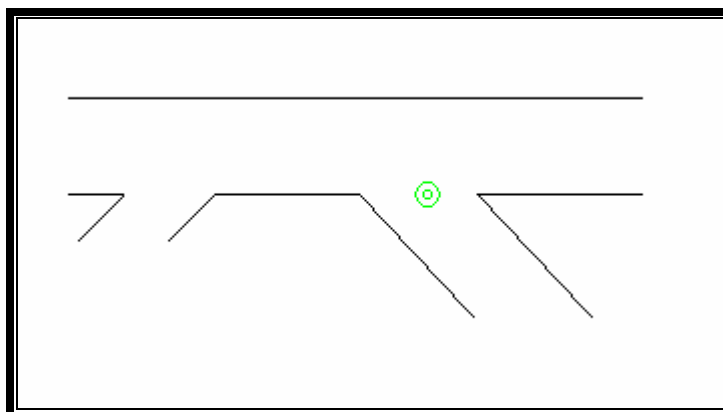


Τεκμηρίωση σημείου του χάρτη 14:

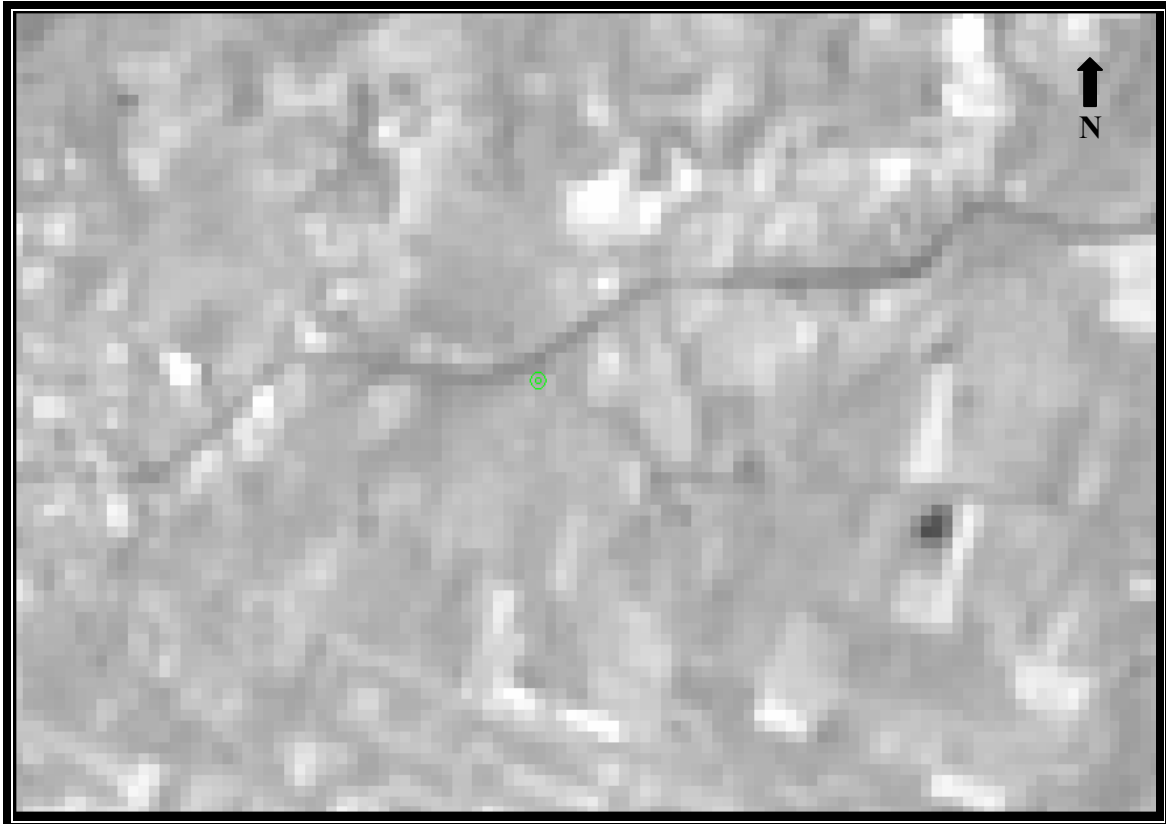
GCP_ID: [120710]

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-------------|--------------|
| Παρατηρητής (ές): | Εμμ. Καμαρατάκης – Κ. Βρέντζου | | | |
| Ημερομηνία/Ωρα: | 12/7/2004 | 17:11:13 | | |
| Ευρύτερη περιοχή: | Ν.Δ. Ηράκλειο | | | |
| Ακρίβεια αναγνώρισης pixel: | [] ακριβώς, [] 1 pixel, [] 2 pixel, [] 3 pixel, [✓] 4 pixel | | | |
| Περιγραφή σημείου: | Διακλάδωση κεντρικού δρόμου Ηρακλείο για Γκαγκάλες | | | |
| Κατάσταση εδάφους: | Δρόμος: Ασφαλτος | | | |
| Σχτιζόμενες φωτο/σχέδια: | Σκαρίφημα 1 | | | |
| ~ Μετρήσεις G.P.S ~ | | | | |
| Coordinate system/ Datum / Projection | WGS 1984 | | EGSA 1987 | |
| | Latitude | Longitude | Easting (m) | Northing (m) |
| | | | 588226.65 | 3879823.86 |
| GPS ύψος: | 178,504 m | | | |
| Πλήθος επαναλήψεων: | 25 | | | |
| Max PDOP: | 2,6 | | | |
| Αρχείο Rover: | south.cor | | | |

➤ Σκαρίφημα 1



➤ Απόσπασμα εικόνας



8.2. Παράρτημα II: Δεδομένα – Μετρήσεις για την αξιολόγηση του DEM

| BUFFERDIS | DEM Z | DIFF | ABS DIFF | DEMZ (+) | Z (+) | ABS DIFF (+) |
|-----------|----------|------------|-----------|----------|----------|--------------|
| 2,0000 | -100,000 | -162,18000 | 162,18000 | 160,293 | 160,285 | 0,00800 |
| 2,0000 | -100,000 | -269,47000 | 269,47000 | 433,759 | 433,790 | 0,03100 |
| 2,0000 | 380,217 | -8,19600 | 8,19600 | 254,622 | 254,542 | 0,08000 |
| 2,0000 | 167,650 | 6,48500 | 6,48500 | 5,416 | 5,530 | 0,11400 |
| 2,0000 | 273,529 | -10,72400 | 10,72400 | 666,872 | 666,751 | 0,12100 |
| 2,0000 | 92,111 | -37,86300 | 37,86300 | 441,046 | 440,890 | 0,15600 |
| 2,0000 | 69,737 | -70,33000 | 70,33000 | 553,089 | 553,428 | 0,33900 |
| 2,0000 | 191,780 | 1,34600 | 1,34600 | 308,397 | 308,754 | 0,35700 |
| 2,0000 | -100,000 | -128,19300 | 128,19300 | 81,491 | 81,030 | 0,46100 |
| 2,0000 | 253,124 | -65,98800 | 65,98800 | 272,493 | 271,988 | 0,50500 |
| 2,0000 | 287,388 | 25,68400 | 25,68400 | 20,443 | 19,860 | 0,58300 |
| 2,0000 | 324,215 | 19,28200 | 19,28200 | 227,890 | 228,476 | 0,58600 |
| 2,0000 | -100,000 | -134,14700 | 134,14700 | 343,038 | 343,759 | 0,72100 |
| 2,0000 | 342,317 | 21,82200 | 21,82200 | 456,875 | 457,629 | 0,75400 |
| 2,0000 | 388,665 | 46,34100 | 46,34100 | 621,206 | 620,425 | 0,78100 |
| 2,0000 | 327,643 | 23,84000 | 23,84000 | 2025,008 | 2025,812 | 0,80400 |
| 2,0000 | 126,633 | -10,53800 | 10,53800 | 363,978 | 363,163 | 0,81500 |
| 2,0000 | 126,608 | -20,79200 | 20,79200 | 798,431 | 799,499 | 1,06800 |
| 2,0000 | 526,760 | 39,07500 | 39,07500 | 215,261 | 216,450 | 1,18900 |
| 2,0000 | 101,741 | -6,87200 | 6,87200 | 191,780 | 190,434 | 1,34600 |
| 2,0000 | 460,076 | 21,02600 | 21,02600 | 113,633 | 115,015 | 1,38200 |
| 2,0000 | 214,699 | -159,97700 | 159,97700 | 1166,997 | 1165,582 | 1,41500 |
| 2,0000 | 366,018 | -10,18900 | 10,18900 | 1411,124 | 1412,635 | 1,51100 |
| 2,0000 | 476,389 | -15,27700 | 15,27700 | 156,469 | 154,954 | 1,51500 |
| 2,0000 | 431,536 | 19,99300 | 19,99300 | 191,633 | 190,082 | 1,55100 |
| 2,0000 | 612,381 | 17,26200 | 17,26200 | 317,124 | 318,708 | 1,58400 |
| 2,0000 | 860,190 | 64,08100 | 64,08100 | 439,749 | 438,110 | 1,63900 |
| 2,0000 | 670,683 | -11,02800 | 11,02800 | 723,086 | 724,775 | 1,68900 |
| 2,0000 | 230,479 | -15,92700 | 15,92700 | 373,106 | 371,300 | 1,80600 |
| 2,0000 | 536,201 | 21,03500 | 21,03500 | 45,257 | 43,407 | 1,85000 |
| 2,0000 | 857,166 | 10,92400 | 10,92400 | 539,634 | 541,487 | 1,85300 |
| 2,0000 | 693,753 | 10,74200 | 10,74200 | 1343,051 | 1341,017 | 2,03400 |
| 2,0000 | 615,566 | 24,14900 | 24,14900 | 552,166 | 554,231 | 2,06500 |
| 2,0000 | 266,368 | -8,27400 | 8,27400 | 250,286 | 252,390 | 2,10400 |
| 2,0000 | 28,034 | 19,58500 | 19,58500 | 4,162 | 2,050 | 2,11200 |
| 2,0000 | 308,917 | -9,66700 | 9,66700 | 34,839 | 37,020 | 2,18100 |
| 2,0000 | 447,277 | -15,68300 | 15,68300 | 1579,790 | 1577,606 | 2,18400 |
| 2,0000 | 719,654 | -7,41500 | 7,41500 | 559,909 | 562,140 | 2,23100 |
| 2,0000 | 580,223 | -18,28600 | 18,28600 | 314,620 | 312,325 | 2,29500 |
| 2,0000 | 285,178 | -15,74600 | 15,74600 | 257,545 | 255,194 | 2,35100 |
| 2,0000 | 746,019 | 36,96200 | 36,96200 | 546,460 | 548,832 | 2,37200 |
| 2,0000 | 363,978 | 0,81500 | 0,81500 | 157,266 | 154,871 | 2,39500 |
| 2,0000 | 1174,916 | 42,41000 | 42,41000 | 176,186 | 173,770 | 2,41600 |
| 2,0000 | 143,365 | -35,93600 | 35,93600 | 216,419 | 218,899 | 2,48000 |
| 2,0000 | 1085,201 | -145,01700 | 145,01700 | 370,779 | 368,224 | 2,55500 |
| 2,0000 | 239,005 | -11,51800 | 11,51800 | 995,707 | 998,350 | 2,64300 |
| 2,0000 | 534,271 | 62,29300 | 62,29300 | 351,068 | 353,806 | 2,73800 |
| 2,0000 | 439,930 | -110,64000 | 110,64000 | 677,776 | 675,027 | 2,74900 |

| | | | | | | |
|--------|----------|------------|-----------|----------|----------|---------|
| 2,0000 | 541,537 | -16,46600 | 16,46600 | 421,993 | 419,223 | 2,77000 |
| 2,0000 | 677,776 | 2,74900 | 2,74900 | 973,718 | 976,495 | 2,77700 |
| 2,0000 | 881,659 | 19,07100 | 19,07100 | 327,831 | 330,608 | 2,77700 |
| 2,0000 | 771,631 | 25,35500 | 25,35500 | 527,851 | 525,070 | 2,78100 |
| 2,0000 | 839,376 | -30,96000 | 30,96000 | 452,721 | 455,515 | 2,79400 |
| 2,0000 | 902,627 | -31,56200 | 31,56200 | 1914,306 | 1917,116 | 2,81000 |
| 2,0000 | 792,863 | 15,08700 | 15,08700 | 70,452 | 67,569 | 2,88300 |
| 2,0000 | 595,114 | -14,63200 | 14,63200 | 323,846 | 320,910 | 2,93600 |
| 2,0000 | 276,001 | -18,93100 | 18,93100 | 1597,052 | 1600,025 | 2,97300 |
| 2,0000 | 896,774 | 7,09700 | 7,09700 | 128,995 | 131,990 | 2,99500 |
| 2,0000 | 53,174 | -6,69100 | 6,69100 | 362,056 | 359,060 | 2,99600 |
| 2,0000 | 364,966 | -8,01700 | 8,01700 | 363,096 | 366,163 | 3,06700 |
| 2,0000 | 749,785 | 41,10000 | 41,10000 | 663,698 | 666,789 | 3,09100 |
| 2,0000 | 658,685 | 31,19100 | 31,19100 | 840,769 | 843,909 | 3,14000 |
| 2,0000 | 457,683 | 29,61600 | 29,61600 | 52,748 | 55,910 | 3,16200 |
| 2,0000 | 930,141 | 33,25000 | 33,25000 | 493,161 | 489,994 | 3,16700 |
| 2,0000 | 541,611 | 7,53900 | 7,53900 | 575,723 | 572,470 | 3,25300 |
| 2,0000 | 366,435 | -17,10900 | 17,10900 | 481,846 | 485,300 | 3,45400 |
| 2,0000 | 591,621 | 19,28400 | 19,28400 | 142,306 | 145,828 | 3,52200 |
| 2,0000 | 987,930 | -5,64700 | 5,64700 | 334,129 | 330,558 | 3,57100 |
| 2,0000 | 945,455 | 17,32600 | 17,32600 | 235,012 | 231,415 | 3,59700 |
| 2,0000 | 973,718 | -2,77700 | 2,77700 | 331,153 | 327,458 | 3,69500 |
| 2,0000 | 433,320 | -17,25000 | 17,25000 | 601,071 | 604,993 | 3,92200 |
| 2,0000 | 894,010 | 26,08700 | 26,08700 | 200,407 | 204,393 | 3,98600 |
| 2,0000 | 719,151 | -105,19800 | 105,19800 | 272,173 | 276,160 | 3,98700 |
| 2,0000 | 239,417 | -28,83300 | 28,83300 | 1725,173 | 1721,026 | 4,14700 |
| 2,0000 | 908,653 | 28,55600 | 28,55600 | 249,893 | 245,745 | 4,14800 |
| 2,0000 | 465,678 | -4,33400 | 4,33400 | 465,678 | 470,012 | 4,33400 |
| 2,0000 | 571,583 | 16,80000 | 16,80000 | 445,786 | 450,290 | 4,50400 |
| 2,0000 | 322,441 | 21,82100 | 21,82100 | 426,381 | 430,970 | 4,58900 |
| 2,0000 | 331,172 | 14,15700 | 14,15700 | 369,703 | 365,090 | 4,61300 |
| 2,0000 | 840,769 | -3,14000 | 3,14000 | 1453,265 | 1457,946 | 4,68100 |
| 2,0000 | 286,996 | -12,30100 | 12,30100 | 717,714 | 713,000 | 4,71400 |
| 2,0000 | 102,538 | 30,52900 | 30,52900 | 116,071 | 120,820 | 4,74900 |
| 2,0000 | 534,372 | -184,40900 | 184,40900 | 394,815 | 399,600 | 4,78500 |
| 2,0000 | 378,721 | -27,55900 | 27,55900 | 1351,399 | 1346,614 | 4,78500 |
| 2,0000 | 798,431 | -1,06800 | 1,06800 | 133,305 | 128,502 | 4,80300 |
| 2,0000 | 128,396 | -12,47400 | 12,47400 | 1135,717 | 1140,529 | 4,81200 |
| 2,0000 | 768,479 | 18,28200 | 18,28200 | 91,476 | 96,345 | 4,86900 |
| 2,0000 | 779,971 | -7,61300 | 7,61300 | 154,102 | 159,004 | 4,90200 |
| 2,0000 | 749,136 | 15,74200 | 15,74200 | 289,279 | 294,297 | 5,01800 |
| 2,0000 | 93,567 | 34,16600 | 34,16600 | 137,713 | 132,662 | 5,05100 |
| 2,0000 | -100,000 | -146,86400 | 146,86400 | 473,826 | 478,907 | 5,08100 |
| 2,0000 | 673,769 | -12,67600 | 12,67600 | 6,291 | 0,880 | 5,41100 |
| 2,0000 | 575,723 | 3,25300 | 3,25300 | 660,348 | 654,927 | 5,42100 |
| 2,0000 | 452,290 | -6,52500 | 6,52500 | 591,321 | 596,818 | 5,49700 |
| 2,0000 | 676,308 | 19,30300 | 19,30300 | 244,218 | 249,840 | 5,62200 |
| 2,0000 | 455,008 | 8,58900 | 8,58900 | 299,888 | 305,518 | 5,63000 |
| 2,0000 | 588,559 | 57,60900 | 57,60900 | 987,930 | 993,577 | 5,64700 |
| 2,0000 | 929,208 | -11,36300 | 11,36300 | 610,139 | 615,815 | 5,67600 |
| 2,0000 | 149,902 | -34,49500 | 34,49500 | 391,965 | 397,676 | 5,71100 |
| 2,0000 | 179,618 | -35,01800 | 35,01800 | 453,746 | 447,966 | 5,78000 |

| | | | | | | |
|--------|---------|-----------|----------|----------|----------|---------|
| 2,0000 | 518,822 | -12,48600 | 12,48600 | 692,511 | 686,596 | 5,91500 |
| 2,0000 | 885,322 | -21,17400 | 21,17400 | 568,980 | 574,972 | 5,99200 |
| 2,0000 | 311,995 | 38,33500 | 38,33500 | 223,301 | 229,320 | 6,01900 |
| 2,0000 | 414,886 | 12,91700 | 12,91700 | 62,270 | 68,466 | 6,19600 |
| 2,0000 | 147,122 | 65,03500 | 65,03500 | 26,791 | 33,131 | 6,34000 |
| 2,0000 | 419,411 | -15,71700 | 15,71700 | 311,617 | 305,274 | 6,34300 |
| 2,0000 | 131,684 | -20,05300 | 20,05300 | 405,661 | 412,070 | 6,40900 |
| 2,0000 | 417,544 | 11,43500 | 11,43500 | 1227,725 | 1221,260 | 6,46500 |
| 2,0000 | 302,990 | 24,50700 | 24,50700 | 804,125 | 797,647 | 6,47800 |
| 2,0000 | 327,831 | -2,77700 | 2,77700 | 167,650 | 161,165 | 6,48500 |
| 2,0000 | 397,621 | -16,66000 | 16,66000 | 1989,111 | 1982,624 | 6,48700 |
| 2,0000 | 154,990 | -29,74300 | 29,74300 | 659,689 | 666,189 | 6,50000 |
| 2,0000 | 249,893 | 4,14800 | 4,14800 | 452,290 | 458,815 | 6,52500 |
| 2,0000 | 173,531 | 27,34800 | 27,34800 | 282,357 | 275,799 | 6,55800 |
| 2,0000 | 233,510 | 25,46200 | 25,46200 | 636,058 | 629,460 | 6,59800 |
| 2,0000 | 200,395 | -6,75800 | 6,75800 | 734,604 | 727,959 | 6,64500 |
| 2,0000 | 454,214 | 27,65600 | 27,65600 | 53,174 | 59,865 | 6,69100 |
| 2,0000 | 389,102 | -21,73200 | 21,73200 | 200,395 | 207,153 | 6,75800 |
| 2,0000 | 289,364 | -20,75300 | 20,75300 | 13,036 | 6,260 | 6,77600 |
| 2,0000 | 373,303 | -16,19000 | 16,19000 | 127,677 | 134,460 | 6,78300 |
| 2,0000 | 472,431 | -21,67000 | 21,67000 | 101,741 | 108,613 | 6,87200 |
| 2,0000 | 249,705 | 30,51500 | 30,51500 | 240,906 | 234,018 | 6,88800 |
| 2,0000 | 227,926 | -33,23400 | 33,23400 | 445,023 | 451,970 | 6,94700 |
| 2,0000 | 363,096 | -3,06700 | 3,06700 | 182,217 | 189,170 | 6,95300 |
| 2,0000 | 371,647 | -55,61300 | 55,61300 | 10,149 | 3,140 | 7,00900 |
| 2,0000 | 120,292 | -22,89800 | 22,89800 | 365,330 | 372,400 | 7,07000 |
| 2,0000 | 546,460 | -2,37200 | 2,37200 | 896,774 | 889,677 | 7,09700 |
| 2,0000 | 254,622 | 0,08000 | 0,08000 | 501,590 | 494,276 | 7,31400 |
| 2,0000 | 647,485 | 30,75900 | 30,75900 | 222,139 | 214,759 | 7,38000 |
| 2,0000 | 636,058 | 6,59800 | 6,59800 | 719,654 | 727,069 | 7,41500 |
| 2,0000 | 141,149 | 8,79900 | 8,79900 | 739,076 | 731,637 | 7,43900 |
| 2,0000 | 128,995 | -2,99500 | 2,99500 | 232,655 | 240,110 | 7,45500 |
| 2,0000 | 450,039 | -23,26100 | 23,26100 | 541,611 | 534,072 | 7,53900 |
| 2,0000 | 116,071 | -4,74900 | 4,74900 | 779,971 | 787,584 | 7,61300 |
| 2,0000 | 348,502 | -8,03600 | 8,03600 | 292,073 | 299,729 | 7,65600 |
| 2,0000 | 516,422 | 15,70300 | 15,70300 | 297,812 | 305,557 | 7,74500 |
| 2,0000 | 182,217 | -6,95300 | 6,95300 | 1498,067 | 1505,884 | 7,81700 |
| 2,0000 | 192,229 | -31,97500 | 31,97500 | 314,572 | 322,390 | 7,81800 |
| 2,0000 | 510,503 | 19,61900 | 19,61900 | 79,050 | 71,126 | 7,92400 |
| 2,0000 | 245,376 | -21,12300 | 21,12300 | 1278,623 | 1270,629 | 7,99400 |
| 2,0000 | 622,625 | -60,90500 | 60,90500 | 364,966 | 372,983 | 8,01700 |
| 2,0000 | 127,677 | -6,78300 | 6,78300 | 348,502 | 356,538 | 8,03600 |
| 2,0000 | 412,908 | -35,53300 | 35,53300 | 334,535 | 342,691 | 8,15600 |
| 2,0000 | 224,075 | -16,48500 | 16,48500 | 1987,796 | 1979,623 | 8,17300 |
| 2,0000 | 91,476 | -4,86900 | 4,86900 | 587,247 | 579,064 | 8,18300 |
| 2,0000 | 687,337 | -13,58000 | 13,58000 | 293,477 | 285,290 | 8,18700 |
| 2,0000 | 431,317 | -14,19600 | 14,19600 | 380,217 | 388,413 | 8,19600 |
| 2,0000 | 239,050 | -20,74000 | 20,74000 | 486,412 | 478,196 | 8,21600 |
| 2,0000 | 105,228 | -16,48300 | 16,48300 | 70,820 | 79,090 | 8,27000 |
| 2,0000 | 152,400 | -8,96000 | 8,96000 | 266,368 | 274,642 | 8,27400 |
| 2,0000 | 667,553 | 57,97000 | 57,97000 | 741,791 | 750,148 | 8,35700 |
| 2,0000 | 128,641 | -12,54900 | 12,54900 | 255,903 | 264,310 | 8,40700 |

| | | | | | | |
|--------|----------|------------|-----------|----------|----------|----------|
| 2,0000 | 373,106 | 1,80600 | 1,80600 | 173,380 | 181,820 | 8,44000 |
| 2,0000 | 560,760 | -124,53000 | 124,53000 | 243,560 | 252,061 | 8,50100 |
| 2,0000 | 563,254 | 13,60500 | 13,60500 | 407,549 | 416,120 | 8,57100 |
| 2,0000 | 454,300 | -32,34000 | 32,34000 | 455,008 | 446,419 | 8,58900 |
| 2,0000 | 90,421 | -30,89900 | 30,89900 | 141,149 | 132,350 | 8,79900 |
| 2,0000 | 99,855 | -41,42500 | 41,42500 | 475,197 | 484,013 | 8,81600 |
| 2,0000 | 123,596 | -33,81400 | 33,81400 | 331,318 | 340,200 | 8,88200 |
| 2,0000 | 83,415 | -9,39700 | 9,39700 | 152,400 | 161,360 | 8,96000 |
| 2,0000 | 254,501 | 17,57200 | 17,57200 | 299,799 | 308,760 | 8,96100 |
| 2,0000 | 317,124 | -1,58400 | 1,58400 | 1009,817 | 1000,809 | 9,00800 |
| 2,0000 | 196,174 | -13,23600 | 13,23600 | 1848,356 | 1857,367 | 9,01100 |
| 2,0000 | 193,070 | -25,59000 | 25,59000 | 485,663 | 476,393 | 9,27000 |
| 2,0000 | 54,474 | -18,54500 | 18,54500 | 640,930 | 631,600 | 9,33000 |
| 2,0000 | 776,725 | 55,95500 | 55,95500 | 570,623 | 579,980 | 9,35700 |
| 2,0000 | 79,137 | -21,28300 | 21,28300 | 343,702 | 353,069 | 9,36700 |
| 2,0000 | 640,252 | 39,66200 | 39,66200 | 83,415 | 92,812 | 9,39700 |
| 2,0000 | 1045,157 | 51,01900 | 51,01900 | 411,004 | 420,413 | 9,40900 |
| 2,0000 | 62,270 | -6,19600 | 6,19600 | 1300,211 | 1309,644 | 9,43300 |
| 2,0000 | 727,403 | -17,38700 | 17,38700 | 518,660 | 509,204 | 9,45600 |
| 2,0000 | 45,860 | -54,47800 | 54,47800 | 284,826 | 294,322 | 9,49600 |
| 2,0000 | 232,655 | -7,45500 | 7,45500 | 1514,085 | 1504,543 | 9,54200 |
| 2,0000 | 531,039 | 27,88600 | 27,88600 | 409,854 | 419,435 | 9,58100 |
| 2,0000 | 70,820 | -8,27000 | 8,27000 | 627,462 | 637,070 | 9,60800 |
| 2,0000 | 391,965 | -5,71100 | 5,71100 | 559,661 | 550,005 | 9,65600 |
| 2,0000 | 212,383 | 15,44300 | 15,44300 | 308,917 | 318,584 | 9,66700 |
| 2,0000 | 738,352 | 30,22900 | 30,22900 | 1187,193 | 1196,873 | 9,68000 |
| 2,0000 | 123,118 | -12,76200 | 12,76200 | 46,120 | 36,322 | 9,79800 |
| 2,0000 | 784,882 | -48,21300 | 48,21300 | 933,192 | 923,328 | 9,86400 |
| 2,0000 | 137,713 | 5,05100 | 5,05100 | 1427,290 | 1417,359 | 9,93100 |
| 2,0000 | 157,266 | 2,39500 | 2,39500 | 254,592 | 264,564 | 9,97200 |
| 2,0000 | 219,450 | -22,35000 | 22,35000 | 398,543 | 408,550 | 10,00700 |
| 2,0000 | 23,533 | 17,76700 | 17,76700 | 569,850 | 559,834 | 10,01600 |
| 2,0000 | 293,177 | -20,08300 | 20,08300 | 1306,410 | 1296,382 | 10,02800 |
| 2,0000 | 194,092 | -29,76600 | 29,76600 | 412,587 | 422,698 | 10,11100 |
| 2,0000 | 299,910 | 12,89000 | 12,89000 | 276,532 | 286,719 | 10,18700 |
| 2,0000 | 142,306 | -3,52200 | 3,52200 | 366,018 | 376,207 | 10,18900 |
| 2,0000 | 141,341 | -14,96400 | 14,96400 | 276,058 | 286,401 | 10,34300 |
| 2,0000 | 131,442 | -33,46400 | 33,46400 | 194,873 | 184,510 | 10,36300 |
| 2,0000 | 255,903 | -8,40700 | 8,40700 | 69,854 | 59,330 | 10,52400 |
| 2,0000 | 369,758 | -34,71800 | 34,71800 | 126,633 | 137,171 | 10,53800 |
| 2,0000 | 864,697 | 23,25300 | 23,25300 | 1430,321 | 1440,907 | 10,58600 |
| 2,0000 | 289,279 | -5,01800 | 5,01800 | 17,268 | 27,989 | 10,72100 |
| 2,0000 | 222,139 | 7,38000 | 7,38000 | 273,529 | 284,253 | 10,72400 |
| 2,0000 | 379,401 | -26,79100 | 26,79100 | 693,753 | 683,011 | 10,74200 |
| 2,0000 | 250,888 | -12,58200 | 12,58200 | 449,802 | 460,611 | 10,80900 |
| 2,0000 | 954,389 | 40,49400 | 40,49400 | 857,166 | 846,242 | 10,92400 |
| 2,0000 | 781,761 | 22,03100 | 22,03100 | 302,593 | 313,540 | 10,94700 |
| 2,0000 | 271,962 | -19,74100 | 19,74100 | 1281,925 | 1292,880 | 10,95500 |
| 2,0000 | 269,092 | -28,52800 | 28,52800 | 74,475 | 63,510 | 10,96500 |
| 2,0000 | 1427,290 | 9,93100 | 9,93100 | 670,683 | 681,711 | 11,02800 |
| 2,0000 | 69,854 | 10,52400 | 10,52400 | 703,587 | 714,835 | 11,24800 |
| 2,0000 | 259,468 | 14,09800 | 14,09800 | 20,165 | 8,810 | 11,35500 |

| | | | | | | |
|--------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 2,0000 | 46,120 | 9,79800 | 9,79800 | 929,208 | 940,571 | 11,36300 |
| 2,0000 | 352,661 | -27,11600 | 27,11600 | 406,102 | 417,480 | 11,37800 |
| 2,0000 | 227,890 | -0,58600 | 0,58600 | 417,544 | 406,109 | 11,43500 |
| 2,0000 | 370,442 | -22,93600 | 22,93600 | 355,898 | 344,427 | 11,47100 |
| 2,0000 | 379,716 | -16,51900 | 16,51900 | 443,320 | 431,848 | 11,47200 |
| 2,0000 | 1814,038 | 31,82400 | 31,82400 | 501,531 | 513,016 | 11,48500 |
| 2,0000 | 45,257 | 1,85000 | 1,85000 | 248,378 | 259,885 | 11,50700 |
| 2,0000 | 254,662 | -20,55900 | 20,55900 | 239,005 | 250,523 | 11,51800 |
| 2,0000 | 394,076 | -27,52000 | 27,52000 | 270,229 | 258,660 | 11,56900 |
| 2,0000 | 1343,051 | 2,03400 | 2,03400 | 672,452 | 684,222 | 11,77000 |
| 2,0000 | 10,149 | 7,00900 | 7,00900 | 269,256 | 257,472 | 11,78400 |
| 2,0000 | 1531,348 | 18,75700 | 18,75700 | 392,430 | 380,540 | 11,89000 |
| 2,0000 | 191,633 | 1,55100 | 1,55100 | 575,960 | 587,941 | 11,98100 |
| 2,0000 | 546,535 | -33,73000 | 33,73000 | 568,278 | 556,276 | 12,00200 |
| 2,0000 | 299,592 | -16,13400 | 16,13400 | 1598,317 | 1586,282 | 12,03500 |
| 2,0000 | 315,231 | -30,14800 | 30,14800 | 520,175 | 532,293 | 12,11800 |
| 2,0000 | 493,328 | -23,85900 | 23,85900 | 162,129 | 174,360 | 12,23100 |
| 2,0000 | 293,477 | 8,18700 | 8,18700 | 162,894 | 175,151 | 12,25700 |
| 2,0000 | 384,907 | -30,23100 | 30,23100 | 286,996 | 299,297 | 12,30100 |
| 2,0000 | 449,802 | -10,80900 | 10,80900 | 536,227 | 548,540 | 12,31300 |
| 2,0000 | 311,938 | -29,29200 | 29,29200 | 243,596 | 255,982 | 12,38600 |
| 2,0000 | 1215,721 | 25,65800 | 25,65800 | 748,366 | 735,980 | 12,38600 |
| 2,0000 | 1215,873 | 26,88500 | 26,88500 | 515,525 | 527,927 | 12,40200 |
| 2,0000 | 481,357 | -22,73300 | 22,73300 | 422,213 | 434,655 | 12,44200 |
| 2,0000 | 371,951 | 23,87000 | 23,87000 | 497,396 | 509,859 | 12,46300 |
| 2,0000 | 371,951 | 23,87000 | 23,87000 | 128,396 | 140,870 | 12,47400 |
| 2,0000 | 371,951 | 23,87000 | 23,87000 | 518,822 | 531,308 | 12,48600 |
| 2,0000 | 371,951 | 23,87000 | 23,87000 | 376,076 | 388,610 | 12,53400 |
| 2,0000 | 389,448 | -28,70700 | 28,70700 | 128,641 | 141,190 | 12,54900 |
| 2,0000 | 412,587 | -10,11100 | 10,11100 | 250,888 | 263,470 | 12,58200 |
| 2,0000 | 571,988 | -22,93900 | 22,93900 | 673,769 | 686,445 | 12,67600 |
| 2,0000 | 406,102 | -11,37800 | 11,37800 | 123,118 | 135,880 | 12,76200 |
| 2,0000 | 398,543 | -10,00700 | 10,00700 | 299,910 | 287,020 | 12,89000 |
| 2,0000 | 565,046 | -29,48000 | 29,48000 | 854,102 | 841,190 | 12,91200 |
| 2,0000 | 29,230 | 16,82000 | 16,82000 | 414,886 | 401,969 | 12,91700 |
| 2,0000 | 284,826 | -9,49600 | 9,49600 | 544,550 | 531,406 | 13,14400 |
| 2,0000 | 356,985 | 14,69500 | 14,69500 | 352,567 | 365,730 | 13,16300 |
| 2,0000 | 465,180 | -26,30300 | 26,30300 | 269,848 | 256,620 | 13,22800 |
| 2,0000 | 235,012 | 3,59700 | 3,59700 | 196,174 | 209,410 | 13,23600 |
| 2,0000 | 459,077 | 26,57700 | 26,57700 | 911,642 | 898,349 | 13,29300 |
| 2,0000 | 475,628 | -31,15100 | 31,15100 | 306,917 | 293,370 | 13,54700 |
| 2,0000 | 2025,008 | -0,80400 | 0,80400 | 467,036 | 480,608 | 13,57200 |
| 2,0000 | 314,620 | 2,29500 | 2,29500 | 687,337 | 700,917 | 13,58000 |
| 2,0000 | 782,939 | 33,62800 | 33,62800 | 563,254 | 549,649 | 13,60500 |
| 2,0000 | 467,404 | -37,03800 | 37,03800 | 481,565 | 495,341 | 13,77600 |
| 2,0000 | 356,415 | -28,61000 | 28,61000 | 651,645 | 637,783 | 13,86200 |
| 2,0000 | 365,884 | -39,69300 | 39,69300 | 274,849 | 288,892 | 14,04300 |
| 2,0000 | 317,447 | -18,92900 | 18,92900 | 826,459 | 812,415 | 14,04400 |
| 2,0000 | 2038,082 | 32,69600 | 32,69600 | 259,468 | 245,370 | 14,09800 |
| 2,0000 | 515,525 | -12,40200 | 12,40200 | 408,602 | 422,720 | 14,11800 |
| 2,0000 | 1111,463 | 21,09100 | 21,09100 | 331,172 | 317,015 | 14,15700 |
| 2,0000 | 270,229 | 11,56900 | 11,56900 | 431,317 | 445,513 | 14,19600 |

| | | | | | | |
|--------|----------|------------|-----------|----------|----------|----------|
| 2,0000 | 299,888 | -5,63000 | 5,63000 | 251,821 | 266,170 | 14,34900 |
| 2,0000 | 486,410 | -18,93500 | 18,93500 | 472,941 | 458,408 | 14,53300 |
| 2,0000 | 153,153 | 18,31300 | 18,31300 | 595,114 | 609,746 | 14,63200 |
| 2,0000 | 553,914 | -29,56000 | 29,56000 | 597,865 | 583,229 | 14,63600 |
| 2,0000 | 467,036 | -13,57200 | 13,57200 | 747,028 | 732,370 | 14,65800 |
| 2,0000 | 331,318 | -8,88200 | 8,88200 | 356,985 | 342,290 | 14,69500 |
| 2,0000 | 157,931 | 19,53100 | 19,53100 | 167,783 | 182,527 | 14,74400 |
| 2,0000 | 381,872 | -50,54500 | 50,54500 | 716,232 | 701,322 | 14,91000 |
| 2,0000 | 530,889 | 31,05900 | 31,05900 | 235,822 | 250,743 | 14,92100 |
| 2,0000 | 269,848 | 13,22800 | 13,22800 | 985,442 | 970,517 | 14,92500 |
| 2,0000 | 445,786 | -4,50400 | 4,50400 | 577,210 | 592,146 | 14,93600 |
| 2,0000 | 194,873 | 10,36300 | 10,36300 | 141,341 | 156,305 | 14,96400 |
| 2,0000 | 387,390 | -16,94300 | 16,94300 | 272,173 | 287,175 | 15,00200 |
| 2,0000 | 390,744 | -24,96600 | 24,96600 | 266,806 | 281,881 | 15,07500 |
| 2,0000 | 495,537 | -25,60400 | 25,60400 | 792,863 | 777,776 | 15,08700 |
| 2,0000 | 692,511 | 5,91500 | 5,91500 | 489,878 | 505,105 | 15,22700 |
| 2,0000 | 680,286 | -24,85400 | 24,85400 | 140,534 | 155,780 | 15,24600 |
| 2,0000 | 154,102 | -4,90200 | 4,90200 | 476,389 | 491,666 | 15,27700 |
| 2,0000 | 444,600 | -20,62800 | 20,62800 | 331,438 | 346,750 | 15,31200 |
| 2,0000 | 489,878 | -15,22700 | 15,22700 | 394,787 | 410,119 | 15,33200 |
| 2,0000 | 269,256 | 11,78400 | 11,78400 | 712,481 | 727,860 | 15,37900 |
| 2,0000 | 457,928 | -17,86400 | 17,86400 | 726,811 | 711,432 | 15,37900 |
| 2,0000 | 434,833 | -39,93700 | 39,93700 | 410,511 | 425,893 | 15,38200 |
| 2,0000 | 306,917 | 13,54700 | 13,54700 | 212,383 | 196,940 | 15,44300 |
| 2,0000 | 426,381 | -4,58900 | 4,58900 | 447,277 | 462,960 | 15,68300 |
| 2,0000 | 536,227 | -12,31300 | 12,31300 | 516,422 | 500,719 | 15,70300 |
| 2,0000 | 1494,911 | 32,99000 | 32,99000 | 419,411 | 435,128 | 15,71700 |
| 2,0000 | 657,060 | -22,45900 | 22,45900 | 661,428 | 645,688 | 15,74000 |
| 2,0000 | 334,819 | -25,30300 | 25,30300 | 749,136 | 733,394 | 15,74200 |
| 2,0000 | 439,749 | 1,63900 | 1,63900 | 285,178 | 300,924 | 15,74600 |
| 2,0000 | 420,197 | -16,32300 | 16,32300 | 524,020 | 508,203 | 15,81700 |
| 2,0000 | 712,481 | -15,37900 | 15,37900 | 956,501 | 972,370 | 15,86900 |
| 2,0000 | 567,418 | 23,74800 | 23,74800 | 150,049 | 165,937 | 15,88800 |
| 2,0000 | 651,645 | 13,86200 | 13,86200 | 230,479 | 246,406 | 15,92700 |
| 2,0000 | 560,343 | -35,12500 | 35,12500 | 831,218 | 815,119 | 16,09900 |
| 2,0000 | 529,249 | -23,01100 | 23,01100 | 299,592 | 315,726 | 16,13400 |
| 2,0000 | 408,602 | -14,11800 | 14,11800 | 373,303 | 389,493 | 16,19000 |
| 2,0000 | 394,815 | -4,78500 | 4,78500 | 1448,793 | 1465,000 | 16,20700 |
| 2,0000 | 663,698 | -3,09100 | 3,09100 | 1216,870 | 1200,624 | 16,24600 |
| 2,0000 | 786,024 | -21,51600 | 21,51600 | 298,748 | 314,996 | 16,24800 |
| 2,0000 | 918,688 | 49,85800 | 49,85800 | 420,197 | 436,520 | 16,32300 |
| 2,0000 | 413,840 | 17,46000 | 17,46000 | 541,537 | 558,003 | 16,46600 |
| 2,0000 | 352,567 | -13,16300 | 13,16300 | 105,228 | 121,711 | 16,48300 |
| 2,0000 | 469,738 | -18,58100 | 18,58100 | 224,075 | 240,560 | 16,48500 |
| 2,0000 | 627,462 | -9,60800 | 9,60800 | 379,716 | 396,235 | 16,51900 |
| 2,0000 | 498,321 | -27,72200 | 27,72200 | 397,621 | 414,281 | 16,66000 |
| 2,0000 | 417,524 | -28,85600 | 28,85600 | 1937,009 | 1920,316 | 16,69300 |
| 2,0000 | 731,055 | 17,47600 | 17,47600 | 571,583 | 554,783 | 16,80000 |
| 2,0000 | 1347,589 | 24,95100 | 24,95100 | 29,230 | 12,410 | 16,82000 |
| 2,0000 | 674,777 | -231,01200 | 231,01200 | 387,390 | 404,333 | 16,94300 |
| 2,0000 | 1311,971 | 24,43100 | 24,43100 | 366,435 | 383,544 | 17,10900 |
| 2,0000 | 453,746 | 5,78000 | 5,78000 | 433,320 | 450,570 | 17,25000 |

| | | | | | | |
|--------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 2,0000 | 1434,428 | 20,93400 | 20,93400 | 1131,931 | 1114,681 | 17,25000 |
| 2,0000 | 481,846 | -3,45400 | 3,45400 | 344,593 | 361,851 | 17,25800 |
| 2,0000 | 509,644 | -35,14900 | 35,14900 | 612,381 | 595,119 | 17,26200 |
| 2,0000 | 682,065 | -26,22100 | 26,22100 | 576,965 | 594,277 | 17,31200 |
| 2,0000 | 723,086 | -1,68900 | 1,68900 | 945,455 | 928,129 | 17,32600 |
| 2,0000 | 664,727 | -34,97400 | 34,97400 | 318,671 | 336,020 | 17,34900 |
| 2,0000 | 455,267 | -24,88000 | 24,88000 | 727,403 | 744,790 | 17,38700 |
| 2,0000 | 576,965 | -17,31200 | 17,31200 | 413,840 | 396,380 | 17,46000 |
| 2,0000 | 411,004 | -9,40900 | 9,40900 | 731,055 | 713,579 | 17,47600 |
| 2,0000 | 501,531 | -11,48500 | 11,48500 | 254,501 | 236,929 | 17,57200 |
| 2,0000 | 662,881 | -22,84300 | 22,84300 | 23,533 | 5,766 | 17,76700 |
| 2,0000 | 458,404 | -20,82300 | 20,82300 | 457,928 | 475,792 | 17,86400 |
| 2,0000 | 566,523 | 26,50500 | 26,50500 | 440,052 | 458,040 | 17,98800 |
| 2,0000 | 575,960 | -11,98100 | 11,98100 | 612,339 | 594,220 | 18,11900 |
| 2,0000 | 911,642 | 13,29300 | 13,29300 | 22,766 | 40,999 | 18,23300 |
| 2,0000 | 640,930 | 9,33000 | 9,33000 | 416,627 | 434,907 | 18,28000 |
| 2,0000 | 985,442 | 14,92500 | 14,92500 | 768,479 | 750,197 | 18,28200 |
| 2,0000 | 734,604 | 6,64500 | 6,64500 | 580,223 | 598,509 | 18,28600 |
| 2,0000 | 445,023 | -6,94700 | 6,94700 | 157,358 | 175,651 | 18,29300 |
| 2,0000 | 615,550 | -31,36600 | 31,36600 | 153,153 | 134,840 | 18,31300 |
| 2,0000 | 447,474 | -23,24400 | 23,24400 | 323,767 | 342,102 | 18,33500 |
| 2,0000 | 655,013 | -21,31900 | 21,31900 | 54,474 | 73,019 | 18,54500 |
| 2,0000 | 693,821 | -23,95800 | 23,95800 | 469,738 | 488,319 | 18,58100 |
| 2,0000 | 544,946 | -20,21800 | 20,21800 | 1531,348 | 1512,591 | 18,75700 |
| 2,0000 | 618,895 | -32,32900 | 32,32900 | 355,491 | 374,267 | 18,77600 |
| 2,0000 | 1448,793 | -16,20700 | 16,20700 | 374,306 | 393,110 | 18,80400 |
| 2,0000 | 586,725 | -30,46900 | 30,46900 | 317,447 | 336,376 | 18,92900 |
| 2,0000 | 995,707 | -2,64300 | 2,64300 | 276,001 | 294,932 | 18,93100 |
| 2,0000 | 826,459 | 14,04400 | 14,04400 | 486,410 | 505,345 | 18,93500 |
| 2,0000 | 772,437 | -28,48900 | 28,48900 | 881,659 | 862,588 | 19,07100 |
| 2,0000 | 1430,321 | -10,58600 | 10,58600 | 492,325 | 511,569 | 19,24400 |
| 2,0000 | 956,501 | -15,86900 | 15,86900 | 541,426 | 560,678 | 19,25200 |
| 2,0000 | 362,056 | 2,99600 | 2,99600 | 324,215 | 304,933 | 19,28200 |
| 2,0000 | 1598,317 | 12,03500 | 12,03500 | 591,621 | 572,337 | 19,28400 |
| 2,0000 | 559,909 | -2,23100 | 2,23100 | 676,308 | 657,005 | 19,30300 |
| 2,0000 | 1411,124 | -1,51100 | 1,51100 | 1035,448 | 1016,123 | 19,32500 |
| 2,0000 | 389,787 | -31,30300 | 31,30300 | 273,772 | 293,197 | 19,42500 |
| 2,0000 | 1351,399 | 4,78500 | 4,78500 | 157,931 | 138,400 | 19,53100 |
| 2,0000 | 1216,870 | 16,24600 | 16,24600 | 28,034 | 8,449 | 19,58500 |
| 2,0000 | 1131,931 | 17,25000 | 17,25000 | 340,569 | 360,187 | 19,61800 |
| 2,0000 | 745,590 | -27,13200 | 27,13200 | 510,503 | 490,884 | 19,61900 |
| 2,0000 | 570,623 | -9,35700 | 9,35700 | 214,623 | 234,277 | 19,65400 |
| 2,0000 | 441,046 | 0,15600 | 0,15600 | 51,137 | 70,849 | 19,71200 |
| 2,0000 | 396,113 | -40,75400 | 40,75400 | 271,962 | 291,703 | 19,74100 |
| 2,0000 | 507,202 | -22,34800 | 22,34800 | 381,755 | 401,510 | 19,75500 |
| 2,0000 | 392,430 | 11,89000 | 11,89000 | 431,536 | 411,543 | 19,99300 |
| 2,0000 | 369,703 | 4,61300 | 4,61300 | 160,271 | 180,289 | 20,01800 |
| 2,0000 | 658,947 | -25,01500 | 25,01500 | 131,684 | 151,737 | 20,05300 |
| 2,0000 | 1914,306 | -2,81000 | 2,81000 | 293,177 | 313,260 | 20,08300 |
| 2,0000 | 393,032 | -28,68300 | 28,68300 | 320,601 | 340,774 | 20,17300 |
| 2,0000 | 355,491 | -18,77600 | 18,77600 | 544,946 | 565,164 | 20,21800 |
| 2,0000 | 416,627 | -18,28000 | 18,28000 | 350,754 | 370,995 | 20,24100 |

| | | | | | | |
|--------|----------|------------|-----------|----------|----------|----------|
| 2,0000 | 1579,790 | 2,18400 | 2,18400 | 367,397 | 387,818 | 20,42100 |
| 2,0000 | 703,587 | -11,24800 | 11,24800 | 254,662 | 275,221 | 20,55900 |
| 2,0000 | 422,213 | -12,44200 | 12,44200 | 444,600 | 465,228 | 20,62800 |
| 2,0000 | 666,872 | 0,12100 | 0,12100 | 239,050 | 259,790 | 20,74000 |
| 2,0000 | 1300,211 | -9,43300 | 9,43300 | 289,364 | 310,117 | 20,75300 |
| 2,0000 | 1725,173 | 4,14700 | 4,14700 | 286,990 | 307,776 | 20,78600 |
| 2,0000 | 612,339 | 18,11900 | 18,11900 | 126,608 | 147,400 | 20,79200 |
| 2,0000 | 1987,796 | 8,17300 | 8,17300 | 458,404 | 479,227 | 20,82300 |
| 2,0000 | 471,653 | -31,90700 | 31,90700 | 321,143 | 341,998 | 20,85500 |
| 2,0000 | 1740,250 | -34,10800 | 34,10800 | 296,522 | 317,412 | 20,89000 |
| 2,0000 | 1498,067 | -7,81700 | 7,81700 | 1507,458 | 1528,362 | 20,90400 |
| 2,0000 | 365,330 | -7,07000 | 7,07000 | 1434,428 | 1413,494 | 20,93400 |
| 2,0000 | 353,091 | -23,68300 | 23,68300 | 460,076 | 439,050 | 21,02600 |
| 2,0000 | 579,566 | -21,32800 | 21,32800 | 536,201 | 515,166 | 21,03500 |
| 2,0000 | 440,052 | -17,98800 | 17,98800 | 378,918 | 399,986 | 21,06800 |
| 2,0000 | 407,549 | -8,57100 | 8,57100 | 1111,463 | 1090,372 | 21,09100 |
| 2,0000 | 552,166 | -2,06500 | 2,06500 | 245,376 | 266,499 | 21,12300 |
| 2,0000 | 1989,111 | 6,48700 | 6,48700 | 885,322 | 906,496 | 21,17400 |
| 2,0000 | 1453,265 | -4,68100 | 4,68100 | 422,940 | 444,130 | 21,19000 |
| 2,0000 | 1035,448 | 19,32500 | 19,32500 | 79,137 | 100,420 | 21,28300 |
| 2,0000 | 410,168 | -35,08300 | 35,08300 | 655,013 | 676,332 | 21,31900 |
| 2,0000 | 1306,410 | 10,02800 | 10,02800 | 579,566 | 600,894 | 21,32800 |
| 2,0000 | 320,601 | -20,17300 | 20,17300 | 79,859 | 58,347 | 21,51200 |
| 2,0000 | 350,754 | -20,24100 | 20,24100 | 786,024 | 807,540 | 21,51600 |
| 2,0000 | 601,071 | -3,92200 | 3,92200 | 472,431 | 494,101 | 21,67000 |
| 2,0000 | 1848,356 | -9,01100 | 9,01100 | 248,273 | 269,990 | 21,71700 |
| 2,0000 | 545,185 | -28,09900 | 28,09900 | 389,102 | 410,834 | 21,73200 |
| 2,0000 | 1507,458 | -20,90400 | 20,90400 | 322,441 | 300,620 | 21,82100 |
| 2,0000 | 741,791 | -8,35700 | 8,35700 | 342,317 | 320,495 | 21,82200 |
| 2,0000 | 597,865 | 14,63600 | 14,63600 | 781,761 | 759,730 | 22,03100 |
| 2,0000 | 1937,009 | 16,69300 | 16,69300 | 507,202 | 529,550 | 22,34800 |
| 2,0000 | 422,940 | -21,19000 | 21,19000 | 219,450 | 241,800 | 22,35000 |
| 2,0000 | 381,755 | -19,75500 | 19,75500 | 657,060 | 679,519 | 22,45900 |
| 2,0000 | 1597,052 | -2,97300 | 2,97300 | 481,357 | 504,090 | 22,73300 |
| 2,0000 | 1009,817 | 9,00800 | 9,00800 | 662,881 | 685,724 | 22,84300 |
| 2,0000 | 478,497 | -26,34100 | 26,34100 | 120,292 | 143,190 | 22,89800 |
| 2,0000 | 351,068 | -2,73800 | 2,73800 | 370,442 | 393,378 | 22,93600 |
| 2,0000 | 394,787 | -15,33200 | 15,33200 | 571,988 | 594,927 | 22,93900 |
| 2,0000 | 433,759 | -0,03100 | 0,03100 | 529,249 | 552,260 | 23,01100 |
| 2,0000 | 518,660 | 9,45600 | 9,45600 | 294,609 | 317,753 | 23,14400 |
| 2,0000 | 637,436 | -29,35400 | 29,35400 | 344,940 | 321,774 | 23,16600 |
| 2,0000 | 1056,191 | -417,72600 | 417,72600 | 447,474 | 470,718 | 23,24400 |
| 2,0000 | 660,348 | 5,42100 | 5,42100 | 864,697 | 841,444 | 23,25300 |
| 2,0000 | 367,397 | -20,42100 | 20,42100 | 450,039 | 473,300 | 23,26100 |
| 2,0000 | 376,076 | -12,53400 | 12,53400 | 353,091 | 376,774 | 23,68300 |
| 2,0000 | 659,689 | -6,50000 | 6,50000 | 567,418 | 543,670 | 23,74800 |
| 2,0000 | 497,396 | -12,46300 | 12,46300 | 327,643 | 303,803 | 23,84000 |
| 2,0000 | 331,438 | -15,31200 | 15,31200 | 493,328 | 517,187 | 23,85900 |
| 2,0000 | 2237,508 | 26,17000 | 26,17000 | 371,951 | 348,081 | 23,87000 |
| 2,0000 | 409,854 | -9,58100 | 9,58100 | 371,951 | 348,081 | 23,87000 |
| 2,0000 | 225,364 | -23,87200 | 23,87200 | 371,951 | 348,081 | 23,87000 |
| 2,0000 | 286,990 | -20,78600 | 20,78600 | 371,951 | 348,081 | 23,87000 |

| | | | | | | |
|--------|----------|------------|-----------|----------|----------|----------|
| 2,0000 | 405,661 | -6,40900 | 6,40900 | 225,364 | 249,236 | 23,87200 |
| 2,0000 | 481,565 | -13,77600 | 13,77600 | 693,821 | 717,779 | 23,95800 |
| 2,0000 | 1135,717 | -4,81200 | 4,81200 | 208,825 | 232,964 | 24,13900 |
| 2,0000 | 569,850 | 10,01600 | 10,01600 | 615,566 | 591,417 | 24,14900 |
| 2,0000 | 485,663 | 9,27000 | 9,27000 | 219,249 | 243,490 | 24,24100 |
| 2,0000 | 718,727 | -24,59200 | 24,59200 | 1311,971 | 1287,540 | 24,43100 |
| 2,0000 | 334,129 | 3,57100 | 3,57100 | 302,990 | 278,483 | 24,50700 |
| 2,0000 | 318,671 | -17,34900 | 17,34900 | 718,727 | 743,319 | 24,59200 |
| 2,0000 | 273,772 | -19,42500 | 19,42500 | 288,595 | 313,360 | 24,76500 |
| 2,0000 | 1281,925 | -10,95500 | 10,95500 | 680,286 | 705,140 | 24,85400 |
| 2,0000 | 541,426 | -19,25200 | 19,25200 | 455,267 | 480,147 | 24,88000 |
| 2,0000 | 1514,085 | 9,54200 | 9,54200 | 1347,589 | 1322,638 | 24,95100 |
| 2,0000 | 593,459 | 31,18900 | 31,18900 | 390,744 | 415,710 | 24,96600 |
| 2,0000 | 1278,623 | 7,99400 | 7,99400 | 658,947 | 683,962 | 25,01500 |
| 2,0000 | 299,799 | -8,96100 | 8,96100 | 334,819 | 360,122 | 25,30300 |
| 2,0000 | 568,980 | -5,99200 | 5,99200 | 771,631 | 746,276 | 25,35500 |
| 2,0000 | 298,748 | -16,24800 | 16,24800 | 233,510 | 208,048 | 25,46200 |
| 2,0000 | 716,232 | 14,91000 | 14,91000 | 193,070 | 218,660 | 25,59000 |
| 2,0000 | 452,721 | -2,79400 | 2,79400 | 495,537 | 521,141 | 25,60400 |
| 2,0000 | 475,197 | -8,81600 | 8,81600 | 347,331 | 372,940 | 25,60900 |
| 2,0000 | 344,593 | -17,25800 | 17,25800 | 1215,721 | 1190,063 | 25,65800 |
| 2,0000 | 370,779 | 2,55500 | 2,55500 | 287,388 | 261,704 | 25,68400 |
| 2,0000 | 374,306 | -18,80400 | 18,80400 | 263,900 | 289,607 | 25,70700 |
| 2,0000 | 527,851 | 2,78100 | 2,78100 | 718,688 | 692,907 | 25,78100 |
| 2,0000 | 472,941 | 14,53300 | 14,53300 | 226,321 | 252,195 | 25,87400 |
| 2,0000 | 770,529 | -38,86600 | 38,86600 | 248,112 | 274,054 | 25,94200 |
| 2,0000 | 520,175 | -12,11800 | 12,11800 | 894,010 | 867,923 | 26,08700 |
| 2,0000 | 243,560 | -8,50100 | 8,50100 | 141,426 | 167,581 | 26,15500 |
| 2,0000 | 355,898 | 11,47100 | 11,47100 | 2237,508 | 2211,338 | 26,17000 |
| 2,0000 | 323,767 | -18,33500 | 18,33500 | 682,065 | 708,286 | 26,22100 |
| 2,0000 | 624,514 | -110,32100 | 110,32100 | 465,180 | 491,483 | 26,30300 |
| 2,0000 | 933,192 | 9,86400 | 9,86400 | 478,497 | 504,838 | 26,34100 |
| 2,0000 | 288,595 | -24,76500 | 24,76500 | 105,774 | 132,224 | 26,45000 |
| 2,0000 | 492,325 | -19,24400 | 19,24400 | 566,523 | 540,018 | 26,50500 |
| 2,0000 | 710,603 | 27,27100 | 27,27100 | 459,077 | 432,500 | 26,57700 |
| 2,0000 | 833,856 | 43,79300 | 43,79300 | 787,184 | 760,536 | 26,64800 |
| 2,0000 | 577,210 | -14,93600 | 14,93600 | 379,401 | 406,192 | 26,79100 |
| 2,0000 | 410,511 | -15,38200 | 15,38200 | 1215,873 | 1188,988 | 26,88500 |
| 2,0000 | 321,143 | -20,85500 | 20,85500 | 30,744 | 57,846 | 27,10200 |
| 2,0000 | 870,877 | -35,62100 | 35,62100 | 352,661 | 379,777 | 27,11600 |
| 2,0000 | 347,331 | -25,60900 | 25,60900 | 745,590 | 772,722 | 27,13200 |
| 2,0000 | 421,993 | 2,77000 | 2,77000 | 710,603 | 683,332 | 27,27100 |
| 2,0000 | 1187,193 | -9,68000 | 9,68000 | 173,531 | 146,183 | 27,34800 |
| 2,0000 | 160,271 | -20,01800 | 20,01800 | 394,076 | 421,596 | 27,52000 |
| 2,0000 | 1166,997 | 1,41500 | 1,41500 | 104,096 | 131,650 | 27,55400 |
| 2,0000 | 685,414 | -32,33000 | 32,33000 | 378,721 | 406,280 | 27,55900 |
| 2,0000 | 493,161 | 3,16700 | 3,16700 | 454,214 | 426,558 | 27,65600 |
| 2,0000 | 314,572 | -7,81800 | 7,81800 | 498,321 | 526,043 | 27,72200 |
| 2,0000 | 244,218 | -5,62200 | 5,62200 | 531,039 | 503,153 | 27,88600 |
| 2,0000 | 663,193 | 28,07200 | 28,07200 | 663,193 | 635,121 | 28,07200 |
| 2,0000 | 292,073 | -7,65600 | 7,65600 | 545,185 | 573,284 | 28,09900 |
| 2,0000 | 524,020 | 15,81700 | 15,81700 | 772,437 | 800,926 | 28,48900 |

| | | | | | | |
|--------|----------|------------|-----------|----------|----------|----------|
| 2,0000 | 282,131 | -30,58500 | 30,58500 | 269,092 | 297,620 | 28,52800 |
| 2,0000 | 378,918 | -21,06800 | 21,06800 | 908,653 | 880,097 | 28,55600 |
| 2,0000 | 343,702 | -9,36700 | 9,36700 | 356,415 | 385,025 | 28,61000 |
| 2,0000 | 539,634 | -1,85300 | 1,85300 | 393,032 | 421,715 | 28,68300 |
| 2,0000 | 243,596 | -12,38600 | 12,38600 | 389,448 | 418,155 | 28,70700 |
| 2,0000 | 334,535 | -8,15600 | 8,15600 | 239,417 | 268,250 | 28,83300 |
| 2,0000 | 248,378 | -11,50700 | 11,50700 | 417,524 | 446,380 | 28,85600 |
| 2,0000 | 272,173 | -3,98700 | 3,98700 | 188,147 | 217,111 | 28,96400 |
| 2,0000 | 302,593 | -10,94700 | 10,94700 | 191,340 | 220,366 | 29,02600 |
| 2,0000 | 456,875 | -0,75400 | 0,75400 | 228,122 | 257,399 | 29,27700 |
| 2,0000 | 296,522 | -20,89000 | 20,89000 | 311,938 | 341,230 | 29,29200 |
| 2,0000 | 219,249 | -24,24100 | 24,24100 | 637,436 | 666,790 | 29,35400 |
| 2,0000 | 248,112 | -25,94200 | 25,94200 | 565,046 | 594,526 | 29,48000 |
| 2,0000 | 208,825 | -24,13900 | 24,13900 | 553,914 | 583,474 | 29,56000 |
| 2,0000 | 473,826 | -5,08100 | 5,08100 | 457,683 | 428,067 | 29,61600 |
| 2,0000 | 544,550 | 13,14400 | 13,14400 | 154,990 | 184,733 | 29,74300 |
| 2,0000 | 568,278 | 12,00200 | 12,00200 | 194,092 | 223,858 | 29,76600 |
| 2,0000 | 91,199 | -180,96800 | 180,96800 | 430,703 | 400,661 | 30,04200 |
| 2,0000 | 307,454 | 45,62400 | 45,62400 | 315,231 | 345,379 | 30,14800 |
| 2,0000 | 704,048 | -49,78900 | 49,78900 | 738,352 | 708,123 | 30,22900 |
| 2,0000 | 191,340 | -29,02600 | 29,02600 | 384,907 | 415,138 | 30,23100 |
| 2,0000 | 831,218 | 16,09900 | 16,09900 | 586,725 | 617,194 | 30,46900 |
| 2,0000 | 331,153 | 3,69500 | 3,69500 | 250,468 | 219,992 | 30,47600 |
| 2,0000 | 272,493 | 0,50500 | 0,50500 | 249,705 | 219,190 | 30,51500 |
| 2,0000 | 854,102 | 12,91200 | 12,91200 | 102,538 | 72,009 | 30,52900 |
| 2,0000 | 501,590 | 7,31400 | 7,31400 | 282,131 | 312,716 | 30,58500 |
| 2,0000 | 274,849 | -14,04300 | 14,04300 | 647,485 | 616,726 | 30,75900 |
| 2,0000 | 272,173 | -15,00200 | 15,00200 | 90,421 | 121,320 | 30,89900 |
| 2,0000 | 276,058 | -10,34300 | 10,34300 | 839,376 | 870,336 | 30,96000 |
| 2,0000 | 297,812 | -7,74500 | 7,74500 | 645,741 | 614,740 | 31,00100 |
| 2,0000 | 250,286 | -2,10400 | 2,10400 | 530,889 | 499,830 | 31,05900 |
| 2,0000 | 74,031 | 34,25800 | 34,25800 | 475,628 | 506,779 | 31,15100 |
| 2,0000 | 587,247 | 8,18300 | 8,18300 | 593,459 | 562,270 | 31,18900 |
| 2,0000 | 250,468 | 30,47600 | 30,47600 | 658,685 | 627,494 | 31,19100 |
| 2,0000 | 188,147 | -28,96400 | 28,96400 | 389,787 | 421,090 | 31,30300 |
| 2,0000 | 216,419 | -2,48000 | 2,48000 | 615,550 | 646,916 | 31,36600 |
| 2,0000 | -100,000 | -200,67500 | 200,67500 | 902,627 | 934,189 | 31,56200 |
| 2,0000 | 173,380 | -8,44000 | 8,44000 | 1814,038 | 1782,214 | 31,82400 |
| 2,0000 | 248,273 | -21,71700 | 21,71700 | 471,653 | 503,560 | 31,90700 |
| 2,0000 | 47,692 | 36,87500 | 36,87500 | 192,229 | 224,204 | 31,97500 |
| 2,0000 | 343,038 | -0,72100 | 0,72100 | 25,815 | 57,962 | 32,14700 |
| 2,0000 | 276,532 | -10,18700 | 10,18700 | 618,895 | 651,224 | 32,32900 |
| 2,0000 | 235,822 | -14,92100 | 14,92100 | 685,414 | 717,744 | 32,33000 |
| 2,0000 | 156,469 | 1,51500 | 1,51500 | 454,300 | 486,640 | 32,34000 |
| 2,0000 | 141,426 | -26,15500 | 26,15500 | 561,846 | 529,503 | 32,34300 |
| 2,0000 | 162,129 | -12,23100 | 12,23100 | 2038,082 | 2005,386 | 32,69600 |
| 2,0000 | 591,321 | -5,49700 | 5,49700 | 1494,911 | 1461,921 | 32,99000 |
| 2,0000 | 223,301 | -6,01900 | 6,01900 | 227,926 | 261,160 | 33,23400 |
| 2,0000 | 240,906 | 6,88800 | 6,88800 | 930,141 | 896,891 | 33,25000 |
| 2,0000 | 176,186 | 2,41600 | 2,41600 | 131,442 | 164,906 | 33,46400 |
| 2,0000 | 133,305 | 4,80300 | 4,80300 | 782,939 | 749,311 | 33,62800 |
| 2,0000 | 157,358 | -18,29300 | 18,29300 | 546,535 | 580,265 | 33,73000 |

| | | | | | | |
|--------|---------|------------|-----------|----------|----------|----------|
| 2,0000 | 200,407 | -3,98600 | 3,98600 | 123,596 | 157,410 | 33,81400 |
| 2,0000 | 213,313 | -33,91000 | 33,91000 | 213,313 | 247,223 | 33,91000 |
| 2,0000 | 266,806 | -15,07500 | 15,07500 | 1740,250 | 1774,358 | 34,10800 |
| 2,0000 | 263,900 | -25,70700 | 25,70700 | 93,567 | 59,401 | 34,16600 |
| 2,0000 | 257,545 | 2,35100 | 2,35100 | 74,031 | 39,773 | 34,25800 |
| 2,0000 | 340,569 | -19,61800 | 19,61800 | 149,902 | 184,397 | 34,49500 |
| 2,0000 | 672,452 | -11,77000 | 11,77000 | 369,758 | 404,476 | 34,71800 |
| 2,0000 | 323,846 | 2,93600 | 2,93600 | 664,727 | 699,701 | 34,97400 |
| 2,0000 | 228,122 | -29,27700 | 29,27700 | 179,618 | 214,636 | 35,01800 |
| 2,0000 | 113,633 | -1,38200 | 1,38200 | 444,679 | 409,654 | 35,02500 |
| 2,0000 | 214,623 | -19,65400 | 19,65400 | 410,168 | 445,251 | 35,08300 |
| 2,0000 | 226,321 | -25,87400 | 25,87400 | 560,343 | 595,468 | 35,12500 |
| 2,0000 | 167,783 | -14,74400 | 14,74400 | 509,644 | 544,793 | 35,14900 |
| 2,0000 | 787,184 | 26,64800 | 26,64800 | 412,908 | 448,441 | 35,53300 |
| 2,0000 | 553,089 | -0,33900 | 0,33900 | 870,877 | 906,498 | 35,62100 |
| 2,0000 | 294,609 | -23,14400 | 23,14400 | 746,813 | 711,123 | 35,69000 |
| 2,0000 | 52,748 | -3,16200 | 3,16200 | 327,463 | 291,726 | 35,73700 |
| 2,0000 | 748,366 | 12,38600 | 12,38600 | 143,365 | 179,301 | 35,93600 |
| 2,0000 | 718,688 | 25,78100 | 25,78100 | 604,964 | 568,410 | 36,55400 |
| 2,0000 | 308,397 | -0,35700 | 0,35700 | 768,195 | 731,619 | 36,57600 |
| 2,0000 | 138,210 | -39,74600 | 39,74600 | 47,692 | 10,817 | 36,87500 |
| 2,0000 | 81,491 | 0,46100 | 0,46100 | 746,019 | 709,057 | 36,96200 |
| 2,0000 | 162,894 | -12,25700 | 12,25700 | 467,404 | 504,442 | 37,03800 |
| 2,0000 | 70,452 | 2,88300 | 2,88300 | 444,795 | 481,933 | 37,13800 |
| 2,0000 | 746,813 | 35,69000 | 35,69000 | 92,111 | 129,974 | 37,86300 |
| 2,0000 | 34,839 | -2,18100 | 2,18100 | 311,995 | 273,660 | 38,33500 |
| 2,0000 | 74,475 | 10,96500 | 10,96500 | 770,529 | 809,395 | 38,86600 |
| 2,0000 | 661,428 | 15,74000 | 15,74000 | 526,760 | 487,685 | 39,07500 |
| 2,0000 | 105,774 | -26,45000 | 26,45000 | 640,252 | 600,590 | 39,66200 |
| 2,0000 | 150,049 | -15,88800 | 15,88800 | 365,884 | 405,577 | 39,69300 |
| 2,0000 | 51,137 | -19,71200 | 19,71200 | 138,210 | 177,956 | 39,74600 |
| 2,0000 | 116,184 | -211,61800 | 211,61800 | 434,833 | 474,770 | 39,93700 |
| 2,0000 | 20,443 | 0,58300 | 0,58300 | 954,389 | 913,895 | 40,49400 |
| 2,0000 | 443,320 | 11,47200 | 11,47200 | 396,113 | 436,867 | 40,75400 |
| 2,0000 | 804,125 | 6,47800 | 6,47800 | 749,785 | 708,685 | 41,10000 |
| 2,0000 | 6,291 | 5,41100 | 5,41100 | 464,075 | 422,878 | 41,19700 |
| 2,0000 | 30,744 | -27,10200 | 27,10200 | 99,855 | 141,280 | 41,42500 |
| 2,0000 | 5,416 | -0,11400 | 0,11400 | 1174,916 | 1132,506 | 42,41000 |
| 2,0000 | 25,815 | -32,14700 | 32,14700 | 833,856 | 790,063 | 43,79300 |
| 2,0000 | 254,592 | -9,97200 | 9,97200 | 307,454 | 261,830 | 45,62400 |
| 2,0000 | 4,162 | 2,11200 | 2,11200 | 388,665 | 342,324 | 46,34100 |
| 2,0000 | 17,268 | -10,72100 | 10,72100 | 784,882 | 833,095 | 48,21300 |
| 2,0000 | 739,076 | 7,43900 | 7,43900 | 704,048 | 753,837 | 49,78900 |
| 2,0000 | 20,165 | 11,35500 | 11,35500 | 918,688 | 868,830 | 49,85800 |
| 2,0000 | 13,036 | 6,77600 | 6,77600 | 381,872 | 432,417 | 50,54500 |
| 2,0000 | 22,766 | -18,23300 | 18,23300 | 1045,157 | 994,138 | 51,01900 |
| 2,0000 | 726,811 | 15,37900 | 15,37900 | 699,001 | 646,643 | 52,35800 |
| 2,0000 | 26,791 | -6,34000 | 6,34000 | 45,860 | 100,338 | 54,47800 |
| 2,0000 | 621,206 | 0,78100 | 0,78100 | 371,647 | 427,260 | 55,61300 |
| 2,0000 | 486,412 | 8,21600 | 8,21600 | 776,725 | 720,770 | 55,95500 |
| 2,0000 | 604,964 | 36,55400 | 36,55400 | 588,559 | 530,950 | 57,60900 |
| 2,0000 | 282,357 | 6,55800 | 6,55800 | 667,553 | 609,583 | 57,97000 |

| | | | | | | |
|--------|---------|-----------|----------|----------|----------|-----------|
| 2,0000 | 699,001 | 52,35800 | 52,35800 | 622,625 | 683,530 | 60,90500 |
| 2,0000 | 610,139 | -5,67600 | 5,67600 | 534,271 | 471,978 | 62,29300 |
| 2,0000 | 717,714 | 4,71400 | 4,71400 | 860,190 | 796,109 | 64,08100 |
| 2,0000 | 561,846 | 32,34300 | 32,34300 | 147,122 | 82,087 | 65,03500 |
| 2,0000 | 645,741 | 31,00100 | 31,00100 | 253,124 | 319,112 | 65,98800 |
| 2,0000 | 444,679 | 35,02500 | 35,02500 | 69,737 | 140,067 | 70,33000 |
| 2,0000 | 747,028 | 14,65800 | 14,65800 | 719,151 | 824,349 | 105,19800 |
| 2,0000 | 311,617 | 6,34300 | 6,34300 | 624,514 | 734,835 | 110,32100 |
| 2,0000 | 430,703 | 30,04200 | 30,04200 | 439,930 | 550,570 | 110,64000 |
| 2,0000 | 215,261 | -1,18900 | 1,18900 | 560,760 | 685,290 | 124,53000 |
| 2,0000 | 160,293 | 0,00800 | 0,00800 | 1085,201 | 1230,218 | 145,01700 |
| 2,0000 | 344,940 | 23,16600 | 23,16600 | 214,699 | 374,676 | 159,97700 |
| 2,0000 | 327,463 | 35,73700 | 35,73700 | 91,199 | 272,167 | 180,96800 |
| 2,0000 | 464,075 | 41,19700 | 41,19700 | 534,372 | 718,781 | 184,40900 |
| 2,0000 | 79,859 | 21,51200 | 21,51200 | 116,184 | 327,802 | 211,61800 |
| 2,0000 | 140,534 | -15,24600 | 15,24600 | 674,777 | 905,789 | 231,01200 |
| 2,0000 | 104,096 | -27,55400 | 27,55400 | 1056,191 | 1473,917 | 417,72600 |
| 2,0000 | 251,821 | -14,34900 | 14,34900 | | | |
| 2,0000 | 768,195 | 36,57600 | 36,57600 | | | |
| 2,0000 | 79,050 | 7,92400 | 7,92400 | | | |
| 2,0000 | 559,661 | 9,65600 | 9,65600 | | | |
| 2,0000 | 444,795 | -37,13800 | 37,13800 | | | |