

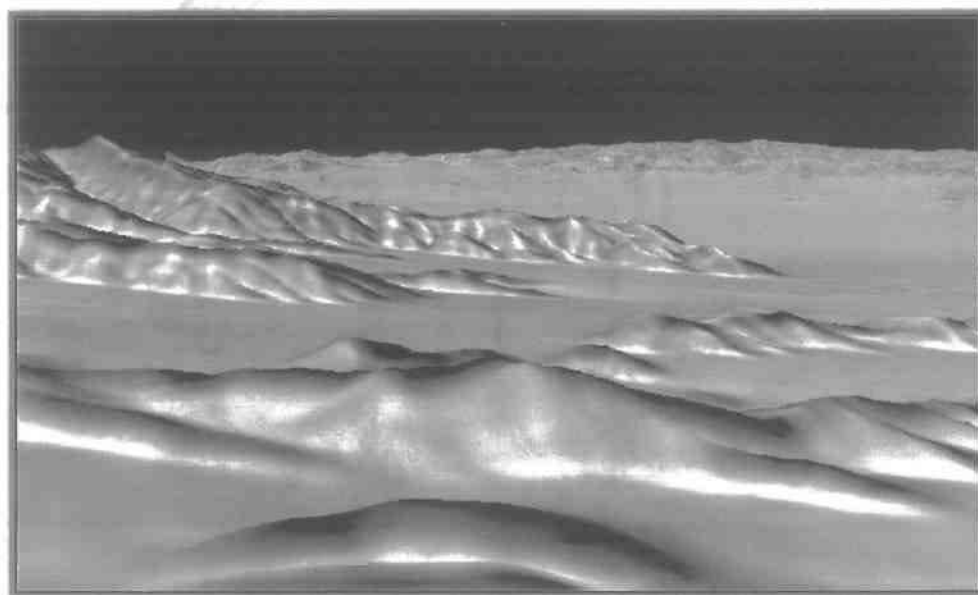
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

Συγκριτική έρευνα σύγχρονων λογισμικών
τηλεπισκόπησης σε βασικές επεξεργασίες

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ:
ΠΡΙΦΤΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ**



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΕΡΑΚΗΣ ΚΩΣΤΑΣ

ΒΟΛΟΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2002



Στους γονείς μου

Πρόλογος:

Η παρούσα διπλωματική εργασία, εκπονήθηκε στα πλαίσια της Διπλωματικής εργασίας του Τμήματος Μηχανικών χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2001 – 2002. Καταθέτοντάς την, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής. Κατ' αρχάς θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Περάκη Κώστα, για τις πολύτιμες συμβουλές του και για την γενικότερη συμβολή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Ακόμα, θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Οικονόμου Δημήτρη, διευθυντή του εργαστηρίου Χωροταξικού και Πολεοδομικού Σχεδιασμού για τη διάθεση του εξοπλισμού του εργαστηρίου αυτού. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο του εργαστηρίου αγροτικού χώρου κ. Φαρασλή Ιωάννη για τη βοήθεια και τις συμβουλές που μου παρείχε.

Βόλος, Φεβρουάριος 2002

Πρίφτης Στέφανος

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	4
1.2. ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	4
1.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ.....	5
1.3.1. Δορυφορικά συστήματα σάρωσης.....	5
1.3.2. Δορυφορικά συστήματα των οποίων δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.....	7
1.3.3. Διάφορα άλλα δορυφορικά συστήματα:.....	8
1.4. ΚΛΑΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ.....	9
1.4.1. Αεροφωτογραφία.....	9
1.4.2. Έγχρωμη φωτογραφία.....	10
ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ	12
2.1. ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ	13
2.2 ΛΟΓΟΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΟΠΟΙΟΥΣ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ .	13
2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	14
2.4 HARDWARE ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ.....	16
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ	19
ΦΙΛΤΡΑ	25
4.1. ΔΙΑΦΟΡΑ ΦΙΛΤΡΑ	26
4.2. Άλλοι τύποι στατιστικών φίλτρων	28
4.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ IDRISI32 ΚΑΙ ΤΟΥ IMAGINE 8.3.1 ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ	29
4.4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ	30
ΓΕΩΔΑΙΤΗΣΕΙΣ	38
5.1. ΓΕΩΔΑΙΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ IMAGINE 8.3.1	39
5.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ IDRISI32	46
5.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ IDRISI32 ΚΑΙ ΤΟΥ IMAGINE ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ	51
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΠΡΙΦΤΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ.....	1

5.4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ	53
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ	58
6.1. ΜΗ ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ	59
6.1.1. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη χρήση του IDRISI32	59
6.1.2. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με το IMAGINE 8.3.1:.....	68
6.2.1. Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση με τη χρήση του Idrisi32 και του IMAGINE 8.3.1	71
6.2.2. Δημιουργία φασματικών υπογραφών.....	73
6.2.5. Η μέθοδος της απόστασης Mahalanobis	79
6.2.6. Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας	79
6.3.1. Σύγκριση του IDRISI32 και του IMAGINE σε επιβλεπόμενες ταξινομήσεις	81
6.3.2. Ποιοτικές διαφορές	83
6.3.3. Μέθοδος της ελάχιστης απόστασης	86
6.3.4 Μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας.....	89
6.3.5. Διαφορές στην ταχύτητα υπολογισμού.....	91
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	97
7.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	98
7.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ	99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104
ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΣΤΟ INTERNET:	106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στην τηλεπισκόπηση

Η έννοια της Τηλεπισκόπησης ορίζεται ως εξής: «Η Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και η τεχνική της αποκόμισης πληροφορίας για ένα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο, μέσα από την ανάλυση της πληροφορίας από ένα μέσο, το οποίο δεν βρίσκεται σε επαφή με το αντικείμενο, την περιοχή ή το φαινόμενο που εξετάζεται» (Lillesand και Kiefer, 1994)

1.2. Πολυφασματική τηλεπισκόπηση

Κατά την ανάλυση μιας εικόνας λαμβάνονται υπόψη μία ποικιλία στοιχείων που χαρακτηρίζουν την εικόνα: το χρώμα (ή τόνος εάν πρόκειται για πανχρωματικές), η υφή (texture), το μέγεθος, το σχήμα. Εν τούτοις, στην υποβοηθούμενη από υπολογιστή ανάλυση, συνήθως χρησιμοποιείται μόνο το χρώμα. Για το λόγο αυτό δίνεται μεγάλη έμφαση στη χρήση πολυφασματικών ανιχνευτών (ανιχνευτές οι οποίοι, όπως το ανθρώπινο μάτι, «βλέπουν» σε περισσότερα του ενός σημεία του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος), στον αριθμό και στη συγκεκριμένη θέση κάποιων καναλιών στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Αποδεικνύεται ότι με τη χρήση αναλυτικών τεχνικών όπως η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες (Principal Component Analysis), στις περισσότερες περιπτώσεις, τα κανάλια που περιέχουν τις περισσότερες πληροφορίες για το φυσικό περιβάλλον είναι το ερυθρό και το εγγύς υπέρυθρο (Eastman R. J.: 1999). Το νερό απορροφά τα υπέρυθρα μήκη κύματος και γι' αυτό είναι εξαιρετικά διακριτό σε αυτή την περιοχή του φάσματος. Οι διάφοροι τύποι βλάστησης δείχνουν τη μεγαλύτερη διαφοροποίησή τους στην περιοχή αυτή. Η ερυθρά περιοχή του φάσματος είναι πολύ σημαντική γιατί είναι η κύρια περιοχή στην οποία η χλωροφύλλη απορροφά ενέργεια για φωτοσύνθεση. Είναι το κανάλι το οποίο «διακρίνει» περισσότερο επιφάνειες καλυπτόμενες από βλάστηση ή όχι (Eastman R. J.: 1999).

Δεδομένης της σημασίας του ερυθρού και του εγγύς υπέρυθρου καναλιού, είναι γεγονός ότι σε όλα τα πολυφασματικά ανιχνευτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των φυσικών πόρων, τα δύο αυτά κανάλια θεωρούνται εκ των ουκ άνευ. Η χρήση άλλων φασματικών καναλιών για ανίχνευση εξαρτάται

κυρίως από τις χρήσεις για τις οποίες προορίζονται οι εικόνες. Πολλά συστήματα χρησιμοποιούν το ορατό «πράσινο» το οποίο μαζί με τα άλλα δύο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει μία ψευδοχρωματική σύνθεση (μια έγχρωμη εικόνα προερχόμενη από το κυανό, το ερυθρό και το υπέρυθρο κανάλι, σε αντίθεση με τις φυσικές εικόνες που χρησιμοποιούν σύνθεση του κυανού, του «πράσινου» και του ερυθρού χρώματος). Ο συγκεκριμένος τύπος έγινε ευρέως χρησιμοποιούμενος με την ανάπτυξη της έγχρωμης υπέρυθρης απεικόνισης, και είναι οικείος σε πολλούς ειδικούς στον τομέα της τηλεπισκόπησης (Eastman R. J.: 1999). Επιπλέον, ο συνδυασμός αυτών των τριών καναλιών ενδείκνυται για το διαχωρισμό γυμνής έκτασης, από επιφάνεια καλυπτόμενη από βλάστηση. Ωστόσο είναι ιδιαίτερα σύνηθες, να περιλαμβάνονται και άλλα κανάλια, τα οποία διακρίνονται στο διαχωρισμό υλικών της επιφάνειας της γης. Για παράδειγμα, το κανάλι 5 του Θεματικού Χαρτογράφου (Thematic Mapper) του δορυφόρου LANDSAT βρίσκεται ανάμεσα σε δύο περιοχές του φάσματος στις οποίες το νερό απορροφά την ενέργεια και για αυτό αποδεικνύεται πολύ χρήσιμο να καθορίζει τις διαφορές στην υγρασία μεταξύ βλάστησης και γήινης επιφάνειας. Παρόμοια το κανάλι 7 χρησιμοποιείται για την αναγνώριση της θερμικής διαφοροποίησης της υγρασίας σε απογυμνωμένες ξερές επιφάνειες. Σε αντίθεση το σύστημα AVHRR των δορυφόρων του NOAA περιλαμβάνει διάφορα θερμικά κανάλια για την αναγνώριση της θερμοκρασίας των νεφών.

1.3. Συστήματα απεικόνισης

1.3.1. Δορυφορικά συστήματα σάρωσης

Η αεροφωτογραφία αποδείχθηκε ένα σημαντικό μέσο στην οπτική ανάλυση και την παραγωγή αναλογικών χαρτών (σε αναλογικό μέσο). Εν τούτοις η ανάπτυξη δορυφορικών πλατφόρμων, η συσχετιζόμενη ανάγκη της τηλεμετρίας για ψηφιακή απεικόνιση, και η απαίτηση για υψηλής πιστότητας ψηφιακές εικόνες, ώθησαν την ανάπτυξη υψηλής ποιότητας συστημάτων σάρωσης. Οι συγκεκριμένες ιδιότητες για κάθε σύστημα σάρωσης διαφέρουν, ωστόσο σε γενικές γραμμές τα δορυφορικά συστήματα σάρωσης λειτουργούν ως εξής:

Η λογική με την οποία λειτουργεί ένας σαρωτής, είναι η χρήση ενός μηχανισμού καταγραφής ενός μικρού οπτικά πεδίου με κατεύθυνση από τη δύση προς την ανατολή, ενώ ταυτόχρονα ο δορυφόρος κινείται με κατεύθυνση Βορρά – Νότου. Το αποτέλεσμα της σάρωσης σε αυτούς τους δύο άξονες είναι η σύνθεση μιας ολοκληρωμένης εικόνας του περιβάλλοντος.

Μια απλή τεχνική σάρωσης είναι η χρήση ενός περιστρεφόμενου καθρέφτη, ο οποίος μεταβάλλει την οπτική του γωνία με μια προκαθορισμένη ταχύτητα. Το οπτικό πεδίο εξετάζεται από ένα πρίσμα το οποίο αναλύει την ενέργεια η οποία συλλαμβάνεται στο οπτικό πεδίο, στα επιμέρους τμήματα του φάσματος. Φωτοηλεκτρικοί ανιχνευτές κατάλληλα διατεταγμένοι, καταγράφουν κατά μήκος της διαδρομής την ενέργεια που ανιχνεύεται στα διάφορα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Καθώς προχωράει η σάρωση από τη δύση προς την ανατολή, οι ανιχνευτές κατευθύνονται για να συλλάβουν δέσμες στοιχείων κατά μήκος της σάρωσης. Έτσι σχηματίζονται οι στήλες κατά μήκος μίας γραμμής σε ένα σετ από δορυφορικές εικόνες – μία για κάθε ανιχνευτή. Με την κίνηση του δορυφόρου από Βορρά προς Νότο, τοποθετείται το σύστημα για την σάρωση της επόμενης γραμμής. Τελικά παράγεται ένα σετ από εικόνες (raster) που καταγράφουν την ανακλώμενη και διαχεόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία της επιφάνειας της γης σε κάποιες περιοχές του φάσματος (Eastman R. J.: 1999).

Σήμερα υπάρχουν πολλά δορυφορικά συστήματα σε λειτουργία, τα οποία παρέχουν σε διάφορους φορείς και σε συνεχή βάση απεικονίσεις της επιφάνειας της γης για πάρα πολλές χρήσεις. Ο κάθε τύπος δορυφορικών δεδομένων παρέχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που τον καθιστούν περισσότερο ή λιγότερο κατάλληλο για την κάθε είδους εφαρμογή. Γενικά οι δύο πιο σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή των δορυφορικών δεδομένων είναι η διακριτική ικανότητα και η φασματική αναλυτικότητα. Η πρώτη αφορά στο μέγεθος της επίγειας περιοχής που καταγράφεται από μία μονάδα (pixel) στην δορυφορική εικόνα. Η δεύτερη αναφέρεται στον αριθμό και το εύρος μήκους κύματος των φασματικών καναλιών που ανιχνεύονται από το δορυφορικό σύστημα. Επιπλέον υφιστάμενοι παράγοντες όπως το κόστος και η διαθεσιμότητα της δορυφορικής εικόνας.

1.3.2. Δορυφορικά συστήματα των οποίων δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία

Δορυφόροι LANDSAT:

Για το δορυφορικό σύστημα LANDSAT προγραμματίστηκαν επτά δορυφόροι (LANDSAT 1 έως 7) όμως ο LANDSAT 6 καταστράφηκε κατά την εκτόξευσή του. Ο πρώτος (LANDSAT 1) εκτοξεύτηκε το 1972, ενώ ο τελευταίος τον Απρίλη του 1999. Ο LANDSAT φέρει δύο πολυφασματικούς ανιχνευτές. Ο πρώτος είναι ο Πολυφασματικός Ανιχνευτής (Multi-Spectral Scanner), ο οποίος καταγράφει πληροφορία σε τέσσερα φασματικά κανάλια: Κυανό, πράσινο, ερυθρό και εγγύς υπέρυθρο. Ο δεύτερος είναι ο Θεματικός Χαρτογράφος (Thematic Mapper) ο οποίος ανιχνεύει σε επτά κανάλια: Κυανό, πράσινο, ερυθρό, εγγύς υπέρυθρο, δύο μεσαία υπέρυθρα, και ένα θερμικό υπέρυθρο. Ο Πολυφασματικός Χαρτογράφος έχει πλευρά εικονοστοιχείου 80m, ενώ ο Θεματικός Χαρτογράφος έχει 30m. Και οι δύο ανιχνευτές καταγράφουν εικόνες σε μία ζώνη πλάτους 185 χιλιομέτρων. Με τον LANDSAT 7 έχει προστεθεί στον Θεματικό Χαρτογράφο και ένα πανχρωματικό κανάλι, ανάλυσης 15m.

Δορυφόροι IRS:

Ο Ινδικός Οργανισμός Διαστημικής Έρευνας (Indian Space Research Organization) έχει πέντε δορυφόρους στο σύστημα IRS, ενώ έχει σχεδιάσει την ένταξη άλλων επτά έως το 2004. Τις πιο εξειδικευμένες δυνατότητες τις έχουν οι δορυφόροι IRS-1C και IRS-1D οι οποίοι παρέχουν συνεχόμενη σφαιρική κάλυψη με τα ακόλουθα ανιχνευτικά συστήματα:

IRS-PAN: Πλευρά Εικονοστοιχείου 5,8m πανχρωματικό

IRS-LISS3: Πλευρά εικ. 23,5m πολυφασματικό στα ακόλουθα κανάλια:

Πράσινο (0,52 – 0,59 μ m)

Ερυθρό (0,62 – 0,68 μ m)

Ερυθρό στην περιοχή μικροκυμάτων (1,55 – 1,7 μ m)

IRS-WiFS: Πλευρά εικ. 180m πολυφασματικό στα ακόλουθα κανάλια:

Ερυθρό (0,62 – 0,68 μ m)

Εγγύς υπέρυθρο (0,77 – 0,86 μ m)

1.3.3. Διάφορα άλλα δορυφορικά συστήματα:

Δορυφόροι NOAA – AVHRR:

Το σύστημα AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) βρίσκεται σε μια σειρά δορυφόρων που λειτουργούν από την NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Καταγράφει καθημερινά μια λωρίδα πλάτους 2.400km σε πέντε φασματικά κανάλια: Ερυθρό, εγγύς υπέρυθρο, και σε τρία θερμικά υπέρυθρα. Η χωρική ανάλυση είναι 1,1km και η παρεχόμενη πληροφορία διατίθεται ως κάλυψη τοπικής περιοχής (Local Area Coverage). Για τη μελέτη ευρύτερων περιοχών διατίθενται δεδομένα με ανάλυση 4km και ονομάζονται κάλυψη σφαιρικής/Ευρύτερης περιοχής (Global Area Coverage).

Το σύστημα AVHRR παρέχει μεν εικόνες υψηλής ανάλυσης για εφαρμογές στη μετεωρολογία, οι εικόνες όμως παρέχουν πολύ λίγες λεπτομέρειες για την μελέτη της γήινης επιφάνειας. Εν τούτοις έχουν υψηλή χρονολογική ανάλυση, καλύπτοντας ευρείες περιοχές σε καθημερινή βάση, και χρησιμοποιούνται από πολλές υπηρεσίες για την πρόωρη ανίχνευση φαινομένων.

Δορυφόρος RADARSAT:

Ο δορυφόρος RADARSAT τέθηκε σε τροχιά το Νοέμβρη του 1995 από την Καναδική Διαστημική Υπηρεσία. Η ανάλυση του C-καναλιού κυμαίνεται μεταξύ 8 και 100 μέτρα, ενώ η περίοδος για να καλύψει ο δορυφόρος την ίδια τροχιά και εξ ου και την ίδια επιφάνεια είναι 24 ημέρες. Οι ανιχνευτές έχουν την δυνατότητα να εστιάζονται σε διάφορα σημεία, πράγμα που επιτρέπει τη λήψη στερεοσκοπικών εικόνων RADAR. Τα σήματα RADAR διαπερνούν νεφώσεις καλύπτοντας έτσι περιοχές που άλλα συστήματα τηλεπισκόπησης θα αδυνατούσαν να ανιχνεύσουν. Επίσης, πάλι σε αντίθεση με άλλα συστήματα, το σήμα επηρεάζεται περισσότερο από τα ηλεκτρικά και τα φυσικά χαρακτηριστικά (υφή των αντικειμένων) παρά από την αντανάκλαση και την φασματική υπογραφή των αντικειμένων. Γι αυτό το λόγο το σήμα χρειάζεται διαφορετική διαδικασία ανάλυσης και ερμηνείας, καθώς και διαφορετικές τεχνικές γεωδαίτησης.

Δορυφόροι ERS:

Οι δορυφόροι ERS-1 και ERS-2 εξελίχθηκαν από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος. Παρουσιάζουν ένα ενδιαφέρον συμπλήρωμα σε άλλα εμπορικά συστήματα απεικόνισης, προσφέροντας μεγάλη ποικιλία διαφορετικών μορφών στο C-κανάλι (ανίχνευση RADAR). Για εφαρμογές GIS, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει το SAR (Side-looking Airborne Radar) το οποίο καταγράφει περιοχές εύρους 100 χιλιομέτρων με ανάλυση 30 μέτρων. Ειδικότερα παρουσιάζει ενδιαφέρον για διάφορες εφαρμογές όπως μελέτες βλάστησης ή χαρτογράφησης όπου η κάλυψη με νέφη είναι ένα συνεχές πρόβλημα.

Δορυφόροι IKONOS:

Ο δορυφόρος IKONOS δημιουργήθηκε και τέθηκε σε τροχιά από την εταιρεία Space Imaging στις 24 Σεπτέμβρη 1999. Ο δορυφόρος αυτός είναι ο πρώτος, για πολιτική χρήση προοριζόμενος δορυφόρος, με διακριτική ικανότητα 1m. Ο IKONOS παρέχει είτε πανχρωματικές εικόνες καλύπτοντας την περιοχή του φάσματος από 0,45μm έως 0,90μm με διακριτική ικανότητα 1m, είτε πολυφασματικές εικόνες από τέσσερις περιοχές του φάσματος με διακριτική ικανότητα 4m. Οι περιοχές αυτές είναι:

- Κανάλι 1: μπλέ 0,45μm – 0,52μm
- Κανάλι 2: πράσινο 0,52μm – 0,60μm
- Κανάλι 3: ερυθρό 0,63μm – 0,69μm
- Κανάλι 4: εγγύς υπέρυθρο 0,76μm – 0,90μm

1.4. Κλασικά συστήματα απεικόνισης

1.4.1. Αεροφωτογραφία

Η αεροφωτογραφία είναι η παλαιότερη και πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος τηλεπισκόπησης. Φωτογραφικές μηχανές τοποθετημένες σε αεροσκάφη, τα οποία πετούν σε ένα ύψος που κυμαίνεται μεταξύ 200μ και 15000μ, καλύπτουν μια μεγάλη ποσότητα λεπτομερειακής απεικόνισης. Οι αεροφωτογραφίες δίνουν μια στιγμιαία οπτική αναπαράσταση τμήματος της γήινης επιφάνειας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή λεπτομερειακών χαρτών. Για τις αεροφωτογραφίες χρησιμοποιούνται είτε χαρτογραφικής ποιότητας μηχανές με

διαστάσεις φιλμ 23εκΧ23εκ είτε και απλές κοινές φωτογραφικές μηχανές των 35 ή 70 χιλιοστών.

Οι αεροφωτογραφίες μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: σε κάθετες και σε πλάγιες. Οι πλάγιες είναι «τραβηγμένες» υπό γωνία σε σχέση με το έδαφος. Οι εικόνες που προκύπτουν δίνουν στον παρατηρητή την αίσθηση ότι κοιτάζει από το παράθυρο ενός αεροπλάνου. Οι εικόνες αυτές είναι πιο εύκολες στην ανάλυση και την κατανόησή τους από ότι οι κάθετες αεροφωτογραφίες, αλλά είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να μετρηθούν στοιχεία σε αυτές προς χαρτογράφηση. Στην κάθετη αεροφωτογραφία ο οπτικός άξονας της φωτογραφικής μηχανής είναι τοποθετημένος κάθετα με την επιφάνεια που θέλουμε να απεικονίσουμε. Οι εικόνες που προκύπτουν απεικονίζουν τα στοιχεία του εδάφους σε μορφή σχεδίου και μπορούν εύκολα να συγκριθούν με χάρτες. Οι κάθετες αεροφωτογραφίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την έρευνα σε περιοχές οι οποίες δεν έχουν χαρτογραφηθεί ακόμη. Ακόμα, απεικονίζουν στοιχεία όπως την μορφή των χωραφιών ή τη βλάστηση, τα οποία συχνά δεν περιλαμβάνονται στους χάρτες. Συγκρίνοντας μια παλιά με μια πρόσφατη αεροφωτογραφία μπορούμε ακόμα να αντιληφθούμε τις αλλαγές σε μια περιοχή μετά το πέρασμα του χρόνου.

Οι κάθετες αεροφωτογραφίες έχουν λεπτές παραμορφώσεις λόγω της κίνησης του αεροπλάνου, της κλίσης και των παραμορφώσεων του φωτογραφικού φακού. Μπορούν να «τραβηχτούν» με επικάλυψη, συνήθως γύρω στο 60% κατά μήκος της γραμμής πτήσης, και τουλάχιστον 20% μεταξύ δύο παράλληλων γραμμών πτήσης. Δύο επικαλυπτόμενες εικόνες, με τη χρήση ενός στερεοσκοπίου μπορούμε να τις παρατηρήσουμε με μια τρισδιάστατη προοπτική. Οι εικόνες αυτές ονομάζονται στερεοσκοπικό ζεύγος.

1.4.2. Έγχρωμη φωτογραφία

Οι έγχρωμες φωτογραφίες παράγονται από την σύνθεση τριών στρωμάτων φιλμ με ενδιάμεσα φίλτρα τα οποία απομονώνουν τα ερυθρά, τα πράσινα και τα κυανά μήκη κύματος μεμονωμένα στα τρία διαφορετικά στρώματα φιλμ. Το έγχρωμο υπέρυθρο φιλμ «συλλαμβάνει» ακτινοβολία μεγαλύτερου μήκους κύματος για να δημιουργήσουν μια σύνθεση που θα έχει απομονωμένες ανακλάσεις από την πράσινη,

την ερυθρή και την εγγύς υπέρυθρη περιοχή του φάσματος. Επειδή όμως, το ανθρώπινο μάτι δε μπορεί να «δει» υπέρυθρα, δημιουργείται μια ψευδοχρωματική σύνθεση απεικονίζοντας τα πράσινα μήκη κύματος με κυανό χρώμα, τα ερυθρά μήκη κύματος με πράσινο και τα υπέρυθρα μήκη κύματος με ερυθρό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας

2.1. Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας

Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας αναφέρεται στην επεξεργασία και στην ανάλυση ψηφιακών εικόνων με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών. Πρόκειται για ένα ευρύ πεδίο το οποίο συχνά περιλαμβάνει διαδικασίες που απαιτούν ισχυρό μαθηματικό υπόβαθρο. Η κεντρική ιδέα που βασίζεται η ψηφιακή επεξεργασία είναι απλή στη σύλληψη: Η ψηφιακή εικόνα εισάγεται στον υπολογιστή ανά ένα εικονοστοιχείο. Ο υπολογιστής είναι προγραμματισμένος να επεξεργάζεται την πληροφορία με μια εξίσωση, ή με σειρά εξισώσεων, και κατόπιν να αποθηκεύει το αποτέλεσμα για κάθε εικονοστοιχείο. Το αποτέλεσμα είναι μια νέα ψηφιακή εικόνα ή οποία μπορεί να απεικονιστεί στην οθόνη, να εκτυπωθεί ή να αποθηκευτεί για περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία από κάποιο άλλο πρόγραμμα (Lillesand και Kiefer, 1994). Το απλουστευμένο αυτό παράδειγμα, στην πραγματικότητα αναφέρεται σε πολύπλοκους υπολογισμούς και διαδικασίες που χωρίς την ύπαρξη ηλεκτρονικών υπολογιστών θα χρειαζόταν πρακτικά απεριόριστο χρόνο.

2.2 Λόγοι για τους οποίους απαιτείται η ψηφιακή επεξεργασία της εικόνας

Οι εικόνες όπως έρχονται από τους οπτικούς σαρωτές σε ανεπεξέργαστη ψηφιακή μορφή, γενικά έχουν σφάλματα και ατέλειες. Οι ατέλειες αυτές μπορεί να οφείλονται σε διάφορους παράγοντες όπως:

- Στρεβλώσεις που οφείλονται στο υψόμετρο, στην ταχύτητα, και στη θέση του σκάφους που φέρει το σαρωτή
- Στρεβλώσεις που οφείλονται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φακού του σαρωτή
- Στρεβλώσεις και αλλοιώσεις που οφείλονται στην καμπυλότητα της γήινης επιφάνειας
- Αλλοιώσεις στην ραδιομετρική τιμή των εικονοστοιχείων εξαιτίας της ατμοσφαιρικής διάθλασης
- Ραδιομετρικά σφάλματα που οφείλονται σε σφάλμα του σαρωτή (Scanline drop-out)

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι διορθώσεις αυτές πραγματοποιούνται στους επίγειους σταθμούς λήψης των δεδομένων, και κατόπιν παραδίδονται προς χρήση. Οι διορθώσεις αυτές ανήκουν στην προεπεξεργασία ψηφιακών εικόνων και είναι απαραίτητες για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια εικόνα. Τέτοιες διορθώσεις είναι οι γεωμετρικές διορθώσεις που αφορούν τα τρία πρώτα είδη σφαλμάτων, ή οι ραδιομετρικές διορθώσεις όπως στατιστικά φίλτρα, για τα άλλα δύο είδη σφαλμάτων.

Άλλοι λόγοι που απαιτούν την ψηφιακή επεξεργασία της εικόνας, είναι ο εμπλουτισμός της εικόνας για την οπτική βελτίωση της, και την καλύτερη οπτική αναγνώριση των ιδιοτήτων της (μέγεθος και σχήμα αντικειμένων, υφή αντικειμένων κλπ.). Τέτοιες επεξεργασίες που μπορούν να γίνουν με ψηφιακή επεξεργασία είναι η επιμήκυνση της αντίθεσης (Contrast stretching), η πρόσθεση, η αφαίρεση ή ο λόγος φασματικών εικόνων - όταν πρόκειται για πολυφασματικές εικόνες (addition, subtracting, ratioing) (Συλλαίος, 1990), και η δημιουργία σύνθετων εικόνων (Composite images) για τη δημιουργία μιας ψευδοχρωματικής απεικόνισης ή την ανάδειξη κάποιων συγκεκριμένων χαρακτηριστικών (Eastman, 1999). Ακόμα η επεξεργασία με ψηφιακά φίλτρα για την ενίσχυση ορίων (Edge enhancement) ή την απαλοιφή σφαλμάτων όπως προαναφέρθηκε.

Επίσης, πολύ σημαντικό κομμάτι της ψηφιακής επεξεργασίας είναι οι ταξινομήσεις. Γενικά μπορούμε να αναφερθούμε στις ταξινομήσεις ως την διαδικασία της αντικατάστασης της οπτικής αναγνώρισης χαρακτηριστικών της εικόνας, με ποιοτικές μεθόδους, για την αυτοματοποίηση της αναγνώρισης ποιοτικών χαρακτηριστικών της εικόνας (Lillesand και Kiefer, 1994).

2.3 Επεξεργασίες που αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία

Οι επεξεργασίες που αναλύθηκαν και στις οποίες πραγματοποιήθηκε η σύγκριση του IDRISI32 και του IMAGINE 8.3.1 ήταν οι εξής:

- Οι επεξεργασίες και οι τεχνικές διορθώσεις ραδιομετρικών σφαλμάτων με τη χρήση μαθηματικών - στατιστικών φίλτρων,
- Οι επεξεργασίες για τη διόρθωση γεωμετρικών σφαλμάτων μιας εικόνας και για την γεωαναφορά της σε ένα συγκεκριμένο Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς,

- Οι διαδικασίες για την πραγματοποίηση επιβλεπόμενων και μη επιβλεπόμενων ταξινομήσεων όσον αφορά συγκεκριμένες καλύψεις γης.

Η σύγκριση των δύο λογισμικών πραγματοποιήθηκε με δύο προσεγγίσεις. Αφενός αναλύθηκε 1^ο) ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιούν τις παραπάνω επεξεργασίες και 2^ο) οι δυνατότητες και οι περιορισμοί που έχει το καθένα σε μια συγκεκριμένη διεργασία. Αφετέρου πραγματοποιήθηκε σύγκριση στην ταχύτητα ολοκλήρωσης των διεργασιών αυτών. Οι χρόνοι που μετρήθηκαν σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν της τάξης μερικών δευτερολέπτων, οπότε διερωτάται κανείς ποιος ο λόγος να χρονομετρηθούν σε τέτοιες διαδικασίες, ιδίως όταν με τη σημερινή ισχύ των προσωπικών υπολογιστών οι χρόνοι επεξεργασίας κατά περίπτωση είναι τόσο χαμηλοί. Η ουσία της χρονομέτρησης και της αντιπαράθεσης είναι το γεγονός ότι μπορεί η επεξεργαστική ισχύς να αυξάνεται, όμως με τις νέες τεχνολογίες στα δορυφορικά συστήματα σάρωσης (πχ. δορυφόροι IKONOS με διακριτική ικανότητα 1m) ο όγκος των δεδομένων αυξάνει κατά πολύ και αντίστοιχα αυξάνεται η ανάγκη για περισσότερη επεξεργαστική ισχύ.

Για παράδειγμα η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε για τις ταξινομήσεις (4 φασματικά κανάλια από τον δορυφόρο IRS-1C, καλύπτει το σύνολο της Θεσσαλίας με ανάλυση 25m στο ορατό και το εγγύς υπέρυθρο, και ανάλυση στο 70m στο SW-IR) έχει μέγεθος συνολικά 144Mbytes για μια περιοχή κάλυψης περίπου 2.051.600ha. Μια αντίστοιχης κάλυψης εικόνα από τον δορυφόρο IKONOS με τα αντίστοιχα φασματικά κανάλια (μπλε, πράσινο, ερυθρό στο ορατό, και εγγύς υπέρυθρο), έχει μέγεθος περίπου 1600Mbytes, για 11bit φασματική πληροφορία και ανάλυση 4m. Εάν πάρουμε την αντίστοιχη περιοχή από τον παγχρωματικό σαρωτή του δορυφόρου IKONOS (Pan IKONOS), ο οποίος έχει ανάλυση 1m, τότε η εικόνα καταλαμβάνει 69.769Mbytes ή περίπου 67Gbytes. Εάν δε έχει γίνει επεξεργασία με συγχώνευση των τεσσάρων καναλιών του πολυφασματικού με το παγχρωματικό του IKONOS (Resolution merge), τότε η εικόνα καταλαμβάνει αποθηκευτικό χώρο ίσο με 377.218Mbytes ή αλλιώς περίπου 377,2Gbytes.

Τα μεγέθη αυτά είναι κατά πολύ μεγαλύτερα από τη συνολική αποθηκευτική ικανότητα ενός μέσου προσωπικού υπολογιστή, και για να γίνει εφικτή η επεξεργασία τέτοιου όγκου δεδομένων, μόνο από πλευράς αποθηκευτικής ικανότητας, θα

χρειαζόταν συστοιχίες RAID (Redundant Array of Independent Disks) σκληρών δίσκων καθώς και δυνατότητα πρόσβασης σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες μνήμης RAM από τα τυπικά μεγέθη ενός σημερινού προσωπικού υπολογιστή. Σήμερα ένας τυπικός προσωπικός υπολογιστής έχει μεγέθη μνήμης RAM από 128Mbytes έως 512Mbytes, ενώ και οι περισσότερες πλατφόρμες αυτό του τύπου (Μητρικές και επεξεργαστές) δεν υποστηρίζουν περισσότερα από 4Gbytes μνήμης RAM. Αναφορά σε συστήματα σταθμών επεξεργασίας 64bit (SUN UltraSparc , IBM PowerPC, MIPS R14000A κ.α.) σκοπίμως δεν γίνεται, γιατί τα δύο προγράμματα που συγκρίνονται αναφέρονται στην πλατφόρμα x86 της INTEL¹ .

Επιστρέφοντας στη σημασία των μετρήσεων, οι χρόνοι αν και μικροί και εκ πρώτης όψεως αμελητέοι, εν τούτοις παίζουν μεγάλο ρόλο σε περιπτώσεις όπου η διαδικασία μπορεί να είναι επαναλαμβανόμενη όπως στις ταξινομήσεις, όπου το αποτέλεσμα μιας ταξινόμησης μπορεί να μην είναι αποδεκτό και η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί.

2.4 Hardware που χρησιμοποιήθηκε

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί υπολογιστές IBM συμβατοί, και συγκεκριμένα:

- Ένας υπολογιστής με επεξεργαστή Intel PentimIII με συχνότητα ρολογιού 933MHz και FrontSide Bus 133MHz, με 384 MB μνήμης RAM συγχρονισμένα στην ταχύτητα του FSB στα 133MHz, μητρική με Intel 815 chipset, και σκληρό δίσκο IDE, Western Digital Caviar WD300BB με 2MB cache και ταχύτητα περιστροφής 7200 rpm. Το λειτουργικό σύστημα που έτρεχε ήταν Microsoft Windows 2000 Professional Service Pack 2, ενώ ήταν επίσης εγκατεστημένος ο οδηγός της Intel για τον ενσωματωμένο ελεγκτή IDE (Intel Ultra-ATA Storage driver Ver. 7.00.2076). Το Filesystem ήταν ορισμένο για διακομιστή δικτύου και είχε ενεργοποιηθεί μέσω της Registry και η επιλογή για LargeSystemCache. Το αρχείο Αντιμετάθεσης (pagefile) ήταν σταθερό μεγέθους 400MB.

¹ Κώδικας που τρέχει σε Intel ή συμβατούς επεξεργαστές (ονομάζεται και αρχιτεκτονική IA32).

- Ένας υπολογιστής με δύο επεξεργαστές Intel PentiumII με συχνότητα ρολογιού 350MHz και FrontSide Bus 100MHz, με 320MB μνήμης RAM συγχρονισμένα στην ταχύτητα του FSB στα 100MHz, μητρική με Intel 440BX Chipset και ενσωματωμένο Ultra2 SCSI ελεγκτή Adaptec AIC-7890. Ένα σκληρό δίσκο SCSI, Seagate Barracuda ST39173N με 512KB cache και ταχύτητα περιστροφής 7200rpm (Δίσκος εκκίνησης), καθώς και έναν IDE δίσκο Maxtor 31536H2 με 512KB cache και ταχύτητα περιστροφής 5400rpm, ορισμένος να κρατάει το αρχείο Αντιμετάθεσης του Λειτουργικού συστήματος (Pagefile). Το λειτουργικό σύστημα που έτρεχε ήταν Microsoft Windows XP Professional (υποστηρίζει συμμετρική πολυεπεξεργασία μέχρι 2 επεξεργαστές - SMP). Αντίστοιχα και εδώ το Filesystem ήταν ορισμένο σε Διακομιστή Δικτύου καθώς και είχε ενεργοποιηθεί και η επιλογή “optimize performance for System Cache” σε αντιστοιχία με το προηγούμενο σύστημα. Το αρχείο Αντιμετάθεσης ήταν σταθερό μεγέθους 400MB.
- Ένας υπολογιστής με επεξεργαστή AMD Duron με συχνότητα ρολογιού 900MHz και FrontSide Bus 100MHz (με διπλό χρονισμό αντιστοιχεί σε συχνότητα λειτουργίας 200MHz), με 512MB μνήμης RAM με συχνότητα λειτουργίας ασύγχρονα από το FSB στα 133MHz. Η μητρική είχε VIA KT133 Chipset, ενώ σκληρός δίσκος ήταν ένας IDE Western Digital Caviar WD200BB, με 2MB Cache και ταχύτητα περιστροφής 7200rpm. Το λειτουργικό σύστημα που έτρεχε ήταν Microsoft Windows 2000 Professional Service Pack 2, ενώ ήταν επίσης εγκατεστημένο το Service Pack της VIA για το chipset της μητρικής και ειδικότερα τον ενσωματωμένο ελεγκτή IDE (VIA Service pack 4-1 ver. 4.37). Και εδώ επίσης το FileSystem ήταν ορισμένο για Διακομιστή δικτύου και είχε ενεργοποιηθεί στη registry η επιλογή για LargeSystemCache. Το αρχείο αντιμετάθεσης (pagefile) ήταν σταθερού μεγέθους και ίσο με 400MB. Στο συγκεκριμένο σύστημα τοποθετήθηκε και ένας επεξεργαστής AMD Athlon με συχνότητα ρολογιού 1200MHz (με το FSB στα 100MHz) και πάρθηκαν ορισμένες μετρήσεις και με αυτόν τον επεξεργαστή.

Και τα τρία μηχανήματα ήταν στημένα με τις βέλτιστες ρυθμίσεις, τόσο όσον αφορά το υλικό, (πχ ο χρονισμός της μνήμης – CAS latency, ενεργοποίηση μεταφοράς

δεδομένων με Ultra-DMA 4/5 στους δίσκους που υποστηρίζονταν) με συνδυασμό βέλτιστης ταχύτητας και μέγιστης αξιοπιστίας, σε όλα τα μηχανήματα, όσο και στις ρυθμίσεις του λειτουργικού συστήματος για βελτιστοποιημένη χρήση της μεγάλης ποσότητας μνήμης RAM που είχε το κάθε μηχάνημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Δυνατότητες των δύο λογισμικών

			IDRISI32	IMAGINE 8.3.1
Επανόρθωση Εικόνας (Restoration)				
Γεωμετρικές διορθώσεις	Προσαρμογή της εικόνας σε σύστημα αναφοράς	1ης-3ης τάξης πολυωνυμικές εξισώσεις	Ναι	Ναι
		>3ης τάξης πολυωνυμικές εξισώσεις	Όχι	Ναι
		Παρεμβολή με τη μέθοδο του κοντινότερου γειτονικού σημείου (Nearest Neighbor)	Ναι	Ναι
		Παρεμβολή με τη διγραμμική μέθοδο (bilinear)	Ναι	Ναι
		Παρεμβολή με τη μέθοδο κυβικής συνέλιξης (Cubic convolution)	Όχι	Ναι
Ραδιομετρικές διορθώσεις	Διορθώσεις σφαλμάτων του σαρωτή		Ναι	Ναι
	Απαλοιφή λανθασμένης γραμμής σάρωσης (scanline dropout)		Ναι	Ναι
	Σύγκλιση τιμών ακτινοβολίας σε τιμές ανάκλασης		Ναι	Ναι
Ενίσχυση Εικόνας (Enhancement)				
Ραδιομετρική Ενίσχυση (Radiometric Enhancement)	Επεξεργασίες ιστογράμματος	Γραμμική διάταση ιστογράμματος	Ναι	Ναι
		Εξισορρόπηση ιστογράμματος	Ναι	Ναι
		Γραμμική διάταση ιστογράμματος με απόρριψη των άκρων	Ναι	Ναι
		Γραμμική διάταση ιστογράμματος με σημεία κορεσμού	Ναι	Ναι
		Μη γραμμική διάταση ιστογράμματος	Όχι	Ναι
		Μη γραμμική διάταση ιστογράμματος με σημεία κορεσμού	Όχι	Ναι

			IDRISI32	IMAGINE 8.3.1
Ενίσχυση Εικόνας (Enhancement)				
Ραδιομετρική Ενίσχυση (Radiometric Enhancement)	Επεξεργασίες ιστογράμματος	Προσαρμογή ιστογράμματος (histogram matching)	Όχι	Ναι
		Αντιστροφή φωτεινότητας (brightness inversion)	Όχι	Ναι
Χωρική Ενίσχυση (Spatial Enhancement)	Φίλτρα	Μέσης τιμής	Ναι	Ναι
		Κανονικής κατανομής (Gaussian)	Ναι	Όχι
		Ελάχιστης / Μέγιστης τιμής	Ναι	Ναι
		φίλτρο διαμέσου (Median)	Ναι	Ναι
		Adaptive box	Ναι	Ναι
		Επικρατούσας τιμής	Ναι	Ναι
		Τυπικής απόκλισης με πίνακα οριζόμενο από τον χρήστη	Ναι	Όχι
		Laplacian edge enhancement	Ναι	Ναι
		High pass filter	Ναι	Ναι
		Φίλτρο ανίχνευσης ακμών κατά Sobel	Ναι	Ναι
		Φίλτρο ανίχνευσης ακμών κατά Prewitt	Όχι	Ναι
		Φίλτρο με πίνακα οριζόμενο από τον χρήστη	Ναι	Ναι
		Συγχώνευση ανάλυσης (Resolution Merge)	Με πολλαπλασιασμό γραμμών - στηλών	Ναι

			IDRISI32	IMAGINE 8.3.1
Ενίσχυση Εικόνας (Enhancement)				
Χωρική Ενίσχυση (Spatial Enhancement)	Συγχώνευση ανάλυσης (Resolution Merge)	Με χρήση 1ης κύριας συνιστώσας (PCA)	Ναι	Ναι
		Με μετασχηματισμό Broovey (Broovey transformation)	Όχι	Ναι
Φασματική ενίσχυση	Σύνθετη εικόνα (Composite)		Ναι	Ναι
	Ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (PCA)	Ανάλυση σε κύριες συνιστώσες	Ναι	Ναι
		Αντιστροφή ανάλυσης (Inverse PCA)	Ναι	Ναι
	Tasseled cap μετατροπή		Ναι	Ναι
	Μετατροπή RGB σε HIS και αντίστροφα		Ναι	Ναι
	Δείκτες βλάστησης		Ναι	Ναι
	Δείκτες ορυκτών		Όχι	Ναι
Ανάλυση Fourier	Μετασχηματισμός Fourier		Ναι	Ναι
	Αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier		Ναι	Ναι
	Απεικόνιση της ανάλυσης Fourier		Ναι	Ναι
	Εφαρμογή φίλτρου στην ανάλυση Fourier		Ναι	Ναι

		IDRISI32	IMAGINE 8.3.1
Ταξινομήσεις			
Δημιουργία φασματικών υπογραφών	Δημιουργία φασματικών υπογραφών	Ναι	Ναι
	Γραφική απεικόνιση φασματικών υπογραφών	Ναι	Ναι
	Έλεγχος διαχωρισμού / γειννίαςης	Ναι	Ναι
Μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις	Μέθοδος Cluster	Ναι	Όχι
	Μέθοδος ISODATA	Ναι	Ναι
Επιβλεπόμενες ταξινομήσεις	Μέθοδος Παραλληλεπίπεδων	Ναι	Ναι
	Μέθοδος Ελάχιστης απόστασης από τους μέσους	Ναι	Ναι
	Μέθοδος Μέγιστης πιθανοφάνειας	Ναι	Ναι
	Υπερφασματικές	Ναι	Ναι
Υβριδικές μέθοδοι (Μαλακοί ταξινομητές)	Bayesian ταξινομητής μέγιστης πιθανοφάνειας	Ναι	Ναι
	Ταξινόμηση βάσει της θεωρίας των Dempster - Shafer	Ναι	Όχι
	Ασαφής ταξινομητής (Fuzzy)	Ναι	Ναι

			IDRISI32	IMAGINE 8.3.1
Ταξινομήσεις				
Αποτίμηση ακρίβειας (Accuracy Assesment)	Ανάλυση σφαλμάτων	Τυχαία δειγματοληψία εικονοστοιχείων αναφοράς	Ναι	Ναι
	Ανάλυση σφαλμάτων	Στρωματοποιημένη δειγματοληψία εικονοστοιχείων αναφοράς	Ναι	Ναι
	Ανάλυση πίνακα σφαλμάτων (Error matrix)	Συντελεστής σύμπτωσης K (K index of agreement)	Ναι	Ναι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Φίλτρα

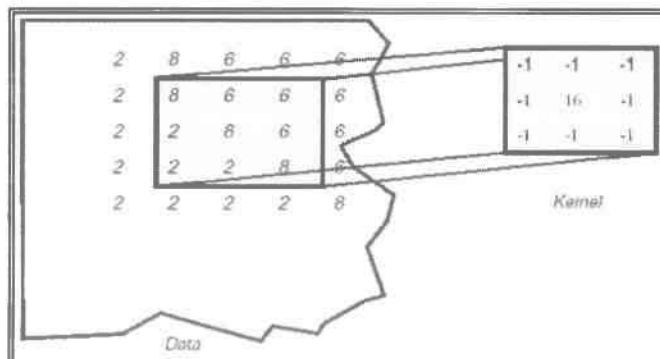
4.1. Διάφορα φίλτρα

Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες δυνατότητες της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, είναι η ικανότητα εφαρμογής ψηφιακών φίλτρων για τον εμπλουτισμό της πληροφορίας της εικόνας. Τα φίλτρα αυτά επιτυγχάνουν τον τονισμό της χωρικής πληροφορίας μετασχηματίζοντας τις ραδιομετρικές τιμές των εικονοστοιχείων, βασιζόμενα στις τιμές των γειτονικών εικονοστοιχείων αυτών.

Τα φίλτρα αυτά ονομάζονται και φίλτρα σύγκλισης (Convolution filters). Γενικά τα φίλτρα αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Φίλτρα που ως αποτέλεσμα της εφαρμογής τους έχουν τη λείανση της εικόνας (smoothing filters). Τα φίλτρα αυτά χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει θόρυβος στην εικόνα (noise) για διάφορους λόγους. Ο θόρυβος μπορεί να είναι συστηματικό σφάλμα όπως βλάβη ενός από τη συστοιχία των σαρωτών του δορυφορικού συστήματος (Scan-line dropping), ή τυχαίος όπως σφάλμα στην γεωμετρία του φακού (calibration).
- Φίλτρα που ως αποτέλεσμα της εφαρμογής έχουν την ανάδειξη χαρακτηριστικών όπως η υφή ή το σχήμα ενός αντικειμένου και ονομάζονται φίλτρα ανίχνευσης ακμών (edge detection και edge enhancement filters).

Τα φίλτρα σύγκλισης λειτουργούν με τον εξής τρόπο: Παρουσιάζοντας την εικόνα σαν ένα πίνακα αριθμών όπου το κάθε κελί έχει μια τιμή η οποία είναι η ραδιομετρική τιμή του κάθε εικονοστοιχείου, το φίλτρο σύγκλισης είναι ένας μικρότερος πίνακας διαστάσεων συνήθως 3X3, 5X5 ή 7X7, ο οποίος τίθεται επί της εικόνας αλλάζοντας την τιμή του κεντρικού εικονοστοιχείου με βάση τις τιμές που προκύπτουν εάν εφαρμοστεί ο πίνακας του φίλτρου στα γειτονικά εικονοστοιχεία.



Εικόνα 4.1:
Εφαρμογή φίλτρου σύγκλισης 3X3
(Πηγή: ERDAS Field Guide)

Το κάθε εικονοστοιχείο από τα γειτονικά, πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο συντελεστή στον πίνακα, και το άθροισμα όλων εγγράφεται στη θέση του κεντρικού εικονοστοιχείου. Τα φίλτρα σύγκλισης είναι απαιτητικά σε επεξεργαστική ισχύ. Η εφαρμογή ενός $K \times K$ φίλτρου, απαιτεί τον υπολογισμό $K \times K$ πολλαπλασιασμών και $K \times K - 1$ προσθέσεων για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας (Buiton και Clevers, 1994).

Τυπικά φίλτρα της πρώτης κατηγορίας, τα οποία αναλαμβάνουν να εξομαλύνουν την εικόνα είναι τα παρακάτω:

- Το φίλτρο μέσης τιμής, το οποίο αντικαθιστά το μεσαίο εικονοστοιχείο με τη μέση τιμή των γειτονικών εικονοστοιχείων. Ένα παράδειγμα πίνακα 5×5 από φίλτρο μέσης τιμής είναι το παρακάτω:

1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25

- Το Gaussian φίλτρο, το οποίο αντικαθιστά το μεσαίο εικονοστοιχείο με το άθροισμα των παραγώγων του πολλαπλασιασμού του κάθε γειτονικού με την αντίστοιχη τιμή που έχει οριστεί στον πίνακα, η οποία τιμή αυξάνεται όσο πλησιάζει προς το κεντρικό κελί της. Παράδειγμα πίνακα από Gaussian φίλτρο ακολουθεί παρακάτω:

1/121	2/121	3/121	2/121	1/121
2/121	7/121	11/121	7/121	2/121
3/121	11/121	17/121	11/121	3/121
2/121	7/121	11/121	7/121	2/121
1/121	2/121	3/121	2/121	1/121

Όσον αφορά τη δεύτερη κατηγορία, τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται για την ανάδειξη των χαρακτηριστικών, επιτυγχάνουν την αύξηση της χωρικής συχνότητας αναδεικνύοντας διαφοροποιήσεις σε ομάδες ομογενών εικονοστοιχείων. Σύνηθες 3×3 φίλτρο αυτής της κατηγορίας είναι το παρακάτω:

-1	-1	-1
-1	16	-1
-1	-1	-1

Ένα τυπικό φίλτρο για την ανάδειξη των χαρακτηριστικών είναι το “Laplacian edge enhancement”. Ο 5x5 πίνακας του φίλτρου αυτού είναι ο ακόλουθος:

0	-1	-1	-1	0
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	21	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
0	-1	-1	-1	0

Το φίλτρο αυτό έχει μεγέθη 3x3, 5x5 και 7x7.

Άλλο φίλτρο ανάδειξης είναι το “Sobel edge detector”, το οποίο αντικαθιστά το μεσαίο εικονοστοιχείο με την ευκλείδεια απόσταση $A = \sqrt{X^2 + Y^2}$, όπου: X αντικαθίσταται με την τιμή που θα προκύψει από την εφαρμογή του παρακάτω πίνακα:

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Και το Y αντίστοιχα θα αντικατασταθεί από την τιμή που προκύπτει εφαρμόζοντας τον παρακάτω πίνακα:

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

4.2. Άλλοι τύποι στατιστικών φίλτρων

Άλλο φίλτρο είναι το φίλτρο επικρατούσας τιμής (Mode filter), το οποίο αντικαθιστά το μεσαίο εικονοστοιχείο με την κυρίαρχη τιμή από το σύνολο των τιμών στον

πίνακα 3x3, 5x5 ή 7x7. Ακόμα τα φίλτρα μέγιστης και ελάχιστης τιμής που αντικαθιστούν το μεσαίο εικονοστοιχείο με τη μέγιστη ή ελάχιστη τιμή αντίστοιχα από το σύνολο των γειτονικών εικονοστοιχείων που περικλείονται στον πίνακα. Επίσης διάφορα φίλτρα δύναται να δημιουργηθούν από τον ερευνητή, αναλόγως με τον τύπο διόρθωσης ή ανάδειξης της πληροφορίας που πρέπει να επιτευχθεί.

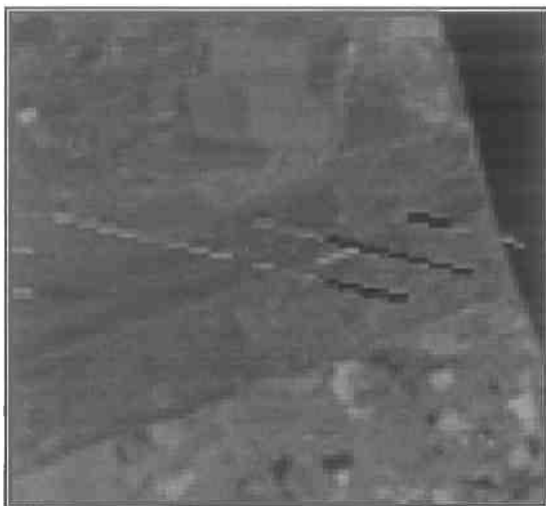
4.3. Σύγκριση του IDRISI32 και του IMAGINE 8.3.1 στην εφαρμογή των φίλτρων

Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή των διαφόρων φίλτρων προέρχεται από τον Θεματικό Χαρτογράφο (Thematic Mapper) του δορυφόρου LANDSAT. Η σάρωση έγινε τις 4 – 10 – 1986, και συγκεκριμένα αφορά το 4^ο τεταρτημόριο από μια ευρύτερη που καλύπτει όλη τη Θεσσαλία. Η συγκεκριμένη εικόνα περιέχει το Πολεοδομικό συγκρότημα του Βόλου, ενώ υφίσταται συστηματικά σφάλματα από την ελαττωματική λειτουργία ενός από τους σαρωτές (band striping). Η εικόνα αυτή έχει 4320 στήλες και 2983 γραμμές ενώ η ραδιομετρική ανάλυση είναι 8bit. Το φασματικό κανάλι που ανιχνεύτηκε ήταν το 4^ο του Θεματικού Χαρτογράφου (εγγύς υπέρυθρο).



Εικόνα 4.2: Η εικόνα από το 4^ο κανάλι του Θεματικού Χαρτογράφου του LANDSAT που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις στα φίλτρα

Το σφάλμα που παρουσιάζει η συγκεκριμένη σάρωση φαίνεται παρακάτω στη μεγεθυσμένη απεικόνιση της εικόνας, η οποία απεικονίζει ένα τμήμα από το αεροδρόμιο της Αγκιάλου σε μεγέθυνση και στο οποίο φαίνονται καθαρά οι διαγώνιες γραμμές από το μη λειτουργικό σαρωτή του Θεματικού χαρτογράφου.

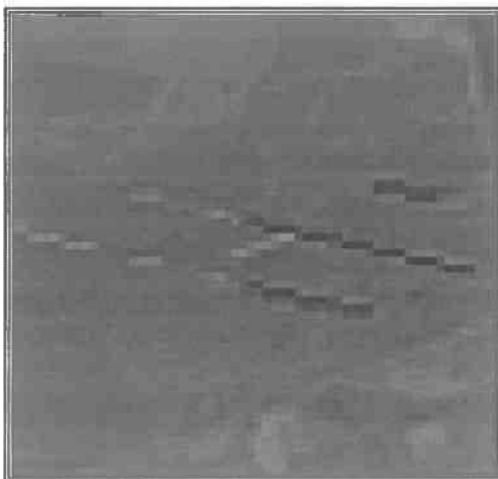


Εικόνα 4.3: Μεγέθυνση της εικόνας από τον Θεματικό Χαρτογράφο (4ο κανάλι, 4-10-1986)

4.4. Μετρήσεις ταχύτητας εφαρμογής των φίλτρων

Οι μετρήσεις ταχύτητας πραγματοποιήθηκαν σε έναν υπολογιστή και συγκεκριμένα στον PIII 933MHz, στον οποίο πραγματοποιήθηκε και η πλειοψηφία των υπόλοιπων μετρήσεων και παρατηρήσεων.

Το πρώτο φίλτρο που εφαρμόστηκε και μετρήθηκε ο χρόνος εφαρμογής ήταν το φίλτρο μέσης τιμής. Η εικόνες παρακάτω δείχνουν το αποτέλεσμα της εφαρμογής του φίλτρου σε πίνακα 3x3, 5x5 και 7x7:



Εικόνα 4.4:
Η προηγούμενη εικόνα μετά την εφαρμογή του φίλτρου μέσης τιμής 3x3



Εικόνα 4.5:
Η προηγούμενη εικόνα μετά την εφαρμογή του
φίλτρου μέσης τιμής 5x5

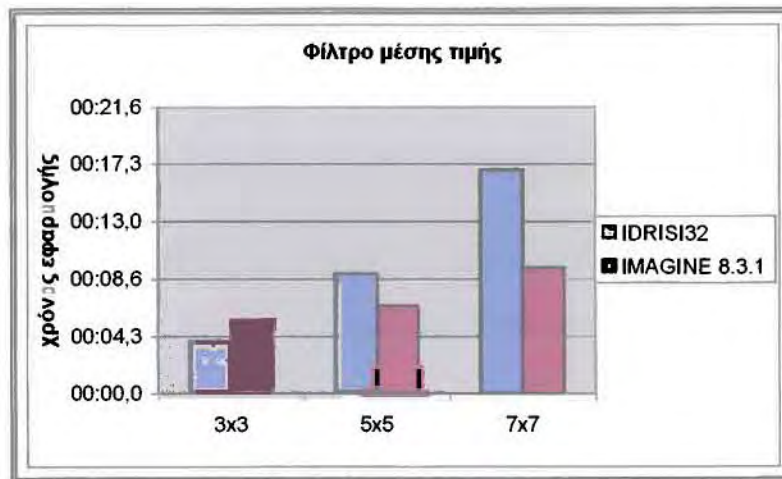


Εικόνα 4.6:
Η προηγούμενη εικόνα μετά την εφαρμογή του
φίλτρου μέσης τιμής 7x7

Αυξάνοντας το μέγεθος του πίνακα στο φίλτρο μέσης τιμής, στην παραγόμενη εικόνα περιορίζεται το σφάλμα αλλά ταυτόχρονα η εικόνα χάνει σε ευκρίνεια. Παρατηρώντας τους χρόνους στους οποίους το κάθε πρόγραμμα ολοκλήρωσε τη διαδικασία, φαίνεται ότι το IDRISI32 έχει μεγαλύτερη διακύμανση από το IMAGINE 8.3.1. Για την εφαρμογή του 3x3 φίλτρου το IDRISI32 χρειάστηκε λιγότερο χρόνο για να ολοκληρώσει από το χρόνο που χρειάστηκε το IMAGINE 8.3.1, όμως στα άλλα δύο μεγέθη μήτρας το IMAGINE 8.3.1 ήταν ταχύτερο. Επίσης το IMAGINE 8.3.1 έχει μικρότερη διαφοροποίηση στις διαφορές από τον ταχύτερο στον βραδύτερο χρόνο.

Φίλτρο μέσης τιμής	3x3	5x5	7x7
IDRISI32	00:03,9	00:09,0	00:16,8
IMAGINE 8.3.1	00:05,5	00:06,6	00:09,5

Πίνακας 4.1: Χρόνοι για την εφαρμογή του φίλτρου μέσης τιμής



Διάγραμμα 4.1: χρόνοι για την εφαρμογή του φίλτρου μέσης τιμής

Ακολούθως, μετρήθηκε η ταχύτητα εφαρμογής του φίλτρου Gaussian. Το συγκεκριμένο φίλτρο δεν παρέχεται άμεσα από το IMAGINE 8.3.1, αλλά η μήτρα εφαρμογής είναι δυνατό να δημιουργηθεί από το χρήστη. Έτσι οι μετρήσεις που ελήφθησαν αναφέρονται μόνο στο IDRISI32. Οπτικά τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου φίλτρου φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 4.7: Εφαρμογή του φίλτρου Gaussian
5x5



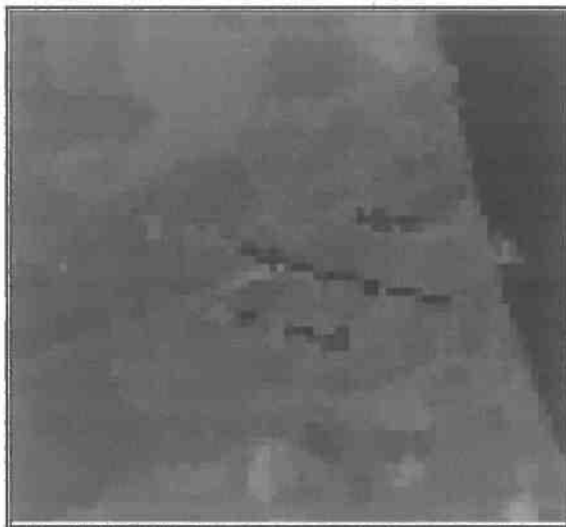
Εικόνα 4.8: Εφαρμογή του φίλτρου Gaussian
7x7

Το Gaussian φίλτρο ελαττώνει επίσης τη ευκρίνεια της εικόνας, περιορίζοντας αρκετά την εμφάνιση των διαγώνιων γραμμών που οφείλονται στο σφάλμα του σαρωτή. Οι χρόνοι εκτέλεσης του Gaussian φίλτρου για τις δύο μήτρες 5x5 και 7x7 παρουσιάζονται παρακάτω:

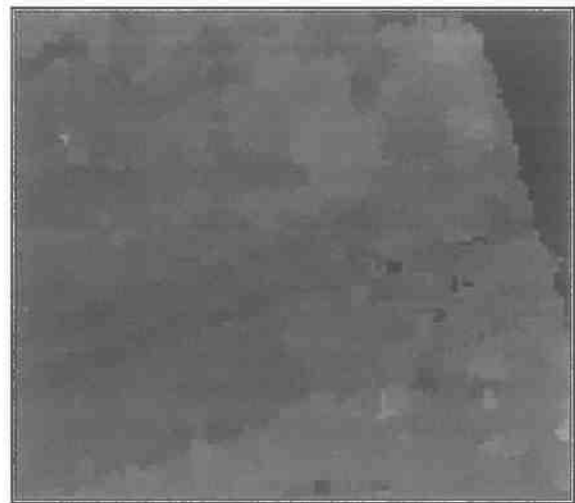
Gaussian Φίλτρο	5x5	7x7
IDRISI32	00:09,0	00:16,8

Πίνακας 4.2: Χρόνοι για την εφαρμογή του Gaussian φίλτρου

Το επόμενο φίλτρο που αναλύθηκε είναι το φίλτρο επικρατούσας τιμής (Mode filter). Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του σε διάφορα μεγέθη μήτρας φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 4.9: Εφαρμογή Mode φίλτρου 3x3



Εικόνα 4.10: Εφαρμογή Mode φίλτρου 5x5



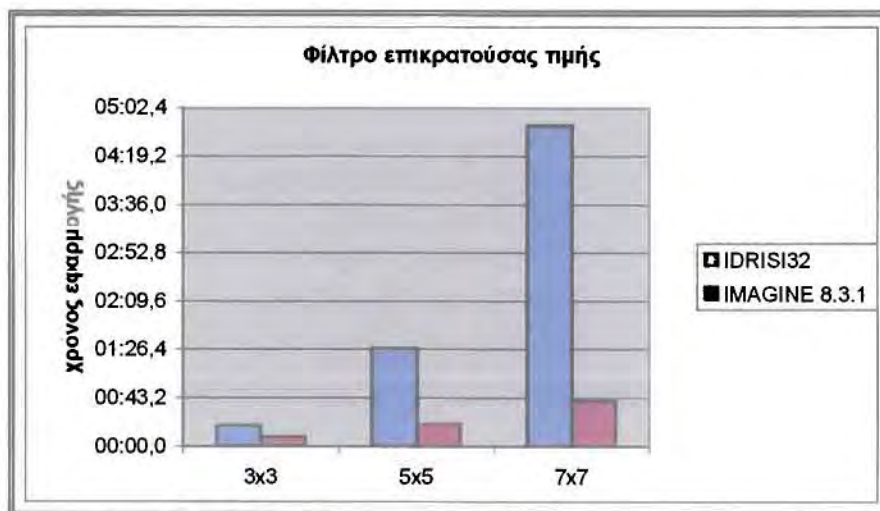
Εικόνα 4.11: Εφαρμογή Mode φίλτρου 7x7

Η εφαρμογή του φίλτρου επικρατούσας τιμής ήταν η πιο απαιτητική από πλευρά επεξεργαστικής ισχύς. Οι χρόνοι επεξεργασίας ήταν κατά πολύ μεγαλύτεροι σε σχέση με άλλα φίλτρα που αναλύθηκαν. Οι χρόνοι παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα που ακολουθεί:

Mode φίλτρο	3x3	5x5	7x7
IDRISI32	00:18,5	01:27,5	04:46,0
IMAGINE 8.3.1	00:07,9	00:19,8	00:40,5

Πίνακας 4.3: Χρόνοι για την εφαρμογή του φίλτρου επικρατούσας τιμής

Στην εφαρμογή του φίλτρου επικρατούσας τιμής το IMAGINE 8.3.1 προηγείται του IDRISI32 και στις τρεις περιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, στην εφαρμογή του φίλτρου με πίνακα 3x3 χρειάζεται το 42,7% του χρόνου που χρειάζεται το IDRISI32. Η διαφορά αυξάνεται στις περιπτώσεις μεγαλύτερου πίνακα (5x5 και 7x7) και συγκεκριμένα το IMAGINE 8.3.1 χρειάζεται το 20,3% και 15,3% του χρόνου που χρειάζεται το IDRISI32 αντίστοιχα. Παραστατικά φαίνονται οι διαφορές στο διάγραμμα που ακολουθεί:



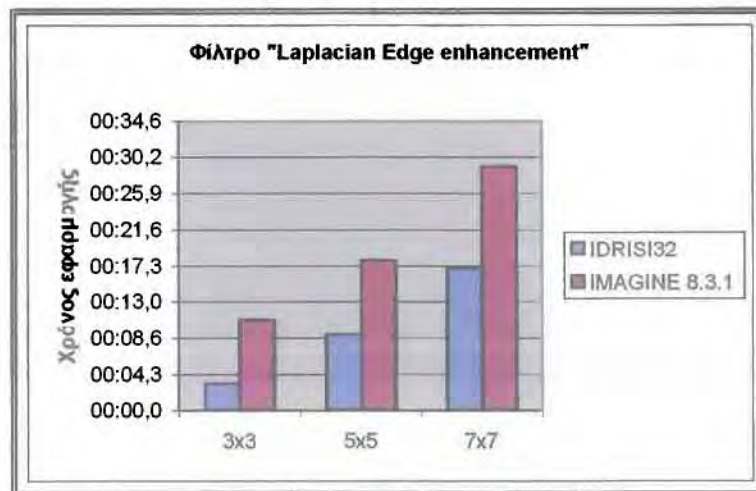
Διάγραμμα 4.2: χρόνοι για την εφαρμογή του φίλτρου μέσης τιμής

Στην κατηγορία των φίλτρων ανίχνευσης ακμών (edge detectors) εξετάστηκε τα φίλτρο “Laplacian edge enhancement”. Το συγκεκριμένο φίλτρο υπάρχει και στο IMAGINE 8.3.1 αλλά με μικρή διαφοροποίηση στη μορφή του πίνακα. Έτσι δημιουργήθηκε χειροκίνητα ο ίδιος ακριβώς πίνακας προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μέτρηση. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι χρόνοι εκτέλεσης του φίλτρου και στα δύο λογισμικά:

Laplacian Edge Enh.	3x3	5x5	7x7
IDRISI32	00:03,2	00:09,0	00:17,0
IMAGINE 8.3.1	00:10,7	00:17,8	00:29,1

Πίνακας 4.4: Χρόνοι για την εφαρμογή του Laplacian Edge Enhancement φίλτρου

Από τον πίνακα βλέπουμε ότι το IDRISI32 είναι ταχύτερο από το IMAGINE 8.3.1 και στις τρεις περιπτώσεις εφαρμογής του φίλτρου. Συγκεκριμένα στην περίπτωση εφαρμογής του φίλτρου με πίνακα 3x3, το IDRISI32 χρειάζεται το 29,9% του χρόνου που χρειάζεται το IMAGINE 8.3.1. Σε περίπτωση εφαρμογής πίνακα 5x5 χρειάζεται αντίστοιχα το 50%. Τέλος σε εφαρμογή του φίλτρου με πίνακα 7x7 ο χρόνος που χρειάζεται το IDRISI32 αντιστοιχεί στο 58,4% του IMAGINE 8.3.1. Εποπτικά οι διαφορές αυτές παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:

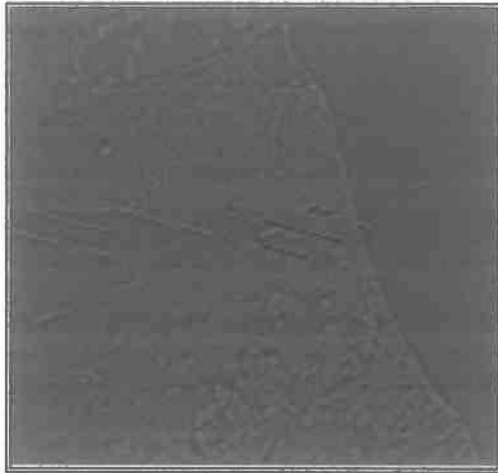


Διάγραμμα 4.3: χρόνοι για την εφαρμογή του φίλτρου Laplacian edge enhancement

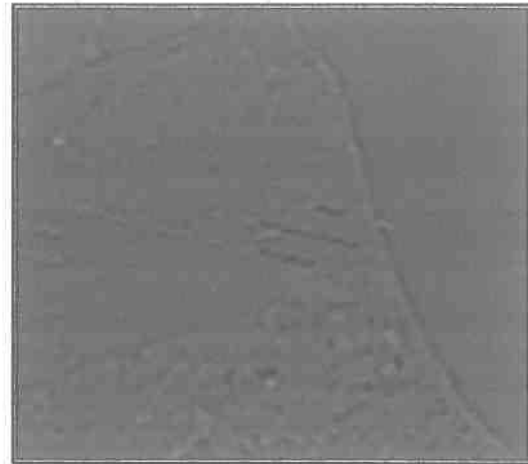
Στην περίπτωση της εικόνας με το συγκεκριμένο σφάλμα η εφαρμογή του φίλτρου ανάδειξης ακμών δεν εξαλείφει το σφάλμα, αλλά αντίθετα το αναδεικνύει. Αντίστοιχα και στους μεγαλύτερους πίνακες εφαρμογής (3x3 και 7x7) το σφάλμα δεν εξαλείφεται ενώ αντίθετα γίνεται πιο έντονο.



Εικόνα 4.12: Φίλτρο Laplacian edge enhancement 3x3

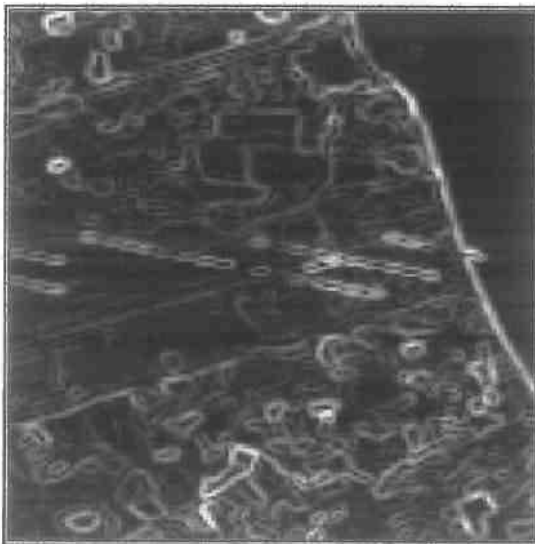


Εικόνα 4.13: Φίλτρο Laplacian edge enhancement 5x5



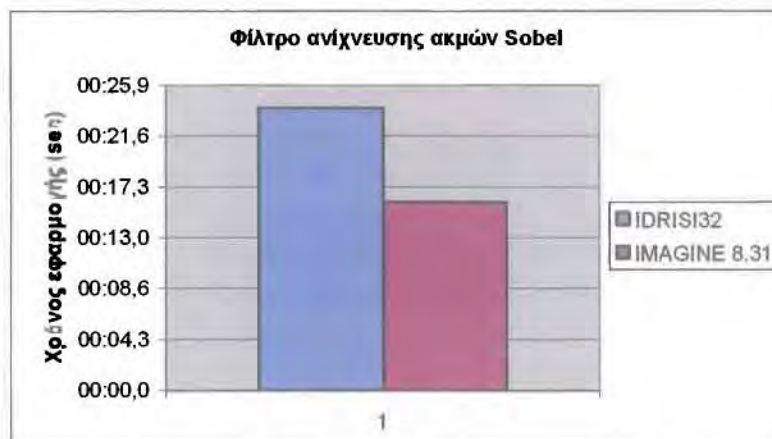
Εικόνα 4.14: Φίλτρο Laplacian edge enhancement 7x7

Επίσης στην ίδια κατηγορία ανίχνευσης ακμών (Edge detection filters) ανήκει και το φίλτρο “Sobel Edge Detector. Η εικόνα που προέκυψε από την εφαρμογή του Sobel φίλτρου είναι η παρακάτω:



Εικόνα 4.15:
Εφαρμογή του φίλτρου ανίχνευσης ακμών
“Sobel Edge Detector”

Οι χρόνοι που προέκυψαν από την εφαρμογή του φίλτρου ήταν 24 δευτερόλεπτα για το IDRISI32 και 16 δευτερόλεπτα για το IMAGINE 8.3.1. Άρα το IMAGINE 8.3.1 χρειάζεται το 66,7% του χρόνου που απαιτεί το IDRISI32 για την εφαρμογή του φίλτρου Sobel. Στην περίπτωση του σφάλματος που παρουσίαζε η εικόνα, το φίλτρο όπως ήταν αναμενόμενο για τον τύπο του, όχι μόνο δεν το ελάττωσε αλλά το έκανε περισσότερο διακριτό.



Διάγραμμα 4.4: χρόνοι για την εφαρμογή του φίλτρου Sobel Edge Detector

Και τα δύο λογισμικά, προσφέρουν ένα μεγάλο σύνολο από έτοιμα προς εφαρμογή φίλτρα, ενώ και τα δύο δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας του πίνακα από τον χρήστη με τα αντίστοιχα εργαλεία. Στην περίπτωση δημιουργίας του πίνακα, το IDRISI32 παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας ενός πίνακα με όριο 255x255 γραμμές και στήλες αντίστοιχα. Ακόμα έχει περιορισμένα εργαλεία για τη διαχείριση του πίνακα αυτού. Αντίθετα το IMAGINE 8.3.1 δεν θέτει περιορισμό στο μέγεθος του πίνακα που μπορεί να εισάγει ο χρήστης, ενώ παρέχει και αρκετά εργαλεία διαχείρισης του πίνακα αυτού, όπως αντιγραφή και επικόλληση, αντικατάσταση, περιστροφή και αναστροφή, τόσο σε επίπεδο γραμμών ή στηλών όσο και σε επίπεδο κελιών μεμονωμένα. Όσον αφορά την ταχύτητα εφαρμογής των διάφορων φίλτρων, οι ταχύτεροι χρόνοι είναι μοιρασμένοι και μόνο στην περίπτωση εφαρμογής του φίλτρου επικρατούσας τιμής (Mode filter) το IMAGINE 8.3.1 υπερείχε σημαντικά ως προς την ταχύτητα εφαρμογής του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Γεωδαιτήσεις

5.1. Γεωδαίτηση με το IMAGINE 8.3.1

Η διαδικασία της Γεωδαίτησης ή της Γεωμετρικής Διόρθωσης με τη χρήση του IMAGINE 8.3.1 εμπεριέχει την ακολουθία των παρακάτω βημάτων:

1. Εύρεση φωτοσταθερών σημείων (Ground Control Points)
2. Υπολογισμός και έλεγχος του πίνακα μετασχηματισμού
3. Δημιουργία της νέας εικόνας ως αρχείου, με όλες της πληροφορίες του νέου Συστήματος αναφοράς, τις Συντεταγμένες σε Χάρτη (Map Coordinates) καθώς και το μέγεθος της επιφάνειας που αναφέρεται σε κάθε εικονοστοιχείο.(πηγή: ERDAS FIELD GUIDE)

Τα Φωτοσταθερά σημεία είναι συγκεκριμένα εικονοστοιχεία σε μια εικόνα, για τα οποία είναι γνωστές οι γεωγραφικές τους συντεταγμένες και γενικότερα οι συντεταγμένες τους σε κάποιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς. Αναφέρονται σε δύο ζεύγη συντεταγμένων X,Y,

- A) τις συντεταγμένες των σημείων στην εικόνα που θα γεωδαιτηθεί (συντεταγμένες αρχείου – η αρχή των αξόνων ορίζεται στην επάνω αριστερά γωνία της εικόνας)
- B) τις πραγματικές γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων στην εικόνα αναφοράς ή σε κάποιον χάρτη (reference coordinates) βάσει των οποίων θα γίνει ο γεωμετρικός μετασχηματισμός της εικόνας.

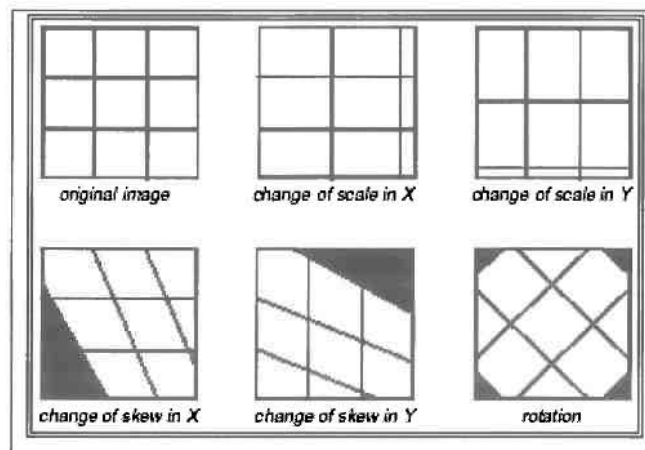
Στο IMAGINE κάθε εικόνα (σε native format “*.img”) μπορεί να περιέχει ένα σετ φωτοσταθερών σημείων αποθηκευμένο. Δηλαδή στο ίδιο αρχείο μπορεί να αποθηκευτούν, πέρα από τις πληροφορίες του πίνακα με τα εικονοστοιχεία, και επιπλέον πληροφορίες για τα επιλεγμένα φωτοσταθερά σημεία. Η εισαγωγή των συντεταγμένων μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικούς τρόπους: α)στην περίπτωση που είναι γνωστές εκ των προτέρων (πχ. από επιτόπια καταγραφή με τη χρήση GPS) μπορούν να πληκτρολογηθούν απ’ ευθείας από τον χρήστη, β)ανοίγοντας δύο παράθυρα στην οθόνη στα οποία θα απεικονίζονται η αρχική εικόνα και η εικόνα ή χάρτης αναφοράς, και επιλέγοντας με το ποντίκι του υπολογιστή τα φωτοσταθερά σημεία αντίστοιχα και στις δύο εικόνες, θα καταχωρούνται οι συντεταγμένες τους, και γ)με τη χρήση πινακίδας ψηφιοποίησης, εγγράφοντας την εικόνα σε έναν έντυπο

χάρτη. Τα φωτοσταθερά σημεία που έχουν εισαχθεί με το ποντίκι αποθηκεύονται απ'ευθείας στο αρχείο της εικόνας (το αρχείο με κατάληξη *“.img”*). Τα σημεία που εισάγονται με τους δύο άλλους τρόπους αποθηκεύονται σε ένα ξεχωριστό αρχείο με τη μορφή *“όνομα αρχείου.gcc”* (πηγή: ERDAS FIELD GUIDE).

Για τη μετατροπή των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σημείων σε κανονικές συντεταγμένες χάρτη, χρησιμοποιούνται πολυωνυμικές εξισώσεις. Ανάλογα με τον αριθμό των φωτοσταθερών σημείων που έχουν επιλεγεί, και ανάλογα με την παραμόρφωση της εικόνας, χρειάζεται να επιλυθούν πολύπλοκες πολυωνυμικές συναρτήσεις. Η πολυπλοκότητα των συναρτήσεων εκφράζεται από την τάξη της συνάρτησης. Το ERDAS IMAGINE επιτρέπει, σε αντίθεση με το IDRISI32, τη χρήση μέχρι n -οστής τάξης πολυωνυμικές εξισώσεις (το IDRISI32 επιτρέπει τη χρήση μέχρι 3^{ης} τάξης), αν και στην πλειοψηφία των περιπτώσεων χρησιμοποιούνται εξισώσεις 1^{ης} και 2^{ης} τάξης για το μετασχηματισμό των εικόνων.

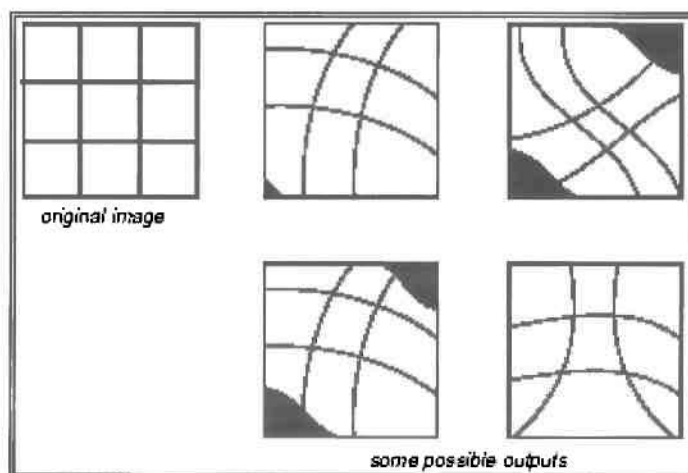
Πολυωνυμικές εξισώσεις 1^{ης} τάξης (γραμμικός μετασχηματισμός) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προβολή μιας ανεπεξέργαστης εικόνας σε ένα επίπεδο προβολικό σύστημα, για τη μετατροπή ενός επίπεδου προβολικού συστήματος σε ένα άλλο επίσης επίπεδο προβολικό σύστημα. Επίσης χρησιμοποιούνται για το μετασχηματισμό σχετικά μικρών περιοχών απεικόνισης. Με το Γραμμικό μετασχηματισμό μπορεί να επιτευχθεί η:

- Αλλαγή θέσης στον άξονα X ή/και Y
- Αλλαγή κλίμακας στον άξονα X ή/και Y
- Άλλαγή ασυμμετρίας στον άξονα X ή/και Y
- Περιστροφή της εικόνας



Εικόνα 5.1:
Παράδειγμα Γραμμικού
μετασχηματισμού (πηγή:
ERDAS Field Guide)

Οι πολυωνυμικές εξισώσεις 2^{ης} τάξης (τετραγωνικός μετασχηματισμός) χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση μη-γραμμικών παραμορφώσεων, για τη μετατροπή συντεταγμένων μή επίπεδου προβολικού συστήματος σε συντεταγμένες σε επίπεδο, για τη μετατροπή εικόνων που καλύπτουν μια μεγάλη γεωγραφικά περιοχή (λαμβάνοντας υπόψη τη γήινη καμπυλότητα) και για τη γεωμετρική διόρθωση σφαλμάτων που οφείλονται στο φακό του ανιχνευτή. Οι πολυωνυμικές εξισώσεις 3^{ης} τάξης χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση παραμορφωμένων αεροφωτογραφιών ή τη διόρθωση στρεβλωμένων κατά την ψηφιοποίηση χαρτών. Εξισώσεις 4^{ης} τάξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολύ παραμορφωμένες αεροφωτογραφίες (πηγή: ERDAS FIELD GUIDE).



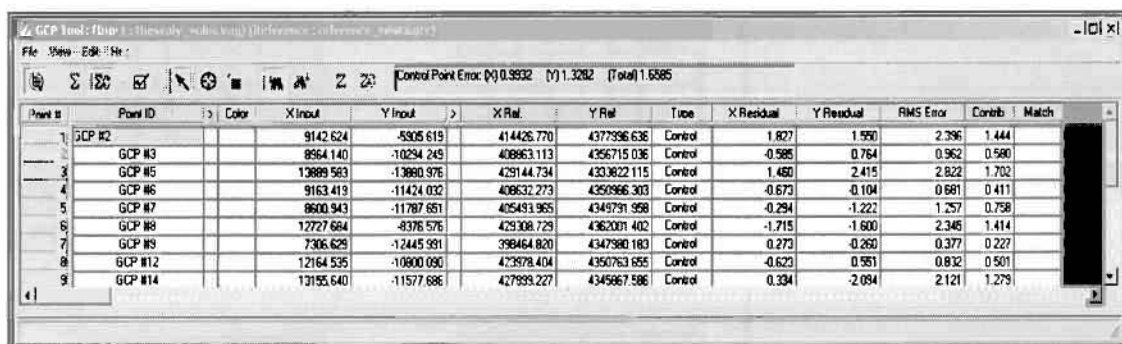
Εικόνα 5.2:
Μη-γραμμικός μετασχηματισμός
(Erdas Field Guide)

Όπως φαίνεται και από τους πίνακες παρακάτω, ο υπολογισμός και η επίλυση πολυωνυμικών εξισώσεων μεγαλύτερης τάξης, είναι πιο πολύπλοκος από ότι σε εξισώσεις χαμηλότερης τάξης. Ο ελάχιστος αριθμός φωτοσταθερών σημείων εξαρτάται από την τάξη της πολυωνυμικής εξίσωσης που θα χρησιμοποιηθεί. Σαν ελάχιστα θεωρούνται τα τρία σημεία για εξισώσεις 1^{ης} τάξης (γραμμικό μετασχηματισμό), τα 6 για εξισώσεις 2^{ης} τάξης, και τα 10 σημεία για εξισώσεις 3^{ης} τάξης. Στην πράξη και κατά περίπτωση χρησιμοποιείται διπλάσιος αριθμός φωτοσταθερών σημείων τουλάχιστον. Επειδή τα σημεία είναι αδύνατο να εντοπιστούν με απόλυτη ακρίβεια, το πρόγραμμα υπολογίζει τη μέση απόκλιση του καθενός σε σχέση με τα υπόλοιπα, πάνω στη νέα εικόνα που θα έχει υποστεί τη διόρθωση. Ουσιαστικά αφορά την απόκλιση που θα έχει κάθε εικονοστοιχείο ως προς το αντίστοιχο με τις παλιές συντεταγμένες, αν σε αυτό εφαρμοστεί ο πίνακας

γεωμετρικού μετασχηματισμού (Calculation Matrix). Το σφάλμα αυτό ονομάζεται Μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS (Root Mean Square) και εκφράζεται από τον τύπο:

$$\text{RMS error} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Το σφάλμα RMS εκφράζεται ως απόσταση αναφοράς στο χρησιμοποιούμενο σύστημα συντεταγμένων. Αν χρησιμοποιούνται συντεταγμένες αρχείου, τότε το RMS εκφράζει απόσταση μεταξύ εικονοστοιχείων, πχ. RMS=2 σημαίνει ότι το εικονοστοιχείο στην μετασχηματισμένη απέχει δύο εικονοστοιχεία μακριά από το αντίστοιχο στη γεωδαιτημένη. Αντίστοιχα εάν χρησιμοποιούνται συντεταγμένες χάρτη το RMS εκφράζει απόσταση σε μονάδες μήκους ανάλογα με την εικόνα που χρησιμοποιείται και την ενδεχόμενη διακριτική ικανότητα. Για παράδειγμα σε εικόνες του δορυφόρου IRS, με διακριτική ικανότητα 5.8m, ένα RMS σφάλμα ίσο με 2, σημαίνει απόκλιση 11,6m.



Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	X Ref.	Y Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error	Contrib	Match
1	GCP #2		9142.624	-5305.619	414426.770	4377396.636	Control	1.827	1.950	2.396	1.444	
2	GCP #3		8564.140	-10234.245	408963.113	4356715.036	Control	-0.585	0.764	0.962	0.980	
3	GCP #5		13889.563	-13880.976	429144.734	4333822.115	Control	1.460	2.415	2.822	1.702	
4	GCP #6		9163.413	-11424.032	408632.273	4350966.303	Control	-0.673	-0.104	0.681	0.411	
5	GCP #7		8600.943	-11787.651	405493.965	4349791.958	Control	-0.294	-1.222	1.257	0.758	
6	GCP #8		12727.664	-8376.576	429308.729	4362001.402	Control	-1.715	-1.600	2.346	1.414	
7	GCP #9		7306.629	-12445.991	398464.820	4347980.183	Control	0.272	-0.260	0.377	0.227	
8	GCP #12		12164.535	-10800.090	423878.404	4350763.655	Control	-0.622	0.581	0.832	0.501	
9	GCP #14		13155.640	-11577.686	427993.227	4345667.586	Control	0.334	-2.094	2.121	1.273	

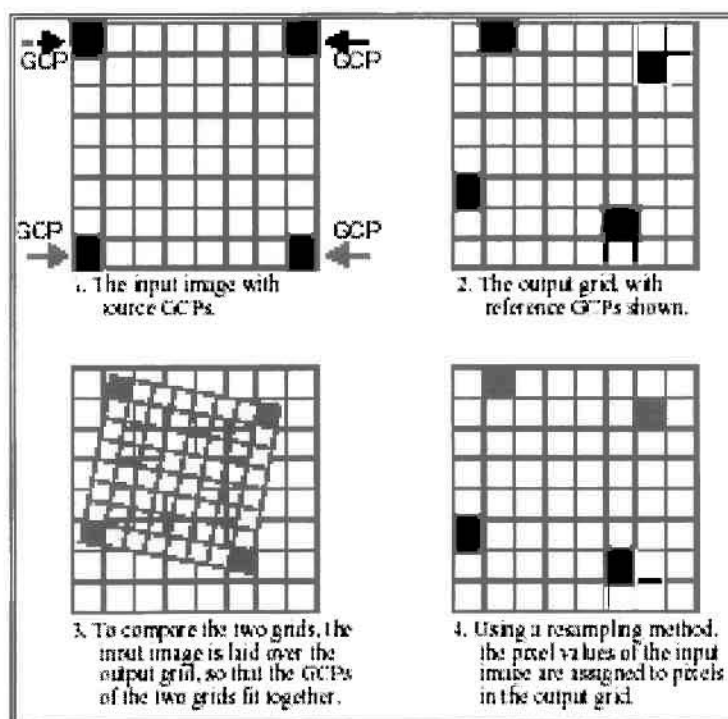
Εικόνα 5.3: Παράδειγμα χρήσης του GCP Tool στο ERDAS IMAGINE με τα φωτοσταθερά σημεία που έχουν επιλεγεί

Το ERDAS IMAGINE παρέχει ένα πολύ δυνατό εργαλείο για την εισαγωγή και επεξεργασία των φωτοσταθερών σημείων, το GCP Tool. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει τα φωτοσταθερά με απ'ευθείας ψηφιοποίηση και το GCP Tool υπολογίζει ταυτόχρονα το σφάλμα RMS για κάθε σημείο καθώς και την συνεισφορά του καθενός στο συνολικό RMS. Δίνει τη δυνατότητα αυτόματης εισαγωγής φωτοσταθερών σημείων (GCP Prediction), με το χρήστη να επιλέγει το σημείο και το GCP Tool να βρίσκει αυτόματα το σημείο στην γεωδαιτημένη εικόνα παρέχοντας την ευχέρεια στο χρήστη να επιλέξει εάν θα κρατήσει το συγκεκριμένο σημείο ως έχει ή

θα το διορθώσει χειροκίνητα. Επίσης παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής επιμέρους στηλών είτε με τις συντεταγμένες, είτε με το RMS, με τη μορφή αρχείου κειμένου ASCII.

Αφού έχουν επιλεγεί τα φωτοσταθερά σημεία, επόμενο βήμα είναι ο μετασχηματισμός της εικόνας. Το ERDAS IMAGINE 8.3.1 παρέχει τρεις μεθόδους μετατροπής (Resampling) των εικονοστοιχείων για την εγγραφή της εικόνας στη μήτρα μετασχηματισμού:

- Μέθοδος πλησιέστερου γειτονικού σημείου (Nearest Neighbor), η οποία δίνει στο εικονοστοιχείο την τιμή του κοντινότερου σε αυτό.
- Η μέθοδος Διγραμμικής Παρεμβολής (Bilinear Interpolation) ή οποία δίνει στο εικονοστοιχείο την τιμή που υπολογίζει από 4 εικονοστοιχεία, από ένα παράθυρο 2X2.
- Η μέθοδος κυβικής συνέλιξης (Cubic Convolution) που δίνει την τιμή υπολογίζοντας από 16 εικονοστοιχεία σε ένα παράθυρο 4X4.



Εικόνα 5.4:

Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας μετατροπής της εικόνας με εγγραφή της στη μήτρα μετασχηματισμού (Πηγή: Erdas Field Guide)

Εφαρμογή:

Από το αρχικό παράθυρο του προγράμματος επιλέγουμε αντίστοιχα το module “DataPrep” και στη συνέχεια στο μενού που εμφανίζεται, επιλέγουμε “Image

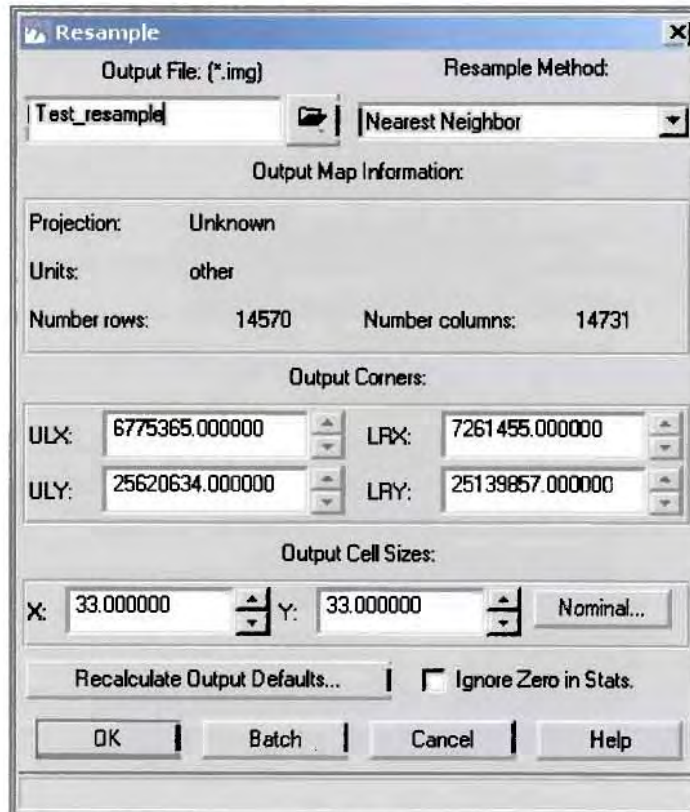
Geometric Correction”. Στη συνέχεια δηλώνουμε ποια εικόνα επιθυμούμε να διορθώσουμε, καθώς και το γεωμετρικό μοντέλο που θα εφαρμοστεί. Η επιλογή του γεωμετρικού μοντέλου αναφέρεται σε ορισμένα έτοιμα πρότυπα που παρέχει το IMAGINE 8.3.1, όπως Affine, Camera, Landsat, τα οποία επιτελούν ορισμένες συγκεκριμένου τύπου διορθώσεις όπως περιστροφή ή αλλαγή κλίμακας (το Affine), γεωμετρικές διορθώσεις που οφείλονται στην καμπυλότητα του φακού του ανιχνευτή (Camera). Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται το “Polynomial” το οποίο χρησιμοποιεί πολυωνυμικές εξισώσεις μετασχηματισμού για την μετατροπή και την εγγραφή εικόνων σε διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων. Κατόπιν πρέπει να επιλεγούν οι ιδιότητες του πολυωνυμικού μοντέλου όπως η τάξη της πολυωνυμικής εξίσωσης που θα χρησιμοποιηθεί, καθώς και το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιείται. Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι όπως και το IDRISI32, το IMAGINE 8.3.1 δεν έχει στη βιβλιοθήκη του το ελληνικό ΕΓΣΑ87, και πρέπει να δημιουργηθεί από το χρήστη. Γι’ αυτό επιλέγουμε “Add/Change Projection” και “Projection Chooser” – “custom” για να δηλώσουμε ένα καινούργιο προβολικό σύστημα, στην περίπτωση αυτή το ΕΓΣΑ87. Τα συγκεκριμένα στοιχεία που δηλώνουμε για τη δημιουργία του ΕΓΣΑ87 φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 5.5: Δημιουργία στο IMAGINE του προβολικού συστήματος ΕΓΣΑ87

Στη συνέχεια πρέπει να δηλωθούν τα φωτοσταθερά σημεία, αν θα ψηφιοποιηθούν απ’ ευθείας ή θα εισαχθούν από προϋπάρχοντα αρχεία συντεταγμένων. Ανάλογα με το

ποια διαδικασία θα πραγματοποιηθεί και αφού έχει επιτευχθεί ένα ανεκτό σφάλμα RMS, επιλέγουμε το παράθυρο διαλόγου για τη μετατροπή της εικόνας. Σε αυτό ζητείται να επιλέξουμε ένα όνομα για το αρχείο που θα δημιουργηθεί καθώς και η θέση στο δίσκο που θα αποθηκευτεί. Κατόπιν επιλέγουμε μια από τις τρεις μεθόδους μετατροπής των εικονοστοιχείων (nearest Neighbor, Bilinear Interpolation, Cubic Convolution).



Εικόνα 5.6:
Παράθυρο διαλόγου
RESAMPLE και επιλογή
μεθόδου μετατροπής

5.2. Διαδικασία γεωμετρικής διόρθωσης με τη γρήση του IDRISI32

Η διαδικασία γεωμετρικού μετασχηματισμού για τη γεωδαίτηση μιας εικόνας, πραγματοποιείται με το υποπρόγραμμα RESAMPLE. Το RESAMPLE αναλαμβάνει να μετατρέψει το πλέγμα της αρχικής εικόνας (μη γεωδαιτημένης) και να το ανάγει με μια διαδικασία στρέβλωσης, σε ένα νέο πλέγμα σε γνωστό σύστημα αναφοράς (πχ. ΕΓΣΑ87). Για τη διαδικασία αυτή, εφαρμόζονται πολυωνυμικές εξισώσεις μετασχηματισμού, που μπορεί να είναι γραμμικές (πρώτης τάξης), τετραγωνικές (δευτέρας τάξης) ή κυβικές (τρίτης τάξης). Στο νέο πλέγμα που θα δημιουργηθεί, στο κάθε εικονοστοιχείο θα δοθεί μια τιμή βάσει μιας μετατροπής (Interpolation) α) "κοντινότερου σημείου" (nearest neighbor), όπου κάθε εικονοστοιχείο στη νέα εικόνα θα πάρει τη ραδιομετρική τιμή του κοντινότερου σε αυτό στη γεωδαιτημένη εικόνα., και β) η "διγραμμική μέθοδος" (bilinear) στην οποία οι συντεταγμένες του σημείου υπολογίζονται από τον μέσο όρο των συντεταγμένων των τεσσάρων κοντινότερων εικονοστοιχείων σε αυτό (πηγή: Αρχείο βοήθειας Προγράμματος IDRISI32).

Το Γεωδαιτικό Σύστημα αναφοράς στο οποίο θα γίνει η μετατροπή της εικόνας είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87), το οποίο δεν υφίσταται στις επιλογές που παρέχει το IDRISI32 και πρέπει να δημιουργηθεί ένα αρχείο αναφοράς (Reference file) που να περιέχει τα χαρακτηριστικά αυτού. Το αρχείο αυτό είναι απλό κείμενο ASCII με μορφή "*όνομα αρχείου.ref*" και η δομή του είναι η εξής:

```
ref. system : Transverse Mercator (TM)
projection  : Transverse Mercator (TM)
datum      : GRS 80
delta WGS84 : -199,72 74,03 243,02
ellipsoid   : GRS 80
major s-ax  : 6378137.000
minor s-ax  : 6356752.314
origin long : 24 E
origin lat  : 0 N
origin X    : 500000 E
origin Y    : 0 N
scale fac   : 0.9996
units      : m
parameters : 0
```

Για να γίνει η γεωμετρική διόρθωση της εικόνας απαιτείται ο εντοπισμός φωτοσταθερών σημείων (Ground Control Points, GCPs), τα οποία είναι δυνατό να εντοπιστούν και στην εικόνα αναφοράς και στην προς γεωδαίτηση εικόνα. Τα σημεία αυτά μπορεί να είναι διασταυρώσεις οδών ή σημεία της ακτογραμμής, σημεία δηλαδή που θα είναι εύκολα αναγνωρίσιμα και στις δυο εικόνες. Ο αριθμός των φωτοσταθερών σημείων εξαρτάται από την πολωνυμική εξίσωση που θα ακολουθήσει το RESAMPLE. Στην γραμμική απαιτούνται το λιγότερο 3 φωτοσταθερά σημεία, στην τετραγωνική απαιτούνται 6 το λιγότερο σημεία, ενώ στην κυβική αντίστοιχα το λιγότερο 10 σημεία.

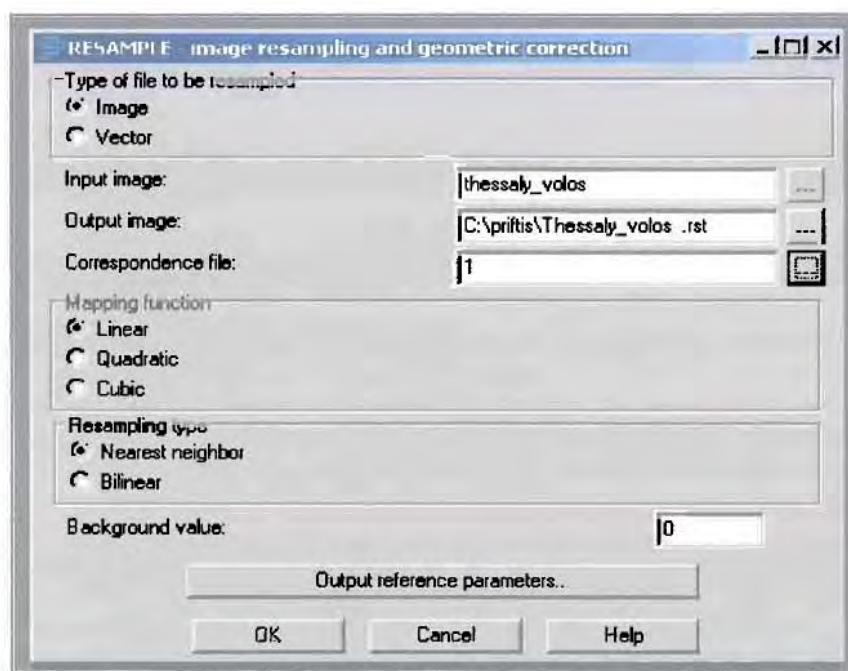
Το RESAMPLE απαιτεί την δημιουργία ενός αρχείου ονόματι Correspondence το οποίο θα περιέχει τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων τόσο στην αρχική εικόνα όσο και στην εικόνα αναφοράς. Το αρχείο αυτό είναι τύπου ASCII, έχει μορφή τύπου “*όνομα αρχείου.cor*” και η δομή του είναι τυποποιημένη. Αποτελείται από τέσσερις στήλες η οποίες διαχωρίζονται από κενό (space character) και οι οποίες περιγράφουν τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων. Αντίστοιχα οι γραμμές θα είναι όσες και τα φωτοσταθερά σημεία. Συγκεκριμένα οι δύο πρώτες στήλες έχουν τις συντεταγμένες X και Y του εκάστοτε σημείου στην αρχική εικόνα, ενώ η τρίτη και η τέταρτη στήλη έχουν τις συντεταγμένες του σημείου αντίστοιχα στην εικόνα αναφοράς. Στην πρώτη γραμμή και πάνω αριστερά εγγράφεται ο αριθμός των φωτοσταθερών σημείων. Παράδειγμα αρχείου Αντιστοιχίας (correspondence file) είναι το παρακάτω, με το οποίο και ολοκληρώθηκε η διαδικασία της γεωμετρικής διόρθωσης.

10				
	9142.623731	-5905.619312	414426.769657944	4377996.63636513
	8964.14035340914	-10294.2491303236	408863.113305428	4356715.03553154
	13889.5831979556	-13880.9757035908	429144.733524415	4333822.11514704
	9163.4191312552	-11424.0319806575	408632.272899472	4350966.30256625
	8600.94316601323	-11787.6514282756	405493.965124198	4349791.95831278
	12727.6843944004	-8376.57563847447	429308.728919812	4362001.40166469
	7306.62937236475	-12445.9913538161	398464.820418453	4347980.16325171
	12164.5351083278	-10800.089817957	423978.403578058	4350763.65520247
	13155.6401811658	-11577.8862648695	427999.226524017	4345867.58591541
	8943.79525397051	-10289.4999395956	408770.690802682	4356755.99800993

Έχουν επιλεγεί δέκα φωτοσταθερά σημεία, ενώ μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι συντεταγμένες των σημείων στην πρώτη εικόνα έχουν αρνητικά πρόσημα. Αυτό οφείλεται στο ότι σε μια μη γεωδαιτημένη εικόνα το IDRISI32 δίνει συντεταγμένες αρχείου (Map Coordinates) και κατ' επέκταση ορίζει αρχή του άξονα X το πρώτο εικονοστοιχείο της εικόνας επάνω αριστερά, και αντίστοιχα στον άξονα Y επίσης το πρώτο εικονοστοιχείο επάνω αριστερά, δίνοντας αρνητικό πρόσημο σε όλα τα εικονοστοιχεία κατά τον άξονα Y.

Η εικόνα που γεωδαιτήθηκε με τη διαδικασία του RESAMPLE προέρχεται από τον δορυφόρο IRS-1C και συγκεκριμένα από τον Παγχρωματικό Ανιχνευτή (PAN) που καλύπτει την ορατή περιοχή του φάσματος (500-750nm) και έχει διακριτική ικανότητα 5,8m. Η εικόνα αυτή είναι η ίδια που χρησιμοποιήθηκε και στο IMAGINE 8.3.1 και περιγράφεται στη σελίδα 51.

Για την έναρξη της διαδικασίας RESAMPLE, ζητείται η αρχική εικόνα, η οποία είναι σε μορφή ασυμπιεστού raster (που ουσιαστικά είναι μια μήτρα με αριθμό γραμμών και στηλών ίσο με τις γραμμές και τις στήλες της εικόνας, και στην οποία σε κάθε κελί δίνεται μια τιμή ίση με τη ραδιομετρική τιμή του αντίστοιχου εικονοστοιχείου στην εικόνα). Κατόπιν ζητείται ένα όνομα για το νέο αρχείο που θα δημιουργηθεί, καθώς και το Αρχείο Αντιστοιχείας (Correspondence file), με τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων. Στη συνέχεια ζητείται να επιλεγεί η πολυωνυμική εξίσωση για τον μετασχηματισμό. Για τη συγκεκριμένη εικόνα και τον συγκεκριμένο αριθμό φωτοσταθερών σημείων, επιλέχθηκε ο Γραμμικός (bilinear) μετασχηματισμός, ο οποίος παρέχει διόρθωση σε ολόκληρη την εικόνα χωρίς σοβαρά σφάλματα στα άκρα της. Αφού επιλεγεί η εξίσωση μετασχηματισμού, επιλέγεται και η διαδικασία μετατροπής (interpolation) των ραδιομετρικών τιμών των εικονοστοιχείων από την αρχική εικόνα στην καινούργια. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε η μέθοδος του κοντινότερου σημείου (nearest neighbor).



Εικόνα 5.7:

Το αρχικό παράθυρο για τη διαδικασία RESAMPLE με τις επερωτήσεις για τον τύπο πολυωνυμικής εξίσωσης που θα χρησιμοποιηθεί και τον τύπο μετατροπής των εικονοστοιχείων

Το επόμενο βήμα είναι να ορίσουμε τις παραμέτρους για την τελική εικόνα (Output Reference Parameters), και συγκεκριμένα θα πρέπει να οριστούν οι συντεταγμένες των άκρων της εικόνας καθώς και το γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων. Τα σημεία των άκρων επιλέγονται από την γεωδαιτημένη εικόνα και αναφέρονται σε συντεταγμένες στο νέο σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ87). Αυτά είναι τα εξής:

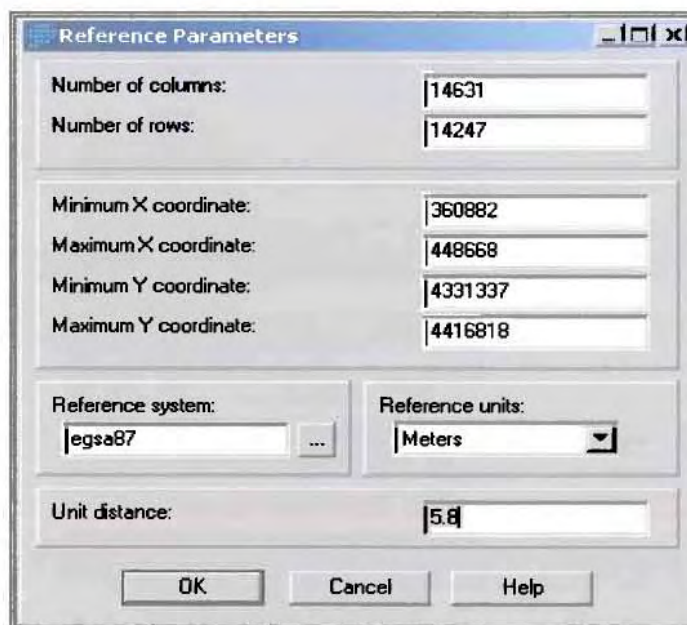
Minimum X: 360881

Maximum X: 448668

Minimum Y: 4331337

Maximum Y: 4416819

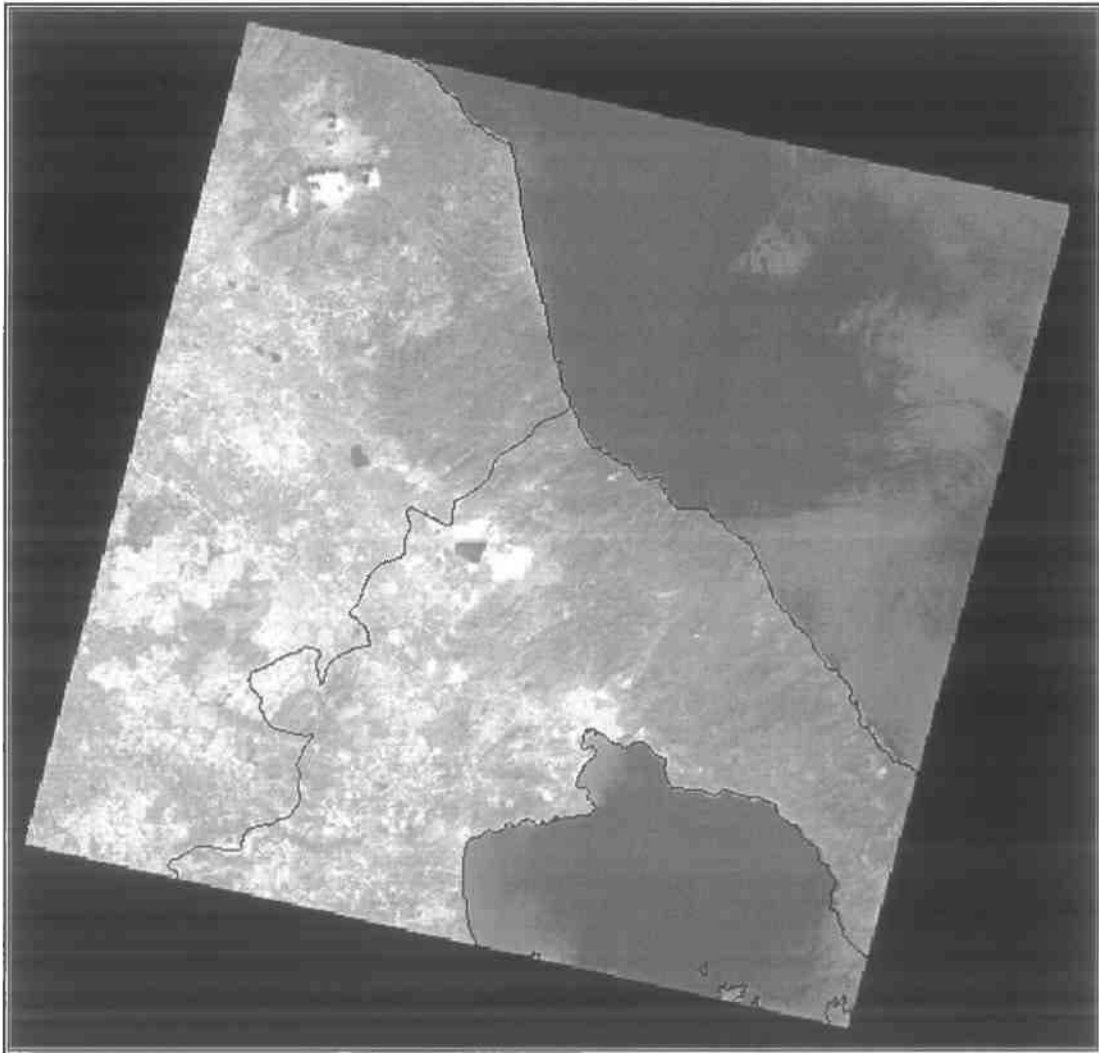
Η επιλογή των σημείων αυτών έχει μεγάλη σημασία, γιατί έτσι εξασφαλίζεται η σωστή επίθεση της αρχικής εικόνας πάνω στο πλέγμα με της συντεταγμένες της γεωδαιτημένης εικόνας. Επίσης πρέπει να δηλωθούν ο αριθμός Γραμμών και Στηλών της εικόνας που θα δημιουργηθεί, αντίστοιχα ίδιος με της αρχικής εικόνας. Στα στοιχεία αυτά βοηθάει το υποπρόγραμμα METADATA, το οποίο επιτρέπει την επισκόπηση χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων διαφόρων τύπων αρχείων. Τέλος θα πρέπει να δηλωθεί και η απόσταση μονάδας (Unit Distance) η οποία αναφέρεται στη διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή και που στην περίπτωση αυτή είναι 5,8m.



Εικόνα 5.8: Το παράθυρο στο οποίο δηλώνονται οι παράμετροι για την τελική εικόνα, όπως συντεταγμένες στα άκρα, αριθμός γραμμών-στηλών και γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

5.3. Σύγκριση του IDRISI32 και του IMAGINE σε διάφορες μεθόδους γεωμετρικής διόρθωσης και μετατροπής

Για τη σύγκριση των δύο λογισμικών χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο μια εικόνα του δορυφόρου IRS -1C και συγκεκριμένα από τον Πανχρωματικό Ανιχνευτή με διακριτική ικανότητα 5,8m. Η εικόνα αυτή περιέχει ένα μεγάλο τμήμα του νομού Μαγνησίας, λείπουν όμως οι περιοχές του νομού νοτίως της Ν. Αγχιάλου, καθώς και το νοτιότερο άκρο του Πηλίου και οι Σποράδες.

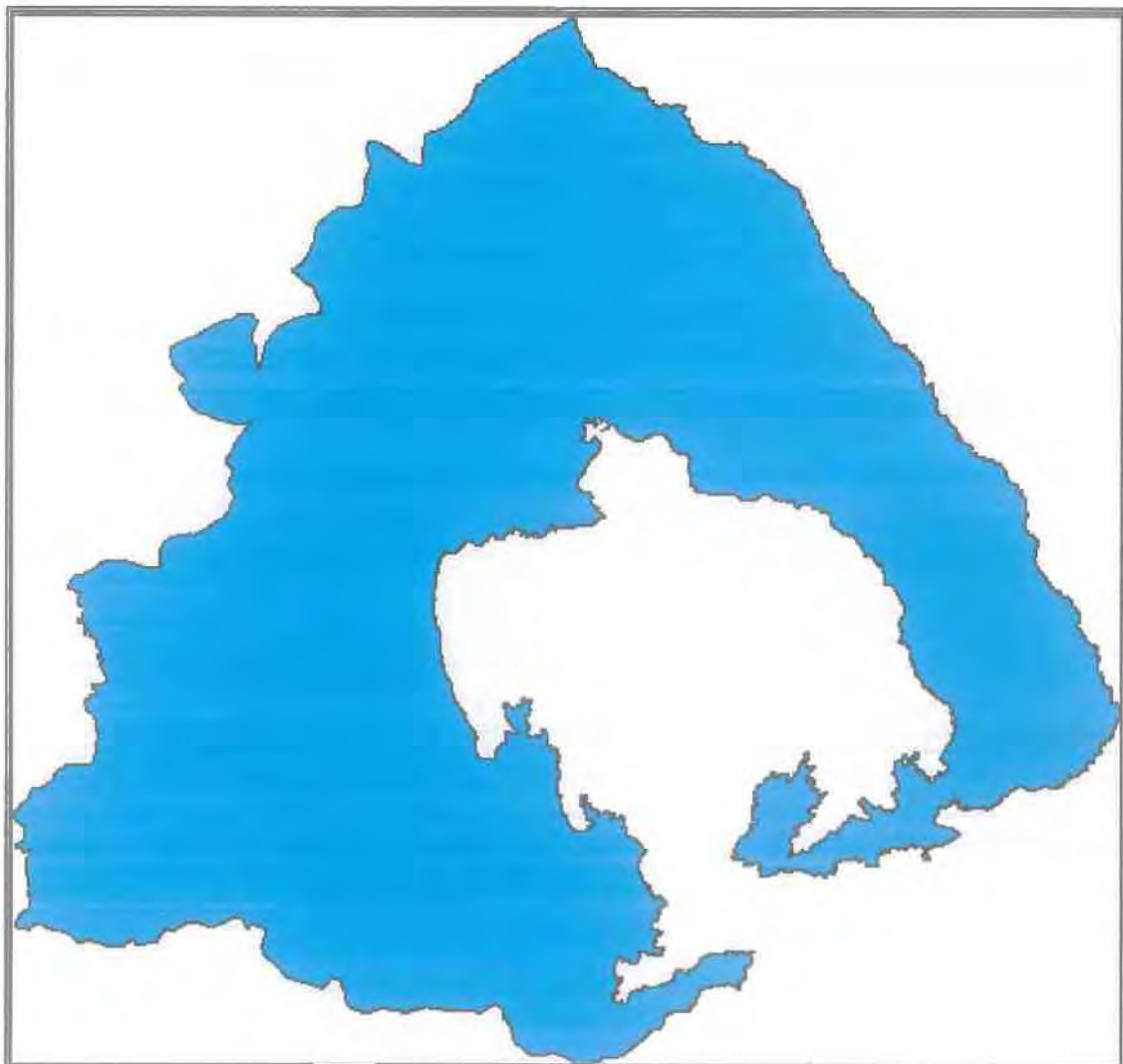


Εικόνα 5.9: Η δορυφορική εικόνα που χρησιμοποιήθηκε για τις γεωμετρικές διορθώσεις

Τα επιμέρους χαρακτηριστικά της εικόνας όπως αναφέρονται στο αρχείο πληροφοριών της (header) είναι:

Ύψος:	14172 γραμμές
Πλάτος:	14858 στήλες
Minimum X:	360881
Maximum X:	448668
Minimum Y:	4331337
Maximum Y:	4416819
Μέγεθος pixel:	5,8m

Το υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένας ψηφιοποιημένος χάρτης του νομού Μαγνησίας από τη Γ.Υ.Σ. σε κλίμακα 1:5000 και σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87.



Εικόνα 5.10: ο νομός Μαγνησίας

5.4. Μετρήσεις ταχύτητας γεωμετρικής διόρθωσης

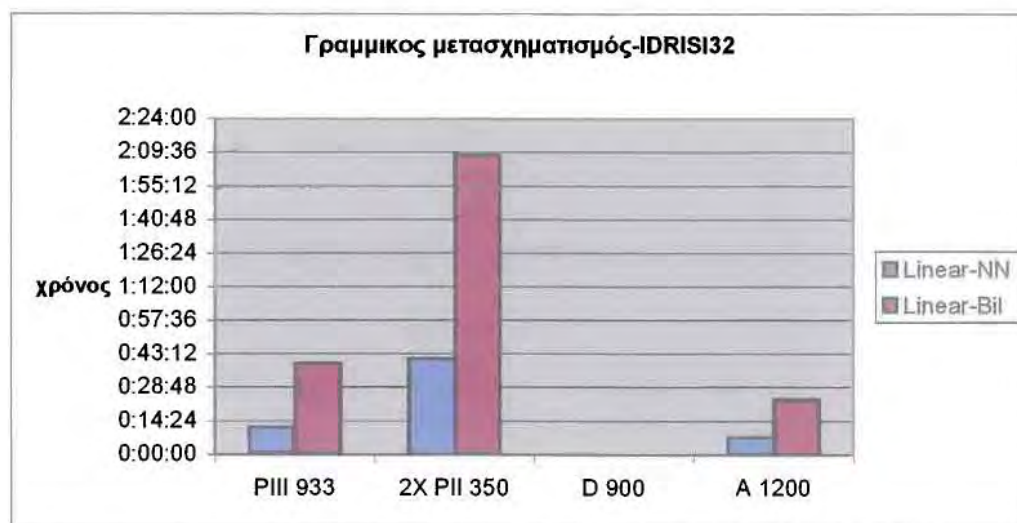
Αρχικά μετρήθηκε η ταχύτητα εκτέλεσης της γεωμετρικής διόρθωσης της εικόνας με επίλυση πολυωνυμικής εξίσωσης 1^{ης} τάξης και με διαφορετικές διαδικασίες μετατροπής των εικονοστοιχείων (interpolation).

Με τη χρήση του IDRISI32:

IDRISI32	Linear-Nearest Neighbor	Linear-Bilinear interpolation
PIII 933	0:11:47	0:38:55
2X PII 350	0:41:10	2:08:20
D 900	0:00:00	0:00:00
A 1200	0:07:25	0:23:29

Πίνακας 5.1: Γραμμικός μετασχηματισμός με τη χρήση του IDRISI32

Από τον υπολογιστή με επεξεργαστή Duron 900 δεν ελήφθησαν μετρήσεις. Η μέτρηση δείχνει ότι η διγραμμική μέθοδος μετατροπής είναι πολύ πιο απαιτητική από πλευρά υπολογιστικής ισχύος, με τους χρόνους υπολογισμού σε όλα τα μηχανήματα να τριπλασιάζονται. Δύο σημαντικές παρατηρήσεις είναι ότι α) ο επεξεργαστής Athlon 1200 ενώ έχει ένα προβάδισμα 29% όσον αφορά την ταχύτητα ρολογιού του ως προς τον PentiumIII 933, χρειάζεται μόνο το 62,5% του χρόνου εκτέλεσης, και β) στο μηχάνημα με τους δύο επεξεργαστές, κατά τη διάρκεια του υπολογισμού, το ποσοστό χρήσης των επεξεργαστών (παρακολουθούνταν με τη χρήση του Performance Monitor του Task Manager) δεν υπερέβαινε το 50%, πράγμα που υποδηλώνει ότι χρησιμοποιούνταν μόνο ένας επεξεργαστής, άρα το RESAMPLE του IDRISI32 δεν υποστηρίζει συστήματα πολλαπλών επεξεργαστών (Symmetric Multi Processing - SMP).



Διάγραμμα 5.1: χρόνος επεξεργασία γραμμικού μετασχηματισμού στο IDRISI32

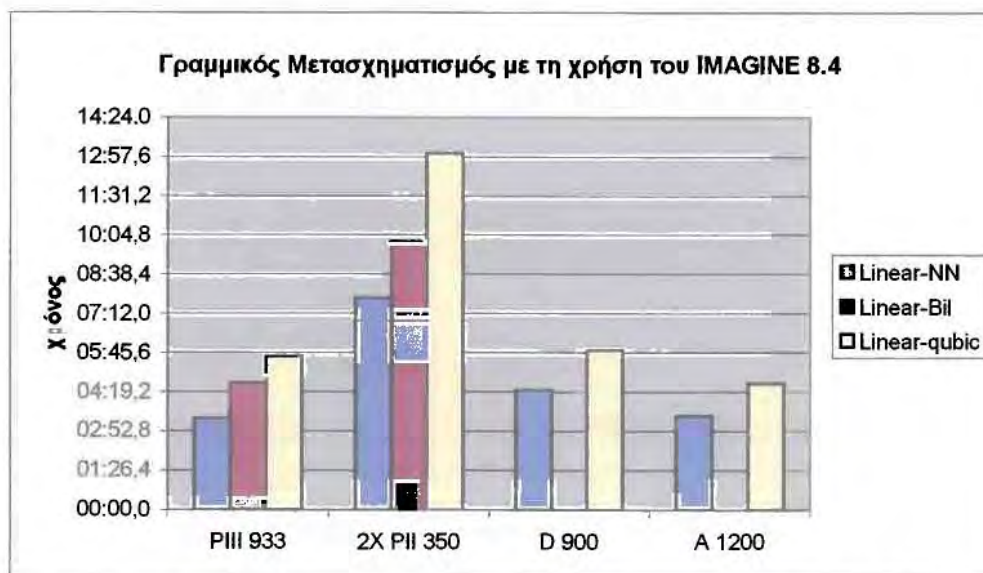
Με τη χρήση του IMAGINE:

IMAGINE	Linear-NN	Linear-Bil	Linear-qubic
PIII 933	03:20,5	04:38,5	05:38,1
2X PII 350	07:46,3	09:50,5	13:04,6
D 900	04:22,3	00:00,0	05:50,1
A 1200	03:25,4	00:00,0	04:37,8

Πίνακας 5.2: Γραμμικός μετασχηματισμός με τη χρήση του IMAGINE

Στους συγκεκριμένους υπολογισμούς δεν ελήφθησαν μετρήσεις από το μηχάνημα με τους επεξεργαστές AMD Athlon και Duron όσον αφορά τη μετατροπή με τη διγραμμική μέθοδο (Bilinear interpolation). Η πρώτη παρατήρηση είναι ότι ο γραμμικός μετασχηματισμός υπολογίζεται πολύ πιο γρήγορα με το IMAGINE, με χρόνους που κυμαίνονται στο $\frac{1}{2}$ με $\frac{1}{4}$ του χρόνου που χρειάζεται το IDRISI32 για τον ίδιο υπολογισμό. Δεύτερη παρατήρηση είναι ότι η χρονική διαφορά υπολογισμού της μετατροπής με τη διγραμμική μέθοδο (Bilinear interpolation) ή τη μέθοδο της Κυβικής Συνέλιξης (Cubic Convolution) αντίστοιχα, δεν είναι τόσο μεγάλη όσο με το IDRISI32 στο οποίο τριπλασιάζεται (το δε IDRISI32 δεν χρησιμοποιεί τη μετατροπή με τη μέθοδο της Κυβικής Συνέλιξης). Ενδεχομένως στο IDRISI32 ο αλγόριθμος επίλυσης της διγραμμικής μεθόδου δεν είναι τόσο βελτιστοποιημένος όσο στο

IMAGINE. Παρατηρήθηκε επίσης ότι ο χρόνος υπολογισμού στο IMAGINE εξαρτάται και από το υποσύστημα του σκληρού δίσκου. Πράγματι καθ' όλη τη διάρκεια των υπολογισμών, σε όλα τα μηχανήματα, οι δίσκοι δούλευαν συνεχώς. Αποτέλεσμα αυτού ήταν, στη διαδικασία μετατροπής με τη μέθοδο Κοντινότερου Σημείου (Nearest Neighbor) που ήταν και η πιο απλή υπολογιστικά μέθοδος, τον ταχύτερο χρόνο υπολογισμού να τον έχει το μηχάνημα με τον ταχύτερο σκληρό δίσκο (στην προκειμένη περίπτωση το μηχάνημα με Intel Pentium III 933), ενώ στη μέθοδο της Κυβικής Συνέλιξης που είναι η πιο απαιτητική σε επεξεργαστική ισχύ, τον ταχύτερο χρόνο έκανε ο, και θεωρητικά, πιο δυνατός επεξεργαστής Athlon 1200. Ενδιαφέρον είναι επίσης το γεγονός ότι στη μέθοδο της Κυβικής Συνέλιξης ο Duron 900 (ένας επεξεργαστής που προορίζεται για μηχανήματα χαμηλού κόστους!) έκανε χρόνο παραπλήσιο με τον Intel Pentium III 933. Επίσης, όσον αφορά το μηχάνημα με τους δύο επεξεργαστές, στο IMAGINE 8.3.1 παρατηρήθηκε ότι και στο IDRISI32, με χρήση μόνο του ενός επεξεργαστή κατά τη διάρκεια των υπολογισμών. Εν τούτοις κατά τη διάρκεια των στατιστικών υπολογισμών η χρήση των δύο επεξεργαστών υπερέβαινε κατά πολύ το 50% γεγονός που υποδηλώνει ότι το IMAGINE 8.3.1 περιέχει κάποιες βελτιστοποιήσεις για Συμμετρική Πολυεπεξεργασία – SMP).



Διάγραμμα 5.2: χρόνος επεξεργασία γραμμικού μετασχηματισμού στο IMAGINE 8.3.1.

Αντιπαράθεση IDRISI32 με IMAGINE:

IMAGINE vs IDRISI32	Linear-NN ² fastest	Linear-NN slowest	Linear-Bil fastest	Linear-Bil slowest
IMAGINE	0:03:21	0:07:46	0:04:39	0:09:50
IDRISI32	0:11:47	0:41:10	0:38:55	2:08:20

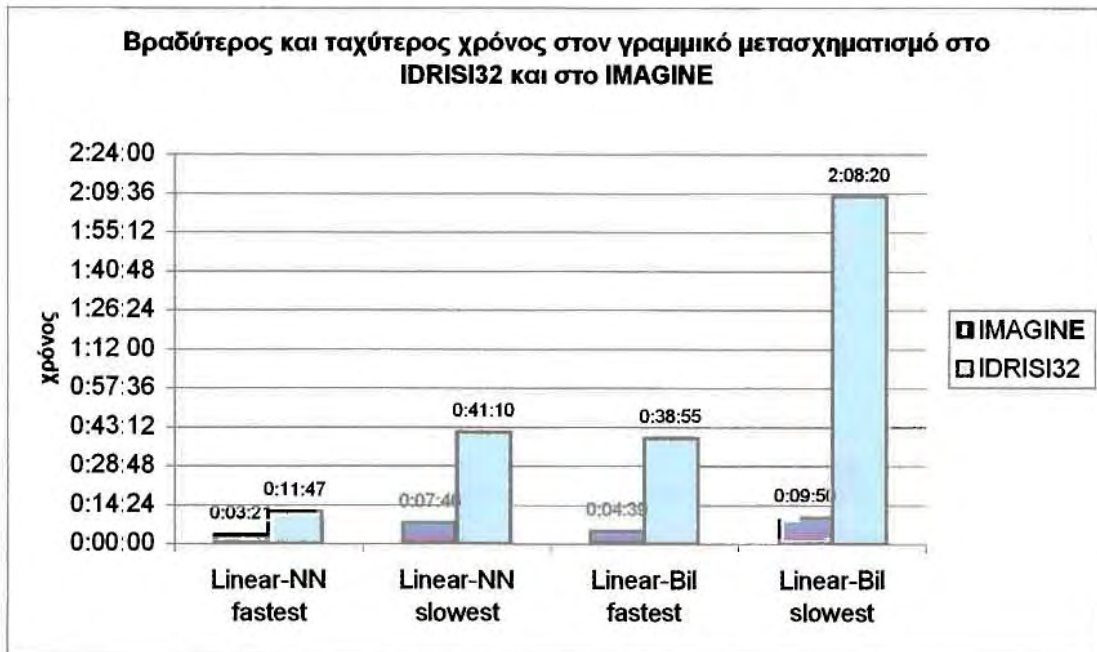
Πίνακας 5.3: ταχύτερος και βραδύτερος χρόνος με το εκάστοτε λογισμικό

Για την απ' ευθείας αντιπαράθεση του IDRISI32 με το IMAGINE ελήφθησαν οι χρόνοι των μηχανών για τις οποίες είχαν γίνει μετρήσεις σε όλες τις μεθόδους. Δεν χρησιμοποιήθηκε το μηχάνημα με τον AMD Athlon 1200 γιατί δεν υπήρξαν μετρήσεις για τη διγραμμική μέθοδο. Ούτως ή άλλως για την ανάδειξη των διαφορών των εφαρμογών μεταξύ τους δεν παίζει ρόλο το μηχάνημα που θα χρησιμοποιηθεί. Έτσι, ως ταχύτεροι ελήφθησαν οι χρόνοι με τον Intel PentiumIII 933 και ως βραδύτεροι ελήφθησαν οι χρόνοι από το μηχάνημα με τους δύο Intel PentiumII 350.

Η πρώτη παρατήρηση είναι ότι το IMAGINE έχει σε όλες τις περιπτώσεις σαφές προβάδισμα όσον αφορά την ταχύτητα υπολογισμού, με το IDRISI32 στην καλύτερη των περιπτώσεων να χρειάζεται υπερτριπλάσιο χρόνο για την ολοκλήρωση των υπολογισμών (3'21'' έναντι 11'47''), ενώ στην περίπτωση του πιο αργού μηχανήματος η διαφορά είναι πάνω από δεκαπλάσια (9'50'' έναντι 2h08'20''). Επόμενη παρατήρηση είναι ότι κατά τη μετατροπή με τη Διγραμμική μέθοδο, στο IMAGINE, το γρήγορο μηχάνημα ολοκληρώνει τον υπολογισμό σε ποσοστό 43% του χρόνου του βραδύτερου μηχανήματος, ενώ στο IDRISI32 αντίστοιχα, ο χρόνος κυμαίνεται στο 29% του χρόνου του βραδύτερου. Εφόσον το μηχάνημα αυτό υπεδείκνυε ότι δεν γίνεται χρήση και των δύο επεξεργαστών κατά τη διάρκεια των υπολογισμών, μπορούμε να αποδώσουμε τη διαφορά στο ότι ο κώδικας που χρησιμοποιεί το IMAGINE επιτυγχάνει καλύτερη χρήση της μεγάλου μεγέθους 2nd level Cache μνήμης που έχει ο Intel PentiumII (ο PentiumII έχει 512KB λανθάνουσα μνήμη χρονισμένη στη μισή ταχύτητα του πυρήνα, ο PentiumIII-coppermine έχει 256KB λανθάνουσα μνήμη ενσωματωμένη στον πυρήνα και χρονισμένη στην ίδια ταχύτητα). Επόμενη παρατήρηση είναι ότι στο μετασχηματισμό με τη μέθοδο της

² NN: Nearest neighbor

διγραμμικής μετατροπής, η διαφορά στην ταχύτητα επεξεργασίας με το κάθε λογισμικό είναι πολύ μεγάλη, και οι υπολογιστές που τρέχουν το IMAGINE για την ίδια επεξεργασία χρειάζονται το ένα δέκατο του χρόνου που χρειάζεται το IDRISI32. Παρατηρούμε επίσης ότι η διαφορά των δύο μηχανημάτων στα δύο λογισμικά, δεν είναι γραμμική, δηλαδή το αργό μηχάνημα χρειάζεται περισσότερο χρόνο στο IDRISI32 απ' όσο αναλογικά το γρήγορο στο IDRISI32.



Διάγραμμα 5.2: βραδύτερος και ταχύτερος χρόνος γραμμικού μετασχηματισμού στα δύο λογισμικά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Ταξινομήσεις

6.1. Μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις

Με την εφαρμογή των μεθόδων της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ο ερευνητής μπορεί να αναδείξει τις μεγαλύτερες κατηγορίες κάλυψης γης, χωρίς να προαπαιτείται η γνώση της περιοχής και της υπάρχουσας κατάστασης. Γενικά, με τις διαδικασίες της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, πραγματοποιείται η αυτόματη ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων με ομογενή φασματικά χαρακτηριστικά, σε μία πολυκάναλη εικόνα, και η ένταξή τους σε κλάσεις (clusters).

Η εικόνα που ταξινομήθηκε είναι η ίδια με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ταχύτητας υπολογισμού στη διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, όπως αναφέρεται στη σελίδα 81. Συγκεκριμένα η εικόνα περιέχει τα τέσσερα κανάλια του πολυφασματικού σαρωτή LISS-III του δορυφόρου IRS-1C. Η γεωγραφική περιοχή που καλύπτει είναι ακριβώς η ίδια, με συντεταγμένες:

Minimum X: 283415

Maximum X: 460745

Minimum Y: 4261921

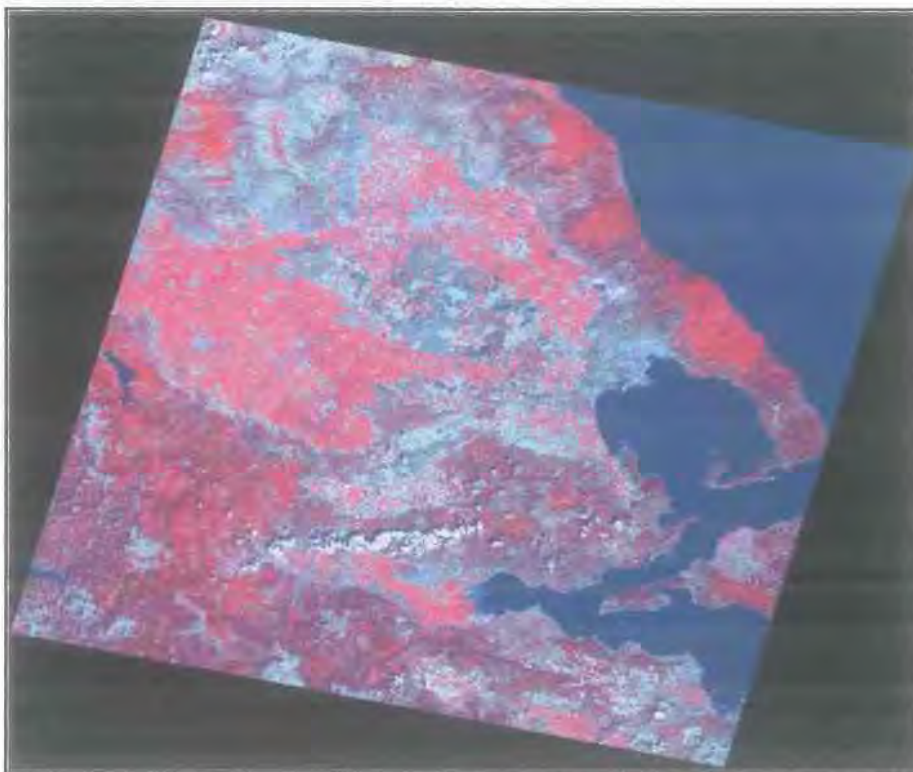
Maximum Y : 4434481

6.1.1. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη χρήση του IDRISI32

Με το Idrisi32 για την πραγματοποίηση μίας μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ο χρήστης, μπορεί να εφαρμόσει δύο τεχνικές, κάνοντας χρήση των αντίστοιχων υποπρογραμμάτων (CLUSTER και ISOCLUST). Το CLUSTER εφαρμόζει μία τεχνική αναζήτησης τοπικών μέγιστων (peaks) στο ιστόγραμμα της εικόνας, ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνισης της συγκεκριμένης τιμής στο σύνολο των εικονοστοιχείων της εικόνας, απ' τις οποίες θα προκύψουν οι αντίστοιχες κλάσεις. Μόλις έχουν εντοπισθεί τα τοπικά μέγιστα, γίνεται η ταξινόμηση των εικονοστοιχείων, κατηγοριοποιώντας το καθένα στην πιο κοντινή ραδιομετρικά σε αυτό κλάση. Το CLUSTER παρέχει δύο μεθόδους ανίχνευσης κορυφών στο ιστόγραμμα. Με την τραχεία (broad) μέθοδο γενίκευσης οι κλάσεις (clusters) απεικονίζονται σαν διακριτές κορυφές στο ιστόγραμμα της εικόνας, χωρίς να δίνεται η δυνατότητα αναγνώρισης ξεχωριστών κλάσεων με κοντινές τιμές που ενδεχομένως να επικαλύπτονται σε κάποιο ποσοστό. Αντιθέτως, με τη λεπτή (fine) μέθοδο

γενίκευσης, το CLUSTER αναγνωρίζει πολύ πιο αναλυτικά τις διάφορες κλάσεις, ακόμα και σε περιπτώσεις κλάσεων με κοντινές ομαδοποιήσεις τιμών και μεγάλο βαθμό επικάλυψης (IDRISI Guide to GIS and Image Processing Volume 2). Δεύτερη παράμετρος για την ταξινόμηση με το CLUSTER είναι ο ορισμός του αριθμού των κλάσεων ή η αυτόματη εξαγωγή των κλάσεων βάσει του αλγόριθμου. Το δεύτερο γίνεται είτε επιλέγοντας να απορριφθεί το λιγότερο σημαντικό 1% των κλάσεων και αναταξινομώντας τα εικονοστοιχεία αυτών στις υπόλοιπες μεγαλύτερες, ή επιλέγοντας την διατήρηση όλων των κλάσεων ανεξάρτητα από το μέγεθος τους (Πηγή: Αρχείο βοήθειας του IDRISI32). Το IDRISI32 μαζί με τις πολυφασματικές εικόνες απαιτεί τη χρήση μιας χρωματικής σύνθεσης (Composite), για τη δημιουργία και τελειοποίηση των ομάδων (Cluster seeding). Αν οι εικόνες που θα ταξινομηθούν προέρχονται από το δορυφόρο LANDSAT και ειδικότερα από το Θεματικό Χαρτογράφο (Thematic Mapper), η χρωματική σύνθεση προτείνεται να προκύπτει από τα κανάλια 3, 4 και 5.

Για την εκτέλεση της CLUSTER ταξινόμησης, δημιουργήθηκε ένα αρχείο χρωματικής σύνθεσης COMPOSITE επιλέγοντας τα τρία πρώτα κανάλια από τη πολυφασματική εικόνα του LISS-III.



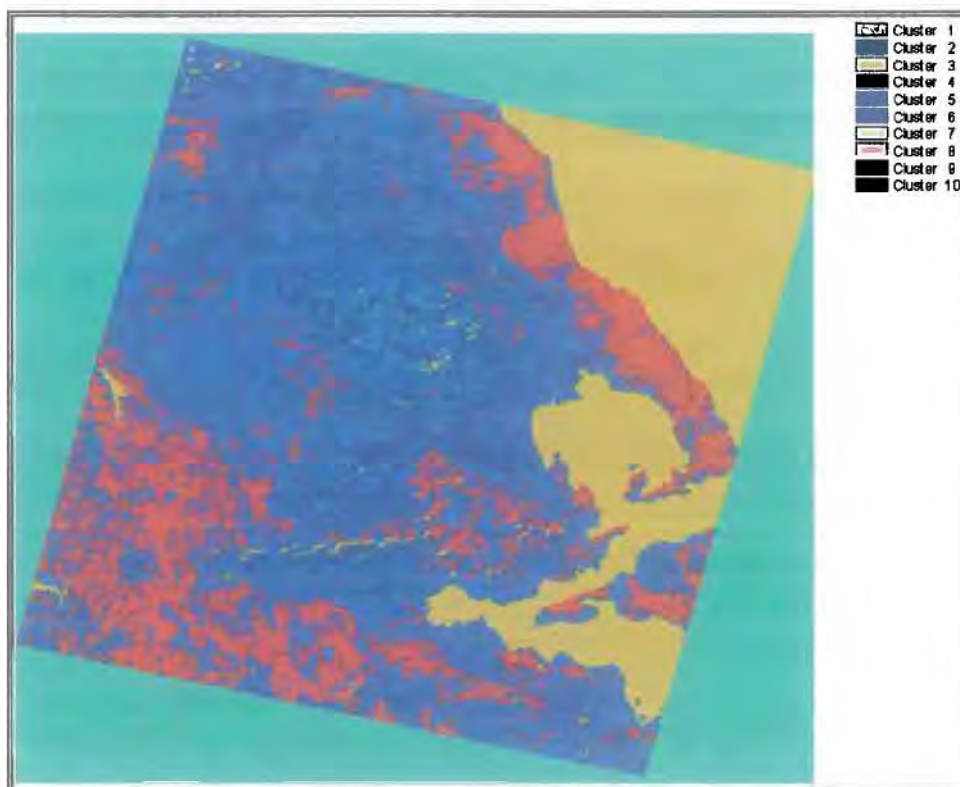
Εικόνα 6.1: Η σύνθετη εικόνα (COMPOSITE) που δημιουργήθηκε από τα τρία πρώτα κανάλια του LISS-III.

Τα κανάλια αυτά αντιστοιχούν με το 2^ο, το 3^ο και το 4^ο κανάλια του Θεματικού Χαρτογράφου (Thematic Mapper) του δορυφόρου LANDSAT. Συγκεκριμένα η σύνθετη εικόνα περιείχε πληροφορίες από τα εξής κανάλια του IRS-1C:

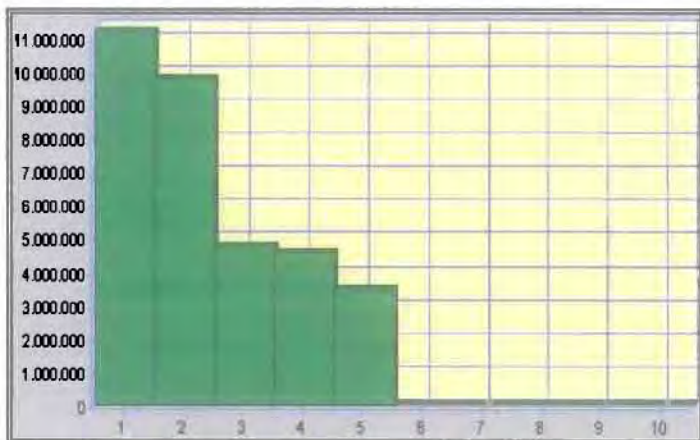
- Κανάλι 1: 0,52 – 0,59μm (πράσινο)
- Κανάλι 2: 0,62 – 0,68μm (ερυθρό)
- Κανάλι 3: 0,77 – 0,86μm (εγγύς υπέρυθρο)

Τα κανάλια αυτά περιέχουν τη μεγαλύτερη πληροφορία, και θα χρησιμοποιηθούν στην εξαγωγή των κλάσεων με τη διαδικασία του CLUSTER (Πηγή: Αρχείο βοήθειας IDRISI32).

Η πρώτη ταξινόμηση με το CLUSTER έγινε επιλέγοντας 10 κατηγορίες κάλυψης γης. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η σύγκριση με τις εικόνες που ταξινομήθηκαν με τις μεθόδους της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, προστέθηκε μια κατηγορία όπου ταξινομηθούνται όλες οι μηδενικές τιμές του πλαισίου που περιβάλλει την εικόνα. Η ταξινόμηση έγινε με την τραχεία μέθοδο (Broad) αναζήτησης τοπικών μέγιστων στο ιστόγραμμα.



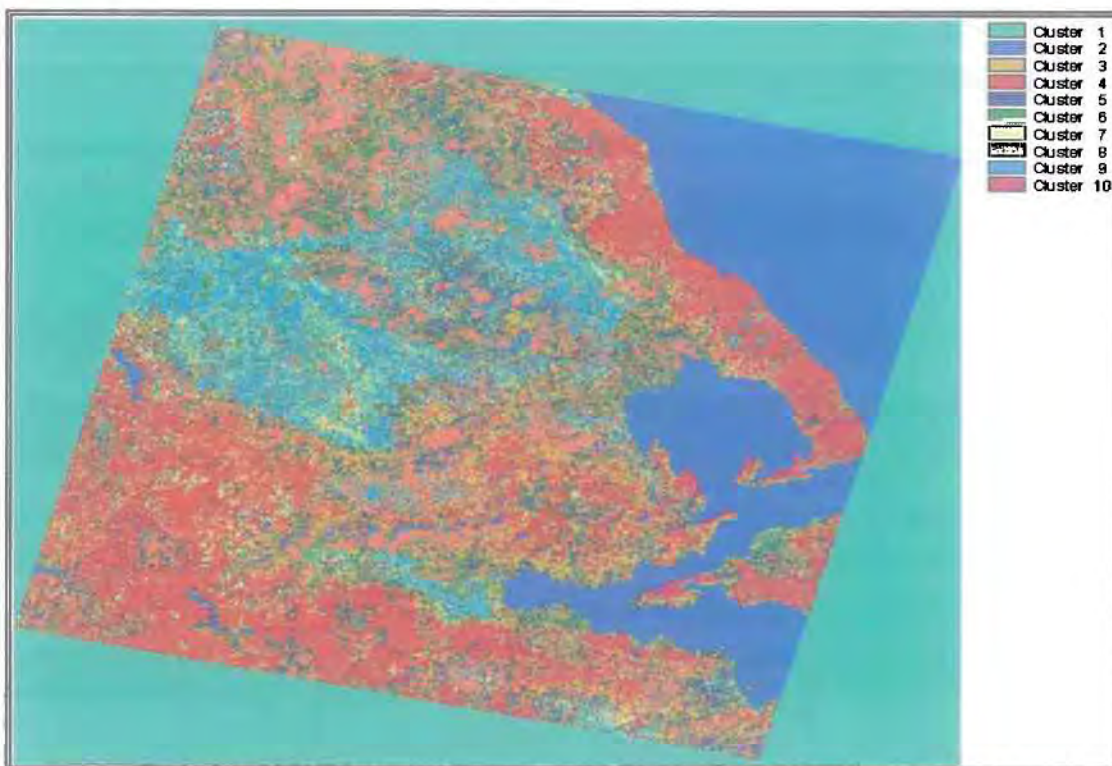
Εικόνα 6.2: Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη μέθοδο CLUSTER (10 κλάσεις, Broad μέθοδος)



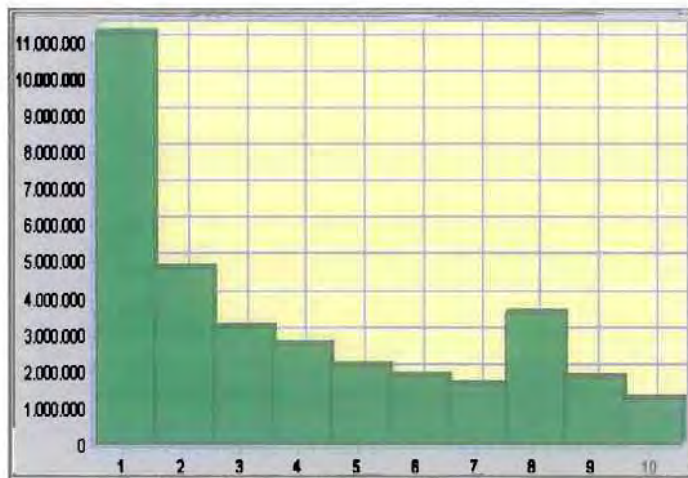
Διάγραμμα 6.1:
Ιστόγραμμα της ταξινομημένης
εικόνας με τη μέθοδο CLUSTER
(10 κλάσεις, Broad μέθοδος)

Ο χρόνος για να ολοκληρώσει ο υπολογιστής την ταξινόμηση με τη μέθοδο CLUSTER, δεν είχε σχέση με τον αριθμό των κλάσεων που επέλεγε ο χρήστης ούτε με τη μέθοδο αναγνώρισης κορυφών στο ιστόγραμμα, ήταν πάντα σταθερός για όλες τις παραμέτρους και ίσος με 7"80 (αφορά πάντα την περίπτωση 10 κλάσεων).

Η επόμενη μέθοδος που πραγματοποιήθηκε ήταν η ταξινόμηση CLUSTER με τη λεπτή (fine) μέθοδο αναζήτησης κορυφών στο ιστόγραμμα και με εκ των προτέρων προσδιορισμένο αριθμό κλάσεων ίσο με δέκα.



Εικόνα 6.3: Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη μέθοδο CLUSTER (10 κλάσεις Fine μέθοδος)

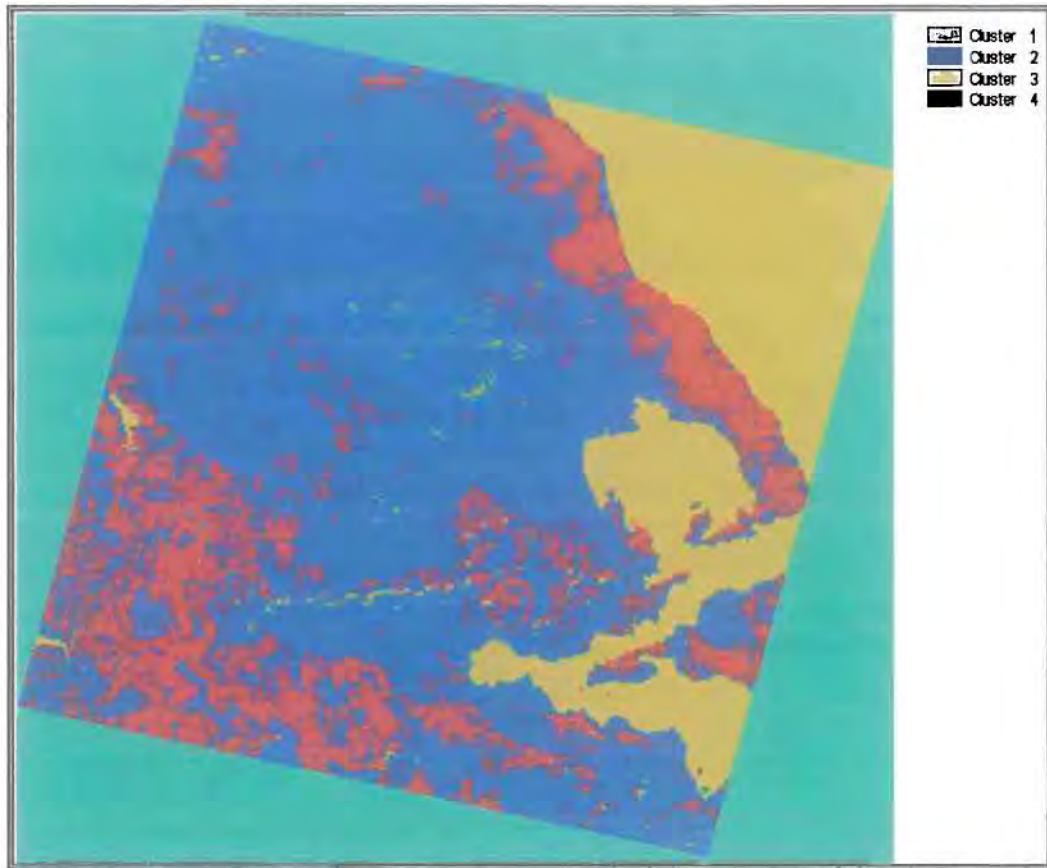


Διάγραμμα 6.2:
 Ιστόγραμμα της ταξινομημένης
 εικόνας με τη μέθοδο CLUSTER
 (10 κλάσεις, Fine μέθοδος)

Παρατηρώντας και από το ιστόγραμμα της ταξινομημένης με τη λεπτή μέθοδο εικόνας, βλέπουμε ότι έχουμε μεγαλύτερες συχνότητες εικονοστοιχείων σε περισσότερες κλάσεις, ενώ στην προηγούμενη μέθοδο τα εικονοστοιχεία συγκεντρώνονται και ταξινομούνται κυρίως σε τέσσερις κατηγορίες (η πρώτη κατηγορία σε όλα τα ιστογράμματα είναι το πλαίσιο που περιβάλλει την εικόνα). Ο χρόνος υπολογισμού και σε αυτή την περίπτωση ήταν 7 δευτερόλεπτα και 80 εκατοστά.

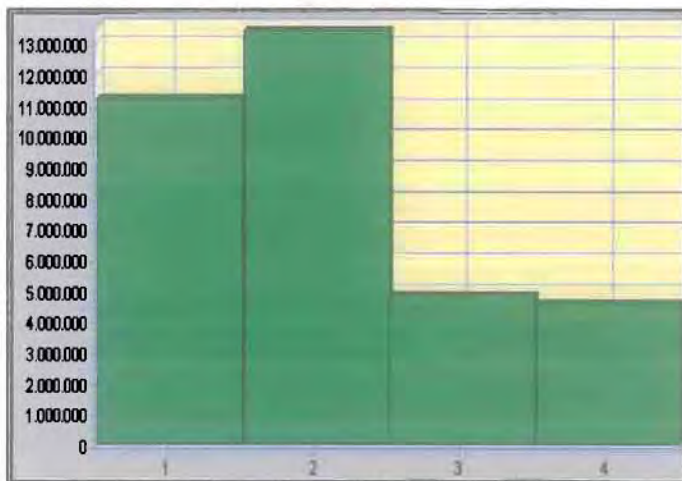
Το CLUSTER δίνει τη δυνατότητα ταξινόμησης με την επιλογή δημιουργίας των κλάσεων απ' ευθείας από τον αλγόριθμο της ταξινόμησης, και κατόπιν είτε τη διατήρηση όλων των ομάδων που θα προκύψουν, είτε την απόρριψη ενός ποσοστού 1% των πλέον ασήμαντων κλάσεων και αναταξινόμηση των εικονοστοιχείων αυτών. Η διατήρηση όλων των κλάσεων δεν αναλύθηκε, διότι οδηγούσε στη δημιουργία πολύ μεγάλου αριθμού κλάσεων .

Στην περίπτωση της τραχείας μεθόδου ανάλυσης του ιστογράμματος με ταυτόχρονη απόρριψη του 1% των λιγότερο σημαντικών κατηγοριών, ο αλγόριθμος ανέδειξε 4 κατηγορίες, εκ των οποίων η μία είναι το πλαίσιο που περιβάλλει την εικόνα και στο οποίο αντιστοιχούν μηδενικές τιμές.



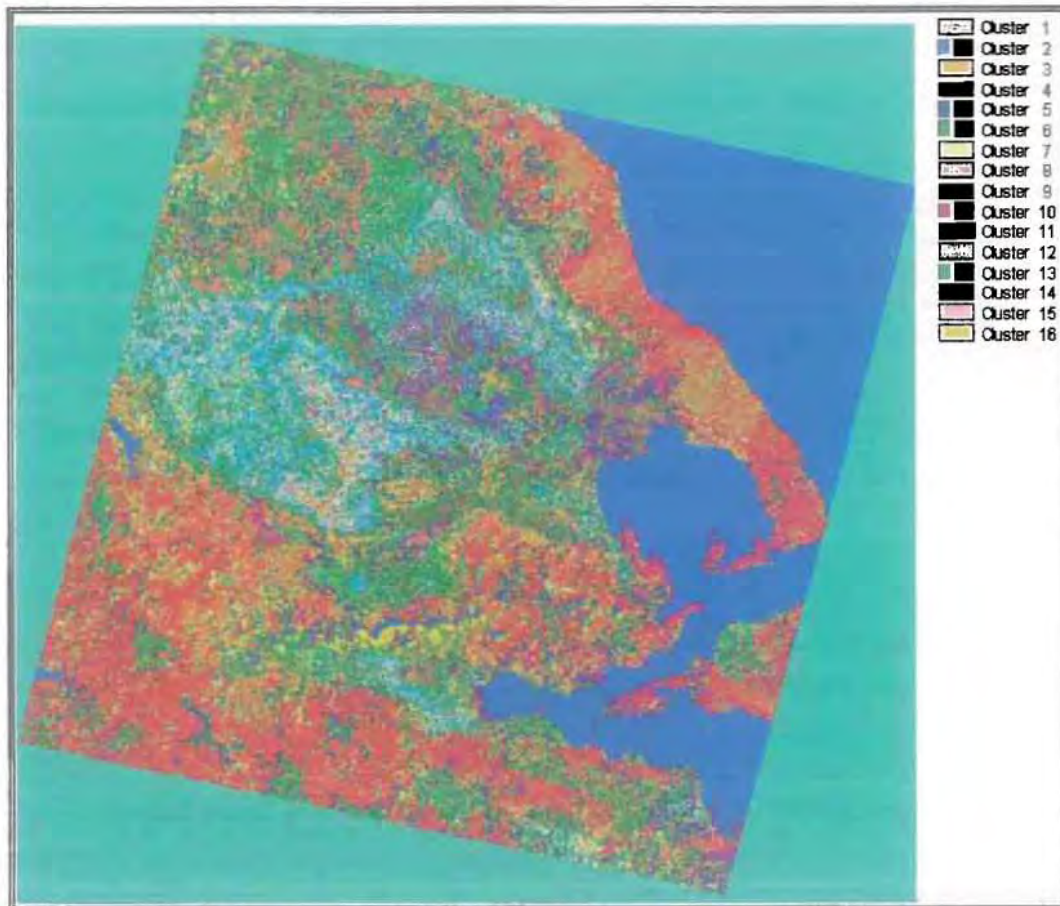
Εικόνα 6.4: Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη μέθοδο CLUSTER (Απόρριψη 1%, Broad Μέθοδος)

Παρατηρώντας το ιστόγραμμα της εικόνας, και παραβλέποντας τη μεγάλη συγκέντρωση στην πρώτη κατηγορία που είναι το περίγραμμα, η κυρίαρχη κατηγορία είναι η δεύτερη που καλύπτει μεγάλο τμήμα της ξηράς, ενώ διαχωρίζονται καλά στην τρίτη κατηγορία και οι υδάτινοι όγκοι (Αιγαίο και Λίμνη Ν. Πλαστήρα).

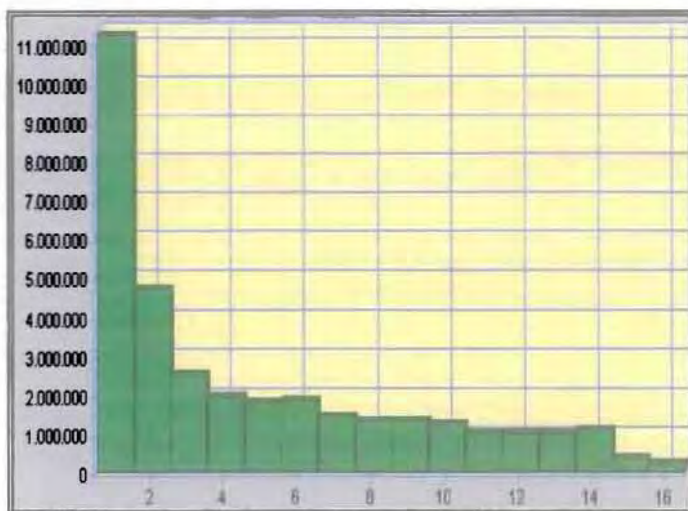


Διάγραμμα 6.3:
Ιστόγραμμα της ταξινομημένης εικόνας με τη μέθοδο CLUSTER (Απόρριψη 1%, Broad Μέθοδος)

Με την παράμετρο λεπτομερούς αναζήτησης των τοπικών μέγιστων του ιστογράμματος, και την απόρριψη του 1% των λιγότερο σημαντικών κλάσεων ο αλγόριθμος CLUSTER του IDRISI32 αναδεικνύει 16 διαφορετικές κατηγορίες.



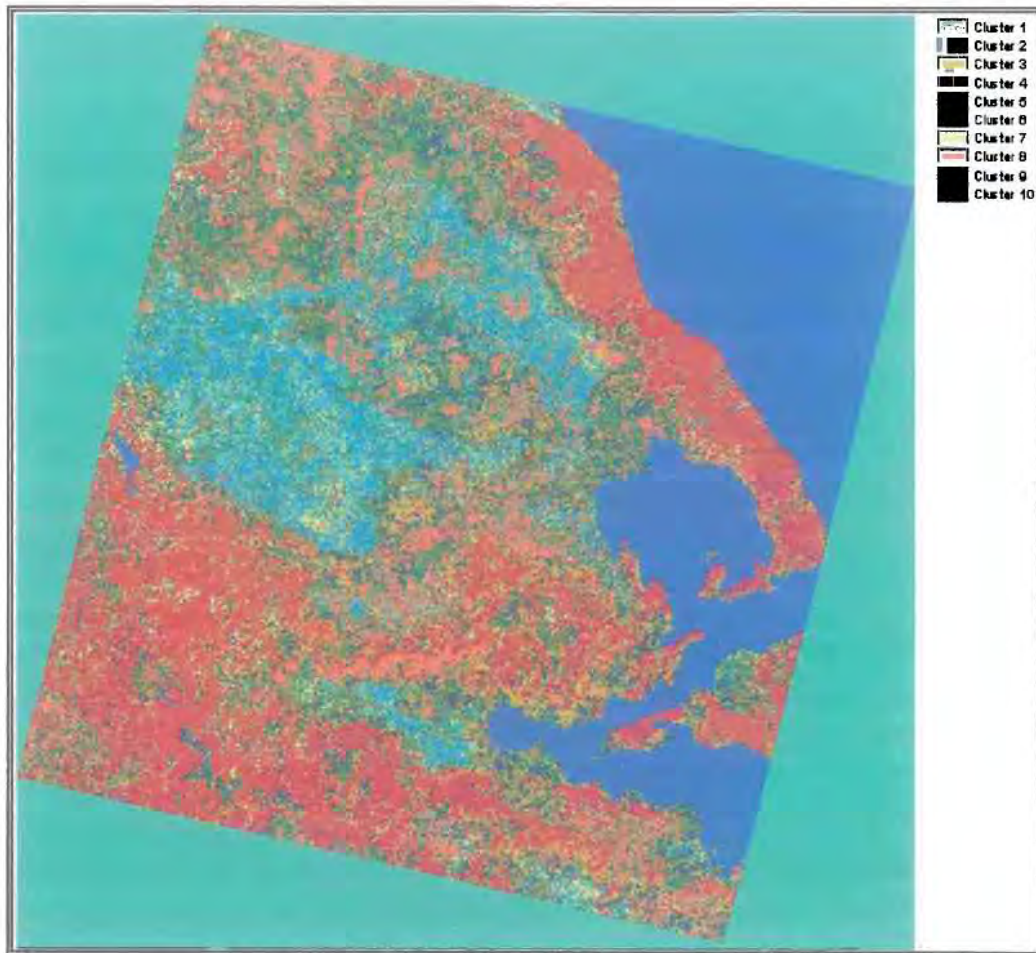
Εικόνα 6.5: Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη μέθοδο CLUSTER (Απόρριψη 1%, Fine Μέθοδος)



Διάγραμμα 6.4:
Ιστόγραμμα της ταξινομημένης
εικόνας με τη μέθοδο CLUSTER
(Απόρριψη 1%, Fine Μέθοδος)

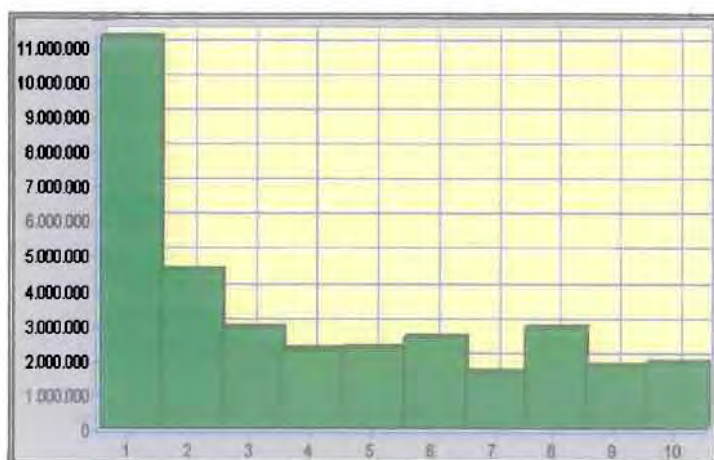
Σε όλες τις περιπτώσεις χρήσης του CLUSTER αλγόριθμου ταξινόμησης, ο χρόνος για την ολοκλήρωση ήταν πάντα ίδιος και ίσος με 7 δευτερόλεπτα και 80 εκατοστά. Χρονικές μετρήσεις από τον υπολογιστή με δύο επεξεργαστές δεν αναφέρονται γιατί ο αλγόριθμος της ταξινόμησης δεν είναι multi-threaded και δεν έκανε χρήση του δεύτερου επεξεργαστή.

Η δεύτερη τεχνική είναι η ISOCLUST, μια μέθοδος επαναληπτικής αυτοπροσδιοριζόμενης ταξινόμησης, η οποία βασίζεται στην τεχνική ISODATA (Πηγή: ERDAS Field Guide) και λειτουργεί με την ακόλουθη διαδικασία. Αρχικά απαιτείται η επιλογή του αριθμού των ομάδων των οποίων τα κέντρα θα τοποθετηθούν αυθαίρετα στο χώρο της εικόνας. Στην πρώτη εκτέλεση της διαδικασίας θα ταξινομηθούν τα εικονοστοιχεία στις πιο κοντινές κατηγορίες. Όταν έχει ολοκληρωθεί το πρώτο στάδιο, υπολογίζονται νέες μέσες τιμές ομάδων, και η ταξινόμηση επαναλαμβάνεται εκ νέου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να μην αλλάξει παρά ένας ασήμαντος αριθμός εικονοστοιχείων ανά κατηγορία, οπότε και σταματάει. Η γενική αυτή διαδικασία διαφοροποιείται στο IDRISI32 στα συγκεκριμένα σημεία: Επιπρόσθετα, μαζί με τις πολυφασματικές εικόνες το IDRISI32 απαιτεί τη χρήση μιας εικόνας σύνθεσης (Composite), για τη δημιουργία και εξέλιξη των ομάδων (Cluster seeding). Έτσι στην μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση που πραγματοποιήθηκε στην πολυφασματική εικόνα από το δορυφόρο IRS-1C χρησιμοποιήθηκαν τα κανάλια 2, 3, 4 για τη δημιουργία της χρωματικής σύνθεσης, τα οποία περιέχουν και το μεγαλύτερο ποσοστό της πληροφορίας. Κατόπιν παρουσιάζεται ένα ιστόγραμμα απεικονίζοντας ομάδες τιμών και τη συχνότητα με την οποία εμφανίζονται αυτές στην εικόνα. Οι όποιες διαφορές στις συχνότητες όπως απεικονίζονται στο ιστόγραμμα υποδηλώνουν ότι εκεί αντιστοιχεί εναλλαγή κατηγορίας. Έτσι από τον αριθμό των κορυφών ή των αλλαγών στο διάγραμμα μπορεί να υπολογιστεί ο επιθυμητός αριθμός κλάσεων που θα δηλωθούν στην τελική ταξινόμηση. Η διαδικασία της δημιουργίας των κλάσεων γίνεται ουσιαστικά με το CLUSTER ενώ ταυτόχρονα σε κάθε επανάληψη η επαναλαμβανόμενη ταξινόμηση γίνεται με τη διαδικασία της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Πηγή: Αρχείο βοήθειας IDRISI32).



Εικόνα 6.6: Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη χρήση του ISOCLUST (3 επαναλήψεις, 10 κλάσεις)

Για την ταξινόμηση με τη μέθοδο ISOCLUST, επιλέχθηκε η εξαγωγή 10 κατηγοριών, ώστε ταξινομώντας σε μία κατηγορία το περίγραμμα της εικόνας, να προκύψουν εννέα διαφορετικές κατηγορίες στην πραγματική εικόνα, για να είναι δυνατή μια σχετική σύγκριση με τις εικόνες που ταξινομήθηκαν με τις μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης.



Διάγραμμα 6.5:
Ιστόγραμμα της ταξινομημένης εικόνας με τη μέθοδο ISOCLUST (3 Επαναλήψεις, 10 κατηγορίες)

Ο χρόνος που απαιτήθηκε για να ολοκληρωθεί η ταξινόμηση με τη μέθοδο ISOCLUST, με τρεις επαναλήψεις και αναταξινομήσεις ήταν συγκριτικά με τη μέθοδο CLUSTER πολύ μεγάλος και ίσος με 14' 56". Ο μεγάλος χρόνος αυτός εξηγείται από το γεγονός ότι το ISOCLUST πραγματοποιεί κατά τη διαδικασία τρεις ταξινομήσεις με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, ενώ ενδιάμεσα αναδιοργανώνει τις μέσες τιμές των κλάσεων.

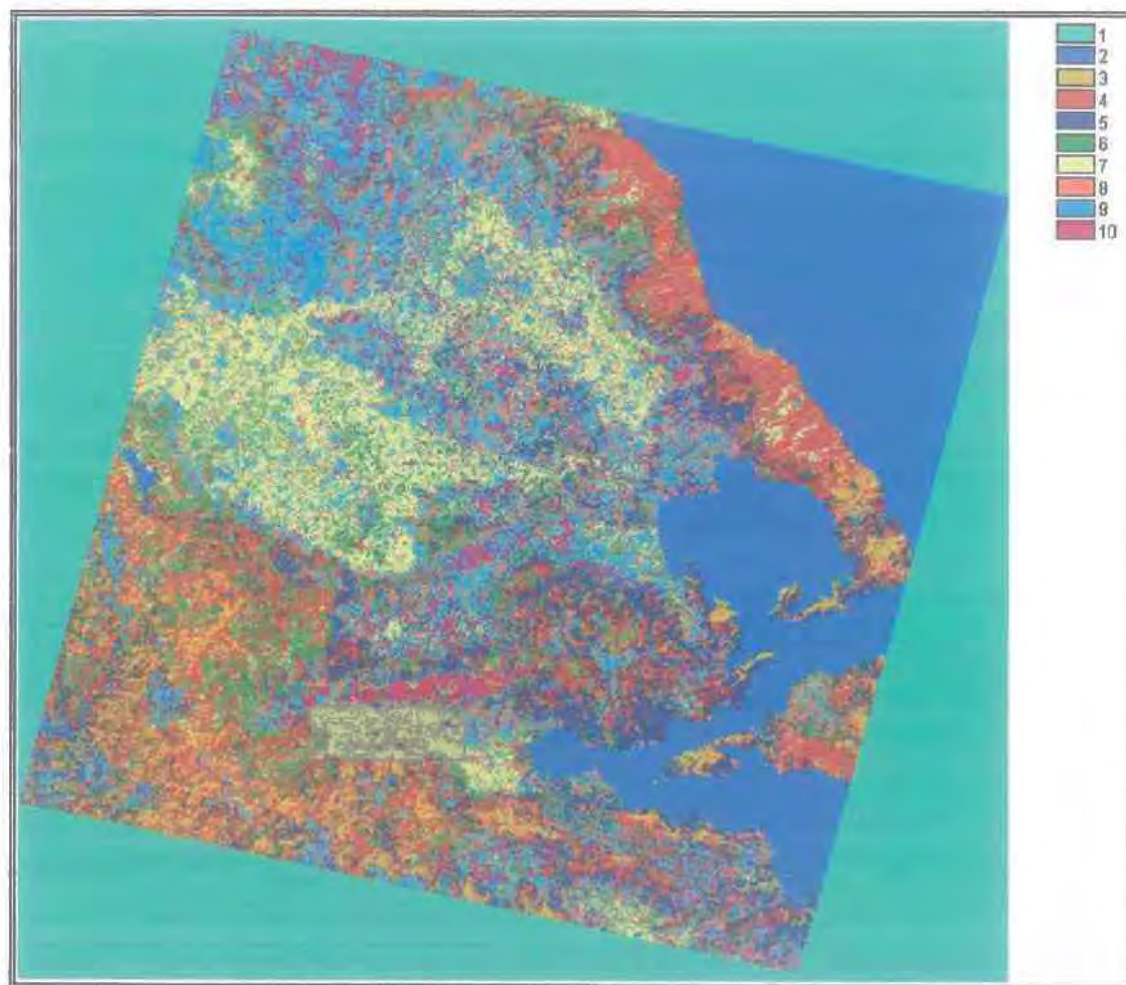
6.1.2. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με το IMAGINE 8.3.1:

Το IMAGINE 8.3.1 χρησιμοποιεί σαν μέθοδο μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης το module ISODATA, το οποίο σε αντιστοιχία με το ISOCLUST στο IDRISI32 είναι μια μέθοδος επαναληπτικής αυτοπροσδιοριζόμενης διαδικασίας ταξινόμησης. Κατά τη διαδικασία χρησιμοποιείται η ελάχιστη φασματική απόσταση για να ταξινομηθεί το κάθε υποψήφιο εικονοστοιχείο σε μια κλάση. Η διαδικασία αυτή ξεκινάει με έναν προσδιορισμένο αριθμό αυθαίρετων μέσων τιμών ομάδων, ή χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές από προκαθορισμένες φασματικές υπογραφές. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου ένα προκαθορισμένο ποσοστό εικονοστοιχείων πάψει να αλλάζει κατηγορία, ή εάν συμπληρωθεί ένας καθορισμένος αριθμός επαναλήψεων.

Το ISODATA δεν χρησιμοποιεί για την ταξινόμηση τον αλγόριθμο της μεθόδου της μέγιστης πιθανοφάνειας όπως το ISOCLUST στο IDRISI32, αλλά χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο της μεθόδου της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους (Minimum Distance to means).

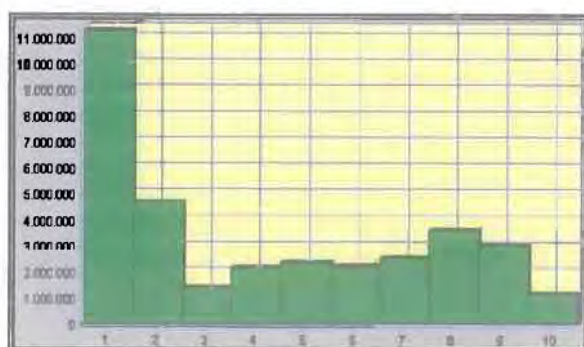
Η ταξινόμηση με τη συγκεκριμένη μέθοδο πραγματοποιήθηκε με επιλογή το, προτεινόμενο βάσει του εγχειριδίου, όριο έξι επαναλήψεων (iterations) και όριο σύγκλισης 95% των εικονοστοιχείων. Οι κατηγορίες επιλέχθηκαν σε αντιστοιχία με το IDRISI32 να είναι 10, ενώ επιλέχθηκε και η ταξινόμηση των εικονοστοιχείων με μηδενική τιμή. Για την ολοκλήρωση της ταξινόμησης χρειάστηκαν 4'34". Ο χρόνος αυτός είναι σαφώς κατώτερος από τον χρόνο που έκανε το IDRISI32, αλλά όχι άμεσα συγκρίσιμος λόγω της διαφορετικής μεθόδου ταξινόμησης που χρησιμοποιούν τα δύο λογισμικά (όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο). Το IMAGINE 8.3.1 με τον αλγόριθμο ISODATA δίνει τη δυνατότητα να μη συμπεριληφθούν τα

εικονοστοιχεία με μηδενικές τιμές (που κατά πλειοψηφία αποτελούν το μαύρο περίγραμμα της εικόνας). Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε να ταξινομηθούν και αυτά



Εικόνα 6.7: Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη χρήση του ISODATA (6 επαναλήψεις, 10 κλάσεις)

Παρατηρώντας το ιστόγραμμα της ταξινομημένης εικόνας, φαίνεται ότι διαφέρει ως προς το ιστόγραμμα της εικόνας που ταξινομήθηκε με τη μέθοδο ISOCLUST από το IDRISI32.



Διάγραμμα 6.6:

Ιστόγραμμα της ταξινομημένης εικόνας με τη μέθοδο ISODATA (6 Επαναλήψεις, 10 κατηγορίες)

Οι διαφορές των δύο προγραμμάτων στον τρόπο που προσεγγίζουν την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση και ειδικότερα με την επαναλαμβανόμενη διαδικασία ISODATA, δικαιολογεί τις μεταξύ τους διαφορές όσον αφορά το χρόνο υπολογισμού. Το IDRISI32 για την εξαγωγή των κλάσεων χρησιμοποιεί τα χρωματική σύνθεση η οποία περιέχει θεωρητικά μικρότερο όγκο πληροφορίας, σε αντίθεση με το IMAGINE 8.3.1 το οποίο χρησιμοποιεί όλα τα φασματικά κανάλια για την εξαγωγή των κλάσεων. Αυτό θεωρητικά δίνει στο IDRISI32 προβάδισμα στην ταχύτητα, ενώ στο IMAGINE 8.3.1 μεγαλύτερη ακρίβεια στην εξαγωγή των κλάσεων. Το IMAGINE 8.3.1 για την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων χρησιμοποιεί την μέθοδο της Ελάχιστης Απόστασης (Minimum distance to means), αντίθετα το IDRISI32 για την αντίστοιχη διαδικασία χρησιμοποιεί τη μέθοδο της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum likelihood). Στη μέθοδο αυτή, όπως αναφέρεται στις μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης, το IDRISI32 παρουσίαζε πολύ αργούς χρόνους σε σχέση με τις άλλες μεθόδους. Γενικά, όσον αφορά τις μεθόδους μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, τα αποτελέσματα των διαδικασιών στα δύο λογισμικά δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα μεταξύ τους λόγω της διαφορετικής προσέγγισης του καθενός. Το IDRISI32 παρέχει μια μέθοδο ταξινόμησης (μέθοδος CLUSTER) η οποία μπορεί να δώσει ταχύτητα μια πρώτη ιδέα στον ερευνητή για το πόσες θα μπορούσαν να είναι οι κλάσεις στην περαιτέρω ανάλυση και ταξινόμηση. Το IMAGINE 8.3.1 δεν έχει ένα τόσο γρήγορο εργαλείο όσο η μέθοδος CLUSTER, σε αντίποδα όμως, πραγματοποιεί πολύ πιο γρήγορα την ταξινόμηση με τη μέθοδο ISODATA σε σχέση με τη μέθοδο ISOCLUST του IDRISI32.

6.21. Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση με τη χρήση του Idrisi32 και του IMAGINE

8.3.1

Το πρώτο βήμα για την πραγματοποίηση μιας επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι να εντοπιστούν οι περιοχές της εικόνας, βάση των οποίων θα οριστούν οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών κάλυψης γης, γνωστές ως Δειγματοληπτικές Περιοχές (Training Sites). Για να γίνει αυτό, πρέπει να επιλεγεί μια εικόνα που να παρουσιάζει υψηλό contrast για να είναι πιο εύκολη η οπτική αναγνώριση των διαφοροποιήσεων και των διακυμάνσεων στις ραδιομετρικές τιμές των εικονοστοιχείων. Για τη δημιουργία των Δειγματοληπτικών Περιοχών επιλέχθηκε η εικόνα από τον πανχρωματικό σαρωτή (PAN) του δορυφόρου IRS-1C. Ο σαρωτής έχει χωρική ανάλυση 5,8m, φασματική ανάλυση 6bit, ενώ ανιχνεύει ακτινοβολία στην ορατή περιοχή του φάσματος (500 – 750 nm). Κατόπιν, χρησιμοποιώντας τη δυνατότητα που παρέχει το Idrisi32 για Ψηφιοποίηση επί της Οθόνης (On Screen Digitizing), δημιουργούμε τα πολύγωνα που αντιπροσωπεύουν τις δειγματοληπτικές περιοχές, και τα αποθηκεύουμε σε ένα διανυσματικό αρχείο (Αρχείο Vector).

Για την επιλογή των Δειγματοληπτικών Περιοχών ακολουθούνται γενικά ορισμένοι κανόνες, όπως: Κατά την ψηφιοποίηση της περιοχής θα πρέπει ο αναλυτής να προσέξει τα εικονοστοιχεία που θα περιλαμβάνονται στο πολύγωνο που θα χαρακτηρίζει την κλάση αυτή, να ανήκουν κατά το δυνατό αμιγώς σε αυτήν. Επίσης θα πρέπει να ψηφιοποιηθούν τουλάχιστον δέκα φορές περισσότερα εικονοστοιχεία για κάθε κατηγορία κάλυψης γης, απ' όσα είναι τα κανάλια της υπό εξέταση εικόνας. Για παράδειγμα για μια εικόνα από τον Θεματικό Χαρτογράφο (Thematic Mapper) του δορυφόρου LANDSAT, η οποία έχει επτά φασματικά κανάλια, θα πρέπει να ψηφιοποιηθούν τουλάχιστον 70 εικονοστοιχεία για κάθε κλάση. (IDRISI Guide to GIS and Image Processing Volume 2)

Το επόμενο βήμα είναι να δημιουργηθούν οι Φασματικές Υπογραφές (Spectral Signatures) για κάθε κατηγορία κάλυψης γης. Οι εννέα κατηγορίες κάλυψης προκύπτουν από ομαδοποιήσεις κατηγοριών (Κυρίμης Κ. και Μπέτση Α., 1998) Οι κατηγορίες αυτές είναι:

1. Συνεχής αστική δόμηση
2. Διακεκομμένη αστική δόμηση

3. Βιομηχανικές ζώνες
4. Ζώνες λιμένων
5. Αεροδρόμια
6. Χώροι εξορύξεως ορυκτών
7. Μη αρδεύσιμη αρώσιμη γη
8. Μόνιμα αρδευόμενη αρώσιμη γη
9. Οπωροφόρα δέντρα
10. Ελαιώνες
11. Δάσος πλατύφυλλων
12. Δάσος κωνοφόρων
13. Μικτό δάσος
14. Σκληροφυλλική βλάστηση και φυσικές εκτάσεις
15. Θάμνοι και χερσότοποι
16. Παραθαλάσσιοι βάλτοι
17. Θαλάσσια περιοχή με ρυπαντικό φορτίο
18. Θάλασσα

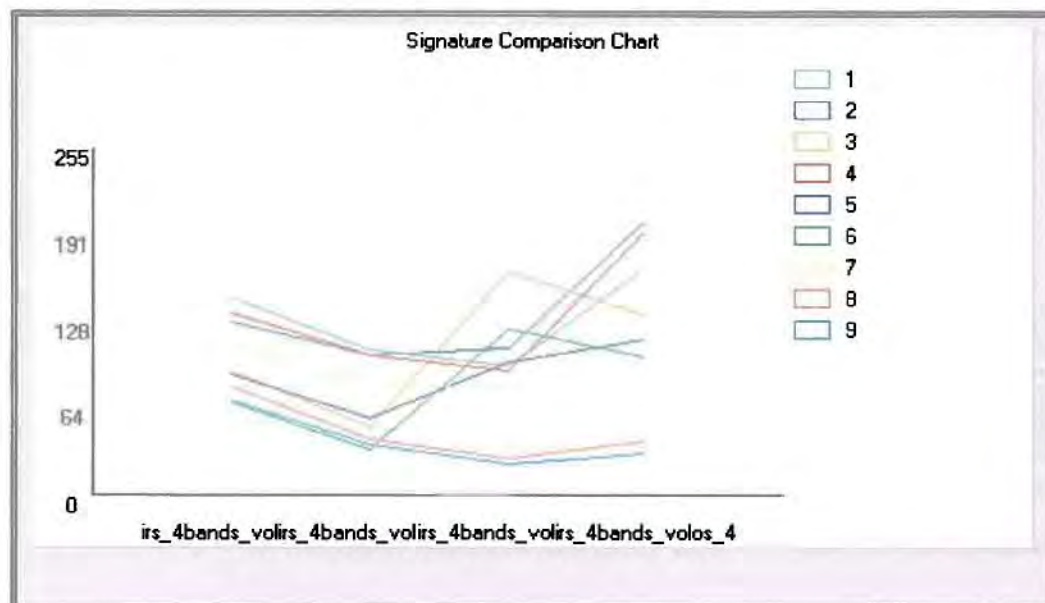
Οι δεκαοχτώ παραπάνω κατηγορίες ομαδοποιήθηκαν ως εξής: Από τις έξι πρώτες κατηγορίες δημιουργήθηκε μία νέα που περιγράφει εικονοστοιχεία που ανήκουν σε πολεοδομικό ιστό. Η έβδομη, η όγδοη, η ένατη και η δέκατη κατηγορίες παρέμειναν αυτούσιες ως είχαν. Οι κατηγορίες από έντεκα έως δεκατρία ενοποιήθηκαν στην κατηγορία μικτό δάσος. Οι δύο επόμενες κατηγορίες ενοποιήθηκαν σε μία επίσης, ενώ οι κατηγορίες θαλάσσια περιοχή με ρυπαντικό φορτίο και θάλασσα, παρέμειναν ως είχαν. Οι εννέα κατηγορίες κάλυψης γης που προέκυψαν είναι οι εξής:

- ID1 – Αστικό - Πολεοδομικό
- ID2 – Μη αρδευόμενη αρώσιμη γη
- ID3 – Μόνιμα αρδευόμενη αρώσιμη γη
- ID4 – Οπωροφόρα
- ID5 – Ελαιώνες
- ID6 – Μικτό δάσος
- ID7 – Σκληροφυλλική βλάστηση / θάμνοι - χερσότοποι
- ID8 – Θαλάσσια περιοχή με ρυπαντικό φορτίο
- ID9 - Θάλασσα

Οι αριθμοί ID υποδηλώνουν τη σειρά που ψηφιοποιήθηκαν οι δειγματοληπτικές περιοχές στο διανυσματικό αρχείο.

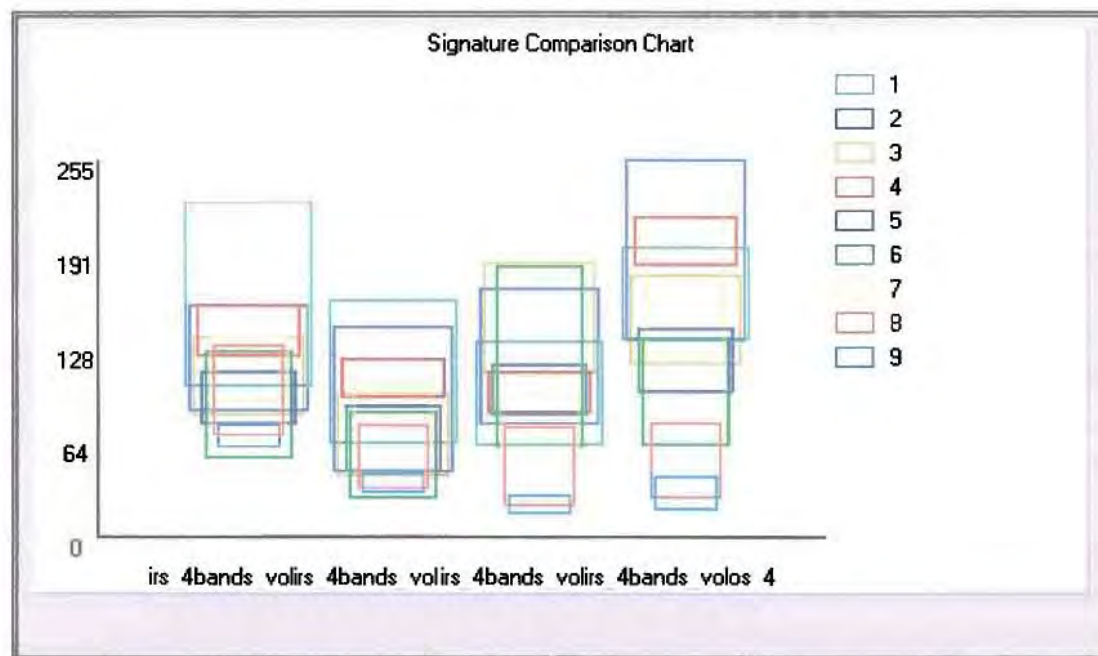
6.2.2. Δημιουργία φασματικών υπογραφών

Η διαδικασία της δημιουργίας των φασματικών υπογραφών στο IDRISI32 γίνεται από το υποπρόγραμμα MAKESIG, ως εξής: Πρώτα πρέπει να εισαχθεί το Διανυσματικό Αρχείο που περιέχει τα ψηφιοποιημένα πολύγωνα των δειγματοληπτικών περιοχών. Το αρχείο αυτό είναι της μορφής “όνομα αρχείου.vct” (αρχείο vector) και περιέχει τα πολύγωνα (ID1 έως ID9) για τις αντίστοιχες κατηγορίες κάλυψης γης. Για τις περισσότερες κατηγορίες κάλυψης γης επιλέχθηκαν περισσότερες της μίας δειγματοληπτικές περιοχές για να είναι πιο αντιπροσωπευτικό το δείγμα. Ακολούθως ζητείται να ονομαστούν οι κλάσεις για τη δημιουργία των φασματικών υπογραφών. Το MAKESIG αναλαμβάνει να δημιουργήσει από ένα αρχείο της μορφής “όνομα αρχείου.sig” που περιέχει την φασματική υπογραφή για κάθε κατηγορία κάλυψης γης. Με το υποπρόγραμμα SIGCOMP μπορούμε να ελέγξουμε τις φασματικές υπογραφές, σε παράθεση είτε επιλεκτικά κάποιες συγκεκριμένες κατηγορίες, είτε όλες μαζί. Το IDRISI32 παρέχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης επισκόπησης έως εννέα φασματικών υπογραφών.



Διάγραμμα 6.7: Μέσες τιμές στα τέσσερα φασματικά κανάλια του IRS-1C για τις εννέα κατηγορίες κάλυψης γης – Οι αριθμοί 1εως 9 υποδηλώνουν τα ID

Εκτός από την απεικόνιση των μέσων τιμών στις φασματικές υπογραφές, μπορούν να απεικονιστούν και οι μέγιστες και ελάχιστες ραδιομετρικές τιμές.



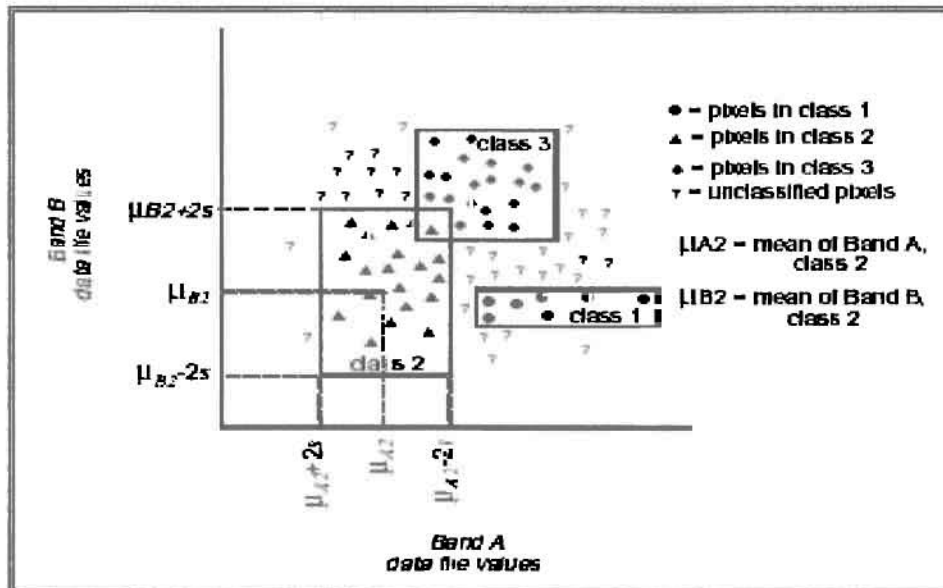
Διάγραμμα 6.8: Μέγιστες και ελάχιστες ραδιομετρικές τιμές για κάθε κατηγορία κάλυψης γης στα τέσσερα φασματικά κανάλια του IRS-1C.

Η αντίστοιχη διαδικασία στο IMAGINE 8.3.1 πραγματοποιείται από τον Signature Editor, όπου και εισάγεται μεμονωμένα το κάθε πολύγωνο από το διανυσματικό αρχείο. Τα πολύγωνα αυτά αντιστοιχούν σε καλύψεις γης και ο Signature editor μπορεί να τα διαχειριστεί με διάφορους τρόπους όπως πχ. να τα συνενώσει (merge). Ταυτόχρονα η επισκόπηση των φασματικών υπογραφών, η στατιστική τους ανάλυση (μέση τιμή, μέγιστη – ελάχιστη τιμή) καθώς και ο έλεγχος διαχωρισμού τους γίνεται πάντα μέσα από τον Signature editor, χωρίς να απαιτείται ξεχωριστό module για τις διαδικασίες αυτές.

Το τρίτο και τελικό βήμα, είναι η ταξινόμηση της εικόνας, η οποία στην περίπτωση αυτή γίνεται και με τους τρεις σκληρούς ταξινομητές που παρέχει το Idrisi32, δηλ. την μέθοδο των παραλληλεπίπεδων (Parallel Piped), την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood) και τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους (Minimum-Distance-to-Means).

6.2.3. Η μέθοδος των Παραλληλεπίπεδων

Η μέθοδος των παραλληλεπίπεδων ταξινομεί κάθε εικονοστοιχείο ελέγχοντας συγκεκριμένα κατώτατα και ανώτατα όρια. Τα όρια αυτά μπορεί να είναι η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή για κάθε κανάλι σε μια κάλυψη γης, ή η απόσταση σε τυπικές αποκλίσεις από τη μέση τιμή σε κάθε κανάλι. Τα εικονοστοιχεία που δεν πέφτουν στα όρια καμίας κατηγορίας, δεν ταξινομούνται. Επίσης είναι δυνατό να υπάρχουν παραλληλεπίπεδα που επικαλύπτονται, οπότε τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται μέσα σε αυτά ταξινομούνται κατά σύμβαση σε ένα από τα δύο.



Εικόνα 6.8: Ταξινόμηση σε τρεις κατηγορίες με τη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων (Πηγή: ERDAS Field Guide)

Η ταξινόμηση με τη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων στο IDRISI32 γίνεται ως εξής: από το μενού επιλέγουμε απ' τους Hard Classifiers το module Piped. Ακολούθως στο παράθυρο που ανοίγει δηλώνουμε πώς ορίζουμε τα όρια, από τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των κατηγοριών ή από κάποια τυπική απόκλιση από τη μέση τιμή (πχ. $\pm 1,96$ τυπικές αποκλίσεις). Στη συνέχεια πρέπει να δηλώσουμε τα αρχεία με τις φασματικές υπογραφές είτε για κάθε μια μεμονωμένα, είτε έχοντας ένα ενοποιημένο αρχείο φασματικών υπογραφών. (signature group file) . Κατόπιν δίνουμε ένα όνομα για την ταξινομημένη εικόνα και δηλώνουμε ποια φασματικά κανάλια θα χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση.

Η αντίστοιχη διαδικασία με το IMAGINE 8.3.1 πραγματοποιείται από το module Supervised Classification και την επιλογή parallelepiped. Η ταξινόμηση με τη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων στο IMAGINE 8.3.1 είναι περισσότερο ευέλικτη απ' ό τι στο IDRISI32. Συγκεκριμένα, δίνει επιλογές όσον αφορά τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται εκτός ορίων τιμών των φασματικών υπογραφών, και μπορούν αυτά να ταξινομηθούν είτε με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους, είτε με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, είτε με τη μέθοδο της απόστασης Mahalanobis, είτε όπως και στο IDRISI32 να μείνουν αταξινόμητα. Ακόμα, όσον αφορά τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται σε επικαλυπτόμενα παραλληλεπίπεδα, δίνει τη δυνατότητα είτε να ταξινομηθούν αυτά με μία από τις προαναφερθείσες μεθόδους, είτε να ταξινομηθούν με βάση τη σειρά του παραλληλεπίπεδου, είτε να παραμείνουν αταξινόμητα.

Η ταξινόμηση με τη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων έχει το πλεονέκτημα της ταχύτητας, σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους, καθώς και την ικανότητα να λάβει υπόψη την διακύμανση μέσα στις κλάσεις της ταξινόμησης. Σε γενικές γραμμές όμως αυτός ο ταξινομητής δεν έχει καλά αποτελέσματα εξαιτίας της επικάλυψης που παρουσιάζεται κατά την ταξινόμηση, μεγάλου αριθμού εικονοστοιχείων λόγω της συνδιακύμανσης μεταξύ των φασματικών καναλιών, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να αφήσει και αταξινόμητα εικονοστοιχεία σε περιοχές που υπάρχουν κενά μεταξύ των παραλληλεπίπεδων. (πηγή: Richards A. John, Remote sensing Digital image analysis)

6.2.4. Η μέθοδος της Ελάχιστης Απόστασης

Η ταξινόμηση με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης (Minimum Distance), ελέγχει την απόσταση ενός εικονοστοιχείου από τη μέση τιμή κάθε κατηγορίας κάλυψης για να το ταξινομήσει στην πιο κοντινή σε αυτό κατηγορία. Ο ταξινομητής αυτός χρησιμοποιεί την ευκλείδεια απόσταση:

$$\Phi A_{xyk} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\mu_{ki} - X_{xyi})^2}$$

όπου:

n : ο αριθμός των φασματικών καναλιών

i : ένα συγκεκριμένο κανάλι

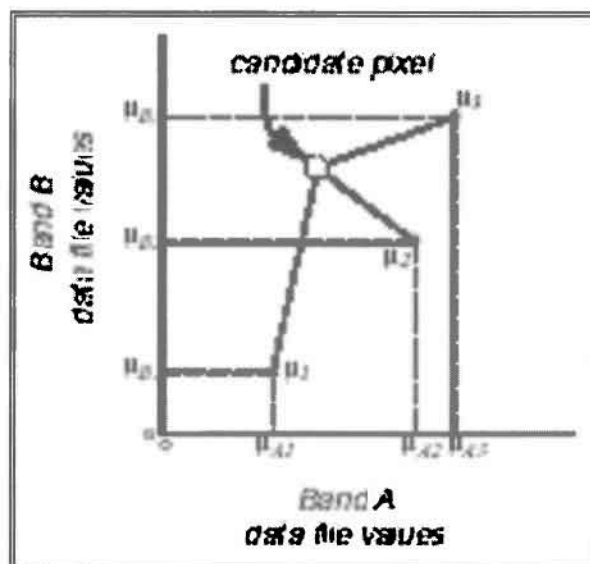
k : μια συγκεκριμένη κατηγορία κάλυψης

X_{xyi} : η τιμή του εικονοστοιχείου x,y στο κανάλι i

μ_{ki} : η μέση τιμή της κατηγορίας k στο κανάλι i

ΦA_{xyk} : Η φασματική απόσταση του εικονοστοιχείου x,y από τη μέση τιμή της κατηγορίας k .

Ο ταξινομητής υπολογίζει όλες τις Φασματικές αποστάσεις από κάθε κατηγορία k και ταξινομεί το εικονοστοιχείο στην κατηγορία με τη μικρότερη $\Phi.A.$



Εικόνα 6.9: Το υποψήφιο προς ταξινόμηση εικονοστοιχείο και οι φασματικές αποστάσεις από τις μέσες τιμές τριών κατηγοριών κάλυψης σε δύο φασματικά κανάλια (πηγή: ERDAS Field Guide)

Το IDRISI32 παρέχει δύο επιλογές ως προς την Φασματική απόσταση πέρα από την οποία δεν θα ταξινομηθούν ορισμένα εικονοστοιχεία. Η πρώτη είναι η απλή απόσταση σε ραδιομετρικές τιμές (raw Distance) με την οποία μπορούμε να επιλέξουμε έναν αριθμό βάσει του οποίου, τα εικονοστοιχεία των οποίων η $\Phi.A.$ είναι μεγαλύτερη από αυτόν τον αριθμό δεν θα ταξινομηθούν. Ο αριθμός αυτός μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 255. Δίνει τη δυνατότητα επίσης να ορίσουμε απεριόριστη απόσταση αναζήτησης (infinite search distance) οπότε κατ' επέκταση θα ταξινομηθούν όλα τα εικονοστοιχεία όσο απομακρυσμένα και να είναι από τις μέσες

τιμές των κατηγοριών. Η δεύτερη επιλογή δίνει την απόσταση αναζήτησης με βάση την τυπική απόκλιση (z-scores). Στατιστικά, η επιλογή ενός z-score 1,96 θα αφήσει περίπου το 5% των εικονοστοιχείων αταξινομήτο αν και αυτό εξαρτάται και από το μέγεθος των δειγματοληπτικών περιοχών (πηγή: IDRISI32 Help system, ηλεκτρονικό αρχείο βοήθειας του IDRISI32). Κατόπιν επιλέγουμε τις φασματικές υπογραφές μεμονωμένα, ή το γκρουπ των φασματικών υπογραφών που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και τα φασματικά κανάλια που θα επεξεργασθούν για την ταξινόμηση.

Το IMAGINE 8.3.1 για την ταξινόμηση με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους, δίνει δύο δυνατότητες. Επιτρέπει είτε την ταξινόμηση όλων των εικονοστοιχείων ανεξάρτητα από την φασματική τους απόσταση από τις μέσες τιμές των φασματικών υπογραφών, είτε τη θέσπιση ενός ορίου όσον αφορά την απόσταση από τις μέσες τιμές, πέρα από το οποίο δεν θα ταξινομηθούν τα εικονοστοιχεία που το ξεπερνούν.

Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου των ελαχίστων αποστάσεων είναι ότι μπορεί να ταξινομήσει όλα τα εικονοστοιχεία άσχετα από το ποια είναι η Φασματική τους Απόσταση από τις μέσες τιμές των κατηγοριών. Ταυτόχρονα αυτό μπορεί να αναδειχθεί σε μειονέκτημα γιατί δύναται να ταξινομήσει και εικονοστοιχεία που απέχουν από τις μέσες τιμές. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί, ορίζοντας τα όρια για την Φασματική Απόσταση που προαναφέρθηκαν, πέρα απ' τα οποία δεν θα ταξινομούνται τα εικονοστοιχεία. Ένα δεύτερο μειονέκτημα αυτού του ταξινομητή είναι το γεγονός ότι δεν λαμβάνει υπόψη τη διακύμανση των τιμών σε μια κατηγορία. Για παράδειγμα, στην κατηγορία πολεοδομικό - Αστικό τις οποίας τα εικονοστοιχεία παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση ως προς τη μέση τιμή, τα εικονοστοιχεία που απέχουν περισσότερο από τη μέση τιμή υπάρχει ενδεχόμενο να ταξινομηθούν λάθος (πηγή: ERDAS FIELD GUIDE).

6.2.5. Η μέθοδος της απόστασης Mahalanobis

Η ταξινόμηση με τη μέθοδο της απόστασης Mahalanobis μοιάζει με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους, μόνο που στην εξίσωση υπεισέρχεται και η μήτρα συνδιακύμανσης. Η διακύμανση και η συνδιακύμανση υπολογίζονται μαζί, έτσι ώστε ομάδες τιμών που έχουν μεγάλη διακύμανση να οδηγούν σε αντίστοιχες κατηγορίες με μεγάλη διακύμανση, και αντίστροφα (Πηγή: ERDAS FIELD GUIDE). Το IDRISI32 δεν παρέχει τη δυνατότητα ταξινόμησης με τη συγκεκριμένη μέθοδο, σε αντίθεση με το IMAGINE 8.3.1. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι λαμβάνεται υπόψη η διακύμανση μέσα στις κλάσεις, σε αντίθεση με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους, και τη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι τείνει να υπερπληροί κλάσεις με σχετικά μεγάλες τιμές στη μήτρα συνδιακύμανσης. Η μέθοδος αυτή είναι πιο απαιτητική υπολογιστικά σε σχέση με τις δύο προηγούμενες.

6.2.6. Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας

Η ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood) στηρίζεται στην πιθανότητα να ανήκει ένα εικονοστοιχείο σε μια συγκεκριμένη κλάση. Η βασική εξίσωση υποθέτει ότι οι πιθανότητες είναι ίσες για όλες τις κλάσεις της ταξινόμησης, και ότι τα φασματικά κανάλια που θα χρησιμοποιηθούν έχουν κανονική κατανομή ιστογράμματος. Εάν ο χρήστης έχει τη γνώση εκ των προτέρων ότι οι πιθανότητες δεν είναι ίσες για όλες τις ομάδες, μπορεί να ορίσει άλλες πιθανότητες για συγκεκριμένες κατηγορίες για τις οποίες έχει τη γνώση αυτή (Πηγή: ERDAS FIELD GUIDE).

Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας είναι η πιο ακριβής από τις μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης (εάν τα ιστογράμματα προσεγγίζουν την κανονική κατανομή) γιατί παίρνει υπόψη τις περισσότερες παραμέτρους κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης. Επίσης άλλο πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι παίρνει υπόψη και την ενδοομαδική διακύμανση, όπως και η μέθοδος της απόστασης Mahalanobis. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι οι μεγάλες τις απαιτήσεις σε επεξεργαστική ισχύ σε σχέση με άλλες μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης, καθώς και η εξάρτηση που έχει από την κανονική κατανομή του ιστογράμματος.

Ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας υποστηρίζουν και τα δύο λογισμικά. Το IDRISI32 χρησιμοποιώντας το module Maxlike, ζητάει από το χρήστη αρχικά να δηλώσει εάν επιθυμεί τη χρήση ίσων πιθανοτήτων για όλες τις ομάδες, ή αν υπάρχουν συγκεκριμένα ποσοστά για κάποιες από τις ομάδες. Σε κάθε περίπτωση, οι πιθανότητες κανονικοποιούνται για την εκτέλεση του αλγόριθμου. Κατόπιν δηλώνονται οι φασματικές υπογραφές, ενώ πρέπει να δηλωθεί και το ποσοστό των εικονοστοιχείων που θα εξαιρεθεί από την ταξινόμηση. Όσον αφορά το ποσοστό αυτό, το IDRISI32 παρέχει είτε την ταξινόμηση όλων των εικονοστοιχείων (0% εξαίρεση), την εξαίρεση ποσοστού 1% ή 5%, ή την εξαίρεση ενός ποσοστού Chi-square.

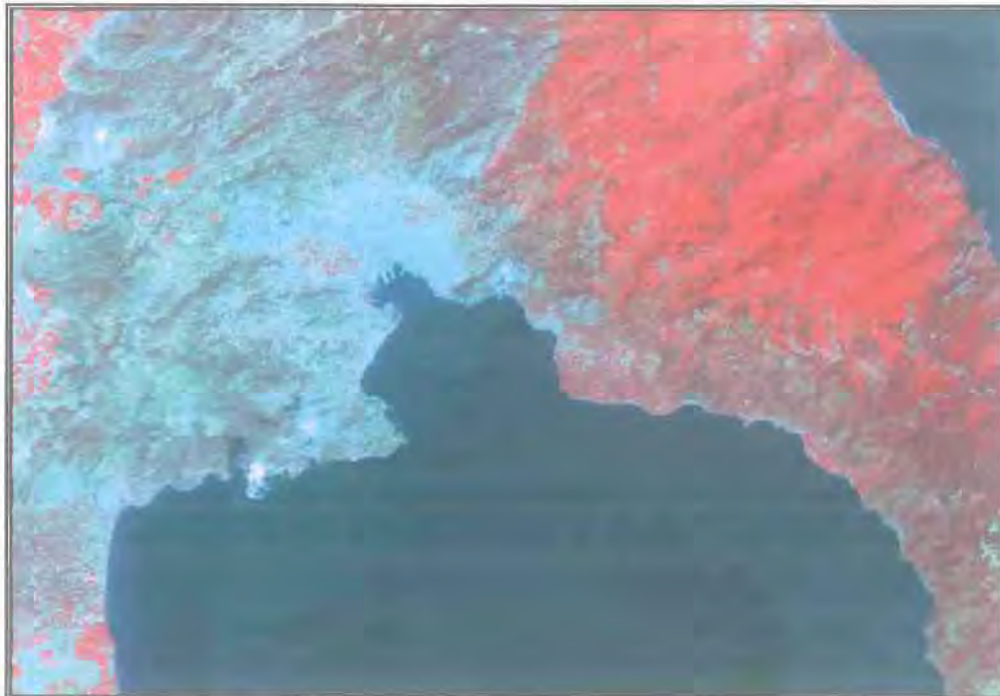
Το IMAGINE 8.3.1 μέσα από το υποπρόγραμμα supervised classification δίνει επίσης τη δυνατότητα εκτέλεσης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Η διαδικασία είναι αντίστοιχη με το IDRISI32, δηλώνοντας το αρχείο με τις φασματικές υπογραφές, καθώς και το αρχείο εικόνας που θα ταξινομηθεί. Κατόπιν δηλώνεται η μέθοδος ταξινόμησης (στην προκειμένη περίπτωση η μέθοδος μέγιστης πιθανοφάνειας) καθώς και αν θα χρησιμοποιηθούν πιθανότητες εφόσον υπάρχει γνώση εκ των προτέρων. Και το IMAGINE 8.3.1 δίνει τη δυνατότητα επιλογής για την ταξινόμηση είτε όλων των εικονοστοιχείων, είτε την επιλογή της απόρριψης ορισμένου ποσοστού.

6.3.1. Σύγκριση του IDRISI32 και του IMAGINE σε επιβλεπόμενες ταξινομήσεις

Για τις ταξινομήσεις αρχικά επιλέχθηκε ένα μικρό τμήμα από την εικόνα που περιέχει ολόκληρη τη Θεσσαλία η οποία προέρχεται από τον πολυφασματικό σαρωτή LISS-III του δορυφόρου IRS-1C. Η διακριτική ικανότητα στα τρία πρώτα κανάλια είναι 25m, ενώ για το τέταρτο η διακριτική ικανότητα είναι 70m, ενώ η ραδιομετρική ανάλυση είναι 7bit. Το τμήμα αυτό περιλαμβάνει το Πολεοδομικό συγκρότημα του Βόλου και περιοχές γύρω από αυτό, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα παρακάτω.

Τα επιμέρους χαρακτηριστικά της εικόνας όπως αναφέρονται στο αρχείο πληροφοριών της (header) είναι:

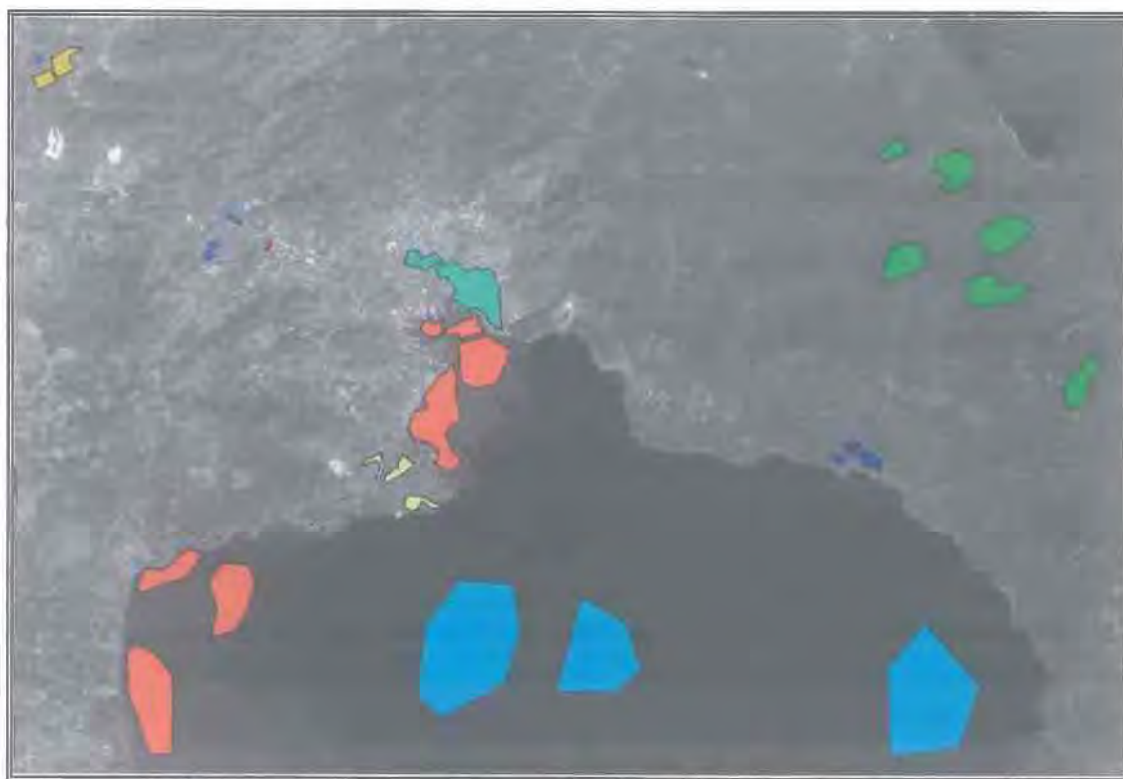
Ύψος:	4332 γραμμές
Πλάτος:	6351 στήλες
Minimum X:	393868
Maximum X:	431974
Minimum Y:	4340781
Maximum Y:	4366773
Μέγεθος pixel:	23m



Εικόνα 6.10: Η αρχική εικόνα που ταξινομήθηκε (ψευδοχρωματική σύνθεση από το 1^ο, 2^ο, 3^ο κανάλια του πολυφασματικού σαρωτή LISS-III)

Επειδή η εικόνα αυτή είναι σχετικά μικρή σε μέγεθος, οι χρόνοι υπολογισμού των ταξινομήσεων και στους δύο υπολογιστές ήταν ελάχιστοι (κυμαίνονταν από 1 έως 4 δευτερόλεπτα για όλες τις μεθόδους ταξινόμησης). Για να γίνουν οι διαφορές στην ταχύτητα εκτέλεσης των ταξινομήσεων περισσότερο διακριτές, χρησιμοποιήθηκε η συνολική εικόνα της Θεσσαλίας. Αυτό αύξησε το ποσοστό σφάλματος στις ταξινομήσεις όσον αφορά τη συνολική εικόνα, διότι χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες δειγματοληπτικές περιοχές και στις δύο περιπτώσεις. Έτσι, γίνονται δύο αναφορές όσον αφορά τις μεθόδους ταξινομήσεων, μία με βάση τις ποιοτικές διαφορές των δύο λογισμικών πακέτων, και μία με βάση την ταχύτητα υπολογισμού σε αντίστοιχες μεθόδους ταξινόμησης.

Οι δειγματοληπτικές περιοχές βάσει των οποίων έγινε η εξαγωγή των φασματικών υπογραφών, παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα. Για τις περισσότερες κατηγορίες επιλέχθηκαν πάνω από μια δειγματοληπτικές περιοχές. Η κάθε κατηγορία κάλυψης αντιστοιχεί σε ένα χρώμα.



Εικόνα 6.11: Οι δειγματοληπτικές περιοχές που επιλέχθηκαν, με επίθεση του διανυσματικού αρχείου πάνω στην δορυφορική εικόνα με ξεχωριστή χροιά για κάθε κατηγορία κάλυψης.

6.3.2. Ποιοτικές διαφορές

Και για τα δύο λογισμικά εφαρμόστηκαν κοινές διαδικασίες όσο αυτό ήταν δυνατό. Χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες ακριβώς εικόνες τόσο όσον αφορά τα τμήματα όσο και στην μεγάλη εικόνα που καλύπτει ολόκληρη τη Θεσσαλία. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το ίδιο διανυσματικό αρχείο (vector), το οποίο δημιουργήθηκε στο IDRISI32 και εισήχθη κατόπιν στο IMAGINE με τις ίδιες ακριβώς δειγματοληπτικές περιοχές για την εξαγωγή των φασματικών υπογραφών.

Η εκτέλεση των δύο πιο ολοκληρωμένων –από άποψη αποτελέσματος- μεθόδων ταξινόμησης, της μεθόδου των Ελάχιστων Αποστάσεων (Minimum Distance) και της μεθόδου της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood) έγινε με τις ίδιες παραμέτρους και στα δύο λογισμικά. Στην εκτέλεση της ταξινόμησης με τη μέθοδο των Παραλληλεπίπεδων (Parallelepiped classification) το IDRISI32 έχει ένα σημαντικό περιορισμό, ο οποίος κατά περίπτωση αλλοιώνει σημαντικά το αποτέλεσμα σε σχέση με το IMAGINE. Συγκεκριμένα, τα εικονοστοιχεία τα οποία βρίσκονται σε επικαλυπτόμενα παραλληλεπίπεδα, είναι δηλαδή μέσα στα όρια περισσότερων από μίας κατηγορίες κάλυψη γης, ταξινομούνται κατά σύμβαση στην τελευταία από αυτές που τηρεί τις προϋποθέσεις. Σε αντίθεση, το IMAGINE δίνει τη δυνατότητα για τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται σε επικαλυπτόμενες κατηγορίες, να ταξινομηθούν με παραμετρικούς κανόνες όπως π.χ. με τη διαδικασία της ελάχιστης απόστασης. Έτσι περιορίζεται η αδυναμία του συγκεκριμένου ταξινομητή στη συγκεκριμένη διαδικασία και ελαττώνονται οι πιθανότητες να ταξινομηθεί λάθος ένα εικονοστοιχείο. Επίσης, άλλη διαφορά όσον αφορά τη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων, είναι ότι στο IDRISI32 όσα εικονοστοιχεία δεν είναι σε κανένα παραλληλεπίπεδο μένουν αταξινόμητα, ενώ στο IMAGINE τα ανάλογα εικονοστοιχεία δύνανται να ταξινομηθούν με παραμετρικούς κανόνες αντίστοιχα με όσα βρίσκονται σε επικαλυπτόμενα παραλληλεπίπεδα.

Όσον αφορά την ποιοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων, εξάγονται δύο βασικά συμπεράσματα. Πρώτον, με εξαίρεση τη μέθοδο των Παραλληλεπίπεδων, και τα δύο βγάζουν λογισμικά παρέχουν παρεμφερή αποτελέσματα, και δεύτερον, επειδή οι διαφορές στις εικόνες στα αποτελέσματα των ταξινομήσεων δεν ήταν ορατές και άμεσα αντιληπτές με απλή επισκόπηση, με χρήση μιας απλής τεχνικής, που

αναλύεται παρακάτω, αποφαίνεται ότι οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τα δύο προγράμματα, και στις τρεις περιπτώσεις δεν είναι κοινοί. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε ήταν ουσιαστικά μια αφαίρεση πινάκων, αφαιρώντας από κάθε ένα εικονοστοιχείο της πρώτης ταξινομημένης εικόνας το αντίστοιχο εικονοστοιχείο της δεύτερης εικόνας. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με το module OVERLAY στο IDRISI32, το οποίο επιτρέπει την επίθεση εικόνων και την πραγματοποίηση αλγεβρικών πράξεων μεταξύ τους (οι εικόνες θα πρέπει να έχουν ίδιο αριθμό γραμμών και στηλών).

Εάν τα δύο λογισμικά χρησιμοποιούσαν ακριβώς τους ίδιους αλγόριθμους για τις ταξινομήσεις, θα έπρεπε η νέα εικόνα που προκύπτει από την αφαίρεση να έχει μηδενικές τιμές σε όλα τα εικονοστοιχεία της. Εν τούτοις η εφαρμογή του OVERLAY έδειξε ότι υπάρχουν διαφορές στις ταξινομημένες εικόνες, παράγοντας εικόνες με μη μηδενικές τιμές.

Στην πρώτη εξεταζόμενη μέθοδο ταξινόμησης, αυτή των παραλληλεπίπεδων, λόγω των περιορισμών που προαναφέρθηκαν όσον αφορά το IDRISI32, οι διαφορές στις ταξινομημένες εικόνες ήταν σημαντικές. Οι εικόνες παρακάτω απεικονίζονται με την ίδια χρωματική παλέτα για να είναι περισσότερο αντιληπτές οι διαφορές που προέκυψαν κατά την ταξινόμηση. Οι εννέα κατηγορίες είναι οι ίδιες που περιγράφονται στη διαδικασία της ταξινόμησης με το IDRISI32.

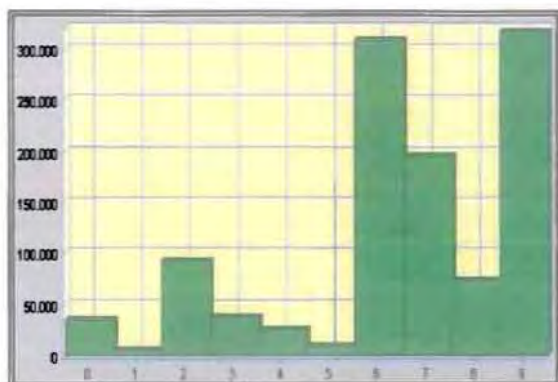


Εικόνα 6.12: Ταξινόμηση με τη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων στο IMAGINE

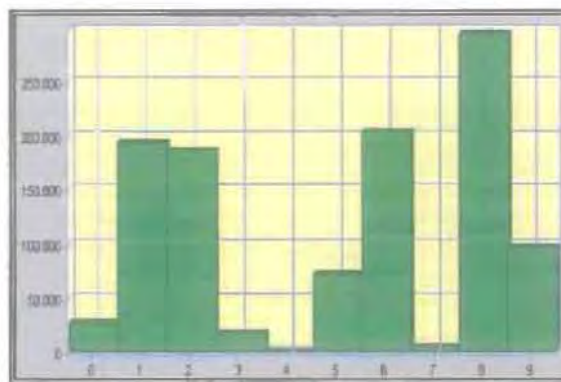


Εικόνα 6.13: Ταξινόμηση με τη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων στο IDRISI32

Οι διαφορές στη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων είναι πολύ μεγάλες, με πλέον χαρακτηριστική την έβδομη κατηγορία κάλυψης «Σκληροφυλλική βλάστηση / Θάμνοι-χερσότοπου», όπου στο IMAGINE ταξινομούνται γύρω στις 5.500 εικονοστοιχεία, ενώ στην ίδια κατηγορία κάλυψης στο IDRISI32 ταξινομούνται πάνω από 190.000 εικονοστοιχεία. Αντίστροφα, στην κατηγορία κάλυψης «Πολεοδομικό», στο IDRISI32 ταξινομούνται γύρω στις 5.000 εικονοστοιχεία, ενώ στην ίδια κατηγορία στο IMAGINE ταξινομούνται γύρω στις 195.000 εικονοστοιχεία. Οι διαφορές αυτές γίνονται περισσότερο αντιληπτές εξετάζοντας τα διαγράμματα με τα ιστογράμματα των δύο εικόνων.



Διάγραμμα 6.9: Ιστόγραμμα της ταξινομημένης εικόνας στο IDRISI32



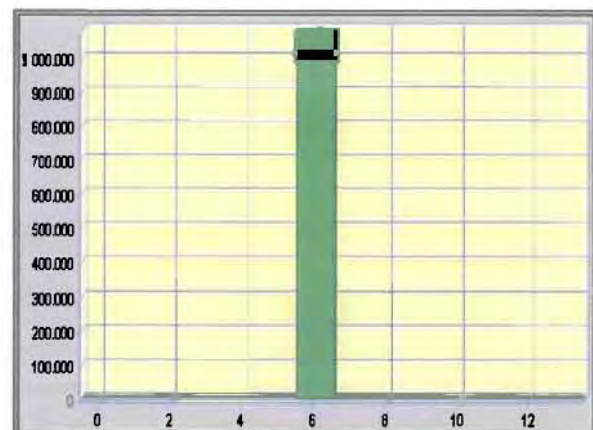
Διάγραμμα 6.10: Ιστόγραμμα της ταξινομημένης εικόνας στο IMAGINE



Εικόνα 6.18: Η εικόνα που προκύπτει από την αλγεβρική αφαίρεση των δύο ταξινομημένων με τη μέθοδο της Μέγιστης Πιθανοφάνειας εικόνων, παρουσιάζοντας μικρές διαφορές στο αποτέλεσμα της ταξινόμησης των δύο λογισμικών

Μετά την επεξεργασία με το SCALAR οι τιμές που αναφέρονται ως 6 αντιστοιχούν στο 0 και απεικονίζονται με πράσινο χρώμα στην παλέτα που χρησιμοποιήθηκε.

Όπως φαίνεται και από το ιστόγραμμα της επεξεργασμένης εικόνας της αφαίρεσης, υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση στο 6 που αντιστοιχεί στο 0, άρα οι διαφορές των δύο ταξινομημένων εικόνων είναι πολύ μικρές.



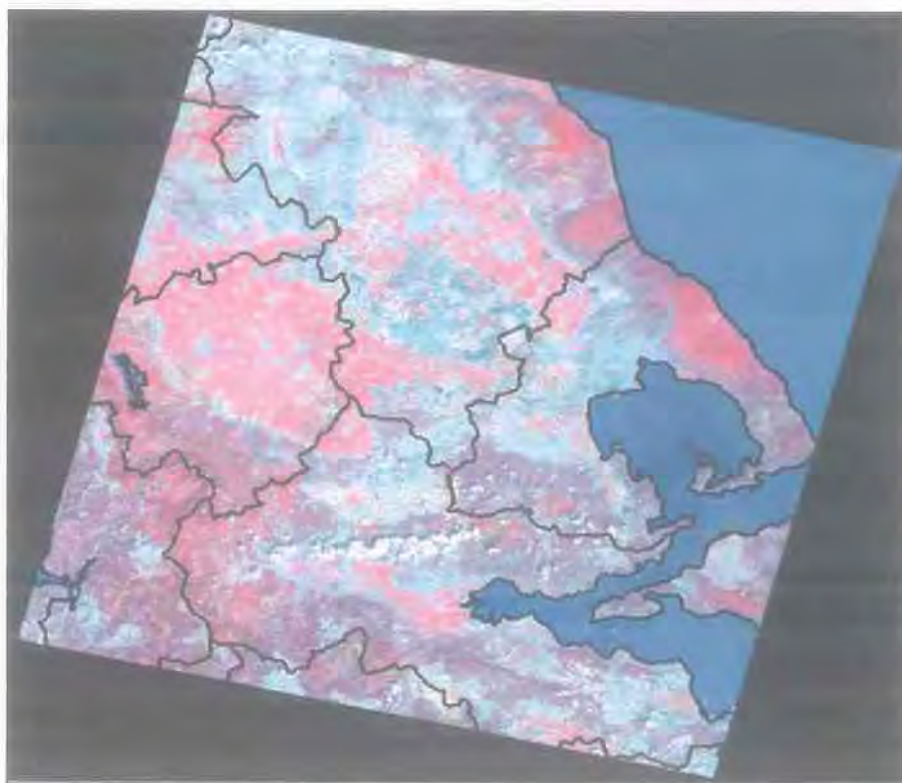
Διάγραμμα 6.14: Ιστόγραμμα της εικόνας αφαίρεσης των δύο ταξινομημένων εικόνων

Το συμπέρασμα που βγαίνει από την ανάλυση των ταξινομήσεων όσον αφορά τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά είναι ότι και στις τρεις μεθόδους ταξινόμησης υπάρχουν

διαφορές στον τρόπο που δουλεύουν οι αλγόριθμοι και στα αποτελέσματα που παρουσιάζουν. Συγκεκριμένα, στη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων το IDRISI32 έχει αρκετούς περιορισμούς (οι οποίοι αναφέρονται και στο εγχειρίδιο βοήθειας του προγράμματος) γεγονός που διαφαίνεται και από τη μεγάλη ποσοτική διαφορά των δυο ταξινομημένων εικόνων με τη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων. Αναφορικά με τις δύο άλλες μεθόδους ταξινόμησης, που θεωρούνται και οι πιο σημαντικές, οι διαφορές ως προς το αποτέλεσμα της ταξινόμησης μεταξύ των δύο προγραμμάτων ήταν υπαρκτές αλλά μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες. Πάντως αυτές οι –έστω- μικρές διαφορές υποδηλώνουν ότι τα δύο λογισμικά ακολουθούν διαφορετικούς αλγόριθμους για την ολοκλήρωση της ταξινόμησης.

6.3.5. Διαφορές στην ταχύτητα υπολογισμού

Για να γίνουν αντιληπτές οι διαφορές στα δύο προγράμματα όσον αφορά τους χρόνους για τον υπολογισμό μιας ταξινόμησης, επειδή ο όγκος των δεδομένων στην εικόνα με το πολεοδομικό του Βόλου είναι μικρός, χρησιμοποιήθηκε η συνολική εικόνα της Θεσσαλίας από τον πολυφασματικό σαρωτή LISS-III του δορυφόρου IRS-1C.



Εικόνα 6.19: Η συνολική εικόνα της Θεσσαλίας που ταξινομήθηκε (ψευδοχρωματική σύνθεση από το 1^ο, 2^ο, 3^ο κανάλια του πολυφασματικού σαρωτή LISS-III)

Επειδή οι ποσοτικές διαφορές όσον αφορά τις ταξινομημένες εικόνες με τα δύο προγράμματα αναλύθηκαν προηγουμένως, η ανάλυση στη συνέχεια ασχολείται μόνο με τους χρόνους υπολογισμού σε εικόνες με αρκετά μεγαλύτερο μέγεθος δεδομένων. Ειδικότερα για κάθε φασματικό κανάλι, η εικόνα που αντιστοιχούσε είχε τα εξής χαρακτηριστικά:

- 5911 στήλες
- 5752 γραμμές
- ραδιομετρική πληροφορία 8bit, δηλαδή οι ραδιομετρικές τιμές κυμαίνονταν από 0 έως 255.

Η περιοχή που καλύπτει έχει μέγεθος 142km επί 142km και απεικονίζει ένα μεγάλο μέρος της Θεσσαλίας, λείπουν όμως οι δυτικές ορεινές περιοχές του νομού Τρικάλων, ένα τμήμα βόρεια από το νομό Λάρισας, καθώς και οι Σποράδες και ένα μικρό κομμάτι από το νότιο άκρο του Πηλίου.

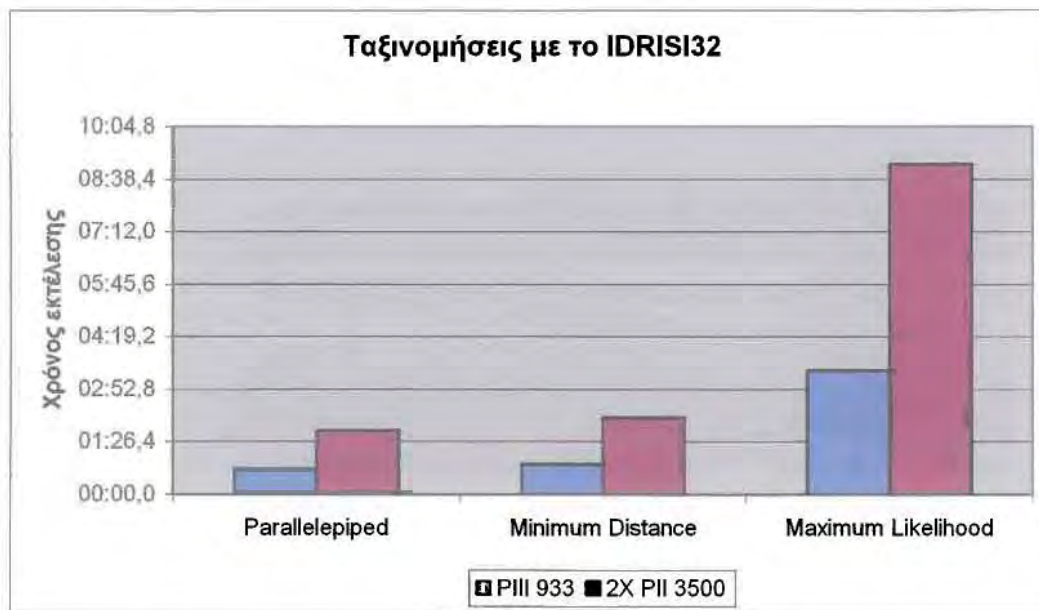
6.3.6. Μετρήσεις ταχύτητας εκτέλεσης επιβλεπόμενης ταξινόμησης

Αρχικά μετρήθηκε η ταχύτητα εκτέλεσης των τριών μεθόδων ταξινόμησης στο IDRISI32, χρησιμοποιώντας τους δύο υπολογιστές που προαναφέρθηκαν. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε μια ταξινόμηση με τη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων με τις εξής παραμέτρους: ορισμός των παραλληλεπίπεδων βάσει ελάχιστων και μέγιστων τιμών για κάθε κατηγορία κάλυψης, καθώς και μη ταξινόμηση όσων εικονοστοιχείων δεν περιέχονται σε παραλληλεπίπεδο. Κατόπιν ταξινομήθηκε η εικόνα με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης όπου ως παράμετρος είχε οριστεί η πλήρης ταξινόμηση όλων των εικονοστοιχείων ανεξάρτητα από την απόσταση τους από τις μέσες τιμές των κατηγοριών κάλυψης. Τέλος, ταξινομήθηκε με τη μέθοδο της Μέγιστης πιθανοφάνειας, όπου σαν παράμετροι ορίστηκαν οι ίσες πιθανότητες να ανήκει ένα εικονοστοιχείο σε μια κατηγορία, καθώς και η ταξινόμηση όλων των εικονοστοιχείων ανεξάρτητα από τη θέση τους.

IDRISI32	Parallelepiped	Minimum Distance	Maximum Likelihood
P III 933	00:40,9	00:49,1	03:23,5
2X P II 350	01:44,9	02:05,7	09:02,6

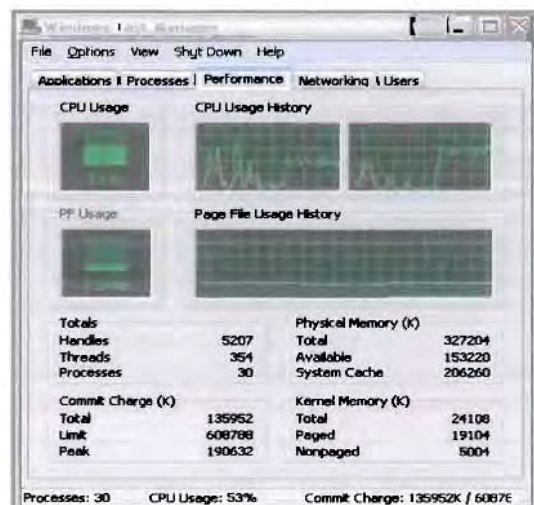
Πίνακας 6.1: Οι χρόνοι υπολογισμού των τριών μεθόδων ταξινόμησης με το IDRISI32

Η πρώτη παρατήρηση που μπορεί να γίνει είναι ότι τόσο η μέθοδος των παραλληλεπίπεδων, όσο και η μέθοδος της ελάχιστης απόστασης, είναι λιγότερο απαιτητικές σε ότι αφορά την επεξεργαστική ισχύ, με χρόνους παραπλήσιους, να κυμαίνονται σε λιγότερο από ένα λεπτό για τον πιο γρήγορο υπολογιστή. Αντίθετα, η ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας είναι αρκετά πιο χρονοβόρα απαιτώντας τετραπλάσιο χρόνο ως προς τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης.



Διάγραμμα 6.15: Οι χρόνοι υπολογισμού των τριών μεθόδων ταξινόμησης με το IDRISI32

Με το διάγραμμα 6.15 οι διαφορές στους χρόνους υπολογισμού γίνονται περισσότερο αντιληπτές. Δεύτερη παρατήρηση είναι ότι το IDRISI32 και με τους τρεις αλγόριθμους, δεν κάνει χρήση του δεύτερου επεξεργαστή όπως φαίνεται και από τον Task Manager των Windows XP. Η συνολική χρήση των επεξεργαστών έμεινε στο 50% που σημαίνει ότι στην πραγματικότητα μόνο ο ένας επεξεργαστής από τους δύο χρησιμοποιείται στο μέγιστο από τη διαδικασία (process) της ταξινόμησης. Άρα οι αλγόριθμοι που



ακολουθεί το IDRISI32 δεν είναι πολυδιεργασιακοί.

Για τις μετρήσεις με το IMAGINE 8.3.1 πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία, με ίδιες παραμέτρους στις δυο μεθόδους ταξινόμησης, την μέθοδο ελάχιστης απόστασης και τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Στη μέθοδο των παραλληλεπίπεδων, εφόσον δεν υπήρχαν οι περιορισμοί, που θέτει το IDRISI32, οι δύο παράμετροι που ορίστηκαν ήταν α) όσα εικονοστοιχεία βρίσκονται σε επικαλυπτόμενα παραλληλεπίπεδα, να ταξινομηθούν σε αυτό του οποίου η φασματική υπογραφή είναι μικρότερη στη σειρά με την οποία έχουν οριστεί, και β) όσα εικονοστοιχεία δεν βρίσκονται σε κανένα παραλληλεπίπεδο, να μείνουν αταξινόμητα. Οι χρόνοι που μετρήθηκαν αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

IMAGINE 8.3.1	Parallelepiped	Minimum Distance	Maximum Likelihood
Pill 933	00:50,8	01:02,5	01:32,8
2X Pill 350	02:44,6	03:39,2	04:25,1

Πίνακας 6.2: Οι χρόνοι υπολογισμού των τριών μεθόδων ταξινόμησης με το IMAGINE 8.3.1

Η πιο σημαντική παρατήρηση που μπορεί να γίνει είναι ότι η αύξηση του χρόνου υπολογισμού για τις τρεις μεθόδους ταξινόμησης είναι πιο ομαλή στο IMAGINE, σε αντίθεση με το IDRISI32 όπου η ταξινόμηση με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης απαιτεί τετραπλάσιο επεξεργαστικό χρόνο.



Διάγραμμα 6.16: Οι χρόνοι υπολογισμού των τριών μεθόδων ταξινόμησης με το IMAGINE 8.3.1

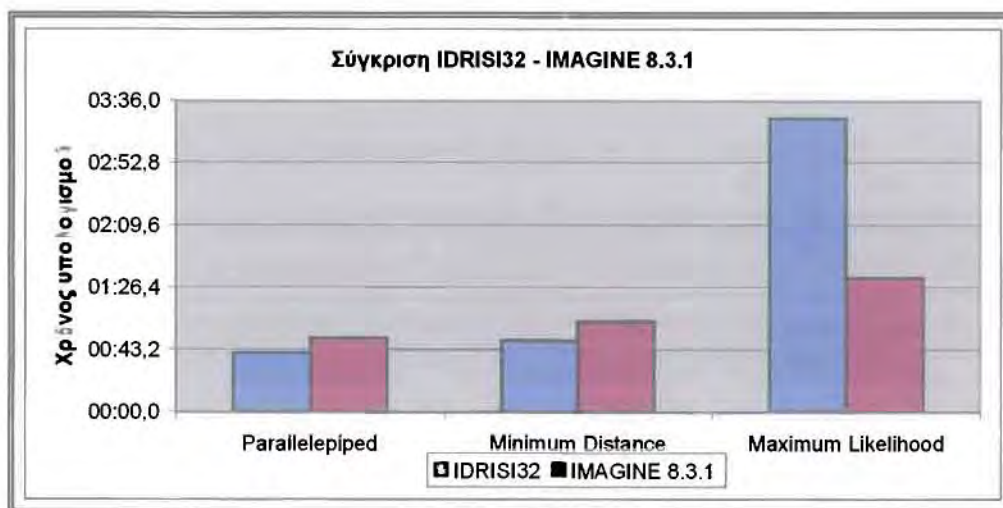
Επίσης, όπως συμβαίνει και με το IDRISI32, και στο IMAGINE 8.3.1 κατά την εκτέλεση των διεργασιών στις ταξινομήσεις, δεν χρησιμοποιείται ο δεύτερος επεξεργαστής του υπολογιστή, άρα ούτε το IMAGINE 8.3.1 δεν υποστηρίζει πολυδιεργασία (multi-threading).

Για την απ' ευθείας αντιπαράθεση όσον αφορά τους χρόνους ταξινόμησης στα δύο προγράμματα, χρησιμοποιήθηκαν οι χρόνοι του γρηγορότερου υπολογιστή για δύο λόγους. Α) γιατί ο υπολογιστής αυτός είδη για τα σημερινά δεδομένα θεωρείται μια μέτρια λύση και β) εφόσον τα δύο προγράμματα δεν υποστηρίζουν περισσότερους επεξεργαστές, δεν είχε νόημα η αντιπαράθεση σε αυτόν τον τομέα. Οι χρόνοι ακολουθούν παρακάτω:

IDRISI32 vs IMAGINE	Parallelepiped	Minimum Distance	Maximum Likelihood
IDRISI32	00:40,9	00:49,1	03:23,5
IMAGINE 8.3.1	00:50,8	01:02,5	01:32,8

Πίνακας 6.3: Σύγκριση σε χρόνους επεξεργασίας ταξινομήσεων στα δύο λογισμικά

Συγκρίνοντας τους χρόνους, βλέπουμε ότι στη μέθοδο των Παραλληλεπίπεδων το IDRISI32 προηγείται του IMAGINE 8.3.1 με μια διαφορά 10 δευτερολέπτων που σημαίνει ότι το IDRISI32 θέλει το 81,5% του χρόνου επεξεργασίας που απαιτεί το IMAGINE 8.3.1.



Διάγραμμα 6.17: Σύγκριση σε χρόνους επεξεργασίας ταξινομήσεων στα δύο λογισμικά

Θα πρέπει να σημειωθεί βέβαια, ότι στη συγκεκριμένη μέθοδο ταξινόμησης, λόγω των περιορισμών που θέτει το IDRISI32 και αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, οι ποιοτικές διαφορές στις δύο ταξινομημένες εικόνες είναι μεγάλες.

Συγκρίνοντας τους χρόνους για τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης, το IDRISI32 είναι πάλι ταχύτερο του IMAGINE 8.3.1 με μια διαφορά δεκατριών δευτερολέπτων. Απαιτεί έτσι το 78,5% του υπολογιστικού χρόνου που απαιτεί το IMAGINE 8.3.1. Οι ποιοτικές διαφορές των παραγόμενων εικόνων είναι ουσιαστικά μηδενικές.

Το πιο ενδιαφέρον στη σύγκριση είναι η αντιστροφή στους χρόνους επεξεργασίας με τη μέθοδο της Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Ενώ στις δύο πρώτες μεθόδους το IDRISI32 είναι πιο γρήγορο από το IMAGINE 8.3.1, στην τελευταία μέθοδο, η οποία είναι και η πιο απαιτητική σε επεξεργαστική ισχύ, το IMAGINE 8.3.1 είναι ταχύτερο από το IDRISI32. συγκεκριμένα το IMAGINE 8.3.1 έκανε 1 λεπτό και 53 δευτερόλεπτα λιγότερα για να πραγματοποιήσει την ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας ήτοι ολοκλήρωσε τη διαδικασία στο 45,6% του χρόνου που χρειάστηκε το IDRISI32. Και εδώ οι παραγόμενες εικόνες έχουν ελάχιστες ποιοτικές διαφορές.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι εξαιρουμένης της πρώτης μεθόδου (μέθοδος των παραλληλεπίπεδων), όπου η σύγκριση δεν είναι τόσο εφικτή λόγω της διαφορετικής μεθοδολογίας που ακολουθείται από τα δύο προγράμματα, έχουμε μια ισορροπία στις άλλες δύο μεθόδους ταξινόμησης, οι οποίες είναι και οι πιο ορθές από την άποψη του παραγόμενου αποτελέσματος – πάντα αναλογικά με τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Ταυτόχρονα, μπορούμε να πούμε ότι ίσως η πλάστιγγα γέρνει προς τη μεριά του IMAGINE 8.3.1 γιατί είχε μεγαλύτερη χρονική διαφορά από το IDRISI32, και λόγω της μεγαλύτερης πιστότητας της μεθόδου της μέγιστης πιθανοφάνειας.

Συμπεράσματα

7.1. Γενικά συμπεράσματα

Ο βασικός σκοπός της διπλωματικής αυτής είναι η σύγκριση δύο γνωστών σύγχρονων λογισμικών τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π. και συγκεκριμένα του IDRISI32 και του IMAGINE 8.3.1 σε βασικές επεξεργασίες ψηφιακών δορυφορικών εικόνων. Τα δυο λογισμικά διαφέρουν αρκετά στην φιλοσοφία τους και αυτό φαίνεται και με τον τρόπο που εκτελούν εργασίες ή την βαρύτητα που δίνουν σε αυτές. Το μόν IDRISI32 είναι προϊόν ακαδημαϊκής έρευνας, έχει ξεκινήσει από το 1987 προοριζόμενο να τρέχει σε πλατφόρμα Intel x86 και λειτουργικό σύστημα MS-DOS, ενώ η συγκεκριμένη έκδοση³ είναι η πρώτη που κυκλοφορεί με κώδικα αμιγώς 32bit, παρέχοντας αυξημένες επιδόσεις σε υπολογιστές με λειτουργικό σύστημα που διαθέτει πυρήνα Microsoft Windows NT (Windows NT 4, Windows 2000, Windows XP). Το δε IMAGINE 8.3.1 είναι ένα εμπορικό λογισμικό που προέρχεται από τη φιλοσοφία και τις επιταγές των συστημάτων UNIX. Θα μπορούσε να λεχθεί, χρησιμοποιώντας λιγότερο δόκιμους όρους, ότι το μόν IDRISI32 με τη συγκεκριμένη έκδοση «αναβαθμίζεται», ενώ το IMAGINE 8.3.1 ακολουθεί τη μοίρα των περισσότερων λογισμικών του είδους (λογισμικά GIS, χαρτογράφησης, βάσεις δεδομένων κλπ) που αναγκάζονται να «πέσουν» από την ελιτισμό των UNIX συστημάτων, στα συστήματα της πλατφόρμας WINTEL⁴, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν μηχανήματα (Hardware) λογικού κόστους. Το γεγονός είναι ότι με τους ρυθμούς εξέλιξης των τελευταίων τριών χρόνων όσον αφορά την ταχύτητα τόσο των επεξεργαστών όσο και συνολικά της πλατφόρμας αυτής (μνήμες DDR-SDRam και Rambus-RDRam, σκληροί δίσκοι κλπ), όχι μόνο ότι η πλατφόρμα WINTEL τείνει να πλησιάζει σε επιδόσεις τα συστήματα UNIX Workstations (πχ. Sun Ultrasparc με λειτουργικό Solaris, Compaq Alpha με λειτουργικό Tru64-UNIX), αλλά σε ορισμένες εφαρμογές τα ξεπερνάει κιόλας⁵.

³ Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε ήταν η I32 rel.2

⁴ Η. Υ. με επεξεργαστή Intel ή συμβατό και λειτουργικό Microsoft Windows

⁵ όπως παρουσιάζει ο οργανισμός SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation) ο οποίος αποτελεί έναν de facto αναγνωρισμένο οργανισμό που έχει σκοπό την ανάλυση και εξέταση επιδόσεων διαφόρων υπολογιστικών συστημάτων σε εμπορικές και επιστημονικές εφαρμογές (www.spec.org)

Οι διαφορές στην καταγωγή των δύο λογισμικών, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, έχουν άμεση σχέση και με την εμφάνιση, τη λειτουργικότητα και την ευχέρεια χρήσης των δύο προγραμμάτων. Το Interface του IDRISI32 είναι δομημένο με τη μορφή μίας τυπικής εφαρμογής της σουίτας Microsoft Office, έχοντας καθαρά δομημένο μενού εντολών για διάφορες κατηγορίες διεργασιών, και παρέχοντας κάποια βασικά κουμπιά για επαναλαμβανόμενες διεργασίες. Η μορφή αυτή του Interface, φαίνεται οικία και στον πιο αρχάριο χρήστη και η καμπύλη εκμάθησης του λογισμικού είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του IMAGINE 8.3.1. Το IDRISI32 είναι ένα πολύ καλό λογισμικό για την εισαγωγή ενός χρήστη στην τηλεπισκόπηση και στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, ενώ παρέχει και μια πληθώρα χαρακτηριστικών και για εφαρμογές Γ.Σ.Π. όσο και χαρτογράφησης. Το IMAGINE 8.3.1 έχει ένα Interface που παραπέμπει απ' ευθείας σε UNIX λειτουργικό σύστημα και εφαρμογές. Αυτό ενδέχεται να ξενίσει έναν αρχάριο χρήστη, ενώ και η δομή του σε κατηγορίες λειτουργιών δεν είναι τόσο ξεκάθαρη όσο στο IDRISI32. Τα μενού ενδέχεται να μπερδέψουν αρχικά κάποιον, όμως θα πρέπει να σημειωθεί ότι είναι έτσι δομημένα ώστε ο χρήστης μετά από κάποιο χρόνο εκμάθησης να μπορεί να εκτελεί λειτουργίες πιο γρήγορα από το IDRISI32.

7.2. Συμπεράσματα αναφορικά με τις συγκεκριμένες επεξεργασίες που αναλύθηκαν

Ένα σημαντικό συμπέρασμα που αφορά και τα δύο λογισμικά είναι ότι καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης τους, και στους τρεις ηλεκτρονικούς υπολογιστές που χρησιμοποιήθηκαν, δεν καταγράφηκε ούτε ένα σφάλμα εφαρμογής (application crash) σε κανένα από τα δύο λογισμικά.

Όσον αφορά τις επεξεργασίες που αναλύθηκαν, και όπως παρουσιάστηκαν στην εργασία αυτή, τα συμπεράσματα για κάθε λογισμικό συνοπτικά κατά κατηγορία είναι τα εξής:

- Στην επεξεργασία εικόνας και συγκεκριμένα στην εφαρμογή των φίλτρων για την ενίσχυση της εικόνας, τα δύο λογισμικά βρίσκονται σχεδόν στο ίδιο επίπεδο, τόσο όσον αφορά τα φίλτρα που καλύπτουν και το ένα και το άλλο, όσο και σε ότι

αφορά τις ταχύτητες εφαρμογής των φίλτρων αυτών. Αν εξαιρεθεί η περίπτωση εφαρμογής του φίλτρου επικρατούσας τιμής⁶, όπου το IMAGINE 8.3.1 είναι πιο γρήγορο στην εκτέλεση από το IDRISI32, στις υπόλοιπες περιπτώσεις οι ταχύτεροι χρόνοι εκτέλεσης εναλλάσσονταν κατά περίπτωση, ανάλογα με το φίλτρο που εφαρμόζονταν. Ένα πλεονέκτημα που έχει το IMAGINE 8.3.1 σε σχέση με το IDRISI32, είναι τα εργαλεία που παρέχει για τη διαχείριση των πινάκων των φίλτρων που εφαρμόζονται.

- Στις επεξεργασίες σε σχέση με τη γεωμετρική διόρθωση μιας εικόνας, και της αναγωγής αυτής σε ένα γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, οι διαφορές των δύο προγραμμάτων ήταν περισσότερες. Υπήρξαν διαφορές τόσο στη μεθοδολογία που ακολουθείται, όσο και στις ταχύτητες εκτέλεσης των διεργασιών που αναλύθηκαν. Το IMAGINE 8.3.1 ήταν σαφώς πιο εύχρηστο στη αναζήτηση και τον καθορισμό φωτοσταθερών σημείων (Ground Control Points), από το IDRISI32. Επίσης, σε όλες τις περιπτώσεις του γεωμετρικού μετασχηματισμού της εικόνας, ήταν πιο γρήγορο από το IDRISI32. Οι χρόνοι που μετρήθηκαν⁷ ήταν στην καλύτερη περίπτωση διπλάσιοι, ενώ υπήρξε περίπτωση και στο πιο αργό μηχάνημα, που δεκαπλασιαζόταν εις βάρος του IDRISI32. Σημαντικές είναι επίσης, οι διαφορές που παρουσιάστηκαν στους χρόνους επεξεργασίας όσον αφορά τους επεξεργαστές της Intel και της AMD. Οι επεξεργαστές της σειράς Athlon ήταν ταχύτεροι σε όλες σχεδόν τις επεξεργασίες, ενώ κατά περίπτωση, και ιδιαίτερα στις περισσότερο χρονοβόρες επεξεργασίες, οι διαφορές αυξάνονταν ακόμα πιο πολύ⁸.
- Στην ταξινόμηση εικόνας, υπήρξαν πάλι διαφορές τόσο ως προς τη μεθοδολογία, όσο και ως προς την ταχύτητα εκτέλεσης της εκάστοτε μεθόδου ταξινόμησης. Στην εφαρμογή μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, το IDRISI32 χρησιμοποιεί δύο

⁶ όπως αναλύθηκε στη σελίδα 33

⁷ όπως αναλύθηκε στη σελίδα 56

⁸ Οι επεξεργαστές της σειράς Athlon βασίζονται αρχιτεκτονικά στους επεξεργαστές Alpha της πρώην DEC (νυν εξαγορασμένης από την Compaq). Οι επεξεργαστές Alpha θεωρούνται κορυφαίοι σε ταχύτητα μαθηματικών υπολογισμών όσον αφορά συστήματα αρχιτεκτονικής 64bit και ειδικότερα όσον αφορά τη μονάδα πράξεων κινητής υποδιαστολής (FPU).

μεθόδους, από τις οποίες η μία (η μέθοδος CLUSTER) δεν υφίσταται στο IMAGINE 8.3.1, η δε άλλη (μέθοδος ISODATA), υφίσταται στο IMAGINE 8.3.1, με διαφορές όμως ως προς τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούν⁹. Οι διαφορά των αλγόριθμων που ακολουθούνται στην εκτέλεση της συγκεκριμένης μεθόδου, αντικατοπτρίζεται και από τους χρόνους εκτέλεσης της μεθόδου αυτής¹⁰. Αντίστοιχα, στις μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης, και τα δύο χρησιμοποιούν τις μεθόδους των παραλληλεπίπεδων, των ελάχιστων αποστάσεων από τους μέσους και της μέγιστης πιθανοφάνειας. Οι διαφορές στις μεθόδους αυτές δεν εμφανίζονται μόνο στην ταχύτητα επεξεργασίας, αλλά και στο παραγόμενο αποτέλεσμα. Στην πρώτη μέθοδο το αποτέλεσμα (η ταξινομημένη εικόνα) ήταν αρκετά διαφορετικό, γιατί χρησιμοποιείται διαφορετική αλγοριθμία από τα δυο λογισμικά¹¹. Στις δύο άλλες μεθόδους, ενώ η διαδικασία που εφαρμόστηκε ήταν θεωρητικά η ίδια, οι ταξινομημένες εικόνες που παράχθηκαν παρουσίασαν κάποιες μικρές ποιοτικές διαφορές πράγμα που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι από τα δύο προγράμματα δεν ακολουθείται ακριβώς ο ίδιος αλγόριθμος ταξινόμησης. Σε ότι αφορά τις ταχύτητες επεξεργασίας, το IDRISI32 ήταν ταχύτερο (με μικρή διαφορά) στις πρώτες δύο μεθόδους, όμως το IMAGINE 8.3.1 προηγήθηκε στο χρόνο εκτέλεσης της ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας η οποία θεωρείται ότι έχει και τη μεγαλύτερη πιστότητα όσον αφορά το παραγόμενο αποτέλεσμα.

Τελειώνοντας τα συμπεράσματα, θα πρέπει να επισημανθεί το γεγονός ότι τα δύο προγράμματα είναι τελείως ώριμα από άποψη σταθερότητας, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα μεγάλο πεδίο εφαρμογών της τηλεπισκόπησης και ειδικότερα στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, ενώ παρέχουν και πληθώρα εργαλείων για εφαρμογές Γ.Σ.Π.. Επίσης ένα συμπέρασμα που εξάγεται, (χωρίς να θέλει ο μελετητής να βάλει ετικέτες σε κάποιο από τα δύο λογισμικά) είναι ότι το IDRISI32 είναι ένα ιδανικό εργαλείο για την εκμάθηση αλλά και την εμπάθυνση στην

⁹ Το IDRISI32 για την μέθοδο ISODATA (την οποία ονομάζει ISOCLUST) χρησιμοποιεί τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για κάθε επανάληψη της ταξινόμησης, ενώ το IMAGINE 8.3.1 χρησιμοποιεί τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους.

¹⁰ Όπως αναλύθηκε στις σελίδες 66 - 70

¹¹ Όπως αναλύθηκε στη σελίδα 76

επιστήμη της τηλεπισκόπησης – χωρίς αυτό να υποβαθμίζει τις δυνατότητες του συγκεκριμένου λογισμικού σε επαγγελματική χρήση. Στον αντίποδα το IMAGINE 8.3.1 έχει πιο καθαρά επαγγελματικό προσανατολισμό, παρέχοντας στον χρήστη πολύ μεγάλες δυνατότητες και μεγάλη ευελιξία – αλλά απαιτώντας από αυτόν περισσότερη ενασχόληση και εμβάθυνση στις λειτουργίες του λογισμικού.

Βιβλιογραφία

Βιβλιογραφία

BUITEN H. J. & CLEVERS J. G.P.W., Land observation by remote sensing, theory and applications, *Gordon and Breach science publishers*, Amsterdam, 1993.

CAMPELL J., Introduction to Remote Sensing, *Guilford Press*, New York, 1987.

CRACKNELL A. P. & HAYES L.W.B., Introduction to remote sensing, *Taylor & Francis*, Bristol, UK, 1991.

EASTMAN J. RONALD, Idrisi32. Guide to GIS and Image Processing Volume 2, *Clark University Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis*, Clark University, U.S.A., January, 1999.

ERDAS IMAGINE, ERDAS Field Guide, Fourth Edition, *ERDAS © Inc*, Atlanta, Georgia, 1997.

HARRIS RAY, Satellite Remote Sensing: An Introduction, *Routledge and Kegan Paul*, London and New York, 1987.

JENSEN R. JOHN, Introductory: Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective, *Prentice-Hall*, New Jersey, 1986.

LILLESAND M. THOMAS & KIEFER W. RALPH, Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd Edition, *John Wiley and Sons Inc*, New York, 1994

MATHER M. PAUL, Computer Processing of Remotely Sensed Images: An Introduction, *John Wiley & Sons*, New York, 1987.

MULLER JAN-PETER, Digital Image Processing in Remote Sensing, *Taylor and Francis*, London, 1988.

PRATT K. WILLIAM, Digital Image Processing, 2nd Edition, John Wiley and Sons
Inc, New York, 1991.

RICHARDS J. A., Remote sensing, digital image analysis, an introduction, Springer-Verlag, Berlin, 1993.

SABINS F. FLOYD Jr, Remote Sensing: Principles and Interpretation (3rd Edition), *W.H. Freeman and Company*, New York, 1996.

SCHOWENGERDT A. ROBERT, Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing, *Academic Press*, London, 1983.

THOMAS L. IAN & BENNING M. VIVIEN & CHING P. NEVILLE,
Classification of Remotely Sensed Images, *Adam Hilger*, Bristol, 1987.

WOODS E. RICHARD & GONZALEZ C. RAFAEL, Digital Image Processing, *Adison-Wesley Publishing Company*, New York, 1993.

ΚΥΡΙΜΗΣ Κ. & ΜΠΕΤΣΗΣ Α., Διπλωματική εργασία: Θεματική διαχρονική ανάλυση βασικών καλύψεων γης του Νομού Μαγνησίας την τελευταία δεκαετία με την χρήση δορυφορικών εικόνων, *Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα μηχανικών χωροταξίας και περιφερειακής ανάπτυξης*, Βόλος, 1998.

ΠΕΡΑΚΗΣ Γ. ΚΩΝ/ΝΟΣ, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Φωτοερμηνείας και Τηλεπισκόπησης, *Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης*, Βόλος, 1998.

ΣΥΛΛΑΙΙΟΣ Γ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ, Εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης στην Γεωργία.
Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη Ο.Ε., Θεσσαλονίκη, 1990.

Διευθύνσεις στο Internet

<http://www.erdas.com>

<http://www.idrisi.clarku.edu>

<http://www.geoplace.com>

<http://www.spaceimaging.com>

<http://www.sdcsc.com/imagery-central>

<http://www.euromap.de>

<http://www.spotimage.fr/home>

<http://www.usgs.gov>

<http://landsat7.usgs.gov>

<http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html>

<http://www.noaa.gov>

http://www.space.gc.ca/csa_sectors/earth_environment/radarsat/default.asp

<http://www.esrin.esa.it/export/esaCP/index.html>

<http://www.microsoft.com/technet/treeview/default.asp?url=/TechNet/prodtechnol/ntwrkstn/reskit/03tools.asp>

http://www.microsoft.com/technet/treeview/default.asp?url=/TechNet/prodtechnol/wintntas/training/ntarchitectoview/ntarc_4.asp

<http://www.microsoft.com/technet/treeview/default.asp?url=/TechNet/prodtechnol/ntwrkstn/reskit/procsr.asp>

<http://www.spec.org>

<http://www.spec.org/osg/cpu2000/results/res2001q4/>



Πρίφτης Στέφανος:

stefanpriftis@hotmail.com