



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ**

**ΛΟΓΟΙ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ  
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ  
ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ WIKI**



**ΚΟΝΤΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ**

επιβλέπων καθηγητής **ΑΡΓΙΑΛΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**  
ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2011

## Πρόλογος

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, με σκοπό τη διερεύνηση των δυνατοτήτων της τεχνικής των λόγων καναλιών πολυφασματικών απεικονίσεων και του τρόπου που οι λόγοι αυτοί εφαρμόζονται στην ψηφιακή τηλεπισκόπηση, για την ανίχνευση, τον προσδιορισμό, την ανάδειξη και τη φωτοερμηνεία ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών, για τη γη, τους ωκεανούς, την ατμόσφαιρα και το περιβάλλον γενικότερα. Στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης υπήρχε το κατάλληλο υλικό, όπως δορυφορικές πολυφασματικές απεικονίσεις, κατάλληλοι χάρτες, διαγράμματα, απαραίτητο λογισμικό που ήταν προαπαιτούμενα για την πραγματοποίηση της διπλωματικής εργασίας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, κυρίως τον επιβλέποντα Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης κ. Δ. Αργιαλά για την ανάθεση της εργασίας και για την ουσιαστική καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου. Οι συμβουλές της Δρ. Β. Καραθανάση υπήρξαν, επίσης, πολύτιμες για μένα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συνεργάτες του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης, οι οποίοι, όπου χρειάστηκε, με βοήθησαν σημαντικά, ιδιαίτερα τον Τοπογράφο Μηχ. Β. Ανδρώνη, για τις συμβουλές του στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένειά μου, που με έχει στηρίξει σε όλα τα βήματα της ζωής μου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας Επιστημονικού Πεδίου	16
2.1 Τηλεπισκόπηση	16
2.2 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία	16
2.3 Αλληλεπίδραση της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας με τα Αντικείμενα/Εμφανίσεις στην Επιφάνεια της Γης	18
2.4 Τηλεπισκοπικά Συστήματα	20
2.4.1 Ιδανικό Τηλεπισκοπικό Σύστημα	20
2.4.2 Πραγματικό Τηλεπισκοπικό Σύστημα	21
2.5 Διαθέσιμα Είδη Δορυφορικών Πλατφόρμων	22
2.6 Διάφορα Είδη Τηλεπισκοπικών Δεικτών	24
2.7 Δορυφορικοί Τηλεπισκοπικοί Δέκτες	26
2.7.1 Διαθέσιμες Δορυφορικές Πλατφόρμες στο Εμπόριο	26
2.7.2 Είδη Δορυφορικών Δεκτών ανάλογα με την Ανάλυση	27
2.7.3 Δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά	28
2.7.4 Μελλοντικοί Δορυφόροι που θα τεθούν σε τροχιά	32
2.7.5 Δορυφόροι Landsat, Ikonos, QuickBird	33
2.8 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών	43
2.9 Εφαρμογές της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ψηφιακή Επεξεργασία Δορυφορικών Απεικονίσεων – Λόγοι Καναλιών	48
3.1 Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων	48
3.2 Λόγοι Καναλιών	49
3.3 Χρησιμότητα λόγων καναλιών	51
3.4 Ψευδέγχρωμα σύνθετα	55
3.5 Υπολογισμός και ερμηνεία εικόνων-λόγων	55
3.6 Συστήματα επεξεργασίας εικόνων	57
3.6.1 Έννοιες Επεξεργασίας εικόνας	57
3.6.2 Δημιουργία λόγων στο λογισμικό του ER Mapper	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Το περιβάλλον Wiki στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Ε.Μ.Π.	61
4.1 Διάκριση των λατερικών πετρωμάτων χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα από τους δορυφόρους Landsat, Aster και Ali – Παραδείγματα από την Ερυθραία και την Αραβία (Deller Andrews M.E., 2006)	62

4.1.1 Αντικείμενο και στόχος μελέτης	62
4.1.2 Περιοχή μελέτης	62
4.1.3 Συλλογή δεδομένων	63
4.1.4 Μεθοδολογία	64
4.1.5 Αποτελέσματα επεξεργασίας Landsat TM εικόνων	66
4.1.6 Αποτελέσματα επεξεργασίας Aster εικόνων	67
4.1.7 Αποτελέσματα επεξεργασίας EO – 1 ALI εικόνων	68
4.1.8 Συμπεράσματα	69
4.2 Εφαρμογή τεχνικών τηλεπισκόπησης για την εκτίμηση του μεγέθους σοβαρότητας μιας πυρκαγιάς σε δασικές φυλλωσιές (Boer et al., 2008)	70
4.2.1 Περίληψη	70
4.2.2 Ο δείκτης LAI (Leaf Area Index)	70
4.2.3 Η περιοχή μελέτης και η συλλογή των δεδομένων	71
4.2.5 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα	74
4.3 Μια διαχρονική μέθοδος για εντοπισμό νεφών, εφαρμοσμένη σε εικόνες FORMOSAT-2, VENμS, Landsat and Sentinel-2 (Hagolle O., Huc et al., 2010)	75
4.3.1 Στόχος εφαρμογής - αντικείμενο μελέτης	75
4.3.2 Δορυφόροι VENμS, SENTINEL-2, FORMOSAT-2	75
4.3.3 Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη	77
4.3.4 Μεθοδολογία MTCD αλγορίθμου	77
4.3.5 Συμπεράσματα	80
4.4 Χρησιμοποίηση πολυφασματικών δεδομένων Landsat στη διαδικασία εκτίμησης της διαύγειας του νερού των λιμνών μιας περιοχής (Steven M. Kloiber et al., 2002)	82
4.4.1 Περίληψη	82
4.4.2 Η περιοχή μελέτης και ο στόχος για την περιοχή	82
4.4.3 Μεθοδολογία	83
4.4.4 Συμπεράσματα	86
4.5 Σύγκριση δυνατοτήτων ανίχνευσης της σοβαρότητας μιας πυρκαγιάς με τη βοήθεια δορυφορικών απεικονίσεων AVIRIS και Landsat ETM (Wagtendonk J.W., et al., 2004)	87
4.5.1 Περίληψη	87
4.5.2 Το σύστημα AVIRIS	87
4.5.3 Η περιοχή μελέτης	89
4.5.4 Μεθοδολογία	89
4.5.4 Αποτελέσματα	91
4.5.5 Συμπεράσματα	93

<b>4.6 Ο ρόλος της τηλεπισκόπησης στη χαρτογράφηση διογκωμένων εδαφών (Kariuki P.C., et al., 2004)</b>	<b>93</b>
4.6.1 Αντικείμενο μελέτης	93
4.6.2 Η περιοχή μελέτης και συλλογή δεδομένων	94
4.6.3 Μεθοδολογία	95
4.6.4 Συμπεράσματα	99
<b>4.7 Χρήση πολλαπλών φασματικών δεικτών για την εκτίμηση του μεγέθους των επιπτώσεων μίας πυρκαγιάς στην περιοχή Black Hills της νότιας Dakota (Chen X., et al., 2008)</b>	<b>100</b>
4.7.1 Εισαγωγή	100
4.7.2 Περιοχή μελέτης και δεδομένα	100
4.7.3 Μέθοδοι	101
4.7.4 Ανάλυση και Αποτελέσματα	103
4.7.5 Συμπεράσματα	105
<b>4.8 Εδαφική δορυφορική ραδιομετρία της διαβρωτικότητας του εδάφους, κατά μήκος της κλιματικής κλίσης της Ιουδαϊκής Ερήμου στο Ισραήλ (Shosany M., et al., 2000)</b>	<b>106</b>
4.8.1 Εισαγωγή	106
4.8.2 Συσχέτιση οργανικής ύλης και φασματικής ανάκλασης του εδάφους	106
4.8.3 Περιοχή μελέτης	107
4.8.4 Αποτελέσματα	108
4.8.5 Συμπεράσματα	110
<b>4.9 Εκτίμηση της βλαστική παραμέτρου για την παρακολούθηση της διάβρωσης του εδάφους, χρησιμοποιώντας γραμμική φασματική ανάλυση σε Landsat ETM δεδομένα (Alejandro M. de Asis, Omasa Kenji. 2007)</b>	<b>111</b>
4.9.1 Αντικείμενο μελέτης	111
4.9.2 Στόχος μελέτης	111
4.9.3 Περιοχή μελέτης	111
4.9.4 Συλλογή Δεδομένων	112
4.9.5 Μεθοδολογία	113
4.9.6 Υπολογισμός συντελεστή C	114
<b>4.10 Χρήση του Θεματικού Χαρτογράφου Landsat, στη λιθολογική αναγνώριση και χαρτογράφηση της περιοχής Barramiya, στην ανατολική έρημο της Αίγυπτου (Gad S., Kusky T, 2006)</b>	<b>116</b>
4.10.1 Εισαγωγή	116
4.10.2 Στόχος μελέτης	117
4.10.3 Μεθοδολογία	117

4.10.4 Αποτελέσματα	121
4.11 Χρησιμοποίηση δορυφορικών εικόνων Landsat TM για τη μελέτη της εδαφικής υποβάθμισης και της “δυναμικής” της χρήσης γης. Παράδειγμα μελέτης στη συνοικία Tamduong, της επαρχίας Vinhuc, στο Βιετνάμ (Trinh M.V., et. al., 2004)	122
4.11.1 Εισαγωγή	122
4.11.2 Περιοχή Μελέτης	122
4.11.3 Μεθοδολογία	122
4.11.4 Προεπεξεργασία Εικόνων	123
4.11.5 Επιλογή Λόγων Καναλιών και Επεξεργασία Εικόνων	124
4.11.6 Εδαφική Υποβάθμιση	125
4.11.7 Εδαφικές Παρατηρήσεις	126
4.11.8 “Δυναμική” Εδαφικής Υποβάθμισης	126
4.11.9 Συμπεράσματα	127
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Τυπικές Εφαρμογές Λόγων Καναλιών Σε Περιοχές Της Ελλάδας</b>	<b>128</b>
5.1 Χρήση του φασματικού δείκτη EVI για την εκτίμηση του μεγέθους των επιπτώσεων μίας πυρκαγιάς στην περιοχή της Λαυρεωτικής.	128
5.2 Χρήση έγχρωμου σύνθετου φασματικών λόγων Landsat TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) για τη ανίχνευση και χαρτογράφηση λατερικών πετρωμάτων πλούσια σε οξείδια του σιδήρου	133
5.3 Χρήση του έγχρωμου σύνθετου φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B) για την ανίχνευση και διάκριση σερπεντινίτη από μεταμορφωσιγενή πετρώματα	138
5.4 Χρήση του φασματικού δείκτη βλάστησης NDVI και του φασματικού λόγου LANDSAT TM 3/4 για τη μελέτη της εδαφικής υποβάθμισης	142
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα</b>	<b>144</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>146</b>

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Οι περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	17
Εικόνα 2: Τυπικές καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για βλάστηση, νερό και έδαφος (Αργιαλάς, 2000).....	19
Εικόνα 3: Διάγραμμα ανάλογα με την διακριτική ικανότητα των δορυφόρων.....	27
Εικόνα 4: Δορυφόρος QuickBird .....	28
Εικόνα 5: Δορυφόρος Ikonos.....	29
Εικόνα 6: Δορυφόρος Geoeye-1 .....	29
Εικόνα 7: Δορυφόρος Worldview .....	29
Εικόνα 8: Δορυφόρος Orbview .....	30
Εικόνα 9: Δορυφόρος Spot 5 .....	30
Εικόνα 10: Δορυφόρος Spot 4 .....	30
Εικόνα 11: Δορυφόρος Landsat 7.....	31
Εικόνα 12: Δορυφόρος Aster .....	31
Εικόνα 13: Διάφοροι Δορυφόροι .....	32
Εικόνα 14: Δορυφόρος Geoeye-2 .....	33
Εικόνα 15: Δορυφόρος worldview-2.....	33
Εικόνα 16: Χαρακτηριστικά των δορυφόρων LANDSAT 1-7 και των τηλεπισκοπικών δεκτών τους.....	35
Εικόνα 17: Σχηματική παράσταση της τροχιάς των δορυφόρων Landsat 4, 5 και 7.....	36
Εικόνα 18: Χρειάζονται 16 ημέρες για πλήρη κάλυψη της γης από τους δορυφόρους Landsat 4, 5 και 7.....	37
Εικόνα 19: Φασματική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεκτών των δορυφόρων Landsat 1 έως 7 .....	39
Εικόνα 20: Χαρακτηριστικά δορυφόρου Ikonos .....	41
Εικόνα 21: Χαρακτηριστικά δορυφόρου QuickBird.....	42
Εικόνα 22: Παράδειγμα συνέργειας τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π. αποτελεί η ανάπτυξη από το ΙΤΕ ενός υβριδικού μοντέλου ταξινόμησης το αποτέλεσμα του οποίου για την περιοχή του Ηρακλείου παρουσιάζεται εδώ. Το μοντέλο χρησιμοποιεί Γ.Σ.Π. δεδομένα των αστικών περιοχών με τη μορφή πολυγώνων και πολυφασματικά δεδομένα του ραδιομέτρου ASTER για τις μη αστικές περιοχές. Με τον τρόπο αυτό το σχήμα ταξινόμησης αποτελείται από 18 τάξεις. ....	44
Εικόνα 23: Παράδειγμα εφαρμογής συμβολομετρίας ραντάρ συνθετικής κεραίας για τη χαρτογράφηση των μετατοπίσεων του εδάφους έπειτα από τον πρόσφατο μεγάλο σεισμό της Πάρνηθας. ....	45
Εικόνα 24: Χωρική κατανομή της συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα στον πλανήτη για το έτος 2003, όπως αυτή εκτιμήθηκε από τον αισθητήρα SCIAMACHY του δορυφόρου Envisat.....	46
Εικόνα 25: Αποτύπωση από το δορυφόρο IKONOS της αποψίλωσης της βλάστησης στην περιοχή του φράγματος Αποσελέμη το 2006. Η εικόνα είναι πολυφασματική σε ορατό και εγγύς υπέρυθρο και η φωτοσυνθετικά ενεργή βλάστηση παρουσιάζεται με αποχρώσεις του κόκκινου.....	46

Εικόνα 26: Εξαγωγή και αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου (αριστερά) και κατάτμηση σε υπολεκάνες της υδρολογικής λεκάνης του Δήμου Ηρακλείου (δεξιά) αξιοποιώντας ψηφιακό μοντέλο εδάφους που προέκυψε με επεξεργασία δεδομένων του ραδιομέτρου ASTER. ....	47
Εικόνα 27: Μείωση των επιδράσεων του φωτισμού του τοπίου κατόπτευσης ή της χρήσης των φασματικών λόγων. ....	50
Εικόνα 28: Φασματικές υπογραφές για το νερό, τη βλάστηση και Φασματική δειγματοληψία του θεματικού χαρτογράφου. ....	52
Εικόνα 29: (α) Η περιοχή του Υμηττού όπως απεικονίζεται από το κανάλι 4 του θεματικού χαρτογράφου LANDSAT, (β) Η ίδια περιοχή μετά την εφαρμογή του λόγου 4/5· Η υγρασία στις περιοχές βλάστησης απεικονίζεται με άσπρο χρώμα. ....	53
Εικόνα 30: (α) Η περιοχή της Λαυρεωτικής όπως απεικονίζεται από το κανάλι 1 του θεματικού χαρτογράφου LANDSAT, (β) Η ίδια περιοχή μετά την εφαρμογή του λόγου 3/1· Τα οξείδια του σιδήρου απεικονίζονται με άσπρο χρώμα. ....	53
Εικόνα 31: (α) Το όρος της Πεντέλης όπως απεικονίζεται από το κανάλι 1 του θεματικού χαρτογράφου LANDSAT, (β) Η ίδια περιοχή μετά την εφαρμογή του λόγου 7/5· Τα αργιλούχα ορυκτά φαίνονται πιο σκούρα. ....	54
Εικόνα 32: (α) Η περιοχή της Σαλαμίνας όπως απεικονίζεται από το κανάλι 3 του θεματικού χαρτογράφου LANDSAT, (β) Η ίδια περιοχή μετά την εφαρμογή του λόγου 2/1· Διακρίνονται οι υδάτινες επιφάνειες ως προς το βάθος (όσο πιο σκούρα είναι η υδάτινη επιφάνεια τόσο μεγαλύτερο το βάθος). ....	54
Εικόνα 33: (α) Το πλαίσιο του παραθύρου Formula Editor, (β) Το παράθυρο του αλγορίθμου μετά την εφαρμογή του λόγου. ....	60
Εικόνα 34: Περιοχή μελέτης. ....	63
Εικόνα 35: (α) Φασματικές καμπύλες των ορυκτών και της βλάστησης σε σχέση με τη φασματική απορρόφηση στα κανάλια του Landsat TM και του Aster (β) Φασματικές καμπύλες των ορυκτών πλούσια σε σίδηρο και χλωρίτη σε σχέση με τη φασματική απορρόφηση στα κανάλια του Landsat TM, του Aster και του Ali. ....	65
Εικόνα 36: Landsat TM 7-4-2 (R, G, B) έγχρωμο σύνθετο της περιοχής μελέτης. ....	66
Εικόνα 37: (α) Aster 631 έγχρωμο σύνθετο (β) ASTER 4/3,2/1,6/4 έγχρωμο σύνθετο. ....	68
Εικόνα 38: Ali 765 Έγχρωμη σύνθετη εικόνα της περιοχής μελέτης. Τα λατερικά πετρώματα πλούσια σε σίδηρο φαίνονται με κόκκινο. ....	69
Εικόνα 39: Χάρτης δείκτη LAI πριν την πυρκαγιά. ....	72
Εικόνα 40: Χάρτης δείκτη LAI μετά την πυρκαγιά. ....	73
Εικόνα 41: Χάρτης πρόβλεψης δείκτη LAI. ....	73
Εικόνα 42: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δορυφόρων, VENμS, SENTINEL-2, FORMOSAT-2 καθώς και των δορυφόρων Landsat 5 και Landsat 7. ....	76
Εικόνα 43: Σύγκριση ιστογραμμάτων των συννεφιασμένων και μη συννεφιασμένων εικονοστοιχείων για μπλε κανάλι του FORMOSAT-2 στην περιοχή Tensift. ....	79
Εικόνα 44: Έγχρωμο σύνθετο του FORMOSAT 2 με ημερομηνία λήψης τον Απρίλιο του 2006. Τα σύννεφα που εντοπίστηκαν με τη μέθοδο MTCD είναι κυκλωμένα με άσπρο περίγραμμα και οι σκιές του με μαύρο. ....	80



Εικόνα 45: Σύγκριση του ποσοστού κάλυψης σύννεφων με τη μέθοδο MTCD έναντι της αυτόματης αξιολόγησης κάλυψης σύννεφων ACCA που υπάρχει στον κατάλογο του LANDSAT για τις περιοχές Columbia ,Boulder, και Fresno.....	81
Εικόνα 46: Η περιοχή μελέτης των λιμνών, πηγή: Google Earth, Minnetonka, MN, 44°54'47.87"N, 93°30'11.84"W .....	83
Εικόνα 47: Χρονικά παράθυρα των απεικονίσεων Landsat και των μετρήσεων SDT.....	85
Εικόνα 48: Παλινδρόμηση των SDT και των καναλιών Landsat .....	85
Εικόνα 49: Υπολογισμένη διαύγεια (σε μέτρα) των λιμνών της περιοχής .....	86
Εικόνα 50: Περιοχή μελέτης .....	88
Εικόνα 51: Τα αποτελέσματα εφαρμογής του δείκτη dNBP σε Landsat (αριστερά) και AVIRIS (δεξιά).....	92
Εικόνα 52: Τα αποτελέσματα παλινδρομήσεων του δείκτη CBI σε συνάρτηση με τον d δείκτη dNBP .....	92
Εικόνα 53: Έδαφος που έχει υποστεί διόγκωση.....	94
Εικόνα 54: Η περιοχή μελέτης και ο εδαφικός χάρτης της περιοχής.....	95
Εικόνα 55: Έγχρωμο σύνθετο φασματικών λόγων 5/4-4/3-5/7 (R,G,B).....	97
Εικόνα 56: Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών .....	98
Εικόνα 57: Η περιοχή μελέτης στο παγχρωματικό του Landsat ETM.....	98
Εικόνα 58: Αεροφωτογραφία και Δορυφορική απεικόνιση της περιοχής μελέτης.....	99
Εικόνα 59: Περιοχή μελέτης της φωτιάς Jasper στο Black Hills National Forest της South Dakota.....	101
Εικόνα 60: Κατανομή των τιμών του δείκτη CBI.....	103
Εικόνα 61: Οι συντελεστές των μεταβλητών των παλινδρομήσεων χρησιμοποιώντας τα 71 CBI ιστογράμματα.....	104
Εικόνα 62: Η σύγκριση των CBI δεδομένων με τα αποτελέσματα των πολλαπλών παλινδρομήσεων.....	105
Εικόνα 63: Οι γραμμικές παλινδρομήσεις ενιαίας μεταβλητής των μεταβολών των φασματικών δεικτών πριν και μετά τη πυρκαγιά, του πρώτου και του δεύτερου χρόνου σε σχέση με τα CBI δεδομένα .....	105
Εικόνα 64:Ομαδοποίηση οργανικού και ανόργανου άνθρακα και σιδήρου.....	109
Εικόνα 65: Μέση ανακλαστικότητα κατηγοριοποιήσεων στα κανάλια του Landsat.....	109
Εικόνα 66: Βιοχημικές ομαδοποιήσεις σε σχέση με τους συνδυασμούς φασματικών λόγων. ....	110
Εικόνα 67: Περιοχή μελέτης .....	112
Εικόνα 68: Αποτελέσματα του μοντέλου RUSLE (α) Με την μέθοδο LSMA για τον υπολογισμό συντελεστή C και (β) Με τη χρησιμοποίηση του φασματικού δείκτη NDVI για τον υπολογισμό συντελεστή C. ....	114
Εικόνα 69: Χάρτης του συντελεστή C με (α) την μέθοδο LSMA και (β) του NDVI.....	115
Εικόνα 70: Landsat 7-4-2 (R, G, B) Έγχρωμο σύνθετο της περιοχής μελέτης.....	117
Εικόνα 71: Φασματική ανακλαστικότητα των σερπεντινιτών και των μεταβολκανικών πετρωμάτων .....	118
Εικόνα 72: LANDSAT 5/3,5/1,7/5 (R, G, B) Έγχρωμο σύνθετο λόγων της περιοχής μελέτης. Οι σερπεντινίτες φαίνονται με ένα σκούρο καφετί χρώμα ενώ τα μεταβολκανικά πετρώματα σαν ένα ροζ-κίτρινο χρώμα.....	119

Εικόνα 73: LANDSAT 7/5,5/4,3/1 (R, G, B) Έγχρωμο σύνθετο της περιοχής μελέτης. Οι σερπεντινίτες εμφανίζονται με σκούρο καφέ χρώμα ενώ τα μεταβολκανικά πετρώματα με ένα κιτρινοπράσινο χρώμα.....	120
Εικόνα 74: Εικόνα του αποτελέσματος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης της περιοχής μελέτης.....	121
Εικόνα 75. Αποτελέσματα επεξεργασίας εικόνων (a) έγχρωμο σύνθετο RGB 5:4:3, (b) λόγος καναλιού κόκκινο προς πράσινο, (c) επιβλεπόμενη ταξινόμηση με λόγο κόκκινο προς μπλε κανάλι, (d) λόγος καναλιού κόκκινο προς εγγύς υπέρυθρο, (e) υβριδική ταξινόμηση με λόγο κόκκινο προς εγγύς υπέρυθρο κανάλι, (f) επιβλεπόμενη ταξινόμηση με λόγο κόκκινο προς εγγύς υπέρυθρο κανάλι.....	125
Εικόνα 76: Ταξινομημένοι χάρτες με τη χρησιμοποίηση του λόγου R/NIR το 1984, 1992 και 2000 στην Tamduong.....	127
Εικόνα 77: Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή της Λαυρεωτικής στην Αττική.....	129
Εικόνα 78: Ψευδέγχρωμο σύνθετο 4,3,2 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή της Λαυρεωτικής στην Αττική. Με έντονο κόκκινο διακρίνεται η βλάστηση της περιοχής.....	130
Εικόνα 79: Αποτέλεσμα της εφαρμογής του δείκτη EVI όπου με κίτρινες κουκίδες εμφανίζονται υποπεριοχές οι οποίες έχουν υποστεί τις μεγαλύτερες συνέπειες (πιο επιβαρημένες) των διαχρονικών πυρκαγιών της περιοχής.....	131
Εικόνα 80: Αριστερά εμφανίζεται το αποτέλεσμα της εφαρμογής του δείκτη EVI (όπου με κίτρινες κουκίδες εμφανίζονται υποπεριοχές οι οποίες έχουν υποστεί τις μεγαλύτερες συνέπειες (πιο επιβαρημένες) των διαχρονικών πυρκαγιών της περιοχής) και δεξιά (επάνω) το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, ενώ δεξιά (κάτω) το ψευδέγχρωμο σύνθετο 5,4,3 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, όπου με έντονο ροζ χρώμα εμφανίζονται καμένες περιοχές.....	132
Εικόνα 81: Οι φασματικοί λόγοι LANDSAT TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B), όπως φαίνεται στο πλαίσιο διαλόγου δημιουργίας αλγόριθμου του λογισμικού ER MAPPER.....	133
Εικόνα 82: Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή της Λαυρεωτικής στην Αττική., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής του έγχρωμου σύνθετου φασματικών λόγων Landsat TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) όπου με κίτρινο πορτοκαλί χρώμα διακρίνονται λατερικά πετρώματα πλούσια σε οξειδία του σιδήρου.....	134
Εικόνα 83: Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει μεγενθυμένη την περιοχή της Λαυρεωτικής στην Αττική., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) όπου με κίτρινο χρώμα διακρίνονται λατερικά πετρώματα πλούσια σε οξειδία του σιδήρου.....	135
Εικόνα 84: Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή του όρους Υμηττός στην Αττική., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής των φασματικών λόγων	

LANDSAT TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) όπου με κίτρινο χρώμα διακρίνονται λατερικά πετρώματα πλούσια σε οξειδία του σιδήρου. ....	136
Εικόνα 85: Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή της Ιτέας του Νομού Φωκίδας., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) όπου με κίτρινο χρώμα διακρίνεται το ορυκτό γκαϊτίτης, ενώ με πορτοκαλί χρώμα διακρίνεται ο αιματίτης. Και τα δύο ορυκτά περιέχουν οξειδία του σιδήρου. ....	137
Εικόνα 86: Οι φασματικοί λόγοι LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B), όπως φαίνεται στο πλαίσιο διαλόγου δημιουργίας αλγόριθμου του λογισμικού ER Mapper. ....	138
Εικόνα 87: Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή του όρους Υμηττός στην Αττική., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B) όπου με έντονο μοβ χρώμα διακρίνεται ο σερπεντινίτης. ....	139
Εικόνα 88: Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει μεγενθυμένη την περιοχή του όρους Υμηττού στην Αττική., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B) όπου με έντονο μοβ χρώμα διακρίνεται ο σερπεντινίτης.....	140
Εικόνα 89: Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή της Σαλαμίνας., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B) όπου με έντονο μωβ χρώμα διακρίνεται ο σερπεντινίτης.....	141
Εικόνα 90: Αριστερά η εφαρμογή του δείκτη NDVI στη ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, με έντονο άσπρο χρώμα διακρίνεται η βλάστηση στην περιοχή του όρους Υμηττού. Στη μέση το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ίδιας ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης. Δεξιά η εφαρμογή του φασματικού λόγου 3/4 στην ίδια ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση, με έντονο άσπρο χρώμα διακρίνεται η εδαφική υποβάθμιση.....	142
Εικόνα 91: Αριστερά η εφαρμογή του δείκτη NDVI στη ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση Landsat TM της 5 <sup>ης</sup> Απριλίου 2002, με έντονο άσπρο χρώμα διακρίνεται η βλάστηση στην περιοχή του όρους Πατέρα. Στη μέση το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ίδιας ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης. Δεξιά η εφαρμογή του φασματικού λόγου 3/4 στην ίδια ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση, με έντονο άσπρο χρώμα διακρίνεται το διαβρωμένο έδαφος.....	143

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση των δυνατοτήτων της τεχνικής των λόγων καναλιών πολυφασματικών απεικονίσεων και του τρόπου που οι λόγοι αυτοί εφαρμόζονται στην ψηφιακή τηλεπισκόπηση. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν τα αποτελέσματα εφαρμογής λόγων καναλιών σε πολυφασματικές απεικονίσεις, ιδιαίτερα σε Landsat TM.

Αρχικά, παρατίθεται ένα κεφάλαιο το οποίο περιέχει μία ανασκόπηση βασικών εννοιών τηλεπισκόπησης και τα βασικά χαρακτηριστικά των κύριων τηλεπισκοπικών δορυφόρων που υπάρχουν, τις δυνατότητες και τους περιορισμούς τους. Γίνεται αναφορά στο ευρύ σύνολο επιστημονικών πεδίων και πρακτικών εφαρμογών που υποστηρίζει η δορυφορική τηλεπισκόπηση καθώς και στη συνεργασία Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) στα πλαίσια ολοκληρωμένων συστημάτων.

Έπειτα λαμβάνει χώρα η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και υλοποιήθηκε στο λογισμό ER Mapper για τη δημιουργία αλγορίθμων φασματικών λόγων. Περιλαμβάνονται έγχρωμα και ψευδεύχρωμα σύνθετα, ενισχυμένες εικόνες, αλγόριθμοι δημιουργίας των λόγων οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν και διαγράμματα, για την κατανόηση της χρησιμότητας των λόγων καναλιών και αναλύεται η τεχνική τους.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρατίθεται η βιβλιογραφική έρευνα που διεξήχθη για τις ανάγκες της διπλωματικής, -έγινε προσπάθεια να βρεθούν οι πλέον καταλληλότερες επιστημονικές εργασίες, και γίνεται ανάπτυξη σε περιβάλλον Wiki (<http://el.wikipedia.org/wiki/Wiki>) του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης.

Ακολουθούν τυπικές εφαρμογές λόγων καναλιών σε περιοχές της Ελλάδας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τις εφαρμογές, είναι μία δορυφορική τηλεπισκοπική απεικόνιση διακριτικής ικανότητας 30m από το δορυφόρο Landsat TM, με χρόνο λήψης τον Απρίλιο του 2002, γεωμετρικά διορθωμένη στο σύστημα Ε.Γ.Σ.Α. Επιλέχθηκαν λόγοι καναλιών από τη βιβλιογραφία για την εκτίμηση του μεγέθους των επιπτώσεων μίας πυρκαγιάς στην περιοχή της Λαυρεωτικής, τη λιθολογική διάκριση πετρωμάτων στον Υμηττό και στην περιοχή της Ιτέας και για τη διάκριση υποβαθμισμένων (διαβρωμένων) εδαφών στην περιοχή του όρους Πατέρας και στον Υμηττό.

Γίνεται φωτοερμηνεία στα αποτελέσματα των λόγων καναλιών, δηλαδή στα ψευδέχρωμα σύνθετα που δημιουργήθηκαν και αξιολόγησή τους, με βάση βιβλιογραφικές αναφορές.

Τέλος, αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, με περισσότερο ουσιαστικό το γεγονός ότι η ψηφιακή τεχνική των λόγων καναλιών πολυφασματικών απεικονίσεων, είναι ένα πολύτιμο πρακτικό εργαλείο στα χέρια του φωτοερμηνευτή που εφαρμόζεται σε ένα ευρύ σύνολο πρακτικών εφαρμογών. Έγχρωμα και ψευδέχρωμα R,G,B σύνθετα και λόγοι καναλιών αποδεικνύονται πολύ αποτελεσματικοί σε μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, για το περιβάλλον και την ποιότητα ζωής όλων μας.

## **Abstract**

The main purpose of this thesis was the investigation of the potential of the band ratio technique in multi-spectral imagery and the way that these are applied in Remote Sensing. In the present study, the results of the application of the band ratio technique in multi-spectral imagery, especially in Landsat TM, were examined.

Initially, there is a Chapter, which includes a review of Remote Sensing and also the features of the major multi-spectral satellites, their current technological capabilities and their restrictions. Reference is made to a wide number of scientific fields and practical applications that Remote Sensing is supporting and in the Cooperation of Remote Sensing with Geographic Information Systems (G.I.S.) in integrated systems.

Then follows the methodology used in ER Mapper to create band ratio's algorithms color composites, false color composites, enhanced images, band ratio's algorithms which have been used and diagrams are included to facilitate the understanding of the usefulness of the band ratio technique.

The next Chapter presents the published research on the needs of this study, which was presented in Wiki environment of the Remote Sensing lab.

Typical applications of band ratio in Greece were developed. The data used for this purpose was one high spatial resolution satellite (30m) imagery from Landsat TM, acquired in April of 2002, orthorectified in G.G.R.S. 87 (E.Γ.Σ.A. 87). Band ratios were selected from the bibliographic research to quantify burn severity in the area of Lavrio, to estimate the lithological distinction of Mount Hymettus and for the study of soil degradation in Mount Hymettus and in Mount Pateras. Remote Sensing interpretation is made in the band ratio imagery which is evaluated according to the bibliographic references.

Finally, the basic conclusions of this thesis are reported. The most important of all, is that the band ratio technique is a valuable practical tool in the hands of the Remote Sensing interpreter, which is applicable to a wide range of practical applications. The band ratio technique, color composites and false color composites can be very effective in many applications for the environment and the improvement of the quality of life.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

---

Οι ραγδαίες εξελίξεις των τεχνολογιών αιχμής της διαστημικής, της τηλεπισκόπησης, της πληροφορικής και των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών στις μέρες μας, εξασφάλισαν στη διεθνή επιστημονική κοινότητα αποτελεσματικά εργαλεία παρατήρησης, διερεύνησης, χαρτογράφησης, συστηματικής παρακολούθησης, ανάλυσης και ερμηνείας των στοιχείων, των χαρακτηριστικών και των εμφανίσεων της φυσικής γήινης επιφάνειας.

Η διπλωματική αυτή εργασία αφορά στη διερεύνηση των δυνατοτήτων της τεχνικής των λόγων καναλιών πολυφασματικών απεικονίσεων και του τρόπου που οι λόγοι αυτοί εφαρμόζονται στην ψηφιακή τηλεπισκόπηση, για την ανίχνευση, τον προσδιορισμό, την ανάδειξη και τη φωτοερμηνεία ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών, για τη γη, τους ωκεανούς, την ατμόσφαιρα και το περιβάλλον γενικότερα.

Η διερεύνηση, η αξιόπιστη γνώση, η πλήρης και ακριβής απογραφή, η χαρτογράφηση και η παρακολούθηση των φυσικών διαθεσίμων, τα οποία συντελούνται και μέσα από την τεχνική των λόγων καναλιών πολυφασματικών απεικονίσεων, αποτελούν θεμελιώδη υποδομή για τη σωστή διαχείριση και αξιοποίηση τους αλλά και για κάθε σχεδιασμό και πρόγραμμα ανάπτυξης και προστασίας του περιβάλλοντος.

Η εργασία εκπονήθηκε σε δύο κύρια στάδια. Στο πρώτο στάδιο, έγινε έρευνα, μελέτη και αποδελτίωση κατάλληλων βιβλιογραφικών εργασιών και εισαγωγή τους στη Wiki του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης. Στο δεύτερο στάδιο της εργασίας, εφαρμόστηκαν κάποιες από τις τεχνικές του πρώτου σταδίου, με συμπληρωματική μεθοδολογία όπου χρειάστηκε, ώστε να αναδειχθούν οι δυνατότητες της τεχνικής των λόγων καναλιών των απεικονίσεων Landsat TM σε περιοχές του Ελλαδικού χώρου. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν τέσσερις εφαρμογές που έχουν να κάνουν : α) με την χρήση του φασματικού δείκτη EVI για την εκτίμηση του μεγέθους των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς στην περιοχή της Λαυρεωτικής, β) με τη χρήση του έγχρωμου σύνθετου φασματικών λόγων Landsat TM 5/4-3/2-7/5 (R, G, B) για τη ανίχνευση και χαρτογράφηση λατερικών πετρωμάτων πλούσια σε οξειδία του σιδήρου, γ) με τη χρήση του έγχρωμου σύνθετου φασματικών λόγων Landsat TM 5/7-3/1-5/3 (R, G, B) για την ανίχνευση και διάκριση σερπεντινίτη από μεταμορφωσιγενή πετρώματα, που παρουσιάζονται πάρα πολύ συχνά

σε περιοχές της Ελλάδας και δ) στη χρήση του φασματικού δείκτη βλάστησης NDVI και του φασματικού λόγου Landsat TM 3/4 για τη μελέτη της υποβάθμισης του εδάφους (διάβρωση), φαινομένου το οποίο παρατηρείται πολύ έντονα και απασχολεί την επιστημονική κοινότητα της χώρας μας (και όχι μόνον).



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας Επιστημονικού Πεδίου**

---

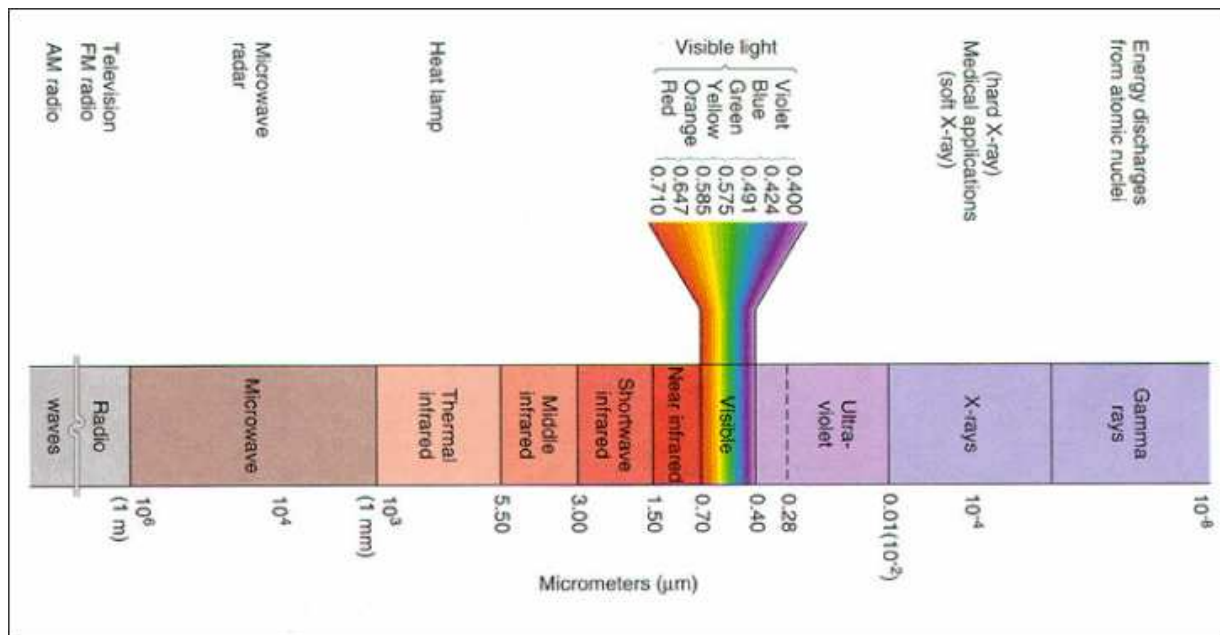
### **2.1 Τηλεπισκόπηση**

Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και τεχνική που εξετάζει τις αρχές, μεθόδους, όργανα και συστήματα με τα οποία επιτυγχάνεται η εκ του μακρόθεν συλλογή, επεξεργασία, ανάλυση και ερμηνεία πληροφοριών που σχετίζονται με συγκεκριμένες ιδιότητες αντικειμένων ή φαινομένων. Η τηλεπισκόπηση έχει εφαρμοσθεί στη γεωργία, δασολογία, γεωλογία, γεωμορφολογία, τεχνική φωτογεωμορφολογία, ωκεανογραφία, κλιματολογία, γεωγραφία, περιφερειακή ανάπτυξη και στην καταγραφή και παρακολούθηση των φυσικών και ανθρωπίνων διαθεσίμων γενικότερα. (Αργιαλάς 1977, Μπαντέκας 1984, Ρόκος 1988)

### **2.2 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία**

Κάθε τηλεπισκοπική απεικόνιση προκύπτει ουσιαστικά με την κατάλληλη καταγραφή ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών, οι οποίες μεταφέρονται μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μετά από την αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα και τα αντικείμενα/ εμφανίσεις στην επιφάνεια της γης. Η δυνατότητα λήψης δεδομένων σε μια μεγάλη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (από την κοσμική ακτινοβολία μέχρι τα μικροκύματα), σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπει ή ανακλά κάθε αντικείμενο/ εμφάνιση σε διάφορα μήκη κύματος είναι χαρακτηριστική της φυσικής κατάστασης και της χημικής του σύστασης, οδηγεί στην εξ αποστάσεως αναγνώριση και μελέτη του, δηλαδή σε εφαρμογή της τηλεπισκόπησης. Οι δέκτες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε δορυφόρους καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ή την ένταση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι κύριες ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, όπως και κάθε κύμα γενικότερα, είναι το μήκος κύματος ( $\lambda$ ), που ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ δύο κορυφών του κύματος, και η συχνότητά του ( $\nu$ ), δηλαδή ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από ένα σημείο σε ένα δευτερόλεπτο, η οποία μετρείται σε Hertz (Hz). Το σύνολο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με διαφορετικό μήκος κύματος αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συνίσταται από

κύματα με μήκη κύματος από 0,1μm (1m = 1.000.000μm) έως 100m και περιλαμβάνει: το πεδίο ακτινών γ (γ-rays), το πεδίο ακτινών x (x-rays), το πεδίο υπεριώδους ακτινοβολίας (ultraviolet), το πεδίο ορατού φωτός (visible light), το πεδίο υπέρυθρης ακτινοβολίας (infrared), το πεδίο μικροκυμάτων (microwaves) και το πεδίο ραδιοκυμάτων (radio waves).



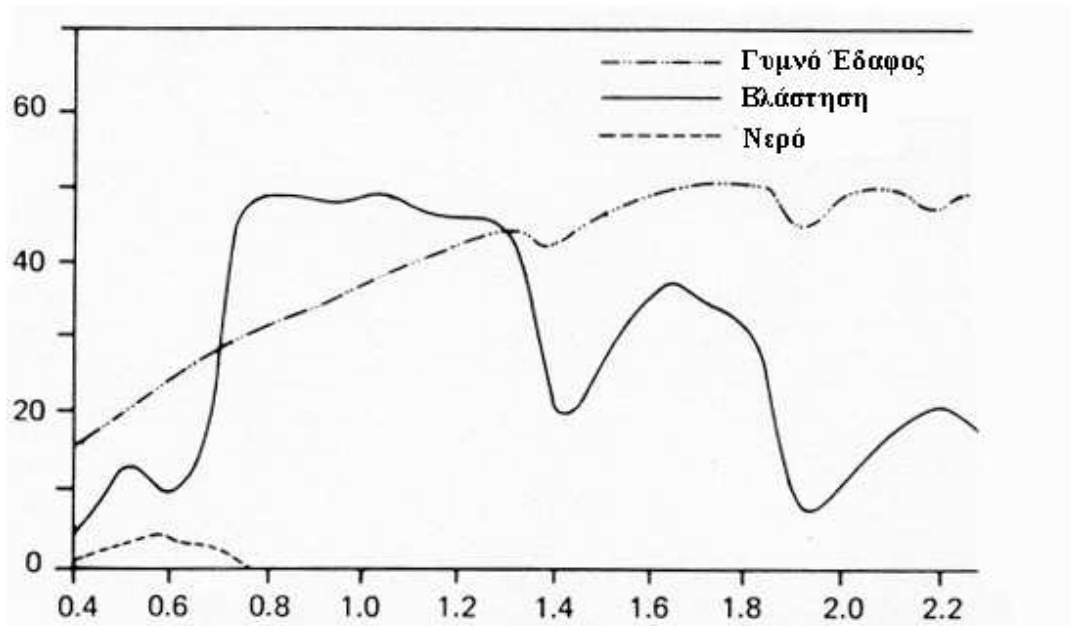
Εικόνα 1: Οι περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Από το συνολικό πεδίο του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η τηλεπισκόπηση αξιοποιεί την περιοχή εκείνη που έχει μήκος κύματος και περιλαμβάνει το υπεριώδες, το ορατό φως, το εγγύς και μέσο υπέρυθρο, το θερμικό υπέρυθρο και τα μικροκύματα. Κάθε αντικείμενο/ εμφάνιση έχει μια φασματική υπογραφή, όπως ονομάζεται, η οποία είναι το ποσό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται από το αντικείμενο/ εμφάνιση. Το ποσό αυτό καταγράφεται από τον δέκτη ως μια συγκεκριμένη τιμή για κάθε πεδίο του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ανάλογα με το εκάστοτε εξεταζόμενο πεδίο του φάσματος, για το ίδιο αντικείμενο/ εμφάνιση, μπορούμε να πάρουμε και διαφορετική πληροφορία. Έτσι, η φασματική υπογραφή μας επιτρέπει να διακρίνουμε το χιόνι από το νερό, τη βλάστηση από το χώμα, τους διάφορους τύπους πετρωμάτων μεταξύ τους, τις διάφορες ενώσεις στην ατμόσφαιρα. Το ορατό τμήμα του φάσματος είναι εξαιρετικά μικρό, αφού η φασματική ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού εκτείνεται μόνο από 0,4μm μέχρι περίπου 0,7μm. Το μπλε χρώμα απεικονίζεται στο εύρος από 0,4 έως 0,5μm περίπου. Το πράσινο από 0,5 έως 0,6μm και το

κόκκινο από 0,6 έως 0,7 $\mu\text{m}$  περίπου. Η υπεριώδης (UV) ενέργεια συνορεύει με το τέλος του μπλε στην ορατή περιοχή του φάσματος. Στο τέλος του κόκκινου (τέλος ορατής περιοχής) συνορεύουν 3 διαφορετικές κατηγορίες υπέρυθρων κυμάτων: Το εγγύς υπέρυθρο (από 0.7 έως 1.3 $\mu\text{m}$ ), το μέσο υπέρυθρο (από 1.3 έως 3 $\mu\text{m}$ ) και το θερμικό υπέρυθρο (πέρα των 3 $\mu\text{m}$ ). Η περιοχή του θερμικού υπέρυθρου σχετίζεται άμεσα με τη θερμική ενέργεια. Η μικροκυματική περιοχή του φάσματος βρίσκεται μεταξύ του 1mm και του 1m. (Αργιαλάς, 2000)

## **2.3 Αλληλεπίδραση της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας με τα Αντικείμενα/Εμφάνισεις στην Επιφάνεια της Γης**

Κατά την αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με ένα αντικείμενο/εμφάνιση στην επιφάνεια της γης, το ποσό της ακτινοβολίας που ανακλάται, απορροφάται ή διαδίδεται από αυτό, εξαρτάται από τη σύσταση του συγκεκριμένου σώματος και από τις υπάρχουσες συνθήκες. Η ιδιότητα αυτή των αντικειμένων/εμφάνισεων επιτρέπει τον εντοπισμό και τη διάκρισή τους σε μια τηλεπισκοπική απεικόνιση. Επιπλέον, για το ίδιο αντικείμενο/εμφάνιση η αναλογία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται, απορροφάται ή διαδίδεται, ποικίλει ανάλογα με το μήκος κύματος. Παραδείγματος χάριν, δύο αντικείμενα/εμφάνισεις μπορεί να παρουσιάζονται εντελώς όμοια σε ένα συγκεκριμένο πεδίο του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αλλά στην πραγματικότητα να είναι εντελώς διαφορετικά και άρα διακριτά μεταξύ τους. Στο ορατό μέρος του φάσματος οι διαφορές αυτές μας δίνουν την αίσθηση του χρώματος, π.χ. θεωρούμε ότι κάποιο σώμα είναι μπλε, όταν έχει μεγάλη ανακλαστικότητα στο μπλε τμήμα του φάσματος, ή θεωρούμε ότι είναι πράσινο, όταν έχει μεγάλη ανακλαστικότητα στο πράσινο κ.ο.κ. Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει τον τρόπο που αλληλεπιδρά η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με τα αντικείμενα/εμφάνισεις στην επιφάνεια της γης, είναι η επιφανειακή τραχύτητά τους η υφή τους. Αντικείμενα/εμφάνισεις που είναι επίπεδα, λειτουργούν σαν κάτοπτρα όταν η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ενώ όσα έχουν τραχεία επιφάνεια, ανακλούν ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις διαχέοντας την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Συνήθως όμως, τα περισσότερα αντικείμενα/εμφάνισεις αλληλεπιδρούν με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατά έναν ενδιάμεσο τρόπο. Για παράδειγμα, στο πεδίο των ραδιοκυμάτων ένα βραχώδες έδαφος απεικονίζεται ομαλό, σχεδόν λείο, ενώ στο ορατό τμήμα του φάσματος ακόμη και η πολύ λεπτή άμμος παρουσιάζεται στην απεικόνιση σαν να έχει τραχεία υφή.



Εικόνα 2: Τυπικές καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για βλάστηση, νερό και έδαφος (Αργιαλάς, 2000)

Στο διάγραμμα της Εικόνας 2 φαίνονται οι καμπύλες ανακλαστικότητας τριών βασικών εμφανίσεων: υγιής πράσινη βλάστηση, έδαφος και υδατινές μάζες. Παρατηρούμε ότι, καθώς προχωρούμε από το ορατό προς το εγγύς υπέρυθρο (0,7 μm) η ανακλαστικότητα της βλάστησης αυξάνει δραματικά, αφού σε αυτό το τμήμα του φάσματος η απορρόφηση είναι ελάχιστη, ενώ για μήκη κύματος μεγαλύτερα του 1,4 μm η ανακλαστικότητα μειώνεται, αφού η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε αυτά τα μήκη κύματος απορροφάται από την υγρασία που υπάρχει στο φύλλωμα. Η καμπύλη ανακλαστικότητας του εδάφους παρουσιάζει λιγότερες διακυμάνσεις, αφού οι παράγοντες που την επηρεάζουν περιορίζονται σε πιο συγκεκριμένα πεδία του φάσματος. Το νερό εξ' άλλου, τόσο όταν απαντάται με τη μορφή μεγάλων συγκεντρώσεων, όσο και όταν έχει τη μορφή υγρασίας στο φύλλωμα, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απορροφητικότητα στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου και του υπέρυθρου. Γενικά, είναι φανερό ότι οι τρεις αυτές εμφανίσεις μπορούν να διαχωριστούν εύκολα μεταξύ τους, αρκεί κάθε φορά να χρησιμοποιούμε το κατάλληλο τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

## 2.4 Τηλεπισκοπικά Συστήματα

### 2.4.1 Ιδανικό Τηλεπισκοπικό Σύστημα

Τα βασικά στοιχεία από τα οποία θα πρέπει να αποτελείται ένα ιδανικό τηλεπισκοπικό σύστημα είναι τα εξής:

1. Μια πηγή ενέργειας, η οποία θα έχει τη δυνατότητα να παρέχει ενέργεια σε όλα τα μήκη κύματος κατά ένα ενιαίο και σταθερό τρόπο, ανεξάρτητα από το χώρο και το χρόνο.
2. Μια ατμόσφαιρα, η οποία δεν θα αλληλεπιδρά κατά κανένα τρόπο με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, είτε η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατευθύνεται προς την επιφάνεια της γης είτε επιστρέφει από αυτήν. Επιπλέον, η ιδανική αυτή κατάσταση της ατμόσφαιρας θα είναι ανεξάρτητη από το μήκος κύματος, το χρόνο, το χώρο και το ύψος τροχιάς του δορυφόρου, πάνω στον οποίο βρίσκεται ο δέκτης.
3. Μια σειρά μοναδικών αλληλεπιδράσεων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα διάφορα αντικείμενα/εμφάνσεις πάνω στην επιφάνεια της γης, οι οποίες θα είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ανακλώμενων ή εκπεμπόμενων κυμάτων, γνωστών, σταθερών και μοναδικών για κάθε αντικείμενο/εμφάνιση που μας ενδιαφέρει.
4. Ένας τέλειος δέκτης, εξαιρετικά ευαίσθητος σε όλα τα μήκη κύματος, που θα έχει τη δυνατότητα να καταγράφει λεπτομερή χωρική πληροφορία σε συνθήκες απόλυτης φωτεινότητας σαν συνάρτηση του μήκους κύματος, σε όλο το εύρος του φάσματος.
5. Ένα σύστημα διαχείρισης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (real-time). Στο σύστημα αυτό, τη στιγμή που η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με ένα αντικείμενο/εμφάνιση στην επιφάνεια της γης και δημιουργείται το επιστρεφόμενο σήμα, υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας του σήματος αυτού σε μια μορφή (format), η οποία θα είναι μοναδική για το συγκεκριμένο αντικείμενο/εμφάνιση από το οποίο και προήλθε. Λόγω της σταθερότητας των ανακλώμενων ή εκπεμπόμενων κυμάτων, όπως περιγράφηκε παραπάνω, δεν είναι αναγκαία τα δεδομένα αναφοράς και οι επίγειοι έλεγχοι. Τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από το σύστημα αυτό αποτελούν μια πλήρη περιγραφή των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του προς εξέταση αντικειμένου/εμφάνισης.
6. Χρήστες πολλαπλών δεδομένων, οι οποίοι θα είναι πλήρως καταρτισμένοι σχετικά με την τηλεπισκόπηση και τις διαδικασίες ανάλυσης και επεξεργασίας απεικονίσεων. Η εφαρμογή των διαδικασιών αυτών οδηγεί σε νέα δεδομένα και νέες πληροφορίες για το αντικείμενο/εμφάνιση που μας ενδιαφέρει, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια από περισσότερους χρήστες. Με αυτό τον τρόπο η πληροφορία παρέχεται πιο γρήγορα, με λιγότερο κόστος και σε πολύ μεγαλύτερη έκταση από οποιοδήποτε άλλο τρόπο συλλογής δεδομένων, δίνοντας έτσι

στους χρήστες τη δυνατότητα να επιλέγουν τους πιο κατάλληλους τρόπους διαχείρισης των φυσικών πόρων και να παίρνουν σωστές αποφάσεις.

#### **2.4.2 Πραγματικό Τηλεπισκοπικό Σύστημα**

Προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα η λειτουργία και η χρησιμότητα ενός τηλεπισκοπικού συστήματος, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω μειονεκτήματα και ελλείψεις που στην πραγματικότητα έχει:

1. Η πηγή ενέργειας: Οι παθητικοί (οπτικοί) Τηλεπισκοπικοί δέκτες λαμβάνουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία είτε ανακλάται είτε εκπέμπεται με τη μορφή θερμότητας από τα αντικείμενα/εμφανίσεις στην επιφάνεια της γης. Η ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το χώρο, το χρόνο και τη σύσταση των αντικειμένων/εμφανίσεων. Στα ενεργητικά συστήματα τηλεπισκόπησης (συστήματα radar) μπορούμε να ελέγξουμε την πηγή ενέργειας μέχρι κάποιο βαθμό. Στην πραγματικότητα όμως, οι πηγές που χρησιμοποιούνται δεν εκπέμπουν κατά ενιαίο τρόπο σε όλα τα μήκη κύματος, ούτε είναι ανεξάρτητες τόπου και χρόνου. Γι αυτό είναι απαραίτητος ο συνεχής έλεγχος των πηγών στα ενεργητικά συστήματα.
2. Η ατμόσφαιρα σχεδόν πάντοτε αλληλεπιδρά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, επηρεάζοντας σε κάποιο βαθμό τόσο την ισχύ της όσο και τη φασματική κατανομή της. Το πόσο σημαντική είναι αυτή η επίδραση εξαρτάται κάθε φορά από το μήκος κύματος και τον χρησιμοποιούμενο δέκτη. Ο έλεγχος των τηλεπισκοπικών συστημάτων, προκειμένου να αποφευχθούν ή να περιοριστούν οι επιδράσεις αυτές, είναι απαραίτητος, ειδικά όταν πρόκειται για εφαρμογές που απαιτούν επαναληπτικές παρατηρήσεις στην ίδια γεωγραφική περιοχή.
3. Αλληλεπιδράσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αντικειμένων/εμφανίσεων στην επιφάνεια της γης: Τα πράγματα θα ήταν πολύ απλά για την τηλεπισκόπηση, αν ίσχυε η ιδανική αυτή κατάσταση, κατά την οποία κάθε σώμα/αντικείμενο/εμφάνιση θα ανακλούσε ή θα εξέπεμπε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, πάντα κατά τον ίδιο, γνωστό τρόπο. Στην πραγματικότητα, εντελώς διαφορετικά αντικείμενα/εμφανίσεις παρουσιάζουν πολλές φορές μεγάλη φασματική ομοιότητα, με αποτέλεσμα ο διαχωρισμός τους να είναι πάρα πολύ δύσκολος.
4. Ο δέκτης: Δυστυχώς, ο τέλειος δέκτης δεν υπάρχει. Ταυτόχρονα, δεν υπάρχει δέκτης που να είναι ευαίσθητος σε όλες τις περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ενώ

ένα ακόμη στοιχείο, η χωρική διακριτική ικανότητα του δέκτη -η απόσταση δηλαδή που πρέπει να έχουν δύο αντικείμενα/εμφανίσεις πάνω στην επιφάνεια της γης ώστε να είναι διακριτά μεταξύ τους- περιορίζει ακόμα περισσότερο τις δυνατότητες του δέκτη.

5. Το σύστημα διαχείρισης δεδομένων: Η ικανότητα των δεκτών που χρησιμοποιούνται σήμερα να παράγουν δεδομένα ξεπερνά σε κάθε περίπτωση τη δυνατότητα αξιοποίησης και επεξεργασίας των δεδομένων αυτών. Η διαδικασία που απαιτείται για την επεξεργασία τους απαιτεί κατάλληλες τεχνικές, γνώσεις, εμπειρία, δεδομένα αναφοράς και φυσικά αρκετό χρόνο, αφού, όσο κι αν έχουν εξελιχθεί οι τεχνικές, η παρέμβαση του ανθρώπου στην όλη διαδικασία είναι απαραίτητη.

6. Χρήστες πολλαπλών δεδομένων: Βασικός παράγοντας στην επιτυχημένη εφαρμογή της τηλεπισκοπικής διαδικασίας είναι ο άνθρωπος χρήστης. Τα δεδομένα που προέρχονται από τον δέκτη γίνονται πληροφορία, μόνο όταν κάποιος γνωρίζει πώς προέκυψαν, πώς μπορούν να ερμηνευθούν και πώς μπορούν να αξιοποιηθούν καλύτερα. Μέχρι τώρα η φωτοερμηνεία αποτέλεσε ένα σημαντικότερο εργαλείο συλλογής πληροφορίας. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται όλο και περισσότερες νέες τεχνικές αξιοποίησης της πληροφορίας από τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, με αποτέλεσμα να αυξάνεται συνεχώς ο αριθμός των χρηστών και η τηλεπισκόπηση να αποτελεί σιγά σιγά ένα μοναδικό εργαλείο σε Προγράμματα που αφορούν στη διαχείριση των φυσικών πόρων, σε πολλές εφαρμογές του τοπογράφου μηχανικού, καθώς και στην έρευνα.

## **2.5 Διαθέσιμα Είδη Δορυφορικών Πλατφόρμων**

Γενικά για να είναι όσο το δυνατόν πιο λειτουργικό ένα σύστημα τηλεπισκόπησης, πρέπει να μπορεί να βγάζει τηλεπισκοπικές απεικονίσεις για χρονικό διάστημα ίσο με την επιχειρησιακή διάρκεια ζωής του. Ανάλογα με τις απαιτήσεις μας και την διαθέσιμη τεχνολογία, έχουμε να επιλέξουμε από διάφορες πλατφόρμες οι οποίες είναι ικανές να φέρουν ένα σύστημα τηλεπισκόπησης και να παραμένουν στην ατμόσφαιρα για ένα χρονικό διάστημα.

Τα αεροπλάνα, που είναι βασικός φορέας τηλεπισκοπικών δεκτών, χρησιμοποιούν κυρίως συμβατικά φωτογραφικά συστήματα. Αν και έχουν ευρεία χρήση, έχουν το μειονέκτημα ότι

μπορούν να πετάξουν σε μικρό ύψος πάνω από το έδαφος (περιορίζεται ο οπτικός τους ορίζοντας) και η χρονική διάρκεια των αποστολών τους είναι εξαιρετικά περιορισμένη.

Τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκαν διαστημικά αεροσκάφη, τα οποία δεν έχουν κανένα περιορισμό όσον αφορά το ύψος πτήσης και τη διάρκεια της αποστολής. Έτσι, διαστημικά αεροσκάφη, όπως πύραυλοι ή τεχνητοί δορυφόροι, καθώς επίσης και επανδρωμένα ή μη διαστημικά οχήματα, επιτρέπουν τη λήψη τηλεσκοπικών απεικονίσεων της γήινης επιφάνειας, από απόσταση που φτάνει τις μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα.

Οι τεχνητοί δορυφόροι αποτελούν τις ιδανικές πλατφόρμες για την τοποθέτηση των τηλεπισκοπικών δεκτών. Έχουν προκαθορισμένη τροχιά, η διάρκεια πτήσης τους είναι πολύ μεγαλύτερη και επιτρέπει την συνεχή και αδιάλειπτη παρακολούθηση της γης.

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της τροχιάς τους διακρίνονται σε 3 κατηγορίες:

#### A. Δορυφόροι με πολική ηλιοσύγχρονη (sun-synchronous) τροχιά

Στους δορυφόρους αυτούς η γωνία μεταξύ του ήλιου και του επιπέδου της τροχιάς του δορυφόρου διατηρείται σταθερή. Έτσι, εξασφαλίζεται η σταθερότητα της γωνίας της ηλιακής ακτινοβολίας, σε δεδομένο γεωγραφικό πλάτος, για μικρό χρονικό διάστημα. Το είδος αυτό των δορυφόρων είναι ιδανικό για τηλεπισκοπικά συστήματα με παθητικούς ή οπτικούς δέκτες, που χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας την ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η κλίση της τροχιάς του δορυφόρου πλησιάζει τις  $90^\circ$ , ώστε να καλύπτει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειας της γης, που βρίσκεται μεταξύ των δύο πόλων, ενώ το ύψος της τροχιάς του είναι περίπου 1.000km πάνω από την επιφάνεια της γης.

#### B. Δορυφόροι με ισημερινή γεωσύγχρονη - γεωστατική (equatorial geosynchronous) τροχιά

Οι δορυφόροι της κατηγορίας αυτής παραμένουν σταθεροί πάνω από το ίδιο σημείο της επιφάνειας της γης, γι' αυτό ονομάζονται και γεωστατικοί. Αυτό επιτυγχάνεται με τόση αύξηση του ύψους της τροχιάς τους (περίπου στα 35.800km ή 5,6 φορές την ακτίνα της γης), ώστε η περίοδος τροχιάς να γίνει ίση με την περίοδο περιστροφής της γης. Τέτοιου είδους τροχιές μπορούν να επιτευχθούν μόνο για σημεία του Ισημερινού.

#### Γ. Δορυφόροι με γενική (general) τροχιά.

Οι δορυφόροι αυτοί δεν εντάσσονται σε καμία από τις 2 παραπάνω κατηγορίες.



## 2.6 Διάφορα Είδη Τηλεπισκοπικών Δεικτών

Προκειμένου να ανιχνευθεί η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε όλες τις συχνότητες και τα μήκη κύματος, απαιτούνται διάφορα είδη τηλεπισκοπικών δεκτών οι οποίοι διακρίνονται σε δέκτες radar και οπτικούς ή παθητικούς δέκτες.

Αναλυτικά:

A) Οι δέκτες radar ή ενεργητικοί δέκτες, βασίζονται στην ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που εκπέμπεται από τον ίδιο τον δέκτη radar, ανακλάται από το αντικείμενο/εμφάνιση στην επιφάνεια της γης, επιστρέφει και καταγράφεται στο σύστημα. Σε αυτούς τους δέκτες, όπως τα radar, που εκπέμπουν στην περιοχή των μικροκυμάτων, το επιστρεφόμενο σήμα έχει υποστεί αλλοίωση, η οποία εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από τις ιδιότητες της επιφάνειας του αντικείμενου/εμφάνισης. Έτσι, επιτυγχάνεται η αναγνώριση και μελέτη σωμάτων και φαινομένων, όπως κατασκευές στη ξηρά, αέριες χημικές ενώσεις, ωκεάνια συστήματα κυκλοφορίας, πετρελαιοκηλίδες κ.λπ. Από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του radar είναι η επιχειρησιακή του δυνατότητα να χρησιμοποιείται ημέρα και νύχτα, κάτω από όλες σχεδόν τις καιρικές συνθήκες.

B) Οι οπτικοί ή παθητικοί δέκτες είναι εκείνοι που λαμβάνουν και καταγράφουν την ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ή την εκπεμπόμενη θερμότητα. Ευαισθητοποιούνται στο τμήμα του φάσματος, το οποίο εκτείνεται από την περιοχή των πολύ μικρών μηκών κύματος (μικρότερα των 0,4μm) της υπεριώδους ακτινοβολίας, έως την περιοχή του μήκους κύματος των 1.000μm. Ανάλογα δε με την εφαρμογή στην οποία θα αξιοποιηθούν απεικονίσεις από οπτικό δέκτη, επιλέγεται και η αντίστοιχη φασματική περιοχή.

Οι οπτικοί δέκτες διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

### α. Φωτογραφικές μηχανές

Ο πιο διαδεδομένος δέκτης είναι η συμβατική φωτογραφική μηχανή, που έχει σχεδιασθεί να ανιχνεύει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο ορατό τμήμα του φάσματος (0,4-0,7μm) και στο εγγύς υπέρυθρο (0,7-0,9μm). Σε αυτό το είδος δέκτη χρησιμοποιούνται ασπρόμαυρα ή έγχρωμα φιλμ ευαίσθητα στις παραπάνω περιοχές του φάσματος. Με χρήση κατάλληλων φίλτρων,

μπορούμε να βελτιώσουμε την αντίθεση (contrast) της αεροφωτογραφίας ή π.χ. με χρήση ενός κίτρινου φίλτρου να εξαλείψουμε την Rayleigh σκέδαση, λόγω της ατμόσφαιρας.

### β. Οπτικοηλεκτρικοί δέκτες

Οι οπτικοηλεκτρικοί δέκτες μετασχηματίζουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε ηλεκτρικό σήμα. Τα στοιχεία του δέκτη συμπεριφέρονται όπως οι κόκκοι του φωτογραφικού φιλμ και παράγουν μια παρόμοια ηλεκτρονική εγγραφή για κάθε σημείο του εδάφους.

### γ. Πολυφασματικοί σαρωτές

Πρόκειται για οπτικομηχανικούς σαρωτές, που λειτουργούν σε οποιαδήποτε περιοχή του φάσματος και χρησιμοποιούν δέκτες ευαίσθητους στις περιοχές αυτές, γεγονός που τους δίνει τη δυνατότητα ταυτόχρονης συλλογής μεγαλύτερης ποσότητας πληροφορίας.

Η τηλεπισκοπική απεικόνιση είτε από οπτικό δέκτη είτε από δέκτη radar πλεονεκτεί έναντι της αεροφωτογραφίας καθώς:

A) Μια τηλεπισκοπική απεικόνιση καλύπτει έκταση πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων στην επιφάνεια της γης, γεγονός που επιτρέπει την συνολική και συνοπτική μελέτη μιας συγκεκριμένης περιοχής π.χ. μια απεικόνιση από το δέκτη XS του δορυφόρου SPOT καλύπτει επιφάνεια 60km x 60km, ενώ μια απεικόνιση από τους δέκτες MSS και TM του δορυφόρου Landsat καλύπτει έκταση 185km x 185km.

B) Η τηλεπισκοπική απεικόνιση συνήθως δημιουργείται από την καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε διάφορα πεδία αυτής (αριθμός καναλιών που την αποτελούν), γεγονός που επιτρέπει την μελέτη και διάκριση περισσότερων εμφανίσεων/αντικειμένων στην επιφάνεια της γης, τα οποία δεν διακρίνονται στην αεροφωτογραφία. Έτσι, περιέχει πλήθος διαφορετικών μεταξύ τους πληροφοριών, που μπορούν να αξιοποιηθούν κατάλληλα από γεωλόγους, υδρολόγους, δασολόγους, μηχανικούς κ.λπ.

Γ) Οι δορυφόροι ακολουθώντας επαναληπτικές τροχιές επισκέπτονται την ίδια γεωγραφική περιοχή με καθορισμένη συχνότητα που κυμαίνεται από μερικά λεπτά (μετεωρολογικοί δορυφόροι) έως μερικές ημέρες. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης εν δυνάμει φαινομένων σε παγκόσμια κλίμακα, όπως οι πλημμύρες, η μετακίνηση πληθυσμών, οι πετρελαιοκηλίδες και οι δασικές πυρκαγιές.

Δ) Τα χαρακτηριστικά της τροχιάς των δορυφόρων εξασφαλίζουν μεγάλη σταθερότητα στις συνθήκες λήψης, γεγονός που οδηγεί σε απεικονίσεις με καλύτερα και σταθερότερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Ε) Η λήψη απεικονίσεων από μεγάλα ύψη, στη περίπτωση των δορυφόρων εξασφαλίζει σχετική ανεξαρτησία από τις τοπικές καιρικές συνθήκες, ιδιαίτερα δε στην περίπτωση απεικονίσεων από δέκτες radar οι οποίοι λειτουργούν σε συνθήκες ανεξάρτητες καιρού και ηλιακού φωτός.

ΣΤ) Στο εγγύς μέλλον με την εκτόξευση δορυφόρων που μεταφέρουν δέκτες πολύ υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας (καλύτερης από 1m) θα παράγονται απεικονίσεις οι οποίες βρίσκουν εφαρμογές σε πεδία που κυριαρχούσε μέχρι τώρα η αεροφωτογραφία (π.χ. χαρτογράφηση σε μεγάλη κλίμακα). Επιπλέον οι σύγχρονες τάσεις επιβάλλουν την εκτόξευση σειράς δορυφόρων (constellation), οι οποίοι εξασφαλίζουν δεδομένα με χρονική διακριτική ικανότητα λίγων ωρών.

## **2.7 Δορυφορικοί Τηλεπισκοπικοί Δέκτες**

### **2.7.1 Διαθέσιμες Δορυφορικές Πλατφόρμες στο Εμπόριο**

Οι δορυφορικές εικόνες τα τελευταία χρόνια έχουν ολοένα και περισσότερες εφαρμογές σε πολλούς τομείς του δημόσιου αλλά και ιδιωτικού τομέα (π.χ. περιβάλλον, πολεοδομία, χωροταξία, δασολογία, γεωργία, γεωλογία, χαρτογραφία, γεωγραφία, ακίνητη κτηματική περιουσία, άμυνα).

Η δυνατότητα απόκτησης διάφορων τύπων δορυφορικών εικόνων από οποιονδήποτε, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για αυτούς που διαθέτουν πολύ υψηλή διακριτική ικανότητα ( $\text{pixel} < 1\text{m}$ ), έκανε την αγορά των δορυφορικών δεδομένων ακόμη πιο ανταγωνιστική σε σχέση με τις παλιές τεχνικές. Ακόμα ένας παράγοντας που συντελεί στην διάδοσή τους, είναι ότι δεν υπάρχουν πια τόσες απαγορεύσεις όπως παλιά ή χρονοβόρες γραφειοκρατικές διαδικασίες. Ιδιαίτερα, τώρα που οι τιμές πώλησής τους είναι σχετικά χαμηλές, ο χρόνος επανεπίσκεψης του δορυφόρου στην περιοχή μελέτης είναι λίγες ημέρες, καθώς και ο μικρός χρόνος παραλαβής τους (ακόμη και εντός 24ώρου), κάνει την αγορά τους ελκυστική για επιχειρησιακές εφαρμογές και διαχείριση χωρικών δεδομένων. Η ανάπτυξη της διαλειτουργικότητας των Γεωγραφικών Συστημάτων

Πληροφοριών (GIS) με τα δορυφορικά δεδομένα καθώς και με τα δεδομένα του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (GPS) οδηγεί σε εύκολες διαδικασίες διαχείρισης και ανάπτυξης των χωρικών δεδομένων των τριών συστημάτων που αποτελούν πλέον τεχνολογία αιχμής.

### 2.7.2 Είδη Δορυφορικών Δεκτών ανάλογα με την Ανάλυση

Οι δορυφορικές εικόνες χωρίζονται ανάλογα με την διακριτική τους ικανότητα (μέγεθος pixel) σε κατηγορίες και παρουσιάζονται και στην εικόνα 3:

Εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης  $\leq 5\text{m}$  (QuickBird, Ikonos, Eros, Spot5,

Εικόνες υψηλής ανάλυσης από  $5.1\text{m} < 20\text{m}$  (Spot3-4,)

Εικόνες μέσης ανάλυσης από  $20\text{m} \leq 30\text{m}$  (Landsat, IRS)

Εικόνες χαμηλής ανάλυσης πάνω από  $30\text{m}$  (NOOA, Meteosat)



Εικόνα 3: Διάγραμμα ανάλογα με την διακριτική ικανότητα των δορυφόρων

Επίσης χωρίζονται ανάλογα με τα φασματικά τους χαρακτηριστικά σε:

**Πολυφασματικές:** Διαθέτουν τουλάχιστον τρία κανάλια στο ορατό τμήμα του φάσματος (R,G,B) / συνήθως πολλές από αυτές διαθέτουν και κανάλι στο εγγύς υπέρυθρο που είναι κατάλληλο για τη μελέτη της βλάστησης (υγιής βλάστηση, επίπεδα χλωροφύλλης κτλ.), χαρακτηριστικά δηλαδή που δεν φαίνονται με το ανθρώπινο μάτι.

**Παγχρωματικές:** Είναι ασπρόμαυρες, έχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα από τις αντίστοιχές τους πολυφασματικές και διαθέτουν ένα κανάλι στο ορατό τμήμα του φάσματος.

### 2.7.3 Δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά

Στους πίνακες που ακολουθούν, δίνονται σε γενικές γραμμές κάποια βασικά χαρακτηριστικά σύγχρονων εμπορικών και ερευνητικών δορυφόρων από τους οποίους μπορούμε να προμηθευτούμε δεδομένα ανάλογα με τις ανάγκες μας.

Περιγράφονται κυρίως δορυφόροι με πολύ ψηλή διακριτική/διαχωριστική ικανότητα καθώς και κάποιοι με μέση-υψηλή ικανότητα.

	Είδος	Παγχρωματικό	Πολυφασματικό
<b>QUICKBIRD</b> <a href="#">EURIMAGE</a>	Διαχωριστική Ικανότητα	0.61m	2.5m
	Κανάλια	1 (στο ορατό τμήμα του φάσματος)	4 (κόκκινο, πράσινο, μπλε & εγγύς υπέρυθρο)
	Χαρακτηριστικά	Πλάτος σάρωσης δορυφόρου: 16,5Km Εμβαδό εικόνας (Σκιηνή): 16,5Km x 16,5Km = 272Km <sup>2</sup> Δυνατότητα ορθο-διόρθωσης με μόνο 2-3 GCPS Εκτοξεύθηκε τον Οκτώβριο του 2001	

Εικόνα 4: Δορυφόρος QuickBird

<b>IKONOS</b> EUROPEAN SPACE IMAGING	Είδος	Πανχρωματικό	Πολυφασματικό
	Διαχωριστική Ικανότητα	1m	4m
	Κανάλια	1 (στο ορατό τμήμα του φάσματος)	4 (κόκκινο, πράσινο, μπλε & εγγύς υπέρυθρο)
	Χαρακτηριστικά	Πλάτος σάρωσης δορυφόρου: $11Km$ Εμβαδό εικόνας (Σκηνή): $11Km \times 11Km = 121Km^2$ Δυνατότητα παραγγελίας εικόνας μεγαλύτερης από $49Km^2$	

Εικόνα 5: Δορυφόρος Ikonos

<b>GEOEYE-1</b> SATELLITE IMAGING CORPORATIONS  Geoeeye	Είδος	Πανχρωματικό	Πολυφασματικό
	Διαχωριστική Ικανότητα	0.41m	1.65m
	Κανάλια	1 (στο ορατό τμήμα του φάσματος)	4 (κόκκινο, πράσινο, μπλε & εγγύς υπέρυθρο)
	Χαρακτηριστικά	Πλάτος σάρωσης δορυφόρου: $15,3Km$ Ο πιο πρόσφατος δορυφόρος σε τροχιά. Εκτοξεύθηκε τον Σεπτέμβριο του 2008	

Εικόνα 6: Δορυφόρος Geoeeye-1

<b>WORLDVIEW-1</b> SATELLITE IMAGING CORPORATIONS	Είδος	Πανχρωματικό
	Διαχωριστική Ικανότητα	0.5m
	Κανάλια	1 (στο ορατό τμήμα του φάσματος)
	Χαρακτηριστικά	Εμβαδό εικόνας (Σκηνή): $7.6Km \times 14Km = 246Km^2$ Μπορεί να πάρει εικόνα για το ίδιο σημείο κάθε 1.7 μέρες. Εκτοξεύθηκε τον Σεπτέμβριο του 2007

Εικόνα 7: Δορυφόρος Worldview

<b>ORVIEW</b> <a href="#">NPAGROUP</a>	Είδος	Πανχρωματικό	Πολυφασματικό
	Διαχωριστική Ικανότητα	1m	4m
	Κανάλια	1 (στο ορατό τμήμα του φάσματος)	4 (κόκκινο, πράσινο, μπλε & εγγύς υπέρυθρο)
	Χαρακτηριστικά	Πλάτος σάρωσης δορυφόρου: 8Km Εμβαδό εικόνας (Σκηνή): 169Km <sup>2</sup>	

Εικόνα 8: Δορυφόρος Orbview

<b>SPOT-5</b> <a href="#">SPOTIMAGE</a>	Είδος	Πανχρωματικό	Πολυφασματικό
	Διαχωριστική Ικανότητα	5m	10m
	Κανάλια	1 (στο ορατό τμήμα του φάσματος)	3 (κόκκινο, πράσινο, μπλε)
	Χαρακτηριστικά	Πλάτος σάρωσης δορυφόρου: 60Km Εμβαδό εικόνας (Σκηνή): 3600Km <sup>2</sup> Αυξημένες δυνατότητες στερεοσκοπικών λήψεων Εκτοξεύθηκε τον Μάιο του 2002	

Εικόνα 9: Δορυφόρος Spot 5

<b>SPOT-4</b> <a href="#">SPOTIMAGE</a>	Είδος	Πανχρωματικό	Πολυφασματικό
	Διαχωριστική Ικανότητα	10m	20m
	Κανάλια	1 (στο ορατό τμήμα του φάσματος)	4 (κόκκινο, πράσινο, μπλε & εγγύς υπέρυθρο)
	Χαρακτηριστικά	Πλάτος σάρωσης δορυφόρου: 60Km Εμβαδό εικόνας (Σκηνή): 3600Km <sup>2</sup> Αυξημένες δυνατότητες στερεοσκοπικών λήψεων Εκτοξεύθηκε το 1998	

Εικόνα 10: Δορυφόρος Spot 4

<b>LANDSAT-7 ETM+</b> <a href="#">EURIMAGE</a>	Είδος	Πανχρωματικό	Πολυφασματικό
	Διαχωριστική Ικανότητα	15m	30m
	Κανάλια	1 (στο ορατό τμήμα του φάσματος)	6
	Χαρακτηριστικά	Εμβαδό εικόνας (Σκηνή): 183Km x 172,5Km	

Εικόνα 11: Δορυφόρος Landsat 7

<b>ASTER</b> <a href="#">SATELLITE IMAGING CORPORATIONS</a>	Είδος	Πανχρωματικό	Πολυφασματικό
	Διαχωριστική Ικανότητα	5m	23m
	Κανάλια	1 (στο ορατό τμήμα του φάσματος)	3 (πράσινο, μπλε & εγγύς υπέρυθρο)
	Χαρακτηριστικά	Πλάτος σάρωσης δορυφόρου: 70Km Platformliss-III	

Εικόνα 12: Δορυφόρος Aster

Υπάρχουν ακόμη πολλοί άλλοι δορυφόροι σε τροχιά που είναι εμπορικά διαθέσιμοι αλλά είναι κυρίως μέσης διακριτικής ικανότητας και προορίζονται για περιβαλλοντολογικές μελέτες, μετρήσεις ωκεανογραφικές και για δεδομένα που πρέπει να έχουμε συχνές λήψεις για την ίδια περιοχή. Μερικοί από αυτούς δίνονται στην εικόνα 13:



<b>ERS ( <a href="#">RADARSAT Intl</a> )</b>	<b>LANDSAT-5 TM ( <a href="#">EURIMAGE</a> )</b>
<b>IRS ( <a href="#">EURIMAGE</a> )</b>	<b>Envisat ( <a href="#">EURIMAGE</a> )</b>
<b>ERS-2( <a href="#">EURIMAGE</a> )</b>	<b>Radarsat-1( <a href="#">EURIMAGE</a> )</b>
<b>ALOS ( <a href="#">SATELLITE IMAGING CORPORATIONS</a> )</b>	<b>Orbview-2 ( <a href="#">GEOEYE</a> )</b>
<b>Formosat-2 ( <a href="#">SATELLITE IMAGING CORPORATIONS</a> )</b>	<b>KOMPSAT-2 ( <a href="#">SPOTIMAGE</a> )</b>
<b>Radarsat-2 ( <a href="#">MDA</a> )</b>	

**Εικόνα 13: Διάφοροι Δορυφόροι**

#### **2.7.4 Μελλοντικοί Δορυφόροι που θα τεθούν σε τροχιά**

Πολλές εταιρείες ετοιμάζονται στο άμεσο μέλλον να θέσουν σε τροχιά τους δικούς τους δορυφόρους, οι οποίοι θα έχουν καλύτερα χαρακτηριστικά από τους σημερινούς, θα παρέχουν υλικό σε ιδιώτες, εταιρείες και κυβερνητικούς οργανισμούς και σύμφωνα με τα λεγόμενα τους σε ακόμη καλύτερες τιμές σε πιο γρήγορους χρόνους. Έμφαση κάθε εταιρεία δίνει στο να εξοπλίσει τους δορυφόρους της με τέτοια χαρακτηριστικά που να τους κάνει να ξεχωρίζουν από τον ανταγωνισμό και να ειδικεύονται σε κάποιους τομείς. Στους πίνακες παρουσιάζονται συνοπτικά μερικά από τα χαρακτηριστικά τους:

<b>GEOEYE-2</b> <small>SATELLITE IMAGING CORPORATION</small>	Είδος	Πανχρωματικό	Πολυφασματικό
	Διαχωριστική Ικανότητα	0.25m	
	Κανάλια	1 (στο ορατό τμήμα του φάσματος)	4 (κόκκινο, πράσινο, μπλε & εγγύς υπέρυθρο)
	Χαρακτηριστικά	Παρόμοια χαρακτηριστικά με τον Geoeye-1, αλλά με καλύτερη ανάλυση και βελτιωμένος στα σημεία. Αναμένετε να εκτοξευθεί το 2011	

Εικόνα 14: Δορυφόρος Geoeye-2

<b>WORLDVIEW-2</b> <small>SATELLITE IMAGING CORPORATION</small>	Είδος	Πανχρωματικό	Πολυφασματικό
	Διαχωριστική Ικανότητα	0.5m	1.8m
	Κανάλια	1 (στο ορατό τμήμα του φάσματος)	7
	Χαρακτηριστικά	Παρόμοια χαρακτηριστικά με τον προκάτοχο του WorldView-1, μαζί με την προσθήκη 4 νέων καναλιών. Αναμένεται να τεθεί σε τροχιά στα τέλη του 2008	

Εικόνα 15: Δορυφόρος worldview-2

## 2.7.5 Δορυφόροι Landsat, Ikonos, QuickBird

### A. 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 στην εικόνα 16 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.

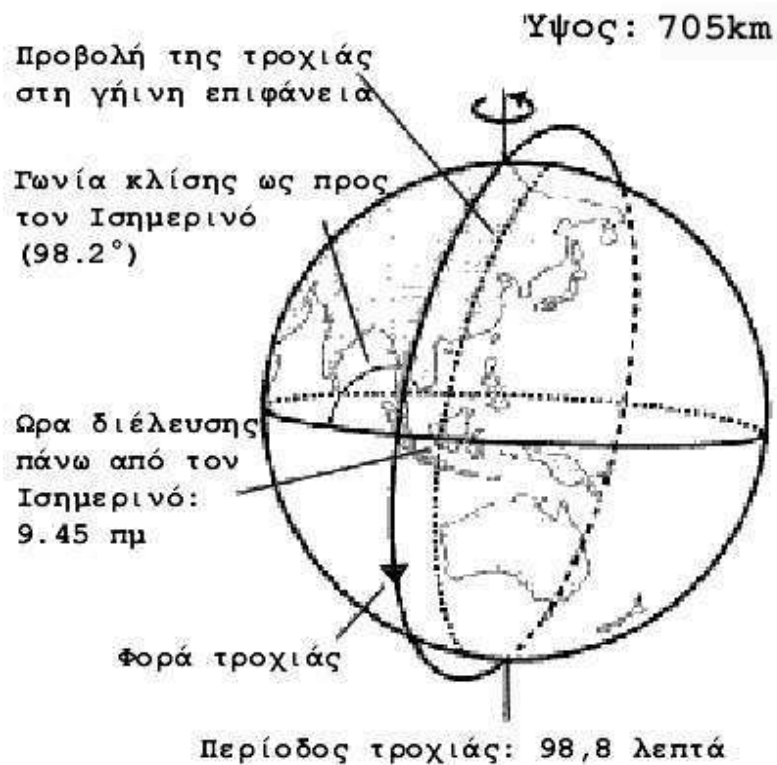
Έτσι, οι Landsat τηλεπισκοπικές απεικονίσεις αξιοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών όπως π.χ. η διερεύνηση, απογραφή, χαρτογράφηση και παρακολούθηση των φυσικών και ανθρωπίνων διαθεσίμων, των χρήσεων/καλύψεων γης, του χαρακτήρα, της κατάστασης και της ποιότητας του φυσικού Περιβάλλοντος κ.λπ.

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

**Εικόνα 16: Χαρακτηριστικά των δορυφόρων LANDSAT 1-7 και των τηλεπισκοπικών δεκτών τους**

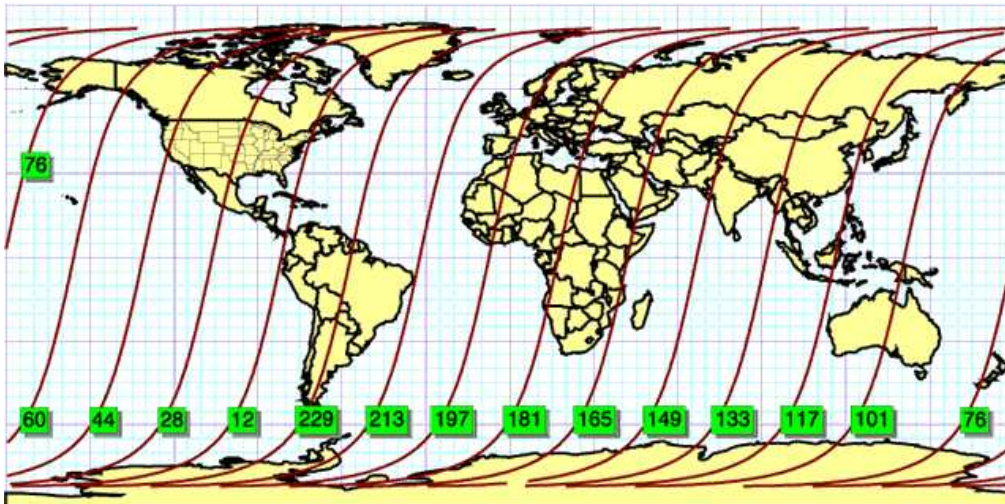
Οι δορυφόροι Landsat 1, 2 και 3 έπαψαν να στέλνουν ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις στη γη το 1978, το 1982 και το 1983 αντίστοιχα. Ο Landsat 6, μετά από αποτυχημένη εκτόξευση, δεν έγινε δυνατό να τεθεί σε τροχιά.



Εικόνα 17: Σχηματική παράσταση της τροχιάς των δορυφόρων Landsat 4, 5 και 7

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 18: 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 στην εικόνα 16 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  $\Delta\Delta/\Delta I$  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 (εικόνα 19) 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 0,5–0,6μm (πράσινο) και 0,6–0,7μm (κόκκινο) και τα άλλα δύο στο εγγύς υπέρυθρο (0,7–0,8μm και 0,8–1,1μm). 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, 0,45-0,52μm (μπλε), 0,52-0,60μm (πράσινο) και 0,63-0,69μm (κόκκινο). Το κανάλι 4 είναι ευαίσθητο στο εγγύς υπέρυθρο (0,76-0,90μm), τα κανάλια 5 και 7 είναι ευαίσθητα στο μέσο υπέρυθρο (1,55-1,75μm και 2,08-2,35μm αντίστοιχα) και τέλος, το κανάλι 6 είναι ευαίσθητο στην περιοχή του θερμικού υπερέυθρου (10,4-12,5μm). Η χωρική ΔΔ/ΔΙ του Θεματικού Χαρτογράφου είναι 30m για όλα τα κανάλια πλην του θερμικού υπερέυθρου, το οποίο έχει ΔΔ/ΔΙ 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 (0,5–0,86μm), 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 ΔΔ/ΔΙ 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	0,475-0,575μm	80m
		0,580-0,680μm	80m
0,690-0,830μm		80m	
	Landsat 3	0,505-0,750μm	30m
MSS	LANDSAT 1 έως 5	0,5-0,6μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		0,6-0,7μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		0,7-0,8μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		0,8-1,1μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		10,4-12,6μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
			240m (μόνο στον LANDSAT-3)
TM	LANDSAT 4, 5	0,45-0,52μm	30m
		0,52-0,60μm	30m
		0,63-0,69μm	30m
		0,76-0,90μm	30m
		1,55-1,75μm	30m
		10,4-12,5μm	120m
		2,08-2,35μm	30m
ETM & ETM+	LANDSAT 6, 7	0,52-0,90μm	15m
		0,45-0,52μm	30m
		0,52-0,60μm	30m
		0,63-0,69μm	30m
		0,75-0,90μm	30m
		1,55-1,75μm	30m
		10,4-12,5μm	120m (ETM), 60m (ETM+)
		2,08-2,35μm	30m

Εικόνα 19: Φασματική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεκτών των δορυφόρων Landsat 1 έως 7

## B. 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.

Η εικόνα 20 παρουσιάζει αναλυτικά τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του δορυφόρου.

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.

-	Ίκονος Pan 1m	Ίκονος MSI 4m	Ίκονος PSM 1m
Είδος	Οπτικά Παγχρωματικά	Οπτικά Πολυφασματικά	Οπτικά Εγχρώμα
Διαχωριστική ικανότητα	1 m	4 m	1 m
Έκταση κάλυψης μίας πλήρους εικόνας	11km x 11km	11km x 11km	-
Έκταση παραγγελίας δεδομένων αρχείου	50 km <sup>2</sup>	50 km <sup>2</sup>	50 km <sup>2</sup>
Έκταση παραγγελίας νέων λήψεων	100 km <sup>2</sup>	100 km <sup>2</sup>	100 km <sup>2</sup>
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 προγ/τισμού	Ναι	Ναι	Ναι
Δυνατότητα λήψης υπό γωνία - παραγωγής στερεοζεύγους	Ναι	Ναι	Ναι
Επίπεδα επεξεργασίας	Geo, Pro, Pre, Pre+, Standard/ Precision Stereo	Geo, Pro, Pre	Geo, Pro, Pre, Pre+, Standard/ Precision Stereo

Εικόνα 20: Χαρακτηριστικά δορυφόρου Ικονος

### Γ. 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](http://digitalglobe.com) γίνεται τακτική ενημέρωση των εικόνων μιας και ο δορυφόρος συλλέγει ολόχρονα πάνω από 75 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα απεικονίσεων της γήινης επιφάνειας. Στην εικόνα 21 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τα πλεονεκτήματα του δορυφόρου:

Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα
Αισθητήρες με πολύ μεγάλη διακριτική ικανότητα 60-cm (2-ft) πανχρωματικός 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

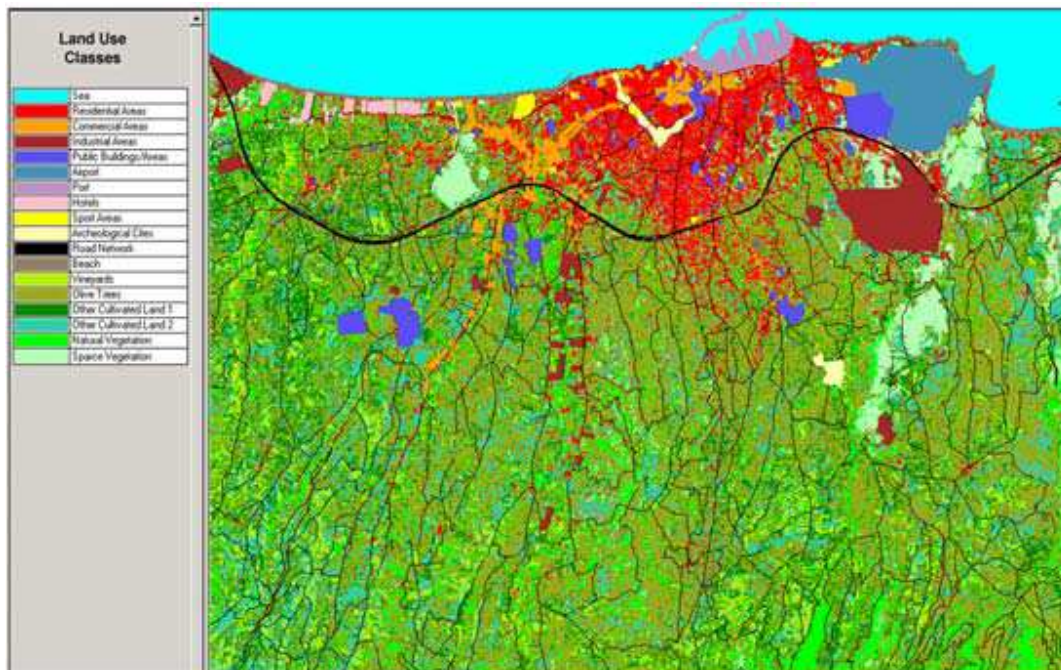
**Εικόνα 21: Χαρακτηριστικά δορυφόρου QuickBird**

## 2.8 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Τα Γ.Σ.Π. είναι ένα εργαλείο για λήψη αποφάσεων νομικής, διοικητικής και οικονομικής υφής και ένα όργανο για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη, το οποίο αποτελείται αφενός από μια βάση δεδομένων που περιέχει για μια έκταση στοιχεία προσδιορισμένα στο χώρο και τα οποία σχετίζονται με τη γη και αφετέρου από διαδικασίες και τεχνικές για τη συστηματική συλλογή, ενημέρωση, επεξεργασία και διανομή των στοιχείων. Η βάση ενός Γ.Σ.Π. είναι ένα ενιαίο σύστημα γεωγραφικής αναφοράς, το οποίο επίσης διευκολύνει τη σύνδεση των στοιχείων μεταξύ τους καθώς και με άλλα συστήματα που περιέχουν στοιχεία με χωρική αναφορά.

Η συνέργεια τηλεπισκόπησης - Γ.Σ.Π. μπορεί να έχει μια από τις παρακάτω μορφές:

- Η τηλεπισκόπηση μπορεί να έχει το ρόλο εργαλείου για τη δημιουργία των δεδομένων που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία του Γ.Σ.Π. Είναι το πιο ευρέως γνωστό πεδίο συνεργίας μεταξύ τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π. Η τηλεπισκόπηση μπορεί να παρέχει σε ένα Γ.Σ.Π.: Υπόβαθρα (π.χ. ψηφιακά μοντέλα εδάφους), ορθοκανονικές απεικόνισες (π.χ. πολυφασματικές), προϊόντα (π.χ. κάλυψη γης – χρήση γης), προϊόντα συνδυασμού (π.χ. ανίχνευση αλλαγών), κλπ.
- Τα Γ.Σ.Π. μπορούν να έχουν το ρόλο παροχέα συμπληρωματικών δεδομένων, πληροφορίας και τεχνικών μέσω των οποίων υπάρχει η δυνατότητα να βελτιωθεί η ακρίβεια των προϊόντων της τηλεπισκόπησης. Για παράδειγμα, τα υβριδικά μοντέλα ταξινόμησης (εικόνα 22) συνδυάζουν τη χωρική και τη φασματική πληροφορία που παρέχει η τηλεπισκόπηση με χωρικά δεδομένα άλλων πηγών τα οποία οργανώνονται και παρέχονται από το Γ.Σ.Π. για την βελτίωση της ακρίβειας των τελικών προϊόντων.
- Τηλεπισκόπηση και Γ.Σ.Π. μπορούν να έχουν παραλλήλους ρόλους και να δρουν συμπληρωματικά στα πλαίσια ενός ευρύτερου συστήματος προσομοίωσης και ανάλυσης. Η περίπτωση αυτή αφορά κυρίως έργα ερευνητικού χαρακτήρα, στα οποία είναι απαραίτητη η συνδυασμένη δράση τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π. στα πλαίσια ολοκληρωμένων συστημάτων.



Εικόνα 22: Παράδειγμα συνέργειας τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π. αποτελεί η ανάπτυξη από το ΙΤΕ ενός υβριδικού μοντέλου ταξινόμησης το αποτέλεσμα του οποίου για την περιοχή του Ηρακλείου παρουσιάζεται εδώ. Το μοντέλο χρησιμοποιεί Γ.Σ.Π. δεδομένα των αστικών περιοχών με τη μορφή πολυγώνων και πολυφασματικά δεδομένα του ραδιομέτρου ASTER για τις μη αστικές περιοχές. Με τον τρόπο αυτό το σχήμα ταξινόμησης αποτελείται από 18 τάξεις.

## 2.9 Εφαρμογές της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης

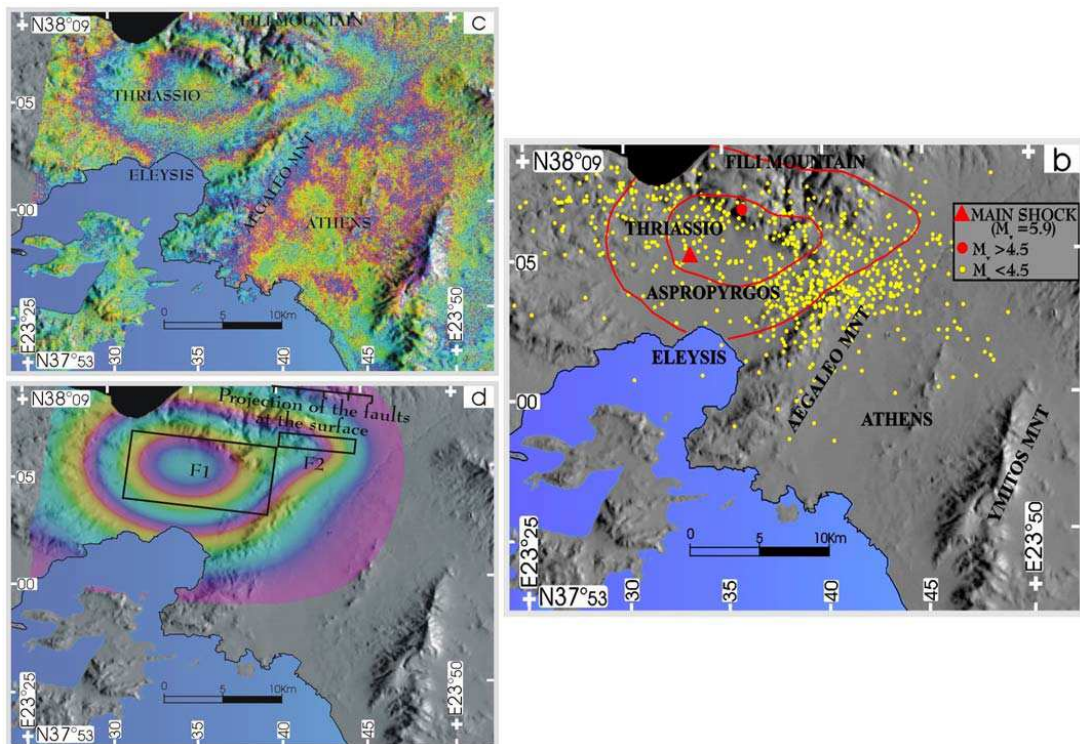
Η δορυφορική τηλεπισκόπηση υποστηρίζει ένα ευρύ σύνολο επιστημονικών πεδίων, καθώς και ένα ευρύ σύνολο πρακτικών εφαρμογών. Ορισμένες από τις εφαρμογές της δορυφορικής τηλεπισκόπησης παρουσιάζονται παρακάτω:

- στη μελέτη της ατμόσφαιρας και του κλίματος (εικόνα 24),
- στη μετεωρολογία,
- στην υδρολογία (εικόνα 26),
- στη μελέτη της βλάστησης και του κύκλου του CO<sub>2</sub>,
- στην αντιμετώπιση φυσικών και τεχνολογικών καταστροφών (εικόνα 23),
- στη μελέτη της κάλυψης γης και των χρήσεων γης (εικόνα 25),
- στην τοπογραφία και στη χαρτογράφηση (εικόνα 25),
- στη γεωλογία και τη γεωμορφολογία,



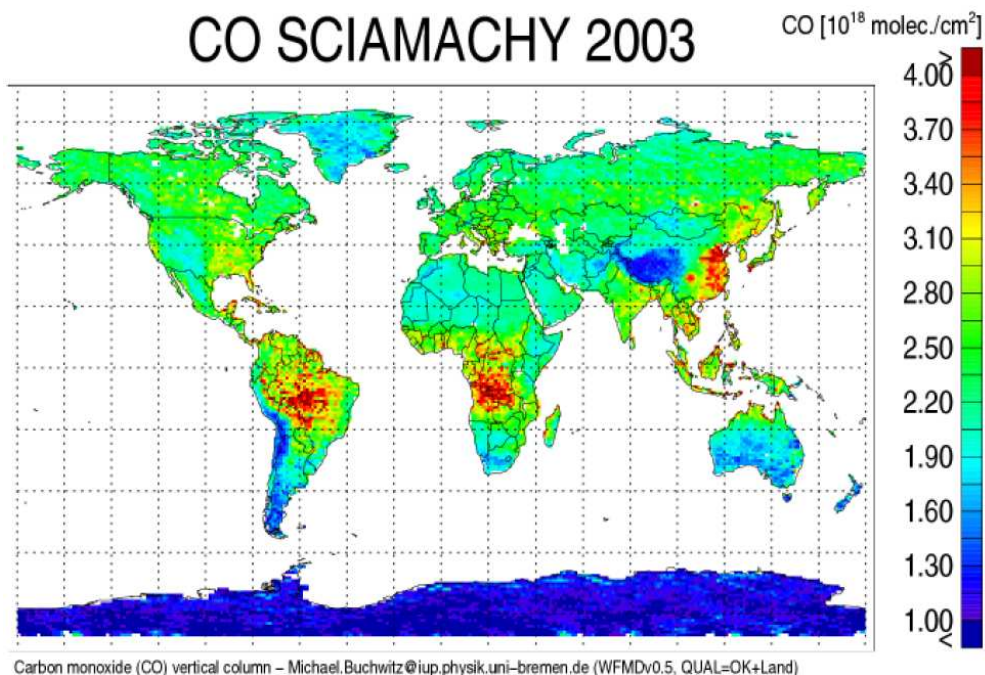
- στο θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον,
- στο αστικό περιβάλλον (ενεργειακό ισοζύγιο, αστική θερμική νησίδα κλπ).

Αρκετές από τις προηγούμενες εφαρμογές αποτελούν φαινόμενα μεγάλης κλίμακας για τη μελέτη των οποίων η χρήση δορυφορικών συστημάτων αποτελεί πρόσφορη μέθοδο καθώς έχουν δυνατότητες που δεν διαθέτει καμία άλλη τεχνολογία, ιδίως σε ότι αφορά στην κάλυψη ολόκληρου του πλανήτη, στη χρήση διάφορων περιοχών του φάσματος και στη συχνή μέτρηση παραμέτρων σε περιοχές που συχνά είναι απρόσιτες για άλλα μέσα. Παράλληλα η δορυφορική τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για τη μελέτη φαινομένων περιορισμένης χωρικής κλίμακας, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα τις αλλαγές στο αστικό περιβάλλον.



**Εικόνα 23:** Παράδειγμα εφαρμογής συμβολομετρίας ραντάρ συνθετικής κεραίας για τη χαρτογράφηση των μετατοπίσεων του εδάφους έπειτα από τον πρόσφατο μεγάλο σεισμό της Πάρνηθας.

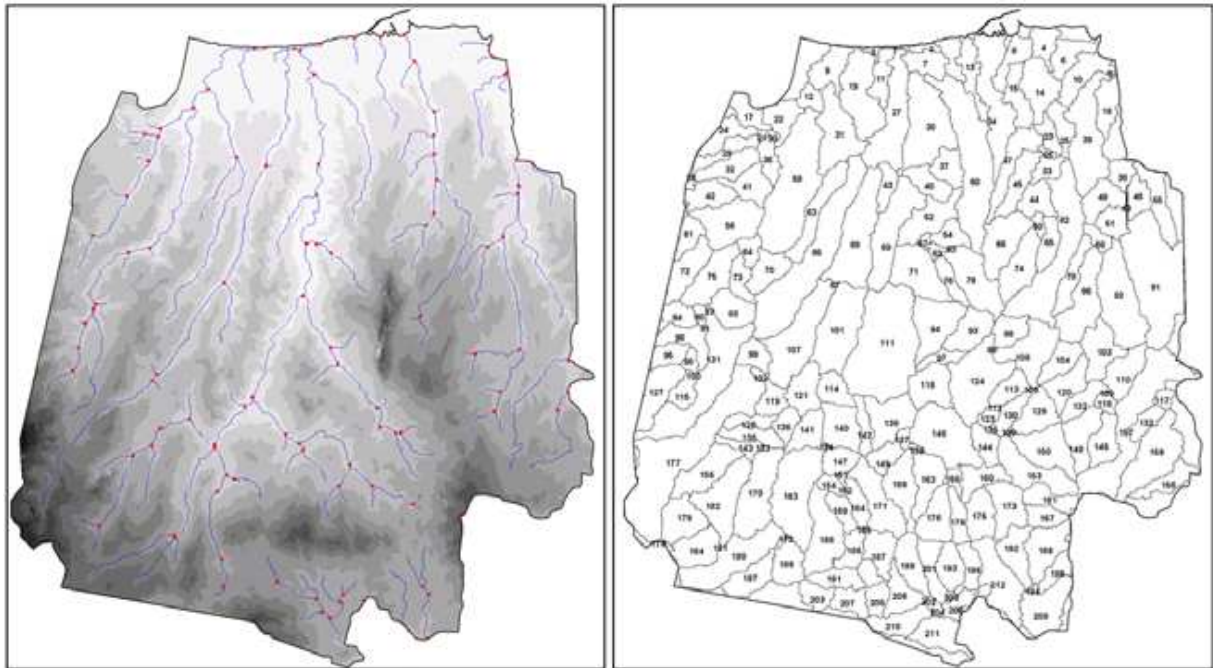
## CO SCIAMACHY 2003



**Εικόνα 24:** Χωρική κατανομή της συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα στον πλανήτη για το έτος 2003, όπως αυτή εκτιμήθηκε από τον αισθητήρα SCIAMACHY του δορυφόρου Envisat.



**Εικόνα 25:** Αποτύπωση από το δορυφόρο IKONOS της αποψίλωσης της βλάστησης στην περιοχή του φράγματος Αποσελέμη το 2006. Η εικόνα είναι πολυφασματική σε ορατό και εγγύς υπέρυθρο και η φωτοσυνθετικά ενεργή βλάστηση παρουσιάζεται με αποχρώσεις του κόκκινου.



**Εικόνα 26:** Εξαγωγή και αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου (αριστερά) και κατάτμηση σε υπολεκάνες της υδρολογικής λεκάνης του Δήμου Ηρακλείου (δεξιά) αξιοποιώντας ψηφιακό μοντέλο εδάφους που προέκυψε με επεξεργασία δεδομένων του ραδιομέτρου ASTER.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ψηφιακή Επεξεργασία Δορυφορικών Απεικονίσεων – Λόγοι Καναλιών

---

### 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 προστάθηκαν 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

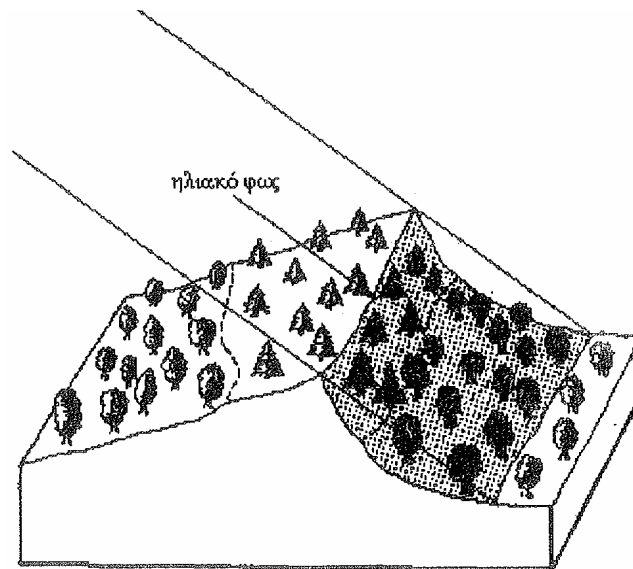
απεικονιστεί ή να εκτυπωθεί ή να τύχει περισσότερης και επιπρόσθετης επεξεργασίας. Οι δυνητικές μορφές επεξεργασίας εικόνων είναι πράγματι άπειρες. Παρόλα ταύτα, θα μπορούσαν να ταξινομηθούν σε μία από τις πέντε επόμενες γενικευμένες κατηγορίες επεξεργασιών. Διόρθωση εικόνων και αποκατάσταση, Ενίσχυση εικόνων, Ταξινόμηση εικόνων, Συνδυασμός δεδομένων και Βιοφυσικά μοντέλα (Αργιαλάς, 2009).

**Ενίσχυση εικόνων:** Αυτές οι επεξεργασίες εφαρμόζονται για την αποτελεσματικότερη απεικόνιση των ψηφιακών δεδομένων εικόνων, και για την καλύτερη οπτική ερμηνεία τους. Συνήθως, η ενίσχυση των εικόνων περιλαμβάνει *τεχνικές* που αποβλέπουν στην αύξηση της οπτικής διαφοροποίησης μεταξύ χαρακτηριστικών και φαινομένων μιας εικόνας. Στόχος είναι η δημιουργία μίας «νέας» βελτιωμένης εικόνας βασιζόμενης στην αρχική, έτσι ώστε να αυξηθεί το ποσό των πληροφοριών, οι οποίες μπορούν να ερμηνευτούν οπτικά από τα δεδομένα της εικόνας. Οι ενισχυμένες εικόνες μπορούν να απεικονιστούν στο σύστημα απεικόνισης που διαθέτουμε, ή μπορούν να γραφούν στο δίσκο για περαιτέρω επεξεργασία ή εκτύπωση. Δεν υπάρχει κανένας απλός κανόνας για την παραγωγή της «καλύτερης» εικόνας για κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή. Κανείς ανακαλύπτει την καλύτερη ενίσχυση ή ενισχύσεις για τα αντικείμενα που τον ενδιαφέρουν, με επαναληπτικές εφαρμογές διάφορων τεχνικών ενίσχυσης και Φωτοερμηνείας των κάθε φορά νέων δεδομένων.

### 3.2 Λόγοι Καναλιών

Οι λόγοι καναλιών είναι ενισχύσεις, οι οποίες προκύπτουν από τη διαίρεση των ψηφιακών τιμών σ' ένα φασματικό κανάλι, με τις αντίστοιχες τιμές σ' ένα άλλο κανάλι. Οι λόγοι είναι μία από τις πιο χρήσιμες αριθμητικές πράξεις που μπορούν να εφαρμοστούν σε ψηφιακές εικόνες αφού μειώνουν σε ένα βαθμό την επίδραση του ανάγλυφου και των σκιάσεων (ατμοσφαιρική διάχυση) στις προκύπτουσες εικόνες. Ένα κύριο πλεονέκτημα των εικόνων - λόγων είναι ότι αναδεικνύουν τα φασματικά χαρακτηριστικά των διαφόρων στοιχείων της εικόνας, ανεξάρτητα από την έκταση των συνθηκών φωτισμού της περιοχής κατόπτευσης. Αυτή η ιδέα επεξηγείται στην εικόνα 27, η οποία παρουσιάζει δύο διαφορετικούς τύπους κάλυψης γης (φυλλοβόλα και κωνοφόρα δέντρα), τα οποία βρίσκονται και στις δύο πλευρές μίας βουνοκορφής (δηλαδή, εκείνη που φωτίζεται και εκείνη που βρίσκεται υπό σκιάν). Οι παρατηρούμενες ψηφιακές τιμές για τον κάθε τύπο κάλυψης γης είναι σημαντικά χαμηλότερες στη σκιασμένη περιοχή, από ότι είναι στην φωτισμένη πλευρά. Όμως, η τιμή του λόγου για κάθε κατηγορία κάλυψης γης είναι σχεδόν η αυτή, ανεξαρτήτως των

συνθηκών φωτισμού Συνεπώς, μία εικόνα - λόγος της περιοχής κατόπτευσης θα μπορούσε αποτελεσματικά να αντισταθμίσει τη διακύμανση των ψηφιακών τιμών, η οποία οφείλεται στο τοπογραφικό ανάγλυφο, και άρα, στον φωτισμό, και έτσι δίνει έμφαση στη φασματική και χρωματική πληροφορία της εικόνας.



Κάλυψη γης / Φωτισμός	Ψηφιακή τιμή		Λόγος (Κανάλι A / Κανάλι B)
	Κανάλι A	Κανάλι B	
<b>Φυλλοβόλα</b>			
ηλιοφώτιστα	48	50	0.96
σκιασμένα	18	19	0.95
<b>Κωνοφόρα</b>			
ηλιοφώτιστα	31	45	0.69
σκιασμένα	11	16	0.69

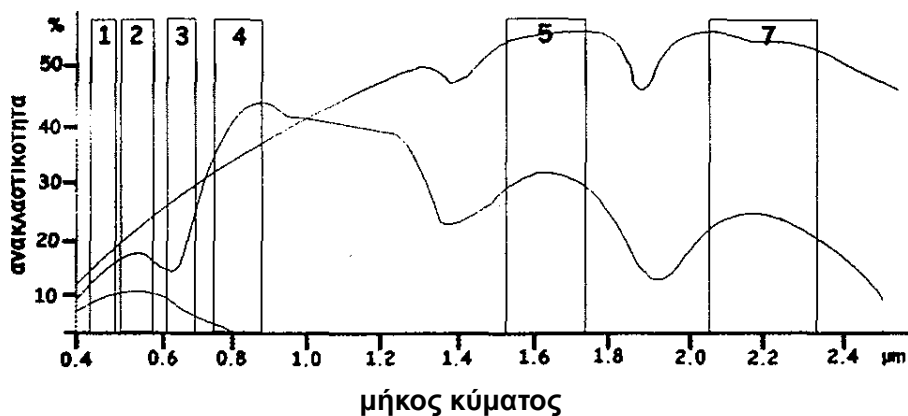
Εικόνα 27: Μείωση των επιδράσεων του φωτισμού του τοπίου κατόπτευσης ή της χρήσης των φασματικών λόγων.

### 3.3 Χρησιμότητα λόγων καναλιών

Οι εικόνες-λόγοι συχνά είναι χρήσιμοι για τη διάκριση μικρών φασματικών διαφορών μίας περιοχής κατόπτευσης, οι οποίες συγκαλύπτονται (ομογενοποιούνται) από τη διακύμανση των τιμών φωτεινότητας σε εικόνες μεμονωμένων φασματικών καναλιών, ή στα συνηθισμένα έγχρωμα σύνθετα. Αυτή η βελτιωμένη διάκριση οφείλεται στο γεγονός ότι οι εικόνες - λόγοι σαφώς απεικονίζουν τις διακυμάνσεις στις κλίσεις των καμπυλών φασματικής ανακλαστικότητας μεταξύ των δύο καναλιών, ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών ανακλαστικότητας που παρατηρούνται στα κανάλια. Αυτές οι κλίσεις τυπικά είναι αρκετά διαφορετικές για διαφορετικά είδη υλικών σε ορισμένα κανάλια. Για παράδειγμα, ο λόγος του εγγύς υπέρυθρου προς το κόκκινο, για την υγιή βλάστηση είναι συνήθως πολύ υψηλός, ενώ για τις καταστάσεις της βλάστησης υπό κάμψη είναι τυπικά χαμηλότερος, καθώς η υπέρυθρη ανακλαστικότητα μειώνεται, ενώ η κόκκινη ανακλαστικότητα αυξάνεται. Μία εικόνα-λόγος του εγγύς υπέρυθρου προς το κόκκινο, ή του κόκκινου προς το εγγύς υπέρυθρο κανάλι, μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη για τη διαφοροποίηση μεταξύ των περιοχών υγιούς και της υπό κάμψη βλάστησης. Αυτού του είδους ο λόγος έχει επίσης χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα ως δείκτης βλάστησης, με σκοπό τη σχετική ποσοτικοποίηση της πράσινης βλάστησης και της βιομάζας.

Προφανώς, η χρησιμότητα του οποιουδήποτε φασματικού λόγου εξαρτάται από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ανακλαστικότητας των αντικειμένων του ενδιαφέροντος μας, και τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Η μορφή και ο αριθμός των συνδυασμών, για τους οποίους δημιουργούνται οι λόγοι, ποικίλει και εξαρτάται από τις πηγές των ψηφιακών δεδομένων. Ο αριθμός των δυνατών εικόνων – λόγων που μπορούν να αναπτυχθούν από η κανάλια δεδομένων είναι  $n \cdot (n-1)$ . Συνεπώς, για τα δεδομένα Landsat MSS, μπορούν να αναπτυχθούν  $4 \cdot (4-1)$ , ή 12, διαφορετικοί συνδυασμοί λόγων (6 πρωταρχικοί και 6 αντιμεταθετικοί). Για τα 6 μη θερμικά κανάλια του Landsat TM (Thematic Mapper) υπάρχουν  $6 \cdot (6 - 1)$ , ή 30, δυνατοί συνδυασμοί λόγων.

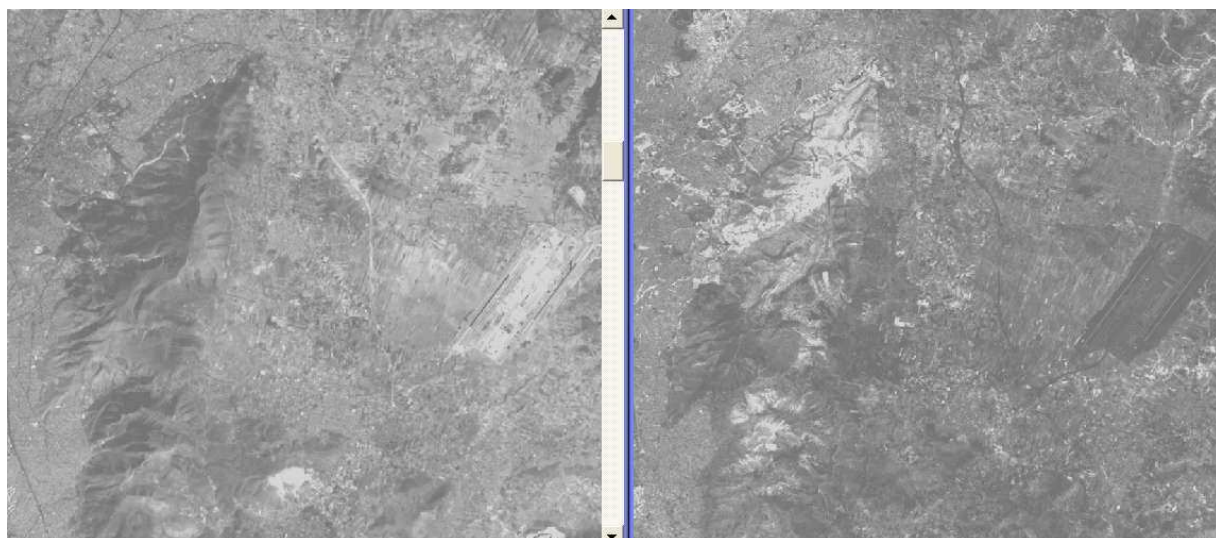
Συνεπώς, στην περίπτωση του Θεματικού Χαρτογράφου (εικόνα 28) έχουμε 30 δυνατούς συνδυασμούς μεταξύ των καναλιών 1,2,3,4,5 και 7 (το κανάλι 6 εξαιρείται επειδή έχει μικρότερη χωρική διακριτική ικανότητα). Το πρόβλημα είναι ότι λόγω του μεγάλου φασματικού πλάτους των καναλιών μόνο μεγάλες διαφορές μεταξύ των επιφανειακών υλικών είναι διακριτές.



Εικόνα 28: Φασματικές υπογραφές για το νερό, τη βλάστηση και Φασματική δειγματοληψία του θεματικού χαρτογράφου.

Τα κανάλια του θεματικού χαρτογράφου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την σύνθεση των παρακάτω λόγων:

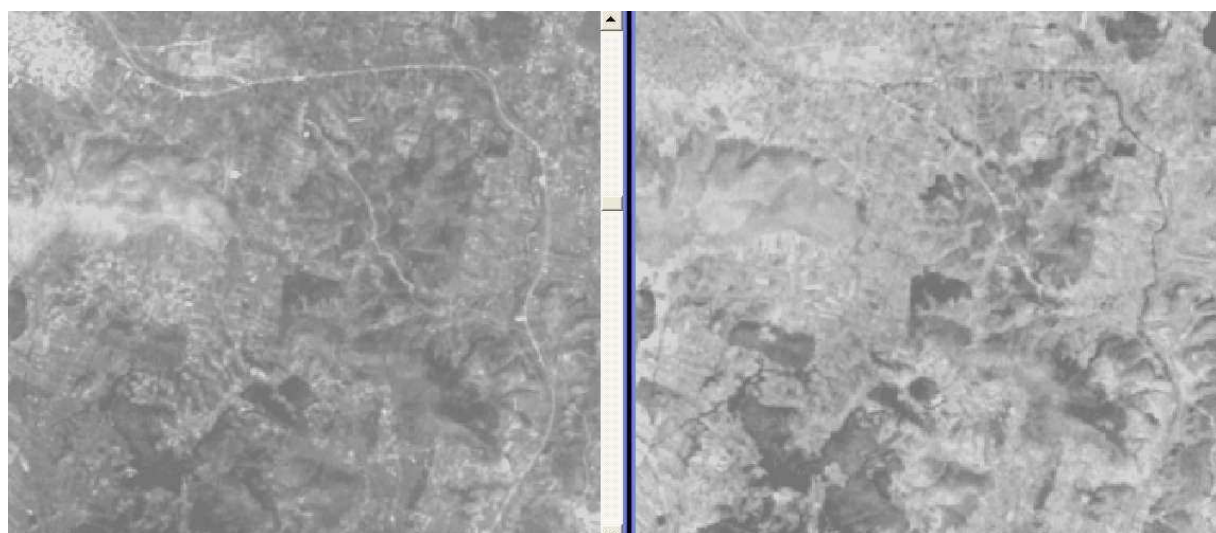
TM4/TM5 TM5/TM7	Η καμπύλη φασματικής απόκρισης των φυτών μεταβάλλεται με την αύξηση του ποσοστού της υγρασίας των φύλλων. Λόγοι μεταξύ φασματικών περιοχών στο 1.6 μm (μέγιστο) και 2.2μm (ελάχιστο) θα αυξάνουν όταν η υγρασία των φύλλων αυξάνει. (εικόνα 29)
TM3/TM1	Η καμπύλη φασματικής απόκρισης των οξειδίων του σιδήρου χαρακτηρίζεται από μία πλατιά ζώνη απορρόφησης σε μήκη κύματος μικρότερα των 0,55 μm. Η ύπαρξη των οξειδίων πολλές φορές καμουφλάρεται από την ανάμιξη με χαλαζία που ανακλά εξίσου υψηλά σε όλα τα μήκη κύματος. Η διάκριση των εικονοστοιχείων που περιέχουν προσμίξεις οξειδίων του σιδήρου και χαλαζία από αυτά που περιέχουν μόνο χαλαζία επιτυγχάνεται με το λόγο TM3 (κόκκινο) προς TM1 (μπλε), αφού αυτά που περιέχουν οξείδια του σιδήρου θα εμφανίζονται πιο φωτεινά. (εικόνα 30)
TM7/TM5	Ορυκτά που συσχετίζονται με άργιλο (clay, Al-OH, Mg-OH) παρουσιάζουν ζώνη φασματικής απορρόφησης στο κανάλι TM7. Στην εικόνα που αντιστοιχεί στο λόγο TM7/TM5 τα αργιλούχα ορυκτά θα φαίνονται πιο σκούρα. (εικόνα 31)
TM2/TM1	Διάκριση υδάτινων επιφανειών ως προς το βάθος (όσο πιο σκούρα είναι η υδάτινη επιφάνεια τόσο μεγαλύτερο το βάθος). (εικόνα 32)



(α)

(β)

**Εικόνα 29:** (α) Η περιοχή του Υμηττού όπως απεικονίζεται από το κανάλι 4 του θεματικού χαρτογράφου LANDSAT, (β) Η ίδια περιοχή μετά την εφαρμογή του λόγου 4/5. Η υγρασία στις περιοχές βλάστησης απεικονίζεται με άσπρο χρώμα.



(α)

(β)

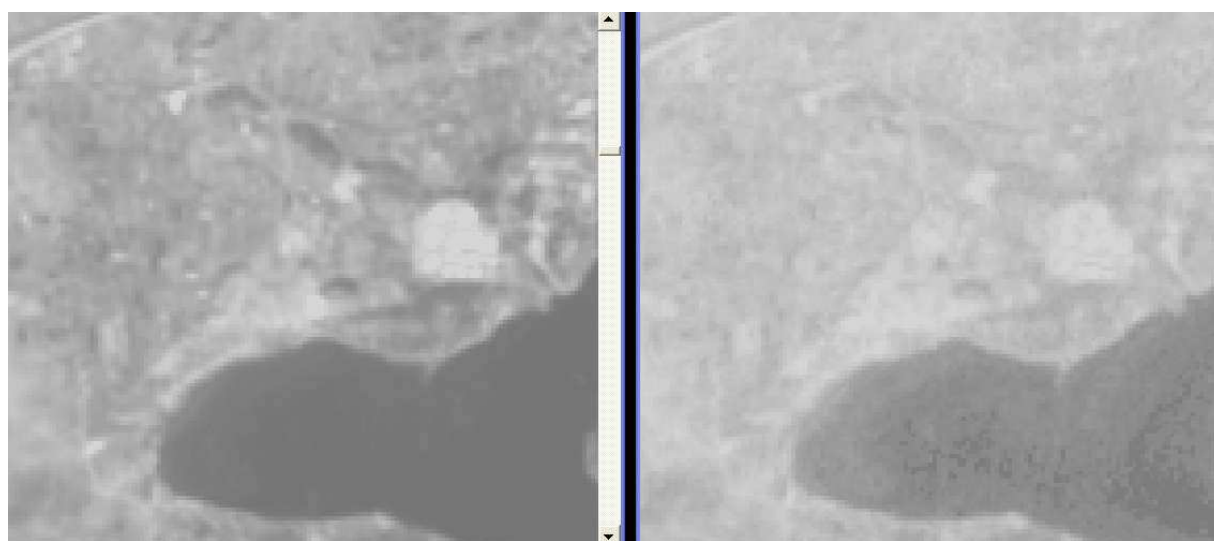
**Εικόνα 30:** (α) Η περιοχή της Λαυρεωτικής όπως απεικονίζεται από το κανάλι 1 του θεματικού χαρτογράφου LANDSAT, (β) Η ίδια περιοχή μετά την εφαρμογή του λόγου 3/1. Τα οξειδία του σιδήρου απεικονίζονται με άσπρο χρώμα.



(α)

(β)

Εικόνα 31: (α) Το όρος της Πεντέλης όπως απεικονίζεται από το κανάλι 1 του θεματικού χαρτογράφου LANDSAT, (β) Η ίδια περιοχή μετά την εφαρμογή του λόγου 7/5- Τα αργιλούχα ορυκτά φαίνονται πιο σκούρα.



(α)

(β)

Εικόνα 32: (α) Η περιοχή της Σαλαμίνας όπως απεικονίζεται από το κανάλι 3 του θεματικού χαρτογράφου LANDSAT, (β) Η ίδια περιοχή μετά την εφαρμογή του λόγου 2/1- Διακρίνονται οι υδάτινες επιφάνειες ως προς το βάθος (όσο πιο σκούρα είναι η υδάτινη επιφάνεια τόσο μεγαλύτερο το βάθος).

### **3.4 Ψευδέγχρωμα σύνθετα**

Οι εικόνες-λόγοι μπορούν ακόμα να αξιοποιηθούν για να δημιουργήσουν ψευδέγχρωμα σύνθετα συνδυάζοντας τρεις μονοχρωματικούς λόγους καναλιών. Έγχρωμα σύνθετα εικόνων - λόγων παρουσιάζουν ένα διπλό πλεονέκτημα, συνδυάζοντας δεδομένα από περισσότερα από δύο κανάλια, και παρουσιάζοντας τα δεδομένα με χρώματα, κάτι το οποίο διευκολύνει τη Φωτοερμηνεία των μικρών διαφορών της φασματικής ανακλαστικότητας. Η επιλογή των λόγων που μπορούν να περιληφθούν σ' ένα έγχρωμο σύνθετο, καθώς και η επιλογή των χρωμάτων, με τα οποία θα παρουσιαστούν οι λόγοι αυτοί, είναι αρκετά δύσκολη. Για παράδειγμα, εάν εξαιρέσουμε τους αντιμεταθετικούς λόγους είκοσι (20) έγχρωμοι συνδυασμοί είναι δυνατοί, όταν οι 6 πρωταρχικοί λόγοι του Landsat MSS απεικονιστούν τρεις κάθε φορά. Οι δεκαπέντε πρωταρχικοί λόγοι των μη θερμικών καναλιών του Landsat TM έχουν ως αποτέλεσμα 455 διαφορετικούς συνδυασμούς (Αργιαλάς, 2009).

### **3.5 Υπολογισμός και ερμηνεία εικόνων-λόγων**

Η δημιουργία και ερμηνεία των εικόνων - λόγων θα πρέπει να γίνεται με προσοχή. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι τέτοιες εικόνες σαφώς δε λαμβάνουν υπόψη τις τιμές φωτεινότητας της περιοχής μελέτης. Δηλαδή, ανόμοια υλικά με διαφορετικές απόλυτες εντάσεις ακτινοβολίας, αλλά όμως έχοντας παρόμοιες κλίσεις στις καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητάς τους, μπορεί να εμφανιστούν ταυτόσημα. Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα ενοχλητικό, όταν αυτά τα υλικά είναι παρακείμενα, και παρόμοιας υφής. Ένας τρόπος για την μείωση αυτού του προβλήματος είναι η χρήση υβριδικών έγχρωμων λόγων καναλιών. Τα υβριδικά έγχρωμα σύνθετα εικόνων-λόγων δημιουργούνται, απεικονίζοντας δύο εικόνες - λόγους σε δύο από τα κύρια χρώματα, και συγχρόνως, χρησιμοποιώντας το κύριο τρίτο χρώμα για την απεικόνιση ενός συγκεκριμένου καναλιού της εικόνας. Αυτή η διαδικασία αποκαθιστά ένα μέρος της χαμένης πληροφορίας που εμπεριέχεται στην απόλυτη ένταση της ακτινοβολίας, και μερικές από τις τοπογραφικές λεπτομέρειες που μπορεί να είναι χρήσιμες για το διαχωρισμό μεταξύ διάφορων χαρακτηριστικών. Όπως θα επεξηγήσουμε αργότερα, ο έγχρωμος μετασχηματισμός ένταση απόχρωση - κορεσμός (Intensity-Hue-Saturation, HIS) μπορεί επίσης χρησιμοποιηθεί για αυτό το σκοπό.

Μία σημαντική διαδικασία που προηγείται της δημιουργίας των εικόνων -λόγων είναι η αποκατάσταση του θορύβου, διότι οι λόγοι των καναλιών ενισχύουν τα υπάρχοντα πρότυπα



Θορύβου, τα οποία είναι ασυσχέιστα στις επιμέρους εικόνες. Περαιτέρω, οι λόγοι αντισταθμίζουν επιδράσεις του φωτισμού που είναι πολλαπλασιαστικές, δηλαδή, διαίρεση των ψηφιακών τιμών φωτεινότητας η ακτινοβολίας για δύο κανάλια, εξαλείφει μόνον εκείνους τους παράγοντες, οι οποίοι ενεργούν κατά ίσον τρόπο στα κανάλια, και όχι αυτούς οι οποίοι είναι προσθετικοί. Για παράδειγμα, η ατμοσφαιρική επίδραση είναι ένας προσθετικός παράγοντας, ο οποίος θα πρέπει να έχει αφαιρεθεί πριν τους λόγους, ώστε να λέγουμε αποδεκτά αποτελέσματα. Εναλλακτικά, λόγοι οι οποίοι περιλαμβάνουν διαφορές μεταξύ καναλιών, ή / και αθροίσματα μεταξύ καναλιών, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν στη βελτίωση της Φωτοερμηνείας σε τέτοιου είδους εφαρμογές.

Ο τρόπος με τον οποίο οι λόγοι υπολογίζονται και απεικονίζονται, επίσης θα έχει μεγάλη επίδραση στις πληροφορίες μίας εικόνας-λόγου. Για παράδειγμα, ο λόγος μεταξύ των πρωτογενών ψηφιακών τιμών ενός εικονοστοιχείου, συνήθως θα είναι διαφορετικός από αυτόν που θα υπολογιζόταν, εάν χρησιμοποιούνταν η ένταση ακτινοβολίας για το αυτό εικονοστοιχείο. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο ότι οι καμπύλες απόκρισης των ανιχνευτών για τα δύο κανάλια συνήθως θα έχουν διαφορετικά όφσεντ, τα οποία συνήθως δημιουργούν προσθετικές επιδράσεις επί των δεδομένων. Αυτή η περίπτωση είναι συναφής με τις διαφορές που θα ληφθούν με τους λόγους δύο θερμοκρασιών, εάν αυτές βρίσκονται στην κλίμακα Fahrenheit και στην κλίμακα Celsius. Κάποιος πειραματισμός μπορεί να είναι αναγκαίος πριν ο φωτοερμηνευτής να μπορέσει να προσδιορίσει ποια μορφή λόγου είναι κατάλληλη για μία συγκεκριμένη εφαρμογή.

Ας σημειωθεί ακόμα ότι οι λόγοι μπορεί να παρουσιάσουν υπολογιστικά προβλήματα, διότι μπορεί μία διαίρεση με μηδενική ψηφιακή τιμή να αποδώσει την τιμή του απείρου σ' ένα λόγο. Συγχρόνως, οι λόγοι που τείνουν να είναι μικρότεροι της μονάδας, είναι συνήθεις, και η στρογγυλοποίησή τους σε ακέραιες τιμές θα συμπιέσει τις περισσότερες πληροφορίες των λόγων στις ψηφιακές τιμές 0 ή 1. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να κανονικοποιηθούν τα αποτελέσματα των υπολογισμών των λόγων, έτσι ώστε να συσχετιστούν με τις τιμές των τόνων του γκρι της οθόνης απεικόνισης. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η χρήση ενός αλγόριθμου της μορφής:

$$DN'=R*\arctan(DNx/DNy)$$

όπου:

DN'= ψηφιακός αριθμός της εικόνας - λόγου,

R= παράγοντας κλίμακας, ώστε να κανονικοποιήσει τους λόγους σε μία κατάλληλη ακέραια κλίμακα,

$\arctan (DN_x/DN_y)$ = γωνία (σε ακτίνια), της οποίας η εφαπτομένη είναι ο λόγος των ψηφιακών τιμών στα κανάλια x και y. Εάν η ψηφιακή τιμή  $DN_y = 0$ , τότε η γωνία θεωρείται ότι είναι  $90^\circ$ .

Στην παραπάνω εξίσωση, η γωνία, της οποίας η εφαπτομένη είναι ίση με το λόγο των δύο καναλιών, μπορεί να έχει εύρος από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$ , ή από 0 μέχρι περίπου 1.571 rad. Συνεπώς το  $DN'$  μπορεί να κυμαίνεται περίπου από 0 μέχρι περίπου 1.571R. Εάν χρησιμοποιηθεί μία 8-bit οθόνη απεικόνισης, το R συνήθως επιλέγεται ίσο με 162.3, και οι ψηφιακές τιμές του λόγου  $DN'$  θα κυμαίνονται στο εύρος από 0 έως 255.

### **3.6 Συστήματα επεξεργασίας εικόνων**

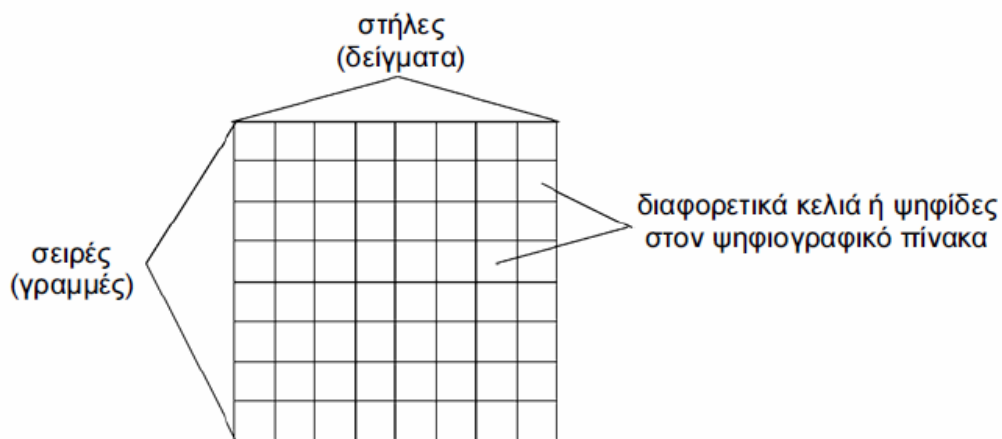
Ένα ψηφιακό σύστημα επεξεργασίας εικόνας αποτελείται από τον υπολογιστή και το λογισμικό που είναι απαραίτητο για την ανάλυση και επεξεργασία της εικόνας. Λογισμικά που κάνουν την πιο πάνω δουλειά, υπάρχουν αρκετά, το καθένα με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Τέτοια είναι το ERDAS Imagine, το T.N.T mips, το Idrisi, το eCognition, το ER Mapper καθώς και άλλα από διάφορες χώρες, πανεπιστήμια και εταιρείες. Χωρίς την χρήση του κατάλληλου λογισμικού δεν μπορεί να γίνει εύκολα ανάλυση και ερμηνεία των πολυφασματικών ψηφιακών δορυφορικών εικόνων, τουλάχιστο όχι στο βάθος και με την ταχύτητα που θέλουμε.

#### **3.6.1 Έννοιες Επεξεργασίας εικόνας**

Ο όρος ψηφιακή επεξεργασία εικόνας (digital image processing) αναφέρεται στη χρήση ενός υπολογιστικού συστήματος για τη διαχείριση δεδομένων εικόνας που είναι αποθηκευμένα σε μία ψηφιακή μορφή. Ο στόχος της επεξεργασίας εικόνας για εφαρμογές των επιστημών της γης είναι η βελτίωση των γεωγραφικών δεδομένων σε ψηφιακή μορφή έτσι ώστε να γίνουν περισσότερο ερμηνευτικά στο χρήστη, να εξαχθεί ποσοτική πληροφορία και να επιλυθούν προβλήματα.

Μία ψηφιακή εικόνα είναι αποθηκευμένη ως ένας δισδιάστατος πίνακας (ή πλέγμα) από μικρά τμήματα που ονομάζονται ψηφίδες ή εικονοστοιχεία (pixels - picture elements) και κάθε

ψηφίδα χωροταξικά αντιστοιχεί σε μία περιοχή (τμήμα) της επιφάνειας της γης. Αυτή η δομή πίνακα ή πλέγματος είναι γνωστή κι ως «ράστερ» (raster) και για το λόγο αυτό τα δεδομένα εικόνας συχνά αναφέρονται ως ράστερ δεδομένα. Τα ψηφιογραφικά δεδομένα είναι διατεταγμένα σε οριζόντιες σειρές που ονομάζονται γραμμές (lines) και κάθετες στήλες που ονομάζονται δείγματα (samples). Κάθε ψηφίδα της ψηφιογραφικής εικόνας αναπαριστάται από ένα ψηφιακό αριθμό (digital number) ή DN.



Ανάλογα με τη πηγή δεδομένων, οι τιμές DN των εικόνων μπορούν να αναπαριστούν πολλά διαφορετικά είδη δεδομένων. Οι τιμές DN για δορυφορικά δεδομένα όπως Landsat και SPOT, αντιπροσωπεύουν την ένταση του ανακλώμενου φωτός στο ορατό, υπέρυθρο καθώς και σε άλλα μήκη κύματος. Για δεδομένα εικονοληπτικού ραντάρ (Synthetic Aperture Radar - SAR), οι τιμές DN αντιπροσωπεύουν την ένταση ενός παλμού του ραντάρ που επιστρέφει στην κεραία. Για ψηφιακά μοντέλα εδάφους (digital terrain models - DTMs), οι τιμές DN αντιπροσωπεύουν υψόμετρο εδάφους. Όλα αυτά τα είδη δεδομένων μπορούν να αποθηκευτούν σε μία ψηφιογραφική μορφή ανεξάρτητα του είδους της πηγής τους.

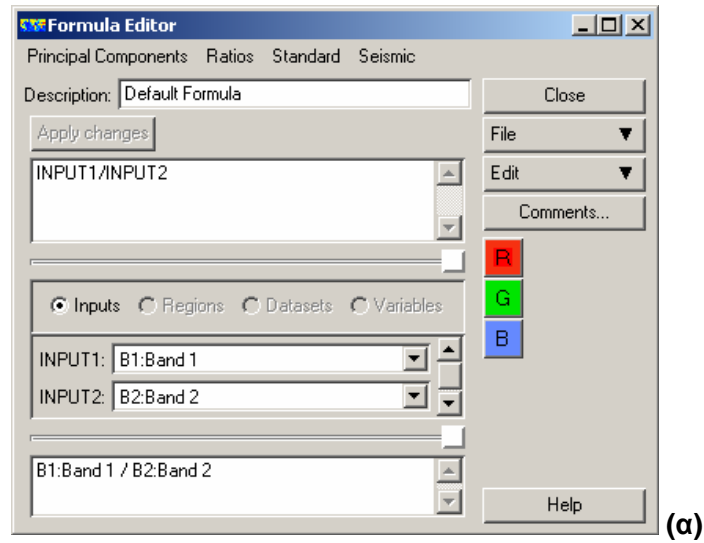
Το ER Mapper, με την εφαρμογή μαθηματικών μετασχηματισμών στους ψηφιακούς αριθμούς, μπορεί να βελτιώσει τα δεδομένα εικόνας για να τονίσει και να εξάγει λεπτομερειακή πληροφορία, πράγμα που δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί με τις κλασσικές αναλογικές τεχνικές ερμηνείας. Αυτός είναι ο λόγος που έχει καταστήσει την επεξεργασία εικόνας σε ένα τόσο ισχυρό εργαλείο για όλα τα είδη εφαρμογών των επιστημών της γης.

Πολλά σύνολα δεδομένων εικόνας έχουν πολλαπλά κανάλια (bands) ή επιθέματα (layers) δεδομένων που καλύπτουν την ίδια γεωγραφική περιοχή, καθένα από τα οποία περιέχει ένα διαφορετικό είδος πληροφορίας. Για παράδειγμα, μία δορυφορική εικόνα SPOT 1IRV- XS έχει τρία κανάλια δεδομένων, καθένα από τα οποία καταγράφει ανάκλαση διαφορετικού μήκους κύματος φωτός από την επιφάνεια της γης. Επειδή κάθε κανάλι καταγράφει ανάκλαση σε ένα διαφορετικό τμήμα του φάσματος, αυτά τα είδη δεδομένων συχνά καλούνται πολυφασματικά (multi-spectral) δεδομένα. Έχουν αναπτυχθεί πολλές εξαιρετικές τεχνικές επεξεργασίας εικόνας που συνδυάζουν διάφορα κανάλια από πολυφασματικές εικόνες για να τονίσουν συγκεκριμένα είδη πληροφοριών της επιστήμης της γης όπως: πυκνότητα βλάστησης, παράμετροι ποιότητας νερού και είδη ορυκτών που υπάρχουν στην επιφάνεια της γης.

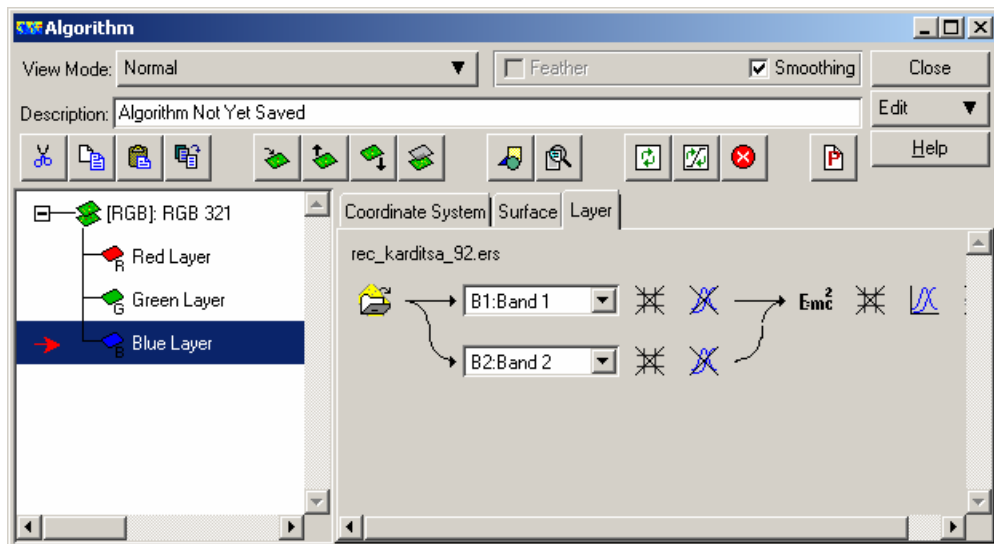
### 3.6.2 Δημιουργία λόγων στο λογισμικό του ER Mapper

- Ανοίγουμε το πλαίσιο διαλόγου Formula που παρουσιάζει τον προκαθορισμένο τύπο "INPUT 1".

Στο παράθυρο τύπου "Generic formula" τροποποιούμε το κείμενο του τύπου έτσι ώστε να γράφει :  $input1/input2$ , όπου  $i1$  και  $i2$  είναι το κανάλι 1 και το κανάλι 2 και πατάμε το κουμπί Apply changes. Ο τύπος αυτός λέει στο ER Mapper να διαιρέσει το κανάλι της εικόνας που έχει εκχωρηθεί στην είσοδο 1 με το κανάλι που έχει εκχωρηθεί στην είσοδο 2. Τα κανάλια 1 και 2 μπορούμε να τα αλλάξουμε και να διαλέξουμε αυτά που εξυπηρετούν τις ανάγκες μας, ούτως ώστε να δημιουργήσουμε τους κατάλληλους λόγους (εικόνα 33).



(α)



(β)

Εικόνα 33: (α)Το πλαίσιο του παραθύρου Formula Editor, (β)Το παράθυρο του αλγορίθμου μετά την εφαρμογή του λόγου

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Το περιβάλλον Wiki στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Ε.Μ.Π.

---

Το περιβάλλον Wiki είναι ένας τύπος ιστότοπου, που επιτρέπει σε οποιονδήποτε να δημιουργήσει και να επεξεργαστεί τις σελίδες του. Σε ένα Wiki, διάφοροι χρήστες μπορούν να γράφουν μαζί με τρόπο που να διευκολύνεται η συνεργασία πολλών ατόμων για τη συγγραφή ενός έργου. Αν ένα άτομο κάνει κάποιο λάθος, το επόμενο μπορεί να το διορθώσει. Μπορεί επίσης να προσθέσει κάτι νέο στην σελίδα, πράγμα που επιτρέπει την συνεχή βελτίωση και ενημέρωση. Επίσης στα Wiki μπορεί να γίνεται δημόσια συζήτηση (<http://el.wikipedia.org/wiki/Wiki>). Το διασημότερο από τα Wiki, είναι η γνωστή και πολύτιμη σε όλους μας Wikipedia.

Ο σκοπός και οι κανόνες είναι διαφορετικοί σε διάφορα Wiki. Για παράδειγμα σκοπός της Wikipedia είναι να γραφούν άρθρα που σχηματίζουν μια εγκυκλοπαίδεια. Ο σκοπός δημιουργεί και κανόνες συμπεριφοράς π.χ. στην Wikipedia δεν γίνεται γενική συζήτηση αφού δεν βοηθά στην συγγραφή άρθρων. Τα περισσότερα Wikis επιτρέπουν την πρόσβαση των χρηστών χωρίς κανέναν απολύτως περιορισμό. Έτσι όλοι έχουν το δικαίωμα να συμβάλουν στη συγγραφή του περιεχομένου της ιστοσελίδας χωρίς να υποβληθούν σε διαδικασία εγγραφής/σύνδεσης όπως συνήθως επιβάλλεται σε σελίδες συζητήσεων π.χ. στα περισσότερα forum. Αυτό σημαίνει ότι σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι δυνατό να ελεγχθεί η εγκυρότητα των πληροφοριών των Wiki σελίδων.

Οι εργασίες που επιλέχθηκαν και αποδελτιώθηκαν για τις ανάγκες της διπλωματικής αυτής εργασίας, «εισήχθησαν» 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 project της Wiki του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Ε.Μ. Πολυτεχνείου, αποτελεί μια επιστημονική εργασία η οποία απαιτείται να συνεχιστεί, να εμπλουτίζεται συνεχώς με διεθνή βιβλιογραφικά στοιχεία αλλά και πρακτικές, εμπειρικές εφαρμογές και γενικά αποτελεί ένα εξαιρετο, αξιόπιστο και εκπαιδευτικά κατάλληλο βοήθημα στην επιμόρφωση ενός νέου μηχανικού.

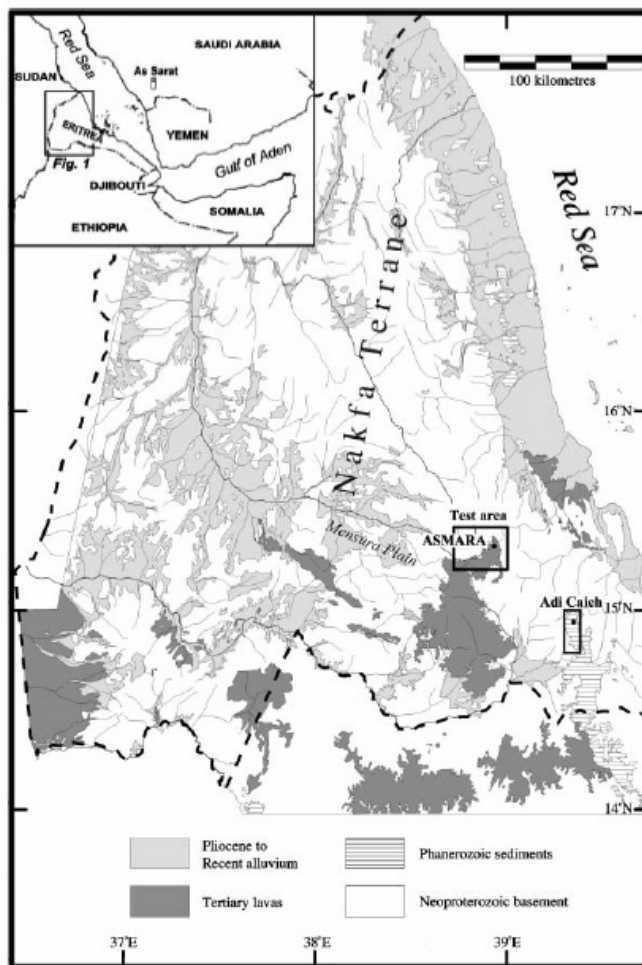
## **4.1 Διάκριση των λατερικών πετρωμάτων χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα από τους δορυφόρους Landsat, Aster και Ali – Παραδείγματα από την Ερυθραία και την Αραβία (Deller Andrews M.E., 2006)**

### **4.1.1 Αντικείμενο και στόχος μελέτης**

Τα λατερικά πετρώματα καλύπτουν περίπου το 33% της επιφάνειας της γης. Η μελέτη αυτή παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο οι φασματικές ιδιότητες των αργιλικών και σιδηρικών ορυκτών, χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση και χαρτογράφηση των λατερικών πετρωμάτων και της σύστασής τους, εφαρμόζοντας τεχνικές ψηφιακής τηλεπισκόπησης. Η χρησιμοποίηση δορυφορικών δεδομένων και τεχνικών επεξεργασίας εικόνας αποδεικνύεται ιδανική για την αποτελεσματική χαρτογράφηση των λατεριτών σε μεγάλες περιοχές με δύσβατο έδαφος, έτσι ώστε να γίνει αξιολόγηση της οικονομικής σημασίας τους. Παράλληλα, η χαρτογράφηση της διανομής των λατεριτών σε σχέση με την τοπογραφία ρίχνει φως στην τεκτονική εξέλιξη της ΒΑ Αφρικής και παρέχει ενδείξεις για το αρχαίο επίγειο κλίμα.

### **4.1.2 Περιοχή μελέτης**

Η περιοχή των δοκιμών (εικόνα 34) καλύπτει μια έκταση των 700 km<sup>2</sup> και βρίσκεται 100 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της Ασμάρα, πρωτεύουσα της Ερυθραίας. Συνορεύει δυτικά με την πεδιάδα της Mensuru και ανατολικά με την Ερυθρά θάλασσα. Πρόκειται για μια περιοχή με ελαφριά βλάστηση που κυριαρχείται από έντονους γκρεμούς και πλαγιές, ιδανική για λεπτομερείς εδαφικές μελέτες της ορυκτολογικής σύστασης των λατερικών πετρωμάτων, αλλά και για την τηλεπισκόπηση της.



Εικόνα 34: Περιοχή μελέτης.

#### 4.1.3 Συλλογή δεδομένων

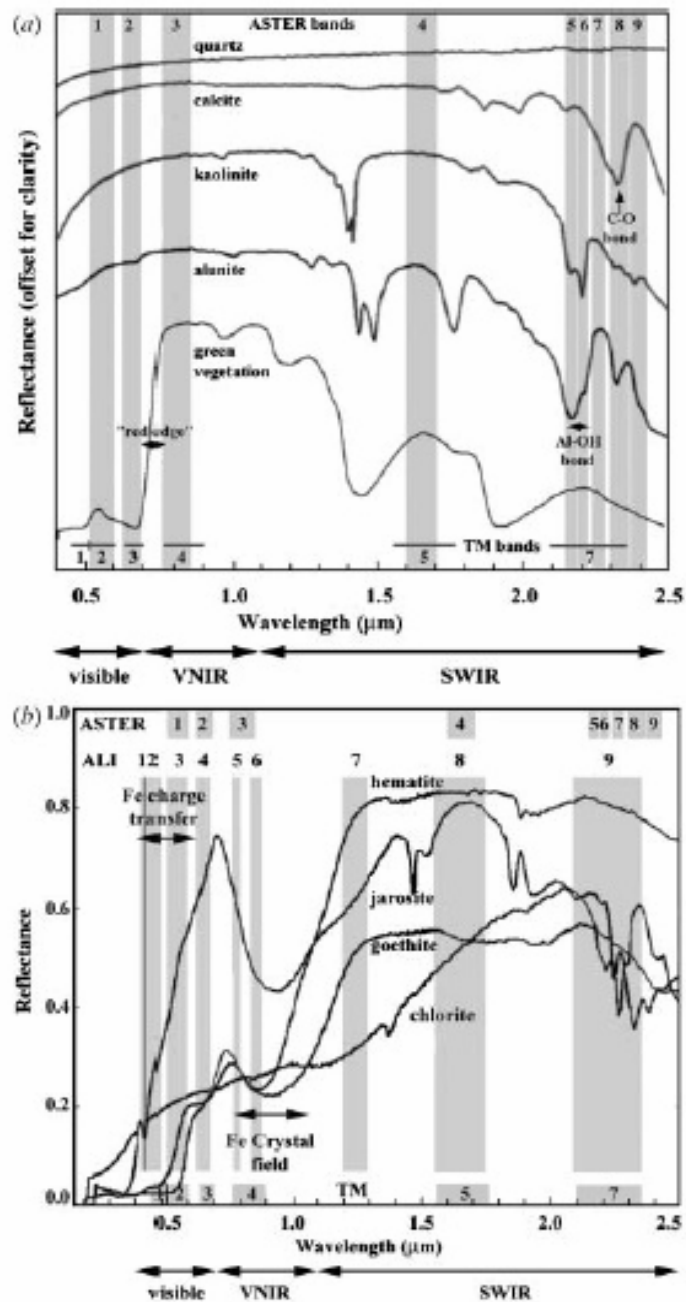
Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής: μια ψηφιακή εικόνα Landsat 5 TM, μια ψηφιακή εικόνα Landsat – 7 ETM, μια ψηφιακή εικόνα Level – 1B Aster και μια ψηφιακή εικόνα Ali. Σε όλες της ψηφιακές απεικονίσεις που χρησιμοποιήθηκαν, έγινε γεωαναφορά των εικόνων και καταχωρήθηκαν σε συντεταγμένες UTM. Όλες οι εικόνες αποκτήθηκαν κατά την περίοδο της ξηρασίας, έτσι ώστε να μειωθεί η επιπλοκή από την επίδραση της βλάστησης κατά την φασματική επεξεργασία των εικόνων. Επίσης πραγματοποιήθηκαν εδαφικές και γεωλογικές μελέτες στην περιοχή. Το αποτέλεσμα ήταν να καθοριστούν 200 τοποθεσίες για την επικύρωση των δορυφορικών δεδομένων και την επεξεργασία τους. Από αυτές τις τοποθεσίες λήφθηκαν



δείγματα για τη μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης των λατεριτών, έτσι ώστε μετέπειτα να γίνει σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των ψηφιακών απεικονίσεων.

#### 4.1.4 Μεθοδολογία

Γίνεται επιλογή των στοιχείων και τεχνικών επεξεργασίας εικόνας που θα χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση και χαρτογράφηση των διαφόρων λατερικών πετρωμάτων που υπάρχουν στην περιοχή, η οποία βασίζεται στις ξεχωριστές φασματικές καμπύλες απόκρισης φωτεινότητας των ορυκτών που χαρακτηρίζουν των λατεριτών (εικόνα 35). Επιλέγονται τα κανάλια από κάθε δορυφόρο που παρουσιάζουν καλύτερα τα διακριτικά φασματικά χαρακτηριστικά των ορυκτών από τα οποία αποτελούνται οι λατερίτες. Στη συνέχεια πραγματοποιούνται συνδυασμοί καναλιών και λόγων καναλιών για την ανάδειξη των φασματικών χαρακτηριστικών του κάθε φασματικού στόχου – ορυκτού. Διαλέγονται συνδυασμοί καναλιών και λόγοι καναλιών που ξεχωρίζουν φασματικά τον αιματίτη, το γαιίτη και τον καολινίτη. Ουσιαστικά οι λατερίτες που βρίσκονται στην Ερυθραία είναι φασματικές αναμίξεις αυτών των τριών φασματικών στόχων, αφού αυτά είναι τα τρία κυριότερα ορυκτά από τα οποία αποτελούνται. Τα αποτελέσματα αυτών των συνδυασμών είναι ψηφιακές εικόνες που απεικονίζονται μέσω προσθετικών έγχρωμων σύνθετων, χρησιμοποιώντας τα τρία κύρια χρώματα, δηλαδή το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε (R, G, B). Σε όποια έγχρωμα σύνθετα κρίνεται απαραίτητο εφαρμόζονται τεχνικές ενίσχυσης της αντίθεσης της φωτεινότητάς τους, μεταβάλλοντας κάθε μία από τις τρεις συνιστώσες (την κόκκινη, τη μπλε και την πράσινη), ανεξάρτητα της μίας από την άλλη, με σκοπό τη βελτίωση του χρωματικού κορεσμού των εικόνων. Οι φασματικές υπογραφές αυτών των ορυκτών, οι οποίες αναγνωρίζονται από την απόχρωση που έχουν στις ψηφιακές εικόνες ύστερα από την διαδικασία επεξεργασίας που έχουν υποστεί, χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των λατερικών πετρωμάτων. Έπειτα γίνεται έλεγχος και επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των ψηφιακών εικόνων με τις εδαφικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή. Κάθε χρώμα ερμηνεύεται ως μία μονάδα χάρτη–εικονοστοιχείου και ένας γεωλογικός χάρτης παράγεται από ψηφιοποίηση επί της οθόνης των εν λόγω μονάδων–εικονοστοιχείων. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για όλη αυτή τη διαδικασία είναι το TNT Lite και το TNT Mips.



Εικόνα 35: (α) Φασματικές καμπύλες των ορυκτών και της βλάστησης σε σχέση με τη φασματική απορρόφηση στα κανάλια του Landsat TM και του Aster (β) Φασματικές καμπύλες των ορυκτών πλούσια σε σίδηρο και χλωρίτη σε σχέση με τη φασματική απορρόφηση στα κανάλια του Landsat TM ,του Aster και του Ali

#### 4.1.5 Αποτελέσματα επεξεργασίας Landsat TM εικόνων

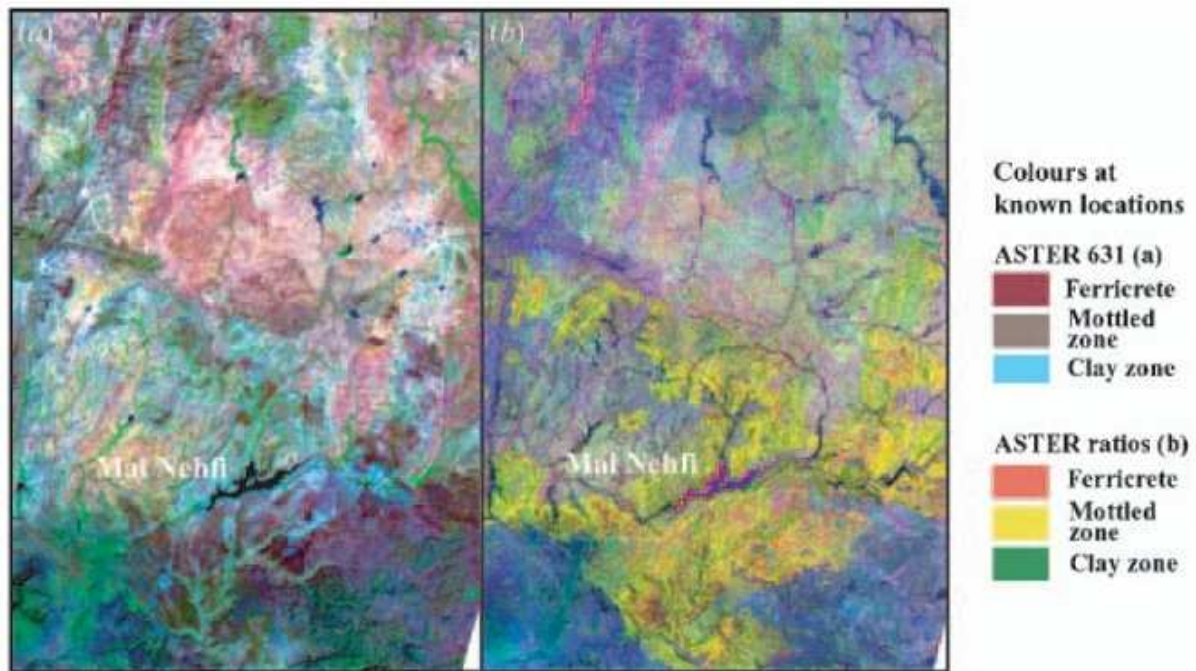
Τα κανάλια που παρουσιάζουν καλύτερα τα διακριτικά φασματικά χαρακτηριστικά των λατερικών ορυκτών είναι τα TM2, TM3, TM4, TM5, TM7 σε διάφορους RGB συνδυασμούς καναλιών και RGB εικόνων-λόγων. Συγκεκριμένα το TM2 ξεχωρίζει τον αιματίτη από τον γκετίτη. Το TM3 παρουσιάζει υψηλή ανάκλαση για τον χαλαζία και τον καολινίτη. Τα οξειδία του σιδήρου παρουσιάζουν ζώνη φασματικής απορρόφησης στο TM4. Το TM5 λόγω της υψηλής ανάκλασης που παρουσιάζει σε όλα τα ορυκτά και της χαμηλής ανάκλασης για τη βλάστηση, είναι χρήσιμος για συνδυασμούς σε λόγους καναλιών. Ορυκτά που συσχετίζονται με άργιλο (Clay – EA – OH, Mg – OH) παρουσιάζουν ζώνη φασματικής απορρόφησης στο κανάλι TM7. Η Landsat TM 7-4-2 (R, G, B) εικόνα παρέχει μια εξαιρετική βάση (εικόνα 36) για τη γενικότερη γεωλογική ερμηνεία της περιοχής και την ανίχνευση λατερικών πετρωμάτων. Η Landsat TM 5/4-3/2-7/5 (R, G, B) εικόνα-λόγος ξεχωρίζει τα λατερικά πετρώματα με διαφορετική ποσοτική σύσταση σε οξειδία του σιδήρου. Η Landsat TM 7-5-4 (R, G, B) ξεχωρίζει τα λατερικά πετρώματα από τους βασάλτες. Η Landsat TM PC2 – PC2 – PC4 εικόνα είναι χρήσιμη για τη χαρτογράφηση και ανίχνευση των λατεριτών σε αστικοποιημένες περιοχές. Στη συγκεκριμένη εικόνα εφαρμόστηκε μετασχηματισμός σε κύριες συνιστώσες (PCA) με σκοπό να εξαλείψουν ή να ελαττώσουν σε ένα βαθμό, τα προβλήματα που παρουσιάζονται από τη συσχέτιση μεταξύ των τριών καναλιών (του TM2, του TM3 και του TM4).



Εικόνα 36: Landsat TM 7-4-2 (R, G, B) έγχρωμο σύνθετο της περιοχής μελέτης

#### 4.1.6 Αποτελέσματα επεξεργασίας Aster εικόνων

Ο δορυφόρος Aster παρέχει σχεδόν ισοδύναμες εικόνες με αυτές του δορυφόρου Landsat όσον αφορά στη χαρτογράφηση και την ανίχνευση των λατερικών πετρωμάτων. Τα πλεονεκτήματά του έναντι του Landsat είναι ότι έχει χωρική διακριτική ικανότητα της τάξεως των 15 μέτρων, ενώ ο Landsat έχει χωρική διακριτική ικανότητα της τάξεως των 30 μέτρων κάτι που είναι πολύ χρήσιμο για τοπογραφικές διεργασίες αλλά και για εδαφικές παρατηρήσεις. Επίσης τα ορυκτά που συσχετίζονται με την άργιλο (Al – OH – Mg – OH) παρουσιάζουν ζώνη φασματικής απορρόφησης σε τέσσερα κανάλια του δορυφόρου Aster (6,7,8,9), έναντι ενός του Landsat με αποτέλεσμα η διάκρισή τους να είναι καλύτερη στις ψηφιακές εικόνες του Aster. Η διάκριση των λιθολογικών διαφορών στις δορυφορικές απεικονίσεις του Landsat, είναι καλύτερη όταν η επιφάνεια της περιοχής έχει χαμηλή βλαστική κάλυψη, κάτι που δεν επηρεάζει σε τέτοιο βαθμό τις απεικονίσεις από το δορυφόρο Aster. Το κανάλι 6 του Aster ξεχωρίζει ικανοποιητικά τα ορυκτά που σχετίζονται με άργιλο. Το κανάλι 3 του Aster παρουσιάζει υψηλές τιμές ανάκλασης για τον καολινίτη. Τα οξείδια του σιδήρου παρουσιάζουν ζώνη φασματικής απορρόφησης στο κανάλι 4 . Η Aster 6-3-1 (R, G, B) (εικόνα 37) εικόνα είναι παρόμοια με τη Landsat TM 7-4-2 (R, G, B) εικόνα. Παρέχει μία εξαιρετική βάση για τη γενικότερη ερμηνεία της περιοχής και διακρίνεται και ο καολινίτης. Η Aster 4/3 – 2/1 – 6/4 (R, G, B) εικόνα–λόγος ξεχωρίζει τα οξείδια του σιδήρου. Σε γενικές γραμμές οι Landsat εικόνες–λόγοι δίνουν καλύτερα αποτελέσματα από τις Aster εικόνες–λόγους.



Εικόνα 37: (α) Aster 631 έγχρωμο σύνθετο (β) ASTER 4/3,2/1,6/4 έγχρωμο σύνθετο.

#### 4.1.7 Αποτελέσματα επεξεργασίας ΕΟ – 1 ALi εικόνων

Τα ALi δορυφορικά δεδομένα είναι πιο δαπανηρά από αυτά του Aster και του Landsat και δεν είναι άμεσα διαθέσιμα εκτός αν πραγματοποιηθεί αίτηση απόκτησης των δεδομένων. Τα κανάλια 1,2,3 και 4 παρέχουν πιο ολοκληρωμένη κάλυψη των οξειδίων του σιδήρου και οι ζώνες φασματικής απορρόφησής του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λιθολογική διάκριση του αιματίτη, του γαιίτη και του ιαροσίτη. Τρία από το εννέα κανάλια του ALi (5,6,7) είναι πιο κατάλληλα από αυτά του Landsat και του Aster, για την κάλυψη της κρυσταλλικής απορρόφησης Fe<sub>3</sub> του αιματίτη, γαιίτη και του ιαροσίτη. Η ALi 7-6-5 (R, G, B) (εικόνα 38) εικόνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την ανίχνευση σιδήρου.



Εικόνα 38: Ali 765 Έγχρωμη σύνθετη εικόνα της περιοχής μελέτης. Τα λατερικά πετρώματα πλούσια σε σίδηρο φαίνονται με κόκκινο.

#### 4.1.8 Συμπεράσματα

Η αναγνώριση και χαρτογράφηση των λατερικών πετρωμάτων είναι εφικτή, με τη χρησιμοποίηση δορυφορικών δεδομένων από τους δορυφόρους Landsat TM, Aster και ALi. Οι διαφοροποιήσεις ορυκτών που υπάρχουν στα λατερικά πετρώματα μπορούν να διακριθούν ικανοποιητικά λόγω των διακριτών φασματικών χαρακτηριστικών τους. Απλοί RGB συνδυασμοί καναλιών και λόγων καναλιών είναι τα πιο αποτελεσματικά μέσα για τη χαρτογράφηση των λατεριτών. Τόσο ο Landsat TM και ο Aster ικανοποιούν τις ανάγκες για χαμηλού κόστους, ταχείας, ακριβούς και αποτελεσματικής χαρτογράφησης των λατεριτών, η αξία των οποίων δε θα έπρεπε να υποτιμάται.

## **4.2 Εφαρμογή τεχνικών τηλεπισκόπησης για την εκτίμηση του μεγέθους σοβαρότητας μιας πυρκαγιάς σε δασικές φυλλωσιές (Boer et al., 2008)**

### **4.2.1 Περίληψη**

Η ψηφιακή τηλεπισκόπηση είναι η πιο πρακτική μέθοδος για τη χαρτογράφηση και την εκτίμηση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς σε τοπική κλίμακα. Μία απλή προσέγγιση του μεγέθους της σοβαρότητας μιας πυρκαγιάς μπορεί να εκλαμβάνεται με την ποσοτικοποίηση κάποιων διαφορών, σε ορισμένους δείκτες, οι οποίοι συνάγονται από δορυφορικές απεικονίσεις, πριν και μετά την πυρκαγιά. Αντικείμενο αυτής της μελέτης είναι η ανάπτυξη βελτιωμένων τεχνικών για την αξιολόγηση των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς, με σκοπό τον κατάλληλο διαχειριστικό έλεγχο για τη μείωση των κινδύνων από μια πυρκαγιά, την διατήρηση όσο γίνεται της βιοποικιλότητας και την προστασία των υδάτινων πόρων. Στη συγκεκριμένη εργασία είναι οι μεταβολές του δείκτη LAI (Leaf Area Index) και NLAI (Normalised LAI) και η χρησιμοποίηση αυτών των μεταβολών, ως μέτρο αξιολόγησης του μεγέθους της σοβαρότητας μιας πυρκαγιάς. Πρέπει να παρατηρήσουμε, ότι για οποιοδήποτε περιβάλλον, είναι ασαφές με ποιον τρόπο οι μεταβολές στην ανακλαστικότητα που ανιχνεύονται στις ψηφιακές εικόνες, σχετίζονται με το μέγεθος των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς, λόγω της ιδιαιτερότητας του κάθε οικοσυστήματος. Το γεγονός αυτό καθιστά δύσκολη την χρησιμοποίηση και άλλων φασματικών δεικτών (εκτός του LAI) όπως του NBR (Normalised Burn Ratio) για την ερμηνεία και την ανίχνευση αλλαγών στη δομή της βλάστησης, της παραγωγικότητας ή άλλες βασικές οικολογικές διεργασίες

### **4.2.2 Ο δείκτης LAI (Leaf Area Index)**

Ο φυλλικός δείκτης LAI (ο οποίος προσδιορίζει το συνολικό φύλλωμα μιας περιοχής) είναι ο λόγος της συνολικής βλαστικής επιφάνειας μιας δασώδους έκτασης, διαιρούμενος δια την επιφάνεια του εδάφους την οποία η βλάστηση καλύπτει. Είναι αδιάστατο μέγεθος που συνήθως κυμαίνεται από 0 για το γυμνό έδαφος έως 6 για ένα πυκνό δάσος. Ο δείκτης LAI αποτελεί βασικό στοιχείο για την δημιουργία πειραματικών και θεωρητικών μοντέλων λειτουργίας των δασικών οικοσυστημάτων και του ελέγχου θεμελιωδών βλαστικών διεργασιών όπως η φωτοσύνθεση και η περιεκτικότητα της βλάστησης σε νερό. Επιπλέον, το μέγεθος της μεταβολής του κανονικοποιημένου δείκτη (NLAI) μετά από μια πυρκαγιά, αποτελεί ενδεικτικό στοιχείο του μεγέθους μιας πυρκαγιάς (του μετώπου και του ύψους της φλόγας) κατά το πέρασμα της



πυρκαγιάς. Ο δείκτης αυτός μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά σε ικανοποιητικό βαθμό, με τη χρησιμοποίηση τεχνικών τηλεπισκόπησης.

#### **4.2.3 Η περιοχή μελέτης και η συλλογή των δεδομένων**

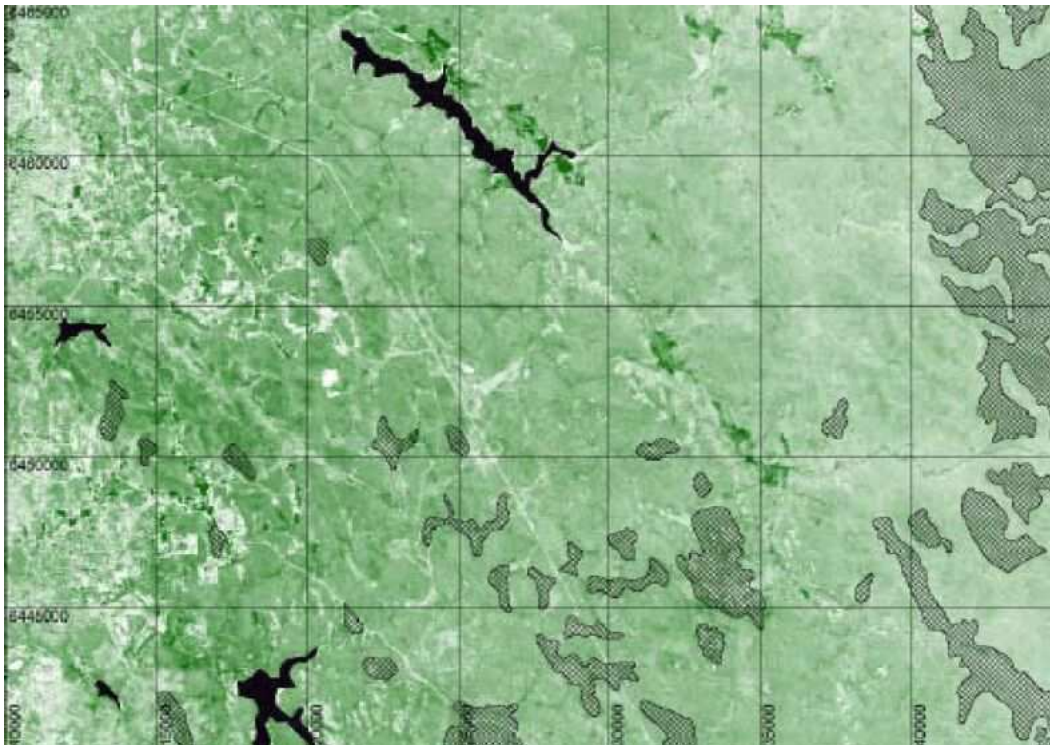
Η περιοχή μελέτης είναι το δάσος Jarrah της πολιτείας Perth, στη Δυτική Αυστραλία. Είναι φυλλοβόλο δάσος και αποτελείται κυρίως από ευκαλύπτους (*Eucalyptus marginata*). Τον Ιανουάριο του 2005 υπέστη σοβαρές ζημιές από τις πυρκαγιές που έγιναν στην περιοχή, με αποτέλεσμα να καούν περισσότερα από 27.000 δασικά εκτάρια (270.000 στρέμματα δάσους). Ένα εμπειρικό μοντέλο για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη LAI από φασματικές απεικονίσεις αναπτύχθηκε, χρησιμοποιώντας εδαφικές μετρήσεις (Οκτώβριος 2006) σε συνδυασμό με ψηφιακές απεικονίσεις Landsat TM (Ιανουάριος 2007). Οι επίγειες εργασίες συμπεριλαμβάνουν επίσης επίγειες ψηφιακές φωτογραφίες για την ποσοτικοποίηση των τιμών του δείκτη LAI στην περιοχή μελέτης. Δημιουργήθηκαν με στατιστικό τρόπο, ιστογράμματα φυλλικής κάλυψης (40m x 40m) τα οποία κάλυψαν θεωρητικά (και πρακτικά) με στατιστικό τρόπο, την πυκνότητα των φυλλωσιών στην περιοχή μελέτης καθώς και τις μεταβολές τους στο χρόνο, μετά την τελευταία πυρκαγιά λίγο πριν από τον Ιανουάριο του 2005.

#### **4.2.4 Μεθοδολογία**

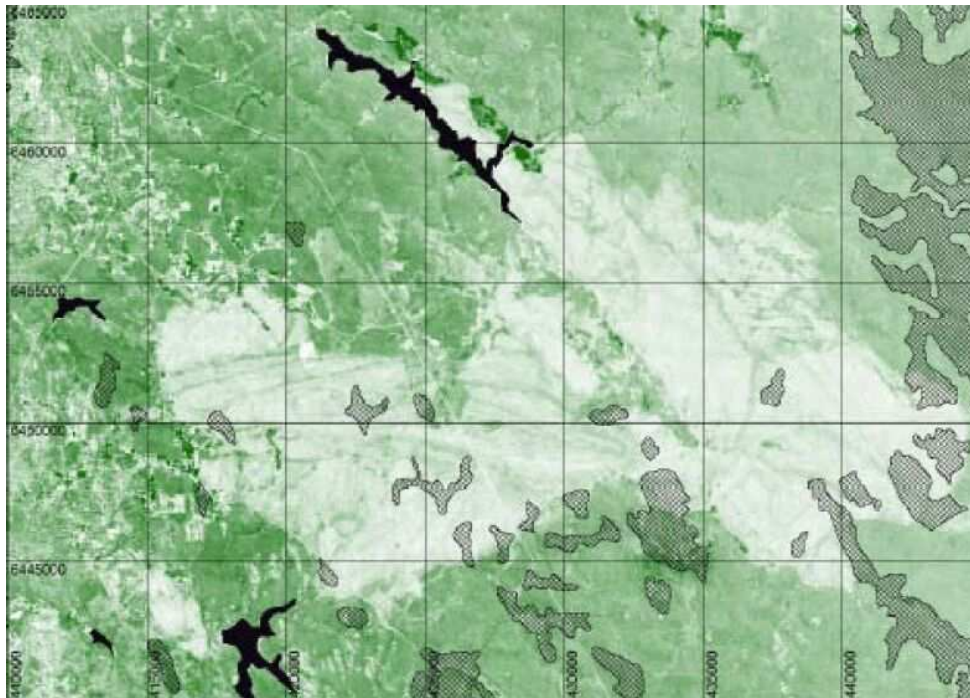
Αναπτύχθηκαν μοντέλα παλινδρόμησης για τη στατιστική πρόβλεψη των τιμών του δείκτη LAI χρησιμοποιώντας τον δείκτη NBR (Normalised Burn Ratio), τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) αλλά και τον απλό φασματικό λόγο SR (Simple Ratio), ως ανεξάρτητη μεταβλητή. Ο NBR υπολογίζεται ως λόγος της ανακλαστικότητας στο εγγύς (NIR, κανάλι 4 σε μια απεικόνιση του Landsat TM) και μεσαίο υπέρυθρο (MIR, κανάλι 5 σε μια απεικόνιση του Landsat TM), ενώ ο NDVI και ο SR είναι λόγοι της ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο και στο ορατό μήκος κύματος του κόκκινου (κανάλι 3 σε μια απεικόνιση του Landsat TM). Τα LAI μοντέλα παλινδρόμησης είχαν εξίσου υψηλές τιμές συσχέτισης ( $R^2$ : 0,87) και σχετικά μικρά σφάλματα ελαχίστων τετραγώνων (RMSE : 0,27-0,28). Χάρτες που απεικονίζουν το δείκτη LAI πριν και μετά την πυρκαγιά, δημιουργήθηκαν, με τη χρησιμοποίηση στατιστικής παλινδρόμησης με ελεύθερη μεταβλητή το φασματικό λόγο SR με τη βοήθεια δυο απεικονίσεων Landsat TM με ημερομηνία λήψης τις 15 Ιανουαρίου του 2004 και στις 2 Φεβρουαρίου του 2005 (πριν και μετά την πυρκαγιά). Η διαφορά του κανονικοποιημένου NLAI



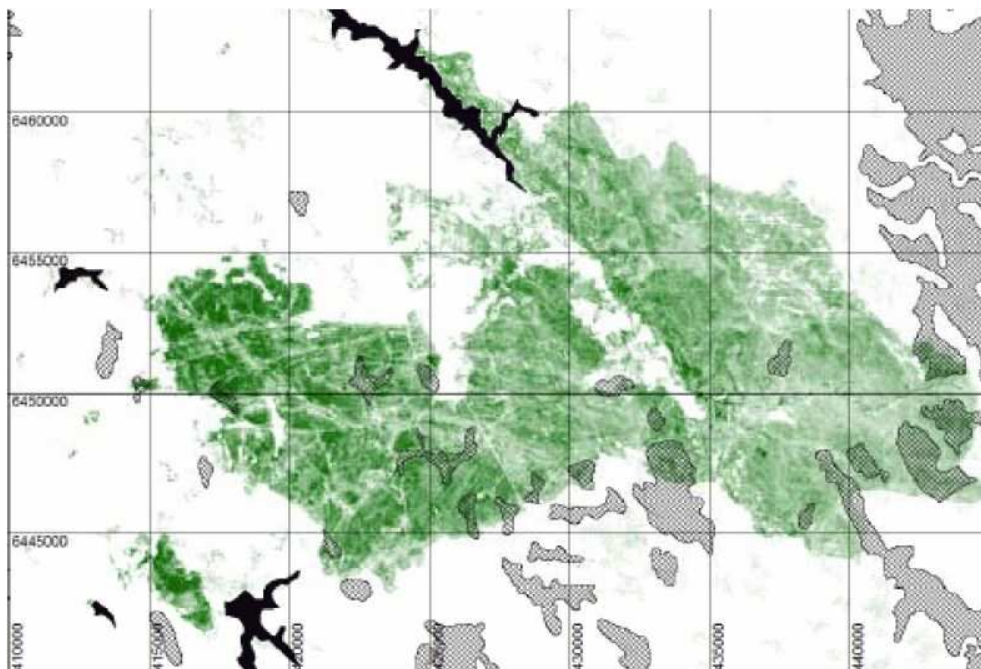
υπολογίστηκε αριθμητικά, από τους δείκτες NLAI των απεικονίσεων πριν και μετά την πυρκαγιά. Τα στατιστικά όρια των επιπέδων εμπιστοσύνης για τους προβλεπόμενους κανονικοποιημένους δείκτες NLAI ποσοτικοποιήθηκαν με τη στατιστική τεχνική 'bootstrapping' (μια τεχνική δειγματοληψίας).



Εικόνα 39: Χάρτης δείκτη LAI πριν την πυρκαγιά



Εικόνα 40: Χάρτης δείκτη LAI μετά την πυρκαγιά



Εικόνα 41: Χάρτης πρόβλεψης δείκτη LAI

#### 4.2.5 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

Οι τιμές του δείκτη LAI πριν την πυρκαγιά κυμάνθηκαν περίπου από 0,5 έως 1,0 για τα ανατολικά τμήματα της περιοχής τα οποία παρουσιάζουν χαμηλές βροχοπτώσεις και από 3,0 έως 3,5 στα δυτικά τμήματα της περιοχής τα οποία παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης. Η υπολογιζόμενη μέση απώλεια των τιμών του δείκτη LAI, λόγω της πυρκαγιάς του Ιανουαρίου του 2005 ήταν από 0,8 έως 0,9 σε ολόκληρη την περιοχή. Ο κανονικοποιημένος NLAI που υπολογίστηκε με τη σύγκριση των τιμών NLAI στις δύο ψηφιακές απεικονίσεις Landsat TM, συμβαδίζει με τις ποιοτικές παρατηρήσεις της σοβαρότητας των ιχνών της πυρκαγιάς που απέμειναν στο έδαφος. Χρησιμοποιώντας την αναλογία των τιμών των δεικτών NLAI και LAI πριν την πυρκαγιά και αναγωγή των τιμών αυτών σε ποσοστό φυλλόπτωσης, περίπου το 70% της πυρόπληκτης περιοχής έχασε το 50% ή και περισσότερο της φυλλικής επιφάνειας της. Εντούτοις, οι τιμές NLAI παρουσίασαν έντονες χωρικές (εδαφικές) διακυμάνσεις. Αυτές οι χωρικές διακυμάνσεις για τη διερεύνηση της σοβαρότητας της φωτιάς και των επιπτώσεων της, αποτελεί ένα βασικό κλειδί για τη βελτίωση της κατανόησης της συμπεριφοράς μιας πυρκαγιάς και των παραγόντων που την όρισαν (π.χ. καύσιμος ύλη, κλίσεις και κάλυψη εδάφους και καιρικές συνθήκες). Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής, μας προσφέρουν μια βάση για περαιτέρω εμπειριστατωμένη αξιολόγηση των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς αλλά και της παρακολούθησης της διαδικασίας αναγέννησης του δάσους, εφόσον η σοβαρότητα των εγκαυμάτων της πυρκαγιάς στο έδαφος, εκφρασμένη ως αριθμητική διαφορά του δείκτη LAI, έχει άμεση συνάφεια με την ανάπτυξη των δασών και την ύπαρξη ή την απουσία υδάτινων πόρων. Διάφοροι υφιστάμενοι φασματικοί δείκτες οι οποίοι δείχνουν έμμεσα τη σοβαρότητα μιας πυρκαγιάς, όπως είναι ο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης dNBR (differenced Normalized Burn Ratio, Key and Benson, 2006), ο οποίος μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στην παρακολούθηση των μεταβολών που παρουσιάζουν οι ανακλαστικές ιδιότητες του εδάφους και της βλάστησης, συνεπώς και στην εκτίμηση των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς, απαιτούν και τη συμπληρωματική χρήση του δείκτη LAI μέσω του οποίου γίνεται σχετικά εύκολα η χωρική και χρονική σύγκριση των τιμών της ανακλαστικότητας της φυλλικής βλάστησης μιας περιοχής, πριν και μετά την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς. Η εργασία αυτή, είναι η πρώτη που αντιμετώπισε αυτό το ζήτημα. Η συγκεκριμένη έρευνα έδειξε ότι οι τιμές του δείκτη LAI μπορούν να χαρτογραφηθούν επακριβώς με περιορισμένη αλλά υψηλής ποιότητας συλλογή επίγειων δεδομένων σε συνδυασμό με απεικονίσεις Landsat TM και ότι το μέγεθος της μεταβολής του δείκτη ΔLAI μπορεί να αποτελέσει μέτρο αξιολόγησης του μεγέθους της σοβαρότητας μιας πυρκαγιάς.

### **4.3 Μια διαχρονική μέθοδος για εντοπισμό νεφών, εφαρμοσμένη σε εικόνες FORMOSAT-2, VENμS, Landsat and Sentinel-2 (Hagolle O., Huc et al., 2010)**

#### **4.3.1 Στόχος εφαρμογής - αντικείμενο μελέτης**

Ο εντοπισμός σύννεφων είναι από τις πρώτες δυσκολίες που παρουσιάζονται στη προσπάθεια αυτόματης επεξεργασίας οπτικών τηλεπισκοπικών δεδομένων. Τηλεπισκοπικές επεξεργασίες και μέθοδοι όπως η ατμοσφαιρική διόρθωση, ταξινομήσεις κάλυψης γης, ανίχνευση βιοφυσικών μεταβλητών και πολλές άλλες, προαπαιτούν για να πραγματοποιηθούν την ανίχνευση σύννεφων. Επί του παρόντος οι περισσότερες μέθοδοι για τον εντοπισμό σύννεφων έχουν αναπτυχθεί για μεσαίας ανάλυσης αισθητήρες και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν εξαρτώνται από τις διαθέσιμες φασματικές ζώνες του κάθε δορυφόρου. Στόχος της εφαρμογής είναι η ανάπτυξη μιας διαχρονικής μεθόδου για τον εντοπισμό σύννεφων που ονομάζεται MTCD (Multi-temporal cloud detection) και πρόκειται να συμπεριληφθεί στο λογισμικό επεξεργασίας εικόνων του δορυφόρου VENμS και πολύ πιθανόν και στο λογισμικό του δορυφόρου Sentinel-2.

#### **4.3.2 Δορυφόροι VENμS, SENTINEL-2, FORMOSAT-2**

Ο VENμS (Dedieu et al., 2006) είναι ένας επιστημονικός μικρο-δορυφόρος, αποτέλεσμα της συνεργασίας μεταξύ του Ισραηλινού Οργανισμού Διαστήματος (ISA) και του Γαλλικού Εθνικού Κέντρου Διαστημικών Ερευνών (CNES). Ο VENμS υπολογίζεται να εκτοξευτεί σε τροχιά γύρω από τη γη στα τέλη του 2012. Ο κύριος στόχος του δορυφόρου είναι να αποδείξει την χρησιμότητα των επαναλαμβανόμενων αποκτήσεων εικόνων υψηλής ανάλυσης για την παρακολούθηση της δυναμικής των επιφανειών της γης, και κυρίως της βλάστησης. Τουλάχιστον 50 τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο θα απεικονίζονται από το δορυφόρο VENμS, κάθε δεύτερη μέρα, κατά τη διάρκεια 2 ετών. Η χωρική διακριτική ικανότητα του είναι της τάξεως των 10 μέτρων με οπτικό πεδίο 27 χμ. Χάρη στην επαναληπτική κυκλική τροχιά του των 2 ημερών κάθε συγκεκριμένη τοποθεσία παρατηρείται με σταθερή προβολική γωνία. Ο δορυφόρος θα παραδίδει δορυφορικές απεικονίσεις μέσω 12 φασματικών καναλιών που κυμαίνονται από 415 nm έως 910 nm.

Οι 2 δορυφόροι της αποστολής SENTINEL-2 (Martimor et al. 2007) θα γενικεύσουν τις μετρήσεις του VENμS για το σύνολο των επιφανειών του εδάφους. Πρόκειται για μια λειτουργική αποστολή

από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA) η οποία αποτελείται από 2 δορυφόρους που προγραμματίζεται να εκτοξευτούν σε τροχιά γύρω από τη γη το 2013 και το 2014 αντίστοιχα. Οι SENTINEL-2 δορυφόροι θα αποκτούν εικόνες υψηλής ανάλυσης (με χωρική διακριτική ικανότητα που θα κυμαίνεται από 10 m έως 60m , ανάλογα με το φασματικό κανάλι που θα χρησιμοποιείται), με οπτικό πεδίο 300 km. Η επαναληπτική κυκλική τροχιά θα είναι 10 ημερών και οι 2 δορυφόροι θα τεθούν σε αυτήν την τροχιά με 180 μοίρες γωνιακή απόσταση μεταξύ τους. Το αποτέλεσμα θα είναι κάθε συγκεκριμένη τοποθεσία που θα παρατηρείται από τους SENTINEL-2 δορυφόρους, να απεικονίζονται δορυφορικά κάθε πέμπτη μέρα , με σταθερή γωνία θέασης . Οι SENTINEL-2 δορυφόροι θα παραδίδουν δορυφορικές απεικονίσεις μέσω 13 πολυφασματικών δεκτών που θα κυμαίνονται από το ορατό έως το εγγύς υπέρυθρο. Ο FORMOSAT-2 είναι ένας ταϊβανέζικος δορυφόρος παρατήρησης της γης που παρέχει δορυφορικά δεδομένα παρόμοια με αυτά του VENμS. Πρόκειται για μια λειτουργική αποστολή από τον Εθνικό Οργανισμό Διαστήματος (NSPO) της Λαϊκής Δημοκρατίας της Κίνας (Ταϊβάν), που εκτοξεύτηκε σε τροχιά γύρω από τη γη το 2004. Η χωρική διακριτική ικανότητά του είναι της τάξεως των 8 μέτρων με οπτικό πεδίο 24 km. Η επαναληπτική κυκλική τροχιά του είναι μιας μέρας με αποτέλεσμα κάθε συγκεκριμένη τοποθεσία που παρατηρείται από το FORMOSAT-2 , να απεικονίζεται δορυφορικά κάθε μέρα, με συνεχείς γωνίες θέασης. Ο FORMOSAT-2 παραδίδει δορυφορικές απεικονίσεις μέσω 4 πολυφασματικών δεκτών που κυμαίνονται από 490 nm έως 820 nm. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δορυφόρων, VENμS, SENTINEL-2, FORMOSAT-2, καθώς και των δορυφόρων LANDSAT 5 και LANDSAT 7, παρουσιάζονται αναλυτικά στην εικόνα 42.

**Table 1**  
Summary of the characteristics of sensors used in this study.

	VENμS	FORMOSAT-2	SENTINEL-2	LANDSAT 5 + 7
Multispectral resolution	10 m	8 m	10–20–60 m	30 m
Repetitivity (days) with constant viewing angles	2	1	10 (1 satellite) 5 (2 satellites)	16 (1 satellite) 8 (2 satellites)
Field of view (km)	24	27	300	180
Spectral bands (approximate centre, nm)	412, 443, 490, 560, 620, 667, 702, 742, 782, 865, 910	485, 566, 660, 819	443, 490, 560, 665, 705, 740, 775, 842, 865, 940, 1375, 1610, 2200	485, 565, 665, 820, 1650, 2190, 11,400
Coverage	50 to 100 sites	A few sites	All lands	All lands
Launch date	2012	2004	2013 (Sentinel 2A) 2014 (Sentinel 2B)	1984 (LANDSAT 5) 1999 (LANDSAT 7)

**Εικόνα 42: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δορυφόρων, VENμS, SENTINEL-2, FORMOSAT-2 καθώς και των δορυφόρων Landsat 5 και Landsat 7**



#### 4.3.3 Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη

Για τη δημιουργία και την ανάπτυξη της MTCD μεθόδου αποκτήθηκαν δορυφορικές απεικονίσεις με συγκεκριμένη χρονική σειρά από τους δορυφόρους FORMOSAT-2 και LANDSAT, με σκοπό την εξομοίωση των δεδομένων του δορυφόρου VENμS και SENTINEL-2 αντίστοιχα. Αυτό γιατί ο FORMOSAT-2 παρέχει δορυφορικά δεδομένα παρόμοια με του VENμS, ενώ η έλλειψη του σε SWIR δέκτες, κάνει το LANDSAT πιο ικανό να «εξομοιώσει» τα δεδομένα του SENTINEL-2. Χρησιμοποιήθηκαν 2 χρονολογικές σειρές δορυφορικών απεικονίσεων του FORMOSAT-2, μια για την περιοχή Muret που βρίσκεται στη νοτιοδυτική Γαλλία, και μια για την περιοχή Tensift του Μαρόκο. Αποκτήθηκαν 50 FORMOSAT-2 απεικονίσεις για κάθε περιοχή μελέτης με 5 μέρες χρονική διαφορά η μια από την άλλη, ενώ η διάρκεια των παρατηρήσεων κράτησε από 2 μήνες έως 4 χρόνια. Οι εν λόγω χρονολογικές σειρές δορυφορικών απεικονίσεων αντιστοιχούν σε πολύ διαφορετικές τοποθεσίες, όπως αγροτικές ημίξηρες τοποθεσίες, κωνοφόρα δάση, βουνά με χιόνι κτλ., συνθήκες που ικανοποιούσαν οι περιοχές Muret και Tensift. Ορισμένες απεικονίσεις περιείχαν σύννεφα ενώ άλλες όχι. Στις FORMOSAT-2 εικόνες πραγματοποιήθηκε ορθοαναγωγή και καταχωρήθηκαν με τη χρησιμοποίηση των αλγορίθμων Baillarin et al. 2008. Η απόλυτη βαθμονόμηση του δέκτη επιτεύχθηκε με τη χρησιμοποίηση της μεθόδου “desert site” (Cabot et al, 1998). Για την εξομοίωση των δεδομένων του SENTINEL-2, αποκτήθηκαν 3 χρονολογικές σειρές δορυφορικών απεικονίσεων από τους δορυφόρους Landsat 5 Thematic Mapper και Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper, κατά την διάρκεια του έτους 2002, από 3 περιοχές των Η.Π.Α. της περιοχής Fresno, Boulder και Columbia. Τα δεδομένα επεξεργαστήκαν με τη χρήση του λογισμικού LIT. Κατά μέσο όρο, κάθε χρονολογική σειρά δορυφορικών απεικονίσεων αποτελείται από περίπου 35 μη εντελώς «συννεφιασμένες» εικόνες.

#### 4.3.4 Μεθοδολογία MTCD αλγορίθμου

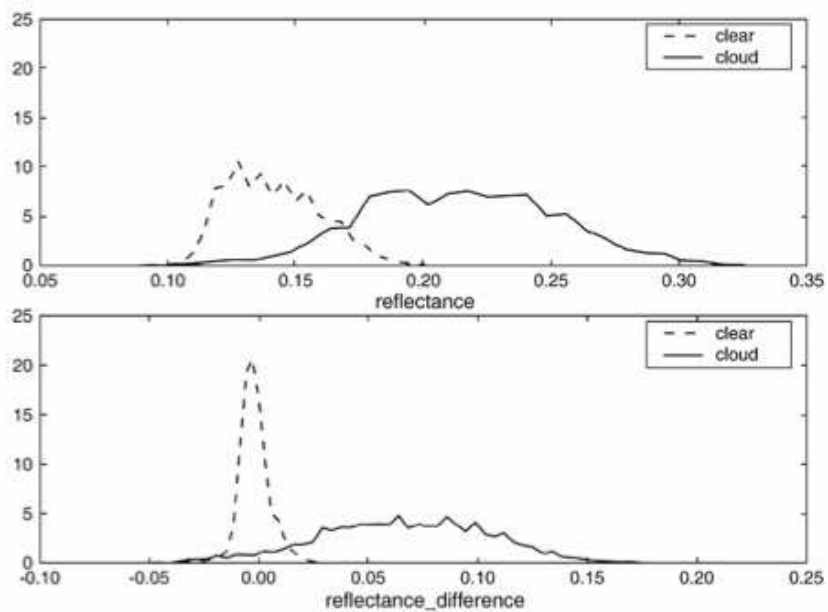
Σε σύγκριση με τους δορυφόρους Modis και Landsat, οι δορυφόροι VENμS, FORMOSAT-2 και SENTINEL-2 δεν έχουν θερμικά υπέρυθρα κανάλια ούτε υπέρυθρα κανάλια μικρών κυμάτων. Ως εκ τούτου, το βασικό κριτήριο για τον εντοπισμό σύννεφων είναι ένα όριο «κατωφλίου» (threshold) της αύξησης της ανάκλασης στο μπλε φασματικό κανάλι-δέκτη. Για να υπολογιστούν οι διακυμάνσεις και να ανιχνευτούν τα νέφη για μια εικόνα της ημέρας D, είναι απαραίτητη μια εικόνα αναφοράς χωρίς σύννεφα, και αν δεν υπάρχει διαθέσιμη, είναι αναγκαίο να δημιουργηθεί από μερικώς «συννεφιασμένες» εικόνες. Για κάθε ημερομηνία D, η εικόνα αναφοράς χωρίς

σύννεφα αποτελεί μια σύνθετη εικόνα που περιέχει για κάθε εικονοστοιχείο την πιο πρόσφατη «μη-συννεφιασμένη» ανάκλαση που λαμβάνεται από τις χρονολογικές σειρές δορυφορικών απεικονίσεων πριν την ημερομηνία D. Ο αλγόριθμος λειτουργεί κυρίως για λόγους υπολογισμού των επιδόσεων, αλλά και για να αποφεύγονται πιθανά λάθη καταγραφής εικόνας. Ένα εικονοστοιχείο φέρει τη σήμανση συννεφιά (θεωρείται «συννεφιασμένο») εάν ισχύει το εξής διαχρονικό κριτήριο :

$$[\rho_{\text{blue}}(D) - \rho_{\text{blue}}(D_r)] > |0.03 * (1 + (D - D_r) / 30)$$

όπου  $\rho_{\text{blue}}(D)$  είναι η ανάκλαση του εικονοστοιχείου στο μπλε δέκτη-κανάλι, διορθωμένο για Rayleigh σκέδαση, κατά την ημερομηνία D, και  $D_r$  είναι η ημερομηνία της πιο πρόσφατης εικόνας χωρίς σύννεφα πριν από την ημερομηνία D. Η διαφορά  $D - D_r$  εκφράζεται σε μέρες. Η τιμή του κατωφλίου εξαρτάται από τον αριθμό των ημερών μεταξύ της ημερομηνίας D και  $D_r$ . Όταν οι ημερομηνίες είναι κοντά, το κατώτατο όριο τείνει σε 0.03 αλλά αυτή η τιμή διπλασιάζεται όταν η ημερομηνία  $D_r$  και D χωρίζονται από 30 μέρες, για να καταστεί δυνατή η αλλαγή των επιφανειακών ανακλάσεων. Παρά το γεγονός ότι το κριτήριο (1) αυτό αποδεικνύεται πολύ αποτελεσματικό για το διαχωρισμό των «συννεφιασμένων» και μη «συννεφιασμένων» εικονοστοιχείων, δεν είναι βέβαια αλάθητο. Πρώτον, δε λειτουργεί καλά πάνω από τις επιφάνειες του νερού, οι οποίες είναι επιρρεπείς σε αιφνίδιες διακυμάνσεις της ανάκλασης, λόγω της ηλιοφάνειας, της θολερότητας και του αφρού. Δεύτερον, μπορεί να υπάρξει σύγχυση μεταξύ λεπτών σύννεφων και αερολυμάτων (AOT). Κάποια σύννεφα μπορεί να είναι πολύ λεπτά για να ανιχνευτούν, λαμβάνοντας υπόψη ότι μεγάλη συγκέντρωση αερολυμάτων, μπορεί να θεωρηθούν ως σύννεφα. Τρίτον, αιφνίδιες διακυμάνσεις της επιφάνειας ανάκλασης μπορεί να προκύψουν, εξαιτίας γεωργικών παρεμβάσεων (καλλιέργεια ή όργωμα) ή εξαιτίας φυσικών διακυμάνσεων όπως πυρκαγιές ή χιόνι. Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα, δυο δοκιμασίες-υποκριτήρια προστέθηκαν με σκοπό να ελέγξουν αν μια ξαφνική αύξηση της ανάκλασης, οφείλεται στην πραγματικότητα σε ένα σύννεφο. Ένα εικονοστοιχείο που επαληθεύει το βασικό κριτήριο (1), δεν επισημαίνεται τελικά ως «συννεφιασμένο», αν οποιαδήποτε από τις 2 ακόλουθες συνθήκες είναι αληθής: α) Εάν η διακύμανση της ανάκλασης στον κόκκινο δέκτη είναι πολύ μεγαλύτερη από τη διακύμανση στο μπλε δέκτη, β) Αν η ανάκλαση σε ένα εικονοστοιχείο συσχετίζεται καλά με την ανάκλαση των γειτονικών εικονοστοιχείων ως προς αυτό σε μια από τις 10 εικόνες που αποκτήθηκαν πριν από την ημερομηνία D. Αυτά τα υποκριτήρια εκφράστηκαν υπό τη μορφή συνθηκών εξισώσεων και προστέθηκαν στον αλγόριθμο MTCD για το τελικό χαρακτηρισμό ενός εικονοστοιχείου ως «συννεφιασμένο» ή μη. Τέλος, εφόσον οι αισθητήρες των Landsat και Sentinel-2 περιλαμβάνουν τις φασματικές ζώνες των δεκτών του FORMOSAT, ο

αλγόριθμος είναι πλήρως εφαρμόσιμος και για αυτούς του δορυφόρους, αν και με κάπως μειωμένη ακρίβεια λόγω της μειωμένης συχνότητας της επαναληπτικής τροχιάς τους. Επίσης, δεν χρησιμοποιήθηκε το θερμικό υπέρυθρο κανάλι – δέκτης TIR του Landsat, επειδή ο αλγόριθμος πρόκειται να εφαρμοστεί στους δορυφόρους VENμS και SENTINEL-2, για τους οποίους τέτοιος δέκτης δεν είναι διαθέσιμος.



**Fig. 1.** Comparison of histograms of clouded and unclouded pixels for FORMOSAT-2 blue band on Tensift site (Morocco), top: absolute reflectance on the April 13th, 2006, bottom: reflectance variation between the April 1st and the April 13th 2006. The image on April 1st is completely cloud free. Pixels within cloud shadows are not taken into account in the histograms.

**Εικόνα 43:** Σύγκριση ιστογραμμάτων των συννεφιασμένων και μη συννεφιασμένων εικονοστοιχείων για μπλε κανάλι του FORMOSAT-2 στην περιοχή Tensift



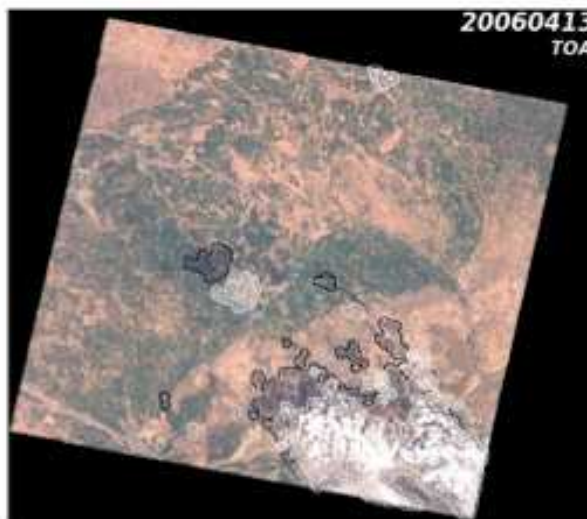


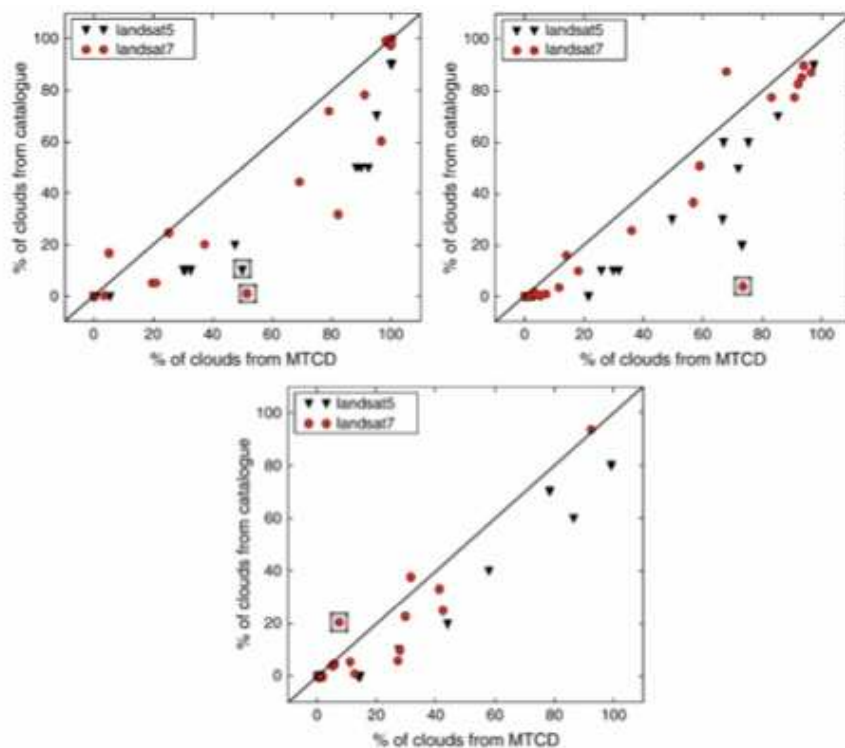
Fig. 2. Color composite of FORMOSAT-2 red, green and blue Top of Atmosphere (TOA) reflectances for Tensift scene acquired on April 13th, 2006. Clouds detected by Multi-Temporal Cloud Detection (MTCD) method are circled in white and cloud shadows are circled in black.

**Εικόνα 44:** Έγχρωμο σύνθετο του FORMOSAT 2 με ημερομηνία λήψης τον Απρίλιο του 2006. Τα σύννεφα που εντοπίστηκαν με τη μέθοδο MTCD είναι κυκλωμένα με άσπρο περίγραμμα και οι σκιές του με μαύρο.

#### 4.3.5 Συμπεράσματα

Μια διαχρονική μέθοδος ανίχνευσης σύννεφων αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της δημιουργίας ενός λογισμικού επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων για τους δορυφόρους VENμS και SENTINEL-2. Η μέθοδος MTCD κάνει πλήρη χρήση των δυνατοτήτων των 2 δορυφόρων, για τη παραγωγή χρονολογικών σειρών εικόνων, με μια συχνή επανεξέταση και υπό συνεχείς γωνίες θέασης. Ο αλγόριθμος βασίζεται σε ένα κατώτατο όριο-κατώφλι της χρονικής διακύμανσης της ανάκλασης στον μπλε δέκτη-κανάλι, αλλά συμπληρώνεται από μερικά κριτήρια υπό τη μορφή συνθηκών εξισώσεων ώστε να αποφεύγονται ψευδείς ανιχνεύσεις. Η μέθοδος έχει δοκιμαστεί σε δυο είδη δορυφόρων, το Landsat και το Formosat-2, χρησιμοποιώντας το ίδιο σύνολο παραμέτρων. Η επικύρωση των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου-μάσκας έγινε με οπτική θεώρηση και με σύγκριση των χαρακτηρισμών του κάθε εικονοστοιχείου που πραγματοποιήθηκε στους καταλόγους δεδομένων του Formosat-2 και του Landsat. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του αλγορίθμου MTCD στα δεδομένα του δορυφόρου FORMOSAT, συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν από την χειροκίνητη οπτική επιθεώρηση των χειριστών της NSPO. Στις περισσότερες περιπτώσεις η οπτική επιθεώρηση επιβεβαίωσε την ακρίβεια της μεθόδου MTCD.

Σε σύγκριση με τη μέθοδο της αυτόματης αξιολόγησης κάλυψης σύννεφων (ACCA) που υπάρχει στο κατάλογο δεδομένων του Landsat, η MTCD αποδείχτηκε πάλι πιο ακριβής και αποτελεσματική. Αυτό είναι μια πολύ καλή επίδοση αφού η μέθοδος ACCA χρησιμοποιεί το θερμικό υπέρυθρο κανάλι TIR του Landsat ενώ η MTCD όχι, μιας και δεν υφίσταται τέτοιο κανάλι στους VENμS και SENTINEL-2. Ωστόσο η καλή διακριτική ικανότητα του αλγόριθμου MTCD έχει ένα μειονέκτημα: Για κάποια τμήματα του εδάφους, η μέθοδος MTCD απαιτεί την επεξεργασία των δεδομένων κατά χρονολογική σειρά η οποία περιορίζει την δυνατότητα για παράλληλη επεξεργασία ψηφιακών εικόνων.



**Fig. 6.** Comparison of MTCD cloud cover percentage to LANDSAT ACCA algorithm from the LANDSAT catalog, left, on Columbia site (USA), right on Boulder site (USA), Bottom on Fresno site (USA) for all the images acquired in 2002. Circles correspond to LANDSAT 7, whereas triangles correspond to LANDSAT 5. Note that many points are in agreement when cloud percentage is close to 0 or 100. The large squares correspond to the images analyzed below (Figs. 7, 8, 9, and 10).

**Εικόνα 45:** Σύγκριση του ποσοστού κάλυψης σύννεφων με τη μέθοδο MTCD έναντι της αυτόματης αξιολόγησης κάλυψης σύννεφων ACCA που υπάρχει στον κατάλογο του LANDSAT για τις περιοχές Columbia, Boulder, και Fresno.

## **4.4 Χρησιμοποίηση πολυφασματικών δεδομένων Landsat στη διαδικασία εκτίμησης της διαύγειας του νερού των λιμνών μιας περιοχής (Steven M. Kloiber et al., 2002)**

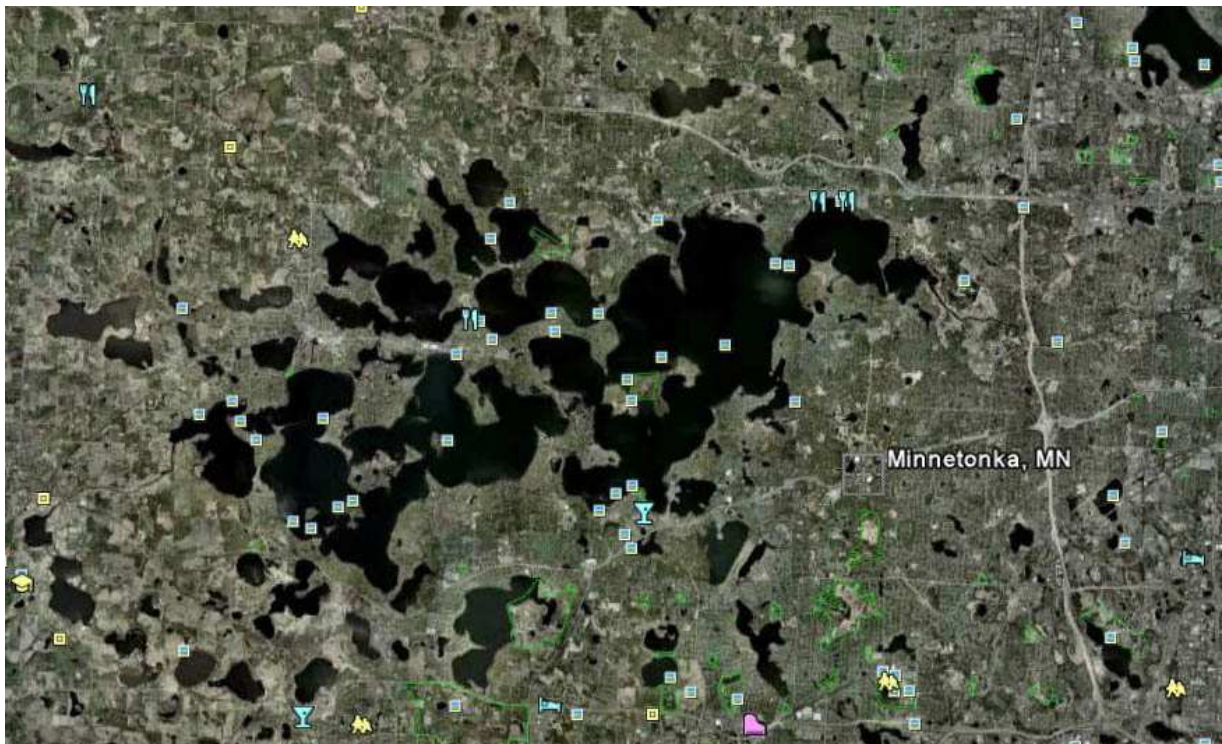
### **4.4.1 Περίληψη**

Αν και προηγούμενες έρευνες έχουν δείξει τη μεγάλη εμπειρική συσχέτιση δορυφορικών δεδομένων και εποχικών επίγειων παρατηρήσεων, εντούτοις η χρήση των δορυφορικών απεικονίσεων δεν έχει ενσωματωθεί στο βαθμό που θα έπρεπε (έως το 2002) στην καθημερινή παρακολούθηση των υδάτινων αποθεμάτων μιας λίμνης. Η εργασία αυτή, πραγματεύεται την παρακολούθηση των υδάτων κάποιων λιμνών και την εκτίμηση της διαύγειάς τους με τη βοήθεια απεικονίσεων Landsat, στις οποίες ο συνδυασμός της χρονικής κάλυψης, της χωρικής ανάλυσης, αλλά και της διαθεσιμότητας των δεδομένων, καθιστούν το σύστημα παρακολούθησης μέσω απεικονίσεων Landsat, ιδιαίτερα χρήσιμο στην πράξη, για την εκτίμηση της διαύγειας του νερού των λιμνών. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν 10 απεικονίσεις Landsat TM και 4 απεικονίσεις Landsat MSS χαμηλής νεφοκάλυψης, οι οποίες κάλυψαν ένα χρονικό παράθυρο 25 ετών (από το 1973 έως το 1998) σε συνδυασμό με επίγειες παρατηρήσεις. Δημιουργήθηκαν στατιστικά μοντέλα παλινδρόμησης με βάση τους λόγους TM1 / TM3 και MSS1 / MSS3 και τις επίγειες παρατηρήσεις και βρέθηκαν κάποια σημαντικά στοιχεία για την με χαμηλό κόστος, διαχρονική παρακολούθηση της διαύγειας του νερού των λιμνών μιας περιοχής.

### **4.4.2 Η περιοχή μελέτης και ο στόχος για την περιοχή**

Ως περιοχή μελέτης επιλέχτηκε η Twin Cities Metropolitan Area (TCMA) στην ανατολική και κεντρική Μινεσότα των Η.Π.Α., μια περιοχή η έκταση της οποίας πλησιάζει τα 7700 τ. χλμ. Στην περιοχή TCMA υπάρχουν περισσότερες από 500 λίμνες. Η μεγαλύτερη λίμνη, η λίμνη Minnetonka, είναι μια λίμνη με επιφάνεια περίπου 56600 στρέμματα (εικόνα 46). Η περιοχή είναι παγετώδης, χωρίς έντονο ανάγλυφο, όπου οι λίμνες δημιουργήθηκαν από μεγάλα κομμάτια πάγου και διατηρούνται ακόμη. Ο γενικός στόχος της εργασίας στην περιοχή ήταν να δημιουργηθεί μια μέθοδος η οποία θα υπολογίζει κάποιες καθοριστικής σημασίας παραμέτρους, οι οποίες σχετίζονται με θέματα όπως η περιβαλλοντική διαχείριση των λιμνών της περιοχής, η εκτίμηση της τροφικής κατάστασής τους και η διαύγεια (καθαρότητα) του νερού που περιέχουν, χρησιμοποιώντας δορυφορικά τηλεσκοπικά δεδομένα από το δορυφόρο Landsat (MSS και TM).

Οι μεταβλητές οι οποίες στη διεθνή βιβλιογραφία (*International Journal of Remote Sensing*, 1366-5901, Volume 14, Issue 7, 1993, Pages 1247 – 1267) χρησιμοποιούνται πιο συχνά για να δηλώσουν την ποιότητα των υδάτων, είναι η πιθανή περιεχόμενη χλωροφύλλη (Chl), ο συνολικός φώσφορος (TP), η αλμυρότητα και η θερμοκρασία του νερού, πιθανά αιωρούμενα στερεά και η απόκριση του δίσκου Secchi (SDT) (Serman M, Baban J., “Detecting water Quality parameters in the Norfolk Broads, U.K. using Landsat Imaging”). Κάποιες από αυτές τις παραμέτρους είναι δυνατό να υπολογισθούν από δορυφορικές απεικονίσεις, ενώ άλλες απαιτούν επίγειες μετρήσεις (ακόμη και δειγματοληπτικά). Ειδικά για την περιοχή μελέτης, υπάρχουν αναλυτικές διαχρονικές μετρήσεις του SDT, οι οποίες αξιοποιούνται στην εργασία αυτήν.



Εικόνα 46: Η περιοχή μελέτης των λιμνών, πηγή : Google Earth, Minnetonka, MN, 44°54'47.87"N, 93°30'11.84"W

#### 4.4.3 Μεθοδολογία

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν 10 απεικονίσεις Landsat TM και 4 απεικονίσεις Landsat MSS νεφοκάλυψης μικρότερης από 10%, οι οποίες κάλυψαν ένα χρονικό παράθυρο 25

ετών (από το 1973 έως το 1998) σε συνδυασμό με επίγειες παρατηρήσεις. Όλες οι δορυφορικές απεικονίσεις διορθώθηκαν γεωμετρικά σε χαρτογραφική προβολή UTM, zone 15 με Datum το NAD83 (North American Datum 1983). Οι απεικονίσεις διορθώθηκαν και ραδιομετρικά. Η περιοχή ενδιαφέροντος "μασκαρίστηκε" ώστε να μείνουν μόνο οι λίμνες της περιοχής, με τη βοήθεια μιας μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης κατά την οποία διαχωρίστηκε σχετικά εύκολα το νερό από το έδαφος. Για κάθε λίμνη ψηφιοποιήθηκε ένα vector AOI (area of interest) πολύγωνο και μόνο πολύ μικρά πολύγωνα ολίγων εικονοστοιχείων απορρίφθηκαν (επειδή τα στατιστικά τους στοιχεία δημιουργούν πολύ μικρές τιμές, με ορίζουσες κοντά στο μηδέν). Για τα δεδομένα (πολύγωνα λιμνών) που δημιουργήθηκαν με αυτόν τον τρόπο από τις δορυφορικές απεικονίσεις, βρέθηκαν στοιχεία επίγειων μετρήσεων για τη χλωροφύλλη (Chl) και τον SDT από την κρατική βάση δεδομένων "US EPA's Storage and Retrieval (STORET)". Με τον τρόπο αυτόν, για κάθε πολύγωνο ενδιαφέροντος (AOI) υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις αλλά και τιμές ανακλαστικότητας από τις διαθέσιμες δορυφορικές απεικονίσεις, για μια μεγάλη χρονική περίοδο. Οι μετρήσεις αυτές συνδυάστηκαν (έγινε αντιστοίχιση μεταξύ της μέσης τιμής ανακλαστικότητας για κάθε πολύγωνο, με τις επίγειες μετρήσεις των δεδομένων SDT, εντός 7 ημερών από την ημερομηνία διέλευσης κάθε δορυφορικής απεικόνισης) και εισήχθησαν ως δεδομένα σε ένα μοντέλο παλινδρόμησης, στο οποίο ελέχθησαν στατιστικά κατά Pearson ποια κανάλια των Landsat απεικονίσεων χρησιμεύουν περισσότερο για εξαγωγή συμπερασμάτων (σε συνδυασμό με τις επίγειες μετρήσεις). Η μεθοδολογία αυτή, αναπτύχθηκε ακριβώς η ίδια και για δεδομένα MSS και για δεδομένα TM.

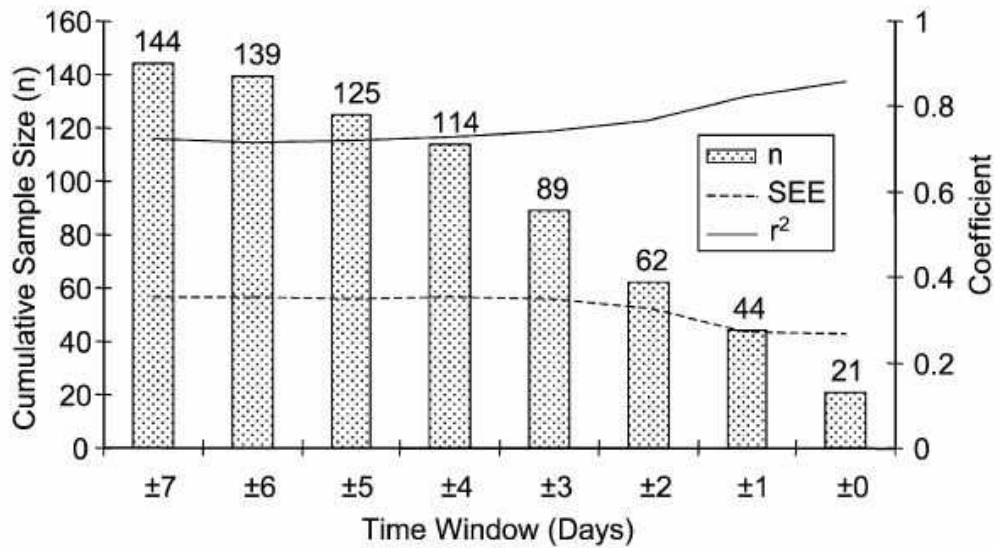
Χρησιμοποιήθηκαν στο ίδιο μοντέλο παλινδρόμησης, αντί των τιμών ανακλαστικότητας των απλών καναλιών των Landsat απεικονίσεων, οι τιμές ανακλαστικότητας που προκύπτουν από τον λόγο  $TM3 / TM1$  και τον λόγο  $TM1 / TM3$ , οι οποίες παρουσίασαν υψηλότερες τιμές συσχέτισης. Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα, με τη χρήση του λόγου  $MSS1 / MSS3$  για τις απεικονίσεις Landsat MSS.

Οι τελικές εξισώσεις των μοντέλων παλινδρόμησης, οι οποίες συνδέουν τα κανάλια των Landsat MSS και TM με τις μετρήσεις SDT, είναι :

$$\ln(SDT)=a*(TM1/TM3)+b*TM1+c$$

$$\ln(SDT)=a*(MSS1/MSS2)+b*MSS1+c$$





Relationship between width of time window between satellite and ground observations and number of samples ( $n$ ),  $r^2$ , and SEE.

Εικόνα 47: Χρονικά παράθυρα των απεικονίσεων Landsat και των μετρήσεων SDT

Summary of step-wise multiple regressions between natural log of SDT and various Landsat TM bands<sup>a</sup>

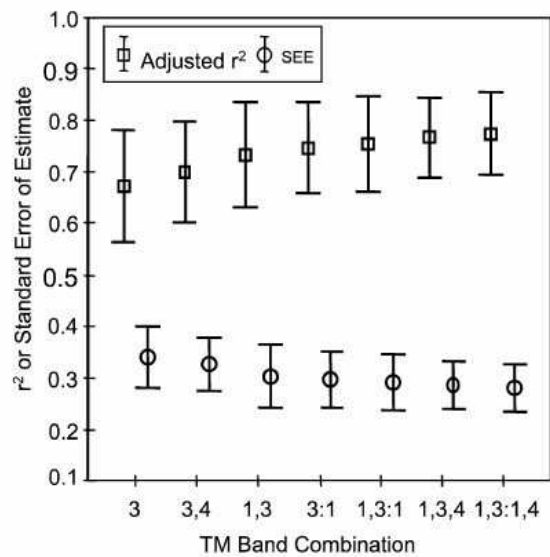
Image date	$n$	$r^2$	Two-tailed significance level ( $P$ value)							
			TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7	
8/21/86	21	.86		*	***					
8/26/88	22	.95		***	***	**				
6/16/91	53	.76	***		***	*	***			
7/18/91	31	.82			***	**				***
9/04/91	26	.83	**	*	***	*				
9/20/91	20	.83		**		***	**			
8/24/93	38	.77	**	***		***				
7/29/95	43	.87	***		***					
7/15/96	50	.88	***		***	*	***			
9/07/98	30	.82		***					***	

<sup>a</sup> Time window of  $\pm 1$  day between satellite overpass and ground observations.

\* Significance level of  $P < .10$ .

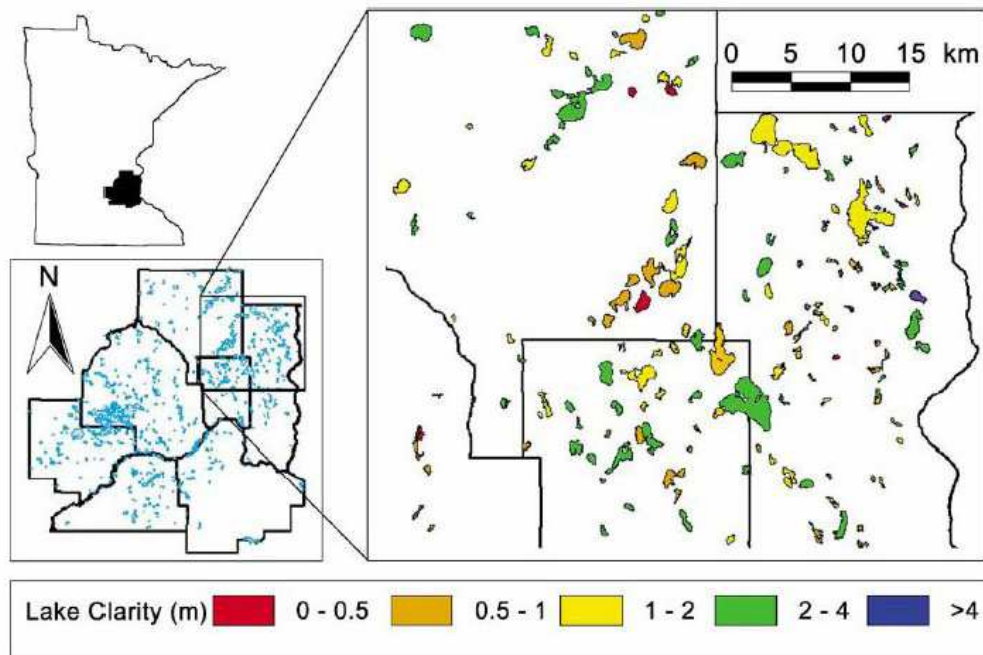
\*\* Significance level of  $P < .05$ .

\*\*\* Significance level of  $P < .01$ .



Mean and 95% confidence intervals for  $r^2$  and SEE for regression equations between  $\ln(\text{SDT})$  and combinations of TM bands and band ratios.

Εικόνα 48: Παλινδρόμηση των SDT και των καναλιών Landsat



Distribution of lakes in TCMA with inset image of satellite-based SDT for lakes in northern Ramsey and Washington counties on September 7, 1998. Inset area contains 130 lakes >10 ha with water clarity ranging from 0.3 to 4.2 m on this date.

**Εικόνα 49: Υπολογισμένη διαύγεια (σε μέτρα) των λιμνών της περιοχής**

#### 4.4.4 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της έρευνας παρουσίασαν μια ικανοποιητική και αξιόπιστη συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων από τις δορυφορικές απεικονίσεις Landsat και της διαύγειας (καθαρότητας) του νερού μιας λίμνης. Ιδιαίτερα οι λόγοι καναλιών TM1/TM3, MSS1/MSS3 καθώς και το κανάλι TM1, εμφάνισαν την καλύτερη συμπεριφορά με τις επίγειες μετρήσεις SDT και επιβεβαίωσαν το συμπέρασμα άλλων εργασιών (Dekker, A.G., Malthus, T.J., Wijnen, M.M. and Seyhan, E. (1992) The Effect of Spectral Bandwidth and Positioning on The Spectral Signature Analysis of Inland Waters, Remote Sensing of The Environment, Ch.12 2-3(2-3) p.211-225) σχετικά με το γεγονός ότι οι φασματικές ζώνες των δεκτών MSS και TM μπορούν να συνδεθούν με οπτικά ενεργές και αξιοποιήσιμες ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των φωτοσυνθετικών χρωστικών και των ανόργανων ιζημάτων τα οποία μπορούν να παρατηρηθούν (και να μετρηθούν) στο νερό μιας λίμνης. Η παρούσα εργασία, συνεχίστηκε και για άλλες περιοχές, με ανάλογα αποτελέσματα

## **4.5 Σύγκριση δυνατοτήτων ανίχνευσης της σοβαρότητας μιας πυρκαγιάς με τη βοήθεια δορυφορικών απεικονίσεων AVIRIS και Landsat ETM (Wagtendonk J.W., et al., 2004)**

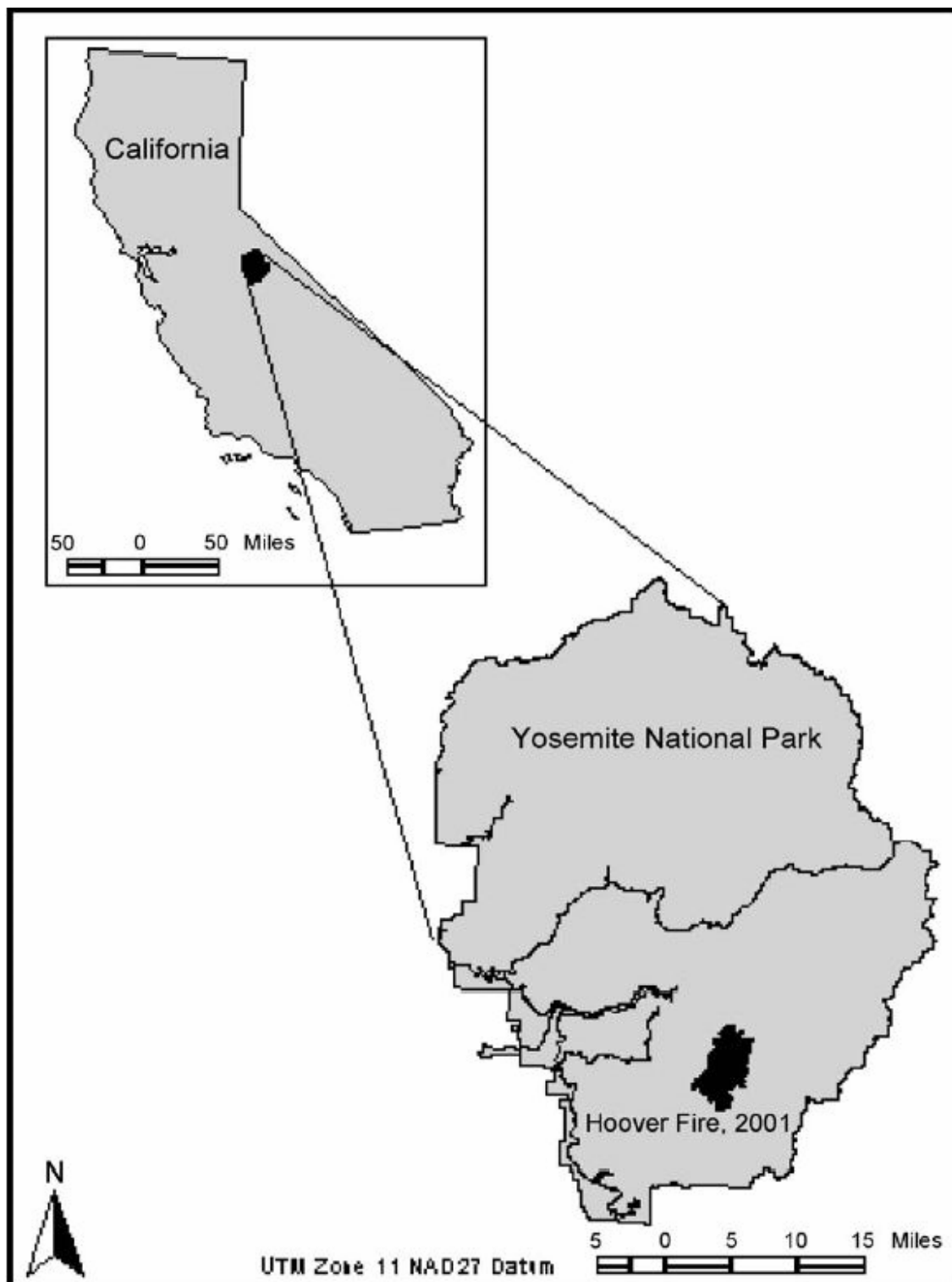
### **4.5.1 Περίληψη**

Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι να γίνει μια σύγκριση στην εκτίμηση της σοβαρότητας μιας πυρκαγιάς, χρησιμοποιώντας τον φασματικό δείκτη dNBR (differenced Normalized Burn Ratio) ως εκτιμητή της σοβαρότητας μιας πυρκαγιάς ο οποίος έχει υπολογιστεί από δεδομένα δορυφορικών Landsat ETM απεικονίσεων αλλά και από δορυφορικά δεδομένα απεικονίσεων AVIRIS. Η μελέτη έγινε στο Yosemite National Park στη Σιέρα Νεβάδα της Καλιφόρνια και διερευνήθηκαν οι δυνατότητες που μπορεί να δώσει ο δείκτης dNBR εάν χρησιμοποιηθούν δορυφορικά δεδομένα, αμέσως μετά την έναρξη μιας πυρκαγιάς.

### **4.5.2 Το σύστημα AVIRIS**

Το σύστημα AVIRIS (Airborne Visible-Infrared Imaging Spectrometer) είναι ένας αερομεταφερόμενος υπερφασματικός σαρωτής νέας γενιάς, ο οποίος συλλέγει δεδομένα σε 224 κανάλια που έχουν πλάτος περίπου 9,6 nm το καθένα, σε συνεχόμενες ζώνες μεταξύ των 0,4μm και 2,45μm. Το σύστημα AVIRIS χρησιμοποιήθηκε μέσω του ερευνητικού αεροσκάφους της NASA ER-2 σε ένα ύψος 16,7 km από τη μέση στάθμη της θάλασσας, με επίγεια διακριτική ικανότητα 17 m. Για τη σάρωση της περιοχής μελέτης, σε κάθε πτήση πραγματοποιούνται 7 γραμμές πτήσης, προσανατολισμένες σε κατεύθυνση B-N, με τις γραμμές πτήσης 4 και 5 να περιλαμβάνουν την καμένη περιοχή (εικόνα 50).





Εικόνα 50: Περιοχή μελέτης

### 4.5.3 Η περιοχή μελέτης

Το Yosemite National Park είναι ένα πάρκο 300.000 εκταρίων (3.000.000 στρέμματα) στη Σιέρα Νεβάδα της Καλιφόρνια (εικόνα 50). Το υψόμετρο στην περιοχή, κυμαίνεται από 600 μέτρα στους πρόποδες των λόφων έως 4000 μέτρα στις κορυφογραμμές. Το πάρκο έχει ένα ήπιο κλίμα με ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και κρύους, υγρούς χειμώνες. Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από -11°C στα μέσα του Ιανουαρίου για τις περιοχές με υψηλό υψόμετρο έως 32°C τον Ιούλιο για τις περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο. Η βλάστηση ανταποκρίνεται στο κλίμα και την τοπογραφία, με θαμνώδεις εκτάσεις στους πρόποδες των λόφων, δάση κωνοφόρων που καλύπτουν τις ορεινές και υποαλπικές ζώνες, καθώς και αλπικά λιβάδια πάνω από τη γραμμή των δασών. Οι αστραπές αποτελούν συνηθισμένο φαινόμενο για την περιοχή και προκαλούν πολυάριθμες πυρκαγιές κάθε χρόνο. Η φωτιά διαδραματίζει έναν φυσικό ρόλο σε όλες τις ζώνες βλάστησης, εκτός από την αλπική ζώνη. Το πάρκο έχει ένα ενεργό πρόγραμμα διαχείρισης των πυρκαγιών που λειτουργεί για πάνω από 30 χρόνια, που από το 1972 επιτρέπει τις πυρκαγιές να καίνε βάσει προδιαγεγραμμένων συνθηκών. Η φωτιά Hoover Fire (την οποία μελετά η εργασία αυτή) προήλθε από ανάφλεξη αστραπής στις 26 Ιουλίου 2001 στην περιοχή Illilovette Creek νότια της πεδιάδας Yosemite. Η διάδοση της πυρκαγιάς είχε πολύ αργούς ρυθμούς μέχρι τις 18 Αυγούστου, όταν ξαφνικά άρχισε να επεκτείνεται γρήγορα λόγω της αύξησης των ανέμων στην περιοχή. Μέχρι τις 22 Αυγούστου 2001, όταν η πυρκαγιά κατασβέστηκε από το χιόνι, είχε κάψει 2.961 εκτάρια δασικής έκτασης.

### 4.5.4 Μεθοδολογία

Για την πυρκαγιά Hoover Fire αποκτήθηκαν δύο Landsat ETM ψηφιακές εικόνες, η μία στις 27 Ιουλίου 2000 πριν την εκδήλωση της πυρκαγιάς και η άλλη στις 2 Αυγούστου 2002 μετά την κατάσβεσή της. Οι εικόνες του Landsat TM είχαν διορθωθεί γεωμετρικά από το USGS (United States Geological Survey), στο οποίο πραγματοποιήθηκε και ραδιομετρική διόρθωσή τους αλλά είχε προηγηθεί και προεπεξεργασία τους για να απομακρυνθούν τα σύννεφα και οι κάποια σφάλματα από τις γραμμές σάρωσης του δέκτη. Μετά τη μετατροπή των ψηφιακών τιμών σε απόλυτες τιμές έντασης ακτινοβολίας, υπολογίστηκε για κάθε εικόνα ο φασματικός δείκτης dNBR όπου:

$$NBR_{ETM} = 1000 \times [(R4 - R7) / (R4 + R7)]$$

όπου R4, R7 η τιμή της έντασης της ακτινοβολίας ανά εικονοστοιχείο, υπολογιζόμενη για τα κανάλια 4 και 7 του δορυφόρου Landsat αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις ανακλαστικότητας των Markham and Barker (1986).

Επιπλέον, υπολογίστηκε ο φασματικός δείκτης dNBR:

$$dNBRET_{M} = NBR_{pre} - NBR_{post}$$

όπου η dNBR η ανά κανάλι διαφοροποίηση της ανακλαστικότητας των φασματικών δεικτών πριν (NBR<sub>pre</sub>) και μετά την κατάσβεση της πυρκαγιάς (NBR<sub>post</sub>).

Στη συνέχεια, συλλέχθηκαν επίγεια δεδομένα και δημιουργήθηκε ένας σύνθετος δείκτης CBI, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του μεγέθους των επιπτώσεων της πυρκαγιάς στην περιοχή μελέτης. Η τιμή του δείκτη CBI κυμαίνεται μεταξύ 0 και 3 ανάλογα με το βαθμό σοβαρότητας της πυρκαγιάς. Με βάση αυτή τη διακύμανση των τιμών CBI, οι εικονικές παραστάσεις-ιστογράμματα κατηγοριοποιήθηκαν σε περιοχές υψηλής, μεσαίας και χαμηλής σοβαρότητας καμένες περιοχές, καθώς και σε μη καμένες περιοχές. Παράλληλα με την προσπάθεια να εκτιμηθεί η σοβαρότητα της πυρκαγιάς χρησιμοποιώντας Landsat ETM δορυφορικές απεικονίσεις, επιχειρήθηκε να γίνει εκτίμηση της πυρκαγιάς με βάση την επεξεργασία των εικόνων από το σύστημα AVIRIS για την περιοχή μελέτης. Τα δεδομένα AVIRIS αποκτήθηκαν από δύο πτήσεις του ερευνητικού αεροσκάφους της NASA, το ER-2, που πραγματοποιήθηκαν στις 17 Αυγούστου 2001 (μία ημέρα πριν την εξάπλωση της πυρκαγιάς) και ένα χρόνο μετά, στις 22 Ιουλίου 2002. Οι δύο πτήσεις έδωσαν την ευκαιρία να συγκριθούν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, με αυτά των από τον Landsat ETM απεικονίσεων, όσο αφορά τη σοβαρότητα της πυρκαγιάς. Τα δεδομένα των πτήσεων του αερομεταφερόμενου συστήματος AVIRIS διορθώθηκαν και αυτά γεωμετρικά και δημιουργήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) της περιοχής. Τα στοιχεία της πτήσης, όπως χρόνος, γεωγραφικό μήκος και πλάτος, υψόμετρο και κατεύθυνση, καταγράφηκαν πλήρως κατά την πτήση και οι απεικονίσεις διορθώθηκαν και ραδιομετρικά και τα δεδομένα του AVIRIS μετατράπηκαν σε απόλυτες τιμές έντασης ακτινοβολίας για την αποκατάσταση της θολότητας από τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ACORN. Έπειτα, υπολογίστηκε ο φασματικός δείκτης dNBR για κάθε μια απεικόνιση χρησιμοποιώντας τα φασματικά κανάλια 47 και 210 του AVIRIS:

$$NBR_{AVIRIS} = 1000 \times [(R47 - R210) / (R47 + R210)]$$

όπου R η τιμή της ανακλαστικότητας ανά εικονοστοιχείο υπολογιζόμενη για τα κανάλια 41 και 210 του AVIRIS.

Η σχέση μεταξύ των φασματικών καναλιών και της σοβαρότητας φωτιάς εξετάστηκε από τη διαφοροποίηση των δεδομένων πριν και μετά την πυρκαγιά:

$$dNBR_{AVIRIS} = NBR_{pre} - NBR_{post}$$

Οι διαφορές ανακλαστικότητας ανά κανάλι αποτελούν τη βάση για την ποσοτικοποίηση της φασματικής απόκρισης σε σχέση με το χρόνο και υποδεικνύουν το βαθμό της φασματικής αλλαγής λόγω πυρκαγιάς. Αυτές οι διαφορές ανακλαστικότητας υπολογίστηκαν για κάθε κατηγορία περιοχής και με τον τρόπο αυτόν δημιουργήθηκε μια κατανομή, η οποία είχε σαν σκοπό την ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων για σύγκριση και όχι τον εκ των προτέρων καθορισμό της σοβαρότητας της πυρκαγιάς.

#### 4.5.4 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του φασματικού δείκτη dNBR και για τους δύο αισθητήρες παρουσίασαν παρόμοια πρότυπα όσο αφορά τη χωρική κατανομή και το βαθμό της φασματικής αλλαγής λόγω πυρκαγιάς. Η καμένη περιοχή εξήχθη χρησιμοποιώντας την περίμετρο της φωτιάς και ο πληθυσμός των εικονοστοιχείων που φανερώνουν τη φωτιά συνοψίστηκαν και για τους δύο αισθητήρες. Η ανάλυση των φασματικών αποκρίσεων επιβεβαίωσαν την επιλογή των καναλιών 47 και 210 του AVIRIS για την ανίχνευση της σοβαρότητας πυρκαγιάς. Για τις περιοχές υψηλής σοβαρότητας η μέση διαφορά της φασματικής απόκρισης στο κανάλι 47 ήταν της τάξεως 0,14 με μία τυπική απόκλιση 0,18. Για το κανάλι 210 η μέση διαφορά ήταν 0,22 με τυπική απόκλιση 0,06. Η μέση διαφορά μειώθηκε για τις περιοχές μεσαίας και χαμηλής σοβαρότητας, καθώς και για τις μη καμένες περιοχές. Η σύγκριση για τις περιοχές μεσαίας σοβαρότητας παρουσίασε τον ίδιο διαχωρισμό των τιμών ανακλαστικότητας για τις μικρού μήκους κύματος υπέρυθρες ακτίνες όσο και για το μήκος κύματος των εγγύς υπέρυθρων ακτινών, με μόνη διαφορά τη παρουσία μίας μικρής ποσότητας πράσινης βλάστησης που υποδεικνυόταν με ένα 'κοκκινωπό' χρώμα. Το ίδιο ισχύει και για τις περιοχές χαμηλής σοβαρότητας, μόνο που εκεί παρουσιάστηκε μία μικρή μείωση στην απορρόφηση χλωροφύλλης, ορατή στην περιοχή 550-700nm. Όσο αφορά τις μη

καμένες περιοχές, η σύγκριση όπως αναμενόταν φαίνεται σχεδόν ίδια και για τα δύο έτη. Τα αποτελέσματα αυτά ταιριάζουν με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν από τη χρησιμοποίηση των Landsat ET δεδομένων και του ETM αισθητήρα. Αυτό συμβαίνει γιατί τα κανάλια 47 και 210 αντανακλούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε περίπου ίδια μήκη κύματος με τα κανάλια 4 και 7 του δορυφόρου Landsat αντίστοιχα. Έγινε επικύρωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης της σοβαρότητας πυρκαγιάς με τη σύγκριση των τιμών του σύνθετου δείκτη φωτιάς CBI από 63 γραφικές παραστάσεις-ιστογράμματα με τις τιμές του φασματικού δείκτη dNBR για τις ETM και AVIRIS εικόνες ξεχωριστά (εικόνες 51 και 52). Οι παλινδρομήσεις παρουσίασαν υψηλές τιμές συσχέτισης R2 και περίπου ίδιες (με διαφορά 0,04) ανεξάρτητης μεταβλητής.

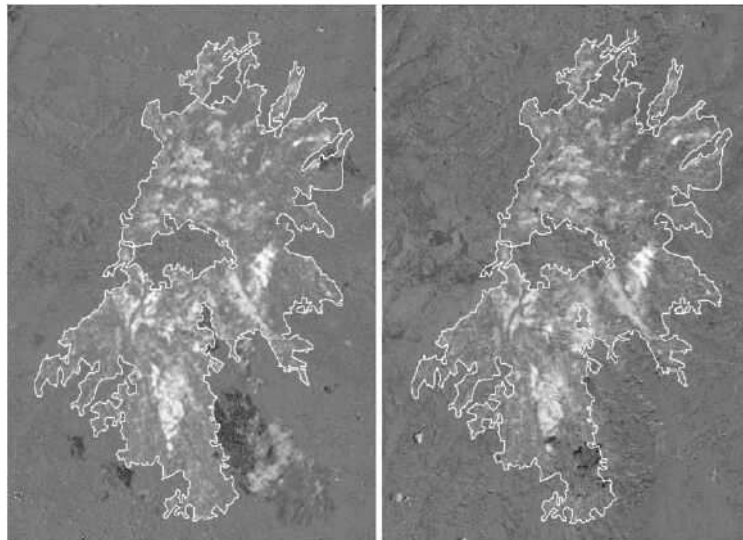
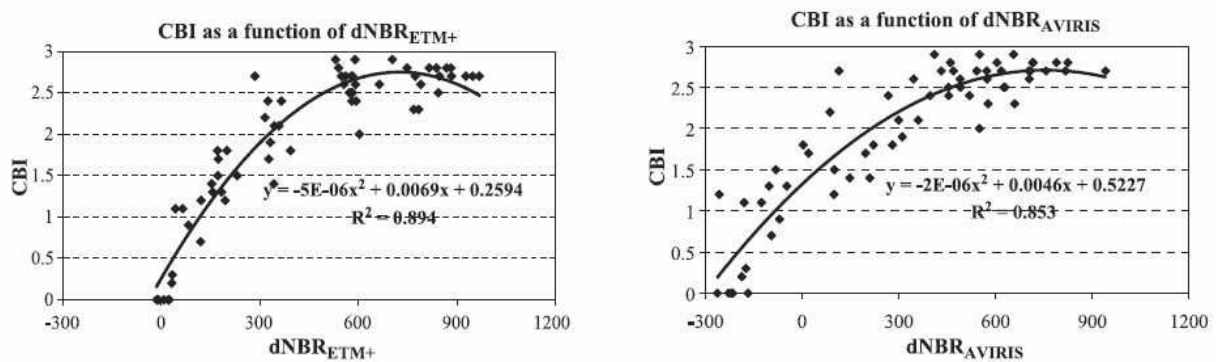


Fig. 6. The dNBR for the Hoover burn area, ETM+ on the left and AVIRIS on the right. The gray scale indicates the magnitude of change in NBR. Neutral or very little change as medium gray predominates outside the burn.

**Εικόνα 51: Τα αποτελέσματα εφαρμογής του δείκτη dNBP σε Landsat (αριστερά) και AVIRIS (δεξιά)**



**Εικόνα 52: Τα αποτελέσματα παλινδρομήσεων του δείκτη CBI σε συνάρτηση με τον d δείκτη dNBP**

#### **4.5.5 Συμπεράσματα**

Με βάση τις γενικές αρχές της ψηφιακής τηλεπισκόπησης και τη λογική της μεταβολής των φασματικών αποκρίσεων των δειγμάτων εδάφους σε περίπτωση πυρκαγιάς, ο φασματικός δείκτης dNBR και από τους δύο σαρωτές (Landsat ETM και AVIRIS) δίνει χρήσιμα συμπεράσματα για την κατά κάποιο τρόπο ποσοτικοποίηση της σοβαρότητας μιας πυρκαγιάς. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας αποδεικνύουν αυτή τη θεώρηση και στην πράξη και δείχνουν ότι οι δυνατότητες του υπερφασματικού σαρωτή AVIRIS έχουν μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον, αλλά θα πρέπει να δοκιμαστεί σε επαρκή αριθμό διαφορετικών πυρκαγιών ή/και σε ικανοποιητικό αριθμό πυρκαγιών σε διαφορετικά οικοσυστήματα. Η παρούσα μελέτη αποτελεί ένα έναυσμα για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του υπερφασματικού σαρωτή AVIRIS από μόνου του ή και σε συνδυασμό με δορυφορικές απεικονίσεις Landsat ETM.

### **4.6 Ο ρόλος της τηλεπισκόπησης στη χαρτογράφηση διογκωμένων εδαφών (Kariuki P.C., et al., 2004)**

#### **4.6.1 Αντικείμενο μελέτης**

Η μελέτη του φαινομένου της διόγκωσης του εδάφους έχει καταστεί αναγκαία λόγω της εκτεταμένης παγκόσμιας ζημιάς που προκλήθηκε από το φαινόμενο της ραγδαίας ανάπτυξης των υποδομών. Μέθοδοι για την εκτίμησή της έχουν αναπτυχθεί με την πάροδο των ετών με στόχο τη δημιουργία ταχύτερων και λιγότερο δαπανηρών τρόπων εκτίμησης των δυνατοτήτων της διόγκωσης σε εδάφη. Τέτοιες μέθοδοι αποτελούνταν κυρίως από εργαστηριακές δοκιμές που είναι επίπονες και δαπανηρές. Αντικείμενο αυτής της μελέτης είναι η δημιουργία καινούριων μεθόδων για την παρακολούθηση και την αναγνώριση των εδαφών σε διόγκωση, με τη χρησιμοποίηση της ψηφιακής τηλεπισκόπησης. Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα και τεχνικές τηλεπισκόπησης για την παρακολούθηση και χαρτογράφηση της διόγκωσης του εδάφους του νοτιοδυτικού Ναϊρόμπι της Κένυας. Οι σκοποί της έρευνας ήταν:

- Αναγνώριση και εντοπισμός των εδαφών ευπαθών στη διόγκωση.
- Γεωλογική διάκριση του εδάφους της περιοχής (αργιλικά ορυκτά, οξειδία του σιδήρου και υδροξυλίου).

- Έλεγχος της χωρικής αντιστοιχίας μεταξύ των ταξινομικών ομάδων σε εδάφη με χαρακτηριστικά διόγκωσης.



Εικόνα 53: Έδαφος που έχει υποστεί διόγκωση

#### 4.6.2 Η περιοχή μελέτης και συλλογή δεδομένων

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νοτιοδυτικό μέρος του Ναϊρόμπι, στην Κένυα μεταξύ 1°00' - 1°30' N γεωγραφικού πλάτους 36°30' - 37°30' Α γεωγραφικού μήκους. Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη είναι μια Landsat ETM απεικόνιση, ημερομηνίας λήψης στις 21 Φεβρουαρίου το 2000, με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή, να ήταν σχετικά ξηρές. Για την οπτική ερμηνεία των τοπογραφικών διαφορών στην περιοχή, χρησιμοποιήθηκε το παγχρωματικό κανάλι του δορυφόρου Landsat 7. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν εδαφικές μετρήσεις στην περιοχή, για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων, περίπου την ίδια χρονική περίοδο με την ημερομηνία απόκτησης της ψηφιακής απεικόνισης.



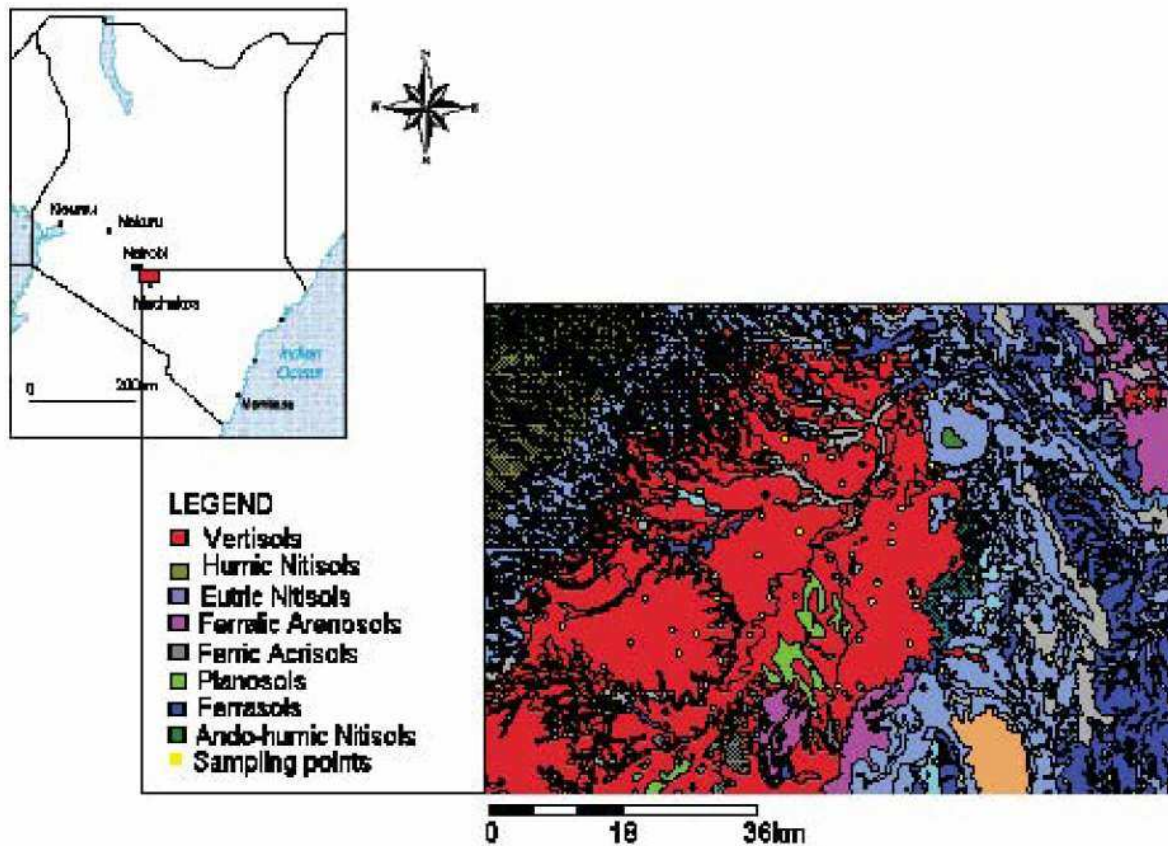


Figure 1: Soil map of the study area (after Scott, 1963)

Εικόνα 54: Η περιοχή μελέτης και ο εδαφικός χάρτης της περιοχής

#### 4.6.3 Μεθοδολογία

Η Landsat ETM απεικόνιση ημερομηνίας λήψης στις 21 Φεβρουαρίου το 2000 υπέστη προεπεξεργασία και διορθώθηκε γεωμετρικά και ραδιομετρικά. Πραγματοποιήθηκε ένα καλιμπράρισμα της απεικόνισης, με σκοπό την εύρεση της σχέσης μεταξύ της απόλυτης έντασης ακτινοβολίας και των ψηφιακών τιμών για το κάθε κανάλι. Μετά το τέλος της διαδικασίας της διόρθωσης και αποκατάστασης της ψηφιακής απεικόνισης, έγινε ενίσχυσή της για καλύτερη φωτοερμηνεία. Χρησιμοποιήθηκαν λόγοι καναλιών για την ανάδειξη των φασματικών χαρακτηριστικών των διαφόρων εικονοστοιχείων της εικόνας, αλλά και για να αντισταθμιστεί η διακύμανση των ψηφιακών τιμών, η οποία οφείλεται στο τοπογραφικό ανάγλυφο και στο φωτισμό της περιοχής. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η απαλοιφή του θορύβου, με τη χρήση του



αλγόριθμου MNFC (minimum noise fraction) στην εικόνα. Κατόπιν ακολουθεί η διαδικασία της ανάλυσης των κυρίων συνιστωσών των δεδομένων της Landsat ETM εικόνας που εφαρμόστηκε στα επτά κανάλια. Συγκεκριμένα εφαρμόστηκε η τεχνική Crosta (Crosta and Moore, 1989) ή αλλιώς η τεχνική FPCS (Feature Oriented Principal Components Selection), η οποία είναι μια μέθοδος μετασχηματισμού των πολυφασματικών δεδομένων. Στόχος της είναι η μείωση της διάστασης των δεδομένων, διατηρώντας ταυτόχρονα το σύνολο της αρχικής πληροφορίας. Έπειτα χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός TCT (Tasseled Cap Transformation), για να ενισχυθεί ο διαχωρισμός μεταξύ των εδαφών και της βλάστησης, μέσω του προσδιορισμού τριών δεικτών: της φωτεινότητας του εδάφους, το πράσινο της βλάστησης και την υγρασία του εδάφους. Ουσιαστικά ο TCT είναι ένας ορθογώνιος μετασχηματισμός, που για τον υπολογισμό των τριών αυτών δεικτών χρησιμοποιεί δεδομένα από τη συσχέτιση των 6 καναλιών Landsat ETM (TM1, TM2, TM3, TM4, TM5, TM7), κάτω από συγκεκριμένες εξισώσεις συσχέτισης. Παράλληλα γίνονται μετρήσεις στο έδαφος της περιοχής για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Τέλος πραγματοποιήθηκε οπτική ερμηνεία της εικόνας από το παγχρωματικό κανάλι Landsat TM8 στην περιοχή μελέτης. Η οπτική ερμηνεία επέτρεψε την οριοθέτηση και την ταξινόμηση της περιοχής σε μονάδες υψηλής και χαμηλής διόγκωσης εδαφών, η οποία βασίζεται στην παρατήρηση των χωρικών προτύπων και των προηγούμενων προσδιορισμένων φασματικών διαφορών. Αποτέλεσμα ήταν η αναγνώριση και ο προσδιορισμός θέσεων των "gilgai" (δηλαδή των λιμνών βάθους περίπου μισού μέτρου), οι οποίες είναι προϊόν της ακραίας διόγκωσης του εδάφους της περιοχής.

#### Λόγοι καναλιών που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη

- Ο λόγος καναλιών 4/3, μεταξύ του TM4 και TM3, απέδωσε τη βαριά βλαστική κάλυψη του εδάφους της περιοχής.
- Ο λόγος καναλιών 3/1, μεταξύ του TM3 και TM1, χρησιμοποιήθηκε για τη διάκριση των εδαφών με περιεχόμενο σιδήρου.
- Ο λόγος καναλιών 5/7, μεταξύ του TM5 και TM7, χρησιμοποιήθηκε για την ανάδειξη των εδαφών με περιεκτικότητα σε άργιλο
- Ο λόγος καναλιών 5/4, μεταξύ του TM5 και TM4, εφαρμόστηκε για τη διάκριση μεταξύ των οξειδίων του σιδήρου και του υδροξυλίου.

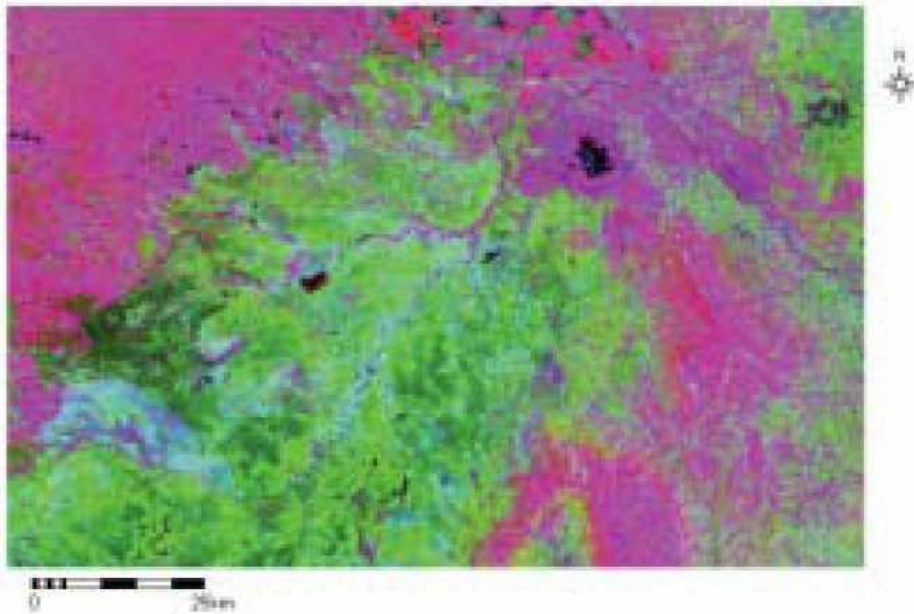


Figure 2: Color composite of the ratios  $5/4$  (red),  $4/3$  (green) and  $5/7$  (blue).

**Εικόνα 55: Έγχρωμο σύνθετο φασματικών λόγων  $5/4-4/3-5/7$  (R,G,B)**



Figure 4: Fourth principal component showing hydroxyl as bright pixels

**Εικόνα 56: Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών**

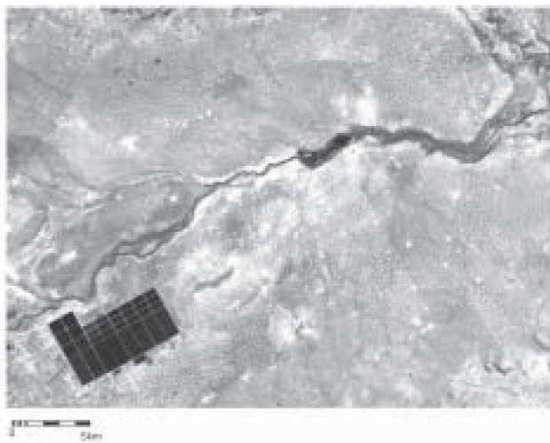


Figure 5: Close up look of gilgai topography on ETM+ band 8

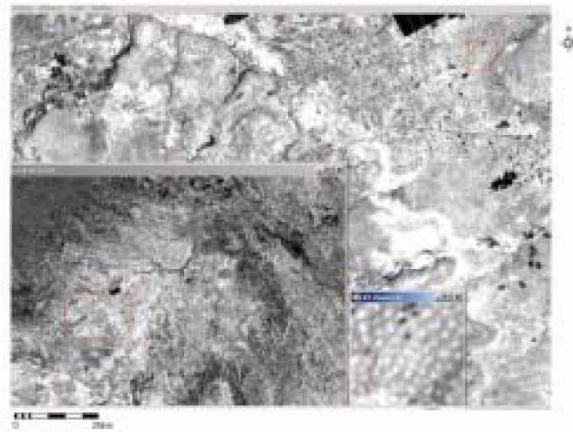


Figure 6: Entire study area (inset) and zoomed sections to represent the gilgai topography

**Εικόνα 57: Η περιοχή μελέτης στο παγχρωματικό του Landsat ETM**

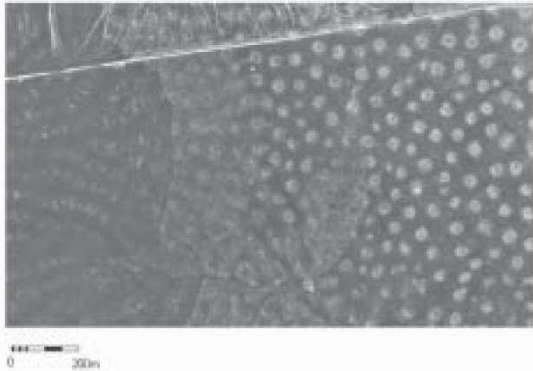


Figure 7: A 1:20 000 aerial photograph showing the gilgai topography

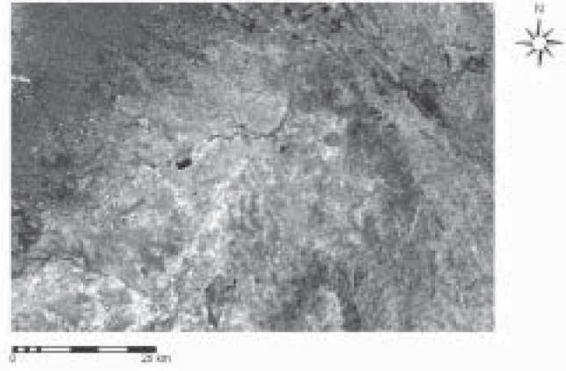


Figure 8: Distribution of gilgai topography in the study area marked in green

#### **Εικόνα 58: Αεροφωτογραφία και Δορυφορική απεικόνιση της περιοχής μελέτης**

#### **4.6.4 Συμπεράσματα**

Η συγκεκριμένη μελέτη έδειξε ότι η συνδυασμένη χρήση της φασματικής και χωρικής ανάλυσης σε δορυφορικά δεδομένα μπορεί να οδηγήσει στη χαρτογράφηση και τον εντοπισμό των εδαφών ευπαθών στο φαινόμενο της διόγκωσης. Η χρησιμοποίηση του παγχρωματικού καναλιού του Landsat 7 είχε ως αποτέλεσμα την ακριβή κατηγοριοποίηση των εδαφών, σύμφωνα με τις φυσικοχημικές ιδιότητές τους. Επιτεύχθηκε η απομάκρυνση της επιρροής της βλαστικής κάλυψης, που αποτελεί το κυριότερο πρόβλημα για την παρακολούθηση των εδαφών μέσω τηλεσκοπικών μεθόδων. Επίσης, σε οποιαδήποτε μελλοντική μελέτη, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εποχιακές αλλαγές στη μορφολογία του εδάφους.

## **4.7 Χρήση πολλαπλών φασματικών δεικτών για την εκτίμηση του μεγέθους των επιπτώσεων μίας πυρκαγιάς στην περιοχή Black Hills της νότιας Dakota (Chen X., et al., 2008)**

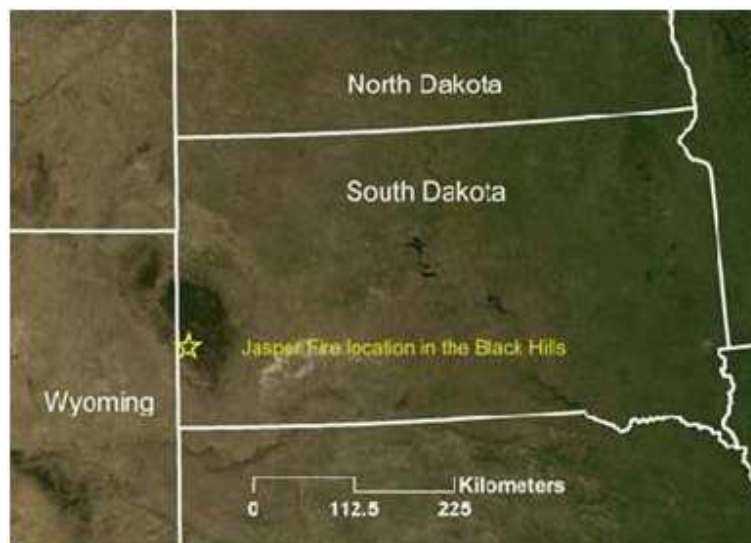
### **4.7.1 Εισαγωγή**

Λόγω της υψηλής χωρικής και χρονικής διακύμανσης και την αβεβαιότητα των δασικών πυρκαγιών, εξακολουθεί να είναι μία πρόκληση η ακριβής εκτίμηση της πληγείσας περιοχής καθώς και το ακριβές μέγεθος των επιπτώσεων μετά από μία μεγάλη πυρκαγιά. Τηλεπισκοπικές τεχνικές παρέχουν ένα βελτιωμένο τρόπο για την ανίχνευση της χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας με χαμηλότερο κόστος και λιγότερο χρόνο από τις παραδοσιακές μεθόδους καταγραφής των επιπτώσεων μίας πυρκαγιάς. Ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι η ανάλυση των συσχετισμών μεταξύ των τηλεπισκοπικών φασματικών δεικτών και των εδαφικών δεδομένων της “σοβαρότητας” των επιπτώσεων μίας δασικής πυρκαγιάς που εξελίχτηκε στον Εθνικό Δρυμό Black Hills της νότιας Dakota κατά τη διάρκεια του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου του 2000. Οι υπο μελέτη φασματικοί δείκτες περιλαμβάνουν τον παραδοσιακό κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (NDVI) και αυτούς τους νέους σχετικά δείκτες: τον ενισχυμένο δείκτη βλάστησης (EVI), τον κανονικοποιημένο δείκτη καταστροφής από φωτιά (NBR), καθώς και τον ενοποιημένο δασικό δείκτη (IFI).

### **4.7.2 Περιοχή μελέτης και δεδομένα**

Η περιοχή μελέτης ήταν ο Εθνικός Δρυμός στην περιοχή Black Hills στη Νότια Dakota (-103,85°W, 44,82°N, με υψόμετρο 1900μ.) (εικόνα 59). Η φωτιά “Jasper” όπως ονομάστηκε, ήταν η μεγαλύτερη πυρκαγιά που συνέβη στην περιοχή σε τουλάχιστον ένα αιώνα. Η πυρκαγιά ξεκίνησε στις 24 Αυγούστου του 2000 και ο έλεγχος της επιτεύχθηκε στις 25 Σεπτεμβρίου. Η καμένη έκταση ήταν περίπου 337,9 km<sup>2</sup> (83.508 στρέμματα) και τα έξοδα καταστολής ήταν πάνω από 8,2 εκατομμύρια δολάρια. Εβδομήντα μία γραφικές παραστάσεις-ιστογράμματα με βάση τα δεδομένα από την εφαρμογή του σύνθετου δείκτη φωτιάς (CBI), συλλέχθηκαν 21 μήνες μετά τον περιορισμό της φωτιάς από τις 13 Μαΐου έως τις 26 Μαΐου του 2002, στην περιοχή μελέτης Black Hills. Αυτές οι επίγειες μετρήσεις CBI χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση και την επικύρωση των πραγματικών επιπτώσεων της φωτιάς στο έδαφος της περιοχής μελέτης. Λεπτομερείς παρατηρήσιμες πληροφορίες και εδαφικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των οργανικών υλικών που καταναλώνονται, τα χαρακτηριστικά του εναπομείναντος οργανικού άνθρακα και της

τέφρας, καθώς και τις δυνατότητες της βλαστικής αναγέννησης, καταγράφηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την ανεξάρτητη αξιολόγηση του μεγέθους και της σοβαρότητας των επιπτώσεων της πυρκαγιάς. Η CBI τιμή κυμαίνεται μεταξύ 0 και 3 και η αξία της είναι ανάλογη με το βαθμό σοβαρότητας της φωτιάς. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη περιλαμβάνουν 2 Landsat5 απεικονίσεις που αποκτήθηκαν στις 2 Ιουνίου του 2000 (πριν τη φωτιά), και μια Landsat 7 εικόνα που αποκτήθηκε στις 31 Μαΐου του 2002 (21 μήνες μετά τη φωτιά).



Εικόνα 59: Περιοχή μελέτης της φωτιάς Jasper στο Black Hills National Forest της South Dakota.

#### 4.7.3 Μέθοδοι

Πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων και των 3 Landsat εικόνων με σκοπό τη διόρθωση και την αποκατάσταση τους από γεωμετρικές παραμορφώσεις, την εξάλειψη τυχόν θορύβου και τη ραδιομετρική ρύθμιση τους. Οι 4 φασματικές δείκτες υπολογίστηκαν με τη χρησιμοποίηση των παρακάτω εξισώσεων για κάθε μία απεικόνιση. Ο φασματικός δείκτης NDVI υπολογίζεται με τη χρησιμοποίηση της ανάκλασης στο κόκκινο και στο εγγύς υπέρυθρο των καναλιών 3 και 4 του δορυφόρου Landsat αντίστοιχα:

$$NDVI = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3)$$

Ο φασματικός δείκτης EVI υπολογίζεται με τη χρησιμοποίηση της ανάκλασης στο μπλε, στο κόκκινο και στο εγγύς ερυθρό των καναλιών 1,3 και 4 του δορυφόρου Landsat αντίστοιχα:

$$EVI = 2,5 \times (Band4 - Band3) / (Band4 + 6 \times Band3 - 7,5 \times Band1 + 1)$$

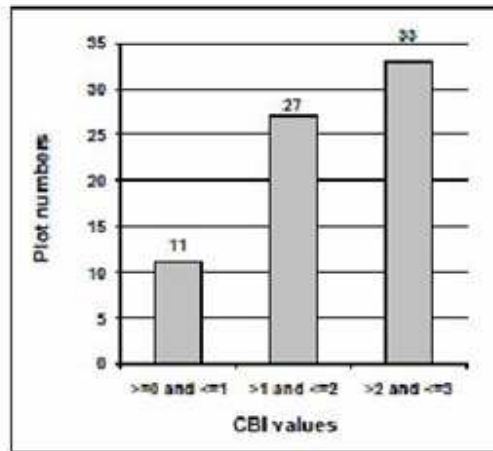
Ο φασματικός δείκτης IFI έχει αναπτυχθεί πρόσφατα και αντιπροσωπεύει την 'κατάσταση' του δάσους με τη χρησιμοποίηση κατάλληλων στατιστικών στοιχείων από τις δορυφορικές απεικονίσεις:

$$IFI_p = \sqrt{\frac{1}{NB} \sum_{i=1}^{NB} \left( \frac{b_{pi} - \bar{b}_i}{SD_i} \right)^2}$$

όπου  $b_i$  και  $SD_i$  είναι ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των επιλεγμένων εικονοστοιχείων για τα  $i$  κανάλια,  $b_{pi}$  είναι η φασματική τιμή του καναλιού  $i$  για το pixel  $p$ , και  $NB$  είναι ο αριθμός των φασματικών καναλιών.

Σε αυτή τη μελέτη, ο δείκτης IFI υπολογίστηκε με τη χρησιμοποίηση των καναλιών 3,5 και 7 του δορυφόρου Landsat. Κατόπιν, έγινε υπολογισμός της κατανομής των τιμών των 71 CBI γραφικών παραστάσεων-ιστογραμμάτων με βάση τριών θεματικών κατηγοριών. 11 CBI τιμές ιστογραμμάτων ήταν κάτω από 1, 27 τιμές κυμαίνονταν μεταξύ των τιμών 1 και 2, και 33 τιμές κυμαίνονταν μεταξύ 2 και 3 (εικόνα 60). Στη συνέχεια εξετάστηκε η γραμμική παλινδρόμηση ενιαίας μεταβλητής μεταξύ της συσχέτισης του κάθε φασματικού δείκτη ξεχωριστά και των εδαφικών CBI δεδομένων. Παλινδρομήσεις πολλαπλών μεταβλητών χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την εύρεση των διαφορών των φασματικών δεικτών πριν και μετά τη φωτιά με βάση τα CBI εδαφικά δεδομένα για την εκτίμηση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς. Οι παράμετροι των γραμμικών παλινδρομήσεων υπολογίστηκαν με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων.





Εικόνα 60: Κατανομή των τιμών του δείκτη CBI

#### 4.7.4 Ανάλυση και Αποτελέσματα

Οι οικολογικές επιπτώσεις που υφίσταται μία περιοχή μετά τη φωτιά είναι γνωστές σε όλους μας. Τα πρώτα αποτελέσματα της φωτιάς, που ονομάζονται επίσης άμεσα αποτελέσματα, είναι οι πρώτες συνέπειες από την καύση της φωτιάς, δηλαδή της χημικής αντίδρασης που συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας και φωτός. Τέτοια άμεσα αποτελέσματα είναι συνήθως ο τραυματισμός και ο θάνατος ζώων και φυτών, η κατανάλωση καυσίμων, η θέρμανση του εδάφους και η παραγωγή καπνού και τέφρας. Τα άμεσα αποτελέσματα προσδιορίζονται αμέσως μετά τη φωτιά σε αντίθεση με τα έμμεσα αποτελέσματα (όπως η διάβρωση του εδάφους, η διαδοχή της βλάστησης, τοπογραφικές και κλιματικές αλλαγές) που είναι μακροπρόθεσμα και ο ακριβής προσδιορισμός τους μπορεί να από λίγες ώρες έως δεκάδες χρόνια. Η ψηφιακή τηλεπισκόπηση μπορεί να παρατηρήσει και να προσδιορίσει τα αποτελέσματα της φωτιάς με βάση τις σημαντικές μεταβολές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, σε αυτήν τη μελέτη θα εξεταστούν οι φασματικοί δείκτες στο πρώτο και το δεύτερο χρόνο πριν και μετά της εκδήλωσης της πυρκαγιάς. Οι γραμμικές παλινδρομήσεις ενιαίας μεταβλητής των μεταβολών των φασματικών δεικτών πριν και μετά τη πυρκαγιά, του πρώτου και του δεύτερου χρόνου σε σχέση με τα CBI δεδομένα, παρουσιάζονται στην εικόνα 63. Στον πρώτο χρόνο μετά τη φωτιά, τόσο ο NDVi όσο και ο EVi είχαν καλή συσχέτιση με τα CBI δεδομένα, με τις αξίες του  $R^2$  να είναι της τάξεως 0,69. Η αξία του  $R^2$  για το



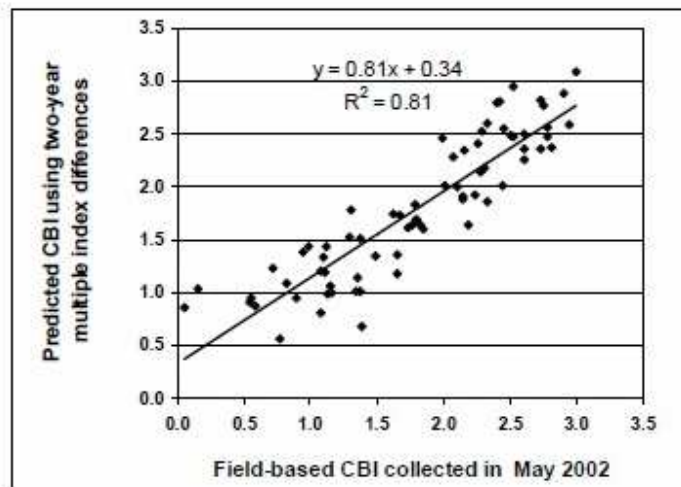
φασματικό δείκτη NBR ήταν της τάξεως 0,63, λίγο μικρότερη από τις προηγούμενες δύο. Αν ληφθούν υπόψη μόνο 40 επιλεγόμενα ως πιο κατάλληλα ιστογράμματα από τα υπόλοιπα, οι συσχετίσεις παρουσιάζουν βελτίωση με τις τιμές του  $R^2$  να είναι 0,79, 0,79 και 0,76 για τους φασματικούς δείκτες NDVI, EVI και NBR αντίστοιχα.

Τον δεύτερο χρόνο όλες οι τιμές  $R^2$  μειώθηκαν. Ο NBR παρουσίασε την καλύτερη συσχέτιση με τα CBI δεδομένα με την τιμή του  $R^2$  να είναι της τάξεως 0,60 και για τα 71 CBI ιστογράμματα και 0,74 για τα επιλεγόμενα 40 ιστογράμματα. Οι μεταβολές των IFI δεδομένων τον πρώτο χρόνο πριν και μετά την εκδήλωση της πυρκαγιάς παρουσίασαν χαμηλή συσχέτιση με τα CBI δεδομένα. Αντίθετα, το δεύτερο χρόνο παρουσίασαν καλή συσχέτιση με τα CBI δεδομένα και την τιμή  $R^2$  να είναι της τάξεως του 0,62, η οποία είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις  $R^2$  τιμές των υπόλοιπων 3 φασματικών δεικτών για το 2002. Η συσχέτιση των IFI δεδομένων με τα επιλεγόμενα ιστογράμματα των CBI δεδομένων ήταν της τάξεως του 0,66. Για την ανάλυση των πλεονεκτημάτων των τεσσάρων φασματικών δεικτών, εξετάστηκαν πολλαπλές μεταβλητές παλινδρόμησης των διαφορών τους για δύο χρόνια πριν και μετά την πυρκαγιά. Στον πίνακα 2 παρατίθενται οι συντελεστές των μεταβλητών των παλινδρομήσεων χρησιμοποιώντας τα 71 CBI ιστογράμματα αλλά και για τα 40 επιλεγμένα ιστογράμματα. Η σύγκριση των CBI δεδομένων με τα αποτελέσματα των πολλαπλών παλινδρομήσεων φαίνεται στην εικόνα 3. Η αξία της γραμμικής συσχέτισης  $R^2$  για αυτήν την σύγκριση ήταν της τάξεως του 0,86 και 0,87 για τα επιλεγμένα ιστογράμματα.

$$CBI = b_0 + b_1 \cdot NDVI(1) + b_2 \cdot NDVI(2) + b_3 \cdot EVI(1) + b_4 \cdot EVI(2) + b_5 \cdot NBR(1) + b_6 \cdot NBR(2) + b_7 \cdot IFI(1) + b_8 \cdot IFI(2)$$

	Intercept $b_0$	NDVI(1) $b_1$	NDVI(2) $b_2$	EVI(1) $b_3$	EVI(2) $b_4$	NBR(1) $b_5$	NBR(2) $b_6$	IFI(1) $b_7$	IFI(2) $b_8$
All plots	0.48	-3.43	-0.76	-0.83	-0.09	-1.17	2.22	-0.15	0.10
Confident forests	0.81	-4.95	3.70	6.65	-12.10	-3.43	4.32	-0.24	0.13

Εικόνα 61: Οι συντελεστές των μεταβλητών των παλινδρομήσεων χρησιμοποιώντας τα 71 CBI ιστογράμματα



Εικόνα 62: Η σύγκριση των CBI δεδομένων με τα αποτελέσματα των πολλαπλών παλινδρομήσεων.

	Indices difference of 2001 and 2000		Indices difference of 2002 and 2000	
	all plots	confident forest plots	all plots	confident forest plots
NDVI	0.69	0.79	0.56	0.67
EVI	0.69	0.79	0.58	0.71
NBR	0.63	0.76	0.60	0.74
IFI	0.16	0.34	0.62	0.66

Εικόνα 63: Οι γραμμικές παλινδρομήσεις ενιαίας μεταβλητής των μεταβολών των φασματικών δεικτών πριν και μετά τη πυρκαγιά, του πρώτου και του δεύτερου χρόνου σε σχέση με τα CBI δεδομένα

#### 4.7.5 Συμπεράσματα

Η συγκεκριμένη μελέτη έδειξε ότι και οι 4 φασματικοί δείκτες έχουν τη δυνατότητα να αξιολογήσουν τη σοβαρότητα της φωτιάς και τη ζημιά στην βλάστηση σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα μετά τη φωτιά. Και για τους 4 φασματικούς δείκτες χρησιμοποιήθηκαν πολλαπλές παλινδρομήσεις οι οποίες παρουσίασαν υψηλές συσχετίσεις με τα CBI δεδομένα που συλλέχθηκαν στην περιοχή μελέτης. Η αξία της γραμμικής συσχέτισης  $R^2$  ήταν της τάξεως του 0,86 για τα 71 ιστογράμματα και 0,87 για τα 40 επιλεγμένα ιστογράμματα. Με την εφαρμογή των λειτουργιών της πολλαπλής παλινδρόμησης, οι επιστήμονες θα μπορούσαν να εκτιμήσουν τα CBI δεδομένα της εφαρμογής του σύνθετου δείκτη φωτιάς CBI με μεγάλη ακρίβεια καθώς και με

τη χρήση αποκλειστικά τηλεπισκοπικών δεδομένων. Επιπλέον, αυτοί οι φασματικοί δείκτες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την μακροπρόθεσμη παρακολούθηση των έμμεσων αποτελεσμάτων των πυρκαγιών.

#### **4.8 Εδαφική δορυφορική ραδιομετρία της διαβρωτικότητας του εδάφους, κατά μήκος της κλιματικής κλίσης της Ιουδαϊκής Ερήμου στο Ισραήλ (Shosany M., et al., 2000)**

##### **4.8.1 Εισαγωγή**

Η απώλεια του εδάφους και της βλάστησης είναι τα πιο βασικά χαρακτηριστικά των διαδικασιών της ερημοποίησης. Η ένταση και η έκταση της εδαφικής υποβάθμισης προσελκύει μείζονα προσοχή ως ένα παγκόσμιο φαινόμενο αλλαγής και ως ένα περιφερειακό φαινόμενο της Μεσογείου. Ως εκ τούτου η δορυφορική τηλεπισκόπηση είναι η πιο κατάλληλη για την παρακολούθηση της εν λόγω εκτεταμένης περιβαλλοντικής απειλής υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν τα κατάλληλα βιοφυσικά μοντέλα. Η παρούσα μελέτη στοχεύει στην αξιολόγηση δεικτών φασματικών λόγων (λόγων καναλιών TM), οι οποίοι επιτρέπουν τη χαρτογράφηση της εδαφικής διαβρωτικότητας μεταξύ των τομέων που εκπροσωπούν μετάβαση υγρών και ξηρών κλιματικών συνθηκών, όπως η υφιστάμενη στο περιθώριο της Ιουδαϊκής Ερήμου. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των φασματικών και βιοχημικών ιδιοτήτων των δειγμάτων του εδάφους καθώς και ανάλυση της συσχέτισης τους με τη χρησιμοποίηση λόγων καναλιών του δορυφόρου Landsat.

##### **4.8.2 Συσχέτιση οργανικής ύλης και φασματικής ανάκλασης του εδάφους**

Πολλές μελέτες έχουν υποδείξει ότι η μείωση της οργανικής ύλης και του μεγέθους των σωματιδίων του εδάφους προκαλεί αύξηση της ανακλαστικότητας στη φασματική περιοχή του ορατού και εγγύς υπέρυθρου (NIR). Η μελέτη των Stoner και Baumgardner (1981) καθώς και πιο πρόσφατες όπως του Escadfal (1994) έχουν δείξει ότι η ευαισθησία ανάκλασης με οργανική ύλη είναι υψηλή στο ορατό φάσμα. Οι σχέσεις μεταξύ του συνολικού αδρανούς δομικού υλικού που υπάρχει στο έδαφος και της φασματικής ανάκλασης του εδάφους έχουν διερευνηθεί από την μελέτη των Bowers and Hanks (1965) και την μελέτη των Hant and Salisburg (1976), οι οποίες

έχουν διαπιστώσει υψηλή ευαισθησία ανάκλασης τόσο στο ορατό όσο και στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα για τα αδρανή δομικά υλικά του εδάφους.

#### 4.8.3 Περιοχή μελέτης

Στην μελέτη και την δειγματοληψία του εδάφους περιλαμβάνονται ραδιομετρικές μετρήσεις με το ραδιόμετρο Fieldspec με δυνατότητα ανάλυσης έως 2nm. Το συνολικό μέγεθος, οι οργανικές ύλες και οι χημικές συνθέσεις των δειγμάτων του εδάφους προσδιορίστηκαν στο εργαστήριο και επιλέχθηκαν από τέσσερις περιοχές μελέτης. Κάθε μία αντιπροσωπεύει διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες (Μεσογειακό, ημίξηρο, ήπιο και ξηρό κλίμα). Συγκεκριμένα είναι οι εξής: 1. Giv'at Ye'arim (GIV). Αυτή η περιοχή βρίσκεται 11 χιλιόμετρα δυτικά της Ιερουσαλήμ σε υψόμετρο 650 μέτρων από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 620 χιλιοστά και η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 17°C. 2. Ma'ale Adunim (MAL). Αυτή η περιοχή εντοπίζεται 6,5 χιλιόμετρα ανατολικά της Ιερουσαλήμ σε υψόμετρο 330 μέτρων από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 330 χιλιοστά και η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 19°C. 3. Mishor Adunim (MIS). Αυτή η περιοχή μελέτης βρίσκεται 6,5 χιλιόμετρα ανατολικά της Ιερουσαλήμ σε υψόμετρο 330 μέτρων από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 330 χιλιοστά και η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 19°C. 4. Kalia (KAL). Αυτή η περιοχή βρίσκεται 4 χιλιόμετρα δυτικά της Νεκρής Θάλασσας σε υψόμετρο 70 μέτρων από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 120 χιλιοστά και η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 23°C.

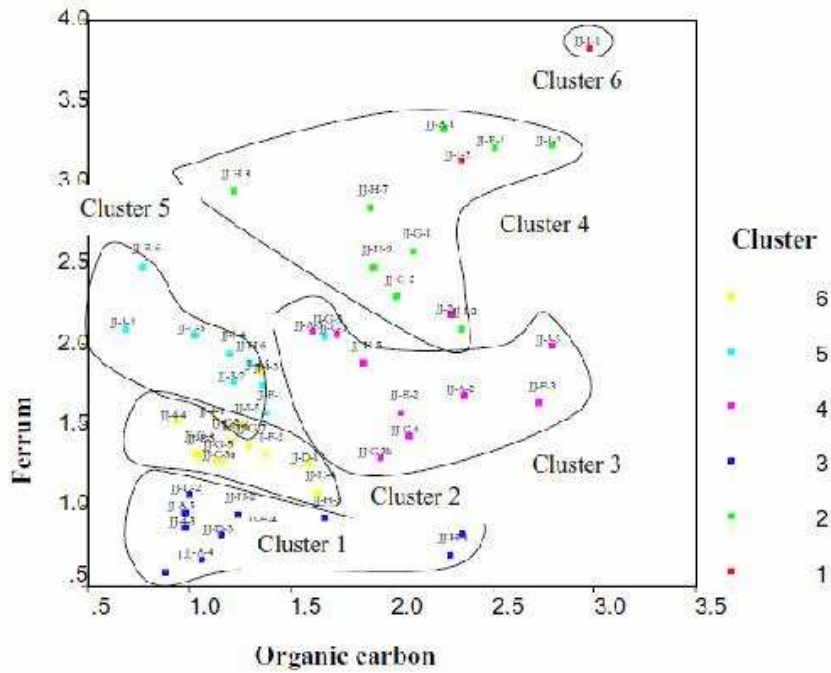
Το γεωλογικό υπόβαθρο σε όλες τις περιοχές μελέτης είναι ασβεστολιθικό. Παρά την παρόμοια λιθολογία και τις τοπογραφικές συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές μελέτης έχουν αναπτυχθεί διαφορετικοί τύποι εδάφους, αποτέλεσμα της μακροπρόθεσμης επίδρασης των ξεχωριστών κλιματικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της τελευταίας χιλιετίας. Στο χώρο μελέτης 'GIV' ένα κόκκινο χώμα (Terra Rossa) έχει αναπτυχθεί το οποίο περιέχει μία σχετικά υψηλή ποσότητα από άργιλο (50%), ανθρακικό ασβέστιο (6%-8%) και μία μέση ποσότητα οργανικής ύλης (6%-8%). Στο χώρο μελέτης 'MAL' ένα καφετί χώμα (Rendzina) έχει αναπτυχθεί το οποίο περιέχει μία μεσαία ποσότητα από άργιλο (30%), ανθρακικό ασβέστιο (30%) και μία μικρή ποσότητα οργανικής ύλης (2,5%-4,5%). Στην περιοχή μελέτης 'MIS' αναπτύχθηκε ένα ρηχό ασβεστολιθικό που περιέχει άργιλο, ανθρακικό ασβέστιο και μία ποσότητα οργανικής ύλης (20%,

50% και 2% αντίστοιχα). Ομοίως και στην περιοχή 'KAL' με ποσοστά 10%, 80% και 1% αντίστοιχα.

#### 4.8.4 Αποτελέσματα

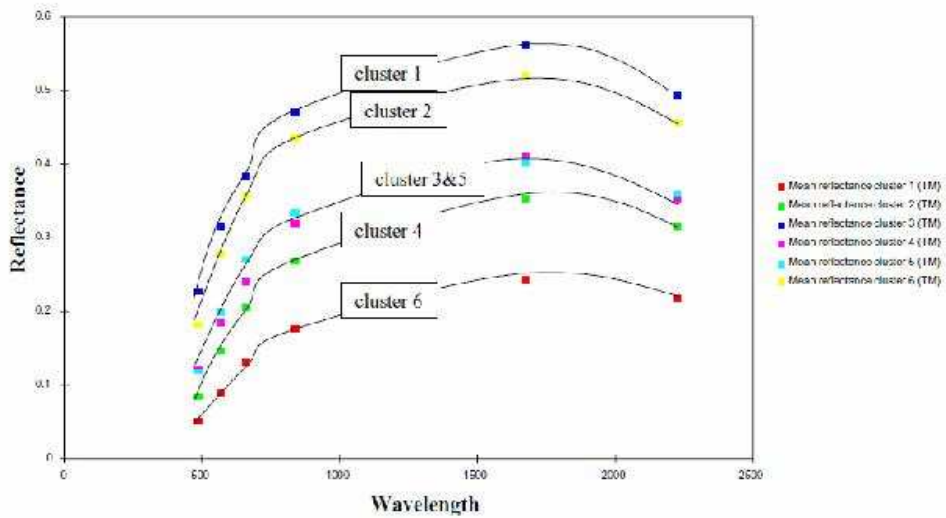
Η εφαρμογή τεχνικών κατηγοριοποίησης και ταξινόμησης στις βιοχημικές ιδιότητες των δεδομένων που προήλθαν από τη δειγματοληψία στις περιοχές μελέτης επέτρεψαν την αναγνώριση έξι ομαδοποιήσεων-συσσωρεύσεων (εικόνα 64). Ακόμα, διαπιστώθηκε ότι αυτές οι φασματικές κατηγορίες είχαν επίσης χαρακτηριστικές υπογραφές, εκτός από τη διαφοροποίηση μεταξύ των ομαδοποιήσεων 5 και 3. Το κύριο χαρακτηριστικό που προκαλεί αυτή τη διαφοροποίηση είναι το επίπεδο ανάκλασης στο εγγύς και μεσαίο υπέρυθρο φασματικό κανάλι του δορυφόρου Landsat (εικόνα 65). Η αξιολόγηση των σχέσεων της εδαφικής διαβρωτικότητας και της φασματικής ανακλαστικότητας έγινε με τη χρησιμοποίηση λόγων καναλιών σύμφωνα με την αναφορά των Pickup και Chewings (1996). Οι Shoshang και Lavee (1998) έχουν εφαρμόσει την ίδια τεχνική που χρησιμοποιεί τους λόγους καναλιών κανάλι 2 προς κανάλι 4 και κανάλι 3 προς κανάλι 4 για την χαρτογράφηση της εδαφικής διαβρωτικότητας. Η εμπειρική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτών των δύο φασματικών λόγων για τέσσερα σημεία που αντιπροσωπεύουν τα διάφορα επίπεδα διάβρωσης φανέρωσαν μία γραμμική θετική συσχέτιση μεταξύ τριών παραγόντων: μεταβολές σε αυτούς τους δύο φασματικούς λόγους και στα επίπεδα διάβρωσης. Το μοτίβο των μεταβολών είναι στη πραγματικότητα ορθογώνιο όπως αναμενόταν από την αναφορά των Pickup και Chewings (1996). Ένας νέος δείκτης διαβρωτικότητας διαμορφώθηκε στη συνέχεια σύμφωνα με το μοτίβο μεταβολών των δύο φασματικών λόγων. Η χαρτογράφηση των διαφόρων συνδυασμών λόγων καναλιών έδειξε ότι σε μεγάλο βαθμό αντιστοιχούν στις προαναφερθέντες γραμμικές σχέσεις (εικόνα 66). Επίσης, εξήχθη το συμπέρασμα ότι ο γραμμικός συνδυασμός των λόγων καναλιών συσχετίζεται με την περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα.

Figure 1. Clustering with ferrum, inorganic and organic carbon



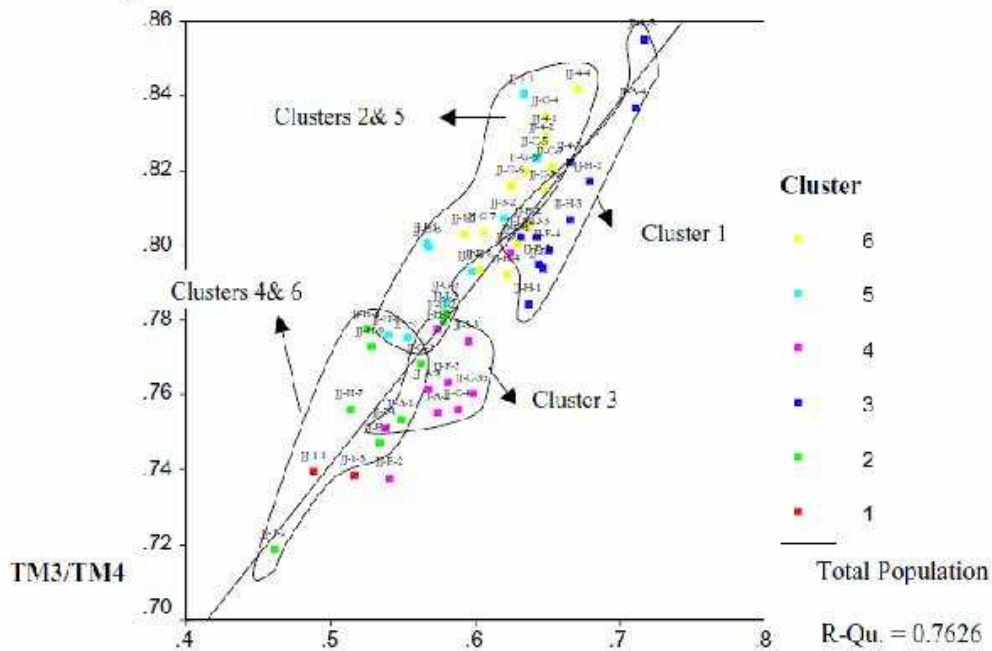
Εικόνα 64: Ομαδοποίηση οργανικού και ανόργανου άνθρακα και σιδήρου.

Figure 2. Mean reflectance using reduced clusters (TM channels)



Εικόνα 65: Μέση ανακλαστικότητα κατηγοριοποιήσεων στα κανάλια του Landsat

Figure 3. Biochemical clusters in relation to band ratio combinations



Εικόνα 66: Βιοχημικές ομαδοποιήσεις σε σχέση με τους συνδυασμούς φασματικών λόγων.

#### 4.8.5 Συμπεράσματα

Η εφαρμογή δορυφορικών τηλεπισκοπικών τεχνικών για τη χαρτογράφηση της διάβρωσης του εδάφους είναι ευρέως διαδεδομένη. Αυτή η μελέτη αποσκοπεί στην ενίσχυση των σχέσεων των αποτελεσμάτων των λόγων καναλιών και των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Αποδείχτηκε ότι η διαβρωτικότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη με την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανικό άνθρακα και ότι η χρησιμοποίηση λόγων καναλιών για την εύρεση αυτής της αναλογίας είναι αποτελεσματική με μεγάλη ακρίβεια.

## **4.9 Εκτίμηση της βλαστική παραμέτρου για την παρακολούθηση της διάβρωσης του εδάφους, χρησιμοποιώντας γραμμική φασματική ανάλυση σε Landsat ETM δεδομένα (Alejandro M. de Asis, Omasa Kenji. 2007)**

### **4.9.1 Αντικείμενο μελέτης**

Η κάλυψη του εδάφους από βλάστηση, είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που συντελούν στη μείωση του κινδύνου της διάβρωσης του εδάφους. Σε μοντέλα εδαφικής διάβρωσης όπως το USLE ( Universal Soil Loss Equation), (Wischmeler and Smith, 1978) και το μετέπειτα μοντέλο RUSLE ( Revised Universal Soil Loss Equation), (Renard et al,1997), η επίδραση της βλάστησης καταχωρείται ως παράγοντας βλαστικής κάλυψης ή παράγοντας C. Ο συντελεστής C είναι από τους πιο ουσιώδεις παράγοντες που συντελούν στη μείωση του κινδύνου της διάβρωσης του εδάφους, γιατί οι μεταβολές των χρήσεων γης που έχουν σκοπό και να μειώσουν την εδαφική διάβρωση, αντιπροσωπεύονται ουσιαστικά από αυτόν τον παράγοντα C.

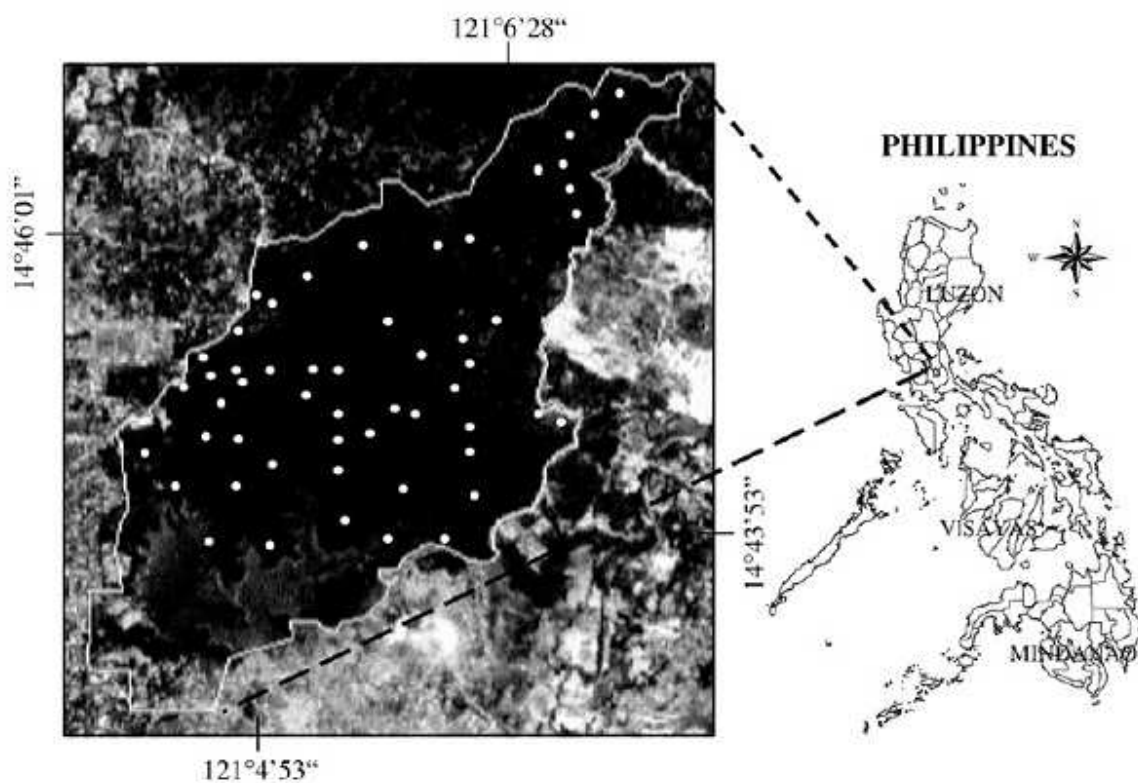
### **4.9.2 Στόχος μελέτης**

Σκοπός της εφαρμογής είναι η δημιουργία μιας νέας τεχνικής βασιζόμενης στην γραμμική φασματική ανάλυση LSMA ( linear spectral Mixture Analysis) για την αξιολόγηση της βλάστησης και την κατάσταση του εδάφους. αλλά και τη σύγκριση των δυνατοτήτων της τεχνικής για την εξαγωγή των τιμών του συντελεστή C έναντι της μεθόδου του δείκτη βλάστησης NDVI.

### **4.9.3 Περιοχή μελέτης**

Ως περιοχή μελέτης επιλέχτηκε η υδροκρίτη Lamesa που βρίσκεται στο βορειότερο μέρος της Μανίλα, στις Φιλιππίνες μεταξύ 14,70-14,77 Β γεωγραφικό πλάτος και 120,98-121,12 Ε γεωγραφικό μήκος (εικόνα 67) Καλύπτει μια έκταση περίπου των 2700 εκταρίων και αποτελείται από αειθαλή δάση και λιβάδια.





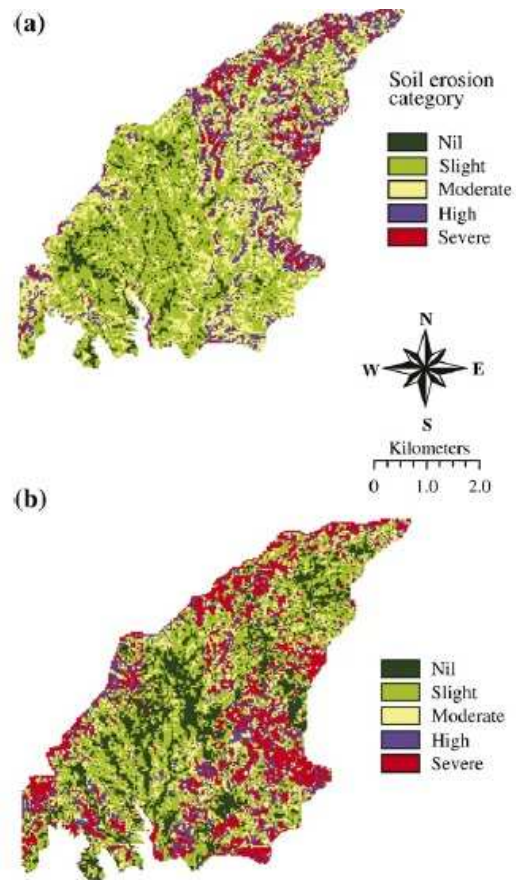
Εικόνα 67: Περιοχή μελέτης

#### 4.9.4 Συλλογή Δεδομένων

Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη είναι μια Landsat ETM εικόνα της 24ης Απριλίου του 2004 και μια QuickBird εικόνα της 25ης Απριλίου του 2004. Η συλλογή των εδαφικών δεδομένων περιλαμβάνει κυρίως την μέτρηση των διαφορετικών παραγόντων για την εκτίμηση του συντελεστή C. Για την απόκτηση και την μέτρηση αυτών των παραγόντων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Dissmeyer and Foster (1981). Επίσης, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής εξέταση ενός ψευδέγχρωμου υπέρυθρου σύνθετου της Landsat ETM ψηφιακής εικόνας και ενός τοπογραφικού χάρτη της περιοχής, με σκοπό την αναγνώριση και την επιλογή περιοχών δειγματοληψίας για την εκτίμηση του συντελεστή C. Επιλέχτηκαν συνολικά 53 σημεία δειγματοληψίας, τα οποία εντοπίστηκαν με την χρήση του συστήματος εντοπισμού θέσης DGPS.

#### 4.9.5 Μεθοδολογία

Η δορυφορική απεικόνιση Landsat ETM υπέστη προεπεξεργασία και διορθώθηκε γεωμετρικά και ραδιομετρικά ενώ πραγματοποιήθηκε μετατροπή των ψηφιακών τιμών (DN) σε απόλυτες τιμές έντασης ακτινοβολίας. Ύστερα έγινε αναδόμηση της εικόνας με την μέθοδο του εγγύτερου γείτονα. Έπειτα έγινε γεωαναφορά της εικόνας σε UTM (εγκάρσια μερκατορική προβολή). Στην συνέχεια εφαρμόστηκε η γραμμική φασματική ανάλυση LSMA. Πρόκειται για μια μέθοδο ταξινόμησης μεικτών pixel, στην οποία θεωρούμε ότι η φασματική υπογραφή ενός pixel δεν αντιπροσωπεύει ένα αντικείμενο αλλά προέρχεται από την γραμμική μίξη των φασματικών υπογραφών των αντικειμένων (end-members) που υπάρχουν στην φυσική γήινη επιφάνεια που καταλαμβάνει το pixel. Η ταξινόμηση εκπαιδεύεται δίνοντας για συγκεκριμένα pixel το ποσοστό συμμετοχής (Fraction) του κάθε φασματικού στόχου (end member). Η επιλογή των φασματικών υπογραφών των αντικειμένων έγινε με ένα συνδυασμό επιβλεπόμενης και μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης (όπου προσδιορίστηκε ο αριθμός των βασικών κατηγοριών). Κατόπιν εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος αποκατάστασης θορύβου (MNF) για την απαλοιφή του θορύβου, και ο δείκτης αμιγούς εικονοστοιχείων PPI (pixel purity index), με σκοπό την διευκόλυνση του διαχωρισμού και της αναγνώρισης των end members. Αναγνωρίστηκαν 4 φασματικές υπογραφές αντικειμένων: της βλάστησης, του απογυμνωμένου εδάφους, των μη φωτοσυνθετικών υλικών (NPM) και της σκιάς του νερού η οποία αφαιρέθηκε με αναγωγή των τριών κατηγοριών χρήσεων γης με το συντελεστή κανονικοποίησης. Έπειτα έγινε εκτίμηση του συντελεστή με τη χρησιμοποίηση των ποσοστών συμμετοχής των φασματικών υπογραφών των αντικειμένων σύμφωνα με τη μέθοδο LSMA καθώς και με την εφαρμογή του δείκτη βλάστησης NDVI. Έπειτα γίνεται ποσοτική συσχέτιση και συγχώνευση των δεδομένων στο βιοφυσικό μοντέλο RULSE (εικόνα 68). Δημιουργήθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) της περιοχής μελέτης με τη χρησιμοποίηση του λογισμικού ARC/INFO. Τέλος έγινε εξακρίβωση των αποτελεσμάτων με τη βοήθεια ενός τοπογραφικού χάρτη σε συνδυασμό με τα δεδομένα που προήλθαν από την ψηφιακή απεικόνιση από το δορυφόρο QuickBird στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 68: Αποτελέσματα του μοντέλου RUSLE (α) Με την μέθοδο LSMA για τον υπολογισμό συντελεστή C και (β) Με τη χρησιμοποίηση του φασματικού δείκτη NDVI για τον υπολογισμό συντελεστή C.

#### 4.9.6 Υπολογισμός συντελεστή C

Ο Υπολογισμός συντελεστή C έγινε με 2 τρόπους (εικόνα 69):

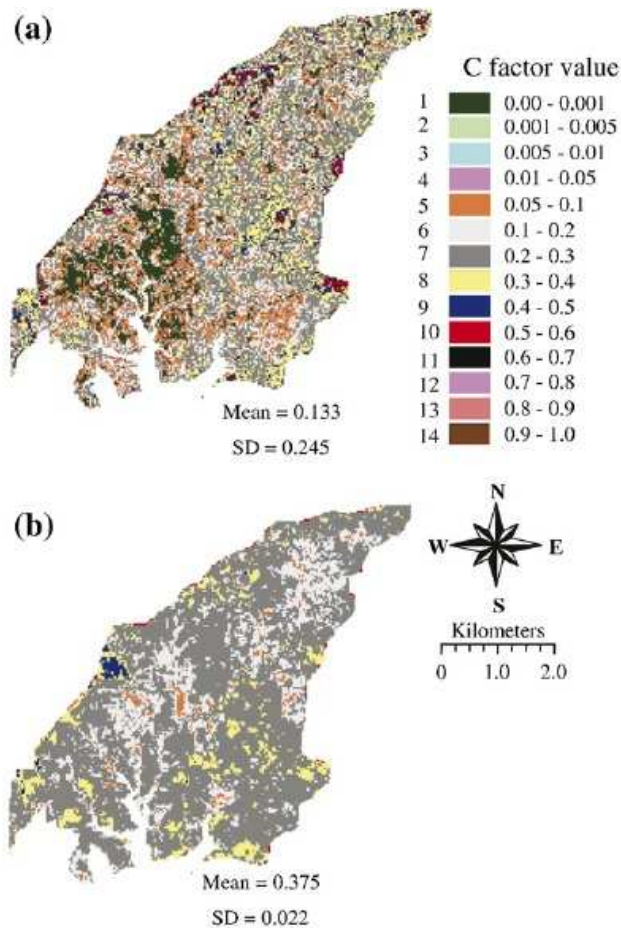
A) Με την μέθοδο LSMA

$$C = \frac{F_{bs}}{1 + F_{veg} + F_{NPM}}$$

όπου  $F_{bs}$ ,  $F_{veg}$  και  $F_{NPM}$  είναι τα ποσοστά συμμετοχής του απογυμνωμένου εδάφους, της βλάστησης και των μη φωτοσυνθετικών υλικών αντίστοιχα.

B) Με ανάλυση παλινδρόμησης και τη συσχέτιση μεταξύ των παραγόντων C που συλλέχθηκαν από τις περιοχές δειγματοληψίας και τις τιμές του δείκτη βλάστησης NDVI από την εικόνα Landsat ETM.

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3}$$



Εικόνα 69: Χάρτης του συντελεστή C με (α) την μέθοδο LSMA και (β) του NDVI.

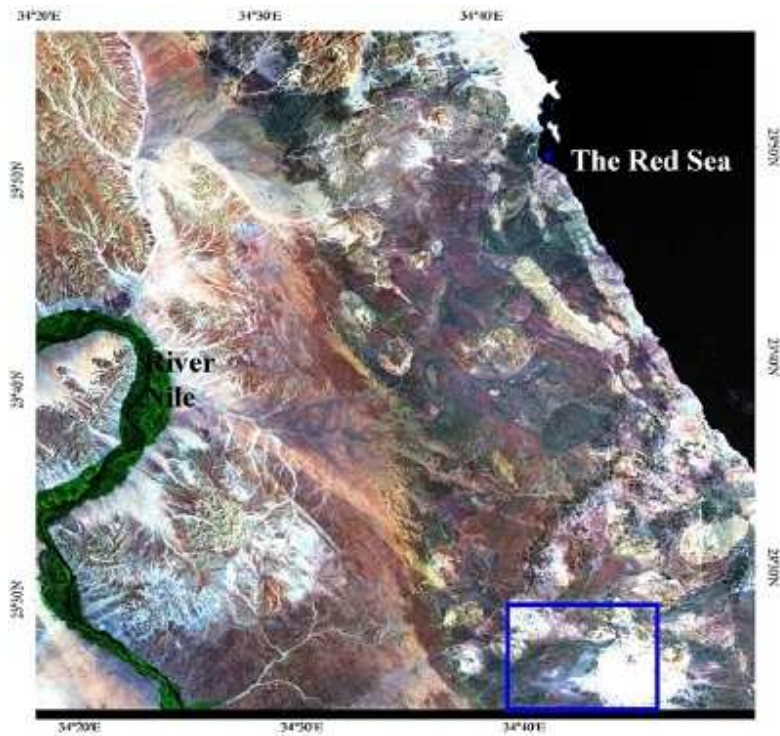
#### **4.9.7 Συμπεράσματα**

Αυτή η μελέτη αξιολόγησε την καταλληλότητα της μεθόδου LSMA για την παρακολούθηση της βλάστησης και γενικότερα της εδαφοκάλυψης καθώς και την εκτίμηση του συντελεστή C, όπως αυτός ορίστηκε ως παράγοντας βλαστικής κάλυψης του εδάφους. Τα αποτελέσματα έδωσαν ποιοτικές ενδείξεις για την αύξηση της διάβρωσης (ουσιαστικά της απώλειας εδάφους) και την μείωση της εδαφοκάλυψης και προσδιόρισαν με μεγαλύτερη ακρίβεια τη συμβολή των παραμέτρων της διάβρωσης σε σύγκριση με την μέθοδο που χρησιμοποιεί το δείκτη NDVI.

#### **4.10 Χρήση του Θεματικού Χαρτογράφου Landsat, στη λιθολογική αναγνώριση και χαρτογράφηση της περιοχής Barramiya, στην ανατολική έρημο της Αίγυπτου (Gad S., Kusky T, 2006)**

##### **4.10.1 Εισαγωγή**

Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιούνται φασματικές τεχνικές ανάδειξης για την ενίσχυση των ψηφιακών εικόνων που προήλθαν από το δορυφόρο Landsat TM, με σκοπό τη λιθολογική χαρτογράφηση και την αναγνώριση των σερπεντινιτών στην περιοχή Barramiya, ανατολικά της Αιγύπτου (εικόνα 70). Επίσης, γίνεται σύγκριση αποτελεσμάτων με προηγούμενες μελέτες που εφαρμόζουν παρόμοιες τεχνικές.



Εικόνα 70: Landsat 7-4-2 (R, G, B) Έγχρωμο σύνθετο της περιοχής μελέτης

#### 4.10.2 Στόχος μελέτης

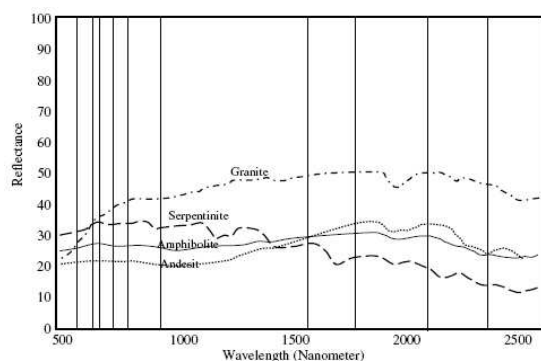
Οι πιο σημαντικοί παράγοντες επιτυχίας κατά την πραγματοποίηση λιθολογικής χαρτογράφησης περιοχής μέσω τηλεσκοπικών μεθόδων είναι οι εξής:

- Ο εντοπισμός της αυξημένης συγκέντρωσης των μετάλλων σε σχέση με το υπόβαθρο.
- Ο χαρακτηρισμός των ορυκτών που υπάρχουν στην περιοχή.

Ο σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι η αναγνώριση και ο εντοπισμός των σερπεντινιτών στην περιοχή Barramiya της Αιγύπτου.

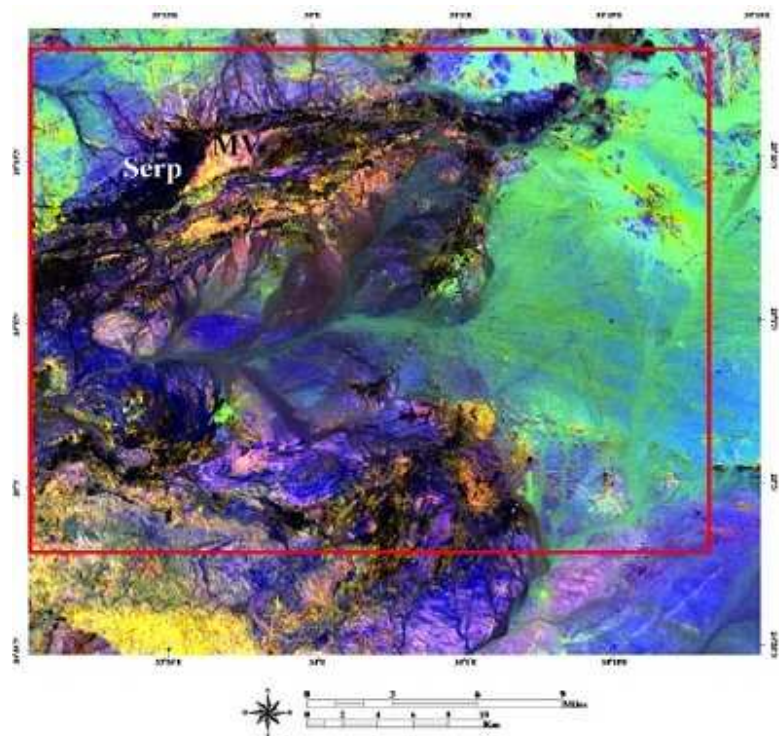
#### 4.10.3 Μεθοδολογία

Βρίσκεται η διακριτική φασματική ανάκλαση των σερπεντινιτών και συγκρίνεται με τις φασματικές ανακλαστικότητες των άλλων πετρωμάτων (εικόνα 71).



**Εικόνα 71: Φασματική ανακλαστικότητα των σερπεντινιτών και των μεταβολκανικών πετρωμάτων**

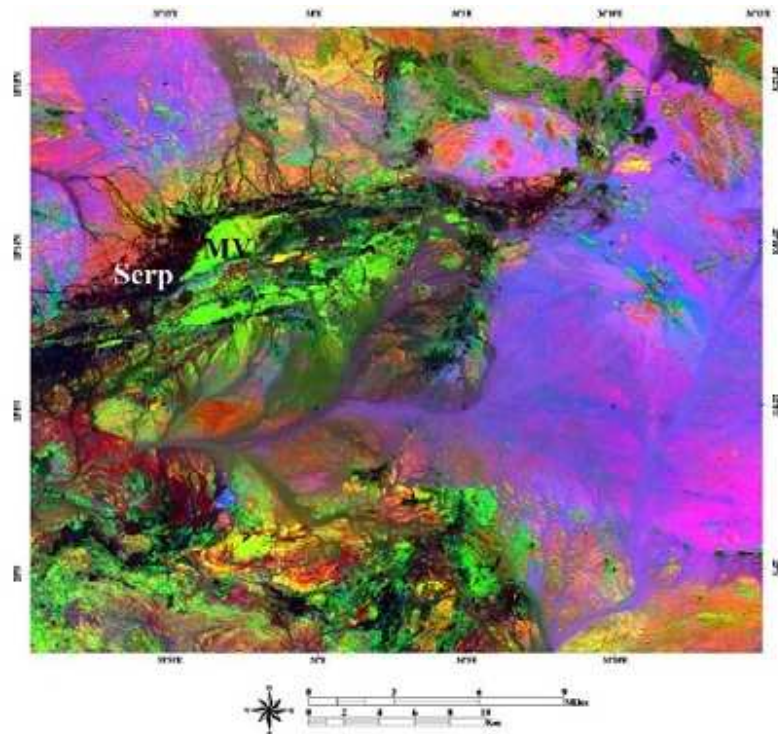
Στη συνέχεια εφαρμόζονται φασματικές τεχνικές αναδείξεως για την ενίσχυση των ψηφιακών εικόνων, ώστε να επιτευχθεί η αναγνώριση και ο εντοπισμός των σερπεντινιτών. Χρησιμοποιούνται λόγοι καναλιών που βασίζονται στη φασματική υπογραφή των σερπεντινιτών έναντι των άλλων πετρωμάτων, με σκοπό την αντιστάθμιση της διακύμανσης των ψηφιακών τιμών των καναλιών, η οποία οφείλεται στο τοπογραφικό ανάγλυφο και στις συνθήκες φωτισμού της περιοχής κατόπτρευσης. Οι εικόνες – λόγοι που προκύπτουν από αυτήν την τεχνική, απεικονίζονται μέσω έγχρωμων σύνθετων, χρησιμοποιώντας τα τρία κύρια χρώματα, δηλαδή το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε (R, G, B). Εφαρμόστηκαν τα έγχρωμα σύνθετα λόγων RGB (5/3,5/1,7/5) και (7/5,5/4,3/1) και αποδείχτηκαν πολύ αποτελεσματικά στη λιθολογική διάκριση της περιοχής μελέτης. Στην RGB εικόνα-λόγων (5/3,5/1,7/5), οι σερπεντινίτες εμφανίζονται σαν ένα σκούρο καφετί χρώμα, ενώ τα μεταβολκανικά πετρώματα σαν ένα ροζ-κίτρινο χρώμα (εικόνα 72).



**Εικόνα 72: LANDSAT 5/3,5/1,7/5 (R, G, B) Έγχρωμο σύνθετο λόγω της περιοχής μελέτης. Οι σερπεντινίτες φαίνονται με ένα σκούρο καφετί χρώμα ενώ τα μεταβολκινικά πετρώματα σαν ένα ροζ-κίτρινο χρώμα.**

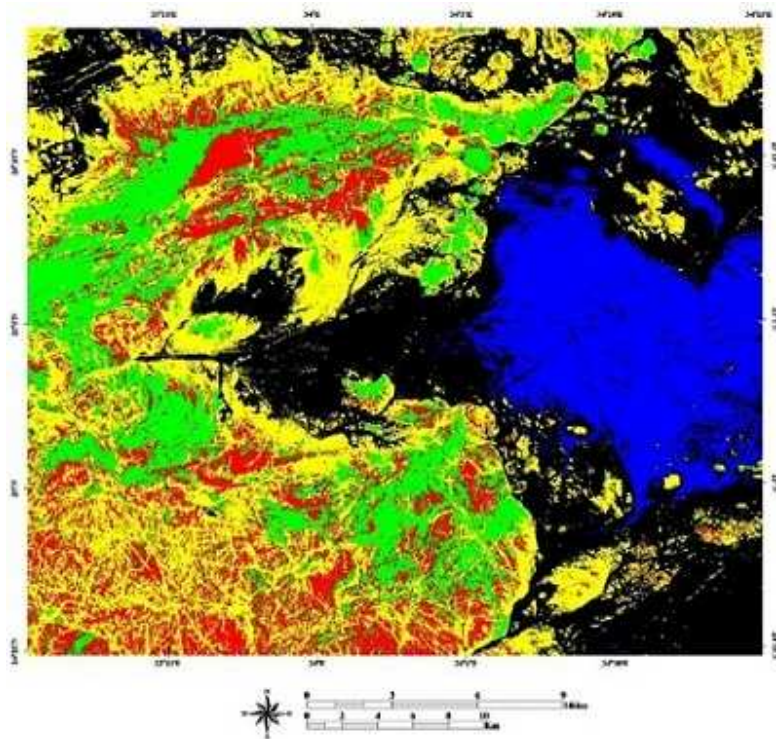
Στην RGB εικόνα-λόγων (7/5,5/4,3/1), οι σερπεντινίτες εμφανίζονται σαν ένα σκούρο καφετί χρώμα, ενώ τα μεταβολκινικά πετρώματα εμφανίζουν ένα κίτρινο-πράσινο χρώμα (εικόνα 73).





**Εικόνα 73:** LANDSAT 7/5,5/4,3/1 (R, G, B) Έγχρωμο σύνθετο της περιοχής μελέτης. Οι σερπεντινίτες εμφανίζονται με σκούρο καφέ χρώμα ενώ τα μεταβολκδικά πετρώματα με ένα κιτρινοπράσινο χρώμα.

Έπειτα εφαρμόστηκαν τεχνικές επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την κατηγοριοποίηση των δεδομένων. Δημιουργούνται πέντε τάξεις – φασματικά πρότυπα που «εκπροσωπούνται» από πέντε χρώματα, όπου το καθένα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο πέτρωμα (εικόνα 74).



**Εικόνα 74:** Εικόνα του αποτελέσματος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης της περιοχής μελέτης.

Οι σερπεντινίτες εμφανίζονται πράσινοι, τα μεταβολκτανικά πετρώματα κόκκινα, οι γρανίτες σκούροι μπλε, οι μεταγενέστεροι γρανίτες κίτρινοι και τα αδιαφοροποίητα ιζήματα φαίνονται μαύρα. Τα αποτελέσματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, συγκρίνονται με γεωλογικούς χάρτες της περιοχής μελέτης.

#### **4.10.4 Αποτελέσματα**

Οι τεχνικές ενίσχυσης εικόνων που εφαρμόστηκαν σ' αυτήν τη μελέτη, ενσωματώθηκαν με προηγούμενες μελέτες λιθολογικής χαρτογράφησης της περιοχής Barramiya. Αυτός ο συνδυασμός των δεδομένων επέτρεψε τη λιθολογική διάκριση των σερπεντινιτών από τα άλλα λιθολογικά πετρώματα. Για μια επιτυχημένη λιθολογική χαρτογράφηση, είναι θεμιτό να δοκιμαστούν διάφοροι λόγοι καναλιών, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα και το στόχο της εφαρμογής.

## **4.11 Χρησιμοποίηση δορυφορικών εικόνων Landsat TM για τη μελέτη της εδαφικής υποβάθμισης και της “δυναμικής” της χρήσης γης. Παράδειγμα μελέτης στη συνοικία Tamduong, της επαρχίας Vinhuc, στο Βιετνάμ (Trinh M.V., et. al., 2004)**

### **4.11.1 Εισαγωγή**

Η δασική αποψίλωση, η ερημοποίηση και η εδαφική υποβάθμιση αποτελούσαν παγκοσμίως τα πιο κρίσιμα περιβαλλοντικά ζητήματα της τελευταίας δεκαετίας. Η παρακολούθηση των συνθηκών κάλυψης και των αλλαγών της είναι απαραίτητη για τον εντοπισμό των περιβαλλοντικών προβλημάτων τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα. Η ψηφιακή τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα από τα βασικά εργαλεία στην παρακολούθηση των τοπικών, περιφερειακών και παγκοσμίων περιβαλλοντικών ζητημάτων. Ιδιαίτερως η χωρική ανάλυση μέσω του συνδυασμού των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και δορυφορικών εικόνων είναι πολλαπλά χρήσιμη για την περιβαλλοντική έρευνα και τις εφαρμογές της. Στο συγκεκριμένο άρθρο περιγράφεται μία μέθοδος κατά την οποία ψηφιακά δεδομένα από το δορυφόρο Landsat TM από διαφορετικές ημερομηνίες χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με πραγματικά εδαφικά δεδομένα για τη μελέτη της “δυναμικής” της χρήσης γης και της εδαφικής υποβάθμισης στη συνοικία Tamduong, στο βόρειο τμήμα του Βιετνάμ.

### **4.11.2 Περιοχή Μελέτης**

Η περιοχή Tamduong στο Βιετνάμ βρίσκεται στα ανάντη της λεκάνης απορροής του Ερυθρού ποταμού, περίπου 60km βορειοανατολικά του Hanoi. Η περιοχή έχει συνολική έκταση 19.799 εκταρίων, 8.045 εκτάρια γεωργικής γης, 6.744 εκτάρια δάσους και 1.628 εκτάρια μη καλλιεργούμενης γης. Επτά τύποι εδάφους μπορούν να διαχωριστούν: Acrisols, Cambisols, Gleysols, Fluvisols, Plinthosols, Arenosols και Leptosols.

### **4.11.3 Μεθοδολογία**

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη αυτή είναι μία Landsat-MSS εικόνα (MSS84), που αποκτήθηκε στις 8 Μαΐου 1984, και 4 Landsat-TM εικόνες, που αποκτήθηκαν στις 21

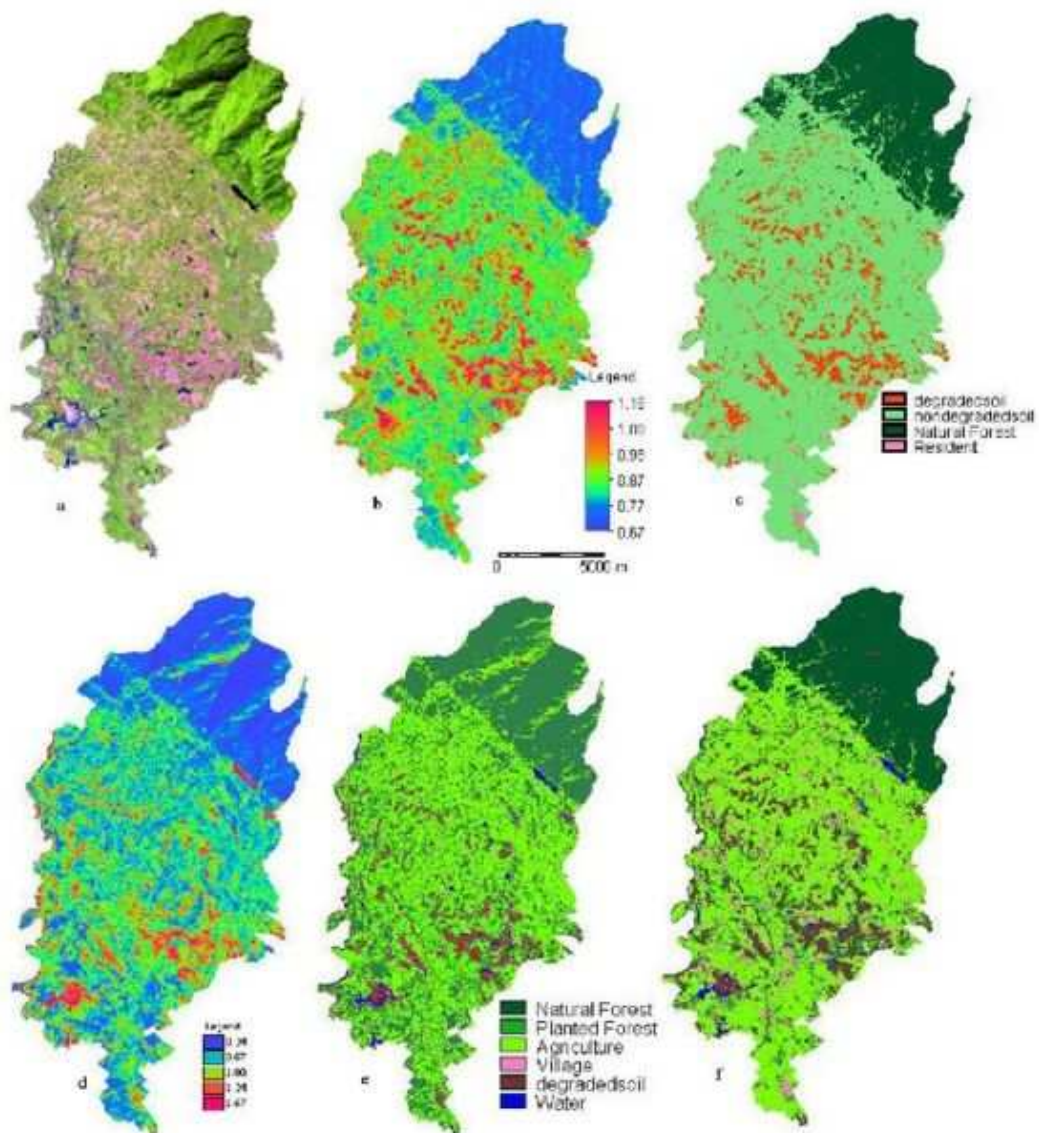
Οκτωβρίου 1992, στις 18 Οκτωβρίου 1996 και στις 11 Απριλίου 2000 (TM92, TM96 και TM00). Αν και οι εικόνες αποκτήθηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες, το καθεστώς κάλυψης γης είναι αρκετά παρόμοιο, διότι ο Οκτώβριος είναι η πρόωρη εποχή ξηρασίας με χαμηλή κάλυψη γης, όπως αντίστοιχα ο Απρίλιος και ο Μάιος, χρονικά διαστήματα κατά τα οποία η βιομάζα είναι πολύ χαμηλή, όπως είναι και η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό. Οι ψηφιακές εικόνες απεικονίζονται μέσω προσθετικών έγχρωμων συνθέτων, χρησιμοποιώντας τα τρία κύρια χρώματα, δηλαδή το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε (R, G, B). Συγκεκριμένα, για την MSS84 εικόνα χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός RGB = 4:3:2 ενώ για τις Landsat-TM εικόνες ο συνδυασμός RGB = 5:4:3. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν λόγοι καναλιών οι οποίοι προέκυψαν από τη διαίρεση των ψηφιακών τιμών σ' ένα φασματικό κανάλι, με τις αντίστοιχες σ' ένα άλλο, με σκοπό την ανάδειξη των φασματικών χαρακτηριστικών των διαφόρων στοιχείων των εικόνων ανεξάρτητα από την έκταση των συνθηκών φωτισμού κατόπτευσης και το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής. Σε αυτή τη μελέτη εφαρμόστηκαν οι εξής λόγοι: του κόκκινου καναλιού προς το πράσινο ( $ratio=L/G$ ) και του κόκκινου καναλιού προς το εγγύς κανάλι ( $ratio=R/NIR$ ). Στην Landsat-TM εικόνα πραγματοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση για την διάκριση του υποβαθμισμένου εδάφους από το δασικό έδαφος καθώς και άλλων κατηγοριών χρήσεων γης. Ο ταξινομημένος χάρτης προσαρμόστηκε κατάλληλα σε σύγκριση με τον τοπογραφικό χάρτη των υποβαθμισμένων εδαφών της περιοχής σε συνδυασμό με επίγειους ελέγχους. Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν για την εδαφική υποβάθμιση προήλθαν από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης που πραγματοποιήθηκε για κάθε εικόνα-λόγος διαφορετικής ημερομηνίας απόκτησης, Σκοπός της όλης διαδικασίας ήταν η καλύτερη εξομοίωση της “δυναμικής” της χρήσης γης και η διάκριση των αλλαγών στα υποβαθμισμένα εδάφη της περιοχής μελέτης.

#### **4.11.4 Προεπεξεργασία Εικόνων**

Πριν την διαδικασία της ψηφιακής επεξεργασίας όλες οι εικόνες υπέστησαν ραδιομετρική διόρθωση. Πραγματοποιήθηκε διόρθωση της γωνίας ύψους του ηλίου, διόρθωση για την απόσταση γης-ηλίου και στη συνέχεια έγινε μετατροπή των ψηφιακών τιμών σε απόλυτες τιμές έντασης ακτινοβολίας. Κατόπιν οι εικόνες υπέστησαν γεωμετρική διόρθωση. Έγινε γεωαναφορά στις εικόνες και καταχώρηση τους σε συντεταγμένες UTM (εγκάρσια μερκατορική προβολή), με τη χρησιμοποίηση σημείων επίγειου ελέγχου γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων από ένα τοπογραφικό χάρτη της περιοχής μελέτης, κλίμακας 1:50.000.

#### 4.11.5 Επιλογή Λόγων Καναλιών και Επεξεργασία Εικόνων

Οι εικόνες-λόγοι είναι χρήσιμοι για την διάκριση μικρών φασματικών διαφορών μίας περιοχής κατόπτευσης, οι οποίες ομογενοποιούνται από την διακύμανση των τιμών φωτεινότητας σε εικόνες μεμονωμένων φασματικών καναλιών ή στα έγχρωμα σύνθετα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι εικόνες-λόγοι απεικονίζουν τις διακυμάνσεις στις κλίσεις των καμπυλών φασματικής ανακλαστικότητας μεταξύ δύο καναλιών, ανεξαρτήτως των απολύτων τιμών ανακλαστικότητας που παρατηρούνται στα κανάλια. Με βάση αυτή την αρχή, η βλάστηση του εδάφους μπορεί να διακριθεί από το υποβαθμισμένο έδαφος με τη χρησιμοποίηση λόγων καναλιών. Συγκεκριμένα για το λόγο καναλιών R/G, τα γυμνά και υποβαθμισμένα εδάφη παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα στο κόκκινο κανάλι αλλά χαμηλή στο πράσινο, ενώ τα εδάφη με βλάστηση παρουσιάζουν χαμηλή ανακλαστικότητα στο κόκκινο κανάλι. Ως εκ τούτου, η χρησιμοποίηση του λόγου R/G δίνει υψηλές ψηφιακές τιμές (οι οποίες έχουν μετατραπεί σε απόλυτες τιμές έντασης ακτινοβολίας) για το υποβαθμισμένο έδαφος και χαμηλές για εδάφη με βλάστηση. Όταν η εικόνα απεικονίζεται μέσω του λόγου R/NiR, στοιχεία όπως το νερό και οι δρόμοι, τα οποία έχουν υψηλές τιμές ανάκλασης στο κόκκινο κανάλι και χαμηλές τιμές στο εγγύς υπέρυθρο, να εμφανίζονται με ανοιχτόχρωμους τόνους. Χαρακτηριστικά όπως η βλάστηση εμφανίζονται με σκουρότερους τόνους λόγω της σχετικά μικρής ανακλαστικότητας στο κόκκινο κανάλι, και υψηλές ανακλαστικότητες στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι. Και στις δύο εικόνες-λόγους (εικόνα 75), τα δάση (μπλε χρώμα) και τα υποβαθμισμένα εδάφη (κόκκινο χρώμα), μπορούν να διακριθούν εύκολα. Ο λόγος R/G όμως παρουσίασε ψηφιακές τιμές (DN) παρόμοιες μεταξύ των υποβαθμισμένων εδαφών και των κατοικήσιμων περιοχών, ενώ στο λόγο R/NiR ήταν εφικτή η διάκριση αυτών των στοιχείων, με τις κατοικήσιμες περιοχές να απεικονίζονται με πορτοκαλί χρώμα, οι αγροκαλλιέργειες με μπλε και τα δάση με πράσινο. Αυτή η διαφοροποίηση είχε ως αποτέλεσμα, κατά την εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, η εικόνα που απεικονίζεται μέσω του λόγου R/G να παρουσιάσει 4 φασματικές κατηγορίες ενώ από την εικόνα-λόγος R/NiR προέκυψαν 6 φασματικές κατηγορίες. Συνεπώς, προτιμήθηκε ο λόγος R/NiR για την περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση των εικόνων.



Εικόνα 75. Αποτελέσματα επεξεργασίας εικόνων (α) έγχρωμο σύνθετο RGB 5:4:3, (β) λόγος καναλιού κόκκινο προς πράσινο, (γ) επιβλεπόμενη ταξινόμηση με λόγο κόκκινο προς μπλε κανάλι, (δ) λόγος καναλιού κόκκινο προς εγγύς υπέρυθρο, (ε) υβριδική ταξινόμηση με λόγο κόκκινο προς εγγύς υπέρυθρο κανάλι, (φ) επιβλεπόμενη ταξινόμηση με λόγο κόκκινο προς εγγύς υπέρυθρο κανάλι.

#### 4.11.6 Εδαφική Υποβάθμιση

Ο χάρτης της εδαφικής υποβάθμισης εξήχθη από τοπογραφικό χάρτη της περιοχής (Khang et al., 1998) σε συνδυασμό με επίγειους ελέγχους στην περιοχή μελέτης. Η κύρια αιτία της εδαφικής



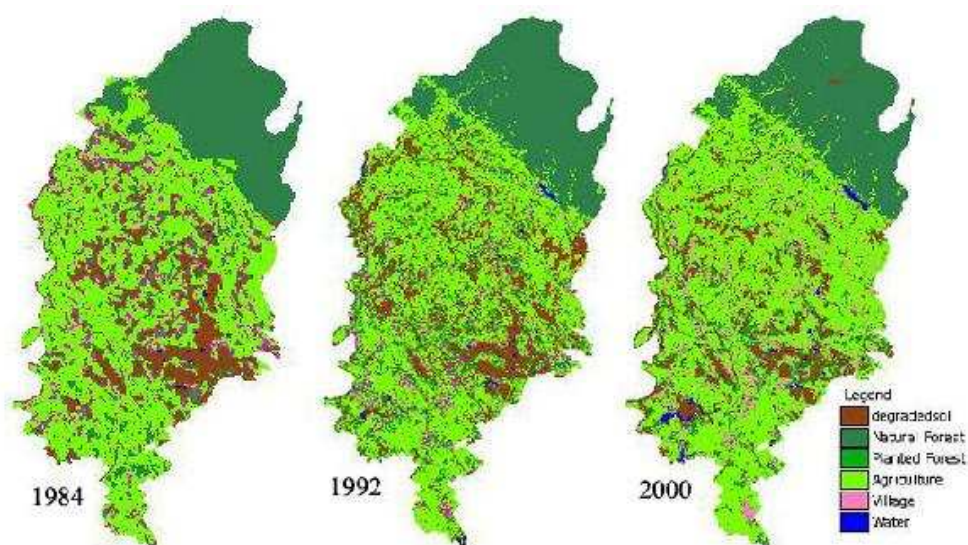
υποβάθμισης που υφίσταται η περιοχή είναι η υδατική διάβρωση που οφείλεται στη μείωση δασών, στη γεωργική παραγωγή σε εκτάσεις με κλίση χωρίς λίπασμα και στην ελλιπή προστασία του εδάφους. Τα περισσότερα εδάφη είναι αμμώδη με χαμηλό οργανικό άνθρακα, μικρή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά, καθώς και χαμηλής ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων.

#### **4.11.7 Επίγειες Παρατηρήσεις**

Για κάθε ένα από τα 21 σημεία επίγειου ελέγχου (γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων) καθορίστηκε το είδος, η κατάσταση και ο βαθμός της εδαφικής υποβάθμισης και τα αποτελέσματα παρουσίασαν ικανοποιητική συμβατότητα και σύμφωνα με τον ταξινομημένο χάρτη (από το λόγο R/NIR) με 9 έντονα υποβαθμισμένες παρατηρήσεις σε γυμνά εδάφη, αμμώδη και φυτειών ευκαλύπτου. Κατόπιν, έγινε σύγκριση των δεδομένων από τον ταξινομημένο χάρτη (κυρίως για τα υποβαθμισμένα εδάφη) με τα δεδομένα από τον χάρτη εδαφικής υποβάθμισης και τα αποτελέσματα της σύγκρισης έδειξαν και αυτά μεγάλη συμβατότητα.

#### **4.11.8 “Δυναμική” Εδαφικής Υποβάθμισης**

Το υποβαθμισμένο έδαφος αναγνωρίστηκε κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης με τη χρησιμοποίηση του λόγου R/NIR σε όλες τις εικόνες των ημερομηνιών 1984, 1992, 1996 και 2000. Τα αποτελέσματα (εικόνα 76) φανέρωναν την εικόνα της “δυναμικής” της υποβάθμισης του εδάφους από το 1984 και μετά. Η έκταση της εδαφικής υποβάθμισης στην περιοχή της Tamduong κυμάνθηκε από 2.437 εκτάρια το 1984 σε 3.282 εκτάρια το 1992, 2185 εκτάρια το 1996 και 2.576 εκτάρια το 2000. Η τάση αυτή είναι εύλογη και μπορεί να συσχετιστεί με την ανθρώπινη δραστηριότητα στην περιοχή: όταν κόπηκαν τα δάση, η υποβάθμιση του εδάφους ξεκίνησε να επιδεινώνεται μέχρι το 1992. Μεταξύ των ετών 1990-1992 πραγματοποιήθηκε μεγάλης κλίμακας αναδάσωση (επί το πλείστον ευκαλύπτων) με αποτέλεσμα να αυξάνεται η κάλυψη του εδάφους και η βιομάζα, μειώνοντας τη διάβρωση. Από το 1996 άρχισε ξανά η δασική εκμετάλλευση για την παραγωγή χαρτιού που είχε σαν συνέπεια την απότομη αύξηση της υποβάθμισης του εδάφους.



Εικόνα 76: Ταξινομημένοι χάρτες με τη χρησιμοποίηση του λόγου R/NIR το 1984, 1992 και 2000 στην Tamduong.

#### 4.11.9 Συμπεράσματα

Ο λόγος καναλιών R/NIR παρουσίασε καλύτερα αποτελέσματα από το λόγο R/G, χάρη στην χαμηλή συσχέτιση μεταξύ των δύο καναλιών (του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου). Η σύγκριση μεταξύ των έγχρωμων σύνθετων ταξινομημένων εικόνων έδειξε ότι τα πιο διαβρωμένα εδάφη εντοπίζονται σε ορεινά μέρη και σε αμμώδη εδάφη με κλίση. Η “δυναμική” της εδαφικής υποβάθμισης και οι αυξομειώσεις της δικαιολογούνται πλήρως από την επιρροή της ανθρώπινης δραστηριότητας στην περιοχή. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν τις δυνατότητες της χρήσης δορυφορικών απεικονίσεων για την αναγνώριση των υποβαθμισμένων εδαφών.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Τυπικές Εφαρμογές Λόγων Καναλιών Σε Περιοχές Της Ελλάδας**

---

Για τις εφαρμογές οι οποίες ακολουθούν, χρησιμοποιήθηκε η τηλεπισκοπική δορυφορική απεικόνιση Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002 (path/row 183/34), γεωμετρικά διορθωμένη στο σύστημα Ε.Γ.Σ.Α. 87.

### **5.1 Χρήση του φασματικού δείκτη EVI για την εκτίμηση του μεγέθους των επιπτώσεων μίας πυρκαγιάς στην περιοχή της Λαυρεωτικής.**

Η Λαυρεωτική είναι μια περιοχή της Αττικής, η οποία έχει πληγεί πολλές φορές από πυρκαγιές.



Εικόνα 77: Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή της Λαυρεωτικής στην Αττική.

Στην περιοχή αυτή εφαρμόζεται ο φασματικός δείκτης EVI, ο οποίος προκύπτει ως :

$$EVI = 2.5 \times \frac{Band4 - Band3}{Band4 + 6 \times Band3 - 7.5 \times Band1 + 1}$$

των καναλιών 1, 3 και 4 του Landsat TM. Ο δείκτης αυτός έχει εφαρμοσθεί διεθνώς και αναφέρεται στη βιβλιογραφία (βλέπε εργασία στο κεφάλαιο 4, "Χρήση πολλαπλών φασματικών

δεικτών για την εκτίμηση του μεγέθους των επιπτώσεων μίας πυρκαγιάς στην περιοχή Black Hills της νότιας Dakota.”).

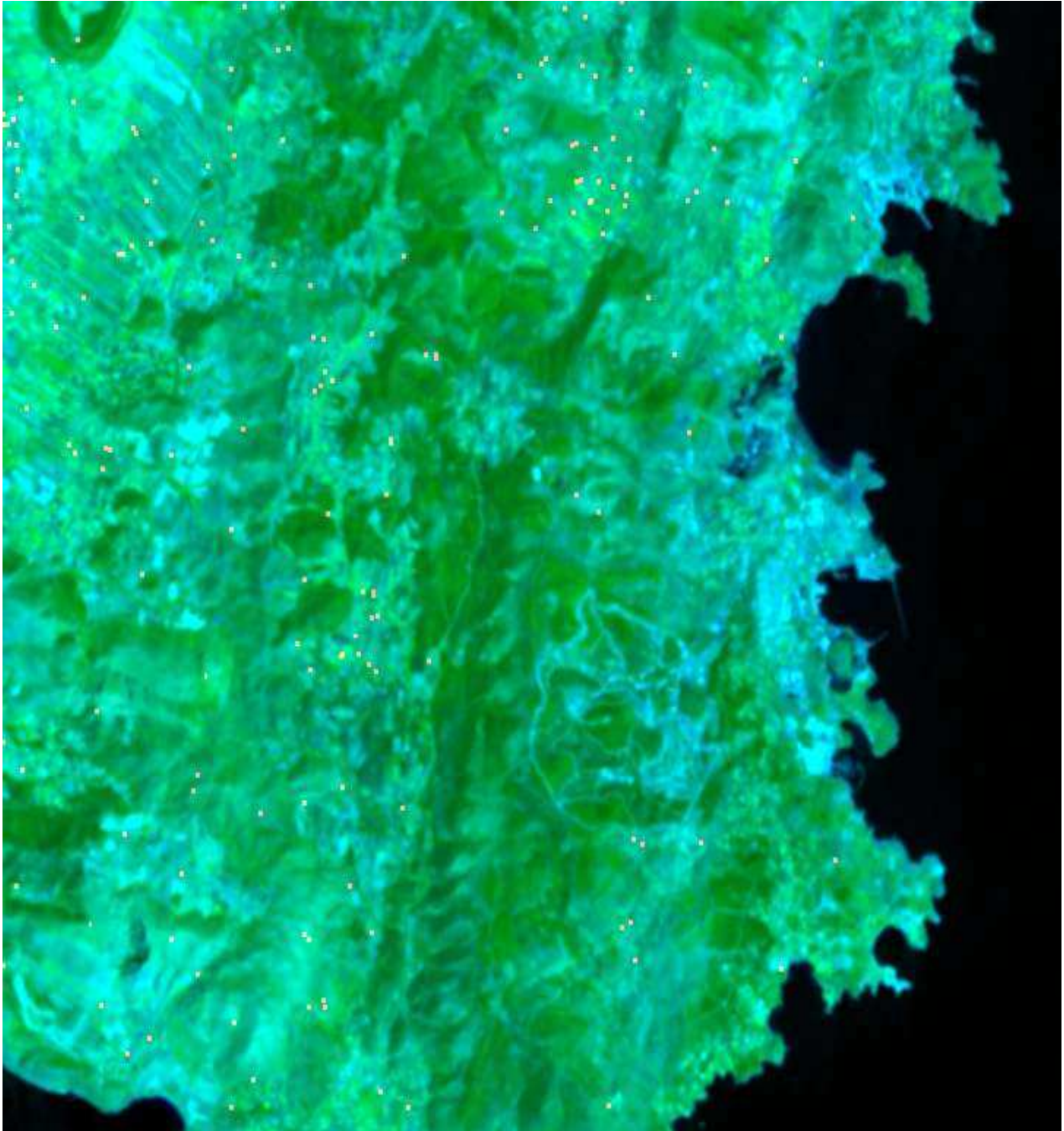
Ας δούμε μια ακόμη απεικόνιση της περιοχής :



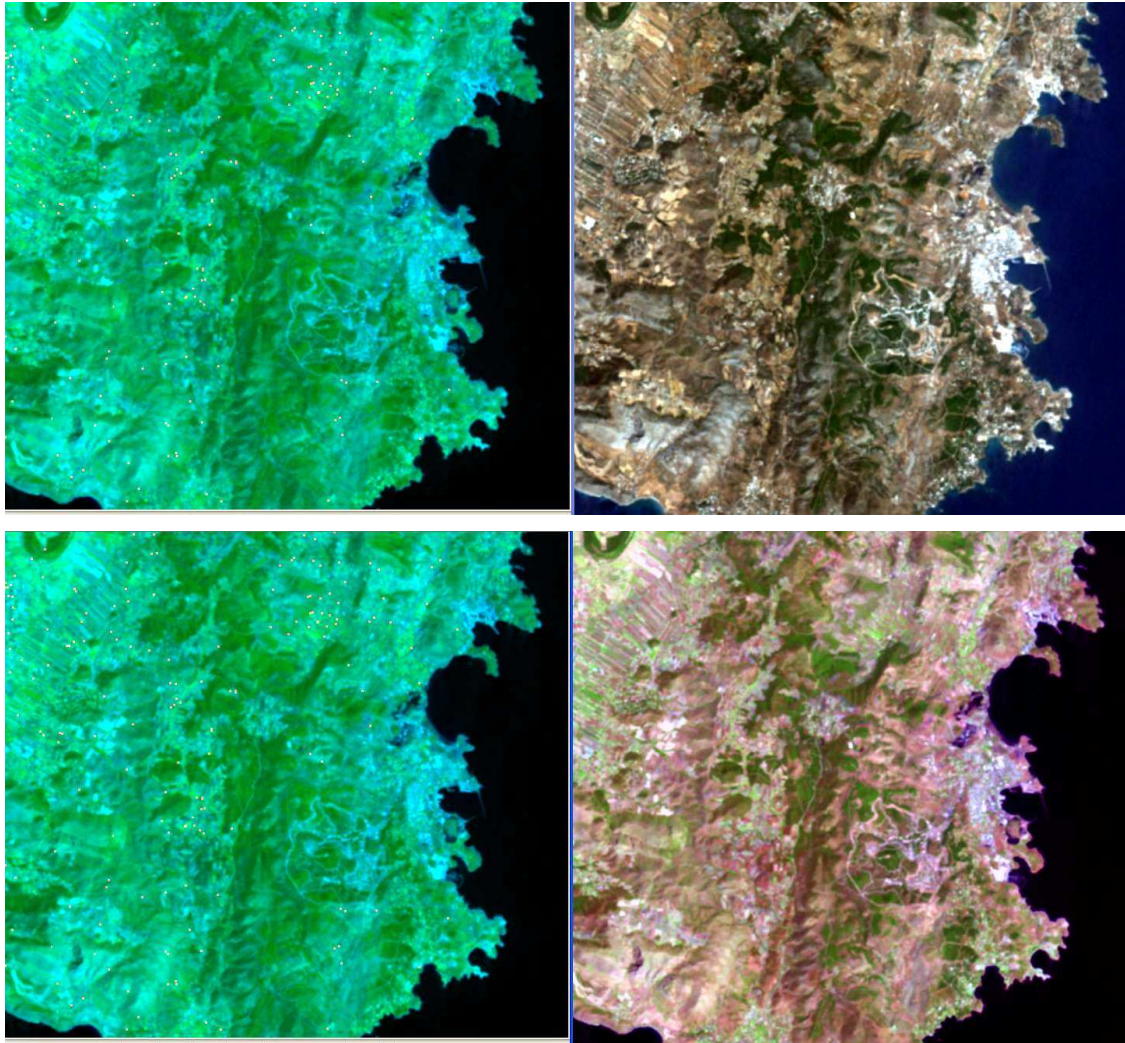
Εικόνα 78: Ψευδέγχρωμο σύνθετο 4,3,2 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή της Λαυρεωτικής στην Αττική. Με έντονο κόκκινο διακρίνεται η βλάστηση της περιοχής.



Η εφαρμογή του δείκτη EVI δίνει :



Εικόνα 79: Αποτέλεσμα της εφαρμογής του δείκτη EVI όπου με κίτρινες κουκίδες εμφανίζονται υποπεριοχές οι οποίες έχουν υποστεί τις μεγαλύτερες συνέπειες (πιο επιβαρημένες) των διαχρονικών πυρκαγιών της περιοχής.



Εικόνα 80: Αριστερά εμφανίζεται το αποτέλεσμα της εφαρμογής του δείκτη EVI (όπου με κίτρινες κουκίδες εμφανίζονται υποπεριοχές οι οποίες έχουν υποστεί τις μεγαλύτερες συνέπειες (πιο επιβαρημένες) των διαχρονικών πυρκαγιών της περιοχής) και δεξιά (επάνω) το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, ενώ δεξιά (κάτω) το ψευδέγχρωμο σύνθετο 5,4,3 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, όπου με έντονο ροζ χρώμα εμφανίζονται καμένες περιοχές.

Οι οικολογικές επιπτώσεις που έχουν χαρακτηρίσει πλέον την περιοχή, είναι κυρίως έμμεσες (όπως η διάβρωση, η αναγέννηση και η ερημοποίηση του εδάφους, η διαδοχή της βλάστησης, τοπογραφικές και κλιματικές αλλαγές κλπ ) που είναι μακροπρόθεσμα παρατηρήσιμες και ο ακριβής προσδιορισμός τους μπορεί να γίνει από λίγους μήνες έως αρκετά χρόνια. Η ψηφιακή τηλεπισκόπηση μπορεί να παρατηρήσει και να προσδιορίσει με στατιστικές μεθόδους (για παράδειγμα με παλινδρομήσεις στις ψηφιακές τιμές συγκεκριμένων καναλιών του Landsat), τα

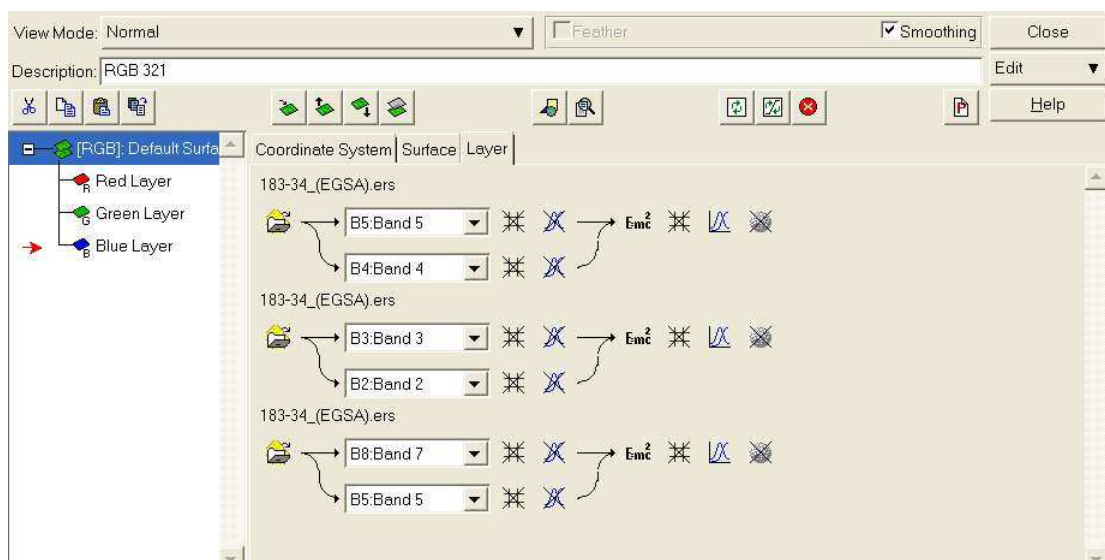


αποτελέσματα των συνεπειών μιας πυρκαγιάς, με βάση τις σημαντικές μεταβολές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της περιοχής μελέτης, οι οποίες έχουν καταγραφεί στο δορυφορικό δέκτη.

## 5.2 Χρήση έγχρωμου σύνθετου φασματικών λόγων Landsat TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) για τη ανίχνευση και χαρτογράφηση λατερικών πετρωμάτων πλούσια σε οξειδία του σιδήρου

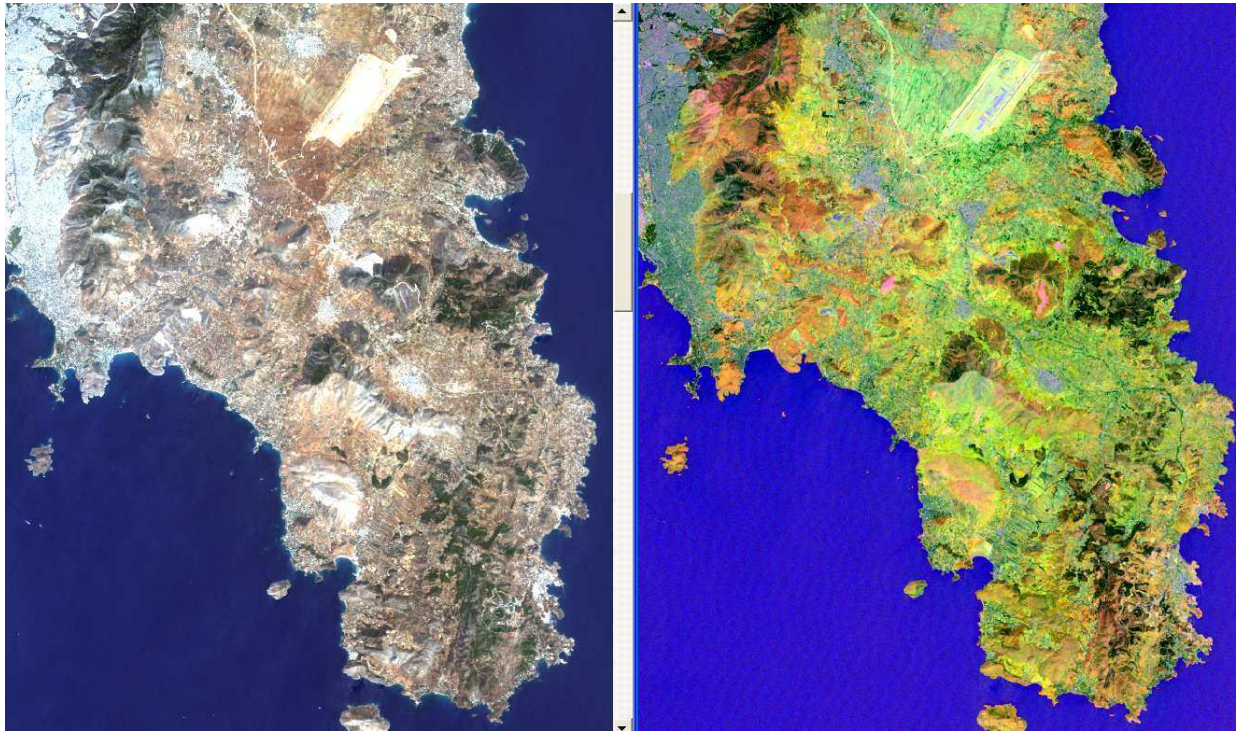
Λατερίτες ονομάζονται τα προϊόντα της επιτόπου χημικής αποσάθρωσης πυριτικών πετρωμάτων, η οποία γίνεται σε θερμά και υγρά κλίματα με την ενέργεια του διεισδύοντος ύδατος, οπότε και προκύπτουν αποθέματα πλούσια σε οξειδία του σιδήρου και αλουμινίου. Σχεδόν όλοι οι λατερίτες εμφανίζονται με ένα κόκκινο-ιώδες χρώμα λόγω των οξειδίων του σιδήρου που περιέχουν.

Για τη χαρτογράφηση και την ανίχνευση λατερικών πετρωμάτων που περιέχουν οξειδία του σιδήρου χρησιμοποιήσαμε το έγχρωμο σύνθετο φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) συνδυάζοντας τα κανάλια 2,3,4,5 και 7 του δορυφόρου LANDSAT TM (βλέπε εργασία στο κεφάλαιο 4 «Διάκριση των λατεριτών πετρωμάτων χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα από τους δορυφόρους Landsat, Aster και Ali – παραδείγματα από την Ερυθραία και την Αραβία.»)



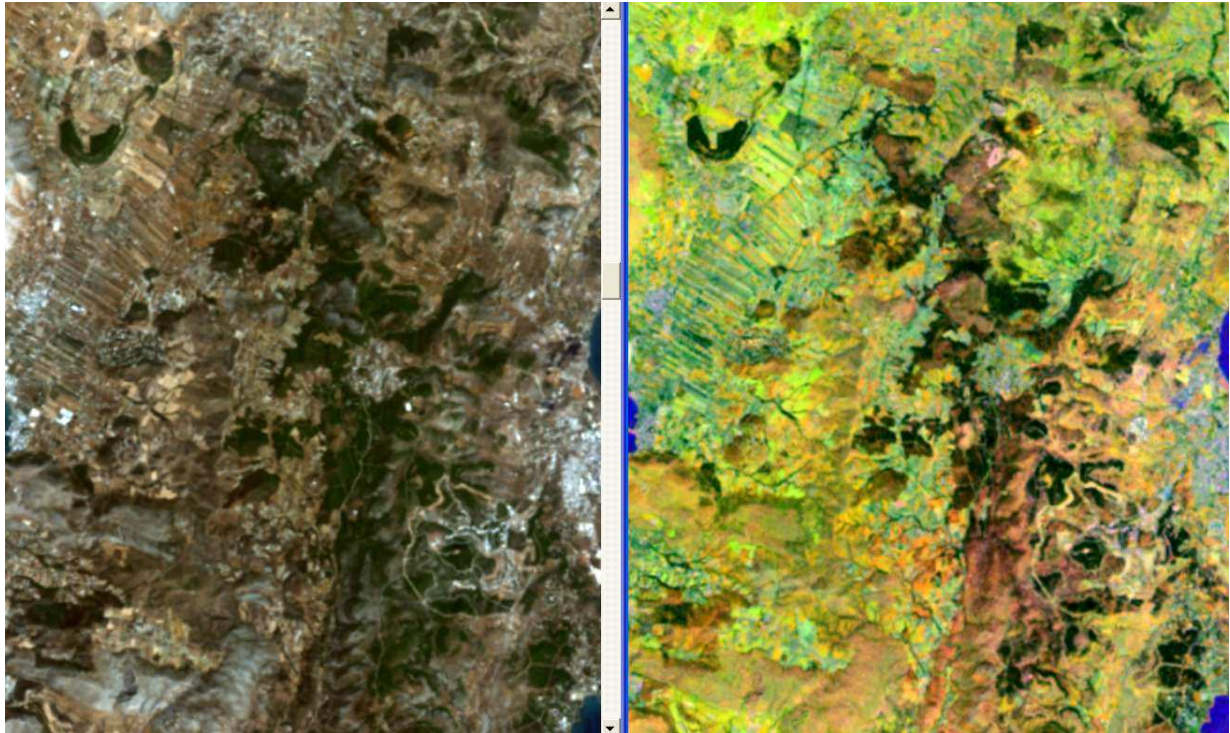
Εικόνα 81: Οι φασματικοί λόγοι LANDSAT TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B), όπως φαίνεται στο πλαίσιο διαλόγου δημιουργίας αλγόριθμου του λογισμικού ER MAPPER.

Η Λαυρεωτική ήταν πολύ γνωστή από την αρχαιότητα ιδιαίτερα για τα πολύτιμα ορυκτά της αφού το υπέδαφος της είναι πλούσιο σε μεταλλεύματα αργύρου, σιδήρου και χαλκού.



**Εικόνα 82:** Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή της Λαυρεωτικής στην Αττική., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής του έγχρωμου σύνθετου φασματικών λόγων Landsat TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) όπου με κίτρινο χρώμα διακρίνονται λατερικά πετρώματα πλούσια σε οξειδία του σιδήρου.

Εφαρμόζονται οι φασματικοί λόγοι LANDSAT TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) στην ίδια δορυφορική απεικόνιση με μεγαλύτερη μεγέθυνση για την καλύτερη διάκριση των οξειδίων του σιδήρου στην περιοχή της Λαυρεωτικής.

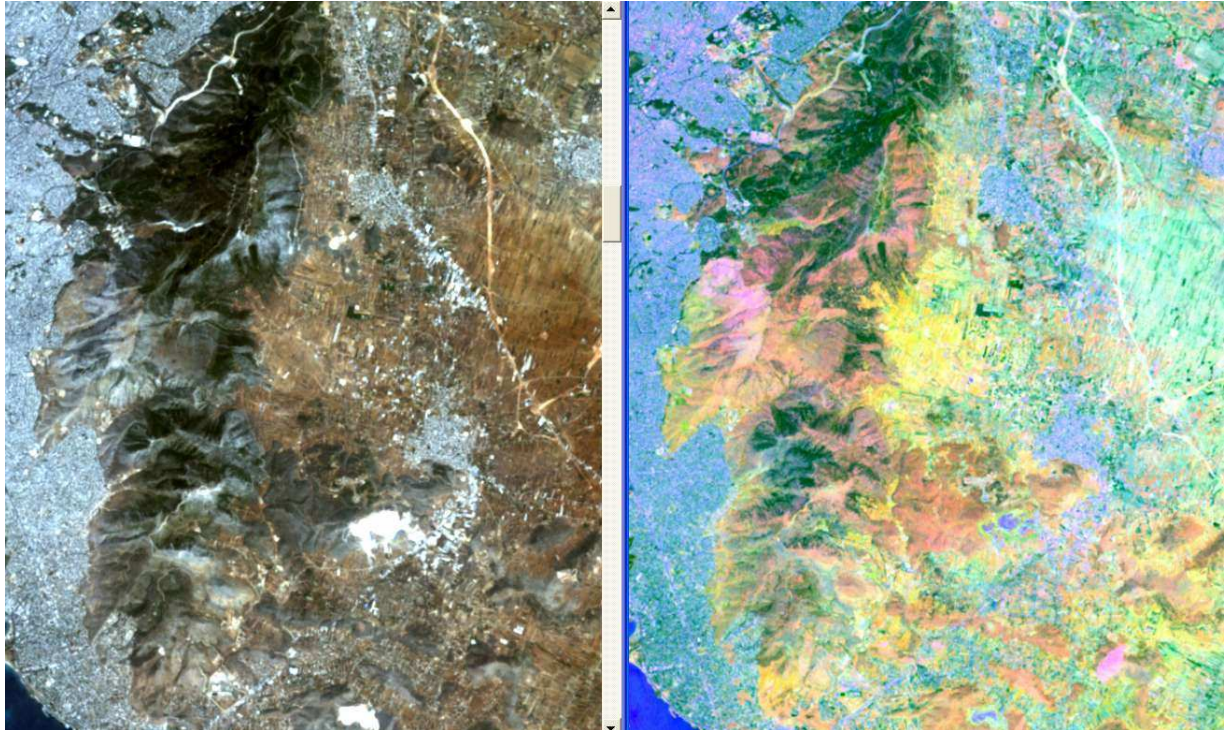


**Εικόνα 83:** Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει μεγενθυμένη την περιοχή της Λαυρεωτικής στην Αττική., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) όπου με κίτρινο χρώμα διακρίνονται λατερικά πετρώματα πλούσια σε οξειδία του σιδήρου.

Άλλες δύο περιοχές που περιέχουν λατερικά πετρώματα πλούσια σε οξειδία του σιδήρου είναι το όρος Υμηττός και η Ιτέα του Νομού Φωκίδας. Ο Υμηττός πέρα από τα ασβεστολιθικά πετρώματα περιέχει λατερικά πετρώματα πλούσια σε οξειδία του σιδήρου, ενώ η Ιτέα ήταν γνωστή από αρχαίων χρόνων για τα μεταλλεύματα της αφού το υπέδαφος της είναι πλούσιο σε βωξίτες. Ο βωξίτης είναι λατερικό πέτρωμα πλούσιο σε οξειδία του σιδήρου και υδροξείλια του αργιλίου. Τα κύρια ορυκτά από τα οποία αποτελείται είναι ο γκαιτίτης και ο αιματίτης.

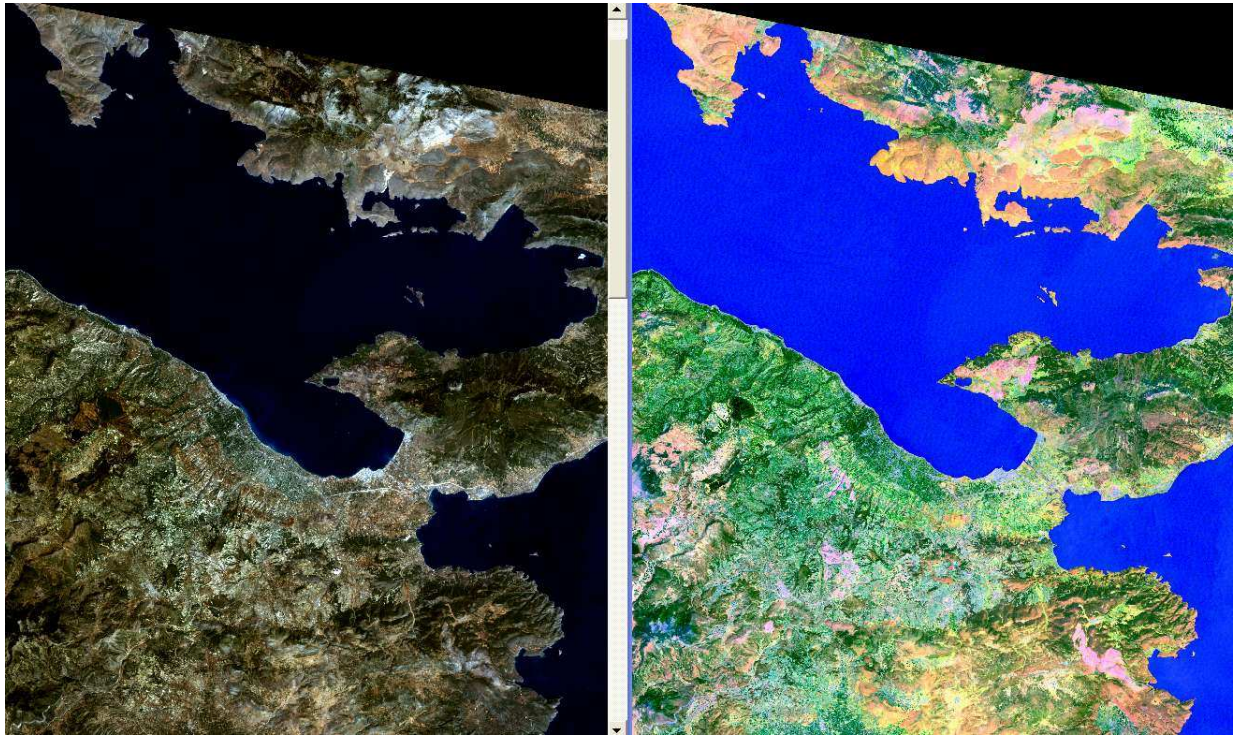


Γίνεται εφαρμογή των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) στο όρος Υμηττός.



**Εικόνα 84:** Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή του όρους Υμηττός στην Αττική., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) όπου με κίτρινο χρώμα διακρίνονται λατερικά πετρώματα πλούσια σε οξειδία του σιδήρου.

Γίνεται εφαρμογή των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) και στην περιοχή της Ιτέας.



Εικόνα 85: Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή της Ιτέας του Νομού Φωκίδας., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/4-3/2-7/5 (R,G,B) όπου με κίτρινο χρώμα διακρίνεται το ορυκτό γκαϊτίτης, ενώ με πορτοκαλί χρώμα διακρίνεται ο αιματίτης. Και τα δύο ορυκτά περιέχουν οξειδία του σιδήρου.

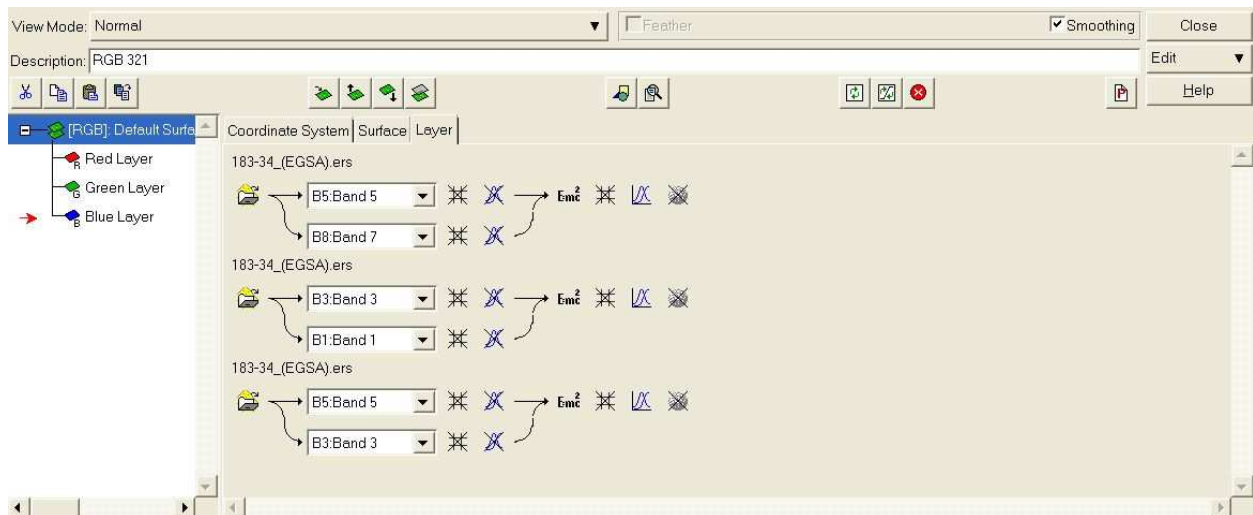
Φαίνεται επομένως ότι η αναγνώριση και χαρτογράφηση των λατερικών πετρωμάτων καθίσταται εφικτή, με τη χρησιμοποίηση δορυφορικών δεδομένων από τον δορυφόρο Landsat TM. Οι διαφοροποιήσεις ορυκτών που υπάρχουν στα λατερικά πετρώματα, αποδεικνύεται ότι ξεχωρίζουν ικανοποιητικά, λόγω των διακριτών φασματικών χαρακτηριστικών τους. Έγχρωμα και ψευδέγχρωμα σύνθετα R,G,B και λόγοι καναλιών είναι τα πιο αποτελεσματικά μέσα, για τη χαρτογράφηση των πλούσιων σε οξειδία του σιδήρου και αλουμινίου, εδαφικών αποθεμάτων. Βρέθηκαν αρκετά ψευδέγχρωμα σύνθετα τα οποία ξεχωρίζουν τα λατερικά πετρώματα αλλά αυτά που κάνουν έντονη τη διαφορά και αναδεικνύουν τα οξειδία του σιδήρου, είναι τα σύνθετα στα οποία οι λατερίτες εμφανίζονται με ένα κόκκινο-ιώδες χρώμα, λόγω της περιεκτικότητάς τους σε σίδηρο.



### 5.3 Χρήση του έγχρωμου σύνθετου φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B) για την ανίχνευση και διάκριση σερπεντινίτη από μεταμορφωσιγενή πετρώματα

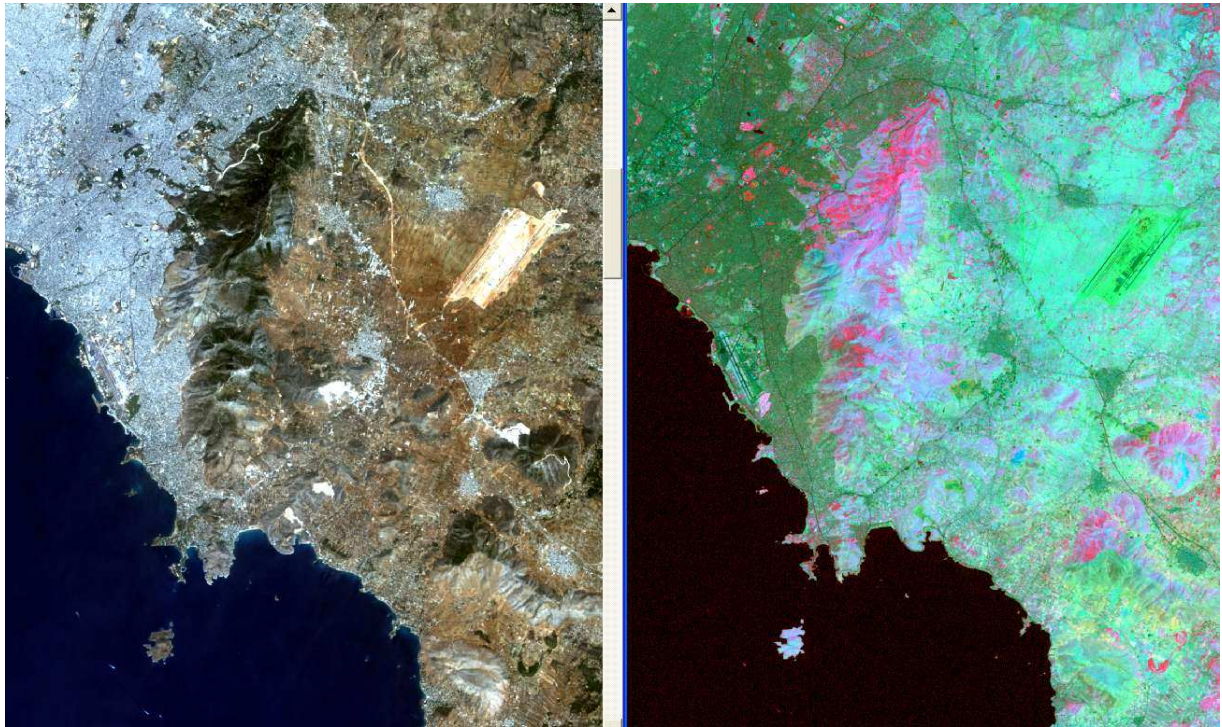
Ο σερπεντινίτης είναι βασικό πέτρωμα που ανήκει στην κατηγορία των μεταμορφωσιγενών και είναι προϊόν της περιοχικής μεταμόρφωσης αρχικών υπερβασικών πετρωμάτων. Κύριο ορυκτολογικό συστατικό του είναι ο σερπεντίνης που προκύπτει από την αλλοίωση (σερπεντινίωση) σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών. Οι σερπεντινίτες συναντούνται σε περιοχές με συγκεντρώσεις βασικών και υπερβασικών πυριγενών πετρωμάτων και είναι πολύ στενά συνδεδεμένοι με τους λευκόλιθους. Συνήθως έχει πράσινο χρώμα, παρόλ'αυτά παρουσιάζει πολλές αποχρώσεις και ποικιλίες.

Για την ανίχνευση και διάκριση σερπεντινίτη από μεταμορφωσιγενή πετρώματα χρησιμοποιήθηκαν οι φασματικοί λόγοι LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B) συνδυάζοντας τα κανάλια 1,3,5 και 7 του δορυφόρου LANDSAT TM (βλέπε εργασία στο κεφάλαιο 4 «Χρήση του θεματικού χαρτογράφου Landsat, στη λιθολογική αναγνώριση και χαρτογράφηση της περιοχής Barramiya, στην ανατολική έρημο της Αίγυπτο»).



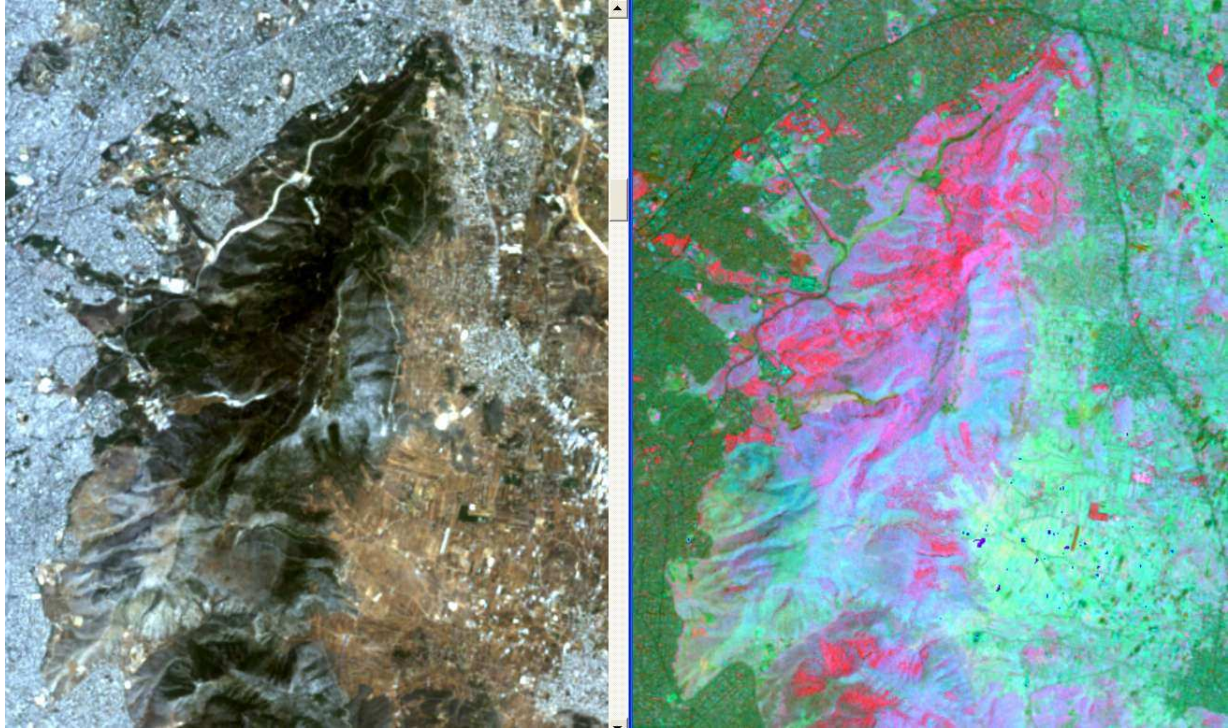
Εικόνα 86: Οι φασματικοί λόγοι LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B), όπως φαίνεται στο πλαίσιο διαλόγου δημιουργίας αλγόριθμου του λογισμικού ER Mapper.

Έγινε εφαρμογή των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B) στο όρος Υμηττού για την ανίχνευση σερπεντινιτών.



Εικόνα 87: Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή του όρους Υμηττός στην Αττική., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B) όπου με έντονο μοβ χρώμα διακρίνεται ο σερπεντινιτής.

Εφαρμόζονται οι φασματικοί λόγοι LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B) στην ίδια δορυφορική απεικόνιση με μεγαλύτερη μεγέθυνση για την καλύτερη διάκριση του σερπεντινίτη από μεταμορφωσιγενή πετρώματα στο όρος Υμηττού.

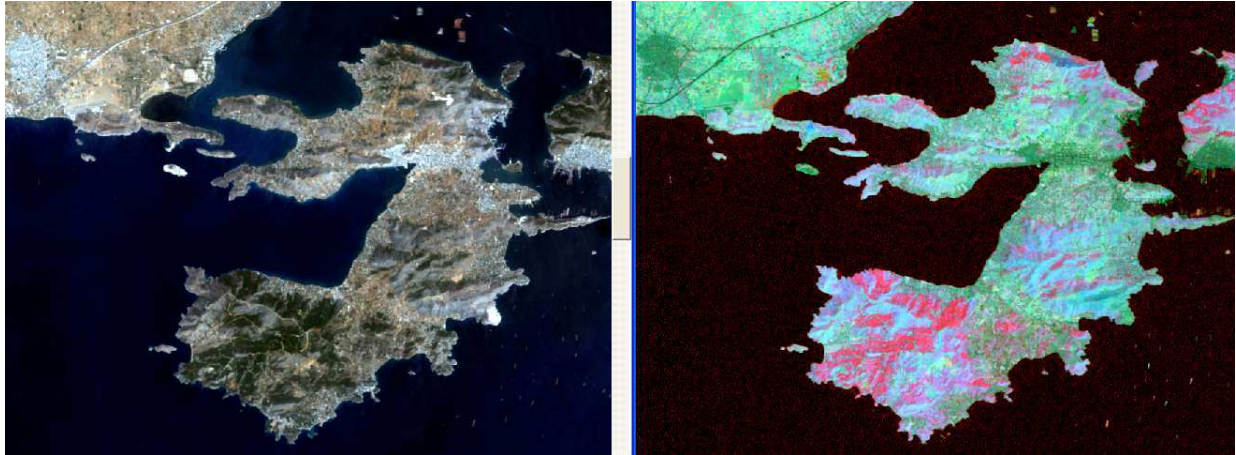


**Εικόνα 88:** Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει μεγεθυμένη την περιοχή του όρους Υμηττού στην Αττική., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B) όπου με έντονο μοβ χρώμα διακρίνεται ο σερπεντινίτης.



Άλλη μία περιοχή που είναι πλούσια σε μεταμορφωσιγενή πετρώματα είναι η Σαλαμίνα.

Γίνεται εφαρμογή των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B) στη Σαλαμίνα για την ανίχνευση σερπεντινιτών.



Εικόνα 89: Αριστερά Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, η οποία δείχνει την περιοχή της Σαλαμίνας., Δεξιά το αποτέλεσμα της εφαρμογής των φασματικών λόγων LANDSAT TM 5/7-3/1-5/3 (R,G,B) όπου με έντονο μωβ χρώμα διακρίνεται ο σερπεντινίτης.

Φαίνεται επομένως και στην περίπτωση αυτή, ότι η αναγνώριση και χαρτογράφηση των μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων, κυρίως των σερπεντινιτών καθίσταται εφικτή, με τη χρησιμοποίηση δορυφορικών δεδομένων από τον δορυφόρο Landsat TM.

Οι διαφοροποιήσεις ανάμεσα στους σερπεντινίτες και άλλα πετρώματα, κυρίως ασβεστολιθικά ή αργιλώδη, γίνονται έντονα διακριτές κυρίως λόγω των διαφορετικών φασματικών χαρακτηριστικών που έχουν τα πετρώματα αυτά. Οι λόγοι καναλιών που χρησιμοποιήθηκαν και που με αυτούς δημιουργήθηκαν τα καταλληλότερα έγχρωμα και ψευδέγχρωμα R,G,B σύνθετα αποδείχτηκαν (οπτικά τουλάχιστον) ως οι πιο αποτελεσματικοί για τη χαρτογράφηση των πλούσιων σε σιδηρομαγνησιούχων ενώσεις, εδαφικών αποθεμάτων. Ιδιαίτερα η διαφοροποίηση των σερπεντινιτών από τους λευκόλιθους (οι οποίοι παρουσιάζουν συγγενείς φασματικές ιδιότητες) στις καταγραφές της δορυφορικής απεικόνισης Landsat TM, αποτέλεσε ένα ευχάριστο σημείο της εργασίας αυτής.

## 5.4 Χρήση του φασματικού δείκτη βλάστησης NDVI και του φασματικού λόγου LANDSAT TM 3/4 για τη μελέτη της εδαφικής υποβάθμισης

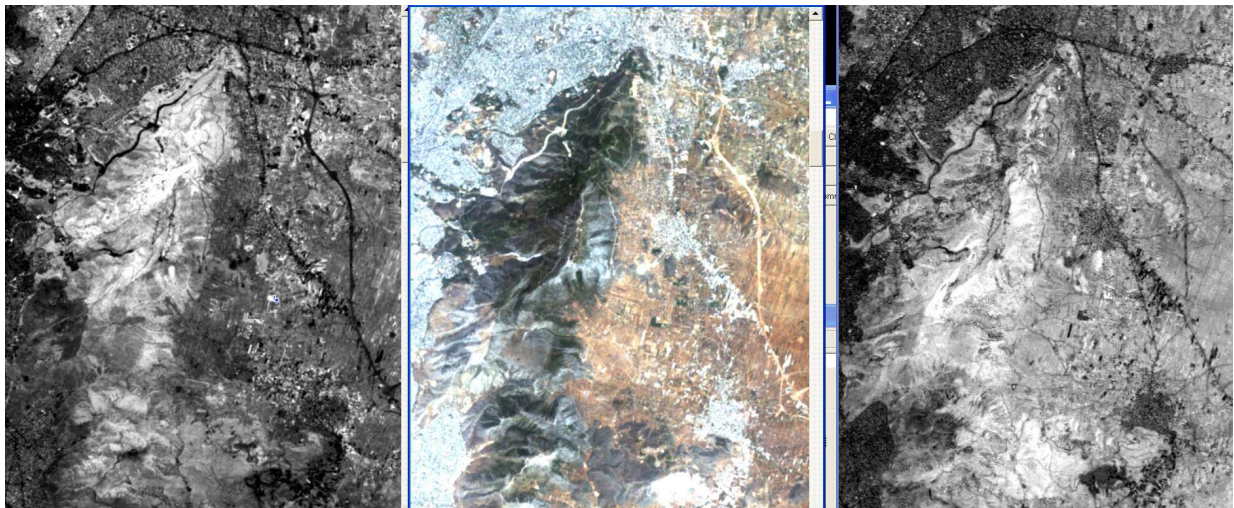
Το φαινόμενο της εδαφικής υποβάθμισης στον ελλαδικό χώρο είναι πολύ συχνό λόγω της γεωμορφολογίας της χώρας. Για τη μελέτη της εδαφικής υποβάθμισης χρησιμοποιήθηκε ο φασματικός δείκτης βλάστησης NDVI και ο φασματικός λόγος LANDSAT TM 3/4 (βλέπε κεφάλαιο 4 «Χρησιμοποίηση δορυφορικών εικόνων Landsat για τη μελέτη της εδαφικής υποβάθμισης και της “δυναμικής” της χρήσης γης. Παράδειγμα μελέτης στη συνοικία Tamduong, της επαρχίας Vinhuc, στο Βιετνάμ»), αυτό γιατί η απώλεια του εδάφους και της βλάστησης είναι από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά της εδαφικής υποβάθμισης.

Ο φασματικός δείκτης βλάστησης προκύπτει ως εξής;

$$NDVI=(TM4-TM3)/(TM4+TM3)$$

των καναλιών 3 και 4 του LANDSAT TM.

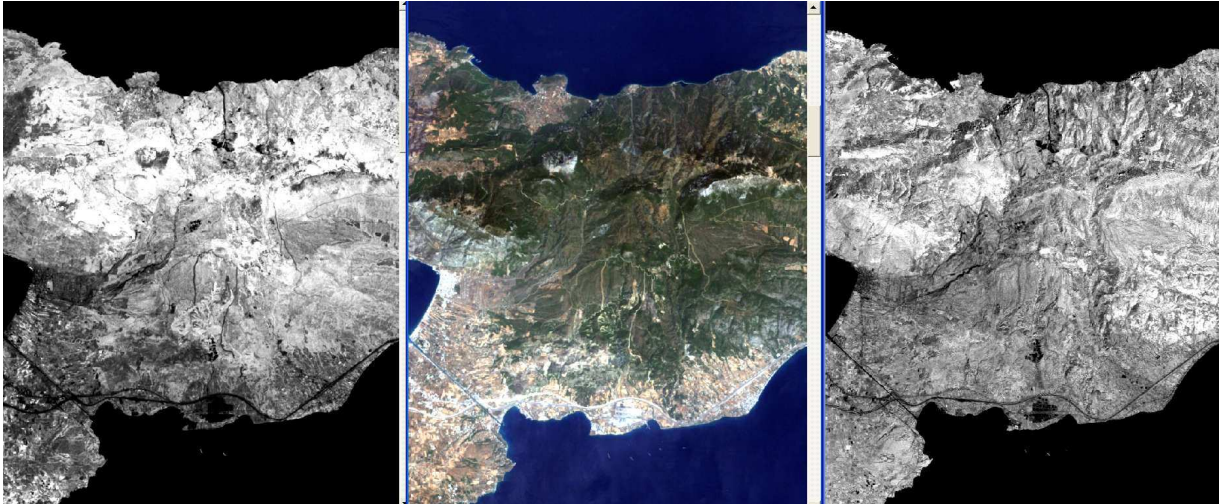
Γίνεται εφαρμογή των φασματικών λόγων στην περιοχή του Υμηττού.



Εικόνα 90: Αριστερά η εφαρμογή του δείκτη NDVI στη ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, με έντονο άσπρο χρώμα διακρίνεται η βλάστηση στην περιοχή του όρους Υμηττού. Στη μέση το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ίδιας ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης. Δεξιά η εφαρμογή του φασματικού λόγου 3/4 στην ίδια ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση, με έντονο άσπρο χρώμα διακρίνεται η εδαφική υποβάθμιση.



Γίνεται εφαρμογή των φασματικών λόγων στην περιοχή του όρους Πατέρα.



Εικόνα 91: Αριστερά η εφαρμογή του δείκτη NDVI στη ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση Landsat TM της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2002, με έντονο άσπρο χρώμα διακρίνεται η βλάστηση στην περιοχή του όρους Πατέρα. Στη μέση το έγχρωμο σύνθετο 3,2,1 (R,G,B) της ίδιας ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης. Δεξιά η εφαρμογή του φασματικού λόγου 3/4 στην ίδια ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση, με έντονο άσπρο χρώμα διακρίνεται το διαβρωμένο έδαφος.

Για μια ακόμη φορά, το μεγάλο θέμα της υποβάθμισης του εδάφους -συνηθίζουμε να το λέμε γεωλογική διάβρωση- απασχολεί την επιστημονική κοινότητα. Στην παρούσα εργασία, αναδεικνύονται τα εδάφη αυτά με τη βοήθεια της Τηλεπισκόπησης και των λόγων καναλιών της απεικόνισης Landsat TM και γίνεται χρήση της βλαστικής μάζας και γενικότερα της βλάστησης (ή της απουσίας της) για να εξαχθούν συμπεράσματα για την ποιότητα του εδάφους. Φαίνεται επομένως και εδώ, ότι η αναγνώριση της ποιότητας του εδάφους μπορεί να πραγματοποιηθεί, με τη χρησιμοποίηση δορυφορικών δεδομένων από τον δορυφόρο Landsat TM, όπου εξακριβώνονται εδάφη στα οποία έχει συντελεστεί προοδευτική αποσύνθεση των υλικών που περιέχονται σε αυτά, για διάφορους λόγους οι οποίοι δεν μας απασχολούν στην εργασία αυτή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα

---

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν τα αποτελέσματα εφαρμογής λόγων καναλιών σε πολυφασματικές απεικονίσεις, ιδιαίτερα σε Landsat TM. Η αποδελτίωση κατάλληλων εργασιών από τη διεθνή εμπειρία, ανέδειξε πολλές εφαρμογές και πολλούς τομείς, στους οποίους οι λόγοι καναλιών προσφέρουν χρήσιμα εργαλεία παρατήρησης, διερεύνησης, χαρτογράφησης, συστηματικής παρακολούθησης, ανάλυσης και ερμηνείας των στοιχείων, των χαρακτηριστικών και των εμφανίσεων της φυσικής γήινης επιφάνειας. Οι εργασίες «εισήχθησαν» στη Wikipedia του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης, το υλικό της οποίας αποτελεί πολυτιμότατο επιστημονικό βοήθημα για κάθε επιστήμονα ο οποίος ασχολείται με τη Φωτοερμηνεία και τη Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση. Το project της Wiki του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Ε.Μ. Πολυτεχνείου, αποτελεί μια επιστημονική εργασία η οποία απαιτείται να συνεχιστεί, να εμπλουτίζεται συνεχώς με διεθνή βιβλιογραφικά στοιχεία αλλά και πρακτικές, εμπειρικές εφαρμογές και γενικά αποτελεί ένα εξαιρετο, αξιόπιστο και εκπαιδευτικά κατάλληλο βοήθημα στην επιμόρφωση ενός νέου μηχανικού.

Η εφαρμογή συγκεκριμένων μεθοδολογιών αναφορικά με τους λόγους καναλιών σε περιοχές του Ελλαδικού χώρου, σχετικά α) με την χρήση του φασματικού δείκτη EVI για την εκτίμηση του μεγέθους των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς στην περιοχή της Λαυρεωτικής, β) με τη χρήση του έγχρωμου σύνθετου φασματικών λόγων Landsat TM 5/4-3/2-7/5 (R, G, B) για τη ανίχνευση και χαρτογράφηση λατερικών πετρωμάτων πλούσια σε οξειδία του σιδήρου, γ) με τη χρήση του έγχρωμου σύνθετου φασματικών λόγων Landsat TM 5/7-3/1-5/3 (R, G, B) για την ανίχνευση και διάκριση σερπεντινίτη από μεταμορφωσιγενή πετρώματα, που παρουσιάζονται πάρα πολύ συχνά σε περιοχές της Ελλάδας και δ) στη χρήση του φασματικού δείκτη βλάστησης NDVI και του φασματικού λόγου Landsat TM 3/4 για τη μελέτη της υποβάθμισης του εδάφους (διάβρωσης), ανέδειξε ικανοποιητικά μέσω ψευδέγχρωμων σύνθετων R, G, B τα οποία δημιουργούνται από κατάλληλους και συγκεκριμένους κάθε φορά λόγους καναλιών της δορυφορικής τηλεπισκοπικής απεικόνισης Landsat TM, τα αποτελέσματα και τις συνέπειες όσων μελετήθηκαν σε κάθε περιοχή, σε αρμονία με τις κάθε φορά βιβλιογραφικές αναφορές.

Επίσης η εργασία αυτή δίνει τη δυνατότητα να συνεχιστεί η έρευνα μέσω της τεχνικής των λόγων καναλιών Landsat TM εικόνων και με διαφορετικές πολυφασματικές απεικονίσεις, μεγαλύτερης

διακριτικής / διαχωριστικής δυνατότητας (για παράδειγμα IKONOS ή και Quick Bird απεικονίσεις) και να εξεταστεί η κάθε φορά εφαρμοζόμενη μεθοδολογία, για το κατά πόσο βελτιώνει τα αποτελέσματα στις ίδιες περιοχές μελέτης ή και σε άλλες, με στόχο την εύρεση κάθε φορά των πλέον κατάλληλων λόγων καναλιών, ανάλογα με το δορυφορικό δέκτη ο οποίος χρησιμοποιείται. Απώτερος σκοπός παραμένει, οι μεθοδολογίες και οι τεχνικές οι οποίες αναπτύσσονται ερευνητικά, να μπορούν (και πρέπει) να συμβάλλουν στην ορθολογικά σωστή περιβαλλοντική και κοινωνική διαχείριση των περιοχών αυτών και των διαθεσίμων τους.

## Βιβλιογραφία

Αργιαλάς Δ. (1998), "**Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση**", Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Αργιαλάς Δ. (2000). "**Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση**", Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Asis A. M., Omasa Kenji (2007). "**Estimation of Vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data**", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62, pp: 309-324.

Avery T.E., Berlin G.L. (1992). "**Fundamentals of remote sensing and airphoto interpretation**", 2nd ed., Macmillan, New York.

Boer et al. (2008). "**Remote sensing of forest canopies to quantify burn severity**".

Cambell J.B. (1987). "**Introduction to Remote Sensing**", Guildford Press, New York.

Chen X., Zhu Z., Ohlen D., Huang C., Shi H. (2008). "**Use of multiple spectral indices to estimate burn severity in the Black Hills of South Dakota, Pecora – The Future of Land Imaging**", Going Operational November 18-20.

Colwell R.N. (ed) (1983). "**Manual of Remote Sensing**", 2nd. ed., American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia.

Cracknell A.P. and Hayes L.W.B. (1991). "**Introduction to Remote Sensing**", Taylor and Francis, London.

Cressie N. (1993). "**Statistics for Spatial Data**", J.Wiley & Sons.

Curran P.J. (1985). "**Principles of Remote Sensing**", Longman, Harlow.

Deller Andrews M.E. (2006). **“Facies discriminations in laterites using Landsat Thematic Mapper, Aster and Ali data – examples from Eritrea and Arabia”**, *International Journal of Remote Sensing*, Vol 27, No. 12, pp: 2389 – 2409.

Drury S.A. (1990), **“A Guide to Remote Sensing: Interpreting Images of the Earth”**, Oxford University Press, Oxford.

Gad S., Kusky T. (2006), **“Lithological mapping in the Eastern Desert of Egypt, the Barramiya area, using Landsat thematic mapper TM”**, *Journal of African Earth Sciences* 44, pp: 196-202.

Ghulam A., LI 2-L, Qin Q., Yimit H., Wang J., (2008), **“Estimating Crop Water Stress with ETM+NIR and SWIR data”**, *Agricultural and Forest, Forest Metereology* 148, pp: 1679-1695.

Gonzales R.F. and Wintz P. (1977). **“Digital Image Processing”**, Addison-Wesley.

Hagolle O., Huc M., Pascual D., Dedieu G. (2010). **“A multi-temporal method for cloud detection, applied to FORMOSAT-2, VEN $\mu$ S, Landsat and Sentinel-2 images”**, *Remote Sensing of Environment* 114, pp: 1747-1755.

Harris R. (1987). **“Satellite Remote Sensing: an Introduction”**, Routledge and Kegan Paul, New York.

Jensen J.R. (2005). **“Introductory Digital Image Processing”**, 3rd Edition, Prentice-Hall, New Jersey.

Kariuki P.C., Woldai T., Van der Meer F. (2004). **“Role of Remote Sensing in Mapping Swelling Soils”**, *Asian Journal of Geinformatics*, Vols, No 1.

Kloiber M. S., et al. (2002). **“A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data”**, *Remote Sensing of Environment* 82, pp: 38-47.

Lillesand T.M. and Kiefer R.W. (1994). **“Remote Sensing and Image Interpretation”**, 3rd ed., Wiley, New York.

Lombardo V., Buongiorno M.F., Pieri D., Merucci L. (2004). **“Differences in Landsat TM derived from thermal structures during summit and flank eruption at Mount Etna”**, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 134, pp: 15-34.

Massom, R.A. (1991). **“Satellite Remote Sensing of Polar Regions”**, Belhaven Press, London.

Mather, P.M. (1987). **“Computer Processing of Remotely Sensed Data”**, Wiley, Chichester.

Miller J.D., Thode A.E. (2007). **“Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR)”**, *Remote Sensing and Environment*, 109, pp: 66-80.

Ρόκος Δ. (2005). **“Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση”**, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Richards J.A. (1986). **“Remote Sensing Digital Image Analysis”**, Springer Verlag.

Shosany M., Sarah P., Jarmer T., Hill J., Lavec H. (2000). **“Field and satellite radiometry of soil erodibility along the climatic gradient of the Judean Desert, Israel”**, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol XXXIII, Part B7, Amsterdam 2000.

Trinh M.V., Duong N.D., Keulen H.V. (2004). **“Using Landsat images for studying Landuse dynamics and soil degradation. Case study in Tamduong district, Vinphuc province, Vietnam”**, International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Garth and Allied Sciences.

Wagtendonk J.W., Root R., Key H. (2004). **“Comparison of AVIRIS and Landsat ETM detection capabilities for burn severity”**, *Remote Sensing of Environment* 92, pp: 397-408.

Zuidam R.A. van (1985). **“Aerial Photo Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphology”**, ITC, The Hague.