



ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ

Σύγκριση/αξιολόγηση της θεματικής χαρτογραφικής
ικανότητας του OLI και του ETM+

Χιωτάκη Στυλιανή

Επιβλέπων Καθηγητής Γεώργιος Μηλιαρέσης

[Μάιος, 2015]

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

*Σύγκριση/αξιολόγηση της θεματικής χαρτογραφικής ικανότητας
του OLI και ETM+*

Χιωτάκη Στυλιανή

Επιβλέπων Καθηγητής
Μηλιαρέσης Γεώργιος

Μάιος, 2015

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ	i
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα	i
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	i
ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ	i
Περίληψη.....	vi
Abstract	viii
Ευχαριστίες	x
Πίνακας περιεχομένων πινάκων.....	xi
Πίνακας περιεχομένων σχημάτων.....	xii
Κεφάλαιο πρώτο	1
Εισαγωγή.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση	1
1.3 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	3
1.4. Χαρακτηριστικά των ψηφιακών εικόνων	6
1.5 Θεματική διακριτική ικανότητα	9
1.6 Σειρά των δορυφόρων Landsat	11
1.7. Καταγραφή του προβλήματος.....	15
1.8 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης	15
1.9 Σκοποί και στόχοι.....	16
Κεφάλαιο Δεύτερο	17
2. Βιογραφική ανασκόπηση	17
2.1 Τεχνικές επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων	17
2.1.1 Ραδιομετρική Διόρθωση	17
2.1.2 Γεωμετρική Διόρθωση.....	19
2.1.3 Βελτίωση Εικόνας.....	19

2.1.3.1 Ενίσχυση αντίθεσης φωτεινότητας.....	19
2.1.3.2. Έγχρωμη Σύνθετη Εικόνα	20
2.1.3.3. Ψηφιακά Φίλτρα	20
2.1.4 Ταξινόμηση Εικόνας.....	21
2.1.4.1 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση	21
2.1.4.2 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση.....	22
2.2 Ιστορική εξέλιξη των δορυφόρων LANDSAT	23
2.3 Εφαρμογές των LANDSAT στην χαρτογράφηση-προστασία του περιβάλλοντος....	28
Κεφάλαιο Τρίτο	36
3. Μεθοδολογία.....	36
3.1 Σκοπός και Στόχοι.....	38
3.2 Ερευνητικά Ερωτήματα	38
3.3 Σχεδιασμός	39
3.4 Περιοχή Μελέτης	40
Σχήμα 3.4.7 Προστατευόμενες περιοχές (Natura).....	43
Σχήμα 3.4.8 Ποτάμια	44
3.5 Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων	45
3.5.1 Χάρτης Καλύψεων / Χρήσεων Γης Corine	45
3.5.2 Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους (ΨΥΜΕ).....	47
3.5.3. Δορυφορική εικόνα LANDSAT 8 και LANDSAT 7	49
3.6 Ραδιομετρική και χωρική διακριτική ικανότητα.....	52
3.6.1 Παγχρωματικές εικόνες.....	52
3.6.2 Θερμικές εικόνες.....	54
3.6.3 Κανάλια του Landsat 8 που δεν υπάρχουν στο Landsat 7.....	57
3.6.4. Πολυφασματικές καταγραφές στο ορατό	59
3.6.4.1. Κανάλι 1 Landsat 7 και κανάλι 2 Landsat 8.....	60
3.6.4.2 Κανάλι 2 Landsat 7 και κανάλι 3 Landsat 8.....	62
3.6.4.3 Κανάλι 3 Landsat 7 και κανάλι 4 Landsat 8.....	63
3.6.5. Πολυφασματικές καταγραφές στο εγγύς και μέσο υπέρυθρο.....	65
3.6.5.1 Κανάλι 4 Landsat 7 και κανάλι 5 Landsat 8 (Near Infrared).....	65
3.6.5.2 Κανάλι 5 Landsat 7 και κανάλι 6 Landsat 8 (S.W.I.R.)	66

3.6.5.3 Κανάλι 7 Landsat 7 - κανάλι 7 Landsat 8.....	68
3.7. Ψηφιακές επεξεργασίες.....	69
3.7.1 Βελτιωμένη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (εφαρμογή στο κόκκινο L7/L8)	70
3.7.2. Σύγκριση παγχρωματικών εικόνων (L7/L8)	71
3.7.3 Σύγκριση των δυο θερμικών εικόνων του L8.....	73
3.7.4 Αξιολόγηση Cirrus band (L8)	74
3.7.5 Αξιολόγηση Coastal aerosol band ως προς το μπλε κανάλι (L8)	76
3.7.6 Αξιολόγηση της διαφορετικής χωρική διακριτικής ικανότητας στο θερμικό (L7/L8)	77
3.7.7 Δείκτης βλάστησης (L7/L8).....	80
3.7.8 Θεματική χαρτογράφηση στο εγγύς και μέσο υπέρυθρο	81
Κεφάλαιο Τέταρτο	82
4. Σχολιασμός αποτελεσμάτων	82
Κεφάλαιο Πέμπτο	86
5. Συμπεράσματα.....	86
Βιβλιογραφία	88
Διαδίκτυο.....	88
Ελληνική βιβλιογραφία	88
Περιοδικά	88

Περίληψη

Η σειρά των δορυφόρων Landsat ξεκίνησε την θεματική χαρτογράφηση του πλανήτη το 1972 και συνεχίζει μέχρι σήμερα με μια διαδοχική σειρά πολυφασματικών σαρωτών που παρουσιάζουν όλο και καλύτερα τεχνικά χαρακτηριστικά επιτρέποντας την σύνθεση λεπτομερέστερων διαχρονικά θεματικών χαρτών. Το 2013 τέθηκε σε υπηρεσία ο Landsat 8 (Landsat Data Continuity Mission (LDCM)) εξοπλισμένος με τον φασματικό σαρωτή Operational Land Imager (OLI) που αντικατέστησε τον Landsat 7, και παρουσιάζει μεγαλύτερη φασματική και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα από τον προκάτοχο του. Ο δορυφόρος Landsat 8 φέρει δύο όργανα: Το OLI, έναν αισθητήρα περιλαμβάνει τρεις ζώνες: μία ζώνη στο βαθύ μπλε για μελέτες παράκτια / αεροζόλ, μια ζώνη μικρού μήκους κύματος υπέρυθρων για την ανίχνευση νεφών cirrus, και ένα θεματικό πλεγματικό επίπεδο πληροφορίας για Quality Assessment. Ο θερμικός υπέρυθρος αισθητήρας TIRS παρέχει δύο θερμικές ζώνες (high and low gain). Και οι δύο αισθητήρες παρέχουν βελτιωμένο σήμα-προς-θόρυβο (SNRi). Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση της θεματικής χαρτογραφικής ικανότητας των δύο σαρωτών (ETM+ και OLI) στην ίδια περιοχή. Πιο συγκεκριμένα έγινε αξιολόγηση της θεματικής χαρτογραφικής ικανότητας του OLI σε σύγκριση με τον ETM+ στην διάκριση θεματικών τάξεων, χωρικών στοιχείων και ενεργειακών διαβαθμίσεων. Η θεματική χαρτογράφηση πραγματοποιήθηκε με την υλοποίηση τεχνικών ψηφιακής ανάλυσης εικόνας στο Ρέθυμνο της Κρήτης. Οι κύριες βελτιώσεις που επιφέρει ο φασματικός σαρωτής OLI και TIR του Landsat 8, συνοψίζονται:

- Στην βελτιωμένη ραδιομετρία των εικόνων Landsat 8 αφού το ελάχιστο κλάσμα ενέργειας που καταγράφεται είναι από 4 έως και 13 φορές μικρότερο (ανάλογα με το κανάλι) από τον Landsat 7, επιτρέποντας την χαρτογράφηση μικρότερων μεταβολών της ενέργειας στο εύρος καταγραφής μήκους κύματος του κάθε φασματικού καναλιού.
- Στην βελτιωμένη φασματική δειγματοληψία που περιλαμβάνει δύο νέες φασματικές ζώνες. Η ζώνη για την ανίχνευση των νεφών αποδείχθηκε ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θεματική χαρτογράφηση λόγω της μικρής αντίθεσης φωτεινότητας, όμως είναι πολύ ευαίσθητη στο εντοπισμό χαμηλής-αραιής νέφωσης μικρού πάχους. Η φασματική ζώνη για το εντοπισμό των coastal aerosols αν και είναι στο υπεριώδες τμήμα του φάσματος στο οποίο παρατηρείται μεγάλη διάχυση (Rayleigh diffusion) είναι

εξαιρετικά πολύτιμη για χώρες όπως η Ελλάδα και η Κύπρος αφού βοηθά στον εντοπισμό λεπτής σκόνης που έρχεται με μεταφορά από την Σαχάρα προκαλώντας προβλήματα στην δορυφορική παρατήρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Οι ζώνες στο μέσο υπέρυθρο δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες αφού παρατηρείται μικρή διαφοροποίηση στο εύρος μήκους κύματος. Σε σχέση με την θεματική χαρτογράφηση καλύψεων γης, τα εύρη μήκους κύματος στο μέσο υπέρυθρο έχουν μετατοπισθεί λίγο στο Landsat 8 προκειμένου να μεγιστοποιείται η αντίθεση φασματικών υπογραφών καλύψεων γης. Στο εγγύς υπέρυθρο παρατηρείται μεγαλύτερη διαφοροποίηση στο εύρος μήκους κύματος αφού κάτω όριο του καναλιού στον Landsat 8, μετατοπίστηκε προς μεγαλύτερο κατώφλι έτσι ώστε καταγράφεται καλύτερα το μέγιστο της ανακλαστικότητας της χλωροφύλλης. Στο ορατό τμήμα του φάσματος τα κανάλια σχεδόν ταυτίζονται.

- Ο αισθητήρας TIRS του Landsat 8 έχει την δυνατότητα συλλογής στοιχείων σε δύο πιο στενές φασματικές ζώνες στην θερμική περιοχή, που στους προγενέστερους δορυφόρους (Landsat 7) καλύπτονταν από μία ευρεία φασματική ζώνη. Δηλαδή ο Landsat 7 έχει δύο καταγραφές στο θερμικό κανάλι που έχουν την ίδια φασματική δειγματοληψία αλλά διαφορετική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα. Αντίθετα ο Landsat 8 χωρίζει το φασματικό εύρος 10.40 -12.50 μm σε δυο κανάλια όμως οι θερμικές εικόνες του Landsat 8 έχουν μικρότερη χωρική διακριτική ικανότητα (100 μέτρα) από τις θερμικές καταγραφές του Landsat 7 (60 μέτρα). Κατά αυτό τον τρόπο ο Landsat 8 έχει βελτιωμένη φασματική δειγματοληψία και στο θερμικό αν και υστερεί σε αυτό το τμήμα του φάσματος ως προς την χωρική διακριτική ικανότητα που είναι κατά 40% μικρότερη από τις θερμικές καταγραφές του Landsat 7.

Η γενική εκτίμηση είναι ότι η αναγνώριση των παράκτιων περιοχών ως προς τα αιωρούμενα σωματίδια και ο καλύτερος εντοπισμός της χαμηλής νέφωσης προσφέρει καλύτερο προγραμματισμό λήψεων και επιλογής δορυφορικών εικόνων έτσι ώστε να μεγιστοποιηθούν τα αποτελέσματα-προϊόντα της ψηφιακής δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Σε συνδυασμό με τον επαναπροσδιορισμό της φασματικής δειγματοληψίας και τη εξαιρετικά βελτιωμένη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα, έχουμε πολύ καλύτερη θεματική διακριτική ικανότητα σε εφαρμογές χαρτογράφησης καλύψεων γης. Στο θερμικό παρουσιάζεται μειωμένη χωρική διακριτική ικανότητα, που αντισταθμίζεται σε ένα βαθμό από την βελτιωμένη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα και την βελτιωμένη φασματική δειγματοληψία (αφού στο ίδιο φασματικό εύρος στο Landsat 8 έχουμε δυο θερμικές καταγραφές).

Abstract

The series of Landsat satellites launched the first satellite in 1972 and continues to this day with a sequential series of multispectral scanners presenting more and better technical characteristics allowing the synthesis detailed temporal thematic maps. In 2013 came into service the Landsat 8 (Landsat Data Continuity Mission (LDCM)) equipped with spectral scanner Operational Land Imager (OLI) who replaced Landsat 7, and shows higher spectral and radiometric resolution than its predecessor. Landsat 8 has two organs: The OLI, a sensor comprises three zones: in the deep blue for coastal studies / dispenser, a band short wave infrared to detect clouds cirrus, and a thematic raster information level for Quality Assessment. The thermal infrared TIRS sensor provides two thermal zones (high and low gain). Both sensors provide improved signal-to-noise ratio (SNR). Have efficiencies 4096 in gray levels in an image, compared with only 256 levels of gray in the previous data. Improved Signal to Noise may allow better characterization of land cover and situation. Products images are 16-bit (55,000 gray scale levels). The aim of this thesis is to compare the thematic mapping capability of the two scanners (ETM + and OLI) in the same study area. In particular will assess thematic mapping capability of OLI compared to ETM + to distinguish thematic classes through the implementation of digital image analysis techniques.

The thematic mapping was performed in Rethymno, Crete. The main improvements introduced by spectral OLI scanner and TIR of Landsat 8, summarized:

- In the improved radiometry images Landsat 8 after the minimum fraction of energy that is recorded from 4 to 13 times smaller (depending on the channel) from Landsat 7, allowing the mapping of smaller changes of energy in the wavelength range of each spectral channel .
- In the improved spectral sampling includes two new spectral bands. The zone for the detection of clouds proved that it can be used for thematic mapping because of low luminance contrast, but is very sensitive to detect low-sparse cloud thin. The spectral band for the identification of coastal aerosols although in the ultraviolet part of the spectrum in which there is a great diffusion (Rayleigh diffusion) is extremely valuable for countries like Greece and Cyprus as it helps in identifying fine dust that comes with transfer from the Sahara causing problems in satellite observation of the marine environment. The zones in the medium infrared is not directly comparable since slight variation in amplitude is observed. In connection with the thematic mapping land cover, the wavelength ranges in the medium infrared dislocated bit Landsat 8 in order

to maximize the contrast of spectral signatures land cover. In the near infrared greater variation in the wavelength range having a lower limit of the channel in the Landsat 8, shifted to higher threshold so that better record the maximum reflectivity of the chlorophyll. In the visible part of the spectrum channels almost identical.

- The sensor TIRS of Landsat 8 has the possibility of collecting data in two more narrow spectral bands in the thermal region, in the previous satellites (Landsat 7) covered by a wide spectral band. That is, Landsat 7 has two records in the thermal channel having the same spectral sampling but different radiometric resolution. Unlike the Landsat 8 separates the spectral range 10.40 -12.50 microns in two channels, however, the thermal images of Landsat 8 have lower spatial resolution (100 m) from the thermal recordings of Landsat 7 (60 meters). In this way the Landsat 8 having improved spectral sampling and thermal although lacks this portion of the spectrum on the spatial resolution that is 40% less than the thermal recordings Landsat 7.

The general assessment is that the identification of coastal areas in terms of particulate matter and the better identification of low cloud offer best programming abstractions and selecting satellite images in order to maximize the results-products of digital satellite remote sensing. In conjunction with the redefinition of the spectral sampling and greatly improved radiometric resolution, we have much better thematic resolution on land cover mapping applications. In thermal shown reduced spatial resolution, which is offset to some extent by improved radiometric resolution and improved spectral sampling (after the same spectral range in Landsat 8 has two thermal recordings).

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως τον επιβλέποντα καθηγητή Γεώργιο Μηλιαρέση για την πολύτιμη καθοδήγηση και για τον χρόνο που διέθεσε για να έρθει εις πέρας η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή.

Ευχαριστώ επίσης τον σύζυγο μου Χρήστο και τον γιο μου Πέτρο για την ηθική συμπαράσταση και την υπομονή που έδειξαν όλο αυτό το διάστημα.

Σε όλους εσάς αφιερώνω την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή.

Πίνακας περιεχομένων πινάκων

Πίνακας 1.3.1 Οι φασματικές ζώνες

Πίνακας 1.5. 1. Οι εφαρμογές των καναλιών του Θεματικού Χαρτογράφου

Πίνακας 1.6.1. Η σειρά των δορυφόρων Landsat

Πίνακας 2.3.1 Ενδεικτικές εφαρμογές (Loveland et al. 2012)

Πίνακας 3.1 Σύγκριση των δορυφόρων Landsat 7 και 8

Πίνακας 3.5.1 Χωρική διακριτική ικανότητα του δορυφόρου Landsat 8 ανά κανάλι

Πίνακας 3.5.2 Χωρική διακριτική ικανότητα του δορυφόρου Landsat 7 ανά κανάλι

Πινάκας 3.5.3 Ελάχιστο και μέγιστο ενέργειας ανά κανάλι σε $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$

Πίνακας 3.6.4.1 Αντιστοιχία καναλιών μεταξύ δορυφόρων Landsat 7 και Landsat 8

Πίνακας 3.7.1 Στοιχεία λήψης των εικόνων

Πίνακας 3.7.1.1 Φασματική δειγματοληψία στο κόκκινο

Πίνακας 3.7.1.2 Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα στο κόκκινο

Πίνακας 3.7.2.1 Φασματική δειγματοληψία παγχρωματικού

Πίνακα 3.7.3.1 Φασματική δειγματοληψία των θερμικών καναλιών του L8

Πίνακας 3.7.5.1 Σύγκριση καναλιών B1 και B2 του L8

Πίνακας 3.7.6.1 Φασματική δειγματοληψία στην θερμική φασματική ζώνη L7 και L8

Πίνακας 4.1 Φασματική δειγματοληψία

Πίνακας 4.2 Χωρική διακριτική ικανότητα

Πίνακας 4.3 Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα

Πίνακας περιεχομένων σχημάτων

Σχήμα 1.6.1 Σύγκριση φασματικών ζωνών του Landsat 7 (ETM+) και του Landsat 8 (OLI).

Σχήμα 1.6.2 Εικόνα του σαρωτή OLI.

Σχήμα 3.4.1 Όρια νομού Ρεθύμνου και το τμήμα που διεξάγεται η έρευνα όπως απεικονίζεται στον χάρτη καλύψεων Corine (Bartholome et al. 2005).

Σχήμα 3.4.2 Όρια δήμων Καλλικράτης

Σχήμα 3.4.3 Καποδιστριακοί δήμοι.

Σχήμα 3.4.4 Όρια ΟΤΑ

Σχήμα 3.4.5 Οδικό δίκτυο

Σχήμα 3.4.6 Οικιστικές συγκεντρώσεις

Σχήμα 3.4.7 Προστατευόμενες περιοχές (Natura)

Σχήμα 3.4.8 Ποτάμια

Σχήμα 3.5.1.1 Χάρτης καλύψεων γης

Σχήμα. 3.5.2.1 ΨΥΜΕ της περιοχής μελέτης

Σχήμα. 3.5.2.2 Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου (ύψος Ήλιου 40° αζιμούθιο 300°)

Σχήμα.3.5.2.3 Έγχρωμος χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου

Σχήμα 3.5.2.4 Ισοϋψείς ανά 50 μ

Σχήμα 3.6.1.1 Παγχρωματική εικόνα Landsat 8

Σχήμα 3.6.1.2 Παγχρωματική εικόνα Landsat 7

Σχήμα 3.6.2.1 Θερμική εικόνα από κανάλι 10 Landsat 8

Σχήμα 3.6.2.2 Θερμική εικόνα από κανάλι 11 Landsat 8

Σχήμα 3.6.2.3 Θερμική εικόνα από κανάλι 6.1 Landsat 7

Σχήμα 3.6.2.4. Θερμική εικόνα από κανάλι 6.2 Landsat 7

Σχήμα 3.6.3.1. Κανάλι 1 του Landsat 8

Σχήμα 3.6.3.2 Κανάλι 9 του Landsat 8

Σχήμα 3.6.4.1.1 Κανάλι 2 του Landsat 8

Σχήμα 3.6.4.1.2 Κανάλι 1 του Landsat 7

Σχήμα 3.6.4.2.1 Κανάλι 3 του Landsat 8

Σχήμα 3.6.4.2.2 Κανάλι 2 του Landsat 7

Σχήμα 3.6.4.3.1 Κανάλι 4 του Landsat 8

Σχήμα 3.6.4.3.2 Κανάλι 3 του Landsat 7

Σχήμα 3.6.5.1.1 Κανάλι 5 του Landsat 8

Σχήμα 3.6.5.1.2 Κανάλι 4 του Landsat 7

Σχήμα 3.6.5.2.1 Κανάλι 6 του Landsat 8

Σχήμα 3.6.5.2.2. Κανάλι 5 του Landsat 8

Σχήμα 3.6.5.3.1 Κανάλι 7 Landsat 8

Σχήμα 3.6.5.3.2 Κανάλι 7 του Landsat 7

Σχήμα 3.7.1.1. Εικόνες κλίσης

Σχήμα 3.7.1.2 Ιστόγραμμα συχνότητας της κλίσης για την εικόνα B4-L8

Σχήμα 3.7.1.3 Ιστόγραμμα συχνότητας της κλίσης για την εικόνα B3-L7

Σχήμα 3.7.2.1 Η παγχρωματική εικόνα L8 στην επιλεγμένη περιοχή

Σχήμα 3.7.2.2 Η παγχρωματική εικόνα L7 στην επιλεγμένη περιοχή

Σχήμα 3.7.2.3 Φασματικές υπογραφές βασικών καλύψεων γης

Σχήμα 3.7.3.1 Έγχρωμο σύνθετο στο οποίο το κανάλι 10 αντιστοιχεί στο μπλε, ενώ το κανάλι 11 έχει αντιστοιχηθεί στο πράσινο και κόκκινο.

Σχήμα 3.7.4.1 Thresholding του καναλιού 9 και εμφάνιση των εντοπισμένων Cirrus clouds (μαύρα εικονοστοιχεία) σε υπέρθεση στο κανάλι 1.

Σχήμα 3.7.5.1 Έγχρωμο σύνθετο στο οποίο το κανάλι 1 αντιστοιχεί στο μπλε, ενώ το κανάλι 2 έχει αντιστοιχηθεί στο πράσινο και κόκκινο.

Σχήμα 3.7.6.1 Η εικόνα B10 του L8

Σχήμα 3.7.6.2 Η εικόνα B62 (high gain) του L7

Σχήμα 3.7.7.1 Διαφοροποίηση στους δείκτες βλάστησης μεταξύ L7 και L8

Σχήμα 3.7.8.1 Οι μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις των L7 και L8 ως προς τα 3 κανάλια στο εγγύς και μέσο υπέρυθρο

Κεφάλαιο πρώτο

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Από τα πρώτα χρόνια ύπαρξης των ανθρώπων στη γη, την εποχή των πετρογλυφικών, και φτάνοντας στην σημερινή εποχή με την θέα του πλανήτη μας από το διάστημα, οι άνθρωποι έχουν προσπαθήσει να απεικονίσουν με ακρίβεια το χάρτη του κόσμου (Bagrow 1986, Ahlqvist & Hyowon 2007). Οι πρώτοι γεωγράφοι κατέγραφαν τις εμπειρίες ταξιδιωτών, εμπόρων και δημιουργούσαν δεδομένα τόπων με γεωγραφικά χαρακτηριστικά (Bagrow 1986). Παλιοί χάρτες δημιουργήθηκαν για να βοηθήνε τους ανθρώπους να περιηγούνται. Οι Αιγύπτιοι χαρτογράφησαν το ταξίδι στη μετά θάνατο ζωή, οι Ρωμαίοι τους δρόμους προς την Ρώμη, και οι Χριστιανοί χαρτογράφησαν το προσκύνημα στους Άγιους Τόπους (Bagrow 1986). Οι χάρτες αυτοί χαρακτηρίζονταν για την χρηστικότητα τους, και η ακρίβεια τους ήταν υποκειμενική (Ahlqvist & Shortridge 2010).

Με την πάροδο των χρόνων και την πρόοδο της τεχνολογίας, οι χάρτες γίνονταν όλο και πιο ακριβείς, προσφέροντας όμως λιγότερες πολιτιστικές πληροφορίες (Ahlqvist 2010).

1.2 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση

Και τον 20^ο αιώνα, η χαρτογράφηση φτάνει σε μια νέα διάσταση αφού άρχισε η χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων, και δημιουργία εξαιρετικών σε ακρίβεια χαρτών (Zhu & Chen 2000). Σε αντίθεση με τους πρώτους χάρτες που δημιουργήθηκαν με βάση τις ιστορίες και τον πολιτισμό, οι χάρτες που η δημιουργία τους βασίζονται σε δορυφόρους είναι αμερόληπτοι. Πέρα της ακριβής χαρτογράφησης, με την μελέτη των δορυφορικών εικόνων, οι ερευνητές μπορούν να καθορίσουν τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο τοπίο της Γης (Zhu et al. 2010).

Στην προκειμένη περίπτωση η παρατήρηση της επιφάνειας της γης είναι δυνατή με τη χρήση ψηφιακών σαρωτών (τηλεπισκοπικών ανιχνευτών) που ανιχνεύουν την αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα (Vrieling et al. 2006). Οι σαρωτές μπορεί να είναι εγκατεστημένοι σε τεχνητούς δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη ή να βρίσκονται σε αερομεταφερόμενα μέσα (αεροσκάφη, ελικόπτερα). Ένα διαστημικό όχημα μπορεί να

μεταφέρει περισσότερους από ένα ανιχνευτές, έτσι πολλές φορές προκαλείται σύγχυση μεταξύ οχήματος και σαρωτή (Mather 1987). Για παράδειγμα ο δορυφόρος Terra μεταφέρει, μεταξύ άλλων, τον ανιχνευτή ASTER και τον ανιχνευτή MODIS (Miliareisis 2014, Roy et al. 2008). Όταν αναφερόμαστε στα δεδομένα που μεταδίδονται στη γη, συνήθως τα διακρίνουμε βάση του ανιχνευτή, έτσι λοιπόν μιλάμε για δορυφορική εικόνα ASTER και όχι για δορυφορική εικόνα TERRA (Mellon et al. 2000).

Από όλες τις πηγές δεδομένων στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, ίσως η πιο σημαντική είναι η τηλεπισκόπηση (Maiersperger, 2013). Μέσω της χρήσης των δορυφόρων, έχουμε πλέον συνεχή λήψη δεδομένων από όλο τον κόσμο σε χρονικά πλαίσια από δύο εβδομάδες έως και μερικές ώρες (Zheng 2011). Ακόμα πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι έχουμε πρόσβαση σε τηλεπισκοπικές εικόνες σε ψηφιακή μορφή, κάτι που μας επιτρέπει άμεση ολοκλήρωση των αποτελεσμάτων της τηλεπισκοπικής ανάλυσης σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Withers 2009).

Η τηλεπισκόπηση μπορεί να οριστεί ως οποιαδήποτε διαδικασία λήψης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο χωρίς να ερχόμαστε σε επαφή μαζί του (Vermote, et al. 1997). Τα μάτια μας είναι ένα εξαιρετο παράδειγμα συσκευής τηλεπισκόπησης. Είμαστε σε θέση να συλλέγουμε πληροφορίες για το περιβάλλον μας αναλύοντας την ποσότητα και τη φύση της αντανάκλασης ενέργειας ορατού φωτός από μια εξωτερική πηγή (όπως ο ήλιος ή μια λάμπα) καθώς αντανακλάται από αντικείμενα μέσα στο οπτικό μας πεδίο (Vermote, et al. 2007). Σε αντίθεση, ένα θερμόμετρο πρέπει να έρχεται σε επαφή με το φαινόμενο που μετρά, και επομένως δεν μπορεί να θεωρηθεί συσκευή τηλεπισκόπησης.

Δεδομένου αυτού του γενικού ορισμού, ο όρος τηλεπισκόπηση έχει συσχετιστεί πιο ειδικά με την ανάλυση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των υλικών στην επιφάνεια της γης και την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια (Thomas, et al. 2011).

Παρόλα αυτά, κάθε τέτοια προσπάθεια για έναν πιο ειδικό ορισμό παρουσιάζει δυσκολίες, καθώς δεν είναι πάντα το φυσικό περιβάλλον που εξετάζεται, η ενέργεια δεν είναι πάντα ηλεκτρομαγνητική, και κάποιες διαδικασίες αναλύουν τις φυσικές εκπομπές ενέργειας των υλικών παρά την αλληλεπίδραση τους με την ενέργεια από κάποια ανεξάρτητη πηγή (Slater et al., 1987).

Οι αισθητήρες μπορούν να χωριστούν σε δύο γενικές ομάδες - τους ενεργούς και τους παθητικούς (Takashi Kurosui 2001). Οι παθητικοί αισθητήρες μετρούν τα επίπεδα

υπαρχόντων πηγών ενέργειας, ενώ οι ενεργοί παρέχουν την δική τους πηγή ενέργειας (Schroeder 2011). Οι περισσότερες μετρήσεις τηλεπισκόπησης γίνονται με παθητικούς αισθητήρες, για τους οποίους ο ήλιος είναι η κυριότερη πηγή ενέργειας (Zhe et al. 2011).

Το παλαιότερο παράδειγμα είναι η φωτογραφία. Με αερομεταφερόμενες κάμερες, μπορούμε εδώ και δεκαετίες να μετράμε και να καταγράφουμε την αντανάκλαση του φωτός στα στοιχεία του εδάφους (Lillesand et al. 2008). Ενώ η αεροφωτογραφία παραμένει κύρια μορφή τηλεπισκόπησης, πιο πρόσφατες τεχνολογίες αισθητήρων έχουν επεκτείνει τις δυνατότητες για θέαση στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο μήκος κύματος. Παρόλα αυτά, δεν έχουν όλοι οι παθητικοί αισθητήρες τον ήλιο ως πηγή ενέργειας (Thomas et al. 2012). Οι αισθητήρες θερμικού υπέρυθρου και οι παθητικοί αισθητήρες μικροκυμάτων μετρούν φυσικές εκπομπές ενέργειας από τη γη. Έτσι, οι παθητικοί αισθητήρες είναι απλά αυτοί που δεν διαθέτουν από μόνοι τους την πηγή ενέργειας που μετρούν.

Σε αντίθεση, οι ενεργοί αισθητήρες παρέχουν τη δική τους πηγή ενέργειας. Το πιο απλό παράδειγμα είναι η φωτογραφία με φλας (Linke et al. 2009). Σε εφαρμογές περιβάλλοντος και χαρτογράφησης, το καλύτερο παράδειγμα είναι τα ραντάρ (Kellndorfer et al. 2004). Τα συστήματα ραντάρ εκπέμπουν ενέργεια στην περιοχή των μικροκυμάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Kellndorfer et al. 2010). Η αντανάκλαση αυτή της ενέργειας από τα υλικά στην επιφάνεια της γης μετριέται για την κατασκευή μιας εικόνας της περιοχής που μελετάμε.

Όπως αναφέραμε, οι περισσότερες συσκευές τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Όμως, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι ιδιαίτερα ευρύ και δεν έχουν όλα τα μήκη κύματος την ίδια αποτελεσματικότητα σε εφαρμογές τηλεπισκόπησης (Pitas 1993.). Επίσης, δεν έχουν όλα τα μήκη κύματος σημαντική αλληλεπίδραση με τα υλικά στην επιφάνεια της γης που να μας ενδιαφέρει.

1.3 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα είναι η ταξινόμηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σύμφωνα με το μήκος κύματος ή τη συχνότητα και συμπεριλαμβάνει τις κοσμικές ακτίνες (ακτίνες γ), το οπτικό φάσμα και τα ραδιοκύματα (Sakamoto et al. 2010).

Ένα τμήμα του φάσματος δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία αφού διέρθει από την ατμόσφαιρα προσπίπτει στην επιφάνεια της γης ανακλάται και

καταγράφεται στον δέκτη. Επιπλέον ένα τμήμα της ακτινοβολίας απορροφάται από την γη και επανεκπέμπεται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (θερμική).

Η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται και αυτή για τον σχηματισμό ειδικών απεικονίσεων, η ερμηνεία των οποίων διαφέρει από τις φωτογραφίες που καταγράφονται στο οπτικό φάσμα (Anderson et al. 2011).

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διακρίνεται σε ζώνες που παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά (Πίνακας 1.3.1). Κάθε φασματική ζώνη (πχ ορατό) περιέχει μία σειρά υποδιαίρεσεων (πχ μπλε, πράσινο, κόκκινο). Οι υποδιαίρεσεις του φάσματος ορίζονται μάλλον αυθαίρετα ενώ στην πραγματικότητα η μετάβαση από ζώνη σε ζώνη είναι βαθμιαία (Lillesand et al. 2008).

Πίνακας 1.3.1 Οι φασματικές ζώνες

Φασματική Ζώνη		Μήκος Κύματος
Ακτίνες Γόμα		< 0.03 nm
Ακτίνες X		0.03 – 300 nm
Υπεριώδης Ακτινοβολία <ul style="list-style-type: none"> • Εξαιρετικά υπεριώδες → 0.01-0.2 μm • Άπω υπεριώδες → 0.20-0.30 μm • Εγγύς υπεριώδες 0.30-0.38 μm 		0.01 – 0.38 μm
Ορατό <ul style="list-style-type: none"> • Μπλε → 0.4- 0.5 μm • Πράσινο → 0.5-0.6 μm • Ερυθρό → 0.6-0.7 μm 		0.38 – 0.72 μm
Εγγύς Υπέρυθρο	Ανακλώμενο υπέρυθρο	0.72 - 1.3 μm
Μέσο Υπέρυθρο		1.3 – 3 μm
Άπω Υπέρυθρο	Θερμικό υπέρυθρο	3 – 15 μm
Μικροκύματα		0.3-30 cm
Ραδιοφωνικά Κύματα		>30 cm

Σαν εικόνα θεωρείται οποιαδήποτε φασματική καταγραφή ανεξάρτητα από το μήκος κύματος ή το καταγραφικό σύστημα που την δημιουργεί ενώ αντίθετα η φωτογραφία καταγράφεται σε μήκη κύματος από 0.3 - 09 m (Kelly et al. 1999). Το ανακλώμενο φάσμα (τα μήκη κύματος του οποίου μπορούν να ανακλαστούν και να διαθλασθούν με φακούς) εκτείνεται από 0.38 - 30 μm και ορίζει το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται στην τηλεπισκόπηση (López et al. 2010). Ακολουθεί η περιγραφή και οι εφαρμογές κάθε ζώνης του φάσματος.:

- **Υπεριώδης Ακτινοβολία.** Εκτείνεται από 0.01 μm έως 0.38 μm. Όμως η ατμόσφαιρα επιτρέπει την διάδοση σε μήκη κύματος από 0.3 μm έως 0.38 μm (φωτογραφική υπεριώδης ζώνης) και αυτή χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ειδικά φιλμ και φίλτρα. Οι περισσότεροι φακοί απορροφούν την υπεριώδη στο μήκος κύματος 0.35 μm. Οι εικόνες σε υπεριώδη καταγραφή έχουν χαμηλή αντίθεση εικόνας και μικρή διαχωριστική ικανότητα λόγω της ισχυρής ατμοσφαιρικής σκέδασης που λαβαίνει χώρα σε αυτά τα μήκη κύματος. Χρησιμοποιείται σπάνια. Μια εφαρμογή του είναι η ανίχνευση πετρελαιοκηλίδων στην θάλασσα,
- **Ορατό φάσμα.** Διαιρείται στα τρία βασικά χρώματα που ονομάζονται πρωτεύοντα αθροιστικά χρώματα επειδή κανένα από αυτά δεν μπορεί να αναπαραχθεί από την σύνθεση άλλων χρωμάτων. Εκτείνονται προσεγγιστικά από 0.4-0.5 μm (μπλε), 0.5-0.6 (πράσινο) και 0.6-0.7 (κόκκινο). Όλα τα υπόλοιπα χρώματα μπορούν να αναπαραχθούν από την σύνθεση των τριών πρωτευόντων χρωμάτων. Το χρώμα ενός αντικειμένου προκύπτει σαν συνάρτηση του μήκος κύματος του φωτός που ανακλά. Άρα η απορρόφηση εξηγεί το χρώμα που παίρνουν τα διάφορα σώματα (McRoberts, 2006). Ένα σώμα εμφανίζεται κόκκινο επειδή απορροφά την μπλε και την πράσινη ακτινοβολία. Ενδιάμεσα χρώματα εμφανίζονται όταν ένα αντικείμενο ανακλά περισσότερα πρωτεύοντα χρώματα και σε διαφορετικό βαθμό. Εάν ένα σώμα ανακλά πράσινο και κόκκινο σε ίσες ποσότητες (αναλογίες) τότε θα εμφανίζεται κίτρινο. Λευκό εμφανίζεται το σώμα που ανακλά πλήρως (100%) και τα τρία πρωτεύοντα χρώματα.
- **Υπέρυθρος Ακτινοβολία.** Το διάστημα (0.7 – 1.3) και (1.3- 3) μm περιλαμβάνει την εγγύς και μέση υπέρυθη ακτινοβολία αντίστοιχα και συμπεριλαμβάνει το φωτογραφικό υπέρυθρο (0.7 - 0.9μm) που χρησιμοποιείται στις υπέρυθρες φωτογραφίες. Η ζώνη αυτή αντιστοιχεί στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο και ανακλάται στην επιφάνεια της γης (**ανακλώμενο υπέρυθρο**). Η ακτινοβολία

στο εγγύς υπέρυθρο συμπεριφέρεται όπως το ορατό φάσμα. Συνεπώς οι εφαρμογές της τηλεπισκόπησης που αναλύουν εικόνες στο εγγύς υπέρυθρο χρησιμοποιούν φίλτρα και φιλμ με χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνης της συμβατικής φωτογραφίας που καταγράφεται στο ορατό (Pleniou et al. 2013). Αντίθετα το διάστημα με μήκος κύματος; (3 – 14 μm) αποτελεί την άπω υπέρυθρη ζώνη, αντιπροσωπεύει το τμήμα της ακτινοβολίας που επανεκπέμπεται από την γη και ουσιαστικά αποτελεί θερμική ενέργεια για αυτό το λόγο ονομάζεται θερμικό υπέρυθρο. Το θερμικό υπέρυθρο απορροφάται από τους φακούς των φωτογραφικών μηχανών και έτσι δεν είναι ανιχνεύσιμο με συμβατικές φωτογραφικές μηχανές. Για την καταγραφή του θερμικού υπέρυθρου χρησιμοποιούνται ειδικά καταγραφικά συστήματα. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι η χαμηλή απορρόφηση από την ομίχλη. Η υπέρυθρη απορροφάται πλήρως από το νερό (μηδενική ανάκλαση) για αυτό τον λόγο η ακτογραμμή απεικονίζεται ευκρινέστερα στο θερμικό υπέρυθρο.

1.4. Χαρακτηριστικά των ψηφιακών εικόνων

Οι ψηφιακές εικόνες (Luo et al., 2010) αποτελούνται από διακριτά στοιχεία (εικονοστοιχεία-ψηφίδες). Σε κάθε εικονοστοιχείο (x,y) καταγράφεται η τιμή της έντασης της ακτινοβολίας $f(x,y)$ σε κάποια δεδομένη περιοχή του φάσματος (κανάλι). Η φωτεινότητα της εικόνας στην θέση (x,y) είναι ανάλογη της τιμής $f(x,y)$.

Άρα η ψηφιακή εικόνα αποτελεί μια διακριτή αναπαράσταση της φυσικής πραγματικότητας σε μορφή πίνακα στον οποίο οι γραμμές και οι στήλες αντιστοιχίζονται στις συντεταγμένες της εικόνας και η ένταση της ακτινοβολίας σε μια απόχρωση του γκρι.

Πίνακας 1.4. 1. Οι εφαρμογές των καναλιών του Θεματικού Χαρτογράφου (*Thematic Mapper*, συντομογραφία *TM*) του δορυφόρου *Landsat* (Irons et al. 2008, Jones et al. 2009, Kirk et al. 2005).

Κανάλι	Εύρος Φασματικού Καναλιού (μήκος κύματος σε μm)	Εφαρμογές
1	0.45-0.52 Μπλε	Σχεδιάστηκε για να διεισδύει στις υδάτινες επιφάνειες. Πολύ χρήσιμο για την χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών, την διάκριση διαφόρων ειδών φυτοκάλυψης, την χαρτογράφηση δασικών περιοχών, τον εντοπισμό ανθρωπογενών κατασκευών.
2	0.52-0.60 Πράσινο	Σχεδιάστηκε για να μετράει το μέγιστο της ανάκλασης της φασματικής καμπύλης της βλάστησης. Πολύ χρήσιμο για διάκριση διαφόρων ειδών βλάστησης, ανθρωπογενών κατασκευών.
3	0.63-0.69 Κόκκινο	Σχεδιάστηκε για να καταγράφει στην περιοχή απορρόφησης της χλωροφύλλης. Χρήσιμο για διάκριση διαφορετικών ειδών φυτών, ανθρωπογενών κατασκευών.
4	0.76-0.90 Εγγύς Υπέρυθρο	Χρήσιμο για τον προσδιορισμό ειδών βλάστησης την περιεχόμενη βιομάζα, την διάκριση υδάτινων επιφανειών, την χαρτογράφηση της περιεχόμενης υγρασίας στο έδαφος.
5	1.55-1.75 Μέσο Υπέρυθρο	Χρήσιμο για προσδιορισμό της υγρασίας των φυτών, της υγρασίας του εδάφους, στην διάκριση νεφών από επιφάνειες με χιόνια.
6	10.4-12.5 Άπω (Θερμικό) Υπέρυθρο	Χρήσιμο για εφαρμογές θερμικής χαρτογράφησης, στην διάκριση διαφορών στην περιεχόμενη υγρασία του εδάφους, στον εντοπισμό ασθενειών της βλάστησης.
7	2.08-2.35 Μέσο Υπέρυθρο	Χρήσιμο για την διάκριση ορυκτών και πετρωμάτων, τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας της βλάστησης.

Τρεις έννοιες είναι απαραίτητες να κατανοηθούν προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα και το περιεχόμενο μιας ψηφιακής εικόνας.

- **Χωρική Διακριτική Ικανότητα** που έχει σχέση με το μέγεθος του εικονοστοιχείου το οποίο προσδιορίζει το ελάχιστο δυνατό μέγεθος αντικειμένου που μπορεί να διακριθεί στην φωτογραφία (Miliareisis 2007). Παραδείγματα δορυφόρων με

διαφορετική χωρική διακριτική ικανότητα στο παγχρωματικό είναι α) Landsat TM με 15 μ , β) SPOT με 2.5 μ , γ) IRS με 6 μ , και ο IKONOS με 1 μ . Η χωρική διακριτική ικανότητα (α) συνδέεται με την κλίμακα αν αντιστοιχηθεί στο χαρτογραφικό σφάλμα (**0.2 mm**). Δηλαδή αν το εικονοστοιχείο μιας εικόνας με διαστάσεις ($\alpha \cdot \alpha \text{ m}^2$) τυπωθεί στα όρια του χαρτογραφικού σφάλματος ($0.2 \cdot 0.2 \text{ mm}^2$) τότε η κλίμακα εκτύπωσης θα είναι **1: $\alpha \cdot 5000$** . Παράδειγμα, αν $\alpha=30 \text{ m} \rightarrow 1:150000$, $\alpha=6 \text{ m} \rightarrow 1:30000$, $\alpha=10 \text{ m} \rightarrow 1:10000$, $\alpha=1 \text{ m} \rightarrow 1:5000$.

- **Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα.** Ρυθμίζει τον αριθμό των διαβαθμίσεων που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας. Παραδείγματα δορυφόρων με διαφορετική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα: είναι α) Landsat TM και SPOT με 256 διαβαθμίσεις, ο IRS με 64 και ο IKONOS με 2048. Δηλαδή κάθε ψηφιακό καταγραφικό σύστημα καταγράφει ένα ελάχιστο (H_{min}) και ένα μέγιστο (H_{max}) ποσό ενέργειας σε ένα φασματικό κανάλι (Miliareisis 2008). Η διαφορά $H_{max}-H_{min}$ τυποποιείται σε ένα ακέραιο αριθμό διαβαθμίσεων από 0 έως μια τιμή B (όπου B η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα). Είναι σαφές ότι για μεγαλύτερη τιμή του B τότε στο ίδιο εύρος διακύμανσης της ενέργειας ($H_{max}-H_{min}$) η καταγραφή-διαφοροποίηση της προσλαμβανόμενης ενέργειας γίνεται με πιο λεπτομερή τρόπο (Brian et al., 2012). Δηλαδή η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα έχει άμεση σχέση με το ελάχιστο ποσοστό ενέργειας που απαιτείται να προσληφθεί στο καταγραφικό σύστημα για να μεταβληθεί η διαβάθμιση του γκρίζου με την οποία θα αναπαρασταθεί στην οθόνη.
- **Φασματική Δειγματοληψία.** Κάθε υλικό παρουσιάζει ξεχωριστή κατανομή ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε σχέση με το μήκος κύματος λ (Chander et al. 2009) (φασματική απόκριση). Στο Σχήμα 1.10 παρατηρείστε τις χαρακτηριστικές καμπύλες φασματικής απόκρισης για το νερό, την βλάστηση και το έδαφος (Gao et al. 2006). Η καμπύλη φασματικής απόκρισης δηλαδή η καταγραφή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ως προς το μήκος κύματος ονομάζεται **φασματική υπογραφή** του αντικειμένου και είναι μοναδική για κάθε υλικό. Η μελέτη της φασματικής υπογραφής ενός αντικειμένου μας επιτρέπει να επιλέξουμε τα τμήματα του φάσματος στα οποία είναι ευκολότερη η διάκριση ενός αντικειμένου

από το περιβάλλον (Hassan et al. 2007). Για παράδειγμα, στο κανάλι 4, η βλάστηση θα φαίνεται φωτεινότερη από το έδαφος ενώ στο κανάλι 7 θα συμβαίνει το αντίθετο. Επιπλέον στο κανάλι 7, η διαφορά στο μέγεθος της απόκρισης της βλάστησης από το έδαφος είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με το κανάλι 4. **Η φασματική δειγματοληψία** ενός καταγραφικού συστήματος αναφέρεται στον τρόπο (σε ποια κανάλια-ζώνες) με τον οποίο καταγράφεται η ανακλώμενη ακτινοβολία-ενέργεια (Huang et al. 2009). Το ποιες περιοχές του φάσματος θα καταγραφούν και το εύρος τους, έχει σχέση με τις εφαρμογές για τις οποίες έχει σχεδιασθεί το συγκεκριμένο καταγραφικό σύστημα (Πίνακας 1.4.1). Όσο πιο πολλές και πιο στενές είναι οι ζώνες, με τόσο πιο μεγάλη ακρίβεια καταγράφεται η καμπύλη φασματικής απόκρισης και τόσο μεγαλύτερη είναι η φασματική διακριτική ικανότητα του συστήματος (Ji, et al. 2011). Σήμερα εικονοληπτικά φασματόμετρα καταγράφουν σχεδόν όλο το εύρος του φάσματος.

1.5 Θεματική διακριτική ικανότητα

Η θεματική διακριτική ικανότητα (ΘεμΔι) αναφέρεται στην δυνατότητα που μας δίνει μια ψηφιακή δορυφορική εικόνα για να διακρίνουμε δύο αντικείμενα (Baumann et al. 2013). Σχετίζεται άμεσα με την φασματική, ραδιομετρική και χωρική διακριτική ικανότητα στην οποία αποτυπώνει το δορυφορικό καταγραφικό σύστημα την εικόνα (Chander et al. 2009).

Πιο συγκεκριμένα σε σχέση με την χωρική διακριτική ικανότητα περιγράφεται από την σχέση:

$$A = 2 * (2 * \alpha^2)^{1/2} \Leftrightarrow A = 2^{3/2} * \alpha \Leftrightarrow A = 2.83 * \alpha$$

όπου **A** η ελάχιστη διάσταση που πρέπει να έχει ένα αντικείμενο προκειμένου να διακριθεί ως προς ένα γειτονικό του σε μία εικόνα και

α η χωρική διακριτική ικανότητα της εικόνας.

Η σχέση αυτή προκύπτει από την απαίτηση να παρεμβάλλεται ένα τουλάχιστον εικονοστοιχείο μεταξύ του αντικειμένου και του περιβάλλοντος. Θεωρώντας την περίπτωση η διάκριση να γίνει κατά μήκος της διαγωνίου του εικονοστοιχείου προκύπτει απόσταση ίση με περίπου δύο φορές το μέγεθος της διαγωνίου.

Δηλαδή η θεματική διακριτική ικανότητα προσδιορίζει ότι αντικείμενα με διαστάσεις μεγαλύτερες τουλάχιστον κατά 2.83 από το μέγεθος του εικονοστοιχείου της εικόνας (Πίνακας 1.5.1) μπορούν να εντοπισθούν σε μία εικόνα.

Πίνακας 1.5.1. Θεματική διακριτική ικανότητα για συγκεκριμένα καταγραφικά συστήματα (Irons et al. 2012, Loveland et al. 2012, Wan, 2008, Powell et al. 2010, Roy et al. 2005)

Καταγραφικό σύστημα	Χωρική διακριτική ικανότητα (m)	Θεματική (m)
AVHRR	1100	3111.3
MODIS (κανάλια 3,4,5,6,7)	500	1414.2
MODIS (κανάλια (8-36))	250	707.1
TM – multispectral	30	84.9
TM – pan	15	42.4
HRV – pan	10	28.3
IRS – pan	6	17
Ikonos-pan	1	2.8

συναθροίζονται φασματικές αποκρίσεις από μικρότερα αντικείμενα (που ανήκουν σε Με βάση τα παραπάνω η θεματική διακριτική ικανότητα ορίστηκε μόνο γεωμετρικά. Η φασματική δειγματοληψία του καταγραφικού δορυφορικού συστήματος έχει άμεση σχέση με την θεματική διακριτική ικανότητα αφού καθορίζει όχι μόνο τα εύρη των καναλιών στα οποία γίνεται η καταγραφή της ενέργειας αλλά και τον τρόπο δειγματοληψίας των φασματικών υπογραφών των θεματικών τάξεων Δηλαδή δύο αντικείμενα που ανήκουν σε δύο διαφορετικές θεματικές τάξεις (άρα έχουν διαφορετική φασματική υπογραφή) μπορεί να μην είναι δυνατόν να διακριθούν στην ψηφιακή εικόνα (να ταυτίζεται η φασματική τους απόκριση για δεδομένη φασματική δειγματοληψία καταγραφικού συστήματος).

Επιπλέον, για δεδομένη φασματική απόκριση, η διάκριση αντικειμένων έχει σχέση με την ραδιομετρική διακριτική ικανότητα του καταγραφικού συστήματος. Είναι σαφές ότι όσο μεγαλύτερη η ραδιομετρική διαχωριστική ικανότητα τόσο μεγαλύτερη είναι η θεματική διακριτική ικανότητα αφού στο ίδιο εύρος διακύμανσης της ενέργειας η καταγραφική-

διαφοροποίηση της προσλαμβανόμενης ενέργειας γίνεται με πιο λεπτομερή τρόπο (Harris 1995).

Ένα άλλο πρόβλημα έχει να κάνει με τα μικτά εικονοστοιχεία (mixed pixels), τα οποία προκύπτουν όταν σε ένα εικονοστοιχείο διαφορετικές θεματικές τάξεις) σε σχέση με τις διαστάσεις του εικονοστοιχείου. Μεθοδολογίες ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων που λαβαίνουν υπόψη μικτά εικονοστοιχεία στα οποία η φασματική απόκριση είναι το προϊόν δύο η περισσότερων θεματικών τάξεων έχουν αναπτυχθεί με βάση της θεωρία της ασαφούς λογικής (Dobrowski et al. 2006). Όμως το θέμα της χωρικής κατανομής του θεματικών τάξεων εντός του εικονοστοιχείου δεν έχει ακόμη επιλυθεί.

Η αξιολόγηση της ΘέμΔΙ δορυφορικών εικόνων είναι πολύ δύσκολο να προσδιορισθεί ποσοτικά για αυτό και ο προσδιορισμός της γίνεται ποιοτικά με φωτοερμηνευτικά κλειδιά.

1.6 Σειρά των δορυφόρων Landsat

Ο πρώτος δορυφόρος της σειράς LANDSAT τέθηκε σε τροχιά το 1972 από το υπουργείο Εσωτερικών των ΗΠΑ και την ΝΑΣΑ με το όνομα ERTS (Earth Resources Technology Satellites) (USGS 2015). Τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί αλλά και αυτά που καταγράφονται σήμερα είναι διαθέσιμα από τον διαδικτυακό τόπο Earth Explorer (2015). Από τότε με διαδοχικές εκτοξεύσεις έχει επιτευχθεί αδιάλειπτη κάλυψη σε γήινη κλίμακα (NASA 2015) από αυτή την σειρά δορυφόρων (Πίνακας 1.6.1). Τα καταγραφικά συστήματα με τα οποία ήσαν εξοπλισμένοι οι δορυφόροι Landsat ήταν α) Multispectral Scanners (MSS) β) Return Beam Vidicon (RBV) scanners, και γ) Thematic Mapper (TM) scanners (Θεματικός Χαρτογράφος) (Compton et al. 2004). Κάθε ένα από τα καταγραφικά όργανα είχε διαφορετική χωρική και φασματική διακριτική ικανότητα (Arvidson et al. 2006). Ο Θεματικός Χαρτογράφος έχει την μεγαλύτερη φασματική (επτά κανάλια) και χωρική διακριτική ικανότητα (30 m εκτός από το κανάλι 6 στο οποίο είναι 120 m) από τα άλλα καταγραφικά συστήματα (RBV, MSS) (Tanase et al. 2008, Thenkabail, et al. 2012).

Σήμερα είναι σε λειτουργία μόνο μία νεώτερη έκδοση του Θεματικού Χαρτογράφου (ETM) στον Landsat-7 (Landsat ETM 2001) στο οποίο έχει προστεθεί και ένα παγχρωματικό κανάλι με μέγεθος εικονοστοιχείου 15 m ενώ έχει βελτιωθεί στο 60 m από τα 120 m η χωρική διακριτική ικανότητα του καναλιού 6 (θερμικό υπέρυθρο) (Darrel et al. 2005, Junchang et al. 2008).

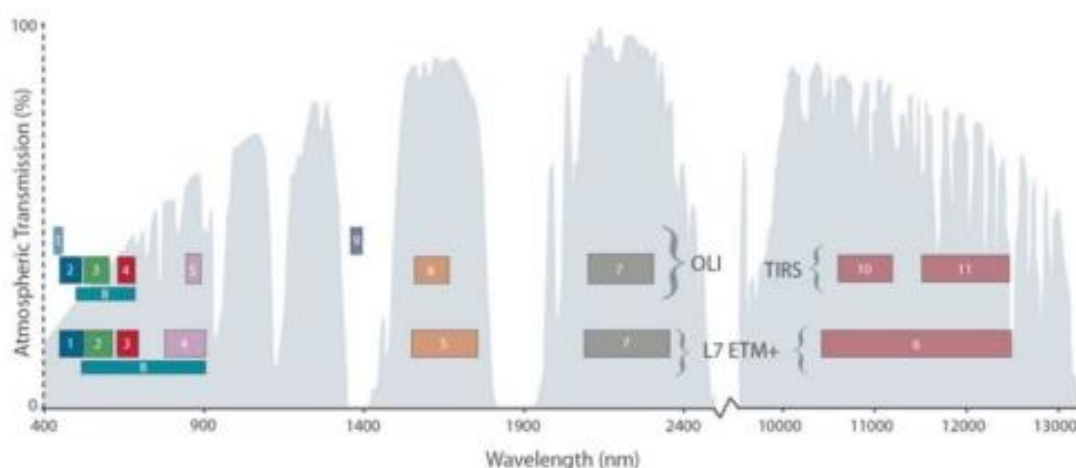
Πίνακας 1.6.1. Η σειρά των δορυφόρων Landsat (Irons et al. 2012, Loveland et al. 2012).

Δορυφόρος	Εκτόξευση	Φασματικά Κανάλια			Κάλυψη (km ²)
		RBV	MSS	TM	
LANDSAT-1	23-07-1972	1,2,3	4,5,6,7	-	185 * 170
LANDSAT-2	22-07-1975	1,2,3	4,5,6,7	-	185 * 170
LANDSAT-3	05-03-1978	A,B,C,D	4,5,6,7,8	-	185 * 170
LANDSAT-4	16-07-1982	-	1,2,3,4	1-7	185 * 170
LANDSAT-5	01-03-1984	-	1,2,3,4	1-7	185 * 170
LANDSAT-6	αποτυχία				
LANDSAT-7	15-04-1999	-	-	1-7+pan	183 * 170

Το πρόγραμμα Landsat παρέχει το μεγαλύτερο αρχείο συνεχών δορυφορικών εικόνων της γης. Από το 1972, οι δορυφόροι του προγράμματος Landsat, έχουν συλλέξει στοιχεία από τις ηπείρους και τις παράκτιες περιοχές, και οι επιστήμονες έχουν την δυνατότητα να μελετήσουν τα δάση, τους υδάτινους πόρους, την χρήση γης, τα οικοσυστήματα, την γεωλογία και πολλά άλλα (Gitelson et al. 2008, Huang et al. 2009). Η μακρά ιστορία των δεδομένων επιτρέπει την αξιολόγηση των δυναμικών αλλαγών που προκαλούνται τόσο από φυσικές διεργασίες όσο και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες (Donald et al. 1997). Το πρόγραμμα Landsat διοικείται από κοινού από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης των ΗΠΑ, και την NASA.

Landsat 8 (OLI) vs. Landsat 7 (ETM+)

Data below courtesy USGS - http://landsat.usgs.gov/L8_band_combos.php



Σχήμα 1.6.1. Σύγκριση φασματικών ζωνών του Landsat 7 (ETM+) και του Landsat 8 (OLI)

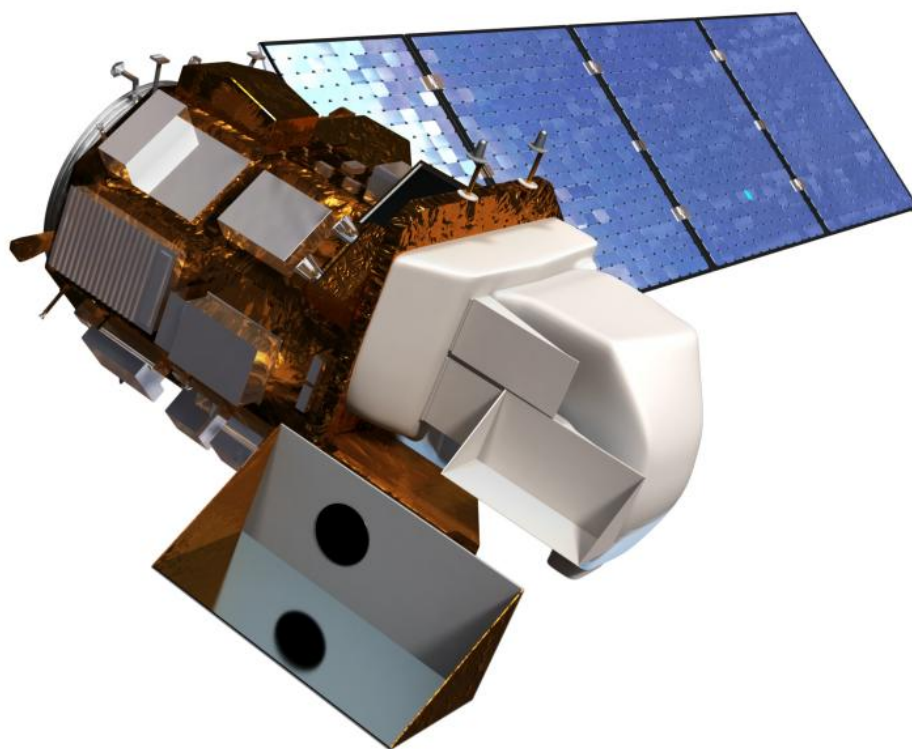
Ο τελευταίος χρονικά δορυφόρος του προγράμματος, ο Landsat 8 (Σχήμα 1.61), τέθηκε σε λειτουργία στις 11 Φεβρουαρίου 2013 (Irons et al. 2012).

Ο Landsat 8 αποτελείται από δύο επιστημονικά όργανα. Το OLI (Operational Land Imager) και το θερμικό υπέρυθρο αισθητήρα. (TIRS, Thermal InfraRed Sensor) (Irons et al. 2012).

Οι δύο αισθητήρες παρέχουν κάλυψη παγκόσμιας ξηράς με χωρική ανάλυση των 30m (στο ορατό, NIR, και SWIR), των 100m (θερμική) και των 15m (παγχρωματική).

Ο φασματικός σαρωτής OLI, περιλαμβάνει δύο νέες φασματικές ζώνες (Loveland et al. 2012). Η πρώτη είναι προσαρμοσμένη ειδικά για ανίχνευση *cirrus* σύννεφα, και η δεύτερη για την παρατήρηση παράκτιων ζωνών.

- Ο αισθητήρας TIRS έχει την δυνατότητα συλλογής στοιχείων σε δύο πιο στενές φασματικές ζώνες στην θερμική περιοχή, που στους προγενέστερους δορυφόρους καλύπτονταν από μία ευρεία φασματική ζώνη. (Landsat 4 -7) (Michael et al., 2011).
- Επιπλέον ο νέος δορυφόρος παρέχει 1000 εικόνες ανά ημέρα (150 περισσότερες από τον προγενέστερο), αυξάνοντας την πιθανότητα αποτύπωσης εικόνας χωρίς νεφοκάλυψη



Σχήμα 1.6.2. Εικόνα Landsat 8 και του σαρωτή OLI (Irons et al. 2012).

1.7. Καταγραφή του προβλήματος

Η σειρά των δορυφόρων Landsat ξεκίνησε την θεματική χαρτογράφηση του πλανήτη το 1972 και συνεχίζει μέχρι σήμερα με μια διαδοχική σειρά πολυφασματικών σαρωτών που παρουσιάζουν όλο και καλύτερα τεχνικά χαρακτηριστικά επιτρέποντας την σύνθεση λεπτομερέστερων διαχρονικά θεματικών χαρτών. Το 2013 τέθηκε σε υπηρεσία ο Landsat 8 (Landsat Data Continuity Mission (LDCM)) εξοπλισμένος με τον φασματικό σαρωτή Operational Land Imager (OLI) που αντικατέστησε τον Landsat 7, και παρουσιάζει μεγαλύτερη φασματική και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα από τον προκάτοχο του (Irons et al. 2012).

Ο δορυφόρος Landsat 8 φέρει δύο όργανα: Το OLI, έναν αισθητήρα περιλαμβάνει τρεις ζώνες: μία ζώνη στο βαθύ μπλε για μελέτες παράκτια / αεροζόλ, μια ζώνη μικρού μήκους κύματος υπέρυθρων για την ανίχνευση νεφών cirrus, και ένα θεματικό πλεγματοειδές επίπεδο πληροφορίας για Quality Assessment. Ο θερμικός υπέρυθρος αισθητήρας TIRS παρέχει δύο θερμικές ζώνες (high and low gain) (Michael et al., 2011).

Και οι δύο αισθητήρες παρέχουν βελτιωμένο σήμα-προς-θόρυβο (SNR). Έχουν απόδοση 4096 σε επίπεδα γκρι σε μια εικόνα, σε σύγκριση με 256 επίπεδα μόνο του γκρι στα προηγούμενα δεδομένα (Loveland et al. 2012). Η βελτιωμένη λήψη σήματος προς θόρυβο μπορεί να επιτρέψει τον καλύτερο χαρακτηρισμό της κάλυψη γης και της κατάστασης της. Τα προϊόντα είναι εικόνες 16-bit (κλίμακα σε 55.000 επίπεδα του γκρι).

1.8 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης

Οι φασματικές ζώνες του αισθητήρα OLI, ενώ παρόμοιες με Landsat 7 του ETM + αισθητήρα, παρέχει βελτίωση από την προηγούμενη Landsat λόγω προσθήκη δύο νέων φασματικών ζωνών: μία στο βαθύ μπλε ορατό (ζώνη 1), που είναι ειδικά σχεδιασμένη για τους υδατικούς πόρους και τη διερεύνηση των παράκτιων ζωνών, καθώς και ένα νέο υπέρυθρο κανάλι (ζώνη 9) για την ανίχνευση των νεφών cirrus που δεν διακρίνονται καθαρά στα κανάλια των προηγούμενων Landsat δημιουργώντας έτσι προβλήματα στην φωτοερμηνεία (Irons et al. 2012). Ένα θεματικό πλεγματοειδές επίπεδο πληροφορίας για την διασφάλιση ποιότητας περιλαμβάνεται επίσης για κάθε προϊόν δεδομένων (Loveland et al. 2012). Αυτό παρέχει πληροφορίες σχετικά με την παρουσία χαρακτηριστικών, όπως τα σύννεφα, το νερό, και το χιόνι. Η ποιότητα των δεδομένων (λόγος σήματος προς θόρυβο) και

ραδιομετρική κβαντισμού (12-bits) του OLI και TIRS είναι υψηλότερο από τα προηγούμενα μέσα Landsat (8-bit για TM και ETM+), παρέχοντας σημαντική βελτίωση στην ικανότητα να ανιχνεύει αλλαγές στην επιφάνεια της γης.

Σημαντική η μεταβολή της θεματικής χαρτογραφικής και διακριτικής ικανότητας του LANDSAT 8-OLI γιατί είναι ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία στην δορυφορική χαρτογράφηση του περιβάλλοντος και της βιοφυσικής υπογραφής του πλανήτη (Thome et al., 2003, Vogelmann et al. 1998). Επιπλέον επειδή ένα προγενέστερο μέλος (Landsat 7) της οικογένειας LANDSAT (Yang et al. 2003) που από το 1972 χαρτογραφούν τον πλανήτη, είναι ακόμη σε λειτουργία, θα πρέπει να καταγραφεί-προσδιοριστεί η επίδραση της εξέλιξης της τεχνολογίας του σαρωτή OLI στα παραγόμενα χαρτογραφικά προϊόντα (αποτέλεσμα) προκειμένου να γίνουν γνωστές οι δυνατότητες και οι περιορισμοί.

1.9 Σκοποί και στόχοι

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση της θεματικής χαρτογραφικής ικανότητας των δύο σαρωτών (ETM+ και OLI) στην ίδια περιοχή. Πιο συγκεκριμένα θα γίνει αξιολόγηση της θεματικής χαρτογραφικής ικανότητας του OLI σε σύγκριση με τον ETM+ στην διάκριση θεματικών τάξεων, χωρικών στοιχείων και ενεργειακών διαβαθμίσεων.

Η θεματική χαρτογράφηση θα πραγματοποιηθεί με την υλοποίηση τεχνικών ψηφιακής ανάλυσης εικόνας και θα εξετασθούν/συγκριθούν οι 2 σαρωτές ως προς την :

A) ικανότητα διάκρισης συγκεκριμένων θεματικών τάξεων (καλύψεων γης)

B) ικανότητα να διακρίνουν χωρικά στοιχεία στα φασματικά κανάλια

Γ) η επίδραση της αυξημένης διακριτικής ικανότητας του OLI στην θεματική χαρτογράφηση ενεργειακών διαβαθμίσεων στην ίδια κάλυψη γης.

Δ) ενώ η διαφορετική φασματική διακριτική ικανότητα μεταξύ των δορυφόρων Landsat 7 και 8, θα μελετηθεί αν επηρεάζει την θεματική διακριτική ικανότητα.

Κεφάλαιο Δεύτερο

2. Βιογραφική ανασκόπηση

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε τις τεχνικές επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων και θα κάνουμε μια ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των δορυφόρων Landsat.

2.1 Τεχνικές επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων

Οι δορυφορικές εικόνες του περιβάλλοντος λαμβάνονται συνήθως από πολύ μεγάλες αποστάσεις από την επιφάνεια της γης. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει μια ιδιαίτερα μεγάλη ατμοσφαιρική διαδρομή που θα πρέπει να διαπεράσει η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια πριν φτάσει στον αισθητήρα. Ανάλογα με τα μήκη κύματος και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (όπως τα αιωρούμενα σωματίδια, την υγρασία και τα ρεύματα αέρα), η επιστρεφόμενη ενέργεια μπορεί να έχει τροποποιηθεί ουσιαστικά (Vintrou et al. 2012). Ακόμα και ο ίδιος ο αισθητήρας μπορεί να τροποποιήσει τον χαρακτήρα των δεδομένων καθώς συνδυάζει πολλά μηχανικά, οπτικά και ηλεκτρικά τμήματα τα οποία με το μέρος τους τροποποιούν ή περιορίζουν την μετρούμενη ενέργεια. Επιπρόσθετα, κατά τη διάρκεια της σάρωσης της εικόνας, ο δορυφόρος ακολουθεί μια τροχιά η οποία μπορεί να παρεκκλίνει ελάχιστα καθώς και η γη κινείται από κάτω. Η γεωμετρία της εικόνας είναι επομένως σε συνεχή διατάραξη. Τέλος, το σήμα θα πρέπει να σταλεί τηλεμετρικά πίσω στη γη, και να ληφθεί και να επεξεργαστεί ώστε να δώσει τα τελικά δεδομένα που λαμβάνουμε. Συνεπώς, μια ποικιλία από συστηματικά και τυχαία σφάλματα μπορούν να μειώσουν την ποιότητα της εικόνας που λαμβάνουμε (Clark et al. 2006). Η διόρθωση εικόνας προσπαθεί να αναιρέσει αυτά τα σφάλματα. Γενικά, η διόρθωση εικόνας μπορεί να διακριθεί σε δύο υποτομείς, την ραδιομετρική διόρθωση και τη γεωμετρική διόρθωση.

2.1.1 Ραδιομετρική Διόρθωση

Η ένταση της ακτινοβολίας που φθάνει σε ένα καταγραφικό σύστημα εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, το ύψος του ηλίου, την θέση του καταγραφικού συστήματος, τα χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας (τοπογραφία), τα χαρακτηριστικά του καταγραφικού συστήματος, κ.α. (Wickham et al. 2010). Από την άλλη πλευρά η περιοχή μελέτης μπορεί να καλύπτεται με περισσότερες από μία δορυφορικές εικόνες που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (αλλάζουν οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, ύψος ηλίου είναι διαφορετικό, κ.α.).

Σε άλλες περιπτώσεις το ζητούμενο είναι ο εντοπισμός αλλαγών από δορυφορικές εικόνες που έχουν καταγραφεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και πιθανώς και από διαφορετικά καταγραφικά συστήματα. Η ραδιομετρική διόρθωση πρέπει να γίνει πριν την εφαρμογή τεχνικών επεξεργασίας εικόνας όπως οι λόγοι φασματικών καναλιών, η ταξινόμηση, κ.α. και κατά περίπτωση πριν την εφαρμογή των γεωμετρικών διορθώσεων (εκτός ίσως μόνο από την τοπογραφική διόρθωση).

Οι ραδιομετρικές διορθώσεις διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (Hansen et al. 2013)

Διορθώσεις που γίνονται για να περιοριστούν στο ελάχιστο δυνατό τα σφάλματα λειτουργίας των αισθητήρων του σαρωτή και να βελτιστοποιηθεί το δυναμικό εύρος λειτουργίας του. Η διόρθωση επηρεάζει την βασική στάθμη και τις ενισχυτικές διατάξεις των αισθητήρων.

- Διορθώσεις που εφαρμόζονται προκειμένου να περιοριστεί η ραδιομετρική επίδραση εξωγενών παραγόντων (επίδραση της γήινης ατμόσφαιρας) στο λαμβανόμενο σήμα, κατά την διαδρομή της ακτινοβολίας μέχρι τον σαρωτή (Σχήμα 1). Για παράδειγμα η επίδραση της διάχυσης της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα έχει ως συνέπεια την αύξηση των τιμών φωτεινότητας των εικονοστοιχείων σε κάθε κανάλι εκτός ίσως των υπέρυθρων καναλιών.
- Διόρθωση για την επίδραση της τοπογραφίας στα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά της εικόνας που απαιτεί την ύπαρξη ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους για την εφαρμογή της.

Μερικές από τις πιο συχνές αλλοιώσεις για τις οποίες υπάρχουν διαδικασίες διόρθωσης (Kotchenova et al. 2006) είναι οι εξής:

Ομοιόμορφα τροποποιημένες τιμές, λόγω της ατμόσφαιρας η οποία συστηματικά διαθλά ζώνες μικρού μήκους κύματος (κυρίως τις μπλε).

- **Εμφάνιση ταινιών**, λόγω αισθητήρων που χάνουν την στάθμισή τους.
- **Τυχαίος θόρυβος**, λόγω απρόβλεπτης και μη συστηματικής απόδοσης του αισθητήρα ή της μετάδοσης δεδομένων.
- **Απώλεια γραμμής σάρωσης**, λόγω απώλειας σήματος από συγκεκριμένους ανιχνευτές.
- Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε και τις διαδικασίες μετατροπής των αρχικών τιμών αντανάκλασης που δεν έχουν μονάδες (γνωστές και ως ψηφιακές τιμές) από τις

αρχικές ζώνες σε πραγματικές μετρήσεις της δύναμης αντανάκλασης.

2.1.2 Γεωμετρική Διόρθωση

Για χαρτογραφικούς λόγους, είναι βασικό όλες οι τηλεπισκοπικές εικόνες να εγγράφονται με ακρίβεια στο προτεινόμενο χαρτογραφικό υπόβαθρο. Στις δορυφορικές εικόνες, το πολύ μεγάλο υψόμετρο της πλατφόρμας ανίχνευσης οδηγεί σε μια ελάχιστη μετατόπιση λόγω του ανάγλυφου (Lillesand et al. 2008). Ως αποτέλεσμα, η εγγραφή μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός συστηματικού μετασχηματισμού τύπου rubber sheet ο οποίος παραμορφώνει ελαφρώς την εικόνα σύμφωνα με γνωστά σημεία και αντίστοιχα σημεία ελέγχου.

Στις αεροφωτογραφίες, όμως, η διαδικασία αυτή είναι πιο πολύπλοκη. Όχι μόνο υπάρχουν συστηματικές αλλοιώσεις ανάλογα με την κλίση της πλατφόρμας και το μεταβαλλόμενο υψόμετρο, αλλά και το μεταβαλλόμενο ανάγλυφο οδηγεί σε πολύ ακανόνιστες αλλοιώσεις που δεν μπορούν να αφαιρεθούν με τη διαδικασία rubber sheet (Klein et al., 1999). Στις περιπτώσεις αυτές, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε φωτογραμμετρική διόρθωση για την αφαίρεση των αλλοιώσεων αυτών και την παροχή ακριβών χαρτογραφικών μετρήσεων.

2.1.3 Βελτίωση Εικόνας

Η βελτίωση εικόνας ασχολείται με την τροποποίηση των εικόνων ώστε να είναι πιο κατάλληλες για την ανθρώπινη όραση. Ανεξάρτητα από το βαθμό της ψηφιακής παρέμβασης, η οπτική ανάλυση παίζει σπουδαίο ρόλο σε όλα τα στάδια της τηλεπισκόπησης (Geerken 2009). Παρόλο που το εύρος των τεχνικών βελτίωση εικόνας είναι μεγάλο, τα παρακάτω θέματα αποτελούν τον κορμό αυτών των τεχνικών (García et al. 2011).

2.1.3.1 Ενίσχυση αντίθεσης φωτεινότητας

Οι ψηφιακοί αισθητήρες έχουν μεγάλο εύρος τιμών εξόδου για να μπορούν να καλύψουν την ιδιαίτερα μεταβαλλόμενη αντανάκλαση που βρίσκουμε στα διάφορα περιβάλλοντα. Όμως, σε οποιοδήποτε μοναδικό περιβάλλον, συχνά εμφανίζεται ένα στενό εύρος τιμών στις περισσότερες περιοχές του. Έτσι, οι κατανομές των επιπέδων του γκρι μπορεί να είναι επιλεκτικά κατανεμημένες (Homer et al. 2007). Οι διαδικασίες διαχείρισης της αντίθεσης είναι επομένως πολύ σημαντικές στις περισσότερες οπτικές αναλύσεις. Η πιο απλή περίπτωση είναι η γραμμική ενίσχυση στο εύρος τιμών φωτεινότητας της εικόνας, που αντιστοιχεί την ελάχιστη τιμή φωτεινότητας στο μαύρο της οθόνης και την μέγιστη τιμή φωτεινότητας στο λευκό της οθόνης (Khattab et al. 2013). Οι ενδιάμεσες τιμές φωτεινότητας προβάλλονται στις αντίστοιχες διαβαθμίσεις του γκρι.

2.1.3.2. Έγχρωμη Σύνθετη Εικόνα

Για οπτική ανάλυση, οι συνθέσεις χρώματος κάνουν πλήρη χρήση των δυνατοτήτων του ανθρώπινου ματιού. Ανάλογα με τις δυνατότητες του συστήματος γραφικών που χρησιμοποιούμε, η παραγωγή σύνθετης εικόνας γίνεται με προβολή 3 καναλιών της δορυφορικής εικόνας στο μπλε, πράσινο και κόκκινο σαρωτή της οθόνης (Bartholome et al. 2005). Μια ψηφιακή έγχρωμη φωτογραφία διαστάσεων 3 αναπαρίσταται από ένα τρισδιάστατο πίνακα. Δηλαδή σε κάθε θέση του πίνακα υπάρχει μια τριάδα αριθμών που κυμαίνονται στο διάστημα 0 έως 255 οι οποίοι αντιπροσωπεύουν την συμμετοχή των τριών βασικών χρωμάτων (κόκκινο=R, πράσινο=G, μπλε=B). Δηλαδή οι ψηφιακές εικόνες απεικονίζονται μέσω προσθετικών εγχρώμων συνθέτων χρησιμοποιώντας τα τρία βασικά χρώματα. Η γραφική απεικόνιση γίνεται με ένα σύστημα τριών ορθογώνιων αξόνων (κόκκινο, πράσινο, μπλε) με εύρος ψηφιακών τιμών ανά άξονα 0 έως 255. Συνεπώς υπάρχουν 256^3 (ή 2^{24}) δυνατοί χρωματικοί συνδυασμοί (Arroyo et al. 2008).

2.1.3.3. Ψηφιακά Φίλτρα

Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες δυνατότητες της ψηφιακής ανάλυσης είναι η εφαρμογή ψηφιακών φίλτρων (Miliareisis et al. 2000). Τα φίλτρα εφαρμόζονται για ποικίλους σκοπούς σε μια εικόνα, όπως η γενίκευση της, η απομάκρυνση του τυχαίου θορύβου, το γέμισμα των κενών μεταξύ των εικονοστοιχείων που προκύπτουν από την μετατροπή διανυσματικών δεδομένων σε δεδομένα που έχουν την δομή εικονοστοιχείων, τον εντοπισμό απότομων αλλαγών της τιμής φωτεινότητας, την ενίσχυση / εντοπισμό της πληροφορίας υψηλών συχνοτήτων, κ.α. (Miliareisis 2001)

Μια εικόνα μπορεί να θεωρηθεί σαν το άθροισμα συνιστωσών υψηλής και χαμηλής συχνότητας η απόσπαση των οποίων μπορεί να γίνει με την εφαρμογή φίλτρων) είτε

- α) απευθείας στα δεδομένα της αρχικής εικόνας στο πεδίο ορισμού της είτε
- β) στο φάσμα συχνοτήτων (προϋποθέτει μετασχηματισμό Fourier της εικόνας).

Περιοχές με υψηλή χωρική συχνότητα έχουν μεγάλη τραχύτητα, δηλαδή οι διαβαθμίσεις του τόνου εναλλάσσονται απότομα (πχ. όρια καλλιεργείων). Περιοχές με χαμηλή χωρική συχνότητα έχουν μικρή τραχύτητα δηλαδή οι διαβαθμίσεις του τόνου σε εναλλάσσονται σταδιακά (πχ λίμνες).

Τα φίλτρα εξομάλυνσης (χαμηλοδιαβατά) αποδυναμώνουν τις υψηλές χωρικές συχνότητες (λεπτομέρειες) ενώ τα φίλτρα διέλευσης υψηλών συχνοτήτων (υψιπερατά) αποδυναμώνουν τις γενικές πληροφορίες που συνδέονται με τις χαμηλές χωρικές συχνότητες (Shaban et al. 2001). Ο τελεστής του φίλτρου συνήθως περιγράφεται με έναν πίνακα συνέλιξης (convolution array).

Τα φίλτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση των ορίων, την αφαίρεση της ασάφειας, και την απομόνωση γραμμικών στοιχείων και τάσεων, καθώς και πολλά άλλα..

2.1.4 Ταξινόμηση Εικόνας

Η ταξινόμηση εικόνας αναφέρεται στην ερμηνεία με χρήση υπολογιστή των τηλεπισκοπικών εικόνων (Riaño et al. 2002). Παρόλο που ορισμένες διαδικασίες έχουν τη δυνατότητα να συμπεριλάβουν πληροφορίες σχετικές με χαρακτηριστικά της εικόνας όπως η υφή και το θέμα, η πλειονότητα των τεχνικών ταξινόμησης εικόνας βασίζονται αποκλειστικά στην ανίχνευση των φασματικών υπογραφών των κατηγοριών κάλυψης εδάφους (Koutsias, et al. 2003). Η επιτυχία της λειτουργίας αυτής βασίζεται σε δύο πράγματα: 1) την παρουσία διακριτών υπογραφών των κατηγοριών κάλυψης εδάφους που ενδιαφέρουν στην ομάδα ζωνών που χρησιμοποιείται, και 2) στην δυνατότητα αξιόπιστου διαχωρισμού των υπογραφών αυτών από άλλα σχήματα φασματικής απόκρισης που μπορεί να είναι παρόντα (Song et al. 2001).

Υπάρχουν δύο γενικές προσεγγίσεις στην ταξινόμηση εικόνας: η επιβλεπόμενη και η μη επιβλεπόμενη (Neville et al. 2000). Διαφέρουν ως προς το πώς γίνεται η ταξινόμηση. Στην περίπτωση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, το λογισμικό διακρίνει συγκεκριμένους τύπους κάλυψης εδάφους σύμφωνα με στατιστικό χαρακτηρισμό των δεδομένων από γνωστά παραδείγματα στην εικόνα (γνωστά και ως σημεία εκπαίδευσης). Στην μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όμως, το λογισμικό χρησιμοποιείται για να αποκαλύψει τους πιο συχνά παρατηρούμενους τύπους κάλυψης, ενώ ο αναλυτής τους ερμηνεύει σε μετέπειτα στάδιο (Jobin et al. 2008).

2.1.4.1 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Το πρώτο βήμα στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι η αναγνώριση παραδειγμάτων των κατηγοριών (δηλαδή των τύπων κάλυψης εδάφους) που μας ενδιαφέρουν στην εικόνα. Αυτά αποκαλούνται σημεία εκπαίδευσης (Maxwell et al. 2010). Το λογισμικό στη συνέχεια αναπτύσσει έναν στατιστικό χαρακτηρισμό των αντανakλάσεων για κάθε κατηγορία. Το

στάδιο αυτό αποκαλείται ανάλυση υπογραφών και μπορεί να περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός χαρακτηρισμού τόσο απλού όσο ο μέσος όρος ή το εύρος των αντανakλάσεων σε κάθε ζώνη, ή τόσο πολύπλοκου όσο οι λεπτομερείς αναλύσεις του μέσου όρου, των διακυμάνσεων και των συνδιακυμάνσεων σε όλες τις ζώνες.

Μετά την ολοκλήρωση του στατιστικού χαρακτηρισμού της κάθε κατηγορίας, η εικόνα ταξινομείται εξετάζοντας τις αντανakλάσεις σε κάθε ψηφίδα και λαμβάνοντας την απόφαση για το ποια υπογραφή ταιριάζει περισσότερο (Selkowitz 2010). Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για τη λήψη αυτών των αποφάσεων, οι οποίες ονομάζονται ταξινομητές. Τα περισσότερα λογισμικά επεξεργασίας εικόνας παρέχουν πολλούς ταξινομητές βασισμένους σε διάφορους κανόνες.

2.1.4.2 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Σε αντίθεση με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όπου εμείς λέμε στο σύστημα τον χαρακτήρα (δηλαδή την υπογραφή) των κατηγοριών που ψάχνουμε, η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεν απαιτεί προηγούμενες πληροφορίες για τις κατηγορίες ενδιαφέροντος. Αντίθετα, εξετάζει τα δεδομένα και τα διαιρεί στις πιο κυρίαρχες φυσικές φασματικές ομαδοποιήσεις που υπάρχουν στα δεδομένα (Miliareisis et al. 2009). Ο αναλυτής στη συνέχεια αναγνωρίζει αυτές τις ομαδοποιήσεις ως κατηγορίες κάλυψης εδάφους συνδυάζοντας την εξοικείωση με την περιοχή και επισκέψεις στο χώρο του εδάφους που εξετάζεται (Selkowitz et al. 2011). Για παράδειγμα, το σύστημα μπορεί να αναγνωρίσει κατηγορίες για άσφαλτο και τσιμέντο τις οποίες ο αναλυτής να ομαδοποιήσει στη συνέχεια σε μια κατηγορία που να αποκαλείται οδόστρωμα.

2.2 Ιστορική εξέλιξη των δορυφόρων LANDSAT

Το πρόγραμμα Landsat είναι η μεγαλύτερη επιχείρηση που λειτουργεί για απόκτηση δορυφορικών εικόνων της Γης. Στις 23 Ιουλίου 1972, το Earth Resources Technology Satellite ξεκίνησε (NASA 2015). Αυτό αρχικά γιατί τελικά μετονομάστηκε σε Landsat. Το πιο πρόσφατο, Landsat 8, ξεκίνησε στις 11 Φεβρουαρίου 2013 (USGS 2015). Με τους δορυφόρους Landsat έχουμε αποκτήσει εκατομμύρια εικόνες. Οι εικόνες, αρχειοθετούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε σταθμούς που λαμβάνουν Landsat δεδομένα σε όλο τον κόσμο. Είναι μοναδική πηγή πληροφοριών για την έρευνα των αλλαγών στη γη, με εφαρμογές στην γεωργία, την χαρτογραφία, την γεωλογία, την δασοκομία, την χωροταξία, στην επιτήρηση και την εκπαίδευση.

Το μακροχρόνιο πρόγραμμα Landsat στόχο του έχει να αποκτηθούν, αρχειοθετηθούν και να διανεμηθούν επαναλαμβανόμενες παγκόσμιες πολυφασματικές εικόνες της επιφάνειας της γης κατά μία κλίμακα όπου μπορεί να ανιχνευθούν φυσικές και ανθρωπογενείς μεταβολές σε βάθος χρόνου (Loveland et al. 2012). Αποστολή είναι να συμβάλει στην κατανόηση της έκτασης και των συνεπειών μιας μεταβαλλόμενης Γης, καθώς και να συμβάλει στην διαχείριση και τον έλεγχο των πόρων για την διασφάλιση της οικονομικής και περιβαλλοντικής ποιότητας, την δημόσια υγεία και την ευημερία των ανθρώπων (Irons et al. 2012).

Ενώ οι μετεωρολογικοί δορυφόροι είχαν την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας της Γης από το 1960 και σε μεγάλο βαθμό θεωρείται χρήσιμο, δεν υπήρχε εκτίμηση των στοιχείων εδάφους από το διάστημα μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1960 (Masek et al. 2008).

Ο Landsat 1 ξεκίνησε στις 23 Ιούλη 1972 και λειτούργησε μέχρι στις 6 Ιανουαρίου 1978. Ο δορυφόρος ήταν γνωστός ως Earth Resources Technology Satellite (ERTS). Ήταν η πρώτη λήψη επίγειων δορυφορικών εικόνων, και ξεκίνησε με σκοπό να μελετήσει και να παρακολουθήσει την ξηράς του πλανήτη μας. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι (NASA 2015, USGS 2015):

- 1) ολοκλήρωση κύκλου γης σε 103 λεπτά
- 2) πραγματοποιεί 14 τροχιές την ημέρα
- 3) επανάληψη του κύκλου σε 18 ημέρες
- 4) Πλάτος σάρωσης 185 χιλιόμετρα

5) Ηλιοσύγχρονος με σχεδόν πολική τροχιά στα 917 χλμ.

Οι αισθητήρες που έφερε

A) Return Beam Vidicon (RBV) Λειτουργεί από τις 23 Ιουλίου 1972, μέχρι τις 5 Αυγούστου 1972, σημειώνοντας μόνο 1692 εικόνες. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται μόνο στο φως της ημέρας. Ο αισθητήρας RBV απεικόνιζε μια ολόκληρη σκηνή εδάφους ακαριαία, παρέχοντας μεγαλύτερη χαρτογραφική πιστότητα συγκριτικά MSS. Φέρει τρεις κάμερες που λειτουργούν στις παρακάτω φασματικές ζώνες:

- Band 1 Ορατή μπλε-πράσινο (475-575 nm)
- Band 2 Ορατό πορτοκαλί-κόκκινο (580-680 nm)
- Band 3 Ορατό το κόκκινο στο Near-Infrared (690-830 nm)

B) Multispectral Scanner (MSS)

- Band 4 Ορατό πράσινο (0,5 - 0,6 μm)
- Band 5 Ορατό το κόκκινο (0.6 έως 0.7 μm)
- Ζώνη 6 Near-Infrared (0,7 έως 0,8 μm)
- Band 7 Near-Infrared (0,8 - 1,1 μm)

Διαθέτει έξι ανιχνευτές για κάθε φασματική ζώνη παρείχε έξι γραμμές σάρωσης σε κάθε ενεργή σάρωση (USGS, a)

Ο Landsat 2 ξεκίνησε στις 22 Ιανουαρίου 1975 με χαρακτηριστικά ίδια με τον Landsat 1 (NASA 2015, USGS 2015):

- 1) Κύκλο από τη Γη κάθε 103 λεπτά
- 2) Ολοκληρώνει 14 τροχιές την ημέρα
- 3) Επανάληψη του κύκλου: 18 ημέρες
- 4) Πλάτος σάρωσης: 185 χιλιόμετρα
- 5) Ηλιοσύγχρονος με σχεδόν πολική τροχιά στα 917 χλμ

Ο Landsat 2 διαθέτει του ίδιους αισθητήρες όπως και ο προκάτοχός του: RBV και MSS . Στις 25 Φεβρουαρίου του 1982 μετά από επτά χρόνια υπηρεσίας, σταμάτησε να λειτουργεί. Λειτουργήσε με τις ίδιες φασματικές ζώνες όπως και ο Landsat 1.

Ο Landsat 3 τέθηκε σε λειτουργία στις 5 Μαρτίου 1978 μέχρι 7 Σεπτεμβρίου 1983. Διαθέτει τα ίδια χαρακτηριστικά με τους προγενέστερους του ως προς την περιστροφή του γύρω από την γη (NASA 2015, USGS 2015).

- 1) Κύκλο γύρω από τη Γη κάθε 103 λεπτά
- 2) Ολοκληρώνει 14 τροχιές την ημέρα
- 3) Επανάληψη του κύκλου: 18 ημέρες
- 4) Πλάτος σάρωσης: 185 χιλιόμετρα
- 5) Ηλιοσύγχρονος με σχεδόν πολική τροχιά στα 917 χλμ

Φέρει και αυτός αισθητήρες RBV και MSS. Διαφέρει από τους προηγούμενους ως προς τις φασματικές ζώνες. Το σύστημα RBV για το Landsat 3 χρησιμοποιεί δύο κάμερες, με παγχρωματική φασματική απόκριση και υψηλότερη χωρική ανάλυση για τη συμπλήρωση της πολυφασματικής κάλυψη που παρέχεται από το MSS. Το RBV είχε βελτιωμένη ανάλυση εδάφους 38 m. Και οι δύο κάμερες απεικονίζονται σε μια ευρεία φασματική ζώνη (πράσινο και εγγύς υπέρυθρο, 0,505 - 0,750 μm) αντί για τρεις ξεχωριστές ζώνες (πράσινο, κόκκινο, υπέρυθρο) όπως και οι προκάτοχοί του.

Ο MSS φέρει πέντε φασματικές ζώνες, συμπεριλαμβανομένης και μίας θερμικής.

- 1) Ζώνη 4 Ορατό (0,5 έως 0,6 μικρών)
- 2) Ζώνη 5 Visible (0.6 έως 0.7 μm)
- 3) Ζώνη 6 Near-Infrared (0,7 έως 0,8 μm)
- 4) Ζώνη 7 Near-Infrared (0,8 - 1,1 μm)
- 5) Ζώνη 8 Θερμική (10.04 - 12.06 μm)

Η πέμπτη ζώνη η θερμική λίγο μετά την εκτόξευση απέτυχε. (USGS b ,2013)

Landsat 4 ξεκίνησε στις 16 Ιουλίου, 1982 και χρησιμοποιήθηκε μέχρι στις 14 Δεκεμβρίου 1993 (NASA 2015, USGS 2015). Ο Landsat 4 ήταν σημαντικά διαφορετικός από τους προηγούμενους Landsats, αφού δεν φέρει αισθητήρα RBV.

Εκτός από το σύστημα MSS , διαθέτει έναν νέο αισθητήρα με βελτιωμένη φασματική και χωρική ανάλυση. Αυτό σημαίνει ότι ο νέος δορυφόρος θα μπορεί *δει* ένα ευρύτερο (και πιο επιστημονικά προσαρμοσμένο) τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και θα μπορούσε

να δει το έδαφος με μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Αυτός ο νέος αισθητήρας είναι ο Thematic Mapper (TM).

Ο δορυφόρος πραγματοποιούσε κύκλο γύρω από την γη σε 99 λεπτά, και είχε επανάληψη κύκλου κάθε 16 ημέρες. Πλάτος σάρωσης 185 χλμ., με ηλιοσύγχρονη σχεδόν πολική τροχιά στα 705 χλμ. Ως προς τις φασματικές ζώνες που διέθετε, ο αισθητήρας MMS φέρει τέσσερις φασματικές ζώνες:

- 1) Ζώνη 4 Ορατό (0,5 έως 0,6 μικρών)
- 2) Ζώνη 5 Visible (0.6 έως 0.7 μm)
- 3) Ζώνη 6 Near-Infrared (0,7 έως 0,8 μm)
- 4) Ζώνη 7 Near-Infrared (0,8 - 1,1 μm)

Ο αισθητήρας TM φέρει 7 φασματικές ζώνες, συμπεριλαμβανομένου ενός θερμικού συγκροτήματος (NASA 2015, USGS 2015):

- 1) Band 1 Visible (0,45 - 0,52 μm) 30 m
- 2) Band 2 Visible (0,52 - 0,60 μm) 30 m
- 3) Band 3 Visible (0,63 - 0,69 μm) 30 m
- 4) Band 4 Near-Infrared (0,76 - 0,90 μm) 30 m
- 5) Band 5 Near-Infrared (1,55 - 1,75 μm) 30 m
- 6) Band 6 Θερμική (10,40 έως 12,50 μm) 120 m
- 7) Band 7 Mid-Infrared (IR) (2,08 - 2,35 μm) 30 m (USGS,c ,2013)

Ακολούθησε ο Landsat 5 με χρήση από τις 1 Μαρτίου 1984 μέχρι τον Ιανουάριο 2013 (NASA 2015, USGS 2015). Διαθέτει τα ίδια χαρακτηριστικά με τον Landsat 4 (δύο αισθητήρες MMS και TM).

Ο Landsat 6 εκτοξεύθηκε στις 5 Οκτωβρίου 1993 αλλά απέτυχε να μπει σε τροχιά (NASA 2015, USGS 2015). Έφερε αισθητήρα Enhanced Thematic Mapper (ETM).με οκτώ φασματικές ζώνες.

- 1) Band 1 Visible (0,45 - 0,52 μm) 30 m
- 2) Band 2 Visible (0,52 - 0,60 μm) 30 m
- 3) Band 3 Visible (0,63 - 0,69 μm) 30 m

- 4) Band 4 Near-Infrared (0,76 - 0,90 μm) 30 m
- 5) Band 5 Near-Infrared (1,55 - 1,75 μm) 30 m
- 6) Band 6 Θερμική (10,40 έως 12,50 μm) 120 m
- 7) Band 7 Mid-Infrared (2,08 - 2,35 μm) 30 m
- 8) Band 8 παγχρωματική δορυφορική (PAN) (0,52 - 0,90 μm) 15 m

Ο Landsat 7 εκτοξεύθηκε στις 15 Απρίλη 1999 (NASA 2015, USGS 2015) και λειτουργεί μέχρι και σήμερα (τέλος κύκλου ζωής βάση καυσίμων 2017).

- 1) Κύκλο γύρω από τη Γη κάθε 99 λεπτά
- 2) Ολοκληρώνει 14,5 τροχιές την ημέρα
- 3) Επανάληψη του κύκλου: 16 ημέρες
- 4) Πλάτος σάρωσης: 185 χιλιόμετρα
- 5) Ηλιοσύγχρονος με σχεδόν πολική τροχιά στα 705 χλμ.

Φέρει αισθητήρα ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), με 8 φασματικές ζώνες.

- 1) Band 1 Visible (0,45 - 0,52 μm) 30 m
- 2) Band 2 Visible (0,52 - 0,60 μm) 30 m
- 3) Band 3 Visible (0,63 - 0,69 μm) 30 m
- 4) Band 4 Near-Infrared (0,77 - 0,90 μm) 30 m
- 5) Band 5 Near-Infrared (1,55 - 1,75 μm) 30 m
- 6) Band 6 Θερμική (10,40 έως 12,50 μm) 60 m Low Gain / High Gain
- 7) Band 7 Mid-Infrared (2,08 - 2,35 μm) 30 m
- 8) Band 8 παγχρωματική δορυφορική (PAN) (0,52 - 0,90 μm) 15 m

Ο ETM+ αισθητήρας φέρει επιπρόσθετα χαρακτηριστικά με σκοπό να καταστεί ένα αποτελεσματικό μέσο για την παρακολούθηση των αλλαγών στη γη, και για την χαρτογράφηση περιοχών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της παγχρωματικής ζώνης με χωρική ανάλυση 15 μέτρων, με ένα θερμικό κανάλι IR χωρικής ανάλυσης στα 60 μέτρα και με τον καταγραφέα δεδομένων πάνω στο σκάφος.

2.3 Εφαρμογές των LANDSAT στην χαρτογράφηση-προστασία του περιβάλλοντος

Σήμερα, η χρήση των δεδομένων Landsat έχει εξελιχθεί, είναι όχι μόνο μια βασική πηγή δεδομένων για την αντιμετώπιση βασικών ζητημάτων της επιστήμης, αλλά λειτουργεί και ως πολύτιμος πόρος για τους ιθύνοντες σε διαφορετικούς τομείς αποφάσεων (Frazier et al. 2000). Τα δεδομένα από τις παρατηρήσεις των δορυφόρων έχουν μεγάλη αποδοχή εντός της επιστημονικής κοινότητας σε όλη την διάρκεια του προγράμματος.

Το Science Citation Index καταγράφει πάνω από 3.200 άρθρα που κάνουν χρήση των δεδομένων Landsat από το 1972, με σημαντική τάση αύξησης σε αυτές τις αναφορές με την πάροδο του χρόνου. Σήμερα, η χρήση των δεδομένων Landsat έχει εξελιχθεί, έχει γίνει όχι μόνο μια βασική πηγή δεδομένων για την αντιμετώπιση βασικών ζητημάτων της επιστήμης (Lier et al. 2011), αλλά έχουν καταστεί πολύτιμος πόρος για τους υπεύθυνους για την λήψη αποφάσεων σε διαφορετικούς τομείς όπως η γεωργία, η δασοκομία, η χρήση της γης, των υδάτινων πόρων και στην εξερεύνηση φυσικών πόρων (Hu et al 2008, Durand 2008).

Η χρησιμότητα των δεδομένων του προγράμματος Landsat έγκειται στην μοναδικότητα της πλήρους παγκόσμιας κάλυψης, με συνεχή παρακολούθηση 40 χρόνων και στην δωρεάν διάθεση (Earth Explorer 2015).

Ενδεικτικά (Πίνακας 2.3.1) από την NASA αναφέρονται οι παρακάτω τομείς εφαρμογών των εικόνων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3.1 Ενδεικτικές εφαρμογές (NASA 2015, Loveland et al. 2012)

ΓΕΩΡΓΙΑ ΔΑΣΟΚΟΜΙΑ	/	ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣ Η	ΓΕΩΛΟΓΙ Α	ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΟΙ ΠΟΡΟΙ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟ Ν
Διάκριση καλλιέργειας και τύπου ξυλείας		Είδη χρήσης γεωργικής γης	Χαρτογράφηση γεωλογικών χαρακτηριστικών	Επιφανειακά ύδατα, οριοθέτηση	Χαρακτηριστικά	Παρακολούθηση δασών
Μέτρηση καλλιεργιών		Ενημέρωση χαρτών	Αναθεώρηση γεωλογικών χαρτών	Πλημμύρες χαρτογράφηση	Αλλαγή ακτογραμμής	Ηφαιστειακή δραστηριότητα
Διαχείριση γεωργίας		Κατηγοριοποίηση γης	Ταξινόμηση ειδών βράχων	Έκταση χιονιού και πάγου	Χαρτογράφηση υφάλων	Ρύπανση υδάτων
Συγκομιδή καλλιεργειών και δασών		Αστική ανάπτυξη		Μεταβολές έκτασης παγετώνων	Θαλάσσιος πάγος	Συνέπειες φυσικών καταστροφών
Βιομάζα		Βοήθεια στην χωροταξία	Ηφαιστειακές εναποθέσεις	Μέτρηση θολερότητας και ιζημάτων	Διάβρωση παραλιών	Επιπτώσεις ξηρασίας
		Οδικά δίκτυα		Αρδευόμενες περιοχές	Κοραλλιογενής ύφαλοι	Πετρελαιοκηλίδες
		Όρια γης και νερού	Δείκτες ορυκτών και πετρελαίου	Αποθέματα σε λίμνες	Διάβρωση ακτών	Δασικές πυρκαγιές
Αξιολόγηση ενδιαιτημάτων άγριας ζωής		Σχεδιασμός χώρων στερεών αποβλήτων, σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βιομηχανικές δραστηριότητες κ.α.	Χαρτογράφηση κρατήρων	Υπολογισμός απορροής λιωμένου χιονιού	Χαρτογράφηση λιμνών και κλειστών λεκανών	Εκτίμηση αποθεμάτων άνθρακα
Παρακολούθηση και χαρτογράφησης εντόμων		Χαρτογραφικές ανακαλύψεις		Παρακολούθηση υγροβιότοπων		
				Διαχείριση υδάτων		

Η μεγάλη γκάμα εφαρμογών καθιστά τα δεδομένα των landsat σημαντικά για διάφορους τομείς ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

Landsat και γεωργία (Johnsan et al. 2010)

Η αντικειμενική, έγκυρη και έγκαιρη ενημέρωση από τους δορυφόρους, δίνει την δυνατότητα παράγοντες όπως η υγεία των φυτών, η υγρασία του εδάφους, η φυτική κάλυψη να παρακολουθείται από το διάστημα. Παρέχεται έτσι εικόνα μίας πολύ μεγάλης έκτασης που σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση της παραγωγής. Δίνεται η δυνατότητα ανάλυσης του είδους και της υγείας των καλλιεργειών σε όλη την καλλιεργητική περίοδο, ο υπολογισμός ανάγκης σε λιπάσματα, ανάγκες άρδευσης, καθώς και επιπτώσεις από ξηρασία. Η διάκριση των καλλιεργειών οφείλεται ότι κάθε καλλιέργεια αντανακλά το φως με μοναδικό τρόπο, και δίνεται η δυνατότητα στους αναλυτές να διαφοροποιούν τις καλλιέργειες. Από τα δεδομένα του είδους και της έκτασης που παίρνουμε από τις εικόνες μπορεί να εξαχθεί και η απόδοση της καλλιέργειας. Παράλληλα παρακολουθούνται και γίνονται καλύτερα κατανοητά μέσω των παρατηρήσεων Landsat η έλλειψη νερού, λόγω ότι η υγιή βλάστηση αντανακλά περισσότερο στα υπέρυθρα μήκη κύματος από ότι η βλάστηση σε ξηρασία. Μπορεί να γίνει και ανίχνευση βλάστησης που έχει ισοπεδωθεί από πλημμύρες ή χαλάζι.

Δημιουργία ψευδών έγχρωμων εικόνων 432, μπορούν να ερμηνεύσουν καλλιέργειες που έχουν προσβληθεί από παράσιτα ή κάποια νόσο (στο κίτρινο), υγιείς καλλιέργειες (στο κόκκινο), καλλιέργειες με πλημμύρα (στο μαύρο), με παρουσία ανεπιθύμητων φυτοφαρμάκων (στο καφέ).

Παράλληλα με τα δεδομένα της θερμικής ζώνης μπορεί να προσδιοριστεί η υγεία των καλλιεργειών. Λόγω της εξατμισοδιαπνοής έχουμε απορρόφηση ενέργειας στα χωράφια που καταναλώνουν περισσότερο νερό, και οι περιοχές εμφανίζονται πιο ψυχρές στην θερμική ζώνη. Η διαπνοή των φυτών έχει άμεση σχέση με την υγεία τους. Όταν παρατηρείται μείωση ποσοστού εξατμισοδιαπνοής, ο ρυθμός ανάπτυξης μειώνεται δεν είναι υγιή. Το τμήμα υδάτινων πόρων στο Idaho χρησιμοποιεί τα θερμικά δεδομένα και πραγματοποιεί ποσοτικοποίηση της κατανάλωσης νερού σε αρδευόμενες εκτάσεις.

Landsat και διαχείριση υδάτινων πόρων (Powell et al. 2008)

Το νερό είναι απαραίτητο για την διατήρηση της ζωής. Με την αύξηση του πληθυσμού και τις περιβαλλοντικές πιέσεις ο ΟΗΕ εκτιμά ότι θα αντιμετωπίσουν πρόβλημα λειψυδρίας έως το 2025 περίπου 1,8 δισεκατομμύρια άνθρωποι. Η άρδευση αντιπροσωπεύει το 70% της

χρήσης του γλυκού νερού. Η σωστή διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι επιτακτική ανάγκη, και απαιτεί καλής ποιότητας δεδομένα.

Η αύξηση της ζήτησης με την παράλληλη μείωση των αποθεμάτων του νερού απαιτεί κατανόηση των προτύπων κατανάλωσης αυτού σε μεγάλη γεωγραφική περιοχή.

Λεπτομερής χάρτες κατανάλωσης νερού δημιουργούνται γρήγορα και εύκολα με δεδομένα landsat λόγω των 30 μέτρων χωρικής διακριτικής ικανότητας και παράλληλη θερμοικής απεικόνισης. Τα δεδομένα από το ορατό, στο υπέρυθρο, μέσο υπέρυθρο και θερμικό για μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, τροφοδοτούν ένα πολύπλοκο μοντέλο ενεργειακού ισοζυγίου που εξάγει χάρτες εξατμισοδιαπνοής.

Η εξατμισοδιαπνοή (ET) αναφέρεται στην μετατροπή του νερού σε ατμό μέσω διπλής διαδικασίας. Την εξάτμιση του νερού από το έδαφος και από την διαπνοή των φυτών (διαφυγή νερού από τα στομάτια του φυτού). Η βλάστηση είναι συνδεδεμένη με την κατανάλωση του νερού. Τα χαρακτηριστικά των εικόνων landsat τα καθιστούν κατάλληλα για την χαρτογράφηση χρήσης νερού.

- 1)η χωρική ανάλυση επιτρέπει την χαρτογράφηση χρήσης νερού για μεμονωμένες γεωργικές εκτάσεις
- 2) οι πληροφορίες από την θερμική ζώνη χαρτογραφούν την ET
- 3)το αρχείο περιέχει δεδομένα από ένα τέταρτο του αιώνα, με δεδομένα χωρικής ανάλυσης, φασματικής κάλυψης, και θερμοικές εικόνες που απαιτούνται για την χαρτογράφηση του νερού με την πάροδο του χρόνου.

Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν την παρακολούθηση της ξηρασίας, της επισιτικής ανασφάλειας καθώς και την αξιολόγηση της επιφάνειας του εδάφους μεγάλης κλίμακας (Meddens et al. 2013).

Εκτός από τον ποσοτικό υπολογισμό χρήσης νερού, πληροφορίες συλλέγονται και για την ποιοτική κατάσταση του νερού. Χρησιμοποιώντας πληροφορίες από την μπλε και την κόκκινη ζώνη του Landsat παρέχονται πληροφορίες για την ποιότητα των υδάτων και για τα ιζήματα.

Οι συμβατικές τεχνικές για την παρακολούθηση του ύδατος είναι κοστολογικά ακριβές, χρονοβόρες και ανίκανες να παρέχουν χωρική και χρονική προοπτική για τα υδάτινα συστήματα. Δορυφορικές εικόνες έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την παρακολούθηση πολλών ουσιών στα υδάτινα σώματα. Η σειρά των δορυφόρων Landsat παρέχει καλά

βαθμολογημένο συνεχές σύνολο μέτριας χωρικής ανάλυσης πολυφασματικές εικόνες από το 1984.

Landsat και διαχείριση δασών (Mathys et al. 2009, Samuel 2006)

Τα δάση εκτελούν πολυπρόσωπο ρόλο. Οικονομίες σε όλο τον κόσμο βασίζονται σε δάση για την ξυλεία, αποτελούν την αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα, βοηθούν στον έλεγχο των πλημμύρων, προάγουν την βιολογική ποικιλομορφία.

Κατά τα τελευταία χρόνια οι δασικές πυρκαγιές έχουν γίνει πιο συχνές, δάση βιώνουν εκτεταμένες προσβολές από παράσιτα, αποψιλώσεις δασών με έντονο ρυθμό συνεχίζονται.

Οι δορυφόροι Landsat δίνουν βασικά στοιχεία για την παρακολούθηση και την διαχείριση των δασών σε όλη την γη. Παρέχουν δεδομένα σχετικά με την υγεία, την σύνθεση και την έκταση των δασικών οικοσυστημάτων που αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου.

Η τηλεπισκόπηση μπορεί να παρέχει ακριβείς πληροφορίες σχετικά με δασικές διαταραχές σε πολλές οικολογικές περιοχές από τοπικό μέχρι παγκόσμιο επίπεδο. Τα στοιχεία από Landsat TM , και ETM+ έχουν χρησιμοποιηθεί για πολλές μελέτες λόγω ευνοϊκού συνδυασμού της χωρικής, φασματικής και χρονικής ανάλυσης.

Οι πληροφορίες που συλλέγονται από σημαντικό αριθμό μήκους κύματος (ορατό, εγγύς υπέρυθρο κτλ)είναι ικανές να προσδιορίσουν τις περισσότερες διαταραχές που συμβαίνουν στο δασικό σύστημα. Στην πραγματικότητα η χρήση των δεδομένων Landsat έχουν γίνει κοινή πρακτική στην τηλεπισκόπηση από τοπικό σε διεθνή κλίμακα.

Εκτός από ποσοτικές εκτιμήσεις δασικών εκτάσεων, με τα δεδομένα Landsat μπορεί να επιτευχθεί και χαρτογράφηση της υγείας του δάσους. Η χρησιμότητα της τηλεπισκόπησης στην μελέτη της προσβολής από έντομα στα δάση αναγνωρίζεται ευρέως. Περίπτωση είναι η μελέτη της προσβολής κωνοφόρων από το σκαθάρι του φλοιού. Μετά την προσβολή από τα σκαθάρια, τα δέντρα διέρχονται από μία σειρά σταδίων που επηρεάζουν την φασματική ανακλαστικότητα τους, και ως εκ τούτου την ανιχνευσιμότητα τους. Σκαθάρια επιτίθενται στα δέντρα στα τέλη του καλοκαιριού, και τους επόμενους μήνες το φύλλωμα των δέντρων που προσβλήθηκαν παραμένει οπτικά αμετάβλητο παρά τη μείωση της υγρασίας του φυλλώματος ("στάδιο πράσινο"). Τα δέντρα το επόμενο έτος της προσβολής γίνονται κόκκινα ("κόκκινο στάδιο»). Τρία έως πέντε χρόνια μετά την επίθεση, στα δέντρα επέρχεται πτώση στις βελόνες τους «γκρίζο στάδιο". Στα δέντρα με την πάροδο του χρόνου η αλλαγή

χρώματος που παρατηρείται συνοδεύεται και με αλλαγή της χλωροφύλλης, και κατά συνέπεια της ανακλαστικότητα. Το φασματικό χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της πορείας της προσβολής.

Ψηφιακή τηλεπισκόπησης (συμπεριλαμβανομένων των δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών) προσφέρει τη δυνατότητα για εκτιμήσεις περιοχή της εστίας, με υψηλή ακρίβεια ανίχνευσης και επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις.

Landsat και κάλυψη γης (Mitsova et al. 2011, Miliareisis 2009)

Η χαρτογράφηση και η παρακολούθηση της κάλυψης γης έχουν αναγνωριστεί ευρέως ως ένα σημαντικό επιστημονικό στόχο. Κάλυψη της γης επηρεάζει το ενεργειακό ισοζύγιο, τον προϋπολογισμό του άνθρακα, και υδρολογικό κύκλο. Αλλαγής της εδαφοκάλυψης μπορεί να είναι φυσική ή ανθρωπογενής, αλλά με την αύξηση της ανθρώπινης δραστηριότητας, η επιφάνεια της Γης έχει τροποποιηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Γνώση της κάλυψης της γης και της αλλαγής κάλυψης είναι απαραίτητη για την μοντελοποίηση του κλίματος και τη βιοχημεία του γήινου συστήματος και για πολλά είδη διαχείρισης. Δορυφορικές εικόνες έχουν χρησιμοποιηθεί από καιρό στην αξιολόγηση της επιφάνειας της Γης. Εικόνες από τη σειρά των δορυφόρων Landsat είναι μία από τις πιο σημαντικές πηγές δεδομένων για τη μελέτη των διαφόρων ειδών των αλλαγών κάλυψης γης, όπως η αποψίλωση των δασών, η επέκταση και η εντατικοποίηση της γεωργίας, η αστική ανάπτυξη, και η απώλεια των υγροτόπων. Η πρόοδος της τεχνολογίας των υπολογιστών και η πολιτική της USGS για ελεύθερα δεδομένα Landsat (ιστορικά και μελλοντικά)προσφέρουν της ευκαιρία της παρακολούθησης της αλλαγής κάλυψης γης σε πρωτοφανής χωρικές και χρονικές κλίμακες.

Με την χωροχρονική δειγματοληψία τα σύνολα δεδομένων μπορούν να παραχθούν με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση των εικόνων Landsat και οι προκύπτουσες πολυχρονική χάρτες μπορούν να απεικονίσουν στο χώρο και στον χρόνο την πολυπλοκότητα της αλλαγής. Αποτυπώνονται αλλαγές που δεν είναι παρατηρήσιμες σε αραιές χρονολογικά σειρές ή συγκρίνοντας χάρτες διαφορετικής προέλευσης.

Landsat και παρακολούθηση φυσικών καταστροφών (Miliareisis 2009)

Η εκτίμηση των διαφόρων συνεπειών της δραστηριότητας της φωτιάς στο περιβάλλον, την οικονομία, την κοινωνία και την ατμόσφαιρα, απαιτεί ένα σύστημα υποστήριξης λήψης

αποφάσεων που βασίζεται σε προηγμένα και ισχυρά εργαλεία παρακολούθησης. Ένα κρίσιμο ζήτημα που επηρεάζει τη διαχείριση των πυρκαγιών είναι η έλλειψη χωρικών παρατηρήσεων που επιτρέπουν μια λεπτομερή περιγραφή της εμφάνισης πυρκαγιάς. Τα προηγούμενα 30-40 χρόνια εργαλεία για την απόκτηση χωρικά σαφείς πληροφοριών σχετικά με τις καμένες περιοχές ήταν οι επιτόπιες έρευνες, οι αεροφωτογραφίες, και η δορυφορική τηλεπισκόπηση. Η τηλεπισκόπηση είναι μια ιδανική λύση για τη συλλογή και την επεξεργασία των απαιτούμενων πληροφοριών, διότι παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία για να συλλεχθούν πληροφορίες από την επιφάνεια της Γης έγκαιρα. Περιοδικά φασματικά δεδομένα στο ορατό και στο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, από τους διάφορους αισθητήρες του δορυφόρου, προσφέρει απεριόριστη πηγή πληροφοριών. Χρησιμοποιώντας τη βοήθεια υπολογιστή για επεξεργασία και ερμηνεία, τα δεδομένα αυτά μπορεί να συμβάλουν σε μια καλύτερη, οικονομικά αποδοτική, αντικειμενική, και με εξοικονόμηση χρόνου μέθοδο για την παρακολούθηση περιοχών που επλήγησαν από δασικές πυρκαγιές. Η εκτίμηση των καταστροφών από την φωτιά, βασίζεται στην διαφορετική ανακλαστικότητα που παρατηρείται μεταξύ της υγιής βλάστησης, και χώματος. Η υγιής βλάστηση ανακλά έντονα στο εγγύς υπέρυθρο (για Landsat TM , ETM+), ενώ το γυμνό έδαφος , το χώμα, οι πέτρες ανακλούν σε μεγάλο βαθμό στα βραχέα υπέρυθρα. Συγκρίνοντας την ποσότητα της ανάκλασης στις δύο αυτές περιοχές μήκους κύματος, πριν και μετά την πυρκαγιά, μπορεί να καθοριστεί η έκταση και η σοβαρότητα της καταστροφής

Επιπρόσθετα η γνώση της κάλυψης γης βοηθά στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς μιας δασικής φωτιάς. Στην Αμερική το πρόγραμμα Landfire χρησιμοποιώντας στοιχεία των δορυφόρων Landsat παρακολουθεί και καταγράφει τις μεταβολές που αφορούν τους τύπους βλάστησης όσο και το φορτίου καυσίμου, παράγοντες που επηρεάζουν την πορεία μιας δασικής φωτιάς. Αρχεία Landsat έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την παρακολούθηση και την χαρτογράφηση του υγρού στοιχείου. Το νερό μπορεί να χαρτογραφηθεί και ποσοτικοποιηθεί στην ορατή και υπέρυθρη ζώνη του TM και ETM+, και επιτρέπεται ο διαχωρισμός των επιφανειακών υδάτων από την επιφάνεια της γης. Στο μήκος κύματος 1,55-1,75 μm το νερό σε βλάστηση και έδαφος απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Οι ζώνες 7 (2,09-2,35 μm) και ζώνη 4 (0,75-0,90 μm) χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση υδάτινων σωμάτων. Αυτές οι δυνατότητες βοηθούν στην παρακολούθηση καταστροφών από ξηρασία και πλημμύρες ενώ μπορούν να εκτιμήσουν την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιών.

Landsat και οικοσυστήματα και βιοποικιλότητα (Selkowitz et al. 2011)

Η τηλεπισκόπηση μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της έκτασης και της κατάστασης των οικοτόπων και της ποικιλότητας των ειδών, καθώς και στην ποσοτικοποίηση των ζημιών, την υποβάθμιση ή την ανάκαμψη που συνδέεται με συγκεκριμένα γεγονότα ή διαδικασίες. Οι Landsat εικόνες αποτελούν μια σημαντική πηγή δεδομένων για την παρακολούθηση των οικοτόπων, και είναι σε θέση να παρέχει ευρείας κλίμακας πληροφορίες για τις μεταβολές στην έκταση των ενδιαιτημάτων και χωρικά πρότυπα του κατακερματισμού που επιφέρουν διαταραχές σε προστατευόμενες περιοχές..

Οι μέτριοι αισθητήρες, που βρίσκονται επί των Landsat δορυφόρους, παρέχουν ευκαιρίες για την ταχεία ανίχνευση της καταστροφής και υποβάθμισης των ενδιαιτημάτων, ιδίως καθώς τα πολυετή και εποχιακά δεδομένα που παρέχονται είναι δωρεάν πληροφορίες για την ανίχνευση μεταβολών στην διάρκεια αρκετών δεκαετιών.

Η UNEP (United Nations Environment Program) χρησιμοποιεί δεδομένα της σειράς των δορυφόρων Landsat για τη δημιουργία hotspot και να εκτελέσει πρόσθετη επιστημονική ανάλυση. Επιπλέον, οι αλλαγές μπορεί να μην είναι αισθητές σε καθημερινή κλίμακα χρόνου, αλλά όταν εξετάζεται σε μια παρατεταμένη χρονική περίοδο και η σημερινή κατάσταση μπορεί να συγκριθεί με το παρελθόν, οι αλλαγές και οι επιπτώσεις τους, γίνονται ολοένα και πιο εμφανής. Μια πιο διαχρονικά και ακριβής μέθοδος της παρατήρησης και καταγραφής των αλλαγών στο περιβάλλον είναι απαραίτητη. Τα δορυφορικά δεδομένα είναι ένα μέρος του μηχανισμού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ολοκληρώσει τον προσδιορισμό hotspots (σημεία/θέσεις που μεγιστοποιούν τον κίνδυνο).

Κεφάλαιο Τρίτο

3. Μεθοδολογία

Η εφαρμογή τεχνικών ποιοτικής φωτοερμηνείας σε σχέση με την εφαρμογή τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας οδηγεί σε κατηγοριοποιήσεις που παρουσιάζουν διαφορές. Ο άνθρωπος όταν ερμηνεύει μια ψηφιακή εικόνα και ορίζει κάποια όρια θεματικών τάξεων χρησιμοποιεί ελάχιστη χαρτογραφική μονάδα με πολύ μεγαλύτερο μέγεθος από την χωρική και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα της ψηφιακής εικόνας (Μηλιαρέσης, 2003a). Οι λόγοι έχουν σχέση:

- Με την περιορισμένη ευαισθησία της ανθρώπινης όρασης (ραδιομετρικά και χωρικά) που τον οδηγούν σε μια περιορισμένη αντίληψη της υψής και στην ομαδοποίηση γειτονικών εικονοστοιχείων σε ενιαίες οντότητες εάν η οντότητα που προκύπτει έχει συγκεκριμένο μέγεθος.

Με την αδυναμία συγκέντρωσης και ανάλυσης όλης της εικόνας ταυτόχρονα. Δηλαδή υπάρχει ένας μέγιστος αριθμός θεματικών κατηγοριών που μπορούμε να ερμηνεύσουμε-αναλύσουμε σε μια εικόνα. Όταν ο αριθμός αυτός αυξάνει, τότε μοιραία οι μικρότερες σε έκταση κατηγορίες ομαδοποιούνται σε μεγαλύτερες (Μηλιαρέσης 2006). Ακόμα και εάν χρησιμοποιούμε ψηφιακή οθόνη και κάνουμε διαδοχικές μεγεθύνσεις δεν μπορούμε ποσοτικά να συσχετίσουμε τις κατηγοριοποιήσεις που προκύπτουν στην συγκεκριμένη μεγέθυνση της περιοχής που βλέπουμε με τις κατηγοριοποιήσεις γειτονικών περιοχών που δεν βλέπουμε. Επιπλέον, με τις διαδοχικές μεγεθύνσεις χάνουμε την έννοια της σημαντικότητας μιας κατηγοριοποίησης που προκύπτει σαν συνάρτηση της έκτασης που καταλαμβάνει (Μηλιαρέσης 2003b). Δηλαδή υπάρχουν περιορισμοί λόγω των πεπερασμένων δυνατοτήτων της ανθρώπινης όρασης αλλά και νοητικοί αφού όχι μόνο οι δυνατότητες πρόσληψης των εικόνων είναι περιορισμένες, αλλά και οι διανοητικές δυνατότητες του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι περιορισμένες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι εικόνες κατηγοριοποιήσεων που προκύπτουν από ποιοτική φωτοερμηνεία να είναι γενικευμένες σε σχέση με αυτές των ψηφιακών ταξινομήσεων που έχουν πολύ μικρότερη ελάχιστη χαρτογραφική μονάδα (πλησιάζει τις διαστάσεις του εικονοστοιχείου της δορυφορικής εικόνας), μεγαλύτερη πολυπλοκότητα και μεγαλύτερο βαθμό διαφοροποίησης (Μηλιαρέσης 2003a). Σε γενικές γραμμές το προϊόν της ψηφιακής επεξεργασίας εξαρτάται και από τους αλγορίθμους-μεθοδολογίες - αρχικές συνθήκες που επιλέγει /ορίζει ο χρήστης ενώ υπάρχουν δυνατότητες γενίκευσης της εικόνας που προκύπτει. Παράδειγμα: α) φιλτράρισμα με βάση το μέγεθος, β)

φιλτράρισμα με βάση την επικρατούσα κατηγοριοποίηση στην γειτονιά ενός εικονοστοιχείου (majority filtering).

Από την άλλη, η φωτοερμηνεία είτε ποσοτική είτε ποιοτική είναι συνάρτηση των τεχνικών χαρακτηριστικών της δορυφορικής εικόνας. Η σειρά των δορυφόρων Landsat ξεκίνησε την θεματική χαρτογράφηση του πλανήτη το 1972 και συνεχίζει μέχρι σήμερα με μια διαδοχική σειρά πολυφασματικών σαρωτών που παρουσιάζουν όλο και καλύτερα τεχνικά χαρακτηριστικά επιτρέποντας την σύνθεση λεπτομερέστερων διαχρονικά θεματικών χαρτών (NASA 2015). Το 2013 τέθηκε σε υπηρεσία ο Landsat 8 (Landsat Data Continuity Mission (LDCM)) εξοπλισμένος με τον φασματικό σαρωτή Operational Land Imager (OLI) που αντικατέστησε τον Landsat 7, και παρουσιάζει μεγαλύτερη φασματική και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (Πίνακας 3.1) από τον προκάτοχο του.(USGS 2015).

Πίνακας 3.1 Σύγκριση των δορυφόρων Landsat 7 και 8

Enhanced Thematic Mapper ETM+		Operational Land Imager (OLI)	
Landsat 7	λ μm	Landsat 8	λ μm
-	-	Band 1 – Coastal aerosol	0.433 - 0.453
Band 1- blue	0.45-0.52	Band 2 – Blue	0.450 – 0.515
Band 2-Green	0.52-0.60	Band 3 – Green	0.525 – 0.600
Band 3-Red	0.63-0.69	Band 4 – Red	0.630 – 0.680
Band 4-VNIR	0.77-0.90	Band 5 – NIR	0.845 – 0.885
Band 5-SWIR1	1.55-1.75	Band 9 – Cirrus	1.360 – 1.390
Band 7-SWIR2	2.09-2.35	Band 6 – SWIR 1	1.560 – 1.660
Band 6-TIR	10.40-12.50	Band 7 – SWIR 2	2.100 – 2.300
Band 8-Pan	.52-.90	Band 10 – TIR 1	10.3 – 11.3
		Band 11 – TIR 2	11.5 – 12.5
		Band 8 – Panchromatic	0.500 – 0.680

3.1 Σκοπός και Στόχοι

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση της θεματικής χαρτογραφικής ικανότητας των δύο σαρωτών (ETM+ και OLI) στην ίδια περιοχή. Πιο συγκεκριμένα θα γίνει αξιολόγηση της θεματικής χαρτογραφικής ικανότητας του OLI σε σύγκριση με τον ETM+ στην διάκριση θεματικών τάξεων, χωρικών στοιχείων και ενεργειακών διαβαθμίσεων.

Η θεματική χαρτογράφηση θα πραγματοποιηθεί με την υλοποίηση τεχνικών ψηφιακής ανάλυσης εικόνας και θα εξετασθούν/συγκριθούν οι 2 σαρωτές ως προς την :

A) ικανότητα διάκρισης συγκεκριμένων θεματικών τάξεων (καλύψεων γης)

B) ικανότητα να διακρίνουν χωρικά στοιχεία στα φασματικά κανάλια

Γ) η επίδραση της αυξημένης διακριτικής ικανότητας του OLI στην θεματική χαρτογράφηση ενεργειακών διαβαθμίσεων στην ίδια κάλυψη γης.

3.2 Ερευνητικά Ερωτήματα

Κάποια από τα βασικά ερωτήματα που καλείται να απαντήσει η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είναι τα εξής :

Πως οι διαφορές στην φασματική διακριτική ικανότητα μεταξύ των 2 δορυφόρων επηρεάζει την θεματική διακριτική ικανότητα;

Πως οι διαφορές στην χωρική διακριτική ικανότητα μεταξύ των 2 δορυφόρων σε μερικά κανάλια επηρεάζει την θεματική διακριτική ικανότητα και την κλίμακα απόδοσης;

Πως οι διαφορές στην ραδιομετρική διακριτική ικανότητα μεταξύ των 2 δορυφόρων επηρεάζει την ανίχνευση μικρών διαφοροποιήσεων στην ενέργεια ανά κανάλι και πως επηρεάζει την βιοφυσική χαρτογράφηση και την θεματική διακριτική ικανότητα;

Είναι σημαντική η καταγραφή της θεματικής χαρτογραφικής και διακριτικής ικανότητας του LANDSAT 8-OLI γιατί αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία στην δορυφορική χαρτογράφηση του περιβάλλοντος και της βιοφυσικής υπογραφής του πλανήτη. Επιπλέον ένα μέλος της οικογένειας LANDSAT που από το 1972 χαρτογραφούν τον πλανήτη, και πρέπει να καταγραφεί-προσδιοριστεί η επίδραση της εξέλιξης της τεχνολογίας του σαρωτή OLI στα παραγόμενα χαρτογραφικά προϊόντα (αποτέλεσμα) προκειμένου να γίνουν γνωστές οι δυνατότητες και οι περιορισμοί.

3.3 Σχεδιασμός

Θα γίνει αναδρομή της εξέλιξης των συστημάτων LANDSAT, θα καταγραφούν οι εξελίξεις στα τεχνικά χαρακτηριστικά και στα χαρτογραφικά προϊόντα. Θα περιγραφούν οι αναμενόμενες εξελίξεις/βελτιώσεις που θα επιφέρει ο OLI.

Θα περιγραφεί η σχέση των τεχνικών χαρακτηριστικών της εικόνας και της θεματικής χαρτογραφικής ικανότητας μέσω της εφαρμογής τεχνικών ποιοτικής και ποσοτικής φωτοερμηνείας και η επίδραση τους στην θεματική χαρτογραφική ικανότητα.

Οι δυο δορυφόροι παρουσιάζουν διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα:

Η φασματική διακριτική ικανότητα ενός καταγραφικού συστήματος αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο καταγράφεται η ανακλώμενη ακτινοβολία-ενέργεια (σε ποια κανάλια και με πιο εύρος). Το ποιες περιοχές του φάσματος θα καταγραφούν και το εύρος τους, έχει σχέση με τις εφαρμογές για τις οποίες έχει σχεδιασθεί το συγκεκριμένο καταγραφικό σύστημα. Όσο πιο πολλές και πιο στενές είναι οι ζώνες, με τόσο πιο μεγάλη ακρίβεια καταγράφεται η καμπύλη φασματικής απόκρισης και τόσο μεγαλύτερη είναι η φασματική διακριτική ικανότητα του συστήματος.

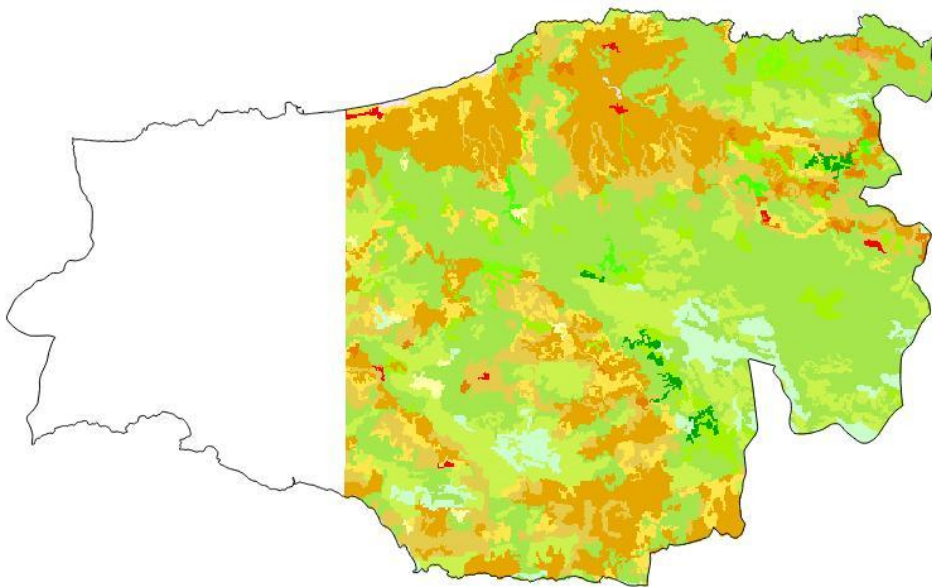
Η χωρική ανάλυση καθορίζει την ελάχιστη επιφάνεια του εδάφους για την οποία μπορεί να γίνει η παρατήρηση, δηλαδή το ελάχιστο δυνατό μέγεθος αντικειμένου που μπορεί να διακριθεί. Στις ψηφιακές απεικονίσεις ορίζεται σαν το μέγεθος του εικονοστοιχείου (pixel) στο έδαφος και μετράτε συνήθως σε μέτρα

Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα που αναφέρεται στο ελάχιστο ποσό ενέργειας που καταγράφεται ανα κανάλι. Αυτές οι διαφορές καθορίζουν την θεματική διακριτική ικανότητα που είναι συνάρτηση, α) του ελάχιστου μεγέθους αντικείμενου, β) των καναλιών που προσδιόρίζουν τις φασματικές υπογράφες αντικειμένων που μπορεί να ταυτοποιηθούν, γ) την ελάχιστη μεταβολή ενέργειας που μπορεί να ανιχνευθεί στην επιφάνεια της γης.

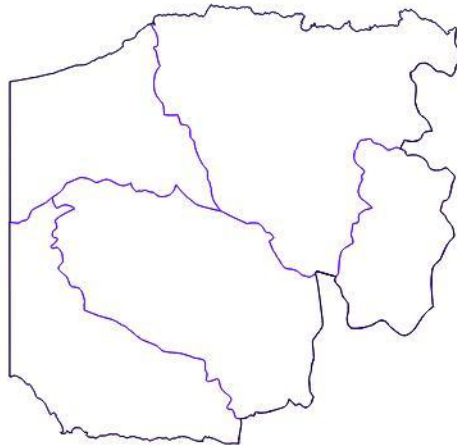
Η μεθοδολογία θα περιλαμβάνει ποιοτικές και ποσοτικές (ερμηνείες σε ίδιες καλύψεις γης που εντοπίζονται και στις 2 δορυφορικές εικόνες που αντιστοιχούν στους υπο σύγκριση σαρωτές. Οι επεξεργασίες θα εστιάσουν την επίδραση που έχει η διαφοροποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών στην θεματική διακριτική ικανότητα και στην θεματική χαρτογράφηση, και στην ποσοτικοποίηση αν καταστεί δυνατόν της σύγκρισης αποτελεσμάτων.

3.4 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι το κεντρικό και ανατολικό τμήμα του Νομού Ρεθύμνου, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Η πρόσληψη των δεδομένων για την παρουσίαση της περιοχής μελέτης έγινε από το διαδίκτυο (ελεύθερα δεδομένα). Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν και παράγωγα δεδομένα. Ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση της περιοχής μελέτης από ελεύθερα γεωγραφικά δεδομένα..



Σχήμα 3.4.1 Όρια νομού Ρεθύμνου και το τμήμα που διεξάγεται η έρευνα όπως απεικονίζεται στον χάρτη καλύψεων Corine (Bartholome et al. 2005).



Σχήμα 3.4.2 Όρια δήμων Καλλικράτης

http://geodata.gov.gr/geodata/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=16&sobi2Id=182&Itemid=



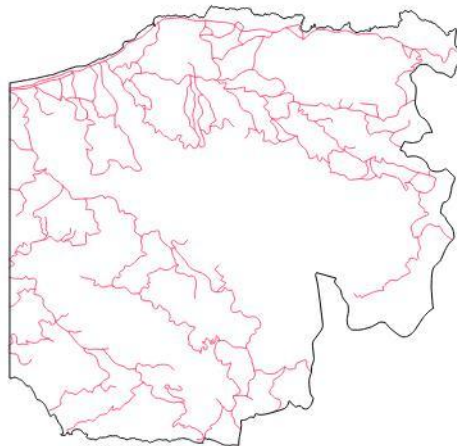
Σχήμα 3.4.3 Καποδιστριακοί δήμοι.

http://geodata.gov.gr/geodata/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=16&sobi2Id=22&Itemid=

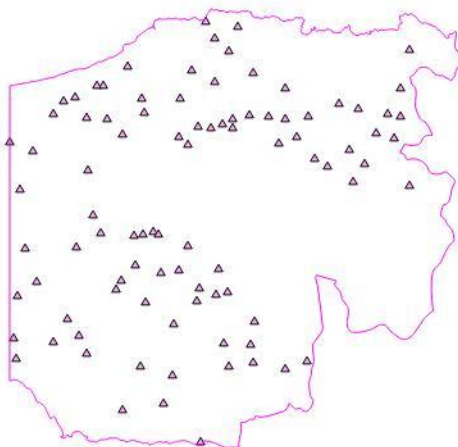


Σχήμα 3.4.4 Όρια ΟΤΑ

http://geodata.gov.gr/geodata/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=21&sobi2Id=49&Itemid=



Σχήμα 3.4.5 Οδικό δίκτυο <http://www.openstreetmap.org/#map=11/40.1083/21.3849>



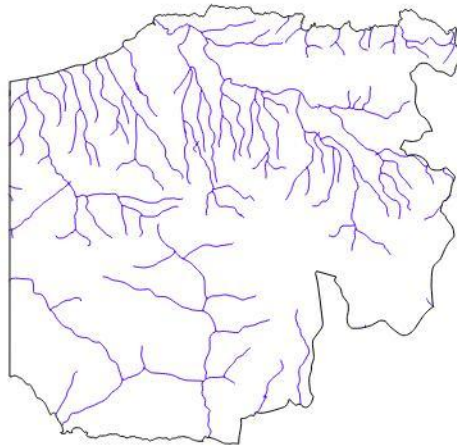
Σχήμα 3.4.6 Οικιστικές συγκεντρώσεις

http://geodata.gov.gr/geodata/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=21&sobi2Id=52&Itemid=



Σχήμα 3.4.7 Προστατευόμενες περιοχές (Natura)

http://geodata.gov.gr/geodata/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=18&sobi2Id=184&Itemid=



Σχήμα 3.4.8 Ποτάμια

http://geodata.gov.gr/geodata/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=18&sobi2Id=19&Itemid=

3.5 Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων

Η πρόσληψη των δεδομένων έγινε από το διαδίκτυο (ελεύθερα δεδομένα) τόσο για τις καλύψεις γης, το ΨΥΜΕ αλλά και τις δορυφορικές εικόνες. Αναλυτική περιγραφή ακολουθεί ανά κατηγορία δεδομένων.

3.5.1 Χάρτης Καλύψεων / Χρήσεων Γης Corine

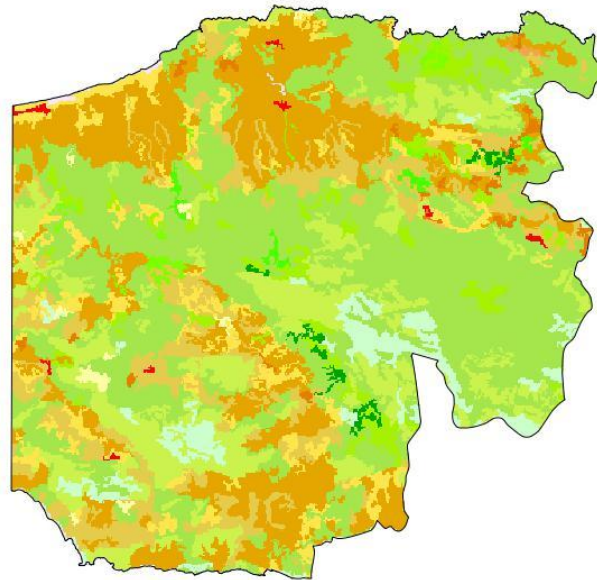
Η κάλυψη γης αναφέρεται στις φυσικές και τεχνητές οντότητες που αναγνωρίζονται-ερμηνεύονται από μια δορυφορική εικόνα να καλύπτουν μια εδαφική μονάδα. Φυσικές οντότητες είναι για παράδειγμα η βλάστηση, το νερό, κ.α., ενώ στις τεχνητές οντότητες περιλαμβάνονται οι καλλιέργειες, τα κτίσματα, οι δρόμοι, κ.α. (Μηλιαρέσης 2003a). Η χαρτογράφηση των καλύψεων γης (landcover) και των χρήσεων γης (landuse) είναι ένα από τα πιο σημαντικά πεδία εφαρμογών της τηλεπισκόπησης.

Η χρήση γης σχετίζεται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες που εκδηλώνονται σε συγκεκριμένο τύπο εδαφικής μονάδας, βιομηχανική, αγροτική, εμπορική, κατασκευαστική, μεταφορική, αναψυχή, κ.α. αποτελούν μια σειρά από τύπους δραστηριοτήτων. Η χρήση γης επομένως, αποτελεί συνδυαστικό κρίκο μεταξύ της κάλυψης γης και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που εκμεταλλεύονται και μεταμορφώνουν το τοπίο (Bartholome et al. 2005).

Ο θεματικός χάρτης καλύψεων γης Corine είναι μια προσπάθεια του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος. Είναι μια βάση δεδομένων καλύψεων γης η οποία προέρχεται από την ερμηνεία δορυφορικών εικόνων του Θεματικού Χαρτογράφου στο γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα ArcInfo. Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα ελεύθερα από την παρακάτω ιστοσελίδα <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-1990-raster-2>

Η προσπάθεια ξεκίνησε την δεκαετία του 1980 και έχουν εκδοθεί δύο θεματικοί χάρτες καλύψεων/χρήσεων γης το 1990 και το 2000 αντίστοιχα. Η ολοκληρωμένη βάση δεδομένων Corine Land Cover 2000 (CLC 2000) παρέχει ποσοτικά στοιχεία σχετικά με χρήσεις/καλύψεις γης συγκρίσιμα σε ολόκληρη την Ευρώπη σε κλίμακα 1:100.000 και περιλαμβάνει 44 (υποδιαίρεσεις) κατηγοριοποιήσεις κάλυψης γης. Ο ψηφιακός χάρτης έχει 100 μέτρα χαρτογραφική ακρίβεια και προβάλλεται σε Ελλειψοειδές Σύστημα Γεωγραφικής Αναφοράς (ETRS89) που είναι και το πρότυπο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για δεδομένα με πανευρωπαϊκή κάλυψη. Η χωρική διακριτική ικανότητα είναι 100 μ και τα δεδομένα έχουν προβληθεί στο Lambert Azimuthal - Equal Area co-με ελλειψοειδές αναφοράς το GRS 80

και κατακόρυφο σύστημα αναφοράς το European Terrestrial Reference System 1989 (Miliareisis 2009). Ο Χάρτης καλύψεων γης Corine (Bartholome et al. 2005) για το νομό ακολουθεί (Σχήμα 3.5.1.1, & 3.5.1.2).



Σχήμα 3.5.1.1 Χάρτης καλύψεων γης

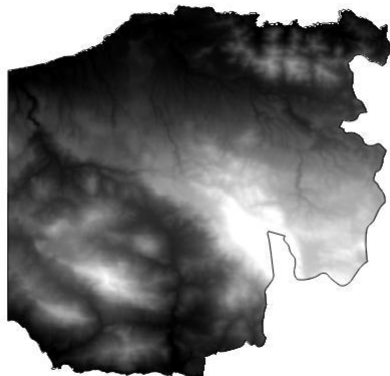
- | | |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| ■ 1 Συνεχής αστικός ιστός | ■ 23 Δάση πλατύφυλλων |
| ■ 2 Ασυνεχής αστικός ιστός | ■ 24 Δάση κωνοφόρων |
| ■ 3 Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες | ■ 25 Μικτά Δάση |
| ■ 4 Οδικό, σιδηροδρομικό δίκτυο | ■ 26 Ποολίβαδα |
| ■ 5 Λιμάνια | ■ 27 Τυρφοέλη και χαμηλή ξυλώδης βλάστηση |
| ■ 6 Αεροδρόμια | ■ 28 Σκληρόφυλλη βλάστηση |
| ■ 7 Μεταλλευτικές περιοχές | ■ 29 Ζώνες μεταβατικής δασικής βλάστησης |
| ■ 8 Χώροι απόθεσης απορριμμάτων | ■ 30 Παραλίες, αμμοθίνες και αμμώδεις εκτάσεις |
| ■ 9 Εργοτάξια | ■ 31 Βράχια |
| ■ 10 Περιοχές αστικού πρασίνου | ■ 32 Περιοχές με σποραδική βλάστηση |
| ■ 11 Εγκαταστάσεις αναψυχής και αθλητισμού | ■ 33 Καμένες περιοχές |
| ■ 12 Μη αρδεύομενες αρόσιμες εκτάσεις | ■ 34 Παγετώνες και αιώνιο χιόνι |
| ■ 13 Μόνιμα αρδεύομενες εκτάσεις | ■ 35 Χερσαία έλη |
| ■ 14 Ορυζώνες | ■ 36 Τυρφώνες |
| ■ 15 Αμπελώνες | ■ 37 Αλατούχα έλη |
| ■ 16 Οπωρώνες και καλλιέργειες κερασιών | ■ 38 Αλυκές |
| ■ 17 Ελαιώνες | ■ 39 Παλιρροϊκοί σχηματισμοί |
| ■ 18 Βοσκοτόπια | ■ 40 Υδάτινα ρεύματα |
| ■ 19 Ετήσιες μόνιμες καλλιέργειες | ■ 41 Λίμνες, αποταμιευτήρες και αντιπλημμυρικές ζώνες |
| ■ 20 Συμπλέγματα καλλιεργειών | ■ 42 Λιμνοθάλασσες |
| ■ 21 Αγροτικές εκτάσεις με σημαντικό ποσοστό φυσικής βλάστησης | ■ 43 Εκβολές ποταμών |
| ■ 22 Περιοχές αγροδασοπονίας | ■ 44 Θάλασσα και ωκεανοί |

Εικόνα 3.5.1.2 Το σύστημα γεωταξινόμησης καλύψεων γης CORINE 2000 (Bartholome et al. 2005).

3.5.2 Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους (ΨΥΜΕ)

Η σύνθεση του SRTM-3 DEM διεξήχθη το Φεβρουάριο του 2000, μέσω ενός ενεργητικού συστήματος τηλεπισκόπησης (SAR) που ήταν τοποθετημένο στο διαστημικό λεωφορείο (space shuttle) το οποίο κάλυψε πάνω από το 80% της γήινης επιφάνειας μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 60ο Βόρεια και 56ο Νότια, συλλέγοντας δεδομένα κάθετα ως προς τη διεύθυνση πτήσης του, με απόσταση πλευρικής σάρωσης 225 χλμ (Braun et al. 2007).

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους SRTM-3 DEM παρέχει μια αναπαράσταση του συνόλου της επιφάνειας της γης με διακριτική ικανότητα 3 δευτέρα της μοίρας (Van-Niel et al. 2008). Ας σημειωθεί ότι η απόσταση 3 δευτέρων της μοίρας κατά μήκος ενός μεσημβρινού είναι πάντα 92 μέτρα ενώ η ίδια απόσταση κατά μήκος ενός παράλληλου είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους (φ) και αντιστοιχεί σε $92 \cdot \sin(\varphi)$ μέτρα. Η ακρίβεια ορίζεται σε σχέση με σημεία ελέγχου μπορεί να προέρχονται και από σημεία πεδίου με GPS (Miliareisis & Paraschou, 2005). Αφαιρούμε τις δύο εκτιμήσεις υψομέτρων για κάθε σημείο και υψώνουμε τις διαφορές στο τετράγωνο, αθροίζουμε διαιρώντας με τον αριθμό των σημείων. Η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος προσδιορίζει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) που καθορίζει πόσο καλά ταυτίζονται οι δύο ομάδες δεδομένων (Miliareisis, 2008). Στο SRTM το RMSE ισούται με 11 μέτρα και σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει η υψομετρική του ακρίβεια είναι κατάλληλη για κλίμακα μικρότερη από 1: 50000 (Miliareisis & Paraschou, 2005, Miliareisis, 2007). Χρησιμοποιήθηκε η SRTM έκδοση 4 από <http://srtm.csi.cgiar.org/> (Σχήμα 3.5.2.1, 3.5.2.2, 3.5.2.3, 3.5.2.4).



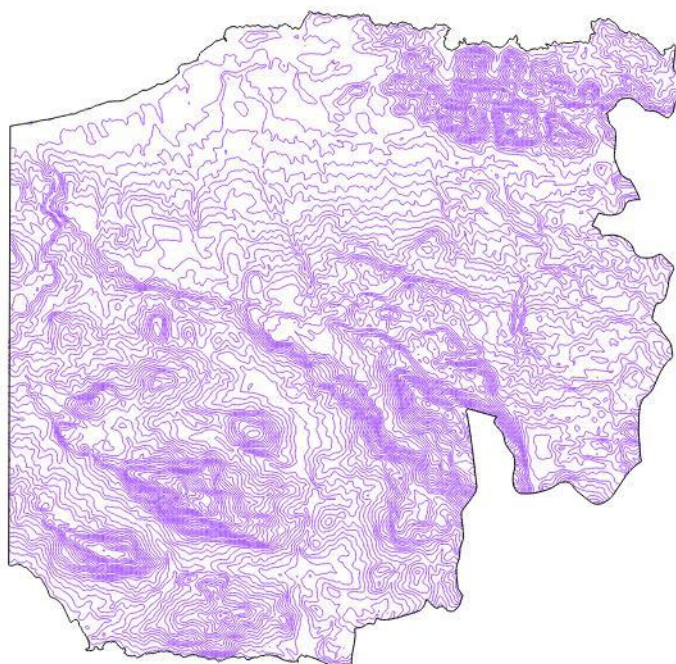
Σχήμα. 3.5.2.1 ΨΥΜΕ της περιοχής μελέτης



Σχήμα. 3.5.2.2 Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου (ύψος Ήλιου 40° αζιμούθιο 300°)



Σχήμα.3.5.2.3 Έγχρωμος χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου



Σχήμα 3.5.2.4 Ισοϋψείς ανά 50 μ

3.5.3. Δορυφορική εικόνα LANDSAT 8 και LANDSAT 7

Το πρόγραμμα Landsat λειτουργεί για απόκτηση δορυφορικών εικόνων της Γης από την 23 Ιουλίου 1972, ο πιο πρόσφατος δορυφόρος Landsat 8, τέθηκε σε τροχιά την 11 Φεβρουαρίου 2013 (USGS 2015). Η φασματική δειγματοληψία του Landsat 8 και η χωρική διακριτική ικανότητα κάθε καναλιού είναι διαθέσιμη από την USGS στην διεύθυνση http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php

Πίνακας 3.5.1. Χωρική διακριτική ικανότητα του δορυφόρου Landsat 8 ανά κανάλι

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Launched February 11, 2013	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Προκειμένου να υπάρχουν σύγχρονες εκτιμήσεις για πιθανές αλλαγές στις καλύψεις γης, χρησιμοποιήθηκε η εικόνα Landsat 8 με τα παρακάτω στοιχεία

- LANDSAT_SCENE_ID = "LC81820352013177LGN01"
- SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
- SENSOR_ID = "OLI_TIRS"
- WRS_PATH = 182
- WRS_ROW = 35
- DATE_ACQUIRED = 2013-06-26
- SUN_AZIMUTH = 118.61212754
- SUN_ELEVATION = 67.85022028

Επίσης χρησιμοποιήθηκε η εικόνα Landsat 7 ETM

- ENTITY_ID = L71181036_03620000709
- SPACECRAFT_ID = "Landsat7"
- SENSOR_ID = "ETM+"
- ACQUISITION_DATE = 2000-07-09
- WRS_PATH = 181
- WRS_ROW = 36
- SUN_AZIMUTH = 113.0980858
- SUN_ELEVATION = 65.1266974

Πίνακας 3.5.2. Χωρική διακριτική ικανότητα του δορυφόρου Landsat 7 ανά κανάλι

Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	Landsat 7	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1	0.45-0.52	30
	Band 2	0.52-0.60	30
	Band 3	0.63-0.69	30
	Band 4	0.77-0.90	30
	Band 5	1.55-1.75	30
	Band 6	10.40-12.50	60 * (30)
	Band 7	2.09-2.35	30
	Band 8	.52-.90	15

Οι δύο δορυφορικές εικόνες ομαδοποιούν τα κανάλια τους σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το μήκος κύματος. Α) Παγχρωματικές, Β) θερμικές και Γ) πολυφασματικές στο ορατό, εγγύς και μέσο υπέρυθρο. Το ελάχιστο και μέγιστο της ενέργειας που καταγράφεται σε κάθε κανάλι ανά δορυφόρο αναφέρεται στον παρακάτω πίνακα. Ας σημειωθεί ότι η ραδιομετρική ικανότητα στο Landsat 7 είναι 256 ενώ στο Landsat 8 είναι 4096.

Πινάκας 3.5.3 Ελάχιστο και μέγιστο ενέργειας ανά κανάλι σε $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$

LANDSAT 7	LANDSAT 8
LMAX_BAND1 = 191.600	RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 755.97028
LMIN_BAND1 = -6.200	RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -62.42827
LMAX_BAND2 = 196.500	RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 770.89075
LMIN_BAND2 = -6.400	RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -63.66041
LMAX_BAND3 = 152.900	RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 705.87585
LMIN_BAND3 = -5.000	RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -58.29146
LMAX_BAND4 = 241.100	RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 597.83362
LMIN_BAND4 = -5.100	RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -49.36930
LMAX_BAND5 = 31.060	RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 362.77213
LMIN_BAND5 = -1.000	RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -29.95784
LMAX_BAND61 = 17.040	RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 91.40046
LMIN_BAND61 = 0.000	RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.54788
LMAX_BAND62 = 12.650	RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 29.73240
LMIN_BAND62 = 3.200	RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.45531
LMAX_BAND7 = 10.800	RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 673.42181
LMIN_BAND7 = -0.350	RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -55.61139
LMAX_BAND8 = 243.100	RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 149.07811
LMIN_BAND8 = -4.700	RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -12.31092
	RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180
	RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
	RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180
	RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033

3.6 Ραδιομετρική και χωρική διακριτική ικανότητα

3.6.1 Παγχρωματικές εικόνες

Ο Landsat 8 έχει φασματική δειγματοληψία 0.50-0.68 μm , και χωρική διακριτική ικανότητα 15 m ενώ ο Landsat 7 έχει φασματική δειγματοληψία 0.52-0.90 μm , και χωρική διακριτική ικανότητα 15m.

- Ο Landsat 8 καταγράφει σε μικρότερο εύρος μήκους κύματος του φάσματος (που αντιστοιχεί κυρίως στο ορατό) την ακτινοβολία στο παγχρωματικό, ενώ αντίθετα ο Landsat 7 αθροίζει και ακτινοβολία στο υπέρυθρο από 0.68-0.90.
- Αυτό σημαίνει ότι οι καλύψεις γης θα διαφοροποιούνται λιγότερο στο Landsat 7 από ότι στο Landsat 8. Η ελάχιστη και μέγιστη ενέργεια που καταγράφεται στο Landsat 7 είναι στο εύρος από -4.700 έως $243.100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ και ψηφιοποιείται σε 256 τιμές φωτεινότητας.
- Άρα το ελάχιστο ποσό ενέργειας που απαιτείται για να μεταβληθεί η τιμή φωτεινότητας κατά μία μονάδα (πραγματική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα) στο Landsat 7 ισούται με

$$\frac{(243.1 + 4.7)}{256} = 0.967968 \quad \text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$$

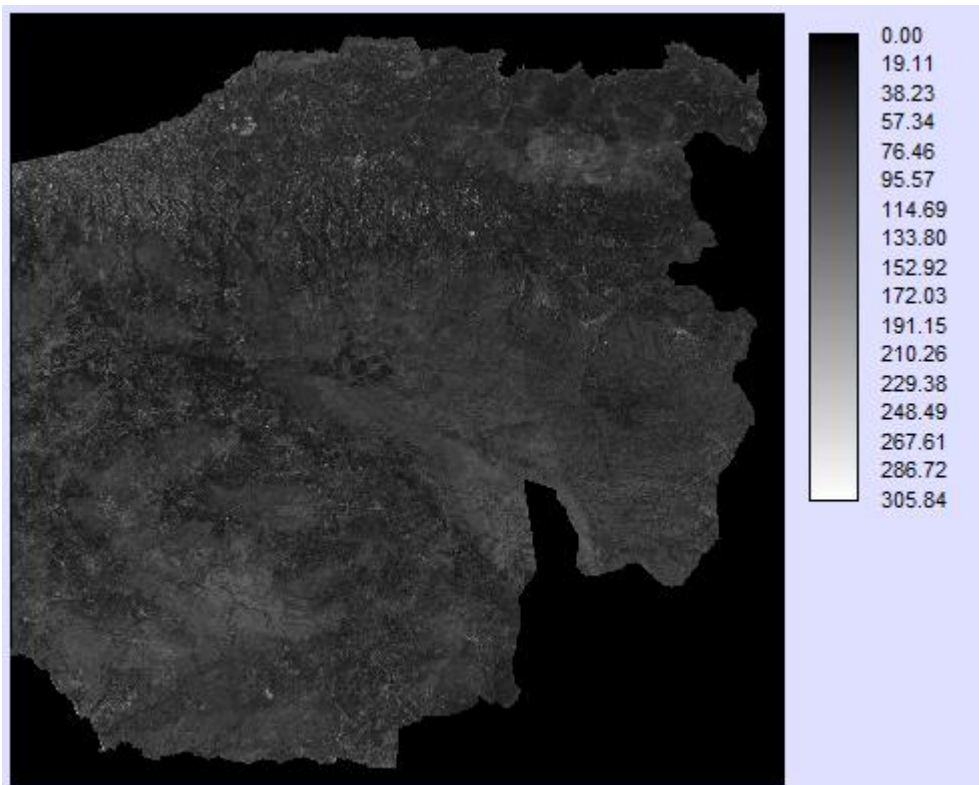
Η ελάχιστη και μέγιστη ενέργεια που καταγράφεται στο Landsat 8 είναι στο εύρος από -55.61139 έως $673.42181 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ και ψηφιοποιείται σε 4096 τιμές φωτεινότητας.

- Άρα το ελάχιστο ποσό ενέργειας που απαιτείται για να μεταβληθεί η τιμή φωτεινότητας κατά μία μονάδα (πραγματική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα)

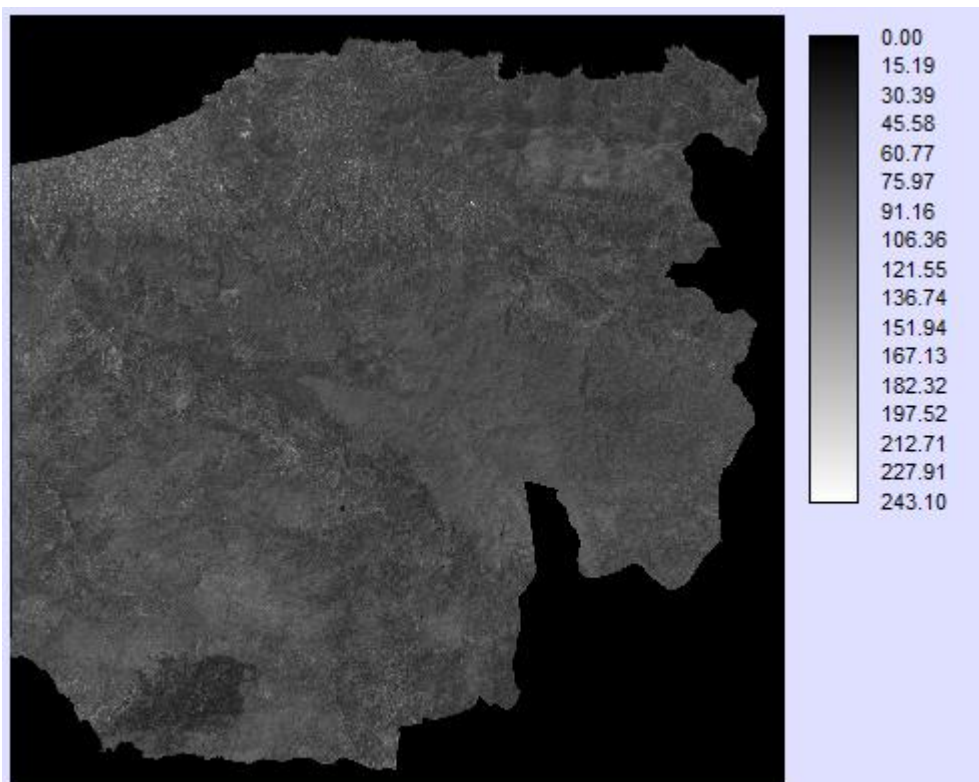
ισούται με
$$\frac{673.42181 + 55.61139}{4096} = 0.1779866 \quad \text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$$

Άρα ο Landsat 8 στο παγχρωματικό κανάλι έχει πολύ μεγαλύτερη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα και αναμένεται να καταγράφει πολύ μικρότερες διαφοροποιήσεις της ενέργειας στην επιφάνεια της γης στο εύρος λειτουργίας του καναλιού.

Η παγχρωματική εικόνα λόγω της υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας που διαθέτει, χρησιμοποιείται κυρίως σε τεχνικές μίξης με εικόνες μεγαλύτερης φασματικής δειγματοληψίας. Δημιουργούνται εικόνες που συνδυάζουν τις ιδιότητες των εικόνων από τις οποίες προήλθαν (Μηλιαρέσης 2003).



Σχήμα 3.6.1.1 Παγχρωματική εικόνα Landsat 8



Σχήμα 3.6.2.2 Παγχρωματική εικόνα Landsat 7

3.6.2 Θερμικές εικόνες

Ο Landsat 7 έχει δύο καταγραφές στο θερμικό κανάλι που έχουν την ίδια φασματική δειγματοληψία (η καταγραφή γίνεται στο εύρος 10.40 -12.50 μm) αλλά διαφορετική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα. Η μία καταγράφεται σε low gain (χαμηλή ραδιομετρική διακριτική ικανότητα) και η άλλη σε high gain (υψηλή ραδιομετρική διακριτική ικανότητα).

- LMAX_BAND61 = 17.040
- LMIN_BAND61 = 0.000
- LMAX_BAND62 = 12.650
- LMIN_BAND62 = 3.200

Η low gain έχει πραγματική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα ίση με $\frac{(17.040 - 0.000)}{256} = 0.0665625$, $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ενώ η high gain έχει ίση με $\frac{(12.650 - 3.200)}{256} = 0.036914$ $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$

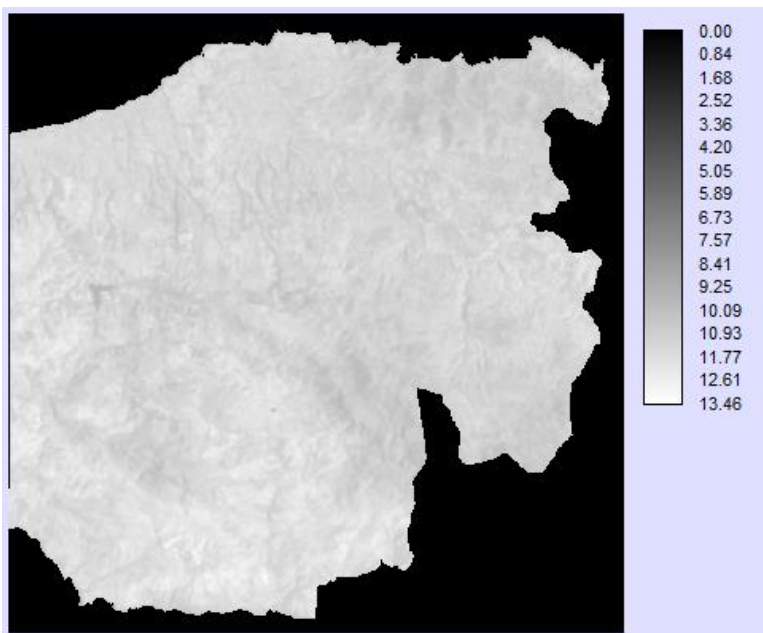
Στον Landsat 8 υπάρχουν δύο κανάλια στο θερμικό που έχουν διαφορετική φασματική δειγματοληψία.

Το ένα Band 10 καταγράφει στο εύρος 10.60-11.19μm και το δεύτερο Band 11 καταγράφει στο εύρος 11.50-12.51 μm. Τα δύο κανάλια έχουν την ίδια ραδιομετρική διακριτική ικανότητα .

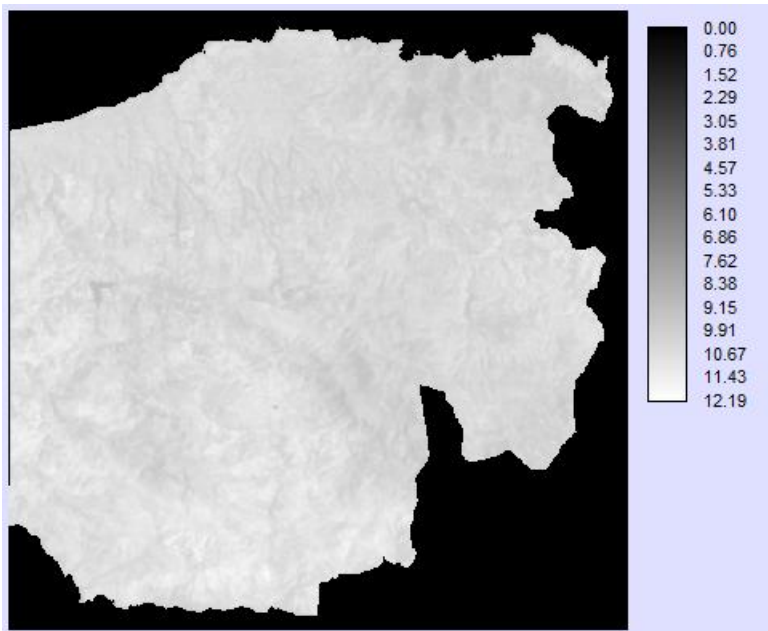
- RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180
- RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
- RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180
- RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033

Και τα δύο κανάλια διαθέτουν ραδιομετρική διακριτική ικανότητα ίση με $\frac{(22.00180 - 0.10033)}{4096} = 0.0051028$ $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$

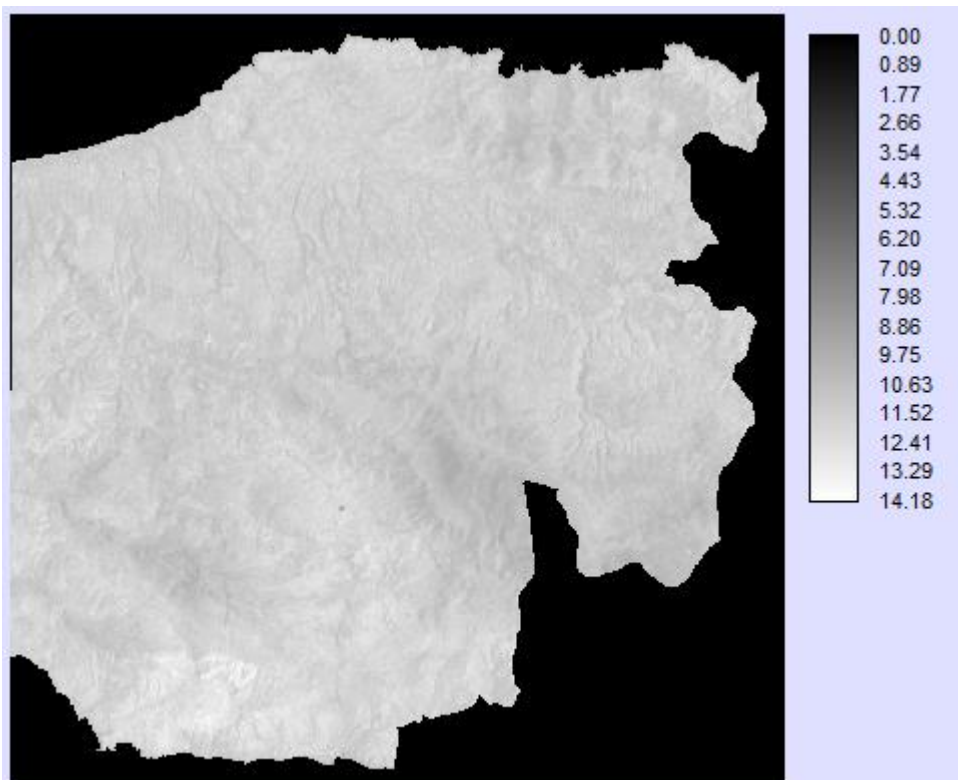
Η χωρική διακριτική ικανότητα μεταξύ τους είναι διαφορετική, στο Landsat 7 είναι 60 μέτρα στο θερμικό κανάλι ενώ στον Landsat 8 είναι στα 100 μέτρα. Ο Landsat 8 επειδή καταγράφει την θερμική ακτινοβολία σε δύο διαφορετικά μήκη κύματος μπορεί να δώσει πολύ πιο ακριβείς εκτιμήσεις της θερμοκρασίας σε συνδυασμό και την μεγαλύτερη πραγματική ραδιομετρική ικανότητα που έχει ενώ μειονεκτεί ως προς την χωρική διακριτική ικανότητα γιατί έχει pixel size 100 μέτρα. Στις θερμικές ζώνες του Landsat 8 παρέχονται σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το νερό καθώς και πληροφορίες σχετικά με την θερμότητα των αντικειμένων της επιφάνειας της γης. Στις εικόνες που ακολουθούν τα φωτεινά pixels αντιστοιχούν σε υψηλές θερμοκρασίες ενώ τα σκούρα σε χαμηλές θερμοκρασίες.



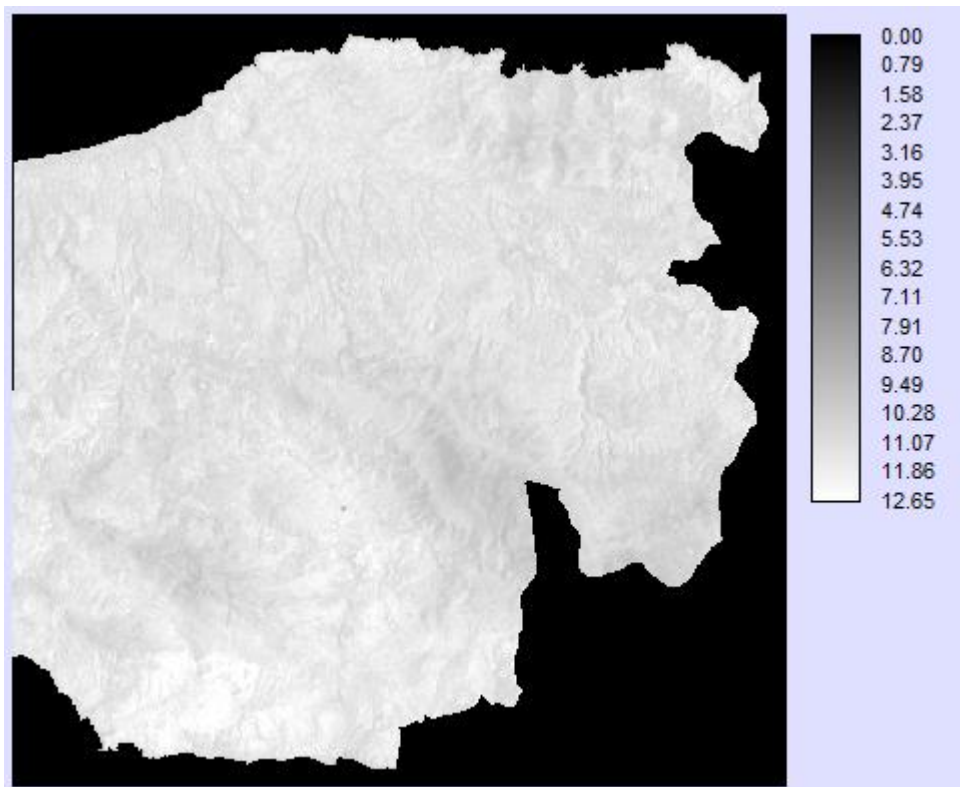
Σχήμα 3.6.2.1 Θερμική εικόνα από κανάλι 10 Landsat 8



Σχήμα 3.6.2.2 Θερμική εικόνα από κανάλι 11 Landsat 8



Σχήμα 3.6.2.3 Θερμική εικόνα από κανάλι 6.1 Landsat 7



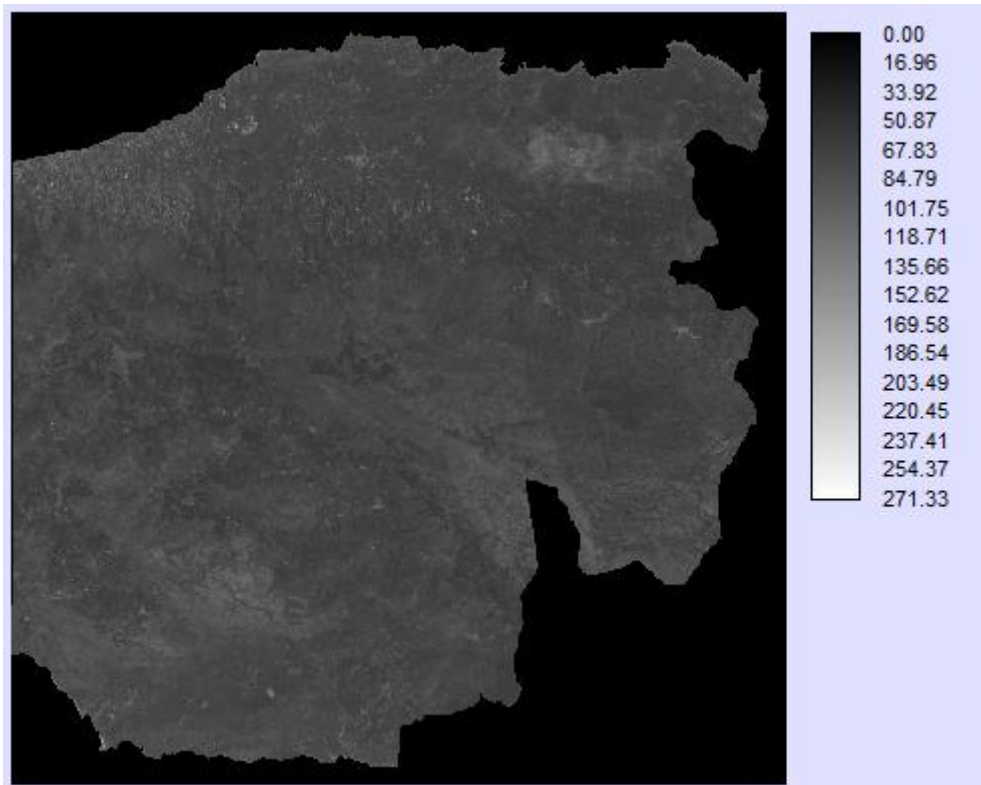
Σχήμα 3.6.2.4. Θερμική εικόνα από κανάλι 6.2 Landsat 7

3.6.3 Κανάλια του Landsat 8 που δεν υπάρχουν στο Landsat 7.

Είναι το κανάλι 1 και το κανάλι 9 του Landsat 8.

Το νέο κανάλι 1 (coastal aerosol) του Landsat 8 επιτρέπει τις παρατηρήσεις στα παράκτια ύδατα καθώς και στην εκτίμηση της συγκέντρωσης των αερολυμάτων της ατμόσφαιρας (USGS 2015). Έχει φασματική δειγματοληψία 0.43-0.45 μm και χωρική διακριτική ικανότητα 30 m. Η ελάχιστη και μέγιστη ακτινοβολία που καταγράφει είναι στο εύρος - 62.42827 έως 755.97028 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ και ψηφιοποιείται σε 4096 τιμές φωτεινότητας. Το ελάχιστο ποσό ενέργειας που απαιτείται για να μεταβληθεί η τιμή φωτεινότητας κατά μία μονάδα (πραγματική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα) είναι ίση με

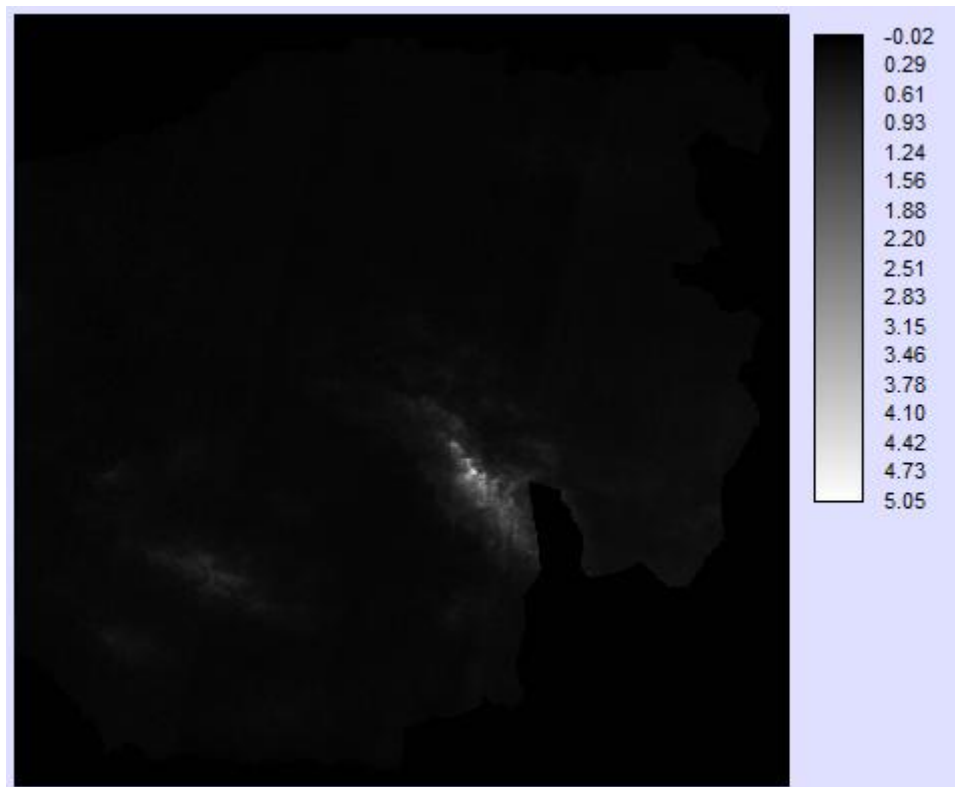
$$\frac{755.97028 + 62.42827}{4096} = 0.1998043 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$$



Σχήμα 3.6.3.1. Κανάλι 1 του Landsat 8

Το κανάλι 9 δίνει καλύτερη αντίχνευση στα cirrus σύννεφα (σύννεφα μεγάλου υψομέτρου) που δεν είναι ορατά σε άλλες ζώνες και θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ανάλυση. Τα cirrus σύννεφα εμφανίζονται φωτεινά στην εικόνα.(USGS 2015)

Το κανάλι 9 έχει φασματική δειγματοληψία με εύρος 1.36-1.38, και χωρική διακριτική ικανότητα 30 m. Η καταγραφή ελάχιστης και μέγιστης ενέργειας είναι στο διάστημα - 12.31092 έως 149.07811 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ και ψηφιοποιείται σε 4096 τιμές φωτεινότητας. Η πραγματική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα που διαθέτει ισούται με $\frac{149.07811 + 12.311092}{4096} = 0.0394016 \cdot W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$



Σχήμα 3.6.3.2 Κανάλι 9 του Landsat 8

3.6.4. Πολυφασματικές καταγραφές στο ορατό

Πολυφασματικές καταγραφές στο ορατό, (μπλε, πράσινο, κόκκινο) υπάρχουν και στους δύο δορυφόρους (USGS 2015)

Η αντιστοιχία των καναλιών ανάμεσα στους δύο δορυφόρους αποτυπώνεται στον πίνακα 3.5.2

Πίνακας 3.6.4.1 Αντιστοιχία καναλιών μεταξύ δορυφόρων Landsat 7 και Landsat 8

LANDSAT 7			LANDSAT 8		
Κανάλι 1	0.45-0.52 μm	30 m	Κανάλι 2	0.45-0.51 μm	30 m
Κανάλι 2	0.52-0.60 μm	30 m	Κανάλι 3	0.53-0.59 μm	30 m
Κανάλι 3	0.63-0.69 μm	30 m	Κανάλι 4	0.64-0.67 μm	30 m
Κανάλι 4	0.77-0.90 μm	30 m	Κανάλι 5	0.85-0.88 μm	30 m
Κανάλι 5	1.55-1.75 μm	30 m	Κανάλι 6	1.57-1.65 μm	30 m
Κανάλι 7	2.09-2.35 μm	30 m	Κανάλι 7	2.11-2.29 μm	30 m

3.6.4.1. Κανάλι 1 Landsat 7 και κανάλι 2 Landsat 8

Και στα δύο κανάλια το εύρος της φασματικής τους δειγματοληψία σε αντιστοιχία με το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα βρίσκεται στο ορατό και συγκεκριμένα στο μπλε. (εύρος μπλε 0.4-0.5 μm) .

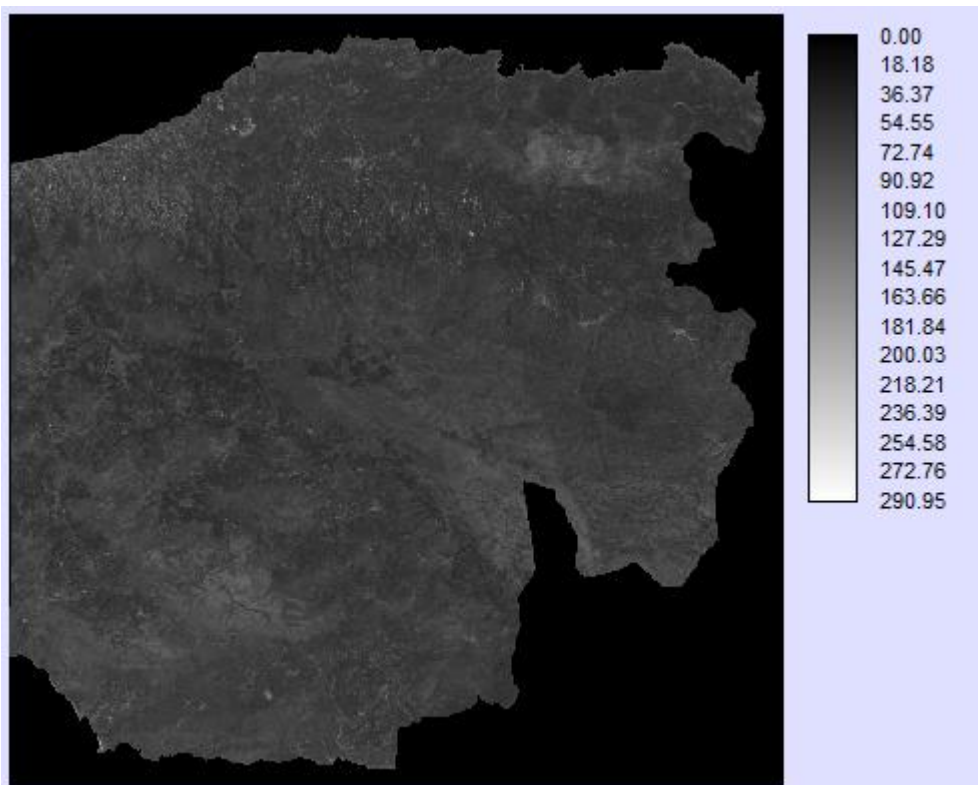
Ο Landsat 8 έχει φασματική δειγματοληψία 0.45-0.51 μm, και χωρική διακριτική ικανότητα 30 m ενώ ο Landsat 7 έχει φασματική δειγματοληψία 0.45-0.52 μm, και χωρική διακριτική ικανότητα 30m.

Η ελάχιστη και μέγιστη ενέργεια που καταγράφεται στο Landsat 7 είναι στο εύρος από -6.200 έως 191.600 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ και ψηφιοποιείται σε 256 τιμές φωτεινότητας. Άρα το ελάχιστο ποσό ενέργειας που απαιτείται για να μεταβληθεί η τιμή φωτεινότητας κατά μία μονάδα (πραγματική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα) ισούται με $\frac{191.600 + 6.200}{256} = 0.7726562$ $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$

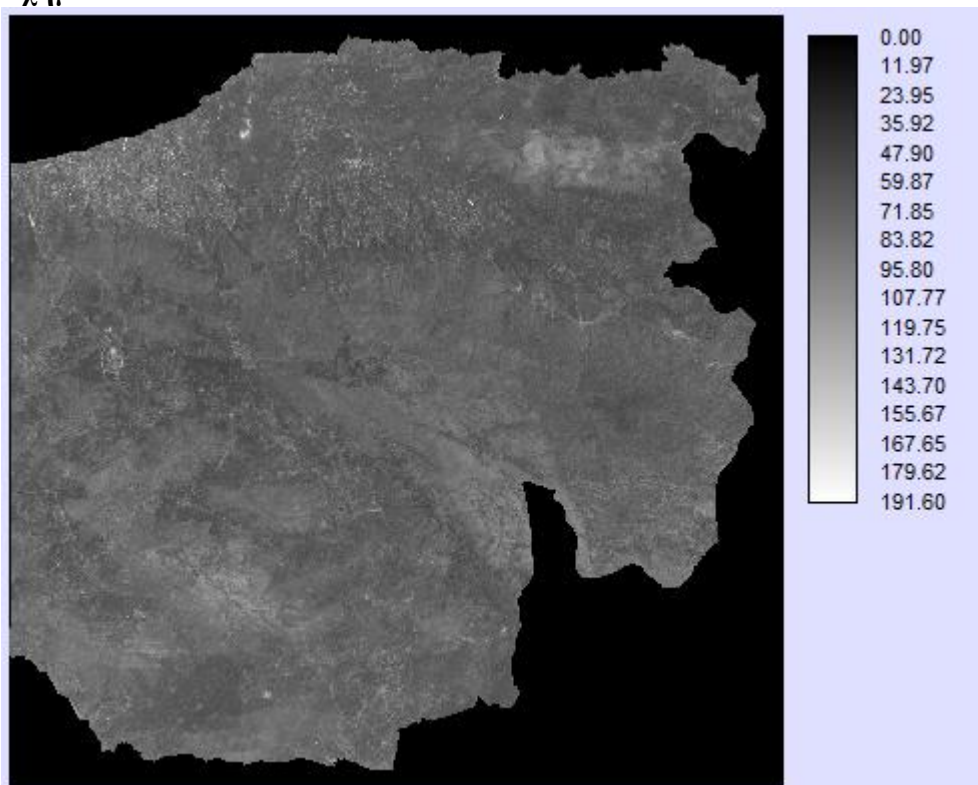
Η ελάχιστη και μέγιστη ενέργεια που καταγράφεται στο Landsat 8 είναι στο εύρος από -63.66041 έως 770.89075 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ και ψηφιοποιείται σε 4096 τιμές φωτεινότητας. Άρα το ελάχιστο ποσό ενέργειας που απαιτείται για να μεταβληθεί η τιμή φωτεινότητας κατά μία μονάδα (πραγματική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα) ισούται με $\frac{770.89075 + 63.66041}{4096} = 0.2037478$ $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$

Άρα ο Landsat 8 στο μπλε κανάλι έχει πολύ μεγαλύτερη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα και αναμένεται να καταγράφει πολύ μικρότερες διαφοροποιήσεις της ενέργειας στην επιφάνεια της γης στο εύρος λειτουργίας του καναλιού.

Οι εφαρμογές του καναλιού είναι για την βαθυμετρική χαρτογράφηση των νερών λόγω ικανότητας διείσδυσης στο νερό. Στην διάκριση του γυμνού εδάφους από την βλάστηση, στον διαχωρισμό μεταξύ των ειδών φυτοκάλυψης όπως μεταξύ φυλλοβόλων και κωνοφόρων δέντρων. Παράλληλα χρησιμοποιείται στον εντοπισμό ανθρωπογενών κατασκευών.



Σχήμα 3.6.4.1.1 Κανάλι 2 του Landsat 8



Σχήμα 3.6.4.1.2 Κανάλι 1 του Landsat 7

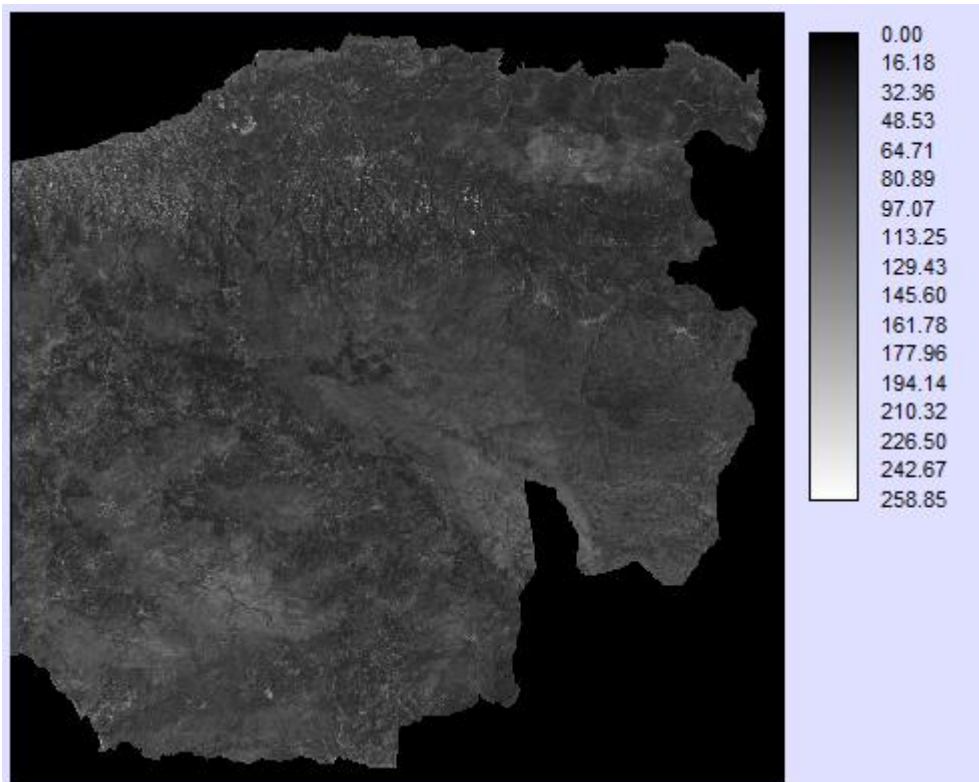
3.6.4.2 Κανάλι 2 Landsat 7 και κανάλι 3 Landsat 8

Και στα δύο κανάλια το εύρος της φασματικής τους δειγματοληψία αντιστοιχεί στο ορατό φάσμα στο πράσινο. (εύρος πράσινο 0.5-0.6 μm)

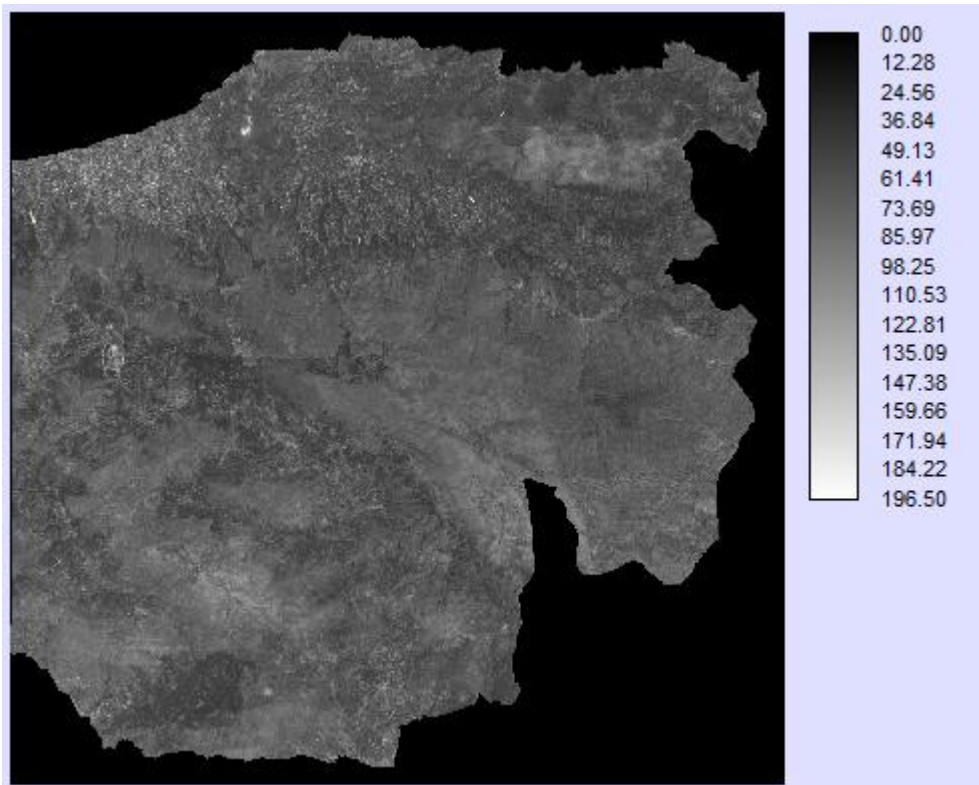
Ο Landsat 8 έχει φασματική δειγματοληψία 0.53-0.59 μm , και χωρική διακριτική ικανότητα 30 m ενώ ο Landsat 7 έχει φασματική δειγματοληψία 0.52-0.60 μm , και οι δύο διαθέτουν χωρική διακριτική ικανότητα 30m.

Η πραγματική ραδιομετρική ικανότητα του Landsat 8 στο κανάλι ισούται με $\frac{705.87585 + 58.29146}{4096} = 0.1865642 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ και στον Landsat 7 ισούται με $\frac{(196.500 + 6.400)}{256} = 0.7871093 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$

Στο εύρος του μήκους κύματος των δύο καναλιών παρατηρείται το μέγιστο της ανάκλασης της φασματικής υπογραφής της βλάστησης. Το χαρακτηριστικό αυτό χρησιμοποιείται για την διάκριση ειδών βλάστησης, παράλληλα βοηθά στην εκτίμηση της υγείας των φυτών.



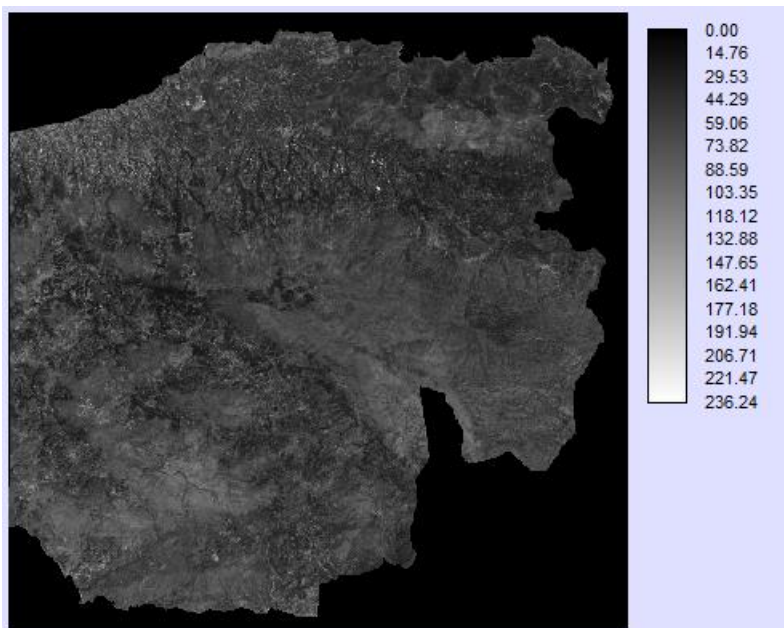
Σχήμα 3.6.4.2.1 Κανάλι 3 του Landsat 8



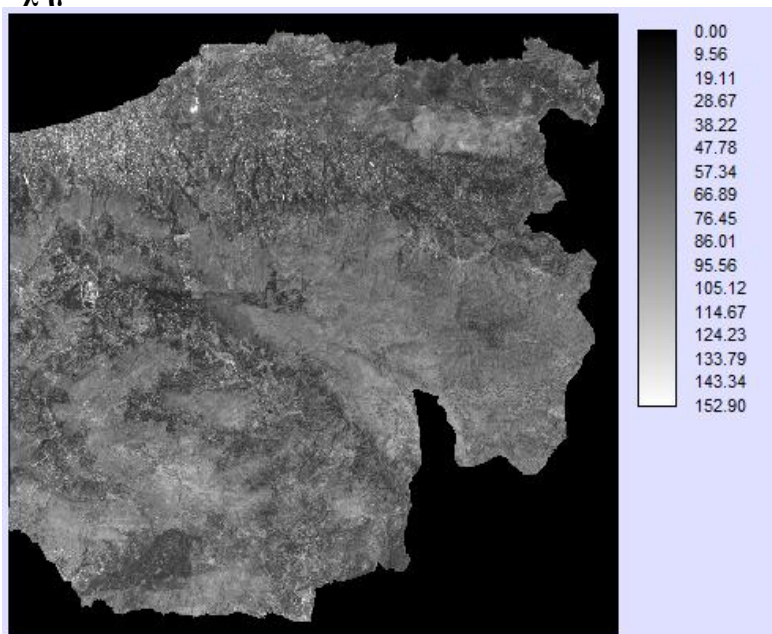
Σχήμα 3.6.4.2.2 Κανάλι 2 του Landsat 7

3.6.4.3 Κανάλι 3 Landsat 7 και κανάλι 4 Landsat 8

Και στα δύο κανάλια το εύρος της φασματικής τους δειγματοληψία αντιστοιχεί στο ορατό φάσμα στο κόκκινο. (εύρος κόκκινο 0.6-0.7 μm). Ο Landsat 8 έχει φασματική δειγματοληψία 0.64-0.67 μm και ο Landsat 7, 0.63-0.69 μm . Η χωρική διακριτική ικανότητα είναι 30 m και στους δύο δορυφόρους. Ο Landsat 8 διαθέτει πραγματική ραδιομετρική ικανότητα ίση με $(597.83362 + 49.36930/4096 = 0.1580085 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ και ο Landsat 7 ίση με $\frac{(152.900 + 5.000)}{256} = 0.6167968 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$. Σε αυτό το εύρος μήκους κύματος παρατηρείται η μέγιστη απορρόφηση της χλωροφύλλης. Το κανάλι χρησιμοποιείται για την διάκριση διαφορετικών ειδών βλάστησης και ανθρωπογενών κατασκευών.



Σχήμα 3.6.4.3.1 Κανάλι 4 του Landsat 8



Σχήμα 3.6.4.3.2 Κανάλι 3 του Landsat 7

3.6.5. Πολυφασματικές καταγραφές στο εγγύς και μέσο υπέρυθρο

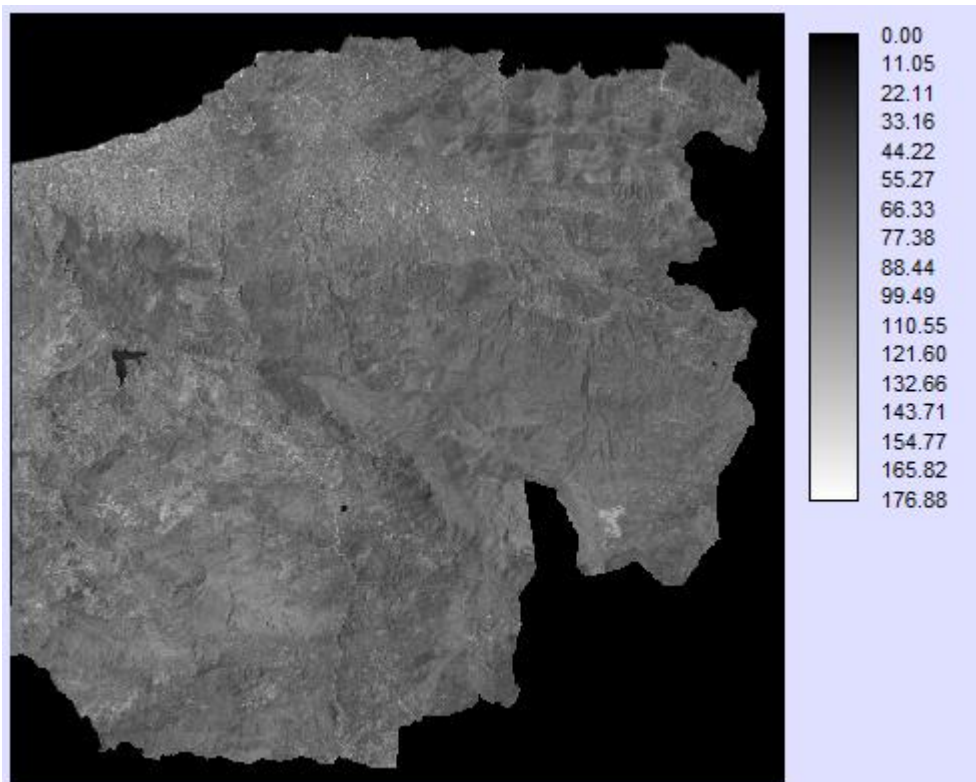
Πολυφασματικές ορατό, εγγύς και μέσο υπέρυθρο, που υπάρχουν και στους δύο δορυφόρους (USGS 2015)

3.6.5.1 Κανάλι 4 Landsat 7 και κανάλι 5 Landsat 8 (Near Infrared)

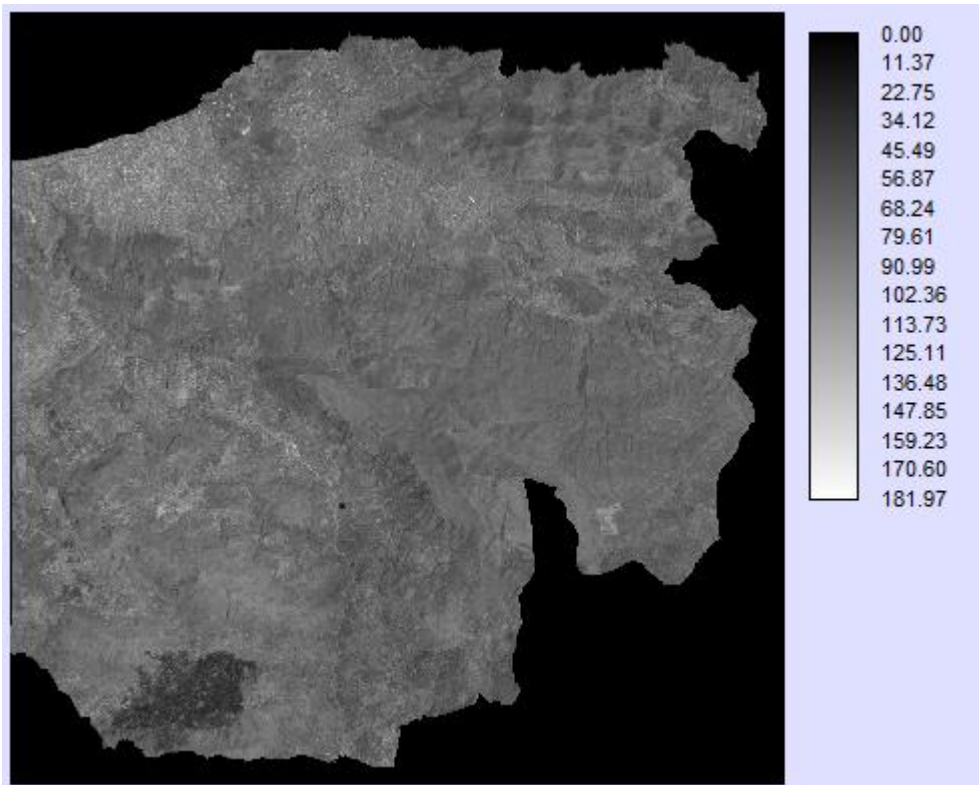
Το εύρος του φασματικού καναλιού αντιστοιχεί στο εγγύς υπέρυθρο (0.72-1.3μm) που μαζί με το μέσο υπέρυθρο αποτελούν το ανακλώμενο υπέρυθρο. Ο Landsat 8 έχει φασματική δειγματοληψία 0.85-0.88 μm και ο Landsat 7, 0.77-0.90μm. Η χωρική διακριτική ικανότητα είναι 30 m και στους δύο δορυφόρους.

Ο Landsat 8 διαθέτει πραγματική ραδιομετρική ικανότητα ίση με $\frac{362.77213 + 29.95784}{4096} = 0.0958813 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ και ο Landsat 7 ίση με $\frac{(241.100 + 5.100)}{256} = 0.9617187 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$

Το κανάλι χρησιμεύει για τον προσδιορισμό ειδών βλάστησης, την περιεχόμενη βιομάζα, για διάκριση υδάτινων επιφανειών, για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας του εδάφους.



Σχήμα 3.6.5.1.1 Κανάλι 5 του Landsat 8



Σχήμα 3.6.5.1.2 Κανάλι 4 του Landsat 7

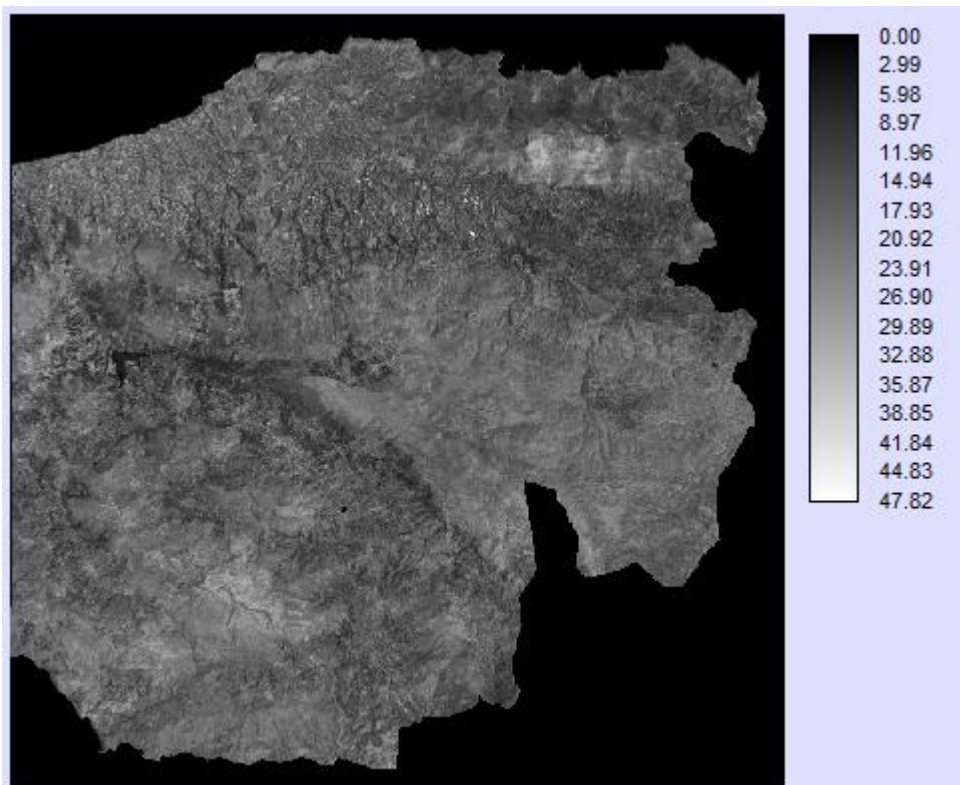
3.6.5.2 Κανάλι 5 Landsat 7 και κανάλι 6 Landsat 8 (S.W.I.R.)

Ο Landsat 8 έχει φασματική δειγματοληψία 1.57-1.65 μm , ενώ ο Landsat 7 έχει φασματική δειγματοληψία 1.55-1.75 μm , και οι δύο διαθέτουν χωρική διακριτική ικανότητα 30m.

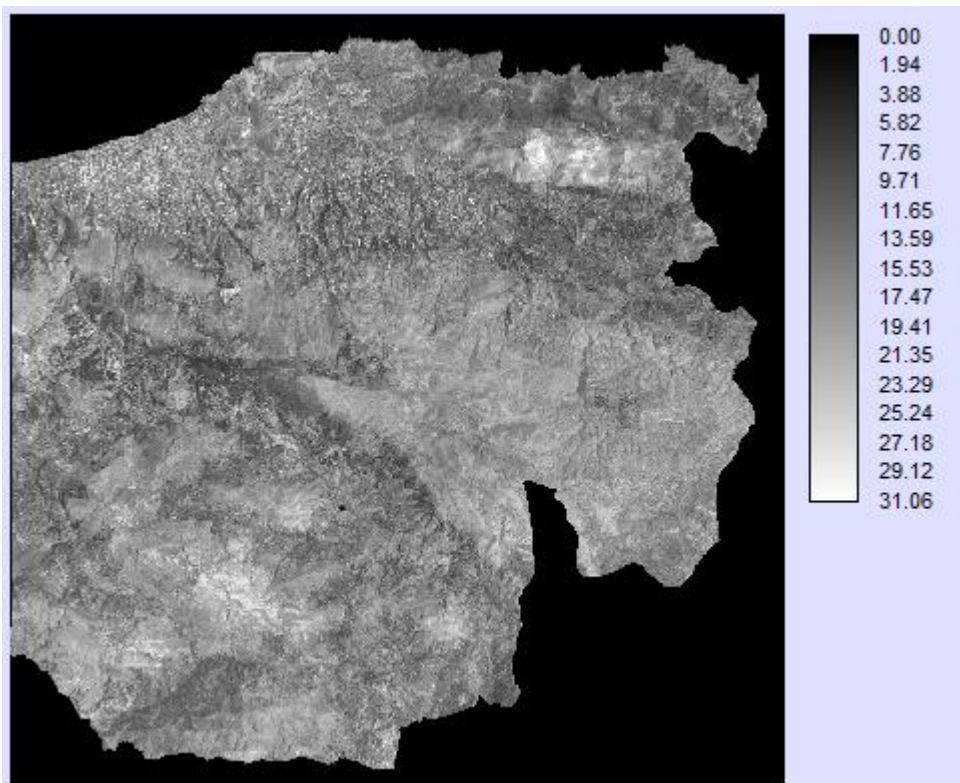
Η πραγματική ραδιομετρική ικανότητα του Landsat 8 στο κανάλι ισούται με $\frac{91.40046 + 7.54788}{4096} = 0.0241573 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$

και στον Landsat 7 ισούται με $\frac{(31.060 + 1.000)}{256} = 0.1252343 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$

Το κανάλι χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των φυτών σε υγρασία, της υγρασίας του εδάφους, και στον διαχωρισμό νεφών από επιφάνειες με χιόνι.



Σχήμα 3.6.5.2.1 Κανάλι 6 του Landsat 8



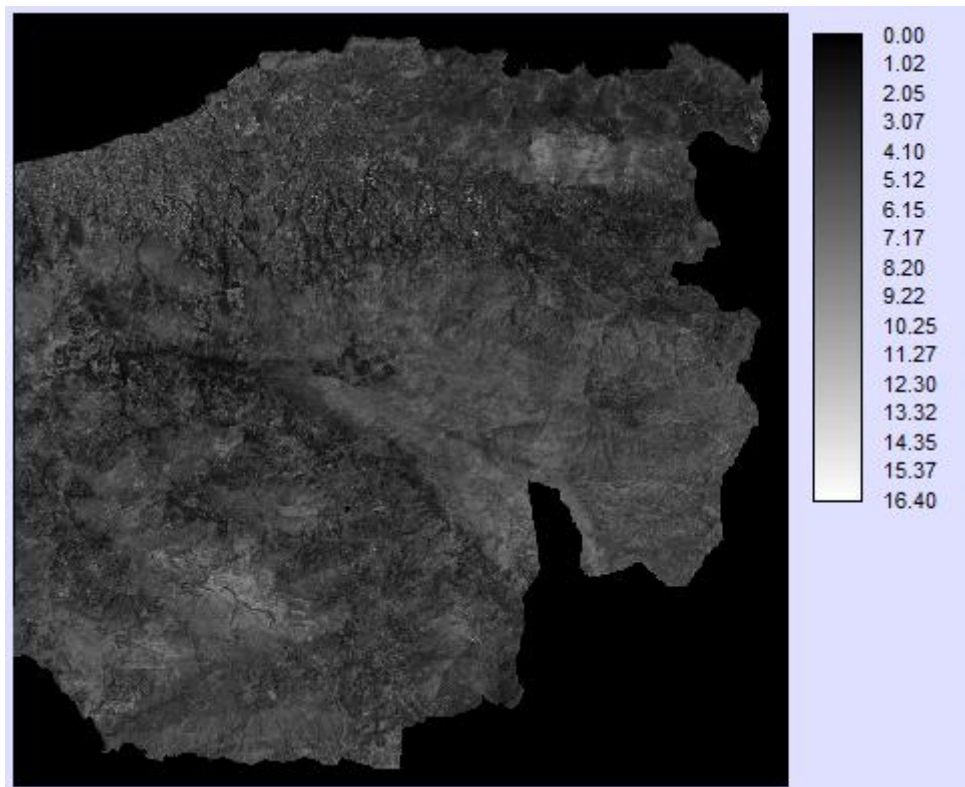
Σχήμα 3.6.5.2.1. Κανάλι 5 του Landsat 8

3.6.5.3 Κανάλι 7 Landsat 7 - κανάλι 7 Landsat 8

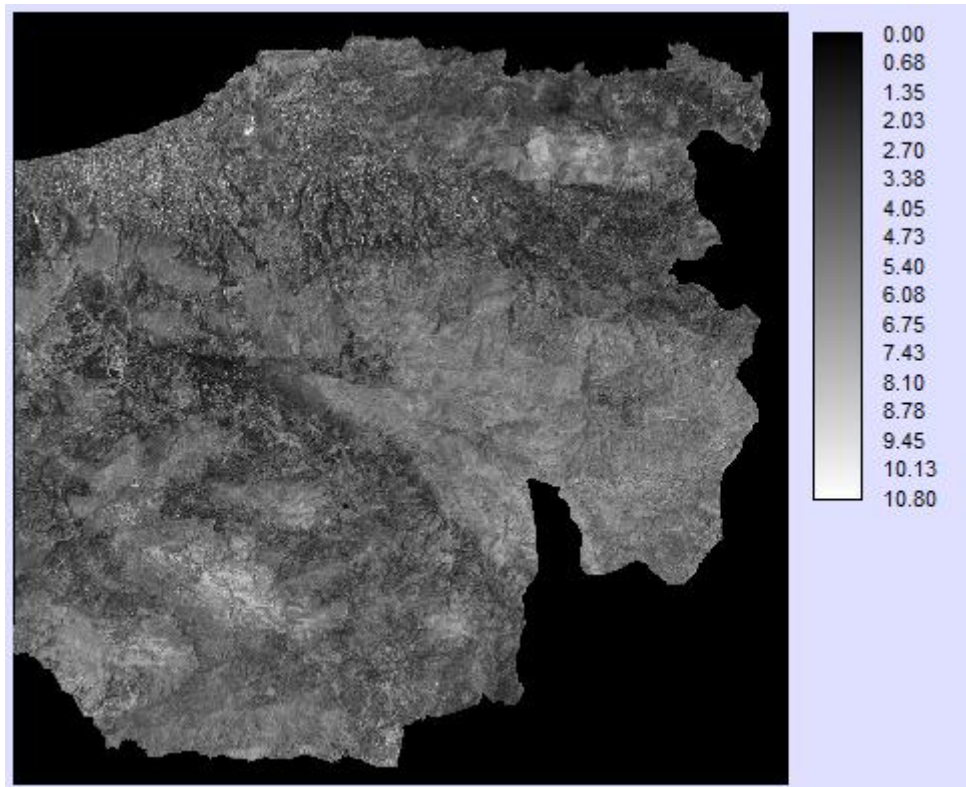
Ο Landsat 8 έχει φασματική δειγματοληψία 2.11-2.29 μm , ενώ ο Landsat 7 έχει φασματική δειγματοληψία 2.09-2.35 μm , και οι δύο διαθέτουν χωρική διακριτική ικανότητα 30 m.

Η πραγματική ραδιομετρική ικανότητα του Landsat 8 στο κανάλι ισούται με $\frac{29.73240 + 2.45531}{4096} = 0.0078583 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ και στον Landsat 7 ισούται με $\frac{10.800 + 0.350}{256} = 0.0435546 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$

Χρησιμοποιείται για την διάκριση ορυκτών και πετρωμάτων. Στον Landsat 8 το κανάλι διαθέτει βελτιωμένη ικανότητα ανίχνευσης στην περιεκτικότητα υγρασίας στο έδαφος και στην βλάστηση, καθώς επίσης επιδεικνύει λεπτή διείσδυση στο σύννεφο.



Σχήμα 3.6.5.3.1 Κανάλι 7 Landsat 8



Σχήμα 3.6.5.3.2 Κανάλι 7 του Landsat 7

3.7. Ψηφιακές επεξεργασίες

Έγινε ραδιομετρική διόρθωση των 2 εικόνων στο λογισμικό ENVI προκειμένου να ληφθεί υπόψη η επίδραση της ατμόσφαιρας και η εποχική αλλαγή αφού υπήρχαν μικρές διαφοροποιήσεις στο ύψος και το αζιμούθιο του ηλίου (Πινάκας 3.71.). Διαχρονικές μεταβολές στις καλύψεις γης λήφθηκαν υπόψη αφού επιλέχτηκαν περιοχές σύγκρισης στις οποίες η κάλυψη γης δεν έχει μεταβληθεί.

Πίνακας 3.7.1. Στοιχεία λήψης των εικόνων

Landsat 8	Landsat 7
DATE_ACQUIRED = 2013-06-26	ACQUISITION_DATE = 2000-07-09
SUN_AZIMUTH = 118.61	SUN_AZIMUTH = 113.01
SUN_ELEVATION = 67.85	SUN_ELEVATION = 65.127

3.7.1 Βελτιωμένη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (εφαρμογή στο κόκκινο L7/L8)

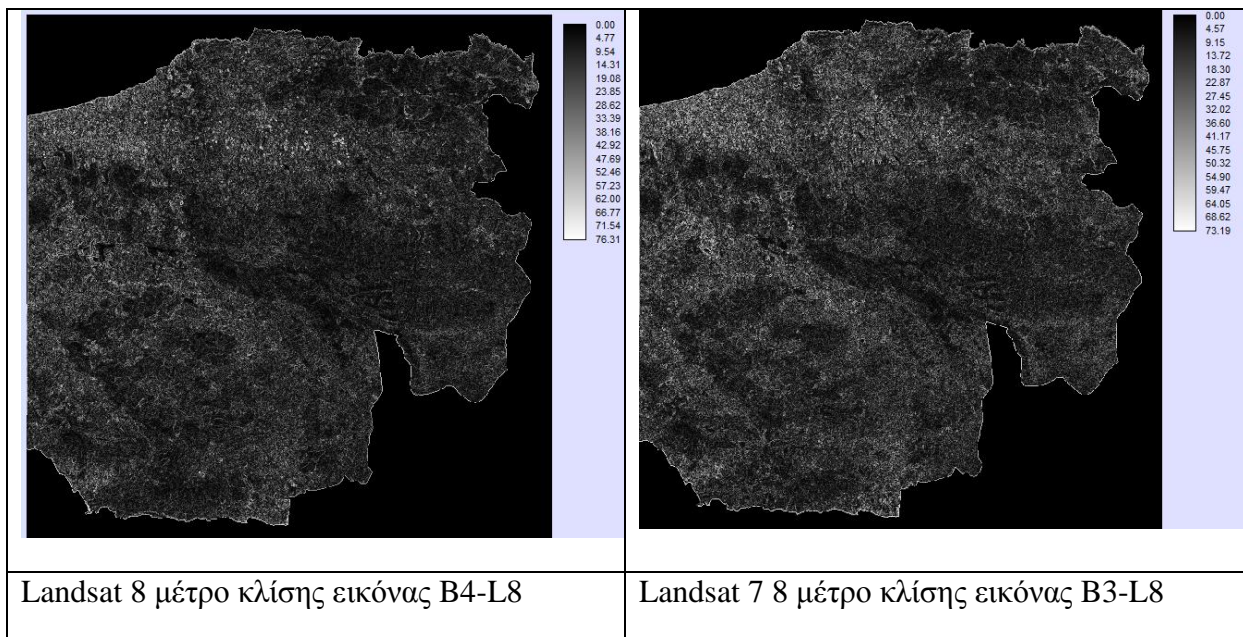
Έγινε αξιολόγηση της επίδρασης της βελτιωμένης ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας στο Κόκκινο επειδή η φασματική δειγματοληψία στους δυο δορυφόρους (B4-L8, B3-L7) έχει παραμείνει σταθερή για αυτή την φασματική ζώνη (Πίνακας 3.7.1.1, 3.7.1.2).

Πίνακας 3.7.1.1. Φασματική δειγματοληψία στο κόκκινο

Spectral domain	Landsat 8		Landsat 7	
	Band	Spectral range	Band	Spectral range
Red	4	0.630 – 0.680	3	0.63-0.69

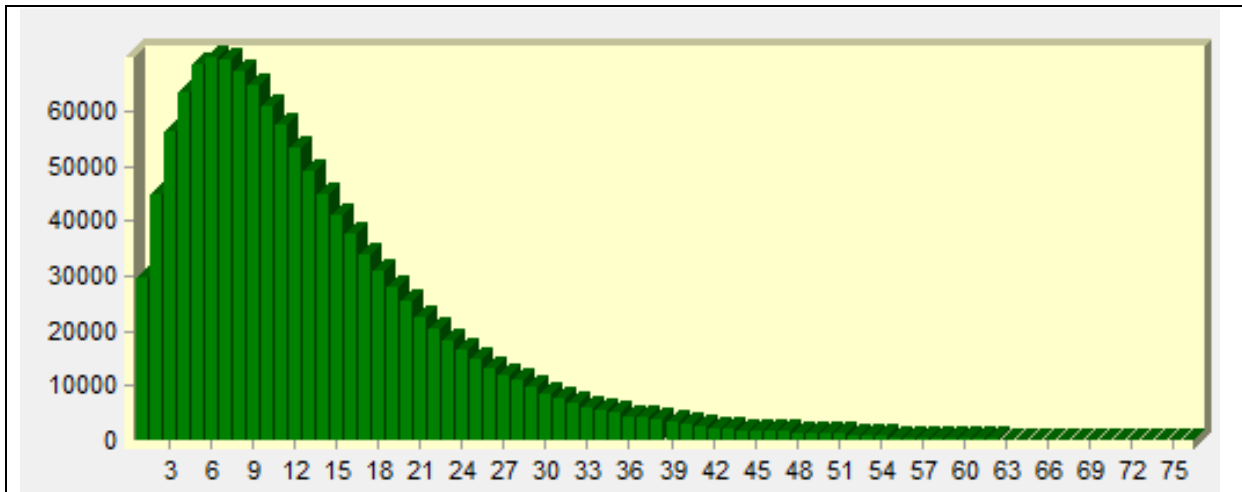
Πίνακας 3.7.1.2 Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα στο κόκκινο

Spectral domain	Landsat 8 (L8)		Landsat 7 (L7)		Λόγος L7/L8
	Band	Ραδιομετρική Ικανότητα $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	Band	Ραδιομετρική Ικανότητα $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	
Red	4	0.1580	3	0.6167	3.90

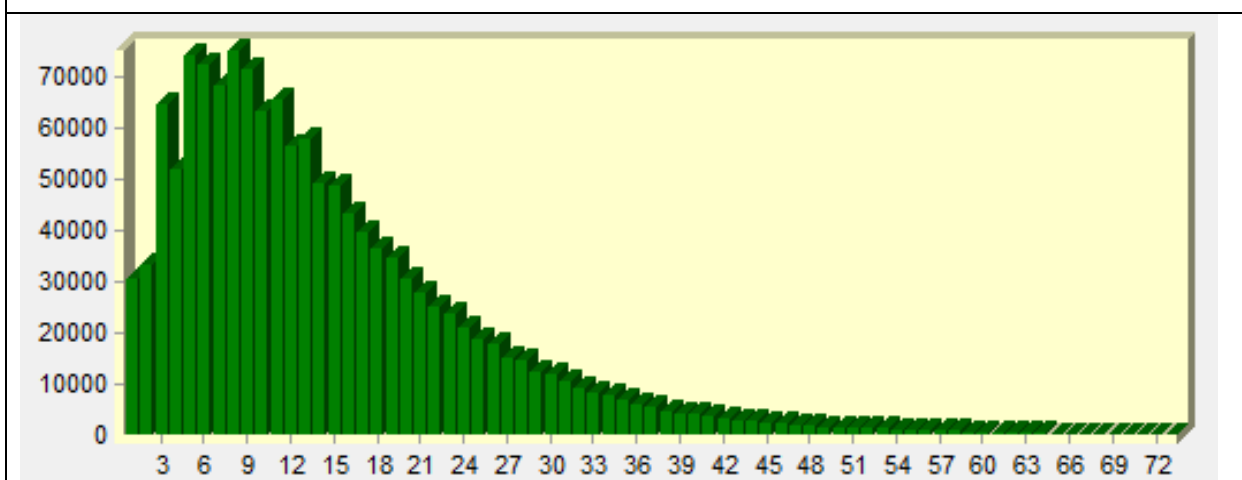


Σχήμα 3.7.1.1. Εικόνες κλίσης

Η επίδραση της διαφορετικής ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας στις δυο εικόνες απεικονίζεται στα ιστογράμματα συχνότητας της κλίσης (Σχήμα 3.7.1.1), σαν διαδοχικά peaks που έχουν σταθερό βήμα. Το φαινόμενο είναι αντίστοιχο με την επίδραση της ισοδιάστασης των ισοϋψών καμπυλών στα ιστογράμματα συχνότητας των ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων όπως έχει τεκμηριωθεί από τον Miliareisis (2001).



Σχήμα 3.7.1.2. Ιστόγραμμα συχνότητας της κλίσης για την εικόνα B4-L8

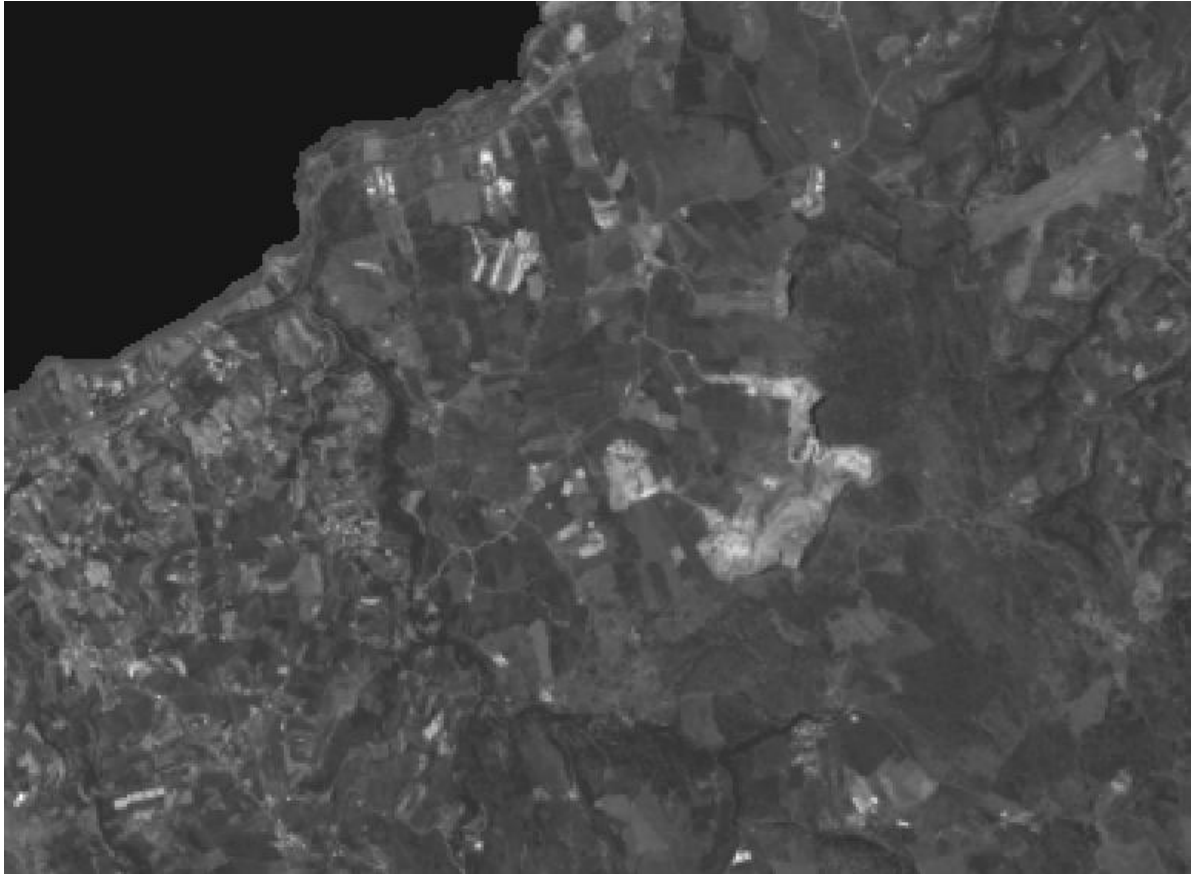


Σχήμα 3.7.1.3. Ιστόγραμμα συχνότητας της κλίσης για την εικόνα B3-L7

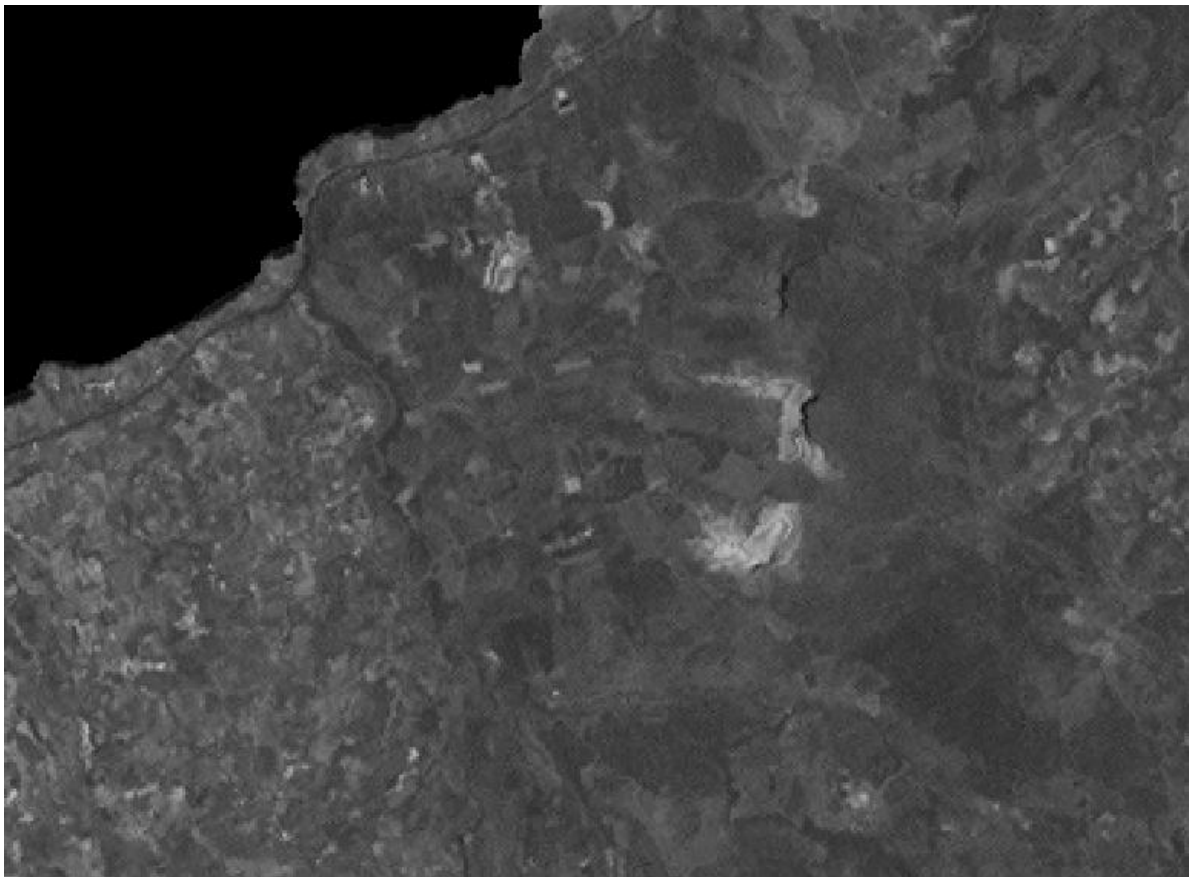
Στην εικόνα με την μεγαλύτερη ραδιομετρική ικανότητα τα διαστήματα (τμηματοποίηση) ιστογράμματος είναι πού μικρότερα από την εικόνα που έχεις 4 φορές περίπου μικρότερη διακριτική ικανότητα (Σχήμα 3.7.1.3).

3.7.2. Σύγκριση παγχρωματικών εικόνων (L7/L8)

Η σύγκριση των δυο εικόνων θα γίνει στην βόρειο παράκτιο τμήμα σε επιλεγμένη περιοχή, εξ αιτίας της χαμηλής νέφωσης που εντοπίστηκε στο cirrus detection κανάλι της L8.



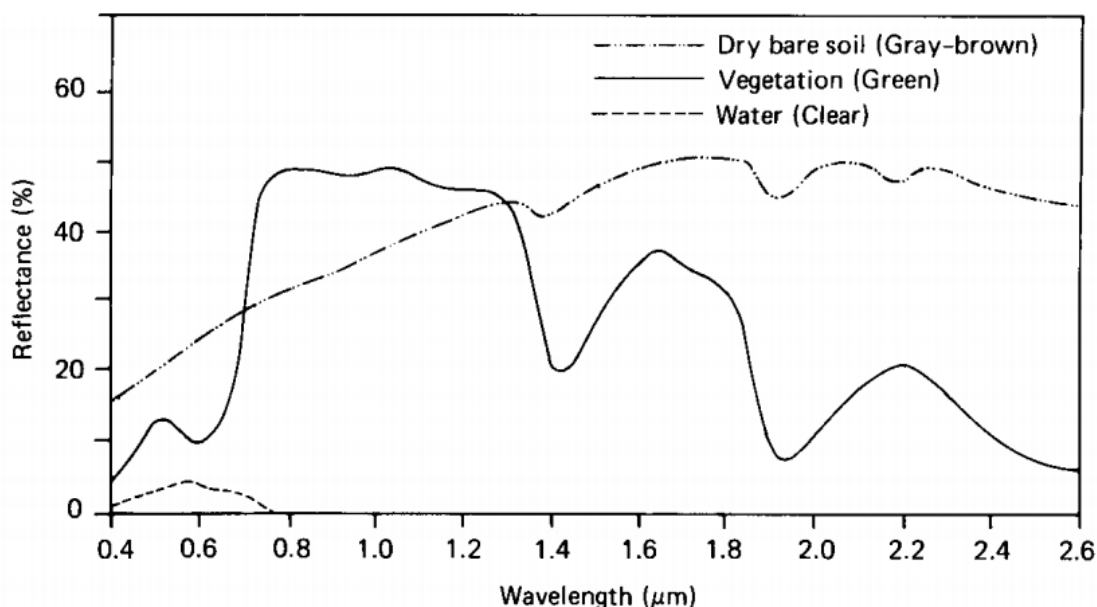
Σχήμα 3.7.2.1 Η παγχρωματική εικόνα L8 στην επιλεγμένη περιοχή



Σχήμα 3.7.2.2 Η παγχρωματική εικόνα L7 στην επιλεγμένη περιοχή

Πίνακας 3.7.2.1 Φασματική δειγματοληψία παγχρωματικού

Landsat 8		Landsat 7	
Band	Spectral range	Band	Spectral range
8	0.500 – 0.680	8	52-.90



Σχήμα 3.7.2.3. Φασματικές υπογραφές βασικών καλύψεων γης

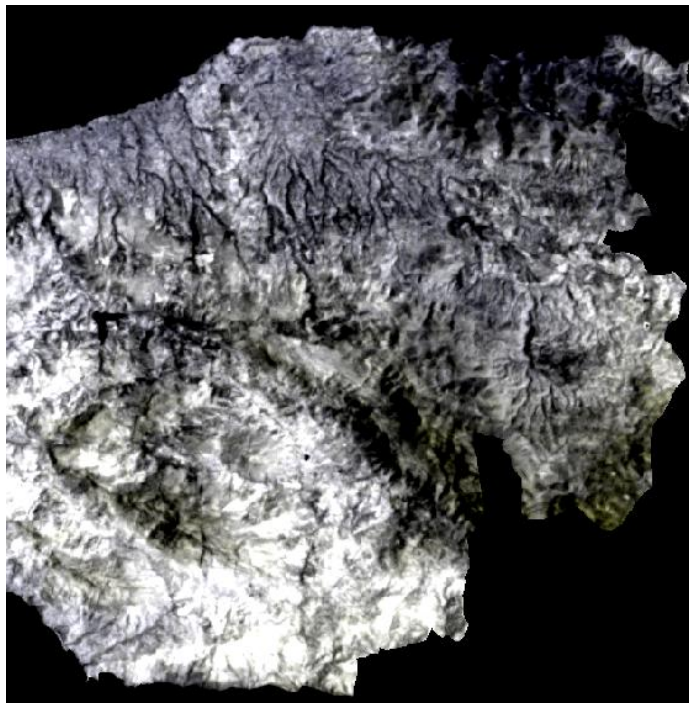
Στις εικόνες 3.7.2.1 και 3.7.2.2. παρατηρείται ότι η L8 μας δίνει την δυνατότητα για καλύτερη φωτοερμηνεία των διαφορών μεταξύ των καλύψεων γης. Η ερμηνεία που δίνεται βασίζεται στο Σχήμα 3.7.2.3 και στον Πίνακα 3.7.2.1. Δηλαδή το εύρος του παγχρωματικού καναλιού στο L7 περιλαμβάνει στην φασματική ζώνη 0.55 έως 0.90 μm μέσα στην οποία και μετά το μήκος κύματος 0.68 μm, η διαφορά στην ανακλαστικότητα μεταξύ βλάστησης και γυμνού εδάφους αντιστρέφεται με αποτέλεσμα να εξισορροπείται η συνολική ανακλαστικότητα που καταγράφεται μεταξύ των δυο καλύψεων γης. Αντίθετα στον L8 στο παγχρωματικό η καταγραφή περιλαμβάνει μέγιστο εύρος από 0,50 μέχρι το 0.68 μm στην οποία εξολοκλήρου το γυμνό έδαφος ανακλά περισσότερο από την βλάστηση για αυτό και η θεματική διακριτική ικανότητα στο παγχρωματικού του L8 είναι κατά πολύ βελτιωμένη.

3.7.3 Σύγκριση των δυο θερμικών εικόνων του L8

Ο L8 περιλαμβάνει δύο θερμικά κανάλια όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.7.3.1. Το ερώτημα που τίθεται, αφορά αν διαφοροποιούνται οι καταγραφές στις δύο φασματικές ζώνες.

Πίνακα 3.7.3.1. Φασματική δειγματοληψία των θερμικών καναλιών του L8.

L8: TIR (μm)	10	10.3 – 11.3
	11	11.5 – 12.5



Σχήμα 3.7.3.1. Έγχρωμο σύνθετο στο οποίο το κανάλι 10 αντιστοιχεί στο μπλε, ενώ το κανάλι 11 έχει αντιστοιχηθεί στο πράσινο και κόκκινο.

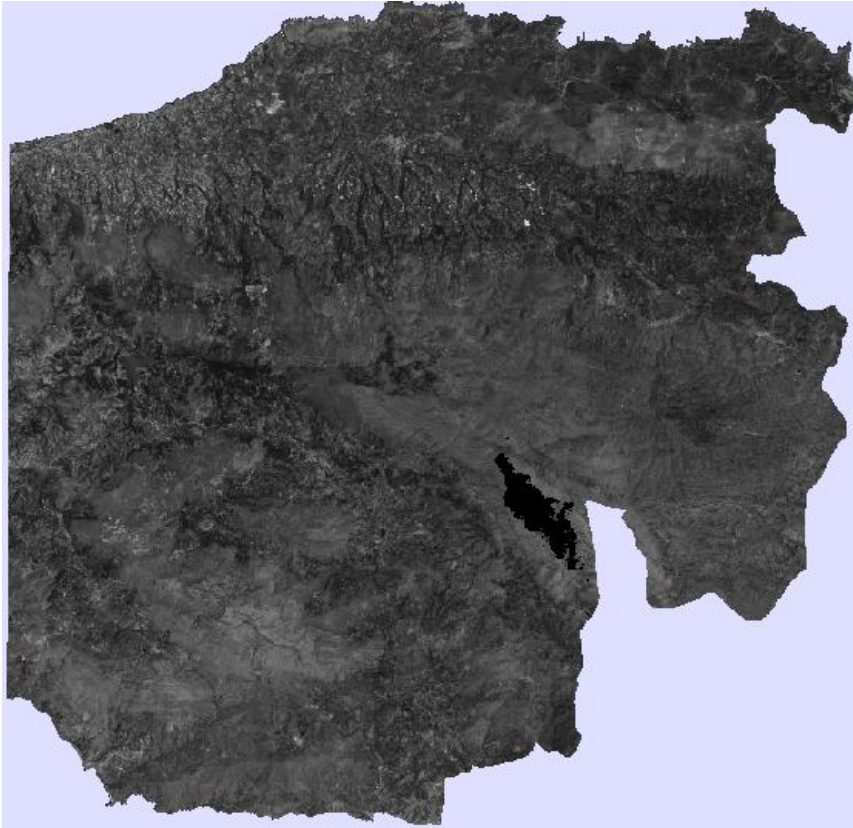
Το ερώτημα θα απαντηθεί με ένα έγχρωμο σύνθετο (Σχήμα 3.7.3.1) στο οποίο το κανάλι 11 αντιστοιχεί στο μπλε, ενώ το κανάλι 11 έχει αντιστοιχηθεί στο πράσινο και κόκκινο άρα θα εμφανίζεται με κίτρινες διαβαθμίσεις αν η ανακλαστικότητα στο μπλε είναι μηδέν.

Συμπεραίνουμε ότι με βάση το Σχήμα 3.7.3.1. υπάρχει διαφορετική απόκριση στα κανάλια 10 και 11 του L8. Άρα αυτό προσφέρει σημαντικό πλεονέκτημα στην χαρτογράφηση καλύψεων γης που παρουσιάζουν διαφορετική απόκριση στις φασματικές ζώνες του άπω υπέρυθρου.

3.7.4 Αξιολόγηση Cirrus band (L8)

Το κανάλι 9 του L8 έχει φασματική δειγματοληψία στο εύρος 1.360 – 1.390 μm και είναι θέση να εντοπίσει τα νέφη Cirrus που παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ανακλαστικότητα σε αυτή την φασματική ζώνη. Θα αξιολογηθεί η ικανότητα εντοπισμού νεφών Cirrus στην περιοχή μελέτης.

Στην προκειμένη περίπτωση εφαρμόζεται thresholding στο κανάλι 9 με επιλογή των εικονοστοιχείων που παρουσιάζουν ανακλαστικότητα μεγαλύτερη από 1.3. Το αποτέλεσμα (μαύρα εικονοστοιχεία) εμφανίζεται σε υπέρθεση στο κανάλι 1 (Σχήμα 3.7.4.1).



Σχήμα 3.7.4.1. Thresholding του καναλιού 9 και εμφάνιση των εντοπισθέντων Cirrus clouds (μαύρα εικονοστοιχεία) σε υπέρθεση στο κανάλι 1.

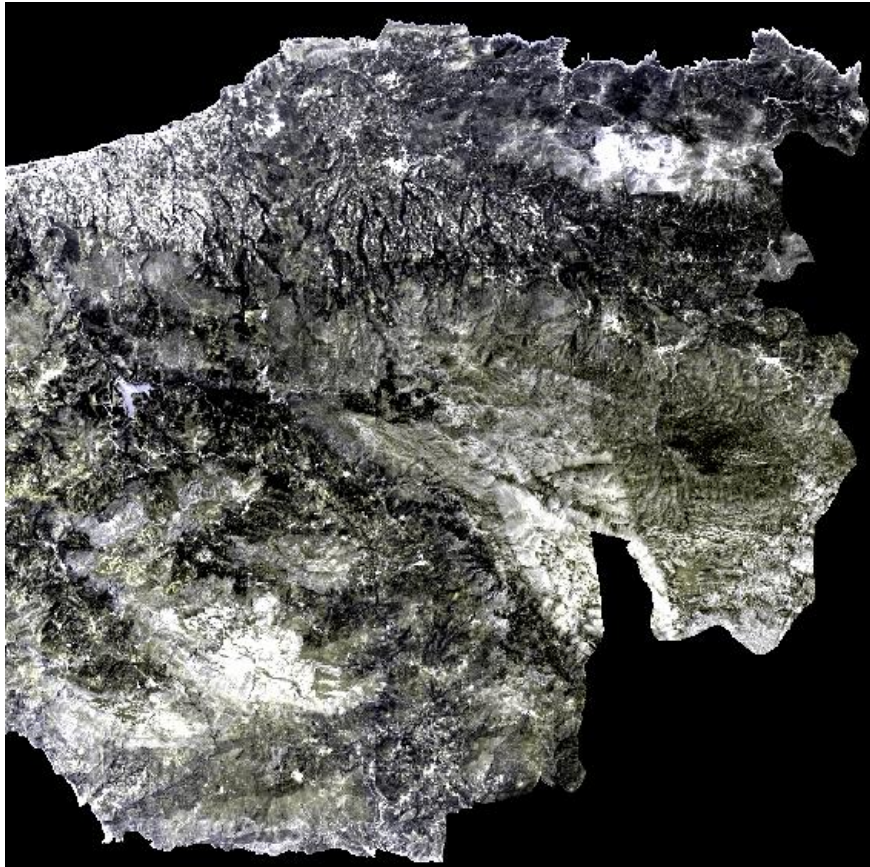
3.7.5 Αξιολόγηση Coastal aerosol band ως προς το μπλε κανάλι (L8)

Τα δυο κανάλια B1 (coastal aerosol band) και B2 (μπλε) στον δορυφόρο L8 παρουσιάζουν την φασματική δειγματοληψία και την ραδιομετρική διακριτική ικανότητα που δίνονται στον Πίνακα 3.7.5.1. Το ερώτημα που τίθεται, αφορά αν διαφοροποιούνται οι καταγραφές στις δύο φασματικές ζώνες.

Πίνακας 3.7.5.1 Σύγκριση καναλιών B1 και B2 του L8

Spectral domain	Landsat 8		
	Band	Spectral range	Ραδιομετρική Ικανότητα $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Coastal aerosol	1	0.433 - 0.453	0.19980
Blue	2	0.450 – 0.515	0.20374

Το ερώτημα θα απαντηθεί με ένα έγχρωμο σύνθετο (Σχήμα 3.7.5.1) στο οποίο το κανάλι 1 αντιστοιχεί στο μπλε, ενώ το κανάλι 2 έχει αντιστοιχηθεί στο πράσινο και κόκκινο άρα θα εμφανίζεται με κίτρινες διαβαθμίσεις αν η ανακλαστικότητα στο μπλε είναι μηδέν.



Σχήμα 3.7.5.1. Έγχρωμο σύνθετο στο οποίο το κανάλι 1 αντιστοιχεί στο μπλε, ενώ το κανάλι 2 έχει αντιστοιχηθεί στο πράσινο και κόκκινο.

Συμπεραίνουμε ότι με βάση το Σχήμα 3.7.5.1. υπάρχει διαφορετική απόκριση στα κανάλια 1 και 2 του L8. Άρα αυτό προσφέρει σημαντικό πλεονέκτημα στην χαρτογράφηση καλύψεων γης που παρουσιάζουν διαφορετική απόκριση στις φασματικές ζώνες του άπω υπέρυθρου. Η φωτοερμηνεία της εικόνας 3.7.5.1. υποδηλώνει ότι οι διαφοροποιήσεις στην ανακλαστικότητα μεταξύ των 2 καναλιών έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις δασικές και αγροτικές περιοχές ενώ η ανακλαστικότητα στις αστικές περιοχές και στις ζώνες με γυμνό έδαφος είναι σχεδόν ταυτόσημη στο B1 και B2 του L8.

3.7.6 Αξιολόγηση της διαφορετικής χωρική διακριτικής ικανότητας στο θερμικό (L7/L8)

Ο αισθητήρας TIRS του Landsat 8 έχει την δυνατότητα συλλογής στοιχείων σε δύο πιο στενές φασματικές ζώνες στην θερμική περιοχή, που στους προγενέστερους δορυφόρους (Landsat 7) καλύπτονταν από μία ευρεία φασματική ζώνη (Πίνακας 3.7.6.1). Ο Landsat 7 έχει δύο καταγραφές στο θερμικό κανάλι που έχουν την ίδια φασματική δειγματοληψία (η καταγραφή γίνεται στο εύρος 10.40 -12.50 μm) αλλά διαφορετική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα. Η μία καταγράφεται σε low gain (χαμηλή ραδιομετρική διακριτική ικανότητα) και η άλλη σε high gain (υψηλή ραδιομετρική διακριτική ικανότητα). Αντίθετα ο Landsat 8 χωρίζει το φασματικό εύρος 10.40 -12.50 μm σε δυο κανάλια όμως οι θερμικές εικόνες του Landsat 8 έχουν μικρότερη χωρική διακριτική ικανότητα (100 μέτρα) από τις θερμικές καταγραφές του Landsat 7 (60 μέτρα).

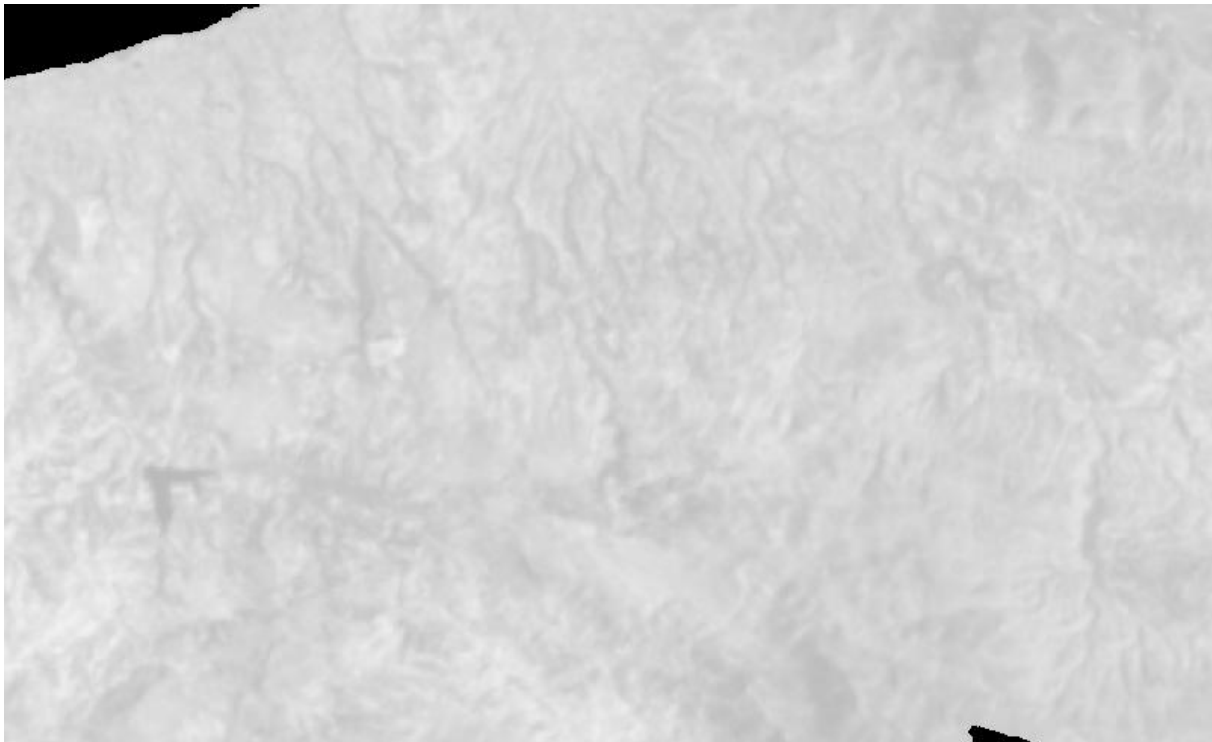
Πίνακας 3.7.6.1. Φασματική δειγματοληψία στην θερμική φασματική ζώνη L7 και L8

	band	L8	band	L7
TIR	10	10.3 – 11.3	6.1, 6.2	10.40-12.50
	11	11.5 – 12.5	--	-

Ο διαχωρισμός σε δυο φασματικές ζώνες του εύρους καταγραφής στο θερμικό για τον L8 αποδείχτηκε στα προηγούμενα κεφάλαια ότι συνθέτει θερμικές εικόνες στις οποίες διαφοροποιείται η θερμική απόκριση σαν συνάρτηση της κάλυψης γης. Σε αυτή την ενότητα

θα συγκριθεί με φωτοερμηνεία η επίδραση που έχει η μικρότερη χωρική διακριτική ικανότητα στον L8. Για αυτό το λόγο θα γίνει σύγκριση των θερμικών εικόνων B10 του L8 και B6.2 του L7 σε κοινή περιοχή (Σχήματα 3.7.6.1 και 3.7.6.2).

Η φωτοερμηνεία υποδεικνύει ότι παρόλο που η εικόνα B10 του L8 παρουσιάζει μεγαλύτερη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα από την B6.2 του L7, έχει σημαντικά μικρότερη χωρική διακριτική ικανότητα όπως προκύπτει από την ερμηνεία των αντικειμένων του υδρογραφικού δικτύου.



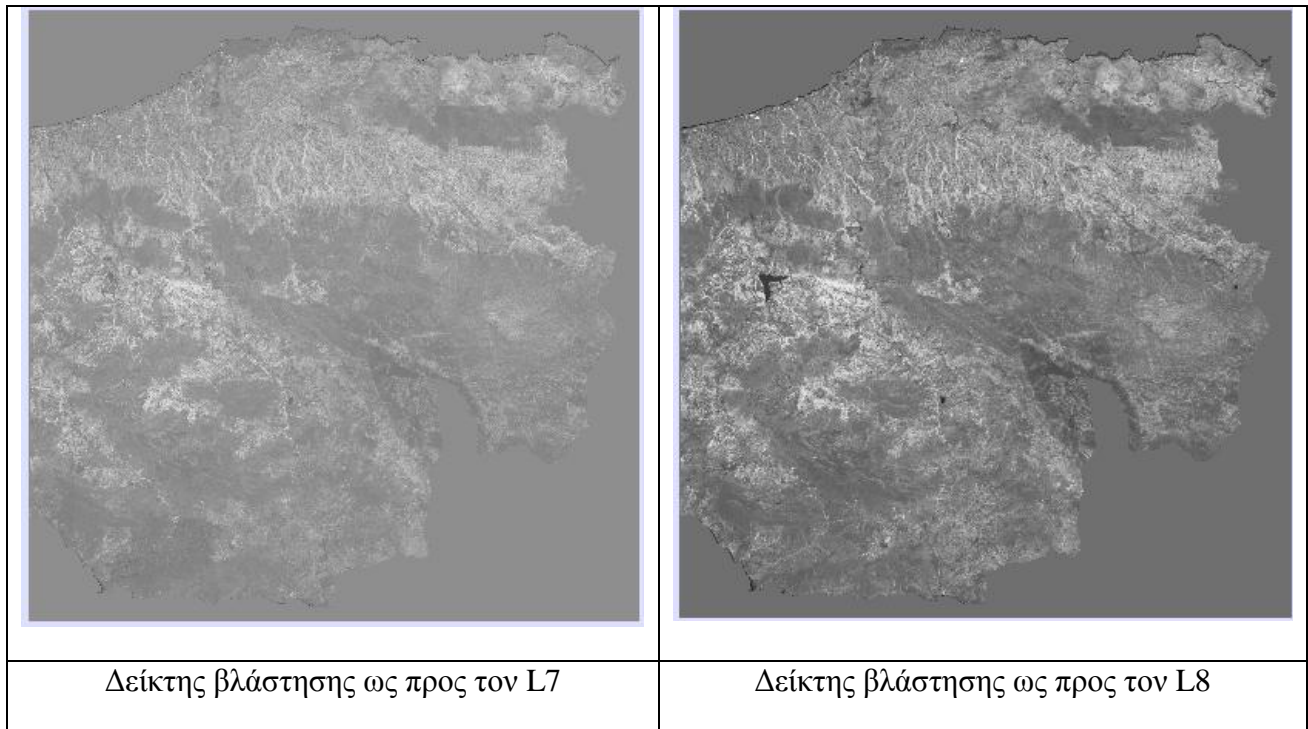
Σχήμα 3.7.6.1. Η εικόνα B10 του L8



Σχήμα 3.7.6.1. Η εικόνα B62 (high gain) του L7

3.7.7 Δείκτης βλάστησης (L7/L8)

Οι κανονικοποιημένοι δείκτες βλάστησης εφαρμόζονται στα κανάλια κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο. Στην προκειμένη περίπτωση τα κανάλια του L8 παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα. Ως προς την φασματική δειγματοληψία διαφοροποιούνται μόνο στο εγγύς υπέρυθρο.

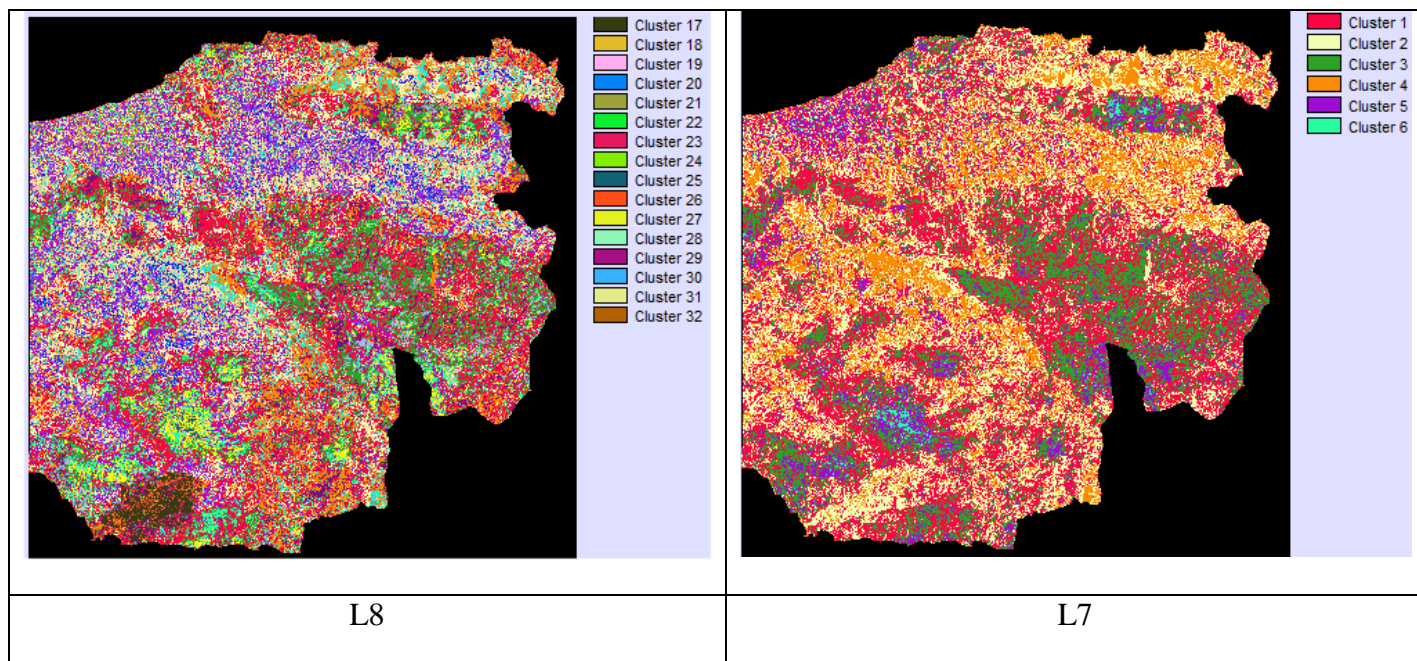


Σχήμα 3.7.7.1 Διαφοροποίηση στους δείκτες βλάστησης μεταξύ L7 και L8

Στις 2 εικόνες (Σχήμα 3.7.7.1) υπάρχει μια χρονική διαφορά φάσης. Αυτό σημαίνει ότι είναι πολύ πιθανό να έχουν αλλάξει κάποιες καλύψεις γης σε κάποιες περιοχές όπως για παράδειγμα το φράγμα που εικονίζεται στην εικόνα L8 (η μαύρη περιοχή στο κέντρο και δυτικά). Από την άλλη πλευρά επειδή η λήψη έγινε την θερινή περίοδο, η επίδραση της παροδικής-εποχικής βλάστησης θα είναι μηδενική. Άρα η κυριότερη επίδραση θα οφείλεται στη μόνιμη βλάστηση (δένδρα) που εξαιρουμένων των πυρκαγιών υπόκειται σε μικρότερη διαχρονική αλλαγή. Η φωτοερμηνεία υποδεικνύει ότι στην εικόνα L8 τα όρια μεταξύ των περιοχών με βλάστηση και χωρίς βλάστηση αποτυπώνονται καλύτερα σαν αποτέλεσμα της αυξημένης ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας και της καλύτερης φασματικής δειγματοληψίας που επιλέχτηκε για το εγγύς υπέρυθρο.

3.7.8 Θεματική χαρτογράφηση στο εγγύς και μέσο υπέρυθρο

Τα 3 κανάλια στο εγγύς, και μέσο υπέρυθρο στους 2 δορυφόρους L7 και L8 παρουσιάζουν διαφορετική φασματική δειγματοληψία και διαφορετική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα, με τις καταγραφές του L8 να υπερτερούν θεωρητικά ως προς τις καταγραφές του L7



Σχήμα 3.7.8.1. Οι μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις των L7 και L8 ως προς τα 3 κανάλια στο εγγύς και μέσο υπέρυθρο.

Προκειμένου να αξιολογηθεί το θεματικό πληροφοριακό περιεχόμενο εφαρμόστηκε μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με κοινή παραμετροποίηση. Πιο συγκεκριμένα εφαρμόστηκε η μέθοδος Isodata (Μηλιαρέσης 2003) στην οποία η παραμετροποίηση περιελάμβανε τυπική απόκλιση εντός της τάξης προκειμένου να εφαρμοστεί διαχωρισμός ίση με 8 και ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των τάξεων για ένωση ίση με 4. Με την αναφερθείσα κοινή παραμετροποίηση, προέκυψαν 32 τάξεις για την εικόνα L8 και 8 τάξεις για την εικόνα L7. Είναι προφανές ότι η εικόνα L8 παρουσιάζει τετραπλάσια θεματική διακριτική ικανότητα σε σχέση με την L7, σαν αποτέλεσμα της καλύτερης φασματικής δειγματοληψίας και της καλύτερης ραδιομετρίας στα 2 κανάλια στο μέσο υπέρυθρο και στο 1 κανάλι στο εγγύς υπέρυθρο.

Κεφάλαιο Τέταρτο

4. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Σήμερα είναι σε λειτουργία η έκδοση του Θεματικού Χαρτογράφου (ETM) στον Landsat-7 στο οποίο υπάρχει και ένα παγχρωματικό κανάλι με μέγεθος εικονοστοιχείου 15 m ενώ έχει βελτιωθεί στο 60 m από τα 120 m του Landsat 5 η χωρική διακριτική ικανότητα του καναλιού 6 (θερμικό υπέρυθρο). Ο Landsat 8 περιλαμβάνει δύο αισθητήρες παρέχουν κάλυψη με χωρική ανάλυση 30 m (στο ορατό, NIR, και SWIR), 100m (θερμική) και 15m (παγχρωματική).

Πίνακας 4.1. Φασματική δειγματοληψία

Spectral domain	Landsat 8		Landsat 7	
	Band	Spectral range	Band	Spectral range
Coastal aerosol	1	0.433 - 0.453	-	
Blue	2	0.450 – 0.515	1	0.45-0.515
Green	3	0.525 – 0.600	2	0.525-0.60
Red	4	0.630 – 0.680	3	0.63-0.69
NIR	5	0.845 – 0.885	4	0.77-0.90
Cirrus	9	1.360 – 1.390	-	-
SWIR	6	1.560 – 1.660	5	1.55-1.75
	7	2.100 – 2.300	7	2.09-2.35
TIR	10	10.3 – 11.3	6	10.40-12.50
	11	11.5 – 12.5	-	-
Pan	8	0.500 – 0.680	8	52-.90

Ο φασματικός σαρωτής OLI, περιλαμβάνει δύο νέες φασματικές ζώνες. Η πρώτη είναι προσαρμοσμένη ειδικά για ανίχνευση cirrus σύννεφα, και η δεύτερη για την παρατήρηση παράκτιων ζωνών. Ως προς την φασματική δειγματοληψία παρατηρείται ότι :

- Η ζώνη για την ανίχνευση των νεφών αποδείχθηκε ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θεματική χαρτογράφηση εξ αιτίας της μικρής αντίθεσης φωτεινότητας, όμως είναι πολύ ευαίσθητη στο εντοπισμό χαμηλής-αραιής νέφωσης μικρού πάχους όπως αποδείχθηκε στο Νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης.
- Η φασματική ζώνη για το εντοπισμό των coastal aerosols αν και είναι στο υπεριώδες τμήμα του φάσματος στο οποίο παρατηρείται μεγάλη διάχυση (Rayleigh diffusion) είναι εξαιρετικά πολύτιμη για χώρες όπως η Ελλάδα και η Κύπρος αφού βοηθά στον εντοπισμό λεπτής σκόνης που έρχεται με μεταφορά από την Σαχάρα προκαλώντας προβλήματα στην δορυφορική παρατήρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος.
- Οι ζώνες στο μέσο υπέρυθρο δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες αφού παρατηρείται μικρή διαφοροποίηση στο εύρος μήκους κύματος. Σε σχέση με την θεματική χαρτογράφηση καλύψεων γης, τα εύρη μήκους κύματος στο μέσο υπέρυθρο έχουν μετατοπισθεί λίγο στο Landsat 8 προκειμένου να μεγιστοποιείται η αντίθεση φασματικών υπογραφών καλύψεων γης.
- Στο εγγύς υπέρυθρο παρατηρείται μεγαλύτερη διαφοροποίηση στο εύρος μήκους κύματος αφού κάτω όριο του καναλιού στον Landsat 8, μετατοπίστηκε προς μεγαλύτερο κατώφλι έτσι ώστε καταγράφεται καλύτερα το μέγιστο της ανακλαστικότητας της χλωροφύλλης.
- Στο ορατό τμήμα του φάσματος τα κανάλια σχεδόν ταυτίζονται.

Πίνακας 4.2. Χωρική διακριτική ικανότητα

Spectral domain	Landsat 8		Landsat 7	
	Band	Χωρική διακριτική ικανότητα	Band	Χωρική διακριτική ικανότητα
Coastal aerosol	1	30	-	30
Blue	2	30	1	30
Green	3	30	2	30
Red	4	30	3	30
NIR	5	30	4	30
Cirrus	9	30	-	-

SWIR	6	30	5	30
	7	30	7	30
TIR	10	100	6	60
	11	100	-	60
Pan	8	15	8	15

Ο αισθητήρας TIRS του Landsat 8 έχει την δυνατότητα συλλογής στοιχείων σε δύο πιο στενές φασματικές ζώνες στην θερμική περιοχή, που στους προγενέστερους δορυφόρους (Landsat 7) καλύπτονταν από μία ευρεία φασματική ζώνη.

Δηλαδή ο Landsat 7 έχει δύο καταγραφές στο θερμικό κανάλι που έχουν την ίδια φασματική δειγματοληψία (η καταγραφή γίνεται στο εύρος 10.40 -12.50 μm) αλλά διαφορετική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα.

Η μία καταγράφεται σε low gain (χαμηλή ραδιομετρική διακριτική ικανότητα) και η άλλη σε high gain (υψηλή ραδιομετρική διακριτική ικανότητα). Αντίθετα ο Landsat 8 χωρίζει το φασματικό εύρος 10.40 -12.50 μm σε δυο κανάλια όμως οι θερμικές εικόνες του Landsat 8 έχουν μικρότερη χωρική διακριτική ικανότητα (100 μέτρα) από τις θερμικές καταγραφές του Landsat 7 (60 μέτρα).

Το σημείο κλειδί είναι η βελτιωμένη ραδιομετρία των εικόνων Landsat 8 αφού το ελάχιστο κλάσμα ενέργειας που καταγράφεται είναι από 4 έως και 13 φορές μικρότερο (ανάλογα με το κανάλι) από τον Landsat 7, επιτρέποντας την χαρτογράφηση μικρότερων μεταβολών της ενέργειας στο εύρος καταγραφής μήκους κύματος του κάθε φασματικού καναλιού. Τα παραπάνω αποτυπώνονται στους συγκριτικούς πίνακες 4.1, 4.2 και 4.3.

Πίνακας 4.3. Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα

Spectral domain	Landsat 8 (L8)		Landsat 7 (L7)		Λόγος L7/L8
	Band	Ραδιομετρική Ικανότητα $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$	Band	Ραδιομετρική Ικανότητα $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$	
Coastal aerosol	1	0.19980	-	-	-
Blue	2	0.20374	1	0.77265	3.80
Green	3	0.18656	2	0.78710	4.22
Red	4	0.1580	3	0.6167	3.90

NIR	5	0.09588	4	0.9617	10.01
Cirrus	9	0.03940	-	-	-
SWIR	6	0.02415	5	0.12523	5.18
	7	0.007858	7	0.04355	5.54
TIR	10	0.0051028	6-high g	0.03691	7.23
	11	0.0051028	6-low g	0.06656	13.04
Pan	8	0.1865	8	0.7871	4.71

Κεφάλαιο Πέμπτο

5. Συμπεράσματα

Οι κύριες βελτιώσεις που επιφέρει ο φασματικός σαρωτής OLI και TIR του Landsat 8, συνοψίζονται

- Στην βελτιωμένη ραδιομετρία των εικόνων Landsat 8 αφού το ελάχιστο κλάσμα ενέργειας που καταγράφεται είναι από 4 έως και 13 φορές μικρότερο (ανάλογα με το κανάλι) από τον Landsat 7, επιτρέποντας την χαρτογράφηση μικρότερων μεταβολών της ενέργειας στο εύρος καταγραφής μήκους κύματος του κάθε φασματικού καναλιού.
- Στην βελτιωμένη φασματική δειγματοληψία
 - που περιλαμβάνει δύο νέες φασματικές ζώνες.
 - Η πρώτη είναι προσαρμοσμένη ειδικά για ανίχνευση cirrus σύννεφα, και η δεύτερη για την παρατήρηση παράκτιων ζωνών (coastal aerosols). Η ζώνη για την ανίχνευση των νεφών αποδείχθηκε ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θεματική χαρτογράφηση λόγω της μικρής αντίθεσης φωτεινότητας, όμως είναι πολύ ευαίσθητη στο εντοπισμό χαμηλής-αραιής νέφωσης μικρού πάχους.
 - Η φασματική ζώνη για το εντοπισμό των coastal aerosols αν και είναι στο υπεριώδες τμήμα του φάσματος στο οποίο παρατηρείται μεγάλη διάχυση (Rayleigh diffusion) είναι εξαιρετικά πολύτιμη για χώρες όπως η Ελλάδα και η Κύπρος αφού βοηθά στον εντοπισμό λεπτής σκόνης που έρχεται με μεταφορά από την Σαχάρα προκαλώντας προβλήματα στην δορυφορική παρατήρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος.
 - Οι ζώνες στο μέσο υπέρυθρο δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες αφού παρατηρείται μικρή διαφοροποίηση στο εύρος μήκους κύματος. Σε σχέση με την θεματική χαρτογράφηση καλύψεων γης, τα εύρη μήκους κύματος στο μέσο υπέρυθρο έχουν μετατοπισθεί λίγο στο Landsat 8 προκειμένου να μεγιστοποιείται η αντίθεση φασματικών υπογραφών καλύψεων γης.
 - Στο εγγύς υπέρυθρο παρατηρείται μεγαλύτερη διαφοροποίηση στο εύρος μήκους κύματος αφού κάτω όριο του καναλιού στον Landsat 8, μετατοπίστηκε προς

μεγαλύτερο κατώφλι έτσι ώστε καταγράφεται καλύτερα το μέγιστο της ανακλαστικότητας της χλωροφύλλης.

- Στο ορατό τμήμα του φάσματος τα κανάλια σχεδόν ταυτίζονται.
- Ο αισθητήρας TIRS του Pdf 8 έχει την δυνατότητα συλλογής στοιχείων σε δύο πιο στενές φασματικές ζώνες στην θερμική περιοχή, που στους προγενέστερους δορυφόρους (Landsat 7) καλύπτονταν από μία ευρεία φασματική ζώνη. Δηλαδή ο Landsat 7 έχει δύο καταγραφές στο θερμικό κανάλι που έχουν την ίδια φασματική δειγματοληψία (η καταγραφή γίνεται στο εύρος 10.40 -12.50 μm) αλλά διαφορετική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα. Η μία καταγράφεται σε low gain (χαμηλή ραδιομετρική διακριτική ικανότητα) και η άλλη σε high gain (υψηλή ραδιομετρική διακριτική ικανότητα). Αντίθετα ο Landsat 8 χωρίζει το φασματικό εύρος 10.40 -12.50 μm σε δυο κανάλια όμως οι θερμικές εικόνες του Landsat 8 έχουν μικρότερη χωρική διακριτική ικανότητα (100 μέτρα) από τις θερμικές καταγραφές του Landsat 7 (60 μέτρα). Κατά αυτό τον τρόπο ο Landsat 8 έχει βελτιωμένη φασματική δειγματοληψία και στο θερμικό αν και υστερεί σε αυτό το τμήμα του φάσματος ως προς την χωρική διακριτική ικανότητα που είναι κατά 40% μικρότερη από τις θερμικές καταγραφές του Landsat 7.

Η γενική εκτίμηση είναι ότι η αναγνώριση των παράκτιων περιοχών ως προς τα αιωρούμενα σωματίδια και ο καλύτερος εντοπισμός της χαμηλής νέφωσης προσφέρει καλύτερο προγραμματισμό λήψεων και επιλογής δορυφορικών εικόνων έτσι ώστε να μεγιστοποιηθούν τα αποτελέσματα-προϊόντα της ψηφιακής δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Σε συνδυασμό με τον επαναπροσδιορισμό της φασματικής δειγματοληψίας και τη εξαιρετικά βελτιωμένη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα, έχουμε πολύ καλύτερη θεματική διακριτική ικανότητα σε εφαρμογές χαρτογράφησης καλύψεων γης. Στο θερμικό παρουσιάζεται μειωμένη χωρική διακριτική ικανότητα, που αντισταθμίζεται σε ένα βαθμό από την βελτιωμένη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα και την βελτιωμένη φασματική δειγματοληψία (αφού στο ίδιο φασματικό εύρος στο Landsat 8 έχουμε δυο θερμικές καταγραφές).

Βιβλιογραφία

Διαδίκτυο

1. USGS, 2015. Landsat, http://landsat.usgs.gov/about_landsat7.php,
Access:12/4/2015
2. NASA, 2015. Landsat science, Available: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>,
Access:19/4/15
3. Earth Explorer, 2015. <http://earthexplorer.usgs.gov/> Access:19/4/15

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Μηλιαρέσης Γ. 2003α. Φωτοερμηνεία Τηλεπισκόπηση. ΙΩΝ, 243 σ.
2. Μηλιαρέσης Γ. 2003β. Φωτοερμηνεία Τηλεπισκόπηση. Εργ. Ασκήσεις. ΙΩΝ,
115 σ.
3. Μηλιαρέσης Γ. 2006 ArcGIS: Ειδικές Εφαρμογές. ΙΩΝ, 248 σ.

Περιοδικά

1. Ahlqvist, O. 2010. A common framework for visually reconciling geographic data semantics in geospatial data mapping portals. *Cartographica* 45 (2):140-151.
2. Ahlqvist, O., and A. Shortridge. 2010. Spatial and semantic dimensions of landscape heterogeneity. *Landscape Ecology* 25 (4):573-590.
3. Ahlqvist, Ola, and Hyowon Ban. 2007. Categorical measurement semantics: A new second space for geography. *Geography Compass* 1 (3):536-555.
4. Alward, R.D., J.K. Detling, and D.G. Milchunas, 1999. Grassland vegetation changes and nocturnal global warming. *Science*, 283:229-231
5. Anderson Martha , Richard G. Allen , Anthony Morse , William P. Kustas,2011, Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources *Remote sensing of Environment*, 76, 67-74

6. Arroyo, L.A., Pascual, C., Manzanera, J.A., 2008. Fire models and methods to map fuel types: The role of remote sensing, *Forest Ecology and Management*, 256, pp. 1239-1252.
7. Arvidson, T., S.N. Goward, D.L. Williams, and J. Gasch (2006). Landsat-7 long-term acquisition plan: Development and validation, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 72, no. 10, pp: 1137–1146.
8. Bagrow, L., 1986. *History of Cartography*. Transaction Publishers.
9. Bartholome, E. and A.S. Belward, CLC2000, 2005. a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *Int. J. of Remote Sensing*, vol. 26, p.p. 1959-1977,
10. Baumann Matthias Mutlu Ozdogan , Peter T.Wolter , Alexander Krylov Ndezda Vladimirova , Volker C. Radeloff, 2013, Landsat remote sensing of forest windfall disturbance. *Remote sensing of Environment*, 78, 223-337
11. Braun A.; Fotopoulos G. 2007. Assessment of SRTM, ICESat, and Survey Control Monument Elevations in Canada. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 73, 1333-1342.
12. Brian L. Markhama, , Dennis L. Helderb, Forty-year calibrated record of earth-reflected radiance from Landsat: A review, *Remote Sensing of Environment* ,Vol. 122, July 2012, pp: 30–40
13. Chander, G., Huang, C., Yang, L., Homer, C.G., and Larson, C., 2009. Developing consistent Landsat data sets for large area applications—the MRLC 2001 Protocol. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, v. 6, no. 4, p. 777-781.
14. Chander, G., Markham, B.L., and Helder, D.L., 2009, Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors: *Remote Sensing of Environment*, v. 113, p. 893-903.
15. Clark, W. Hosking, P. 2006 *Statistical Methods for Geographers*. John Wiley & Sons: New York, NY, USA

16. Compton J. Tucker, Denelle M. Grant, and Jon D. Dykstra, 2004. NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set,. PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING, 25, 313-322
17. Darrel L. Williams, Samuel Goward, and Terry Arvidson, Landsat: Yesterday, Today, and Tomorrow,,Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 72, no. 10, pp: 1171–1178
18. David L. Jordan and Peggy Barroll 2013. Multi-Decadal Remote-Sensing Analysis of Irrigated Areas in the Lower Rio Grande Valley, New Mexico JAWRA JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION 49, 484–497,
19. Dobrowski, S.Z., J.A. Greenberg, C.M. Ramirez, and S.L. Ustin. 2006. Improving image derived vegetation maps with regression based distribution modeling. Ecological Modelling 192:126-142.
20. Donald T. Lauer, Stanley A. Morain, and Vincent V. Salomonson 1997. The Landsat Program: Its Origins, Evolution, and Impacts, Int. Archives for Photogrammetry & Remote Sensing, 15 (7) 831-838
21. Durand, M., Molotch, N.P. and Margulis, S.A., 2008, Merging complementary remote sensing datasets in the context of snow water equivalent reconstruction: Remote Sensing of Environment, v. 112, p. 1212-1225.
22. Frazier P., Page K. 2000. Water body detection and delineation with Landsat TM data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66(12), 1461-1467.
23. Gao, F., Masek, J., Schwaller, M., and Hall, F., 2006, On the blending of the Landsat and MODIS surface reflectance: Predicting daily Landsat surface reflectance: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 44, p. 2207-2218.
24. García, M., Riaño, D., Chuvieco, E., Salas, J., Danson, F., 2011. Multispectral and LiDAR data fusion for fuel type mapping using Support Vector Machine and decision rules. Remote Sensing of Environment 115 (6): 1369-1379.

25. Geerken, R. A., 2009. An algorithm to classify and monitor seasonal variations in vegetation phenologies and their inter-annual change. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64:422-431.
26. Gitelson, A.A., Vina, A., Masek, J.G., Verma, S.B., and Suyker, A.E., 2008, Synoptic monitoring of gross primary productivity of Maize using Landsat data: *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, v. 5, p. 133-137.
27. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T. R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. (2013) High-Resolution Global Maps of 21st-Century ForestCover Change. *Science* 342(6160) pp. 850-853
28. Harris P., Ventura S., 1995. The integration of geographic data with remotely sensed imagery to improve classification in an urban Area. *PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING*, 61:8:993-998,
29. Hassan, Q.K., Bourque, C.P-A., and Meng, F-R., 2007, Application of Landsat-7 ETM+ and MODIS products in mapping seasonal accumulation of growing degree days at an enhanced resolution: *Journal of Applied Remote Sensing*, v. 1, p. 013539.
30. Hertel, T. W., M. B. Burke, B. Marshall, and D. B. Lobell, 2010. The poverty implications of climate-induced crop yield changes by 2030. *Global Environmental Change*, 20:577–585.
31. Homer, C., Dewitz, J., Fry, J., Coan, M., Hossain, N., Larson, C., Herold, N., McKerrow, A., VanDriel, J.N., and Wickham, J. 2007. Completion of the 2001 National Land Cover Database for the Conterminous United States. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 73, No. 4, pp 337-341.
32. Homer, C.; Huang, C.; Yang, L.; Wylie, B.; Coan, M. 2004. Development of a 2001 National Landcover Database for the United States. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 70, 829-840.
33. Hu, D., G. Yang, Q. Wu, H. Li, X. Liu, X. Niu, Z. Wang, and Q. Wang. 2008. Analyzing land use changes in the metropolitan Jilin City of northeastern China using remote sensing and GIS. *Sensors* 8 (9):5449-5465.

34. Hu, Z. 2007. Using NDVI differencing and temporal logic to enhance ISODATA classification in urban environments. *GIScience and Remote Sensing* 44 (1):48-67.
35. Huang, C., Goward, S.N., Masek, J.G., Gao, F., Vermote, E.F., Thomas, N., Schleeweis, K., Kennedy, R.E., Zhu, Z., Eidenshink, J.C., and Townshend, J.R.G., 2009, Development of time series stacks of Landsat images for reconstructing forest disturbance history: *International Journal of Digital Earth*, v. 2, no. 3, p. 195-218.
36. Huang, C., S. N. Goward, K. Schleeweis, N. Thomas, J. G. Masek, and Z. Zhu. 2009. Dynamics of national forests assessed using the Landsat record: Case studies in eastern United States. *Remote Sensing of Environment* 113 (7):1430-1442.
37. Hughes, M., A. Hall, and R. Fovell, 2007. Dynamical controls on the diurnal cycle of temperature in complex topography. *Climate Dynamics*, 29:277-292.
38. Ironsa James R., John L. Dwyerb, Julia A. Barsic, 2012 The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission, *Remote Sensing of Environment*, Vol 122, , pp 11–21, *Remote Sensing of Environment*, 24, 124-159
39. Ironsc James R., Martin Heroldd, Warren B. Cohene, Thomas R. Lovelandf, Curtis E. Woodcockg, 2008. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 112, pp 955–969.
40. Ji, L., Zhang, L., Wylie, B.K., and Rover J., 2011, On the terminology of the spectral vegetation index $(NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$: *International Journal of Remote Sensing*, v. 32, no. 21, p. 6901-6909.
41. Jobin, B., S. Labrecque, M. Grenier, and G. Falardeau. 2008. Object-based classification as an alternative approach to the traditional pixel-based classification to identify potential habitat of the Grasshopper Sparrow. *Environmental Management* 41 (1):20-31.
42. Johnsan, D. M., and R. Mueller. 2010. The 2009 cropland data layer. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 76 (11):1201-1205.

43. Jones, D. A., A. J. Hansen, K. Bly, K. Doherty, J. P. Verschuyf, J. I. Paugh, R. Carle, and S. J. Story. 2009. Monitoring land use and cover around parks: A conceptual approach. *Remote Sensing of Environment* 113 (7):1346-1356.
44. Junchang Ju, David P. Roy, 2008. The availability of cloud-free Landsat ETM+ data over the conterminous United States and globally ,*Remote Sensing of Environment*, Volume 112, Issue 3, 18 Pages 1196–1211
45. Kaufman, Y.J., Wald, A.E., Remer, L.A., Bo-Cai Gao, Rong-Rong Li, and Flynn, L., 1997, The MODIS 2.1- μm channel – correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 35, p. 1286-1298.
46. Kellndorfer, J. M., W. S. Walker, E. LaPoint, K. Kirsch, J. Bishop, and G. Fiske. 2010. Statistical fusion of lidar, InSAR, and optical remote sensing data for forest stand height characterization: A regional-scale method based on LVIS, SRTM, Landsat ETM plus , and ancillary data sets. *Journal of Geophysical Research G: Biogeosciences* 115.
47. Kellndorfer, J.M.; Walker, W.S.; Pierce, L.E.; Dobson, M.C.; Fites, J.; Hunsaker, C.; Vona, J.; Clutter, M. 2004. Vegetation height derivation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation data sets. *Remote Sensing of Environment* 93, 339-358.
48. Kelly M., et al., 1999. Image interpretation keys for the validation of global land-cover datasets. *PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING* 65:9: 1041-1049.
49. Khattab Mohammed & Broder J. Merkel, 2013, Application of Landsat 5 and Landsat 7 images data for water quality mapping in Mosul Dam Lake, Northern Iraq,. *Int. J. of Remote Sensing*, 117, 45-56
50. Kirk, R. L., L.A. Soderblom, G. Cushing, and T. A. Tituus, 2005. Joint Analysis of Visible and Infrared Images: A “Magic Airbrush” for Qualitative and Quantitative Topography. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71:1167–1178

51. Klein, A.G. and Isacks, B.L., 1999, Spectral mixture analysis of Landsat thematic mapper images applied to the detection of the transient snowline on tropical Andean glaciers: *Global and Planetary Change*, v. 22, p. 139-154.
52. Kotchenova, S., Vermote, E.R., Matarrese, R., and Klem Jr., F., 2006, Validation of a vector version of the 6S radiative transfer code for atmospheric correction of satellite data. Part I: path radiance. *Applied Optics*, v. 45, p. 6762-6774.
53. Koutsias, N., Karteris, M., 2003. Classification analysis of vegetation for delineating forest fire fuel complexes in a Mediterranean test site using satellite remote sensing and GIS. *Int J Rem Sens*, 24 (15), pp. 3093-3104.
54. Lier O., J.E. Luther, D.G. Leckie, W.W. Bowers, 2011, Development of large-area land cover and forest change indicators using multi-sensor Landsat imagery: Application to the Humber River Basin, Canada. *Int. J. of Applied Geoinformation*, 27, 178-192
55. Lillesand, T., R. Kiefer, and J. Chipman, 2008. Remote sensing and image interpretation, John Wiley & Sons, New York, 768 p.
56. Linke, J., G. J. McDerimid, D. N. Laskln, A. J. McLane, A. Pape, J. Cranston, M. Hall-Beyer, and S. E. Franklin. 2009. A disturbance-inventory framework for flexible and reliable landscape monitoring. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 75 (8):981-995.
57. López, Ana Sebastián., San-Miguel-Ayanz, J., Burgan, R.E., 2010. Integration of satellite sensor data, fuel type maps and meteorological observations for evaluation of forest fire risk at the pan-European scale. *International Journal of Remote Sensing* 23 (13): 2713-2719.
58. Loveland Thomas R , John L. Dwyer, 2102. Landsat: Building a strong future, *Remote Sensing of Environment*, 122, 22–29
59. Lu, A., D. Pang, J. Ge, Y. He, H. Pang, and L. Yuan, 2006. Effect of landform on seasonal temperature structures across China in the past 52 years. *Journal of Mountain Science*, 3:158-167.

60. Luo, L., and G. Mountrakis. 2010. Integrating intermediate inputs from partially classified images within a hybrid classification framework: An impervious surface estimation example. *Remote Sensing of Environment* 114 (6):1220-1229.
61. Maiersperger, T.K., Scaramuzza, P.L., Leigh, L., Shrestha, S., Gallo, K.P., Jenkerson, C.B., and Dwyer, J.L., 2013, Characterizing LEDAPS surface reflectance products by comparisons with AERONET, field spectrometer, and MODIS data: *Remote Sensing of Environment*, v. 136, p. 1-3.
62. Masek, J.G., Huang, C., Wolfe, R., Cohen, W., Hall, F., Kutler, J., and Nelson, P., 2008, North American forest disturbance mapped from a decadal Landsat record: *Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 2914-2926.
63. Mather, P.M. (1987) *Computer processing of remotely-sensed images*. John Wiley and Son, New York, 352 pp.
64. Mathias, A, F. Grond, R. Guardans, D. Seese, M. Canela, and H. H. Diebner, 2004. Algorithms for spectral analysis of irregularly sampled time series. *Journal of Statistical Software* 11(2):1-27
65. Mathys, L., A. Guisan, T. W. Kellenberger, and N. E. Zimmermann. 2009. Evaluating effects of spectral training data distribution on continuous field mapping performance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64 (6):665-673.
66. Maxwell K Susan, Kenneth M. Sylvester, 2010, Identification of “ever-cropped” land (1984–2010) using Landsat annual maximum NDVI image composites: Southwestern Kansas case study. *Remote sensing of Environment*, 75, 56-72
67. McMillan, A.M.S. and Goulden, M.L., 2008, Age-dependent variation in the biophysical properties of boreal forests: *Global Biogeochemical Cycles*, v. 22, p. GB2019.
68. McRoberts, R. E. 2006. A model-based approach to estimating forest area. *Remote Sensing of Environment* 103 (1):56-66.

69. Meddens Arjan J.H., Jeffrey A. Hicke, Lee A. Vierling, Andrew T. Hudak, 2013, Evaluating methods to detect bark beetle-caused tree mortality using single-date and multi-date Landsat imagery. *Remote sensing of Environment*, 78, 451-464
70. Mellon, M. T., B. Jakosky, H. Kieffer, and P. Christensen, 2000. High resolution thermal inertia mapping from the Mars Global Surveyor Thermal Emission Spectrometer. *Icarus*, 148:437-455.
71. Metzger, M.J., Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Múcher, C.A., Watkins, J.W., 2005. A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology & Biogeography* 14: 549–563.
72. Michael A. Wulder, Joanne C. Whitea, Jeffrey G. Masekb, John Dwyerc, David P. Royd 2011. Continuity of Landsat observations: Short term considerations, *Remote Sensing of Environment*, Vol 115, Issue 2, , pp 747–751
73. Miliareisis G., 2007. An upland object based modeling of the vertical accuracy of the SRTM-1 elevation dataset. *Journal of Spatial Sciences*, 52(1):13-29.
74. Miliareisis G., 2008. The Landcover Impact on the Aspect/Slope Accuracy Dependence of the SRTM-1 Elevation Data for the Humboldt Range. *Sensors*, 8(5):3134-3149.
75. Miliareisis G., 2009. The terrain signatures of administrative units: a tool for environmental assessment. *Environmental Monitoring & Assessment*, 150(1-4):386-396.
76. Miliareisis G., 2014. Daily Temperature Oscillation Enhancement of Multi-temporal LST Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 80(5)423-428
77. Miliareisis G., Delikaraoglou D., 2009. Effects of Percent Tree Canopy Density and DEM Mis-registration to SRTM/NED Vegetation Height Estimates. *Remote Sensing*. 1(2):36-49
78. Miliareisis G., Paraschou Ch., 2005. Vertical accuracy of the SRTM DTED Level 1 of Crete. *Int. J. of Applied Earth Observation & GeoInformation* 7(1):49-59.

79. Miliareisis G., Partsinevelos P., 2010. Terrain Segmentation of Egypt from Multi-temporal Night LST Imagery and Elevation Data. *Remote Sensing*, 2(9):2083-2096.
80. Miliareisis, G.Ch., 2001. Extraction of Bajadas from DEMs & Satellite Imagery. *Computers & Geosciences* 27(10):1157-1167.
81. Miliareisis, G.Ch., and D.P. Argialas, 2000. Extraction & Delineation of Alluvial Fans from DEMs & Landsat TM Images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66(9):1093-1101.
82. Mitsova, D., W. Shuster, and X. Wang. 2011. A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. *Landscape and Urban Planning* 99 (2):141-153.
83. Mohammed, A.R., and L. Tarpley, 2009. High night time temperatures affect rice productivity through altered pollen germination and spikelet fertility. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149:999-1008.
84. Neville R., Coward R., Watson R., Inglis M., Morain S. 2000. The application of TM imagery and GIS data in the assessment of arid lands water and land resources in west Texas. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(11), 1373-1379.
85. Pitas, I. (1993) *Digital image processing algorithms*. Prentice Hall, London, 362 pp.
86. Pleniou Magdalini, Koutsias Nikos, 2013, Sensitivity of spectral reflectance values to different burn and vegetation ratios: A multi-scale approach applied in a fire affected area. *Int. Arc. For Photogrammetry & Remote Sensing*, 124, 17-29
87. Powell, S.L., Cohen, W.B., Healey, S.P., Kennedy, R.E., Moisen, G.G., Pierce. K.P., and Ohmann, J.L., 2010, Quantification of live aboveground forest biomass dynamics with Landsat time-series and field inventory data: A comparison of empirical modeling approaches: *Remote Sensing of Environment*, v. 114, p. 1053-1068.
88. Powell, S.L., Cohen, W.B., Yang, Z., Pierce, J.D., and Alberti, M., 2008, Quantification of impervious surface in the Snohomish Water Resources Inventory Area of Western Washington from 1972-2006: *Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 1895-1908.

89. Riaño, D., Chuvieco, E., Salas, F.J., Palacios-Orueta, A., Bastarrica, A., 2002. Generation of fuel type maps from Landsat TM images and ancillary data in Mediterranean ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research* 32, 1301-1315.
90. Rocha, A.V. and Goulden, M.L., 2010, Drought legacies influence the long-term carbon balance of a freshwater marsh: *Journal of Geophysical Research*, v. 115, p. G00H02.
91. Roy, D.P., Boschetti, L., Justice, C.O., and Ju, J., 2008, , The collection 5 MODIS burned area product - Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product: *Remote Sensing of Environment*, v. 112, no. 9, p. 3690-3707.
92. Roy, D.P., Frost, P.G.H., Justice, C.O., Landmann, T., Le Roux, J.L., Gumbo, K., Makungwa, S., Dunham, K., Du Toit, R., Mhwandagara, K., Zacarias, A., Tacheba, B., Dube, O.P., Pereira, J.M.C., Mushove, P., Morissette, J.T., Santhana Vannan, S.K., and Davies, D., 2005, The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned-area product-validation protocol: *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, no. 19, p. 4265-4292.
93. Sakamoto, T., M. Shibayama, E.Takada, A. Inoue, K. Morita, W. Takahashi, S. Miura, and A. Kimura, 2010. Detecting Seasonal changes in crop community structure using day and night digital images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76:713-726.
94. Samuel Goward, Terry Arvidson, Darrel Williams, John Faundeen, James Irons, and Shannon Franks, 2006. Historical Record of Landsat Global Coverage: Mission Operations, NSLRSDA, and International Cooperator Stations, *Int. Arcieves for Photogrammetry and Remote Sensing*, 45, 1155-1169
95. Schmidt, G.L., Jenkerson, C.B., Masek, J., Vermote, E., and Gao, F., 2013, Landsat ecosystem disturbance adaptive processing system (LEDAPS) algorithm description: U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1057, 17 p. Also available online at <http://pubs.usgs.gov/of/2013/1057/>
96. Schroeder Todd, Michael A. Wulder, Sean P. Healey, Gretchen G. Moisen, 2011, Mapping wildfire and clear cut harvest disturbances in boreal forests with Landsat time series data. *Remote sensing of Environment*, 76, 77-84

97. Selkowitz D.J., 2010. A comparison of multi-spectral, multi-angular, and multi-temporal remote sensing datasets for fractional shrub canopy mapping in Arctic Alaska. *Remote Sensing of Environment*, 114 (7), pp. 1338-1352.
98. Selkowitz D.J., Stehman S.V., 2011. Thematic accuracy of the National Land Cover Database (NLCD) 2001 land cover for Alaska. *Remote Sensing of Environment*, 115 (6), pp. 1401-1407.
99. Shaban M., Dikshit O., 2001. Improvement of classification in urban areas by the use of textural features: the case study of Lucknow city, Uttar Pradesh. *International Journal of Remote Sensing*, 22:4:565-593.
100. Slater, P. N., Biggar, S. F., Holm, R. G., Jackson, R. D., Mao, Y., Moran, M. S., Palmer, J. M., and Uan, B., 1987, Reflectance- and radiance-based methods for the in-flight absolute calibration of multispectral sensors: *Remote Sensing of Environment*, v. 22, p. 11–37.
101. Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Pax-Lenney, M., and Macomber, S.A., 2001, Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects?: *Remote Sensing of Environment*, v. 75, p. 230-244.
102. Takashi Kurosu, et al., 2001. Land use classification with textural analysis and the aggregation technique using multi-temporal JERS-1 L-band SAR images. *International Journal of Remote Sensing*, 22:4:595-613.
103. Tanase, M.A., Gitas, I.Z., 2008. An Examination of the Effects of Spatial Resolution and Image Analysis Technique on Indirect Fuel Mapping. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 1 (4): 220-229.
104. Tang, Z., and J. Fang, 2006. Temperature variation along the northern and southern slopes of Mt. Taibai, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139:200-207.
105. Thenkabail, P.S., J.W. Knox, M. Ozdogan, M.K. Gumma, R.G. Congalton, Z. Wu, C. Milesi, A. Finkral, M. Marshall, I. Mariotto, S. You, C.P. Giri, and P.L. Nagler, 2012. Assessing future risks to agricultural productivity, water resources and

food security-how can remote sensing help? *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78(8), 773-782.

106. Thomas R. Loveland, John L. Dwyer, 2012, Landsat: Building a strong future Remote Sensing of Environment, *Remote Sensing of Environment*, 101, Pages 22–29,
107. Thomas, N.E., Huang, C., Goward, S.N., Powell, S., Rishmawi, K., Schleeweis, K., and Hinds, A., 2011, Validation of North American forest disturbance dynamics derived from Landsat time series stacks: *Remote Sensing of Environment*, v. 115, p. 19-32.
108. Thome, K.J., Biggar, S.F., and Wisniewski, W., 2003, Cross Comparison of EO-1 Sensors and Other Earth Resources Sensors to Landsat-7 ETM+ Using Railroad Valley Playa, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 41, no. 6, p. 1180-1188.
109. Van-Hoesen, John, and Steven Letendre. 2010. Evaluating potential renewable energy resources in Poultney, Vermont: A GIS-based approach to supporting rural community energy planning. *Renewable Energy* 35 (9):2114-2122.
110. Van-Niel, T.G.; McVicar, T.R.; Li, L.T.; Gallant, J.C.; Yang, Q.K. 2008. The Impact of Misregistration on SRTM and DEM Image Differences. *Remote Sensing of Environment* 112, 2430–2442.
111. Vermote, E.F., El Saleous, N., Justice, C.O., Kaufman, Y.J., Privette, J.L., Remer, L., Roger, J.C., and Tanre, D., 1997, Atmospheric correction of visible to middle-infrared EOS-MODIS data over land surfaces: Background, operational algorithm, and validation: *Journal of Geophysical Research*, v. 102, p. 17131-17141.
112. Vermote, E.F., Tanre, D., Deuze, J.L., Herman, M., and Morcrette, J.J., 1997, Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 35, p. 675-686.
113. Vintrou, E., M. Soumare, S. Bernard, A. Begue, C. Baron, and D. Lo Seen, 2012. Mapping fragmented agricultural systems in the Sudano-Sahelian environments of Africa using random forest and ensemble metrics, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78(8), 839-848.

114. Vogelmann, J.E.; Sohl, T.L.; Campbell, P.V.; Shaw D.M. 1998. al Land Cover Characterization Using Landsat Thematic Mapper Data and Ancillary Data Sources. *Environmental Monitoring & Assessment*, 51, 415-428.
115. Vrieling, A., G. Sterk and O. Vigiak 2006, Spatial evaluation of soil erosion risk in the West Usambara Mountains, Tanzania. *LAND DEGRADATION & DEVELOPMENT* 17,: 301–319
116. Wan, Z., 2008. New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity products. *Remote Sensing of Environment*, 112:59-74.
117. Wasserman, T. N., S. A. Cushman, M. K. Schwartz, and D. O. Wallin. 2010. Spatial scaling and multi-model inference in landscape genetics: *Martes americana* in northern Idaho. *Landscape Ecology* 25 (10):1601-1612.
118. Weber, R., P. Talkner, I. Auer, R. Böhm, M. Gajić-Čapka, K. Zaninović, R. Brázdil, and P. Faško, 1997. 20th-century changes of temperature in the mountain regions of central Europe. *Climatic Change*, 36:327-344.
119. Wickham, J. D., K. H. Riitters, T. G. Wade, and P. Vogt. 2010. A national assessment of green infrastructure and change for the conterminous United States using morphological image processing. *Landscape and Urban Planning* 94 (3-4):186-195.
120. Wickham, J. D., S. V. Stehman, J. A. Fry, J. H. Smith, and C. G. Homer. 2010. Thematic accuracy of the NLCD 2001 land cover for the conterminous United States. *Remote Sensing of Environment* 114 (6):1286-1296.
121. Withers, C.S., D.P. Krouse, C.P. Pearson, and S. Nadarajah, 2009. Modeling temperature trends in New Zealand. *Environmental Modeling and Assessment*, 14:231-249.
122. Yang, L., Huang, C., Homer, C., Wylie, B., and M. Coan. 2003. An approach for mapping large-area impervious surfaces: Synergistic use of Landsat 7 ETM+ and high spatial resolution imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 2, pp.230-240.

123. Zhang Y. 2000. A method for continuous extraction of multispectrally classified urban rivers. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(8), 991-999.
124. Zhe Zhu, Curtis E. Woodcock, 2014, Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote sensing of Environment*, 79, 93-99
125. Zheng, D., L. S. Heath, M. J. Ducey, and J. E. Smith. 2011. Carbon changes in conterminous US forests associated with growth and major disturbances: 1992-2001. *Environmental Research Letters* 6 (1):21-36
126. Zhu Z., et al. 2000. Accuracy assessment for the U.S. Geological Survey Regional Land-Cover Mapping Program. *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*, 2000:12:1425-14
127. Zhu, X., Chen, J., Gao, F., Chen, X., and Masek, J.G., 2010, An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions: *Remote Sensing of Environment*, v. 114, p. 2610-2623.