ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

"Συγχώνευση Δορυφορικών Εικόνων QuickBird και Landsat "

Διπλωματική Εργασία

Πράσινος Νικόλαος

<u>Εξεταστική Επιτροπή</u>

Μερτίκας Στυλιανός, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Ζερβάκης Μιχαήλ, Καθηγητής

Παρτσινέβελος Παναγιώτης, Λέκτορας

Χανιά, 2011

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου κ. Μερτίκα Στυλιανό, Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και διευθύνοντα του Εργαστηρίου Γεωδαισίας & Γεωπληροφορικής για την ανάθεση του θέματος, την επίβλεψη και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τον κ. Ζερβάκη Μιχαήλ, Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, καθώς και τον κ. Παρτσινέβελο Παναγιώτη, Λέκτορα Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης για τη συμμετοχή τους στην αξιολόγηση της εργασίας αυτής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που εργάζονται στο Εργαστήριο Γεωδαισίας & Γεωπληροφορικής του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και ειδικότερα την Παπαδάκη Ειρήνη για τις πολύτιμες συμβουλές και τη βοήθειά της κατά την διάρκεια της εργασίας.

Τέλος, οφείλω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για τη βοήθεια, την κατανόηση και την υποστήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια φοίτησής μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Πράσινος Ι. Νικόλαος

Χανιά 2011

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη αφορά στην εφαρμογή και αξιολόγηση τριών τεχνικών συγχώνευσης εικόνων, που καταγράφηκαν από τα δορυφορικά συστήματα Quickbird και Landsat. Οι εικόνες καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή των Φαλασάρνων, που βρίσκεται στη Δυτική Κρήτη. Ειδικότερα εφαρμόστηκαν: α) η μέθοδος Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA), β) η μέθοδος Ένταση-Απόχρωση-Κορεσμός (Intensity–Hue–Saturation, IHS) και γ) η μέθοδος Gram-Schmidt. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των μεθόδων ήταν τόσο ποιοτικά (οπτικός έλεγχος των εικόνων) όσο και ποσοτικά (στατιστικά μέτρα). Η συγχώνευση των εικόνων υλοποιήθηκε μέσω του λογισμικού προγράμματος ENVI της εταιρείας ITT Visual Information Solutions. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά από την εφαρμογή της τεχνικής Gram-Schmidt ήταν πιο ικανοποιητικά σε σχέση με εκείνα των μεθόδων PCA και IHS.

Περιεχόμενα

Σελ.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Δορυφορικά συστήματα, όπως είναι ο Quickbird και ο Landsat, παρέχουν τηλεπισκοπικά δεδομένα από διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και έχουν διαφορετικές χωρικές, χρονικές και ραδιομετρικές αναλύσεις. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κάποιο σύστημα καταγραφής εικόνων, που να συνδυάζει ταυτόχρονα υψηλή χωρική και φασματική ανάλυση. Για την αξιοποίηση των χαρακτηριστικών αυτών των εικόνων, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές συγχώνευσης των αρχικών δεδομένων με απώτερο σκοπό τη δημιουργία σύνθετων-βελτιωμένων εικόνων που να συνδυάζουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά των αρχικών (*Pohl and van Genderen, 1998*).

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα φασματικά χαρακτηριστικά σε μια εικόνα καθορίζουν την αναγνώριση στόχων όπως είναι η φυτική κάλυψη, το νερό, το έδαφος, το τσιμέντο, η άσφαλτος κλπ. Από την άλλη πλευρά, η χωρική διακριτική ικανότητα καθορίζει την επιτυχία με την οποία μπορεί να επιτευχθεί ο διαχωρισμός αντικειμένων, είτε μεταξύ τους είτε από τον περιβάλλοντα χώρο. Είναι επομένως ευνόητο ότι με τη συγχώνευση των δορυφορικών δεδομένων γίνεται εφικτή η αξιοποίηση εικόνων από διαφορετικές πηγές (διαφορετικά συστήματα καταγραφής εικόνων) και η δημιουργία συγχωνευμένων εικόνων με βελτιωμένα χωρικά και φασματικά χαρακτηριστικά.

Η παρούσα μελέτη περιγράφει και αξιολογεί την εφαρμογή τριών τεχνικών συγχώνευσης εικόνων, που καταγράφηκαν από τα δορυφορικά συστήματα Quickbird και Landsat και καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή των Φαλασάρνων, στη Δυτική Κρήτη. Πρόκειται για μία περιοχή με ιδιαίτερο γεωλογικό ενδιαφέρον. Στο θαλάσσιο χώρο κοντά στα Φαλάσαρνα εντοπίζεται το επίκεντρο ενός μεγάλου σεισμού που καταγράφηκε στις 21 Ιουλίου του 365 μ.Χ. Από τον σεισμό η περιοχή ανυψώθηκε κατά 10 μέτρα. Η ανύψωση της περιοχής έχει αποτυπωθεί χαρακτηριστικά στο αρχαίο λιμάνι των Φαλασάρνων.

Οι μέθοδοι συγχώνευσης δορυφορικών εικόνων, που εφαρμόστηκαν είναι οι εξής :

Α) Ένταση – Απόχρωση – Κορεσμός (Intensity - Hue - Saturation)

Β) Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis)

Γ) Ανάλυση Gram – Schmidt.

Εν συνεχεία, σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, πραγματοποιήθηκε α) οπτική συγκριτική μελέτη μεταξύ των συγχωνευμένων και των αρχικών εικόνων και β) αξιολόγηση των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν βάσει ποσοτικών κριτηρίων, σχετικά με το ποσοστό διατήρησης της φασματικής και χωρικής πληροφορίας των αρχικών εικόνων στις συγχωνευμένες (fused) εικόνες.

1.2 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Το παρόν κείμενο χωρίζεται σε επιμέρους Κεφάλαια.

Στο Κεφάλαιο 2, γίνεται μια εισαγωγή στις βασικές αρχές της Τηλεπισκόπησης και στα δορυφορικά εικονοληπτικά συστήματα. Έμφαση δίνεται στα συστήματα Quickbird και Landsat. Τέλος, παρουσιάζονται οι μέθοδοι συγχώνευσης εικόνων, καθώς και οι τρόποι αξιολόγησης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.

Στο Κεφάλαιο 3, γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης καθώς και στα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων ENVI. Γίνεται εκτεταμένη περιγραφή των μεθόδων συγχώνευσης που χρησιμοποιήθηκαν (PCA, IHS, Gram-Schmidt) καθώς και των κριτηρίων αξιολόγησης αυτών.

Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από κάθε μέθοδο και γίνεται σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων με βάση τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν.

Τέλος στο Κεφάλαιο 5, συνοψίζονται τα συμπεράσματα από την επεξεργασία και τη σύγκριση των μεθόδων και αναφέρονται τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Κεφάλαιο 2

2.1 Βασικές αρχές Τηλεπισκόπησης

Η λέξη Τηλεπισκόπηση συντίθεται από το αρχαίο επίρρημα «τήλε» (=μακρόθεν, από μακριά), ως το πρώτο συνθετικό της, και το ρήμα «επισκοπέω –ώ», που σημαίνει εξετάζω, βλέπω από μακριά, επιθεωρώ. Έτσι, Τηλεπισκόπηση σημαίνει αντίληψη αντικειμένων ή φαινομένων από απόσταση. Ορίζεται ως «η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από ένα στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την επιφάνεια της Γης και την ατμόσφαιρα που παρεμβάλλεται μεταξύ του στόχου και του δέκτη» (Μερτίκας, 1999).

Η αξιοποίηση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων για τη μελέτη της Γης άρχισε τη δεκαετία του 1960, όταν οι τεχνικές δυνατότητες των δορυφόρων που βρίσκονταν σε τροχιά γύρω από τη Γη ακολούθησαν την ανάπτυξη των δυνατοτήτων των Η/Υ για τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων. Οι αεροφωτογραφίες καθώς και οι απεικονίσεις από οπτικούς δέκτες και δέκτες Radar, οι οποίοι μεταφέρονται είτε από αεροπλάνα είτε από δορυφόρους, είναι οι διάφορες μορφές καταγραφής δεδομένων από απόσταση, με πιο χαρακτηριστικά τα δεδομένα που προέρχονται από δέκτες που βρίσκονται πάνω σε δορυφόρους (δορυφορική Τηλεπισκόπηση).

Οι δέκτες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε δορυφόρους καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ή την ένταση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι κύριες ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, όπως και κάθε κύμα γενικότερα, είναι το μήκος κύματος (λ), που ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ δύο κορυφών του κύματος, και η συχνότητά του (ν), δηλαδή ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από ένα σημείο σε ένα δευτερόλεπτο.

Το εύρος ή αλλιώς το φάσμα της ακτινοβολίας ταξινομείται σε φασματικές ζώνες ανάλογα με το μήκος κύματος, λ (Πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (λ)
Ακτίνες γάμμα	< 0,03 nm
Ακτίνες X	0,03 nm - 300 nm
Υπεριώδης ακτινοβολία	0,30 μm - 0,38 μm
Ορατό (Visible ή V)	0,38 μm - 0,72 μm
Εγγύς υπέρυθρο (Near Infra-Red ή NIR)	0,72 μm - 1,30 μm
Μέσο υπέρυθρο (Short-Wave Infra-Red ή SWIR)	1,30 μm - 3 μm
Άπω υπέρυθρο	7,00 μm - 15 μm
Μικροκύματα	0,3 cm – 30 cm
Ραδιοφωνικά κύματα	≥ 30 cm

Από το συνολικό αυτό πεδίο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, η Τηλεπισκόπηση αξιοποιεί την περιοχή εκείνη που περιλαμβάνει το υπεριώδες, το ορατό φως, το εγγύς και μέσο υπέρυθρο, το θερμικό υπέρυθρο και τα μικροκύματα.

Η παρατήρηση της επιφάνειας της Γης είναι εφικτή με τη χρήση ψηφιακών σαρωτών (τηλεπισκοπικών ανιχνευτών) που ανιχνεύουν την αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα.

Η ψηφιακή εικόνα αναφέρεται σε μια τρισδιάστατη, διακριτή συνάρτηση $f(x,y)$, η οποία έχει τη μορφή πίνακα. Ο πίνακας αποτελείται από διακριτά στοιχεία (εικονοστοιχεία ή ψηφίδες). Οι γραμμές (x) και οι στήλες (y) προσδιορίζουν τις συντεταγμένες (x,y) της εικόνας. Σε κάθε εικονοστοιχείο (x,y) του πίνακα αντιστοιχεί μία τιμή φωτεινότητας f, η οποία προκύπτει μετά από ψηφιοποίηση ή κβαντοποίηση της ακτινοβολίας σε επίπεδα του τόνου του γκρι (Παπαδάκη, 2006).

Η ποιότητα και το περιεχόμενο μιας ψηφιακής εικόνας καθορίζονται από (Παπαδάκη, 2006):

1. Την φασματική ανάλυση του συστήματος ανίχνευσης (spectral resolution). Εξαρτάται από το πλήθος και το εύρος των φασματικών ζωνών καταγραφής του εικονοληπτικού συστήματος.
2. Τη ραδιομετρική ανάλυση (radiometric resolution). Αναφέρεται στον αριθμό των διαβαθμίσεων του τόνου του γκρι που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας σε μια εικόνα (π.χ., για δεδομένα 8-bit το εύρος των τιμών ψηφιοποίησης είναι 0-255).

3. Τη χωρική ανάλυση (spatial resolution). Πρόκειται για την ικανότητα του συστήματος ανίχνευσης να διακρίνει αντικείμενα στη γεωμετρική τους διάσταση. Η ελάχιστη ανιχνεύσιμη περιοχή του εδάφους (σε m) καθορίζεται από τις διαστάσεις του εικονοστοιχείου (pixel).
4. Τη διαχρονική ανάλυση (temporal resolution). Αναφέρεται στη συχνότητα δειγματοληψίας εικόνων από μια περιοχή. Για παράδειγμα, η λήψη εικόνων Landsat μιας συγκεκριμένης περιοχής επαναλαμβάνεται κάθε 16 ημέρες.

2.2 Δορυφορικά εικονοληπτικά συστήματα

Η συλλογή των πρώτων δορυφορικών φωτογραφιών της Γης έγινε στις 14 Αυγούστου του 1959 από το αμερικάνικο δορυφορικό σύστημα Explorer 6. Το 1972 οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής έθεσαν σε εφαρμογή το πρόγραμμα Landsat, το μεγαλύτερο πρόγραμμα συλλογής δορυφορικών εικόνων. Η επιτυχία των δορυφόρων Landsat παρότρυνε κι άλλες κυβερνήσεις ή εταιρείες διαφόρων χωρών να ξεκινήσουν παρόμοια δορυφορικά προγράμματα Τηλεπισκόπησης. Το σύστημα Spot (Satellite pour l'Observation de la Terre) αναπτύχθηκε από τη Γαλλία, με πρώτη εκτόξευση το 1986. Η κυβέρνηση της Ινδίας ξεκίνησε το πρόγραμμα IRS το 1988. Η ευρωπαϊκή υπηρεσία διαστήματος (European Space Agency, ESA) έθεσε σε τροχιά τους δορυφόρους ERS-1 και ERS-2 αρχίζοντας από το 1990. Η Ιαπωνία έκανε κάτι αντίστοιχο με την NASDA (National Space Development Agency of Japan) και το δορυφόρο JERS-1 το ίδιο έτος. Ο Καναδάς εκτόξευσε το δορυφόρο Radarsat το 1991 (Μερτίκας, 1999). Στις 24 Σεπτεμβρίου 1999 εκτοξεύθηκε ο δορυφόρος IKONOS της εταιρείας GeoEye. Πρόκειται για τον πρώτο εμπορικό δορυφόρο υψηλής ευκρίνειας ο οποίος παρέχει δεδομένα με χωρική διακριτική ικανότητα κάτω των 2m.

Όλοι οι δορυφόροι Τηλεπισκόπησης παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες. Οι περισσότεροι έχουν χαμηλές τροχιές, τα ύψη των οποίων κυμαίνονται από 500 μέχρι 900km. Επίσης οι περισσότεροι διαθέτουν παθητικούς πολύ-φασματικούς αισθητήρες (δέκτες) που παρατηρούν τη Γη καταγράφοντας σε διάφορες φασματικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Οι ζώνες καταγραφής στο ορατό (0.4-0.7μm) και στο εγγύς και μέσο υπέρυθρο (0,7μm-1,5μm) ανιχνεύουν την ακτινοβολία του Ήλιου καθώς ανακλάται ή επανεκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια. Επειδή το ανακλώμενο αυτό φως ανιχνεύεται μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι περισσότεροι δορυφόροι Τηλεπισκόπησης ακολουθούν κυκλικές τροχιές, ηλιο-σύγχρονες και σχεδόν πολικές τροχιές με περιόδους της τάξης των Τ=100 λεπτών περίπου. Σε μια τέτοια τροχιά, ο δορυφόρος διασχίζει έναν συγκεκριμένο παράλληλο κύκλο της Γης, περίπου την ίδια τοπική ηλιακή ώρα σε κάθε διέλευση (Μερτίκας, 1999).

2.3 Το σύστημα καταγραφής του δορυφόρου Quickbird

Ο δορυφόρος Quickbird εκτοξεύθηκε στις 19 Οκτωβρίου 2001. Πρόκειται για το πρώτο σκάφος που ανέπτυξε η εταιρεία DigitalGlobe, το οποίο είναι σε θέση να διαθέσει δορυφορικές εικόνες της Γης με υψηλή ευκρίνεια και ακρίβεια κυρίως για εμπορικούς σκοπούς. Ο καταγραφέας του Quickbird έχει 5 φασματικούς διαύλους. Ο παγχρωματικός καταγραφέας έχει χωρική διακριτική ικανότητα 0,61 m στο ναδίρ και 0,73 m σε γωνία 25^o από το ναδίρ. Ο πολυφασματικός καταγραφέας έχει χωρική διακριτική ικανότητα 2,5 m στο ναδίρ και 2,9 m σε γωνία 25^o από το ναδίρ. Η ραδιομετρική ικανότητα και στις δύο περιπτώσεις είναι 11 bits (2048 επίπεδα του γκρι).

Ο δορυφόρος Quickbird καταγράφει εικόνες ανάλυσης μισού μέτρου, με πολύ καλή γεωαναφορά. Το σύστημα διαθέτει μεγάλη αποθηκευτική δυνατότητα (www.digitalglobe.com, www.mapmart.com, www.geomet.gr).

Επιπλέον στην ιστοσελίδα www.digitalglobe.com γίνεται συχνή ενημέρωση του αρχείου των εικόνων, αφού και ο δορυφόρος συλλέγει ολοχρονίς πάνω από 75 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα απεικονίσεων της γήινης επιφάνειας.

Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά καθώς και τα πλεονεκτήματα του δορυφόρου.

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά δορυφόρου Quickbird

Χαρακτηριστικά	**Πλεονεκτήματα**
Αισθητήρες με πολύ μεγάλη χωρική διακριτική ικανότητα 0.6m (2ft) παγχρωματικός στο ναδίρ 2.4m (8ft) πολυφασματικός στο ναδίρ	Χρήση των εικόνων για δημιουργία χαρτών, ανίχνευση αλλαγών χρήσεων Γης.
Μεγάλη ακρίβεια εικόνας Σταθερή πλατφόρμα για τν ακριβή εντοπισμό θέσης. Αξονικός σταθεροποιητής	Δημιουργία χαρτών σε απομακρυσμένες περιοχές χωρίς τη χρήση σημείων επίγειου ελέγχου.
Γρήγορη συλλογή μεγάλου αριθμού δεδομένων. Εικόνα πλάτους 16.5km. 128 Gbits χώρος αποθήκευσης.	Συλλογή εικόνων σε τακτά χρονικά διαστήματα (1-3 μέρες).
Υψηλή ποιότητα εικόνας. Μεγάλο εύρος πεδίου. Μεγάλη αντίθεση.	Μεγαλύτερη δυνατότητα απεικόνισης στόχων διατηρώντας την ποιότητα της εικόνας.
Κβαντοποίηση 11 bit	Απεικόνιση δεδομένων με τη χρήση μεγάλης κλίμακας διαβαθμίσεων του τόνου του γκρι.

2.4 Το σύστημα καταγραφής του δορυφόρου Landsat

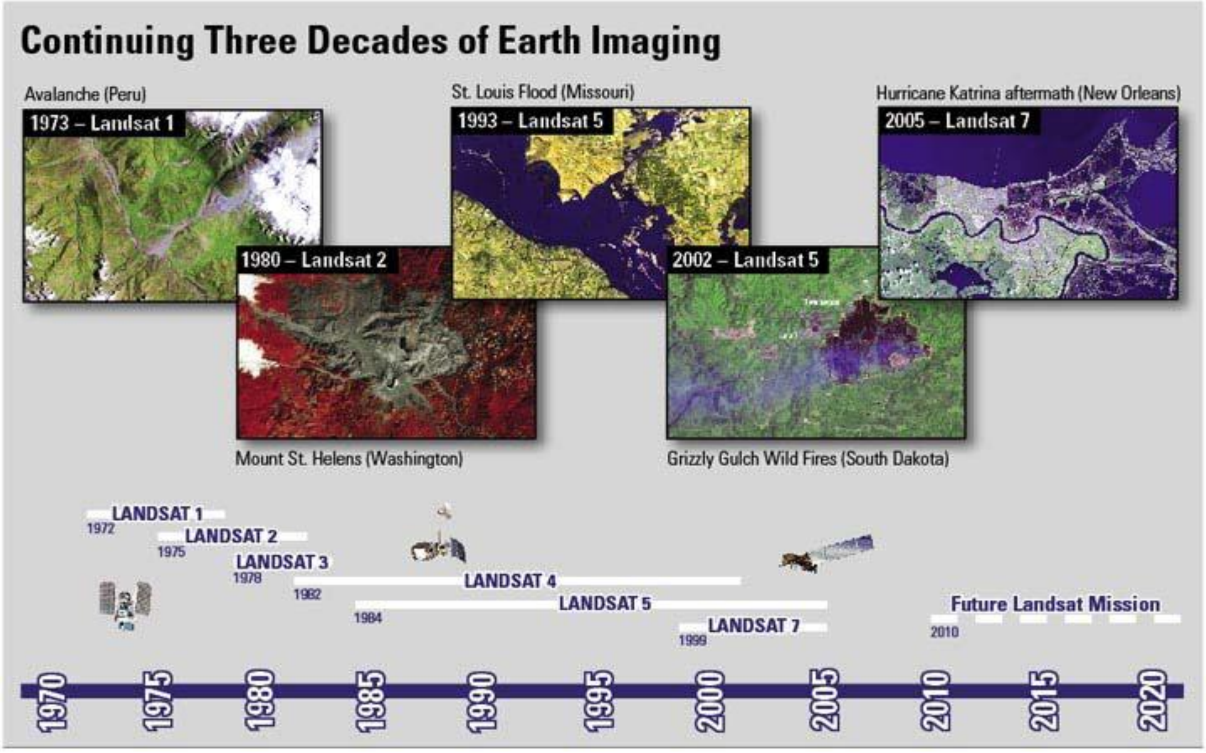
Το πρώτο δορυφορικό σύστημα Τηλεπισκόπησης ήταν το σύστημα Landsat και αναπτύχθηκε από την αμερικανική NASA. Προοριζόταν για την παροχή παγκόσμιας σχεδόν κάλυψης της γήινης επιφάνειας σε τακτά χρονικά διαστήματα. Αποτελεί το κατεξοχήν μέσο λήψης εικόνων Τηλεπισκόπησης και θεωρείται το σύστημα βάσει του οποίου αναπτύχθηκαν όλα τα μετέπειτα δορυφορικά προγράμματα.

Έξι δορυφόροι έχουν τεθεί μέχρι σήμερα σε τροχιά επιτυχώς. Ο Landsat-1 εκτοξεύθηκε το 1972, ο Landsat-2 το 1975, ο Landsat-3 το 1978, ο Landsat-4 το 1982, ο Landsat-5 το 1984 και ο Landsat-7 το 1999 (Εικόνα 2.1). Κάθε δορυφόρος Landsat έχει ένα σύστημα σάρωσης γραμμών, το οποίο καταγράφει εικόνες της Γης σε ψηφιακή μορφή και τις μεταδίδει σε επίγειους σταθμούς.

Οι πρώτοι δορυφόροι Landsat-1, 2, 3 ήταν σχεδιασμένοι να φέρουν δύο συστήματα δεκτών για την καταγραφή εικόνων Τηλεπισκόπησης: τη συσκευή Return Bean Vidicon (RBV) και τον πολυφασματικό σαρωτή (MSS). Το RBV ήταν όργανο που έμοιαζε πολύ με φωτογραφική μηχανή. Παρείχε τη δυνατότητα υψηλής γεωμετρικής αλλά και χαμηλής φασματικής και ραδιομετρικής ανάλυσης. Δηλαδή, οι γεωμετρικές θέσεις των διαφόρων χαρακτηριστικών της Γης αντιπροσωπεύονταν με ακρίβεια, αλλά χωρίς λεπτομέρεια όσον αφορά το χρώμα και τη φωτεινότητά τους. Αντίθετα, το όργανο MSS ήταν σχεδιασμένο να παρέχει "υψηλή ακρίβεια" για τα φασματικά χαρακτηριστικά των στόχων στην επιφάνεια της Γης, αλλά μικρότερη ακρίβεια εντοπισμού. Εξαιτίας τεχνικών προβλημάτων, η χρήση του RBV περιορίστηκε και ο κύριος δέκτης για τους δορυφόρους Landsat έγινε η συσκευή MSS.

Η νέα γενιά δορυφόρων Landsat 4 και 5 διέφερε σημαντικά από τους πρώτους Landsat, επειδή περιελάμβανε βελτιώσεις στην τεχνολογία των δεκτών και στις παραμέτρους της τροχιάς. Οι Landsat 4 και 5 είναι εφοδιασμένοι με μια νέα βελτιωμένη έκδοση του MSS που ονομάζεται "θεματικός Χαρτογράφος". Σε αυτούς τους δορυφόρους υπάρχουν και τα δύο συστήματα MSS και TM. Το TM έχει τη δυνατότητα να παρέχει καλύτερη χωρική και ραδιομετρική ανάλυση καθώς και να καταγράφει φασματική πληροφορία με λεπτομέρεια. Στις 5 Οκτωβρίου του 1993, εκτοξεύθηκε ο δορυφόρος Landsat-6. Η εκτόξευση όμως απέτυχε και δεν κατέστη δυνατό να τεθεί ο δορυφόρος σε κατάλληλη θέση στην τροχιά του.

Ο δορυφόρος Landsat-7 εκτοξεύθηκε το πρώτο τρίμηνο του 1999 και κατασκευάστηκε για λογαριασμό της αμερικανικής NASA. Η λειτουργία του ελέγχεται από την εθνική υπηρεσία ωκεανών και ατμόσφαιρας των ΗΠΑ. Ο Landsat-7 καταγράφει σε 8 φασματικές ζώνες με καλύτερη χωρική ανάλυση από τους δύο προηγούμενους δορυφόρους: 15m στο παγχρωματικό κανάλι (0.45μm-0.9μm), 30m στο πολυφασματικό κανάλι (0.45μm-1.75μm και 2.09μm-2.35μm) και 120m στο θερμικό (10.40μm-12.50μm). Η καταγραφή γίνεται με ένα όργανο που ονομάζεται ETM+, και θεωρείται βελτιωμένη έκδοση του TM του Landsat-5.



Εικόνα 2.1: Η χρονική παρουσία των δορυφόρων Landsat

2.4.1 Θεματικός χαρτογράφος TM

Ο σαρωτής TM σχεδιάστηκε να σαρώνει σε επτά φασματικές περιοχές (κανάλια), με διακριτική ικανότητα 30m x 30m στις περιοχές του ορατού και υπέρυθρου φάσματος με εξαίρεση το θερμικό υπέρυθρο (κανάλι 6) στο οποίο σαρώνει με διακριτική ικανότητα 120m x 120m.

Κανάλι 1 : 0.45 - 0.52 μm (Ιώδες - Πράσινο). Στο κανάλι αυτό η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα στο νερό και τα δεδομένα χρησιμοποιούνται κυρίως στην ανάλυση χρήσεων Γης και χαρακτηριστικών βλάστησης.

Κανάλι 2 : 0.52 - 0.63 μm (Πράσινο). Τα δεδομένα αυτού του καναλιού χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ανακλώμενης ακτινοβολίας από τις κορυφές των φυτών και συμβάλλουν στην εκτίμηση ασθενειών βλάστησης.

Κανάλι 3 : 0.63 - 0.69 μm (Ερυθρό). Στο κανάλι αυτό η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παρουσιάζει σημαντική απορρόφηση από τη χλωροφύλλη των φυτών και τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τη διάκριση διαφόρων τύπων βλάστησης.

Κανάλι 4 : 0.76 - 0.90 μm (εγγύς υπέρυθρο). Στην περιοχή αυτή, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλη απορρόφηση από το νερό, πράγμα που την κάνει χρήσιμη για τον προσδιορισμό της βιομάζας που περιέχεται στο νερό. Επίσης τα δεδομένα από την περιοχή αυτή του φάσματος χρησιμοποιούνται για την οριοθέτηση μεταξύ υδάτινων και χερσαίων περιοχών.

Κανάλι 5 : 1.55 - 1.75 μm (μέσο υπέρυθρο). Είναι ενδεικτικό για την περιεχόμενη υγρασία στη βλάστηση και στο έδαφος. Επίσης είναι χρήσιμο στη διάκριση του χιονιού από τα σύννεφα.

Κανάλι 6 : 10.40 - 12.50 μm (θερμικό υπέρυθρο). Είναι το θερμικό κανάλι του θεματικού χαρτογράφου και το μοναδικό με διακριτική ικανότητα 120m x 120m. Είναι χρήσιμο στην ανάλυση της βλάστησης και στη διάκριση υγρασίας στο έδαφος.

Κανάλι 7: 2.08 – 2.35 μm (μέσο υπέρυθρο). Είναι χρήσιμο στη διάκριση των τύπων των πετρωμάτων.

2.5 Τηλεπισκόπηση και Συγχώνευση δορυφορικών δεδομένων

Τα περισσότερα από τα νεότερα συστήματα τηλεπισκόπησης, όπως οι δορυφόροι Ikonos και Quickbird, μεταφέρουν αισθητήρες με έναν υψηλής χωρικής ανάλυσης παγχρωματικό δίαυλο (PAN) και διάφορους πολυφασματικούς διαύλους (MS). Ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών απαιτεί επεξεργασία εικόνων που να συνδυάζουν ταυτόχρονα υψηλή φασματική και υψηλή χωρική ανάλυση. Η μέθοδος κατά την οποία είναι εφικτή η βελτίωση της χωρικής ανάλυσης των πολυφασματικών εικόνων (χωρίς απώλεια της φασματικής πληροφορίας), με τη βοήθεια των υψηλής χωρικής ανάλυσης παγχρωματικών δεδομένων, ονομάζεται συγχώνευση εικόνων.

Στη διεθνή βιβλιογραφία συναντώνται διάφοροι όροι και ορισμοί για τη συγχώνευση των εικόνων. Μια ευρύτερη προσέγγιση είναι αυτή της συγχώνευσης των δεδομένων (data fusion) η οποία ορίζεται ως ο συνδυασμός δεδομένων, από πολλαπλούς αισθητήρες, για την εξαγωγή βελτιωμένων πληροφοριών και αποτελεσμάτων από ό τι θα επιτυγχανόταν με την χρήση δεδομένων από έναν μόνο δέκτη (*Pohl, 1996*). Παρόμοια, ο Mangolin (1994) περιγράφει τη συγχώνευση δεδομένων ως μια ομάδα μεθόδων και προσεγγίσεων, κατά τις οποίες δεδομένα από πολλές πηγές διαφορετικής φύσεως συνδυάζονται για τη βελτίωση της ποιότητας της πληροφορίας που περιέχεται στα δεδομένα.

Σύμφωνα με τους Pohl και Genderen (1998), η συγχώνευση εικόνων εφαρμόζεται σε ψηφιακές εικόνες με σκοπό:

1. Την αύξηση της χωρικής συχνότητας (sharpen) των εικόνων (*Chavez κ.ά.,1991*).
2. Την βελτίωση των γεωμετρικών διορθώσεων (*Strobl κ.ά., 1990*).
3. Την παροχή δυνατότητας για στερεοσκοπική παρατήρηση (*Bloom κ.ά., 1988*).
4. Την ενίσχυση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών τα οποία δεν είναι ορατά στις αρχικές εικόνες (*Leckie, 1990*).
5. Τον εντοπισμό αλλαγών χρησιμοποιώντας διαχρονικά δεδομένα (*Duguay κ.ά., 1994*).
6. Την αντικατάσταση κενών (π.χ. σύννεφα στο ορατό μέρος του φάσματος, σκιές σε δεδομένα SAR κ.α.) με γνωστές τιμές από άλλη εικόνα (*Aschbacher και Lichtenegger, 1990*).
7. Την αντικατάσταση προβληματικών δεδομένων (*Suits κ.ά., 1988*).

Η συγχώνευση εικόνων μπορεί να πραγματοποιηθεί σε τρία διαφορετικά επίπεδα (Pohl and Van Genderen, 1998):

- Επίπεδο εικονοστοιχείου. Στην περίπτωση αυτή το εικονοστοιχείο της μίας εικόνας (π.χ. παγχρωματικής) συγχωνεύεται με το αντίστοιχο εικονοστοιχείο της δεύτερης εικόνας (π.χ. πολυφασματικής). Απαραίτητη προϋπόθεση είναι οι δύο εικόνες να έχουν ίδιες διαστάσεις εικονοστοιχείων (Ghassemian, 2003).
- Επίπεδο χωρικών γνωρισμάτων, που περιλαμβάνονται στις εικόνες, όπως κτήρια, γεωλογικές γραμμώσεις, ποτάμια, κ.ά. Σκοπός είναι η εξαγωγή και ο συνδυασμός παρόμοιων αντικειμένων που εμφανίζονται στα διαθέσιμα δεδομένα.
- Επίπεδο αποφάσεων. Κυρίως χρησιμοποιείται για βελτίωση της ακρίβειας στην ταξινόμηση των ψηφιακών εικόνων, συνδυάζοντας ήδη ταξινομημένες εικόνες οι οποίες όμως έχουν διαφορετική προέλευση (καταγραφή από διαφορετικά συστήματα).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία κάποιες από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές συγχώνευσης είναι:

- Μετασχηματισμός Ένταση–Απόχρωση–Κορεσμός (Intensity-Hue-Saturation).
- Μετασχηματισμός Brovey.
- Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal components analysis).
- Μετασχηματισμός Gram-Schmidt.
- Μετασχηματισμός Κυματιδίων (Wavelet Transform fusion).
- Μετασχηματισμός «À trous».

2.6 Σημασία της συγχώνευσης εικόνων

Οι περισσότεροι δορυφόροι που παρατηρούν τη Γη, όπως ο SPOT, ο IRS, ο Landsat 7, ο IKONOS, ο QuickBird και ο OrbView, παρέχουν παγχρωματικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης καθώς και πολυφασματικές χαμηλής, συγκριτικά, χωρικής ανάλυσης. Προκειμένου να εξαχθεί η μέγιστη δυνατή πληροφορία που περιλαμβάνεται σε δύο διαφορετικές εικόνες, απαιτείται ο συνδυασμός αυτών ώστε να προκύψει μία μόνο εικόνα η οποία θα συνδυάζει την πληροφορία (χωρική – φασματική) και των δύο εικόνων.

Εύλογα θα μπορούσε κάποιος να αναρωτηθεί γιατί οι περισσότεροι δορυφόροι δεν συλλέγουν κατευθείαν υψηλής ευκρίνειας πολυφασματικές εικόνες για να καλύψουν τις απαιτήσεις για υψηλή χωρική και φασματική ανάλυση. Υπάρχουν δύο σημαντικοί τεχνικοί περιορισμοί :

(1) το μέγεθος των δεδομένων που συλλέγονται από τον αισθητήρα και
(2) ο ρυθμός μετάδοσης και μεταφοράς δεδομένων.

Ο αποθηκευτικός χώρος που χρειάζεται για μια υψηλής ευκρίνειας πολυφασματική εικόνα είναι αισθητά μεγαλύτερος από τον απαιτούμενο χώρο α) για μια χαμηλής ανάλυσης πολυφασματική και β) για μια υψηλής ανάλυσης παγχρωματική εικόνα. Έτσι χρειάζεται ένας τρόπος ο οποίος θα μπορούσε να μετριάσει τα προβλήματα του περιορισμένου αποθηκευτικού χώρου στους δορυφόρους καθώς επίσης και του περιορισμένου ρυθμού μετάδοσης και μεταφοράς των δεδομένων από τον δορυφόρο στους επίγειους σταθμούς.

Εξετάζοντας αυτούς τους περιορισμούς, είναι σαφές ότι η αποτελεσματικότερη λύση για την παροχή υψηλής χωρικής καθώς και φασματικής πληροφορίας είναι η ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων συγχώνευσης εικόνων.

2.7 Αξιολόγηση μεθόδων συγχώνευσης

Η αξιολόγηση των τεχνικών συγχώνευσης μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ποιοτικών (υποκειμενικών) και ποσοτικών (στατιστικών) μεθόδων. Οι ποιοτικές μέθοδοι βασίζονται κυρίως στην εμπειρία. Ο συγκεκριμένος τρόπος αξιολόγησης εμπεριέχει και μια ποσότητα σφάλματος ή αβεβαιότητας σε συνάρτηση με την εμπειρία του παρατηρητή (*Shi κ.ά., 2005*).

Στη δεύτερη κατηγορία μεθόδων εξετάζεται με ποσοτικά κριτήρια (π.χ. συντελεστής συσχέτισης, μέσος όρος, διακύμανση, τυπική απόκλιση) το κατά πόσο έχουν διατηρηθεί στις συγχωνευμένες εικόνες η φασματική και χωρική πληροφορία των αρχικών εικόνων (*Zhou κ.ά., 1998*).

Για τον σκοπό αυτό στις συγχωνευμένες εικόνες χρησιμοποιούνται συνήθως οι κανόνες του Wald (*Wald 1997, Τσακίρη κ.ά., 2002*):

1. Κάθε δίαυλος της σύνθετης (συγχωνευμένης) εικόνας, υποβαθμισμένος στη χωρική ανάλυση της αρχικής πολυφασματικής, θα πρέπει, φασματικά, να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο όμοιος με τον αντίστοιχο δίαυλο της αρχικής πολυφασματικής.
2. Η σύνθετη εικόνα, στο σύνολό της θα πρέπει να έχει όμοια χαρακτηριστικά με την αρχική εικόνα, όπως αυτή θα καταγράφονταν από πολυφασματικό αισθητήρα με τη χωρική ανάλυση της παγχρωματικής (αν αυτός υπήρχε).

Πέραν των παραπάνω κανόνων, άλλες εργασίες που έχουν γίνει με μεθόδους συγχώνευσης δεδομένων προτείνουν και συμπληρωματικούς τρόπους αξιολόγησης, όπως είναι ο υπολογισμός του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Ο συγκεκριμένος δείκτης αποτελεί έναν από τους πλέον διαδομένους δείκτες, για την παρακολούθηση και τον διαχωρισμό της βλάστησης.

Κεφάλαιο 3

3.1 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης ανήκει στον νομό Χανίων και βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της Κρήτης (Εικόνα 3.1). Πιο συγκεκριμένα καλύπτει την ευρύτερη περιοχή των Φαλασάρνων (Εικόνα 3.2), μιας περιοχής με ιδιαίτερο γεωδυναμικό ενδιαφέρον. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στον θαλάσσιο χώρο κοντά στα Φαλάσαρνα εντοπίζεται το επίκεντρο ενός μεγάλου σεισμού που καταγράφηκε στις 21 Ιουλίου του 365μ.Χ. Από τον σεισμό η περιοχή ανυψώθηκε κατά 10 μέτρα. Η ανύψωση αυτή έχει αποτυπωθεί χαρακτηριστικά στο αρχαίο λιμάνι των Φαλασάρνων. Διαπιστώθηκε ότι η ολίσθηση του ρήγματος (ΝΑ της Πελοποννήσου) ήταν μεγαλύτερη στο ΝΑ τμήμα του και μικρότερη στο ΒΔ (προς Πελοπόννησο). Στα Αντικύθηρα η ανύψωση υπολογίστηκε στα 2,7 μέτρα.

Έτσι, λόγω διαθεσιμότητας των δεδομένων που θα παρουσιαστούν στην επόμενη ενότητα και που αφορούν μια περιοχή με έντονο γεωλογικό ενδιαφέρον, εφαρμόσθηκαν τεχνικές συγχώνευσης δορυφορικών εικόνων.

Εικόνα 3.1. Το νησί της Κρήτης (Google Earth, 2011)

Εικόνα 3.2. Ο Νομός Χανίων. Εντός του κόκκινου πλαισίου διακρίνεται η περιοχή των Φαλασάρνων (Google Earth, 2011)

3.2 Δεδομένα

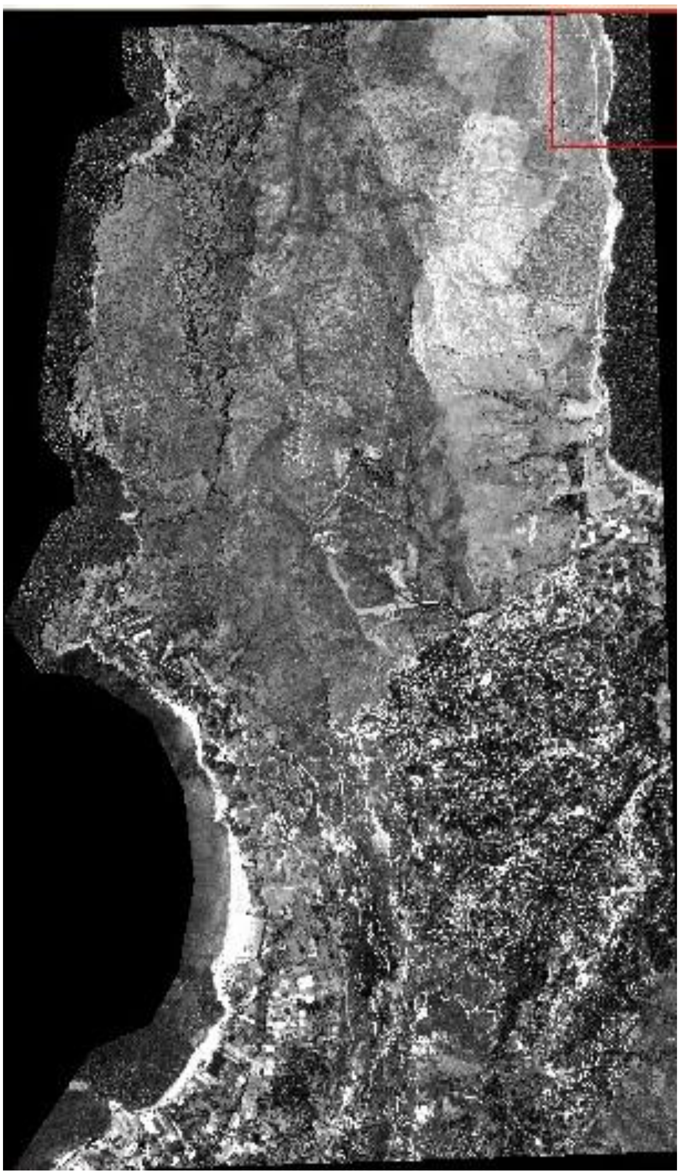
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Μία πολυφασματική εικόνα Landsat με ανάλυση εικονοστοιχείου 30m x 30m με ημερομηνία Λήψης : 30-6-2000 (Εικόνα 3.3).
- Μια παγχρωματική εικόνα Quickbird με ανάλυση εικονοστοιχείου 2.4m x 2.4m με ημερομηνία λήψης : 25-05-2005 (Εικόνα 3.4).

Πίνακας 3.1. Κανάλια πολυφασματικής εικόνας Landsat που χρησιμοποιήθηκαν.

Πολυφασματική εικόνα Landsat	
Κανάλια	**Εύρος (μm)**
Κανάλι 1(ιώδες)	0.45 – 0.52
Κανάλι 2 (πράσινο)	0.52 – 0.63
Κανάλι 3 (ερυθρό)	0.63 – 0.69

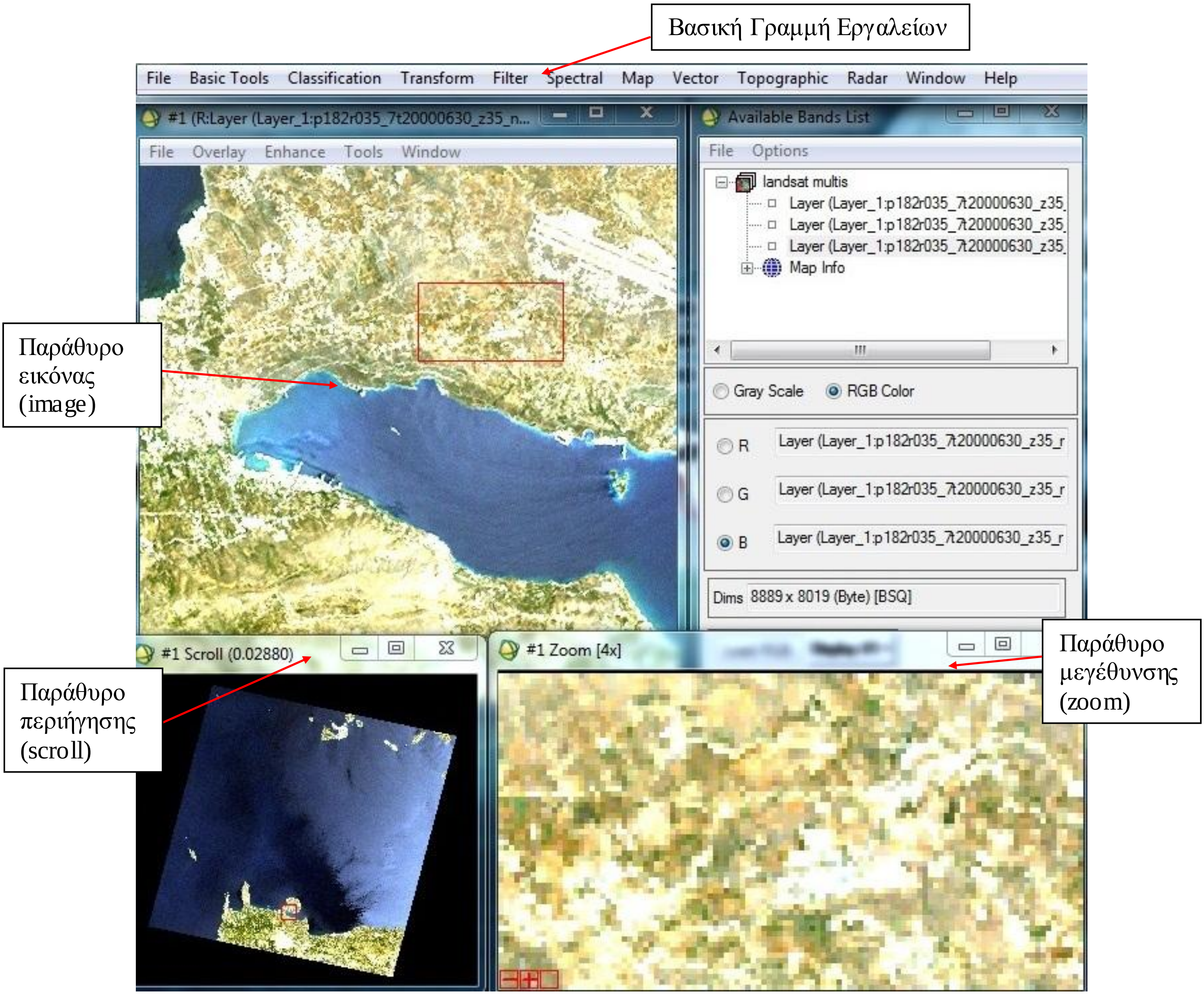
Εικόνα 3.3. Σύνθετη ψευδοχρωματική (RGB) δορυφορική εικόνα Landsat (30m x 30m). Εντός του κόκκινου πλαισίου διακρίνεται η περιοχή των Φαλασάρνων.
(Red=band3, Green=band2, Blue=band1)



Εικόνα 3.4.Παγχρωματική δορυφορική εικόνα Quickbird (2.4m x 2.4m)

3.3 Το Περιβάλλον του λογισμικού ENVI

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των εικόνων είναι το ENVI 4.2, το οποίο διατίθεται από την εταιρεία ITT Visual Information Solutions (http://www.ittvis.com). Κατά την προεπισκόπηση μιας εικόνας με τη βοήθεια του λογισμικού ENVI εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή τρία παράθυρα εργασιών (image, scroll, zoom) στα οποία απεικονίζεται η εικόνα σε διαφορετικές κλίμακες (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5. Περιβάλλον εργασίας του λογισμικού ENVI 4.2

3.4 Προεπεξεργασία των δορυφορικών εικόνων

Στην αρχή πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της δειγματοληψίας (resampling) για τα 3 κανάλια της πολυφασματικής εικόνας. Ειδικότερα κάθε εικονοστοιχείο αρχικών διαστάσεων $\Delta x = \Delta y = 30$ m διαιρέθηκε σε 156 νέα εικονοστοιχεία ορίζοντας με αυτό τον τρόπο το νέο διάστημα δειγματοληψίας $\Delta x' = \Delta y' = 2.4$ m, ίδιο με εκείνο της παγχρωματικής εικόνας. Η διαδικασία αυτή έγινε προκειμένου κάθε εικονοστοιχείο της παγχρωματικής εικόνας Quickbird και της πολυφασματικής εικόνας Landsat να καλύπτουν ίδια έκταση στην επιφάνεια της Γης.

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι (αλγόριθμοι) επαναδειγματοληψίας των δορυφορικών δεδομένων:

- Του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor).

Κατ' αυτήν η τιμή φωτεινότητας του εικονοστοιχείου των αρχικών δεδομένων το οποίο βρίσκεται πλησιέστερα στο εικονοστοιχείο του τελικού διορθωμένου κανάβου μεταφέρεται σε αυτό. Η μέθοδος δεν μεταβάλλει τις τιμές των εικονοστοιχείων.

- Της διγραμμικής παρεμβολής (bilinear interpolation).

Σε αυτήν τη μέθοδο χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των τιμών φωτεινότητας των τεσσάρων εικονοστοιχείων των αρχικών δεδομένων, τα οποία βρίσκονται πλησιέστερα στο νέο εικονοστοιχείο. Η μέθοδος αυτή απαιτεί περισσότερο χρόνο και δημιουργεί μια εικόνα με μικρότερη αντίθεση.

- Της κυβικής παρεμβολής (cubic convolution).

Η διαφορά με τη διγραμμική παρεμβολή είναι ότι ο μέσος όρος υπολογίζεται από τις τιμές φωτεινότητας των 16 πλησιέστερων εικονοστοιχείων των αρχικών δεδομένων. Η μέθοδος αυτή απαιτεί 10-12 φορές μεγαλύτερο χρόνο από ό τι η μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου. Η τελική όμως εικόνα δεν παρουσιάζει ούτε την παραμόρφωση της πρώτης περίπτωσης, ούτε τη μείωση της αντίθεσης της δεύτερης (*Μαλλίνης, 2006*).

Η μέθοδος επαναδειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε στην εικόνα Landsat ήταν η μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor). Η τεχνική του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor) έχει το πλεονέκτημα ότι είναι εύκολη και γρήγορη στους υπολογισμούς, καθώς επίσης διατηρεί τις αρχικές τιμές φωτεινότητας.

Εικόνα 3.6. Η εικόνα Landsat (3 κανάλια - RGB)(2.4m x 2.4m)

Εγγραφή Landsat σε Quickbird

Για την συγχώνευση των δεδομένων Landsat και Quickbird έπρεπε να εγγραφεί η μία εικόνα στην άλλη. Η εγγραφή μίας εικόνας (image registration) σε εικόνα ή χάρτη είναι η διαδικασία μετασχηματισμού των συντεταγμένων και προσαρμογής των δύο εικόνων σε κοινό σύστημα αναφοράς προκειμένου οι εικόνες να υπερτίθενται η μία στην άλλη. Η εγγραφή γίνεται με την χρήση επιλεγμένων σημείων στις δύο εικόνες τα οποία ονομάζονται επίγεια σημεία ελέγχου (Ground Control Points, GCPs). Ο μετασχηματισμός αυτός μπορεί να είναι γραμμικός, πολυωνυμικός, κ.ά. Όσο αυξάνει ο βαθμός του πολυωνύμου, αυξάνει η επιτυχία του μετασχηματισμού παράλληλα όμως αυξάνει και ο αριθμός των απαιτούμενων, για τον μετασχηματισμό, GCPs. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η χρήση ενός πολυωνύμου υψηλού βαθμού (π.χ.,3ου) δεν επιφέρει πάντα επιθυμητά αποτελέσματα.

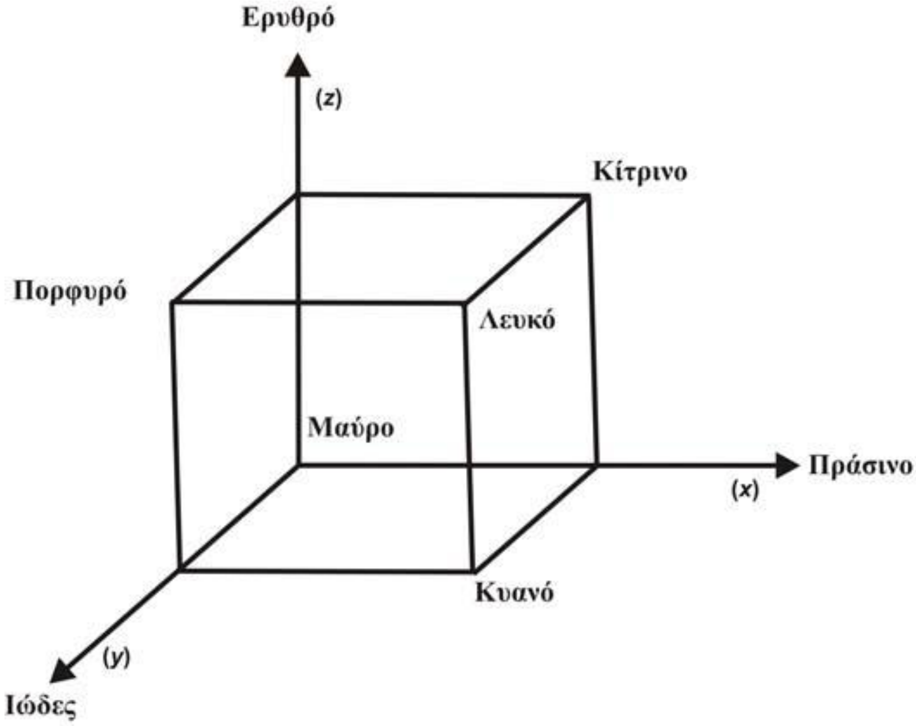
Καθότι μετά τον μετασχηματισμό οι θέσεις των εικονοστοιχείων έχουν αλλάξει, είναι αναγκαίο να επαναπροσδιοριστούν οι τιμές φωτεινότητας στις νέες θέσεις των ψηφίδων. Στην προκύπτουσα εικόνα πρέπει να επαναληφθεί η δειγματοληψία (resampling).
Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου, ώστε να διατηρηθούν οι τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων των αρχικών δεδομένων.

3.5 Μέθοδοι συγχώνευσης που εφαρμόσθηκαν

Στην παρούσα εργασία εφαρμόσθηκαν και κατόπιν αξιολογήθηκαν 3 μέθοδοι συγχώνευσης των εικόνων Quickbird και Landsat. Συγκεκριμένα α) η μέθοδος Ένταση–Απόχρωση–Κορεσμός (Intensity-Hue-Saturation, IHS), β) η μέθοδος βάσει της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA) και γ) η μέθοδος Gram-Schmidt. Για την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα ENVI, στο οποίο η μέθοδος IHS αναφέρεται ως HSV (Hue-Saturation-Value).

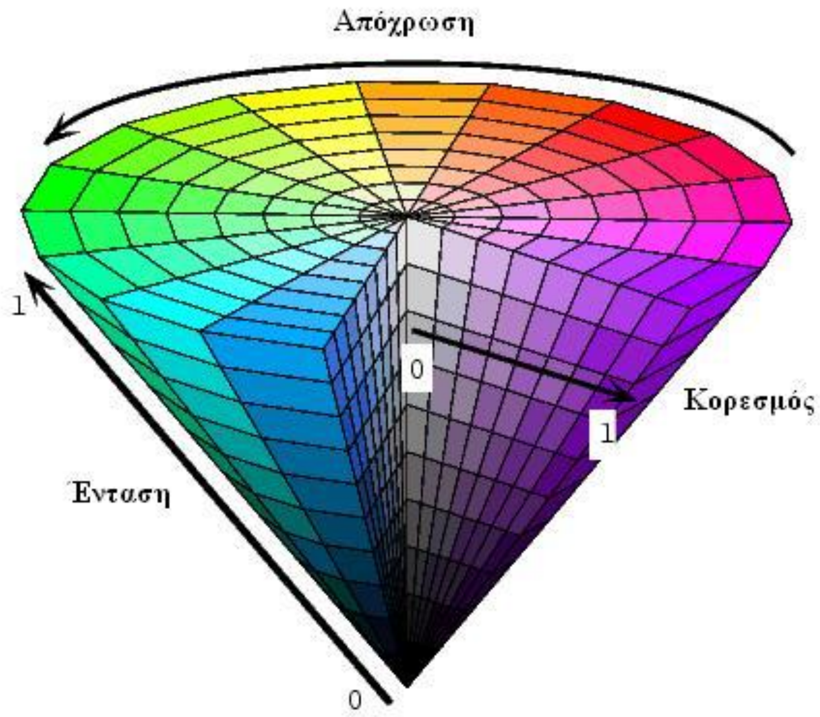
3.5.1 Χρωματικός Μετασχηματισμός «Ένταση – Απόχρωση – Κορεσμός»

Δύο από τα πιο γνωστά χρωματικά μοντέλα απόδοσης μίας εικόνας είναι α) το χρωματικό μοντέλο RGB και β) το χρωματικό μοντέλο IHS. Με το χρωματικό μοντέλο RGB (Red, Green, Blue) (Εικόνα 3.7) περιγράφεται η χρωματική ένταση κάθε εικονοστοιχείου χρησιμοποιώντας τρία πρωτεύοντα αθροιστικά χρώματα ή χρωματικά κανάλια. Τα βασικά χρώματα που χρησιμοποιούνται είναι το ερυθρό, το πράσινο και το ιώδες (Ιερωνυμίδη, 2009).



Εικόνα 3.7. Το RGB χρωματικό μοντέλο.

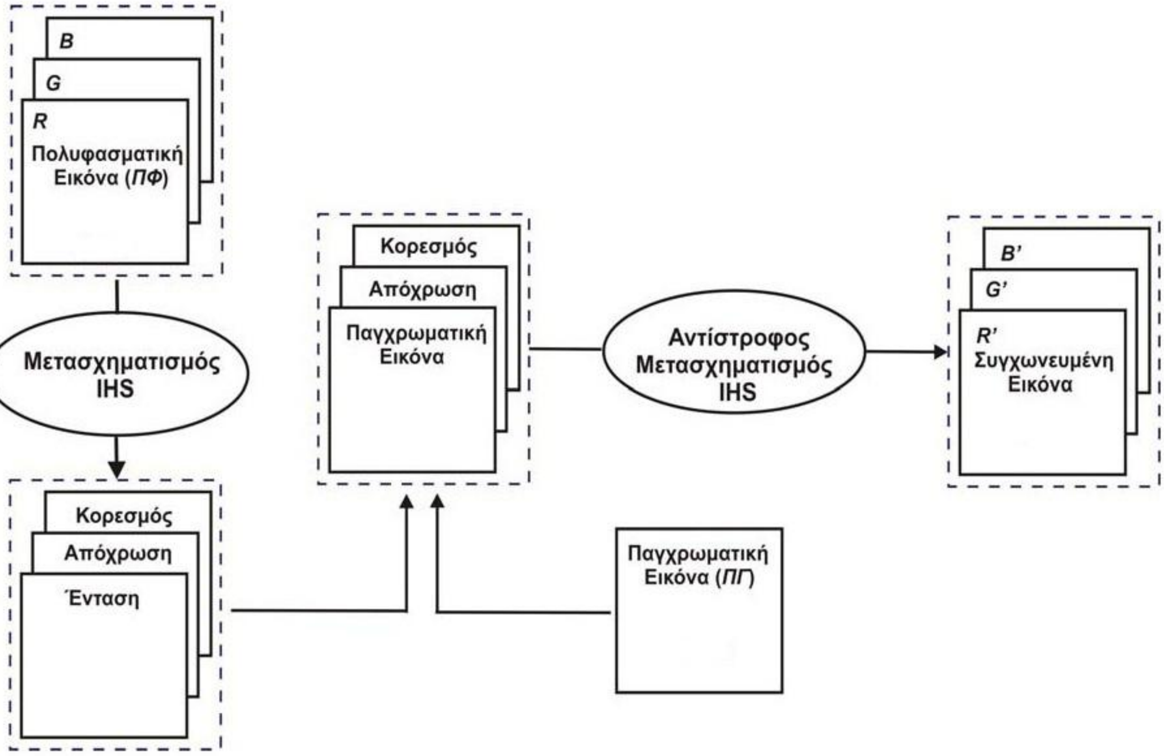
Παρόμοια με το RGB σύστημα απόδοσης μιας έγχρωμης εικόνας, το IHS αποτελεί μία ακόμα μορφή χρωματικού συστήματος. Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών συστημάτων μπορεί να γίνει αντιληπτή παρατηρώντας τα σχήματα των εικόνων (3.7 και 3.8). Το σύστημα RGB απεικονίζεται ως κύβος, του οποίου οι άξονες *x*, *y* και *z* αντιστοιχούν στα τρία πρωτεύοντα αθροιστικά χρώματα, πράσινο, ιώδες και ερυθρό, αντίστοιχα (Εικόνα 3.7). Το σύστημα IHS (Εικόνα 3.8) αναπαριστάται από έναν κώνο, του οποίου ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στην ένταση (Intensity - *I*) ενός χρώματος και, για 8-bit κβαντοποίηση φωτεινότητας, παίρνει τιμές από 0 (μαύρο) έως 255 (λευκό), (Chen *et al.*, 2003). Η περιφέρεια του κώνου αντιστοιχεί στην απόχρωση (Hue - *H*) ενός χρώματος, δηλαδή στο μήκος κύματος που συνεισφέρει σε ένα χρώμα. Ο κορεσμός (Saturation - *S*) ορίζει την καθαρότητα ενός χρώματος ως προς το γκρι (Carter, 1998) και οι τιμές του κυμαίνονται από 0, στο κέντρο της σφαίρας, μέχρι 255, στην περιφέρεια αυτής.



Εικόνα 3.8. Το χρωματικό σύστημα «Ένταση-Απόχρωση-Κορεσμός» (IHS)

Η μέθοδος συγχώνευσης «Ένταση – Απόχρωση – Κορεσμός» (Intensity – Hue – Saturation Transform– IHS) βασίζεται στην αρχή του μετασχηματισμού τριών φασματικών καναλιών της αρχικής, χαμηλής χωρικής ανάλυσης πολυφασματικής εικόνας από το RGB στο IHS χρωματικό πεδίο (Carter, 1998, Zhou *et al.*, 1998, Pohl & Van Genderen, 1998, Pohl, 1999, κ.α.)

Η συνιστώσα της έντασης (I), που είναι το άθροισμα των τριών καναλιών της πολυφασματικής εικόνας, περιγράφει την ολική φωτεινότητα αυτής και παρουσιάζει έντονη ομοιότητα με την παγχρωματική εικόνα (Bretschneider& Kao, 2000). Η απόχρωση (H) και ο κορεσμός (S) σχετίζονται με τη φασματική πληροφορία ενώ η ένταση με τη χωρική πληροφορία της πολυφασματικής εικόνας (Samadgedagan, 2003). Μετά τον μετασχηματισμό πραγματοποιείται ταίριασμα ιστογράμματος της παγχρωματικής εικόνας με το ιστόγραμμα της έντασης. Το ταίριασμα ιστογράμματος γίνεται ώστε η παγχρωματική εικόνα να αποκτήσει περίπου την ίδια διασπορά και μέση τιμή με την εικόνα της έντασης (Ιερωνυμίδη, 2009). Η διαδικασία της συγχώνευσης συνεχίζεται με την αντικατάσταση της έντασης από την παγχρωματική εικόνα που προέκυψε μετά το ταίριασμα του ιστογράμματος. Η συγχωνευμένη εικόνα προκύπτει μετά τον αντίστροφο μετασχηματισμό από το IHS στο RGB χρωματικό πεδίο.



Εικόνα 3.9. Σχηματικό διάγραμμα της συγχώνευσης εικόνων με το μετασχηματισμό IHS (Ιερωνυμίδη, 2009)

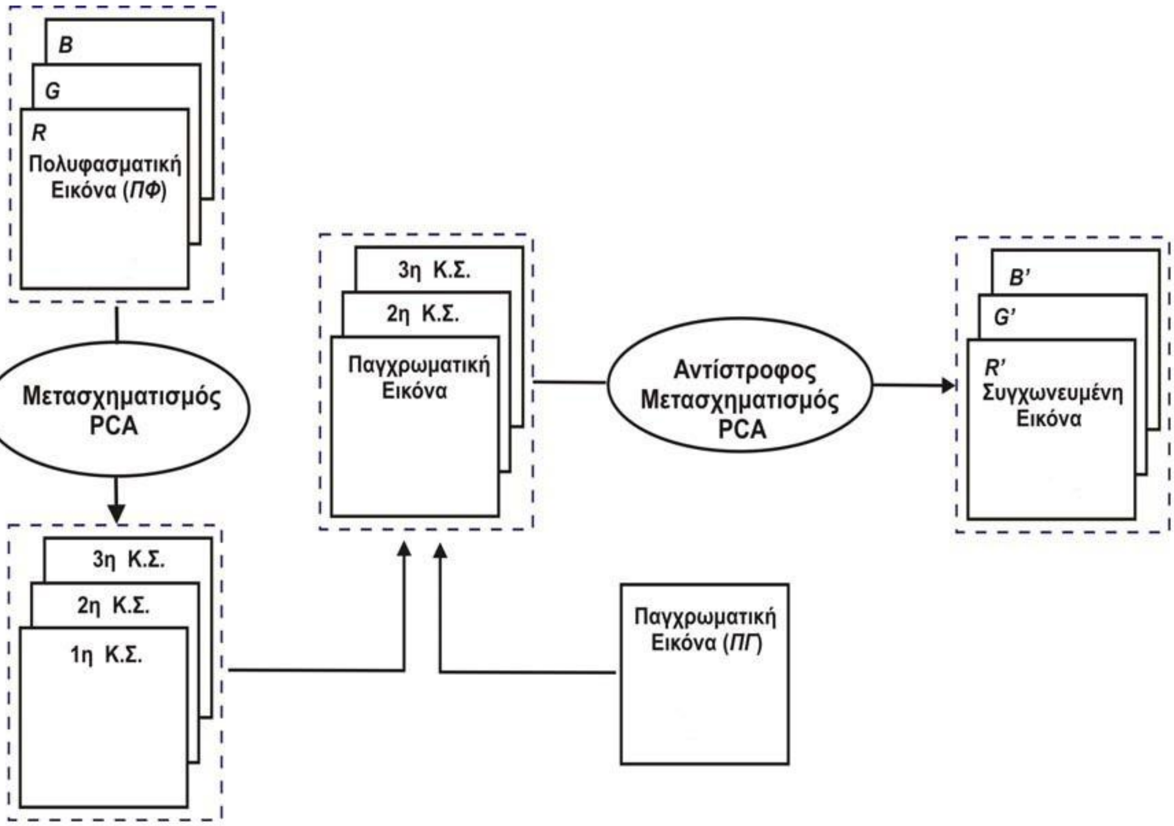
Στο περιβάλλον του λογισμικού επεξεργασίας εικόνων ENVI, η τεχνική αυτή βρίσκεται στο βασικό μενού εργαλείων, στην επιλογή Transform - Image Sharpening – HSV. Ως τεχνική επαναδειγματοληψίας επιλέχτηκε εκείνη του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor), η οποία διατηρεί της τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων των αρχικών δεδομένων.

3.5.2 Μετασχηματισμός Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών

Η ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal Components Analysis – PCA), είναι μια στατιστική τεχνική η οποία μετασχηματίζει ένα σύνολο αλληλοσυσχετιζόμενων μεταβλητών (π.χ. φασματικά κανάλια), σε ένα σύνολο μη-συσχετιζόμενων γραμμικών συνδυασμών των αρχικών μεταβλητών. Δημιουργεί ένα νέο σύνολο αξόνων οι οποίοι είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους, δηλαδή δεν συσχετίζονται. Η τεχνική αυτή είναι χρήσιμη μεταξύ των άλλων για συμπίεση δεδομένων, ενίσχυση της πληροφορίας της εικόνας, εντοπισμό αλλαγών και συγχώνευση δεδομένων (Παπαδοπούλου, 2008).

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, η πρώτη κύρια συνιστώσα (*1η Κ.Σ*), όπως προκύπτει από τον μετασχηματισμό των αρχικών πολυφασματικών δεδομένων, αντικαθίσταται από έναν άλλο δίαυλο (συνήθως τον υψηλότερης ευκρίνειας παγχρωματικό δίαυλο). Η *1η Κ.Σ.* αντιστοιχεί στις μέσες τιμές των τιμών φωτεινότητας όλων των καναλιών που χρησιμοποιούνται για τον μετασχηματισμό και δεν περιέχει συγκεκριμένη φασματική πληροφορία. Η φασματική πληροφορία συγκεντρώνεται κυρίως στη δεύτερη και τρίτη κύρια συνιστώσα, καθώς η *1η Κ.Σ.* συγκεντρώνει κυρίως την κοινή χωρική πληροφορία για όλα τα κανάλια που χρησιμοποιούνται στον μετασχηματισμό (Chavez και Kwarteng, 1989).

Η διαδικασία συγχώνευσης της παγχρωματικής με την πολυφασματική εικόνα είναι παρόμοια με τη διαδικασία της μεθόδου συγχώνευσης IHS (Samadzadegan, 2003). Αρχικά τα τρία κανάλια της αρχικής πολυφασματικής εικόνας αναλύονται σε κύριες συνιστώσες. Πριν τη συγχώνευση πραγματοποιείται, όπως και στην περίπτωση της μεθόδου IHS, ταίριασμα του ιστογράμματος της παγχρωματικής εικόνας με το ιστόγραμμα της πρώτης κύριας συνιστώσας. Στη συνέχεια η *1η Κ.Σ.* αντικαθίσταται από την παγχρωματική εικόνα (*ΠΓ*), μετά το ταίριασμα ιστογράμματος και ακολουθεί ο αντίστροφος μετασχηματισμός των κύριων συνιστωσών.



Εικόνα 3.10. Σχηματικό διάγραμμα της PCA (Ιερωνυμίδη, 2009)

Το πλεονέκτημα της συγχώνευσης εικόνων με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών είναι ότι δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των φασματικών καναλιών που δύναται να χρησιμοποιηθούν. Μειονέκτημα όμως συνιστά η εξάρτηση της αποτελεσματικότητας της τεχνικής από το είδος της περιοχή ενδιαφέροντος (π.χ. αστική περιοχή, περιοχή με βλάστηση κ.ά.). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διασπορά των τιμών των εικονοστοιχείων και η συσχέτιση των διαφόρων καναλιών ενδέχεται να μεταβάλλεται με τον εκάστοτε στόχο σάρωσης (Vijayaraj, 2004).

Στο περιβάλλον του λογισμικού ENVI, η τεχνική αυτή βρίσκεται στο παράθυρο διαλόγου Transform - Image Sharpening – PC Spectral Sharpening. Ως μέθοδος επαναδειγματοληψίας επιλέχτηκε αυτή του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor).

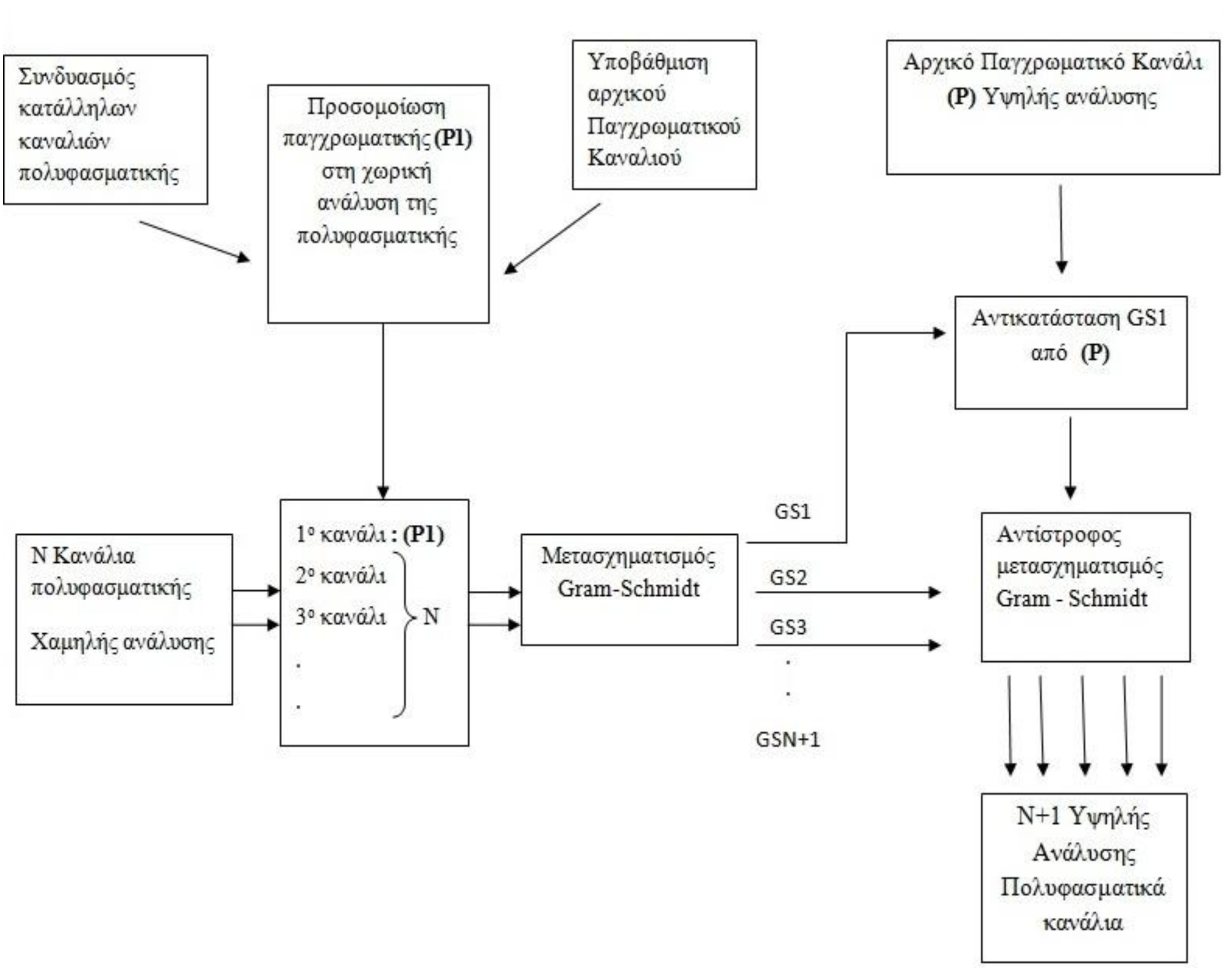
3.5.3 Μέθοδος Gram-Schmidt

Ο μετασχηματισμός Gram-Schmidt, είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται στη γραμμική άλγεβρα και στην πολυμεταβλητή ανάλυση, για την ορθογωνοποίηση (orthogonalization) δεδομένων σε πίνακα.

Η διαδικασία περιλαμβάνει την προσομοίωση μιας παγχρωματικής εικόνας (ψευδοπαγχρωματική, P1) στην χωρική ανάλυση της πολυφασματικής. Η προσομοίωση επιτυγχάνεται με δύο τρόπους :

- από τους αρχικούς φασματικούς διαύλους (χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης), ή
- με την υποβάθμιση της χωρικής ανάλυσης της αρχικής παγχρωματικής εικόνας σε μέγεθος ψηφίδας αντίστοιχο με εκείνο της πολυφασματικής εικόνας.

Έτσι δημιουργείται μια εικόνα η οποία αποτελείται από N+1 κανάλια έχοντας ως πρώτο κανάλι την ψευδοπαγχρωματική εικόνα (P1) που δημιουργήθηκε στο πρώτο βήμα. Ακολούθως εφαρμόζεται ο ευθύς μετασχηματισμός Gram-Schmidt στην εικόνα που προέκυψε από τη σύνθεση των N+1 καναλιών. Πριν από την συγχώνευση πραγματοποιείται ταίριασμα του ιστογράμματος της παγχρωματικής εικόνας με το ιστόγραμμα της πρώτης κύριας συνιστώσας Gram-Schmidt 1 (GS1), η οποία είναι αντίστοιχη της πρώτης κύριας συνιστώσας από τη μέθοδο PCA. Η GS1 αντικαθίσταται από το αρχικό παγχρωματικό κανάλι υψηλής χωρικής ανάλυσης και ακολουθεί ο αντίστροφος Gram-Schmidt μετασχηματισμός ώστε να προκύψει η βελτιωμένη πολυφασματική εικόνα. Στην Εικόνα 3.11 εμφανίζεται το διάγραμμα ροής των εργασιών για την εφαρμογή της μεθόδου Gram-Schmidt.



Εικόνα 3.11. Διάγραμμα ροής των εργασιών για την εφαρμογή της μεθόδου Gram-Schmidt

Σε γενικές γραμμές, συγκρινόμενη με την μέθοδο της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών (PCA), η μέθοδος Gram-Schmidt είναι περισσότερο ακριβής και προτείνεται για περισσότερες εφαρμογές (ENVI, 2005). Η μέθοδος χρησιμοποιεί την λειτουργία της φασματικής απόκρισης (spectral response function) του εκάστοτε συστήματος προκειμένου να εκτιμήσει τον τρόπο με τον οποίο εμφανίζονται τα παγχρωματικά δεδομένα.

Για την συγχώνευση επιλέχτηκε η μέθοδος Average of Low Resolution Multispectral File (Υποβάθμιση αρχικού Παγχρωματικού καναλιού, Εικόνα 3.11). Αυτή προσομοιώνει την παγχρωματική εικόνα χρησιμοποιώντας έναν μέσο όρο των πολυφασματικών διαύλων. Το λογισμικό ENVI προσομοιώνει την παγχρωματική εικόνα για το αντίστοιχο σύστημα καταγραφής. Η μέθοδος Create By Sensor Type που προσομοιώνει την παγχρωματική εικόνα από τον συνδυασμό των κατάλληλων καναλιών της πολυφασματικής εικόνας δεν χρησιμοποιήθηκε, καθότι επιπρόσθετες πληροφορίες σχετικές με τη φασματική απόκριση των συστημάτων καταγραφής δεν ήταν διαθέσιμες.

Τέλος ως μέθοδος δειγματοληψίας επιλέχτηκε αυτή του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor).

3.6 Αξιολόγηση των τριών μεθόδων συγχώνευσης

Οι μέθοδοι συγχώνευσης, που αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία, αξιολογήθηκαν με στατιστικά και οπτικά κριτήρια, ως προς τη διατήρηση της φασματικής και χωρικής πληροφορίας που περιέχουν τα αρχικά δεδομένα στις συγχωνευμένες εικόνες. Στις Ενότητες που ακολουθούν αναφέρονται αναλυτικότερα τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν.

3.6.1 Οπτική αξιολόγηση

Η οπτική αξιολόγηση περιλαμβάνει τον οπτικό έλεγχο των εικόνων προκειμένου να διαπιστωθούν ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των αρχικών και συγχωνευμένων εικόνων που προέκυψαν από τις μεθόδους συγχώνευσης (υποκειμενικό κριτήριο).

3.6.2 Στατιστικά Μέτρα (Ποσοτική Αξιολόγηση)

- **Φασματική πληροφορία συγχωνευμένων εικόνων**

Προκειμένου να εκτιμηθεί η φασματική πληροφορία των συγχωνευμένων εικόνων, σε σχέση με την αρχική πολυφασματική, χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά μέτρα σύγκρισης. Ο στατιστικός έλεγχος βασίστηκε στη χρήση κριτηρίων που υπολογίζουν το ποσοστό μεταβολής των τιμών φωτεινότητας των εικονοστοιχείων των συγχωνευμένων εικόνων, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές στην αρχική πολυφασματική εικόνα. Τα κριτήρια, που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Συντελεστής Συσχέτισης

Στη συσχέτιση (CORRELATION) έχουμε δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές που παρατηρούνται στην ίδια μονάδα του δείγματος (ή του πληθυσμού), προκειμένου να βρεθεί ο βαθμός ή η ένταση με την οποία σχετίζονται μεταξύ τους οι μεταβλητές αυτές (*Μάτης, 1994*).

Στην περίπτωση της συγχώνευσης εικόνων, σκοπός του κριτηρίου αυτού είναι η εξέταση της συσχέτισης των τιμών φωτεινότητας των διαύλων των βελτιωμένων εικόνων με εκείνες στους διαύλους της αρχικής. Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τιμές στο διάστημα [-1, 1]. Η τιμή +1 είναι η ιδανική, καθώς αναπαριστά τη μέγιστη συσχέτιση μεταξύ δυο εικόνων, η τιμή -1 αναπαριστά μέγιστη αρνητική συσχέτιση και η τιμή 0 δηλώνει ασυσχέτιστα δεδομένα.

Ο συντελεστής συσχέτισης δίνεται από τη σχέση:

$$C_k\left({}^{f}\!/_{m}\right) = \frac{\sum_{i,j=1}^{MN}\left(f_k(i,j) - \overline{f_k(i,j)}\right)((m_k(i,j) - \overline{m_k(i,j)})}{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{MN}\left(f_k(i,j) - \overline{f_k(i,j)}\right)^2 \sum_{i,j=1}^{MN}\left(m_k(i,j) - \overline{m_k(i,j)}\right)^2}}$$

Στην παραπάνω σχέση τα f και m αντιπροσωπεύουν τη συγχωνευμένη και πολυφασματική εικόνα αντίστοιχα, τα $\overline{f}$ και $\overline{m}$ τις μέσες τιμές αυτών (κατά αντιστοιχία), τα i και j τις συντεταγμένες των εικονοστοιχείων και το k το φασματικό κανάλι το οποίο αφορά ο συντελεστής συσχέτισης (Ιερωνυμίδη, 2009).

Από την επιλογή Layer Stacking η οποία βρίσκεται στο menu Basic Tools του λογισμικού ENVI, δημιουργήθηκε μία νέα εικόνα η οποία περιείχε τα κανάλια της αρχικής και της σύνθετης εικόνας για κάθε μέθοδο. Από τις νέες εικόνες με τους 6 πλέον διαύλους, υπολογίστηκε η συσχέτιση μεταξύ των αρχικών και των συγχωνευμένων καναλιών. Από το menu Basic Tools → Statistics → Compute Statistics επιλέγουμε Covariance (συμμεταβλητότητα) και στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε Correlation. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ένας πίνακας με τις τιμές συσχέτισης μεταξύ αρχικών και συγχωνευμένων καναλιών.

Σχετική Μετατόπιση της Μέσης Τιμής Ιστογράμματος

Το ιστόγραμμα μιας εικόνας αποτελεί γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των εικονοστοιχείων που χαρακτηρίζονται από διάφορες τιμές του τόνου του γκρι. Οποιαδήποτε αλλαγή στις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων γίνεται αντιληπτή στο ιστόγραμμα της εικόνας (Ιερωνυμίδη, 2009).

Καμία από τις υπάρχουσες τεχνικές συγχώνευσης δεν επιτυγχάνει μηδενική αλλοίωση των τιμών φωτεινότητας μετά την ολοκλήρωση των διαδικασιών συγχώνευσης για το κάθε κανάλι. Όσο μικρότερες είναι οι μεταβολές που παρουσιάζει το ιστόγραμμα της συγχωνευμένης εικόνας, σε σχέση με της αρχικής πολυφασματικής, τόσο περισσότερη φασματική πληροφορία έχει διατηρηθεί στην συγχωνευμένη εικόνα.

Η σχετική μετατόπιση της μέσης τιμής ιστογράμματος (Relative Shift in the Mean – RSM) περιγράφει τις αλλαγές που υφίσταται το ιστόγραμμα μετά από επεξεργασία της εικόνας. Εκφράζεται από τον λόγο της διαφοράς των μέσων τιμών φωτεινότητας της συγχωνευμένης και πολυφασματικής εικόνας προς τη μέση τιμή της πολυφασματικής:

$$RSM\% = \frac{\overline{f_k(i,j)} - \overline{m_k(i,j)}}{\overline{m_k(i,j)}}\%$$

Στο περιβάλλον του λογισμικού ENVI, ο μέσος όρος μπορεί να υπολογισθεί από το menu Basic Tools → Statistics → Compute Statistics → Basic Stats.

.

Τυπική απόκλιση

Η τυπική απόκλιση (Standard Deviation - StD) παρέχει πληροφορίες για το εύρος του ιστογράμματος. Μεταβολές στην τυπική απόκλιση του ιστογράμματος αντικατοπτρίζουν αλλαγές στην κατανομή των τιμών φωτεινότητας των εικονοστοιχείων μετά τη συγχώνευση (Vijayaraj, 2004). Πρόκειται για την τετραγωνική ρίζα του λόγου του αθροίσματος των διαφορών μεταξύ μιας εικόνας ($x(i,j)$) και της μέσης τιμής αυτής ($\overline{x(i,j)}$) προς το συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων :

$$StD = \sqrt{\frac{1}{MN}\sum_{I,J=1}^{MN}(x_k\,(i,j) - \left(\overline{x_k(i,j)}\right)}$$

Ο συνδυασμός της σχετικής μετατόπισης της μέσης τιμής ιστογράμματος και της τυπικής απόκλισης παρέχει πληροφορίες για τη μεταβολή της κατανομής των επιπέδων του τόνου του γκρι σε ένα κανάλι (Ιερωνυμίδη, 2009).

- **Χωρική πληροφορία συγχωνευμένων εικόνων**

Σύμφωνα με τον Goodchild (1987), η χωρική αυτοσυσχέτιση αφορά στον βαθμό με τον οποίο τα αντικείμενα ή οι δραστηριότητες σε κάποια θέση είναι παρόμοια με άλλα αντικείμενα ή δραστηριότητες που βρίσκονται κοντά. Δηλαδή, η χωρική αυτοσυσχέτιση είναι μια αξιολόγηση του συσχετισμού μιας μεταβλητής αναφορικά με τη χωρική θέση στην οποία παρατηρείται. Η μεταβλητή στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής είναι οι τιμές φωτεινότητας.

Η χωρική αυτοσυσχέτιση αφορά στον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλονται οι τιμές φωτεινότητας σε μια γειτονιά, σε ένα κανάλι. Υπολογίζεται ένας συντελεστής χωρικής αυτοσυσχέτισης, αρχικά για το παγχρωματικό κανάλι και στη συνέχεια για το κάθε κανάλι των συγχωνευμένων εικόνων. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του συντελεστή που υπολογίσθηκε στην περίπτωση του παγχρωματικού καναλιού με τις αντίστοιχες τιμές του συντελεστή στα κανάλια των συγχωνευμένων εικόνων, τόσο καλύτερα διατηρείται η χωρική ανάλυση της παγχρωματικής στις συγχωνευμένες εικόνες.

Στην περίπτωση θετικής χωρικής αυτοσυσχέτισης η τιμή φωτεινότητας στο σημείο που ελέγχουμε (σημείο ελέγχου) τείνει να είναι ίδια με τις τιμές σε μία γειτονιά εικονοστοιχείων. Αν δηλαδή η τιμή φωτεινότητας είναι χαμηλή στο σημείο ελέγχου, τότε θα πρέπει να είναι αντίστοιχα χαμηλή και στη γειτονιά των εικονοστοιχείων. Αντίθετα, η αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση χαρακτηρίζεται από μία τάση για ανόμοιες τιμές φωτεινότητας μεταξύ του εικονοστοιχείου ελέγχου και της γειτονιάς. Στην περίπτωση αυτή, όταν η τιμή φωτεινότητας του κεντρικού εικονοστοιχείου είναι χαμηλή, η τιμή φωτεινότητας της γειτονιάς είναι υψηλή. Η απουσία χωρικής αυτοσυσχέτισης δηλώνει τυχαία κατανομή των τιμών φωτεινότητας μεταξύ σημείου ελέγχου και γειτονιάς.

Το λογισμικό ENVI διαθέτει 2 μεθόδους υπολογισμού του συντελεστή χωρικής αυτοσυσχέτισης:

- Τη μέθοδο « Moran's I » η οποία συγκρίνει τις διαφορές μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων και υπολογίζει την τοπική ομογένεια τους. Οι τιμές εκτείνονται από +1 έως -1, όπου το +1 υποδεικνύει ισχυρά θετική συσχέτιση, το 0 δείχνει ασυσχέτιστα στοιχεία και το -1 ισχυρά αρνητική συσχέτιση.

  Ο δείκτης Moran’s I (Moran, 1948) δίνεται από τον τύπο των Getis and Ord (1973, 1981):

$$I = \frac{n}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \bullet \frac{\sum_i \sum_j w_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

  όπου i) n είναι ο αριθμός των γειτονικών εικονοστοιχείων, ii) W_{ij} είναι τα στοιχεία του πίνακα χωρικής εγγύτητας W, που υποδηλώνει ένα μέτρο της χωρικής σχέσης μεταξύ των εικονοστοιχείων i και j για κάθε κανάλι και iii) x_i , x_j οι τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων i και j.

- Τη μέθοδο « The Geary's C » η οποία συγκρίνει τις διαφορές μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων συγκριτικά με την τυπική απόκλιση. Οι τιμές εκτείνονται μεταξύ 0 και 2, όπου 0 δηλώνει ισχυρά θετική συσχέτιση, το 1 δείχνει ασυσχέτιστα δεδομένα και το 2 ισχυρά αρνητική συσχέτιση.

$$c = \frac{(n-1)}{2\sum_i \sum_j W_{ij}} \bullet \frac{\sum_i \sum_j W_{ij}(x_i - x_j)^2}{\sum (x_i - \overline{x})^2}$$

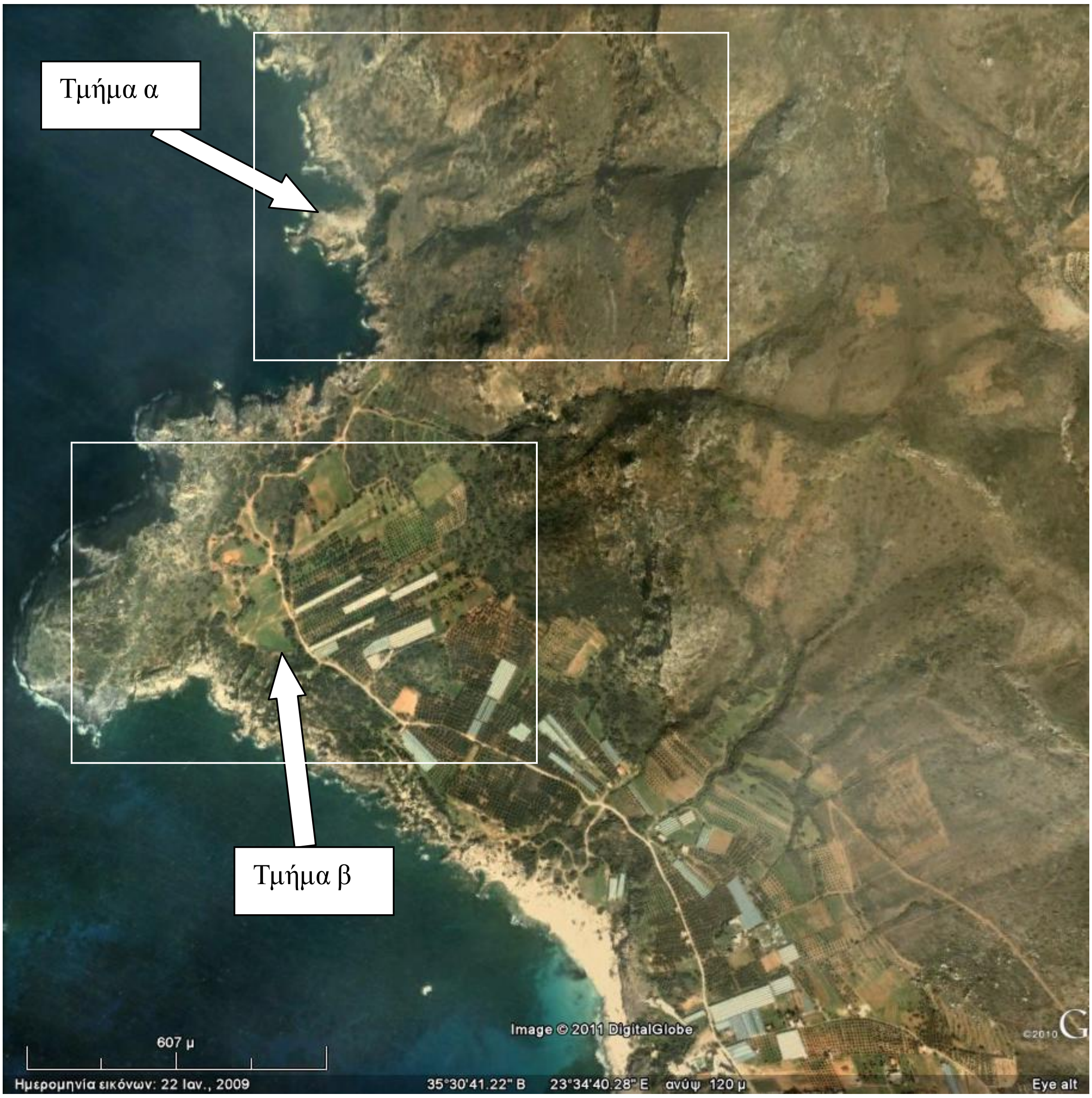
όπου i) n είναι ο αριθμός των γειτονικών εικονοστοιχείων, ii) W_{ij} είναι τα στοιχεία του πίνακα χωρικής εγγύτητας W, που υποδηλώνει ένα μέτρο της χωρικής σχέσης μεταξύ των εικονοστοιχείων i και j για κάθε κανάλι και iii) x_i , x_j οι τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων i και j.

Κεφάλαιο 4

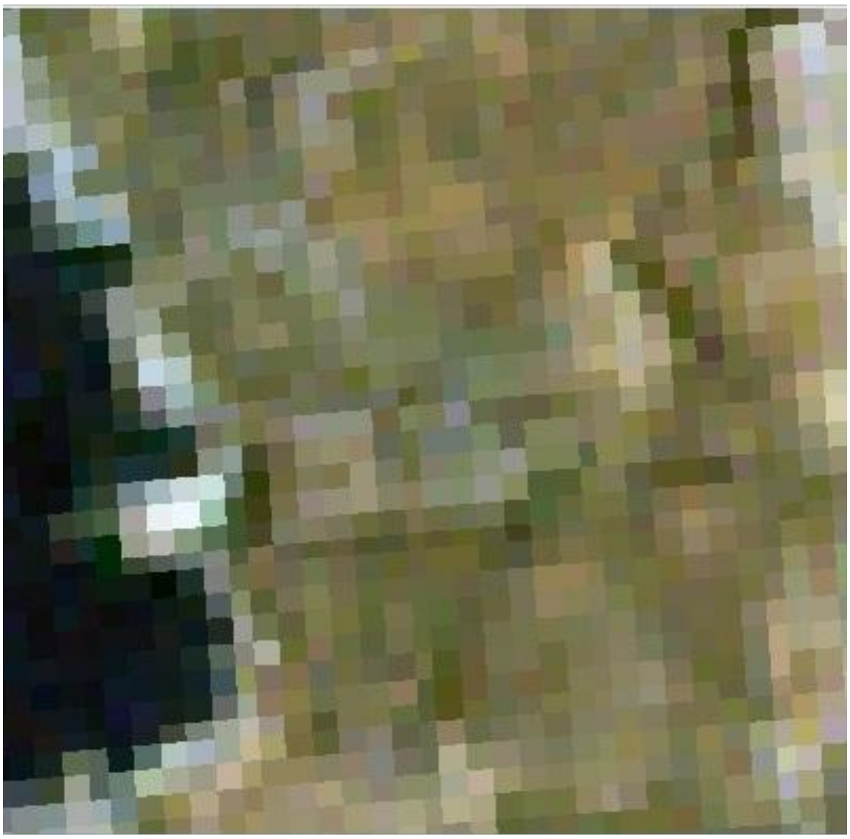
Αποτελέσματα

4.1 Οπτική αξιολόγηση

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της συγχώνευσης σε 2 επιμέρους τμήματα της περιοχής μελέτης (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1 Απόσπασμα περιοχής μελέτης με τα επιμέρους τμήματα (Google Earth, 2011)



Εικόνα 4.2.Τμήμα α: Αρχική πολυφασματική εικόνα.
(Red=κανάλι 3, Blue=κανάλι 2, Green=κανάλι 1)

Εικόνα 4.3. Τμήμα α: Συγχωνευμένη εικόνα με τη μέθοδο Gram-Schmidt.
(Red=κανάλι 1, Blue=κανάλι 2, Green=κανάλι 3)

Εικόνα 4.4. Τμήμα α: Συγχωνευμένη εικόνα με τη μέθοδο IHS.
(Red=κανάλι 1, Blue=κανάλι 2, Green=κανάλι 3)

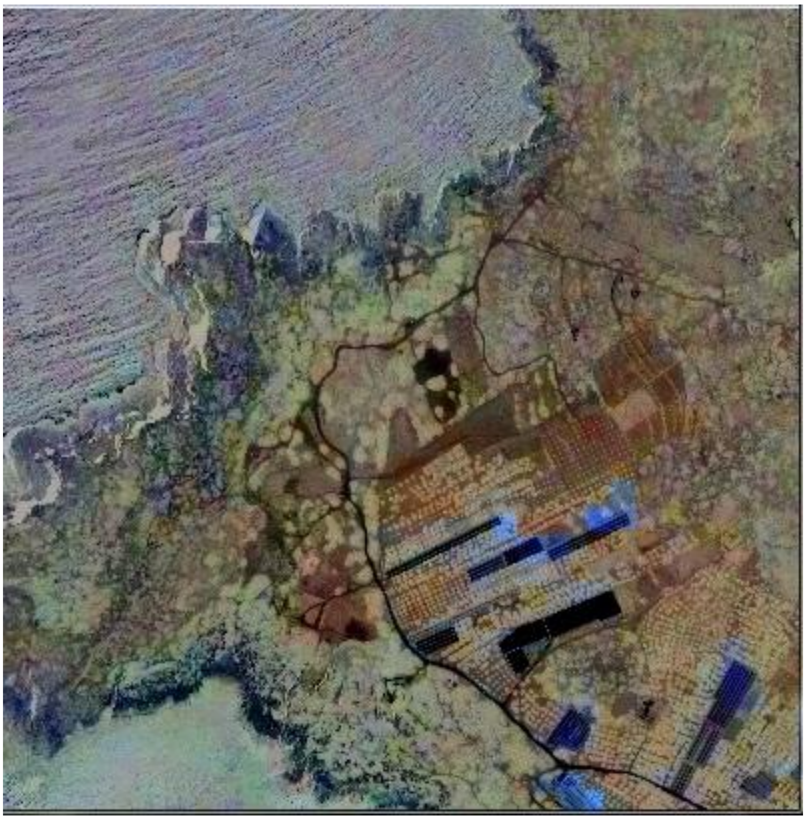
Εικόνα 4.5. Τμήμα α: Συγχωνευμένη εικόνα με τη μέθοδο PCA.
(Red=κανάλι 1, Blue=κανάλι 2, Green=κανάλι 3)

Εικόνα 4.6. Τμήμα α: Συγχωνευμένη εικόνα με τη μέθοδο PCA (αντιστροφή χρωμάτων).
(Red=κανάλι 1, Blue=κανάλι 2, Green=κανάλι 3)

Εικόνα 4.7. Τμήμα β: Αρχική πολυφασματική εικόνα.
(Red=κανάλι 1, Blue=κανάλι 2, Green=κανάλι 3)

Εικόνα 4.8. <u>Τμήμα β</u>: Συγχωνευμένη εικόνα με τη μέθοδο Gram-Schmidt.
(Red=κανάλι 1, Blue=κανάλι 2, Green=κανάλι 3)

Εικόνα 4.9. <u>Τμήμα β</u>: Συγχωνευμένη εικόνα με τη μέθοδο IHS.
(Red=κανάλι 1, Blue=κανάλι 2, Green=κανάλι 3)



Εικόνα 4.10. Τμήμα β: Συγχωνευμένη εικόνα με τη μέθοδο PCA.
(Red=κανάλι 1, Blue=κανάλι 2, Green=κανάλι 3)

Εικόνα 4.11. Τμήμα β: Συγχωνευμένη εικόνα με τη μέθοδο PCA (αντιστροφή χρωμάτων).
(Red=κανάλι 1, Blue=κανάλι 2, Green=κανάλι 3)

Η οπτική παρατήρηση των σύνθετων εικόνων αποτελεί υποκειμενικό κριτήριο. Η εικόνα που προέκυψε από την μέθοδο IHS (Εικόνα 4.4, Εικόνα 4.9) καθώς και η εικόνα που προέκυψε από τη μέθοδο Gram-Schmidt (Εικόνα 4.3, Εικόνα 4.8) φαίνεται να προσεγγίζουν περισσότερο τα φασματικά και χωρικά χαρακτηριστικά της αρχικής εικόνας. Ειδικότερα στην περίπτωση της μεθόδου IHS παρατηρούμε ότι το χρώμα του εδάφους, της βλάστησης καθώς και των κτηρίων διατηρήθηκαν σε μεγάλο βαθμό. Η εικόνα από την μέθοδο PCA (Εικόνα 4.6, Εικόνα 4.11) παρουσίασε το λιγότερο ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

4.2 Στατιστικά Μέτρα (Ποσοτική Αξιολόγηση)

- **Φασματική Πληροφορία συγχωνευμένων εικόνων**

Συντελεστής Συσχέτισης

Υπενθυμίζουμε ότι οι συσχετίσεις μπορούν να δείξουν σε τι βαθμό τα φασματικά χαρακτηριστικά αλλοιώνονται μετά από την εφαρμογή των μεθόδων συγχώνευσης. Όσο πιο κοντά είναι αυτές οι τιμές στην μονάδα, τόσο καλύτερα έχει διατηρηθεί η φασματική πληροφορία στις συγχωνευμένες εικόνες. Οι τιμές συσχέτισης που υπολογίστηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Τιμές του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ αρχικών και βελτιωμένων εικόνων

Τιμές Συσχέτισης				
		Αρχικά Πολυφασματικά Κανάλια		
		Κανάλι 1	Κανάλι 2	Κανάλι 3
MS(αρχική)	Κανάλι 1	1.000	0.917	0.857
	Κανάλι 2	0.917	1.000	0.977
	Κανάλι 3	0.857	0.977	1.000
Μέθοδος Συγχώνευσης				
PCA	Κανάλι 1	**-0.507**	-0.707	-0.734
	Κανάλι 2	-0.511	**-0.630**	-0.702
	Κανάλι 3	-0.590	-0.702	**-0.651**
Gram-Schmidt	Κανάλι 1	**0.638**	0.645	0.590
	Κανάλι 2	0.508	**0.679**	0.677
	Κανάλι 3	0.497	0.690	**0.727**
IHS	Κανάλι 1	**0.478**	0.651	0.660
	Κανάλι 2	0.480	**0.665**	0.649
	Κανάλι 3	0.551	0.653	**0.697**

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (Πίνακας 4.1) προκύπτει ότι την υψηλότερη φασματική συσχέτιση για όλους τους διαύλους παρουσιάζει η τεχνική Gram-Schmidt (τιμές >0.6). Στη μέθοδο IHS παρατηρούμε ότι στον δίαυλο 2 (τιμή=0.665) και στον δίαυλο 3 (τιμή=0.697) οι διαφορές με την τεχνική Gram-Schmidt είναι αρκετά μικρές. Παρατηρούμε επίσης ότι παρουσιάζονται αρνητικές συσχετίσεις στη μέθοδο της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών. Αρνητική συσχέτιση δύο εικόνων σημαίνει ότι όσο αυξάνουν οι τιμές φωτεινότητας στη μία εικόνα τόσο μειώνονται στην άλλη εικόνα. Πρακτικά τα χαρακτηριστικά που εμφανίζονται σε ένα δίαυλο της αρχικής πολυφασματικής εικόνας με υψηλές τιμές φωτεινότητας (δηλ. φωτεινά) θα παρουσιάζονται με χαμηλές (αντεστραμμένες) τιμές φωτεινότητας (δηλ. σκούρα) στο αντίστοιχο κανάλι που προκύπτει με τη μέθοδο PCA. Έτσι παρατηρούμε ότι στην Εικόνα 4.10 οι δρόμοι και τα κτήρια εμφανίζονται με μαύρο χρώμα (χαμηλές τιμές φωτεινότητας), ενώ στην Εικόνα 4.11, η οποία έχει προκύψει μετά την αντιστροφή των χρωμάτων, εμφανίζονται άσπρα (υψηλές τιμές φωτεινότητας).

Σχετική Μετατόπιση της Μέσης Τιμής Ιστογράμματος και Τυπική Απόκλιση

Στον Πίνακα 4.2 παρατηρούμε ότι η μέθοδος της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών (PCA) παρουσίασε τη μικρότερη μετατόπιση μέσης τιμής ιστογράμματος σε όλους τους διαύλους. Από τις άλλες 2 μεθόδους μεγαλύτερη μετατόπιση προέκυψε από τη μέθοδο IHS, με εξαίρεση το δίαυλο 2 όπου μικρότερη μετατόπιση παρουσιάστηκε στη μέθοδο Gram-Schmidt.

Όσο μικρότερες οι διαφορές στην τυπική απόκλιση των τιμών φωτεινότητας μεταξύ συγχωνευμένης και αρχικής πολυφασματικής εικόνας για τα αντίστοιχα κανάλια, τόσο περισσότερη φασματική πληροφορία έχει διατηρηθεί στην συγχωνευμένη εικόνα.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων του Πίνακα 4.2 έδειξαν ότι η μέθοδος της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών (PCA) παρουσίασε τη μικρότερη διαφορά τυπικής απόκλισης μεταξύ των ιστογραμμάτων των αρχικών και συγχωνευμένων καναλιών. Αντιθέτως η μέθοδος IHS παρουσίασε τις μεγαλύτερες αποκλίσεις.

Συνδυαστικά παρατηρούμε ότι η μέθοδος PCA διατηρεί καλύτερα τη φασματική πληροφορία. Αν λάβουμε υπόψη την υψηλή αρνητική συσχέτιση των τιμών φωτεινότητας που παρουσίασαν τα αποτελέσματα της μεθόδου (Πίνακας 4.1), συμπεραίνουμε ότι η αντιστροφή των τιμών επηρέασε ελάχιστα το ιστόγραμμα της εικόνας.

Πίνακας 4.2. Στατιστική Αξιολόγηση των βελτιωμένων εικόνων

Διαφορές Μέσων Τιμών			
	Κανάλι 1	**Κανάλι 2**	**Κανάλι 3**
Gram-Schmidt	11,018	13,785	14,606
PCA	0,011	0,029	0,145
IHS	20,154	2,025	29,631
Διαφορές Τυπικής Απόκλισης			
	Κανάλι 1	**Κανάλι 2**	**Κανάλι 3**
Gram-Schmidt	-9,161	-13,692	-9,545
PCA	-1,108	0,17	0,85
IHS	-29,223	-32,188	-18,127

- **Χωρική πληροφορία συγχωνευμένων εικόνων**

Τέλος για την αξιολόγηση του ποσοστού διατήρησης της χωρικής ανάλυσης στις συγχωνευμένες εικόνες υπολογίστηκαν οι συντελεστές χωρικής αυτοσυσχέτισης των διαύλων των σύνθετων εικόνων και συγκρίθηκαν με τον αντίστοιχο του παγχρωματικού διαύλου (Πίνακας 4.3).

Η μέθοδος Gram Schmidt παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα για τα τρία κανάλια και στις δύο μεθόδους, με τιμές πολύ κοντά στην τιμή του συντελεστή που υπολογίστηκε για το παγχρωματικό κανάλι. Για τιμή του συντελεστή Moran's I=0.9577 (παγχρωματικό κανάλι) η μέθοδος Gram-Schmidt παρουσίασε τα εξής: κανάλι 1=0.9491, κανάλι 2=0,9402, κανάλι 3=0.9405. Για τιμή του συντελεστή Geary's C=0,0695(παγχρωματικό κανάλι) η Gram–Schmidt παρουσίασε τις εξής τιμές: κανάλι 1=0.0595, κανάλι 2=0,0588, κανάλι 3=0.0582. Η χωρική πληροφορία αλλοιώθηκε περισσότερο στην περίπτωση της μεθόδου IHS.

Πίνακας 4.3 Συσχετίσεις των διαύλων των σύνθετων εικόνων με τον παγχρωματικό δίαυλο.

MORAN'S I				
Χωρική αυτοσυσχέτιση Παγχρωματικού καναλιού **0.9577**				
		Κανάλι 1	**Κανάλι 2**	**Κανάλι 3**
Gram Schmidt		0.9491	0.9402	0.9405
PCA		0.9377	0.9302	0.9240
IHS		0.8792	0.8629	0.8785
GEARY'S C				
Χωρική αυτοσυσχέτιση Παγχρωματικού καναλιού **0.0695**				
		Κανάλι 1	**Κανάλι 2**	**Κανάλι 3**
Gram Schmidt		0.0595	0.0588	0.0582
PCA		0.0417	0.0489	0.0453
IHS		0.1205	0.1367	0.1213

Οι τιμές 0,9577 και 0,0695 στον πίνακα αντιστοιχούν στις τιμές χωρικής αυτοσυσχέτισης της αρχικής παγχρωματικής εικόνας για τις 2 μεθόδους.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Ο σκοπός αυτής της εργασίας ήταν να εφαρμοστούν τρεις μέθοδοι συγχώνευσης μεταξύ εικόνων Landsat και Quickbird, που καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Κρήτης. Ακολούθησε τόσο οπτική συγκριτική μελέτη των συγχωνευμένων εικόνων που προέκυψαν όσο και ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Παρουσιάστηκαν όμως κάποια προβλήματα.

Το κυριότερο πρόβλημα αφορούσε στις διαφορετικές ημερομηνίες λήψης των δύο εικόνων. Το χρονικό διάστημα των 5 ετών που μεσολάβησε μεταξύ των δύο λήψεων είναι αρκετά μεγάλο. Σε ένα τέτοιο χρονικό διάστημα μπορεί να υπεισέλθουν πολλές μεταβολές στη μορφολογία του εδάφους όπως ανάπτυξη βλάστησης, αλλαγή της βλάστησης λόγω εκδήλωσης πυρκαγιών, διάνοιξη καινούριων δρόμων, ασφαλτόστρωση χωμάτινων δρόμων, οικιστική ανάπτυξη κ.ά.

Το δεύτερο πρόβλημα αφορούσε στις διαφορετικές διαστάσεις των εικονοστοιχείων των δύο εικόνων. Η αρχική εικόνα του συστήματος Quickbird είχε ανάλυση εικονοστοιχείου 2.4 m ενώ η εικόνα του συστήματος Landsat είχε ανάλυση εικονοστοιχείου 30 m. Η μεγάλη αυτή απόκλιση δημιουργεί δυσκολία στην εύρεση κοινών επίγειων σημείων ελέγχου (GCPs) κατά την υπέρθεση των δύο εικόνων, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα κατά την αντιστοίχιση των εικονοστοιχείων μεταξύ των εικόνων. Σε αυτήν την περίπτωση η συγχώνευση μεταξύ εικόνων που αφορούν διαφορετικά χαρακτηριστικά του εδάφους είναι δυνατόν να οδηγήσει σε λάθος συμπεράσματα.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των μεθόδων, η μέθοδος Gram-Schmidt ήταν εκείνη που διατήρησε καλύτερα αφενός τα φασματικά χαρακτηριστικά της αρχικής εικόνας Landsat και αφετέρου τη χωρική ανάλυση της παγχρωματικής Quickbird. Η τεχνική IHS, παρόλο που παρουσίασε ικανοποιητικό αποτέλεσμα κατά τον οπτικό έλεγχο των εικόνων, στα υπόλοιπα κριτήρια αξιολόγησης υστέρησε συγκριτικά με τις άλλες δύο μεθόδους. Η μέθοδος της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών (PCA) παρουσίασε καλά αποτελέσματα σύμφωνα με την οπτική αξιολόγηση καθώς και βάσει στατιστικών ελέγχων που περιελάμβαναν σύγκριση των μέσων τιμών και των τυπικών αποκλίσεων των ιστογραμμάτων. Επίσης η χωρική διακριτική ικανότητα της παγχρωματικής εικόνας διατηρήθηκε καλύτερα κατά την εφαρμογή της μεθόδου Gram-Schmidt.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της εφαρμογής μίας μεθόδου συγχώνευσης εικόνων ποικίλλουν σε κάθε εφαρμογή ανάλογα με τα πρωτογενή δεδομένα, αλλά και με την εκάστοτε περιοχή μελέτης. Συνεπώς δεν υπάρχει "βέλτιστη μέθοδος", αλλά "βέλτιστη επιλογή" για την εκάστοτε εφαρμογή.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας η φασματική και χωρική ανάλυση των εικονοληπτικών ανιχνευτών διαρκώς αυξάνεται. Εντούτοις, τουλάχιστον στο άμεσο μέλλον, δεν υπάρχει η προοπτική ανάπτυξης συστημάτων που θα έχουν την δυνατότητα συλλογής εικόνων με υψηλή φασματική και χωρική ανάλυση. Συνεπώς, η συγχώνευση εικόνων θα συνεχίσει να αποτελεί πολύ σημαντικό εργαλείο σε διάφορες εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

Ιερωνυμίδη Ε. (2008). *Ανάπτυξη μεθόδων συγχώνευσης τηλεπισκοπικών δεδομένων και συνδυασμένης ταξινόμησης εικόνων για την παρακολούθηση βλάστησης σε περιοχές με προηγούμενη μεταλλευτική δραστηριότητα*. Διδακτορική Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Μαλλίνης Γ. (2006). *Αξιολόγηση της δυνατότητας χρησιμοποίησης δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ευκρίνειας και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών στα πλαίσια σύνταξης του δασολογίου*. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μερτίκας Σ. (1999). *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας*. Εκδόσεις «ΙΩΝ», Αθήνα.

Παπαδάκη Ε. (2006). *Ανάλυση και αξιολόγηση δορυφορικών εικόνων Aster για τον εντοπισμό γεωλογικών ρηγμάτων στη δυτική Κρήτη*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

Παπαδοπούλου Δ. (2008). *Συγχώνευση δορυφορικών εικόνων πολύ υψηλής ευκρίνειας*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Carper W.J., Lillesand T.M., Kiefer R.W. (1990). *The use of Intensity-Hue-Saturation Transformations for Merging SPOT Panchromatic and Multispectral Image Data*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 56, No. 4, pp. 459-467.

Chavez P.S.J. and Kwarteng A.Y. (1989). *Extracting spectral contrast in Landsat thematic mapper image data using selective principal component analysis*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, pp. 339-348.

Chavez P.S., Sides S.C. and Anderson J.A. (1991). *Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, pp. 295-303.

Carter D. (1998), *Analysis of Multiresolution Data Fusion Techniques,* Master of Science In Geography, Virginia Polytechnic Institute and State University.

De Laet V., Paulissen E., Meuleman K., Waelkens M. (2009). International Journal of Remote Sensing, Vol. 30, No. 21, pp. 5655–5668

Ehlersa M., Klonusa S., Åstrandb P.J. (2008). *The International Archives of the Photogrammetry*. Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. 37, Part B4., pp. 499-506

Envi. 2005. ENVI help.

Hall D. L. and Llinas J. (1997). *An introduction to multisensor data fusion*. Proceedings of the IEEE, Vol. 85, pp. 6-23.

Hussin Y. A. and Shaker S. R. (1996). *Optical and radar satellite image fusion techniques and their applications in monitoring natural resources and land use changes*. International Journal of Electronics and Communication, Vol.50, No. 2, pp. 169-176.

Pellemans A.H.J. M., Jordans R.W.L., Allewijn R. (1993). *Merging Multispectral and Panchromatic SPOT Images with Respect to the Radiometric Properties of the Sensor.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 59**,** No. 1, pp. 81-87.

Pohl C., Van Genderen J.L. (1988). *Multiresolution image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications.* International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No.5, pp. 823-854.

Rancin Th., Wald L. (2000). *Fusion of High Spatial Resolution Images: The Arsis Concept and its Implementations*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 66, No. 1, pp. 602-605.

Švap A. and Oštir K. (2006). *High-resolution Image Fusion: Methods to Preserve Spectral and Spatial Resolution*. Photogrammetric engineering and Remote Sensing, Vol. 72, No. 5, pp. 565-572.

Vrabel J. (2000). Multispectral Imagery Advanced Band Sharpening Study. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol 66, No. 1, pp. 73-79.

Wald L., Ranchin Th. And Mangolini. (1997). *Fusion of Satellite Images of Different Spatial Resolutions: Assessing the Quality of Resulting Images.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 63, No. 6, pp. 691-699.

Wehrmann T., Colditz R., Bachmann M., Steinnocher K., Dech S. (2005*). Evalution of Image Fusion Techniques.* Remote Sensing & GIS for Environmental Studies. Vol. 113, pp. 296-302

Yang Y., Han C., Kang X., Han D. (2007). *A Novel Image Fusion Algorithm Based on IHS and Discrete Wavelet Transform*. International Conference on Automation and Logistics. pp. 1936-1940.