



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

**Επιβλεπόμενη & Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση
Πολυφασματικών Εικόνων Τηλεπισκόπησης
και Θεματικές Εφαρμογές τους
στον Ελλαδικό Χώρο:
ανάπτυξη σε περιβάλλον Wiki**

Λασπιάς Ευστάθιος
Επιβλέπων Καθηγητής: Δ. Αργιαλάς
Αθήνα , 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Επιβλεπόμενη & Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση
Πολυφασματικών Εικόνων Τηλεπισκόπησης και Θεματικές
Εφαρμογές τους στον Ελλαδικό Χώρο:
ανάπτυξη σε περιβάλλον Wiki

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΛΑΣΠΙΑΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ

Επιβλέπων καθηγητής: Δημήτρης Αργιαλάς
καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 2012

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων	1
Πίνακας Εικόνων	5
Πίνακας Πινάκων	8
Περίληψη	10
Abstract	11
1. Εισαγωγή.....	13
2. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας.....	15
2.1 Τηλεπισκόπηση.....	15
2.1.1 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα.....	16
2.1.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ατμόσφαιρα	17
2.1.3 Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης στη δορυφορική μέτρηση – Φασματική υπογραφή.....	18
2.1.4 Αισθητήρες και Ανάλυση.....	20
2.1.5 Μετάδοση, λήψη και (προ)επεξεργασία	22
2.2 Βασικά στοιχεία ερμηνείας δορυφορικών εικόνων	23
2.3 Δορυφόροι.....	26
2.3.1 Τύποι Δορυφόρων	27
2.3.2 Χαρακτηριστικά Δορυφόρων.....	29
2.3.3 Δορυφόροι Landsat, IKONOS, QuickBird	31
3. Ψηφιακή Επεξεργασία Δορυφορικών Απεικονίσεων – Ταξινόμηση.....	39
3.1 Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων.....	39
3.1.1 Ταξινόμηση.....	40
.....	41
3.2 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση.....	42
3.2.1 Περιοχές εκπαίδευσης	42
3.2.2 Διαδικασία πριν την ταξινόμηση.....	42
3.2.3 Αλγόριθμος Μεγίστης Πιθανοφάνειας	43
3.2.4 Αλγόριθμος του Παραλληλεπιπέδου	44
3.2.5 Αλγόριθμος της Ελάχιστης Απόστασης.....	46
3.2.6 Απόσταση Mahalanobis.....	48
3.3 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση	49
3.3.1 Απλός αλγόριθμος ομαδοποίησης (Simple two-pass clustering algorithm)	49
3.3.2 Ο αλγόριθμος ISODATA.....	52
3.3.3 Ο αλγόριθμος K-Means Clustering.....	56
3.4 Υβριδική Ταξινόμηση.....	56
3.5 Το λογισμικό ERMapper	57
3.5.1 Εφαρμογή των μεθοδολογιών ταξινόμησης στο λογισμικό ERMapper ...	58
4. Εφαρμογές στο περιβάλλον Wiki του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Ε.Μ. Πολυτεχνείου.....	61
4.1 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση Φασματικών δεδομένων Landsat TM.....	62
4.2 Βελτίωση της ταξινόμησης Landsat και IRS εικόνας: Αξιολόγηση της Επιβλεπόμενης και μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης με χρήση λόγων καναλιών και DEM σε ορεινή περιοχή του Νεπάλ	66
4.3 Η χρήση του IKONOS και Landsat για τον έλεγχο της ελνοσσίας στη Δημοκρατία της Κορέας.....	74
4.4 Βελτίωση της απόδοσης της Ταξινόμησης της κάλυψης εδάφους στην Δυτική Αυστραλία χρησιμοποιώντας πολλαπλών πηγών τηλεπισκοπικά δεδομένα.....	82

4.5 Ταξινόμηση της κάλυψης του εδάφους χρησιμοποιώντας μια εικόνα IRS LISS III και ένα DEM σε έντονα ανώμαλο έδαφος: Μια περίπτωση μελέτης στα Ιμαλάια	86
4.6 Σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων: Μια εφαρμογή στην επαρχία Αϊβαλί, Δυτική Τουρκία	92
4.7 Ταξινόμηση της κάλυψης εδάφους των περιβαλλόντων τούνδρας στο Αρκτικό Δέλτα Λένα βασισμένη σε δεδομένα Landsat 7 ETM+ και στις εφαρμογές τους για αναβάθμιση των εκπομπών μεθανίου	100
4.8 Εικόνες Landsat για την Αξιολόγηση των επιπτώσεων των αλλαγών της Χρήσης Γης και της Κάλυψης Εδάφους στην λεκάνη απορροής Barekese στη Γκάνα	105
4.9 Ταξινόμηση και προσδιορισμός της ποσότητας Βλάστησης μέσω της επεξεργασίας δορυφορικής εικόνας. Μια περίπτωση μελέτης στη Βόρεια Πορτογαλία.....	110
4.10 Αξιολόγηση υψηλής ανάλυσης δορυφορικών εικόνων SPOT5 για την ταυτοποίηση καλλιεργειών.....	114
5. Τυπικές Εφαρμογές Επιβλεπόμενων και Μη Επιβλεπόμενων Τεχνικών Ταξινόμησης Δορυφορικών Εικόνων Σε Περιοχές Της Ελλάδας.....	123
5.1. Σύγκριση της Επιβλεπόμενης και Μη Επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε περιοχή της Στερεάς Ελλάδας με την χρήση πολυφασματικής εικόνας Landsat TM	123
5.2. Σύγκριση των διαφορετικών αλγορίθμων επιβλεπόμενης Ταξινόμησης σε πεδινή περιοχή του Νομού Φθιώτιδας με χρήση πολυφασματικής εικόνας Landsat TM	128
5.3. Ταξινόμηση της κάλυψης εδάφους σε έντονα ανώμαλο έδαφος: περίπτωση μελέτης η ορεινή περιοχή της Ευρυτανίας	132
5.4. Εκτίμηση του μεγέθους της μεταβολής της ακτογραμμής του Μαλιακού κόλπου με την χρήση δορυφορικών δεδομένων Landsat TM	139
6. Συμπεράσματα και Προοπτικές.....	145
Βιβλιογραφία	145
Παράρτημα	149

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Ο τρόπος που λαμβάνονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα	15
Εικόνα 2: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	16
Εικόνα 3: Ατμοσφαιρική μετάδοση ακτινοβολίας συναρτήσει του μήκους κύματος (Lillesand and Kiefer,2000).....	17
Εικόνα 4: Η ατμοσφαιρική μετάδοση από το ορατό έως το εγγύς υπέρυθρο, όπως μοντελοποιήθηκε από τον Modtran	17
Εικόνα 5: Παραδείγματα ανάκλασης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας προερχομένης από την ίδια πηγή. Οι τρόπος ανάκλασης καθορίζεται κυρίως από το υλικό, την κατάσταση και τον προσανατολισμό του στόχου.	18
Εικόνα 6: Τυπικά διαγράμματα ανακλαστικότητας για τις κατηγορίες του εδάφους, του νερού και της βλάστησης.....	19
Εικόνα 7: Ταξινόμηση των δορυφορικών αισθητήρων ανάλογα με την πηγή ακτινοβολίας που καταγράφουν, ανάλογα με τον τρόπο κατόπτρευσης και ανάλογα με τον τρόπο καταγραφής της ακτινοβολίας.	21
Εικόνα 8: Παραδείγματα δορυφορικών αισθητήρων με διαφορετικό τρόπο κατόπτρευσης: (α) σαρωτής με εγκάρσια στην τροχιά διεύθυνση. (β) Σαρωτής κατά μήκος της τροχιάς.....	21
Εικόνα 9: Τα βασικά οπτικά χαρακτηριστικά ενός στόχου στην εικόνα στα οποία βασίζεται ο εντοπισμός των διαφορών του από τα γειτονικά αντικείμενα που τον περιβάλλουν.....	23
Εικόνα 10: Έγχρωμο σύνθετο R,G,B (3,2,1) από περιοχή της Νέας Υόρκης.....	26
Εικόνα 11: Παραδείγματα απεικόνισης μια συγκεκριμένης περιοχής από αισθητήρες με διαφορετική χωρική διακριτική ικανότητα (από 80 x 80 m έως 0,5 x 0,5 m). Είναι προφανές ότι ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής, επιλέγεται και δορυφορικός δέκτης ανάλογης χωρικής διακριτικής ικανότητας.	30
Εικόνα 12: Χρειάζονται 16 ημέρες για πλήρη κάλυψη της γης από τους δορυφόρους Landsat 4, 5 και 7.....	33
Εικόνα 13: Με την ταξινόμηση γίνεται ο προσδιορισμός ομάδων εικονοστοιχείων με κοινά χαρακτηριστικά.	41
Εικόνα 14: Θεματικός χάρτης που παράχθηκε ύστερα από ταξινόμηση πολυφασματικής εικόνας.....	41
Εικόνα 15: Το παραλληλεπίπεδο για κάθε κατηγορία καθορίζεται από μία ελάχιστη και μία μέγιστη τιμή για κάθε άξονα(Hodgson M.E., 1988).....	45
Εικόνα 16: Κάθε κατηγορία εδαφοκάλυψης καθορίζεται από ένα φασματικό “κουτί”. Κάποια παραλληλεπίπεδα επικαλύπτονται παρόλο που οι κατηγορίες είναι χωρικά διαχωρισμένες(Hodgson M.E., 1988).	46
Εικόνα 17: Τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται στο κοντινότερο κέντρο φασματικής κατηγορίας(Hodgson M.E., 1988).....	47
Εικόνα 18: Η μέθοδος της ελάχιστης απόστασης παίρνει pixels γνωστής ταυτότητας και έπειτα περιλαμβάνει σε αυτά τα κοντινότερα, ως εικονοστοιχεία εκπαίδευσης. Για την αξιολόγηση των δεδομένων εκπαίδευσης χρησιμοποιούνται δύο κανάλια, όπως στις περισσότερες μεθόδους(Hodgson M.E., 1988).....	48
Εικόνα 19: Το πλαίσιο διαλόγου Edit Class/Region Detail. Στο πλαίσιο αυτό μπορούμε να καθορίσουμε το όνομα της κάθε κατηγορίας καθώς επίσης και το χρώμα της.	58
Εικόνα 20: Τα πολύγωνα που δημιουργήθηκαν για τις κυριότερες κατηγορίες.	59

Εικόνα 21: Το πλαίσιο διαλόγου της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Στο κάτω μέρος της εικόνας φαίνεται το παράθυρο από το οποίο γίνεται η επιλογή της μεθόδου ταξινόμησης που επιθυμεί ο χρήστης π.χ. Μεγίστης Πιθανοφάνειας, Ελάχιστης Απόστασης.....	60
Εικόνα 22: Αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου της Μεγίστης Πιθανοφάνειας σε δορυφορική εικόνα Landsat.	60
Εικόνα 23: Περιοχή Μελέτης Dixon-Winters-Esparto-Woodland Βόρεια Καλιφόρνια.	62
Εικόνα 24: Ταξινομημένη εικόνα.....	64
Εικόνα 25: Τοποθεσία της περιοχής μελέτης.....	68
Εικόνα 26: Δορυφορικές εικόνες του υδροκρίτη Galaudu (α) Landsat MSS 1976, (b) Landsat TM 1990, (c) Landsat TM 2000, (d) IRS LISS III 2002.	69
Εικόνα 27: Χρήσεις γης στον υδροκρίτη Galaudu για το 1976, 1990, 2000 και 2002.	72
Εικόνα 28: Η εικόνα IKONOS με την ουδέτερη ζώνη γύρω από το στρατόπεδο Greaves και τις τοποθεσίες συλλογής δειγμάτων προνυμφών.....	75
Εικόνα 29: Σύγκριση του ψευδέχρωμου σύνθετου και της ταξινόμησης της IKONOS με την Landsat. Στις εικόνες ταξινόμησης, η τάξη του ποταμιού φαίνεται με κίτρινο χρώμα, οι ορυζώνες με πράσινο και οι μικρές λίμνες με κόκκινο. Κάθε εικόνα είναι 5,5km σε πλάτος.	77
Εικόνα 30: Ένα μεγεθυμένο υποσύνολο των εικόνων 7.2. που συγκρίνει ένα ψευδέχρωμο σύνθετο και την ταξινόμηση της IKONOS με την Landsat. Στις εικόνες ταξινόμησης, η τάξη του ποταμιού φαίνεται με κίτρινο χρώμα, οι ορυζώνες με πράσινο και οι μικρές λίμνες με κόκκινο. Το πλάτος εικόνας είναι 1,9km.	78
Εικόνα 31 : Εικόνα που δείχνει την συμφωνία των pixels στην ταξινόμηση των εικόνων Landsat και IKONOS. Τα μαύρα pixels (το 21% της εικόνας) ταξινομήθηκαν διαφορετικά στις δυο εικόνες. Τα λευκά pixels κατατάχθηκαν στην ίδια τάξη.	79
Εικόνα 32: Εικόνα που δείχνει τα pixels (σε μαύρο) που ταξινομήθηκαν ως βιότοπος στην Landsat αλλά ως μη-βιότοπος στην IKONOS.....	80
Εικόνα 33: Εικόνα που δείχνει τα pixels (σε μαύρο) που ταξινομήθηκαν ως βιότοπος στην IKONOS αλλά ως μη-βιότοπος στην Landsat.....	80
Εικόνα 34: Οι εικόνες Landsat 5 TM και ALOS/PALSAR HH της περιοχής μελέτης.....	83
Εικόνα 35: Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των τριών-ημερομηνιών εικόνων Landsat 5 TM (αριστερά) και του συνδυασμού των τριών-ημερομηνιών εικόνων Landsat 5 TM και των δεδομένων υψής PALSAR (δεξιά).	84
Εικόνα 36: Το έγχρωμο υπέρυθρο σύνθετο IRS 1C LISS III (NIR, Red, Green –RGB, ημερομηνία απόκτησης: 26/11/1998).	87
Εικόνα 37: Ένα μέρος των δεδομένων IRIS PAN που δείχνουν διάφορες τάξεις χρήσης/κάλυψης του εδάφους (Df-πυκνό δάσος, Sv-αραιή βλάστηση, Ag-γεωργία, F1-αγροανάπαυση, St-οικισμοί, Fs-νωπά ιζήματα, Wb-νερό, ημερομηνία απόκτησης 10/11/2001).	88
Εικόνα 38: Η ταξινόμηση της κάλυψης του εδάφους με την υψηλότερη ακρίβεια (92,06%) που παράγεται από τον συνδυασμό καναλιών 1, 2, 4, 5, 6.	90
Εικόνα 39: Ο χάρτης με την τοποθεσία της περιοχής μελέτης.	93
Εικόνα 40: Χάρτης του ταξινομητή του Παραλληλεπιπέδου.	95
Εικόνα 41: Χάρτης του ταξινομητή των Ελαχίστων Αποστάσεων.	95
Εικόνα 42: Χάρτης του ταξινομητή της Μεγίστης Πιθανοφάνειας.	96
Εικόνα 43: Χάρτης του ταξινομητή Fisher.....	96
Εικόνα 44: Η τοποθεσία του Δέλτα Λένα στη ΒΑ Σιβηρία.	101
Εικόνα 45: Επιβλεπόμενη ταξινόμηση του Δέλτα Λένα και ένα λεπτομερές υποσύνολο που δείχνει την κατανομή των τάξεων γύρω από το νησί Samoylon στο κεντρικό δέλτα.	102
Εικόνα 46: Χάρτης που δείχνει τη λεκάνη μελέτης.	106
Εικόνα 47: Ταξινόμηση της κάλυψης του εδάφους των εικόνων Landsat του 1973, 1986 και 2000.	107

Εικόνα 48: Τοποθεσία της περιοχής μελέτης.....	111
Εικόνα 49: Ο χάρτης κάλυψης εδάφους για το 2006 από την επιβλεπόμενη ταξινόμηση της εικόνας Landsat TM.....	112
Εικόνα 50: Έγχρωμα-υπέρυθρα σύνθετα που εξήχθησαν από μια 10-m, SPOT 5 δορυφορική εικόνα για δυο εντατικά καλλιεργημένες περιοχές κοντά στο Alamo και Elsa , του Τέξας.....	116
Εικόνα 51: Πέντε-τάξεων χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από 10-m, 4-καναλιών SPOT 5 εικόνες υποσυνόλων για δυο εντατικά καλλιεργημένες περιοχές κοντά στο Alamo και Elsa , του Τέξας με βάση τον ταξινομητή Μεγίστης Πιθανοφάνειας.	117
Εικόνα 52: Πέντε-τάξεων χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από 20-m, 4-καναλιών SPOT 5 εικόνες υποσυνόλων για δυο εντατικά καλλιεργημένες περιοχές κοντά στο Alamo και Elsa , του Τέξας με βάση τον ταξινομητή Μεγίστης Πιθανοφάνειας.	120
Εικόνα 53: Πέντε-τάξεων χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από 10-m, 3-καναλιών (εκτός SWIR) SPOT 5 εικόνες υποσυνόλων για δυο εντατικά καλλιεργημένες περιοχές κοντά στο Alamo και Elsa , του Τέξας με βάση τον ταξινομητή Μεγίστης Πιθανοφάνειας.	120
Εικόνα 54: Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, που απεικονίζει ένα μεγάλο μέρος της κεντρικής Ελλάδας. Δεξιά η ίδια εικόνα μεγεθυμένη που απεικονίζει το μεγαλύτερο μέρος του Νομού Φθιώτιδας.....	124
Εικόνα 55: Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, που απεικονίζει την περιοχή μελέτης της παρούσας εφαρμογής.....	124
Εικόνα 56: Οι τάξεις χρήσης και κάλυψης εδάφους που ορίστηκαν για την περιοχή μελέτης και δίπλα το χρώμα που επιλέχτηκε για να περιγράψει την κάθε τάξη στον χάρτη ταξινόμησης που παράχθηκε από την επιβλεπόμενη μέθοδο ταξινόμησης της Μεγίστης Πιθανοφάνειας.	125
Εικόνα 57: Η απεικόνιση της περιοχής μελέτης στην οποία φαίνονται τα πολύγωνα που ορίζουν τις επιλεγμένες περιοχές εκπαίδευσης και η διασπορά τους.	126
Εικόνα 58: Αριστερά το ψευδέγχρωμο σύνθετο 4,3,2 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, με κόκκινο χρώμα τονίζεται η βλάστηση και στην περίπτωση της.....	127
Εικόνα 59: Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, που απεικονίζει την περιοχή μελέτης της παρούσας εφαρμογής. Δεξιά ο χάρτης	128
Εικόνα 60: Το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, που απεικονίζει την περιοχή μελέτης της παρούσας εφαρμογής.	129
Εικόνα 61: Τα πολύγωνα που ορίζουν τις επιλεγμένες περιοχές εκπαίδευσης και η διασπορά τους στην περιοχή μελέτης.....	130
Εικόνα 62: Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης που παράχθηκε από την εικόνα Landsat TM, της 14ης Απριλίου 2007 με τη χρήση του επιβλεπόμενου ταξινομητή της Μεγίστης Πιθανοφάνειας.	131
Εικόνα 63: Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης που παράχθηκε από την εικόνα Landsat TM, της 14ης Απριλίου 2007 με τη χρήση του επιβλεπόμενου ταξινομητή της Ελάχιστης Απόστασης.....	131
Εικόνα 64: Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης που παράχθηκε από την εικόνα Landsat TM, της 14ης Απριλίου 2007 με τη χρήση του επιβλεπόμενου ταξινομητή της απόστασης Mahalanobis.....	132
Εικόνα 65: Το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, που απεικονίζει την περιοχή μελέτης της παρούσας εφαρμογής. Στα βορειοδυτικά της εικόνας διακρίνονται η πόλη του Καρπενησίου και το όρος Βελούχι.....	133

Εικόνα 66: Αριστερά το ψευδέγχρωμο σύνθετο 4,3,2 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, με έντονο κόκκινο χρώμα τονίζεται η πυκνή βλάστηση της περιοχής.	134
Εικόνα 67: Οι τάξεις χρήσης και κάλυψης εδάφους που ορίστηκαν για την περιοχή μελέτης και δίπλα το χρώμα που επιλέχθηκε για να περιγράψει την κάθε τάξη στους χάρτες ταξινόμησης που	135
Εικόνα 68: Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, που απεικονίζει την περιοχή μελέτης. Δεξιά η ψηφιακή δορυφορική	135
Εικόνα 69: Η απεικόνιση της περιοχής μελέτης στην οποία φαίνονται τα πολύγωνα που ορίζουν τις επιλεγμένες περιοχές εκπαίδευσης και η διασπορά τους.	136
Εικόνα 70: Αριστερά (πάνω) το αρχικό έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007. Δεξιά (πάνω) ο 9 τάξεων ταξινομημένος χάρτης που παράχθηκε	137
Εικόνα 71: Χάρτης που απεικονίζει τις μεταβολές στην ακτογραμμή του Μαλιακού κόλπου από το 480 π.Χ. μέχρι το 1972.	139
Εικόνα 72: Αριστερά (πάνω) απεικονίζονται οι δύο βασικές περιοχές προώθησης της ακτογραμμής το 2007. Στα βόρεια του κόλπου εκβάλλει ο εκχειλιστήρας του ποταμού, ενώ στα νότια διακρίνεται η έξοδος του	141
Εικόνα 73: Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 29ης Ιουνίου 1991. Δεξιά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας	142
Εικόνα 74: Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 29ης Ιουνίου 1991. Δεξιά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής	142
Εικόνα 75: Αριστερά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης που λήφθηκε από την εικόνα Landsat TM, της 29ης Ιουνίου 1991. Δεξιά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης που λήφθηκε από την εικόνα Landsat TM, της 14ης Απριλίου 2007. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται η θάλασσα και με άσπρο	143
Εικόνα 76: Αριστερά απεικονίζεται το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, όπου με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η ακτογραμμή με.....	144

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Σύγκριση των δυο προσεγγίσεων ερμηνείας πολυφασματικών εικόνων. (Αργιαλάς 1998)	25
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά των δορυφόρων LANDSAT 1-7 και των τηλεπισκοπικών δεκτών τους.....	32
Πίνακας 3: Φασματική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεκτών των δορυφόρων Landsat 1 έως 7.....	35
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά δορυφόρου IKONOS	36
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά δορυφόρου QuickBird	37
Πίνακας 6: Πίνακας σφάλματος του χάρτη της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.....	70
Πίνακας 7: Χρήσεις γης του υδροκρίτη Galaudu, Νεπάλ, για τα έτη 1976, 1990 και 2000.....	71
Πίνακας 8: Επί τοις εκατό αλλαγή στη χρήση γης κατά τη διάρκεια των τριών περιόδων.	71
Πίνακας 9: Οι πίνακες σύγκρισης της κάλυψης του εδάφους στις τοποθεσίες συλλογής προνυμφών σε σύγκριση με την κάλυψη του εδάφους που καθορίστηκε με την ταξινόμηση των δορυφορικών	78

Πίνακας 10: Σύγκριση των εκτιμήσεων εδαφοκάλυψης της περιοχής (m ²) για το στρατόπεδο Greaves και την γύρω περιοχή, Δημοκρατία της Κορέας. Η τάξη μη-βιότοπος περιλαμβάνει.....	81
Πίνακας 11: Η ακρίβεια της ταξινόμησης της κάλυψης εδάφους των διαφόρων συνόλων δεδομένων.	84
Πίνακας 12: Σύγκριση της απόδοσης της ταξινόμησης της κάλυψης του εδάφους μεταξύ της προσέγγισης επιλογής υποσυνόλων χαρακτηριστικών και της επιλογής μη-χαρακτηριστικών	85
Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά των τάξεων εδαφοκάλυψης.	88
Πίνακας 14: Οι συνολικές ακρίβειες για την ταξινόμηση της εδαφοκάλυψης που παράγονται από τους διάφορους	89
Πίνακας 15: Η ακρίβεια παραγωγού των επί μέρους τάξεων που προκύπτει από τις ταξινομήσεις χρησιμοποιώντας τον συνδυασμό καναλιών 1,2,3,4 έναντι του συνδυασμού καναλιών 1,2,4,5,6.	90
Πίνακας 16: Παλινδρόμηση των ταξινομητών Μεγίστης Πιθανοφάνειας και Ελάχιστης Απόστασης.....	97
Πίνακας 17: Παλινδρόμηση των ταξινομητών Μεγίστης Πιθανοφάνειας και Γραμμικής διακρίνουσας.....	97
Πίνακας 18: Παλινδρόμηση των ταξινομητών Ελάχιστης Απόστασης και Γραμμικής διακρίνουσας.....	98
Πίνακας 19: Παλινδρόμηση των ταξινομητών Μεγίστης Πιθανοφάνειας και Παραλληλεπιπέδου.	98
Πίνακας 20: Ο πίνακας σφάλματος, της συνολικής ακρίβειας και της ακρίβειας χρήστη και παραγωγού για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση του Δέλτα Λένα.....	103
Πίνακας 21: Οι τάξεις κάλυψης του εδάφους της λεκάνης Barekese το 1973, το 1986 και το 2000.	108
Πίνακας 22: Οι αλλαγές της εδαφοκάλυψης της λεκάνης Barekese για τις περιόδους μεταξύ 1973-1986,	108
Πίνακας 23: Ο πίνακας σύγχυσης από την επιβλεπόμενη ταξινόμηση της εικόνας Landsat TM.	112
Πίνακας 24: Αποτελέσματα τις αξιολόγησης της ακρίβειας για τους πέντε χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από την 10-m, 4-καναλιών SPOT 5 δορυφορική εικόνα υποσυνόλων για	117
Πίνακας 25: Αποτελέσματα τις αξιολόγησης της ακρίβειας για τους πέντε χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από την 10-m, 4-καναλιών SPOT 5 δορυφορική εικόνα υποσυνόλων για μια	118
Πίνακας 26: Αποτελέσματα της kappa ανάλυσης (στατιστικά-Z) των ανά ζευγών συγκρίσεων ανάμεσα στους 5 χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από τις 10-m, 4-καναλιών SPOT	118
Πίνακας 27: Ο πίνακας σφάλματος και τα μέτρα ακρίβειας για ένα χάρτη ταξινόμησης που παράχθηκε από την 10-m, 4-καναλιών SPOT 5 δορυφορική εικόνα υποσυνόλων για μια περιοχή καλλιεργειών κοντά στο	119
Πίνακας 28: Ο πίνακας σφάλματος και τα μέτρα ακρίβειας για ένα χάρτη ταξινόμησης που παράχθηκε από την 10-m, 4-καναλιών SPOT 5 δορυφορική εικόνα υποσυνόλων για μια περιοχή καλλιεργειών κοντά στο	119
Πίνακας 29: Η κάλυψη της περιοχής μελέτης σε εκτάρια, τετραγωνικά χιλιόμετρα, στρέμματα και τετραγωνικά μίλια σύμφωνα με την θεματικά ταξινομημένη εικόνα Landsat TM με βάση τον αλγόριθμο της Μεγίστης Πιθανοφάνειας.	126

Περίληψη

Στην εποχή που διανύουμε γίνεται όλο και πιο απαραίτητη η ανάγκη απόκτησης ποιοτικής και μετρητικής πληροφορίας ενός αντικειμένου ή ενός φαινομένου χωρίς τη φυσική επαφή με αυτό. Σε αυτό το πλαίσιο έρχεται η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και οι τεχνικές της που αφορούν την συλλογή, επεξεργασία και αξιοποίηση δεδομένων που σχετίζονται με το φυσικό περιβάλλον και τις δραστηριότητες του ανθρώπου σε αυτό.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων των τεχνικών ταξινόμησης ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων και ο τρόπος που εφαρμόζονται στην ψηφιακή Τηλεπισκόπηση. Στόχος της είναι να παρουσιάσει μια πλήρη εικόνα για αυτές τις τεχνικές επεξεργασίας εικόνας και την αποτελεσματικότητά τους στις διάφορες εφαρμογές.

Αρχικά, παρατίθεται ένα κεφάλαιο το οποίο περιέχει μια ανασκόπηση βασικών εννοιών τηλεπισκόπησης και καταγράφονται οι λειτουργίες και οι δυνατότητες των τηλεπισκοπικών δορυφόρων που υπάρχουν. Στο επόμενο κεφάλαιο, γίνεται μια περιγραφή των μεθόδων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας και συγκεκριμένα των τεχνικών ταξινόμησης, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται αναλυτικά οι διάφοροι αλγόριθμοι επιβλεπόμενης και μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των δυνατοτήτων του λογισμικού επεξεργασίας εικόνας ERMapper και το πώς εφαρμόζονται και υλοποιούνται οι μεθοδολογίες ταξινόμησης σε αυτό. Έπειτα, παρατίθεται η βιβλιογραφική έρευνα που διεξήχθη για τον εντοπισμό των καταλληλότερων επιστημονικών εργασιών στο πλαίσιο των αναγκών της παρούσας διπλωματικής και που στη συνέχεια αναπτύχθηκαν στο περιβάλλον wiki του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του ΕΜΠ που αποτελεί ένα επιστημονικό έργο το οποίο απαιτείται να συνεχιστεί, να εμπλουτίζεται συνεχώς με διεθνή βιβλιογραφικά στοιχεία αλλά και πρακτικές εφαρμογές και που γενικά αποτελεί ένα αξιόπιστο και εκπαιδευτικά κατάλληλο βοήθημα στην επιμόρφωση ενός νέου μηχανικού.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τυπικές εφαρμογές των τεχνικών ταξινόμησης σε περιοχές της Ελλάδας. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τηλεπισκοπικά δεδομένα Landsat TM και συγκεκριμένα μια τηλεπισκοπική απεικόνιση που λήφθηκε στις 14 Απριλίου, 2007, και μια που λήφθηκε στις 29 Ιουνίου, 1991. Και οι δύο εικόνες διορθώθηκαν γεωμετρικά στο σύστημα συντεταγμένων WGS84, ενώ η ψηφιακή επεξεργασία έγινε στο λογισμικό ERMapper. Οι τεχνικές ταξινόμησης επιλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία και εφαρμόστηκαν κατάλληλα για τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής.

Τέλος, αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την σύνταξη της εργασίας και αφορούν την αποτελεσματικότητα των ψηφιακών τεχνικών ταξινόμησης εικόνας κατά την εκτέλεση τους σε ένα μεγάλο σύνολο πρακτικών εφαρμογών.

Abstract

In the modern world it is becoming more necessary to obtain quantitative information of an object or a phenomenon without physical contact with it. In this context comes the science of Remote Sensing and its techniques of collecting, processing and utilization of data related to the natural environment and human activities in it.

Objective of this study was to investigate the possibilities of classification techniques of digital remote sensing imagery and the way that is applied in Remote Sensing. The aim was to present a complete picture of these image processing techniques and their effectiveness in various applications.

Initially, a chapter was written containing an overview of basic Remote Sensing techniques and the remote functions and possibilities of satellites that exist. In the next section, is given a description of the classification techniques and the various supervised and unsupervised classification algorithms. Then a brief description follows, of the capabilities of ERMapper image processing software and how the classification methods are applied in this. There is also presented bibliographic research for identifying the most suitable scientific papers for the needs of the present study. All these papers were summarized in the wiki of the NTUA Remote Sensing Laboratory.

Then typical applications of classification techniques in Greece are presented. For this purpose Landsat TM data were used and especially two satellite images of central Greece. The first image was acquired on 29 June, 1991 and the second image was acquired on 14 April, 2007. Both images were geometrically corrected in the WGS84, while digital processing took place in ERMapper. The classification techniques were selected from literature and were applied relevant to the needs of each application.

Finally, the main conclusions derived from this study are presented, related to the effectiveness of digital image classification techniques in performing in a large set of practical applications.

1. Εισαγωγή

Η παρατήρηση και παρακολούθηση της γης από το διάστημα αποτελεί τα τελευταία χρόνια σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του περιβάλλοντος, την κατανόηση του παγκόσμιου κλίματος, αλλά και το σχεδιασμό και την ενίσχυση αναπτυξιακών και παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή. Οι δορυφορικές εικόνες σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών-GIS, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με την κάλυψη/χρήση γης και τη δημιουργία ή ενημέρωση των αντίστοιχων βάσεων δεδομένων.

Η χρήση των δορυφορικών δεδομένων για την ταξινόμηση και χαρτογράφηση της κάλυψης/χρήσης γης σε πραγματικό χρόνο αποτελεί την πιο συχνή εφαρμογή της τηλεπισκόπησης.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η επίδραση διάφορων φαινομένων, όπως η σταδιακή ερημοποίηση συγκεκριμένων περιοχών, η ταχύτατη εξαφάνιση των δασών, η ολοκληρωτική εγκατάλειψη φτωχών αγροτικών εκτάσεων, η σταδιακή αποξήρανση υγροτόπων, η συνεχής πολεοδομική ανάπτυξη κατά μήκος των ακτών, η παγκόσμια κλιματική αλλαγή που απειλεί τα θαλάσσια οικοσυστήματα κ.α., έχει καταδείξει ότι τα διάφορα εδαφολογικά χαρακτηριστικά είναι ουσιώδη για τη διαχείριση του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων. Οι μεταβολές των χρήσεων γης όπως και η διαρκής παρακολούθηση της υποβάθμισης της γης μπορούν να ανιχνευθούν με χρησιμοποίηση τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη διερεύνηση των δυνατοτήτων των τεχνικών ταξινόμησης πολυφασματικών δορυφορικών απεικονίσεων και του τρόπου που οι τεχνικές αυτές εφαρμόζονται στην ψηφιακή τηλεπισκόπηση, για την ανίχνευση, τον προσδιορισμό και την ανάδειξη ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών, για τη γη και το περιβάλλον γενικότερα.

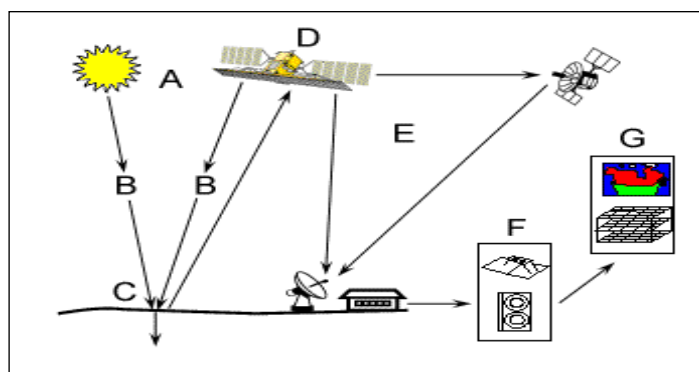
Συγκεκριμένα στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η χρησιμότητα της ψηφιακής ταξινόμησης, επιβλεπόμενης και μη, τηλεπισκοπικών δεδομένων για την παρακολούθηση και ανίχνευση των διαφόρων μεταβολών, φυσικών ή τεχνητών, που συμβαίνουν στη φυσική γήινη επιφάνεια. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε μια σύντομη αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο για το τι πραγματεύεται η επιστήμη της Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης και στους διάφορους αλγόριθμους επιβλεπόμενης και μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ταξινομημένων χαρτών. Στη συνέχεια, έγινε η μελέτη και αποδελτίωση 10 σχετικών επιστημονικών άρθρων τα οποία με τη σειρά τους αναρτήθηκαν στο περιβάλλον της Wikipedia του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης. Τέλος, με την χρήση του λογισμικού επεξεργασίας εικόνας ERMapper παρουσιάζονται εφαρμογές σε κατάλληλα επιλεγμένες περιοχές στον Ελλαδικό χώρο, στις οποίες εφαρμόστηκαν τεχνικές ταξινόμησης ψηφιακών απεικονίσεων σχετικές με αυτές που μελετήθηκαν προηγουμένως.

2. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1 Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και η τέχνη της απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο δια μέσου της ανάλυσης δεδομένων, τα οποία έχουν αποκτηθεί από μια συσκευή, η οποία δεν είναι σε επαφή με το υπό έρευνα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο (Αργιαλάς, 1999). Μέσω της χρήσης διαφόρων δεκτών ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας συλλέγονται δεδομένα από απόσταση, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να αναλυθούν, ώστε να αποκτηθούν πληροφορίες για τα αντικείμενα, τις περιοχές ή και τα φαινόμενα τα οποία ερευνώνται. Στην τηλεπισκόπηση, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από κάποιο αντικείμενο που κείται στην επιφάνεια της γης, μετριέται και μεταφράζεται σε πληροφορία για το αντικείμενο ή σε διαδικασίες σχετιζόμενες με το αντικείμενο και το περιβάλλον του.

Σε μια απλή περιγραφή του τρόπου που λαμβάνονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορούμε να δούμε την εικόνα 1: Μία πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις, "φωτίζει" την επιφάνεια της γης αφού περάσει μέσα από την ατμόσφαιρα, γεγονός που περιορίζει το φασματικό εύρος της ακτινοβολίας που τελικά θα χτυπήσει στην επιφάνεια. Ένα μέρος της ακτινοβολίας που τελικά φθάνει στη γη, ανακλάται, ένα άλλο μέρος διαχέεται στο περιβάλλον, ένα άλλο μεταδίδεται και ένα άλλο απορροφάται και αποδίδεται και πάλι στο περιβάλλον. Η ακτινοβολία που ανακλάται διέρχεται και πάλι μέσα από την ατμόσφαιρα με προσορισμό το διάστημα. Σε πολύ μεγάλο ύψος (300χλμ - 800χλμ συνήθως) βρίσκονται σε τροχιά οι τεχνητοί δορυφόροι που είναι εξοπλισμένοι με τους ανιχνευτές. Η ακτινοβολία που ανακλάστηκε προς το διάστημα, διέρχεται μέσα από πρισματικές διατάξεις που την διαχωρίζουν σε φασματικές ζώνες προκαθορισμένου εύρους, έπειτα οδηγείται σε φωτοδιόδους που μετατρέπουν την ακτινοβολία (=ενέργεια) σε ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα αυτό κβαντοποιείται σε μορφή δυαδικών αριθμών και μεταδίδεται προς τη γη στους επίγειους σταθμούς όπου επεξεργάζεται, διορθώνεται και λαμβάνει την τελική μορφή ψηφιακής εικόνας που διανέμεται στους τελικούς χρήστες. Ανάλογα με το χαρακτηριστικό που επιθυμούμε να μελετήσουμε, επιλέγεται ο φασματικός τύπος του ανιχνευτή ώστε να ληφθεί η μέγιστη πληροφορία.

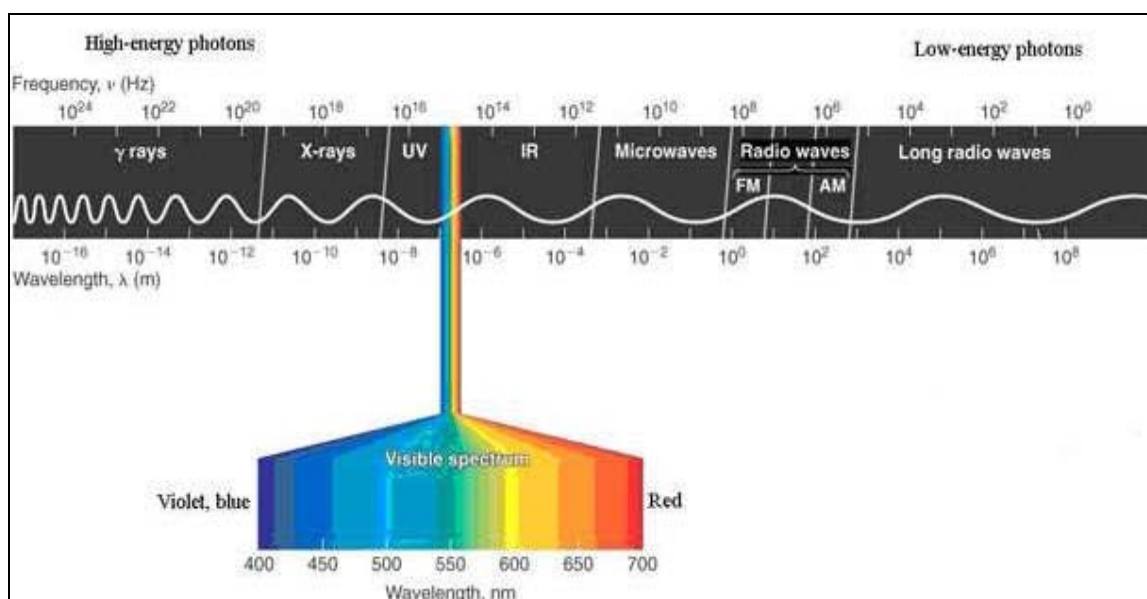


- A. Πηγή Ενέργειας
- B. Ακτινοβολία και ατμόσφαιρα
- C. Αλληλεπίδραση με τον Στόχο
- D. Καταγραφή της Ενέργειας από τον Αισθητήρα
- E. Διάδοση, Λήψη και Επεξεργασία
- F. Ερμηνεία και Ανάλυση
- G. Εφαρμογή

Εικόνα 1: Ο τρόπος που λαμβάνονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα.

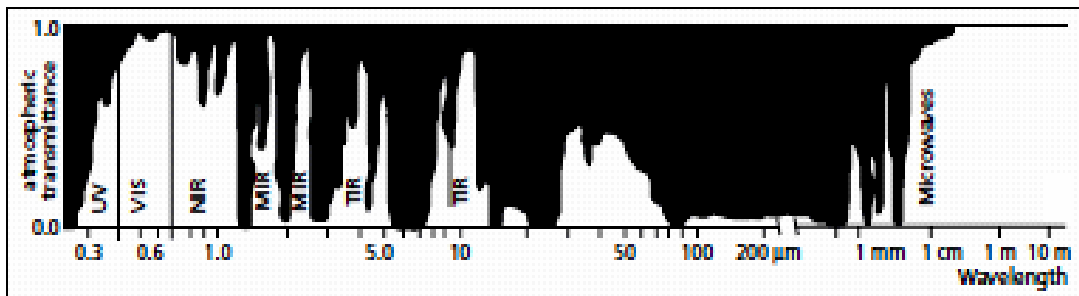
2.1.1 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ονομάζεται το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται θεωρητικά από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο. Για την κατανόηση της βασικής αρχής πάνω στην οποία στηρίζεται η επιστήμη της τηλεπισκόπησης αναφέρονται εδώ τα βασικά στοιχεία του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Κάθε ακτίνα φωτός έχει ένα μήκος κύματος που καθορίζεται από το ενεργειακό του επίπεδο. Το φως και οι άλλες μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας περιγράφονται συνήθως βάση του μήκους κύματος που έχουν (Van der Meer and De Jong,2001). Για παράδειγμα, το ορατό φως έχει μήκη κύματος από τα 400nm έως τα 700nm, ενώ τα ραδιοκύματα έχουν μήκος κύματος μεγαλύτερο των 30cm (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Όλα σχεδόν τα αντικείμενα, έχουν τη δυνατότητα να εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Αντικείμενα πάνω ή κοντά στην επιφάνεια της γης έχουν τη ιδιότητα να ανακλούν ή να διαθλούν την προσπίπτουσα ακτινοβολία που εκπέμπεται από κάποια πηγή, η οποία μπορεί να είναι τεχνητή (π.χ λάμπα, laser, μικροκύματα) ή φυσική όπως ο ήλιος. Στο ορατό, εγγύς υπέρυθρο (NIR) και μέσο υπέρυθρο (MIR) τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μετράμε την ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται από τα αντικείμενα στην επιφάνεια της γης. Στο κομμάτι του θερμικού υπέρυθρου(TIR) και συγκεκριμένα στο ατμοσφαιρικό “παράθυρο” των 10 μ m (Εικόνα 3), μετράμε την εκπεμπόμενη ακτινοβολία των αντικειμένων, ακτινοβολία που έχει προκύψει φυσικά από τον ήλιο. Στο τμήμα του φάσματος όπου υπάρχει η κατηγορία των μικροκυμάτων, η ανάκλαση και η εκπομπή ακτινοβολίας γίνεται σε πολύ χαμηλά ενεργειακά επίπεδα.

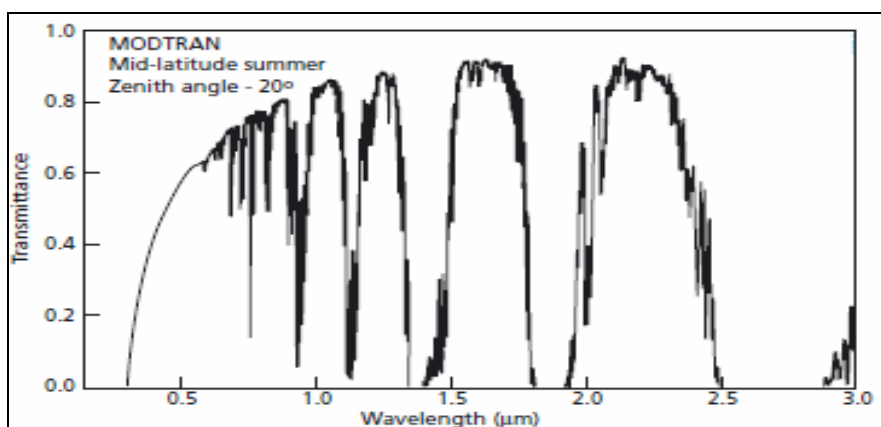


Εικόνα 3: Ατμοσφαιρική μετάδοση ακτινοβολίας συναρτήσει του μήκους κύματος (Lillesand and Kiefer,2000).

2.1.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ατμόσφαιρα

Η ατμόσφαιρα επηρεάζει την ηλιακή ακτινοβολία πριν αυτή φθάσει στην επιφάνεια της γης και εμφανώς επιδρά και στην ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται από τα αντικείμενα στην επιφάνεια της γης, πριν κάποιος αερομεταφερόμενος ή διαστημικός αισθητήρας την εντοπίσει (Van der Meer and De Jong,2001). Αποτελείται κυρίως από μόρια αζώτου και οξυγόνου. Επιπλέον περιέχει υδρατμούς και πολύ μικρού μεγέθους στοιχεία όπως σκόνη. Οι κυριότερες διαδικασίες που προκαλούνται είναι αυτές του διασκορπισμού (Herman et al., 1993) και της απορρόφησης της ακτινοβολίας (LaRocca, 1993), που τελικά μειώνουν την δύναμη και την ενέργεια των ακτινών που φθάνουν στην επιφάνεια της γης. Αυτό φαίνεται και στην Εικόνα 3 για ολόκληρο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα που χρησιμοποιείται στις τεχνικές παρατήρησης της επιφάνειας της γης.

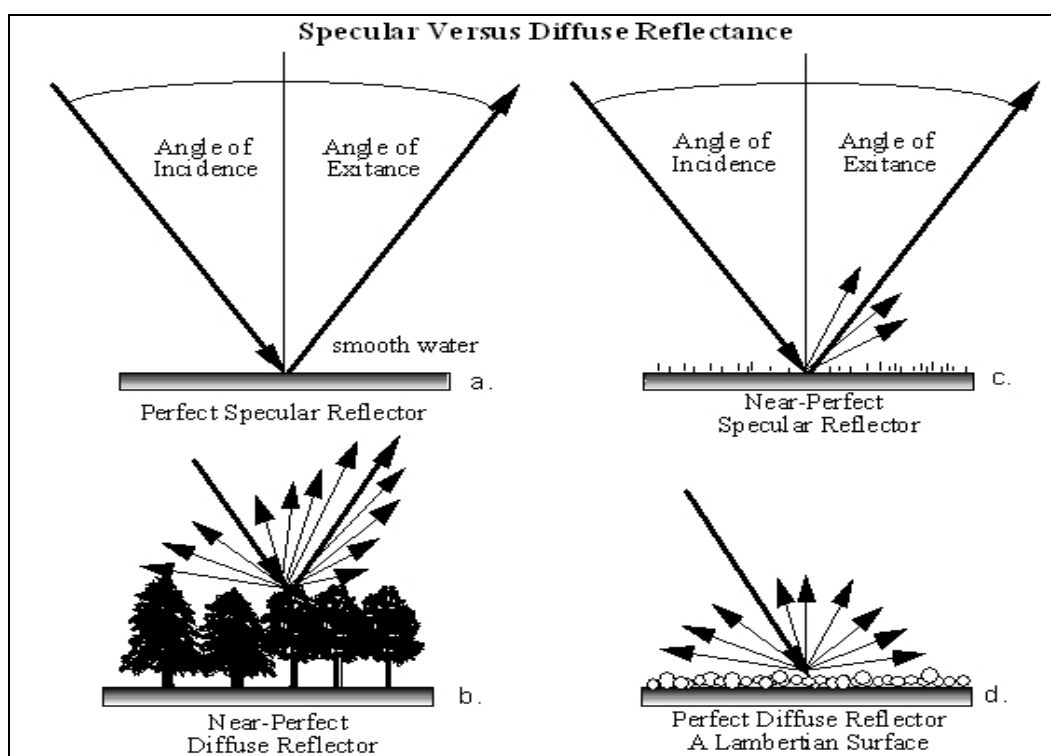
Όπως γίνεται κατανοητό, υπάρχουν τμήματα του φάσματος για τα οποία η ατμόσφαιρα είναι σχεδόν αδιαπέραστη και άλλα για τα οποία η διαπερασιμότητα είναι πολύ μεγάλη και είναι αυτή η ακτινοβολία που ενδείκνυται για τηλεπισκοπικές μετρήσεις. Αυτά τα τμήματα ονομάζονται ατμοσφαιρικά “παράθυρα”. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται οι επιδράσεις της διάθλασης και της απορρόφησης στο οπτικό κομμάτι του φάσματος μεταξύ 400 και 2500nm όπως υπολογίστηκε από το ατμοσφαιρικό μοντέλο μετάδοσης Modtran (Wolfe and Zissis, 1993).



Εικόνα 4: Η ατμοσφαιρική μετάδοση από το ορατό έως το εγγύς υπέρυθρο, όπως μοντελοποιήθηκε από τον Modtran.

2.1.3 Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης στη δορυφορική μέτρηση – Φασματική υπογραφή

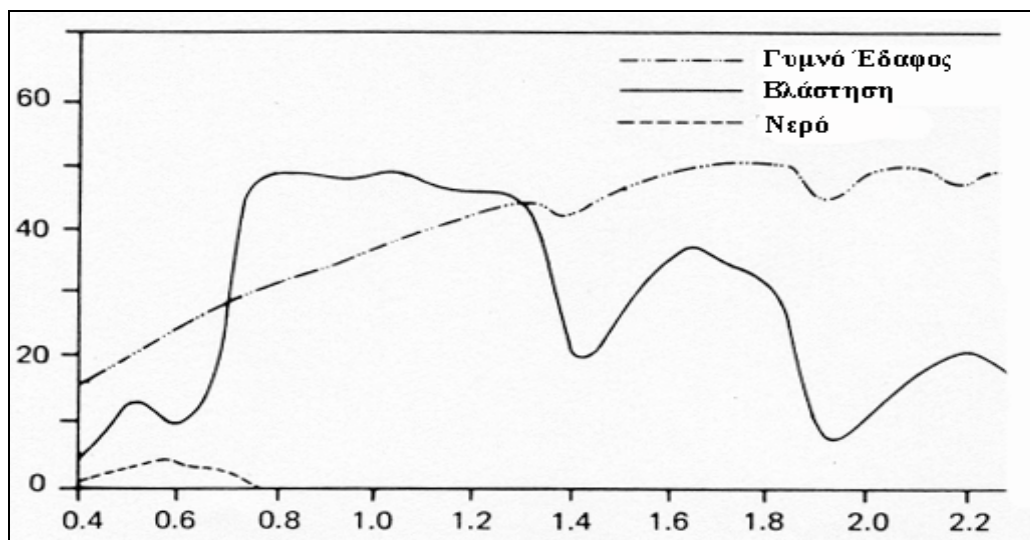
Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπέσει σε κάποιο αντικείμενο στην επιφάνεια της γης, θα μεταδοθεί, θα απορροφηθεί ή θα ανακλαστεί. Η ποσότητα ακτινοβολίας που θα διανεμηθεί προς αυτές τις διαδικασίες καθορίζεται από τις ιδιότητες του κάθε αντικειμένου. Το μέγιστο πλεονέκτημα που υπάρχει στην τηλεπισκόπηση, είναι ότι αν και δεν μπορούμε να αναγνωρίσουμε πολλά αντικείμενα σε δορυφορικές απεικονίσεις εξαιτίας της χαμηλής χωρικής ανάλυσης, έχουμε τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούμε τις φασματικές ιδιότητες των εικόνων, μετρώντας την ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε όρους μήκους κύματος, τη φασματική ανακλαστικότητα. Με τον όρο ανακλαστικότητα, εννοούμε το ποσοστό της ακτινοβολίας που πέφτει σε ένα αντικείμενο και έπειτα ανακλάται. Κάποια υλικά ανακλούν ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος, ενώ άλλα απορροφούν τα ίδια μήκη κύματος. Εισάγεται έτσι η έννοια της φασματικής υπογραφής επιφανειακών αντικειμένων, όπως του εδάφους, της βλάστησης, του νερού και πολλών άλλων, μέσα στο εύρος του φάσματος. Σε άλλες φασματικές περιοχές, οι υπογραφές που μας ενδιαφέρουν μπορεί να είναι η θερμοκρασία και η εκπομπή ακτινοβολίας, όπως συμβαίνει για το θερμικό υπέρυθρο ή το ανάγλυφο της επιφάνειας της γης για τα συστήματα radar (Van der Meer and De Jong, 2001).



Εικόνα 5: Παραδείγματα ανάκλασης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας προερχομένης από την ίδια πηγή. Οι τρόπος ανάκλασης καθορίζεται κυρίως από το υλικό, την κατάσταση και τον προσανατολισμό του στόχου.

Στο σημείο αυτό θα γίνει μία λεπτομερής ανάλυση του διαγράμματος ανακλαστικότητας της Εικόνας 6 και για το πως αυτό προκύπτει, για τις κύριες κατηγορίες του νερού, της βλάστησης και του εδάφους που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον. Το νερό απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης ακτινοβολίας και ανακλά μόνο μία μικρή ποσότητα αυτής, κυρίως στο ορατό κομμάτι του φάσματος, ενώ σε μεγαλύτερα μήκη κύματος δεν ανακλάται σημαντική ποσότητα ακτινοβολίας. Τα χωμάτινα εδάφη παράγουν μία “απαλή” καμπύλη ανακλαστικότητας. Για το λόγο αυτό, διακριτά φασματικά χαρακτηριστικά εξάγονται συνήθως από παρατηρήσεις με ειδικά όργανα που ονομάζονται φασματοόμετρα. Τα όργανα αυτά διαθέτουν πολλά και στενά φασματικά κανάλια, μέσω των οποίων μπορούμε να εντοπίσουμε μικρές απορροφήσεις ηλιακής ακτινοβολίας που προκαλούνται από μέταλλα και οξείδια του σιδήρου. Γενικότερα χαρακτηριστικά φαίνονται σε μήκη κύματος από 1400nm έως 1900nm, λόγω νερού που έχει απορροφηθεί από το έδαφος. Η περιεκτικότητα σε νερό προκαλεί επίσης και τη σταδιακή μείωση της ανακλαστικότητας στο μέσο υπέρυθρο κομμάτι, όσο αυξάνεται το μήκος κύματος. Το υγρό περιεχόμενο ενός εδάφους προκαλεί τη χαμηλή καμπύλη ανακλαστικότητας, σε αντίθεση με αυτή του ξηρού εδάφους. Μπορούμε έτσι να διαχωρίσουμε δύο ομοειδείς φασματικές κατηγορίες.

Από την άλλη μεριά, η χλωρίδα εμφανίζεται με μία πολύ χαρακτηριστική καμπύλη ανακλαστικότητας. Η ανακλαστικότητα στο ορατό τμήμα της ακτινοβολίας είναι χαμηλή, εξαιτίας της απορρόφησης αυτής της ακτινοβολίας από τη χλωροφύλλη. Στο εγγύς υπέρυθρο δεν υφίσταται σχεδόν καμία απορρόφηση και η ανακλαστικότητα που προκύπτει καθορίζεται από τις μεταβολές των φυλλωμάτων των φυτών. Σαν αποτέλεσμα έχουμε την υψηλή ανακλαστικότητα της πράσινης βλάστησης στο εγγύς υπέρυθρο. Στην περιοχή του μέσου υπέρυθρου παρατηρούμε μία όμοια επίδραση του νερού, όπως συμβαίνει με το έδαφος (Clevers and Jongschaap, 2001).



Εικόνα 6: Τυπικά διαγράμματα ανακλαστικότητας για τις κατηγορίες του εδάφους, του νερού και της βλάστησης.

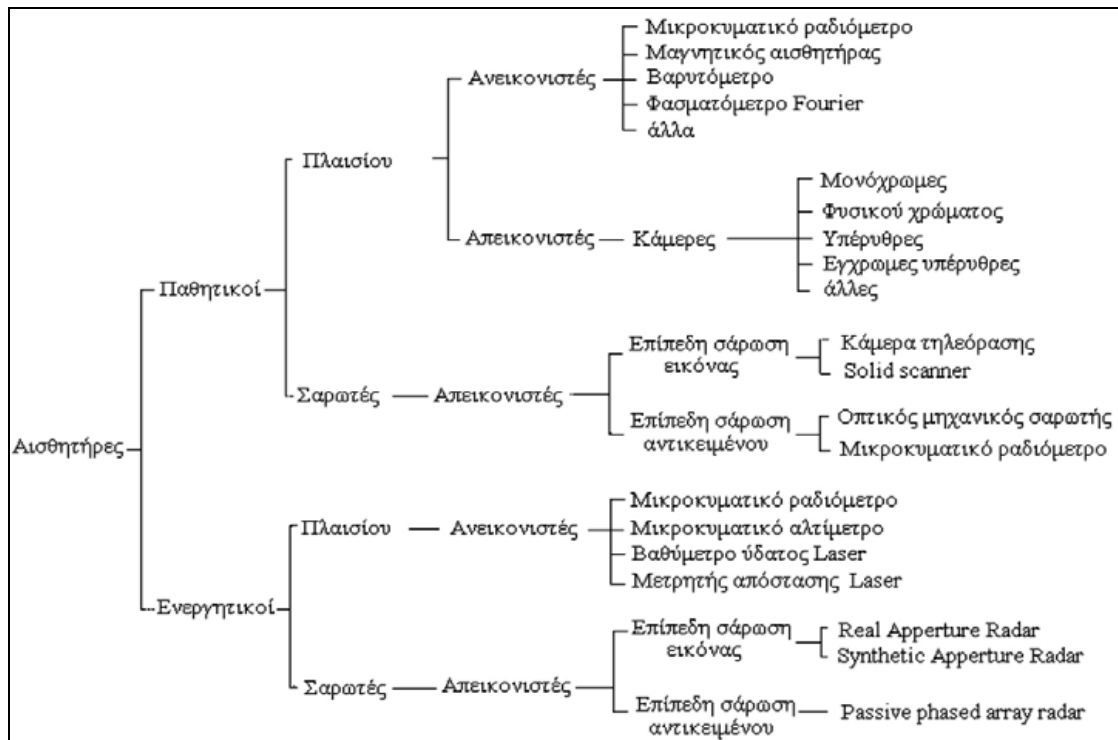
Όπως έχει αναφερθεί, στο τμήμα του θερμικού υπέρυθρου, η ποσότητα ακτινοβολίας που μετράται είναι αυτή που εκλύεται από τα αντικείμενα. Η ποσότητα αυτή μπορεί να συσχετιστεί με τη θερμοκρασία του αντικειμένου που παρατηρείται, παρέχοντας έτσι και πληροφορίες σχετικές με μελέτες πάνω στην ενέργεια. Μία σημαντική ιδιότητα των μεγάλων μηκών κύματος που χρησιμοποιούνται στα μικροκύματα είναι ότι δεν επηρεάζονται από την ατμόσφαιρα, με συνέπεια να μη διασκορπίζονται. Έχουν τη δυνατότητα να διεισδύουν μέσα από σύννεφα και άλλες δύσκολες συνθήκες, εκτός της ισχυρής βροχόπτωσης. Ένας παθητικός αισθητήρας μικροκυμάτων ανιχνεύει την φυσικώς εκλυόμενη μικροκυματική ενέργεια που βρίσκεται στο πεδίο “όρασής” του και η παρατηρούμενη ποσότητα συνδέεται με ιδιότητες του αντικειμένου, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία.

2.1.4 Αισθητήρες και Ανάλυση

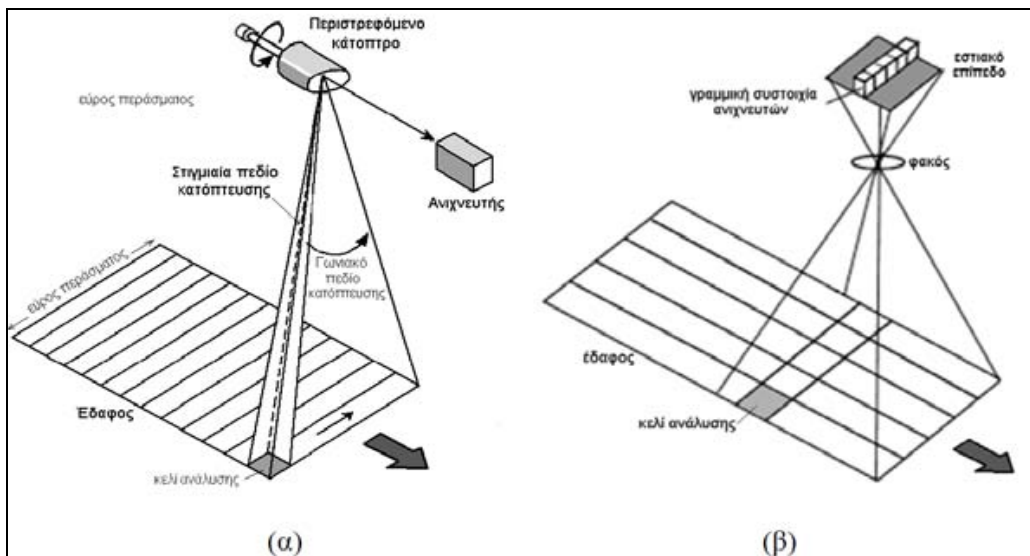
Αισθητήρες

Τα όργανα που είναι ικανά να μετρήσουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ονομάζονται αισθητήρες. Η ταξινόμησή τους μπορεί να γίνει σε δύο κατηγορίες (Van der Meer and De Jong, 2001):

1. Στους παθητικούς αισθητήρες που δεν διαθέτουν τη δική τους πηγή ακτινοβολίας. Είναι ευαίσθητοι μόνο στην ακτινοβολία που έχει φυσική προέλευση και συνήθως είναι η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία ή η ενέργεια που εκπέμπεται από ένα επίγειο αντικείμενο. Ένα κλασικό παράδειγμα παθητικού αισθητήρα είναι η φωτογραφική μηχανή, η οποία καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία κάποιου αντικειμένου σε μία φωτοευαίσθητη επιφάνεια και έπειτα πάνω στο φιλμ. Άλλα παραδείγματα είναι οι πολυφασματικοί σαρωτές, οι θερμικοί σαρωτές και τα ραδιόμετρα που χρησιμοποιούν μικροκύματα.
2. Στους ενεργητικούς αισθητήρες που διαθέτουν μία τεχνητή πηγή ακτινοβολίας, η οποία εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα ή σε αντικείμενα στην επιφάνεια της γης και έπειτα η ανακλώμενη ενέργεια που προκύπτει λαμβάνεται πίσω από τον αισθητήρα για την εξαγωγή μετρητικής και ποιοτικής πληροφορίας. Παραδείγματα ενεργητικής τηλεπισκόπησης αποτελούν τα συστήματα radar (radio detection and ranging) και lidar (light detection and ranging).



Εικόνα 7: Ταξινόμηση των δορυφορικών αισθητήρων ανάλογα με την πηγή ακτινοβολίας που καταγράφουν, ανάλογα με τον τρόπο κατόπτρευσης και ανάλογα με τον τρόπο καταγραφής της ακτινοβολίας.



Εικόνα 8: Παραδείγματα δορυφορικών αισθητήρων με διαφορετικό τρόπο κατόπτρευσης: (α) σαρωτής με εγκάρσια στην τροχιά διεύθυνση. (β) Σαρωτής κατά μήκος της τροχιάς.

Η ακτινοβολία μπορεί να καταγραφεί είτε σε αναλογική μορφή, παράδειγμα της οποίας αποτελούν οι αεροφωτογραφίες, είτε μπορεί να αποθηκευτεί ως μία ψηφιακή διάταξη, ένα σύνολο τιμών του σήματος που έχει καταγραφεί δηλαδή, πάνω σε μαγνητική ταινία όπως είναι το CD-ROM και το DVD, διαδικασία που επιλέγεται στην πλειοψηφία των σημερινών συστημάτων τηλεπισκόπησης. Οι ψηφιακές απεικονίσεις, μπορούν να εξαχθούν από ψηφιακά δεδομένα φωτογραφικών τηλεπισκοπικών αισθητήρων.

Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να παρατεθούν οι κύριες ιδιότητες που επιτρέπουν την παρατήρηση και τελικά την αναγνώριση ενός αντικειμένου. Αυτές συνοψίζονται στα επόμενα χαρακτηριστικά:

- Σχήμα και μέγεθος του αντικειμένου. Η χωρική όπως και η γεωμετρική ανάλυση θεωρούνται σημαντικές για τον αισθητήρα. Ως κριτήριο, λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος του εικονοστοιχείου (διαστάσεις που καλύπτει στο έδαφος).

- Ιδιότητες ανακλαστικότητας και ιδιότητες εκπομπής ακτινοβολίας του αντικειμένου. Το δυναμικό εύρος και η ραδιομετρική ανάλυση είναι τα σημαντικά στοιχεία του αισθητήρα για την κατηγορία αυτή. Ως δυναμικό εύρος ορίζεται ο αριθμός των ψηφιακών επιπέδων στα οποία μπορεί να αποθηκευτεί η παρατηρούμενη ανακλαστικότητα ή εκπομπή ακτινοβολίας.

- Φασματικές ιδιότητες του αντικειμένου. Σε αυτές περιλαμβάνονται το μήκος κύματος, η συχνότητα και το χρώμα. Για τα χαρακτηριστικά αυτά, το μήκος κύματος και η φασματική ανάλυση (εύρος καναλιού) του αισθητήρα έχουν ιδιαίτερη σημασία.

- Η επίδραση της πόλωσης στο αντικείμενο

- Αλλαγές που υφίσταται το παρατηρούμενο αντικείμενο σε μεταβολές του χρόνου και του τόπου (temporal effects).

Γίνεται σαφές ότι ο σχεδιασμός και η χρήση των τηλεπισκοπικών συστημάτων πρέπει να γίνεται μετά από μεγάλη μελέτη που θα εξαρτάται από το είδος και τις απαιτήσεις συγκεκριμένων εφαρμογών.

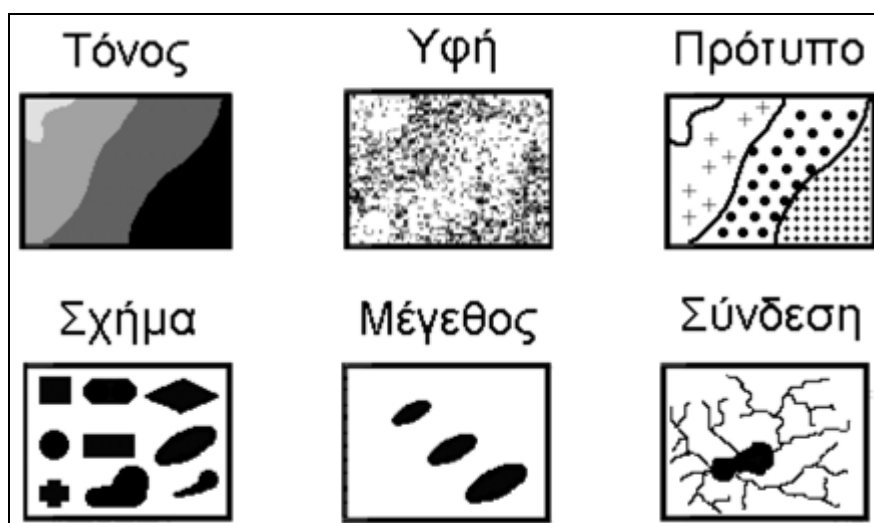
2.1.5 Μετάδοση, λήψη και (προ)επεξεργασία

Η ενέργεια που καταγράφεται από ένα αισθητήρα πρέπει να μεταδοθεί σε ηλεκτρονική μορφή σε κάποιο σταθμό λήψης και επεξεργασίας, όπου τα δεδομένα θα μετασχηματιστούν σε εικόνα. Γενικά, ο προμηθευτής της εικόνας έχει προβεί ήδη σε προεπεξεργασία των δεδομένων, που αφορά κυρίως τη διόρθωση γεωμετρικών και ραδιομετρικών παραμορφώσεων, προβλήματα που προέρχονται από την πλατφόρμα και τον αισθητήρα που αυτή φέρει. Οι ραδιομετρικές διορθώσεις θεωρούνται απαραίτητες λόγω μεταβολών της φωτεινότητας, ατμοσφαιρικών συνθηκών και θορύβου του αισθητήρα. Η εμφάνιση και το μέγεθος των παραπάνω εξαρτάται από το είδος του αισθητήρα, την πλατφόρμα που χρησιμοποιείται και τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη στιγμή της λήψης. Τέλος, μπορεί κάποιες φορές να είναι επιθυμητή η μετατροπή και/ή το καλιμπράρισμα των δεδομένων σε γνωστή (απόλυτη) ακτινοβολία ή μονάδες ανακλαστικότητας προς διευκόλυνση συγκρίσεων μεταξύ των δεδομένων.

2.2 Βασικά στοιχεία ερμηνείας δορυφορικών εικόνων

Όταν διαθέτουμε δεδομένα σε ψηφιακή μορφή, σχηματισμένα χωρικά σε εικονοστοιχεία και ραδιομετρικά σε διακριτές τιμές φωτεινότητας, υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για την εξαγωγή πληροφορίας. Μία από αυτές, προϋποθέτει τη χρήση Η/Υ για την εξέταση των ιδιοτήτων κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας ξεχωριστά. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως ποσοτική ανάλυση, καθώς εικονοστοιχεία με όμοια χαρακτηριστικά υπολογίζονται για να δώσουν επιφανειακές συγκεντρώσεις. Μία δεύτερη προσέγγιση προϋποθέτει τη συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα, στο ρόλο του αναλυτή/ερμηνευτή, για την εξαγωγή πληροφορίας, μέσω οπτικής επιθεώρησης της εικόνας που σχηματίστηκε από τα δεδομένα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **φωτοερμηνεία** και ο αναλυτής σημειώνει γενικά, χαρακτηριστικά της εικόνας που βρίσκονται σε μεγάλη κλίμακα και συνήθως δεν έχει γνώση των χωρικών και ραδιομετρικών χαρακτηριστικών των δεδομένων.

Σκοπός της φωτοερμηνείας είναι η αναγνώριση συγκεκριμένων αντικειμένων (στόχων). Η αναγνώριση αυτή πραγματοποιείται μέσω του εντοπισμού των διαφορών μεταξύ των στόχων αυτών και του περιβάλλοντος χώρου (γειτονικών αντικειμένων). Ο εντοπισμός βασίζεται σε κάποιο ή κάποια από τα οπτικά τους χαρακτηριστικά.



Εικόνα 9: Τα βασικά οπτικά χαρακτηριστικά ενός στόχου στην εικόνα στα οποία βασίζεται ο εντοπισμός των διαφορών του από τα γειτονικά αντικείμενα που τον περιβάλλουν

Το **σχήμα** αναφέρεται στη γενική μορφή, διάταξη ή περίγραμμα των μεμονωμένων αντικειμένων. Σε πολλές περιπτώσεις (αλλά όχι πάντα) αρκεί το σχήμα μόνο ενός αντικειμένου για να αναγνωρισθεί το αντικείμενο.

Το **μέγεθος** των αντικειμένων στις φωτογραφίες θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε συνάρτηση με την κλίμακα της εικόνας.

Το **πρότυπο** καθορίζεται με τη χωρική διάταξη των αντικειμένων. Η επανάληψη προκαθορισμένων γενικών μορφών ή σχέσεων, είναι χαρακτηριστική για πολλά αντικείμενα, φυσικά και ανθρωπογενή, και προσδίδει στα αντικείμενα ένα πρότυπο που υποβοηθά το Φωτοερμηνευτή να τα αναγνωρίσει.

Ο **τόνος** (ή απόχρωση) αφορά τη σχετική φωτεινότητα ή το χρώμα των αντικειμένων στις απεικονίσεις. Σε περίπτωση που ο τόνος των αντικειμένων ήταν ο ίδιος, τότε δε θα ήταν δυνατή η διάκριση χαρακτηριστικών όπως το σχήμα, το πρότυπο και η υφή τους.

Η **υφή** είναι η συχνότητα εναλλαγής των τόνων του γκρι σε μια απεικόνιση. Η υφή οφείλει την ύπαρξή της στη συγκέντρωση μεμονωμένων αντικειμένων τα οποία είναι πάρα πολύ μικρά, με αποτέλεσμα να μην είναι διακριτά ως μεμονωμένα αντικείμενα. Μέσω της υφής καθορίζεται η ομαλότητα ή η τραχύτητα των αντικειμένων της εικόνας.

Η **θέση του αντικειμένου στο χώρο** αφορά την τοπογραφική ή γεωγραφική θέση και συνιστά ένα πολύ σημαντικό βοήθημα στην αναγνώριση γεωμορφών και ειδών βλάστησης.

Η **χωρική διάταξη (συσχέτιση)** αναφέρεται στην παρουσία συγκεκριμένων αντικειμένων σε σχέση με κάποια άλλα. Για παράδειγμα αναμένει κανείς μια όαση μέσα σε μια έρημο και όχι πάνω σε αιώνιους πάγους.

ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ
<p>Εκτελείται κυρίως από τον φωτοερμηνευτή</p> <p>Επεξεργάζεται ομάδες εικονοστοιχείων (αντικείμενα)</p> <p>Δεν έχει ακρίβεια σε υπολογισμούς επιφανειών</p> <p>Αυτοπεριορίζεται η πραγματική πολυφασματική ανάλυση</p> <p>Ο φωτοερμηνευτής μπορεί να αφομοιώσει ένα περιορισμένο μόνο αριθμό από διακριτές διαβαθμίσεις του τόνου (περίπου 16 επίπεδα κάθε κανάλι)</p> <p>Η αναγνώριση του σχήματος, των προτύπων, της υφής και των αντικειμένων είναι εύκολη</p> <p>Η εξαγωγή συμπερασμάτων είναι εύκολη</p> <p>Οι διαθέσιμες χωρικές πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά ποιοτικό τρόπο</p> <p>Οι διαθέσιμες γνώσεις του χρήστη μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά ποιοτικό τρόπο</p>	<p>Εκτελείται κυρίως από υπολογιστή</p> <p>Επεξεργάζεται συνήθως μεμονωμένα εικονοστοιχεία</p> <p>Δυνατή η ακρίβεια σε υπολογισμούς επιφανειών</p> <p>Δεν υπάρχει περιορισμός για πραγματική πολυφασματική ανάλυση</p> <p>Μπορεί να κάνει χρήση όλων των διαθέσιμων επιπέδων σε όλα τα κανάλια (δηλαδή 64, 128, 256)</p> <p>Η αναγνώριση του σχήματος, των προτύπων της υφής και των αντικειμένων είναι πολύ δύσκολη ή αδύνατη</p> <p>Η εξαγωγή συμπερασμάτων είναι δύσκολη</p> <p>Είναι περιορισμένες οι διαθέσιμες τεχνικές για χρήση χωρικών δεδομένων</p> <p>Οι διαθέσιμες γνώσεις του χρήστη μπορούν έμμεσα και επίμονα, να χρησιμοποιηθούν με κατασκευή βάσεων γνώσεων και εμπείρων συστημάτων</p>

Πίνακας 1: Σύγκριση των δυο προσεγγίσεων ερμηνείας πολυφασματικών εικόνων. (Αργιαλάς 1998)

Υπάρχουν δύο βασικές μορφές εμφάνισης των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Η πρώτη είναι η ασπρόμαυρη απεικόνιση των δεδομένων για κάθε κανάλι, όπου για ψηφιακά δεδομένα το μαύρο αντιστοιχεί στην τιμή φωτεινότητας 0 και το άσπρο στην υψηλότερη τιμή, που μπορεί να είναι 63,127,255 ή 4095(για 6 bit, 7 bit, 8 bit και 12 bit αντίστοιχα). Η δεύτερη μορφή είναι αυτή του έγχρωμου σύνθετου, στο οποίο επιλεγμένα κανάλια των πολυφασματικών/υπερφασματικών δεδομένων συνδέονται με τα τρία πρωτεύοντα χρώματα (R,G,B) για την παραγωγή του έγχρωμου προϊόντος. Στην περίπτωση που τα διαθέσιμα δεδομένα αποτελούνται από ένα πολύ μεγάλο αριθμό καναλιών, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των υπερφασματικών

δεδομένων, ο συνδυασμός των καναλιών που παράγουν το έγχρωμο σύνθετο είναι αποτέλεσμα εμπειρίας και σχετίζονται με τον τομέα της εφαρμογής.



Εικόνα 10: Έγχρωμο σύνθετο R,G,B (3,2,1) από περιοχή της Νέας Υόρκης

2.3 Δορυφόροι

Δορυφόρος είναι ένα μη επανδρωμένο διαστημικό όχημα, που τίθεται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος μεταξύ 500 και 35.000 χιλιομέτρων από την επιφάνειά της, και εξοπλισμένο με κατάλληλα όργανα συλλέγει εικόνες και στοιχεία, τα οποία μεταδίδει σε επίγειους σταθμούς.

Από το 1957, έτος εκτόξευσης του πρώτου δορυφόρου (Sputnik, ΕΣΣΔ), έως τα μέσα της δεκαετίας του 1990, έχουν εκτοξευτεί και τεθεί σε τροχιά χιλιάδες δορυφόροι, που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ερευνών και εφαρμογών, άλλοι πραγματοποιώντας επιστημονικές παρατηρήσεις και μετρήσεις (επιστημονικοί δορυφόροι) και άλλοι εξυπηρετώντας οικονομικούς και εμπορικούς σκοπούς (δορυφόροι εφαρμογής). Έτσι, μέσω δορυφόρων πραγματοποιούνται αστρονομικές παρατηρήσεις, μετρήσεις κοσμικής ακτινοβολίας, μετεωρολογικές προβλέψεις, γεωλογικές έρευνες, χαρτογράφηση ηπείρων και ωκεανών, περιβαλλοντολογικές έρευνες κ.λπ. και διεξάγονται οι τηλεπικοινωνίες, η ναυσιπλοΐα, η κατασκόπευση στρατηγικών στόχων κ.ά.

Κατηγορίες δορυφόρων

- οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι, που διεκπεραιώνουν τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, αναμεταδίδουν τηλεοπτικά προγράμματα, δεδομένα κ.λπ.
- οι δορυφόροι πλοήγησης, που αποτελούν τη βάση ενός συστήματος προσανατολισμού και καθορισμού πορείας, κυρίως για αεροπλάνα και πλοία.
- οι δορυφόροι γεωλογικών ερευνών, που χρησιμοποιούνται τόσο για τον εντοπισμό ορυκτών κοιτασμάτων και την παρατήρηση γεωλογικών σχηματισμών όσο και για τη συλλογή σεισμολογικών δεδομένων.
- οι μετεωρολογικοί δορυφόροι
- οι δορυφόροι περιβάλλοντος. Δορυφόροι που μελετούν το χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον και καταγράφουν τα φαινόμενα και τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτό, καθώς και στην ατμόσφαιρα του πλανήτη.

Οι περιβαλλοντικοί δορυφόροι συλλέγουν εικόνες και στοιχεία, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, την πρόγνωση μετεωρολογικών φαινομένων, την πρόληψη και τον εντοπισμό πυρκαγιών, την παρακολούθηση καλλιεργειών, την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, καθώς και για την έρευνα, με απώτερο στόχο τη βελτίωση της ζωής σε όλο τον πλανήτη. Οι δορυφόροι περιβάλλοντος της δεκαετίας του 1990 ανήκουν στην τρίτη γενιά των δορυφόρων της κατηγορίας αυτής, είναι εξελιγμένοι τεχνολογικά και έχουν δυνατότητα παρατήρησης όλο το 24ωρο. Είναι εξοπλισμένοι με όργανα υψηλής διακριτικής ικανότητας (ραδιόμετρα, μονάδα διερεύνησης με μικροκύματα, ανιχνευτές υπέρυθρης ακτινοβολίας, ανιχνευτές πρωτονίων και νετρονίων) και χαρτογραφούν όλα τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τη βλάστηση, την επιφανειακή θερμοκρασία ποταμών, λιμνών και θαλασσών, τις περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα, τις μετεωρολογικές μεταβολές και τα νέφη τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα, καθώς και την κατάσταση του όζοντος της στρατόσφαιρας. Τα στοιχεία που συλλέγουν περνούν από επεξεργασία και μετατρέπονται σε εικόνες υψηλής ευκρίνειας. Σ' αυτές χρησιμοποιούνται διαφορετικά χρώματα, για να απεικονιστούν οι διαφορές μεταξύ των περιοχών και οι διακυμάνσεις που παρουσιάζει το κάθε υπό μέτρηση μέγεθος σ' αυτές.

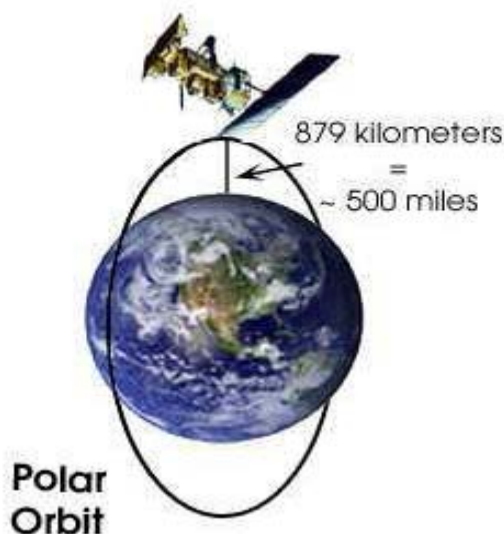
2.3.1 Τύποι Δορυφόρων

Πολικής τροχιάς

Πολλά οχήματα τηλεπισκόπισης έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να ακολουθούν μια τροχιά (βασικά από βορρά προς νότο) η οποία, σε συνδυασμό με την περιστροφή της Γης (δύση προς ανατολή), τους επιτρέπει να καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της Γης, εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Αυτές είναι σχεδόν-πολικές τροχιές, και ονομάζονται έτσι εξαιτίας της κλίσεως της τροχιάς προς τη νοητή γραμμή που διατρέχει τη Γη μεταξύ Βόρειου και Νότιου πόλου.

Ο ακριβής αριθμός ημερών σε αυτόν τον επαναλαμβανόμενο κύκλο διαφέρει και εξαρτάται από το ακριβές υψόμετρο του δορυφόρου και τη γωνία κλίσης της τροχιάς του. Για παράδειγμα, ο δορυφόρος Landsat έχει κύκλο δεκαέξι ημερών. Το

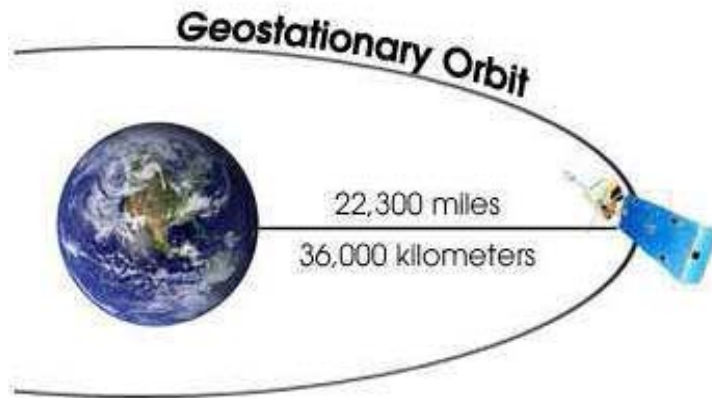
μειονέκτημα μιας τροχιάς με μικρότερη γωνία είναι ότι ο δορυφόρος δεν βλέπει την επιφάνεια της Γης κοντά στο Βόρειο και το Νότιο πόλο.



Το υψόμετρο του δορυφόρου επηρεάζει τη λεπτομέρεια που ανιχνεύεται. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τη Γη, ο δορυφόρος επισκέπτεται την ίδια περιοχή πιο συχνά, αλλά λαμβάνει πληροφορίες με μικρότερη λεπτομέρεια. Σε μικρότερες αποστάσεις, ο δορυφόρος επισκέπτεται την ίδια περιοχή λιγότερο συχνά, αλλά λαμβάνει πιο λεπτομερείς πληροφορίες. Οι δορυφόροι επηρεάζονται από την βαρύτητα της Γης, η οποία τους έλκει προς αυτήν. Τελικά, ο δορυφόρος σύρεται μέσα στην ατμόσφαιρα της Γης, όπου και καταστρέφεται. Για να διασφαλιστεί ότι η ζωή ενός δορυφόρου είναι τουλάχιστον πέντε χρόνια, το ύψος της τροχιάς του πρέπει να είναι τουλάχιστον 450 χλμ. Οι περισσότεροι μη επανδρωμένοι δορυφόροι τηλεπισκόπησης λειτουργούν στα 800χλμ.

Γεωσύγχρονης τροχιάς

Οι γεωσύγχρονοι ή γεωστατικοί δορυφόροι βλέπουν συνεχώς το ίδιο μέρος της επιφάνειας της γης καθώς κινούνται σε συγχρονισμό με τον πλανήτη. Οι δορυφόροι αυτοί, σε υψόμετρο 36.000 χιλιομέτρων περίπου, περιστρέφονται με ταχύτητα αντίστοιχη της ταχύτητας περιστροφής της Γης, έτσι ώστε να φαίνονται ακίνητοι, σε σύγκριση με την επιφάνεια της Γης. Αυτό επιτρέπει στους δορυφόρους να παρατηρούν και να συγκεντρώνουν συνεχώς πληροφορίες πάνω από συγκεκριμένες περιοχές. Οι μετεωρολογικοί και οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι έχουν συνήθως αυτόν τον τύπο τροχιάς.



Ηλιοσύγχρονη τροχιά

Οι δορυφόροι καλύπτουν κάθε περιοχή της γης την ίδια τοπική ώρα της ημέρας, που ονομάζεται τοπική ώρα ήλιου.

2.3.2 Χαρακτηριστικά Δορυφόρων

Φασματική διακριτική Ικανότητα

Οι περισσότερες έρευνες τηλεπισκόπησης βασίζονται στην ανάπτυξη μιας αιτιοκρατικής σχέσης (δηλαδή ενός μοντέλου) ανάμεσα στην ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ανακλάται, εκπέμπεται ή οπισθοσκεδάζεται σε συγκεκριμένα κανάλια ή συχνότητες, και τα χημικά, βιολογικά, και φυσικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση φαινομένων (όπως π.χ. η φυτική κόμη σε καλλιέργειες καλαμποκιού). Η **φασματική διακριτική ικανότητα** (spectral resolution) αναφέρεται στον αριθμό και τη διάσταση (το μέγεθος) συγκεκριμένων διαστημάτων μήκους κύματος στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (τα οποία αναφέρονται ως κανάλια ή ζώνες) στα οποία είναι ευαίσθητο ένα όργανο τηλεπισκόπησης. Τα πολυφασματικά συστήματα τηλεπισκόπησης (multispectral remote sensing systems) καταγράφουν ενέργεια σε πολλά κανάλια του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Παραδείγματος χάριν, κατά τη δεκαετία του '70 και στις αρχές της δεκαετίας του '80, ο Πολυφασματικός Σαρωτής του Landsat (MSS – Multispectral Scanners) κατέγραψε δεδομένα τηλεπισκόπησης για μεγάλο μέρος της Γης τα οποία έχουν ακόμα ιδιαίτερη αξία για την ανίχνευση μεταβολών.

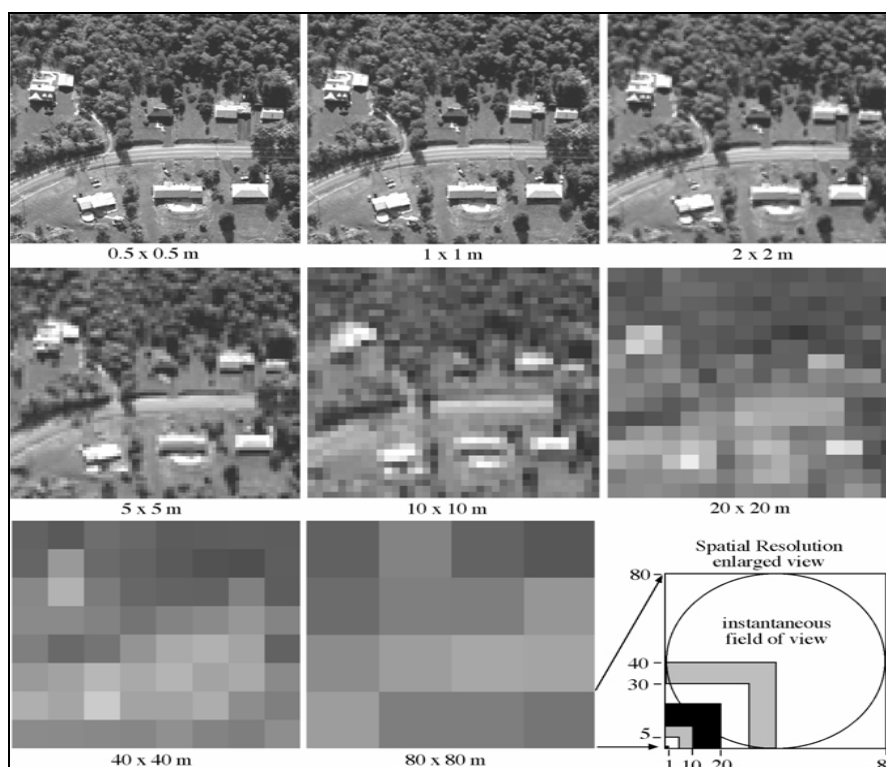
Χωρική διακριτική Ικανότητα

Οι περισσότερες τηλεπισκοπικές μελέτες καταγράφουν τα χωρικά χαρακτηριστικά επίγειων αντικειμένων. Παραδείγματος χάριν, κάθε κρύσταλλος (κόκκος) αλογονιδίου του υδραργύρου σε μια αναλογική αεροφωτογραφία και κάθε εικονοστοιχείο σε μια ψηφιακή τηλεπισκοπική εικόνα βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο της εικόνας και αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες συντεταγμένες x , y στο έδαφος. Όταν αναχθεί η εικόνα σε ένα τυπικό χαρτογραφικό σύστημα προβολής, η χωρική πληροφορία που αντιστοιχεί σε κάθε κόκκο αλογονιδίου του αργύρου ή σε κάθε εικονοστοιχείο έχει

ιδιαίτερη αξία διότι καθιστά δυνατή τη χρήση της τηλεπισκοπικής πληροφορίας με άλλα χωρικά δεδομένα σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) ή σε ένα χωρικό σύστημα λήψης αποφάσεων (SDSS) (Jensen et al., 2002).

Υπάρχει μία σχέση ανάμεσα στο μέγεθος του αντικειμένου ή της περιοχής που πρέπει να αναγνωρισθεί και στη χωρική διακριτική ικανότητα του τηλεπισκοπικού συστήματος. Η **Χωρική διακριτική Ικανότητα** είναι το μέτρο της μικρότερης γωνιακής ή γραμμικής απόστασης ανάμεσα σε δύο αντικείμενα που μπορεί να διακριθεί από το σύστημα τηλεπισκόπησης. Η χωρική διακριτική ικανότητα της αεροφωτογραφίας μπορεί να μετρηθεί 1) τοποθετώντας προσεκτικά βαθμονομημένες, παράλληλες ασπρόμαυρες γραμμές πάνω σε καλύμματα που έχουν τοποθετηθεί στο πεδίο, 2) λαμβάνοντας αεροφωτογραφίες της περιοχής μελέτης, και 3) αναλύοντας τις φωτογραφίες και υπολογίζοντας τον αριθμό από γραμμικά ζεύγη ανά χιλιοστόμετρο που μπορούν να αναλυθούν στη φωτογραφία. Είναι ακόμη δυνατόν να προσδιορισθεί η χωρική διακριτική ικανότητα απεικονίσεων υπολογίζοντας τη συνάρτηση μεταφοράς διαμόρφωσής τους.

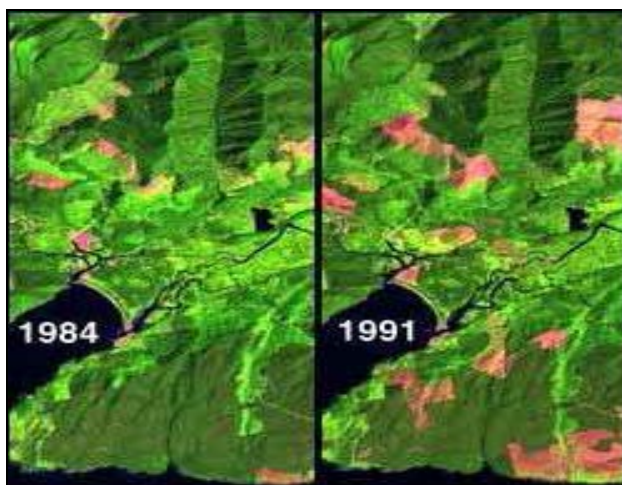
Ένας χρήσιμος ευρετικός κανόνας είναι ότι για την ανίχνευση κάποιου χαρακτηριστικού, η χωρική διακριτική ικανότητα του συστήματος τηλεπισκόπησης θα πρέπει να είναι μικρότερη από το μισό του μεγέθους της μικρότερης διάστασης του χαρακτηριστικού που μετράται.



Εικόνα 11: Παραδείγματα απεικόνισης μια συγκεκριμένης περιοχής από αισθητήρες με διαφορετική χωρική διακριτική ικανότητα (από 80 x 80 m έως 0,5 x 0,5 m). Είναι προφανές ότι ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής, επιλέγεται και δορυφορικός δέκτης ανάλογης χωρικής διακριτικής ικανότητας.

Χρονική διακριτική Ικανότητα

Μια από τις πιο σημαντικές δυνατότητες της τηλεπισκόπησης είναι η καταγραφή των τοπίων της Γης σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Πολλαπλές καταγραφές του ίδιου τοπίου με την πάροδο του χρόνου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό διεργασιών που βρίσκονται σε εξέλιξη και για προβλέψεις. Η **χρονική διακριτική ικανότητα** ενός συστήματος τηλεπισκόπησης αναφέρεται στο πόσο συχνά ο αισθητήρας καταγράφει εικόνες από μια συγκεκριμένη περιοχή. Σε ιδανικές συνθήκες, ο αισθητήρας καταγράφει δεδομένα κατ' επανάληψη προκειμένου να συλλάβει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του υπό διερεύνηση αντικειμένου (Haack et al., 1997). Παραδείγματος χάριν, οι καλλιέργειες έχουν διαφορετικούς φαινολογικούς κύκλους σε κάθε γεωγραφική περιοχή.



Για να μετρήσει κανείς συγκεκριμένες μεταβλητές καλλιεργειών, χρειάζεται να πάρει δεδομένα τηλεπισκόπησης σε κρίσιμα χρονικά σημεία του φαινολογικού κύκλου (Johannsen et al., 2003). Η ανάλυση διαχρονικών εικόνων παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πώς αλλάζουν οι μεταβλητές με την πάροδο του χρόνου. Οι πληροφορίες μεταβολών διευκολύνουν την κατανόηση των διεργασιών που επηρεάζουν τα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών (Jensen et al., 2002). Βέβαια, είναι θετικό ότι πολλοί δορυφορικοί δέκτες όπως οι SPOT, IKONOS, ImageSat και Quickbird είναι κατευθυνόμενοι, που σημαίνει ότι μπορούν να λαμβάνουν εικόνες υπό γωνία.

2.3.3 Δορυφόροι Landsat, IKONOS, QuickBird

Δορυφόρος Landsat

Η αρχική ονομασία του Δορυφορικού Τηλεπισκοπικού Προγράμματος Landsat ήταν ERTS (Earth Resources Technology Satellites της NASA). Ο πρώτος δορυφόρος ERTS πήρε το όνομα Landsat 1 (LAND SATELLITE 1) και μέχρι σήμερα εκτοξεύθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος 7 δορυφόροι.

Οι τηλεπισκοπικοί δέκτες των δορυφόρων Landsat 1 έως Landsat 7 και συγκεκριμένα οι:

- Return Beam Vidicon (RBV), Landsat 1, 2 και 3
- Multi Spectral Scanner (MSS), Landsat 1, 2, 3, 4 και 5, και
- Thematic Mapper TM ή Enhanced TM (ETM), Landsat 4, 5, 6, και 7

έχουν τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 2 και οι ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις τους στην περίοδο λειτουργίας τους καταγράφουν πολύτιμα στοιχεία για εξαγωγή απειρίας ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών για τη φυσική και την κοινωνικοοικονομική πραγματικότητα του πλανήτη μας, αλλά και για τις πολυδιάστατες διαλεκτικές σχέσεις, αλληλεξαρτήσεις και αλληλεπιδράσεις τους και τις τάσεις μεταβολών τους δια μέσου του χρόνου.

Έτσι, οι Landsat τηλεπισκοπικές απεικονίσεις αξιοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών όπως π.χ. η διερεύνηση, απογραφή, χαρτογράφηση και παρακολούθηση των φυσικών και ανθρωπίνων διαθεσίμων, των χρήσεων/καλύψεων γης, του χαρακτήρα, της κατάστασης και της ποιότητας του φυσικού Περιβάλλοντος κ.λπ.

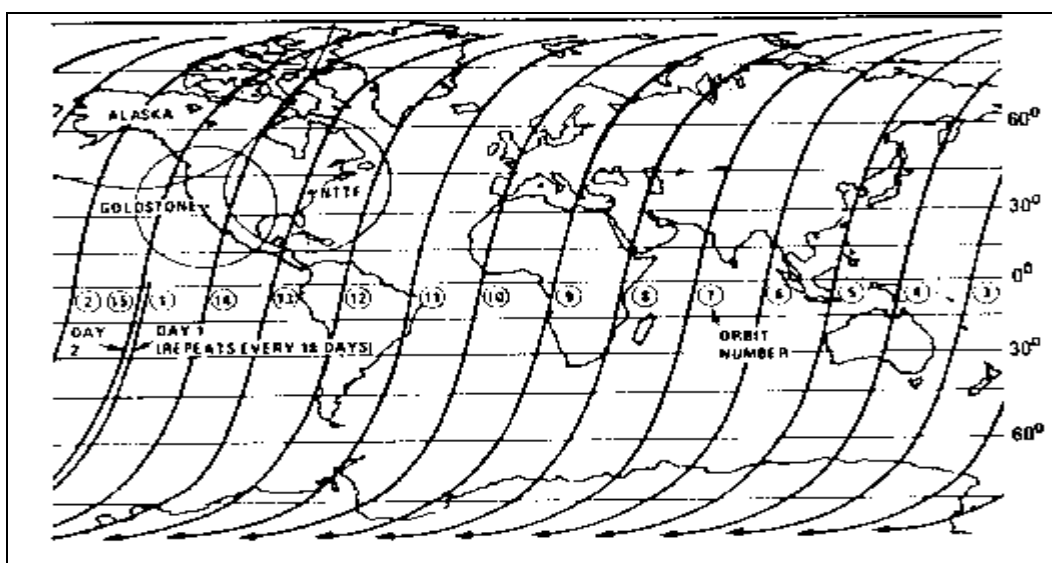
Με τη βοήθεια των αναλογικών και των ψηφιακών μεθόδων και τεχνικών της Φωτοερμηνείας-Τηλεπισκόπησης και τους αντίστοιχους εξοπλισμούς, οι ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις Landsat παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες στα πεδία της Τοπογραφίας, Γεωγραφίας, Γεωλογίας, Υδρογεωλογίας, Δασολογίας, Γεωπονίας, Χωροταξίας, Πολεοδομίας, Προστασίας του Περιβάλλοντος κ.λπ. και υποστηρίζουν με αξιοπιστία και πληρότητα τους σχεδιασμούς, τις μελέτες και τα έργα Ανάπτυξης και Προστασίας του περιβάλλοντος σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.

Δορυφόρος	Εκτόξευση	Κανάλια RBV	Κανάλια MSS	Κανάλια TM ή ETM	Κύκλος τροχιάς	Ύψος
LANDSAT-1	23/7/ 1972	1,2,3	4,5,6,7		18 ημέρες	900km
LANDSAT-2	22/1/1975	1,2,3	4,5,6,7		18 ημέρες	900km
LANDSAT-3	5/3/1978	1	4,5,6,7,8		18 ημέρες	900km
LANDSAT-4	16/7/1982		1,2,3,4	1,2,3,4,5,6,7	16 ημέρες	705km
LANDSAT-5	1/3/1984		1,2,3,4	1,2,3,4,5,6,7	16 ημέρες	705km
LANDSAT-6	5-10-1993			1,2,3,4,5,6,7+Pan	16 ημέρες	705km
LANDSAT-7	15/4/1999			1,2,3,4,5,6,7+Pan	16 ημέρες	705km

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά των δορυφόρων LANDSAT 1-7 και των τηλεπισκοπικών δεκτών τους.

Οι δορυφόροι Landsat 1, 2 και 3 έπαψαν να στέλνουν ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις στη γη το 1978, το 1982 και το 1983 αντίστοιχα. Ο Landsat 6, μετά από αποτυχημένη εκτόξευση, δεν έγινε δυνατό να τεθεί σε τροχιά.

Οι δορυφόροι Landsat 4, 5 και 7 έχουν παραπλήσιες ηλιοσύγχρονες, κυκλικές, σχεδόν πολικές (με κλίση $98,2^\circ$ ως προς τον Ισημερινό) τροχιές. Η ελάττωση του ύψους από τα 900 km (Landsat 1, 2, 3) στα 705 km (Landsat 4, 5, 7) έγινε ώστε οι δορυφόροι, εφ' όσον χρειασθεί, να είναι προσβάσιμοι από το Space Shuttle για να είναι δυνατή τυχόν επισκευή τους. Οι δορυφόροι Landsat 4, 5 και 7 χρειάζονται 16 ημέρες για μία πλήρη κάλυψη της γης, (ήταν 18 ημέρες για τους Landsat 1, 2, 3) και συνεπώς μπορούμε με τον τηλεπισκοπικό δέκτη του ίδιου δορυφόρου να παρακολουθούμε συστηματικά ενδιαφέροντα φαινόμενα και χαρακτηριστικά τα οποία εξελίσσονται ή μεταβάλλονται δυναμικά δια μέσου του χρόνου στη φυσική γήινη επιφάνεια έως και 23 φορές μέσα στη διάρκεια ενός έτους και μάλιστα την ίδια ώρα σε κάθε συγκεκριμένη περιοχή. Οι τροχιές όμως των Landsat 4 και 5 έχουν διαφορά φάσης 8 ημερών, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επαναλαμβανόμενη κάλυψη από τους τηλεπισκοπικούς τους δέκτες της ίδιας περιοχής κάθε 8 ημέρες. Η πλευρική κατά πλάτος επικάλυψη των διαδοχικών λήψεων κάθε δορυφόρου στον ισημερινό είναι 7,3% και αυξάνει για μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, φτάνοντας σε μια μέγιστη τιμή 83,9% σε πλάτος 80ο. Οι απεικονίσεις των δορυφόρων Landsat 4, 5 και 7 αρχειοθετούνται στο Landsat *Worldwide Reference System* (WRS) σε 233 *paths* και 248 *rows*.



Εικόνα 12: Χρειάζονται 16 ημέρες για πλήρη κάλυψη της γης από τους δορυφόρους Landsat 4, 5 και 7.

Όλοι οι δορυφόροι Landsat είναι προγραμματισμένοι να διασχίζουν τον Ισημερινό στις 9:45π.μ., αφού αυτή την ώρα η ατμόσφαιρα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαύγεια, ενώ η ηλιοσύγχρονη τροχιά των δορυφόρων εξασφαλίζει ιδανικές συνθήκες φωτισμού.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 2 οι Landsat 1 και 2 μετέφεραν δύο τηλεπισκοπικούς δέκτες. Έναν δέκτη RBV (Return Beam Vidicon) με 3 κανάλια και ένα πολυφασματικό δέκτη MSS (Multi Spectral Scanner) με 4 κανάλια. Η χωρική Διαχωριστική Διακριτική Δυνατότητα Ικανότητα και των δύο δεκτών ήταν περίπου 80m. Στον Landsat 3 έγιναν

δύο βασικές αλλαγές. Ο δέκτης RBV είχε ένα μόνο κανάλι με χωρική $\Delta\Delta/\Delta$ 30m. Προστέθηκε επίσης ένα θερμικό κανάλι στον δέκτη MSS του δορυφόρου, το οποίο όμως για τεχνικούς λόγους δεν λειτούργησε.

Ο πολυφασματικός τηλεπισκοπικός σαρωτής MSS των δορυφόρων Landsat από το 1972 μέχρι σήμερα (πίνακας 3) με τις ψηφιακές τηλεπισκοπικές του απεικονίσεις καταγράφει πιστά την κατάσταση, την ποιότητα, τα χαρακτηριστικά και τις μεταβολές της φυσικής και της κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας με επαρκή ακρίβεια και σε κατάλληλη κλίμακα για την μελέτη, την έρευνα και την παρακολούθηση συγκεκριμένων εκτατικών φαινομένων ή εμφανίσεων (αποψίλωση και πυρκαγιές δασών, μεταβολές της βιομάζας, πλημμύρες κ.λπ.). Από τα τέσσερα κανάλια του MSS τα δύο είναι ευαίσθητα στο ορατό τμήμα του φάσματος της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας 0,5–0,6 μ m (πράσινο) και 0,6–0,7 μ m (κόκκινο) και τα άλλα δύο στο εγγύς υπέρυθρο (0,7–0,8 μ m και 0,8–1,1 μ m). Τα κανάλια αυτά ονομάζονται 4, 5, 6 και 7 και το πλάτος σάρωσης και κάλυψης της φυσικής γήινης επιφανείας ήταν 185km.

Οι Landsat 4 και 5, είναι εφοδιασμένοι με δύο πολυφασματικούς τηλεπισκοπικούς δέκτες, τον πολυφασματικό σαρωτή MSS και τον Θεματικό Χαρτογράφο (Thematic Mapper ή TM). Ο MSS είναι όμοιος με εκείνον ο οποίος υπήρχε στους Landsat 1, 2 και 3. Τα τέσσερα κανάλια του MSS μετονομάστηκαν σε κανάλια 1, 2, 3, 4 και το πλάτος σάρωσης παρέμεινε 185 km. Ο πολυφασματικός δέκτης Thematic Mapper έχει 7 κανάλια. Τα τρία πρώτα είναι ευαίσθητα στο ορατό τμήμα του φάσματος της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας, 0,45-0,52 μ m (μπλε), 0,52-0,60 μ m (πράσινο) και 0,63-0,69 μ m (κόκκινο). Το κανάλι 4 είναι ευαίσθητο στο εγγύς υπέρυθρο (0,76-0,90 μ m), τα κανάλια 5 και 7 είναι ευαίσθητα στο μέσο υπέρυθρο (1,55-1,75 μ m και 2,08-2,35 μ m αντίστοιχα) και τέλος, το κανάλι 6 είναι ευαίσθητο στην περιοχή του θερμικού υπέρυθρου (10,4-12,5 μ m). Η χωρική $\Delta\Delta/\Delta$ του Θεματικού Χαρτογράφου είναι 30m για όλα τα κανάλια πλην του θερμικού υπέρυθρου, το οποίο έχει $\Delta\Delta/\Delta$ 120m. Η μεγάλη χωρική και φασματική διακριτική ικανότητα του Θεματικού Χαρτογράφου τον καθιστά πολύτιμο τηλεπισκοπικό δέκτη για το μεγαλύτερο ποσοστό των σχετικών εφαρμογών.

Στους δορυφόρους Landsat 6 και 7 τοποθετήθηκε μόνο ένας πολυφασματικός δέκτης, ο Θεματικός Χαρτογράφος με την προσθήκη ωστόσο ενός παγχρωματικού καναλιού (0,5–0,86 μ m), με χωρική διακριτική ικανότητα 15m. Η έκδοση αυτή του Thematic Mapper ονομάστηκε Enhanced Thematic Mapper στον Landsat 6 και Enhanced Thematic Mapper Plus στον Landsat 7. Στον τελευταίο η $\Delta\Delta/\Delta$ του θερμικού καναλιού βελτιώθηκε και από τα 120 έφθασε στα 60m. Μία σημαντική λειτουργία των δύο αυτών δεκτών είναι η από το έδαφος ρύθμιση της ευαισθησίας (gain) τους ανάλογα με την φωτεινότητα της υπό απεικόνιση περιοχής. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγάλη βελτίωση της ποιότητας των απεικονίσεων.

Δέκτης	Αποστολή	Φασματική Διακριτική Ικανότητα	Χωρική Διακριτική Ικανότητα
RBV	LANDSAT 1, 2	0,475-0,575 μm 0,580-0,680 μm 0,690-0,830 μm	80m 80m 80m
	LANDSAT 3	0,505-0,750 μm	30m
MSS	LANDSAT 1 ως 5	0,5-0,6 μm 0,6-0,7 μm 0,7-0,8 μm 0,8-1,1 μm 10,4-12,6 μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5) 79m (82m στους LANDSAT-4,5) 79m (82m στους LANDSAT-4,5) 79m (82m στους LANDSAT-4,5) 240m (μόνο στον LANDSAT-3)
TM	LANDSAT 4, 5	0,45-0,52 μm 0,52-0,60 μm 0,63-0,69 μm 0,76-0,90 μm 1,55-1,75 μm 10,4-12,5 μm 2,08-2,35 μm	30m 30m 30m 30m 30m 120m 30m
ETM & ETM+	LANDSAT 6, 7	0,52-0,90 μm 0,45-0,52 μm 0,52-0,60 μm 0,63-0,69 μm 0,75-0,90 μm 1,55-1,75 μm 10,4-12,5 μm 2,08-2,35 μm	15m 30m 30m 30m 30m 30m 120m (ETM), 60m (ETM+) 30m

Πίνακας 3: Φασματική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεκτών των δορυφόρων Landsat 1 έως 7.

Δορυφόρος IKONOS

Από την έναρξη λειτουργίας του τον Σεπτέμβριο του 1999, ο δορυφόρος Ikonos (το όνομα του οποίου προέρχεται από την ελληνική λέξη «εικόνα») της εταιρείας GeoEye, έχει παράσχει πλούσιο υλικό από εικόνες υψηλής ευκρίνειας αποτελώντας τον πρώτο δορυφόρο που λάμβανε εμπορικά διαθέσιμα δεδομένα ανάλυσης 1m.

Λόγω της υψηλής διακριτικής ικανότητας (1m στα παγχρωματικά, 4m στα πολυφασματικά), και της παραγγελίας με βάση το πολύγωνο ενδιαφέροντος, τα δεδομένα Ikonos μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλήθος εφαρμογών. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να συνδυαστούν τα παγχρωματικά με τα πολυφασματικά δεδομένα, δίνοντας έτσι έγχρωμα δεδομένα (pan sharpened) διακριτικής ικανότητας 1m.

Σε περίπτωση που οι υφιστάμενες λήψεις δεν ικανοποιούν τις ανάγκες και επιθυμίες του χρήστη, μπορεί να πραγματοποιηθεί προγραμματισμός του δορυφόρου, βάσει παραμέτρων που καθορίζονται με την βοήθεια του χρήστη. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η προμήθεια δεδομένων τόσο πρόσφατων ώστε να απεικονίζουν την σημερινή πραγματικότητα. Επιπλέον, λόγω της δυνατότητας λήψης στερεοζευγών εντός τροχιάς, είναι δυνατή η επεξεργασία και παραγωγή DEM (ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα) και άρα εξαγωγή πληροφορίας στην τρίτη διάσταση, με ανάλυση και ακρίβειες πρωτοποριακές για τον χώρο των δορυφορικών δεδομένων.

Λοιπά χαρακτηριστικά :

Ο δορυφόρος Ikonos εκτοξεύθηκε το 1999 και ζυγίζει περίπου 725 κιλά. Χρειάζεται 98 λεπτά για να περιστραφεί γύρω από τη γη από το υψόμετρο των 680 χιλιομέτρων. Έχει ηλιοσύγχρονη τροχιά και παράγει εικόνες ανάλυσης 1 μέτρου για την ίδια περιοχή κάθε 3 μέρες.

-	Κονος Pan 1m	Κονος MSI 4m	Κονος PSM 1m
Είδος	Οπτικά Παγχρωματικά	Οπτικά Πολυφασματικά	Οπτικά Έγχρωμα
Διαχωριστική ικανότητα	1 m	4 m	1 m
Έκταση κάλυψης μίας πλήρους εικόνας	11km x 11km	11km x 11km	-
Έκταση παραγωγίας δεδομένων αρχείου	50 km ²	50 km ²	50 km ²
Έκταση παραγωγίας νέων λήψεων	100 km ²	100 km ²	100 km ²
Εύρος φάσματος	0,45 - 0,90 μm	Blue :0,45 - 0,53 μm Green:0,52 - 0,61 μm Red:0,64 - 0,72 μm Near IR: 0,77 - 0,88 μm	-
Βάθος τόνου λήψης	11 bit	11 bit	-
Βάθος τόνου παράδοσης	8 ή 16 bit	8 ή 16 bit	8 ή 16 bit
Στοιχεία τροχιάς	Πολική, μέσο ύψος 681 km	Πολική, μέσο ύψος 681 km	-
Δυνατότητα προγρ/τισμού	Ναι	Ναι	Ναι
Δυνατότητα λήψης υπό γωνία - παραγωγή στερεοζεύγους	Ναι	Ναι	Ναι
Επίπεδα επεξεργασίας	Geo, Pro, Pre, Pre+, Standard/ Precision Stereo	Geo, Pro, Pre	Geo, Pro, Pre, Pre+, Standard/ Precision Stereo

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά δορυφόρου IKONOS.

Δορυφόρος QuickBird

Ο δορυφόρος QuickBird εκτοξεύθηκε τον Οκτώβριο του 2001 και είναι το πρώτο της σκάφος που ανέπτυξε η DigitalGlobe® που είναι σε θέση να προσφέρει εμπορικές δορυφορικές εικόνες της Γης υψηλής ευκρίνειας και ακρίβειας. Η συλλογή των παγχρωματικών και πολυφασματικών εικόνων έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποστηρίζει διάφορες εφαρμογές που κυμαίνονται από την έκδοση χαρτών , τη διαχείριση των γήινων πόρων, την αξιολόγηση του ασφαλιστικού κινδύνου καθώς και για πολλές άλλες . Τα δεδομένα QuickBird προσφέρονται σε δύο διαφορετικές μορφές: Basic, όπου τα δεδομένα είναι σε πρωτογενή μορφή συνοδευόμενα από RPC και εφημερίδες, και Standard, όπου τα δεδομένα παραδίδονται με βάση το πολύγωνο ενδιαφέροντος (μονάδα μέτρησης τετρ. χλμ.) συνοδευόμενα από RPC. Για τα δεδομένα Standard, υπάρχει η δυνατότητα συνδυασμού των παγχρωματικών και πολυφασματικών δεδομένων, παράγοντας έτσι έγχρωμα δεδομένα (pan sharpened) διακριτικής ικανότητας 0,6 ή 0,7m, ανάλογα την επιλογή του χρήστη. Τα δεδομένα Standard προσφέρονται και σε μορφή Standard Orthoready, όπου κατά την

επεξεργασία δεν έχει χρησιμοποιηθεί Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, και άρα είναι ιδανικά για περαιτέρω επεξεργασία ορθοαναγωγής.

Σήμερα ο QuickBird είναι ικανός να προσφέρει εικόνες ανάλυσης μισού μέτρου, με πολύ καλή γεωαναφορά και με μεγάλη χωρητικότητα όσο αφορά την αποθήκευση στοιχείων στο σκάφος για μετέπειτα μετάδοση τους στους επίγειους σταθμούς.

Επιπλέον, στο αρχείο που βρίσκεται στο digitalglobe.com γίνεται τακτική ενημέρωση των εικόνων μιας και ο δορυφόρος συλλέγει ολόχρονα πάνω από 75 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα απεικονίσεων της γήινης επιφάνειας. Στον πίνακα 5 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τα πλεονεκτήματα του δορυφόρου:

Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα
Αισθητήρες με πολύ μεγάλη διακριτική ικανότητα 60-cm (2-ft) πανγχρωματικός στο ναδίρ 2.4-m (8-ft) πολυφασματικός στο ναδίρ	Χρήση των εικόνων για δημιουργία χαρτών , ανίχνευση αλλαγών χρήσεων γης , και ανάλυση εικόνας
Ακρίβεια εικόνας Σταθερή πλατφόρμα για την ακριβή μέτρηση θέσης 3 αξονικός σταθεροποιητής	Γεωεντοπισμός εντός περιοχής 23 μέτρων και δημιουργία χαρτών σε απομακρυσμένες περιοχές χωρίς τη χρήση σημείων επίγειου ελέγχου
Γρήγορη συλλογή μεγάλου αριθμού δεδομένων Εικόνα πλάτους 16.5-km 128 Gbits χώρου αποθήκευσης	Συλλογή εικόνων με γοργούς ρυθμούς ανανέωσης.
Υψηλή ποιότητα εικόνας Μεγάλο εύρος πεδίου Μεγάλη αντίθεση (MTF) 11 bit δυναμικό εύρος	Μεγαλύτερη δυνατότητα απεικόνισης στόχων ακόμη και με χαμηλότερο φωτισμό διατηρώντας την ποιότητα της εικόνας.
Κβαντοποίηση	11 bits

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά δορυφόρου QuickBird.

3. Ψηφιακή Επεξεργασία Δορυφορικών Απεικονίσεων – Ταξινόμηση

3.1 Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων

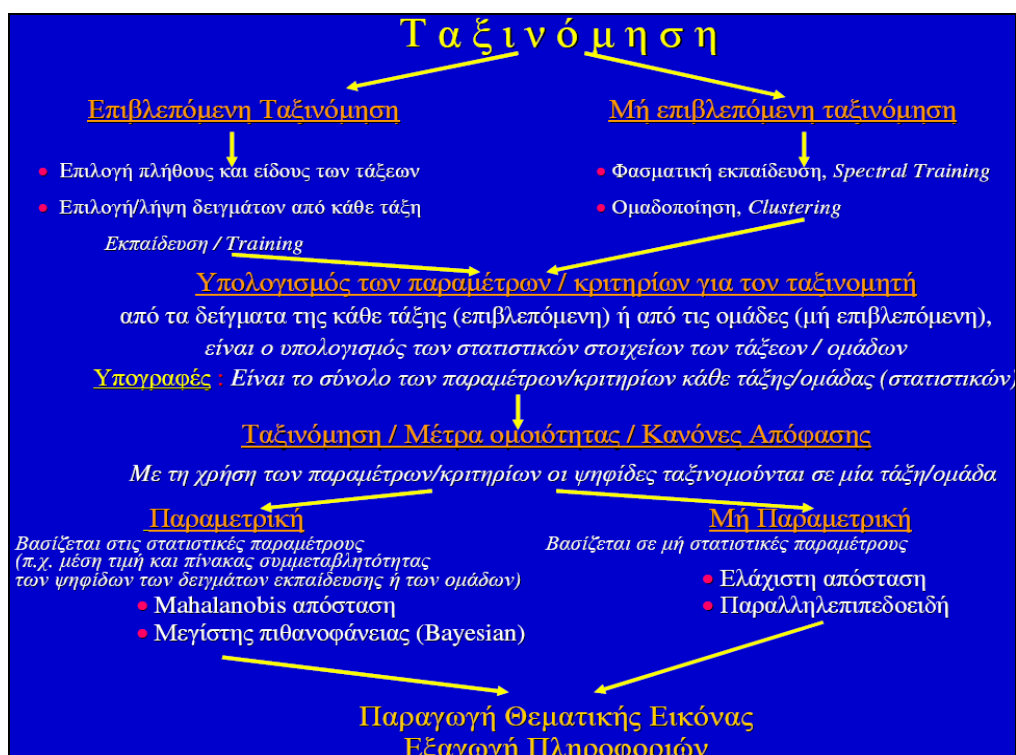
Οι μέθοδοι επεξεργασίας εικόνων περιλαμβάνουν τις οποιοσδήποτε μετατροπές εικόνων, καθώς και την ερμηνεία τους με τη βοήθεια υπολογιστή. Αυτή η μορφή Τηλεπισκόπησης πραγματικά άρχισε γύρω στο 1960 με ένα περιορισμένο αριθμό ερευνητών που προσπάθησαν να αναλύσουν πολυφασματικά δεδομένα εικόνων που ελήφθησαν από αερομεταφερόμενους πολυφασματικούς σαρωτές και ψηφιοποιημένες αεροφωτογραφίες. Όμως, δεν ήταν μέχρι το 1972, με την εκτόξευση του δορυφόρου Landsat-1 που οι ψηφιακές εικόνες διαδόθηκαν ευρέως πλέον για εφαρμογές Τηλεπισκόπησης. Μέχρι τότε, θα μπορούσε κανείς να πει, ότι όχι μόνο η θεωρία, αλλά και η πρακτική των ψηφιακών επεξεργασιών εικόνων ήταν στη νηπιακή ηλικία. Ακόμα δε, το κόστος των υπολογιστών ήταν πολύ μεγάλο, και η υπολογιστική αποτελεσματικότητά τους ήταν πολύ μικρή με τα σημερινά δεδομένα. Σήμερα, τα πράγματα έχουν αλλάξει. Υπολογιστές με μεγάλη υπολογιστική ισχύ έχουν προσιτές τιμές. Κανείς μπορεί να βρει αρκετά εύκολα, λογισμικό για την επεξεργασία εικόνων, σε προσιτές τιμές. Υπάρχει μία αφθονία και μία ποικιλία ψηφιακών δεδομένων. Οι πηγές των ψηφιακών δεδομένων περιλαμβάνουν, όχι μόνο τη γνωστή σειρά των δορυφόρων παρατήρησης της γης, δηλαδή του Landsat και SPOT, αλλά ακόμα και τους μετεωρολογικούς δορυφόρους, τους αερομεταφερόμενους σαρωτές, και ακόμα βέβαια, τα δεδομένα που λαμβάνονται από σάρωση υπαρχόντων αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων, καθώς και τα δεδομένα υψηλής διακριτικής ικανότητας από βιντεοκάμερες.

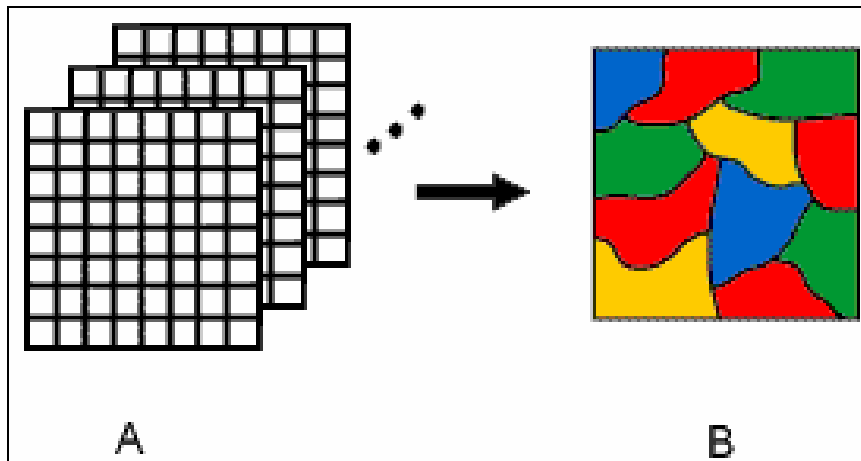
Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνων είναι ένα αντικείμενο πολύ ευρύ, και συχνά περιλαμβάνει επεξεργασίες που μπορεί να θεωρηθούν περίπλοκες από πλευράς μαθηματικών.

Η κεντρική ιδέα της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων είναι αρκετά απλή. Η ψηφιακή εικόνα τροφοδοτείται σε έναν αλγόριθμο κατά ένα εικονοστοιχείο κάθε φορά. Ο αλγόριθμος εισάγει αυτά τα δεδομένα σε μία εξίσωση ή σε μία σειρά από εξισώσεις, και τότε, αφού υπολογίσει το αποτέλεσμα αυτών των εξισώσεων, το αποθηκεύει για το κάθε εικονοστοιχείο. Αυτά τα αποτελέσματα για το κάθε εικονοστοιχείο σχηματίζουν μία νέα ψηφιακή εικόνα που μπορεί να απεικονιστεί ή να εκτυπωθεί ή να τύχει περισσότερης και επιπρόσθετης επεξεργασίας. Οι δυνητικές μορφές επεξεργασίας εικόνων είναι πράγματι άπειρες. Διόρθωση εικόνων και αποκατάσταση, Ενίσχυση εικόνων, Ταξινόμηση εικόνων, Συνδυασμός δεδομένων και Βιοφυσικά μοντέλα (Αργιαλάς, 2009).

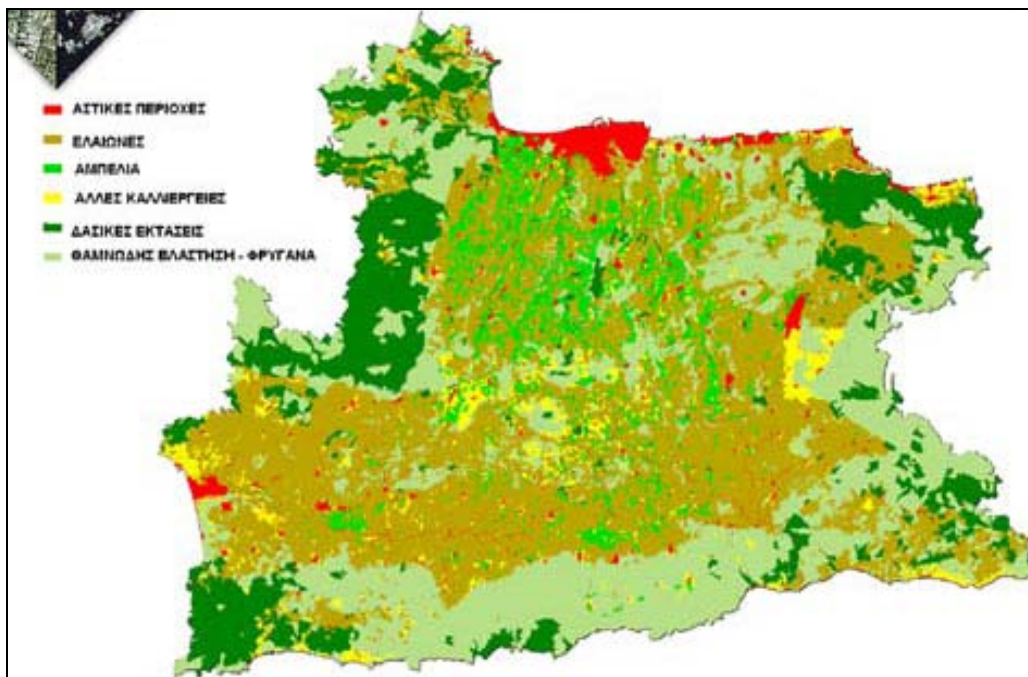
3.1.1 Ταξινόμηση

Ταξινόμηση εικόνων. Ο σκοπός αυτών των επεξεργασιών είναι η αντικατάσταση της Φωτοερμηνείας των εικόνων με ποσοτικές τεχνικές για την αυτοματοποίηση της αναγνώρισης διάφορων χαρακτηριστικών (θεματικών κατηγοριών, αντικειμένων) σε μια εικόνα. Σε γενικό πλαίσιο, αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν την ανάλυση, συνήθως πολυφασματικών εικόνων, και την εφαρμογή κανόνων απόφασης που βασίζονται στην στατιστική, για να προσδιορίσουν την κατηγορία χρήσης γης, που ανήκει το κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας. Όταν αυτοί οι κανόνες απόφασης βασίζονται στα φασματικά χαρακτηριστικά των δεδομένων, τότε αναφερόμαστε σε αυτή τη διαδικασία ταξινόμησης, σαν **φασματική αναγνώριση προτύπων**. Σε αντίθεση, οι κανόνες απόφασης μπορεί να βασίζονται στα γεωμετρικά σχήματα, μεγέθη και πρότυπα που υπάρχουν σε μια εικόνα και τότε αυτού του είδους η ταξινόμηση, αναφέρεται σαν τεχνική **χωρικής αναγνώρισης προτύπων**. Και στις δυο περιπτώσεις ο σκοπός της ταξινόμησης είναι η κατηγοριοποίηση όλων των εικονοστοιχείων μίας ψηφιακής εικόνας σε μια από ένα σύνολο τάξεων χρήσεων γης, θεματικών κατηγοριών ή αντικειμένων. Αυτά τα ταξινομημένα δεδομένα μπορούν βέβαια να χρησιμοποιηθούν για να παραχθούν θεματικοί χάρτες της κάλυψης γης που αντιστοιχεί σε μια εικόνα και /ή στο να παραχθούν στατιστικά δεδομένα που να αναφέρονται στις περιοχές της εικόνας που καλύπτονται από την κάθε κατηγορία εδαφοκάλυψης. Δίνουμε έμφαση στις **φασματικές τεχνικές αναγνώρισης προτύπων** διότι αυτές οι τεχνικές είναι πιο προχωρημένες σήμερα από ότι οι τεχνικές της χωρικής αναγνώρισης προτύπων. Για τις φασματικές τεχνικές αναγνώρισης προτύπων καλύπτουμε και τα δύο κύρια είδη τους, δηλαδή τις **επιβλεπόμενες** και τις **μη επιβλεπόμενες** τεχνικές.





Εικόνα 13: Με την ταξινόμηση γίνεται ο προσδιορισμός ομάδων εικονοστοιχείων με κοινά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 14: Θεματικός χάρτης που παράχθηκε ύστερα από ταξινόμηση πολυφασματικής εικόνας.

3.2 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση έχει ως σκοπό τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων ώστε να κατατάξει τα εικονοστοιχεία μίας απεικόνισης σε συγκεκριμένες θεματικές κατηγορίες, με χρήση των δεδομένων εκπαίδευσης που επιλέγονται από το χρήστη. Έχοντας διαθέσιμα τα δεδομένα εκπαίδευσης που χαρακτηρίζουν την κάθε τάξη και από τα οποία θα εκτιμηθούν οι φασματικές υπογραφές πριν την εκτέλεση του αλγόριθμου ταξινόμησης, ο χρήστης κατά κάποιον τρόπο “εκπαιδεύει” τον αλγόριθμο να αναγνωρίζει τα φασματικά χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας. Έτσι έχει επικρατήσει ο όρος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Μετά το πέρας της φάσης της εκπαίδευσης ο αλγόριθμος ταξινόμησης αποδίδει το κάθε εικονοστοιχείο στην κατάλληλη κατηγορία βάση των χαρακτηριστικών της κάθε τάξης. Πολλοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όπως οι αλγόριθμοι της ελάχιστης απόστασης, του παραλληλεπιπέδου, της μέγιστης πιθανοφάνειας κ.α..

3.2.1 Περιοχές εκπαίδευσης

Η καταγραφή των Περιοχών Εκπαίδευσης αποτελεί το σημαντικότερο κομμάτι της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Ο αναλυτής πρέπει να εντοπίσει και να καταγράψει αντιπροσωπευτικά εικονοστοιχεία για κάθε κατηγορία. Αν η τηλεπισκοπική απεικόνιση διαθέτει αρκετά ευδιάκριτες περιοχές, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει εικονοστοιχεία μέσω οπτικής επιθεώρησης. Συνήθως όμως, ο χρήστης πρέπει να καταφύγει σε επιπρόσθετες πηγές πληροφορίας, όπως επίγειες μετρήσεις (ground truth data), υπάρχοντες χάρτες κ.α..

Οι περιοχές που σημειώνονται πρέπει να αποτελούνται από ομογενή δείγματα των αντίστοιχων κατηγοριών, αλλά ταυτόχρονα πρέπει να περικλείουν και το φασματικό εύρος αυτών. Συνεπώς, τις περισσότερες φορές καταγράφονται παραπάνω της ενός Περιοχές Εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία.

3.2.2 Διαδικασία πριν την ταξινόμηση

Με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση αποβλέπουμε στην εξαγωγή των κυρίων φασματικών τάξεων οι οποίες εμφανίζονται σε μια δορυφορική τηλεπισκοπική εικόνα και την αναγνώριση και αναφορά τους σε πραγματικές τάξεις αντικειμένων της γήινης επιφάνειας με τη χρήση των φασματικών υπογραφών τους .

Γενικά για να εφαρμοστεί η επιβλεπόμενη ταξινόμηση θα πρέπει να ακολουθηθούν τα εξής βήματα:

- Οι εικόνες πρέπει να έχουν υποστεί γεωμετρική διόρθωση , και να έχουν κοπεί έτσι που να καλύπτουν μόνο το χώρο που μας ενδιαφέρει για μείωση του μεγέθους των εξαγομένων αρχείων
- Μετά πρέπει να επιλεγθούν περιοχές εκπαίδευσης πάνω στην εικόνα οι οποίες αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες θεματικές κατηγορίες. Αυτές οι περιοχές εκπαίδευσης θα πρέπει να καλύπτουν περίπου 1-3% της εικόνας

και να είναι όσο πιο ακριβείς γίνεται όσο αφορά τη φασματική τους υπογραφή. Οι περιοχές εκπαίδευσης θα υλοποιηθούν με ψηφιοποίηση πάνω στην δορυφορική εικόνα. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή και επανάληψη της διαδικασίας μέχρι να επιτευχθεί καλό αποτέλεσμα. Για να επιλεγθούν οι περιοχές επιβάλλεται να χρησιμοποιηθούν διάφορα έγχρωμα σύνθετα και λόγοι καναλιών, ανάλογα με τις περιστάσεις

- Ακολουθεί ο υπολογισμός και ανάλυση των φασματικών υπογραφών τους
- Έλεγχος των ελλείψεων των κατηγοριών για να αποφευχθεί τυχών αλληλοεπιτάλυση των φασματικών τους χώρων περισσότερο από 50%
- Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των στατιστικών της εικόνας
- Το κυριότερο βήμα είναι η επιλογή και εφαρμογή ενός αλγορίθμου ταξινόμησης επί της εικόνας
- Γίνεται έλεγχος της ακρίβειας της ταξινόμησης.
- Τελευταίο βήμα είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε μορφή θεματικών χαρτών, πινάκων και ψηφιακών εικόνων

3.2.3 Αλγόριθμος Μέγιστης Πιθανοφάνειας

Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας χρησιμοποιεί τα δεδομένα των περιοχών εκπαίδευσης για την εκτίμηση των κέντρων και της συνδιασποράς των φασματικών κατηγοριών, που έπειτα χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των πιθανοτήτων. Ο αλγόριθμος, για την υλοποίηση των ταξινομήσεων, εκτός από τις μέσες τιμές, λαμβάνει υπόψη και τη μεταβλητότητα των τιμών φωτεινότητας για κάθε φασματική κατηγορία. Όσο πιο ακριβής είναι η συλλογή των δεδομένων εκπαίδευσης, τόσο πιο ισχυρή και αποτελεσματική γίνεται η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας. Ένα πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής, είναι ότι παρέχει μία εκτίμηση των επικαλυπτόμενων περιοχών που μπορεί να προκύψουν, βασιζόμενη στα στατιστικά στοιχεία. Διαφέρει από τη μέθοδο του παραλληλεπιπέδου που χρησιμοποιεί μόνο τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των εικονοστοιχείων.

Η βάση του αλγορίθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας, όπως και άλλων στατιστικών αλγορίθμων, βρίσκεται στον υπολογισμό της παρακάτω πιθανότητας:

$$p(x_k | i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{|M_i|}} \exp\left(-\frac{1}{2} D^2\right)$$

όπου το $p(x_k | i)$ αντιπροσωπεύει την πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο k με διάνυσμα x_k να είναι μέλος της τάξης i , με M_i τον πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας για την κατηγορία i , και D^2 την απόσταση Mahalanobis μεταξύ του εικονοστοιχείου k και

του κεντροειδούς της κατηγορίας i . Σε μία τυπική εκτέλεση του αλγόριθμου, κάθε εικονοστοιχείο τοποθετείται σε εκείνη την κατηγορία με την οποία εμφανίζει τη μεγαλύτερη a posteriori πιθανότητα, η οποία υπολογίζεται από τον τύπο:

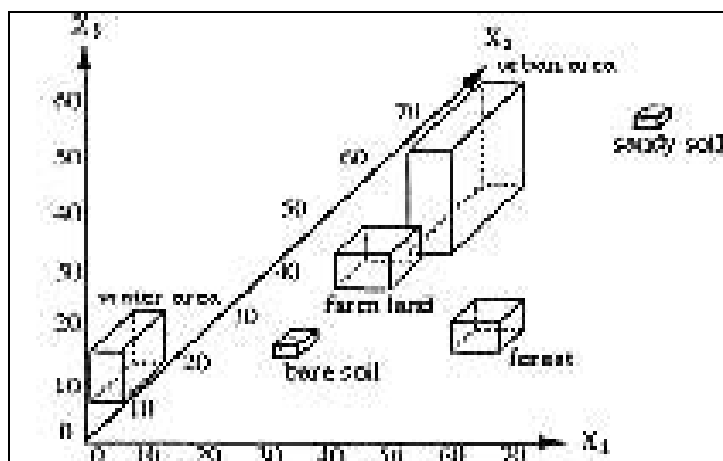
$$L(i | x_k) = \frac{P_i p(x_{k|i})}{\sum_{j=1}^c P_j p(x_k | j)}$$

όπου το $L(i | x_k)$ αντιπροσωπεύει την a posteriori πιθανότητα ένα pixel με διάνυσμα x_k να ανήκει στην κατηγορία i , P_i η a priori πιθανότητα για την κατηγορία i και c ο συνολικός αριθμός των κατηγοριών.

Η μέγιστη πιθανοφάνεια βασίζεται στην πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο να ανήκει σε μία συγκεκριμένη φασματική κατηγορία. Η βασική εξίσωση, υποθέτει πως αυτές οι πιθανότητες είναι ίσες για όλες τις κατηγορίες, και ότι τα ιστογράμματα των καναλιών που εισάγονται περιγράφονται από κανονικές κατανομές. Αν η υπόθεση αυτή δεν ισχύει, οι αλγόριθμοι του παραλληλεπιπέδου και της ελάχιστης απόστασης θα δώσουν πιθανώς καλύτερα αποτελέσματα.

3.2.4 Αλγόριθμος του Παραλληλεπιπέδου

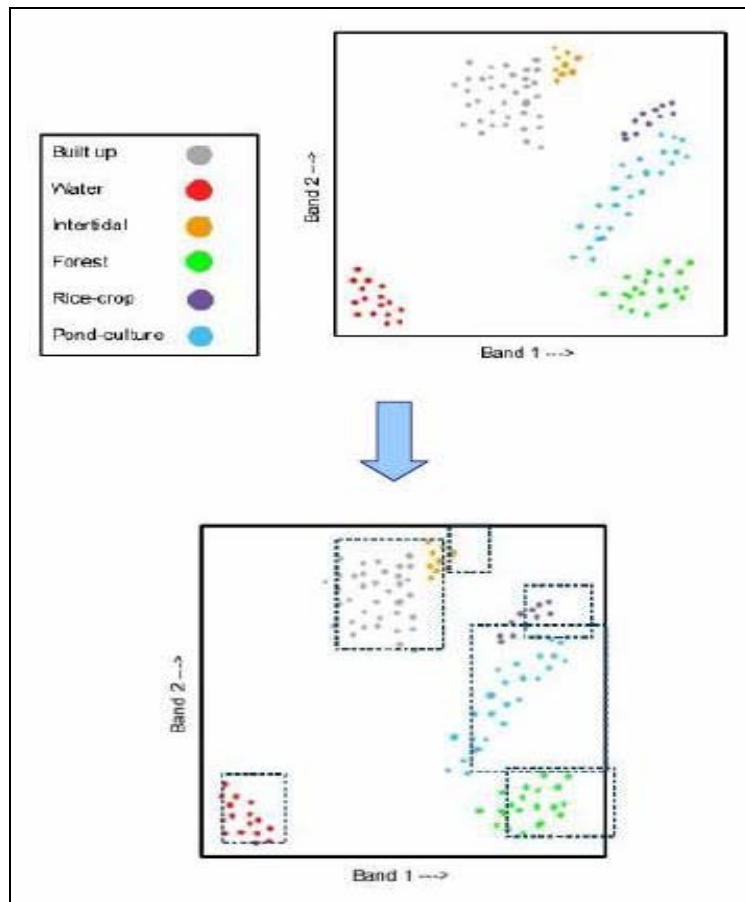
Ο αλγόριθμος του παραλληλεπιπέδου χρησιμοποιεί έναν απλό κανόνα απόφασης για την ταξινόμηση των δεδομένων. Με τη χρήση ενός ορίου (“κατώφλι”) για τη φασματική υπογραφή κάθε κατηγορίας, αποφασίζεται για κάθε εικονοστοιχείο αν περιέχεται σε κάποια κατηγορία ή όχι. Τα όρια αυτά, δημιουργούν ένα n -διάστατο παραλληλεπίπεδο στο φασματικό χώρο των δεδομένων, οι διαστάσεις του οποίου καθορίζονται από την τυπική απόκλιση που προκύπτει από τη μέση φασματική τιμή της κάθε επιλεγμένης κατηγορίας. Αν η τιμή ενός εικονοστοιχείου βρίσκεται πάνω από το χαμηλότερο “κατώφλι” και κάτω από το μεγαλύτερο για όλα τα κανάλια που ταξινομούνται (βρεθεί δηλαδή μέσα στο παραλληλεπίπεδο), καταχωρείται στην κατηγορία. Αν ένα pixel δε βρεθεί σε καμία κατηγορία, αυτό καταχωρείται στην τάξη 0 (code 0) και ορίζεται ως αταξινόμητο. Τέλος, αν το εικονοστοιχείο “πέσει” σε παραπάνω της μίας κατηγορίες, τοποθετείται στην κατηγορία της επικάλυψης (overlap class code 255).



Εικόνα 15: Το παραλληλεπίπεδο για κάθε κατηγορία καθορίζεται από μία ελάχιστη και μία μέγιστη τιμή για κάθε άξονα(Hodgson M.E., 1988).

Η ακρίβεια της ταξινόμησης με το συγκεκριμένο αλγόριθμο εξαρτάται από την επιλογή των χαμηλότερων και υψηλότερων τιμών για τον κάθε άξονα, επιλογή που βασίζεται κατά κύριο λόγο στη γνώση των στατιστικών στοιχείων για κάθε φασματική κατηγορία. Θεωρείται σημαντική δηλαδή, η κατανόηση της διασποράς των εικονοστοιχείων για όλες τις ομάδες που θα δημιουργηθούν.

Ένα απλό παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου του παραλληλεπιπέδου φαίνεται στην Εικόνα 16, με τη χρήση δύο μόνο καναλιών.



Εικόνα 16: Κάθε κατηγορία εδαφοκάλυψης καθορίζεται από ένα φασματικό “κουτί”. Κάποια παραλληλεπίπεδα επικαλύπτονται παρόλο που οι κατηγορίες είναι χωρικά διαχωρισμένες(Hodgson M.E., 1988).

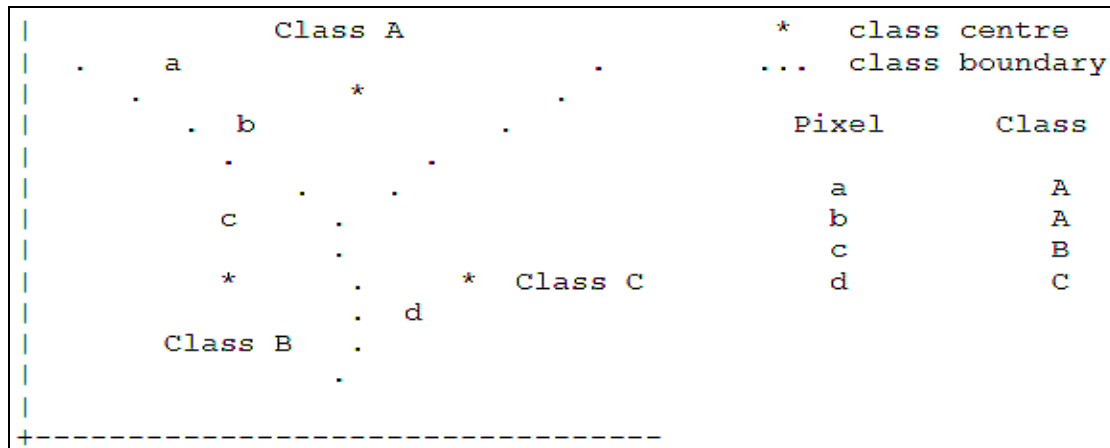
Στο παραπάνω παράδειγμα, παρατηρούμε πως ορισμένα εικονοστοιχεία εμφανίζονται σε περισσότερα από ένα φασματικά “κουτιά”. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη συσχέτιση των καναλιών σε ορισμένες κατηγορίες και μπορεί να ξεπεραστεί αλλάζοντας τις διαστάσεις των παραλληλεπιπέδων.

Συνήθως, ο αλγόριθμος του παραλληλεπιπέδου χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που απαιτείται ταχύτητα. Δυστυχώς, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις να υστερεί σε ακρίβεια και πολλά εικονοστοιχεία να παραμένουν αταξινόμητα ή να κατατάσσονται σε επικαλυπτόμενα παραλληλεπίπεδα.

3.2.5 Αλγόριθμος της Ελάχιστης Απόστασης

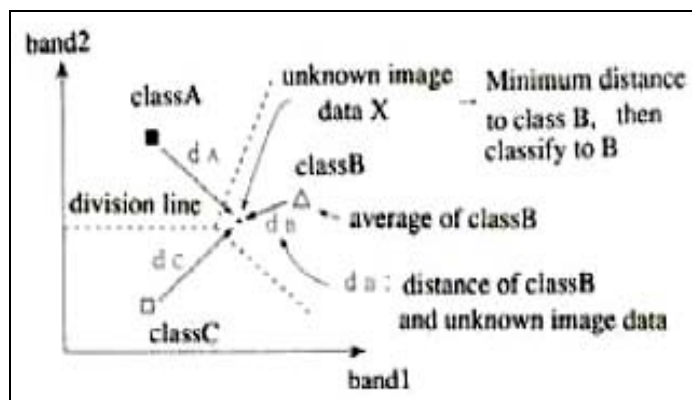
Η τεχνική της ελάχιστης απόστασης χρησιμοποιεί τα μέσα διανύσματα από κάθε “καθαρό” εικονοστοιχείο (στόχος/endmember) ή των περιοχών εκπαίδευσης που ο χρήστης έχει σχηματίσει και υπολογίζει την ευκλείδεια απόσταση του κάθε άγνωστου εικονοστοιχείου με το μέσο διάνυσμα(κέντρο) της κάθε φασματικής κατηγορίας. Όλα τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται στην κοντινότερη ομάδα, εκτός αν έχει οριστεί

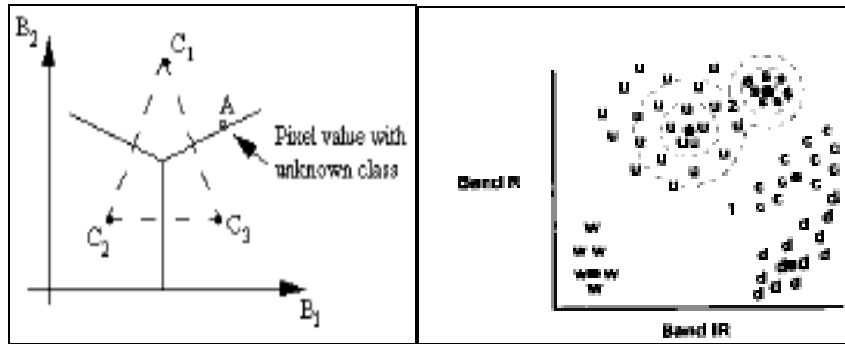
κάποια τυπική απόκλιση ή κάποιο “κατώφλι”. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει η πιθανότητα κάποια εικονοστοιχεία να μην ταξινομηθούν, αν δεν πληρούν τα προεπιλεγμένα κριτήρια που έχει θέσει ο χρήστης. Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται η ταξινόμηση τεσσάρων εικονοστοιχείων σε τρεις φασματικές κατηγορίες.



Εικόνα 17: Τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται στο κοντινότερο κέντρο φασματικής κατηγορίας (Hodgson M.E., 1988).

Ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά μετά την εφαρμογή της μεθόδου του παραλληλεπιπέδου, τεχνική που αφήνει συνήθως αταξινόμητα εικονοστοιχεία.





Εικόνα 18: Η μέθοδος της ελάχιστης απόστασης παίρνει pixels γνωστής ταυτότητας και έπειτα περιλαμβάνει σε αυτά τα κοντινότερα, ως εικονοστοιχεία εκπαίδευσης. Για την αξιολόγηση των δεδομένων εκπαίδευσης χρησιμοποιούνται δύο κανάλια, όπως στις περισσότερες μεθόδους (Hodgson M.E., 1988).

3.2.6 Απόσταση Mahalanobis

Η μέθοδος της απόστασης Mahalanobis χρησιμοποιεί τα στατιστικά στοιχεία κάθε φασματικής κατηγορίας για την υλοποίηση της ταξινόμησης. Είναι όμοια με την τεχνική της μέγιστης απόστασης με τη διαφοροποίηση ότι στην εξίσωσή της χρησιμοποιείται και ο πίνακας συμμεταβλητότητας. Διαφέρει δηλαδή από την Ευκλείδεια απόσταση στο γεγονός ότι λαμβάνει υπόψη τις συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων και είναι ανεξάρτητη από την κλίμακα των παρατηρήσεων.

Αλγεβρικά, η απόσταση Mahalanobis για ένα σύνολο τιμών με μέσο διάνυσμα $\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_N)^T$ και πίνακα συμμεταβλητότητας S για ένα πολυδιάστατο διάνυσμα $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)^T$ ορίζεται ως:

$$D_M(x) = \sqrt{(x - \mu)^T S^{-1} (x - \mu)}$$

Η απόσταση Mahalanobis μπορεί ακόμη να οριστεί ως μέτρο ανομοιότητας μεταξύ δύο τυχαίων διανυσμάτων x και y της ίδιας κατανομής με τον πίνακα συμμεταβλητότητας S ως:

$$d(\bar{x}, \bar{y}) = \sqrt{(\bar{x} - \bar{y})^T S^{-1} (\bar{x} - \bar{y})}$$

Για την εφαρμογή συνεπώς του αλγορίθμου στη διαδικασία ταξινόμησης ενός άγνωστου εικονοστοιχείου σε κάποια από τις φασματικές κατηγορίες, ο χρήστης πρέπει πρώτα να υπολογίσει τον πίνακα συμμεταβλητότητας για κάθε μία φασματική κατηγορία, βασιζόμενος στις περιοχές εκπαίδευσης που έχει επιλέξει. Το κάθε

άγνωστο εικονοστοιχείο ταξινομείται στην ομάδα από την οποία απέχει την ελάχιστη απόσταση. Υπάρχει η περίπτωση βέβαια, ο χρήστης να έχει επιλέξει κάποιο “κατώφλι” και κάποια εικονοστοιχεία να παραμείνουν αταξινόμητα.

3.3 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μία τεχνική της τηλεπισκόπησης που παρέχει αυτόματη ταξινόμηση κατηγοριών σε εικόνες. Ο όρος αναφέρεται στο γεγονός ότι ο χρήστης δεν έχει όλο τον έλεγχο της διαδικασίας. Δεν είναι ακριβώς μία μέθοδος στατιστικής ταξινόμησης. Υπάρχουν δύο κύριες πρακτικές μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης που θα εξετασθούν, με το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτούν προηγούμενη γνώση των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων της ψηφιακής απεικόνισης που είναι προς εξέταση. Η παραγωγή των νέων εικόνων βασίζεται στον φασματικό διαχωρισμό των στόχων και όχι σε κάποια πραγματική τιμή του στόχου στο έδαφος.

Σε αντίθεση με την επιβλεπόμενη, εδώ απαιτείται ελάχιστη εισαγωγή δεδομένων και παραμέτρων στη διαδικασία. Ο υπολογιστής και το περιβάλλον στο οποίο εργαζόμαστε “επιλέγουν” ομάδες εικονοστοιχείων βάση των φασματικών τους ιδιοτήτων και έπειτα ο χρήστης απλώς θα καταχωρίσει πληροφορίες(π.χ. όνομα, χρώμα) στις κατηγορίες που ο υπολογιστής δημιούργησε.

Η διαδικασία αυτή ενέχει πιθανούς κινδύνους για την αξιοπιστία του παραγόμενου αποτελέσματος. Πρώτον, κάποιες κατηγορίες μπορεί να μην έχουν νόημα, καθώς αποτελούν μίξη διαφορετικών αντικειμένων στην επιφάνεια της γης. Σε άλλες περιπτώσεις, μία κατηγορία μπορεί να χωριστεί σε δύο τάξεις. Συνεπώς χωρίς την προεπιλογή περιοχών εκπαίδευσης, χρειάζεται μεγάλη προσοχή και γνώση για την τελική ονομαστικοποίηση (labeling) των φασματικών κατηγοριών. Παρακάτω, αναλύονται δύο μέθοδοι μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης η ISODATA και η K-Means Clustering. Πριν γίνει όμως η λεπτομερής ανάλυση των δύο αυτών ταξινομήσεων, που περιέχονται σε όλα τα πακέτα λογισμικού, θα περιγραφεί ένας απλός αλγόριθμος για την κατανόηση των βασικών της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

3.3.1 Απλός αλγόριθμος ομαδοποίησης (Simple two-pass clustering algorithm)

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τον Jensen(1997) και ο αλγόριθμος δρα αλυσιδωτά και επαναληπτικά για δύο φορές(two-pass) στα δεδομένα, που προέρχονται κυρίως από πολυφασματικό σαρωτή. Στο πρώτο πέρασμα, δημιουργεί τις κατηγορίες(clusters), βασιζόμενο σε ένα υποσύνολο των δεδομένων και στη δεύτερη επανάληψη, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης, εντάσσει τα αταξινόμητα εικονοστοιχεία σε κάθε μία από τις ομάδες που δημιουργήθηκαν στο πρώτο βήμα.

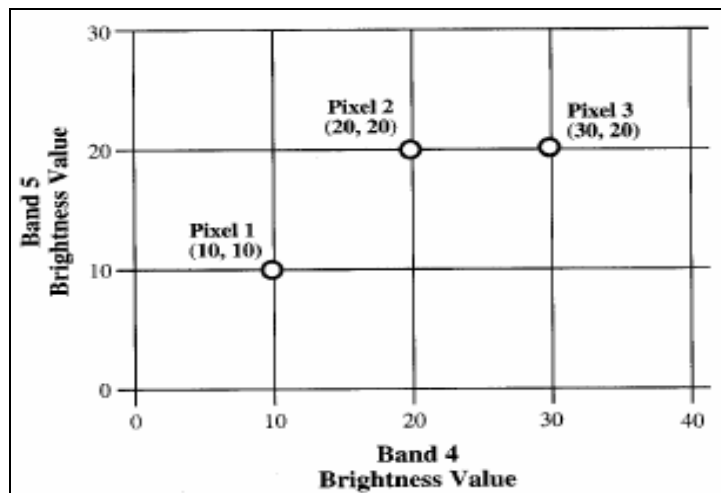
Παρόλο που η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μία σχεδόν αυτόματη διαδικασία, ο χρήστης απαραίτητα πρέπει να προμηθεύσει το σύστημα με κάποιες σημαντικές παραμέτρους, όπως:

1. Το μέγιστο αριθμό κατηγοριών
2. Τον αριθμό των εικονοστοιχείων(pixels) που πρόκειται να αξιολογηθούν πριν αποφασιστεί σε ποια τάξη θα συμπεριληφθούν
3. Την ακτινική απόσταση στο φασματικό χώρο πέραν της οποίας μία καινούργια κατηγορία σχηματίζεται
4. Τη φασματική απόσταση στην οποία δύο ομάδες συγχωνεύονται

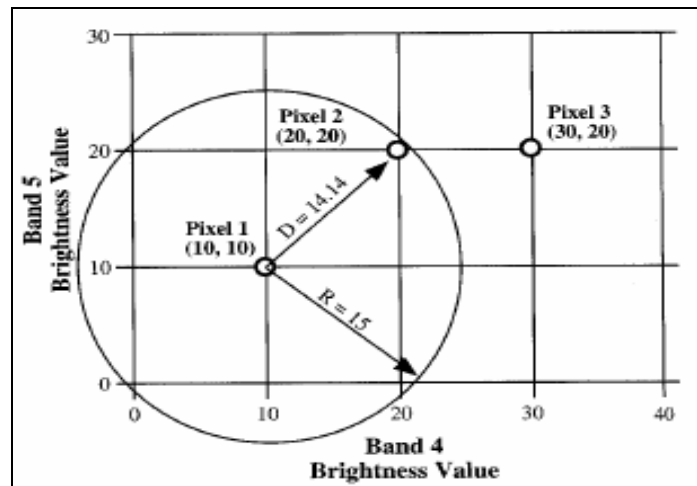
Η όλη διαδικασία παρουσιάζεται παρακάτω:

Βήμα 1^ο : Καθορισμός κατηγοριών

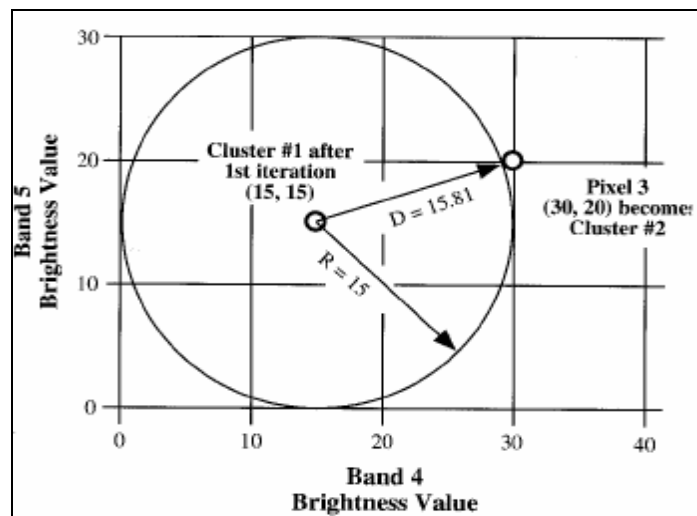
- i) Το μέσο της πρώτης κλάσης είναι το διάνυσμα του πρώτου εικονοστοιχείου(pixel 1).



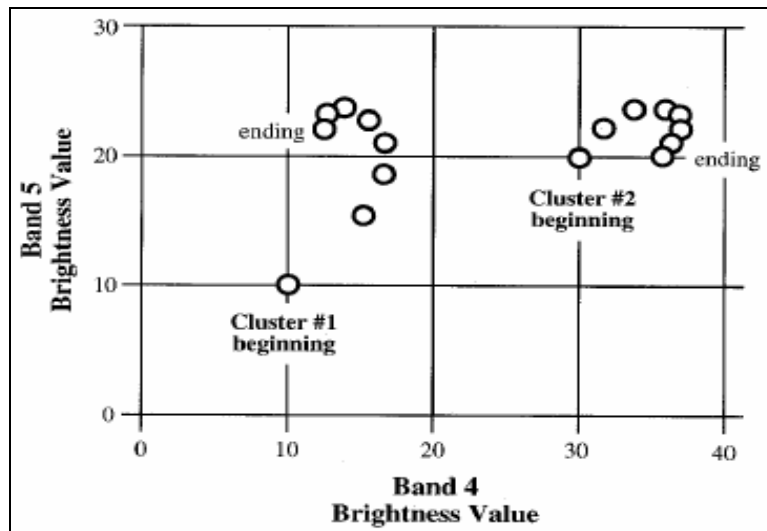
- ii) Μελετούμε το διάνυσμα του δεύτερου pixel. Αν κείται έξω από την προκαθορισμένη απόσταση για τη δημιουργία νέας κατηγορίας, σχηματίζει το μέσο για τη δεύτερη κλάση, ειδάλλως παραμένει στην πρώτη τάξη που δημιουργήθηκε προηγουμένως.



iii) Αν βρεθεί ότι βρίσκεται μέσα στην πρώτη κατηγορία, τότε οι μέσες τιμές για το κάθε κανάλι της πρώτης τάξης αναπροσαρμόζονται αναλόγως, με τη συμμετοχή του νέου εικονοστοιχείου. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται με το επόμενο pixel...



iv) Οι ομάδες συνεχίζουν να υπολογίζονται έως ότου ο αριθμός των pixels που έχουν εκτιμηθεί ξεπεράσει το καθορισμένο όριο που έχει θέσει ο χρήστης στην αρχή. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου τα μέσα των κατηγοριών θα έχουν μετακινηθεί από την αρχική τους θέση σε κάποια τελική, ελπίζοντας αυτή να είναι και η πιο αντιπροσωπευτική.



Βήμα 2^ο : Εισαγωγή εικονοστοιχείων, βασιζόμενη στο κριτήριο της ελάχιστης απόστασης, σε κάποια από τις κατηγορίες. Κυρίως, δύο τύποι της ελάχιστης απόστασης χρησιμοποιούνται. Η πρώτη είναι η Ευκλείδεια απόσταση και η δεύτερη η απλούστερη εκτίμηση της απόστασης, γνωστή και ως “round the block”.

Με το πέρας της διαδικασίας και τη δημιουργία των κατηγοριών, είναι στην ευχέρεια του χρήστη η αναγνώριση των κλάσεων και η εισαγωγή ποιοτικής πληροφορίας σε αυτές.

3.3.2 Ο αλγόριθμος ISODATA

Πιθανότατα η πιο συνηθισμένη μέθοδος ταξινόμησης είναι ο επαναληπτικής βελτιστοποίησης αλγόριθμος ανάλυσης συσσωρεύσεων (ISODATA) (Αργιαλάς 1997). Η ISODATA είναι μία επαναληπτική μέθοδος μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Αναπτύχθηκε βάση εμπειρικής γνώσης που αποκτήθηκε μέσω πειραματικών διαδικασιών και δεν απαιτεί την παρέμβαση του χρήστη σε σημαντικό βαθμό. Ενώ οι εφαρμογές της μεθόδου διαφέρουν, υπάρχουν κάποιοι σταθεροί παράμετροι που ο χρήστης χρειάζεται να εισάγει. Αυτές είναι:

1. Ο μέγιστος αριθμός κατηγοριών που θα αναγνωριστούν
2. Το μέγιστο ποσοστό των εικονοστοιχείων που οι τιμές τους επιτρέπεται να παραμείνουν αμετάβλητες μεταξύ των επαναλήψεων. Όταν ο αριθμός των αλλαγμένων pixels υπερβεί αυτό το κατώφλι, ο αλγόριθμος τερματίζεται. Κάποιες φορές βέβαια το όριο αυτό είναι ανέφικτο
3. Ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων. Απαιτείται εξαιτίας του (2). Με το πέρας αυτών ο αλγόριθμος τερματίζεται
4. Ελάχιστος αριθμός “μελών” σε μία κατηγορία. Αντιπροσωπεύεται με ποσοστό. Αν μία κατηγορία έχει μικρότερο ποσοστό pixels από το

καθορισμένο, η ομάδα απαλείφεται και τα εικονοστοιχεία της απορροφούνται από άλλες, διαφορετικές κατηγορίες. Η τιμή όμως επηρεάζει και το αν μία κατηγορία θα χωριστεί σε δύο

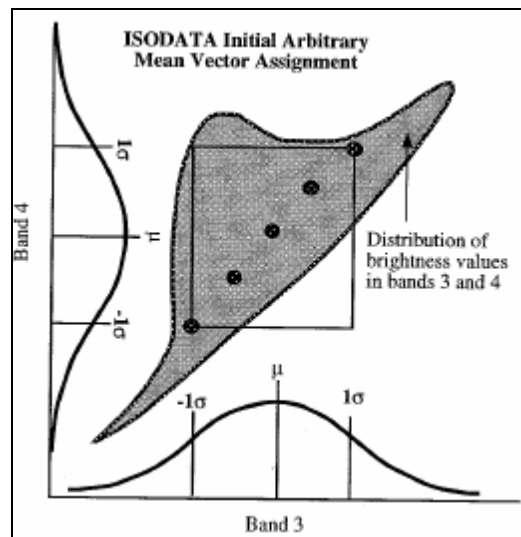
5. Μέγιστο τυπικό σφάλμα(σ). Όταν το τυπικό σφάλμα για μία κατηγορία ξεπεράσει αυτή την τιμή και ο αριθμός των “μελών” της είναι τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερος από το ελάχιστο απαιτούμενο όριο για τη δημιουργία κατηγορίας, τότε η κατηγορία χωρίζεται στα δύο. Τα νέα μέσα διανύσματα είναι τα παλιά $\pm 1\sigma$

6. Τιμή διαχωρισμού(split separation value). Αν η τιμή καθοριστεί, θα αντικαταστήσει το τυπικό σφάλμα στον προσδιορισμό της θέσης των νέων μέσων διανυσμάτων(\pm -τιμή διαχωρισμού)

7. Ελάχιστη απόσταση μεταξύ των κέντρων των φασματικών κατηγοριών. Φασματικοί χώροι που δεν απέχουν παραπάνω της απόστασης αυτής συγχωνεύονται. Συνηθισμένη τιμή 3.0

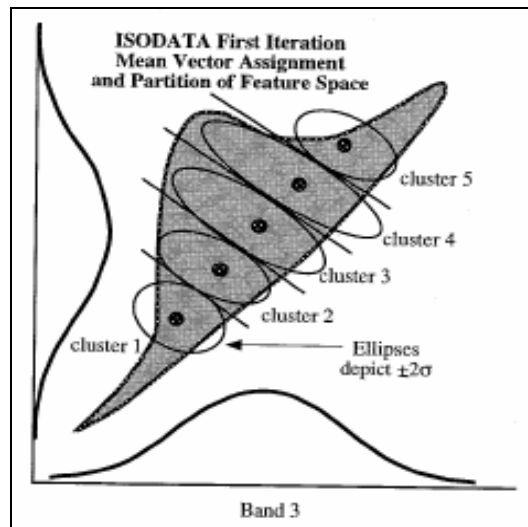
Βήμα 1ο : Αρχική Εκτίμηση

Αρχικά, δημιουργούνται οι μέσες τιμές για κάθε φασματική κατηγορία χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή και το τυπικό σφάλμα σε κάθε κανάλι της εικόνας. Τα κέντρα των ομάδων pixels, συνήθως τοποθετούνται στις μέσες τιμές του κάθε καναλιού, με απόκλιση $\pm \sigma$, της μέσης τιμής. Αυτό γίνεται για να διασφαλιστεί ότι οι φασματικές κατηγορίες δεν θα επηρεαστούν από τις τιμές των δεδομένων στις πρώτες λίγες γραμμές της εικόνας, όπως μπορεί να προκύψει με τα όσα ειπώθηκαν παραπάνω με την τεχνική της ταξινόμησης. Κάποιες εφαρμογές της ISODATA επιτρέπουν στο χρήστη να επιλέξει τις αρχικές θέσεις των κατηγοριών, αν έχει κάποια στοιχεία για την κατανομή των δεδομένων.



Βήμα 2^ο : Πρώτη Επανάληψη

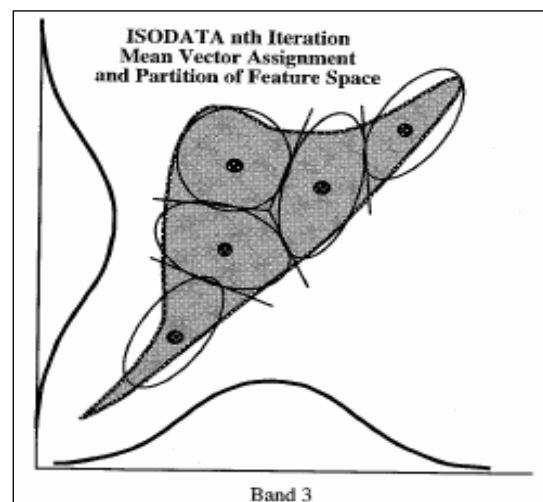
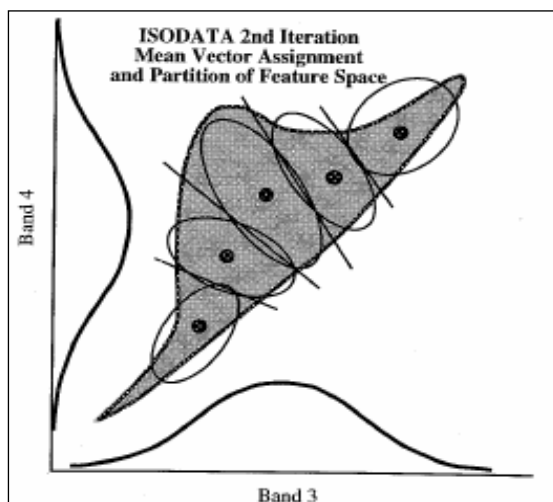
Στην πρώτη επανάληψη ταξινόμησης, όλα τα εικονοστοιχεία τοποθετούνται στην κατηγορία που βρίσκεται πιο κοντά (minimum distance) . Η διαδικασία αυτή δημιουργεί ένα χάρτη ταξινόμησης.



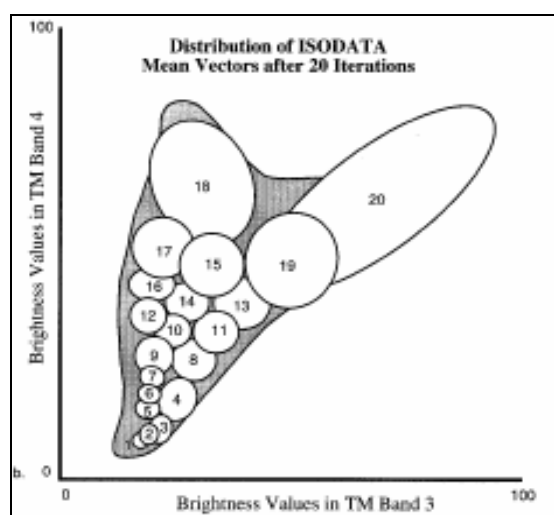
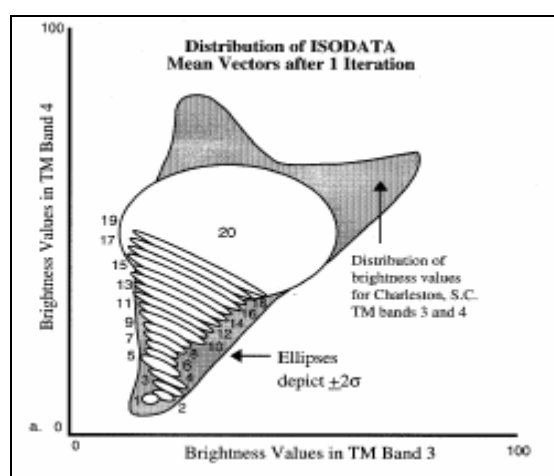
Βήμα 3^ο : Δεύτερη έως ν-οστή επανάληψη

Μετά την πρώτη, μια νέα μέση τιμή υπολογίζεται για κάθε φασματική κατηγορία, βασισμένη στην πραγματική φασματική θέση, αντί των αρχικών υπολογισμών. Αυτό που συμβαίνει έπειτα εξαρτάται από την πραγματική διασπορά των δεδομένων. Οι φασματικές κατηγορίες μπορεί να διασπαστούν ή να συγχωνευθούν. Μετά από κάθε διαχωρισμό ή συγχώνευση, τα μέσα των ομάδων των εικονοστοιχείων υπολογίζονται ξανά και τα pixels προσχωρούν εκ νέου σε κατηγορίες βάση του κριτηρίου της ελάχιστης απόστασης.

Η διαδικασία αυτή θα συνεχιστεί, έως ότου το ποσοστό των μη ταξινομημένων εικονοστοιχείων φτάσει το προκαθορισμένο κατώφλι(threshold) ή ολοκληρωθεί ο μέγιστος αριθμός των επαναλήψεων.



Αποτελέσματα ISODATA



Ένα τυπικό πρόβλημα σε μία μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι ότι ένας συγκεκριμένος λόγος φασματικών κατηγοριών που δημιουργούνται, δεν μπορούν να χαρακτηριστούν και να ονομαστούν ποιοτικές κατηγορίες. Ο χρήστης είναι δυνατό να προσδώσει σε αυτές, ποιοτικές πληροφορίες (cluster busting), αν για κάποιο λόγο επιπρόσθετες χρήσιμες μη εξαχθείσες πληροφορίες εξακολουθούν να υπάρχουν.

Η διαδικασία του «cluster busting» επιτυγχάνεται με τον εξής τρόπο: Τα εικονοστοιχεία που ανήκουν σε μη αναγνωρίσιμες φασματικές κατηγορίες εξαγονται από την εικόνα χρησιμοποιώντας μια «binary mask». Σε αυτά τα ανεξάρτητα εικονοστοιχεία «τρέχουμε» μία μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση για να δούμε αν αυτά ενταχθούν σε κάποια γνωστή ομάδα. Τα νέα ομαδοποιημένα pixels προστίθενται πάλι στην αρχική εικόνα. Αν απομένουν «ανένταχτα» εικονοστοιχεία, η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

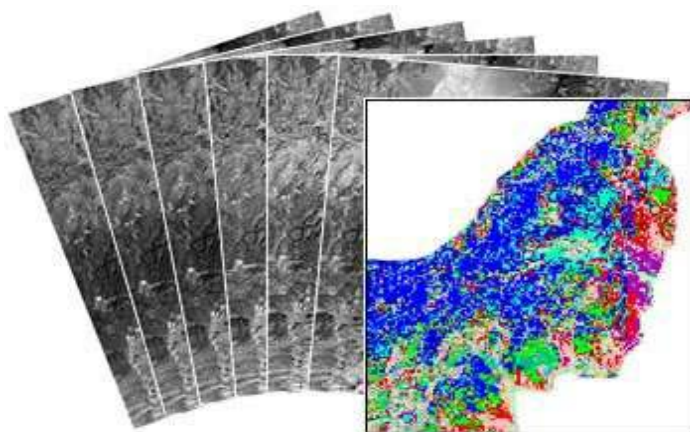
3.3.3 Ο αλγόριθμος K-Means Clustering

Αυτή η τεχνική της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, που χρησιμοποιείται λιγότερο, καθώς δεν προσφέρει σημαντικά αποτελέσματα σε σχέση με τον αλγόριθμο ISODATA, χρησιμοποιεί μια απλή προσέγγιση για το διαχωρισμό των φασματικών κατηγοριών και απαιτεί από το χρήστη, την επιλογή του αριθμού των ομάδων που θα δημιουργηθούν από τα δεδομένα. Ο αλγόριθμος έπειτα αυθαίρετα, εντοπίζει τα κέντρα των κατηγοριών και τελικά μετά από μια επαναληπτική διαδικασία τα επαναπροσδιορίζει, έως ότου επιτευχθεί ένας ικανοποιητικός φασματικός διαχωρισμός.

Δεν υπάρχει η εφαρμογή κάποιας ρουτίνας που να υποδεικνύει ποιος είναι ο “σωστός” αριθμός φασματικών κατηγοριών που πρέπει να δημιουργηθούν σε αυτή τη διαδικασία ταξινόμησης. Εξαρτάται απόλυτα δηλαδή, από την αρχική εκτίμηση του χρήστη ή το τελικό επίπεδο λεπτομέρειας το οποίο επιθυμούμε να αποκτήσουμε.

3.4 Υβριδική Ταξινόμηση

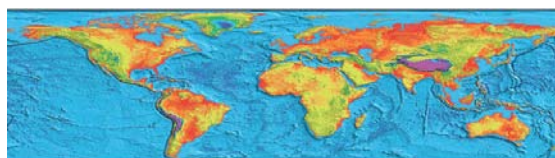
Η υβριδική ταξινόμηση, με την έννοια που χρησιμοποιείται στη ψηφιακή ανάλυση εικόνων, είναι η μέθοδος που συνδυάζει τη μη επιβλεπόμενη με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση και μάλιστα κατ’ αυτή τη σειρά. Έτσι, η πρώτη μας βοηθάει να ορίσουμε τις φασματικές κατηγορίες που ενυπάρχουν στην πολυφασματική εικόνα και η δεύτερη μας βοηθάει στο να αντιστοιχήσουμε αυτές τις φασματικές κατηγορίες με θεματικές τάξεις. Ας αναφέρουμε τέλος ότι, στην συντακτική ή δομική αναγνώριση προτύπων, ο όρος υβριδική ταξινόμηση υπονοεί συνδυασμό της μαθηματικής και της συντακτικής (ή δομικής) αναγνώρισης προτύπων. (Αργιιάς 1998)



3.5 Το λογισμικό ERMapper

Το ERMapper αποτελεί ένα λογισμικό το οποίο έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει τα δεδομένα της εικόνας, ώστε να τονίσει και να εξάγει λεπτομερειακή πληροφορία, πράγμα που δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί με τις κλασσικές αναλογικές τεχνικές ερμηνείας. Αυτός είναι ο λόγος που έχει καταστήσει την επεξεργασία της εικόνας σε ένα τόσο ισχυρό εργαλείο για όλα τα είδη εφαρμογών των επιστημών της γης.

Αναγνωρίζοντας τους έμφυτους περιορισμούς στο λογισμικό της κλασσικής επεξεργασίας εικόνας, οι δημιουργοί του ERMapper ανέπτυξαν μια εντελώς νέα προσέγγιση. Αντί να γράφεται ένα αρχείο στο δίσκο για κάθε βήμα επεξεργασίας, το ERMapper επιτρέπει το συνδυασμό πολλών διαδικασιών επεξεργασίας σε ένα μοναδικό βήμα και την απόδοση των αποτελεσμάτων απ' ευθείας στην οθόνη του υπολογιστή σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Στο ERMapper, το σύνολο των βημάτων επεξεργασίας που εφαρμόζετε στα δεδομένα σας, ονομάζεται "αλγόριθμος". Με το ERMapper, μπορεί να αποθηκευτεί μόνο μια περιγραφή των βημάτων επεξεργασίας που επιθυμείται να εφαρμοστεί στα δεδομένα (ο αλγόριθμος) και όχι ξεχωριστά επεξεργασμένα αντίγραφα του αρχικού αρχείου ράστερ. Αποθηκεύοντας τα βήματα επεξεργασίας ξεχωριστά από τα ίδια τα δεδομένα, η επεξεργασία εικόνας γίνεται ταχύτερη, ευκολότερη στην εκμάθηση και περισσότερο αλληλεπιδραστική. Εάν χρειαστεί μπορεί να αποθηκευτεί η επεξεργασμένη εικόνα σε μια πληθώρα μορφών συμπεριλαμβανομένου και της ERMapper Raster Dataset.



ER Mapper

Οι αλγόριθμοι στο ERMapper μπορούν να χρησιμοποιηθούν για απλή παρουσίαση των δεδομένων ή για πολύπλοκη επεξεργασία και μοντελοποίηση διαδικασιών που περιλαμβάνουν πολλές εικόνες, μετασχηματισμός δεδομένων και επικαλύψεις από πολλά είδη δεδομένων. Παραδείγματα συνηθισμένων διαδικασιών επεξεργασίας εικόνας που γίνονται πολύ ευκολότερες με τη χρήση αλγορίθμων περιλαμβάνουν: σύζευξη εικόνων (σύντηξη δεδομένων), μωσαϊκό εικόνων και οποιοδήποτε είδος μαθηματικού μετασχηματισμού όπως λόγος καναλιών, κύριες συνιστώσες, μετασχηματισμοί Tasseled Cap και άλλες.

Η σχεδίαση των αλγορίθμων επιτρέπει ακόμη στο ERMapper να διαχειριστεί τις δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης της επόμενης γενιάς με αποτελεσματικότερο τρόπο σε σχέση με τα κλασσικά συστήματα. Αυτά τα σύνολα δεδομένων χωρικής ανάλυσης ένα με τρία μέτρα θα έχουν μεγάλα μεγέθη αρχείων για τη περιοχή που καλύπτουν, με αποτέλεσμα η ελαχιστοποίηση της ανάγκης εγγραφής στο δίσκο επεξεργασμένων αντιγράφων των δεδομένων να είναι πολύ σημαντικό σημείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Η βελτίωση της εικόνας (image enhancement) αναφέρεται σε οποιαδήποτε από τα πολλά είδη διαδικασιών επεξεργασίας εικόνας που χρησιμοποιούνται για τη ψηφιακή επεξεργασία των δεδομένων εικόνας για την υποβοήθηση της οπτικής ερμηνείας ή για την εξαγωγή ποσοτικής πληροφορίας κατανοητής από το χρήστη. Η βελτίωση της εικόνας είναι αυτό που συχνά πολλοί άνθρωποι θεωρούν ως 'επεξεργασία εικόνας'.

Στο ERMapper, οι διαδικασίες βελτίωσης εικόνας απλοποιούνται σε μεγάλο βαθμό από την έννοια της επεξεργασίας 'αλγορίθμου'. Σχεδόν όλα τα είδη διαδικασιών βελτίωσης εικόνας μπορούν να εφαρμοστούν και να απεικονισθούν σε πραγματικό χρόνο παρέχοντας πραγματικό αλληλεπιδραστικό έλεγχο χωρίς την εγγραφή προσωρινών αρχείων στο δίσκο.

3.5.1 Εφαρμογή των μεθοδολογιών ταξινόμησης στο λογισμικό ERMapper

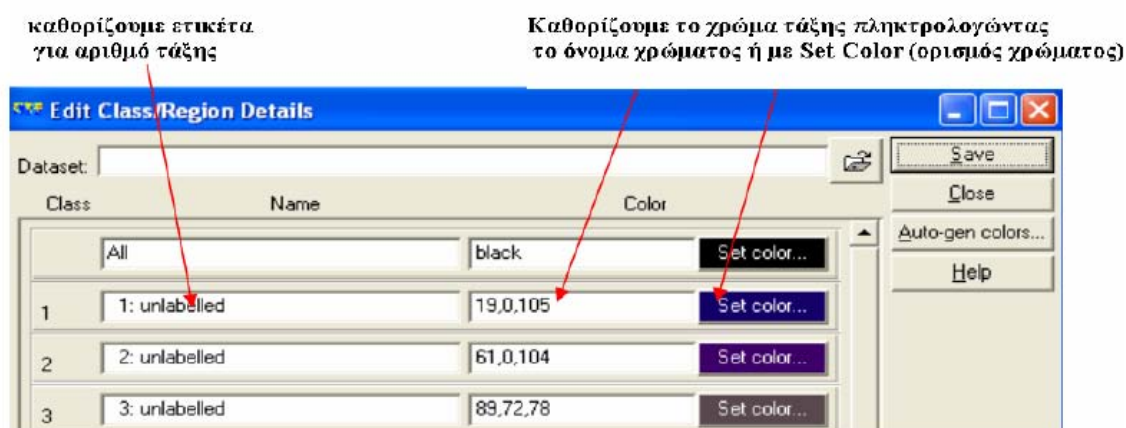
Αφού καθοριστούν με φωτοερμηνεία, της εικόνας προς επεξεργασία, οι κυρίαρχες κατηγορίες κάλυψης εδάφους της περιοχής μελέτης ή οι κατηγορίες που ενδιαφέρουν τον χρήστη, ακολουθεί η ψηφιοποίηση τους. Η ψηφιοποίηση των περιοχών γίνεται με την ακόλουθη διαδικασία:

Αφού ανοίξουμε την εικόνα που θέλουμε να ταξινομήσουμε, από το κύριο μενού του ERMapper επιλέγουμε *Edit* και από την πτυσσόμενη λίστα που εμφανίζεται επιλέγουμε *Edit /Create Region*. Με τον τρόπο αυτό ανοίγει το πλαίσιο διαλόγου *New Map Composition*. Στο διάλογο αυτό είναι επιλεγμένη η εντολή *Raster Region*. Αυτή η εντολή λέει στο ERMapper ότι θα χρησιμοποιήσουμε μια ψηφιακή εικόνα για να δημιουργήσουμε πολύγωνα.

Πατάμε *OK* στο πλαίσιο διαλόγου *New Map Composition*. Το ERMapper ανοίγει το πλαίσιο διαλόγου της παλέτας *Tools* που περιέχει ένα σύνολο από εργαλεία που θα μας βοηθήσουν να δημιουργήσουμε κατηγορίες εκπαίδευσης (πολύγωνα). Παρατηρούμε επίσης ότι η νέα διανυσματική επικάλυψη με τίτλο 'Region Layer', έχει προστεθεί στη λίστα των επικαλύψεων στο παράθυρο *Algorithm*.

Στο διάλογο παλέτας *Tools* πατάμε το κουμπί *ZoomBox Tool* και μεγεθύνουμε ένα μέρος της εικόνας όπου θα δημιουργήσουμε μία κατηγορία. Στο διάλογο παλέτας *Tools* πατάμε το κουμπί *Polygon* και σχεδιάζουμε ένα πολύγωνο πατώντας αριστερό κλικ μία φορά για κάθε κορυφή του και πατώντας δεξί κλικ για να κλείσει. Για να καθορίσουμε το όνομα και το χρώμα μιας κατηγορίας, από το κύριο μενού του ERMapper επιλέγουμε *Edit* και στη συνέχεια από την πτυσσόμενη λίστα που εμφανίζεται επιλέγουμε *Edit Class/Region Color and Name...*

Εμφανίζεται με τον τρόπο αυτό το πλαίσιο διαλόγου "Edit Class/Region Color and Name..." που φαίνεται στην εικόνα 19.



Εικόνα 19: Το πλαίσιο διαλόγου Edit Class/Region Detail. Στο πλαίσιο αυτό μπορούμε να καθορίσουμε το όνομα της κάθε κατηγορίας καθώς επίσης και το χρώμα της.

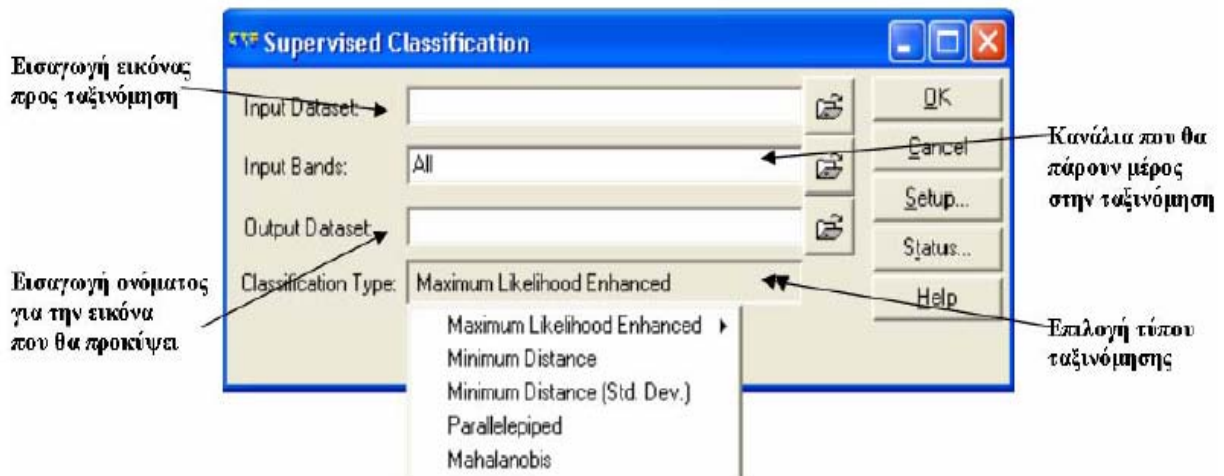
Με τον τρόπο που περιγράψαμε, ψηφιοποιούμε όλες τις περιοχές. Τα πολύγωνα που δημιουργήθηκαν φαίνονται στην Εικόνα 20.

Για να αποθηκεύσουμε τις περιοχές στο διάλογο παλέτας *Tools* πατάμε το κουμπί *Save As...* , το αποθηκεύουμε και κατόπιν πατάμε *Close* στους διάλογους παλέτας *Tools* και *Composition*.



Εικόνα 20: Τα πολύγωνα που δημιουργήθηκαν για τις κυριότερες κατηγορίες.

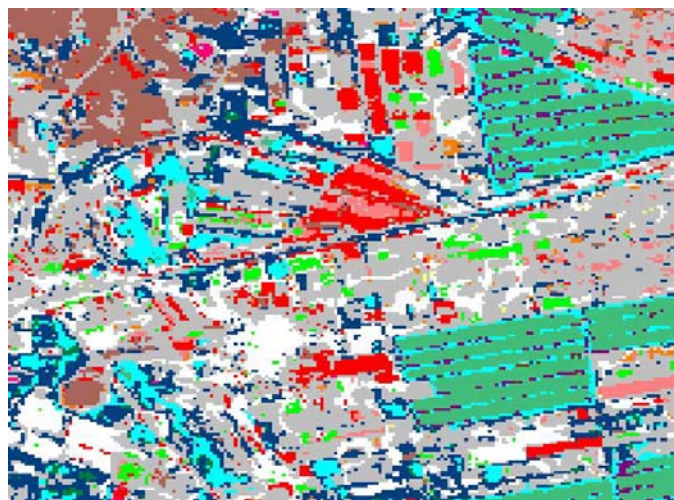
Το επόμενο στάδιο, αφού υπολογιστούν τα στατιστικά στοιχεία που αφορούν τα επιλεγμένα πολύγωνα και τις κατηγορίες που αντιπροσωπεύουν και γίνει και ο έλεγχος των φασματικών υπογραφών, είναι η εφαρμογή του κατάλληλου αλγορίθμου ταξινόμησης για να αποδοθεί το κάθε εικονοστοιχείο στη κατάλληλη κατηγορία, βάση των χαρακτηριστικών (φασματικών υπογραφών) του. Από το μενού *Process* επιλέγουμε *Classification* και στη συνέχεια *Supervised*, αν θέλουμε να γίνει επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Με τον τρόπο αυτό ανοίγει το πλαίσιο διαλόγου *Supervised Classification*. Ο διάλογος αυτός μας επιτρέπει να επιλέξουμε τα κανάλια της εικόνας που θα χρησιμοποιήσουμε για την ταξινόμηση καθώς επίσης και τον τύπο της (Εικόνα 21).



Εικόνα 21: Το πλαίσιο διαλόγου της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Στο κάτω μέρος της εικόνας φαίνεται το παράθυρο από το οποίο γίνεται η επιλογή της μεθόδου ταξινόμησης που επιθυμεί ο χρήστης π.χ. Μεγίστης Πιθανοφάνειας, Ελάχιστης Απόστασης....

Πατώντας την πτυσσόμενη λίστα *Classification type* μπορούμε να δούμε την λίστα με τους ταξινομητές που παρέχει το ERMapper. Αυτοί είναι: η Μέγιστης Πιθανοφάνειας, η Ελάχιστης Απόστασης, η Ελάχιστης Απόστασης με τυπική απόκλιση, του Παραλληλεπιπέδου, η Mahalanobis.

Για παράδειγμα: Από το μενού *Classification Type/Maximum Likelihood Enhanced* επιλέγουμε *Maximum Likelihood* και πατάμε το κουμπί *Setup*. Ανοίγει το πλαίσιο διαλόγου *Supervised Classification Setup*. Εκεί μπορούμε να ρυθμίσουμε τις επιλογές που θα χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση όπως ποιες κατηγορίες εκπαίδευσης θα χρησιμοποιηθούν, εισαγωγές πιθανοτήτων νέων τάξεων κ.α. Το κλείνουμε πατώντας *Close*. Πατώντας *OK* ξεκινάει η ταξινόμηση.



Εικόνα 22: Αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου της Μεγίστης Πιθανοφάνειας σε δορυφορική εικόνα Landsat.

4. Εφαρμογές στο περιβάλλον Wiki του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Ε.Μ. Πολυτεχνείου

Ένα **Wiki** είναι συνήθως μια ιστοσελίδα που επιτρέπει στους χρήστες της να προσθέσουν, να αφαιρέσουν, ή να επεξεργαστούν το περιεχόμενό της, πολύ γρήγορα και εύκολα, χωρίς να έχουν κάνει υποχρεωτική εγγραφή. Έτσι, διευκολύνεται η συνεργασία πολλών ατόμων για τη συγγραφή ενός έργου. Ο σκοπός και οι κανόνες είναι διαφορετικοί σε διάφορα wiki. Για παράδειγμα σκοπός της Wikipedia είναι να γραφούν άρθρα που σχηματίζουν μια εγκυκλοπαίδεια. Τα άρθρα της Wikipedia παρέχουν συνδέσμους που οδηγούν τον χρήστη σε σχετικές σελίδες με επιπλέον πληροφορίες.

Από την ίδρυσή της το 2001, η Wikipedia έχει μεγαλώσει ραγδαία σε έναν από τους μεγαλύτερους ιστότοπους αναφοράς στο Web. Καθημερινά εκατοντάδες χιλιάδες επισκέπτες από όλο τον κόσμο κάνουν δεκάδες χιλιάδες αλλαγές και δημιουργούν χιλιάδες νέα άρθρα για την ενίσχυση της γνώσης που βρίσκεται στην εγκυκλοπαίδεια Wikipedia. Αντίστοιχα στην ελληνική έκδοση υπάρχουν 70.278 άρθρα. Οι επισκέπτες δεν χρειάζονται εξειδικευμένα προσόντα για να συμβάλουν, δεδομένου ότι ο πρωταρχικός ρόλος τους είναι να γράψουν άρθρα που καλύπτουν την υφιστάμενη γνώση. Αυτό σημαίνει ότι άνθρωποι όλων των ηλικιών και από οποιοδήποτε πολιτιστικό και κοινωνικό περιβάλλον μπορούν να γράψουν άρθρα στη Wikipedia.

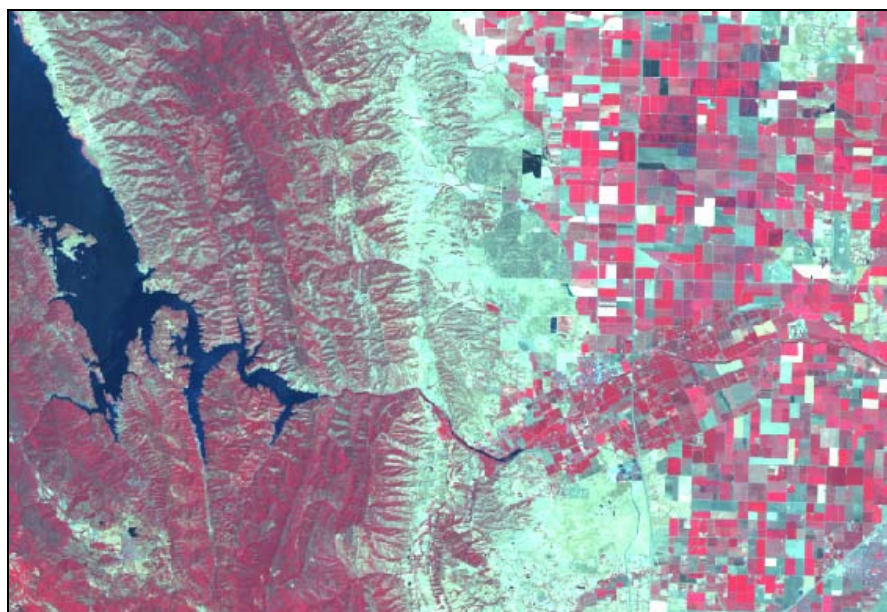
Η εξέλιξη του Wiki και συγκεκριμένα η ανάπτυξη εφαρμογών στο περιβάλλον Wiki του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Ε.Μ. Πολυτεχνείου (<http://147.102.106.42/rs/wiki/index.php>), αποτέλεσε την κεντρική ιδέα για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ένα από τα πιο σημαντικά στάδια εκπόνησης της εργασίας ήταν βιβλιογραφική έρευνα για επιστημονικές εργασίες, σε αντικείμενο συναφές με τις μεθόδους ταξινόμησης ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Οι πιο κατάλληλες εργασίες αναρτήθηκαν αποδελτιωμένες στο Wiki του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης. Ενώ, η εκάστοτε μεθοδολογία που ακολουθείται στα επιστημονικά αυτά άρθρα, αποτέλεσε το βασικό θεωρητικό και επιστημονικό υπόβαθρο, για την υλοποίηση των εφαρμογών στον Ελλαδικό χώρο που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5.

4.1 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση Φασματικών δεδομένων Landsat TM

Unsupervised Classification of Spectrally Landsat TM data
Valentina Constantinescu Rohitesh Richard Μάιος 2010

Περίληψη

Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι η ταξινόμηση της βλάστησης, των τεχνικών κατασκευών και διαφόρων αντικειμένων από τη δορυφορική εικόνα Dixon-Winters-Esparto-Woodland με τη χρήση του λογισμικού ERDAS imagine 2010. Το λογισμικό εικόνας ERDAS εκτελεί την ταξινόμηση μιας εικόνας για τον προσδιορισμό των επίγειων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων βασισμένο στη φασματική ανάλυση. Για την ταξινόμηση της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν πολυφασματικά δεδομένα για την κατηγοριοποίηση των επίγειων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων για συγκεκριμένες καλύψεις γης. Η μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση μέσω του λογισμικού ERDAS image βοήθησε στον προσδιορισμό των επίγειων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων στην περιοχή μελέτης. Το φασματικό πρότυπο εντός των δεδομένων του κάθε pixel χρησιμοποιήθηκε ως αριθμητική βάση για την κατηγοριοποίηση. Στη μελέτη αυτή έγινε χρήση μιας Landsat TM εικόνας που καλύπτει ένα μεγάλο μέρος της βόρειας Καλιφόρνια. Στη συνέχεια έγινε η επιλογή ενός υποσυνόλου της αρχικής εικόνας που περιλαμβάνει μόνο την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 23: Περιοχή Μελέτης Dixon-Winters-Esparto-Woodland Βόρεια Καλιφόρνια.

Μεθοδολογία

Σε μια πολυφασματική εικόνα κάθε ρixel έχει τη δική του φασματική υπογραφή που καθορίζεται από την ανάκλαση του σε καθένα από τα φασματικά κανάλια. Η πολυφασματική ταξινόμηση είναι μια διαδικασία άντλησης πληροφοριών, που αναλύει τις φασματικές υπογραφές και μετά εκχωρεί τα ρixel σε κατηγορίες με βάση παρόμοιες υπογραφές. Οι διαδικασίες ταξινόμησης προσπαθούν να συγκεντρώσουν τέτοια παρόμοια ρixel έτσι ώστε να μπορεί να παραχθεί ένα στρώμα ΓΣΠ με κάθε τύπο κάλυψης εδάφους που αντιπροσωπεύεται από μια διαφορετική τάξη. Η λεπτομέρεια των τάξεων εξαρτάται από τα φασματικά και τα χωρικής ανάλυσης χαρακτηριστικά του συστήματος απεικόνισης.

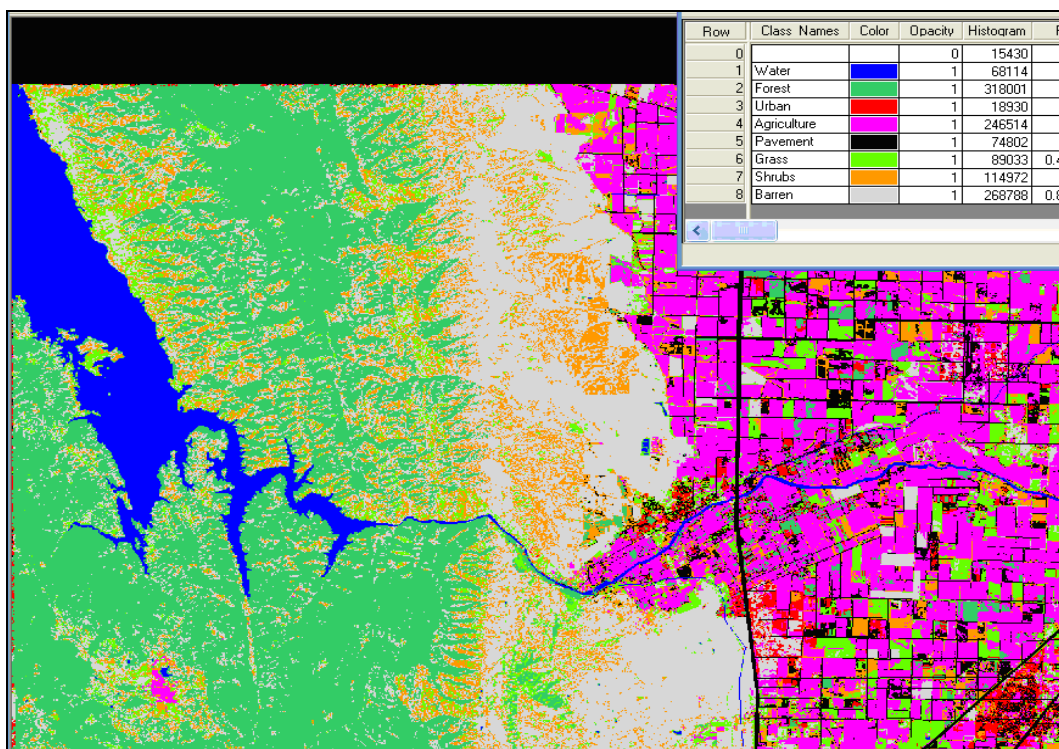
Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μια μέθοδος κατά την οποία ο υπολογιστής αναζητά φυσικές ομάδες παρόμοιων ρixel που ονομάζονται συσσωρεύσεις (Jensen 231). Στο ERDAS η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση εκτελείται χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο που ονομάζεται ISODATA. Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο, ο αναλυτής εισάγει τον αριθμό των ομάδων που επιθυμεί και το κατώφλι εμπιστοσύνης. Ο υπολογιστής τότε θα φτιάξει τις ομάδες επαναληπτικώς, που σημαίνει ότι με κάθε νέα επανάληψη, οι ομάδες γίνονται όλο και περισσότερο ξεκάθαρες. Οι επαναλήψεις σταματούν όταν το επίπεδο εμπιστοσύνης (ή ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων που έχει καθοριστεί από τον χρήστη) έχει επιτευχθεί.

Αφότου χτιστούν οι ομάδες, ο αναλυτής πρέπει να επιλέξει τις τάξεις εδαφοκάλυψης, στη συνέχεια να αντιστοιχίσει την κάθε ομάδα στην κατάλληλη τάξη. Μόλις αντιστοιχηθούν όλες οι ομάδες σε μια τάξη, η εικόνα των ομάδων μπορεί να κωδικοποιηθεί εκ νέου σε ένα στρώμα ΓΣΠ που παρουσιάζει κάθε τάξη κάλυψης εδάφους με ένα διαφορετικό χρώμα.

Μόλις οι φασματικές βελτιώσεις ολοκληρώθηκαν, πραγματοποιήθηκε μια μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (με χρήση ISODATA) με 15 τάξεις αντίστοιχα και ένα όριο εμπιστοσύνης 98%. Έθεσα τον μέγιστο αριθμό των επαναλήψεων σε 15. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν μια εικόνα με 15 ομάδες ρixel που κάθε μια αντιπροσωπεύεται από ένα διαφορετικό χρώμα. Η κάθε τάξη επισημάνθηκε, μια τη φορά και έπειτα να καθορίστηκε ποιες από τις τάξεις ανήκουν που, ερμηνεύοντας την αρχική πολυφασματική εικόνα. Στη συνέχεια επιλέχθηκε το κατάλληλο χρώμα των ομάδων. Τέλος, η εικόνα κωδικοποιήθηκε εκ νέου στο χάρτη που εμφανίζεται παρακάτω.

Ο ακόλουθος πίνακας εμφανίζει τις τάξεις κάλυψης εδάφους που ήταν σε θέση να διακριθούν.

Class	Land Cover	Color	Pixel Value Before Recode	Pixel Value After Recode
1	Water	Blue	1	1
2	Forest	Dark Green	2,3	2
3	Urban	Red	4	3
4	Agriculture	Magenta	5-8, 12, 15	4
5	Pavement	Brown	9	5
6	Grass	Green	10, 13	6
7	Shrub	Orange	11	7
8	Barren	Grey	14	8



Εικόνα 24: Ταξινομημένη εικόνα

Προβλήματα που συναντήθηκαν

Το πρώτο ζήτημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν η επιλογή του κατάλληλου αριθμού τάξεων. Επιλέγοντας μεγάλο αριθμό τάξεων τίθεται το πρόβλημα ότι πάρα πολλές τάξεις θα πρέπει να κωδικοποιηθούν εκ νέου κατά το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας ταξινόμησης. Από τη άλλη, η επιλογή λιγότερων από το βέλτιστο τάξεων για ταξινόμηση θα έχει ως αποτέλεσμα πολλά ρixel να ταξινομηθούν λανθασμένα και ακόμη θα οδηγήσει σε μια βαριά διαδικασία εκ νέου κωδικοποίησης. Με επισκόπηση της εικόνας της περιοχής μελέτης προέκυψε ότι υπάρχουν περίπου 7 τάξεις. Έτσι, έγινε ταξινόμηση με 15 τάξεις. Αυτό έδωσε τις αναμενόμενες 7 τάξεις και επιπλέον “μεικτές τάξεις” κάνοντας την διαδικασία επανακωδικοποίησης για τα λάθος ταξινομημένα ρixel ευκολότερη. Στη συνέχεια έπρεπε να προσέξουμε την εποχή του χρόνου που είχε παρθεί η αρχική εικόνα. Καθώς η βλάστηση και διάφορα είδη βλάστησης δίνουν διαφορετικές φασματικές υπογραφές κατά τη διάρκεια του έτους και μπορεί να καταχωρηθούν λανθασμένα.

Επιπλέον, ένα ζήτημα προς αντιμετώπιση ήταν ο διαχωρισμός των τάξεων και η διαδικασία επανακωδικοποίησης. Οι τάξεις που ήταν εύκολο να διαχωριστούν μεταξύ τους ήταν το δάσος, το άγονο έδαφος και το νερό. Όπως ήταν αναμενόμενο η αστική περιοχή ταξινομήθηκε σαν συνδυασμός καλλιέργειας-χλόης-δάσους-πεζοδρομίου. Αυτό συνέβη διότι, τα αστικά χαρακτηριστικά έχουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές με καλλιέργειες-χλόη-δάσος και γυμνό έδαφος. Με τη χρήση της διαδικασίας επανακωδικοποίησης, κωδικοποιήθηκαν εκ νέου τα συγκεκριμένα ρixel τονίζοντας την κυρίαρχη επιθυμητή τάξη. Τέλος το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν το ζήτημα των καλλιερειών. Η εικόνα είχε μια μεγάλη γεωργική έκταση. Δεδομένου ότι υπάρχουν περιοχές με διαφορετικά είδη

καλλιεργειών, ήταν πάρα πολύ δύσκολο να δημιουργηθούν χωριστές τάξεις όπως «καλλιέργειες» ή «περιβόλια» χωρίς τη δημιουργία πολλών αταξινόμητων ρίχει σε άλλες περιοχές. Οι καλλιέργειες στην εικόνα ομαδοποιήθηκαν με το δάσος, τους θάμνους ή τη χλόη και το γυμνό έδαφος ταξινομήθηκε ως άγονο. Επίσης, όλες οι εκ περιτροπής καλλιέργειες καθιστούν δύσκολη την σωστή ταξινόμηση σε συγκεκριμένες τάξεις (βάση του τύπου καλλιέργειας) για μια τόσο μεγάλη περιοχή. Έτσι, ορίστηκε μια τάξη με όνομα Γεωργία η οποία περιλαμβάνει όλα τα είδη καλλιεργειών και καλύπτει όλη αυτή την περιοχή.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα εκπλήρωσαν τον στόχο, εξακριβώνοντας αν μπορούν ή όχι φασματικώς ενισχυμένα στρώματα δεδομένων να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία ενός καλά ταξινομημένου χάρτη εδαφοκάλυψης της περιοχής μελέτης. Συμπεραίνουμε ότι η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιώντας τα ενισχυμένα δεδομένα ήταν μια επιτυχημένη επιλογή.

4.2 Βελτίωση της ταξινόμησης Landsat και IRS εικόνας: Αξιολόγηση της Επιβλεπόμενης και μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης με χρήση λόγων καναλιών και DEM σε ορεινή περιοχή του Νεπάλ

Improving Landsat and IRS Image Classification: Evaluation of Unsupervised and Supervised Classification through Band Ratios and DEM in a Mountainous Landscape in Nepal

Krishna Bahadur K.C Remote Sens. 2009, 1(4), 1257-1272 Ecological Status and Change by Remote Sensing, Published: 8 December 2009

Περίληψη

Η τροποποίηση των αρχικών καναλιών και η ενσωμάτωση των βοηθητικών δεδομένων στη ψηφιακή ταξινόμηση εικόνας έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει την ακρίβεια της ταξινόμησης κάλυψης εδάφους. Ο στόχος αυτής της μελέτης ήταν να ερευνηθεί και να αξιολογηθεί η χρήση τροποποιημένων καναλιών και βοηθητικών στοιχείων στην ταξινόμηση Landsat και IRS εικόνας και να παραχθεί ένας χάρτης χρήσης και κάλυψης εδάφους του υδροκρίτη Galaudu στο Νεπάλ. Εξερευνήθηκε η ταξινόμηση των χρήσεων γης χρησιμοποιώντας επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση για 12 σύνολα χαρακτηριστικών που περιέχουν τα αρχικά κανάλια των Landsat, MSS, TM και IRS, λόγους του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και ένα ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο DEM. Συνολικά η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης παρήγαγε μεγαλύτερη ακρίβεια από την μη επιβλεπόμενη προσέγγιση.

Εισαγωγή

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση έχει γίνει ένα σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση και διαχείριση των φυσικών πόρων και του περιβάλλοντος. Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται ευρέως στην ταξινόμηση χρήσης γης/κάλυψης εδάφους. Διάφορες τεχνικές έχουν παρουσιαστεί για να βελτιώσουν τα αποτελέσματα της ταξινόμησης, από την άποψη της διάκρισης της χρήσης γης και της ακρίβειας των προκυπτουσών τάξεων κατά την επεξεργασία δεδομένων τηλεπισκόπησης. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια προβλήματα στο να παρθούν υψηλής ακρίβειας δεδομένα χρήσης γης, ιδίως στις ορεινές περιοχές των τροπικών υγρών κλιμάτων. Ένα από τα κύρια προβλήματα κατά την δημιουργία χαρτών χρήσης γης από ψηφιακές εικόνες είναι η σύγχυση των φασματικών υπογραφών των διαφόρων χαρακτηριστικών. Η διάκριση των τύπων χρήσης γης/κάλυψης εδάφους συμπεριλαμβανομένων των τύπων βλάστησης μέσω της χρήσης τηλεπισκοπικών τεχνικών στις ορεινές περιοχές του Νεπάλ είναι ένα πολύ δύσκολο έργο λόγω της πολύπλοκης δομής και σύνθεσης των συγκεντρώσεων βλάστησης. Σε πολλές περιπτώσεις το μέγεθος των παλαιών δευτεροβάθμιων περιοχών ανάπτυξης είναι πολύ μικρό για να μπορεί να ανιχνευθεί από τον Landsat και τον IRS. Επιπλέον, η τοπογραφία του βουνού οδηγεί σε μια σημαντική επίδραση σκίασης που αποτελεί ένα ιδιαίτερο πρόβλημα στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνας.

Μια από τις τεχνικές για να επιτευχθεί η βελτίωση της ψηφιακής ταξινόμησης είναι η ενσωμάτωση των βοηθητικών στοιχείων, όπως ένα ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM). Η ένταξη ενός DEM στην ταξινόμηση εικόνας συνέβαλε στην αύξηση της ακρίβειας της ταξινόμησης των ψηφιακών δεδομένων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η

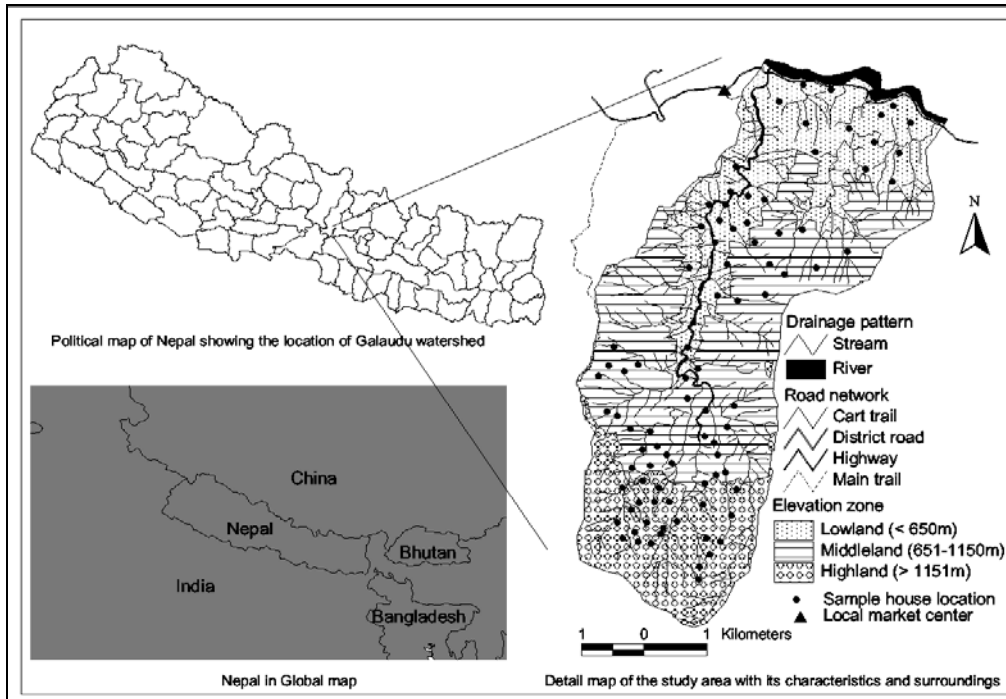
προσεκτική επιλογή της ημερομηνίας των εικόνων είναι σημαντική διότι ο διαχωρισμός τάξεων χρήσης γης/κάλυψης εδάφους σχετίζεται με την φαινολογία των φυτών.

Ο στόχος αυτής της μελέτης ήταν να αξιολογηθεί η χρήση των λόγων καναλιών και των υψομετρικών δεδομένων στην ταξινόμηση εικόνας Landsat και IRS και η παραγωγή ενός θεματικού χάρτη χρήσης γης του υδροκρίτη Galaudu του Νεπάλ. Επίσης το DEM προετοιμάστηκε από τα υψομετρικά δεδομένα με την χρήση τοπογραφικών διαγραμμάτων κλίμακας 1:25000. Η βελτίωση της ταξινόμησης των διαφόρων κατηγοριών χρήσης γης εξερευνήθηκε με τη χρήση επιβλεπόμενων και μη επιβλεπόμενων τεχνικών ταξινόμησης για τα διάφορα σύνολα χαρακτηριστικών των δεδομένων Landsat και IRS.

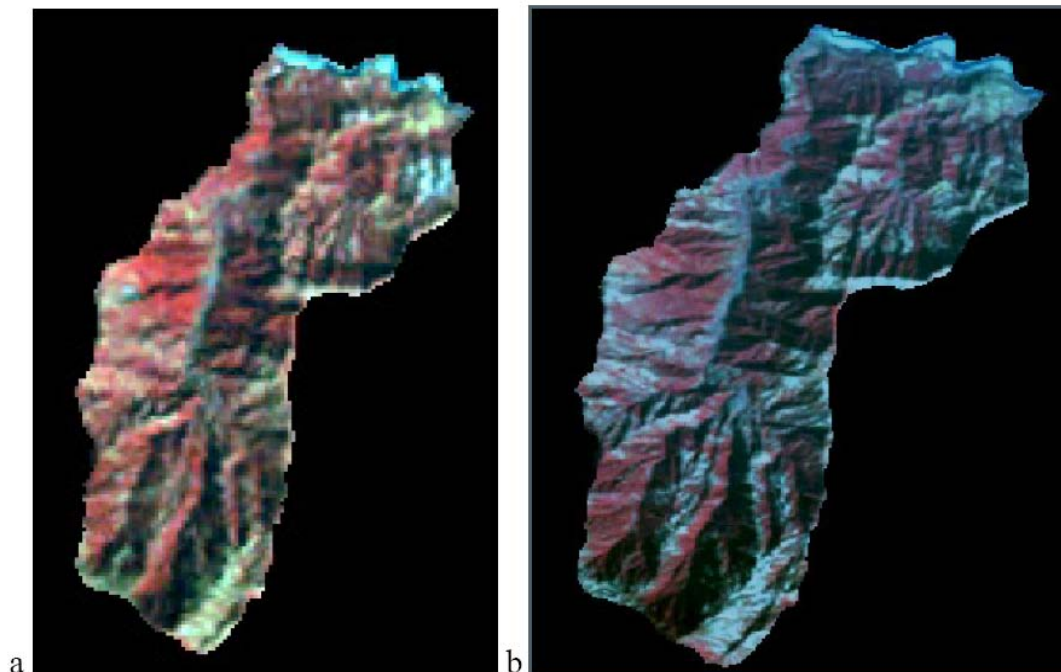
Μέθοδοι – Περιοχή Μελέτης

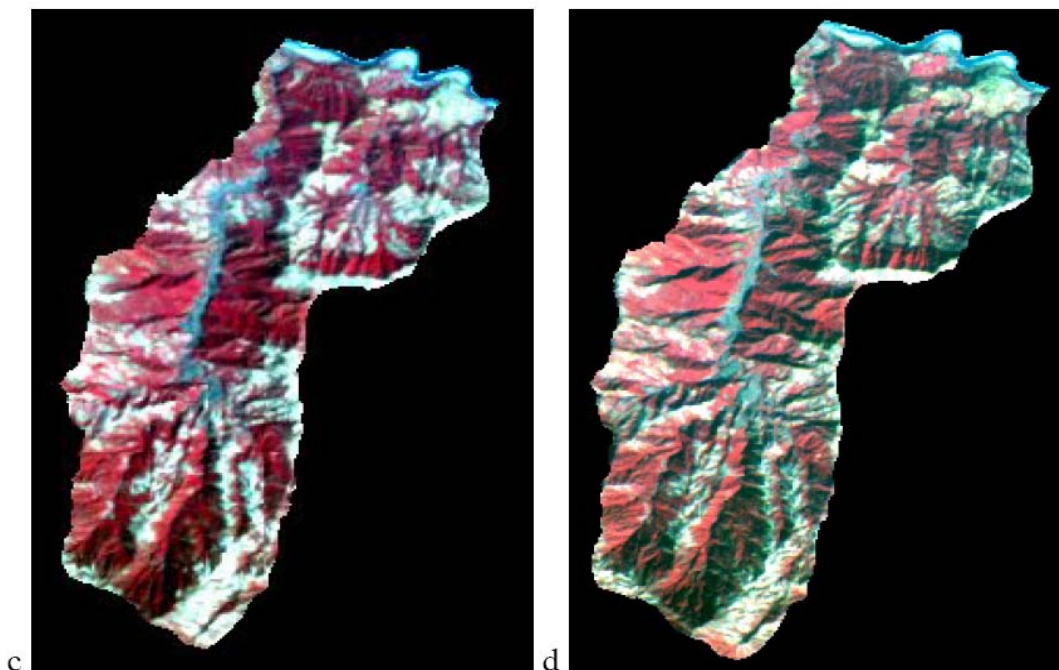
Η περιοχή μελέτης αποτελεί μια ορεινή λεκάνη απορροής που ονομάζεται Galaudu/Pouhare Kholā που τοποθετείται στην περιοχή Dhadīng του Νεπάλ. Η τοπογραφία του υδροκρίτη είναι ορεινή με μέση κλίση που υπερβαίνει το 30% και εμφανίζει χαρακτηριστικά που βρίσκονται συχνά σε ορεινές ζώνες της Ασίας. Το μεγαλύτερο μέρος του υδροκρίτη καλύπτεται από δάσος και καλλιέργειες. Μπορεί να διαιρεθεί σε εύφορες, σχετικά επίπεδες κοιλάδες κατά μήκος των ποταμών και περιβάλλοντα υψίπεδα με μέτρια προς απότομη κλίση. Οι γεωργικές εκτάσεις στις κοιλάδες είναι υπό εντατική διαχείριση με πολλαπλά συστήματα καλλιέργειας και είναι ως επί το πλείστον αρδευόμενες. Ρύζι, πατάτα, σιτάρι και λαχανικά είναι οι κύριες καλλιέργειες στην κοιλάδα.

Τα βασικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την προετοιμασία του χάρτη χρήσης γης της περιοχής μελέτης ήταν πολυφασματικά Landsat και Thematic Mapper (TM) ψηφιακά δεδομένα, καθώς και Indian Remote Sensing (IRS) ψηφιακά δεδομένα. Ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:50000 από το 1978 και 1992 χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των πραγματικών εδαφικών πληροφοριών που απαιτήθηκαν για την ταξινόμηση και την εκτίμηση της ακρίβειας των ταξινομημένων εικόνων MSS και TM. Ακόμα, χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:25000, ενώ εκτεταμένες επίγειες έρευνες πραγματοποιήθηκαν για την συλλογή των δειγμάτων εκπαίδευσης για την εικόνα TM του 2000 και την IRS του 2002. Επίσης η χρήση του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου και των υψομετρικών δεδομένων είναι μια από τις τεχνικές η οποία έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στις εύκρατες και αλπικές περιοχές για την ερμηνεία των τηλεπισκοπικών δεδομένων.



Εικόνα 25: Τοποθεσία της περιοχής μελέτης.





Εικόνα 26: Δορυφορικές εικόνες του υδροκρίτη Galaudu (α) Landsat MSS 1976, (β) Landsat TM 1990, (γ) Landsat TM 2000, (δ) IRS LISS III 2002.

Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας πραγματοποιήθηκε για την απόκτηση των χαρτών χρήσης γης και κάλυψης εδάφους από τα τηλεπισκοπικά δεδομένα (RS). Σκοπός ήταν η αφαίρεση των ανεπιθύμητων χαρακτηριστικών εικόνας, η αφαίρεση του θορύβου και η διόρθωση των γεωμετρικών παραμορφώσεων. Η ταξινόμηση των τηλεπισκοπικών δεδομένων εκτελέστηκε με την εξαγωγή διαφόρων χαρακτηριστικών συνόλων χρησιμοποιώντας λόγους καναλιών. Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI και η ανάλυση κυρίων συνιστωσών PCA είναι μια από τις συνηθισμένες τεχνικές επεξεργασίας εικόνας. Αποτελούν τεχνικές μείωσης δεδομένων για την ενίσχυση της εικόνας, καθώς η ποσότητα των πληροφοριών που μεταφέρεται από τα δορυφορικά δεδομένα δεν εξαρτάται από τον όγκο αυτών.

Από τις μη επιβλεπόμενες τεχνικές ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος ανάλυσης συσσωρεύσεων της επαναληπτικής βελτιστοποίησης ISODATA. Αυτή η τεχνική εκτελεί επανειλημμένα μια ολόκληρη ταξινόμηση και επαναυπολογίζει τα στατιστικά στοιχεία με ελάχιστα στοιχεία εισόδου για τον εντοπισμό συσσωρεύσεων και επίσης είναι σχετικά απλή. Οι συσσωρεύσεις που διαμορφώθηκαν ενοποιήθηκαν με τη μέθοδο Ward της ιεραρχικής τεχνικής ομαδοποίησης, η οποία έχει σχεδιαστεί για να βελτιστοποιήσει την ελάχιστη διακύμανση μέσα στις συσσωρεύσεις. Οι προκύπτουσες τάξεις προσδιορίστηκαν βάση της γνώσης που προήλθε από την επίγεια έρευνα και προηγούμενους χάρτες χρήσης γης.

Τελικά επιλέχθηκε μόνο ένα σύστημα ταξινόμησης το οποίο εμφάνισε καλύτερο αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση εκτελέστηκε στο επιλεγμένο σχέδιο ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τον Bayesian ταξινομητή μέγιστης πιθανοφάνειας (MLC). Αρχικά υπογραφές κατάρτισης για τις προσδιοριζόμενες τάξεις καθιερώθηκαν με τις γνώσεις πεδίου, οι οποίες αξιολογήθηκαν για την πιθανή διάκριση μεμονωμένης τάξης. Μετά, η απόκτηση μιας κατάλληλης ένδειξης για την ικανοποιητική διάκριση μεταξύ των κατηγοριών, κατά την διάρκεια της αξιολόγησης των υπογραφών. Τέλος η ταξινόμηση οργανώθηκε για

να παράγει το χάρτη χρήσης γης. Όλες οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την επεξεργασία εικόνας έγιναν στο λογισμικό ERDAS imagine 8.7. Στη συνέχεια οι ταξινομημένες εικόνες εξήχθησαν στο Arc View GIS 3.2 από το ERDAS και το υπόλοιπο των αναλύσεων εκτελέστηκε σε περιβάλλον GIS.

Αποτελέσματα

Οι μέσες φασματικές τιμές για τις διάφορες κατηγορίες κάλυψης εδάφους δείχνουν ότι για το σχέδιο ταξινόμησης που περιέχει μόνο τα αρχικά κανάλια δεν επιτυγχάνει την υψηλότερη ακρίβεια, δεδομένου ότι μόνο το γυμνό έδαφος και τα δάση ήταν διακριτά. Μια κατάσταση ανάμικτων τάξεων παρατηρήθηκε μεταξύ του δάσους και της πεδινής γεωργικής περιοχής. Τα σύνολα χαρακτηριστικών που περιέχουν NDVI έδωσαν την μεγαλύτερη ακρίβεια όσον αφορά τη βλάστηση, διότι το NDVI αποκρίνεται υψηλότερα για την βλάστηση και χαμηλότερα για το γυμνό έδαφος. Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης κυμάνθηκε από 45% έως 68% για τις μη επιβλεπόμενες τεχνικές. Μεταξύ των 12 συστημάτων ταξινόμησης για τον TM και των 6 για τον MSS και IRS, η συμπερίληψη του DEM ως συστατικό κανάλι έδειξε πολύ ελπιδοφόρα αποτελέσματα, δεδομένου ότι βοήθησε στη διαφοροποίηση των τύπων βλάστησης το οποίο δεν θα ήταν δυνατό μόνο με τη χρήση του NDVI εξαιτίας των παρόμοιων υπογραφών.

Συνδυασμοί συστημάτων λόγων καναλιών επιλέχθηκαν για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση διότι αυτό το σχέδιο έδωσε την υψηλότερη ακρίβεια στην μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση εκτελέστηκε στα τρία κανάλια που περιέχουν τους λόγους 4/3, 5/4 και 5/7. Μια συνολική ακρίβεια χάρτη (OCA) της τάξης του 94,08% επετεύχθη μέσω του πίνακα σφάλματος των υπογραφών κατάρτισης. Ως αξιολόγηση της ακρίβειας της μετά-ταξινόμησης μια συνολική ακρίβεια χάρτη 82,86% και η τιμή 0,74 του συντελεστή Kappa των στατιστικών συμφωνίας λήφθηκαν για την ταξινομημένη εικόνα.

Land use classes	Reference data				User Accuracy (%)
	Forest	Scrub	Upland agriculture	Lowland agriculture	
Forest	3				100.0
Scrub		4	1		80.0
Upland agriculture		1	12	2	80
Lowland agriculture			2	10	83.3
Producer's accuracy	100	80	80.0	83.3	82.86
Overall Map Accuracy = 82.86 %; OM = Omission error; Co = commission error; KHAT=0.74					

Πίνακας 6: Πίνακας σφάλματος του χάρτη της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η δασική έκταση μειώθηκε, ενώ η γεωργική περιοχή αυξήθηκε σταθερά κατά τη διάρκεια της μελέτης. Οι θαμνώδεις εκτάσεις (υποβαθμισμένη δασική έκταση) αξιολογήθηκαν το 1976, αλλά είχαν ήδη μετατραπεί σε "κανονικό" δάσος το 1990. Η πεδινή γεωργική περιοχή επεκτάθηκε πολύ κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου, ενώ η ορεινή γεωργική περιοχή επεκτάθηκε σε μεγάλο βαθμό την τελευταία περίοδο. Μεταξύ των σημαντικότερων ομάδων χρήσης

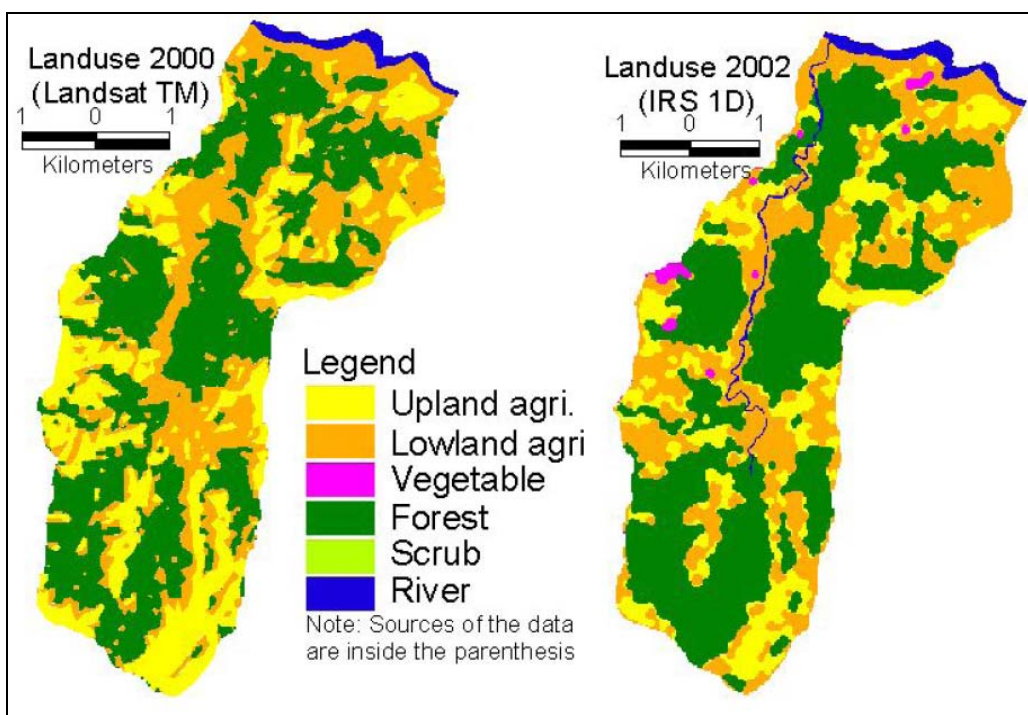
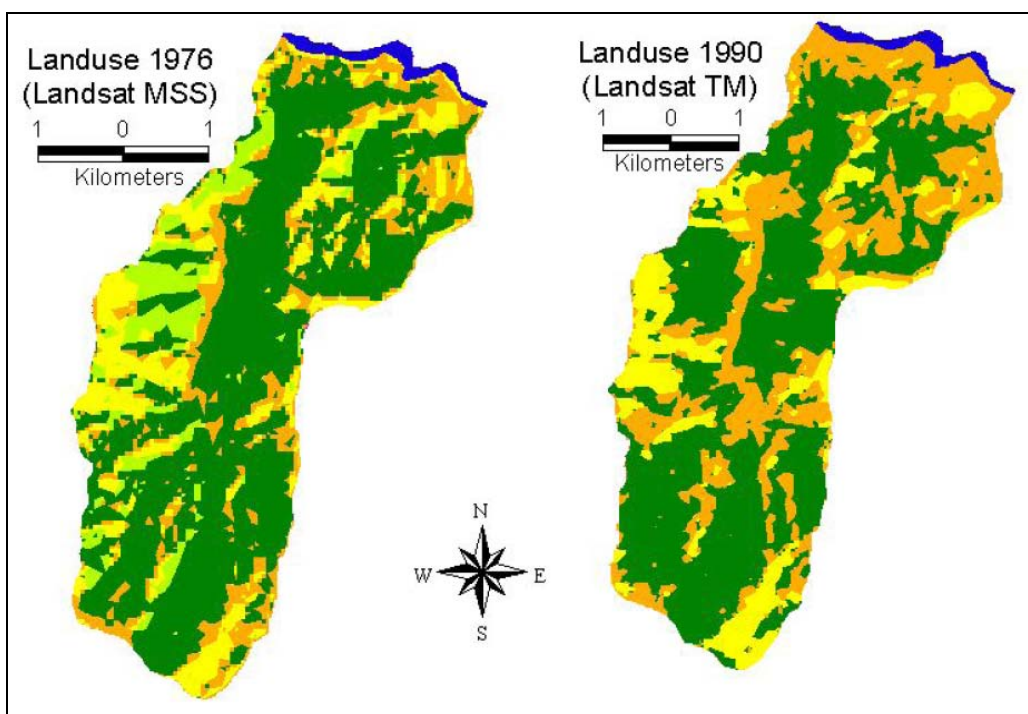
γης περίπου το 65% της γεωργίας των υψιπέδων, το 52% της πεδινής γεωργίας και το 45% της δασικής περιοχής το 1976 παρέμεινε αμετάβλητο μέχρι το 2000. Οι δασικές εκτάσεις συρρικνώθηκαν κατά περίπου 55% μεταξύ 1976 και 2000.

Land use classes	1976		1990		2000	
	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%
Upland agriculture	430.1	15.9	414.7	15.3	671.2	24.8
Lowland agriculture	428.1	15.8	809.8	29.9	839.4	31.0
Forest	1,597.2	59.1	1,475.9	54.8	1,189.7	44.2
Scrubland	242.5	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0

Πίνακας 7: Χρήσεις γης του υδροκρίτη Galaudu, Νεπάλ, για τα έτη 1976, 1990 και 2000.

Land use classes	1976-1990	1990-2000	1976-2000
Upland agriculture	-3.71	+38.21	+35.92
Lowland agriculture	+47.13	+3.52	+48.99
Forestland (forest + scrub)	-25.15	-24.05	-55.26

Πίνακας 8: Επί τοις εκατό αλλαγή στη χρήση γης κατά τη διάρκεια των τριών περιόδων.



Εικόνα 27: Χρήσεις γης στον υδροκρήτη Galaudu για το 1976, 1990, 2000 και 2002.

Συμπεράσματα

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση έχει γίνει ένα σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση και διαχείριση των φυσικών πόρων και του περιβάλλοντος. Σε αυτή τη μελέτη ένα ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο δημιουργήθηκε από τα υψομετρικά στοιχεία τοπογραφικών διαγραμμάτων και ενσωματώθηκε με τις ψηφιακές διαδικασίες επεξεργασίας εικόνας, ως συστατικό κανάλι, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ταξινόμησης και συνέβαλε στη βελτίωση του τελικού αποτελέσματος.

Η βελτίωση της ταξινόμησης των διαφόρων τύπων βλάστησης, συμπεριλαμβανομένων των ορεινών γεωργικών περιοχών του υδροκρίτη πραγματοποιήθηκε με τη χρήση επιβλεπόμενων και μη επιβλεπόμενων τεχνικών ταξινόμησης. Συνολικά, η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης παράγαγε τη υψηλότερη ακρίβεια σε σχέση με την μη επιβλεπόμενη προσέγγιση. Τα αποτελέσματα από τον συνδυασμό των καναλιών R4/3, R5/4 και R5/7 είχαν τη υψηλότερη κατάταξη όσον αφορά την ακρίβεια (82,86%), ενώ ο συνδυασμός των καναλιών 2, 3 και 4 είχε τα χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας (45,29%). Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να επηρεάστηκε από τα φαινόμενα σκίασης. Συνοψίζοντας, η ψηφιακή ταξινόμηση μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της χαρτογράφησης της βλάστησης, καθώς επιτρέπει την ερμηνεία των μικρότερων μονάδων χαρτογράφησης, προσφέροντας μεγαλύτερη λεπτομέρεια σε σύγκριση με την οπτική τεχνική, όπου οι μονάδες χαρτογράφησης είναι γενικευμένες.

4.3 Η χρήση του IKONOS και Landsat για τον έλεγχο της ελονοσίας στη Δημοκρατία της Κορέας

Use of IKONOS and Landsat for malaria control in the republic of Korea.

Penny M. Masuoka, David M. Claborn, Richard G. Andre, Joseph Nigro, Scott W. Gordon, Terry A. Klein, Hung-Chol Kim, Remote Sensing of Environment, Volume 88, Issues 1–2, 30 November 2003, Pages 187-194

Περίληψη

Η ελονοσία εμφανίστηκε ξανά στη Δημοκρατία της Κορέας (ROK) το 1993. Προκειμένου να εκτιμηθεί το κόστος της νυμφοκτονίας, είναι απαραίτητες οι ακριβείς εκτιμήσεις της χωρικής έκτασης των βιοτόπων των προνυμφών κουνουπιών. Ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να καθορίσει εάν μια ακριβής εκτίμηση της περιοχής που καλύπτεται από βιοτόπους προνυμφών κουνουπιών μπορεί να ληφθεί χρησιμοποιώντας δεδομένα Landsat 7 ETM+ και/ή IKONOS για την κορεατική περιοχή δοκιμών. Για να εκτιμηθεί η έκταση που καλύπτεται από βιοτόπους προνυμφών κοντά στο στρατόπεδο Greaves [Paekyeon-Ri, κοντά στο χωριό Tonggil-Chan] στην ROK, μία εικόνα IKONOS και μια εικόνα Landsat 7 ETM+ ταξινομήθηκαν χρησιμοποιώντας μια ταξινόμηση παραλληλεπιπέδου. Σε σύγκριση των περιοχών οριζώνων, 24 (92%) από τις περιοχές ταξινομήθηκαν σωστά στην εικόνα IKONOS και 17 (65%) ταξινομήθηκαν σωστά στην εικόνα Landsat. Συγκρίνοντας τις ταξινομήσεις, η συμφωνία μεταξύ των δυο ταξινόμησεων ήταν 79%. Μέρος της διαφωνίας οφείλονταν στη διαφορά της ανάλυσης των δυο εικόνων. Αν και είτε ο Landsat είτε ο IKONOS μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην Κορέα για μια λογική εκτίμηση της περιοχής βιοτόπων, μόνο ο IKONOS μπορεί να επιλύσει τις μικρές λίμνες άρδευσης οι οποίες αποτελούν σημαντική πηγή για την αναπαραγωγή κουνουπιών.

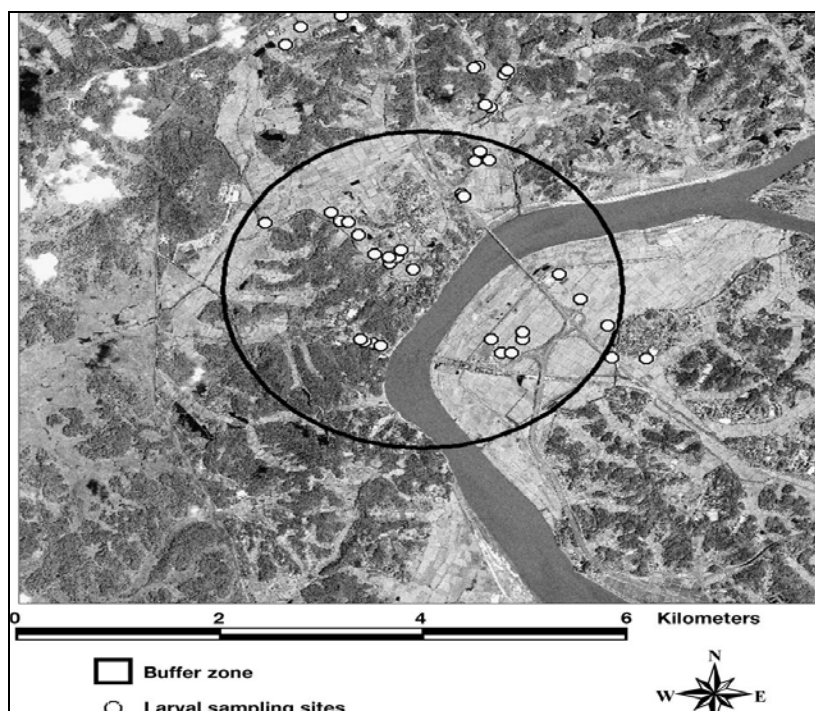
Εισαγωγή

Αυτή η μελέτη είναι μέρος μιας μεγαλύτερης προσπάθειας για να καθοριστεί η χρησιμότητα και το κόστος των διαφόρων μεθόδων για την μείωση του κινδύνου της μετάδοσης της ελονοσίας στο προσωπικό του αμερικάνικου στρατού που βρίσκεται στην περιοχή. . Ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να καθορίσει εάν μια ακριβής εκτίμηση της περιοχής που καλύπτεται από βιοτόπους προνυμφών κουνουπιών μπορεί να ληφθεί χρησιμοποιώντας δεδομένα Landsat 7 ETM+ και/ή IKONOS για την κορεατική περιοχή δοκιμών. Οι εκτιμήσεις των εκτάσεων των βιοτόπων των κουνουπιών μετά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του κόστους της νυμφοκτονίας κοντά σε στρατιωτικές βάσεις των ΗΠΑ στην Κορέα. Ένα από τα ερωτήματα που προσπαθεί αυτή η μελέτη να απαντήσει είναι κατά πόσο οι υψηλής ανάλυσης εικόνες είναι αποτελεσματικές στην οριοθέτηση των επιλεγμένων τύπων των μικρών βιοτόπων των προνυμφών κουνουπιών και αν ναι, πώς αυτό επηρεάζει την εκτίμηση του συνόλου των ενδιατημάτων όπως αυτό προβλέπεται από την χαμηλής ανάλυσης εικόνα.

Περιοχή Μελέτης - Μέθοδοι

Η επιτόπια έρευνα για αυτή τη μελέτη εκτελέστηκε από τον Ιούνιο μέχρι τον Σεπτέμβριο του 2000 και επικεντρώθηκε σε δυο στρατιωτικές βάσεις κοντά στο DMZ:

στρατόπεδο Greaves και στρατόπεδο Casey. Το στρατόπεδο Greaves βρίσκεται σε μια αγροτική περιοχή ακριβώς νότια του DMZ. Το στρατόπεδο Casey είναι περίπου 35 μίλια ανατολικά του στρατοπέδου Greaves σε μια πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή με λιγότερη γεωργία. Τα όρια των στρατοπέδων Casey και Greaves ψηφιοποιήθηκαν και μια 1-km ουδέτερη ζώνη τοποθετήθηκε γύρω από το στρατόπεδο βασισμένη σε ένα κατά προσέγγιση εύρος πτήσης του κουνουπιού *A. Sinensis*.



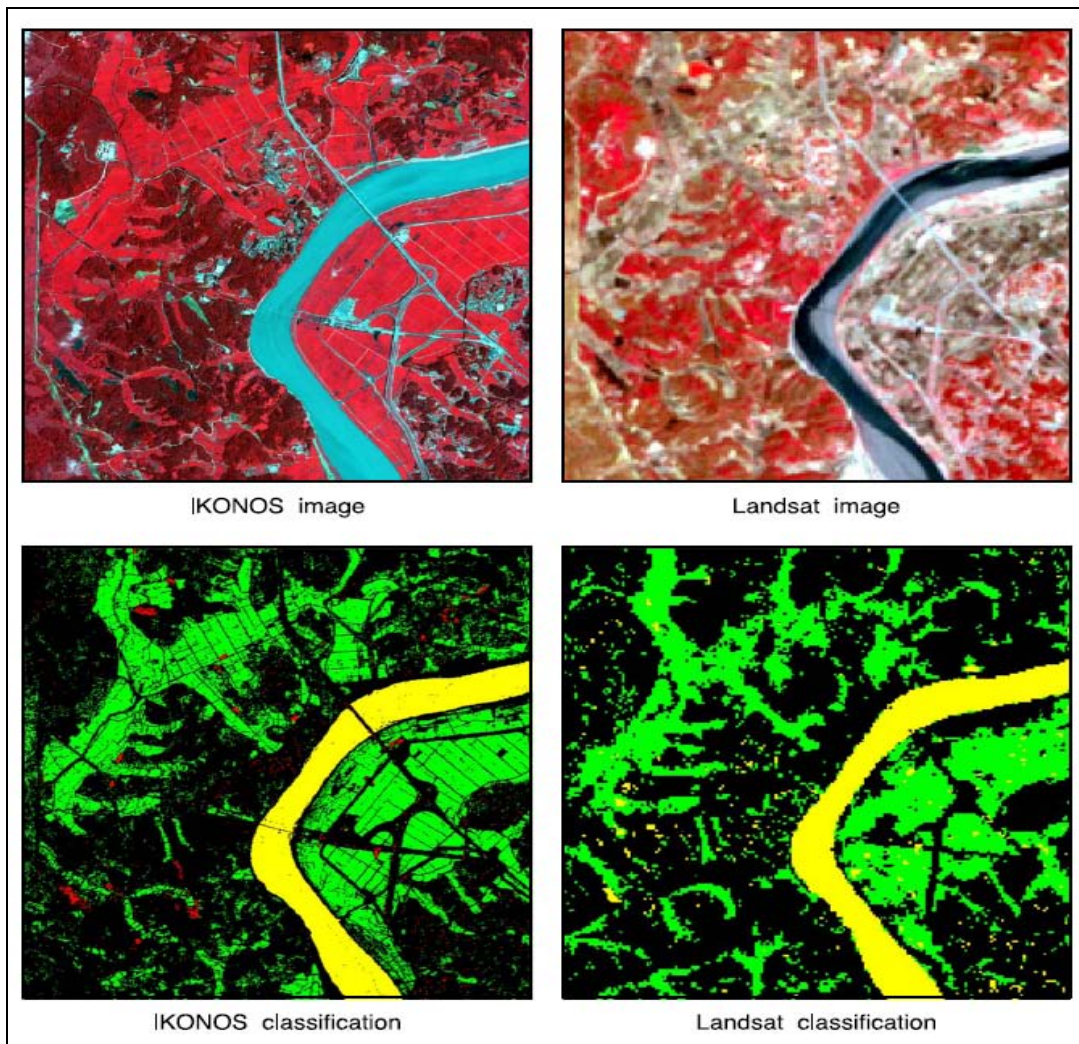
Εικόνα 28: Η εικόνα IKONOS με την ουδέτερη ζώνη γύρω από το στρατόπεδο Greaves και τις τοποθεσίες συλλογής δειγμάτων προνυμφών.

Δυο εικόνες χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα μελέτη μια Landsat 7 ETM+ εικόνα που αποκτήθηκε στις 29 Απριλίου, 2000, και μια εικόνα IKONOS που αποκτήθηκε στις 2 Αυγούστου, 2000. Η εικόνα Landsat καλύπτει και τις δυο περιοχές των στρατοπέδων. Η εικόνα IKONOS βρίσκεται εξολοκλήρου μέσα στην εικόνα Landsat αλλά καλύπτει μόνο την περιοχή του στρατοπέδου Greaves. Το λογισμικό τηλεπισκόπησης PCI χρησιμοποιήθηκε για να εκτελέσει τις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις στις εικόνες IKONOS και Landsat. Οι περιοχές μελέτης για την ταξινόμηση επιλέχθηκαν σε θέσεις όπου οι ερευνητές είχαν συλλέξει στάσιμο νερό για τις προνύμφες *anopheline*. Διάφοροι αλγόριθμοι ταξινόμησης ερευνήθηκαν συμπεριλαμβανομένων, της Ελάχιστης Απόστασης, της Μεγίστης Πιθανοφάνειας και των προγραμμάτων παραλληλεπιπέδου. Ο αλγόριθμος παραλληλεπιπέδου με μια Μεγίστη Πιθανοφάνεια φάνηκε να είναι η ακριβέστερη ταξινόμηση των εικόνων βασισμένο σε μια σε μια οπτική σύγκριση με τη γραφική παράσταση των περιοχών δειγματοληψίας στην εικόνα IKONOS. Για την εικόνα IKONOS οι περιοχές εκπαίδευσης συλλέχθηκαν για τα ποτάμια, τις μικρές λίμνες, τις τάφρους και τους ορυζώνες. Λόγω της χαμηλότερης ανάλυσης, οι περιοχές μελέτης στην εικόνα Landsat περιλάμβαναν μόνο τους ορυζώνες και το ποτάμι. Για να συγκριθούν τα αποτελέσματα της ταξινόμησης μεταξύ των δυο τύπων εικόνων, ένα υποσύνολο της εικόνας Landsat δημιουργήθηκε προκειμένου να συμπεριλάβει μόνο την περιοχή που καλύπτεται από την εικόνα IKONOS. Ένας πίνακας σύγχυσης παράχθηκε για να συγκρίνει την ακρίβεια της ταξινόμησης του Landsat και IKONOS με κοινές περιοχές

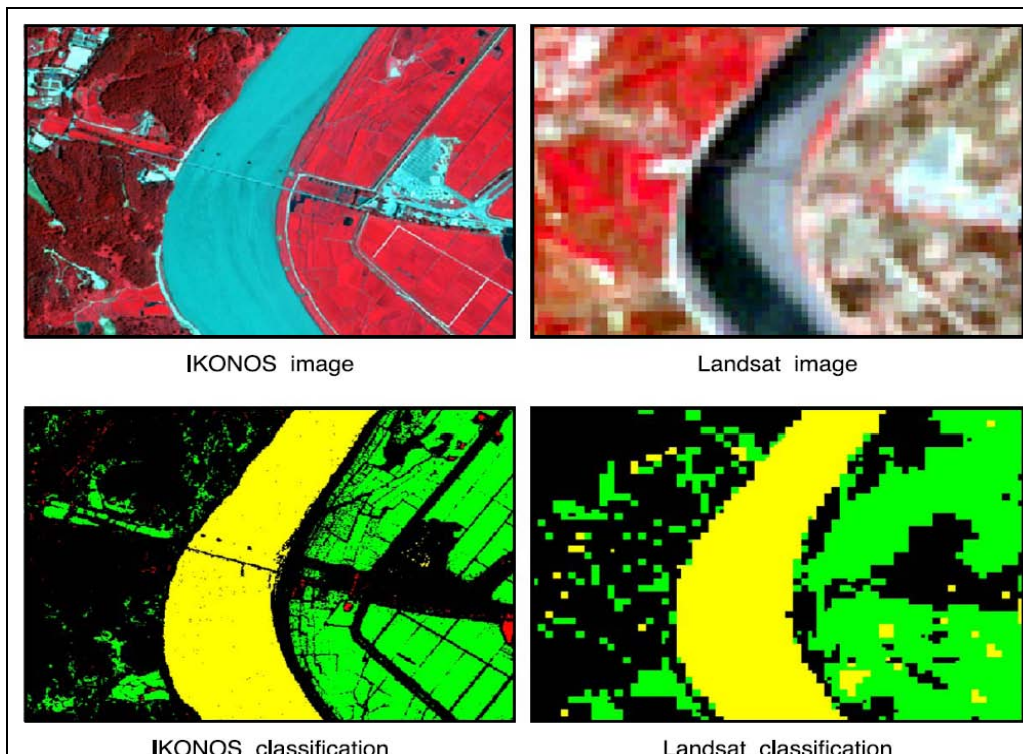
μελέτης και στις δύο εικόνες. Το PCIs MODEL πρόγραμμα επίσης χρησιμοποιήθηκε για να συγκρίνει τις ταξινομήσεις Landsat και IKONOS σε pixel με pixel επίπεδο και να δημιουργήσει μια νέα εικόνα που απεικονίζονται τα pixel που ταιριάζουν και αυτά που δεν ταιριάζουν.

Αποτελέσματα

Οι εικόνες 29 και 30 δείχνουν το αποτέλεσμα των ταξινομήσεων των εικόνων Landsat και IKONOS. Με βάση μια οπτική σύγκριση μεταξύ της ταξινόμησης και της αρχικής εικόνας, το ποτάμι, οι μικρές λίμνες και οι ορυζώνες ταξινομήθηκαν με επιτυχία στις εικόνες IKONOS. Οι τάφροι δεν μπορούσαν να ταξινομηθούν επιτυχώς στις εικόνες IKONOS, πιθανόν λόγω των δέντρων και θάμνων που αναπτύσσονται κατά μήκος των τάφρων και τις κάνει φασματικά παρόμοιες με άλλες τάξεις εδαφοκάλυψης. Στις εικόνες Landsat, το ποτάμι και οι ορυζώνες μπορούσαν να ταξινομηθούν αλλά οι μικρές λίμνες και οι τάφροι ήταν πολύ μικρές και δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως περιοχές μελέτης. Μια οπτική σύγκριση των ταξινομήσεων Landsat και IKONOS δείχνει ότι είναι αρκετά παρόμοιες στην ταξινόμηση του ποταμού. Οι μεγάλες περιοχές των ορυζώνων είχαν ταξινομηθεί με αρκετή ακρίβεια στην ταξινόμηση Landsat (εικόνα 30). Ωστόσο, μικρές εκτάσεις ορυζώνων, όπως φαίνεται στη ΒΔ γωνία της εικόνας IKONOS (εικόνα 30) δεν ταξινομήθηκαν σωστά από την Landsat ταξινόμηση.



Εικόνα 29: Σύγκριση του ψευδέχρωμου σύνθετου και της ταξινόμησης της IKONOS με την Landsat. Στις εικόνες ταξινόμησης, η τάξη του ποταμιού φαίνεται με κίτρινο χρώμα, οι ορυζώνες με πράσινο και οι μικρές λίμνες με κόκκινο. Κάθε εικόνα είναι 5,5km σε πλάτος.



Εικόνα 30: Ένα μεγεθυμένο υποσύνολο των εικόνων 7.2. που συγκρίνει ένα ψευδέχρωμο σύνθετο και την ταξινόμηση της IKONOS με την Landsat. Στις εικόνες ταξινόμησης, η τάξη του ποταμιού φαίνεται με κίτρινο χρώμα, οι ορυζώνες με πράσινο και οι μικρές λίμνες με κόκκινο. Το πλάτος εικόνας είναι 1,9km.

Ένας πίνακας σφαλμάτων υπολογίστηκε για κάθε μια από τις ταξινομήσεις χρησιμοποιώντας τις περιοχές συλλογής προνυμφών που ενέπεσαν στην εικόνα IKONOS ως στοιχεία αναφοράς (πίνακας 9). 26 ορυζώνες λήφθηκαν: οι 24 (92%) είχαν ταξινομηθεί σωστά στην εικόνα IKONOS και οι 17 (65%) είχαν ταξινομηθεί σωστά στην Landsat.

Classified data	Field sample sites				Total
	Rice	Pond	Ditch	Swamp	
<i>Confusion matrix—IKONOS</i>					
Rice	24	0	4	0	28
Pond	0	0	0	0	0
Ditch	0	0	0	0	0
Swamp	0	0	0	0	0
Unknown	2	3	9	1	15
Total	26	3	13	1	43
<i>Confusion Matrix—Landsat 7 ETM+</i>					
Rice	17	2	8	1	28
Pond	0	0	0	0	0
Ditch	0	0	0	0	0
Swamp	0	0	0	0	0
Unknown	9	1	5	0	15
Total	26	3	13	1	43

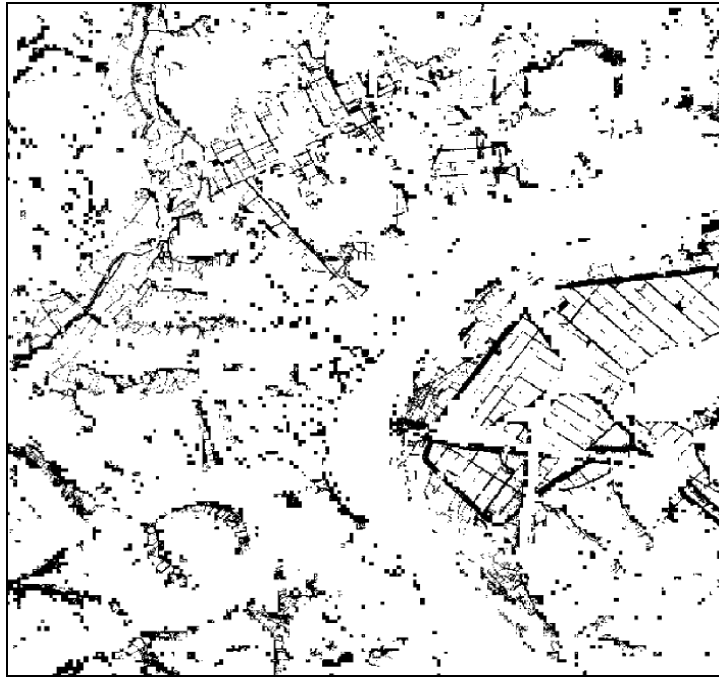
Πίνακας 9: Οι πίνακες σύγκρισης της κάλυψης του εδάφους στις τοποθεσίες συλλογής προνυμφών σε σύγκριση με την κάλυψη του εδάφους που καθορίστηκε με την ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων. Οι ίδιες τοποθεσίες δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκαν και για τους δυο πίνακες.

Μια σύγκριση της ταξινόμησης Landsat και IKONOS έγινε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα PCI MODEL. Τα λευκά pixels στην εικόνα 31 αντιπροσωπεύουν τα pixels που ταξινομήθηκαν το ίδιο στις δυο εικόνες, ενώ τα μαύρα pixels ταξινομήθηκαν διαφορετικά. Μια αναφορά που παρήχθη με το πρόγραμμα PCI MODEL υπολόγισε μια 79% συμφωνία στη ταξινόμηση των pixels στις εικόνες Landsat και IKONOS. Οι διαφορές στην ταξινόμηση μπορεί εν μέρει να αντιπροσωπεύουν διαφορές στην ανάλυση. Επίσης, οι διαφορές στις ταξινομήσεις μπορεί εν μέρει να οφείλονται στα διαφορετικά στάδια της ανάπτυξης του ρυζιού, καθώς οι εικόνες αποκτήθηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες.

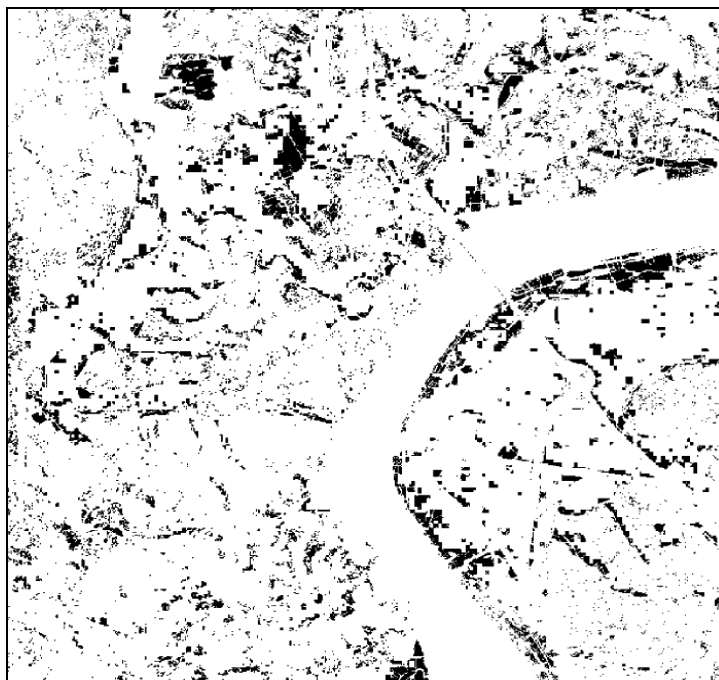


Εικόνα 31 : Εικόνα που δείχνει την συμφωνία των pixels στην ταξινόμηση των εικόνων Landsat και IKONOS. Τα μαύρα pixels (το 21% της εικόνας) ταξινομήθηκαν διαφορετικά στις δυο εικόνες. Τα λευκά pixels κατατάχθηκαν στην ίδια τάξη.

Στην εικόνα 32 τα μαύρα pixels αντιπροσωπεύουν περιοχές που ταξινομήθηκαν ως βιότοπος στην Landsat αλλά ως μη-βιότοπος στην IKONOS. Ένας λόγος για αυτή τη διαφορά είναι ότι η Landsat ταξινομεί τους μικρούς δρόμους και τα μεγάλα αναχώματα που χωρίζουν τους ορυζώνες, ως καλλιέργειες ρυζιού εξαιτίας της χαμηλότερης ανάλυσης. Στην εικόνα 33 τα μαύρα pixels αντιπροσωπεύουν περιοχές που ταξινομήθηκαν ως βιότοποι στην IKONOS αλλά ως μη-βιότοποι στην Landsat. Τα μεγαλύτερα κομμάτια του μαύρου στην εικόνα αυτή αντιπροσωπεύουν περιοχές που ταξινομήθηκαν ανακριβώς ως μη-βιότοποι στην Landsat. Μερικοί από τους μικρούς ορυζώνες που ταξινομήθηκαν ως μη-βιότοποι στην Landsat, επίσης, φαίνονται στην εικόνα 33. Μια σύγκριση της εικόνας 33 με την εικόνα 29 δείχνει ότι μια διασπορά των pixels από τις δασικές περιοχές είχε ταξινομηθεί λανθασμένα ως ρύζι στην εικόνα IKONOS.



Εικόνα 32: Εικόνα που δείχνει τα pixels (σε μαύρο) που ταξινομήθηκαν ως βιότοπος στην Landsat αλλά ως μη-βιότοπος στην IKONOS.



Εικόνα 33: Εικόνα που δείχνει τα pixels (σε μαύρο) που ταξινομήθηκαν ως βιότοπος στην IKONOS αλλά ως μη-βιότοπος στην Landsat.

Οι εκτιμήσεις της περιοχής για την ουδέτερη ζώνη γύρω από το στρατόπεδο Greaves φαίνονται στον πίνακα 10. Αν και η διαφορά στην ταξινόμηση των εικόνων Landsat και IKONOS ήταν περίπου 20%, οι εκτιμήσεις της περιοχής ήταν πολύ κοντά. Η

εκτίμηση του Landsat 7 ETM+ για τις καλλιέργειες ρυζιού ήταν μόνο 2,4% μικρότερη από αυτή του IKONOS.

Class	Image	
	IKONOS	Landsat
Rice fields	4,198,151	4,304,250
Ponds	48,709	None
River	1,465,431	1,604,925
Nonhabitat	6,789,022	6,502,500

Πίνακας 10: Σύγκριση των εκτιμήσεων εδαφοκάλυψης της περιοχής (m²) για το στρατόπεδο Greaves και την γύρω περιοχή, Δημοκρατία της Κορέας. Η τάξη μη-βιότοπος περιλαμβάνει όλες τις περιοχές εκτός από τα ποτάμια, ορυζώνες και μικρές λίμνες.

Συμπεράσματα

Έχουμε διαπιστώσει ότι παρόμοιες εκτιμήσεις των περιοχών βιοτόπων των προνομίων κουνουπιών μπορούν να ληφθούν από τις εικόνες IKONOS και Landsat 7 ETM+. Για πρόχειρες εκτιμήσεις των κυριότερων περιοχών βιοτόπων ο Landsat θα ήταν επαρκής. Σε τοπικό επίπεδο, η εικόνα IKONOS επέτρεψε μια καλύτερη ταξινόμηση των ορυζώνων, προσδιορίζοντας με ακρίβεια το 92% των περιοχών έναντι του 65% για τον Landsat. Η χρήση του IKONOS έχει το πλεονέκτημα να είναι σε θέση να απεικονίσει και να ταξινομήσει χαρακτηρίστηκα κάλυψης εδάφους όπως μικρές λίμνες και ορυζώνες που είναι μικρότερα από 30x30m σε μέγεθος. Οι δυο τύποι εικόνων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από κοινού στον σχεδιασμό και στην εφαρμογή ενός προγράμματος ελέγχου της ελονοσίας. Ο Landsat θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στα πρώτα στάδια του σχεδιασμού για την εκτίμηση του κόστους και των τοποθεσιών ψεκασμού. Μόλις επιλεχτούν οι τοπικές περιοχές “θεραπείας”, οι εικόνες IKONOS θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό των βιοτόπων και την παρακολούθηση των τοπικών προσπαθειών ψεκασμού.

4.4 Βελτίωση της απόδοσης της Ταξινόμησης της κάλυψης εδάφους στην Δυτική Αυστραλία χρησιμοποιώντας πολλαπλών πηγών τηλεπισκοπικά δεδομένα

Improvement of land cover classification performance in Western Australia using multisource remote sensing data

H.T. CHU AND L. GE, School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales, Sydney, Australia

Περίληψη

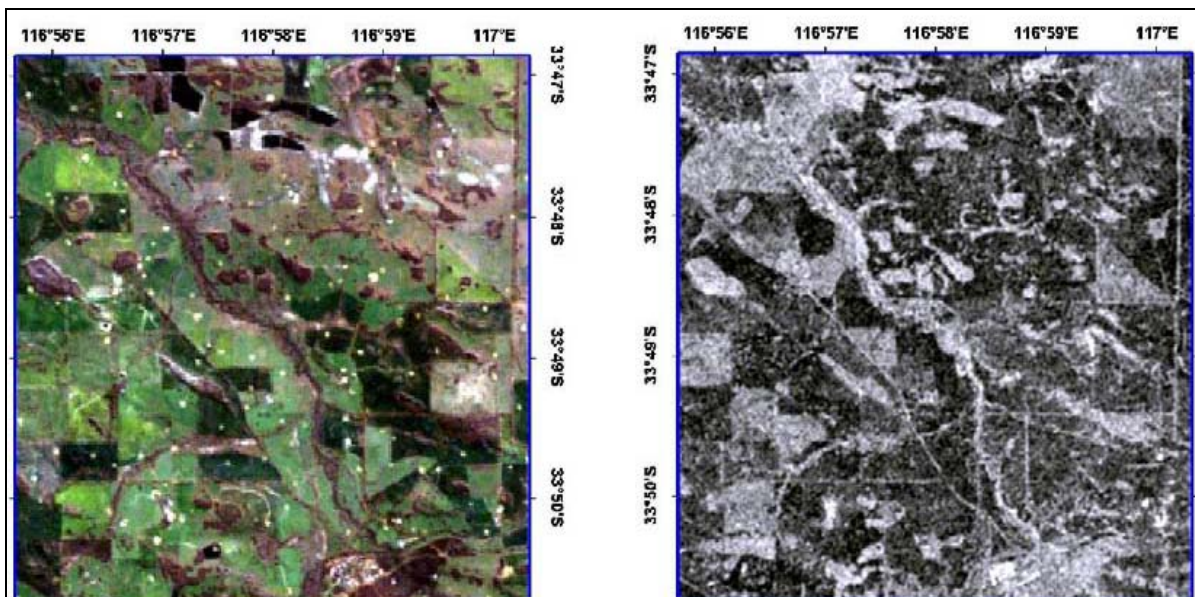
Η χρήση πολλαπλών-πηγών τηλεπισκοπικών δεδομένων για την χαρτογράφηση της εδαφοκάλυψης έχει προσελκύσει ιδιαίτερη προσοχή, καθώς τα δεδομένα εικόνων είναι πιο εύκολα διαθέσιμα σε σχέση με το παρελθόν. Σε αυτή τη μελέτη αξιολογείται η χρησιμότητα των δεδομένων αυτών με την ταξινόμηση των χαρακτηριστικών της εδαφοκάλυψης στη Δυτική Αυστραλία. Η μέθοδος SVM χρησιμοποιήθηκε ως η βασική τεχνική ταξινόμησης, ενώ ο ταξινομητής της Μεγίστης Πιθανοφάνειας (ML) εφαρμόστηκε επίσης, για σύγκριση. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δείχνουν ότι η εφαρμογή των πολλαπλών πηγών τηλεπισκοπικών δεδομένων με τα κατάλληλα σύνολα δεδομένων και τεχνικές ταξινόμησης θα μπορούσαν να βελτιώσουν σημαντικά την ακρίβεια της χαρτογράφησης της εδαφοκάλυψης.

Εισαγωγή

Η ένταξη των πολλαπλών-πηγών τηλεπισκοπικών δεδομένων για την ταξινόμηση της εδαφοκάλυψης έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή από του ερευνητές. Γενικά, υποτίθεται ότι η απόδοση της ταξινόμησης θα ενισχυθεί εάν περισσότερα χαρακτηριστικά συμμετέχουν στις διαδικασίες ταξινόμησης, καθώς η σύγχυση μεταξύ των τάξεων θα μειωθεί. Ωστόσο, η χρήση μεγάλου όγκου δεδομένων δεν δίνει απαραίτητα υψηλή ακρίβεια ταξινόμησης. Αντίθετα, η χρήση πάρα πολλών παραμέτρων και δεδομένων εικόνας θα αυξήσει επίσης, την αβεβαιότητα μέσα στο σύνολο των δεδομένων και μπορεί να μειώσει την ακρίβεια ταξινόμησης. Η παρούσα μελέτη εξετάζει την ικανότητα των πολλαπλών-πηγών τηλεπισκοπικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των πολλαπλών-ημερομηνιών Landsat 5 TM, ALOS/PALSAR εικόνων και τις πληροφορίες υψής για την ταξινόμηση της εδαφοκάλυψης στη Δυτική Αυστραλία. Η διαδικασία ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε για διαφορετικούς συνδυασμούς συνόλων δεδομένων, προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση τους στην χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών της κάλυψης του εδάφους.

Περιοχή Μελέτης – Μέθοδοι

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νότο της πολιτείας της Δυτικής Αυστραλίας (WA). Το έδαφος είναι επίπεδο και χαρακτηρίζεται κυρίως από βοσκοτόπια, καλλιέργειες, δέντρα και μερικές μικρές κατοικημένες περιοχές. Δυο σύνολα τηλεπισκοπικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν για αυτή τη μελέτη: 7 εικόνες ALOS/PALSAR αποκτήθηκαν μεταξύ Ιανουαρίου και Δεκεμβρίου 2010 και 3 Landsat 5 TM εικόνες που αποκτήθηκαν στις 21/9, 7/10 και 24/11 του 2010 με 7 φασματικά κανάλια και χωρική ανάλυση 30m. Ωστόσο, σε αυτή τη μελέτη μόνο τα 5 φασματικά κανάλια χρησιμοποιήθηκαν.



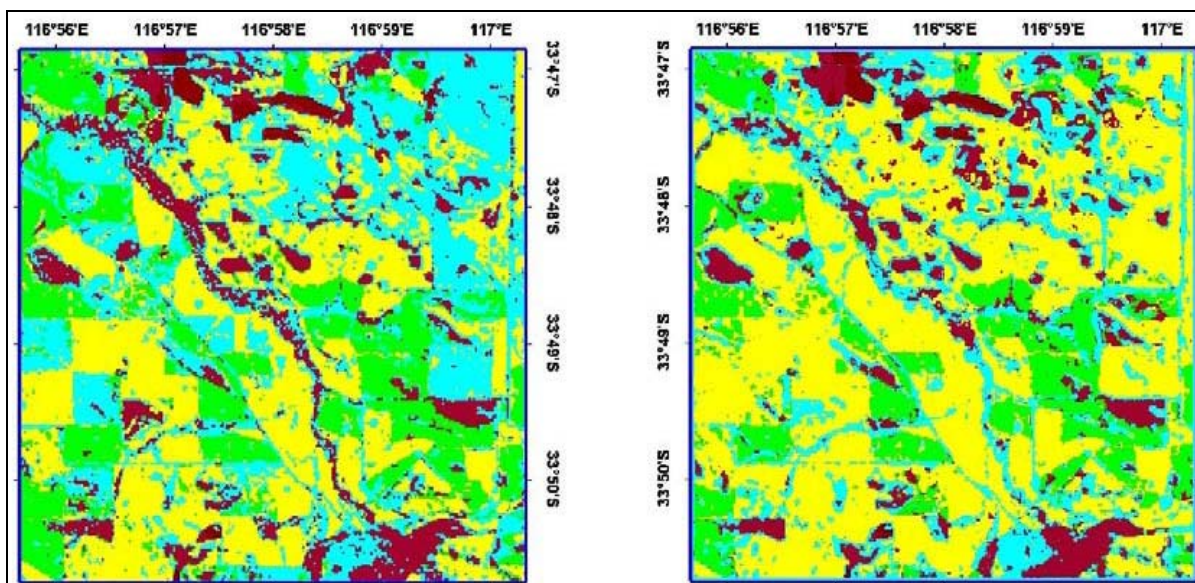
Εικόνα 34: Οι εικόνες Landsat 5 TM και ALOS/PALSAR HH της περιοχής μελέτης.

Και οι ALOS/PALSAR και οι Landsat 5 TM εικόνες καταχωρήθηκαν στο σύστημα συντεταγμένων (UTM, WGS84 datum). Η μη παραμετρική τεχνική ταξινόμησης SVM χρησιμοποιήθηκε ως ο κύριος ταξινομητής για αυτή τη μελέτη. Ωστόσο, ο ταξινομητής της Μεγίστης Πιθανοφάνειας ML χρησιμοποιήθηκε επίσης για λόγους σύγκρισης. Οι τάξεις εδαφοκάλυψης στην περιοχή μελέτης ορίστηκαν ως καλλιέργειες (CR), βοσκοτόπια (PA), πυκνή δεντροκάλυψη (DS), αραιά δέντρα (ST) και κατοικημένη περιοχή (RE). Τα χρώματα που δίνονται για την κάθε τάξη φαίνονται παρακάτω.



Αποτελέσματα

Οι συνολικές ακρίβειες ταξινόμησης των διαφορετικών συνόλων δεδομένων συνοψίζονται στον πίνακα 11, συμπεριλαμβανομένων των αποτελεσμάτων των ταξινομητών ML και SVM. Είναι προφανές ότι οι ταξινομητές SVM αποδίδουν καλύτερα από τον ταξινομητή ML, ιδιαίτερα για τα σύνθετα σύνολα δεδομένων. Όλοι οι συνδυασμοί που παράχθηκαν και από τα δυο είδη δεδομένων είχαν ως αποτέλεσμα μια σημαντική βελτίωση στην ακρίβεια της ταξινόμησης σε σύγκριση με οποιαδήποτε αρχικά ενιαία σύνολα δεδομένων. Ο συνδυασμός πολλαπλών-ημερομηνιών Landsat 5 TM και PALSAR εικόνων έδωσε αξιοσημείωτες αυξήσεις στην ακρίβεια ταξινόμησης, με μια βελτίωση του 8,83% και 27,87% για τα δεδομένα Landsat TM και PALSAR αντίστοιχα. Παρόλο που τα δεδομένα υψής SAR είχαν πολύ κακή απόδοση, ο συνδυασμός τους με τα δεδομένα Landsat 5 TM είχε ως αποτέλεσμα μια πολύ υψηλή ακρίβεια ταξινόμησης του 89,39%. Οι βελτιώσεις ήταν 28,2% και 9,16% σε σύγκριση με τα ενιαίου τύπου σύνολα δεδομένων των PALSAR και των Landsat 5 TM εικόνων, αντίστοιχα.



Εικόνα 35: Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των τριών-ημερομηνιών εικόνων Landsat 5 TM (αριστερά) και του συνδυασμού των τριών-ημερομηνιών εικόνων Landsat 5 TM και των δεδομένων υψής PALSAR (δεξιά).

Datasets	Overall classification accuracy (%)	
	ML	SVM
Seven-date PALSAR HH polarised images	60.34	61.19
Seven-date PALSAR HH images + SAR textural measures	60.45	62.05
SAR textural measures	46.35	54.75
Three-date Landsat 5 TM images	73.21	80.23
Three-date Landsat 5 TM + Seven-date PALSAR HH images	79.28	89.06
Three-date Landsat 5 TM + SAR textural measures	84.98	89.39
Three-date Landsat 5 TM + Seven-date PALSAR HH images + SAR textural measures	85.20	88.96

Πίνακας 11: Η ακρίβεια της ταξινόμησης της κάλυψης εδάφους των διαφόρων συνόλων δεδομένων.

Ο πίνακας 12 δείχνει τα αποτελέσματα της ταξινόμησης σύμφωνα με την προτεινόμενη τεχνική επιλογής χαρακτηριστικών (FS) και την προσέγγιση επιλογής μη-χαρακτηριστικών. Όπως φαίνεται, για τις δυο πρώτες περιπτώσεις η τεχνική FS δεν παρείχε μια διαφορετική λύση σε σχέση με την προσέγγιση μη επιλογής χαρακτηριστικών και στις δυο περιπτώσεις όλα τα χαρακτηριστικά είχαν επιλεγεί. Ωστόσο, στις δυο τελευταίες περιπτώσεις η προσέγγιση FS έδωσε πολύ θετικά αποτελέσματα. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη μέθοδος FS λειτούργησε αρκετά καλά με τα πιο σύνθετα συνδυασμένα σύνολα δεδομένων. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με τον ταξινομητή SVM τα αποτελέσματα της ταξινόμησης που χρησιμοποιεί τον ταξινομητή ML ήταν ελαφρώς μειωμένα.

Datasets	Overall classification accuracy (%)					
	All features			Subset selection		
	NF	ML	SVM	NF	ML	SVM
Three-date Landsat 5 TM + Seven-date PALSAR HH images	22	79.28	89.06	22	79.28	89.06
Seven-date PALSAR HH images + SAR textural measures	27	60.45	62.05	27	60.45	62.05
Three-date Landsat 5 TM + SAR textural measures	35	84.98	89.39	27	83.02	89.42
Three-date Landsat 5 TM + Seven-date PALSAR HH images + SAR textural measures	42	85.20	88.96	21	82.57	89.94

Πίνακας 12: Σύγκριση της απόδοσης της ταξινόμησης της κάλυψης του εδάφους μεταξύ της προσέγγισης επιλογής υποσυνόλων χαρακτηριστικών και της επιλογής μη-χαρακτηριστικών. NF= ο αριθμός των επιλεγμένων χαρακτηριστικών.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι οι χρήσεις των σχετικών χαρακτηριστικών από τα πολλαπλών-πηγών τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ακρίβεια ταξινόμησης. Ο ταξινομητής SVM υπερτερεί από τους παραδοσιακούς ταξινομητές ML στην ταξινόμηση πολύπλοκων συνόλων δεδομένων. Ο συνδυασμός πολλαπλών-ημερομηνιών Landsat 5 TM εικόνων, PALSAR HH εικόνων και των πληροφοριών που προέρχονται από την προτεινόμενη τεχνική μας FS πέτυχε την υψηλότερη ακρίβεια ταξινόμησης του 89,94% με 9,71% και 28,75% βελτίωση της ακρίβειας σε σύγκριση με την ταξινόμηση των πολλαπλών-ημερομηνιών δεδομένων Landsat 5 TM και PALSAR αντίστοιχα.

4.5 Ταξινόμηση της κάλυψης του εδάφους χρησιμοποιώντας μια εικόνα IRS LISS III και ένα DEM σε έντονα ανώμαλο έδαφος: Μια περίπτωση μελέτης στα Ιμαλία

Land cover classification Using IRS LISS III Image and DEM in a rugged terrain: A Case Study in Himalayas

A. K. Saha, M. K. Arora, E. Csaplovics & R. P. Gupta, *Geocarto International*, Volume 20, Issue 2, 2005, pages 33-40

Περίληψη

Η ψηφιακή ταξινόμηση εικόνας συνήθως εκτελείται για να παράγει χάρτες κάλυψης του εδάφους από τηλεπισκοπικά δεδομένα, ιδιαίτερα για τις μεγάλες περιοχές. Η απόδοση των ταξινομητών εικόνας που χρησιμοποιούν μόνο τα τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορεί να επιδεινωθεί, ειδικά στις ορεινές περιοχές, εξαιτίας της παρουσίας σκιών και υψηλών κορυφών. Σε αυτή τη μελέτη, μια προσέγγιση πολλαπλών-πηγών ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση της δασοκάλυψης στην περιοχή των Ιμαλαίων με υψηλές βουνοκορφές έχει εγκριθεί. Τηλεπισκοπικά δεδομένα από τον IRIS LISS III μαζί με τον δείκτη NDVI και ένα Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων DEM έχουν χρησιμοποιηθεί για να εκτελέσουν την πολλαπλών-πηγών ταξινόμηση χρησιμοποιώντας τον ταξινομητή της Μεγίστης Πιθανοφάνειας ML. Τα αποτελέσματα δείχνουν ουσιαστική βελτίωση στην ακρίβεια της ταξινόμησης με την ενσωμάτωση των NDVI και DEM ως βοηθητικά δεδομένα σε σχέση με την ταξινόμηση που εκτελείται μόνο με τηλεπισκοπικά δεδομένα.

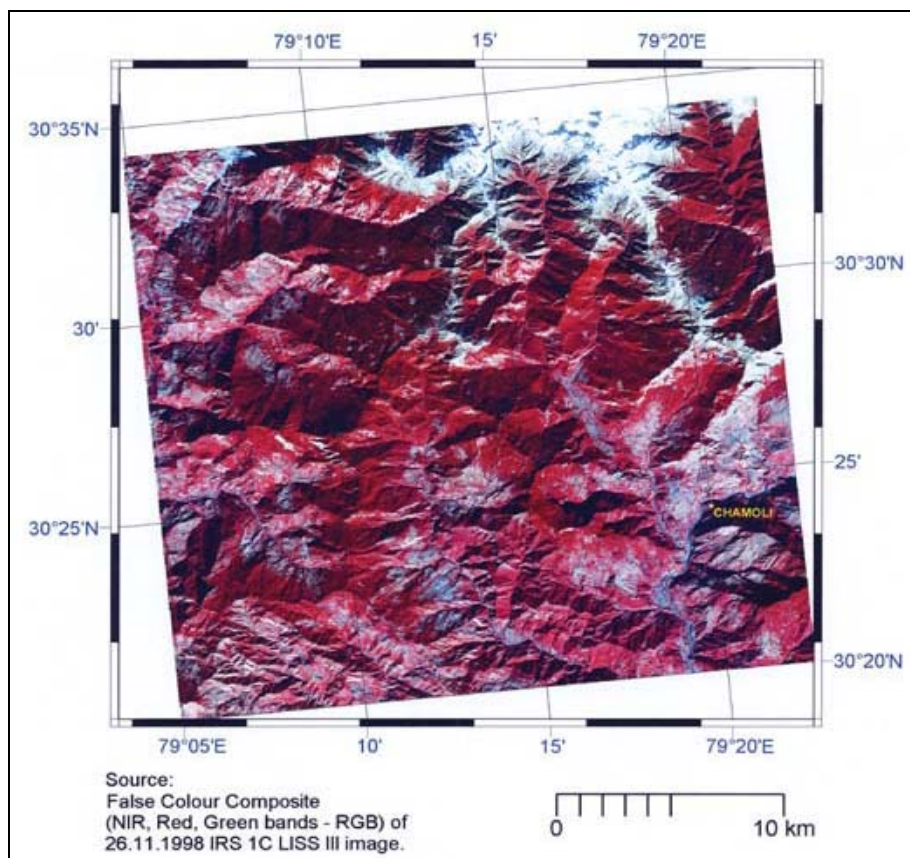
Εισαγωγή

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα είναι ,ειδικότερα, χρήσιμα για την χαρτογράφηση της εδαφοκάλυψης σε ορεινές περιοχές όπως τα Ιμαλία, καθώς αυτές οι περιοχές είναι γενικά απροσπέλαστες λόγω των υψηλών υψομέτρων και της τραχύτητας του εδάφους. Η παρουσία σκιών και υψηλών κορυφών μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια της ταξινόμησης. Μια προσέγγιση ταξινόμησης η οποία ενσωματώνει δεδομένα από άλλες πηγές μπορεί συνεπώς να είναι πιο αποτελεσματική. Τα DEM μαζί με τα παράγωγα τους παρέχουν τη βάση για την πολλαπλών-πηγών ταξινόμηση. Επιπλέον, ένας αριθμός παραγώγων των πολυφασματικών εικόνων όπως ο δείκτης NDVI, μπορούν να ενσωματωθούν στη διαδικασία της ταξινόμησης για την ενίσχυση της ποιότητας των πληροφοριών για την κάλυψη του εδάφους. Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να παραχθεί ένας ακριβής χάρτης εδαφοκάλυψης χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικά και βοηθητικά δεδομένα σε μια περιοχή με υψηλά υψόμετρα στα Ιμαλία, όπου οι σκιές είναι το σημαντικότερο πρόβλημα. Η ταξινόμηση έχει εκτελεστεί χρησιμοποιώντας τον πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο ταξινομητή της Μεγίστης Πιθανοφάνειας (ML).

Περιοχή Μελέτης – Μέθοδοι

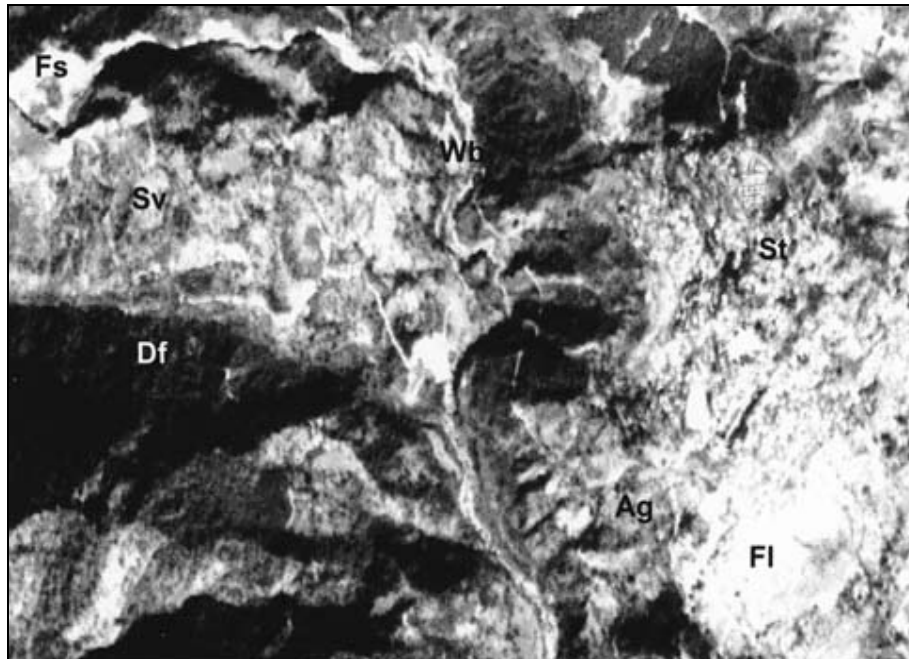
Η περιοχή μελέτης περίπου 730km² βρίσκεται στα Ιμαλία, καλύπτει μέρος των επαρχιών Rudraprayag και Chamoli του νεοσύστατου κράτους Uttaranchal στην Ινδία. Το έδαφος είναι ιδιαίτερα τραχύ με υψόμετρα που κυμαίνονται από 880m ως 4785m πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η παρούσα μελέτη βασίζεται στη

χαρτογράφηση της εδαφοκάλυψης από IRC-1C τηλεπισκοπικά δεδομένα. Η πολυφασματική εικόνα LISS III (εικόνα 36) έχει χρησιμοποιηθεί ως πρωτογενές δεδομένο για την παραγωγή της ταξινόμησης.



Εικόνα 36: Το έγχρωμο υπέρυθρο σύνθετο IRS 1C LISS III (NIR, Red, Green –RGB, ημερομηνία απόκτησης: 26/11/1998).

Ένα DEM και ο δείκτης NDVI χρησιμοποιήθηκαν ως πρόσθετα βοηθητικά δεδομένα για την εκτέλεση της πολλαπλών-πηγών ταξινόμησης. Σε αυτή τη μελέτη, βασισμένη στο σύστημα ταξινόμησης του Anderson, εννέα τάξεις εδαφοκάλυψης καθορίστηκαν. Η λεπτομερής περιγραφή αυτών των τάξεων μαζί με τα ερμηνευτικά τους χαρακτηριστικά τόσο στο ψευδέγχρωμο σύνθετο (FCC) της εικόνας LISS-III όσο και στην εικόνα PAN παρέχονται στον πίνακα 13.



Εικόνα 37: Ένα μέρος των δεδομένων IRIS PAN που δείχνουν διάφορες τάξεις χρήσης/κάλυψης του εδάφους (Df-πυκνό δάσος, Sv-αραιή βλάστηση, Ag-γεωργία, F1-αγρανάπαυση, St-οικισμοί, Fs-νωπά ιζήματα, Wb-νερό, ημερομηνία απόκτησης 10/11/2001).

Καθώς η επιτυχία της ταξινόμησης εξαρτάται ιδιαίτερα από την ποιότητα των δεδομένων εκπαίδευσης, αυτά πρέπει να επιλεγούν από περιοχές αντιπροσωπευτικές των τάξεων εδαφοκάλυψης. Εδώ, το σύνολο των στοιχείων εκπαίδευσης αποτελείται περίπου από το 1% του συνόλου των pixels στην εικόνα LISS III.

Land Cover Class	Description	Characteristics on LISS-III FCC	Characteristics on PAN image
Dense forest	Tall dense trees	Dark red with rough texture	Dark tone with rough texture
Sparse vegetation	Low vegetation density with exposed ground surface	Dull red to pinkish	Light tone with dark patches
Agriculture	Crops on hill terraces as step cultivation	Dull red and smooth appearance	Step like arrangement of fields
Fallow	Agricultural fields without crops	Bluish/greenish grey with smooth texture	Bright tone with smooth texture
Barren	Exposed rocks without vegetation	Yellowish	Very bright tone
Settlements	Towns and villages; block like appearance	Bluish	Typical blocky appearance with light tone
Fresh sediments	Fresh landslide debris and river sediments on the bank	Cyanish	Bright tone
Water body	Rivers and lakes	Cyanish blue to blue according to the depth of water and sediment content	Dark tone
Snow	Snow covered areas on high altitude mountains	Bright white	Very bright tone

Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά των τάξεων εδαφοκάλυψης.

Για ευκολία, το Πράσινο, το Κόκκινο, το NIR και το SWIR κανάλι , ο δείκτης NDVI και το DEM έχουν αριθμηθεί ως 1, 2, 3, 4, 5 και 6 αντίστοιχα.

Ο ML έχει αποδειχθεί ότι είναι ο πιο ακριβής και ο πιο συχνά χρησιμοποιημένος ταξινομητής, όταν συναντώνται διανεμητικές υποθέσεις δεδομένων. Αυτός ο ταξινομητής βασίζεται στον κανόνα απόφασης ότι τα ρίξελ με άγνωστη συμμετοχή σε τάξη κατανέμονται σε εκείνες τις τάξεις με τις οποίες έχουν την υψηλότερη πιθανότητα συμμετοχής. Ο ML ταξινομητής έχει χρησιμοποιηθεί εδώ για να παράγει έναν αριθμό χαρτών εδαφοκάλυψης χρησιμοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς καναλιών.

Αποτελέσματα

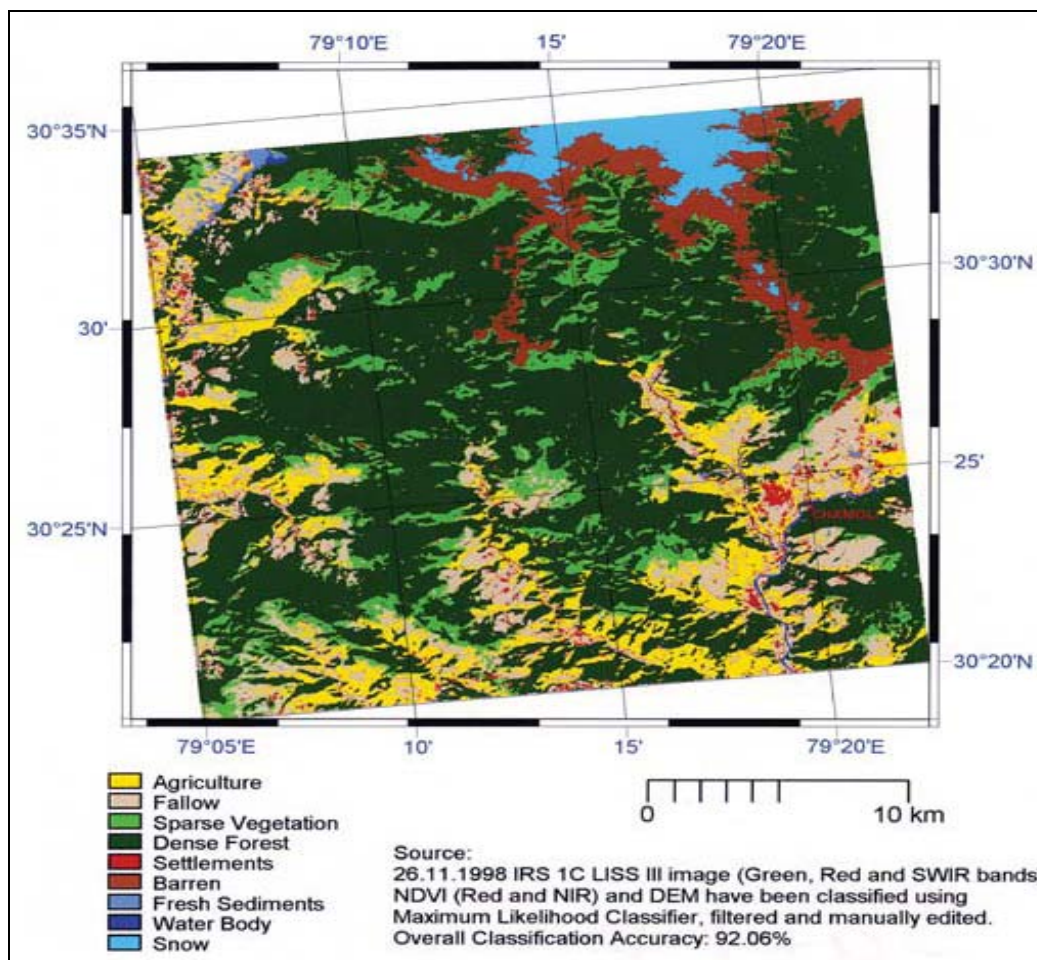
Η ακρίβεια των χαρτών εδαφοκάλυψης που λαμβάνεται από την πολλαπλών-πηγών ταξινόμηση συνόλων δεδομένων χρησιμοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς καναλιών φαίνεται στον πίνακα 14. Η ταξινόμηση βασισμένη μόνο στα φασματικά δεδομένα της εικόνας LISS III παρήγαγε μια ακρίβεια 86,94%. Με την ένταξη του δείκτη NDVI με τα φασματικά δεδομένα, αυτή η ακρίβεια μειώθηκε οριακά σε 84,78%, ωστόσο αυξήθηκε εντυπωσιακά σε 91% όταν τα δεδομένα του DEM και του δείκτη NDVI μαζί, συμπεριλήφθηκαν στην διαδικασία ταξινόμησης. Η υψηλότερη ακρίβεια 92,04% λήφθηκε με τον συνδυασμό των 5 καναλιών (δηλαδή, 1, 2, 4, 5, 6) που περιέχει και το NDVI και το DEM, παράγοντας έτσι μια σημαντική αύξηση στην ακρίβεια 5%. Για να εκτιμηθεί η ακρίβεια των μεμονωμένων τάξεων κάλυψης του εδάφους, η ακρίβεια παραγωγού καθορίστηκε επίσης, για την ταξινόμηση που παρείχε την υψηλότερη συνολική ακρίβεια (δηλαδή, την ταξινόμηση που λήφθηκε χρησιμοποιώντας τον συνδυασμό καναλιών 1, 2, 4, 5, 6). Αυτές οι τιμές της ακρίβειας συγκρίθηκαν επίσης με αυτές που λήφθηκαν από την ταξινόμηση χρησιμοποιώντας μόνο τα φασματικά δεδομένα (πίνακας 14). Όπου φαίνεται ότι η ακρίβεια των περισσότερων τάξεων αυξήθηκε όταν τα δεδομένα NDVI και DEM προστέθηκαν στη διαδικασία ταξινόμησης. Τέλος, στην οπτική σύγκριση της εικόνας FCC (εικόνα 36) με την εικόνα που παρήχθη από την ταξινόμηση με την υψηλότερη ακρίβεια (εικόνα 38) μπορεί να παρατηρηθεί ότι η προσθήκη του DEM και του δείκτη NDVI είχε ως αποτέλεσμα την ορθή ταξινόμηση των σκιασμένων περιοχών.

Band Combination	Overall Accuracy
1, 2,3, 4,5, 6	91.00
1,2,3,4,5	84.78
1,2,3,4,6	91.06
1,2,4,5,6	92.06
1,3,4,5,6	91.72
1,2,3,5,6	85.00
2,3,4,5,6	89.33
1,2,3,4	86.94

Πίνακας 14: Οι συνολικές ακρίβειες για την ταξινόμηση της εδαφοκάλυψης που παράγονται από τους διάφορους συνδυασμούς καναλιών.

Classes	Producer's Accuracy (%)	
	1,2,3,4	1,2,4,5,6
Dense Forest	99.0	99.5
Sparse Vegetation	76.0	90.0
Agriculture	77.5	97.5
Fallow	79.5	71.5
Barren land	91.5	99.0
Settlements	85.5	92.0
Fresh sediments	98.0	95.5
Water body	83.0	84.5
Snow cover	92.5	99.0

Πίνακας 15: Η ακρίβεια παραγωγού των επί μέρους τάξεων που προκύπτει από τις ταξινομήσεις χρησιμοποιώντας τον συνδυασμό καναλιών 1,2,3,4 έναντι του συνδυασμού καναλιών 1,2,4,5,6.



Εικόνα 38: Η ταξινόμηση της κάλυψης του εδάφους με την υψηλότερη ακρίβεια (92,06%) που παράγεται από τον συνδυασμό καναλιών 1, 2, 4, 5, 6.

Συμπεράσματα

Η χρήση βοηθητικών συνόλων δεδομένων εκτός των τηλεπισκοπικών δεδομένων, συστήνεται. Αυτή η μελέτη έδειξε μια αξιοσημείωτη αύξηση στην ακρίβεια της ταξινόμησης της εδαφοκάλυψης με την ένταξη των δεδομένων του DEM και του δείκτη NDVI στην εικόνα IRS-LISS-III. Ακρίβειες ταξινόμησης της τάξης του 90% λήφθηκαν για την πλειοψηφία των εννέα τάξεων κάλυψης του εδάφους που χαρτογραφήθηκαν. Η προσθήκη των βοηθητικών δεδομένων μείωσε σημαντικά τις λανθασμένες ταξινομήσεις που οφείλονται στην επίδραση των σκιών στην εικόνα και στην ομοιότητα των φασματικών χαρακτηριστικών ορισμένων τάξεων στις περιοχές υψηλού υψόμετρου. Η παρούσα μελέτη τονίζει την αποτελεσματικότητα της ενσωμάτωσης των δεδομένων του DEM και του δείκτη NDVI με τα φασματικά δεδομένα για την ενίσχυση της ποιότητας της ταξινόμησης σε ορεινές περιοχές όπως τα Ιμαλάια.

4.6 Σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων: Μια εφαρμογή στην επαρχία Αϊβαλί, Δυτική Τουρκία

Comparing different satellite image classification methods: An application in Ayvalik district, Western Turkey

Aykut AKGÜN, A.Hüsnü ERONAT and Necdet TÜRK, Sciences New York (2004), Publisher: ISPRS, Pages: 1091-1096

Περίληψη

Οι διαφορετικές μέθοδοι ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων συγκρίθηκαν χρησιμοποιώντας τις δορυφορικές εικόνες της περιοχής Αϊβαλί που βρίσκεται στην δυτική ακτή της Τουρκίας. Για το σκοπό αυτό, η ταξινόμηση της χρήσης γης της περιοχής έρευνας έγινε με διαφορετικές διαδικασίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης εικόνας και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Μια δορυφορική εικόνα Landsat 7 ETM+, η IDRISI klimanjaro επεξεργασία εικόνας και το πακέτο GIS χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη. Από τις ταξινομημένες εικόνες, η μέθοδος της Μεγίστης Πιθανοφάνειας βρίσκεται να είναι πιο εφαρμόσιμη και αξιόπιστη για τους σκοπούς της ταξινόμησης δορυφορικής εικόνας.

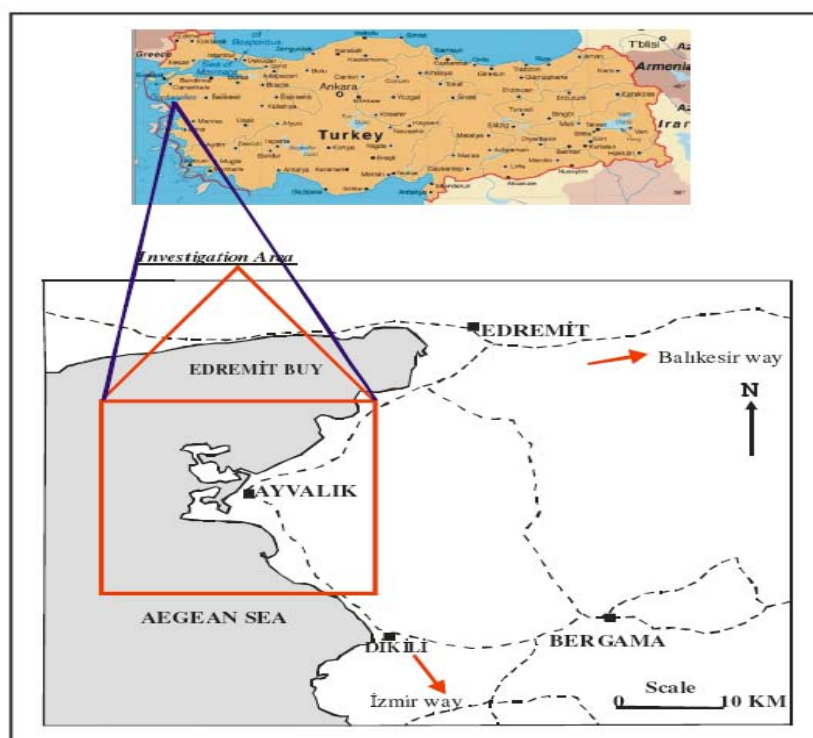
Εισαγωγή

Η ταξινόμηση εικόνας είναι ένα σημαντικό κομμάτι της τηλεπισκόπησης, της ανάλυσης εικόνας και της αναγνώρισης προτύπων. Υπάρχουν διάφορες διαδικασίες ταξινόμησης εικόνας που χρησιμοποιούνται για διαφορετικούς σκοπούς. Αυτές οι τεχνικές διακρίνονται σε δυο βασικούς τρόπους, ως επιβλεπόμενες και ως μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις. Επιπλέον, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση έχει διάφορες υπό μεθόδους που ονομάζονται μέθοδοι Παραλληλεπιπέδου, Μεγίστης Πιθανοφάνειας, Ελάχιστης Απόστασης και ταξινομητή Fisher. Αυτές οι μέθοδοι αναφέρονται ως σκληροί ταξινομητές.

Σε αυτή τη μελέτη, το IDRISI klimanjaro χρησιμοποιήθηκε για τη διαφορετική ταξινόμηση εικόνας που επιλέχτηκε: οι ταξινομητές του Παραλληλεπιπέδου, της Μεγίστης Πιθανοφάνειας, της Ελάχιστης Απόστασης από τα μέσα και του Fisher χρησιμοποιήθηκαν για να καθορίσουν ποιος ταξινομητής είναι πιο αποτελεσματικός και χρήσιμος για το σκοπό αυτής της μελέτης. Για να δοκιμαστούν αυτοί οι ταξινομητές, μια εφαρμογή χρήσης γης έγινε στην περιοχή μελέτης. Σε αυτό το πλαίσιο, η μέθοδος του CORINE χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση της χρήσης γης. Επτά τάξεις επιλέχτηκαν. Τεχνητές επιφάνειες (Αστικές περιοχές), Γεωργικές εκτάσεις, Δάσος και ελιές, υγρότοποι και συγκεντρώσεις νερού (θάλασσα, λίμνη) είναι οι επιλεγμένες τάξεις εδάφους σύμφωνα με τη μέθοδο χρήσης γης του CORINE. Η τάξη του άγονου εδάφους προστέθηκε στις επιλεγμένες κατηγορίες. Για το σκοπό αυτό, μια PCA (Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών) σύνθετη εικόνα που αποτελείται από τον συνδυασμό καναλιών PC2, PC4 και PC5 συγκροτήθηκε. Τέσσερις ταξινομητές εικόνας ο Παραλληλεπιπέδου, ο Ελάχιστης Απόστασης, ο Μεγίστης Πιθανοφάνειας και ο Fisher εφαρμόστηκαν για να ταξινομήσουν τη σύνθετη εικόνα, αντίστοιχα.

Περιοχή Μελέτης – Μέθοδοι

Σε αυτή τη μελέτη, η περιοχή Αϊβαλί που βρίσκεται στη δυτική ακτή της Τουρκίας (εικόνα 39) επιλέχθηκε ως η περιοχή μελέτης, που καλύπτει περίπου 560 km². Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη μια δορυφορική εικόνα Landsat 7 ETM+ που αποκτήθηκε στις 16/11/2001, η IDRISI klimanjaro επεξεργασία εικόνας και το πακέτο GIS.



Εικόνα 39: Ο χάρτης με την τοποθεσία της περιοχής μελέτης.

Η διαδικασία του Παραλληλεπιπέδου (PIPED) χρησιμοποιείται για ειδικούς παιδαγωγικούς λόγους μόνο. Όταν οι περιοχές κατάρτισης είναι γνωστό ότι είναι έντονες χρησιμοποιείται η διαδικασία της Μεγίστης Πιθανοφάνειας. Ωστόσο, εάν υπάρχουν ανησυχίες για την ποιότητα των περιοχών κατάρτισης, η διαδικασία της Ελάχιστης Απόστασης με τυποποιημένες αποστάσεις θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Ο ταξινομητής Fisher μπορεί να αποδώσει εξαιρετικά καλά όταν δεν υπάρχουν ουσιαστικές περιοχές αγνώστων τάξεων και όταν οι περιοχές κατάρτισης είναι έντονα αντιπροσωπευτικές των ενημερωτικών τάξεων.

Στην παρούσα μελέτη, ταξινομητές επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκαν για να ταξινομήσουν την εικόνα της περιοχής μελέτης.

Ο ταξινομητής του Παραλληλεπιπέδου είναι ένας πολύ απλός επιβλεπόμενος ταξινομητής που λειτουργεί με τον έλεγχο των ιστογραμμάτων των επιμέρους φασματικών συνιστωσών των διαθέσιμων στοιχείων κατάρτισης. Ενώ είναι ένας απλός ταξινομητής έχει κάποια μειονεκτήματα. Ένα είναι ότι μπορεί να υπάρχουν σημαντικά κενά μεταξύ των παραλληλεπιπέδων και τα pixels σε αυτές τις περιοχές

δεν θα ταξινομηθούν. Ένας άλλος περιορισμός είναι ότι οι εκ των προτέρων πιθανότητες της συμμετοχής τάξης δεν λαμβάνονται υπόψη. Τέλος, για τα συσχετισμένα στοιχεία μπορεί να υπάρξει επικάλυψη των παραλληλεπιπέδων όταν οι πλευρές τους είναι παράλληλες προς τους φασματικούς άξονες.

Ο ταξινομητής της Ελάχιστης Απόστασης βασίζεται στα στοιχεία της περιοχής κατάρτισης. Ο ταξινομητής χαρακτηρίζει κάθε τάξη από τη μέση θέση της στο κάθε κανάλι. Ο ταξινομητής της Ελάχιστης Απόστασης συνίσταται ιδιαίτερα σε όλες τις εφαρμογές ταξινόμησης εικόνας. Η ταξινόμηση εκτελείται με την τοποθέτηση ενός ρίξει στην τάξη του πλησιέστερου μέσου. Επίσης είναι μια τεχνική γρηγορότερη από την ταξινόμηση της Μεγίστης Πιθανοφάνειας.

Η ταξινόμηση της Μεγίστης Πιθανοφάνειας είναι η πιο συχνή μέθοδος επιβλεπόμενης ταξινόμησης που χρησιμοποιείται με τηλεπισκοπικά δεδομένα εικόνας. Ο ταξινομητής αυτός, βασίζεται στην Bayesian θεωρία πιθανοτήτων.

Ο ταξινομητής Fisher διενεργεί μια γραμμική ανάλυση των στοιχείων της περιοχής κατάρτισης για να διαμορφώσει ένα σύνολο γραμμικών συναρτήσεων που εκφράζουν το βαθμό της στήριξης για κάθε τάξη.

Αποτελέσματα

Από αυτούς τους σκληρούς επιβλεπόμενους ταξινομητές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, ο Μεγίστης Πιθανοφάνειας και ο Fisher είναι σαφώς οι πιο ισχυροί, καθώς κάνουν πιο αξιόπιστη ταξινόμηση. Όπως προαναφέραμε η μέθοδος του CORINE χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία χάρτη χρήσης γης. Έτσι, επτά τάξεις χρήσης γης καθορίστηκαν. Συγκεντρώσεις νερού (θάλασσα, λίμνη), υγρότοποι, δάσος, αστικές περιοχές, γεωργικές εκτάσεις, άγονο έδαφος επιλέχθηκαν αρχικά. Καθώς όμως τα ελαιόδεντρα καλύπτουν την περιοχή μελέτης εκτενώς, μια έβδομη τάξη προστέθηκε στις παραπάνω τάξεις. Τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από τις ταξινομημένες εικόνες συγκρίθηκαν και κάθε μια από τις εικόνες ελέγχθηκε με επιβεβαίωση πεδίου.

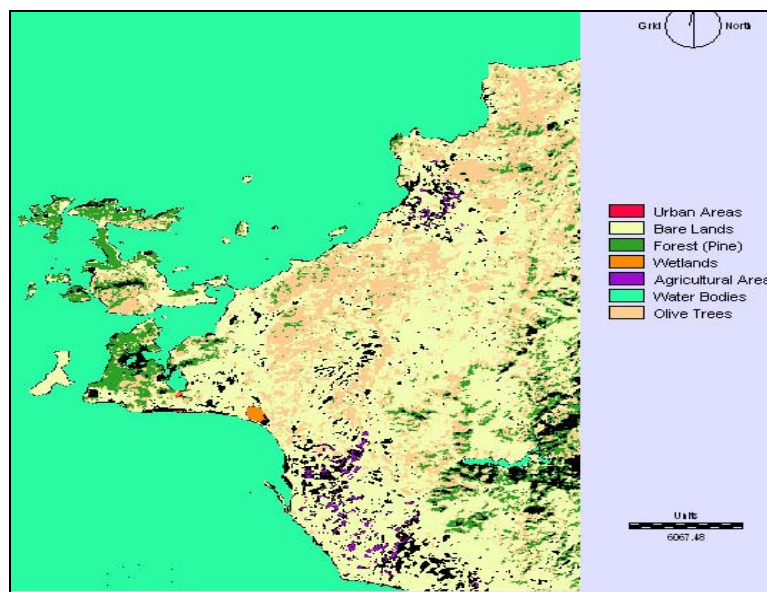
Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του Παραλληλεπιπέδου (εικόνα 40) ήταν απλά και δεν ανταποκρίνονταν στα πραγματικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Για παράδειγμα, οι αστικές περιοχές στον χάρτη δεν μπορούν να αναγνωριστούν, το άγονο έδαφος και τα ελαιόδεντρα δεν μπορούσαν να διακριθούν το ένα από το άλλο. Σε ορισμένες περιοχές η βλάστηση φαίνεται με μαύρο χρώμα. Εξαιτίας αυτών των ανωμαλιών, αυτός ο ταξινομητής δεν βρέθηκε αρκετά κατάλληλος για τη χαρτογράφηση της χρήσης γης.

Ο χάρτης που προέκυψε με τη χρήση του ταξινομητή των Ελαχίστων Αποστάσεων (εικόνα 41) φάνηκε πιο αξιόπιστος από τον χάρτη που παράχθηκε με τη μέθοδο του Παραλληλεπιπέδου. Σε αυτόν τον χάρτη, οι περιοχές οικισμού ήταν επιλέξιμες, τα όρια της κάλυψης από βλάστηση, οι γεωργικές εκτάσεις και τα ελαιόδεντρα ήταν πιο σαφή από ότι στον χάρτη του ταξινομητή του Παραλληλεπιπέδου.

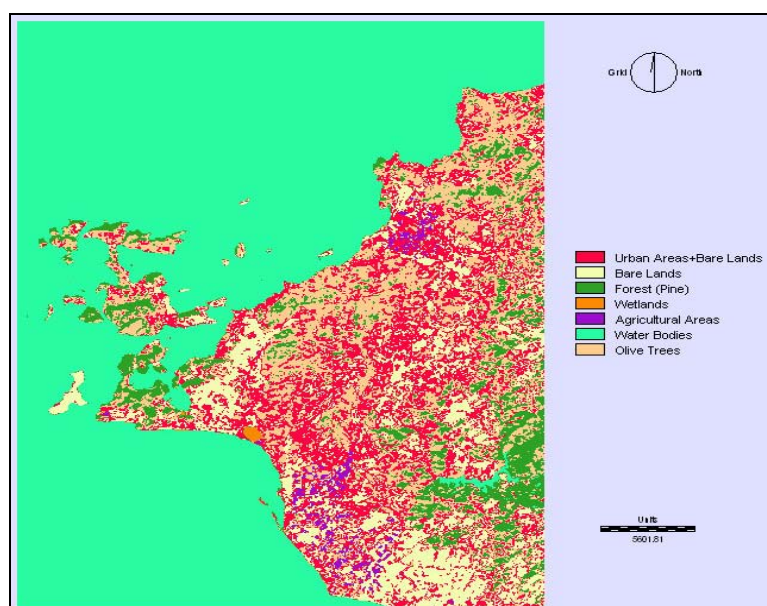
Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης της Μεγίστης Πιθανοφάνειας ήταν πολύ καλύτερο από τους προηγούμενους δυο χάρτες. Στον χάρτη της Μεγίστης Πιθανοφάνειας η διάκριση άγονο έδαφος-ελαιόδεντρα φαινόταν καθαρά, τα όρια των γεωργικών εκτάσεων και του δάσους ήταν περισσότερο εμφανή από ότι στους χάρτες της Ελάχιστης Απόστασης και του Παραλληλεπιπέδου (εικόνα 42). Σε αυτόν τον χάρτη,

ορισμένες περιοχές υγροτόπων υποδείχθηκαν με πορτοκαλί χρώμα. Αυτό ήταν εξαιτίας της καθίζησης σε εκείνες τις τοποθεσίες.

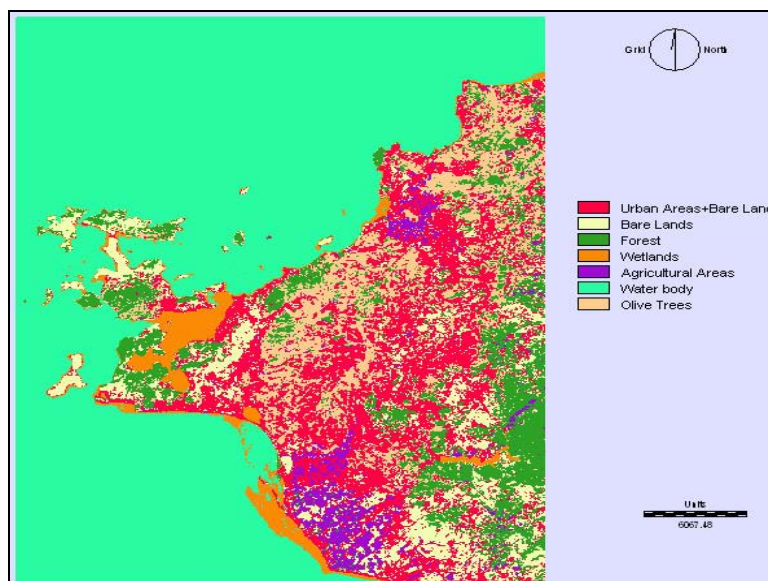
Ο χάρτης που έχει παραχθεί από την εφαρμογή του ταξινομητή της γραμμικής διακρίνουσας (εικόνα 43) ήταν πιο κατάλληλος από τον χάρτη των Ελαχίστων Αποστάσεων και ήταν λιγότερο ορθός από τον χάρτη της Μεγίστης Πιθανοφάνειας. Σε αυτόν τον χάρτη, οι αστικές περιοχές ήταν πιο σαφείς και από τους τρεις προηγούμενους χάρτες. Τα όρια του άγονου εδάφους και των ελαιοδέντρων ήταν επίσης αναγνωρίσιμα. Ωστόσο, τα όρια του δάσους και των ελαιοδέντρων δεν ήταν σαφή σύμφωνα με τις μελέτες του επίγειου ελέγχου.



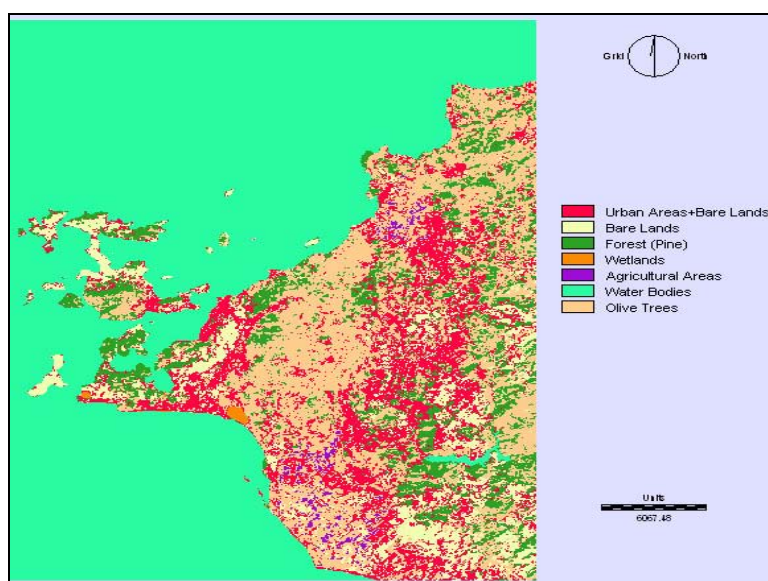
Εικόνα 40: Χάρτης του ταξινομητή του Παραλληλεπιπέδου.



Εικόνα 41: Χάρτης του ταξινομητή των Ελαχίστων Αποστάσεων.

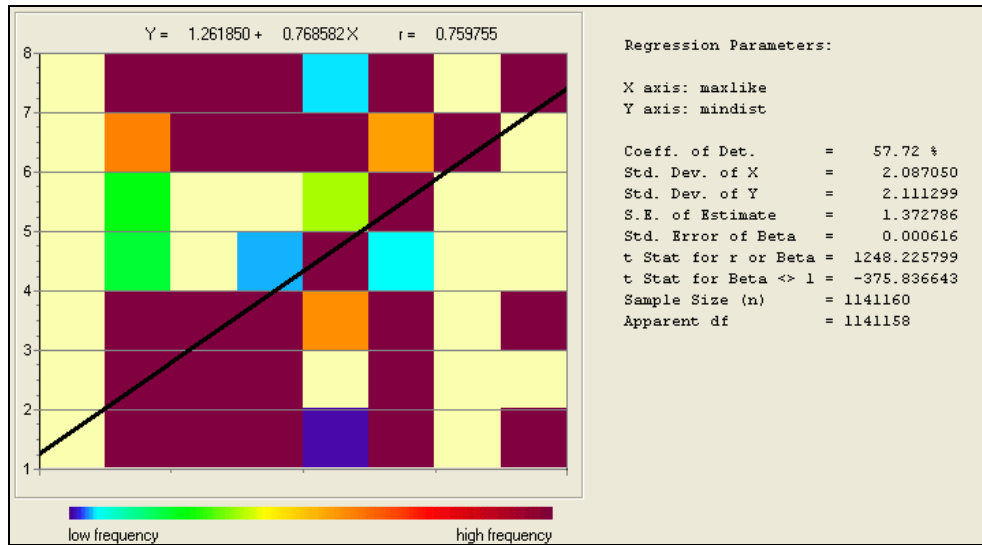


Εικόνα 42: Χάρτης του ταξινομητή της Μεγίστης Πιθανοφάνειας.

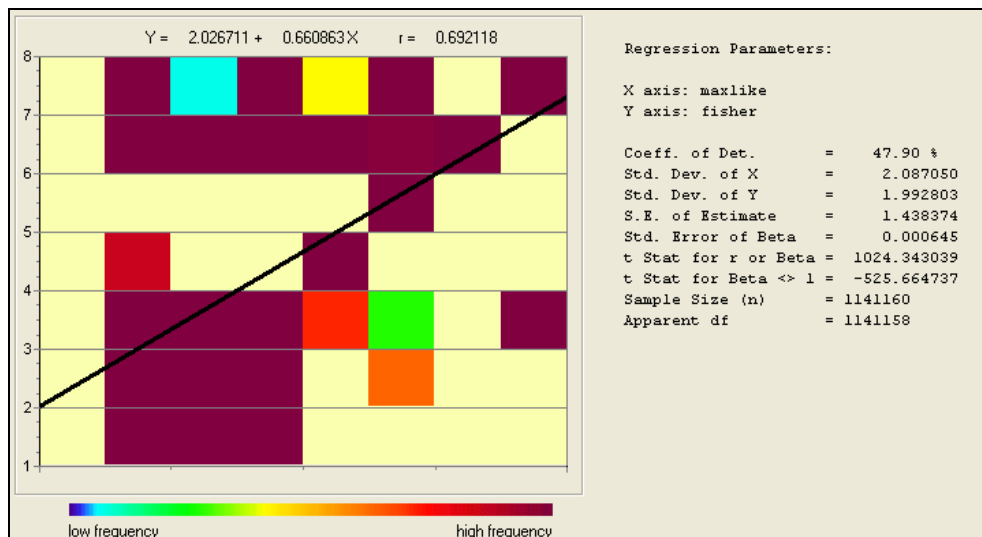


Εικόνα 43: Χάρτης του ταξινομητή Fisher.

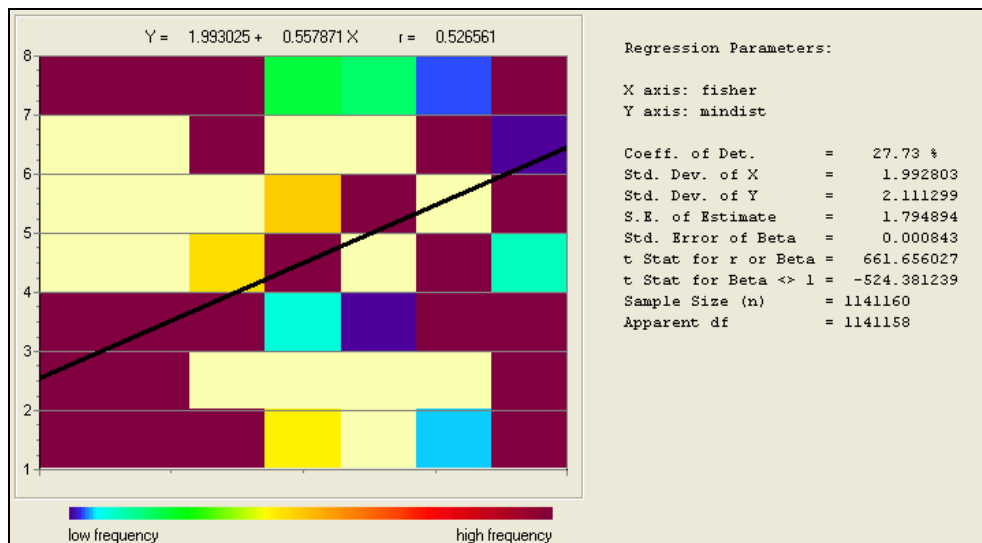
Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης συγκρίθηκαν μεταξύ τους και έγινε ανάλυση παλινδρόμησης. Η καλύτερη συσχέτιση λήφθηκε ανάμεσα στους χάρτες της Μεγίστης Πιθανοφάνειας και της Ελάχιστης Απόστασης ($r=0,79$). Άλλα αποτελέσματα παλινδρόμησης είναι $r=0,69$, $r=0,52$ και $r=0,76$ για τους ταξινομητές της Μεγίστης Πιθανοφάνειας-γραμμικής διακρίνουσας, Ελάχιστης Απόστασης-γραμμικής διακρίνουσας και Μεγίστης Πιθανοφάνειας- Παραλληλεπιπέδου, αντίστοιχα.



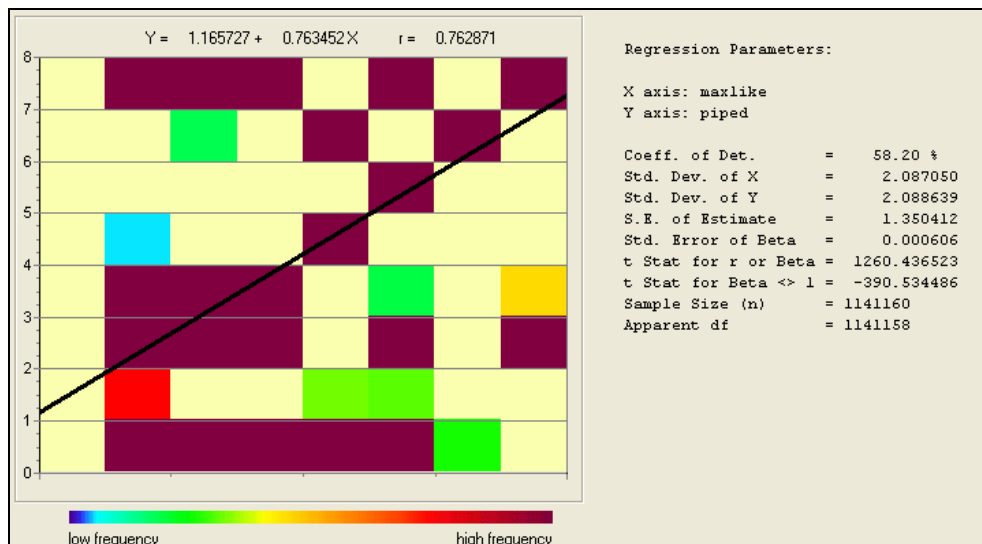
Πίνακας 16: Παλινδρόμηση των ταξινομητών Μεγίστης Πιθανοφάνειας και Ελάχιστης Απόστασης.



Πίνακας 17: Παλινδρόμηση των ταξινομητών Μεγίστης Πιθανοφάνειας και Γραμμικής Διακρίνουσας.



Πίνακας 18: Παλινδρόμηση των ταξινομητών Ελάχιστης Απόστασης και Γραμμικής διακρίνουσας.



Πίνακας 19: Παλινδρόμηση των ταξινομητών Μεγίστης Πιθανοφάνειας και Παραλληλεπιπέδου.

Συμπεράσματα

Για την πιο αποτελεσματική χρήση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, οι διαχειριστές της χρήσης γης πρέπει να γνωρίζουν τους περιορισμούς και τα πλεονεκτήματα των δορυφορικών δεδομένων. Οι τεχνικές για τη βελτίωση της ταξινόμησης της χρήσης γης με δορυφορικά δεδομένα τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν τη χρήση των κατάλληλων ψηφιακών δεδομένων. Σε αυτή τη μελέτη διαπιστώθηκε ότι ο ταξινομητής της Μεγίστης Πιθανοφάνειας ήταν η πιο κατάλληλη μέθοδος ταξινόμησης για την χαρτογράφηση της χρήσης γης. Ο ταξινομητής της Ελάχιστης Απόστασης επίσης καθορίστηκε τόσο κατάλληλος όσο ο Μεγίστης Πιθανοφάνειας.

4.7 Ταξινόμηση της κάλυψης εδάφους των περιβαλλόντων τούνδρας στο Αρκτικό Δέλτα Λένα βασισμένη σε δεδομένα Landsat 7 ETM+ και στις εφαρμογές τους για αναβάθμιση των εκπομπών μεθανίου

Land cover classification of tundra environments in the Arctic Lena Delta based on Landsat 7 ETM+ data and its application for upscaling of methane emissions.

Julia Schneider, Guido Grosse, Dirk Wagner, Remote Sensing of Environment (2009), Volume: 113, Issue: 2, Publisher: Elsevier Inc., Pages: 380-391 16 February 2009

Περίληψη

Τα φυσικά δέλτα χαρακτηρίζονται από σύνθετα γεωμορφολογικά μοτίβα και από διάφορους τύπους οικοσυστημάτων, οι πληροφορίες υψηλής χωρικής ανάλυσης σχετικά με την κατανομή και την έκταση των περιβαλλόντων δέλτα είναι απαραίτητες για μια χωρική αξιολόγηση και έναν ακριβή προσδιορισμό της ποσότητας των βιογεωχημικών διεργασιών ως οδηγοί για την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου από τα εδάφη τούνδρας. Στη παρούσα μελέτη η πρώτη ταξινόμηση της εδαφοκάλυψης για ολόκληρο το δέλτα Λένα, βασισμένη σε εικόνες Landsat 7 ETM+ διεξήχθη και χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της ποσότητας εκπομπών μεθανίου από τα οικοσυστήματα του δέλτα σε περιφερειακή κλίμακα. Εννέα τάξεις εδαφοκάλυψης υδάτινων και χερσαίων οικοσυστημάτων στο δέλτα Λένα μπορούσαν να καθοριστούν από αυτή τη προσέγγιση ταξινόμησης.

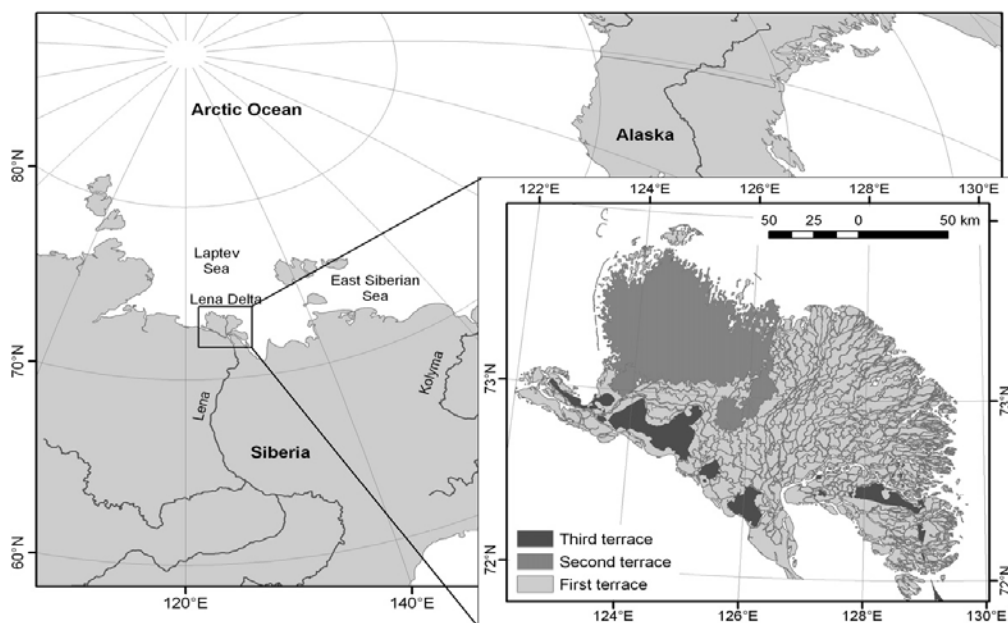
Εισαγωγή

Εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα και τους υδρατμούς, το ατμοσφαιρικό αέριο ίχνος μεθανίου (CH_4) είναι ένα από τα πιο σημαντικά αέρια του θερμοκηπίου. Το μεθάνιο είναι χημικά πολύ δραστικό και πιο αποτελεσματικό στην απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από ότι το διοξείδιο του άνθρακα. Το μεθάνιο έχει μια μεγάλη ποικιλία φυσικών και ανθρωπογενών πηγών. Αν και οι κυριότερες πηγές ατμοσφαιρικού μεθανίου είναι σχετικά γνωστές, ο προσδιορισμός της ποσότητας των εκπομπών μεθανίου από αυτές τις πηγές είναι δύσκολος εξαιτίας της υψηλής χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας. Οι πιο σημαντικές φυσικές πηγές είναι οι υγρότοποι.

Στη μελέτη μας εφαρμόσαμε τεχνικές τηλεπισκόπησης για τον προσδιορισμό της ποσότητας εκπομπών μεθανίου, εστιάζοντας στην περιοχή από τούνδρα του δέλτα Λένα στην βορειανατολική Σιβηρία. Οι σκοποί αυτής της μελέτης ήταν: (1) η ταξινόμηση των τύπων εδαφοκάλυψης του δέλτα Λένα με βάση τη δυναμική τους σε εκπομπή μεθανίου και χρησιμοποιώντας Landsat 7 ETM+ δορυφορικά δεδομένα, (2) ο καθορισμός της χωρικής κατανομής και κάλυψης των διαφόρων τάξεων εδαφοκάλυψης, (3) η μέτρηση των εκπομπών μεθανίου των κυριότερων τύπων εδάφους στο δέλτα Λένα και να αποδοθούν αυτές στις δικές μας τάξεις εδαφοκάλυψης.

Περιοχή Μελέτης – Μέθοδοι

Η περιοχή μελέτης είναι το Δέλτα Λένα που βρίσκεται στην Βόρεια Σιβηρία στην ακτή της θάλασσας Laptev ανάμεσα στη χερσόνησο Ταϊμίρ και στα νησιά Νέα Σιβηρία εικόνα 44. Καταλαμβάνει μια περιοχή περίπου 29.000 km², είναι το μεγαλύτερο δέλτα στην Αρκτική και ένα από τα μεγαλύτερα στον κόσμο. Το δέλτα χαρακτηρίζεται από ένα δίκτυο από μικρά και μεγάλα ποτάμια και κανάλια, και από περισσότερα από 1000 νησιά. Η μελέτη βασίστηκε στην ταξινόμηση της εδαφικάλυψης τριών σχεδόν ελεύθερων από σύννεφα δορυφορικών εικόνων Landsat 7 ETM+ που καλύπτουν περισσότερο από το 98% του Δέλτα Λένα. Οι ημερομηνίες απόκτησης είναι 27/7/2000 (διαδρομή 131, σειρά 8 και 9) και 26/7/2001 (διαδρομή 135, σειρά 8). Το λογισμικό ERDAS Imagine χρησιμοποιήθηκε για να εκτελέσει όλες τις εργασίες επεξεργασίας εικόνας. Οι τρεις εικόνες Landsat 7 ETM+ διορθώθηκαν χρησιμοποιώντας σημεία επίγειου ελέγχου από τρεις άλλες ορθό διορθωμένες εικόνες Landsat 7 και εφαρμόζοντας ενός πρώτου βαθμού πολυωνυμικού μετασχηματισμού.



Εικόνα 44: Η τοποθεσία του Δέλτα Λένα στη ΒΑ Σιβηρία.

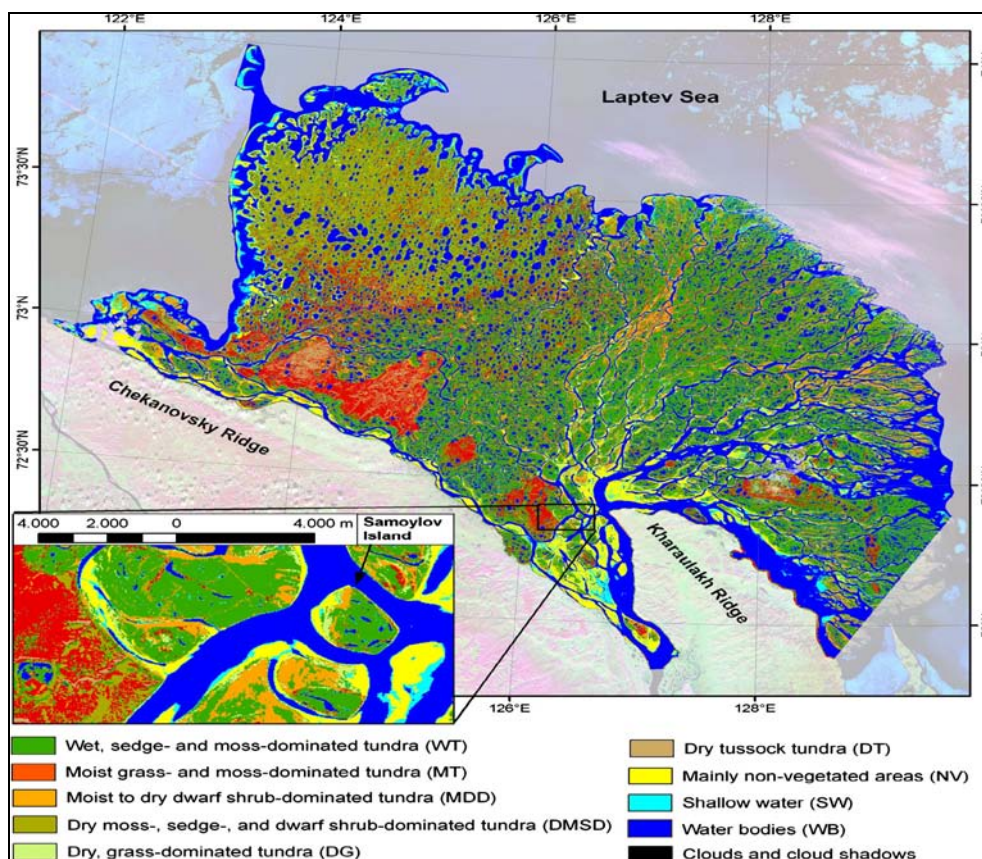
Οι ταξινομήσεις εικόνας διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας μη επιβλεπόμενες και επιβλεπόμενες τεχνικές. Η νεφοκάλυψη εντοπίστηκε από μια μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση και συγκαλύφθηκε ώστε να μην φαίνεται στο μωσαϊκό της εικόνας. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε επίσης για να προσδιορίσει φασματικά παρόμοιες περιοχές και πιθανές περιοχές κατάρτισης για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Ο μη επιβλεπόμενος αλγόριθμος ISODATA χρησιμοποιήθηκε για να παράγει τις ταξινομήσεις κατά τη διάρκεια ενός αριθμού εκτελέσεων ταξινόμησης με ένα ποικίλο αριθμό τάξεων (6 έως 40). Ωστόσο, ο έλεγχος με τα στοιχεία του επίγειου ελέγχου αποκάλυψε ότι οι περισσότερες από τις φασματικές τάξεις που καθορίστηκαν από αυτές τις μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις δεν αντιπροσωπεύουν ομοιογενείς τάξεις εδαφικάλυψης. Ως εκ τούτου, μια επιβλεπόμενη ταξινόμηση εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας τα φασματικά κανάλια 1-5 και 7 (VIS, NIR, SWIR). Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση ο αλγόριθμος της Ελάχιστης Απόστασης χρησιμοποιήθηκε, διότι μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικός από τον συχνά

χρησιμοποιημένο αλγόριθμο της Μεγίστης Πιθανοφάνειας όταν ο αριθμός των περιοχών κατάρτισης ανά τάξη είναι περιορισμένος. Βοηθητικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή των περιοχών κατάρτισης για την κάθε τάξη, συμπεριλαμβανομένων τοπογραφικοί χάρτες (1:200.000), ένα χάρτη βλάστησης και εδάφους (1:1.000.000), ένα γεωμορφολογικό χάρτη (1:500.000) και γνώσεις πεδίου. Η διαδικασία αυτή είχε ως αποτέλεσμα 34 περιοχές κατάρτισης για 10 τάξεις εδαφοκάλυψης. Μετά από την αξιολόγηση αυτών των τάξεων όσον αφορά τις εκπομπές μεθανίου τους, δυο τάξεις συγχωνεύτηκαν. Ο τελικός αριθμός τάξεων είναι εννέα. Η αξιολόγηση της ακρίβειας για την ταξινόμησή μας βασίστηκε σε 36 επικυρωμένες περιοχές που εξαπλώνονται σε όλο το δέλτα. Οι περιοχές επιλέχτηκαν χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο τυχαίας επιλογής σημείου.

Αποτελέσματα

Εννέα τάξεις κάλυψης εδάφους που χαρακτηρίστηκαν από τη βλάστηση, την υγρασία επιφάνειας και την τοπογραφία τους και συν μια τάξη κάλυψης των σύννεφων θα μπορούσαν να καθοριστούν για την περιοχή του Δέλτα Λένα:

(1) υγρό σπαθόχορτο και τούνδρα που κυριαρχούν βρύα (WT), (2) υγρή χλόη και τούνδρα που κυριαρχούν βρύα (MT), (3) τούνδρα που κυριαρχούν υγροί προς ξηροί νάνοι θάμνοι (MDD), (4) τούνδρα που κυριαρχούν ξερά βρύα-σπαθόχορτα και νάνοι θάμνοι (DMSD), (5) τούνδρα που κυριαρχεί ξερή χλόη (DG), (6) ξερές τούφες τούνδρας (DT), (7) κυρίως περιοχές χωρίς βλάστηση (NV), (8) ρηγά νερά (SW) και (9) υδάτινες συγκεντρώσεις (WB).



Εικόνα 45: Επιβλεπόμενη ταξινόμηση του Δέλτα Λένα και ένα λεπτομερές υποσύνολο που δείχνει την κατανομή των τάξεων γύρω από το νησί Samoylov στο κεντρικό δέλτα.

Τα ποσοστά εκπομπής μεθανίου ποικίλουν έντονα μεταξύ των μεμονωμένων τάξεων εδαφοκάλυψης. Ενώ τα υψηλότερα ποσά εκπέμπονται από την τάξη MDD, ακολουθούμενη από τα περιθώρια της κατάφυτης λίμνης και τις τάξεις MT και WT, τα χαμηλότερα ποσοστά εκπέμπονται από τις τάξεις με χαρακτηριστικά ξηρών υποστρωμάτων (DMSD, DG και DT). Οι τάξεις κάλυψης εδάφους WT και MT αντιπροσωπεύουν τους υγροτόπους του Δέλτα Λένα. Τα ποσοστά εκπομπής μεθανίου αυτών των υγροτόπων είναι $16,8\text{mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Η καθημερινή εκπομπή μεθανίου ολόκληρου του Δέλτα Λένα υπολογίστηκε $300,7 \times 10^6 \text{ g}$ (τυπικό σφάλμα < 15%).

Μια κοινή μέθοδος για γενική ταξινόμηση της κάλυψης εδάφους μεγάλων ετερογενών συνόλων δεδομένων είναι η αυτόματη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, με τη μεταγενέστερη σήμανση των τάξεων εδαφοκάλυψης με τα πραγματικά χαρακτηριστικά της εδαφοκάλυψης. Τέτοιες μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις με πολύ μεγάλο αριθμό τάξεων αποδείχθηκαν ακατάλληλες για την ταξινόμηση της κάλυψης του εδάφους των υγροτόπων με επίκεντρο την εξισορρόπηση μεθανίου, καθώς συνήθως μόνο ένας περιορισμένος αριθμός περιοχών μέτρησης είναι διαθέσιμος. Επιπλέον, οι τάξεις που λαμβάνονται με μια τέτοια μη επιβλεπόμενη προσέγγιση είναι οικολογικά πολύ ετερογενείς και έτσι ακατάλληλες για την αναβάθμιση των τοπικών συνόλων δεδομένων. Επομένως, χρησιμοποιήσαμε μια προσέγγιση επιβλεπόμενης ταξινόμησης βασισμένη σε ένα σχετικά μικρό αριθμό τάξεων για την ταξινόμηση του Δέλτα Λένα. Επιτύχαμε τα καλύτερα αποτελέσματα με τον επιβλεπόμενο αλγόριθμο της Ελάχιστης Απόστασης χρησιμοποιώντας 9 τάξεις. Οι Landsat 7 παραγόμενες τάξεις αντικατοπτρίζουν κυρίως τις τοπικές συνθήκες υγρασίας εδάφους και βλάστης, που είναι δυο σημαντικοί παράμετροι για τις εκπομπές μεθανίου μιας περιοχής. Η αξιολόγηση της ακρίβειας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης Landsat 7 υποδεικνύει μια ικανοποιητικά καλή συνολική ακρίβεια 77,8% ($\kappa=0,74$) για μια τόσο μεγάλη και απομακρυσμένη περιοχή μελέτης. Οι σχετικές ακρίβειες για τις μεμονωμένες τάξεις κυμάνθηκαν από 50 ως 100%. Οι λανθασμένες ταξινομήσεις εμφανίστηκαν συνήθως μέσα στις γειτονικές τάξεις με την υψηλότερη ομοιότητα στις περιβαλλοντικές παραμέτρους (π.χ. μεταξύ WT και MT). Παρά τις προκλήσεις, ήμασταν σε θέση να ταξινομήσουμε την κάλυψη εδάφους του Δέλτα Λένα και να συνδέσουμε αυτές τις τάξεις με τα ποσοστά εκπομπής μεθανίου με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα πεδίου. Αυτή η ταξινόμηση της εδαφοκάλυψης είναι η πρώτη, καλύπτοντας ολόκληρο το Δέλτα Λένα σε υψηλή ανάλυση.

		WT	MT	MDD	DMDS	NV	SW	WB	Total	User's accuracy (%)
Classified data	WT	4	1	1				1	7	57.1
	MT		2	1					3	66.7
	MDD			3		1	1		5	60
	DMDS			1	5				6	83.3
	NV					5			5	100
	SW	1					4		5	80
	WB							5	4	100
	Total	5	3	6	5	6	5	6	36	
Producer's accuracy (%)		80	66.7	50	100	83.3	80	83.3		
Overall accuracy (%)						77.8				
κ						0.74				

Πίνακας 20: Ο πίνακας σφάλματος, της συνολικής ακρίβειας και της ακρίβειας χρήστη και παραγωγού για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση του Δέλτα Λένα.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν ότι η τηλεπισκόπηση και η επιβλεπόμενη ταξινόμηση εικόνας είναι άριστα εργαλεία για να παρέχουν μια βάση για την αναβάθμιση των τοπικών μετρήσεων εκπομπής μεθανίου σε περιοχές υψηλού γεωγραφικού πλάτους. Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση των εικόνων Landsat 7 ETM+ είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την ανίχνευση των τύπων οικοσυστημάτων στο Δέλτα Λένα. Η εφαρμοσμένη επιβλεπόμενη ταξινόμηση της Ελάχιστης Απόστασης ήταν πολύ αποτελεσματική με τα λίγα βοηθητικά δεδομένα που ήταν διαθέσιμα για την επιλογή περιοχών κατάρτισης.

Αυτή η μελέτη είναι η πρώτη προσπάθεια για εκτίμηση της εκπομπής μεθανίου στο Δέλτα Λένα με βάση δορυφορικά δεδομένα και μετρήσεις πεδίου. Αν και υπάρχει ακόμη μεγάλη δυνατότητα για την ενίσχυση της έρευνας σχετικά με την επίλυση των αβεβαιοτήτων των μετρήσεων μεθανίου για διαφορετικούς τύπους εδαφοκάλυψης, για την εκτίμηση της μεταβλητότητας των εκπομπών από τα χαρακτηριστικά υπό-τάξεων και για την επέκταση των μετρήσεων εκπομπής σε όλες τις τάξεις στο πεδίο, τα αποτελέσματά μας υποδηλώνουν ότι το Δέλτα Λένα συμβάλλει σημαντικά στην παγκόσμια εκπομπή μεθανίου λόγω των εκτενών περιοχών υγροτόπων του.

4.8 Εικόνες Landsat για την Αξιολόγηση των Επιπτώσεων των Αλλαγών της Χρήσης Γης και της Κάλυψης Εδάφους στην Λεκάνη Απορροής Barekese στη Γκάνα

Landsat Images for Assessment of the Impact of Land Use and Land Cover Changes on the Barekese Catchment in Ghana

E. Boakye, S. N. Odai, K. A. Adjei, F. O. Annor, European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.22 No.2 (2008), pp.269-278

Περίληψη

Η παρούσα εργασία περιγράφει την αξιολόγηση των αλλαγών της κάλυψης και χρήσης γης στη λεκάνη απορροής Barekese της Γκάνα. Η λεκάνη Barekese αποτελεί μέρος της λεκάνης απορροής του ποταμού Offin, ο οποίος διασχίζει τη λεκάνη πριν τελικά τροφοδοτήσει τον ταμιευτήρα Barekese. Εξαιτίας της οικονομικής σημασίας του ταμιευτήρα, η λεκάνη Barekese έχει καθοριστεί και διατηρηθεί για την προστασία και ανάπτυξη των υδάτινων πόρων. Εικόνες Landsat TM του 1973, 1986 και 2000 αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό ERDAS Imagine και το ArcGIS. Συνολικά πέντε ευρύτερες τάξεις κάλυψης και χρήσης γης προσδιορίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι μεταξύ 1973 και 2000, το δάσος (κλειστό) μειώθηκε κατά περίπου 43%, το ανοιχτό δάσος μειώθηκε κατά 32%, ενώ τα λιβάδια και οι ανοιχτές εκτάσεις/πόλεις αυξήθηκαν κατά 700% και 1000%, αντίστοιχα. Η μελέτη προσδιόρισε την αύξηση του πληθυσμού, την υλοτομία και την έλλειψη κατάλληλης εκπαίδευσης ως αιτίες των αλλαγών της κάλυψης και χρήσης γης στην περιοχή της λεκάνης.

Εισαγωγή

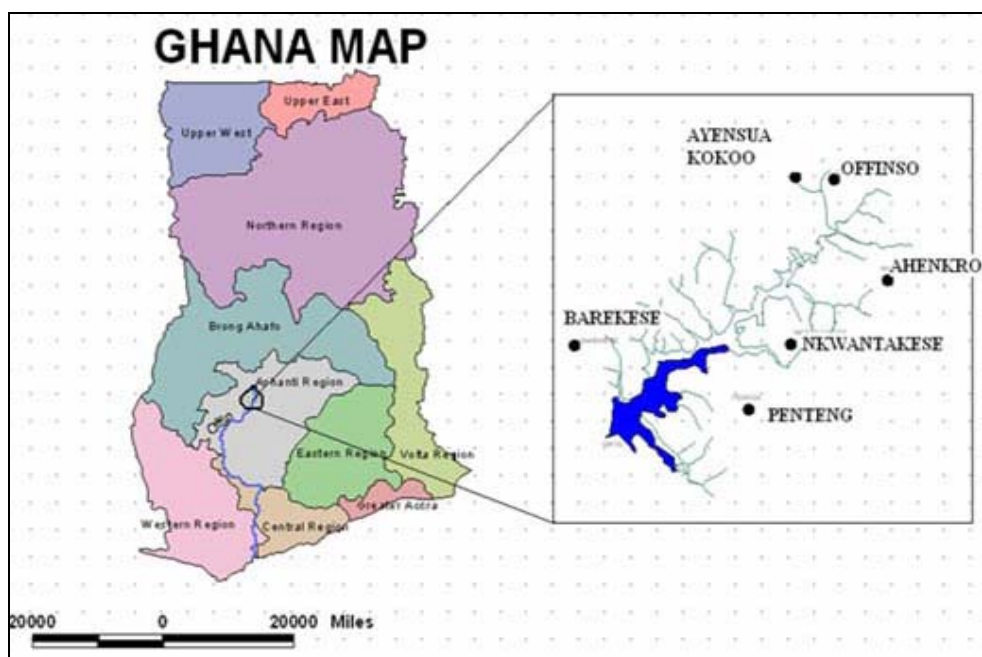
Οι πληροφορίες της κάλυψης και χρήσης γης είναι σημαντικές για διάφορες δραστηριότητες προγραμματισμού και διαχείρισης που ασχολούνται με την επιφάνεια της γης. Μια ακριβής γνώση των χαρακτηριστικών της κάλυψης και χρήση γης αποτελεί τη βάση για την ταξινόμηση και διαχείριση του εδάφους. Τα προβλήματα που δημιουργούνται από τις αλλαγές της κάλυψης και χρήσης γης είναι πολλά και έχουν σοβαρές συνέπειες. Η λεκάνη Barekese είναι τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Offin. Ο ποταμός ρέει μέσα από τη λεκάνη πριν τελικά εισέλθει στον ταμιευτήρα Barekese, ο οποίος είναι η κύρια πηγή εφοδιασμού νερού για την Kumasi και τα περίχωρά της – η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη στη Γκάνα. Εξαιτίας της οικονομικής σημασίας του ταμιευτήρα, η λεκάνη Barekese έχει χαρακτηριστεί ως μια από τις περιοχές που χρειάζονται προστασία από την Κυβέρνηση της Γκάνα.

Ο κύριος στόχος της μελέτης αυτής είναι να εκτιμήσει τις επιπτώσεις των αλλαγών χρήσης και κάλυψης της γης στη λεκάνη απορροής Barekese. Οι επιμέρους στόχοι είναι (1) να αξιολογηθεί εάν έχουν υπάρξει αλλαγές στη χρήση και κάλυψη του εδάφους στη λεκάνη Barekese, και (2) να προσδιοριστεί το μέγεθος των αλλαγών στην κάλυψη και χρήση γης.

Περιοχή Μελέτης – Μέθοδοι

Η λεκάνη Barekese αποτελεί μέρος της λεκάνης απορροής του ποταμού Offin. Βρίσκεται στην περιφέρεια Atwima στην περιοχή Ashanti της Γκάνα. Περιορίζεται

εντός των γεωγραφικών πλατών 6°50' και 6°55' και γεωγραφικών μηκών 1°43' και 0°50' και στη ζώνη 30N.



Εικόνα 46: Χάρτης που δείχνει τη λεκάνη μελέτης.

Εικόνες Landsat TM της σκηνής 195055 των ετών 1973, 1986 και 2000 και θεματικοί χάρτες χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη. Τα λογισμικά τηλεπισκόπησης ERDAS Imagine v.9,1 και ArcGIS v.9,1 χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των εικόνων. Σε αυτή τη μελέτη οι εικόνες Landsat TM παρουσιάστηκαν σε ένα συνδυασμό καναλιών 1, 2, 3 (red, green, blue) ο οποίος είναι τυπικός για την οπτική ερμηνεία της χαρτογράφησης βλάστησης στις τροπικές περιοχές.

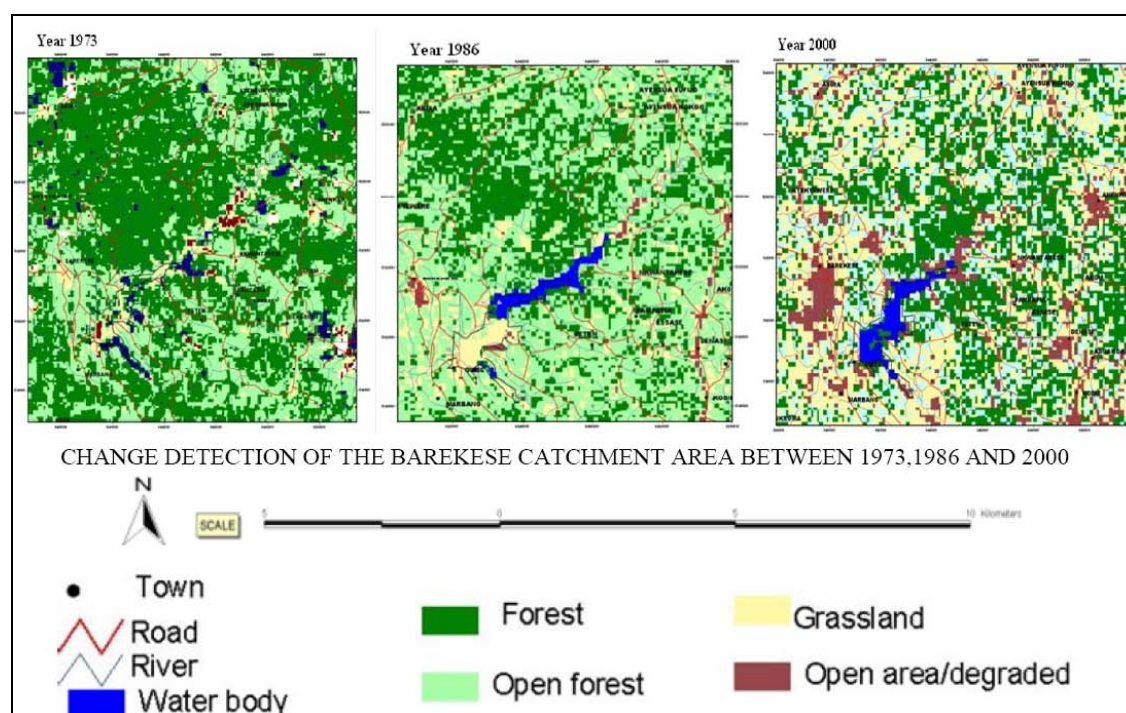
Η μέθοδος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε για να ταξινομήσει τις εικόνες στις διάφορες κατηγορίες κάλυψης εδάφους. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μια μέθοδος συσσώρευσης. Τα δεδομένα εικόνας ταξινομούνται αρχικά με το να συγκεντρώνονται σε φυσικές φασματικές ομάδες ή συσσωρεύσεις που παρουσιάζονται στην σκηνή. Επιτρέπει την προδιαγραφή των παραμέτρων που χρησιμοποιεί ο υπολογιστής για να καθορίσει τα στατιστικά μοτίβα στα δεδομένα. Η διαδικασία αρχίζει με ένα καθορισμένο αριθμό μέσων συσσώρευσης και στη συνέχεια επεξεργάζεται τα δεδομένα εικόνας επαναληπτικά, αναθέτοντας κάθε ένα από τα pixels σε ένα από τα μέσα τάξης. Μετά από κάθε επανάληψη τα αρχικά μέσα συσσώρευσης αλλάζουν για να εκπροσωπήσουν τα νέα στατιστικά μέσα των συσσωρεύσεων στα δεδομένα. Αυτό συμβαίνει έως ότου δεν υπάρχει καμία σημαντική αλλαγή των μέσων συσσώρευσης. Μετά οι ταυτότητες της κάλυψης του εδάφους αυτών των φασματικών ομάδων προσδιορίζονται συγκρίνοντας την ταξινομημένη εικόνα με τα στοιχεία αναφοράς του εδάφους.

Τα στατιστικά των διαφόρων τάξεων παρήχθησαν χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ERDAS Imagine. Τελικά οι χάρτες συντέθηκαν με τη χρήση του προγράμματος ArcGIS και οι επικυρώθηκαν στο πεδίο για να αξιολογηθεί η ακρίβειά τους. Αυτό

πραγματοποιήθηκε μέσω της επίσκεψης στο πεδίο για να καθοριστεί κατά πόσο συμφωνεί η ταξινόμηση με την πραγματική κατάσταση του πεδίου. Κατά την εκτέλεση της επικύρωσης πεδίου συντεταγμένες GPS από 25 θέσεις μαζί με τις αντίστοιχες τάξεις κάλυψής τους, επιλέχτηκαν. Οι συντεταγμένες γεωκωδικοποιήθηκαν στους ταξινομημένους χάρτες και στη συνέχεια ο ταξινομημένος χάρτης συγκρίθηκε με την πραγματική κατάσταση του πεδίου.

Αποτελέσματα

Συνολικά πέντε κατηγορίες κάλυψης εδάφους προσδιορίστηκαν και ταξινομήθηκαν στη μελέτη. Αυτές ήταν δάσος (κλειστό), ανοιχτό δάσος, συγκεντρώσεις νερού, λιβάδια και ανοιχτές εκτάσεις/πόλη όπως φαίνονται στην εικόνα 47.



Εικόνα 47: Ταξινόμηση της κάλυψης του εδάφους των εικόνων Landsat του 1973, 1986 και 2000.

Ο πίνακας 21 δείχνει ότι η πιο εκτενής κατηγορία κάλυψης εδάφους στη λεκάνη απορροής Barekese ως το 1973 ήταν το δάσος (κλειστό) που κάλυπτε περίπου το 56,37%. Η δεύτερη πιο εκτενής κατηγορία εδαφοκάλυψης ήταν το ανοιχτό δάσος με κάλυψη 35,59%. Τα λιβάδια κάλυπταν περίπου το 4,11%, οι συγκεντρώσεις νερού κάλυπταν το 1,72% και οι ανοιχτές εκτάσεις/πόλη κάλυπταν το 0,82%. Η κάλυψη από σύννεφα εμφανίστηκε στην εικόνα κατά τη διάρκεια της λήψης και κάλυπτε περίπου το 1,36%. Πρέπει να σημειωθεί ότι η κάλυψη από σύννεφα είναι μια παραμόρφωση και παραμελείται.

Land Cover Classes	Year 1973		Year 1986		Year 2000	
	Area(ha)	%	Area(ha)	%	Area(ha)	%
Forest (closed)	11295.51	56.37	6377.35	31.82	6445.3	32.24
Open forest	7131.91	35.59	10905.75	54.42	4880.06	24.41
Grassland	823.59	4.11	2359.79	11.78	6638.12	33.21
Open Area/Town	163.55	0.82	205.43	1.03	1762	8.81
Water body	352.58	1.76	191.16	0.95	264	1.32
Cloud & Shadow	272.34	1.36	-	-	-	-
Total	20039.48	100	20039.48	100	20039.48	100

Πίνακας 21: Οι τάξεις κάλυψης του εδάφους της λεκάνης Barekese το 1973, το 1986 και το 2000.

Επιπλέον, όπως φαίνεται στον πίνακα 21 η τάξη μεγέθους της χωρικής έκτασης των κατηγοριών εδαφοκάλυψης το 1986 είναι διαφορετική από αυτή το 1973. Το 1986, η πιο εκτενής τάξη εδαφοκάλυψης άλλαξε σε ανοιχτό δάσος που κάλυπτε το 54% και ακολουθούν το δάσος (κλειστό) με 32% κάλυψη, τα λιβάδια με 12%, η ανοιχτή έκταση/πόλη με κάλυψη 1,03% και οι συγκεντρώσεις νερού που κάλυπταν το 0,95% στην περιοχή της λεκάνης απορροής.

Η τάξη μεγέθους της έκτασης της κάλυψης της επιφάνειας του εδάφους της λεκάνης από τις διάφορες τάξεις εδαφοκάλυψης συνέχισε να αλλάζει το 2000, με την πιο εκτενή κάλυψη να έχουν τα λιβάδια 33% και ακολουθούν το δάσος (κλειστό) με 32% κάλυψη, το ανοιχτό δάσος με 24,41%, η ανοιχτή έκταση/πόλη με 9%, ενώ οι συγκεντρώσεις νερού κάλυπταν το 1,3% της περιοχής της λεκάνης απορροής.

Ο πίνακας 22 δείχνει τις αλλαγές στις διάφορες κατηγορίες κάλυψης και χρήσης γης (σε εκτάρια και ποσοστά) κατά τη διάρκεια των περιόδων μεταξύ 1973και 1986, 1986 και 2000, 1973 και 2000 .

Land Cover Class	1973-1986		1986-2000		1973-2000	
	Change		Change		Change	
	(Ha)	(%)	(Ha)	(%)	(Ha)	(%)
Forest (closed)	-4918.16	-43.5	67.95	1	-4850.21	-42.9
Open forest	+3773.84	+52.9	-6025.69	-55.3	-2251.85	-31.6
Grassland	+1536.2	+186.5	+4278.27	+181.3	+5814.47	+706
Open Area/Town	+41.88	+25.6	+1556.57	+757.7	+1598.45	+977.3

Πίνακας 22: Οι αλλαγές της εδαφοκάλυψης της λεκάνης Barekese για τις περιόδους μεταξύ 1973-1986, 1986-2000 και 1973-2000. (+) δείχνει αύξηση, (-) δείχνει μείωση

Συμπεράσματα

Η ανάλυση των εικόνων Landsat TM του 1973, 1986 και 2000 αποκάλυψε ότι η κάλυψη και η χρήση γης στη λεκάνη απορροής Barekese έχει αλλάξει με την πάροδο των ετών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μεταξύ των ετών 1973 και 2000, το κλειστό και το ανοιχτό δάσος μειώθηκαν κατά 43% και 32% αντίστοιχα, ενώ τα λιβάδια και η ανοιχτή έκταση/πόλη αυξήθηκαν αισθητά κατά περίπου 700% και 1000%. Οι αλλαγές στην κάλυψη και χρήση γης στην λεκάνη Barekese βρέθηκε να σχετίζονται με την αύξηση του πληθυσμού, την υλοτομία και την έλλειψη κατάλληλης εκπαίδευσης. Συνεπώς, με βάση την τάση των αλλαγών της κάλυψης του εδάφους που διαπιστώθηκαν σε αυτή τη μελέτη και τα αποτελέσματα της έκθεσης αξιολόγησης υδάτων Barekese, η αύξηση των ιζημάτων στον ταμιευτήρα θα μπορούσε να έχει άμεση σχέση με την αλλαγή της κάλυψης και χρήσης γης.

4.9 Ταξινόμηση και προσδιορισμός της ποσότητας Βλάστησης μέσω της επεξεργασίας δορυφορικής εικόνας. Μια περίπτωση μελέτης στη Βόρεια Πορτογαλία

VEGETATION CLASSIFICATION AND QUANTIFICATION BY SATELLITE IMAGE PROCESSING. A CASE STUDY IN NORTH PORTUGAL

J.T. Aranha, H.F. Viana, R. Rodrigues 2008

Περίληψη

Η αναμενόμενη αύξηση της ζήτησης σε Δασική Βιομάζα για την παραγωγή ενέργειας οδηγεί στη δημιουργία γρήγορων και όχι ακριβών τεχνικών προκειμένου να ταξινομηθεί η φυτική κάλυψη εδάφους και να αξιολογηθεί η διαθέσιμη βιομάζα που μπορεί να συγκομισθεί. Η επεξεργασία δορυφορικών εικόνων και η ταξινόμηση, σε συνδυασμό με επιτόπια έρευνα, είναι ένα κατάλληλο εργαλείο για την επίτευξη των στόχων αυτών. Σε αυτή τη μελέτη ο δείκτης βλάστησης NDVI δημιουργήθηκε με τη βοήθεια μιας εικόνας Landsat TM, από το 2006, προκειμένου να δημιουργηθεί ένας γενικός χάρτης βλάστησης. Στη συνέχεια, η ίδια εικόνα υποβλήθηκε σε μια διαδικασία επιβλεπόμενης ταξινόμησης ώστε να παραχθεί ένας χάρτης κάλυψης εδάφους (συνολική ακρίβεια 80%).

Εισαγωγή

Η εκτίμηση της υπέργειας βιομάζας (AGB) των δασών έχει γίνει τα τελευταία χρόνια, από μια σειρά μεθόδων, από τηλεπισκοπικά δεδομένα μέχρι μετρήσεις πεδίου, ενώ προσεγγίσεις μοντελοποίησης με βάση τα GIS έχουν χρησιμοποιηθεί μαζί με βοηθητικά στοιχεία για τη χωρική εκτίμηση της AGB.

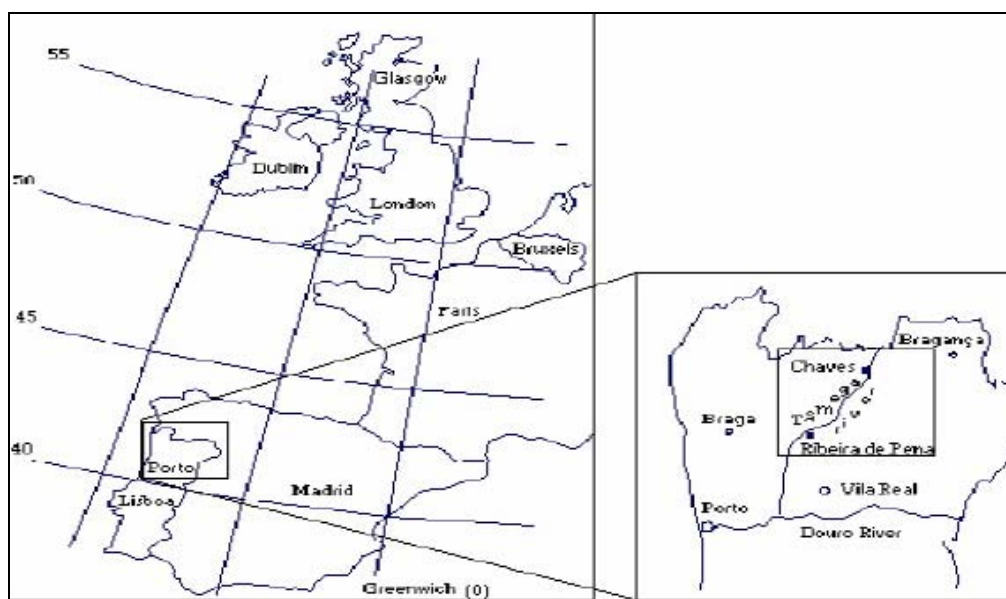
Η χρησιμότητα των φασματικών δεικτών βλάστησης για την παρακολούθηση της βλάστησης και για τη συλλογή οικοφυσιολογικών πληροφοριών σε μεγάλες περιοχές είναι πολύ καλά αναγνωρισμένη, καθώς τα δορυφορικά δεδομένα έγιναν προσβάσιμα για μελέτες εδαφοκάλυψης. Τα μέτριας χωρικής ανάλυσης τηλεπισκοπικά δεδομένα, όπως τα ASTER και Landsat TM είναι οι πιο συνήθεις χρησιμοποιούμενες πηγές τηλεπισκοπικών εικόνων. Έχει αποδειχθεί ότι οι εικόνες Landsat TM όταν συνδυάζονται με επίγειες μετρήσεις είναι αποτελεσματικότερες για την εκτίμηση της AGB.

Σε αυτή τη μελέτη, ο δείκτης NDVI και το εκτενές δασικό σύνολο δεδομένων ενσωματώθηκαν για να αναπτύξουν μια σαφή χωρική εκτίμηση των μοντέλων της AGB για διαφορετικούς τύπους δασών. Οι στόχοι της εργασίας αυτής είναι: (1) να αναπτύξει έναν αλγόριθμο για την εκτίμηση της υπέργειας βιομάζας θάμνων, (2) να αναπτύξει έναν αλγόριθμο για την εκτίμηση της υπέργειας βιομάζας των νεαρών θαλάσσιων πεύκων.

Περιοχή Μελέτης – Μέθοδοι

Αυτή η έρευνα παρήχθη στη Vale do Alto Tâmega, μια περιοχή που βρίσκεται στη Βόρεια Πορτογαλία, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 48 Το υψόμετρο κυμαίνεται από 150m κοντά στον ποταμό *ãmega* (νοτιοανατολικά) ως 1250 m στις ορεινές

περιοχές (βορειοανατολικά). Είναι μια περιοχή υπό την επιρροή του Ατλαντικού με μέση θερμοκρασία 10° C και συνολική βροχόπτωση 800mm/έτος, κατά μέσο όρο.



Εικόνα 48: Τοποθεσία της περιοχής μελέτης.

Αυτή η μελέτη διεξήχθη χρησιμοποιώντας το IDRISI32, ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών raster, το ArcGIS 9,1, ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών vector, το ArcPad 6,03 ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών vector για PDA-DGPS και το Pathfinder, ένα λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων GPS. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακές αεροφωτογραφίες του 2005, τοπογραφικά σχέδια σε κλίμακα 1:25000, μια εικόνα Landsat TM από τον Ιούλιο του 2006, ένα ολοκληρωμένο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GISVAT) και παράμετροι βλάστησης που συλλέχθηκαν από 400 περιοχές δειγματοληψίας.

Η εικόνα διορθώθηκε ατμοσφαιρικά και γεωμετρικά, προκειμένου να μειωθεί η επίδραση της θολότητας και να ανατεθεί στη σωστή θέση πάνω στην επιφάνεια της γης. Στη συνέχεια, ενισχύθηκε με τη χρήση του δείκτη NDVI προκειμένου να αποκτηθεί ισχυρή αντίθεση μεταξύ των pixels και να δημιουργηθούν νέες εικόνες.

Για να ταξινομηθεί η κάλυψη του εδάφους μέσα στην περιοχή μελέτης και να αναλυθεί η ακρίβεια των μεθόδων, 12 τάξεις εδαφικάλυψης ορίστηκαν (πίνακας 23) με βάση τις κατηγορίες κάλυψης εδάφους του CORINE. Η ταξινόμηση εικόνας έγινε χρησιμοποιώντας επιβλεπόμενες τεχνικές, οι οποίες απαιτούν ο αναλυτής να έχει διακριτές φασματικές υπογραφές για όλους τους τύπους των τάξεων εδαφικάλυψης. Ύστερα από την αξιολόγηση της ακρίβειας όλων των χρησιμοποιημένων μεθόδων (Παραλληλεπιπέδου, Ελάχιστης Απόστασης, Μεγίστης Πιθανοφάνειας), η μέθοδος της Ελάχιστης Απόστασης επιλέχθηκε για να ταξινομήσει όλη την περιοχή μελέτης, χρησιμοποιώντας τον δείκτη NDVI και την Κύρια Συνιστώσα PC1 (όχι τυποποιημένη και χρησιμοποιώντας τα κανάλια 1,2,3,4,5,7) ως πρόσθετα δεδομένα εικόνες.

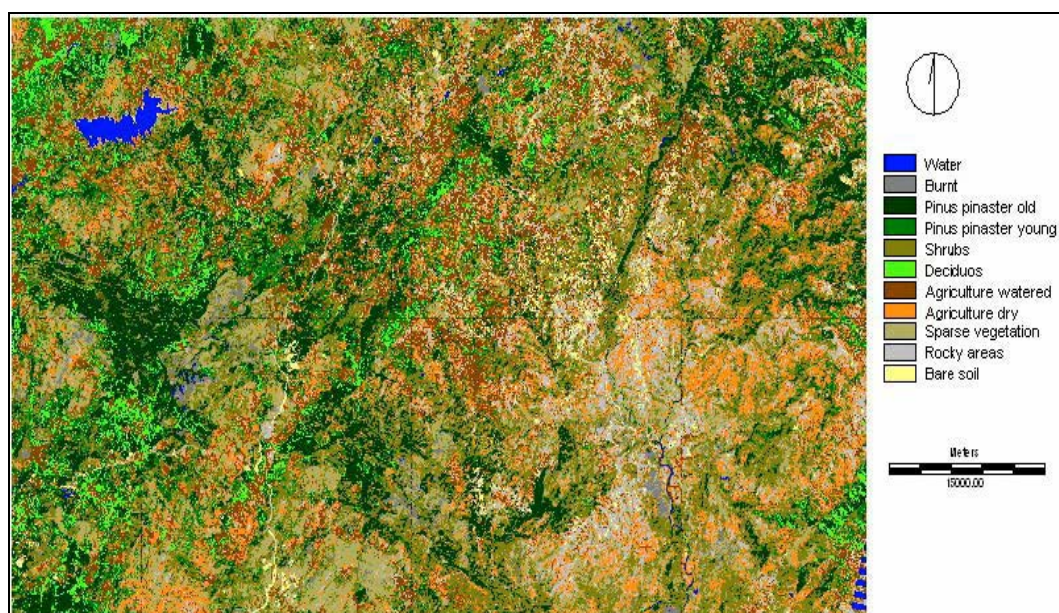
Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα από τις τεχνικές επιβλεπόμενης ταξινόμησης εικόνας (εικόνα 49) έδειξαν ότι η Μέθοδος της Ελάχιστης Απόστασης είναι η πιο κατάλληλη για την περιοχή μελέτης, που επιτρέπει μια γενική ακρίβεια 80%. Τα αποτελέσματα από τον πίνακα σύγκρισης (πίνακας 23) επιτρέπουν να δηλωθεί ότι το νερό ήταν η τάξη εδαφοκάλυψης που ταξινομήθηκε καλύτερα και η γεωργία είναι η χειρότερη. Αυτό το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο, καθώς το καλοκαίρι η γεωργία μπορεί να μπερδευτεί με το άγονο έδαφος ή την αραιή βλάστηση.

Reality	Water	Burnt	Old Pp	Young Pp	Shrubs	Deciduous	W Ag	D Ag	Sparse	Rocky	Bare Soil	Total	Correct	Accuracy
Water	3											3	3	1.000
Burnt		3										3	3	1.000
Old Pp			43	6	3	3						55	43	0.782
Young Pp			2	18	3							23	18	0.783
Shrubs			5	8	105	3	1					122	105	0.861
Deciduous					4	10	3	1				18	10	0.556
W Ag						2	29	4	3	1		39	29	0.744
D Ag							4	38	5	3		50	38	0.760
Sparse								6	40	3	1	50	40	0.800
Rocky									1	26	3	30	26	0.867
Bare Soil									1	1	5	7	5	0.714
Total	3	3	50	32	115	18	37	49	50	34	9	400	320	
Correct	3	3	43	18	105	10	29	38	40	26	5	O. Ac.	0.800	
Accuracy	1.000	1.000	0.860	0.563	0.913	0.556	0.784	0.776	0.800	0.765	0.556			

W Ag – Irrigated Agriculture, D - Dry agriculture, Old Pp – old *Pinus pinaster* Young Pp - Young *Pinus pinaster*

Πίνακας 23: Ο πίνακας σύγκρισης από την επιβλεπόμενη ταξινόμηση της εικόνας Landsat TM.



Εικόνα 49: Ο χάρτης κάλυψης εδάφους για το 2006 από την επιβλεπόμενη ταξινόμηση της εικόνας Landsat TM.

Αναλύοντας την εικόνα Landsat TM και τα διανυσματικά αρχεία που σχετίζονται με τις καμένες περιοχές, προέκυψε το συμπέρασμα ότι κάποιες καμένες περιοχές κήκαν αρκετές φορές από το 2000 ως το 2006. κάποιες πρόσφατα καμένες περιοχές παρουσίασαν τιμή NDVI λίγο μεγαλύτερη από μηδέν, που δείχνει την παρουσία βλάστησης. Άλλες υψηλές τιμές NDVI παρουσιάστηκαν, που σημαίνει ότι σχεδόν όλη η περιοχή καλύπτονταν από βλάστηση την στιγμή της απόκτησης της εικόνας.

Συμπεράσματα

Τα προηγούμενα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν επιτρέπουν να δηλωθεί ότι οι εικόνες Landsat TM είναι κατάλληλες για την ταξινόμηση της κάλυψης εδάφους των δασικών εκτάσεων στη Βόρεια Πορτογαλία. Στη συγκεκριμένη περίπτωση της φυτικής αποκατάστασης εδάφους μετά από άγριες πυρκαγιές, αυτές οι εικόνες αποδείχθηκαν κατάλληλες για τον προσδιορισμό της ποσότητας της φυτικής βιομάζας, με τη βοήθεια του υπολογισμού των δεικτών βλάστησης. Η καλή σχέση μεταξύ της φυτικής βιομάζας και των δεικτών βλάστησης επέτρεψε τη ρύθμιση μαθηματικών μοντέλων πολύ χρήσιμων για την έμμεση εκτίμηση φυτικής βιομάζας. Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτεύχθηκαν για τις θαμνώδεις εκτάσεις, εξαιτίας της ομοιογενούς εδαφοκάλυψης.

4.10 Αξιολόγηση υψηλής ανάλυσης δορυφορικών εικόνων SPOT5 για την ταυτοποίηση καλλιεργειών

Evaluating high resolution SPOT 5 satellite imagery for crop identification.

Chenghai Yang, James H. Everitt, Dale Murden, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 75, Issue 2, February 2011, Pages 347-354, Published by Elsevier B.V.

Περίληψη

Μια εικόνα SPOT 5 που αποκτήθηκε τον Μάιο του 2006 με 4 φασματικά κανάλια (πράσινο, κόκκινο, εγγύς υπέρυθρο και βραχέων κυμάτων υπέρυθρο) και με μέγεθος pixel 10-m που κάλυπτε τις εντατικά καλλιεργημένες περιοχές στο νότιο Τέξας, αξιολογήθηκε για την ταυτοποίηση των καλλιεργειών. Δυο εικόνες υποσυνόλων που καλύπτουν μια ποικιλία καλλιεργειών με διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, εξήχθησαν από τη δορυφορική εικόνα και 5 τεχνικές επιβλεπόμενης ταξινόμησης, συμπεριλαμβανομένης της Ελάχιστης Απόστασης, της απόστασης Mahalanobis, της Μεγίστης Πιθανοφάνειας (ML), της SAM και της SVM, εφαρμόστηκαν στις 10-m εικόνες υποσυνόλων και σε δυο χονδροειδούς ανάλυσης εικόνες, για να προσδιορίσουν τους τύπους καλλιεργειών. Η ανάλυση Karra έδειξε ότι ο ML και ο SVM εκτελέστηκαν καλύτερα από τους άλλους τρεις ταξινομητές. Η εκτίμηση της ακρίβειας έδειξε ότι οι 10-m, 4-καναλιών εικόνες βασισμένες στην Μεγίστη Πιθανοφάνεια είχαν ως αποτέλεσμα τις καλύτερες τιμές συνολικής ακρίβειας του 91% και 87% για τις δυο περιοχές, αντίστοιχα. Η συμπερίληψη του SWIR καναλιού στατιστικά αύξησε σημαντικά τη συνολική ακρίβεια από 82% σε 91% για την περιοχή 1 και από 75% σε 87% για την περιοχή 2. Έτσι, οι πολυφασματικές εικόνες SPOT 5 σε συνδυασμό με τις τεχνικές ταξινόμησης ML και SVM μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των καλλιεργειών.

Εισαγωγή

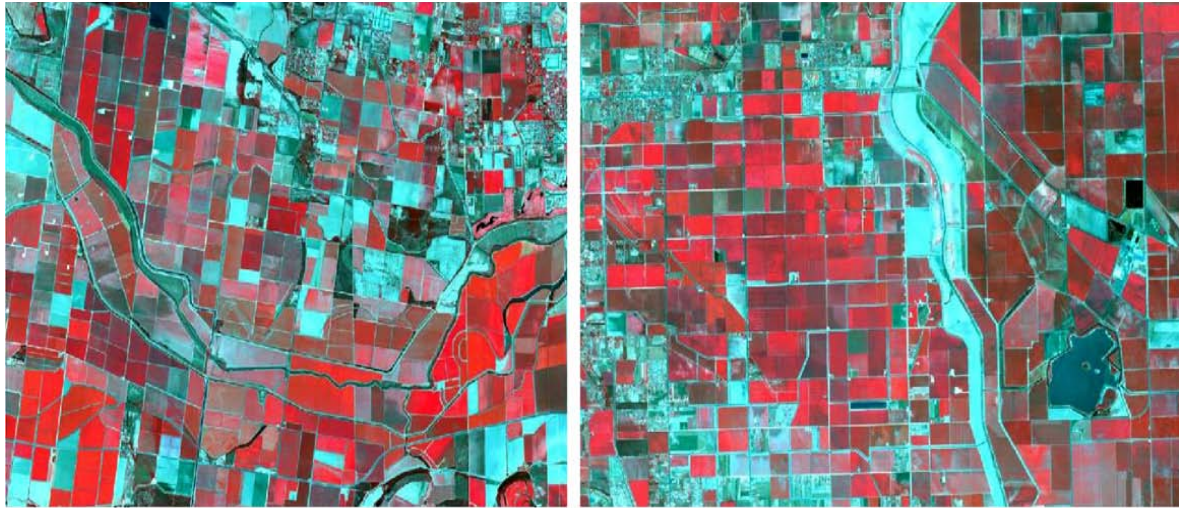
Η βάση για το διαχωρισμό μιας καλλιέργειας από μια άλλη είναι η προϋπόθεση ότι το κάθε είδος καλλιέργειας έχει μια μοναδική εμφάνιση ή φασματική υπογραφή στην εικόνα. Σημαντικοί περιορισμοί όσον αφορά την ταυτοποίηση των καλλιεργειών με δορυφορικές εικόνες, σχετίζονται με την ομοιότητα της ανακλαστικότητας των φυτών διαφορετικών καλλιεργειών. Οι υψηλής ανάλυσης δορυφορικές εικόνες προσφέρουν νέες δυνατότητες για ενδεχομένως πιο ακριβής αναγνώριση και εκτίμηση εκτάσεων γεωργικών καλλιεργειών σε σχέση με τις παραδοσιακές δορυφορικές εικόνες. Οι στόχοι αυτής της μελέτης ήταν οι εξής: (1) η αξιολόγηση ενιαίας-ημερομηνίας πολυφασματικών εικόνων SPOT 5 για την αναγνώριση καλλιεργειών σε δυο εντατικά καλλιεργημένες περιοχές στο νότιο Τέξας χρησιμοποιώντας 5 επιβλεπόμενες τεχνικές ταξινόμησης, αυτές της Ελάχιστης Απόστασης, της απόστασης Mahalanobis, της ML, της SAM και της SVM. (2) η σύγκριση των ακριβειών ταξινόμησης σε τρία διαφορετικά μεγέθη pixel (αρχικό 10m και προσομοιωμένα 20m και 30m) και (3) η εξέταση της επίδρασης του SWIR καναλιού στα αποτελέσματα της ταξινόμησης.

Περιοχή Μελέτης – Μέθοδοι

Μια πολυφασματική SPOT 5 εικόνα που καλύπτει μια περιοχή 60x60km στην κοιλάδα Rio Grande του νότιου Τέξας αποκτήθηκε στις 19 Μαΐου του 2006. Η χωρική ανάλυση ήταν 10m για το πράσινο, κόκκινο και NIR κανάλι και 20m για το κανάλι SWIR. Δυο εντατικά καλλιεργημένες περιοχές που καλύπτονται από τη δορυφορική εικόνα επιλέχθηκαν ως οι περιοχές μελέτης. Η μια περιοχή βρίσκεται κοντά στο Alamo, Τέξας καλύπτοντας 11,2x8,5km και η άλλη βρίσκεται κοντά στην Elsa, Τέξας, καλύπτοντας 12,2x8,5km .

Στην καλλιεργητική περίοδο 2006, 4 κύριες καλλιέργειες δηλαδή το καλαμπόκι, το βαμβάκι, το σόργο, και το ζαχαροκάλαμο καλλιεργούνται στις περιοχές μελέτης. Πριν την παράδοση, οι εικόνες διορθώθηκαν ραδιομετρικά και γεωγραφικά. Οι πριν τη διόρθωση πρότυπες εικόνες είχαν μια ακρίβεια θέσης 30m. Ως εκ τούτου, οι εικόνες διορθώθηκαν χρησιμοποιώντας 97 σημεία επίγειου ελέγχου. Η διόρθωση εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας έναν πρώτης τάξης πολυωνυμικό μετασχηματισμό και την τεχνική δειγματοληψίας του Εγγύτερου Γείτονα. Το RMS σφάλμα των εικόνων ήταν 2,5m. Και οι δυο περιοχές είχαν παρόμοιες τάξεις κάλυψης καλλιεργειών και μη-καλλιεργειών. Ως τάξεις καλλιεργειών τέθηκαν το καλαμπόκι, το βαμβάκι, το σόργο, και το ζαχαροκάλαμο, ενώ οι τάξεις μη-καλλιεργείας χωρίστηκαν σε 5 κατηγορίες: χόρτα (ζωοτροφή), μικτά ποώδη είδη, μικτά ξυλώδη είδη, χέρσα και νερό.

Πέντε επιβλεπόμενοι ταξινομητές, ο Ελαχίστης Απόστασης, η απόσταση Mahalanobis, ο ML, ο SAM και ο SVM εφαρμόστηκαν αρχικά στις εικόνες 4-καναλιών και μετά σε αυτές των 3-καναλιών (χωρίς το SWIR) στα τρία μεγέθη pixel. Ο ταξινομητής της ελάχιστης απόστασης χρησιμοποιεί τα μέσα της τάξης που προέρχονται από τα δεδομένα εκπαίδευσης και κατατάσσει κάθε pixel στη τάξη που έχει την πιο κοντινή Ευκλείδεια απόσταση από το pixel. Η μέθοδος της απόστασης Mahalanobis είναι παρόμοια με της ελάχιστης απόστασης, εκτός από το ότι ο πίνακας συνδιασποράς χρησιμοποιείται στον υπολογισμό. Κάθε pixel κατατάσσεται στην τάξη για την οποία η απόσταση Mahalanobis είναι η μικρότερη. Η ML ταξινόμηση προϋποθέτει ότι τα στοιχεία για την κάθε τάξη στο κάθε κανάλι είναι κανονικά κατανομημένα και υπολογίζει την πιθανότητα ότι ένα δεδομένο pixel ανήκει σε μια συγκεκριμένη τάξη. Κάθε pixel ανατίθεται στη τάξη που έχει την μεγαλύτερη πιθανότητα. Ο ταξινομητής SAM κατατάσσει τα pixels στις τάξεις, με βάση τις ελάχιστες φασματικές γωνίες. Οι εικόνες 4-καναλιών, 10-m και ο ταξινομητής ML χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την ανάλυση και 6 χάρτες ταξινόμησης δημιουργήθηκαν. Τα στατιστικά ακρίβειας της ταξινόμησης συμπεριλαμβανομένης της συνολικής ακρίβειας, της ακρίβειας παραγωγού, της ακρίβειας χρήστη και των συντελεστών Kappa, υπολογίστηκαν με βάση τους πίνακες σφάλματος. Η τιμή Kappa 0 αντιστοιχεί σε μια συνολικά τυχαία ταξινόμηση, ενώ η τιμή Kappa 1 αντιπροσωπεύει μια τέλεια συμφωνία μεταξύ της ταξινόμησης και των στοιχείων αναφοράς. Το στατιστικό αποτέλεσμα της δοκιμής για τον έλεγχο της διαφοράς μεταξύ οποιωνδήποτε δυο ταξινομήσεων ήταν μια τυποποιημένη Z-τιμή, καθορισμένη από τη διαφορά μεταξύ των τιμών Kappa και του αθροίσματος των διαφορών Kappa για τις δυο ταξινομήσεις.



(a) Alamo Site

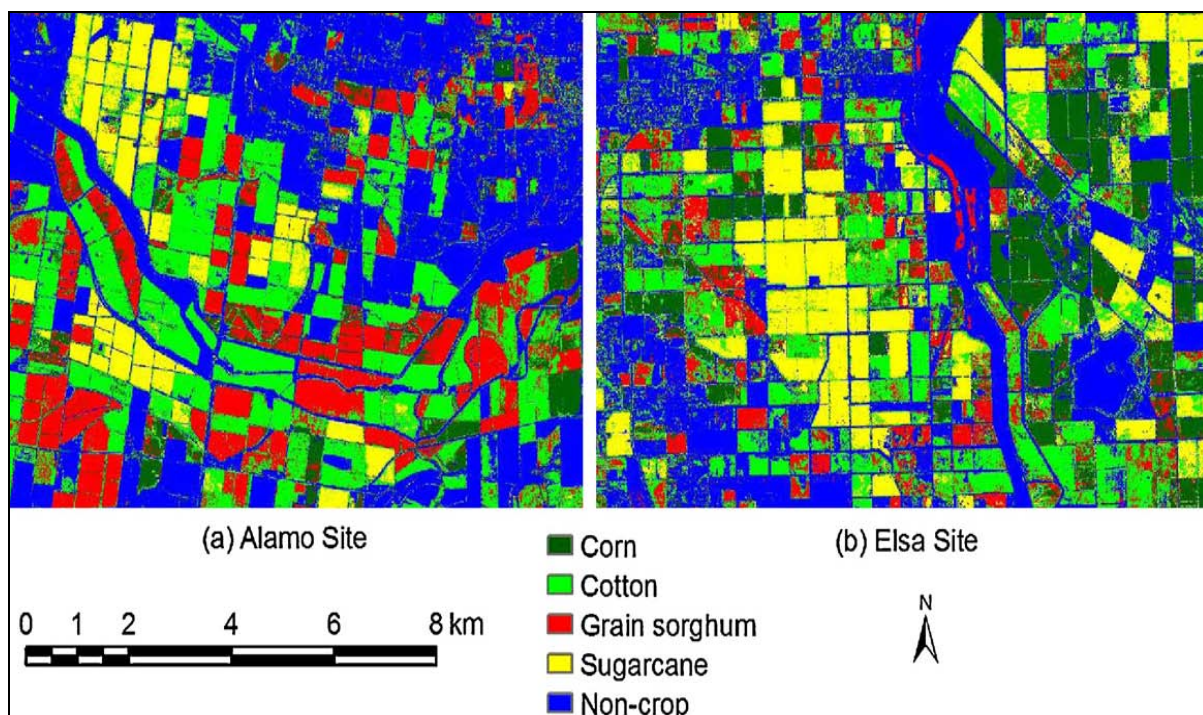
(b) Elsa Site

Εικόνα 50: Έγχρωμα-υπέρυθρα σύνθετα που εξήχθησαν από μια 10-m, SPOT 5 δορυφορική εικόνα για δυο εντατικά καλλιεργημένες περιοχές κοντά στο Alamo και Elsa , του Τέξας.

Αποτελέσματα

Τα σύνθετα που εξάγονται από την 10-m SPOT 5 δορυφορική εικόνα για τις δυο περιοχές μελέτης, αποκαλύπτουν τις ευδιάκριτες διαφορές ανάμεσα στις καλλιέργειες και σε άλλους τύπους κάλυψης στις δυο περιοχές (εικόνα 50). Στις εικόνες , οι καλλιέργειες και η άλλη βλάστηση γενικά έχουν ένα κοκκινωπό χρώμα, το γυμνό έδαφος έχει ένα γκριζωπό και κυανό τόνο και το νερό έχει ένα σκούρο ή γαλαζωπό χρώμα.

Ένας 5 τάξεων χάρτης ταξινόμησης που παράχθηκε από τις 4-καναλιών, 10m SPOT 5 εικόνες υποσυνόλων για τις δυο περιοχές, βασισμένος στον ταξινομητή ML, φαίνεται στην εικόνα 51. Οπτική σύγκριση με τις εικόνες CIR δείχνουν ότι οι χάρτες ταξινόμησης παρείχαν καλούς διαχωρισμούς μεταξύ των τάξεων καλλιέργειας και μη-καλλιέργειας. Εξαιτίας των διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης και των συνθηκών διαχείρισης των καλλιεργειών, δεν ήταν οπτικά σαφές το πόσο καλά είχαν διαχωριστεί οι καλλιέργειες. Η σύνοψη των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης της ακρίβειας για τους χάρτες ταξινόμησης που παρήχθησαν από τις δυο εικόνες βασισμένοι στους 5 ταξινομητές για τις περιοχές Alamo και Elsa παρουσιάζονται στους πίνακες 24 και 25, αντίστοιχα. Η συνολική ακρίβεια κυμάνθηκε από 72,2% για τον SAM έως 91,0% για τον ML, για την περιοχή Alamo και από 68,2% για τον SAM έως 87,4% , για την περιοχή μελέτης Elsa. Η συνολική τιμή kappa ποίκιλε από 0,622 ως 0,875 για την περιοχή Alamo και από 0,583 ως 0,835 για την περιοχή Elsa μεταξύ των 5 ταξινομητών. Αυτές οι τιμές kappa δείχνουν πόσο καλά τα αποτελέσματα της ταξινόμησης συμφωνούν με τα στοιχεία αναφοράς.



Εικόνα 51: Πέντε-τάξεων χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από 10-m, 4-καναλιών SPOT 5 εικόνες υποσυνόλων για δυο εντατικά καλλιεργημένες περιοχές κοντά στο Alamo και Elsa , του Τέξας με βάση τον ταξινομητή Μεγίστης Πιθανοφάνειας.

Classification method	Overall accuracy (%)	Overall kappa	Z Statistic	Producer's accuracy (PA, %) and user's accuracy (UA, %)									
				Corn		Cotton		Grainsorghum		Sugarcane		Non-crop	
				PA	UA	PA	UA	PA	UA	PA	UA	PA	UA
MD	76.8	0.685	27.51*	72.0	34.6	67.2	63.9	68.6	76.9	83.7	85.4	85.1	94.7
MAHD	84.0	0.781	35.63*	72.0	46.2	88.8	76.3	68.6	86.4	91.8	83.3	88.5	96.3
ML	91.0	0.875	49.89*	88.0	71.0	94.0	80.7	84.3	95.6	87.8	97.7	93.8	97.5
SAM	72.2	0.622	24.19*	32.0	17.0	64.7	67.6	59.8	65.6	77.6	65.5	86.1	93.7
SVM	90.6	0.870	48.71*	68.0	73.9	96.6	78.3	88.2	95.7	89.8	93.6	91.4	98.5

Πίνακας 24: Αποτελέσματα της αξιολόγησης της ακρίβειας για τους πέντε χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από την 10-m, 4-καναλιών SPOT 5 δορυφορική εικόνα υποσυνόλων για μια περιοχή καλλιεργειών κοντά στο Alamo, Τέξας (περιοχή 1).

Classification method	Overall accuracy (%)	Overall kappa	Z statistic	Producer's accuracy (PA, %) and user's accuracy (UA, %)									
				Corn		Cotton		Grainsorghum		Sugarcane		Non-crop	
				PA	UA	PA	UA	PA	UA	PA	UA	PA	UA
MD	74.6	0.666	26.67*	72.2	67.1	66.1	62.7	40.5	42.5	73.7	92.1	90.1	85.6
MAHD	81.6	0.760	33.80*	79.7	84.0	70.5	71.2	81.0	63.0	85.3	91.0	87.8	88.3
ML	87.4	0.835	43.44*	89.9	88.8	80.4	78.9	83.3	70.0	80.0	93.8	95.9	94.3
SAM	68.2	0.583	22.21*	51.9	62.1	50.0	45.2	33.3	27.5	81.1	90.6	89.0	87.9
SVM	86.4	0.822	41.23*	87.3	88.5	89.3	70.9	71.4	81.1	80.0	95.0	91.3	95.7

Πίνακας 25: Αποτελέσματα τις αξιολόγησης της ακρίβειας για τους πέντε χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από την 10-m, 4-καναλιών SPOT 5 δορυφορική εικόνα υποσυνόλων για μια περιοχή καλλιεργειών κοντά στο Elsa, Τέξας (περιοχή 2).

Όλες οι ταξινομήσεις ήταν σημαντικά καλύτερες από μια τυχαία ταξινόμηση σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Ο πίνακας 26 παρουσιάζει τις στατιστικές τιμές Z για την παραγωγή ανά ζεύγη συγκρίσεων ανάμεσα στις 5 ταξινομήσεις για τις δυο περιοχές. Για την περιοχή Alamo, ο ML και ο SVM ήταν σημαντικά καλύτεροι από τους άλλους τρεις ταξινομητές, αλλά δεν υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ τους (91%vs 90.6%). Ο ταξινομητής MAHD ήταν σημαντικά καλύτερος από τον MD και τον SAM. Για την περιοχή Elsa και οι 5 ταξινομητές ήταν σημαντικά διαφορετικοί ο ένας από τον άλλον εκτός από το ότι δεν υπήρχε διαφορά μεταξύ του ML και του SVM (87,45 vs 86,4%). Ανάμεσα στους 5 ταξινομητές ο ML και ο SVM γενικά παρείχαν τις καλύτερες συνολικά ταξινομήσεις και ακολουθούν ο MAHD, ο MD και ο SAM.

Classification method	Alamo (site 1)				Elsa (site 2)			
	MD	MAHD	ML	SAM	MD	MAHD	ML	SAM
MAHD	-2.90*				-2.80*			
ML	-6.26*	-3.36*			-5.37*	-2.55*		
SAM	1.75	4.71*	8.14*		2.28*	5.11*	7.74*	
SVM	-6.04*	-3.15*	0.22	-7.92*	-4.88*	-2.06*	0.48	-7.23*

Πίνακας 26: Αποτελέσματα της kappa ανάλυσης (στατιστικά-Z) των ανά ζευγών συγκρίσεων ανάμεσα στους 5 χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από τις 10-m, 4-καναλιών SPOT δορυφορικές εικόνες υποσυνόλων για δυο περιοχές καλλιεργειών στο νότιο Τέξας (περιοχές 1 και 2). *Σημαντικά διαφορετική από μια τυχαία ταξινόμηση σε επίπεδο 0,05. Το αρνητικό πρόσημο δείχνει ότι η μέθοδος ταξινόμησης στην κορυφή είναι χειρότερη από εκείνη στα αριστερά.

Ανάμεσα στους 5 ταξινομητές, ο ML και ο SVM γενικά παρείχαν την καλύτερη ακρίβεια παραγωγού και χρήστη. Η απόσταση Mahalanobis εκτελέστηκε συνολικά καλύτερα από τους άλλους δυο ταξινομητές στη διαφοροποίηση των 5 τάξεων. Οι πίνακες σφάλματος και τα μέτρα ακρίβειας για τους χάρτες της ML ταξινόμησης για τις περιοχές Alamo και Elsa δίνονται στους πίνακες 27 και 28, αντίστοιχα. Η ακρίβεια παραγωγού κυμάνθηκε από 84% έως 94% για την Alamo και από 80% έως 96% για

την περιοχή Elsa, ενώ η ακρίβεια χρήστη κυμάνθηκε από 71% έως 98% για την περιοχή Alamo και από 70% έως 94% για την Elsa.

Classified category	Actual category					Total	User's accuracy (%)
	Corn	Cotton	Grain sorghum	Sugarcane	Non-crop		
Corn	22	2	4	2	1	31	71.0
Cotton	1	109	10	4	11	135	80.7
Grain sorghum	0	4	86	0	0	90	95.6
Sugarcane	0	0	0	43	1	44	97.7
Non-crop	2	1	2	0	195	200	97.5
Total	25	116	102	49	208	500	
Producer's accuracy (%)	88.0	94.0	84.3	87.8	93.8		

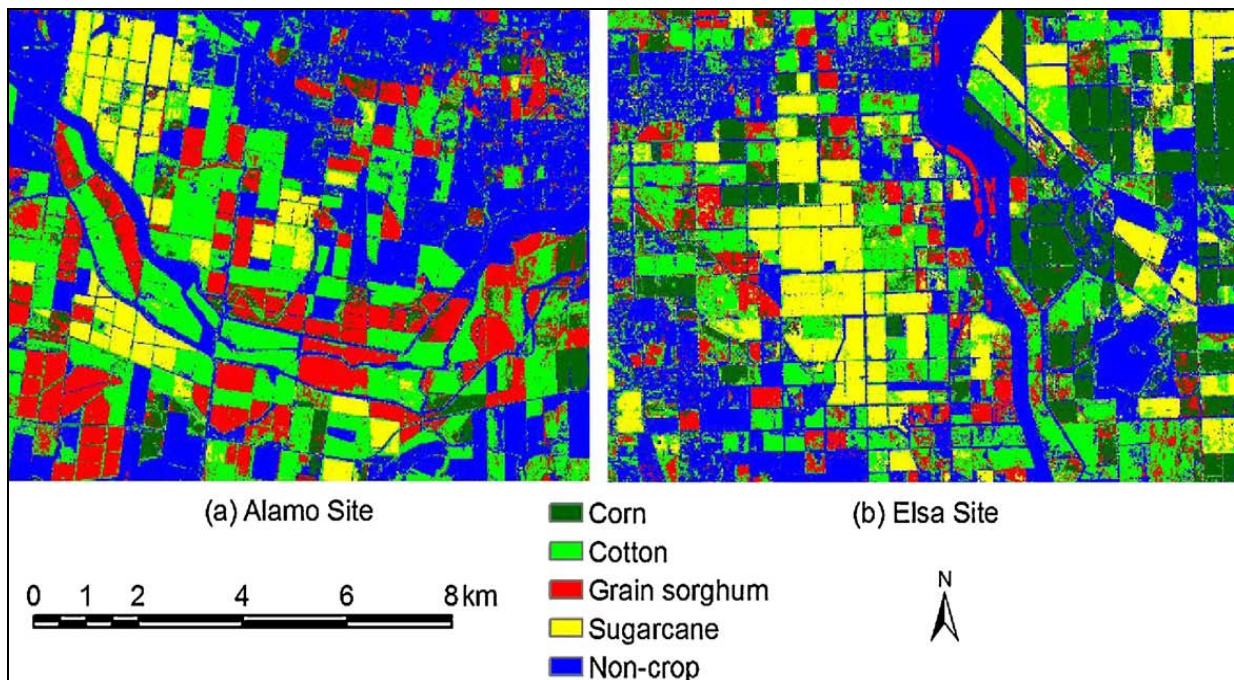
Πίνακας 27: Ο πίνακας σφάλματος και τα μέτρα ακρίβειας για ένα χάρτη ταξινόμησης που παράχθηκε από την 10-m, 4-καναλιών SPOT 5 δορυφορική εικόνα υποσυνόλων για μια περιοχή καλλιεργειών κοντά στο Alamo, Τέξας (περιοχή 1), με βάση τον ταξινομητή Μεγίστης Πιθανοφάνειας. Συνολική ακρίβεια=91,0%. Συνολικό kappa=0,875. Στατιστικό-Z=49,89.

Classified category	Actual category					Total	User's accuracy (%)
	Corn	Cotton	Grain sorghum	Sugarcane	Non-crop		
Corn	71	2	3	3	1	80	88.8
Cotton	4	90	3	14	3	114	78.9
Grain sorghum	1	13	35	0	1	50	70.0
Sugarcane	2	1	0	76	2	81	93.8
Non-crop	1	6	1	2	165	175	94.3
Total	79	112	42	95	172	500	
Producer's accuracy (%)	89.9	80.4	83.3	80.0	95.9		

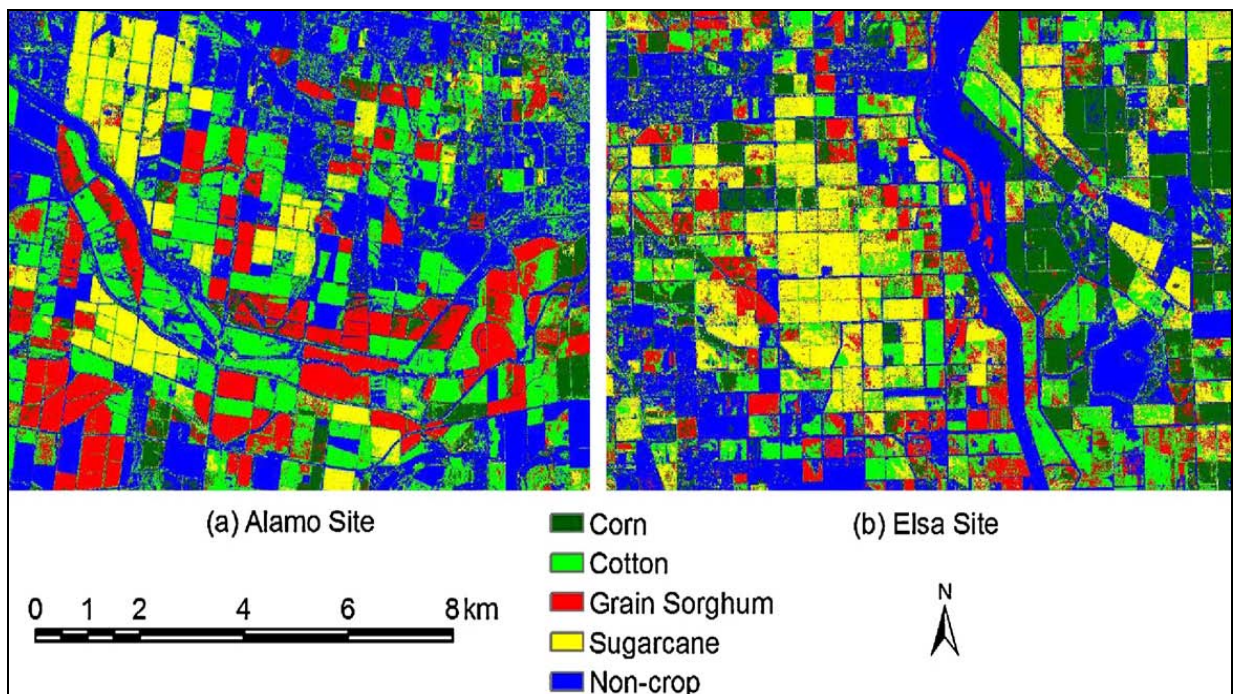
Πίνακας 28: Ο πίνακας σφάλματος και τα μέτρα ακρίβειας για ένα χάρτη ταξινόμησης που παράχθηκε από την 10-m, 4-καναλιών SPOT 5 δορυφορική εικόνα υποσυνόλων για μια περιοχή καλλιεργειών κοντά στο Elsa, Τέξας (περιοχή 2), με βάση τον ταξινομητή Μεγίστης Πιθανοφάνειας. Συνολική ακρίβεια=87,4%. Συνολικό kappa=0,835. Στατιστικό-Z=43,44.

Οι πέντε τάξεων χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από τις 20-m, 4-καναλιών SPOT 5 εικόνες υποσυνόλων για τις δυο περιοχές με βάση τον ταξινομητή ML, παρουσιάζονται στην εικόνα 52. Οι 20-m χάρτες ταξινόμησης είναι πολύ παρόμοιοι με αυτούς των 10-m, δείχνοντας ότι το μεγαλύτερο μέγεθος ρίχει δεν είχε σημαντική επίδραση στην ακρίβεια της ταξινόμησης. Οι πέντε τάξεων χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από τις 10-m, 3-καναλιών SPOT 5 εικόνες υποσυνόλων για τις δυο περιοχές με βάση τον ταξινομητή ML, δίνονται στην εικόνα 53. Οι χάρτες ταξινόμησης από τις 10-m, 3-καναλιών εικόνες φαίνονται κάπως πιο θορυβώδεις

από αυτές των εικόνων 4-καναλιών, δείχνοντας ότι η συμπερίληψη του καναλιού SWIR μπορεί να έχει βελτιωμένα αποτελέσματα ταξινόμησης.



Εικόνα 52: Πέντε-τάξεων χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από 20-m, 4-καναλιών SPOT 5 εικόνες υποσυνόλων για δυο εντατικά καλλιεργημένες περιοχές κοντά στο Alamo και Elsa , του Τέξας με βάση τον ταξινομητή Μεγίστης Πιθανοφάνειας.



Εικόνα 53: Πέντε-τάξεων χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από 10-m, 3-καναλιών (εκτός SWIR) SPOT 5 εικόνες υποσυνόλων για δυο εντατικά καλλιεργημένες περιοχές κοντά στο Alamo και Elsa , του Τέξας με βάση τον ταξινομητή Μεγίστης Πιθανοφάνειας.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι είναι εφικτό να ταξινομηθεί μια μεγάλη εικόνα βασισμένη στα δείγματα εκπαίδευσης που εξάγονται από ολόκληρη την εικόνα. Για να βελτιωθεί η ακρίβεια της ταξινόμησης, μπορεί να είναι πιο αρμόζον να διαιρεθεί μια μεγάλη εικόνα σε πολλά μικρότερα υποσύνολα και να ταξινομηθούν οι εικόνες υποσυνόλων ξεχωριστά.

Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης είναι: Οι ενιαίας-ημερομηνίας SPOT 5 πολυφασματικές εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταυτοποίηση καλλιεργειών αν οι εικόνες λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της βέλτιστης περιόδου διάκρισης καλλιεργειών για μια δεδομένη περιοχή. Ανάμεσα στους 5 ταξινομητές που εξετάστηκαν, ο ML και ο SVM είχαν καλύτερα αποτελέσματα από τους MD, MAHD και SAM. Η αύξηση του μεγέθους των pixel από 10-m σε 30-m δεν επηρέασε σημαντικά την ακρίβεια της ταξινόμησης. Τα δεδομένα υψηλής ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ακριβείς γεωργικές εφαρμογές εκτός από την αναγνώριση καλλιεργειών. Η συμπερίληψη του καναλιού SWIR στην πολυφασματική εικόνα SPOT 5 βελτίωσε σημαντικά τα αποτελέσματα της ταξινόμησης.

5. Τυπικές Εφαρμογές Επιβλεπόμενων και Μη Επιβλεπόμενων Τεχνικών Ταξινόμησης Δορυφορικών Εικόνων Σε Περιοχές Της Ελλάδας

5.1. Σύγκριση της Επιβλεπόμενης και Μη Επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε περιοχή της Στερεάς Ελλάδας με την χρήση πολυφασματικής εικόνας Landsat TM

Η ταξινόμηση εικόνας είναι ένα σημαντικό κομμάτι της τηλεπισκόπησης και της ανάλυσης εικόνας, που γίνεται όλο και σημαντικότερη κατά τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς η πρόσβαση σε υψηλής ανάλυσης τηλεπισκοπικά δεδομένα είναι πιο εύκολη σε σχέση με το παρελθόν.

Οι διαφορετικές προσεγγίσεις ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων συγκρίθηκαν σε αυτή την εφαρμογή χρησιμοποιώντας μια εικόνα της Στερεάς Ελλάδας. Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση της κάλυψης και χρήσης του εδάφους της περιοχής έρευνας έγινε εφαρμόζοντας την επιβλεπόμενη μέθοδο ταξινόμησης της Μεγίστης Πιθανοφάνειας (ML) και τον μη επιβλεπόμενο αλγόριθμο ISODATA. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Μια δορυφορική εικόνα Landsat TM και το λογισμικό επεξεργασίας εικόνας ER Mapper χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση της εφαρμογής.

Σε αυτή την εφαρμογή, η περιοχή της Λαμίας στα ανατολικά του γεωγραφικού διαμερίσματος της Στερεάς Ελλάδας επιλέχθηκε ως η περιοχή μελέτης, που καλύπτει περίπου 110.000 km². Η περιοχή μελέτης βρίσκεται ανάμεσα στους ορεινούς όγκους της Οίτης και της Όθρυς. Την περιοχή διασχίζει ο ποταμός Σπερχειός με κατεύθυνση από Βορειοδυτικά προς Νοτιοανατολικά. Από τον ποταμό Σπερχειό αρδεύεται όλη η περιοχή του κάμπου που βρίσκεται ανάμεσα στις δυο ορεινές μάζες και έτσι έχει μεγάλη οικονομική σημασία. Οι γεωργικές εκτάσεις στην κοιλάδα του Σπερχειού είναι υπό εντατική διαχείριση με πολλαπλά συστήματα καλλιέργειας. Οι κύριες χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης είναι διάφοροι τύποι καλλιεργειών συμπεριλαμβανομένων το βαμβάκι, το σιτάρι, τους ελαιώνες, τα ακτινίδια και τις φιστικιές.

Για την ταξινόμηση της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε μια πολυφασματική εικόνα Landsat TM, που λήφθηκε στις 14 Απριλίου του 2007. Η εικόνα διορθώθηκε γεωμετρικά στο σύστημα συντεταγμένων WGS84.



Εικόνα 54: Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, που απεικονίζει ένα μεγάλο μέρος της κεντρικής Ελλάδας. Δεξιά η ίδια εικόνα μεγεθυμένη που απεικονίζει το μεγαλύτερο μέρος του Νομού Φθιώτιδας.



Εικόνα 55: Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, που απεικονίζει την περιοχή μελέτης της παρούσας εφαρμογής. Δεξιά το ψευδέγχρωμο σύνθετο 4,3,2 (R,G,B) στο οποίο τονίζεται η βλάστηση της περιοχής και μπορεί να γίνει πολύ καλή διάκριση των καλλιεργειών.

Οι ταξινομήσεις εικόνας έγιναν χρησιμοποιώντας επιβλεπόμενες και μη επιβλεπόμενες τεχνικές. Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση της Μεγίστης Πιθανοφάνειας επιλέχθηκε για την ταξινόμηση της εικόνας της περιοχής μελέτης, καθώς έχει αποδειχθεί ότι είναι η πιο ακριβής και η πιο συχνά χρησιμοποιημένη μέθοδος επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Ο ταξινομητής αυτός, βασίζεται στην θεωρία πιθανοτήτων του Bayes.

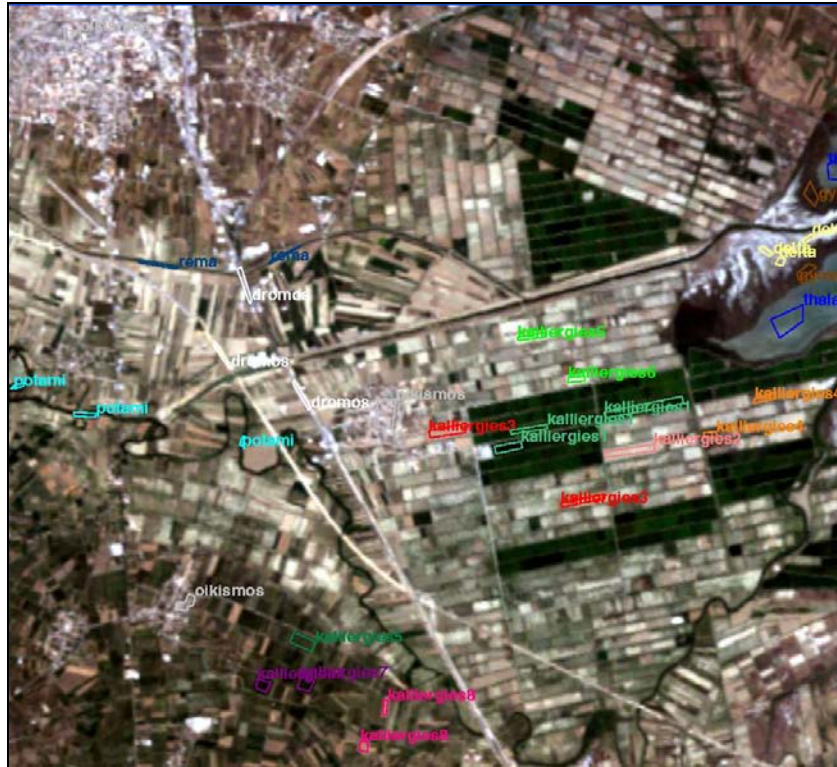
Από τις μη επιβλεπόμενες τεχνικές ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε ο επαναληπτικής βελτιστοποίησης αλγόριθμος ανάλυσης συσσωρεύσεων ISODATA. Αυτή η τεχνική εκτελεί επαναληπτικά μια ολόκληρη ταξινόμηση και επαναυπολογίζει τα στατιστικά στοιχεία με ελάχιστα δεδομένα εισόδου για τον εντοπισμό συσσωρεύσεων και επίσης είναι σχετικά απλή.

Ο ταξινομητής της Μεγίστης Πιθανοφάνειας χρησιμοποιήθηκε όπως περιγράφηκε προηγουμένως, για να ταξινομήσει την εικόνα της περιοχής μελέτης στις διάφορες κατηγορίες κάλυψης εδάφους. Οι τάξεις εδαφοκάλυψης που ορίστηκαν, καθώς και το χρώμα που περιγράφει την κάθε τάξη φαίνονται παρακάτω. Συνολικά διακρίθηκαν 16 τάξεις.

edafos	170,101,91	Set color...	thalassa	blue	Set color...
potami	cyan	Set color...	oikismos	white	Set color...
rema	0,64,128	Set color...	kalliergies6	green	Set color...
dromos	192,192,192	Set color...	kalliergies4	255,128,0	Set color...
delta	255,255,128	Set color...	kalliergies3	red	Set color...
gymno edafos	128,64,0	Set color...	kalliergies2	255,128,128	Set color...
kalliergies8	255,0,128	Set color...	kalliergies1	65,190,124	Set color...
kalliergies7	128,0,128	Set color...	All	black	Set color...
kalliergies5	0,128,64	Set color...			

Εικόνα 56: Οι τάξεις χρήσης και κάλυψης εδάφους που ορίστηκαν για την περιοχή μελέτης και δίπλα το χρώμα που επιλέχθηκε για να περιγράψει την κάθε τάξη στον χάρτη ταξινόμησης που παράχθηκε από την επιβλεπόμενη μέθοδο ταξινόμησης της Μεγίστης Πιθανοφάνειας.

Τα πολύγωνα που ορίζουν τις επιλεγμένες περιοχές εκπαίδευσης και η διασπορά τους στην περιοχή μελέτης φαίνονται στην εικόνα 57.



Εικόνα 57: Η απεικόνιση της περιοχής μελέτης στην οποία φαίνονται τα πολύγωνα που ορίζουν τις επιλεγμένες περιοχές εκπαίδευσης και η διασπορά τους.

Class/Region	Hectares	Sq. Km	Acres	Sq. Miles
delta	2.700	0.027	6.672	0.010
dromos	7.290	0.073	18.014	0.028
edafos	12.870	0.129	31.802	0.050
gymno edafos	4.770	0.048	11.787	0.018
kalliergies1	15.030	0.150	37.140	0.058
kalliergies2	5.490	0.055	13.566	0.021
kalliergies3	8.100	0.081	20.016	0.031
kalliergies4	3.240	0.032	8.006	0.013
kalliergies5	4.230	0.042	10.453	0.016
kalliergies6	3.420	0.034	8.451	0.013
kalliergies7	4.500	0.045	11.120	0.017
kalliergies8	1.890	0.019	4.670	0.007
oikismos	21.600	0.216	53.375	0.083
potami	2.520	0.025	6.227	0.010
rema	2.700	0.027	6.672	0.010
thalassa	14.760	0.148	36.473	0.057
All	10774.800	107.748	26625.113	41.602

Πίνακας 29: Η κάλυψη της περιοχής μελέτης σε εκτάρια, τετραγωνικά χιλιόμετρα, στρέμματα και τετραγωνικά μίλια σύμφωνα με την θεματικά ταξινομημένη εικόνα Landsat TM με βάση τον αλγόριθμο της Μεγίστης Πιθανοφάνειας.

Ο 16 τάξεων χάρτης ταξινόμησης της περιοχής μελέτης που παράχθηκε με τη χρήση της επιβλεπόμενης μεθόδου της Μεγίστης Πιθανοφάνειας παρουσιάζεται στην εικόνα 58. Η οπτική σύγκριση με το ψευδέγχρωμο σύνθετο 4,3,2 δείχνει ότι ο χάρτης ταξινόμησης παρείχε σχετικά καλούς διαχωρισμούς μεταξύ των τάξεων καλλιέργειας και μη-καλλιέργειας.



Εικόνα 58: Αριστερά το ψευδέγχρωμο σύνθετο 4,3,2 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, με κόκκινο χρώμα τονίζεται η βλάστηση και στην περίπτωση της περιοχής μελέτης οι καλλιέργειες. Δεξιά ο 16 τάξεων ταξινομημένος χάρτης που παράχθηκε από την εικόνα Landsat TM, της 14ης Απριλίου 2007 με τη χρήση του επιβλεπόμενου ταξινομητή της Μεγίστης Πιθανοφάνειας.

Στην παρούσα μελέτη, αφού εκτελέστηκε η επιβλεπόμενη ταξινόμηση ακολούθησε η εκτέλεση της μη επιβλεπόμενης προσέγγισης με βάση τον αλγόριθμο ISODATA, για την περιοχή μελέτης. Στην εικόνα 59 φαίνεται ο χάρτης κάλυψης εδάφους έτσι όπως παράχθηκε από την εικόνα Landsat TM με τη χρήση του αλγορίθμου ISODATA. Είναι γεγονός ότι αυτή η μη επιβλεπόμενη προσέγγιση φαίνεται να δυσκολεύεται να ταξινομήσει ικανοποιητικά την κάλυψη του εδάφους στην μεγάλης έκτασης περιοχή μελέτης.



Εικόνα 59: Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, που απεικονίζει την περιοχή μελέτης της παρούσας εφαρμογής. Δεξιά ο χάρτης κάλυψης και χρήσης του εδάφους που παράχθηκε από την εικόνα Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007 με βάση τον μη επιβλεπόμενο αλγόριθμο ISODATA.

Συγκρίνοντας τις δύο εικόνες που παράχθηκαν από τις δυο διαφορετικές προσεγγίσεις ταξινόμησης με επίγειους ελέγχους στην περιοχή που πραγματοποιήθηκαν το καλοκαίρι του 2011, φαίνονται σαφώς πιο κοντά στην πραγματικότητα τα αποτελέσματα στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση της Μεγίστης Πιθανοφάνειας σε σχέση με την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Οι τάξεις που λήφθηκαν από τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι αρκετά ετερογενείς, έχει όμως ενδιαφέρον ότι τα γραμμικά στοιχεία της περιοχής (οριογραμμές αγροτεμαχίων, ρέματα και δευτερεύοντες οδοί, φαίνονται καθαρά. Συγκρίνοντας με το θεματικό χάρτη, ο οποίος προέκυψε από την ταξινόμηση με τη μέθοδο της Μεγίστης Πιθανοφάνειας τα γραμμικά στοιχεία εμφανίζονται απολύτως ικανοποιητικά στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, αλλά ο διαχωρισμός των τάξεων των καλλιεργειών μεταξύ τους (ακόμη και ο διαχωρισμός των πολυγώνων διαφορετικών χρήσεων – καλύψεων γης) είναι σαφώς ποιοτικότερος στην ταξινόμηση της μέγιστης πιθανοφάνειας.

5.2. Σύγκριση των διαφορετικών αλγορίθμων επιβλεπόμενης Ταξινόμησης σε πεδινή περιοχή του Νομού Φθιώτιδας με χρήση πολυφασματικής εικόνας Landsat TM

Η ταξινόμηση των φασματικών εικόνων είναι μια επιτυχής εφαρμογή που χρησιμοποιείται για την παραγωγή χαρτών κάλυψης εδάφους, για την εκτίμηση της επιφάνειας των καλλιεργειών και της παραγωγής και για πολλούς άλλους σκοπούς. Σε αρκετές περιπτώσεις η ίδια η ταξινόμηση μπορεί να είναι το αντικείμενο της ανάλυσης. Υπάρχουν διάφορες διαδικασίες ταξινόμησης εικόνας που χρησιμοποιούνται για διαφορετικούς σκοπούς και διακρίνονται σε επιβλεπόμενες και μη επιβλεπόμενες ανάλογα με τον τρόπο που εκτελούνται.

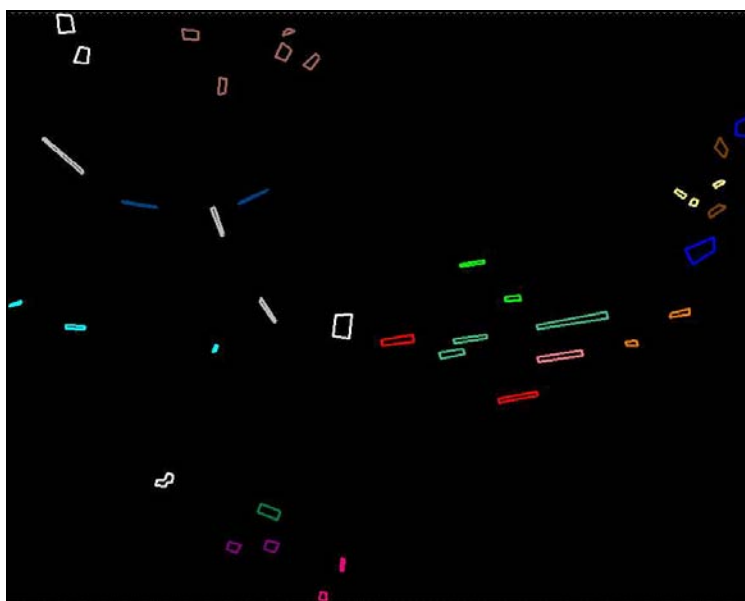
Στόχος της παρούσας εφαρμογής είναι η σύγκριση των διαφορετικών αλγορίθμων επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας μια δορυφορική εικόνα Landsat TM της περιοχής του Νομού Φθιώτιδας που βρίσκεται στην κεντρική Ελλάδα. Για το σκοπό αυτό, η ταξινόμηση της εδαφοκάλυψης της περιοχής μελέτης έγινε με τρεις διαφορετικές διαδικασίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης και συγκεκριμένα με τη χρήση των μεθόδων της Μεγίστης Πιθανοφάνειας, της Ελάχιστης Απόστασης και της απόστασης Mahalanobis και στη συνέχεια τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν μεταξύ τους.

Για την ταξινόμηση της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε μια πολυφασματική εικόνα Landsat TM, που λήφθηκε στις 14 Απριλίου του 2007. Η εικόνα διορθώθηκε γεωμετρικά στο σύστημα συντεταγμένων WGS84. Όλες οι ταξινομήσεις εκτελέστηκαν στο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας ER Mapper.



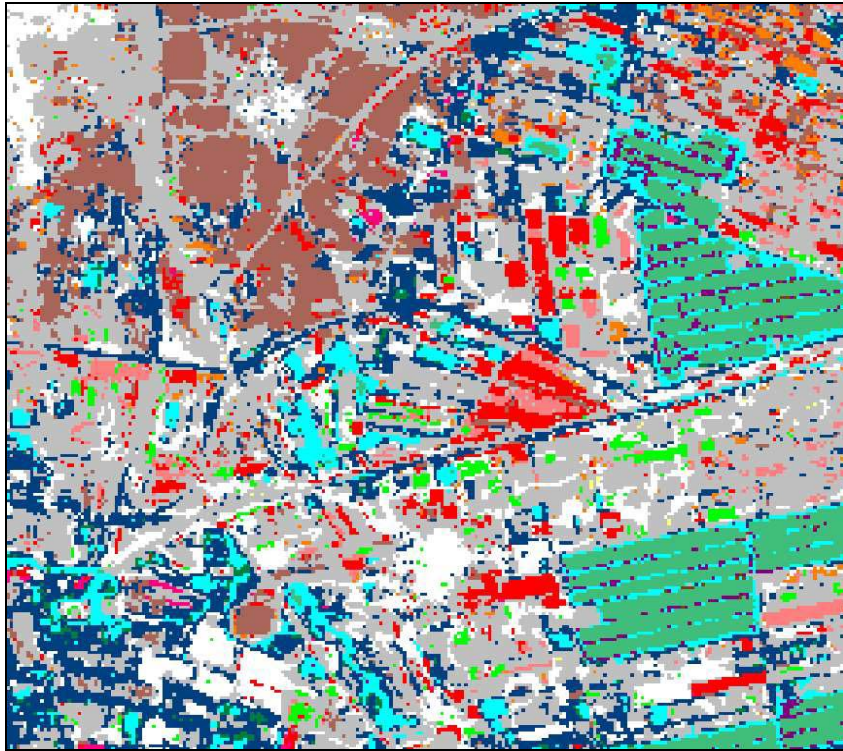
Εικόνα 60: Το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, που απεικονίζει την περιοχή μελέτης της παρούσας εφαρμογής.

Αρχικά η κάλυψη και χρήση γης στην περιοχή μελέτης ταξινομήθηκε με τη μέθοδο της Μεγίστης Πιθανοφάνειας. Είναι γεγονός ότι ο ταξινομητής της Μ. Πιθανοφάνειας είναι ο πιο ισχυρός ταξινομητής στον τομέα της τηλεπισκόπησης και παράγει πολύ ακριβή αποτελέσματα. Στη συνέχεια επιλέχθηκε η μέθοδος της Ελάχιστης Απόστασης για την ταξινόμηση της περιοχής μελέτης. Ο ταξινομητής αυτός συνίσταται ιδιαίτερα σε όλες τις εφαρμογές ταξινόμησης εικόνας, καθώς είναι αρκετά ακριβής και είναι μια τεχνική ταχύτερη από την ταξινόμηση της Μ. Πιθανοφάνειας. Τέλος, η εικόνα ταξινομήθηκε εκ νέου με βάση τον αλγόριθμο επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απόστασης Mahalanobis. Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με αυτή της Ελάχιστης Απόστασης.



Εικόνα 61: Τα πολύγωνα που ορίζουν τις επιλεγμένες περιοχές εκπαίδευσης και η διασπορά τους στην περιοχή μελέτης.

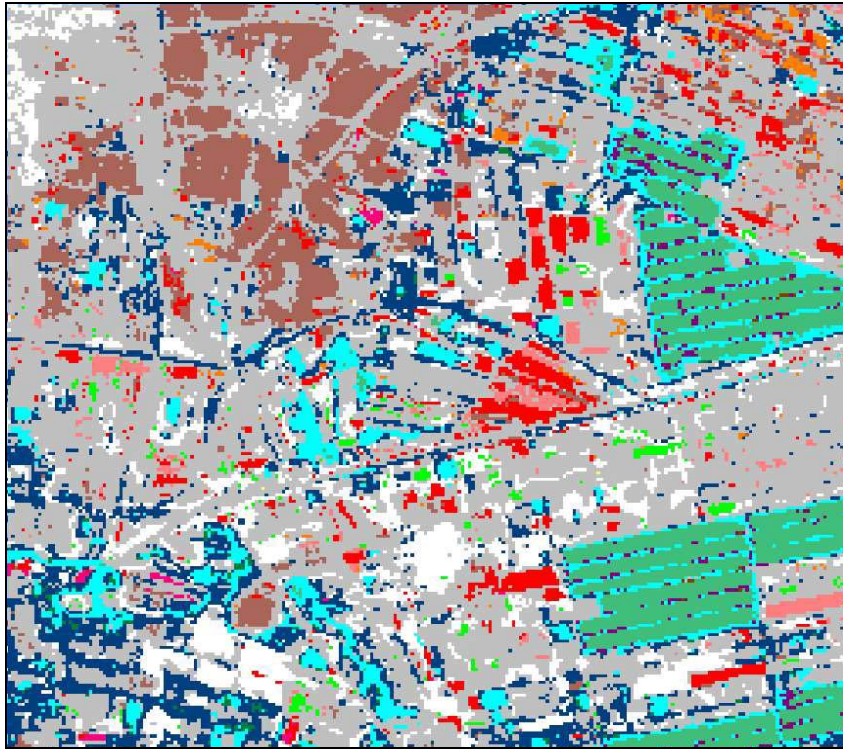
Παρακάτω παρουσιάζονται οι ταξινομημένες εικόνες της περιοχής μελέτης, που παράχθηκαν με βάση τις μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης της Μ. Πιθανοφάνειας, της Ελάχιστης Απόστασης και της απόστασης Mahalanobis, αντίστοιχα.



Εικόνα 62: Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης που παράχθηκε από την εικόνα Landsat TM, της 14ης Απριλίου 2007 με τη χρήση του επιβλεπόμενου ταξινομητή της Μεγίστης Πιθανοφάνειας.



Εικόνα 63: Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης που παράχθηκε από την εικόνα Landsat TM, της 14ης Απριλίου 2007 με τη χρήση του επιβλεπόμενου ταξινομητή της Ελάχιστης Απόστασης.



Εικόνα 64: Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης που παράχθηκε από την εικόνα Landsat TM, της 14ης Απριλίου 2007 με τη χρήση του επιβλεπόμενου ταξινομητή της απόστασης Mahalanobis.

Σε ένα έδαφος σχετικά επίπεδο, με κάλυψη γης αρκετά εναλλασσόμενη και χρήσεις κυρίως γεωργικές αλλά και οικιστικές, ο αλγόριθμος της Ελάχιστης Απόστασης έδωσε πολύ γρήγορα και ικανοποιητικά αποτελέσματα. Σε σχέση με τον ταξινομητή της Μεγίστης Πιθανοφάνειας, όχι μόνο δεν υστέρησε, αλλά έδωσε ακριβέστερα αποτελέσματα, ιδιαίτερα στα όρια (αλλά και μέσα) των οικισμών. Επιβεβαιώνονται κατά κάποιο τρόπο και τα αποτελέσματα από την εργασία στο Αίβαλί όπου όταν το έδαφος παρουσίαζε ανάγλυφο, ο ταξινομητής της Μεγίστης Πιθανοφάνειας έδινε καλύτερα αποτελέσματα αλλά εκεί όπου το έδαφος ήταν επίπεδο, η μέθοδος της Ελάχιστης Απόστασης αποδείχθηκε αρκετά ακριβής. Ο ταξινομητής με τον αλγόριθμο υπολογισμού της Mahalanobis αποστάσεως, αποδείχθηκε ο λιγότερο ακριβής από τους τρεις.

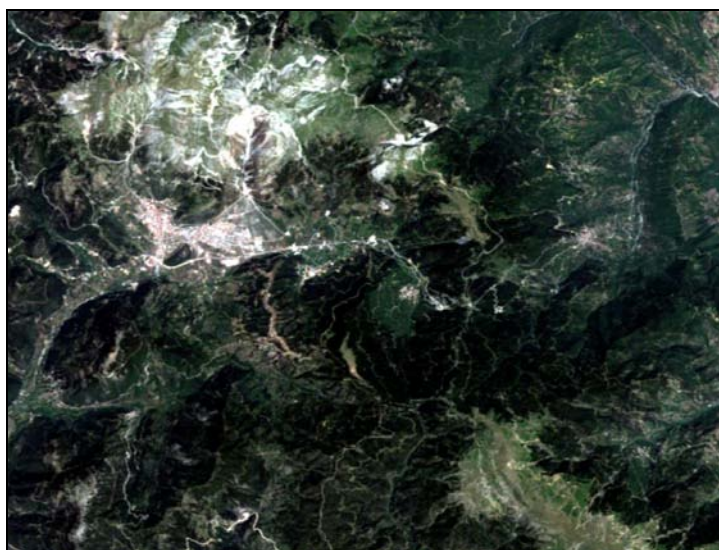
5.3. Ταξινόμηση της κάλυψης εδάφους σε έντονα ανώμαλο έδαφος: περίπτωση μελέτης η ορεινή περιοχή της Ευρυτανίας

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την χαρτογράφηση της κάλυψης του εδάφους σε ορεινές περιοχές όπως ο Νομός Ευρυτανίας, καθώς αυτές οι περιοχές είναι γενικά απροσπέλαστες λόγω των υψηλών υψομέτρων και της πυκνής δενδροκάλυψης.

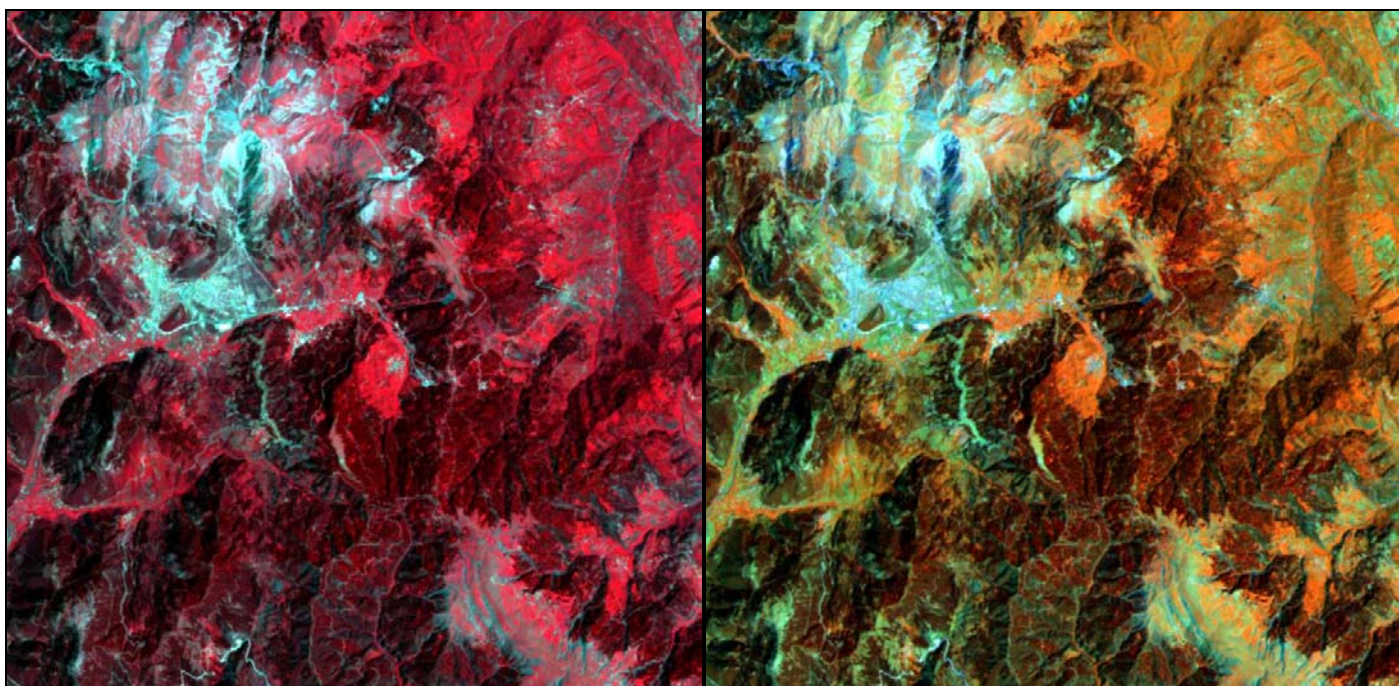
Σε αυτή την εφαρμογή αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα της ταξινόμησης της κάλυψης του εδάφους στην ορεινή περιοχή της Ευρυτανίας με υψηλές βουνοκορφές, χρησιμοποιώντας μια πολυφασματική εικόνα Landsat TM. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν οι επιβλεπόμενες μέθοδοι ταξινόμησης εικόνας της Μεγίστης Πιθανοφάνειας και της Ελάχιστης Απόστασης.

Ως περιοχή μελέτης για την εφαρμογή των ταξινομήσεων επιλέχθηκε ένα μεγάλο τμήμα του Νομού Ευρυτανίας. Ο νομός είναι σχεδόν ολοκληρωτικά καλυμμένος από βουνά και ποτάμια. Το υψόμετρο κυμαίνεται από τα 500m έως τα 2.315m. Η περιοχή καλύπτεται από πυκνή βλάστηση και συγκεκριμένα από έλατα, βελανιδιές, πουρνάρια και πλατάνια. Στην εικόνα 65 απεικονίζεται το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (RGB) της περιοχής μελέτης στο οποίο διακρίνονται καθαρά το Καρπενήσι και ο ορεινός όγκος του Βελουχιού.

Για την ταξινόμηση της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε μια πολυφασματική εικόνα Landsat TM , κανάλια 1-5 και 7 που λήφθηκε στις 14 Απριλίου του 2007. Η εικόνα διορθώθηκε γεωμετρικά στο σύστημα συντεταγμένων WGS84. Όλες οι ταξινομήσεις εκτελέστηκαν στο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας ER Mapper.



Εικόνα 65: Το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, που απεικονίζει την περιοχή μελέτης της παρούσας εφαρμογής. Στα βορειοδυτικά της εικόνας διακρίνονται η πόλη του Καρπενησίου και το όρος Βελούχι.

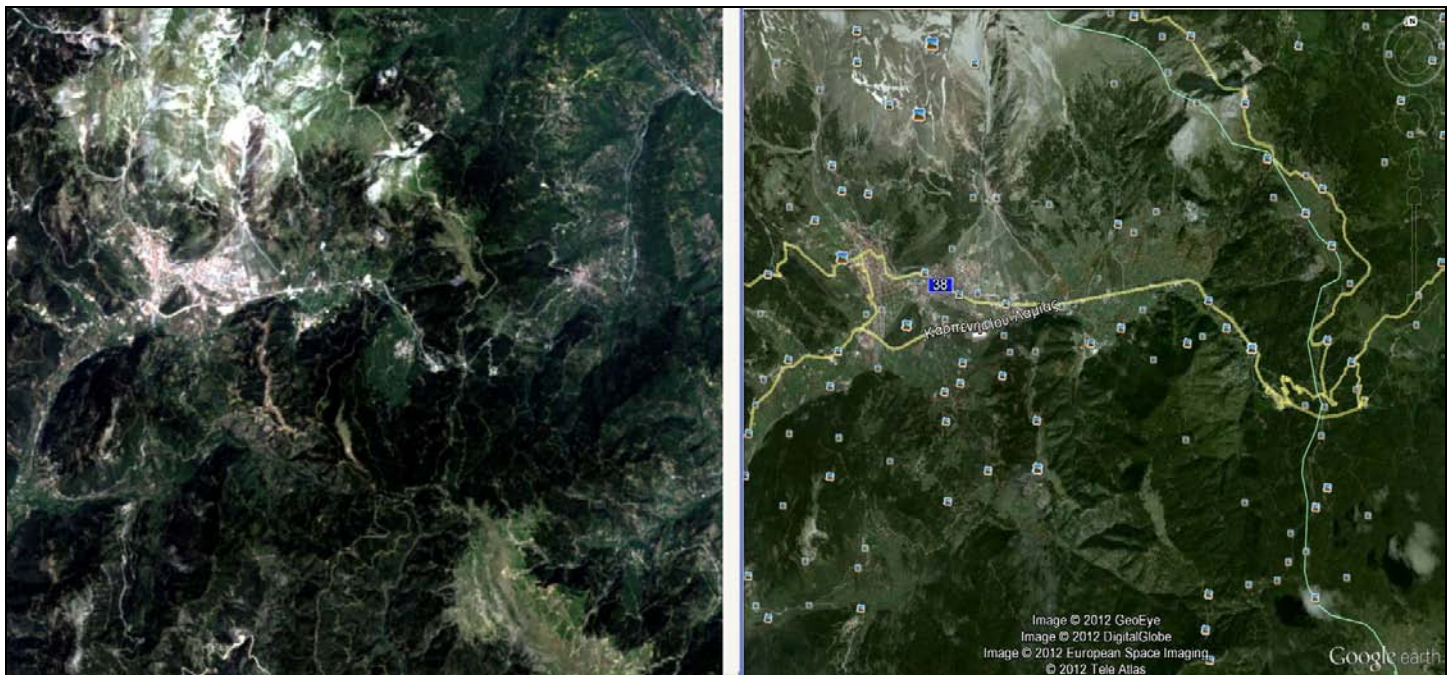


Εικόνα 66: Αριστερά το ψευδέγχρωμο σύνθετο 4,3,2 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, με έντονο κόκκινο χρώμα τονίζεται η πυκνή βλάστηση της περιοχής. Δεξιά το ψευδέγχρωμο σύνθετο 4,5,3 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM. Σε αυτό το σύνθετο τονίζεται το έντονα ανώμαλο ανάγλυφο της περιοχής μελέτης.

Τα βασικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την προετοιμασία του χάρτη κάλυψης εδάφους της περιοχής μελέτης ήταν πολυφασματικά Landsat TM ψηφιακά δεδομένα, ενώ το λογισμικό γραφικής απεικόνισης της Γης Google Earth χρησιμοποιήθηκε ως βοηθητικό στοιχείο, καθώς παρείχε υψηλής ανάλυσης δορυφορικές απεικονίσεις της περιοχής μελέτης. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις ψηφιακές πληροφορίες και γνωρίζοντας τη γεωμορφολογία και τα είδη βλάστησης της περιοχής, 9 τάξεις εδαφοκάλυψης καθορίστηκαν.

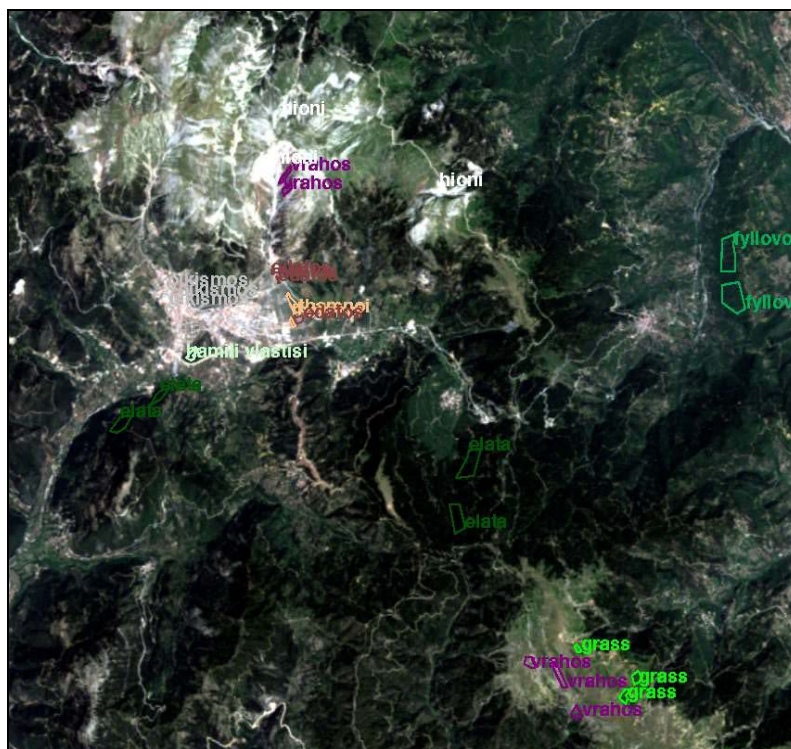
fyllivola	0,174,87	Set color...
grass	green	Set color...
vrahos	143,152,177	Set color...
elata	0,85,0	Set color...
hamili vlastisi	198,255,198	Set color...
oikismos	219,0,0	Set color...
thamnoi	255,192,130	Set color...
edafos	132,66,66	Set color...
hioni	white	Set color...
All	black	Set color...

Εικόνα 67: Οι τάξεις χρήσης και κάλυψης εδάφους που ορίστηκαν για την περιοχή μελέτης και δίπλα το χρώμα που επιλέχτηκε για να περιγράψει την κάθε τάξη στους χάρτες ταξινόμησης που παράχθηκαν από την επιβλεπόμενη μέθοδο ταξινόμησης της Μεγίστης Πιθανοφάνειας και της Ελάχιστης Απόστασης.



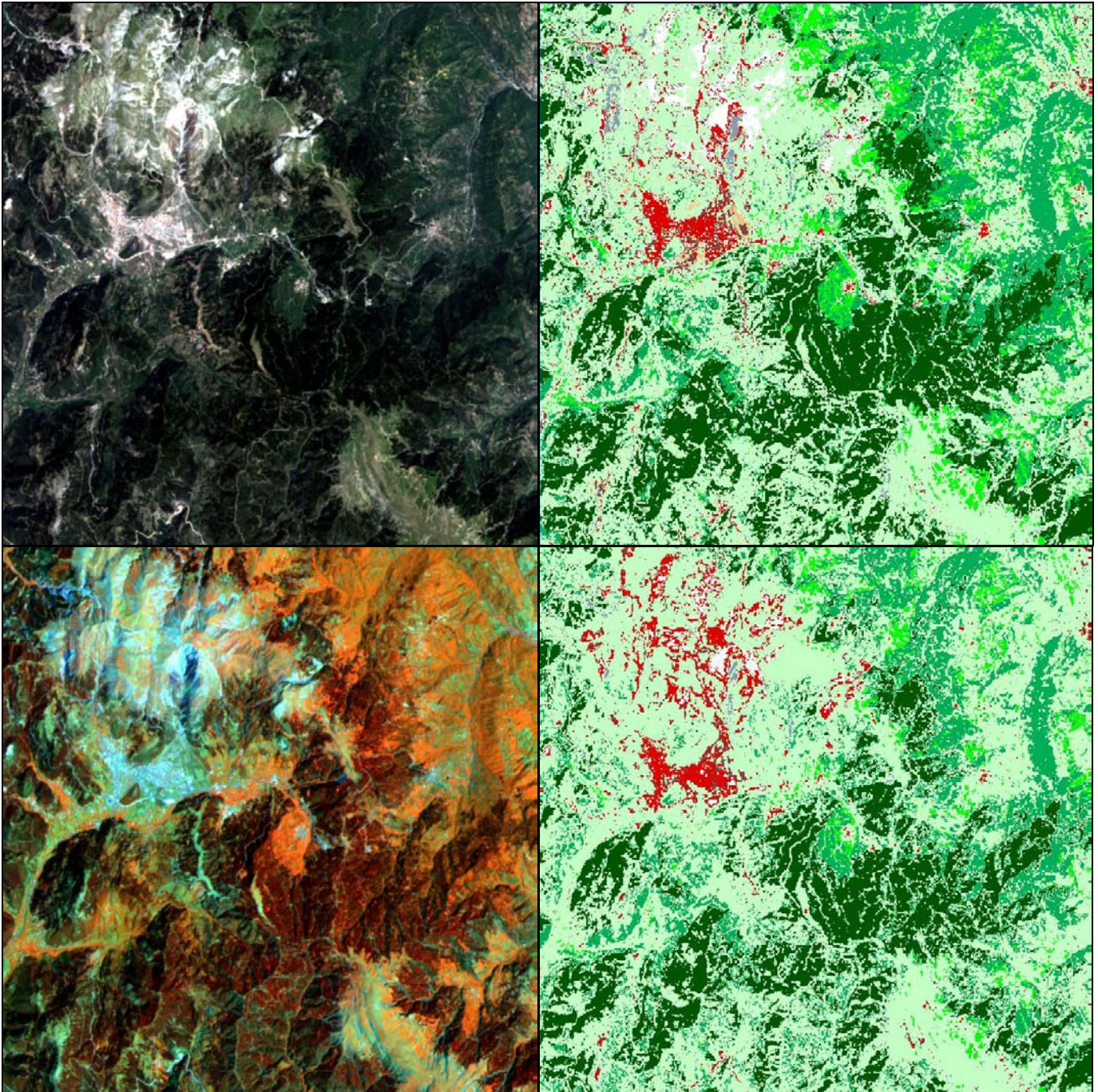
Εικόνα 68: Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, που απεικονίζει την περιοχή μελέτης. Δεξιά η ψηφιακή δορυφορική απεικόνιση που παρέιχε το λογισμικό Google Earth για την ίδια περιοχή.

Η ψηφιακές δορυφορικές απεικονίσεις από το λογισμικό Google Earth, καθώς και διάφορες επίγειες φωτογραφίες που απεικόνιζαν την πραγματική κάλυψη του εδάφους χρησιμοποιήθηκαν ως πρόσθετα δεδομένα για την επιλογή των περιοχών εκπαίδευσης.



Εικόνα 69: Η απεικόνιση της περιοχής μελέτης στην οποία φαίνονται τα πολύγωνα που ορίζουν τις επιλεγμένες περιοχές εκπαίδευσης και η διασπορά τους.

Η ψηφιακή επεξεργασία της εικόνας πραγματοποιήθηκε για την απόκτηση των 9 τάξεων ταξινομημένων χαρτών κάλυψης εδάφους. Αρχικά η ταξινόμηση έγινε με τον αλγόριθμο της Μεγίστης Πιθανοφάνειας και ακολούθησε η ταξινόμηση με τον ταξινομητή της Ελάχιστης Απόστασης. Επιλέχθηκαν αυτοί οι ταξινομητές διότι συνήθως παράγουν ακριβή και ορθά αποτελέσματα ταξινόμησης. Αυτά παρουσιάζονται παρακάτω.



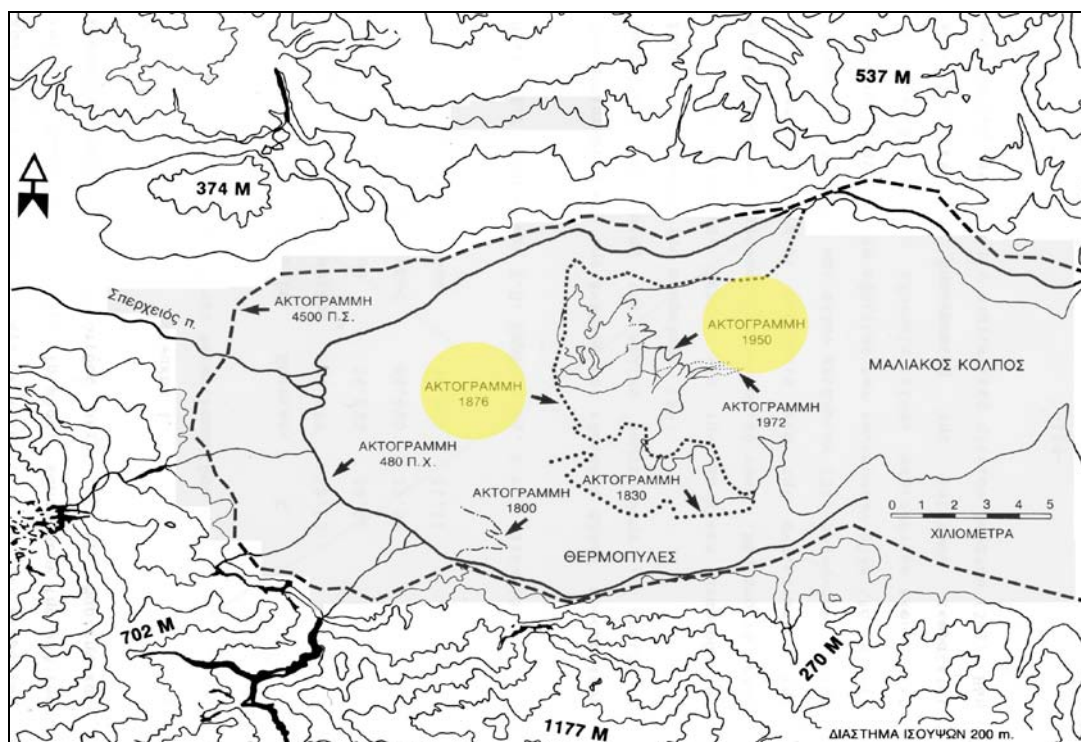
Εικόνα 70: Αριστερά (πάνω) το αρχικό έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007. Δεξιά (πάνω) ο 9 τάξεων ταξινομημένος χάρτης που παράχθηκε από την εικόνα Landsat TM, κανάλια 1-5 και 7, με τη χρήση του επιβλεπόμενου ταξινομητή της Μεγίστης Πιθανοφάνειας. Αριστερά (κάτω) το ψευδέγχρωμο σύνθετο 4,5,3 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM, όπου τονίζεται το ανώμαλο ανάγλυφο της περιοχής μελέτης. Αριστερά (κάτω) ο 9 τάξεων ταξινομημένος χάρτης που παράχθηκε από την εικόνα Landsat TM, κανάλια 1-5 και 7, ως αποτέλεσμα της ταξινόμησης με τη μέθοδο της Ελάχιστης Απόστασης.

Χωρίς να έχει γίνει ορθομετρική διόρθωση στα δορυφορικά δεδομένα και σε ένα έδαφος με έντονο ανάγλυφο και ραγδαία μεταβαλλόμενο, ο αλγόριθμος της Μεγίστης Πιθανοφάνειας έδωσε τα ακριβέστερα αποτελέσματα ακόμη και στα διαφορετικά είδη βλάστησης τα οποία ταξινόμησε ικανοποιητικά. Μάλιστα επιχειρήθηκε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων με την εργασία της ταξινόμησης στα Ιμαλάια, ώστε να αναδειχτεί που ακριβώς ενίσχυσε η χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους τον ταξινομητή της Μεγίστης Πιθανοφάνειας. Υπολογίστηκε ότι η ακρίβεια της ταξινόμησης λόγω της χρήσης υψομετρικών δεδομένων ακρίβειας καλύτερης από 3 μέτρα, αύξησε την ακρίβεια ταξινόμησης κατά 15% περίπου. Πάντως σε σχέση με τον αλγόριθμο της Ελάχιστης Απόστασης ο οποίος διαχώρισε πολύ καλά τα πολύγωνα βλάστησης – μη βλάστησης (γυμνό έδαφος, χιόνι, βράχια), ο αλγόριθμος της Μεγίστης Πιθανοφάνειας ήταν ακριβής και έδωσε ικανοποιητικές θεματικές κατηγορίες, διαχωρίζοντας ακόμη και τα έλατα από τα φυλλοβόλα της περιοχής.

5.4. Εκτίμηση του μεγέθους της μεταβολής της ακτογραμμής του Μαλιακού κόλπου με την χρήση δορυφορικών δεδομένων Landsat TM

Οι δορυφορικές εικόνες, λόγω της συνοπτικής επισκόπησης και της μεγάλης κάλυψης χρησιμοποιούνται συχνά για την ανίχνευση και εκτίμηση των αλλαγών στη μορφολογία της επιφάνειας του φυσικού εδάφους.

Στην εφαρμογή αυτή θα γίνει μια εκτίμηση του μεγέθους της μεταβολής της δυτικής ακτογραμμής του Μαλιακού κόλπου εξαιτίας των προσχώσεων του ποταμού Σπερχειού. Το δέλτα του Σπερχειού βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του νομού Φθιώτιδας, εκτείνεται ανατολικά της Εθνικής Οδού Αθηνών-Λαμίας. Ο Σπερχειός πηγάζει από τον Τυμφρηστό από τα 2.315m και μετά από μια διαδρομή 82km χύνεται στα δυτικά παράλια του Μαλιακού, όπου και σχηματίζεται το δέλτα. Ο Μαλιακός είναι ένας μικρός κλειστός κόλπος που συνδέεται με το Αιγαίο πέλαγος στα ανατολικά και έχει μέγιστο βάθος περίπου 30m, ενώ όσο προχωρούμε δυτικότερα το βάθος μειώνεται. Παλαιότερα η σημερινή έκταση του δέλτα και της γύρω πεδιάδας καλύπτονταν από θάλασσα, αλλά ο Σπερχειός με τα άφθονα φερτά υλικά σχημάτισε τη μορφή του τοπίου όπως τη ξέρουμε σήμερα.



Εικόνα 71: Χάρτης που απεικονίζει τις μεταβολές στην ακτογραμμή του Μαλιακού κόλπου από το 480 π.Χ. μέχρι το 1972.

Ο Σπερχειός ποταμός κατεβάζει σημαντικές ποσότητες φερτών υλικών στις εκβολές του, όπου σχηματίζονται προσχώσεις που δεν μπορούν να διαλυθούν εξαιτίας του αβαθούς και κλειστού θαλάσσιου περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα το δέλτα του να επεκτείνεται προς τα ανατολικά σχηματίζοντας νέες εκτάσεις. Μελέτες έχουν δείξει ότι ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής είχε φτάσει μέχρι και τα 9m/χρόνο σε διάφορες περιόδους αν και τα τελευταία χρόνια μέχρι το 2007 η ακτογραμμή δεν έχει μεταβληθεί έντονα.

Ιζηματολογικά ο πυθμένας του Μαλιακού κόλπου καλύπτεται από πολύ λεπτά (< 63cm) ιζήματα (ιλύς και άργιλος), ενώ μικρά ποσοστά άμμου συναντώνται στις παράκτιες περιοχές και στα στόμια του Σπερχειού.

Διακρίνονται δύο βασικές περιοχές προώθησης της ακτογραμμής, η πρώτη εντοπίζεται στην έξοδο του ενεργού δέλτα, όπου η απόθεση φερτών υλικών από τον Σπερχειό προκάλεσε την προώθηση της ακτογραμμής καλύπτοντας μια περιοχή περίπου 0,77 km² από το 1945, δημιουργώντας τη μορφή της επιφάνειας του εδάφους όπως φαίνεται σήμερα. Η δεύτερη αφορά την περιοχή που εκβάλλει ο εκχειλιστήρας του ποταμού στα βόρεια του κόλπου και ο οποίος κατασκευάστηκε το 1958, όπου παρατηρείται και η μεγαλύτερη προώθηση της ακτογραμμής με τη δημιουργία νέας χέρσου έκτασης 0,94 km² όπως φαίνεται στην εικόνα 72.

Η στερεοπαροχή του Σπερχειού είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την υδατοπαροχή του και εκτιμάται να φτάνει κατά το παρελθόν τους 1500 10³ τόνους το χρόνο. Μετρήσεις αιωρούμενου υλικού την περίοδο 1992-1993 έδωσαν τιμές μεταξύ 4 και 50 gr/m³ που αντιστοιχούν σε μια ετήσια στερεοπαροχή της τάξης των 3000 τόνων, που είναι σαφώς μικρότερη από αυτές του παρελθόντος.

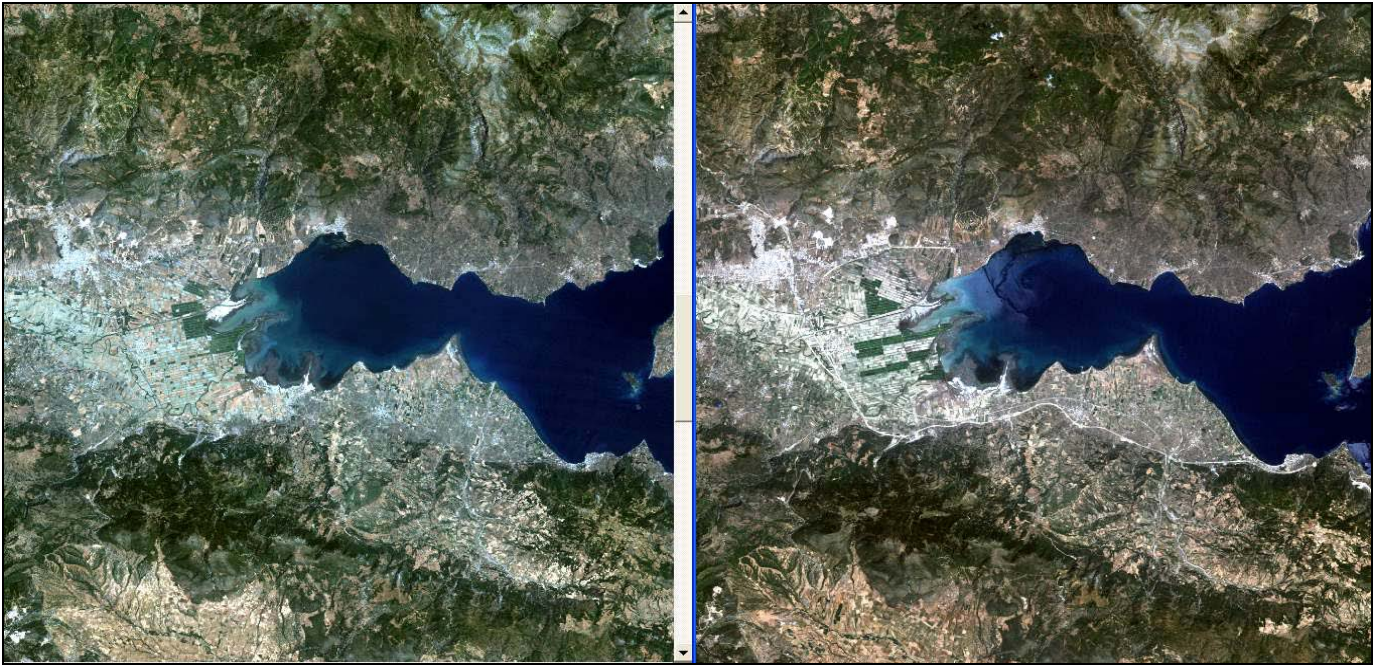
Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια οι αλλαγές στην ακτογραμμή του Μαλιακού δεν είναι τόσο έντονες όσο στο παρελθόν και ειδικότερα στο ενεργό στόμιο του Σπερχειού ποταμού. Αυτό οφείλεται στην μείωση της παροχής σε νερό του ποταμού χάριν της γεωργίας και της αυξανόμενης απαίτησης για πόσιμο νερό, στην φυσική μείωση της βροχόπτωσης στην ευρύτερη περιοχή τα τελευταία χρόνια και στο γεγονός ότι το στόμιο του ποταμού έχει προσεγγίσει, μετά από προέλαση δεκαετιών σε βαθύτερα μέρη (>20m) του κόλπου όπου χρειάζεται πολύ μεγαλύτερη χρονική περίοδος για την προέλαση των εκβολών.

Στόχος αυτής της εφαρμογής είναι η ανίχνευση των μεταβολών της δυτικής ακτογραμμής του Μαλιακού κόλπου, καθώς και μια σύντομη εκτίμηση του μεγέθους του προβλήματος μέσω της ψηφιακής επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Landsat TM δυο χρονολογιών. Συγκεκριμένα οι δύο εικόνες ταξινομήθηκαν για την ανίχνευση των διαχρονικών αλλαγών της κάλυψης του εδάφους στην περιοχή του δέλτα Σπερχειού.

Για την ταξινόμηση της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δυο πολυφασματικές εικόνες Landsat TM, που λήφθηκαν στις 29 Ιουνίου του 1991 και στις 14 Απριλίου του 2007. Οι εικόνες διορθώθηκαν γεωμετρικά στο σύστημα συντεταγμένων WGS84. Όλες οι ταξινομήσεις εκτελέστηκαν στο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας ER Mapper.



Εικόνα 72: Αριστερά (πάνω) απεικονίζονται οι δύο βασικές περιοχές προώθησης της ακτογραμμής το 2007. Στα βόρεια του κόλπου εκβάλλει ο εκχειλιστήρας του ποταμού, ενώ στα νότια διακρίνεται η έξοδος του ενεργού δέλτα. Δεξιά (πάνω) απεικονίζονται οι δύο βασικές περιοχές προώθησης της ακτογραμμής το 2010, όπου στις εκβολές του εκχειλιστήρα διακρίνεται καθαρά η επέκταση της ακτογραμμής, ενώ αντίθετα παρατηρείται μια στασιμότητα στην προέλαση του ενεργού στομίου του Σπερχειού. Αριστερά (κάτω) η επίγεια λήψη όπου απεικονίζεται το νότιο τμήμα του Μαλιακού Κόλπου. Δεξιά (κάτω) η επίγεια λήψη όπου απεικονίζεται το νοτιοδυτικό τμήμα του Μαλιακού και το ενεργό στόμιο του Σπερχειού.

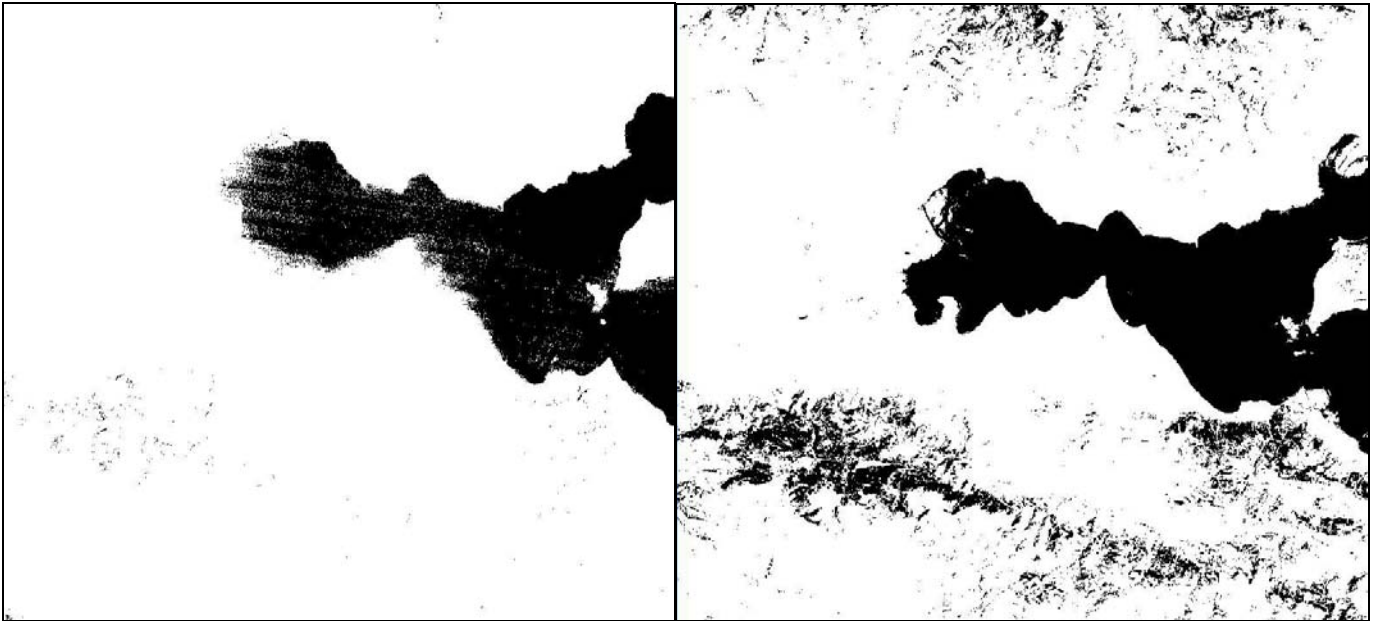


Εικόνα 73: Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 29ης Ιουνίου 1991. Δεξιά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007. Και τα δύο σύνθετα απεικονίζουν την έκταση του Μαλιακού κόλπου, στα ανατολικά συνδέεται με το Αιγαίο πέλαγος και στα δυτικά φαίνεται το δέλτα στου Σπερχειού.

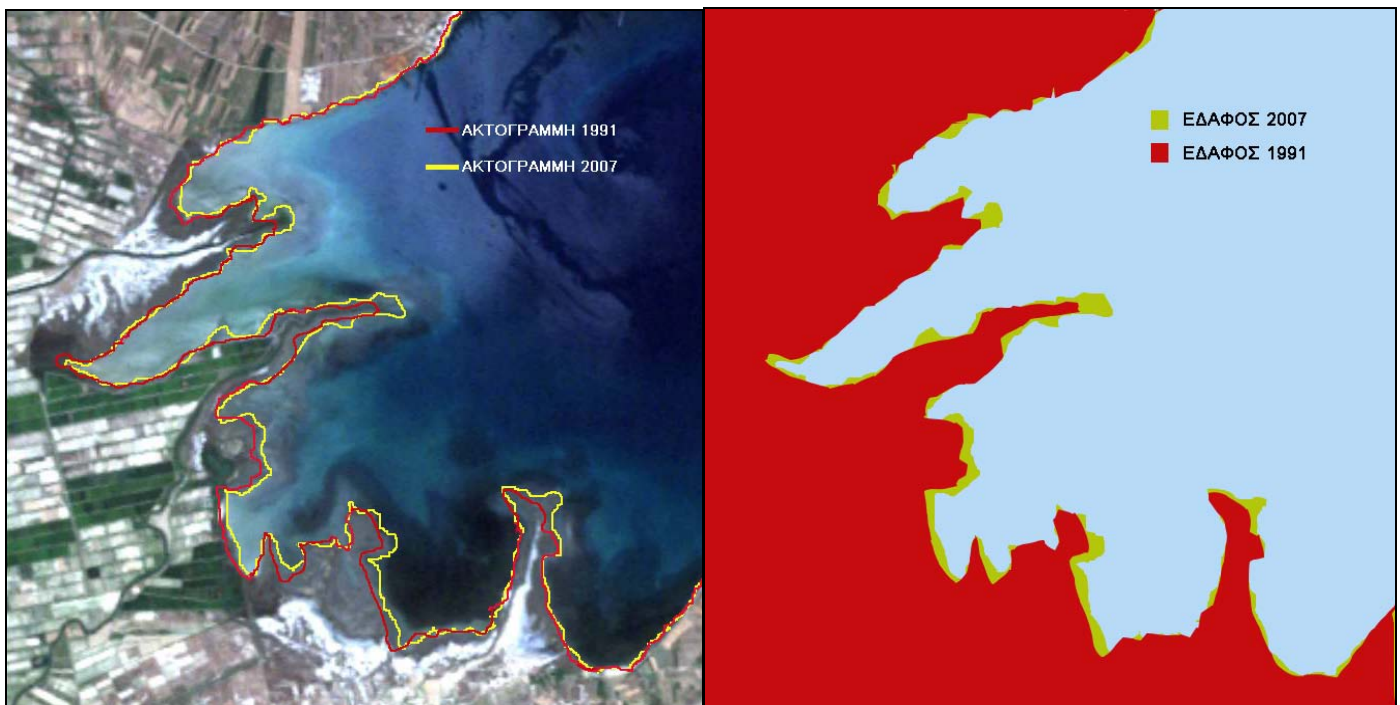


Εικόνα 74: Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 29ης Ιουνίου 1991. Δεξιά το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1, (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007. Τα δύο σύνθετα απεικονίζουν την περιοχή του Δέλτα Σπερχειού στο δυτικό άκρο του Μαλιακού κόλπου.

Για την ταξινόμηση της περιοχής μελέτης ορίστηκαν μόνο δύο τάξεις, το έδαφος και η θάλασσα, καθώς καμία άλλη κατηγορία εδαφοκάλυψης δεν χρειάζεται να καθοριστεί για την σκοπό της παρούσας εφαρμογής.



Εικόνα 75: Αριστερά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης που λήφθηκε από την εικόνα Landsat TM, της 29ης Ιουνίου 1991. Δεξιά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης που λήφθηκε από την εικόνα Landsat TM, της 14ης Απριλίου 2007. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται η θάλασσα και με άσπρο το έδαφος.



Εικόνα 76: Αριστερά απεικονίζεται το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της πολυφασματικής εικόνας Landsat TM της 14ης Απριλίου 2007, όπου με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η ακτογραμμή με τη μορφή που είχε το 1991 και με κίτρινο χρώμα η μορφή της ακτογραμμής το 2007. Δεξιά, χάρτης στον οποίο απεικονίζεται η επιφάνεια του εδάφους και διακρίνεται ξεκάθαρα η μεταβολή της ακτογραμμής σε περίοδο 16 ετών, από 1991-2007.

Πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα προέκυψαν από τη διαχρονική μελέτη του φαινομένου της μεταβολής της ακτογραμμής του Μαλιακού κόλπου λόγω ισχυρών προσχώσεων οι οποίες εμφανίζονται στην περιοχή. Ενθαρρυντική ήταν και η επιλογή της ταξινόμησης ως ψηφιακής μεθόδου για τον εντοπισμό μεταβολών της ακτογραμμής. Τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από την παρούσα εφαρμογή επιβεβαιώνουν τις παλαιότερες μελέτες για το πρόβλημα των προσχώσεων του Σπερχειού ποταμού. Στην εικόνα 76 γίνεται οπτική σύγκριση της επιφάνειας που καταλάμβανε το έδαφος το 1991 με αυτή που καταλάμβανε το 2007 και ταυτόχρονα παρουσιάζεται η θέση και η μορφή της ακτογραμμής σε αυτά τα έτη. Οι διαφορές διακρίνονται καθαρά, χωρίς βέβαια να είναι έντονες. Συγκεκριμένα φαίνεται ξεκάθαρα το μέγεθος της αύξησης της επιφάνειας του εδάφους κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου. Οι αλλαγές εντοπίζονται και στις δύο περιοχές προώθησης της ακτογραμμής. Έχει σημασία το γεγονός ότι η εφαρμογή αυτή μελετά την μεταβολή της ακτογραμμής εξαιτίας των προσχώσεων του Σπερχειού μόνο για χρονική περίοδο 16 ετών, οπότε μια επέκταση του εδάφους περίπου 350m, όπως υπολογίστηκε, σε τόσο σύντομο διάστημα απαιτεί την άμεση κινητοποίηση των αρμοδίων αρχών για την κατασκευή τεχνητών έργων ανάσχεσης του φαινομένου.

6. Συμπεράσματα και Προοπτικές

Η παρούσα διπλωματική εργασία κατέδειξε και παρουσίασε τις πολλαπλές δυνατότητες χρήσεως και επιλογών των εξελιγμένων τεχνικών και μεθόδων της ψηφιακής επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων και συγκεκριμένα των τεχνικών ταξινόμησης στην ανίχνευση, τον προσδιορισμό και την ανάδειξη ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών, για τη γη και το περιβάλλον γενικότερα. Επίσης, εξετάστηκαν τα αποτελέσματα εφαρμογής της ψηφιακής τεχνικής της ταξινόμησης δορυφορικών απεικονίσεων, σε απεικονίσεις Landsat TM.

Η έρευνα και αποδελτίωση σχετικών εργασιών από τη διεθνή βιβλιογραφία, ανέδειξε χρήσιμες εφαρμογές και τομείς, στους οποίους οι τεχνικές της ταξινόμησης ψηφιακών δορυφορικών εικόνων προσφέρουν χρήσιμα εργαλεία παρατήρησης και ερμηνείας των χαρακτηριστικών της φυσικής γήινης επιφάνειας. Οι εργασίες αυτές αναρτήθηκαν στη wikipedia του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης, το υλικό της οποίας αποτελεί πολυτιμότεο επιστημονικό βοήθημα για κάθε επιστήμονα ο οποίος ασχολείται με τη Φωτοερμηνεία και τη Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση. Το εγχείρημα της wikipedia του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Ε.Μ. Πολυτεχνείου, αποτελεί ένα επιστημονικό έργο το οποίο απαιτείται να συνεχιστεί, να εμπλουτίζεται συνεχώς με διεθνή βιβλιογραφικά στοιχεία αλλά και πρακτικές εφαρμογές και γενικά αποτελεί ένα αξιόπιστο και εκπαιδευτικά κατάλληλο βοήθημα στην επιμόρφωση ενός νέου μηχανικού.

Οι εφαρμογές και οι τεχνικές επεξεργασίας που ακολουθήθηκαν στα επιστημονικά αυτά άρθρα, αποτέλεσε το βασικό θεωρητικό και επιστημονικό υπόβαθρο, για την χρησιμοποίηση συγκεκριμένων μεθοδολογιών σχετικά με την εφαρμογή των τεχνικών ταξινόμησης δορυφορικών δεδομένων σε περιοχές του Ελλαδικού χώρου. Με τη χρήση πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων Landsat TM, πραγματοποιήθηκαν τέσσερις εφαρμογές σχετικά με την σύγκριση των τεχνικών επιβλεπόμενης και μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, με την σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης, με την ταξινόμηση της κάλυψης του εδάφους σε έντονα ανώμαλο έδαφος και με την εκτίμηση του μεγέθους της μεταβολής της ακτογραμμής του Μαλιακού κόλπου. Για την εκτέλεση αυτών των εφαρμογών αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες μεθοδολογίες και τεχνικές ταξινόμησης ώστε να αναδειχθούν, να ενισχυθούν και να γίνουν καλύτερα αντιληπτά τα αποτελέσματα και οι συνέπειες όσων μελετήθηκαν σε κάθε περιοχή.

Στο καθαρά τεχνικό κομμάτι της εργασίας πρέπει να υπερθεματίσω την καταπληκτική δουλειά που γίνεται με τη χρήση της Wikipedia του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης, όπου εκατοντάδες άρθρα, βοηθητικά στη διπλωματική μου εργασία, μου έδωσαν μεγάλη θεωρητική και τεχνική βοήθεια και χαίρομαι που μπόρεσα να συμβάλλω και γω με κάποια άρθρα και εργασίες στον εμπλουτισμό της προσπάθειας αυτής. Στο θεωρητικό κομμάτι, νομίζω ότι η χρήση δορυφορικών δεδομένων υψηλής ακρίβειας (καλύτερης από μέτρο στο pixel) μπορεί να οδηγήσει γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια σε πολύ καλούς θεματικούς χάρτες, με τις μεθόδους της Μέγιστης Πιθανοφάνειας αλλά και της Ελάχιστης Απόστασης. Η ταυτοποίηση των επίγειων

πολυγώνων σε ορθές κατηγορίες κάλυψης γης είναι ζητούμενο το οποίο επιτυγχάνεται με τους παραδοσιακούς αλγορίθμους ταξινόμησης σε πολυκερματισμένα εδάφη, με πολλές και διαφορετικές χρήσεις γης, όπως είναι τα εδάφη στην ελληνική επαρχία.

Βιβλιογραφία

Αργιαλάς Δ. (1999). "Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση". Εγχειρίδιο μαθήματος ΕΜΠ ΣΑΤΜ, Αθήνα

Αργιαλάς Δ. (1998). "Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση". Εγχειρίδιο μαθήματος ΕΜΠ ΣΑΤΜ, Αθήνα

Ρόκος Δ. (2005). "Φωτοερμηνεία Τηλεπισκόπηση". Εγχειρίδιο Μαθήματος ΕΜΠ ΣΑΤΜ, Αθήνα

Σ. Ε. Πούλος, Ε. Ψωμιάδης, Ι. Παρχαρίδης, Χ. Μαρουκιάν. "Το Γεω-Περιβάλλον του Σπερχειού ποταμού". Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

A. K. Saha, M. K. Arora, E. Csaplovics & R. P. Gupta . *Land cover classification Using IRS LISS III Image and DEM in a rugged terrain: A Case Study in Himalayas*. Geocarto International, Volume 20, Issue 2, 2005, pages 33-40

Aykut AKGÜN, A.Hüsnü ERONAT and Necdet TÜRK. *Comparing different satellite image classification methods: An application in Ayvalik district, Western Turkey*. Sciences New York (2004), Publisher: ISPRS, Pages: 1091-1096

Chenghai Yang, James H. Everitt, Dale Murden . *Evaluating high resolution SPOT 5 satellite imagery for crop identification*. Computers and Electronics in Agriculture, Volume 75, Issue 2, February 2011, Pages 347-354 , Published by Elsevier B.V.

David A. Landgrebe, *Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing*, Wiley Interscience, 2003

E. Boakye, S. N. Odai, K. A. Adjei, F. O. Annor . *Landsat Images for Assessment of the Impact of Land Use and Land Cover Changes on the Barekese Catchment in Ghana*. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.22 No.2 (2008), pp.269-278

H.T. CHU AND L. GE. *Improvement of land cover classification performance in Western Australia using multisource remote sensing data*. School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales, Sydney, Australia

J.T. Aranha, H.F. Viana, R. Rodrigues. *VEGETATION CLASSIFICATION AND QUANTIFICATION BY SATELLITE IMAGE PROCESSING. A CASE STUDY IN NORTH PORTUGAL*. 2008

Julia Schneider, Guido Grosse, Dirk Wagner. *Land cover classification of tundra environments in the Arctic Lena Delta based on Landsat 7 ETM+ data and its application for upscaling of methane emissions*. Remote Sensing of Environment (2009), Volume: 113, Issue: 2, Publisher: Elsevier Inc., Pages: 380-391

Krishna Bahadur K.C. *Improving Landsat and IRS Image Classification: Evaluation of Unsupervised and Supervised Classification through Band Ratios and DEM in a Mountainous Landscape in Nepal*. *Remote Sens.* 2009, 1(4), 1257-1272 *Ecological Status and Change by Remote Sensing*

Penny M. Masuoka, David M. Claborn, Richard G. Andre, Joseph Nigro, Scott W. Gordon, Terry A. Klein, Hung-Chol Kim. *Use of IKONOS and Landsat for malaria control in the republic of Korea*. *Remote Sensing of Environment*, Volume 88, Issues 1–2, 30 November 2003, Pages 187-194

Robert A. Schowengerdt, *Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing*, 3rd Edition, Elsevier, 2007

Valentina Constantinescu Rohitesh Richard. *Unsupervised Classification of Spectrally Landsat TM data*. 2010

Παράρτημα

ΤΙΤΛΟΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ	ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Αξιολόγηση μεγάλης κλίμακας μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης των οικοσυστημάτων των υφάλων της Νέας Καληδονίας	Λιμνοθάλασσα Νέας Καληδονίας	Landsat 7 ETM+	εναέριες ορθοφωτογραφίες GIS, SPADN	Μη Επιβλεπόμενη & Επιβλεπόμενη		50 σταθμοί αξιολόγησης του βάθους & του είδους υποστρώματος	άμμος, θαλάσσια βλάστηση, χαλίκια, άλγη, κοράλλι, ετερογενείς	Η μη επιβλεπόμενη προσέγγιση παρέχει καλά αποτελέσματα για να καθορίσει περιοχές οπτικά και θεματικά ομοιογενείς
Αξιολόγηση υψηλής ανάλυσης δορυφορικών εικόνων SPOT 5 για την ταυτοποίηση καλλιεργείων	Κοιλάδα Rio Grande, Τέξας	SPOT 5	χρήση του καναλιού SWIR	Επιβλεπόμενη	Ε Απόσταση, Απ Mahalanobis, M Πιθανοφάνειας, SAM, SVM	χρήση 97 σημείων για βελτίωση της ακρίβειας θέσης	καλαμπόκι, βαμβάκι, σόργο, ζαχαροκάλαμο & μη-καλλιέργεια	Ο ML και ο SVM είχαν καλύτερα αποτελέσματα από τους MD, MAHD και SAM
Αυτόματη ανάλυση της κάλυψης εδάφους για την Τενερίφη με Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικά δεδομένα	Τενερίφη, Κανάρια Νησιά	Landsat 5 TM	DEM, τοπογραφικοί χάρτες 1:50.000	Επιβλεπόμενη	Μεγίστης Πιθανοφάνειας, ICM, SVM	265 περιοχές κατάρτησης & 165,334 σημειακά δεδομένα	βράχια, βλάστηση, οικισμός, νερό, σύννεφα	SVM συγκεντρώνει τη μεγαλύτερη ακρίβεια, αλλά η οπτική εντύπωση δεν είναι τόσο ικανοποιητική όσο το αποτέλεσμα του ML
Βελτίωση της απόδοσης της Ταξινόμησης της κάλυψης εδάφους στην Δυτική Αυστραλία χρησιμοποιώντας πολλαπλών πηγών τηλεπισκοπικά δεδομένα	Δυτική Αυστραλία	ALOS/PALSAR, Landsat 5 TM	Πληροφορίες υψής	Επιβλεπόμενη	Μεγίστης Πιθανοφάνειας, SVM		καλλιέργειες, βοσκοτόπια, πυκνή δεντροκάλυψη, αραιά δέντρα, κατοικημένη περιοχή	Ο ταξινομητής SVM υπερτερεί από τους παραδοσιακούς ταξινομητές ML στην ταξινόμηση
Βελτίωση της ταξινόμησης Landsat και IRS εικόνας σε ορεινή περιοχή του Νεπάλ	Υδροκρίτης Galaudu, Νεπάλ	Landsat TM, IRS	αεροφωτογραφίες 1:50000, τοπογραφικοί χάρτες 1:25000, DEM, NDVI	Μη Επιβλεπόμενη & Επιβλεπόμενη	ISODATA, M Πιθανοφάνειας	GCPs	δάσος, θάμνοι, πεδινή γεωργία, ορεινή γεωργία	Η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης παρήγαγε υψηλότερη ακρίβεια από την μη επιβλεπόμενη προσέγγιση
Εικόνες Landsat για την Αξιολόγηση των επιπτώσεων των αλλαγών της Χρήσης Γης και της Κάλυψης Εδάφους στην λεκάνη απορροής Berekese στη Γκάνα	Λεκάνη απορροής Berekese, Γκάνα	Landsat TM	θεματικοί χάρτες	Μη επιβλεπόμενη	ISODATA	συντεταγμένες GPS από 25 θέσεις	δάσος (κλειστό), ανοιχτό δάσος, συγκεντρώσεις νερού, λιβάδια, ανοιχτές εκτάσεις/πόλη	
Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση της Γεωργικής κάλυψης εδάφους με χρήση μιας Τροποποιημένης k-NN Τεχνικής (MNN) και Landsat τηλεπισκοπικών εικόνων	Λειψία, Γερμανία	Landsat 5-TM, Landsat 7-ETM+	τοπογραφικός χάρτης 1:25.000	Επιβλεπόμενη	MNN, k-NN, M Πιθανοφάνειας	40 σημεία αναφοράς	κριθάρι, σιτάρι, σίκαλη, τριφύλλι, πατάτα, αγρανάπαυση	Η μέθοδος MNN αποδίδει πολύ καλύτερα από τις μεθόδους της Μεγίστης Πιθανοφάνειας ML και την πρότυπη μέθοδο k-NN
Η χρήση του IKONOS και Landsat για τον έλεγχο της ελονοσίας στη Δημοκρατία της Κορέας	Δημοκρατία της Κορέας	IKONOS, Landsat 7-ETM+	τοπογραφικοί χάρτες	Επιβλεπόμενη	Ελ Απόσταση, M Πιθανοφάνειας, Παραλ/πέδου	93 σημεία αναφοράς και συλλογή δειγμάτων προνυμφών	ποτάμι, μικρές λίμνες, τάφροι, ορυζώνες	Το πρόγραμμα PCI MODEL υπολόγισε μια 79% συμφωνία στη ταξινόμηση των rixel στις εικόνες Landsat και IKONOS
Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση Φασματικών δεδομένων Landsat TM	Βόρεια Καλιφόρνια	Landsat TM		Μη επιβλεπόμενη	ISODATA		νερό, δάσος, οικισμός, γεωργία, πεζοδρόμιο, χλόη, θάμνοι, άγονο έδαφος	Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιώντας τα ενισχυμένα δεδομένα ήταν μια επιτυχημένη επιλογή
Παρακολούθηση των αλλαγών της κάλυψης του εδάφους σε μια αναμορφωμένη περιοχή της Αιγύπτου χρησιμοποιώντας πολύ-χρονικά δεδομένα Landsat	Δυτικό Δέλτα, Αίγυπτος	Landsat 4, 5, 7	τοπογραφικοί χάρτες 1:50.000	Μη Επιβλεπόμενη & Επιβλεπόμενη	ISODATA, M Πιθανοφάνειας	48 σημεία αναφοράς	αστική ή οικιστική γη, γεωργική γη, νερό, άγονο έδαφος	Η υβριδική τεχνική ταξινόμησης προσέφερε πιο αξιόπιστες και ακριβείς ταξινομημένες εικόνες
Σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων: Μια εφαρμογή στην επαρχία Αϊβαλί, Δυτική Τουρκία	Αϊβαλί, Τουρκία	Landsat 7 ETM+	IDRISI klimanjaro, GIS, CORINE	Επιβλεπόμενη	Παραλ/πέδου, M Πιθανοφάνειας, Ελ Απόσταση, Fisher		Αστικές περιοχές, Γεωργικές εκτάσεις, δάσος, ελιές, υγρότοποι, συγκεντρώσεις νερού	Η M Πιθανοφάνειας ήταν η πιο κατάλληλη μέθοδος ταξινόμησης και ακολουθεί η Ελ Απόσταση
Σύγκριση των εικόνων IKONOS και QuickBird για τη χαρτογράφηση των ειδών μαγγροβίων στην Καραϊβική ακτή του Παναμά	Punta Galeta Καραϊβική ακτή του Παναμά	IKONOS, QuickBird	πρώτου & δευτέρου βαθμού πληροφορίες υψής	Επιβλεπόμενη	M. Πιθανοφάνειας	χαρτογράφηση με GPS δασικών χαρακτηριστικών	μαύρα, λευκά και κόκκινα μαγγρόβια	Η εικόνα IKONOS παρείχε ελαφρώς καλύτερη ταξινόμηση από ότι η εικόνα QuickBird
Ταξινόμηση της κάλυψης εδάφους των περιβαλλόντων τούνδρας στο Αρκτικό Δέλτα Λένα για αναβάθμιση των εκπομπών μεθανίου	Δέλτα Λένα, Βόρεια Σιβηρία	Landsat 7 ETM+		Μη Επιβλεπόμενη & Επιβλεπόμενη	ISODATA, Ελ Απόσταση	χρήση σημείων	νερό, σπαθόχορτο, θάμνοι, βρύα, μη-βλάστηση	Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση Landsat 7 υποδεικνύει μια ικανοποιητικά καλή συνολική ακρίβεια 77,8%
Ταξινόμηση της κάλυψης του εδάφους χρησιμοποιώντας μια εικόνα IRS LISS III και ένα DEM σε έντονα ανώμαλο έδαφος: Μια περίπτωση μελέτης στα Ιμαλάια	Ιμαλάια, Ινδία	IRIS LISS III	DEM, ο δείκτης NDVI, τοπογραφικοί χάρτες	Επιβλεπόμενη	M. Πιθανοφάνειας	σημεία GPS, 39 GCPs	πυκνό δάσος, αραιή βλάστηση, γεωργία, αγρανάπαυση, άγονο έδαφος, οικισμοί, ιζήματα, νερό, χιόνι	Αξιοσημείωτη αύξηση στην ακρίβεια της ταξινόμησης με την ένταξη των δεδομένων του DEM και του δείκτη NDVI. Ακρίβεια ταξινόμησης της τάξης του 90%
Ταξινόμηση της χρήσης γης στη Ζάμπια χρησιμοποιώντας Quickbird και Landsat εικόνες	Ανατολική επαρχία της Ζάμπια	Landsat 7 ETM+, Quickbird	δείκτης βλάστησης, PCs	Επιβλεπόμενη	M. Πιθανοφάνειας, Παραλ/πέδου	255 τυχαία επιλεγμένα σημεία	καλλιέργειες, δάσος, μικτό, υγρότοποι, κατοικίες, νερό	Η πιο ακριβής προσέγγιση για την ταξινόμηση της εικόνας Landsat ήταν ο συνδυασμός των κυρίων συνιστωσών και του δείκτη βλάστησης

