

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ: ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ LANDSAT.

**ΜΟΤΑΚΗ ΝΙΚΟΛΕΤΑ
ΜΩΡΑΪΤΑΚΗ ΛΑΟΥΡΑ**

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Δρ. Κούλη Μαρία

ΧΑΝΙΑ 2012

TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE

BRANCH OF CHANIA



**DEPT OF: NATURAL RESOURCES & ENVIRONMENT
SECTION OF: REMOTE SENSING AND DIGITAL IMAGE
ANALYSIS
LAB OF: GEOINFORMATICS**



THESIS

***CHANGE DETECTION IN CRETE ISLAND USING LANDSAT SATELITE
IMAGES.***

**MOTAKI NIKOLETA
MORAITAKI LAURA**

SUPERVISOR: Dr. KOULI MARIA

CHANIA 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τώρα που φτάσαμε στο τέλος της παρούσας εργασίας αλλά και στο τέλος των σπουδών μας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όσους βοήθησαν στην υλοποίηση αυτής της εργασίας, βάζοντας με τις γνώσεις τους ένα λιθαράκι στο να ολοκληρωθεί επιτυχώς. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην επιβλέπουσα καθηγήτρια Δρ. Μαρία Κούλη για την σημαντική της βοήθεια, σε ότι αφορούσε την εργασία. Επίσης ευχαριστούμε πολύ την οικογένειά μας και κάποιους λίγους και καλούς φίλους για την υποστήριξη που μας πρόσφεραν, κατά τη διάρκεια της προσπάθειάς μας.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Δρ. ΠΑΝΤΕΛΕΗΜΩΝ ΣΟΥΠΙΟΣ
2. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά τη σύγκριση δυο χρονικά διαφορετικών δορυφορικών εικόνων από το νησί της Κρήτης και συγκεκριμένα τους νομούς Ρεθύμνου-Ηρακλείου-Λασιθίου. Με την βοήθεια των δορυφορικών αυτών εικόνων οι οποίες απέχουν χρονικά 13 χρόνια (ημερομηνίες λήψεων 14/07/1987 η πρώτη και 09/07/2000 η δεύτερη) αλλά και με την βοήθεια του λογισμικού επεξεργασίας και ανάλυσης δορυφορικών εικόνων ERDAS Imagine 9.0 αλλά και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographic Information Systems) εξήχθησαν ενδιαφέροντα συμπεράσματα σε σχέση με τις αλλαγές που έλαβαν χώρα κατά το χρονικό αυτό διάστημα των 13 χρόνων. Η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε κυρίως στην χαρτογράφηση των μεταβολών στην πυκνότητα της βλάστησης.

ABSTRACT

The aim of the present under-graduate study was to map the potential changes of vegetation which have taken place in a time-period of 13 years in the island of Crete and specifically in the prefectures of Rethimno, Iraklion and Lasithi. Using satellite images of different acquisition dates (14/07/1987 the first and 09/07/2000 the second one) the detection of land cover changes was performed successfully. The image processing software ERDAS Imagine 9.0 was used for the correction, pre-processing and processing of the satellite images while the final image outputs were integrated in a Geographic Information System (GIS) where were combined along with other geographical data of the study area. Important results were extracted mainly for vegetation coverage changes.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</u>	(3)
<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>	(5)
<u>ABSTRACT</u>	(6)
<u>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</u>	(11)
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ</u>	(13)
• 1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	(13)
• 1.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	(15)
• 1.2.1 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ	(17)
• 1.3. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ	(18)
• 1.4 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	(19)
• 1.4.1 ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ	(20)
• 1.4.2 ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ	(22)
• 1.4.3 ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ	(23)
• 1.4.4 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ	(23)
• 1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	(24)
• 1.6 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΕΚΤΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΟΜΕΝΗΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	(24)
• 1.7 Ο ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ LANDSAT	(25)
• 1.7.1 Ο ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΟΣ (Thematic Mapper) ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ LANDSAT	(31)
• 1.8 ΠΡΟΒΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΣΕ ΟΘΟΝΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ	(32)
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ</u>	(34)
• 2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ?	(34)
• 2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	(34)
• 2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΡΟΧΙΑΣ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ	(36)
• 2.3.1 ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ	(37)
• 2.3.2 ΚΛΙΣΗ ΤΡΟΧΙΑΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	(37)
• 2.4 ΤΡΟΧΙΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ	(38)

- **2.4.1** ΠΟΛΙΚΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ **(38)**
- **2.4.2** ΓΕΩΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ **(38)**
- **2.4.3** ΗΛΙΟΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ **(39)**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ

- **3.1** ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ ? **(41)**
- **3.2** ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ. **(41)**
- **3.3** ΠΟΙΟΙ ΕΙΝΑΙ ΚΑΙ ΤΙ ΥΠΟΔΗΛΩΝΟΥΝ? **(42)**
- **3.3.1** VEG. INDEX **(42)**
- **3.3.2** TNDVI **(42)**
- **3.3.3** NDVI **(42)**
- **3.3.4** IR/R **(43)**
- **3.3.5** FERROUS MINERALS **(43)**
- **3.3.6** IRON OXIDE **(43)**
- **3.3.7** HYDROTHERMAL COMPOSITE-MINERAL COMPOSITE-CLAY MINERALS **(44)**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ (44)

- **4.1** ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ERDAS IMAGINE **(46)**
- **4.2** ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ **(46/49)**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ (50)

- **5.1** ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ **(52)**
- **5.2** ΜΕΘΟΔΟΙ ΟΠΤΙΚΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ (ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ), ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ. **(53)**
- **5.2.1** ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ **(54)**
- **5.3** ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΕ ΑΠΟΛΥΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ **(56)**

- **5.3.1** ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΒΙΑΣ/GAIN (57)
- **5.3.2** ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (58)
- **5.3.3** ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (59)
- **5.3.4** ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ (BAND 6) ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (59)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ (63)

- **6.1** ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ERDAS (63)
- **6.2** ΣΥΝΕΝΩΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΚΑΝΑΛΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΑΡΧΕΙΟ (63)
- **6.3** ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (68)
- **6.4** ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΠΡΟΒΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (73)
- **6.5** ΕΞΑΓΩΓΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ (75)
- **6.5.1** ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ (80)
- **6.5.2** ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (80)
- **6.5.3** ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ (85)
- **6.6** ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ (92)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ (96)

- **7.1** NDVI (96)
- **7.2** IR_R (99)
- **7.3** SQRT IR_R (102)
- **7.4** VEG. INDEX (105)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (110)

- **8.1** NDVI (110)

- ΝΟΜΟΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ (110)
- ΝΟΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ (111)
- ΝΟΜΟΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ (111)
- **8.2** VEG. INDEX (111)
- ΝΟΜΟΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ (111)
- ΝΟΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ (112)
- ΝΟΜΟΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ (112)
- **8.3** IR/R (112)
- ΝΟΜΟΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ (112)
- ΝΟΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ (113)
- ΝΟΜΟΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ (113)
- **8.4** SQRT IR/R (114)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (115)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός αυτής της Πτυχιακής Εργασίας είναι η χαρτογράφηση και ο χαρακτηρισμός πιθανών μεταβολών, σε σχέση με την φυτοκάλυψη και τα εδάφη στο νησί της Κρήτης κατά το διάστημα 1987-2000. Η παρούσα Εργασία πραγματοποιήθηκε κατά ένα μεγάλο μέρος της στο χώρο του εργαστηρίου Γεωπληροφορικής και οι αρχικές δορυφορικές εικόνες, οι οποίες στην συνέχεια υπέστησαν επεξεργασία δόθηκαν σε εμάς από την επιβλέπουσα καθηγήτρια Δρ. Μαρία Κούλη. Τα κεφάλαια της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι 8.

Αναλυτικά, στο **1^ο** κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και στα μέσα με τα οποία λαμβάνονται οι δορυφορικές εικόνες. Στο **2^ο** κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους δορυφόρους. Στο **3^ο** κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους φασματικούς λόγους και στην χρησιμότητα τους. Στο **4^ο** κεφάλαιο αναλύεται θεωρητικά, τι είναι η ψηφιακή ανάλυση εικόνας και με ποιο πρόγραμμα δουλέψαμε. Στο **5^ο** κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στη γεωμετρική και τη ραδιομετρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων. Στο **6^ο** κεφάλαιο παρουσιάζεται πώς υλοποιήθηκε η παρούσα εργασία μέσα από την επεξεργασία των δεδομένων. Στο **7^ο** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των φασματικών δεικτών και τέλος στο **8^ο** ακολουθούν τα συμπεράσματα και οι ερμηνείες των εικόνων που προέκυψαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

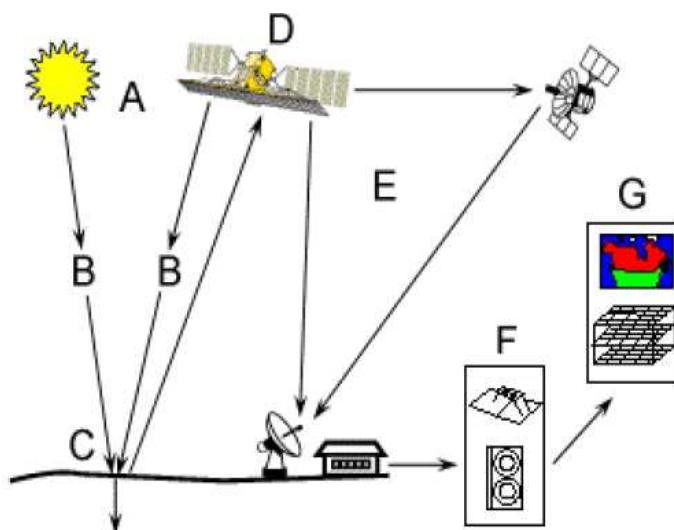
Με τον όρο **τηλεπισκόπηση** εννοείται η επιστήμη παρατήρησης φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση. Η λέξη είναι σύνθετη και αποτελείται από το επίρρημα *τήλε* και το ρήμα *επισκοπέω*, δηλαδή παρατηρώ από μακριά.

Στη διεθνή βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος **Remote Sensing**, και ορισμένοι Έλληνες επιστήμονες έχουν μεταφράσει επακριβώς τον όρο σε **Τηλεανίχνευση**, αλλά έχει επικρατήσει ο όρος **Τηλεπισκόπηση**. Σύμφωνα με τον αρχικό ορισμό, η έννοια της τηλεπισκόπησης μπορεί να συμπεριληφθεί σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, τεχνικών ή και φυσιολογικών λειτουργιών, όπως για παράδειγμα στην ανθρώπινη όραση. Στην πραγματικότητα, σήμερα με το όρο Τηλεπισκόπηση εννοούμε "την επιστήμη και την τεχνολογία παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. (<http://el.wikipedia.org/thlepiskopshsh>)

Η τηλεπισκόπηση ασχολείται με την μελέτη της ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή ανακλάται από τα αντικείμενα της γης και ορίζεται ως η μελέτη αντικειμένων και φαινομένων από απόσταση. Δηλαδή είναι η συλλογή, ανάλυση και ερμηνεία πληροφοριών μέσω καταγραφικών οργάνων τα οποία δεν είναι σε επαφή με το υπο-μελέτη αντικείμενο. Ο όρος χρησιμοποιείται για πληροφορίες που καταγράφονται σε μορφή εικόνας από καταγραφικά συστήματα που μεταφέρονται από αεροπλάνα ή από δορυφορικά συστήματα. Ένα ιδεατό σύστημα τηλεπισκόπησης θα περιελάμβανε :

1. Μια ομοιόμορφη **πηγή ενέργειας** που θα παρέχει ενέργεια σε όλα τα μήκη κύματος κατά ένα γνωστό, σταθερό και υψηλής απόδοσης τρόπο, ανεξάρτητα από τον χώρο και τον χρόνο.
2. Μια αμελητέα και άνευ επιδράσεων **ατμόσφαιρα**. Μια ατμόσφαιρα που δεν επιδρά στην ακτινοβολία της πηγής είτε η ακτινοβολία συνέχιζε το δρόμο της προς τη γήινη επιφάνεια, είτε ερχόταν από αυτήν.

3. Μοναδική αλληλεπίδραση της ύλης και της ενέργειας στην επιφάνεια της γης (υλικά στην επιφάνεια της γης με μοναδικές **φασματικές υπογραφές**). Αυτή η μοναδικότητα θα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ανακλώμενων σημάτων που θα είναι χαρακτηριστικά, γνώστα και μοναδικά για όλο το φάσμα.
4. Ένας **τέλειος δείκτης** με υψηλό δείκτη ευαισθησίας σε όλα τα μήκη κύματος, που θα παρέχει δεδομένα μεγάλης λεπτομέρειας σε απόλυτες τιμές φωτεινότητας για όλο το φάσμα.
5. Ένα **σύστημα διαχείρισης-επεξεργασίας δεδομένων σε** πραγματικό χρόνο. Στο σύστημα αυτό μόλις παραχθεί η φασματική απόκριση ενός αντικειμένου της γήινης επιφάνειας, θα λαβαίνει χώρα άμεση επεξεργασία η οποία θα οδηγεί στιγμιαία στην αναγνώριση του αντικειμένου.
6. Ένα τέλειο **γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα** που θα ολοκληρώσει τα δεδομένα σε μια γεωγραφική βάση δεδομένων επιτρέποντας την πρόσβαση σε αυτά από πολλούς χρήστες σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε να υποβοηθά τη λήψη αποφάσεων.



Εικόνα 1: Τα πάνω επτά (7) στοιχεία (A-G) συνιστούν την διαδικασία της Τηλεπισκόπησης.

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

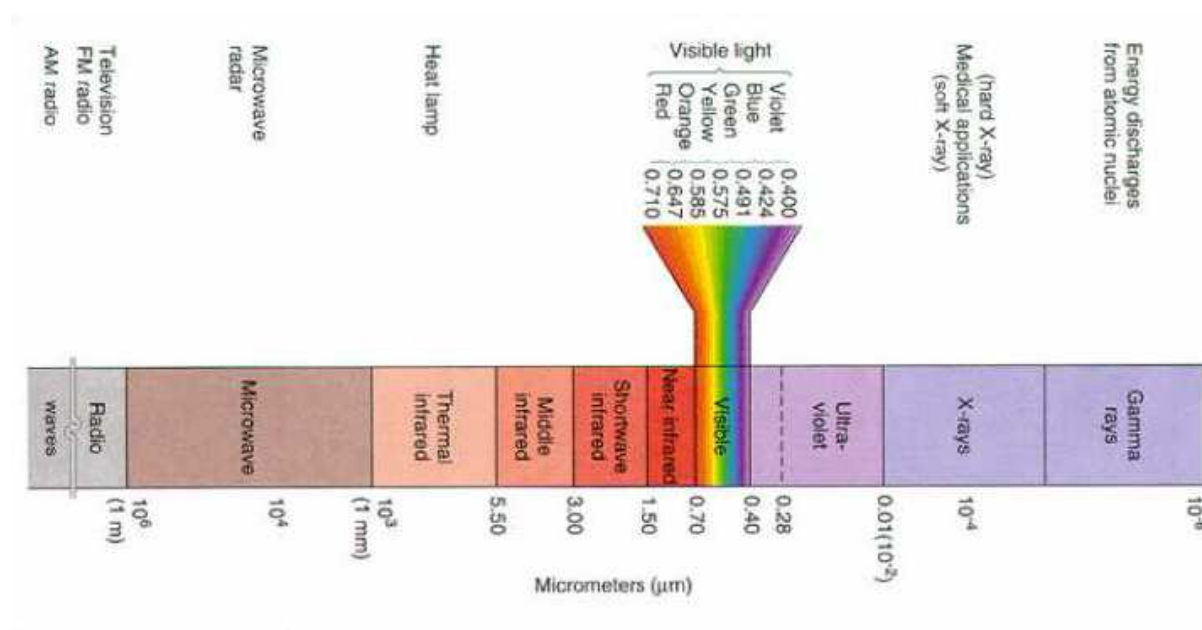
1.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Κάθε τηλεπισκοπική απεικόνιση προκύπτει ουσιαστικά με την κατάλληλη καταγραφή ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών, οι οποίες μεταφέρονται μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μετά από την αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα και τα αντικείμενα/εμφανίσεις στην επιφάνεια της γης. Η δυνατότητα λήψης δεδομένων σε μια μεγάλη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (από την κοσμική ακτινοβολία μέχρι τα μικροκύματα), σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπει ή ανακλά κάθε αντικείμενο/ εμφάνιση σε διάφορα μήκη κύματος είναι χαρακτηριστική της φυσικής κατάστασης και της χημικής του σύστασης, οδηγεί στην εξ αποστάσεως αναγνώριση και μελέτη του, δηλαδή σε εφαρμογή της τηλεπισκόπησης. Οι δέκτες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε δορυφόρους καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ή την ένταση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Οι κύριες ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, όπως και κάθε κύμα γενικότερα, είναι το μήκος κύματος (λ), που ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ δύο κορυφών του κύματος, και η συχνότητά του (ν), δηλαδή ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από ένα σημείο σε ένα δευτερόλεπτο, η οποία μετρείται σε Hertz (Hz).

Το σύνολο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με διαφορετικό μήκος κύματος αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συνίσταται από κύματα με μήκη κύματος από 0,1 μ m ($1\text{m} = 1.000.000\mu\text{m}$) έως 100m και περιλαμβάνει: το πεδίο ακτινών γ (γ -rays), το πεδίο ακτινών x (x-rays), το πεδίο

υπεριώδους ακτινοβολίας (ultraviolet), το πεδίο ορατού φως (visible light), το πεδίο υπέρυθρης ακτινοβολίας (infrared), το πεδίο μικροκυμάτων (microwaves) και το πεδίο ραδιοκυμάτων (radio waves).



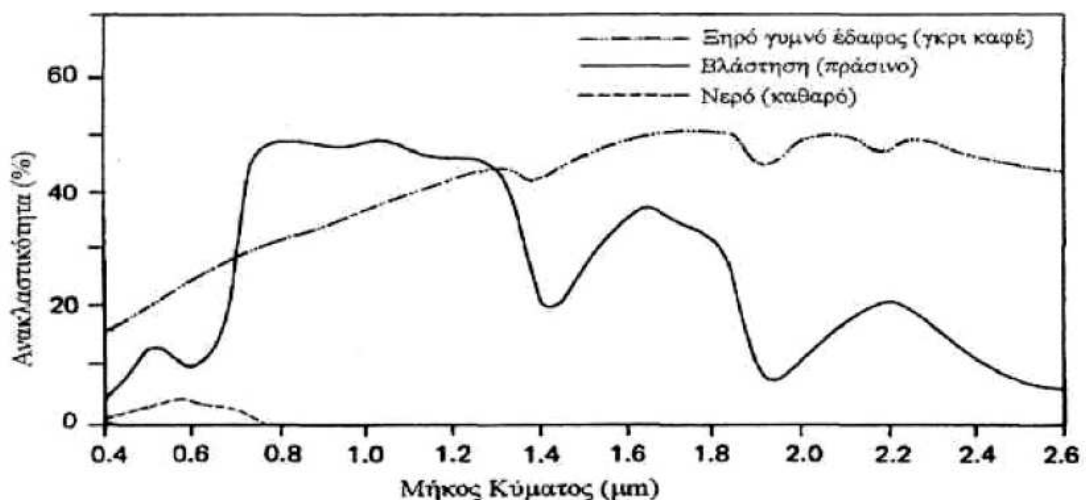
Εικόνα 2 : Οι περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Από το συνολικό πεδίο του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η τηλεπισκόπηση αξιοποιεί την περιοχή εκείνη που έχει μήκος κύματος και περιλαμβάνει το υπεριώδες, το ορατό φως, το εγγύς και μέσο υπέρυθρο, το θερμικό υπέρυθρο και τα μικροκύματα. Κάθε αντικείμενο/εμφάνιση έχει μια φασματική υπογραφή, όπως ονομάζεται, η οποία είναι το ποσό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται από το αντικείμενο/ εμφάνιση. Το ποσό αυτό καταγράφεται από τον δέκτη ως μια συγκεκριμένη τιμή για κάθε πεδίο του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ανάλογα με το εκάστοτε εξεταζόμενο πεδίο του φάσματος, για το ίδιο αντικείμενο/ εμφάνιση, μπορούμε να πάρουμε και διαφορετική πληροφορία. Έτσι, η φασματική υπογραφή μας επιτρέπει να διακρίνουμε το χιόνι από το νερό, τη βλάστηση από το χώμα, τους διάφορους τύπους πετρωμάτων μεταξύ τους, τις διάφορες ενώσεις στην ατμόσφαιρα.

Το ορατό τμήμα του φάσματος είναι εξαιρετικά μικρό, αφού η φασματική ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού εκτείνεται μόνο από 0,4μm μέχρι περίπου 0,7μm. Το μπλε χρώμα απεικονίζεται στο εύρος από 0,4 έως 0,5μm περίπου. Το πράσινο από 0,5 έως 0,6μm και το κόκκινο από 0,6 έως 0,7μm περίπου. Η υπεριώδης (UV) ενέργεια συνορεύει με το τέλος του μπλε στην ορατή περιοχή του φάσματος. Στο τέλος του κόκκινου (τέλος ορατής περιοχής) συνορεύουν 3 διαφορετικές κατηγορίες υπέρυθρων κυμάτων: Το εγγύς υπέρυθρο (από 0.7 έως 1.3μm), το μέσο υπέρυθρο (από 1.3 έως 3μm) και το θερμικό υπέρυθρο (πέρα των 3μm). Η περιοχή του θερμικού υπέρυθρου σχετίζεται άμεσα με τη θερμική ενέργεια. Η μικροκυματική περιοχή του φάσματος βρίσκεται μεταξύ του 1mm και του 1m. (Αργιαλάς, 2000)

1.2.1 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Κάθε υλικό της φυσικής γήινης επιφάνειας ανακλά με διαφορετικό τρόπο την προσπίπτουσα από τον ήλιο ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει τις τυπικές καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για τρία βασικά είδη γήινων χαρακτηριστικών: πράσινη υγρή βλάστηση ,ξηρό και γυμνό έδαφος (γκρι-καφέ πηλώδες έδαφος) και καθαρό λιμναίο νερό. Οι γραμμές στο διάγραμμα αυτό, απεικονίζουν καμπύλες μέσης φασματικής ανακλαστικότητας οι οποίες στηρίζονται σε μετρήσεις ενός σημαντικού δείγματος.



Εικόνα 3 : Τυπικές καμπύλες φασματικής υπογραφής για το νερό την βλάστηση και το ξηρό γυμνό έδαφος.

1.3 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ

Για την παρατήρηση της γήινης επιφάνειας, οι ανιχνευτές μετρούν το ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται από τα διάφορα υλικά. Κάθε αντικείμενο - επιφάνεια - υλικό που βρίσκεται επάνω στη γη, έχει ένα μοναδικό τρόπο να αντανακλά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος. Για παράδειγμα η χλωροφύλλη που βρίσκεται στα πράσινα μέρη των φυτών, έχει την ιδιότητα να αντανακλά σε μεγάλο βαθμό την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο πράσινο τμήμα του ορατού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και να την απορροφά στο μπλε και κόκκινο τμήμα. Η φασματική αυτή συμπεριφορά έχει ως αποτέλεσμα να αντιλαμβανόμαστε το πράσινο χρώμα των ζωντανών φυτών. Κατά παρόμοιο τρόπο όλα τα υλικά μπορούν να μελετηθούν, να εντοπισθούν και να απεικονισθούν χρησιμοποιώντας την αντανακλαστική τους συμπεριφορά. Εάν χρησιμοποιείται το ορατό τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για την αναπαράσταση, τότε έχουμε μια πραγματική έγχρωμη εικόνα, ισοδύναμη με αυτές που καταγράφουν οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Στην Τηλεπισκόπηση οι ανιχνευτές "κοιτούν" πολύ πέρα από το ορατό φάσμα. Υπάρχουν αισθητήρες που ανιχνεύουν ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο, στο μέσο υπέρυθρο, στο θερμικό υπέρυθρο, στα μικροκύματα κ.λ.π. με αποτέλεσμα να λαμβάνουμε μια ποικιλία εικόνων. Έτσι το αποτέλεσμα ποικίλει ανάλογα με τη φασματική ζώνη που λειτουργεί ο αισθητήρας, ένας ανιχνευτής που λειτουργεί στο θερμικό υπέρυθρο θα δώσει μια θερμική εικόνα, ενώ ένας ανιχνευτής που λειτουργεί στο ορατό φάσμα θα δώσει μια έγχρωμη εικόνα πραγματικού χρώματος (True Color). Σε μια απλή περιγραφή του τρόπου που λαμβάνονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορούμε να αναφέρουμε:

Μία πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (π.χ. ο ήλιος) που εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις, "φωτίζει" την επιφάνεια της γης, αφού περάσει μέσα από την ατμόσφαιρα, γεγονός που περιορίζει το φασματικό εύρος της ακτινοβολίας, που τελικά θα χτυπήσει στην επιφάνεια. Ένα μέρος της ακτινοβολίας που τελικά φθάνει στη γη, αντανακλάται, ένα άλλο μέρος διαχέεται στο περιβάλλον, ένα άλλο μεταδίδεται και ένα άλλο απορροφάται και αποδίδεται και πάλι στο περιβάλλον. Η ακτινοβολία που αντανακλάται διέρχεται και πάλι μέσα από την ατμόσφαιρα με προορισμό το διάστημα. Σε πολύ μεγάλο ύψος (300χλμ - 800χλμ

συνήθως) βρίσκονται σε τροχιά οι τεχνητοί δορυφόροι που είναι εξοπλισμένοι με τους ανιχνευτές. Η ακτινοβολία που αντανακλάστηκε προς το διάστημα, διέρχεται μέσα από πρισματικές διατάξεις που την διαχωρίζουν σε φασματικές ζώνες προκαθορισμένου εύρους, έπειτα οδηγείται σε φωτοδιόδους - CCDs που μετατρέπουν την ακτινοβολία (= ενέργεια) σε ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα αυτό κβαντοποιείται σε μορφή δυαδικών αριθμών και μεταδίδεται προς τη γη στους επίγειους σταθμούς (Ground Stations) όπου επεξεργάζεται, διορθώνεται και λαμβάνει την τελική μορφή ψηφιακής εικόνας που διανέμεται στους τελικούς χρήστες. Ανάλογα με το χαρακτηριστικό που επιθυμούμε να μελετήσουμε, επιλέγεται ο φασματικός τύπος του ανιχνευτή, ώστε να ληφθεί η μέγιστη πληροφορία. Εάν κάποιος επιθυμεί να μελετήσει τα παράκτια θαλάσσια οικοσυστήματα θα πρέπει να εξετάσει εικόνες στο μπλε τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, καθώς σε αυτή τη φασματική περιοχή υπάρχει η δυνατότητα διείσδυσης της ακτινοβολίας στο νερό. Εάν όμως ζητούμενο είναι η χαρτογράφηση της ακτογραμμής θα χρειαστεί το φασματικό τμήμα στο εγγύς υπέρυθρο καθώς το νερό απορροφά πλήρως την η/μ ακτινοβολία σε αυτό το τμήμα ενώ το έδαφος (ακτή) θα εμφανίζει ανάκλαση με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μια σαφής διαφοροποίηση κατάλληλη για την αποτύπωση του ορίου ύδατος-ακτής. (<http://el.wikipedia.org/thlepiskophsh>)

1.4 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι ψηφιακές εικόνες αποτελούνται από διακριτά στοιχεία (εικονοστοιχεία-ψηφίδες). Σε κάθε εικονοστοιχείο (x,y) καταγράφεται η τιμή της έντασης της ακτινοβολίας $f(x,y)$ και 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.

Τα δεδομένα που μεταδίδονται από τους ανιχνευτές (αερομεταφερόμενοι ή σε τροχιά) μετατρέπονται σε 2-διάστατους πίνακες ν γραμμών * μ στηλών όπου η τιμή κάθε εικονοστοιχείου (Pixel) αντιπροσωπεύει την ανάκλαση της

ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Γενικά τα τηλεπισκοπικά δεδομένα δηλαδή οι ψηφιακές εικόνες χαρακτηρίζονται από τα τις παρακάτω ιδιότητες:

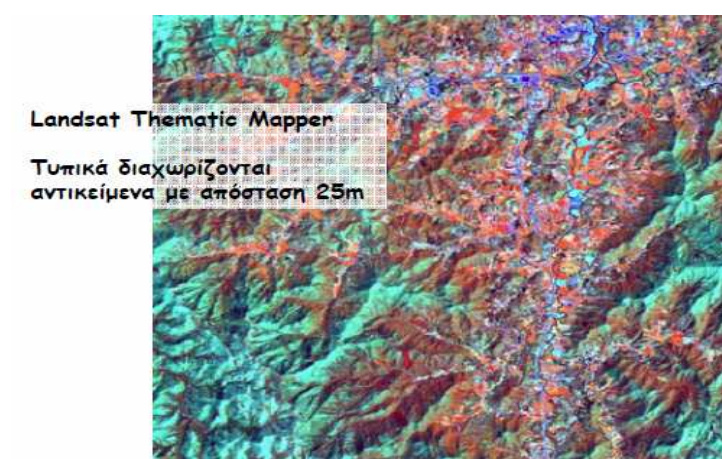
1.4.1 Χωρική Διακριτική Ικανότητα

Έχει σχέση με το μέγεθος του εικονοστοίχειου το οποίο προσδιορίζει το ελάχιστο δυνατό μέγεθος αντικειμένου που μπορεί να διακριθεί στην φωτογραφία. 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.

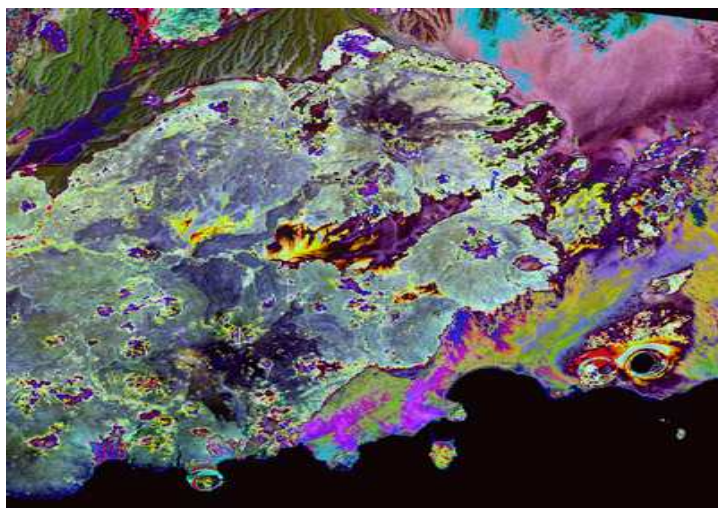


Εικόνα 4: Δορυφορικές εικόνες με διαφορετική χωρική διακριτική ικανότητα.

Παραδείγματα χωρικής διακριτικής ικανότητας των αισθητήρων Landsat TM, ASTER, και SPOT.



Εικόνα 5 : Χωρική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα Landsat TM



Εικόνα 6 : Χωρική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα ASTER



Εικόνα 7 : Χωρική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα SPOT

1.4.2 Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα

Ρυθμίζει τον αριθμό των διαβαθμίσεων που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας. Παραδείγματα δορυφόρων με διαφορετική ραδιομετρική 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 έναν ελάχιστο (H_{min}) και ένα μέγιστο (H_{max}) ποσό ενέργειας σε ένα φασματικό κανάλι. 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. 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 γκριζου με την οποία θα αναπαρασταθεί στην οθόνη.



Εικόνα 8 : Κατά την σύγκριση μίας εικόνας 2-bit (χαμηλή ραδιομετρική διακριτική ικανότητα) **(α)** με μια άλλη 8-bit (υψηλή ραδιομετρική διακριτική ικανότητα) **(β)**, μπορούμε να αντιληφθούμε μεγάλες διαφορές σε επίπεδο διάκρισης λεπτομέρειας.

1.4.3 Χρονική Διακριτική Ικανότητα

Σχετίζεται με την συχνότητα λήψης μιας εικόνας στην ίδια περιοχή. Η χρονική διακριτική ικανότητα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της τροχιάς του δορυφόρου και κυμαίνεται από λίγα λεπτά (π.χ. 15' για τον MSG) για τους γεωστατικούς δορυφόρους και μέχρι μερικές εβδομάδες για τους δορυφόρους πολικής τροχιάς (π.χ. 16 ημέρες για τον Landsat-5).



Εικόνα 9 : Παρακολούθηση των δασών για τον έλεγχο της κοπής δέντρων

1.4.4 Φασματική Διακριτική Ικανότητα

Κάθε υλικό παρουσιάζει ξεχωριστή κατανομή ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε σχέση με το μήκος κύματος λ (φασματική απόκριση). Στο παρακάτω σχήμα γίνονται εμφανείς οι χαρακτηριστικές καμπύλες φασματικής απόκρισης για το νερό, την βλάστηση και το έδαφος. 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 στην οποία θα είναι ευκολότερη η διάκριση ενός αντικειμένου από το περιβάλλον. Η φασματική δειγματοληψία ενός καταγραφικού συστήματος αναφέρεται στον τρόπο (σε ποία κανάλια-ζώνες) με τον οποίο καταγράφεται η ανακλώμενη ακτινοβολία-ενέργεια. Το ποιές περιοχές

του φάσματος θα καταγραφούν και το εύρος τους, έχει σχέση με τις εφαρμογές για τις οποίες έχει σχεδιασθεί το συγκεκριμένο καταγραφικό σύστημα.

Σήμερα εικονοληπτικά φασματόμετρα καταγράφουν σχεδόν όλο το εύρος του φάσματος.

Παράδειγμα το AVRIS το οποίο χρησιμοποιεί 256 στενού εύρους φασματικά κανάλια. Σε αντίθεση τα παλαιότερα συστήματα όπως ο θεματικός χαρτογράφος είχαν περιορισμένες δυνατότητες αφού χρησιμοποιούν μόνο επτά φασματικά κανάλια με μεγάλο εύρος.

1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Οι πληροφορίες που λαμβάνουμε από τηλεπισκοπικούς ανιχνευτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μια απλή απεικόνιση ενός τμήματος της επιφάνειας του πλανήτη έως τον υπολογισμό μεταβολής του αναγλύφου μετά από ένα σεισμικό γεγονός. Πολλοί επιστημονικοί τομείς αξιοποιούν τα δεδομένα αυτά για ειρηνικούς σκοπούς, ο καθένας σύμφωνα με τις ανάγκες του: μετεωρολόγοι για την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας και την πρόβλεψη του καιρού, χωροτάκτες για το σχεδιασμό χρήσεων γης, βιολόγοι για τη μελέτη των οικοσυστημάτων και την εφαρμογή και δοκιμή μοντέλων, γεωπόνοι για την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση γεωργικών εκτάσεων, δασολόγοι για την πρόγνωση και παρακολούθηση δασικών πυρκαγιών, ωκεανογράφοι για τη χαρτογράφηση των βιοφυσικών παραμέτρων των ωκεανών, γεωλόγοι για τον εντοπισμό κοιτασμάτων, τοπογράφοι για την δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους κ.α.. (<http://el.wikipedia.org/thlepiskophsh>)

1.6 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Ανάλογα με την προέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία ανακλάται και στη συνέχεια ανιχνεύεται, οι δέκτες - σαρωτές (ή αισθητήρες) μπορούν να διακριθούν σε **παθητικούς** και σε **ενεργητικούς**.

Παθητικοί είναι εκείνοι που ανιχνεύουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από μία φυσική πηγή (ήλιος), ενώ ενεργητικοί σαρωτές είναι εκείνοι που "φωτίζουν" (προσβάλλουν) οι ίδιοι το στόχο χρησιμοποιώντας μια τεχνητή πηγή ακτινοβολίας, π.χ. εικονοληπτικά ραντάρ. Η τελευταία αυτή

περίπτωση ονομάζεται "ραδιοεντοπισμός" ή "ραδιοανίχνευση". Άλλη διάκριση των αισθητήρων μπορεί να γίνει ανάλογα με το πόσα κανάλια ανιχνεύουν και σε τι φασματικό εύρος. Ένας αισθητήρας που καταγράφει σε μία φασματική ζώνη καλείται μονοφασματικός, και μπορεί να ανιχνεύει την φασματική αντανάκλαση σε ένα μικρό (στενό) τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ή σε μια ευρύτερη περιοχή. Μονοφασματικοί αισθητήρες που καταγράφουν σε ολόκληρο το ορατό τμήμα και στο εγγύς υπέρυθρο (Visible & Near Infrared) δίνουν δεδομένα (εικόνες) που ονομάζονται πανχρωματικές. Αισθητήρες που καταγράφουν δεδομένα σε περισσότερες από μία φασματικές ζώνες ονομάζονται πολυφασματικοί (multispectral). Τέλος, οι αισθητήρες που καταγράφουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε πολλές φασματικές ζώνες, στενού εύρους, συνήθως 10-20nm ονομάζονται υπερφασματικοί. (<http://el.wikipedia.org/thlepiskophsh>)

1.7 Ο ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ LANDSAT

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

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

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

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

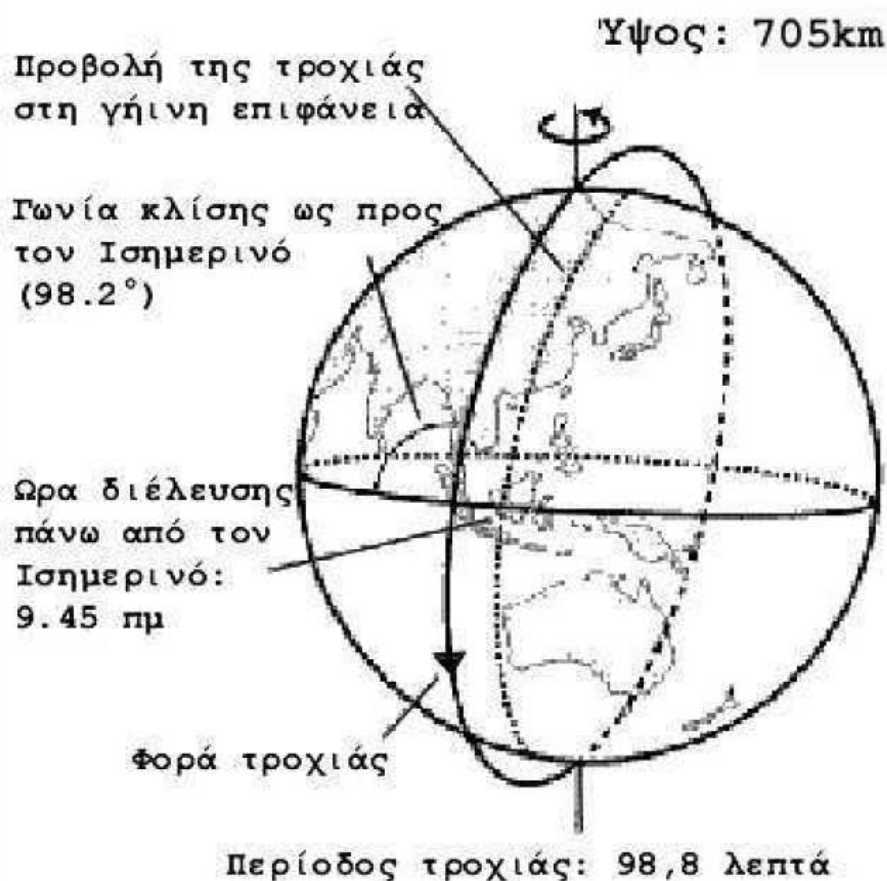
Έτσι, οι Landsat τηλεπισκοπικές απεικονίσεις αξιοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών όπως π.χ. η διερεύνηση, απογραφή, χαρτογράφηση και παρακολούθηση των φυσικών και ανθρωπίνων διαθεσίμων, των χρήσεων/καλύψεων γης, του χαρακτήρα, της κατάστασης και της ποιότητας του φυσικού Περιβάλλοντος κ.λπ.

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

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

Εικόνα 10 : Χαρακτηριστικά των δορυφόρων **LANDSAT 1-7** και των τηλεπισκοπικών δεκτών τους.

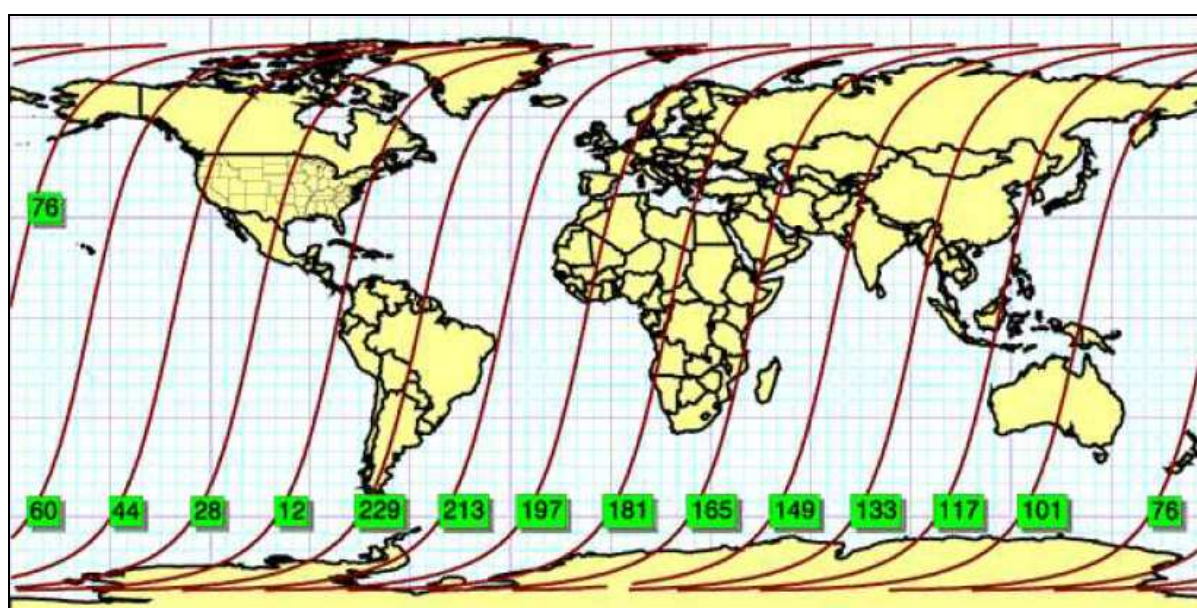
Οι δορυφόροι Landsat 1, 2 και 3 έπαψαν να στέλνουν ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις στη γη το 1978, το 1982 και το 1983 αντίστοιχα. Ο Landsat 6, μετά από αποτυχημένη εκτόξευση, δεν έγινε δυνατό να τεθεί σε τροχιά.



Εικόνα 11 : Σχηματική παράσταση της τροχιάς των δορυφόρων **Landsat 4, 5** και **7**

Οι δορυφόροι Landsat 4, 5 και 7 έχουν παραπλήσιες ηλιοσύγχρονες, κυκλικές, σχεδόν πολικές (με κλίση $98,2^\circ$ ως προς τον Ισημερινό) τροχιές. Η ελάττωση του ύψους από τα 900 km (Landsat1, 2, 3) στα 705 km (Landsat 4, 5, 7) έγινε ώστε οι δορυφόροι, εφ' όσον χρειασθεί, να είναι προσβάσιμοι από το Space Shuttle για να είναι δυνατή τυχόν επισκευή τους. Οι δορυφόροι Landsat 4, 5 και 7 χρειάζονται 16 ημέρες για μία πλήρη κάλυψη της γης, (ήταν 18 ημέρες για τους Landsat 1, 2, 3) και συνεπώς μπορούμε με τον τηλεπισκοπικό δέκτη του ίδιου δορυφόρου να παρακολουθούμε συστηματικά ενδιαφέροντα φαινόμενα και χαρακτηριστικά τα οποία εξελίσσονται ή μεταβάλλονται δυναμικά δια μέσου του

χρόνου στη φυσική γήινη επιφάνεια έως και 23 φορές μέσα στη διάρκεια ενός έτους και μάλιστα την ίδια ώρα σε κάθε συγκεκριμένη περιοχή. Οι τροχιές όμως των Landsat 4 και 5 έχουν διαφορά φάσης 8 ημερών, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επαναλαμβανόμενη κάλυψη από τους τηλεπισκοπικούς τους δέκτες της ίδιας περιοχής κάθε 8 ημέρες. Η πλευρική κατά πλάτος επικάλυψη των διαδοχικών λήψεων κάθε δορυφόρου στον ισημερινό είναι 7,3% και αυξάνει για μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, φτάνοντας σε μια μέγιστη τιμή 83,9% σε πλάτος 80ο. Οι απεικονίσεις των δορυφόρων Landsat 4, 5 και 7 αρχειοθετούνται στο Landsat *Worldwide Reference System (WRS)* σε 233 *paths* και 248 *rows*.



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

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

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 16 οι Landsat 1 και 2 μετέφεραν δύο τηλεπισκοπικούς δέκτες. Έναν δέκτη RBV (Return Beam Vidicon) με 3 κανάλια και ένα πολυφασματικό δέκτη MSS (Multi Spectral Scanner) με 4 κανάλια. Η χωρική Διακριτική ικανότητα και των δύο δεκτών ήταν περίπου 80m. Στον Landsat 3 έγιναν δύο βασικές αλλαγές. Ο δέκτης RBV είχε ένα μόνο κανάλι με

χωρική διακριτική ικανότητα 30m. Προστέθηκε επίσης ένα θερμικό κανάλι στον δέκτη MSS του δορυφόρου, το οποίο όμως για τεχνικούς λόγους δεν λειτούργησε.

Ο πολυφασματικός τηλεπισκοπικός σαρωτής MSS των δορυφόρων Landsat από το 1972 μέχρι το 1984 με τις ψηφιακές τηλεπισκοπικές του απεικονίσεις καταγράφει πιστά την κατάσταση, την ποιότητα, τα χαρακτηριστικά και τις μεταβολές της φυσικής και της κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας με επαρκή ακρίβεια και σε κατάλληλη κλίμακα για την μελέτη, την έρευνα και την παρακολούθηση συγκεκριμένων εκτατικών φαινομένων ή εμφανίσεων (αποψίλωση και πυρκαγιές δασών, μεταβολές της βιομάζας, πλημμύρες κ.λπ.).

Από τα τέσσερα κανάλια του MSS τα δύο είναι ευαίσθητα στο ορατό τμήμα του φάσματος της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας 0,5–0,6μm (πράσινο) και 0,6–0,7μm (κόκκινο) και τα άλλα δύο στο εγγύς υπέρυθρο (0,7–0,8μm και 0,8–1,1μm). Τα κανάλια αυτά ονομάζονται 4, 5, 6 και 7 και το πλάτος σάρωσης και κάλυψης της φυσικής γήινης επιφανείας ήταν 185km.

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

Η μεγάλη χωρική και φασματική διακριτική ικανότητα του Θεματικού Χαρτογράφου, τον καθιστά πολύτιμο τηλεπισκοπικό δέκτη για το μεγαλύτερο ποσοστό των σχετικών εφαρμογών.

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

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

Εικόνα 13 : Φασματική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεκτών των δορυφόρων Landsat 1 έως 7.

1.7.1 Ο ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΟΣ (THEMATIC MAPPER) ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ LANDSAT 5

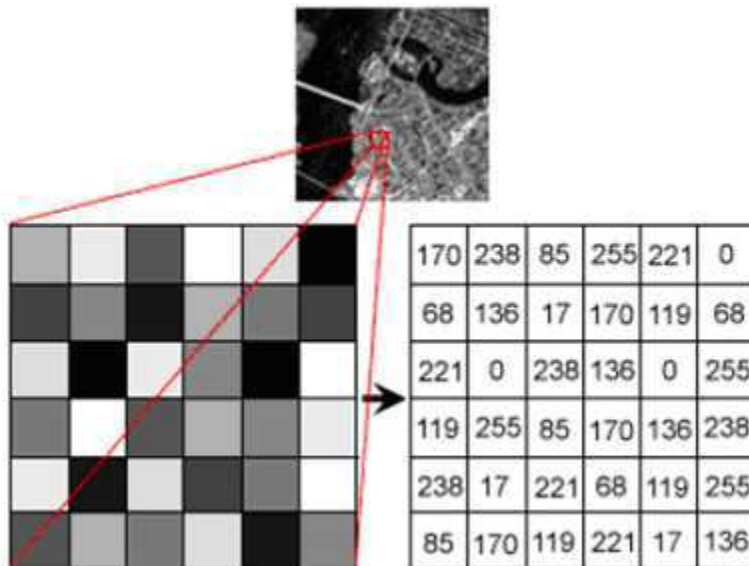
Ο Θεματικός Χαρτογράφος του δορυφόρου LANDSAT 5 (Thematic Mapper, συντομογραφία TM) είναι πολυφασματικός σαρωτής με 7 κανάλια. Το μέγεθος του εικονοστοιχείου είναι 30 μέτρα εκτός από το κανάλι 6 (θερμικό κανάλι) στο οποίο το μέγεθος είναι 120 μέτρα. Μία εικόνα TM καλύπτει περίπου 184km x 184km επί του εδάφους. Ακολουθεί πίνακας με την φασματική ευαισθησία και τις εφαρμογές του κάθε καναλιού.

Πίνακας 1 : Φασματικά κανάλια και οι εφαρμογές τους για τον LANDSAT TM.

Φασματικά κανάλια και Εφαρμογές τους για τον LANDSAT Thematic Mapper			
Κανάλι	Μήκος κύματος (μm)	Περιοχή φάσματος	Εφαρμογές
1	0.45-0.52	Μπλε	<p>Σχεδιάστηκε για να διεισδύει στις υδάτινες επιφάνειες. Πολύ χρήσιμο για:</p> <ul style="list-style-type: none"> • την χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών, • την διάκριση διαφόρων ειδών φυτοκάλυψης, • την χαρτογράφηση δασικών περιοχών • ανθρωπογενών κατασκευών
2	0.52-0.60	Πράσινο	<p>Σχεδιάστηκε για να μετράει το μέγιστο της ανάκλασης της φασματικής καμπύλης της βλάστησης. Πολύ χρήσιμο για:</p> <ul style="list-style-type: none"> • διάκριση διαφόρων ειδών βλάστησης • ανθρωπογενών κατασκευών
3	0.63-0.69	Κόκκινο	<p>Σχεδιάστηκε για να καταγράφει στην περιοχή απορρόφησης της χλωροφύλλης. Χρήσιμο για:</p> <ul style="list-style-type: none"> • διάκριση διαφορετικών ειδών φυτών • ανθρωπογενών κατασκευών
4	0.76-0.90	Εγγύς υπέρυθρο	<p>Χρήσιμο</p> <ul style="list-style-type: none"> • στον προσδιορισμό ειδών βλάστησης • στον προσδιορισμό της βιομάζας • στην διάκριση υδάτινων επιφανειών • στην χαρτογράφηση της περιεχόμενης υγρασίας στο έδαφος
5	1.55-1.75	Μέσο υπέρυθρο	<p>Χρήσιμο</p> <ul style="list-style-type: none"> • στον προσδιορισμό της υγρασίας των φυτών • στον προσδιορισμό της υγρασίας του εδάφους • στην διάκριση νεφών από επιφάνειες με χιόνια
6	10.4-12.5	Θερμικό υπέρυθρο	<p>Χρήσιμο</p> <ul style="list-style-type: none"> • σε εφαρμογές θερμικής χαρτογράφησης • στην διάκριση διαφορών στην περιεχόμενη υγρασία του εδάφους • στον εντοπισμό ασθενειών της βλάστησης
7	2.08-2.35	Μέσο υπέρυθρο	<p>Χρήσιμο</p> <ul style="list-style-type: none"> • στην διάκριση ορυκτών και πετρωμάτων • στον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας της βλάστησης

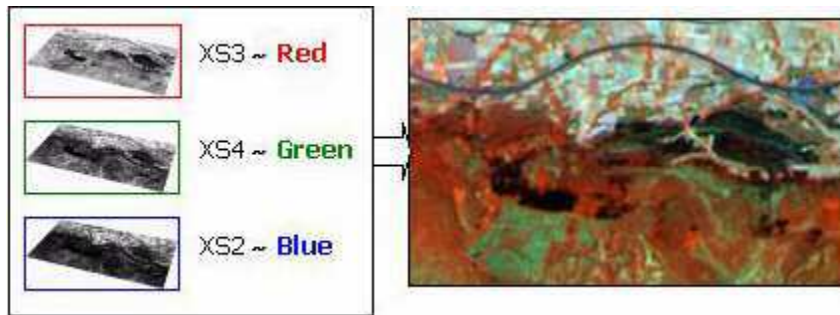
1.8 ΠΡΟΒΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΣΕ ΟΘΟΝΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

Ένα κανάλι μίας ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης καταγράφει σε μορφή ψηφιακών τιμών την ανακλώμενη ακτινοβολία σε κάθε απεικονιζόμενο σημείο της φυσικής γήινης επιφάνειας, στο συγκεκριμένο παράθυρο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (π.χ. περιοχή του μπλε 0.45-0.52 μm) στο οποίο είναι ρυθμισμένο να καταγράφει. Οι ψηφιακές τιμές συνήθως απεικονίζονται στην οθόνη με τόνους του γκρι και έτσι, όταν παρατηρούμε ένα κανάλι μόνο του συνήθως το προβάλλουμε σαν μία εικόνα με τόνους του γκρι.



Εικόνα 14 : Κανάλι μίας ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης (πηγή CCRS)

Η δημιουργία εγχρώμων εικόνων πραγματοποιείται συνήθως με συνδυασμό τριών καναλιών τα οποία αντιστοιχίζονται στα τρία βασικά χρώματα σύνθεσης έγχρωμης εικόνας σε οθόνη (Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε). Οι ψηφιακές τιμές του πρώτου καναλιού απεικονίζονται με τόνους του κόκκινου, του δεύτερου με τόνους του πράσινου και του τρίτου με τόνους του μπλε.



Εικόνα 15 : Έγχρωμο σύνθετο τριών καναλιών του δέκτη XS του δορυφόρου SPOT-5: XS3,XS4,XS2(R,G,B)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ

2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ?

Πρόκειται για ένα μη επανδρωμένο διαστημικό όχημα, που τίθεται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος μεταξύ 500 και 35.000 χιλιομέτρων από την επιφάνειά της, και εξοπλισμένο με κατάλληλα όργανα για να συλλέγει εικόνες και στοιχεία, τα οποία μεταδίδει σε επίγειους σταθμούς. (<http://lyk-vatheos.eyv.sch.gr/Ergasies/2006-2007/Tep/Doryforoi.htm>)

2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

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

Η μεταφορά των δορυφόρων και η τοποθέτησή τους σε τροχιά, γίνεται από πυραύλους ή διαστημικά λεωφορεία. Μόλις αυτά φτάσουν στην προκαθορισμένη απόσταση από την επιφάνεια της Γης, αποδεσμεύουν το δορυφόρο, προσδίδοντάς του την κατάλληλη κλίση και ταχύτητα, ώστε να εξασφαλίζεται η εξισορρόπηση της βαρυτικής έλξης και της φυγόκεντρης δύναμης που ασκούνται επάνω του. Η ταχύτητα που αποκτά τη στιγμή της αποδέσμευσης ο δορυφόρος είναι αυτή με την οποία στη συνέχεια εκτελεί τις περιφορές του. Το ύψος της τροχιάς στην οποία τοποθετείται ο δορυφόρος εξαρτάται από το είδος της αποστολής του. Ιδιαίτερα σημαντική, κυρίως για τους τηλεπικοινωνιακούς και τους μετεωρολογικούς δορυφόρους, είναι η γεωστατική τροχιά, 36.000 χλμ. πάνω από την επιφάνεια της Γης. Για κάποιον παρατηρητή στη Γη, ένας δορυφόρος που

κινείται στην τροχιά αυτή φαίνεται ακίνητος, καθώς έχει ίδια γωνιακή ταχύτητα με εκείνη της επιφάνειας της Γης και εκτελεί μια περιφορά σε 24 ώρες.

Επειδή οι δορυφόροι δεν χρειάζονται καύσιμα για την κίνησή τους, οι ενεργειακές τους ανάγκες αφορούν συνήθως μόνο τη λειτουργία τους και τις κινήσεις διόρθωσης της πορείας τους. Αυτές καλύπτονται από πίνακες ηλιακών κυττάρων, από καύσιμα στοιχεία ή -στην περίπτωση στρατιωτικών δορυφόρων- από μικρούς πυρηνικούς αντιδραστήρες. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να περιφέρονται γύρω από τη Γη για μεγάλο χρονικό διάστημα, ακόμη και μετά το τέλος της αποστολής τους, αποτελώντας πρόβλημα για τις επόμενες διαστημικές αποστολές. Αν περιφέρονται σε σχετικά χαμηλές τροχιές, μπορεί μετά από μερικά χρόνια να εισέλθουν στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και λόγω τριβής να αναφλεγούν. Σε μερικές περιπτώσεις η ανάφλεξη αυτή δεν είναι τέλεια, με συνέπεια τμήματά τους να πέφτουν τελικά στη Γη. Η πιθανότητα πτώσης στη Γη ή ατυχημάτων στον περιγήινο χώρο αποκτά ιδιαίτερη επικινδυνότητα όταν αφορά δορυφόρους με πυρηνικό αντιδραστήρα, καθώς περιστατικά του είδους αυτού έχουν σημειωθεί κατά καιρούς (πτώση του σοβιετικού πυρηνικού δορυφόρου Kosmos 954 στον Καναδά το 1978, έκρηξη του Kosmos 1275 πάνω από την Αλάσκα το 1981).

Για την αποφυγή παρόμοιων περιστατικών εφαρμόζεται η μετακίνηση των πυρηνικών δορυφόρων, μετά το τέλος της αποστολής τους, σε συγκεκριμένες τροχιές, όπου θα περιφέρονται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ούτε αυτή, όμως, η διαδικασία είναι απολύτως ασφαλής, καθώς το 1983 οι χειρισμοί για τη μετακίνηση του πυρηνικού δορυφόρου Kosmos 1402 απέτυχαν, με αποτέλεσμα ο τελευταίος να εισέλθει στην ατμόσφαιρα και να συντριβεί στον Ινδικό Ωκεανό.

Κατά τη δεκαετία του 1970 η ανάπτυξη των δορυφόρων, που είχε αρχίσει από την προηγούμενη δεκαετία, από τις ΗΠΑ και τη Σοβιετική Ένωση, συνεχίστηκε και το φάσμα εφαρμογών διευρύνθηκε. Παράλληλα, άρχισαν και άλλες χώρες να κατασκευάζουν δορυφόρους, κυρίως τηλεπικοινωνιακούς, ενώ εξέλιξη σημειώθηκε και στη δορυφορική τηλεόραση, που λειτουργούσε ήδη από το 1965, καθώς από τις αρχές της δεκαετίας άρχισε η μετάδοση και έγχρωμων τηλεοπτικών προγραμμάτων μέσω δορυφόρου.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 βασική επιδίωξη κατά την κατασκευή των δορυφόρων είναι η αύξηση της ισχύος εκπομπής τους, η μείωση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας τους και η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής τους.

Τον Ιούνιο του 1983 το διαστημικό λεωφορείο Τσάλεντζερ τοποθέτησε σε τροχιά τον πρώτο επαναχρησιμοποιούμενο δορυφόρο στον κόσμο, τον SPAS 01 (Shuttle Pallet Satellite), ο οποίος μετά το τέλος της αποστολής του περισυνελέγη και μεταφέρθηκε στη Γη. Το 1984 ακολούθησε, πάλι από το Τσάλεντζερ, η τοποθέτηση του επαναχρησιμοποιούμενου δορυφόρου LDEF (Long Duration Exposure Facility), που περισυνελέγη ύστερα από 5 χρόνια παραμονής στο διάστημα. Τον ίδιο χρόνο πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά επισκευή δορυφόρου στο διάστημα: ο δορυφόρος Solar Max μεταφέρθηκε με βραχίονες ρομπότ μέσα στο Τσάλεντζερ, επισκευάστηκε από τους αστροναύτες και επανατοποθετήθηκε σε τροχιά. Το 1988 πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά, μέσω δορυφόρου, μετάδοση τηλεοπτικών προγραμμάτων υψηλής ευκρίνειας (High Definition TV) (μετάδοση Ολυμπιακών Αγώνων της Σεούλ). Μέχρι το τέλος της δεκαετίας τηλεπικοινωνιακά δίκτυα με δορυφόρους είχαν αναπτυχθεί σε πολλές περιοχές της Γης.

Κατά τη δεκαετία του 1990 το ενδιαφέρον από κατασκευαστική άποψη συγκεντρώνουν οι μικροί δορυφόροι (mini satellites), που χρησιμοποιούνται πλέον, όχι μόνο για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς και για τηλεπισκόπηση, αλλά και σε πλήθος άλλων εφαρμογών, χάρη στο μικρό τους βάρος και κόστος. (www.neo.gr/website/ergasiamathiti/75.htm)

2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΡΟΧΙΑΣ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ

Η τροχιά ενός δορυφόρου είναι ελλειπτική (στην μία εστία της έλλειψης βρίσκεται η γη) και προορίζεται από τις ακόλουθες έξι παραμέτρους (STERN 2001,Μηλιαρέσης Γ. 2006) :

1. Ο κύριος άξονας (a) της ελλειπτικής τροχιάς (semi- major axis)
2. Η εκκεντρότητα (e) της έλλειψης (eccentricity)
3. Η κλίση της τροχιάς (i) ως προς τον Ισημερινό (inclination).
4. Μετατόπιση ανιόντος δεσμού (Ω) (right ascension of the ascending node).
5. Μέγεθος περιγείου (ω) (argument of the perigee).
6. Αληθής ανωμαλία (M) (true anomaly)

Από αυτές μόνο η M εξαρτάται από το χρόνο ενώ η I , ω , Ω , καθορίζουν την θέση του τροχιακού επιπέδου στο χώρο (σύστημα αναφοράς). (Μηλιαρέσης Γ. 2006)

2.3.1 ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ (e)

Το μέγεθος e ονομάζεται εκκεντρότητα της έλλειψης (διαφορά μεγάλου και μικρού ημιάξονα) και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0 (κύκλος) και 1. Η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο έχει εκκεντρότητα $e=0,0068$ δηλαδή είναι σχεδόν κυκλική. (Μηλιαρέσης Γ. 2006)

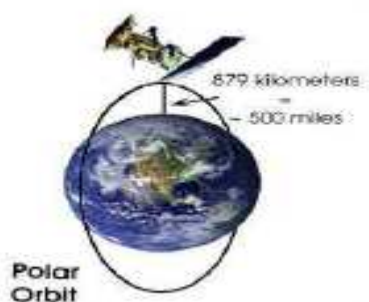
2.3.2. ΚΛΙΣΗ ΤΡΟΧΙΑΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (inclination)

Η κλίση (i) του τροχιακού επιπέδου (i) ως προς το επίπεδο του Ισημερινού της γης είναι πολύ σημαντικός παράγοντας γιατί καθορίζει την περιοχή της γης που καλύπτει ο δορυφόρος (typical sat orbits 2001) . Ένα παράδειγμα είναι ο δορυφόρος ASTER με $i=98,8^\circ$. Η τιμή του i αποκλείει την χαρτογράφηση των ζωνών της γης με γεωγραφικό πλάτος μεγαλύτερο από $81,2^\circ$ στο βόρειο ημισφαίριο και γεωγραφικό πλάτος μικρότερο από $-81,2^\circ$ στο νότιο ημισφαίριο. Ο αποκλεισμός των πολικών περιοχών αυξάνει την συχνότητα επανάληψης της κάλυψης στην ζώνη με πλάτος από $-81,2^\circ$ έως $81,2^\circ$. Οι χαρτογραφικοί δορυφόροι έχουν μικρή περίοδο σε σχέση με την περίοδο της γης (24 ώρες) έτσι ώστε σε σύντομο χρονικό διάστημα να μπορούν να καλύψουν το ίδιο σημείο της γης (revisit time).

Το γεωγραφικό πλάτος (φ) του κέντρου εκτόξευσης επιβάλλει περιορισμούς στην ελάχιστη τιμή της κλίσης, αφού αυτή δεν μπορεί να είναι μικρότερη από το φ . (Μηλιαρέσης Γ. 2006)

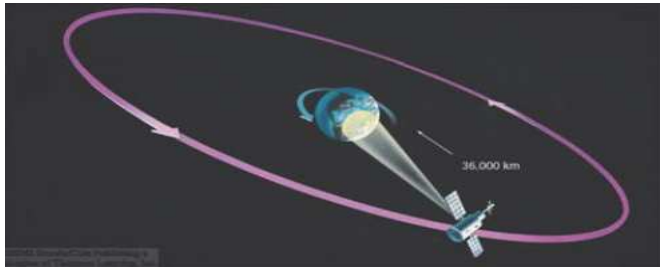
2.4 ΤΡΟΧΙΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ

2.4.1 Πολικής τροχιάς: είναι όταν η τροχιά του δορυφόρου είναι πολύ κοντά στους πόλους της Γης και σχηματίζει σχεδόν 90° μοίρες κάθετα προς τον Ισημερινό. Η τροχιά αυτού του είδους είναι σπάνια και επιλέγεται για αποστολές των οποίων ο σκοπός είναι η παρατήρηση μεσημβρινών ζωνών σε όλες τις συνθήκες φωτισμού. Τέτοιοι είναι οι δορυφόροι περιβάλλοντος, είναι δορυφόροι που μελετούν το χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον και καταγράφουν τα φαινόμενα και τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτό, καθώς και στην ατμόσφαιρα του πλανήτη.



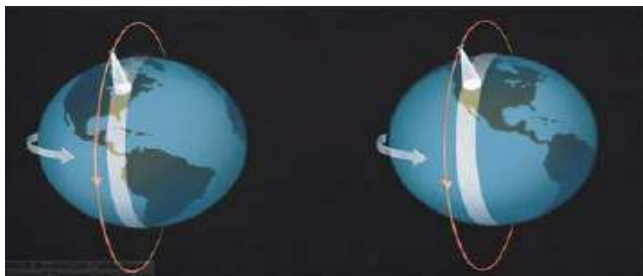
Εικόνα 15 : Προσομοίωση κίνησης δορυφόρου σε πολική τροχιά.

2.4.2 Γεωσύγχρονη τροχιά: είναι η τροχιά αυτή που έχει περίοδο (χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση μίας περιστροφής του δορυφόρου γύρω από τη Γη) ίση με τον χρόνο περιστροφής της Γης γύρω από τον εαυτό της. Αυτό το είδος δορυφόρου "εστιάζει" μόνο ένα σταθερό σημείο της Γης. Οι γεωσύγχρονοι δορυφόροι χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε μετεωρολογικές εφαρμογές, καθώς και για την παρακολούθηση της εξέλιξης των μετεωρολογικών φαινομένων δεν απαιτείται ιδιαίτερα υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα, αλλά αντίθετα υψηλή χρονική διακριτική ικανότητα της τάξης των 30', επίσης είναι και τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι, που διεκπεριώνουν τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, αναμεταδίδουν τηλεοπτικά προγράμματα, δεδομένα πλοήγησης και αποτελούν τη βάση ενός συστήματος προσανατολισμού και καθορισμού πορείας, κυρίως για αεροπλάνα και πλοία (GPS).



Εικόνα 16 : Προσομοίωση κίνησης δορυφόρου σε γεωσύγχρονη τροχιά.

2.4.3 Ηλιοσύγχρονη τροχιά: Το τροχιακό επίπεδο περιστρέφεται γύρω από τη Γη με τον ίδιο ρυθμό που ο ήλιος κινείται κατά μήκος της γήινης επιφάνειας και έτσι ο δορυφόρος έχει θέση σύγχρονη με τη θέση της Γης ως προς τον ήλιο.



Εικόνα 17 : Προσομοίωση κίνησης δορυφόρου σε ηλιοσύγχρονη τροχιά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ

3.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ?

Οι λόγοι καναλιών είναι ενισχύσεις, οι οποίες προκύπτουν από τη διαίρεση των ψηφιακών τιμών σ' ένα φασματικό κανάλι, με τις αντίστοιχες τιμές σε ένα άλλο κανάλι. Ένα κύριο πλεονέκτημα των φασματικών λόγων μεταξύ καναλιών μίας πολυφασματικής απεικόνισης είναι ότι αναδεικνύουν τα φασματικά χαρακτηριστικά των διαφόρων στοιχείων της απεικόνισης, ανεξάρτητα από την έκταση των συνθηκών φωτισμού της περιοχής κατόπτευσης. Συνεπώς, μία απεικόνιση, η οποία προκύπτει από την εφαρμογή ενός φασματικού λόγου μεταξύ δύο καναλιών για μία περιοχής κατόπτευσης, θα μπορούσε αποτελεσματικά να αντισταθμίσει τη διακύμανση των ψηφιακών τιμών, η οποία οφείλεται στο τοπογραφικό ανάγλυφο, και μ' αυτό τον τρόπο, δίνει έμφαση στη φασματική και χρωματική πληροφορία μίας πολυφασματικής ψηφιακής απεικόνισης (Lillesand και Kiefer, 1994, Αργιαλάς, 2000).

3.2 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΛΟΓΩΝ

Η επεξεργασία της δημιουργίας φασματικών λόγων και έγχρωμων συνθέτων με εικόνες λόγους υποβοηθά στην επιλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων εκπαίδευσης συγκεκριμένων θεματικών τάξεων κατά το στάδιο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, αλλά συνήθως αποτελεί ένα αυτόνομο στάδιο επεξεργασιών μίας ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης. Από αυτή τη διαδικασία λαμβάνονται πολύ χρήσιμα συμπεράσματα α) για τα φασματικά χαρακτηριστικά της κάλυψης γης των περιοχών έρευνας, τα οποία συνδέονται άμεσα με την ορυκτολογική σύσταση του εδάφους των περιοχών αυτών και β) για την οριοθέτηση των ζωνών των περιοχών έρευνας.

Ο αριθμός των φασματικών λόγων που μπορούν να αναπτυχθούν από n κανάλια δεδομένων είναι $n(n-1)$. Συνεπώς για τα δεδομένα Landsat-TM (εξαιρουμένου του θερμικού καναλιού) μπορούν να αναπτυχθούν $6(6-1)$, ή 30 δυνατοί συνδυασμοί λόγων. Για παράδειγμα, ο λόγος του εγγύς υπέρυθρου προς το κόκκινο, για την υγιή βλάστηση είναι συνήθως πολύ υψηλός, ενώ για τις περιπτώσεις της υπό κάμψη βλάστησης, είναι τυπικά χαμηλότερος καθώς η

υπέρυθρη ανακλαστικότητα μειώνεται, ενώ η κόκκινη αυξάνεται. Αυτού του είδους ο λόγος έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα ως **δείκτης βλάστησης** με σκοπό την σχετική ποσοτικοποίηση της πράσινης βλάστησης και της βιομάζας.

3.3 ΠΟΙΟΙ ΕΙΝΑΙ ΚΑΙ ΤΙ ΥΠΟΔΗΛΩΝΟΥΝ?

Οι πιο γνωστοί ορυκτολογικοί δείκτες και δείκτες βλάστησης είναι:

3.3.1 VEG. INDEX (ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ)

Εκτίμηση της υγιούς βλάστησης

$$\text{Band 4-Band 3}$$

3.3.2 TNDVI :

Μετασχηματισμένος δείκτης βλάστησης:

$$\text{Sqrt } ((\text{Band 4-Band 3} / \text{Band 4+Band 3}) + 0,5)$$

3.3.3 ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (NDVI)

Μία μέθοδος φασματικής ενίσχυσης είναι ο δείκτης βλάστησης NDVI, ο οποίος όχι μόνο αναδεικνύει τις περιοχές που έχουν βλάστηση στην εικόνα, αλλά δίνει πληροφορίες σχετικά με το πόσο υγιή είναι τα φυτά.

Βασική αρχή του NDVI:

Η βασική εξίσωση πίσω από την πράξη αυτή μπορεί να εκφραστεί ως:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NIR = η τιμή στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι

R = η τιμή στο κόκκινο κανάλι

όπως καταγράφονται από τον αισθητήρα του δορυφόρου.

Συνεπώς η υγιής βλάστηση απορροφά περισσότερη κόκκινη ακτινοβολία από ότι η ασθενής βλάστηση. Η NDVI εξίσωση υπολογίζει έναν αριθμό που αντιπροσωπεύει την κατάσταση της υγείας των φυτών. Επίσης, για μια δεδομένη NDVI εικόνα.

Η NDVI τιμή ανά pixel πάντα κυμαίνεται από -1 έως 1. Συνεπώς, οι περιοχές που στερούνται βλάστηση δίνουν μια αρνητική τιμή ή μια τιμή κοντά στο μηδέν, αντιθέτως μία τιμή NDVI κοντά στο +1 αντιπροσωπεύει πλούσια βλάστηση. Ο υπολογισμένος για μια εικόνα πίνακας τιμών NDVI, απεικονίζεται με διαβάθμιση των τόνων του γκρι. Ο δείκτης βλάστησης εξαρτάται από πολλούς περιβαλλοντικούς παράγοντες. Για μια μεγάλη έκταση βλάστησης ο κύριος παράγοντας είναι η υγρασία στο ριζόστρωμα των φυτών.

3.3.4 IR/R

Πρόκειται για δείκτη ποιότητας βλάστησης. Οι φωτεινές περιοχές αντιπροσωπεύουν την υγιή βλάστηση.

Band 4/Band 3

3.3.5 FERROUS MINERAL

Ο λόγος καναλιών 5/4, εφαρμόστηκε για τη διάκριση μεταξύ των οξειδίων του σιδήρου και του υδροξυλίου.

Band 5 / Band 4

3.3.6 IRON OXIDE

Band 3/Band 1

Η εφαρμογή του φασματικού λόγου 3/1 παρέχει απεικονίσεις στις οποίες διαχωρίζονται τα οξείδια του σιδήρου και τα θειικά ορυκτά. Πιο συγκεκριμένα, στο κανάλι 1 (μπλέ) της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης LANDSAT-TM, τα ορυκτά τα οποία περιέχουν οξείδια του σιδήρου παρουσιάζουν χαμηλή

ανακλαστικότητα, ενώ στο κανάλι 3 (κόκκινο), τα ίδια ορυκτά παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα. Ο διαχωρισμός των εικονοστοιχείων που περιέχουν προσμίξεις οξειδίων του σιδήρου και χαλαζία από αυτά που περιέχουν μόνο χαλαζία επιτυγχάνεται με τον λόγο αυτό, αφού αυτά που περιέχουν οξειδία του σιδήρου εμφανίζονται πιο φωτεινά.

3.3.7. HYDROTHERMAL COMPOSITE, MINERAL COMPOSITE & CLAY MINERALS

Band 5/Band 7

Ο φασματικός λόγος 5/7 χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης. Οι συγκεκριμένος φασματικός λόγος χρησιμοποιήθηκε στη βιβλιογραφία (Gupta, 1991, Sabins, 1997) για τον εντοπισμό ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης σε επιθερμικά κοιτάσματα χρυσού και πορφυριτικά κοιτάσματα χαλκού, όπως για παράδειγμα για την περιοχή του Cuprite, στο Goldfield της Νεβάδα – Η.Π.Α., η οποία παρουσίασε παρόμοια δομή και ζώνωση εξαλλοιώσεων. Οι περιοχές, οι οποίες εμφανίζονται με άσπρο χρώμα αλλά και ανοιχτό γκρι, είναι οι περιοχές εξαλλοιώσεων μεγαλύτερης έντασης (πυριτίωση, προχωρημένη αργιλική, αργιλική). Οι περιοχές, οι οποίες εμφανίζονται με σκούρους τόνους του γκρι ορίζουν εξαλλοιώσεις χαμηλότερης έντασης, όπως σερικιτίωση, επιδοτίωση και προπυλιτίωση. Οι περιοχές με χρώμα μαύρο ή πολύ σκούρο γκρι αντιπροσωπεύουν αναλλοίωτες λάβες (Sabins, 1997, 1999).

Αναλυτικότερα, στην απεικόνιση η οποία προέκυψε από την εφαρμογή του λόγου 5/7, δίνεται έμφαση στις φασματικές διαφορές που παρουσιάζουν τα υδροθερμικά εξαλλοιωμένα αργιλικά ορυκτά ιλλίτης, καολίνης και μοντμοριλλονίτης. Αυτά τα ορυκτά εμφανίζουν διακριτά χαρακτηριστικά απορρόφησης (ελάχιστη ανακλαστικότητα) στο εύρος του μήκους κύματος του καναλιού 7 του Θεματικού Χαρτογράφου του LANDSAT (LANDSAT-TM), ενώ παρουσιάζουν τη μέγιστη ανακλαστικότητα στο κανάλι 5. Γι' αυτό το λόγο, η χρήση του φασματικού λόγου 5/7 παρουσιάζει αρκετά μεγάλο ενδιαφέρον και κρίνεται απαραίτητη για την ανίχνευση των συγκεκριμένων υδροθερμικών αργιλικών ορυκτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

4.1. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ERDAS IMAGINE

Το ERDAS IMAGINE πρόκειται για ένα λογισμικό εφαρμογών τηλεπισκόπησης, που παρέχει τα εργαλεία για την δημιουργία, διαχείριση και ανάλυση εικόνων αυξάνοντας την αξία των χωρικών πληροφοριών.

Σχεδιάστηκε με βάση τη δυνατότητα εκτέλεσης σύνθετων λειτουργιών επιβλεπομένης και μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τεχνικές που διευκολύνουν την παραγωγή χαρτών χρήσεων γης, καθώς και εργαλεία για τον έλεγχο της ακρίβειας των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης. Επίσης προσφέρει εργαλείο αυτοματοποιημένης διαδικασίας εντοπισμού αλλαγών με χρήση διαχρονικών εικόνων.

Το ERDAS IMAGINE είναι διαθέσιμο σε τρεις σειρές: IMAGINE Essentials, IMAGINE Advantage, και IMAGINE Professional. (www.geosystems-hellas.gr)

4.2. ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

Ο όρος «ψηφιακή επεξεργασία εικόνας» (digital image processing) αναφέρεται στην χρήση ενός υπολογιστή με σκοπό την διαχείριση δεδομένων εικόνας τα οποία έχουν αποθηκευτεί σε ψηφιακή μορφή (digital format). Ο σκοπός της επεξεργασίας των ψηφιακών εικόνων για τις επιστήμες της γης είναι η ενίσχυση (enhancement) των γεωγραφικών δεδομένων σε ψηφιακή μορφή, ώστε να καταστούν πιο κατανοητά στον χρήστη, προκειμένου να εξαγάγει ποσοτικές πληροφορίες και να επιλύσει προβλήματα.

1. Διόρθωση Εικόνων και Αποκατάσταση

Περιλαμβάνουν την αρχική επεξεργασία των εικόνων ώστε να διορθώσουν γεωμετρικές παραμορφώσεις, να ρυθμίσουν τα δεδομένα ραδιομετρικώς και να εξαλείψουν τυχόν θόρυβο.

2. Ενίσχυση Εικόνων

Περιλαμβάνει τεχνικές που αποβλέπουν στην αύξηση της οπτικής διαφοροποίησης μεταξύ χαρακτηριστικών μιας εικόνας. Στόχος, είναι η δημιουργία μιας «νέας» βελτιωμένης εικόνας.

3. Ταξινόμηση Εικόνων

Σκοπός είναι η αντικατάσταση της Φωτοερμηνείας των εικόνων με ποσοτικές τεχνικές για την αυτοματοποίηση της αναγνώρισης διάφορων χαρακτηριστικών (θεματικών κατηγοριών, αντικειμένων) σε μια εικόνα.

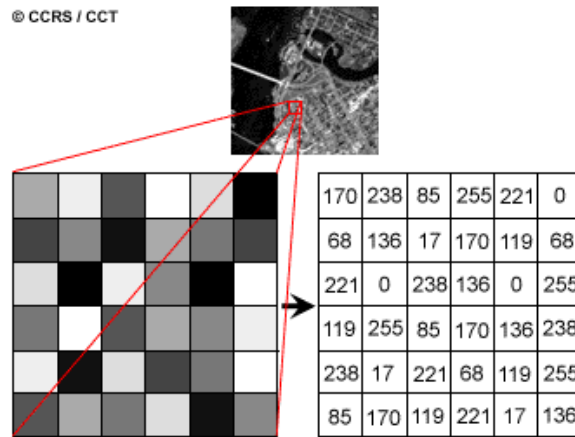
4. Συνδυασμός Δεδομένων

Οι διαδικασίες αυτές χρησιμοποιούνται για να συνδυάσουν δεδομένα εικόνων μιας γεωγραφικής περιοχής με άλλα δεδομένα της ίδιας περιοχής που έχουν την ίδια χαρτογραφική και γεωγραφική αναφορά.

5. Βιοφυσικά Μοντέλα

Ποσοτικός συσχετισμός των ψηφιακών δεδομένων με τα βιοφυσικά χαρακτηριστικά και φαινόμενα τα οποία μετρώνται επί του εδάφους (π.χ. Παραγωγή καλλιεργειών, συγκεντρώσεις ρύπανσης).

Μια ψηφιακή εικόνα αποθηκεύεται ως δυο διαστάσεων πλέγμα (array ή grid) μικρών περιοχών τις οποίες ονομάζουμε εικονοστοιχεία (pixels). Κάθε εικονοστοιχείο αντιστοιχεί χωρικά σε μια περιοχή της επιφάνειας της γης. Το πλέγμα αυτό καλείται raster (κυψελωτό), και συνεπώς τα δεδομένα εικόνας αναφέρονται συχνά και ως raster δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά διευθετούνται σε οριζόντιες γραμμές (οι οποίες καλούνται rows), και σε κάθετες στήλες οι οποίες καλούνται δείγματα (samples). Κάθε εικονοστοιχείο (pixel) της raster εικόνας αντιπροσωπεύεται από έναν ψηφιακό αριθμό (Digital Number = DN).



Εικόνα 17: Τα raster (κυψελωτά) δεδομένα και τα εικονοστοιχεία τα οποία αντιπροσωπεύονται από ψηφιακούς αριθμούς.

Αυτοί οι ψηφιακοί αριθμοί των εικόνων (DNs) μπορεί να αντιπροσωπεύουν πολλούς διαφορετικούς τύπους δεδομένων ανάλογα με την πηγή των δεδομένων. Για δορυφορικά δεδομένα όπως οι Landsat και SPOT εικόνες, οι DNs αντιπροσωπεύουν την ένταση (intensity) του ανακλώμενου φωτός στο ορατό (visible), το μέσο υπέρυθρο (infrared) ή άλλα φασματικά μήκη. Για τα ψηφιακά τοπογραφικά μοντέλα (DTMs), οι DNs αντιπροσωπεύουν το υψόμετρο.

Εφαρμόζοντας μαθηματικούς μετασχηματισμούς στους ψηφιακούς αριθμούς (DNs) μέσω ενός λογισμικού πακέτου, μπορούμε να ενισχύσουμε τα δεδομένα εικόνας και ως αποτέλεσμα να τονίσουμε και να εξάγουμε πολύ συγκεκριμένες και ακριβείς πληροφορίες τις οποίες, θα ήταν αδύνατο να αποκτήσουμε με την χρήση παραδοσιακών τεχνικών φωτοερμηνείας. Για τον λόγο αυτό, η επεξεργασία των εικόνων αποτελεί ένα πανίσχυρο εργαλείο για όλους τους τομείς των επιστημών της γης.

Πολλά ψηφιακά δεδομένα εικόνας αποτελούνται από πολλαπλά κανάλια (bands or layers) δεδομένων τα οποία καλύπτουν την ίδια γεωγραφική περιοχή, αλλά περιέχουν διαφορετικές πληροφορίες. Για παράδειγμα, μια SPOT HRV-XS δορυφορική εικόνα έχει τρία κανάλια δεδομένων. Κάθε ένα από αυτά αποτυπώνει την ανακλαστικότητα (reflectance) της γήινης επιφάνειας σε διαφορετικά μήκη κύματος φωτός. Αφού κάθε ένα κανάλι καταγράφει την ανακλαστικότητα σε μια

διαφορετική περιοχή φάσματος, ο τύπος αυτών των δεδομένων καλείται «πολυφασματικά δεδομένα» (multispectral data). Πολλές ισχυρές τεχνικές επεξεργασίας εικόνας έχουν αναπτυχθεί προκειμένου να συνδυάζουν τα διάφορα κανάλια των πολυφασματικών εικόνων με στόχο να αναδεικνύουν κάθε φορά (ανάλογα με τον συνδυασμό) συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως την αφθονία της βλάστησης (vegetation abundance), τις παραμέτρους ποιότητας του νερού (water quality parameters), ή το είδος των ορυκτών τα οποία είναι παρόντα στην γήινη επιφάνεια.

Η ψηφιακή επεξεργασία αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την χαρτογράφηση, την ανάλυση και την μοντελοποίηση ενός μεγάλου εύρους εφαρμογών των γεωεπιστημών. Τα παρακάτω είναι μερικές από τις πολλές εφαρμογές, στις οποίες χρησιμοποιείται συχνά η επεξεργασία των ψηφιακών εικόνων:

- Χρήσεις Γης (land use)/Χαρτογράφηση κάλυψης γης και ανίχνευση μεταβολών (land cover mapping and change detection)
- Γεωργική παρακολούθηση και εκτίμηση (agricultural assessment and monitoring)
- Διαχείριση Παράκτιων και Θαλάσσιων πόρων (coastal and marine resource management)
- Ορυκτολογική εξερεύνηση (mineral exploration)
- Εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου (oil & gas exploration)
- Διαχείριση δασικών πόρων (forest resource management)
- Αστικός σχεδιασμός και ανίχνευση μεταβολών (urban planning and change detection)
- Σχεδιασμός τηλεπικοινωνιών (telecommunications siting and planning)
- Φυσική ωκεανογραφία (physical oceanography)
- Γεωλογική και τοπογραφική χαρτογράφηση (geology and topographic mapping)
- Ανίχνευση θαλάσσιων παγόβουνων και χαρτογράφησή τους (sea ice detection and mapping)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΕΙΚΟΝΩΝ

Κάθε δορυφορική ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση παραμορφώνεται γεωμετρικά κατά την λήψη της. Μερικοί παράγοντες που παραμορφώνουν τη γεωμετρία της εικόνας έχουν σχέση με την αλληλεπίδραση του συστήματος δορυφόρου - γης και είναι: α) η κίνηση του φορέα (δορυφόρου), β) η περιστροφή της γης, γ) η επίδραση της καμπυλότητας της γης κ.α.. Επιπλέον, οι παραμορφώσεις, τις οποίες υφίσταται μία δορυφορική ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση, εξαρτώνται από τον τρόπο λειτουργίας του φασματικού σαρωτή (συστήματος λήψης), και κατά συνέπεια, τον τρόπο καταγραφής της απεικόνισης. Οι παραμορφώσεις αυτές μπορεί να είναι γραμμικές ή μη γραμμικές. Στην προσπάθεια εξάλειψης των παραμορφώσεων αυτών, χρησιμοποιούνται παραμετρικά και μη παραμετρικά μοντέλα. Τα παραμετρικά μοντέλα λαβαίνουν υπόψη τους:

- **Αναλυτικά μαθηματικά μοντέλα των υφιστάμενων παραμορφώσεων** (για παράδειγμα τη περιστροφή της γης σε σχέση με την χρονική διάρκεια καταγραφής των ψηφίδων της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης), ή
- **Δεδομένα που καταγράφονται μαζί με τη δορυφορική ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση**, και αφορούν, για παράδειγμα, στη θέση του δορυφόρου, και το γεωμετρικό προσανατολισμό του σαρωτή (SPOT, TM). Το μειονέκτημα είναι, ότι τα δεδομένα αυτά δεν καταγράφονται συνεχώς, αλλά σε περιοδικά χρονικά διαστήματα, και έτσι είναι διαθέσιμα μόνο για ορισμένο αριθμό ψηφίδων (Θεματικός Χαρτογράφος LANDSAT (LANDSAT-TM)) ή γραμμών (SPOT). Για τις ψηφίδες ή τις γραμμές, οι οποίες βρίσκονται ενδιάμεσα, υποθέτουμε ότι έχουμε γραμμική μεταβολή της παραμόρφωσης.

Για την εφαρμογή των παραμετρικών διορθώσεων χρησιμοποιούνται μη παραμετρικά μοντέλα στην προσπάθεια διόρθωσης της γεωμετρίας της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης για τις υπολειπόμενες παραμορφώσεις. Στα μοντέλα

αυτά χρησιμοποιείται πληροφορία, η οποία αφορά στη θέση σημείων (π.χ. διασταυρώσεις οδικών αρτηριών, κόμβοι υδρογραφικού δικτύου και χαρακτηριστικά σημεία επί των ακτογραμμών), τα οποία διακρίνονται με ευκρίνεια, τόσο στη δορυφορική ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση, όσο και πάνω στην επιφάνεια της γης ή σε χαρτογραφικές αναπαραστάσεις της γήινης επιφάνειας. Τα σημεία αυτά ονομάζονται σημεία επίγειου ελέγχου και η θέση τους στην επιφάνεια της γης συνήθως εντοπίζεται από κάποιο διαθέσιμο χάρτη, με αναφορά τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες ϕ και λ , ή τις γεωδαιτικές τους συντεταγμένες σε κάποιο Σύστημα Αναφοράς (π.χ. ΕΓΣΑ'87), ή μπορεί να υπολογισθεί και με επιτόπου μετρήσεις (συνήθως με GPS). Ο σκοπός χρήσης των συντεταγμένων των σημείων επίγειου ελέγχου (τόσο στη δορυφορική ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση, όσο και στο χάρτη), είναι η υλοποίηση ενός μετασχηματισμού συντεταγμένων για όλα τα σημεία της δορυφορικής ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης ως προς τον χάρτη. Οι συντρέχουσες προϋποθέσεις, προκειμένου να υλοποιηθεί σωστά ο μετασχηματισμός είναι οι ακόλουθες :

- ο Τα σημεία επίγειου ελέγχου πρέπει να κατανέμονται ομοιόμορφα πάνω στην εικόνα.
- ο Οφείλει να είναι γνωστό το μοντέλο της παραμόρφωσης της δορυφορικής απεικόνισης (γραμμικό, πολυωνυμικό κ.α.).

Οι συντεταγμένες των σημείων επίγειου ελέγχου τυγχάνουν επεξεργασίας από ένα πρόγραμμα ελαχίστων τετραγώνων, ώστε να προσδιορισθούν οι συντελεστές των δύο εξισώσεων μετασχηματισμού συντεταγμένων, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συσχετίσουν τις συντεταγμένες του γεωμετρικά ορθού χάρτη με τις παραμορφωμένες συντεταγμένες της ψηφιακής απεικόνισης. Οι εξισώσεις μετασχηματισμού συντεταγμένων δίνονται ως ακολούθως:

$$x = f_1(X, Y) \quad (1)$$

$$y = f_2(X, Y) \quad (2)$$

Όπου:

(x, y) = συντεταγμένες της παραμορφωμένης ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης

(X, Y) = ορθές συντεταγμένες του χάρτη

(f_1, f_2) = συναρτήσεις μετασχηματισμού

Μετά τον προσδιορισμό της συνάρτησης μετασχηματισμού των συντεταγμένων απαιτείται μία διαδικασία προσδιορισμού των ψηφιακών τιμών των διαβαθμίσεων του γκρι, οι οποίες χρησιμοποιούνται από την αρχική παραμορφωμένη εικόνα για να τοποθετηθούν στη διορθωμένη (γεωμετρικά (γεωδαιτικά) ανηγμένη) απεικόνιση. Αυτή η διαδικασία καλείται αναδόμηση της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης και χρησιμοποιεί τρεις μεθόδους: α) τη μέθοδο της εγγύτερης γειτνίασης, η οποία παράγει μία τελική απεικόνιση, η οποία στηρίζεται στον υπολογισμό των ψηφιακών τιμών των ψηφίδων βάσει της εγγύτερης ψηφίδας της αρχικής απεικόνισης, και παρουσιάζει το μεγάλο πλεονέκτημα της ευκολίας των υπολογισμών και της αποφυγής αλλαγών των ψηφιακών τιμών των διαβαθμίσεων του γκρι της αρχικής ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης, β) τη διγραμμική μέθοδο αναδόμησης, η οποία λαμβάνει υπόψη της το μέσο όρο των τεσσάρων (4) εγγύτερων ψηφίδων της απεικόνισης, και θεωρείται ισοδύναμη διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής στο διδιάστατο χώρο, και τέλος γ) την κυβική συνέλιξη, η οποία υπολογίζεται από τις δεκαέξι (16) εγγύτερες τιμές της αντίστοιχης ψηφίδας της αρχικής ψηφιακής απεικόνισης. Η μέθοδος αυτή δημιουργεί μία τελική απεικόνιση, η οποία εμφανίζει περισσότερο οξυμένα τα στοιχεία της, αλλά παράλληλα τροποποιεί αρκετά τις ψηφιακές τιμές των διαβαθμίσεων του γκρι της αρχικής ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης (Lillesand – Kiefer, 1994, Αργιαλάς, 2000).

5.1 ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

Οι ραδιομετρικές διορθώσεις εφαρμόζονται αμέσως πριν τη γεωμετρική διόρθωση και την αναδόμηση των ψηφιακών τιμών της δορυφορικής τηλεπισκοπικής απεικόνισης. Οι ραδιομετρικές διορθώσεις, οι οποίες πρέπει να διεξαχθούν πριν την εφαρμογή τεχνικών επεξεργασίας ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες.

Α) Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις ραδιομετρικές διορθώσεις, οι οποίες πραγματοποιούνται για να περιοριστούν στο ελάχιστο δυνατό τα σφάλματα

λειτουργίας των αισθητήρων του σαρωτή και να βελτιστοποιηθεί το δυναμικό εύρος λειτουργίας τους. Οι διορθώσεις αυτές γίνονται σε πραγματικό χρόνο κατά τη λειτουργία του σαρωτή και επηρεάζουν τη βασική στάθμη και το βαθμό ενίσχυσης των ειδικών διατάξεων των αισθητήρων.

B) Η δεύτερη κατηγορία αφορά στις ατμοσφαιρικές διορθώσεις, οι οποίες εφαρμόζονται, προκειμένου να περιοριστεί η ραδιομετρική επίδραση εξωγενών παραγόντων, όπως είναι η επίδραση της γήινης ατμόσφαιρας και του γήινου αναγλύφου κ.α., στο λαμβανόμενο σήμα, κατά την διαδρομή της ακτινοβολίας μέχρι τον σαρωτή. Η διόρθωση της επίδρασης του αναγλύφου στα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης, απαιτεί την ύπαρξη ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους για την διόρθωσή της.

Η επίδραση της διάχυσης του σήματος από την ατμόσφαιρα έχει ως συνέπεια την αύξηση των τιμών φωτεινότητας των ψηφίδων σε κάθε κανάλι, με μικρότερη ίσως επίδραση στα υπέρυθρα κανάλια. Έτσι, μία πρώτη προσέγγιση για τη διόρθωση της επίδρασης της διάχυσης, έγκειται στην μείωση των τιμών φωτεινότητας των ψηφίδων του κάθε καναλιού κατά μία ποσότητα που υπολογίζεται, είτε με ρύθμιση των ιστογραμμάτων ή με παλινδρομική ρύθμιση. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν ειδικά μοντέλα ατμοσφαιρικών διορθώσεων, τα οποία εξαλοΐφουν την επίδραση της ατμόσφαιρας (Lillesand και Kiefer, 1994, 2000).

5.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΟΠΤΙΚΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ (ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ), ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

Στο πλαίσιο της οπτικής βελτίωσης ανάλυσης και επεξεργασίας των δορυφορικών ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων των περιοχών έρευνας χρησιμοποιούνται μέθοδοι και τεχνικές ενίσχυσης χαρακτηριστικών ενδιαφέροντος στις ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις. Οι τεχνικές αυτές, έχουν ως στόχο την ανάδειξη των χαρακτηριστικών των περιοχών έρευνας, καθώς και την ενίσχυση μέσω σαφέστερης οπτικοποίησης των ομάδων, οι οποίες παρουσιάζουν συγκεκριμένα φασματικά χαρακτηριστικά, τα οποία τα καθιστούν αναγνωρίσιμα με τη χρήση των παραπάνω τεχνικών.

Γενικότερα, ο σκοπός της οπτικής βελτίωσης (ενίσχυσης) των ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων είναι η διευκόλυνση της ερμηνείας τους με αύξηση της διαχωρισιμότητας μεταξύ των αντικειμένων του πεδίου κατόπτευσης. Λόγω του ότι ο ανθρώπινος οφθαλμός δεν έχει τη δυνατότητα διάκρισης μικρών ραδιομετρικών ή φασματικών διαφορών, οι οποίες μπορεί να χαρακτηρίζουν τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας, η ψηφιακή ενίσχυση (βελτίωση) των απεικονίσεων αποσκοπεί στην ενίσχυση αυτών των ανεπαίσθητων διαφορών, ώστε να τις καταστήσει άμεσα αντιληπτές.

Οι περισσότερες τεχνικές ενίσχυσης ψηφιακών απεικονίσεων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε ως σημειακοί ή ως τοπικοί τελεστές. Οι σημειακοί τελεστές επιδρούν στην κάθε ψηφιακή τιμή μίας ψηφίδας της απεικόνισης, ανεξαρτήτως της γειτονικής του ψηφίδας, σε αντίθεση με τους τοπικούς τελεστές, οι οποίοι μεταβάλλουν τις τιμές της κάθε ψηφίδας, στηριζόμενοι στις τιμές των γειτονικών ψηφίδων.

Οι διαδικασίες ενίσχυσης των ψηφιακών απεικονίσεων, κανονικά εφαρμόζονται μετά τις κατάλληλες τεχνικές ραδιομετρικής αποκατάστασης (εξάλειψης θορύβου), και κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ο Ενίσχυση της αντίθεσης των διαβαθμίσεων των τόνων του γκρι.
- ο Ενίσχυση χωρικών στοιχείων με χρήση χωρικών φίλτρων (τοπικοί τελεστές) για την ενίσχυση ακμών και ανάλυση FOURIER.
- ο Ενίσχυση μέσω πολλαπλών καναλιών πολυφασματικών απεικονίσεων, με χρήση πολυφασματικών λόγων και διαφορών καναλιών, ανάλυση κύριων συνιστωσών, καθώς και της μεθόδου ενίσχυσης της αντίθεσης με αποσυσχέτιση (Lillesand – Kiefer, 1994, Αργιαλάς, 2000).

5.2.1 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ

Πρόκειται για μια τεχνική ενίσχυσης της αντίθεσης των διαβαθμίσεων του γκρι με γραμμική επέκταση του ιστογράμματος στις ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται, τόσο στο αρχικό στάδιο ερμηνείας των μεμονωμένων καναλιών των ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, όσο και μετά την εφαρμογή των διάφορων τεχνικών και μεθόδων επεξεργασίας τους, για

τη βελτίωση της οπτικής τους εμφάνισης με σκοπό την ανάδειξη των περιοχών έρευνας.

Ο γενικότερος σκοπός της εφαρμογής αυτής της τεχνικής είναι η επέκταση του μικρού εύρους των ψηφιακών τιμών μίας απεικόνισης εισόδου, σε ένα μεγαλύτερο εύρος διαβαθμίσεων του γκρι. Η γραμμική επέκταση του ιστογράμματος που εφαρμόζεται σε κάθε ψηφίδα της απεικόνισης εισόδου ακολουθεί τον εξής αλγόριθμο γραμμικής επέκτασης:

$$DN' = \left(\frac{DN - MIN}{MAX - MIN} \right) \cdot 255$$

Όπου:

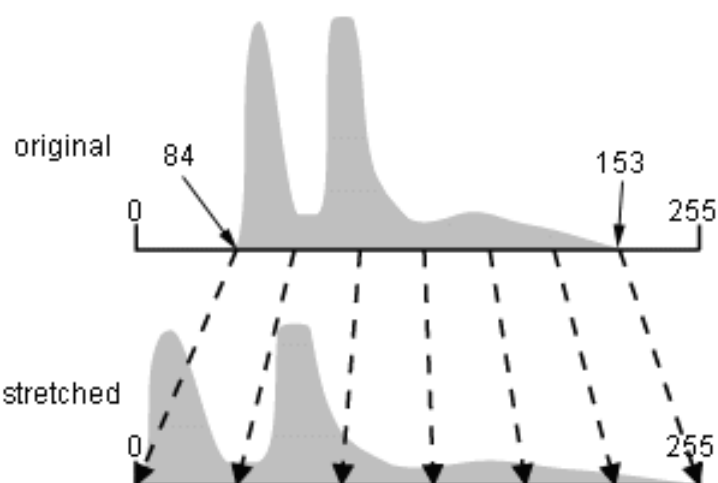
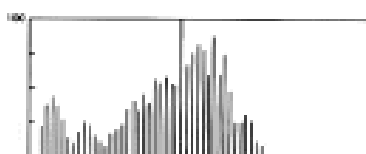
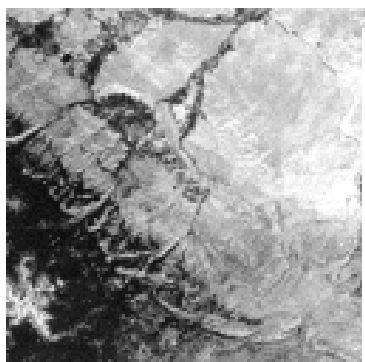
DN'= ψηφιακή τιμή αποδιδόμενη στην ψηφίδα της απεικόνισης εξόδου

DN= αρχική ψηφιακή τιμή αποδιδόμενη στην ψηφίδα της απεικόνισης εισόδου

MIN= ελάχιστη τιμή της απεικόνισης εισόδου, η οποία θα αποδοθεί στην τιμή 0 στην απεικόνιση εξόδου

MAX= μέγιστη τιμή της απεικόνισης εισόδου, η οποία θα αποδοθεί στην τιμή 255 στην απεικόνιση εξόδου.

Λόγω του μειονεκτήματος της γραμμικής επέκτασης του ιστογράμματος να αποδίδει τόσα επίπεδα απεικόνισης για τις σπάνιες διαβαθμίσεις του γκρι μιας απεικόνισης, όσα και για αυτές που παρουσιάζονται με μεγαλύτερη συχνότητα, για τις ανάγκες των περιοχών έρευνας χρησιμοποιήθηκε μια παραλλαγή του παραπάνω τύπου ενίσχυσης, η ενίσχυση της αντίθεσης των διαβαθμίσεων του γκρι με επέκταση του ιστογράμματος και αποκοπή των ακραίων τιμών του ιστογράμματος (Lillesand – Kiefer, 1994, Αργιαλάς, 2000).



Εικόνα 18: Παράδειγμα γραμμικής επέκτασης.

5.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΕ ΑΠΟΛΥΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Οι τιμές φωτεινότητας που καταγράφονται σε κάθε εικονοστοιχείο αντιστοιχίζονται σε ψηφιακές τιμές φωτεινότητας συνήθως στο διάστημα [0, 255]. Στην ιστορία της τηλεπισκόπησης υπάρχει σειρά δορυφόρων που είναι εξοπλισμένοι με του ίδιου τύπου καταγραφικά συστήματα. Για παράδειγμα οι δορυφόροι Landsat 4 (1978) Landsat 5 (1989) είναι εξοπλισμένοι με τον θεματικό χαρτογράφο. Εάν θέλουμε να συγκρίνουμε μια εικόνα η οποία έχει ληφθεί με τον θεματικό χαρτογράφο του Landsat 4, με μια εικόνα που έχει ληφθεί με τον θεματικό χαρτογράφο του Landsat 5, πρέπει να μετασχηματίσουμε τις τιμές φωτεινότητας (brightness values) σε απόλυτες τιμές ακτινοβολίας (radiance). Αυτό γίνεται γιατί κάθε καταγραφικό σύστημα έχει την δική του τυποποίηση-ευαισθησία, με την οποία μετατρέπει την εισερχόμενη ακτινοβολία ανά εικονοστοιχείο σε τιμή φωτεινότητας. (Μηλιαρέσης Γ. 2006)

Σε επόμενο στάδιο της μελέτης πραγματοποιήθηκε μετατροπή των ψηφιακών τιμών (DN) των δυο δορυφορικών εικόνων του θεματικού χαρτογράφου σε τιμές έντασης της ακτινοβολίας.

Οι δορυφορικές εικόνες έτυχαν επεξεργασίας, διότι η πιο παλιά χρονικά εικόνα που απεικονίζει την Ανατολική Κρήτη το 1987(14/07/1987) προέρχεται από τον θεματικό χαρτογράφο TM (Thematic Mapper) δηλαδή απο τον LANDSAT 5, ενώ η πιο πρόσφατη εικόνα η οποία απεικονίζει την Ανατολική Κρήτη το 2000(09/07/2000), προέρχεται από τον βελτιωμένο θεματικό χαρτογράφο ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus) επομένως απο τον LANDSAT 7. Η διαφορά αυτή καθιστά απαραίτητη την μετατροπή των τιμών ακτινοβολίας σε ψηφιακές τιμές (Digital Numbers), έτσι ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση των δυο εικόνων, και μέσα απο αυτή η εξαγωγή συμπερασμάτων.

Οι τύποι που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή των τιμών ανάκλασης σε τιμές πραγματικής ακτινοβολίας είναι οι εξής:

5.3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕ BIAS/GAIN

Στην πρώτη εικόνα (14/07/1987) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος υπολογισμού με Bias/Gain μέσω του ERDAS IMAGINE.

Ο τύπος μετατροπής είναι:

$$L_{\lambda} = gain * DN + bias$$

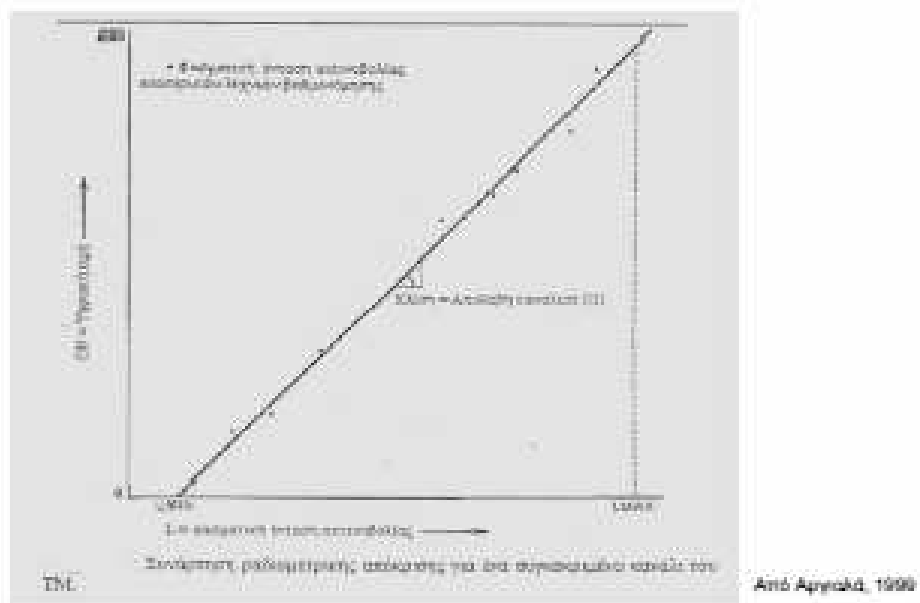
Όπου :

Lλ: η τιμή του κελιού της αντίστοιχης ακτινοβολίας

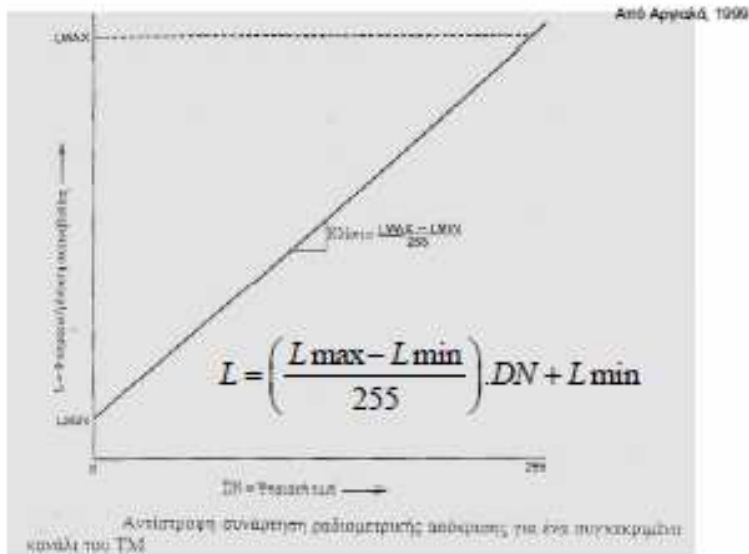
DN: η τιμή του κελιού των ψηφιακών αριθμών

Bias: οι τιμές που αντιστοιχούν στην εικόνα

Gain: οι τιμές που αντιστοιχούν στην εικόνα



Εικόνα 19 :Συνάρτηση ραδιομετρικής απόκλισης για ένα συγκεκριμένο κανάλι του TM



Εικόνα 20 : Αντίστροφη συνάρτηση ραδιομετρικής απόκλισης για ένα συγκεκριμένο κανάλι του TM

5.3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (L_λ)

Στη εικόνα του LANDSAT-7 η οποία έχει ημερομηνία λήψης 09/07/2000 η μετατροπή έγινε με την βοήθεια του προγράμματος ERDAS IMAGINE και μέσω των εντολών LMAX/LMIN.

Ο τύπος μετατροπής είναι:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \right) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda}$$

Όπου:

L_λ: είναι η τιμή του κελιού ως ακτινοβολία

QCAL = αριθμός ψηφιακών

LMIN_λ: φασματική κλίμακα QCALMIN

LMAXλ = φασματική κλίμακα QCALMAX

QCALMIN = η ελάχιστη κβαντισμένη βαθμονομημένη τιμή pixel
(συνήθως = 1)

QCALMAX = η μέγιστη κβαντισμένη βαθμονομημένη τιμή pixel
(συνήθως = 255)

5.3.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

$$\rho_{\lambda} = \pi * L_{\lambda} * d^2 / ESUN_{\lambda} * \cos \theta_s$$

ρ_{λ} = τιμή ανακλαστικότητας

L_{λ} = φασματική ακτινοβολία (από το προηγούμενο βήμα)

d = απόσταση γης σε αστρονομικές μονάδες

$ESUN_{\lambda}$ = μέση τιμή ηλιακής ακτινοβολίας

θ_s = ζενίθεια ηλιακή γωνία

5.3.4 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ (BAND 6) ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

ETM+ στο Band 6 οι εικόνες μπορούν επίσης να μετατραπούν από φασματική ακτινοβολία για μια πιο φυσική χρήσιμη μεταβλητή.

Ο τύπος μετατροπής είναι:

$$T = \frac{K2}{\ln \left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1 \right)}$$

Όπου:

T= θερμοκρασία σε Kelvin

K2= σταθερή βαθμονόμηση 2 απο τον παρακάτω πίνακα (11.5)

K1= σταθερή βαθμονόμηση 1 απο τον παρακάτω πίνακα (11.5)

L= φασματική ακτινοβολία σε watts/(meter squared * ster * μm)

Πίνακας 2 : Τιμές ανα κανάλι φασματικής ηλιακής ακτινοβολίας

Band	watts/(meter squared * μm)
1	1969.000
2	1840.000
3	1551.000
4	1044.000
5	225.700
7	82.07
8	1368.000

Πίνακας 3 : Απόσταση γης-ήλιου σε αστρονομικές μονάδες. Η χρησιμότητα αυτού του πίνακα έγκειται στην εύρεση της απόστασης γης-ήλιου, σύμφωνα με την ημερολογιακή ημέρα.

Day of Year	Distance	Day of Year	Distance	Day of Year	Distance	Day of Year	Distance	Day of Year	Distance
1	.98331	74	.99446	152	1.01403	227	1.01281	305	.99253
15	.98365	91	.99926	166	1.01577	242	1.00969	319	.98916
32	.98536	106	1.00353	182	1.01667	258	1.00566	335	.98608
46	.98774	121	1.00756	196	1.01646	274	1.00119	349	.98426
60	.99084	135	1.01087	213	1.01497	288	.99718	365	.98333

Πίνακας 4: Ζητούμενες τιμές για τον τύπο του θερμικού καναλιού για ETM+ και TM.

Table 11.5 ETM+ and TM Thermal Band Calibration Constants		
	Constant 1- K1 watts/(meter squared * ster * μm)	Constant 2 - K2 Kelvin
Landsat 7	666.09	1282.71
Landsat 5	607.76	1260.56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ERDAS

Αρχικό βήμα ήταν η εισαγωγή των εικόνων στο λογισμικό ERDAS IMAGINE με σκοπό την μετατροπή και των 14 δορυφορικών εικόνων (επτά απο τον Landsat 5 για το έτος 1987 και άλλες επτά απο τον Landsat 7 για το έτος 2000). Αρχικά οι εικόνες ήταν σε μορφή **.tiff** και αυτός ήταν ο λόγος που ήταν απαραίτητη η μετατροπή σε μορφή **.img** διότι ήταν αρκετά μεγάλες και γιατί το λογισμικό ERDAS IMAGINE αναγνωρίζει μόνο εικόνες που βρίσκονται σε μορφή **.img** .

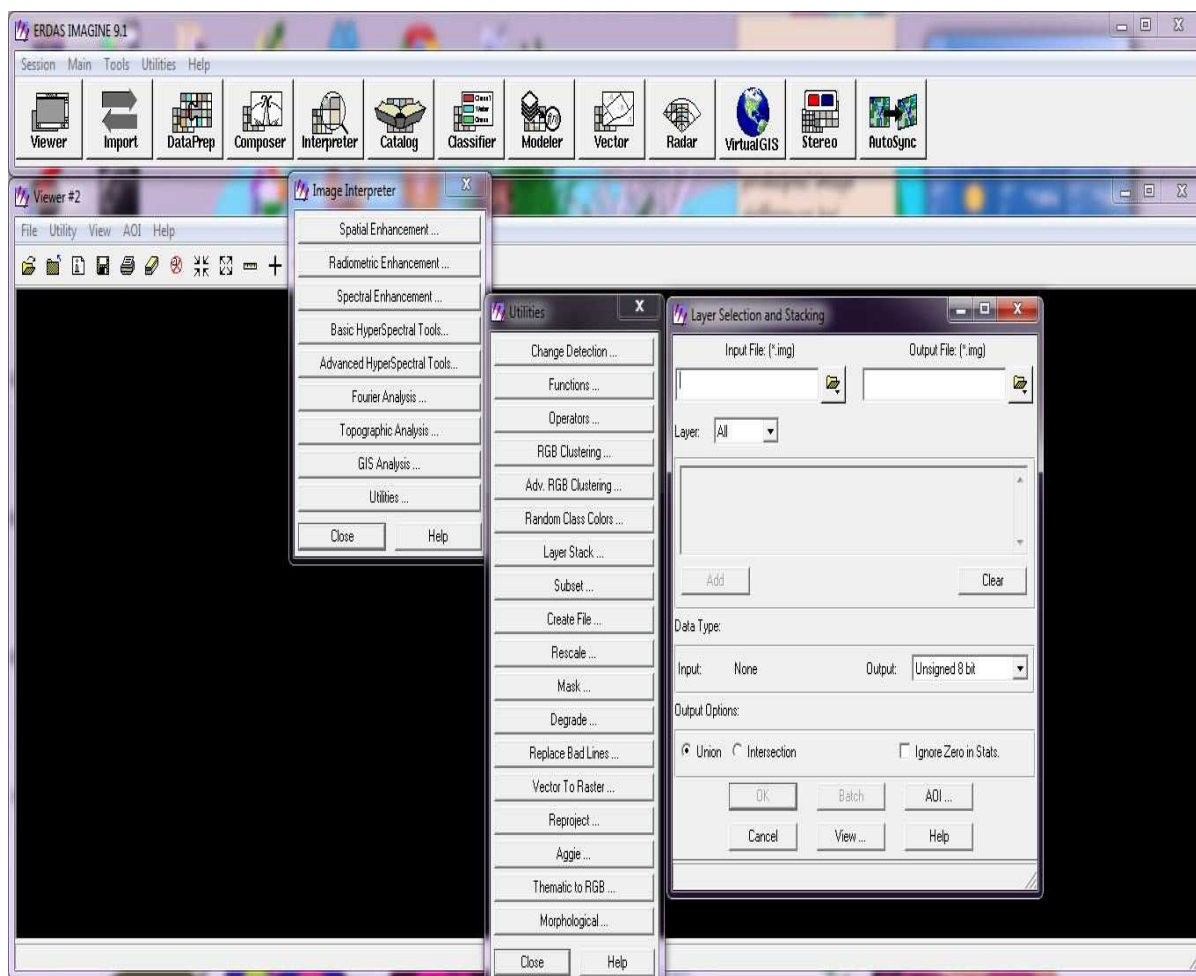
Η διαδικασία μετατροπής των εικόνων είναι η εξής : Import στην επιλογή **Input file** επιλέγεται η εικόνα που είναι προς μετατροπή, καθώς επίσης και την μορφή του αρχείου, στην επιλογή **Output file** εισάγεται ομοίως ένα καινούριο όνομα της εικόνας και επιπλέον την τοποθεσία που θα αποθηκευτεί η καινούργια εικόνα και τέλος την καινούργια μορφή του αρχείου. Η σύγκριση της χρήσης κάλυψης γης από το 1987 έως το 2000 στην περιοχή της Ανατολικής Κρήτης, έγινε με την μέθοδο αφαίρεσης φίλτρων.

Όμως για τη δημιουργία φίλτρων και στην κατ' επέκταση στη σύγκριση των εικόνων είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση και άλλων ενεργειών, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

6.2 ΣΥΝΕΝΩΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΑΡΧΕΙΟ

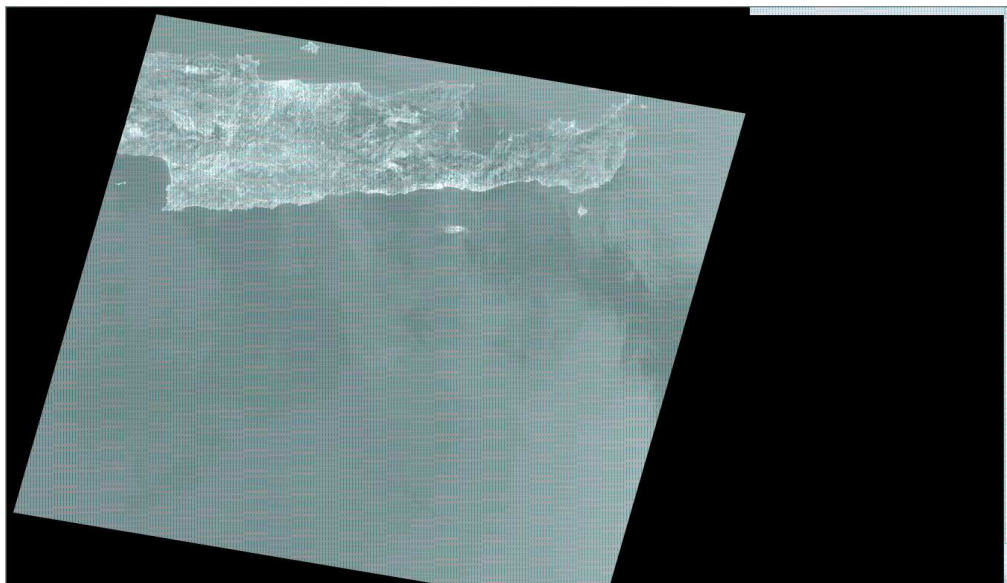
Σε επόμενο στάδιο της μελέτης δημιουργήθηκε μια νέα εικόνα η οποία προέκυψε απο την συνένωση και των 7 καναλιών, εκτός απο το κανάλι 6 (Θερμικό κανάλι). Μια τέτοια κίνηση είναι αναγκαία για την μετέπειτα διαδικασία, καθώς και για την ομαλή εξαγωγή των συμπερασμάτων.

Στο ERDAS λοιπόν επιλέγεται η εντολή **Interpreter → Utilites → Layer Selection and Stacking**

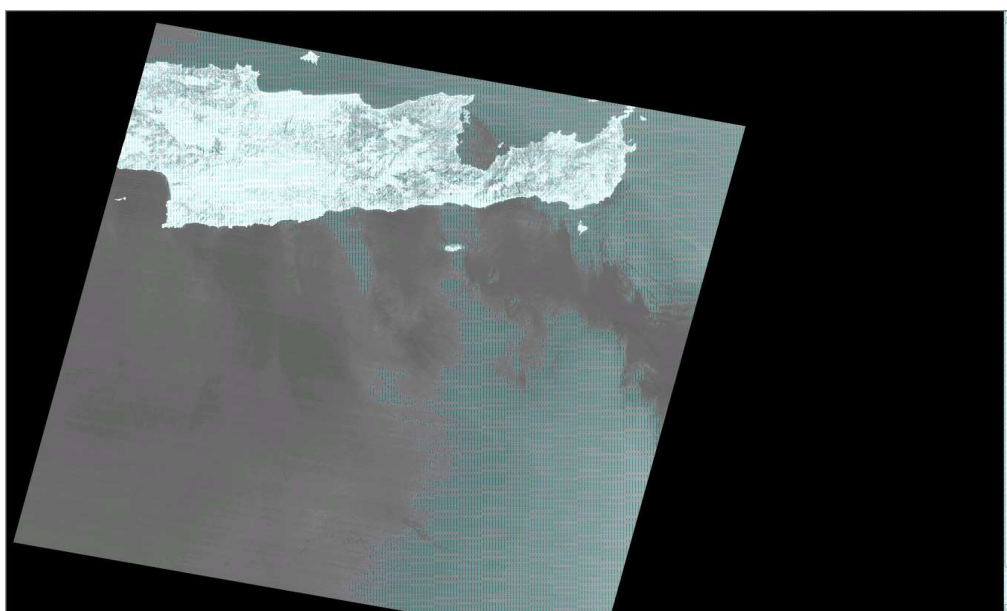


Στην επιλογή **Input File** επιλέγεται με αύξουσα σειρά κάθε κανάλι της δορυφορικής εικόνας και μετά η επιλογή **Add**. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου προστεθούν και τα 7 κανάλια , εκτός του 6^{ου} όπως προαναφέρθηκε. Στην επιλογή **Output File** εισάγεται ένα νέο όνομα και το σημείο που θα αποθηκευτεί καινούργια εικόνα. Τέλος, επιλέγεται το τετραγωνάκι στην επιλογή Ignore Zero in Stats.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της επιλογής **Layer Stack**, όπου στις 2 πρώτες φωτογραφίες φαίνεται η Ανατολική Κρήτη το 1987 όπως έχει καταγράψει από το Κανάλι 1 και Κανάλι 2 του δορυφόρου LANDSAT 5 και στην συνέχεια το αποτέλεσμα της ένωσης των 7 αυτών καναλιών.



Εικόνα 21: Εικόνα της Ανατολικής Κρήτης για το Κανάλι 1 του δορυφόρου Landsat 5, 1987

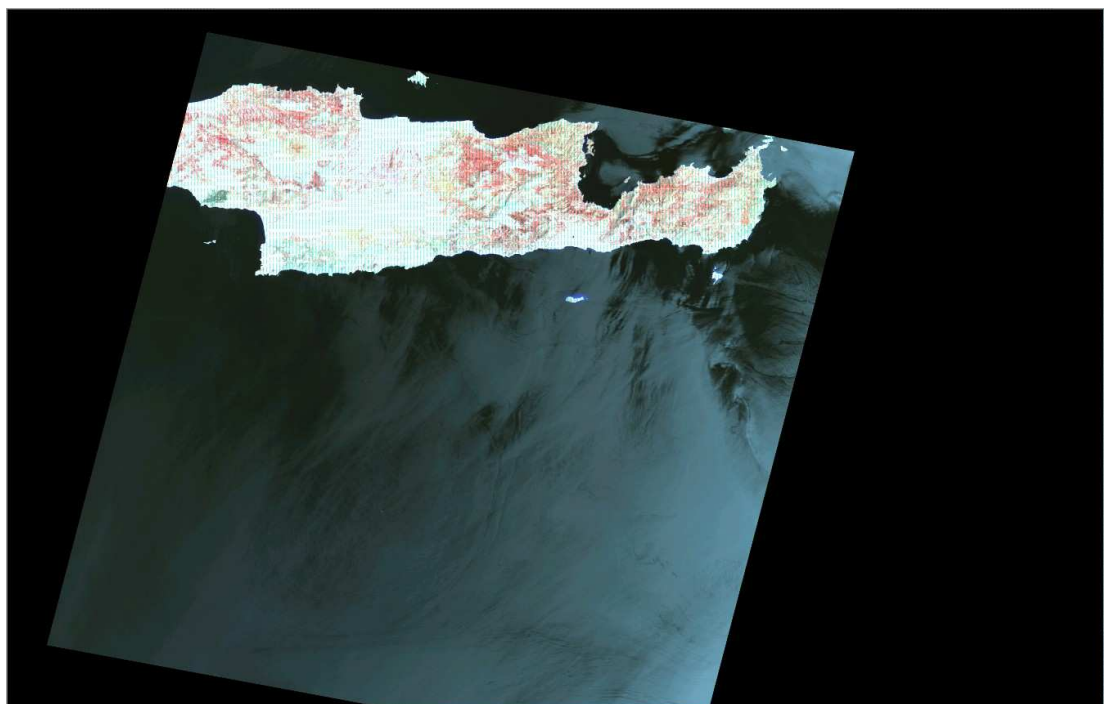


Εικόνα 22: Εικόνα της Ανατολικής Κρήτης για το Κανάλι 2 του δορυφόρου Landsat 5, 1987



Εικόνα 23 : Αποτέλεσμα της συνένωσης των καναλιών 1,2,3,4,5,7 σε μια εικόνα (Layer Stack) της Ανατολικής Κρήτης για το έτος 1987 και το δορυφορο Landsat 5.

Να σημειωθεί ότι η ίδια διαδικασία έγινε και για την εικόνα της Ανατολικής Κρήτης το 2000.



Εικόνα 24 : Αποτέλεσμα της συνένωσης των καναλιών 1,2,3,4,5,7 σε μια εικόνα (Layer Stack) της Ανατολικής Κρήτης για το έτος 2000 και το δορυφόρο Landsat 7.

Πίνακας 5

Row	2500	2501	2502	2503	2504	2505	2506	2507	2508	2509	2510	2511	2512
2000	100	100	100	94	97	88	99	96	96	96	93	97	1
2001	94	96	103	105	103	102	108	99	97	99	97	102	1
2002	104	109	111	116	118	109	109	96	104	101	101	100	1
2003	105	105	107	105	106	102	97	105	105	103	104	112	1
2004	99	98	96	103	103	106	98	102	110	110	109	116	1
2005	94	99	103	112	103	106	104	109	110	98	114	111	1
2006	93	96	101	139	132	116	113	115	102	104	116	119	1
2007	95	98	109	149	122	122	102	97	108	105	99	111	1
2008	97	94	115	144	109	102	98	100	119	94	102	114	1
2009	96	102	107	141	139	113	104	101	105	108	102	104	1
2010	100	109	105	120	138	112	114	100	101	107	110	110	1
2011	104	106	104	93	122	107	107	102	103	104	108	109	1
2012	106	120	136	120	106	101	101	97	102	104	106	106	1
2013	109	155	216	171	97	102	96	99	104	100	106	102	1
2014	90	159	255	228	98	98	100	100	99	103	102	99	
2015	89	126	196	228	118	82	108	103	107	100	97	93	
2016	101	109	130	220	143	85	114	108	124	107	110	112	1
2017	98	100	89	115	118	124	124	107	127	144	127	137	1
2018	97	104	104	122	154	114	110	122	170	142	106	100	1
2019	106	103	99	115	131	112	96	111	120	154	113	102	1
2020	102	104	90	143	199	157	86	111	104	115	131	102	1
2021	120	100	99	122	157	116	99	103	109	96	100	99	
2022	104	97	97	108	108	116	101	98	99	99	107	99	1

Πίνακας 6

Row	2500	2501	2502	2503	2504	2505	2506	2507	2508	2509	2510	2511	251
2000	100	100	100	94	97	88	99	96	96	96	93	97	1
2001	94	96	103	105	103	102	108	99	97	99	97	102	1
2002	104	109	111	116	118	109	109	96	104	101	101	100	1
2003	105	105	107	105	106	102	97	105	105	103	104	112	1
2004	99	98	96	103	103	106	98	102	110	110	109	116	1
2005	94	99	103	112	103	106	104	109	110	98	114	111	1
2006	93	96	101	139	132	116	113	115	102	104	116	119	1
2007	95	98	109	149	122	122	102	97	108	105	99	111	1
2008	97	94	115	144	109	102	98	100	119	94	102	114	1
2009	96	102	107	141	139	113	104	101	105	108	102	104	1
2010	100	109	105	120	138	112	114	100	101	107	110	110	1
2011	104	106	104	93	122	107	107	102	103	104	108	109	1
2012	106	120	136	120	106	101	101	97	102	104	106	106	1
2013	109	155	216	171	97	102	96	99	104	100	106	102	1
2014	90	159	255	228	98	98	100	100	99	103	102	99	1
2015	89	126	196	228	118	82	108	103	107	100	97	93	1
2016	101	109	130	220	143	85	114	108	124	107	110	112	1
2017	98	100	89	115	118	124	124	107	127	144	127	137	1
2018	97	104	104	122	154	114	110	122	170	142	106	100	1
2019	106	103	99	115	131	112	96	111	120	154	113	102	1
2020	102	104	90	143	199	157	86	111	104	115	131	102	1
2021	120	100	99	122	157	116	99	103	109	96	100	99	1
2022	104	97	97	108	108	116	101	98	99	99	107	99	1

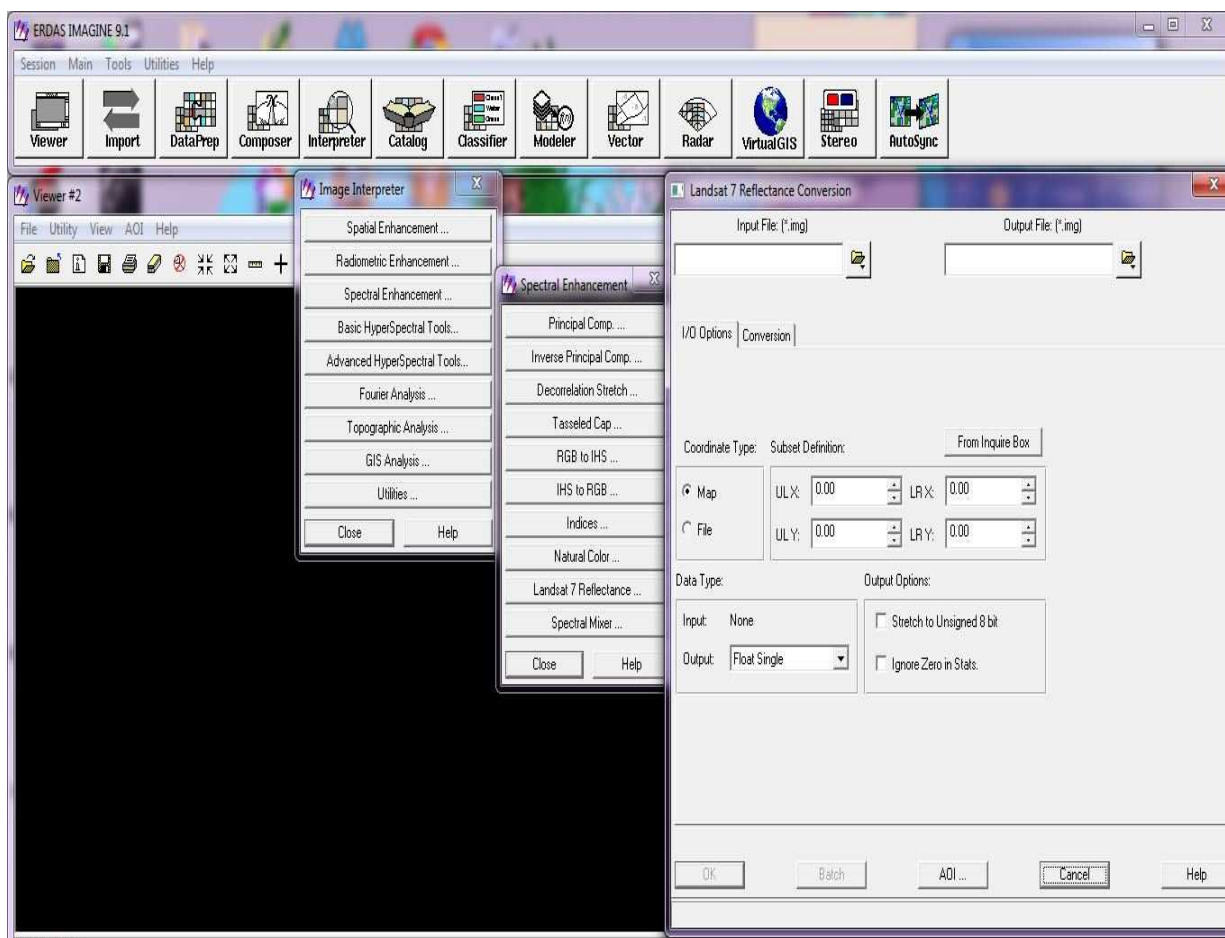
Οι παραπάνω πίνακες (5 και 6) αντιστοιχούν στις τιμές ακτινοβολίας των εικονοστοιχείων των παραπάνω εικόνων οι οποίες προέκυψαν από τη συνένωση των καναλιών 1,2,3,4,5,7 (Layer Stack).

6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Ο υπολογισμός της πραγματικής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας γίνεται με την βοήθεια του ERDAS με τον εξής τρόπο:

Από το βασικό μενού του ERDAS IMAGINE επιλέγεται η εντολή

Interpreter → Spectral Enhancement → Landsat 7 Reflectance Conversion



Απαραίτητα δεδομένα που πρέπει να είναι γνωστά είναι το Bias και Gain της κάθε εικόνας όπως επίσης απαραίτητη είναι και η γνώση του Solar Elevation και Solar Distance. Η απόσταση ήλιου-γης (Solar Distance) είναι ένας αριθμός που κυμαίνεται από το 0 έως το 2 και βρίσκεται σύμφωνα με την ημέρα λήψης της δορυφορικής εικόνας, της πρώτης εικόνας ο αριθμός σύμφωνα με την μέρα είναι 195 και η δεύτερη εικόνα έχει αριθμό 191, στην πραγματικότητα αυτοί οι αριθμοί είναι το άθροισμα των ημερών μέχρι την μέρα λήψης. (βλ. Πίνακας 3) Στη θέση του **Input File** εισάγεται το αρχείο που περιέχει όλα τα κανάλια της εικόνας (layer stack) και στην συνέχεια ανάλογα με το κανάλι δίνεται και η τιμή του Bias και Gain σύμφωνα πάντα με το *metadata file* της εικόνας, στο **Output file** εισάγεται το όνομα και η καινούργια τοποθεσία της εικόνας που δημιουργήθηκε. Υπάρχει περίπτωση οι τιμές της ακτινοβολίας που έχουν καταγραφεί στο *metadata file* της εικόνας να μην αντιπροσωπεύουν το Bias/ Gain αλλά τιμές LMAX/ LMIN, οπότε πρέπει να επιλεγεί η κουκίδα LMAX/ LMIN και κατόπιν η αντιγραφή των τιμών που αντιστοιχούν σε κάθε κανάλι.

Ενδεικτικά, παρακάτω παρατηρείται το αποτέλεσμα της εφαρμογής Landsat 7 Reflectance στην δορυφορική φωτογραφία της Ανατολικής Κρήτης το 2000. Επιπλέον φαίνονται και οι τιμές του *pixel data* για το Layer 1 του Layer Stack της Ανατολικής Κρήτης και της εικόνας που προέκυψε από την εφαρμογή του Landsat 7 Reflectance Conversion.

Σύμφωνα λοιπόν με τις πληροφορίες που υπάρχουν στο *metadata* της κάθε εικόνας, μπορούμε να αντλήσουμε τα παρακάτω δεδομένα:

ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT 5 (14/07/1987)	
Solar Elevation	60.66
Solar Distance	1.0165
AZIMΟΥΘΙΟ	107.27

BAND (ΚΑΝΑΛΙΑ)	BIAS	GAIN
1	-1.5200000	0.6024314
2	-2.8399999	1.1750981
3	-1.1700000	0.8057647
4	-1.5100000	0.8145490
5	-0.3700000	0.1080784
7	-0.1500000	0.0569804

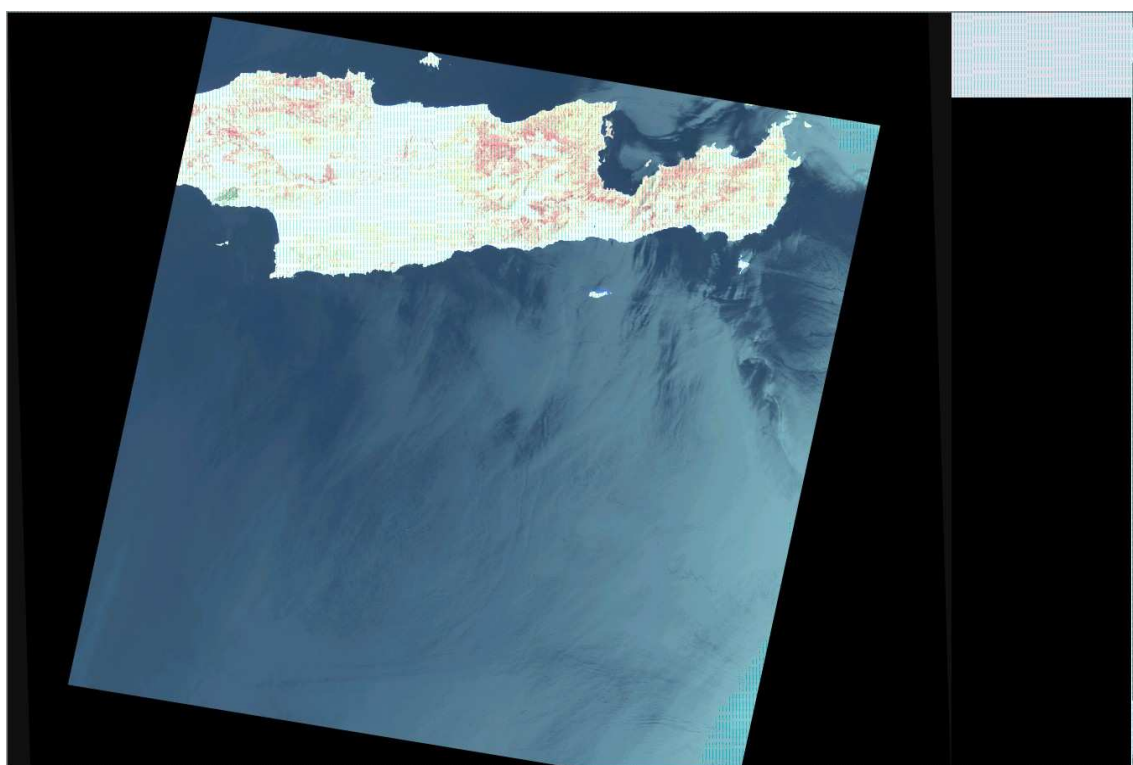
Για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας δεν χρησιμοποιήθηκε το Band 6 που είναι το Θερμικό Υπέρυθρο. Οι τιμές του Band 6 για το Bias είναι (**1.2377996**) και για το Gain είναι (**0.0551582**).

ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT 7 (09/07/2000)	
Solar Elevation	65.1266974
Solar Distance	1.0164
AZIMΟΥΘΙΟ	113.0980858

BAND (ΚΑΝΑΛΙΑ)	LMAX	LMIN
1	191.600	-6.200
2	196.500	-6.400
3	152.900	-5.000
4	241.100	-5.100
5	31.060	-1.000
7	3.200	-0.350
8	243.100	-4.700

BAND (ΚΑΝΑΛΙΑ)	QCALMAX	QCALMIN
1	255.0	1.0
2	255.0	1.0
3	255.0	1.0
4	255.0	1.0
5	255.0	1.0
7	255.0	1.0
8	255.0	1.0

Για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας δεν χρησιμοποιήθηκε το **Band 6** που είναι το Θερμικό Υπέρυθρο, πρέπει να σημειωθεί ότι ο Landsat 7 έχει 2 κανάλια στο Θερμικό Υπέρυθρο. Οι τιμές του **Band 6.1** για το LMAX είναι (17.040) και για το LMIN είναι (0.000) ομοίως για το QCALMAX είναι (255.0) και QCALMIN είναι (1.0) . Οι τιμές του **Band 6.2** για το LMAX είναι (12.650) και για το LMIN είναι (3.200) ομοίως για το QCALMAX είναι (255.0) και QCALMIN είναι (1.0) .



Εικόνα 25: Εικόνα της Ανατολικής Κρήτης του 2000 μετά την εφαρμογή του Landsat 7 Reflectance.

Πίνακας 7 Οι τιμές της ακτινοβολίας των εικονοστοιχείων μετά την εφαρμογή του Landsat 7 Reflectance της Ανατολικής Κρήτης το 2000.

Row	2500	2501	2502	2503	2504	2505
2000	000.128	000.118	000.114	000.133	000.144	00
2001	000.138	000.142	000.141	000.135	000.125	00
2002	000.131	000.145	000.149	000.133	000.110	00
2003	000.128	000.140	000.118	000.118	000.109	00
2004	000.127	000.120	000.116	000.120	000.118	00
2005	000.127	000.114	000.121	000.123	000.117	00
2006	000.116	000.118	000.117	000.116	000.123	00
2007	000.113	000.120	000.120	000.118	000.124	00
2008	000.134	000.131	000.131	000.130	000.130	00
2009	000.134	000.131	000.128	000.130	000.128	00
2010	000.138	000.137	000.128	000.121	000.131	00
2011	000.127	000.128	000.137	000.130	000.133	00
2012	000.127	000.130	000.130	000.133	000.131	00
2013	000.133	000.127	000.127	000.130	000.137	00
2014	000.128	000.141	000.135	000.130	000.130	00
2015	000.131	000.130	000.140	000.137	000.137	00
2016	000.133	000.133	000.138	000.144	000.134	00
2017	000.131	000.127	000.137	000.137	000.140	00
2018	000.131	000.125	000.133	000.140	000.130	00
2019	000.133	000.127	000.131	000.134	000.135	00
2020	000.138	000.137	000.141	000.144	000.134	00
2021	000.135	000.148	000.149	000.137	000.134	00
2022	000.134	000.137	000.125	000.124	000.144	00

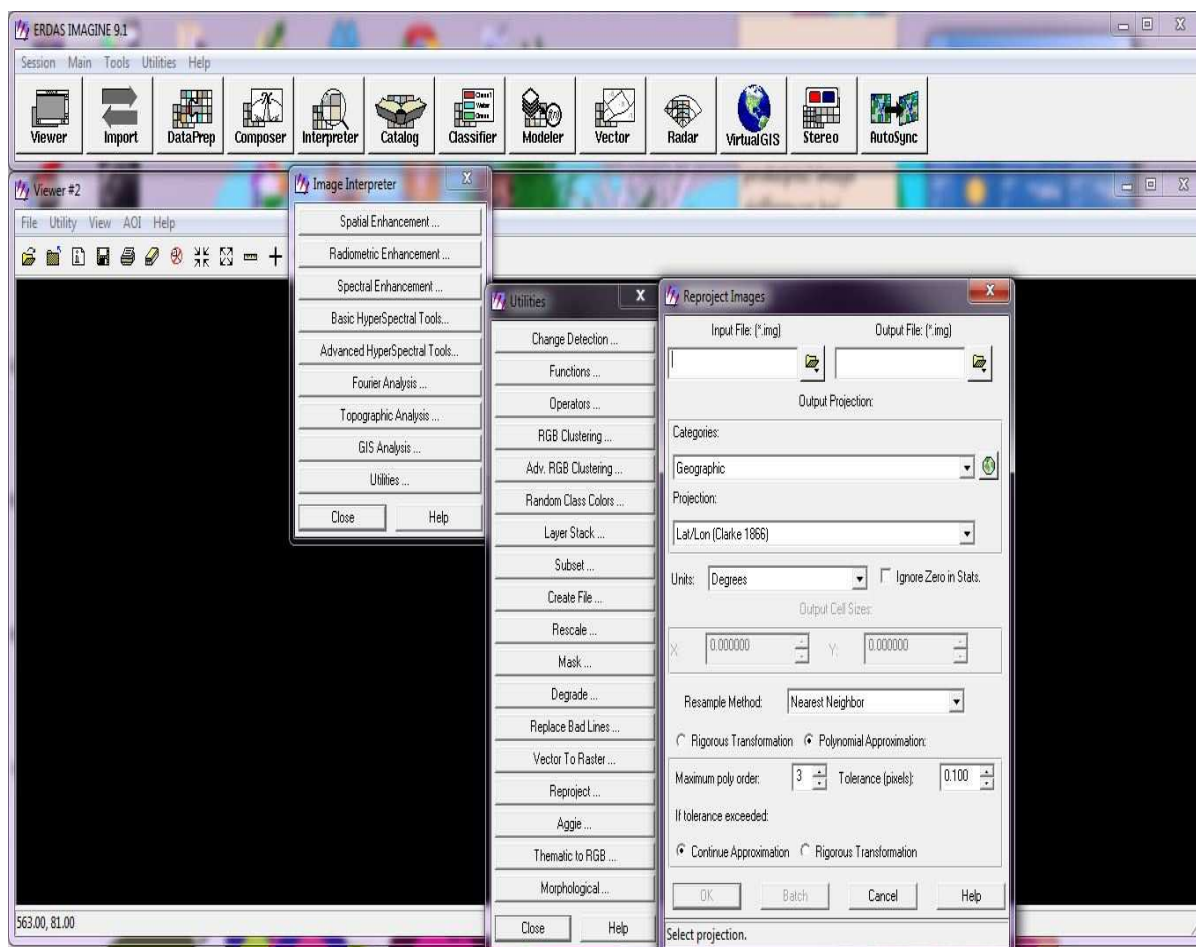
Στους πίνακες 6-7 παρουσιάζονται οι τιμές των εικονοστοιχείων της Ανατολικής Κρήτης για το έτος 2000, είναι εμφανής η διαφορά στις τιμές πριν και μετά τον υπολογισμό της πραγματικής έντασης της ακτινοβολίας, η τιμή που βρίσκεται στη σειρά 2008 (row) και στη στήλη 2500 (path) είναι 000,134, ενώ στην ίδια στήλη και στην ίδια γραμμή πριν την μετατροπή, είναι 97. Φαίνεται να έχει γίνει επιτυχώς ο υπολογισμός της πραγματικής έντασης της ακτινοβολίας, αφού οι τιμές είναι διαφορετικές.

Για την αποκοπή των τιμών φωτεινότητας της θάλασσας έγινε προσθήκη ενός AOI (Area of Interest), με του οποίου την βοήθεια δημιουργήθηκε μια καινούργια δορυφορική εικόνα που εμπεριείχε μόνο την Ανατολική Κρήτη.

6.4 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΠΡΟΒΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Επόμενο βήμα είναι η μετατροπή συνταγμένων των 2 δορυφορικών εικόνων στο Ελληνικό προβολικό σύστημα. Οι δορυφορικές εικόνες ήταν στο σύστημα WGS 84 και σκοπός ήταν να μετατραπούν στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς EGSA'87. Η διαδικασία έχει ως εξής:

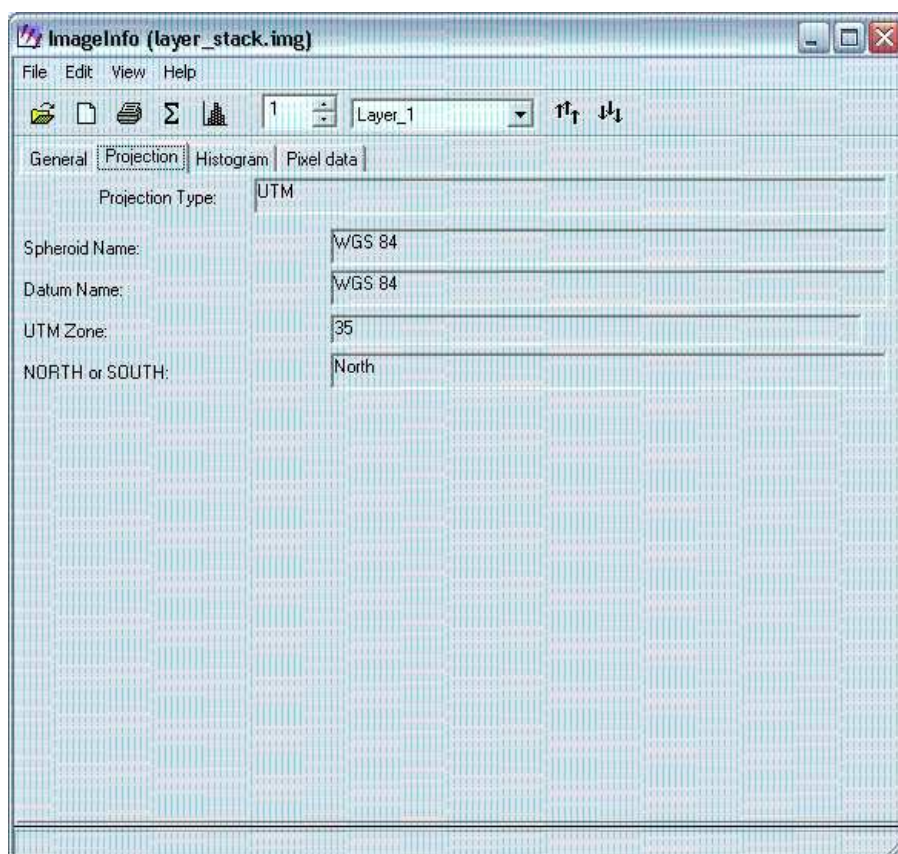
Από το βασικό μενού του ERDAS IMAGINE επιλέγεται η εντολή **Interpreter → Utilities → Reproject Images** (βλ. Παρακάτω εικόνα)



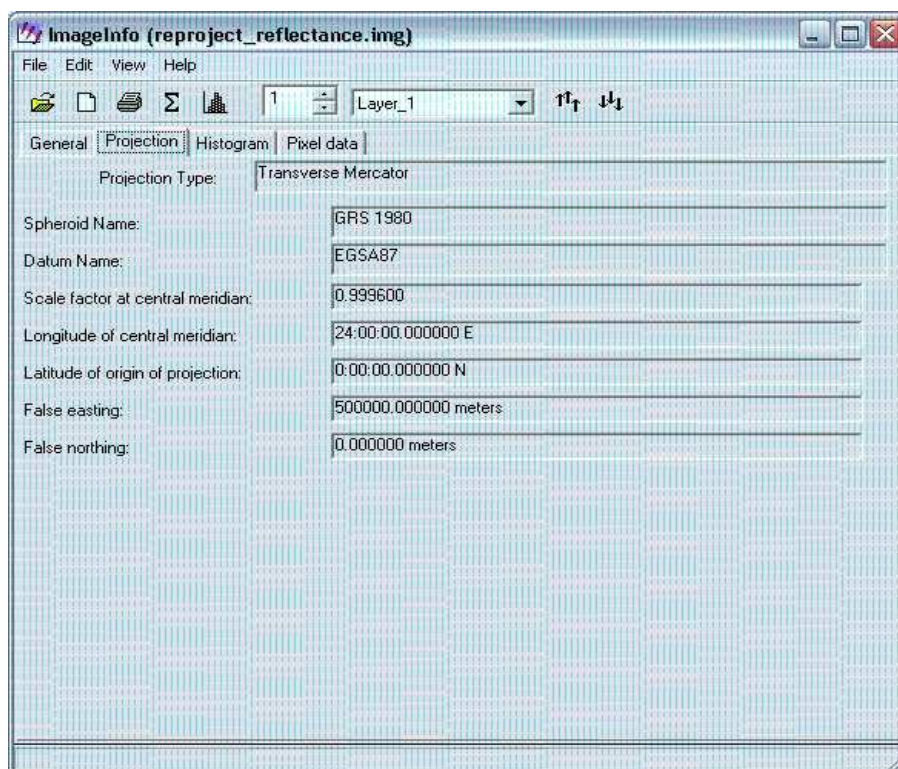
Στην θέση του **Input File** επιλέγεται το τροποποιημένο πλέον αρχείο όπου περιέχει τις πραγματικές τιμές ακτινοβολίας, στην θέση **Categories** επιλέγεται η

επιλογή Greece και στην θέση Projection την επιλογή Transverse Mercator / EGSA87. Τέλος επιλέγεται και η εντολή Ignore Zero in Stats.

Παρακάτω φαίνεται η αλλαγή του προβολικού συστήματος της δορυφορικής εικόνας της Ανατολικής Κρήτης του 1987, σύμφωνα με τα στοιχεία της εικόνας από το [info](#).



Εικόνα 27 : Προβολικό σύστημα αναφοράς πριν τη μετατροπή του προβολικού συστήματος (Reproject).



Εικόνα 28 : Προβολικό σύστημα αναφοράς μετά τη μετατροπή (Reproject).

6.5 ΕΞΑΓΩΓΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Αφού οι δορυφορικές εικόνες έτυχαν επεξεργασίας, επόμενο στάδιο ήταν η εφαρμογή των φασματικών δεικτών και στην κατ' επέκταση η σύγκριση των 2 δορυφορικών εικόνων. Τελικός σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι να φανούν οι αλλαγές στο έδαφος και την βλάστηση για την περιοχή της Ανατολικής Κρήτης με το πέρασμα των ετών. Η διαχρονική αλλαγή της περιοχής θα φάνει με την δημιουργία μιας καινούργιας εικόνας, η οποία θα προκύψει από την αφαίρεση του κάθε δείκτη της εικόνας, που προέρχεται από την Ανατολική Κρήτη το 2000 με τον αντίστοιχο δείκτη της ίδιας περιοχής το έτος 1987.

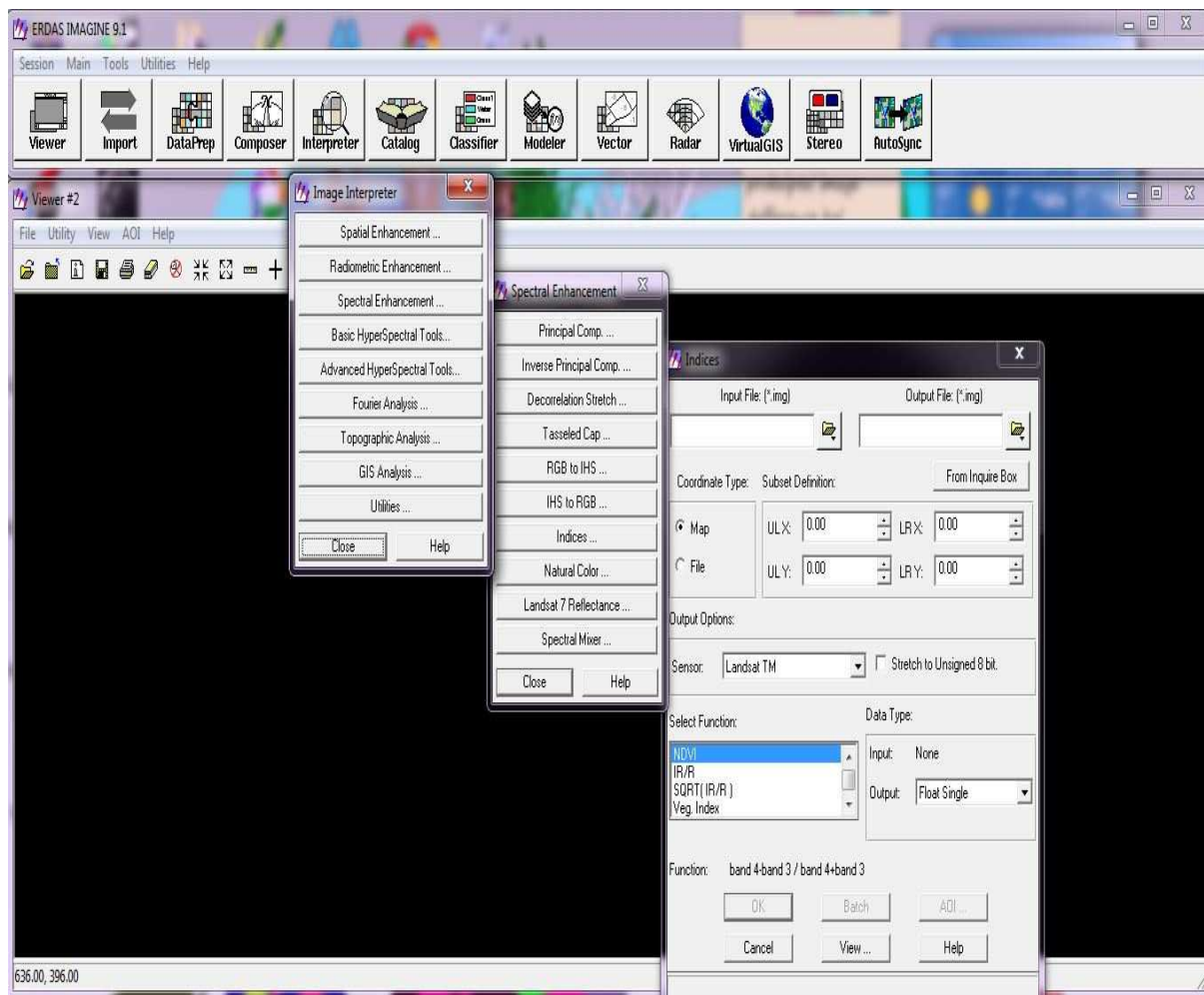
Οι φασματικοί δείκτες που έτυχαν επεξεργασίας μέσω του προγράμματος ERDAS είναι :

- NDVI
- Ir/r
- SQRT (IR/R)

- Veg. Index
- TNDVI
- IRON OXIDE
- CLAY MINERALS
- FERROUS MINERALS
- MINERAL COMPOSITE
- HYDROTHERMAL COMPOSITE

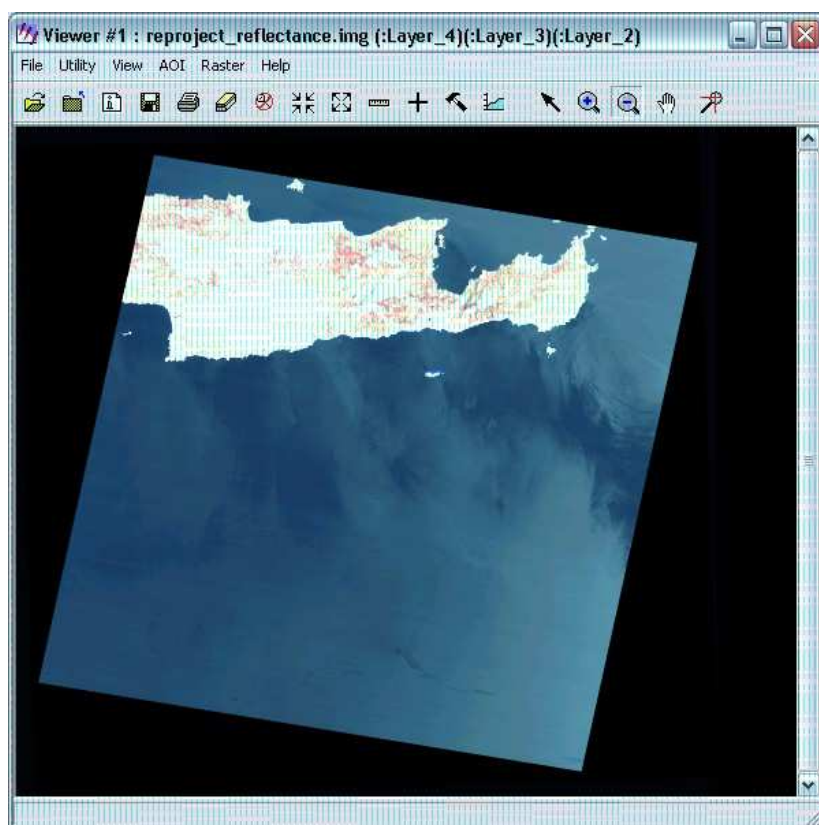
Η διαδικασία για την εφαρμογή δεικτών είναι η εξής:

Interpreter → Spectral Enhancement → Indices (βλ. Παρακάτω εικόνα)



Στην επιλογή **Input File** επιλέγεται εικόνα με τις καινούργιες συντεταγμένες (EGSA87) , στην επιλογή **Sensor** επιλέγεται το Landsat TM, και στην επιλογή **Select Function** τον δείκτη που θέλουμε κάθε φορά να εφαρμοστεί στην εικόνα. Στη επιλογή **Output File** επιλέγεται το καινούργιο όνομα και την τοποθεσία της εικόνας που θα δημιουργηθεί, όταν εφαρμοστεί ο επιλεγμένος κάθε φορά, φασματικός δείκτης.

Παρακάτω φαίνεται ενδεικτικά η εικόνα της Ανατολικής Κρήτης το 1987 στην οποία έχει εφαρμοστεί ο δείκτης NDVI καθώς επίσης και το **Pixel Data** της εικόνας αυτής έτσι ώστε να γίνει εμφανής η αλλαγή στην ανακλαστικότητα με σκοπό την διεξαγωγή συμπερασμάτων.

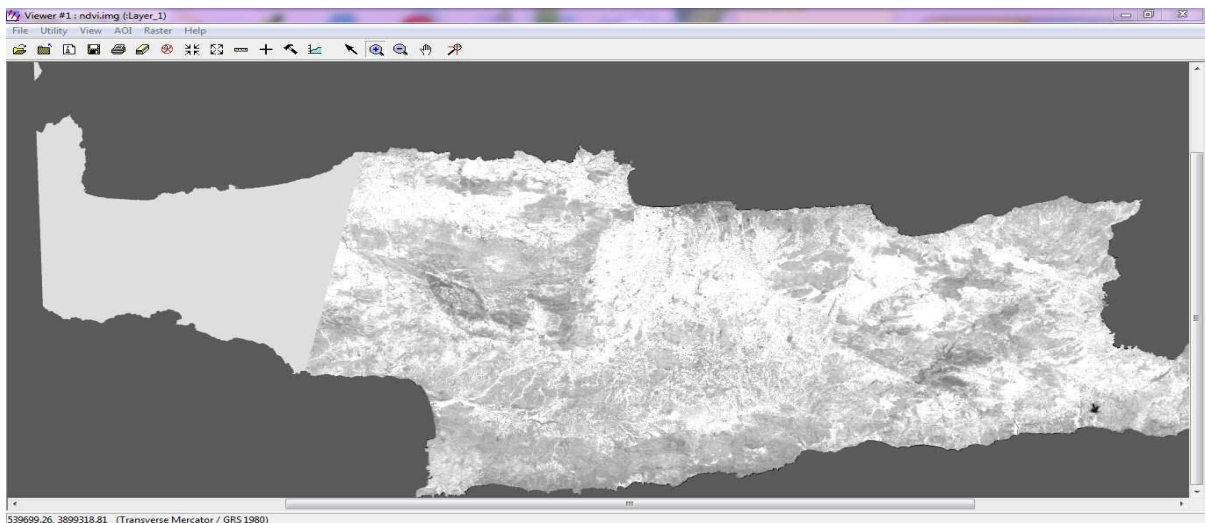


Εικόνα 29 : Εικόνα της Ανατολικής Κρήτης του Landsat 5 για το έτος 1987.

Πίνακας 8 Δεδομένα των pixels της εικόνας της Ανατολικής Κρήτης για το έτος 1987

Row	2571	2572	2573	2574	2575	2576
2100	000.109	000.157	000.161	000.148	000.165	00
2101	000.148	000.155	000.144	000.144	000.178	00
2102	000.122	000.114	000.131	000.185	000.213	00
2103	000.113	000.133	000.161	000.196	000.202	00
2104	000.135	000.131	000.155	000.202	000.196	00
2105	000.113	000.120	000.107	000.154	000.211	00
2106	000.133	000.122	000.142	000.187	000.211	00
2107	000.165	000.200	000.204	000.176	000.202	00
2108	000.127	000.194	000.167	000.120	000.155	00
2109	000.127	000.148	000.118	000.094	000.133	00
2110	000.127	000.126	000.120	000.124	000.152	00
2111	000.131	000.120	000.142	000.135	000.157	00
2112	000.122	000.120	000.098	000.137	000.235	00
2113	000.139	000.127	000.126	000.144	000.183	00
2114	000.122	000.124	000.141	000.141	000.155	00
2115	000.109	000.124	000.127	000.116	000.148	00
2116	000.157	000.159	000.124	000.103	000.155	00
2117	000.157	000.172	000.200	000.230	000.239	00
2118	000.178	000.232	000.237	000.241	000.241	00
2119	000.157	000.204	000.191	000.217	000.228	00
2120	000.142	000.167	000.161	000.174	000.204	00
2121	000.139	000.137	000.150	000.157	000.178	00
2122	000.126	000.144	000.152	000.178	000.193	00

Παραπάνω φαίνεται η δορυφορική εικόνα της Ανατολικής Κρήτης το 1987 καθώς επίσης και τα δεδομένα των pixels της συγκεκριμένης εικόνας. Για να παρατηρηθεί η αλλαγή της εφαρμογής του φασματικού δείκτη, θα επιλεγεί τυχαία ένα κελί με μια τιμή που βρίσκεται στη σειρά (row) 2100 και στη στήλη (path) 2571 (000.109).



Εικόνα 30 : Εφαρμογή του δείκτη NDVI στην Ανατολική Κρήτη το έτος 1987.

Πινάκας 9 Pixel data της εικόνας μετά την εφαρμογή του δείκτη NDVI στην Ανατολική Κρήτη το έτος 1987.

The screenshot shows a software window titled 'ImageInfo (ndvi.img)' with a menu bar (File, Edit, View, Help) and a toolbar. The 'Pixel data' tab is active, displaying a table of pixel values. The table has 7 columns (2571-2576) and 23 rows (2100-2122). All values in the table are 000.000.

Row	2571	2572	2573	2574	2575	2576
2100	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2101	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2102	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2103	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2104	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2105	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2106	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2107	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2108	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2109	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2110	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2111	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2112	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2113	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2114	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2115	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2116	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2117	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2118	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2119	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2120	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2121	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00
2122	000.000	000.000	000.000	000.000	000.000	00

Ας παρατηρηθεί στη γράμμη (row) 2100 και στη στήλη (path) 2571 η τιμή της ανακλαστικότητας είναι 000.000, ενώ στην αντίστοιχη θέση για την εικόνα 29 πριν την εφαρμογή του δείκτη NDVI, η τιμή ήταν 000.109.

6.5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Παρακάτω παρουσιάζονται οι δείκτες βλάστησης καθώς και οι ορυκτολογικοί δείκτες που προέκυψαν από την εφαρμογή των φασματικών δεικτών, όπως επίσης οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές των pixels ανά εικόνα.

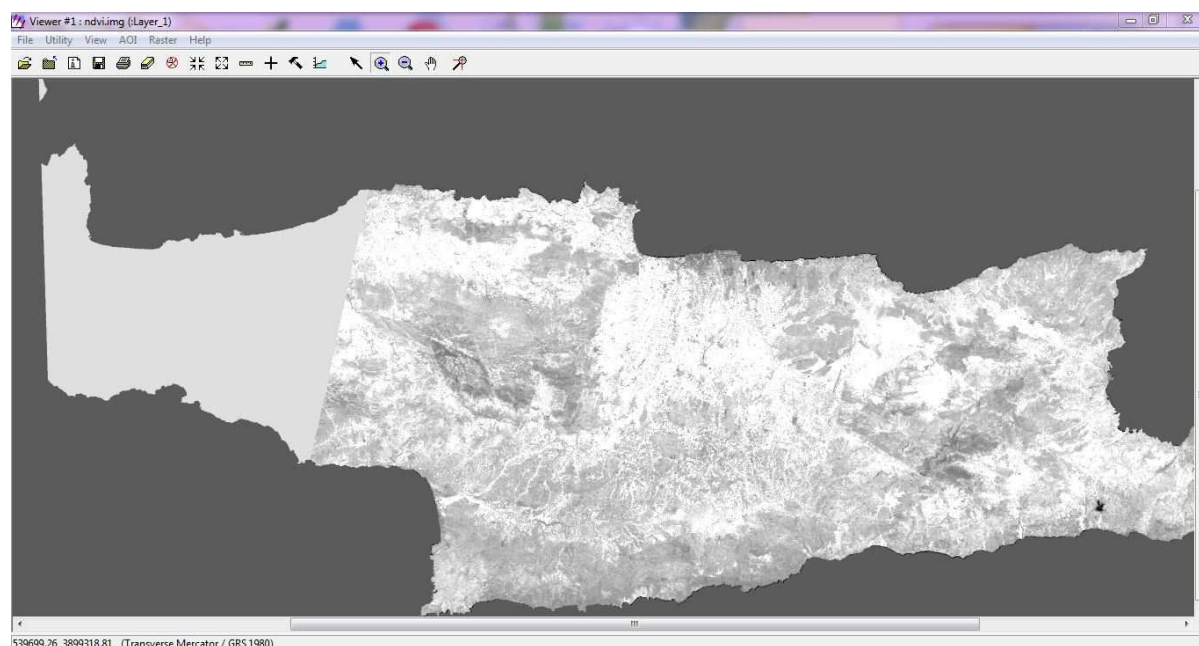
Εκτενέστερη ανάλυση των φασματικών δεικτών βλάστησης γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο. Αντιθέτως, επειδή οι φασματικοί ορυκτολογικοί δείκτες παρουσιάζονται εδώ.

6.5.2 ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

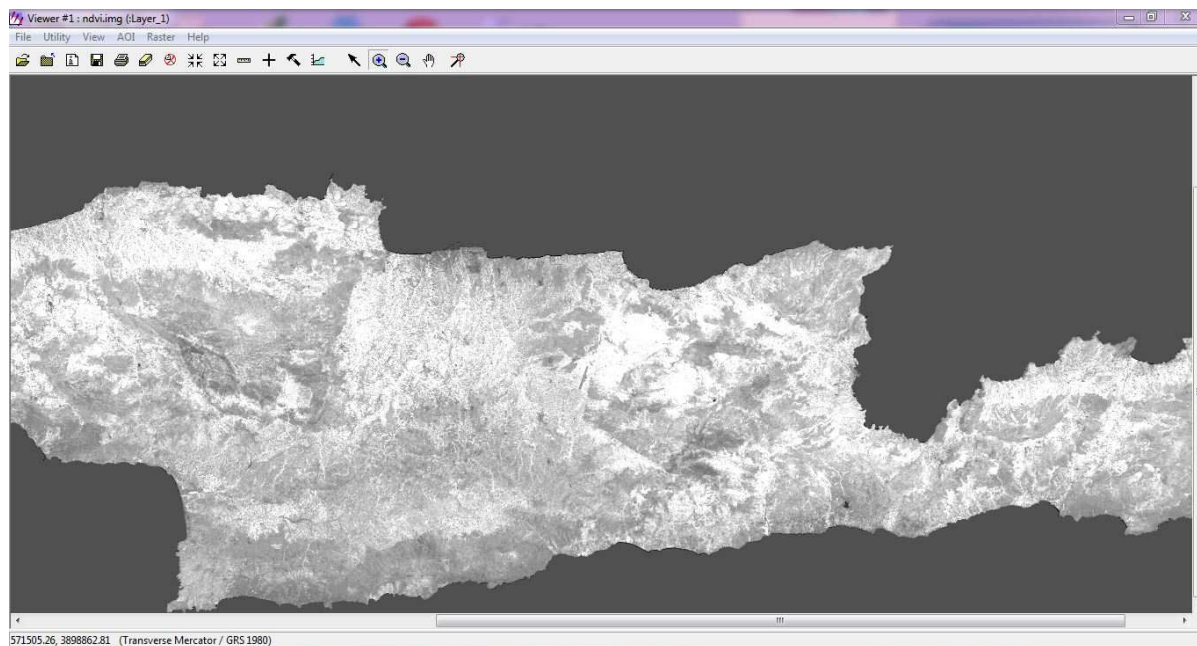
NDVI

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΡΙΧΕΛ ΓΙΑ NDVI

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	Min	Max
1987	-0,86772	0,84208
2000	-0,9976	0,7662



Εικόνα 31: Εφαρμογή του δείκτη NDVI στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 1987.

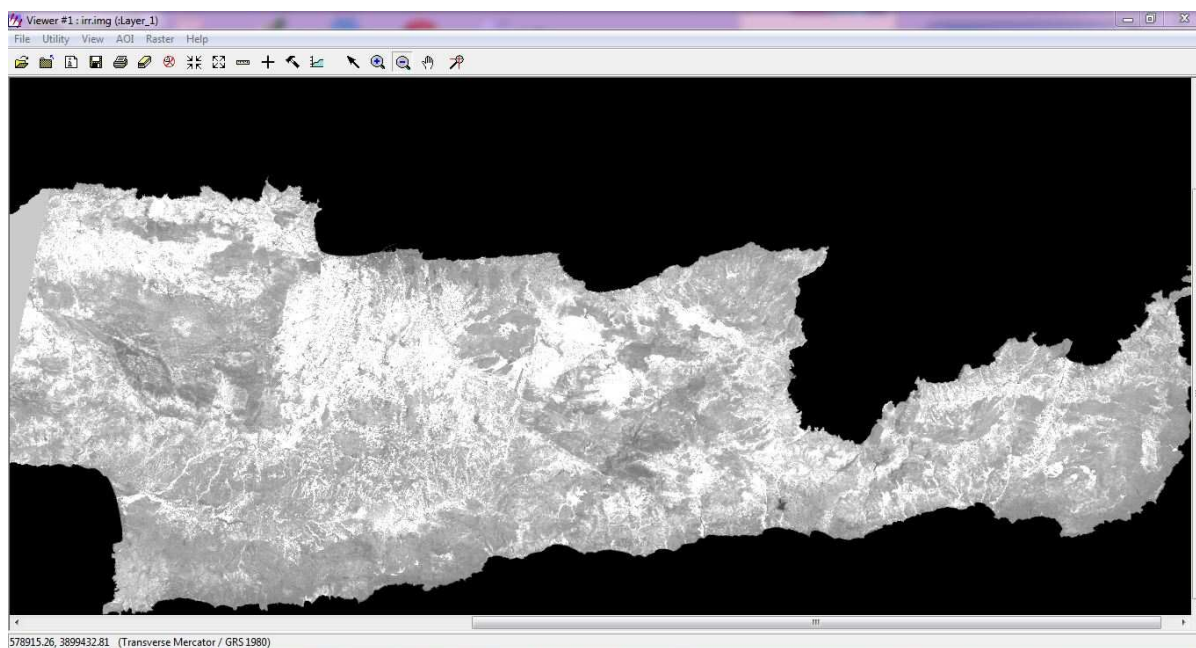


Εικόνα 32: Εφαρμογή του δείκτη NDVI στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 2000.

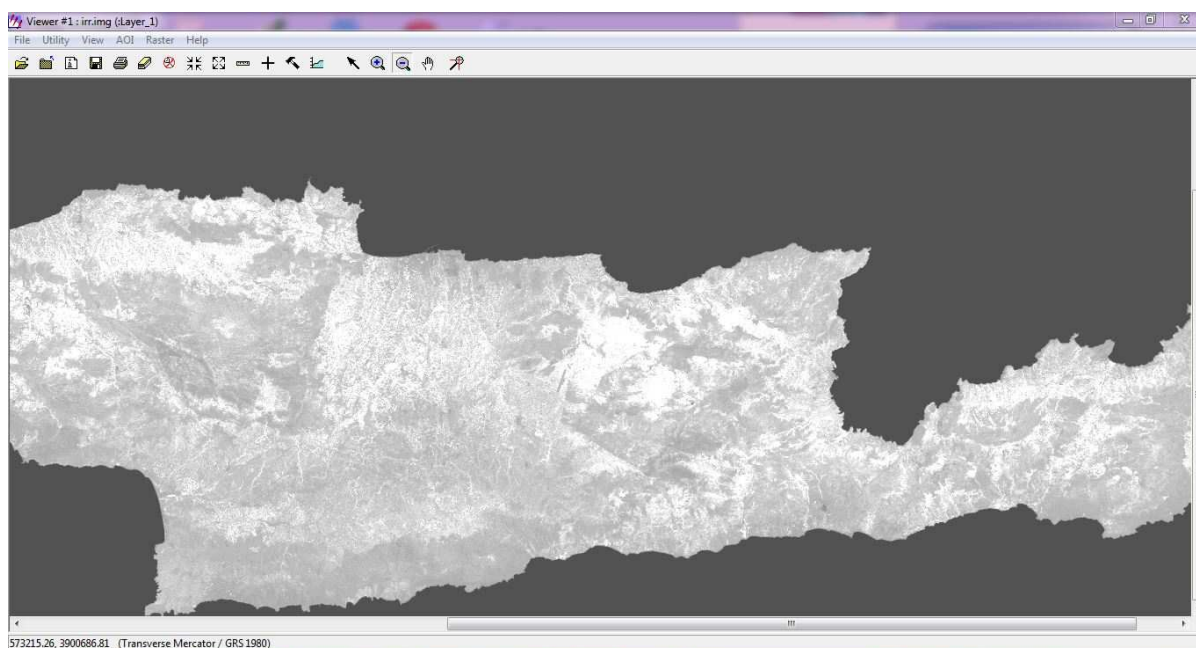
IR/R (TM4/TM3)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΡΙΧΕΛ ΓΙΑ IR/R

ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	Min	Max
1987	0	11,665
2000	-1,3468	13,462



Εικόνα 33: Εφαρμογή του δείκτη IR/R στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 1987.

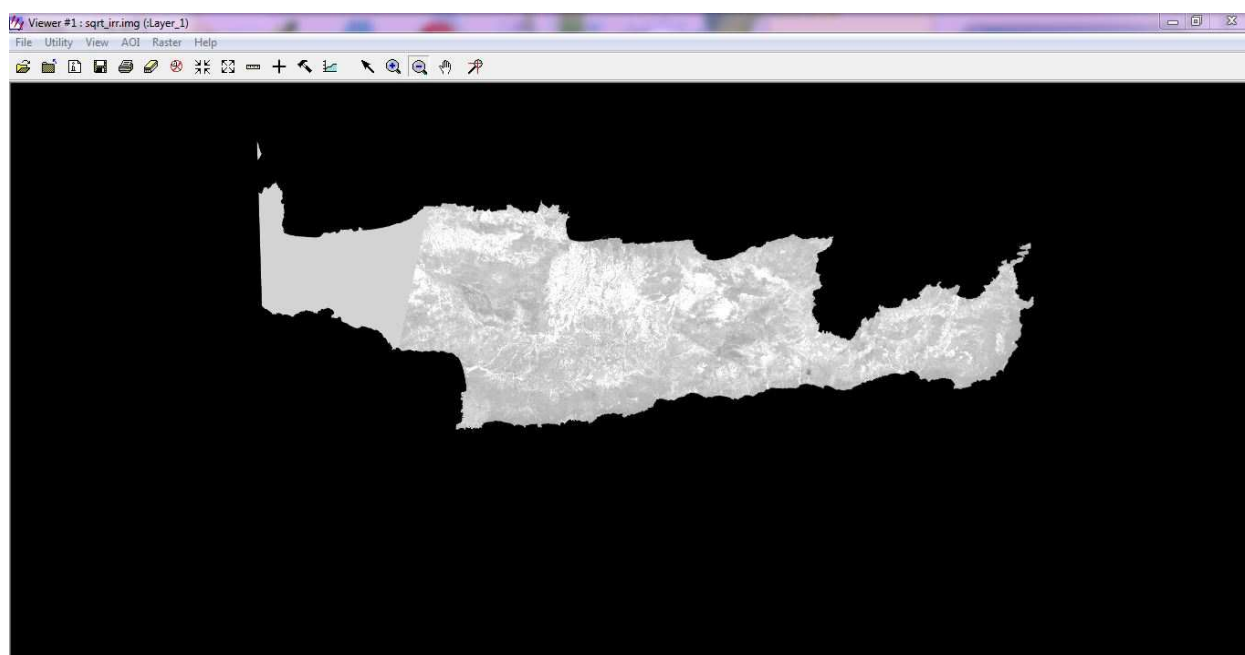


Εικόνα 34: Εφαρμογή του δείκτη IR/R στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 2000.

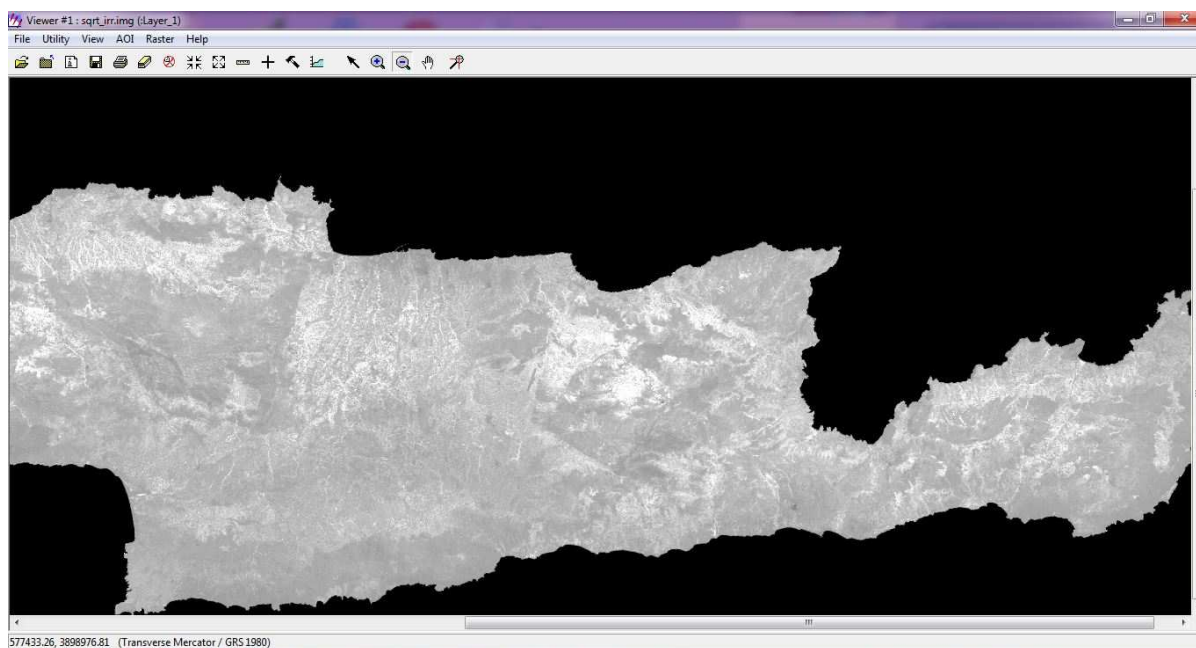
SQRT IR/R (sqrt (TM4/TM3))

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΡΙΧΕΛ ΓΙΑ SQRT IR/R

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	Min	Max
1987	0	3,4154
2000	0	1,7622



Εικόνα 35: Εφαρμογή του δείκτη SQRT IR/R στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 1987.

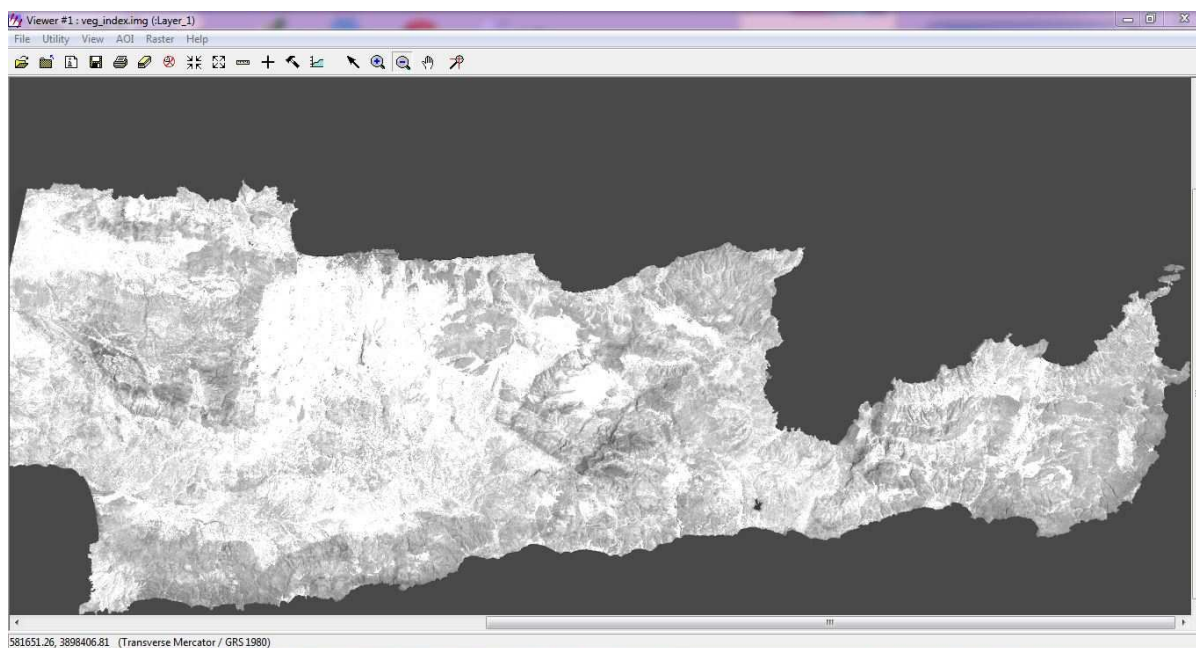


Εικόνα 36: Εφαρμογή του δείκτη SQRT IR/R στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 2000.

VEG. INDEX (TM4-TM3)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΡΙΧΕΛ ΓΙΑ VEG. INDEX

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	Min	Max
1987	-0,055401	0,52655
2000	-	-



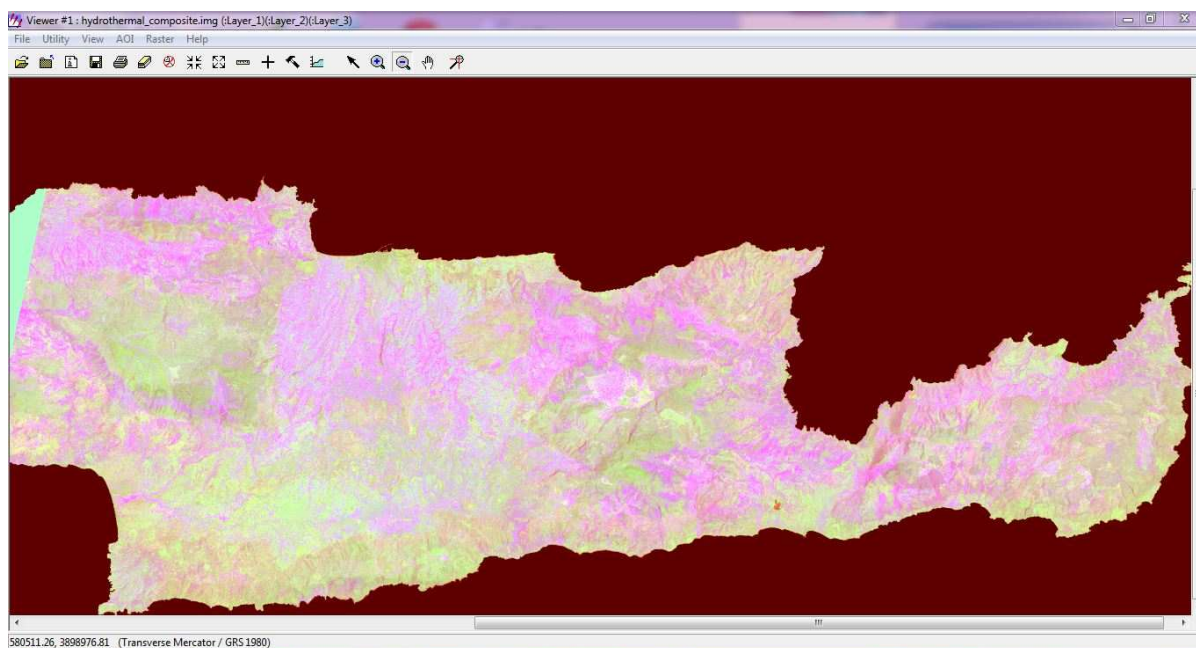
Εικόνα 37: Εφαρμογή του δείκτη Veg. Index στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 1987.

6.5.3 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

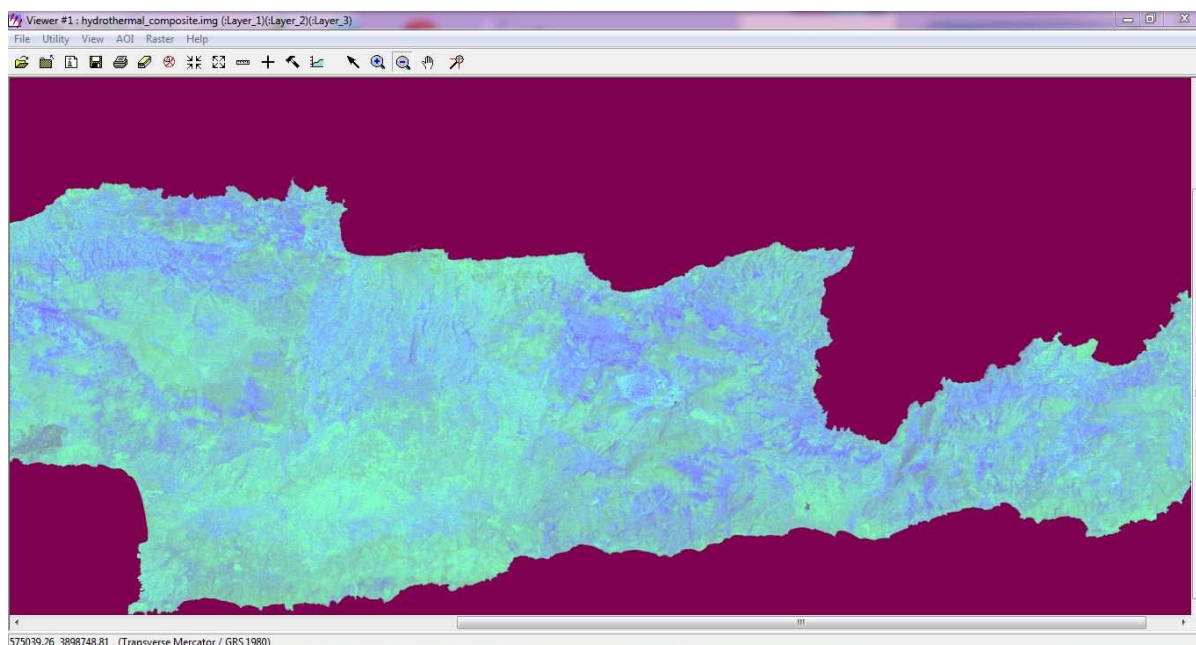
HYDROTHERMAL COMPOSITE (TM5/TM7)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ PIXEL ΓΙΑ HYDROTHERMAL COMPOSITE

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	Min	Max
1987	-14,808	21,644
2000	-1409,7	1,155



Εικόνα 38: Εφαρμογή του δείκτη HYDROTHERMAL COMP. στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 1987.

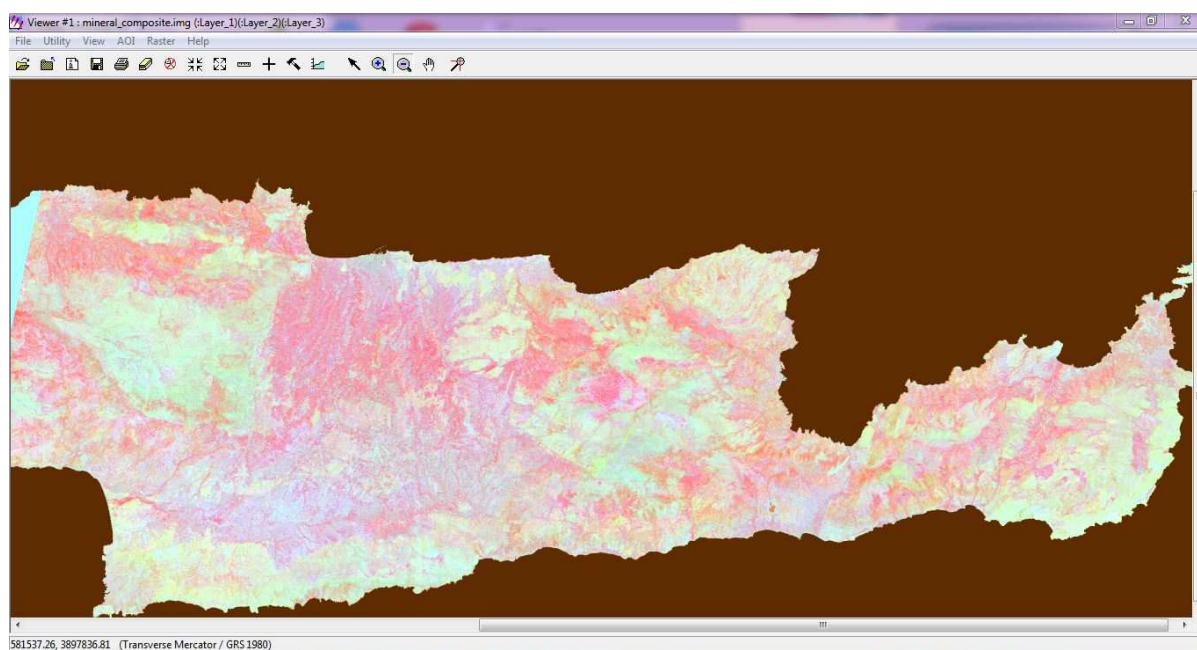


Εικόνα 39: Εφαρμογή του δείκτη HYDROTHERMAL COMP. στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 2000.

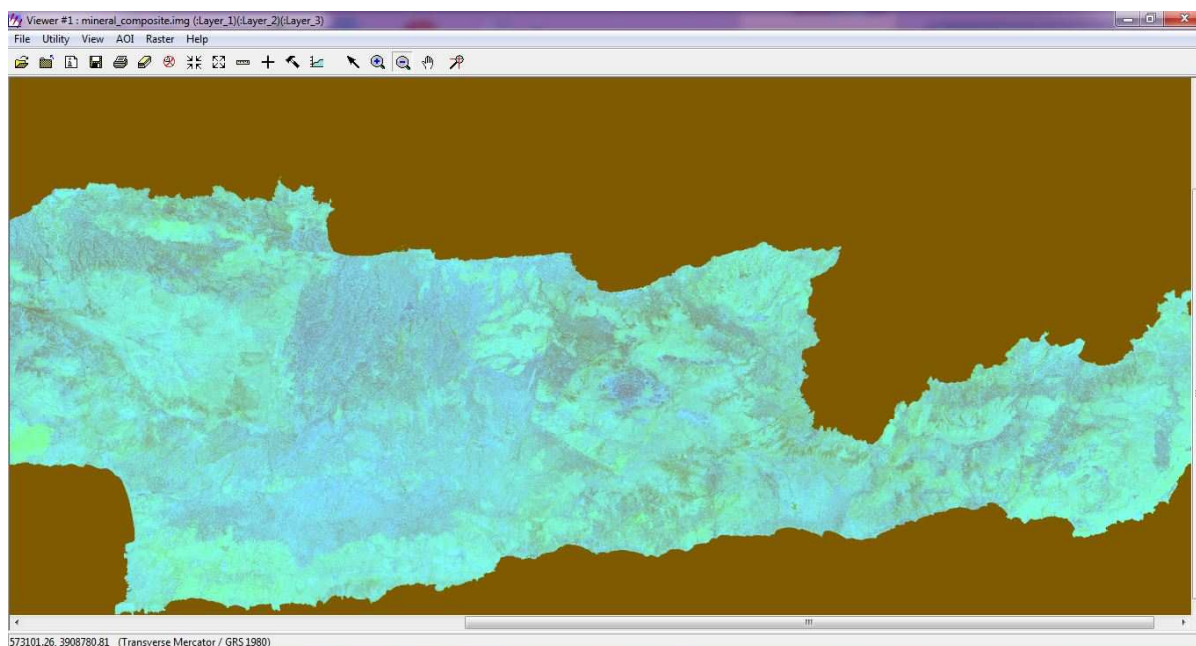
MINERAL COMPOSITE (TM5/TM7, TM5/TM4, TM3/TM1)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΡΙΧΕΛ ΓΙΑ MINERAL COMPOSITE COMPOSITE

ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	Min	Max
1987	-14,808	21,644
2000	-1409,7	1,155



Εικόνα 40: Εφαρμογή του δείκτη MINERAL COMPOSITE στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 1987.



Εικόνα 41: Εφαρμογή του δείκτη MINERAL COMPOSITE στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 2000.

CLAY MINERALS (TM5/TM7)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΡΙΧΕΛ ΓΙΑ CLAY MINERALS

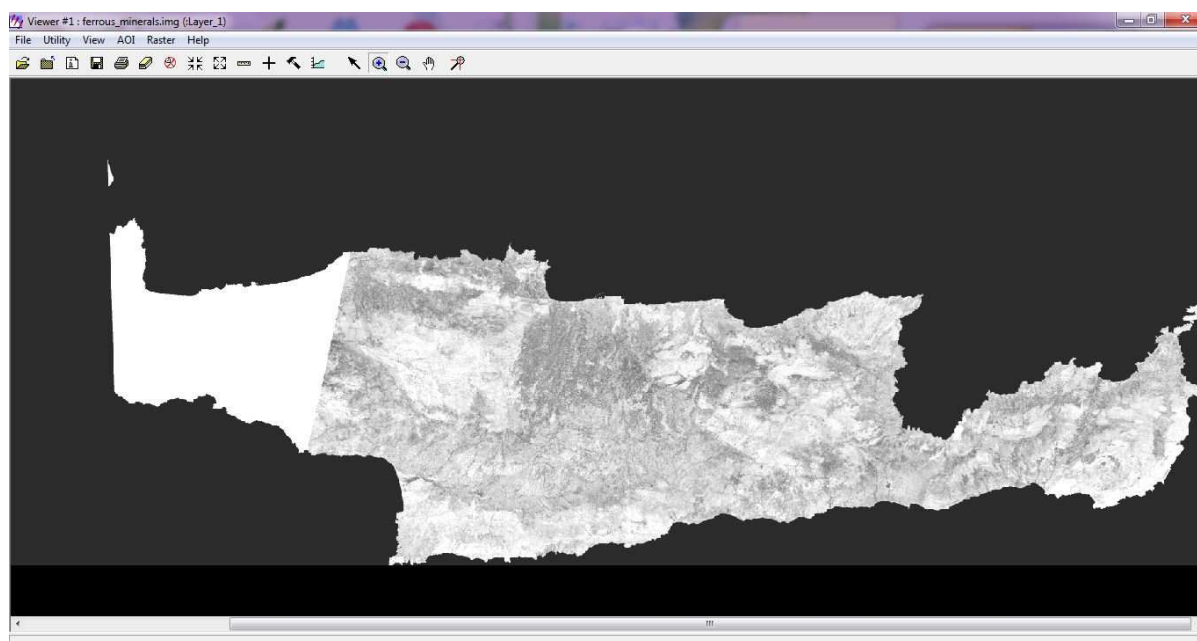
ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	Min	Max
1987	-14,808	21,644
2000	-1409,7	1,155

Οι περιοχές, οι οποίες εμφανίζονται με άσπρο χρώμα αλλά και με ανοιχτό γκρι, είναι οι περιοχές εξαλλιώσεων μεγαλύτερης έντασης (πυριτίωση, προχωρημένη αργιλική, αργιλική). Οι περιοχές, οι οποίες εμφανίζονται με σκούρους τόνους του γκρι ορίζουν εξαλλιώσεις χαμηλότερης έντασης, όπως σερικιτίωση, επιδοτίωση και προπυλιτίωση.

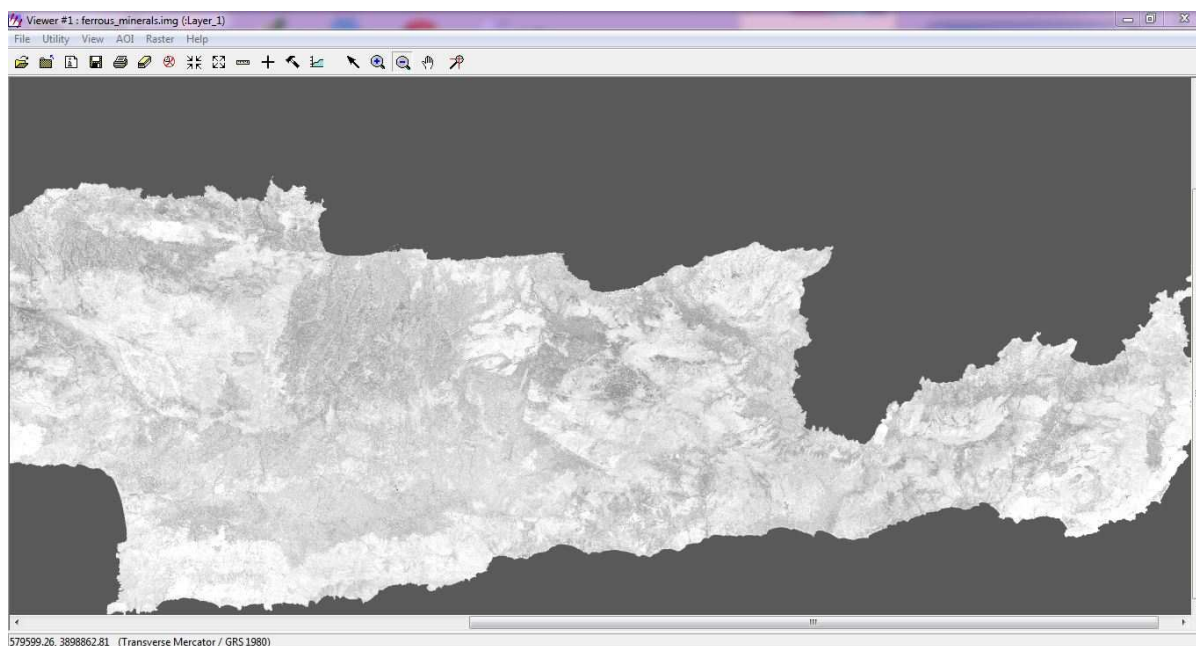
FERROUS MINERALS (TM5/TM4)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΡΙΧΕΛ ΓΙΑ FERROUS MINERALS

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	Min	Max
1987	-0,2419	4,7861
2000	-5,8361	10,57



Εικόνα 42: Εφαρμογή του δείκτη FERROUS MINERALS στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 1987.



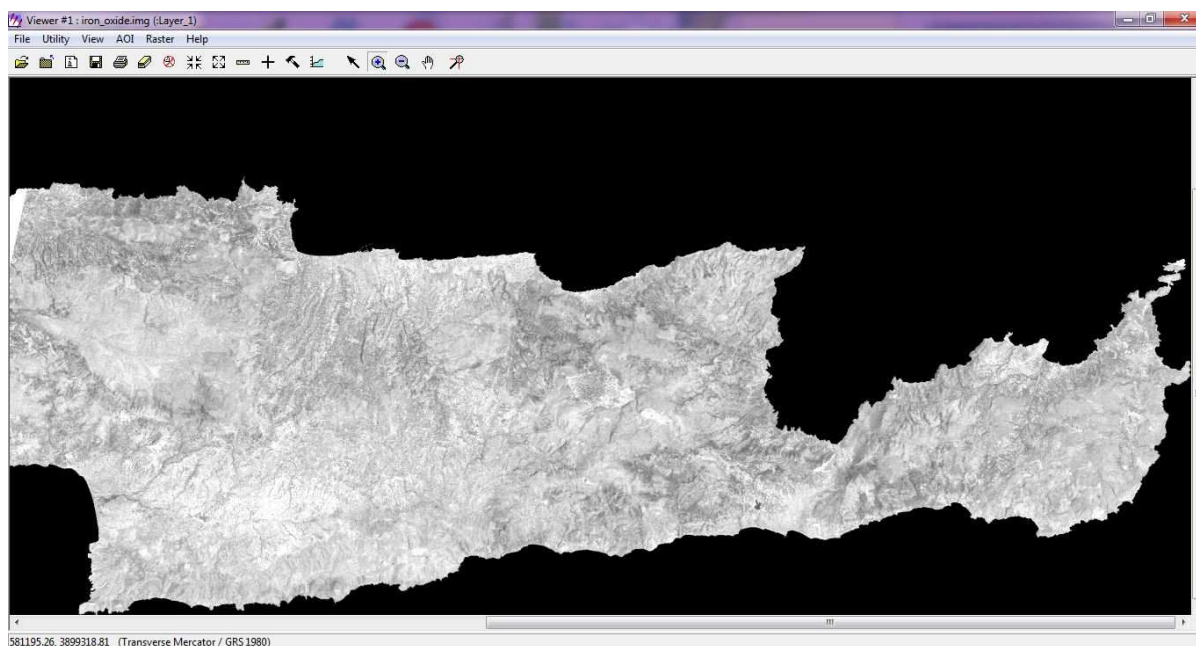
Εικόνα 43: Εφαρμογή του δείκτη FERROUS MINERALS στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 2000.

Ο λόγος αυτός εμφανίζει τα εικονοστοιχεία, όπου περιέχουν σιδηρούχα ορυκτά να φαίνονται πιο φωτεινά.

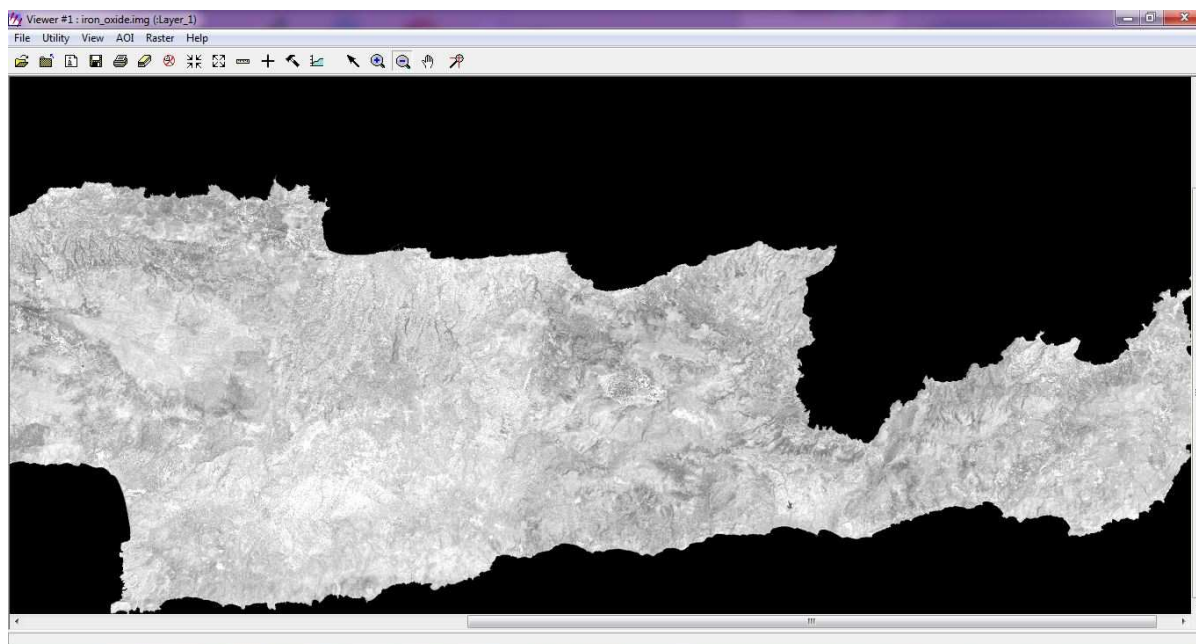
IRON OXIDE (TM3/TM1)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ PIXEL ΓΙΑ IRON OXIDE

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	Min	Max
1987	0	1,7358
2000	0	1,9649



Εικόνα 44: Εφαρμογή του δείκτη IRON OXIDE στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 1987.



Εικόνα 44: Εφαρμογή του δείκτη IRON OXIDE στην Ανατολική Κρήτη για το έτος 2000.

Ο λόγος αυτός χρησιμοποιήθηκε για τον διαχωρισμό των εικονοστοιχείων που περιέχουν προσμίξεις οξειδίων του σιδήρου και χαλαζία από αυτά που περιέχουν μόνο χαλαζία με αποτέλεσμα τα εικονοστοιχεία που περιέχουν οξείδια του σιδήρου να εμφανίζονται πιο φωτεινά.

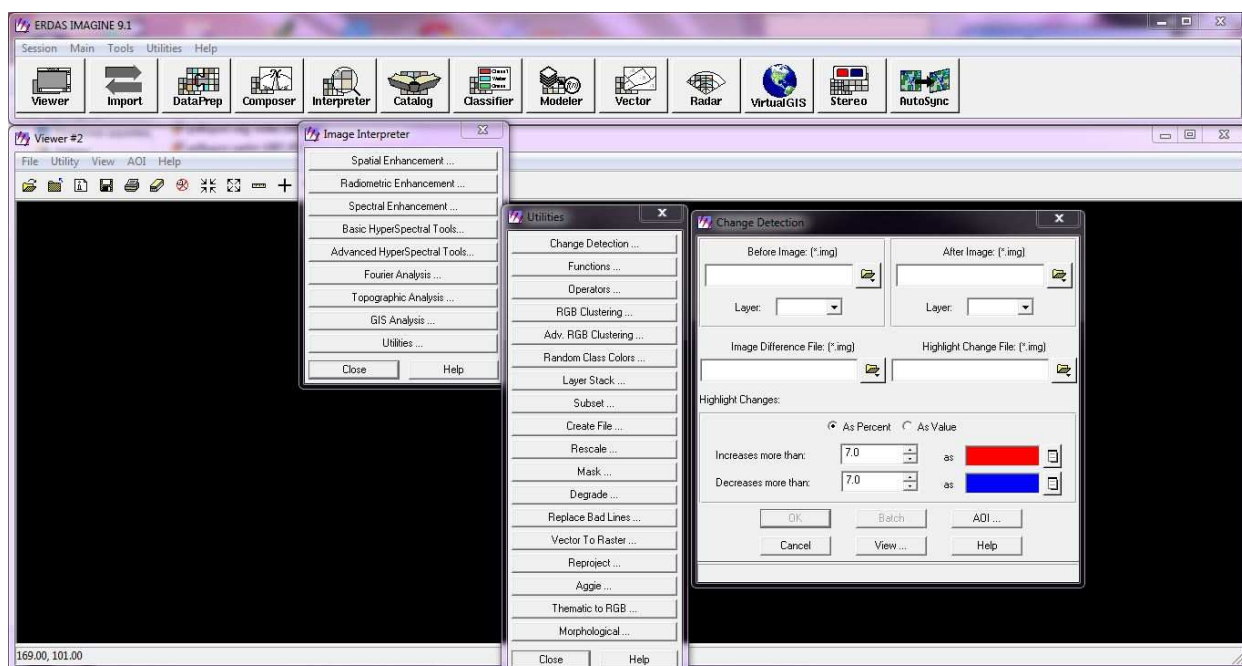
Η διάβρωση αυτή οφείλεται σε πολλές αιτίες: Στη θάλασσα, τη βροχή, τον ήλιο, το κρύο, τον αέρα, τα φυτά και τα ζώα. Τα αυτοφυή φυτά (χόρτα, θάμνοι, δέντρα) με τις ρίζες τους το αποσαθρώνουν κάθε μέρα και το πλουτίζουν με τροφές που παίρνουν απ' τον αέρα (άζωτο κλπ.) και με τα φύλλα τους και τους κορμούς τους, που, όταν σαπίζουν, μεταβάλλονται σε τροφές για τα νέα φυτά. Ανάλογα το πλουτίζουν και τα ζώα. Όσα απ' αυτά ζουν «ενδόγεια» ζωή, το τρυπούν και έτσι το νερό, ο ήλιος, ο αέρας, μπαίνουν ευκολότερα στο έδαφος και κουβαλούν μέσα τους οργανικές ουσίες. Τέλος, με τα απορρίμματα τους και τη σήψη των σωμάτων τους μετά το θάνατό τους ολοκληρώνουν τον εμπλουτισμό του. Όσα ζουν «υπέργεια» ζωή, το αποσαθρώνουν με τις φωλιές τους και τα σκαλίσματά τους και το πλουτίζουν με τα υπολείμματα των τροφών τους, με τα κόπρανά τους και με το ίδιο το σώμα τους, μετά το θάνατό τους. Όλες αυτές οι οργανικές ουσίες, που προέρχονται από τους ζωικούς οργανισμούς, παρασέρνονται ευκολότερα από τα νερά των βροχών και αποθέτονται όπου λιμνάζουν τα ρυάκια και οι ποταμοί.

6.6 ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Επόμενο και τελευταίο βήμα, είναι η αφαίρεση των εικόνων, με τους εφαρμοσμένους δείκτες, για κάθε περιοχή χωριστά. Αναλυτικότερα, στην δορυφορική εικόνα του νομού Ηρακλείου, έγινε αφαίρεση της εικόνας του 1987 όπου έχει εφαρμοστεί ο φασματικός δείκτης NDVI, από την εικόνα του 2000 όπου, επίσης έχει εφαρμοστεί ο φασματικός δείκτης NDVI.

Η αφαίρεση των δεικτών έγινε με την βοήθεια του ERDAS Imagine και των εξής εντολών:

Image Interpreter → Utilities → Change Detection.



Η επιλογή «Change Detection» , ή αλλιώς **ανίχνευση αλλαγής**, χρησιμοποιείται για να δώσει έμφαση ή να προσδιορίσει τις σημαντικές διαφορές στα στοιχεία μίας περιοχής, που συμβαίνουν με το πέρασμα των χρόνων.

Οι βασικοί τομείς της εφαρμογής περιλαμβάνουν:

- την ανίχνευση στη χρήση του εδάφους και την κάλυψη εδάφους.
- σκιαγράφηση της απώλειας και της καταπάτησης υγροτόπων.
- υπολογισμός της δασικής απώλειας μέσω της ανάπτυξης ή της ασθένειας των φυτών.
- προσδιορισμός των αλλαγών στην οικοδόμηση και την υποδομή μίας περιοχής.
- περιοχές βαθμού πλημμυρών χαρτογράφησης και ζώνες αντίκτυπου καταστροφής.

Το ERDAS IMAGINE παρέχει δύο εργαλεία για την ανίχνευση αλλαγής κάτω από το κουμπί Image Interpreter ή αλλιώς «*διερμηνέας εικόνας*». Από τα βοηθήματα (Utilities), η λειτουργία Change Detection επιτρέπει δύο συνεχείς εικόνες ως είσοδος, δηλαδή στην παρούσα περίπτωση, γίνεται εισαγωγή της εικόνας που αφορά το 1987 και την δορυφορική εικόνα που αφορά το 2000 για κάθε περιοχή αντιστοίχως. Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει μια αξία ευαισθησιών (%) για την αλλαγή. Στην παρούσα εργασία η αξία ευαισθησιών είναι 7% και σημαίνει ότι η εφαρμογή "Change Detection" θα εντοπίσει pixels τα οποία έχουν μεταβληθεί περισσότερο από 7%. Η τιμή κάθε ενός pixel συγκρίνεται με την άλλη αντίστοιχη τιμή pixel της άλλης εικόνας και η διαφορά στην τιμή που προκύπτει χαρακτηρίζεται ως αύξηση ή μείωση. Ένα «highlight» αρχείο θα δημιουργηθεί έπειτα, χαρακτηρίζοντας τα pixels που έχουν αυξηθεί ή έχουν μειωθεί περισσότερο από την αξία ευαισθησιών (%). Εκείνα τα τονισμένα pixels θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύσουν τις περιοχές όπου ένα νέο κτήριο έχει κατασκευαστεί, ή την αύξηση ή μείωση μιας δασικής περιοχής. Το εργαλείο αυτό προορίζεται να δώσει ένα γρήγορο βλέμμα στο ποσό αλλαγής μεταξύ των δύο χρονολογιών (1987/2000). Η έξοδος αυτής της λειτουργίας είναι σπάνια χρησιμοποιήσιμη ως στρώμα GIS, δίνει όμως την υψηλού επιπέδου όψη της αλλαγής για μια περιοχή, έτσι ώστε το ποσό προσπάθειας, για να εντοπιστεί η αλλαγή, να είναι καλύτερα υπολογίσιμο.

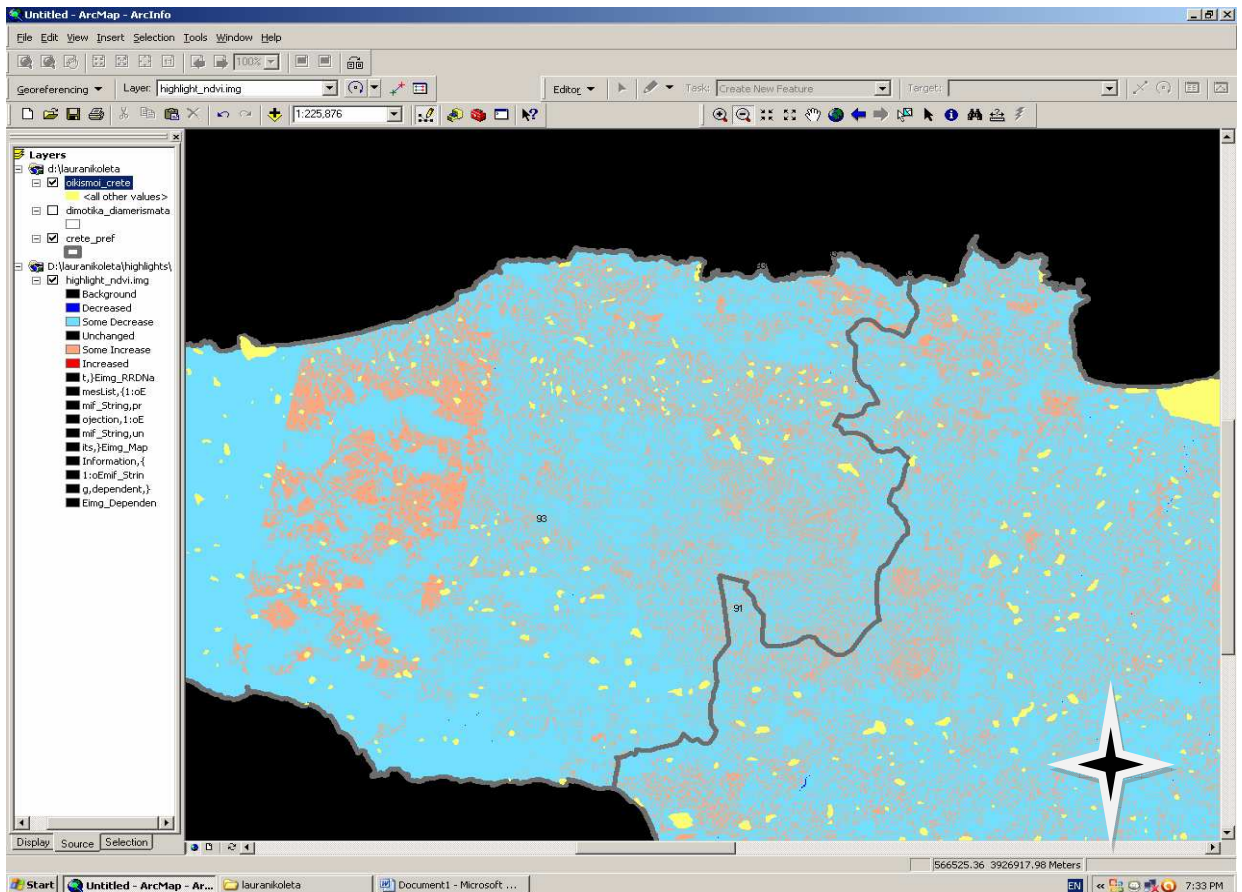
Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εικόνες (highlight) των νομών της Κρήτης που δημιουργήθηκαν από την εφαρμογή "**Change Detection**".

Οι αυξήσεις χαρακτηρίζονται από το κόκκινο χρώμα, ενώ οι μειώσεις από το μπλέ, τα κίτρινα πολύγωνα που φαίνονται σε κάθε δορυφορική εικόνα αντιστοιχούν στο layer "οικισμοί", το οποίο με τη βοήθεια του προγράμματος Arc Gis θα δώσει μεγαλύτερη κατανόηση των περιοχών όπου διακρίνονται οι αλλαγές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

7.1 Ο ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI

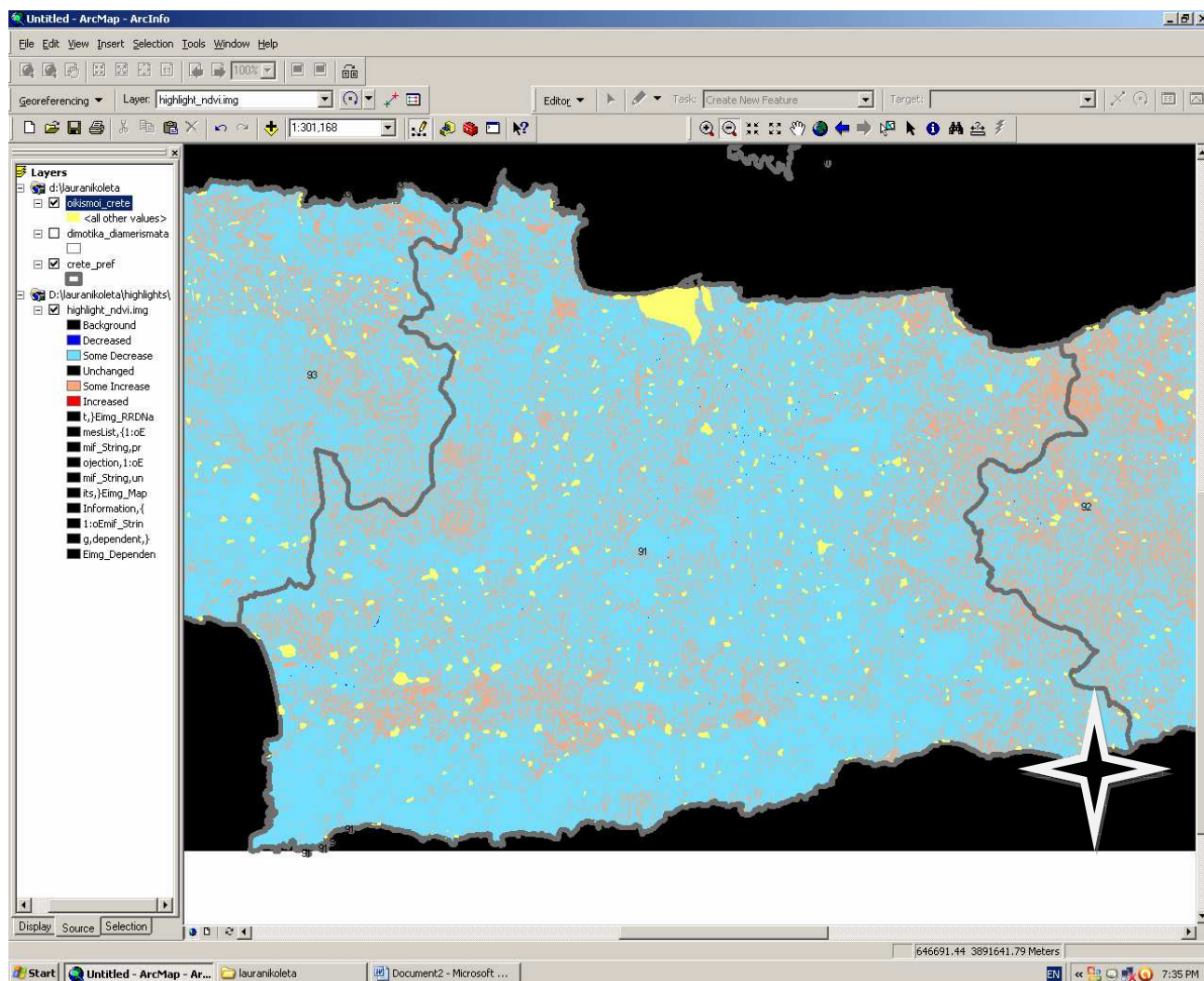
Νομός Ρεθύμνου



Εικόνα 45: Εφαρμογή ανίχνευσης αλλαγής (Change Detection) του δείκτη NDVI για το νομό Ρεθύμνου.

ΧΑΡΤΗΣ GIS ΝΟΜΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	
	increased
	decreased
	οικισμοί

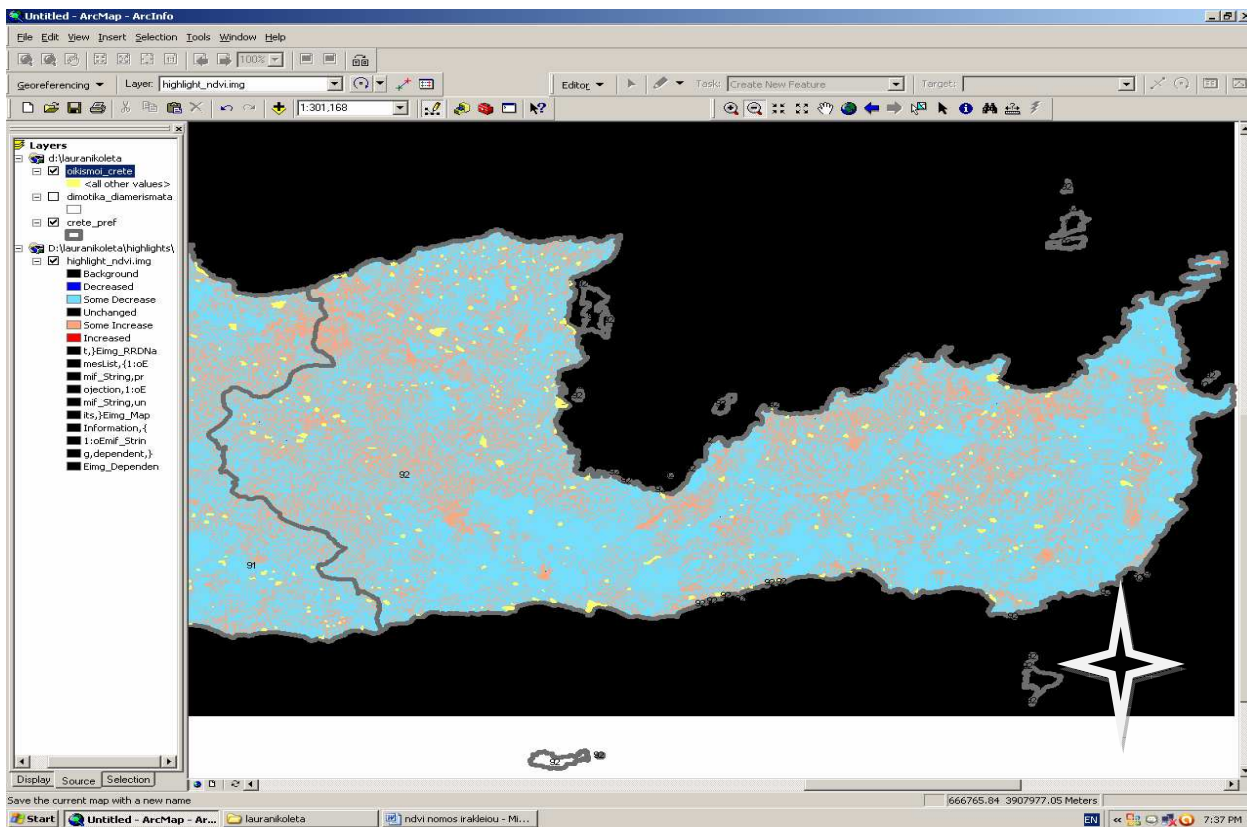
Νομός Ηρακλείου



Εικόνα 46: Εφαρμογή ανίχνευσης αλλαγής (Change Detection) του δείκτη NDVI για το νομό Ηρακλείου.

ΧΑΡΤΗΣ GIS ΝΟΜΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	
	increased
	decreased
	οικισμοί

Νομός Λασιθίου

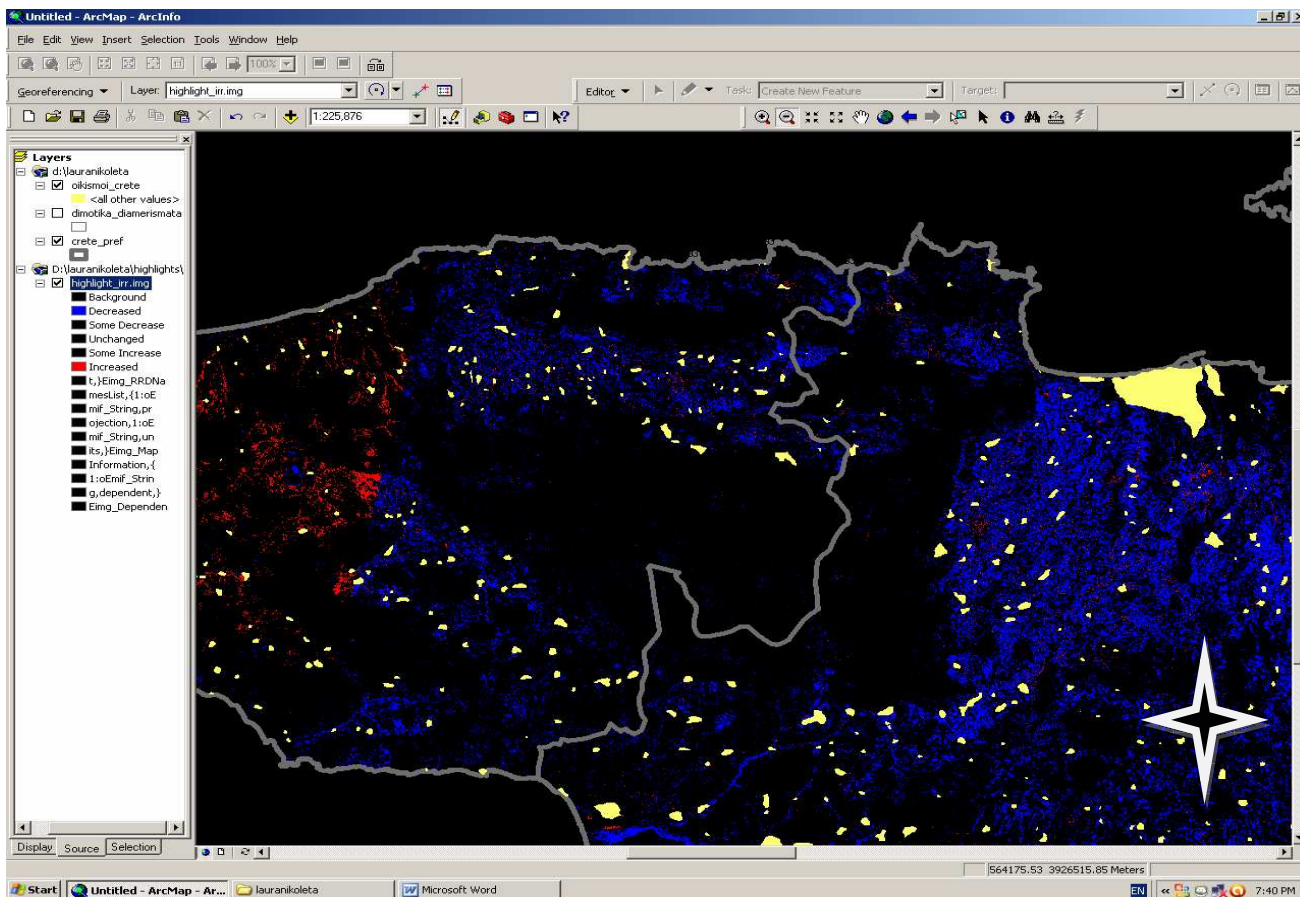


Εικόνα 47: Εφαρμογή ανίχνευσης αλλαγής (Change Detection) του δείκτη NDVI για το νομό Λασιθίου.

ΧΑΡΤΗΣ GIS ΝΟΜΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	
	increased
	decreased
	οικισμοί

7.2 ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ IR/R

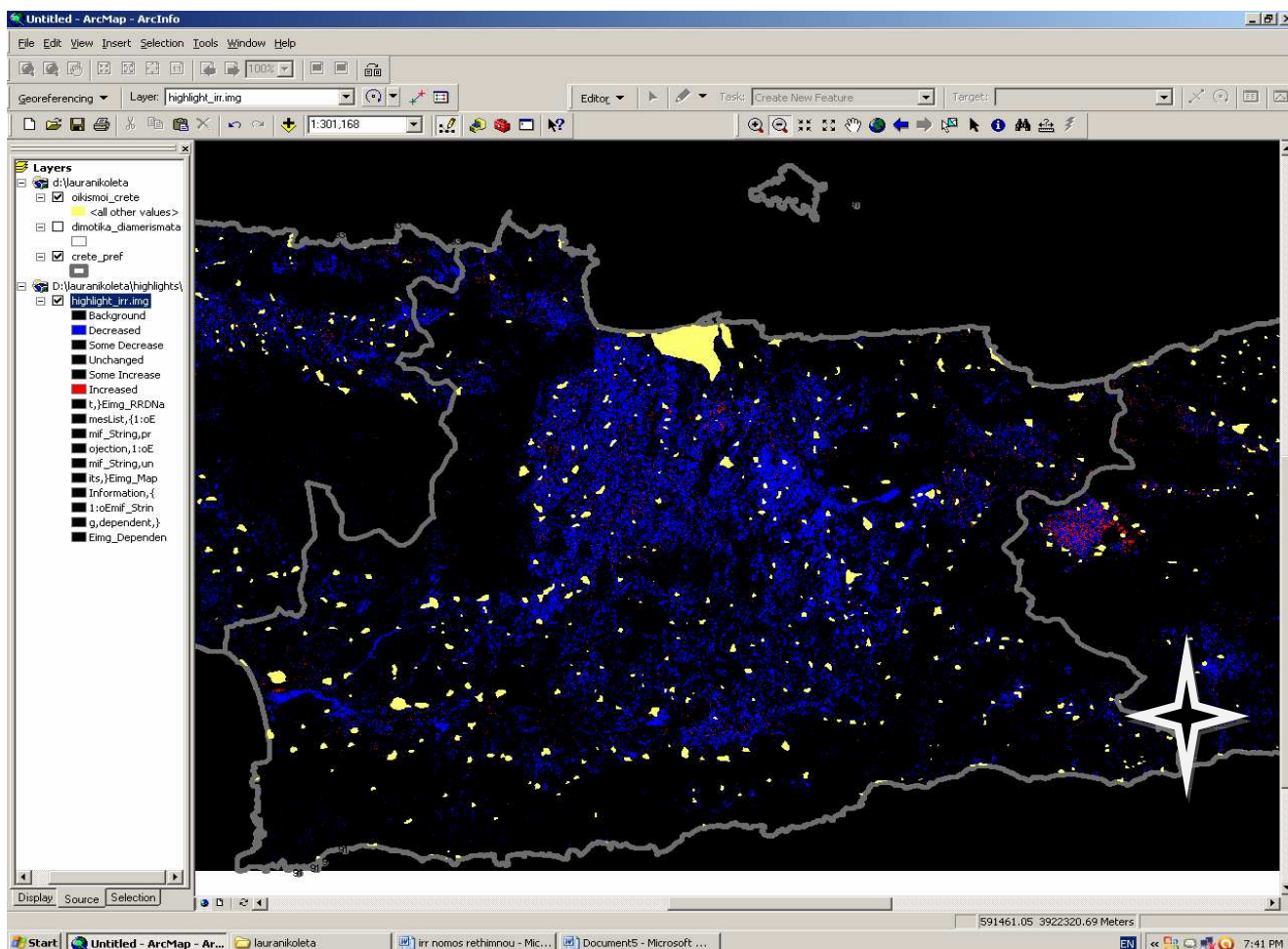
Νομός Ρεθύμνου



Εικόνα 48: Εφαρμογή ανίχνευσης αλλαγής (Change Detection) του δείκτη IR/R για το νομό Ρεθύμνου.

ΧΑΡΤΗΣ GIS ΝΟΜΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	
	increased
	decreased
	οικισμοί

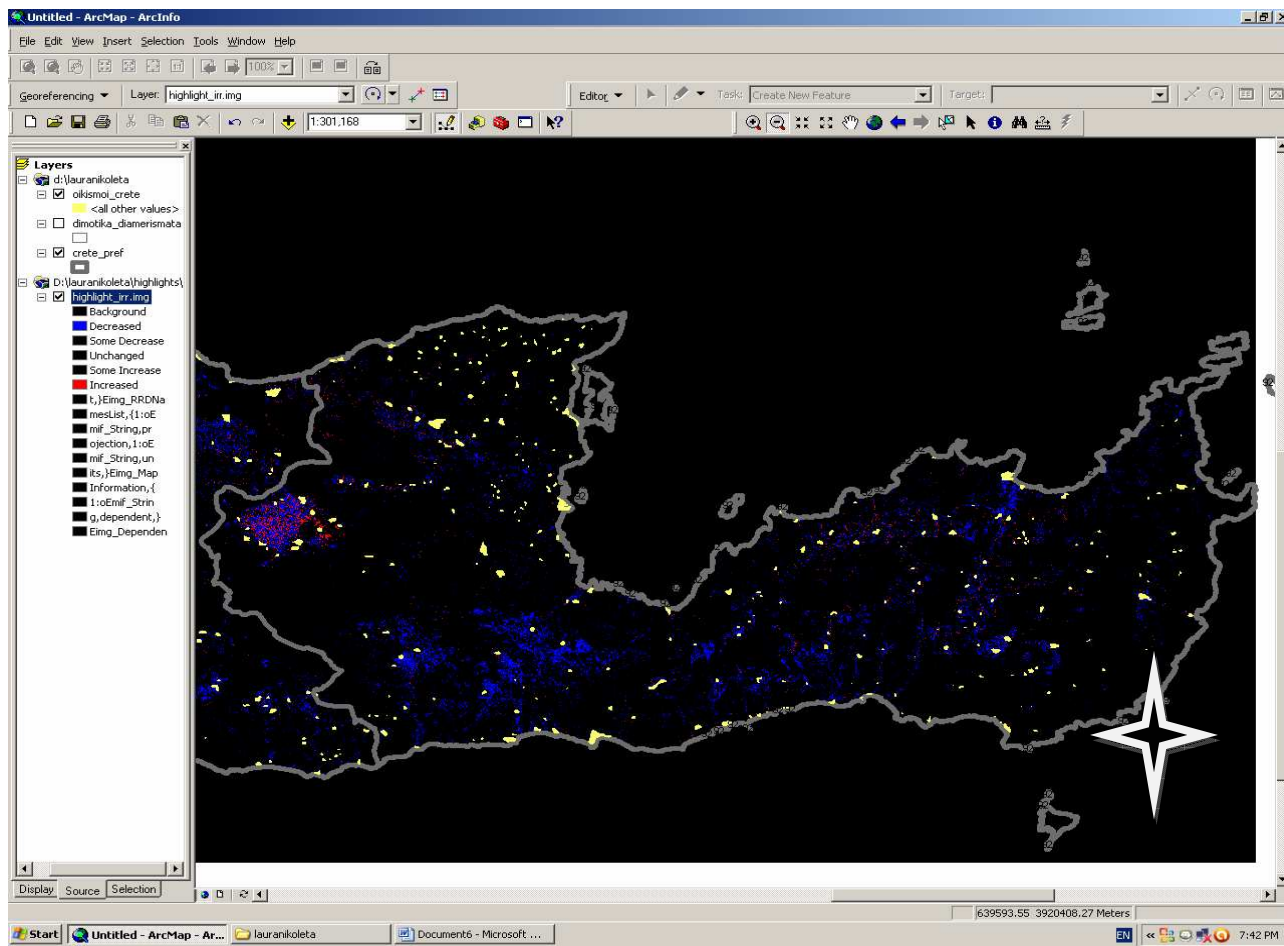
Νομός Ηρακλείου



Εικόνα 49: Εφαρμογή ανίχνευσης αλλαγής (Change Detection) του δείκτη IR/R για το νομό Ηρακλείου.

ΧΑΡΤΗΣ GIS ΝΟΜΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	
	increased
	decreased
	οικισμοί

Νομός Λασιθίου

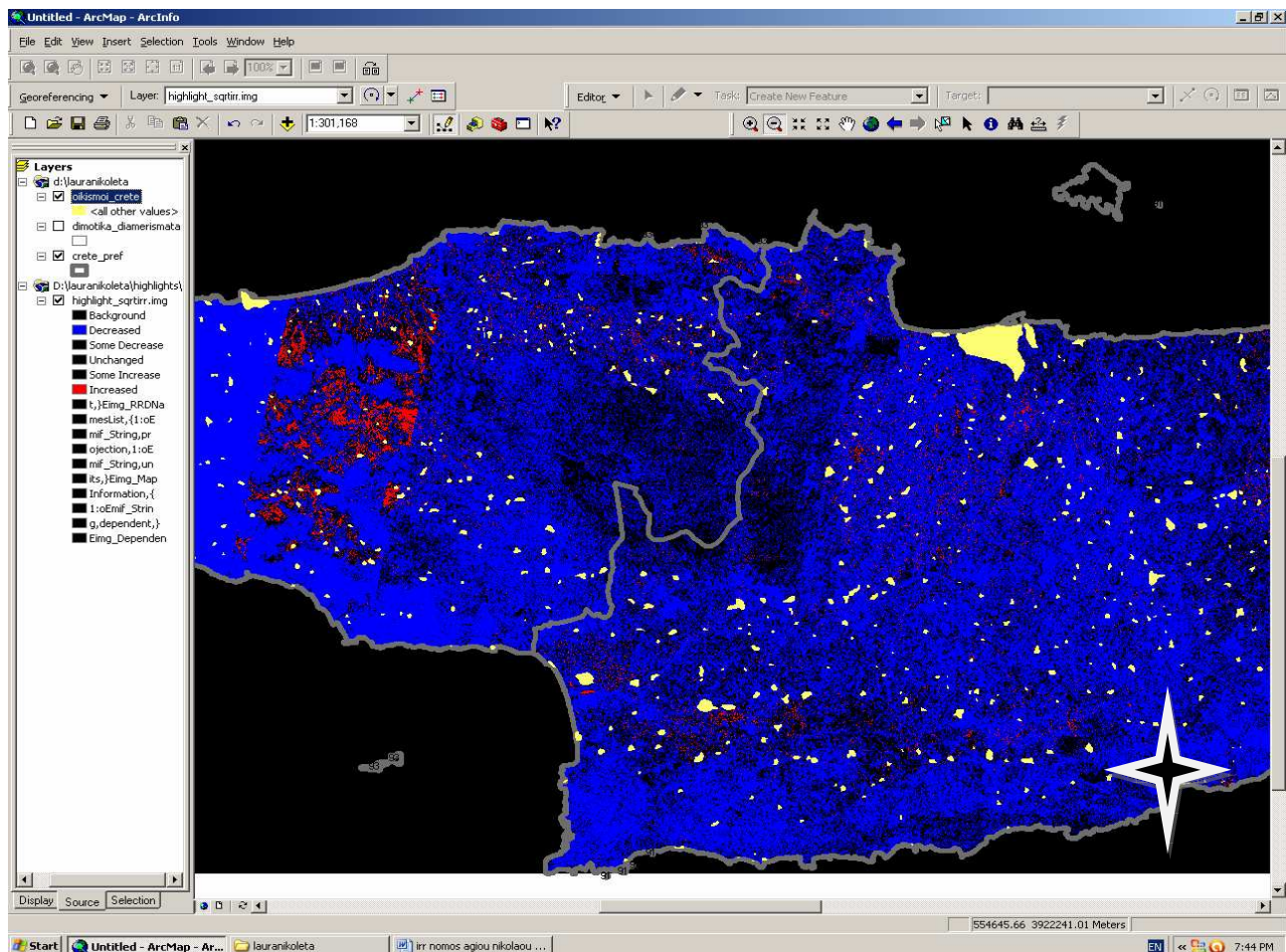


Εικόνα 50: Εφαρμογή ανίχνευσης αλλαγής (Change Detection) του δείκτη IR/R για το νομό Λασιθίου.

ΧΑΡΤΗΣ GIS ΝΟΜΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	
	increased
	decreased
	οικισμοί

7.3 Ο ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ SQRT IR/R

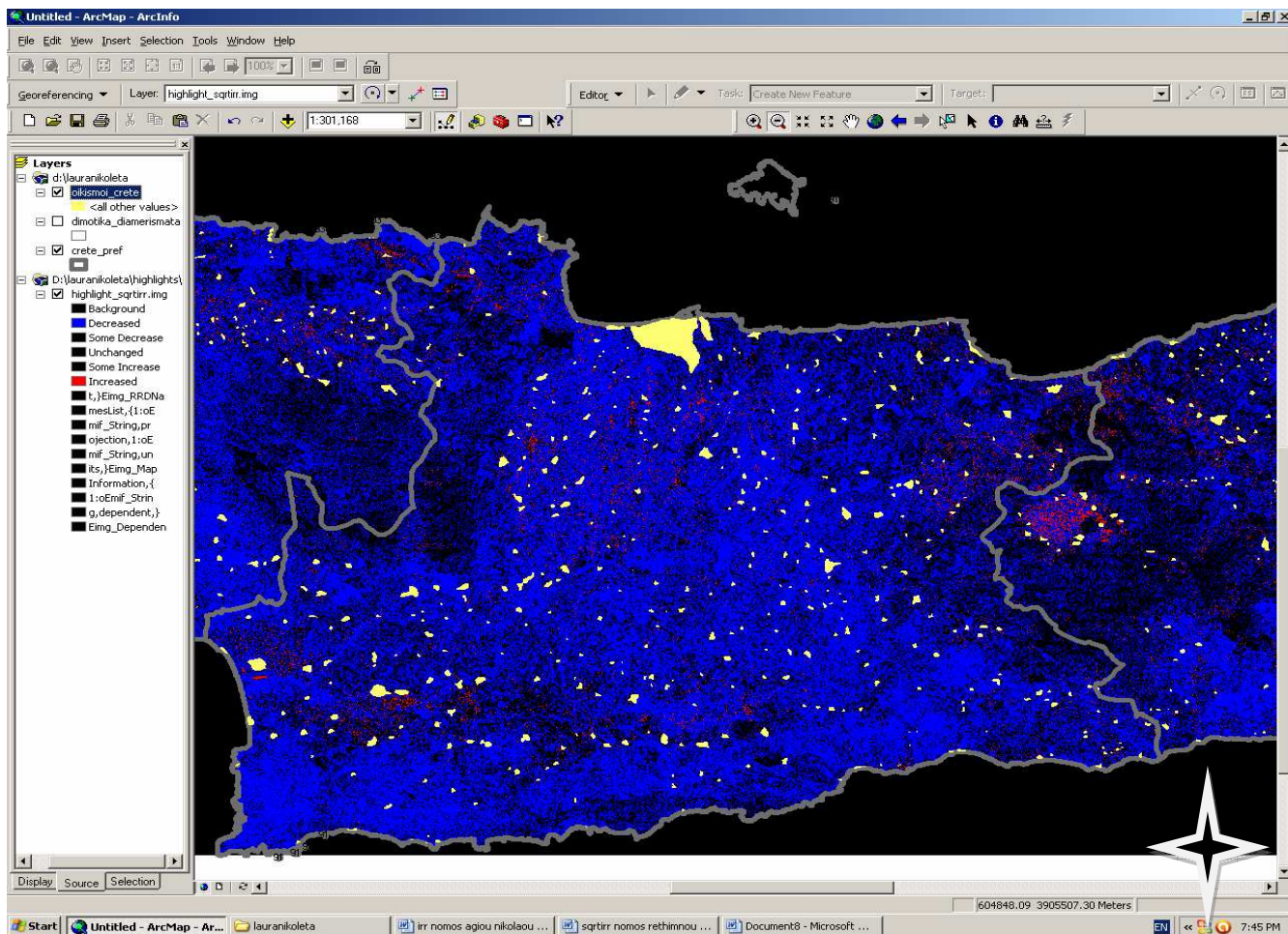
Νομός Ρεθύμνου



Εικόνα 51: Εφαρμογή ανίχνευσης αλλαγής (Change Detection) του δείκτη SQRT IR/R για το νομό Ρεθύμνου.

ΧΑΡΤΗΣ GIS ΝΟΜΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	
	increased
	decreased
	οικισμοί

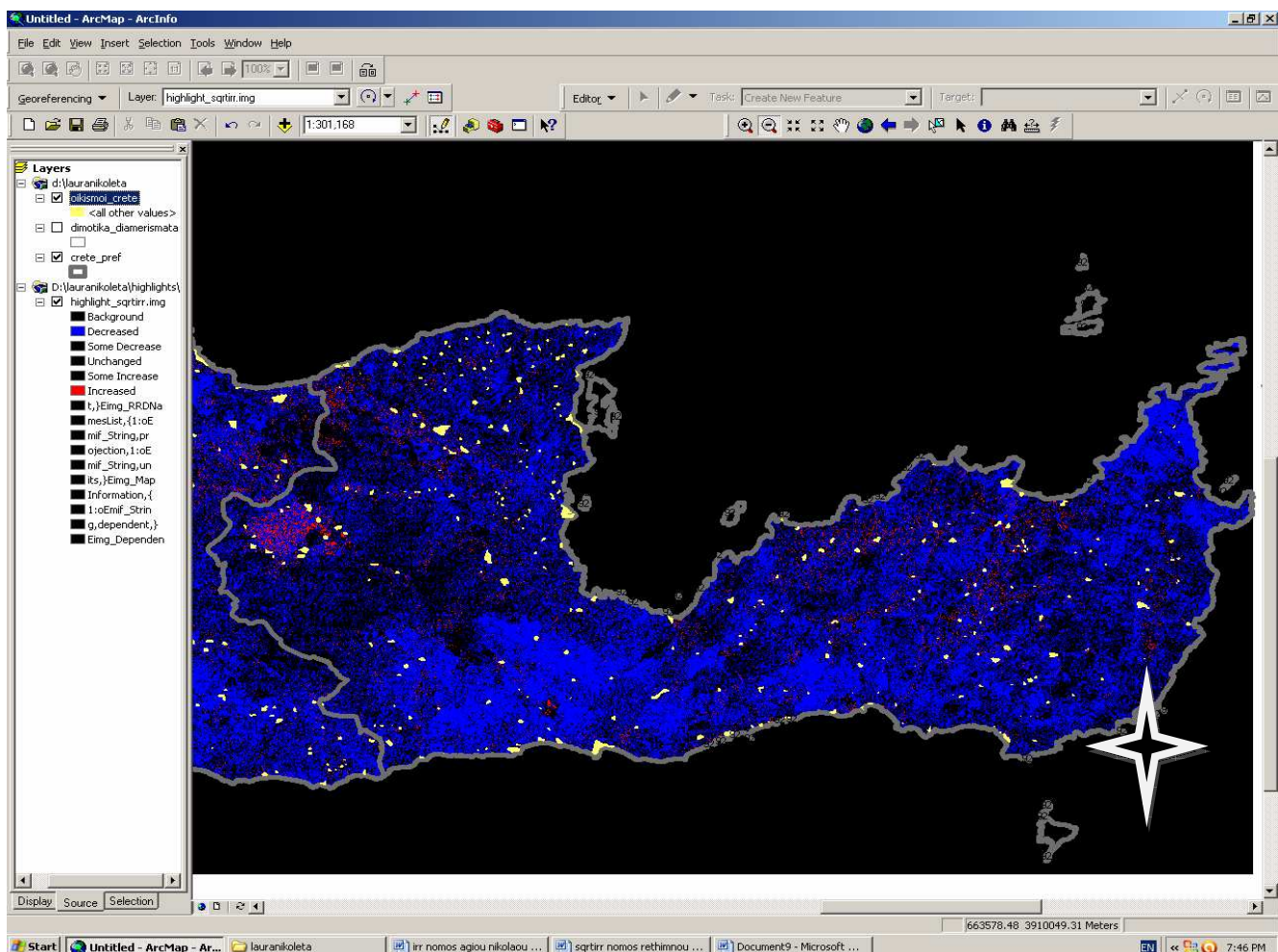
Νομός Ηρακλείου



Εικόνα 52: Εφαρμογή ανίχνευσης αλλαγής (Change Detection) του δείκτη SQRT IR/R για το νομό Ηρακλείου.

ΧΑΡΤΗΣ GIS ΝΟΜΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	
	increased
	decreased
	οικισμοί

Νομός Λασιθίου

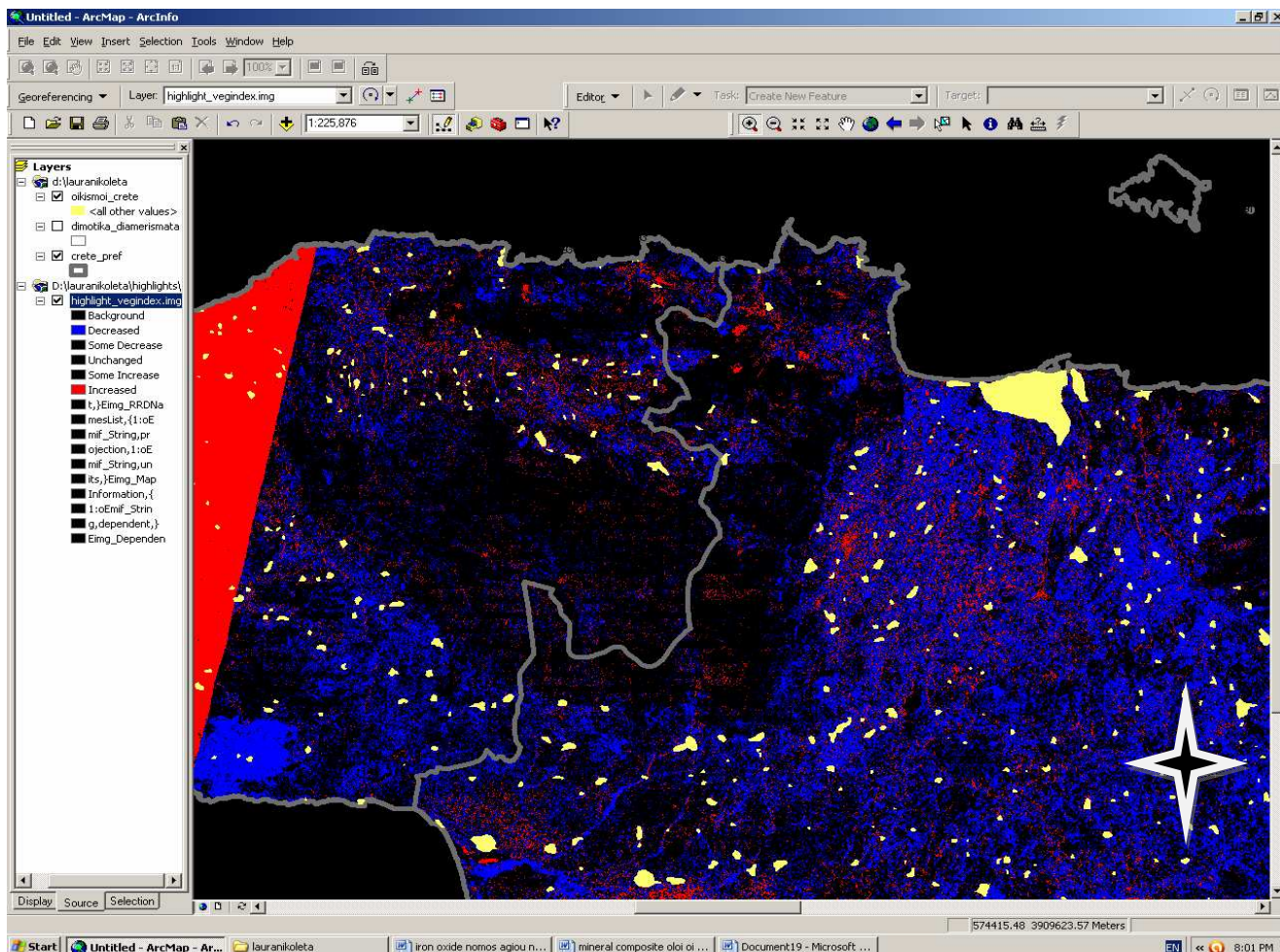


Εικόνα 53: Εφαρμογή ανίχνευσης αλλαγής (Change Detection) του δείκτη SQRT IR/R για το νομό Λασιθίου.

ΧΑΡΤΗΣ GIS ΝΟΜΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	
	οικισμοί
	decreased
	increased

7.4 Ο ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ VEG. INDEX

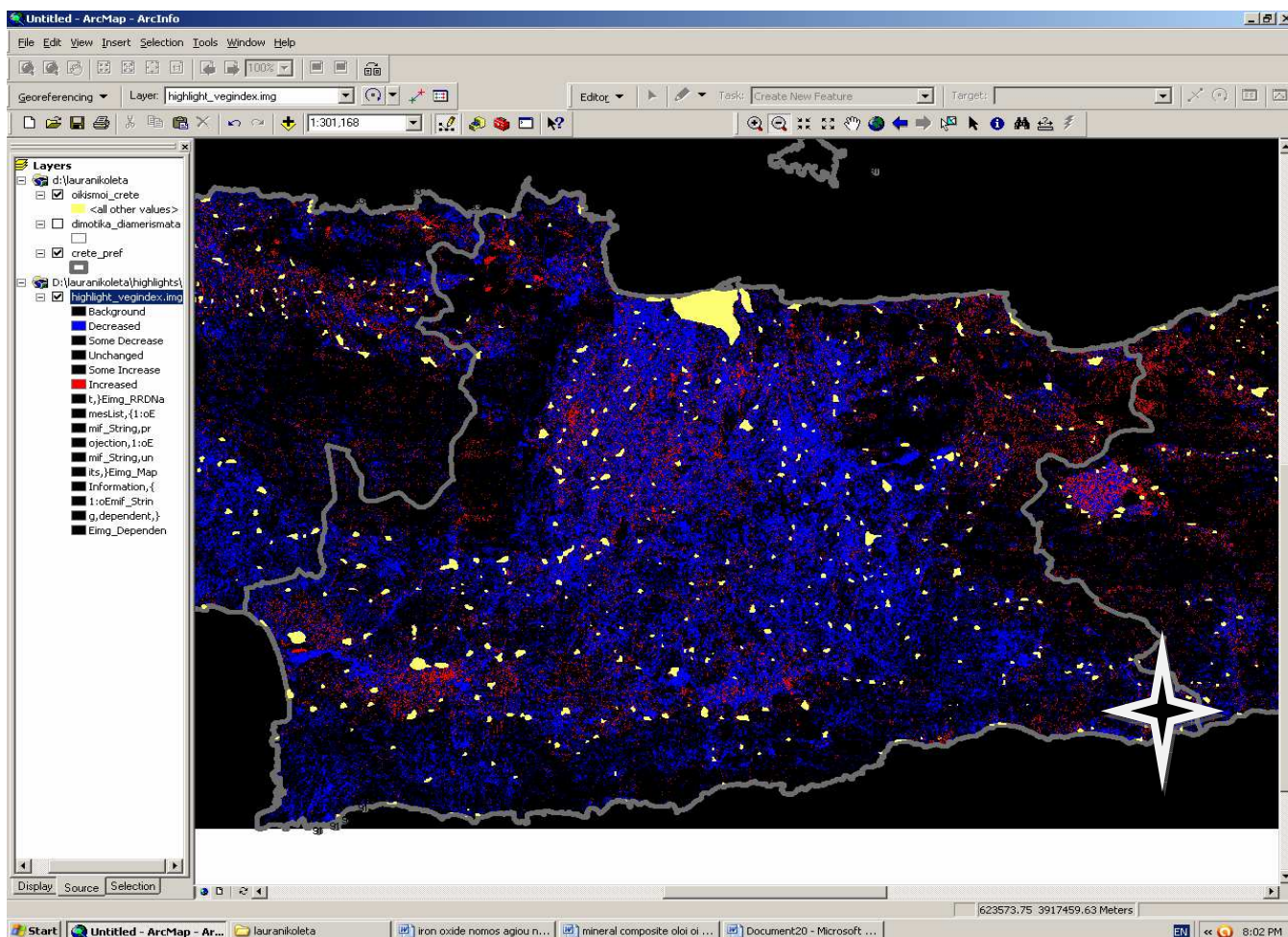
Νομός Ρεθύμνου



Εικόνα 54: Εφαρμογή ανίχνευσης αλλαγής (Change Detection) του δείκτη VEG. INDEX για τον νομό Ρεθύμνου.

ΧΑΡΤΗΣ GIS ΝΟΜΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	
	increased
	decreased
	Οικισμοί

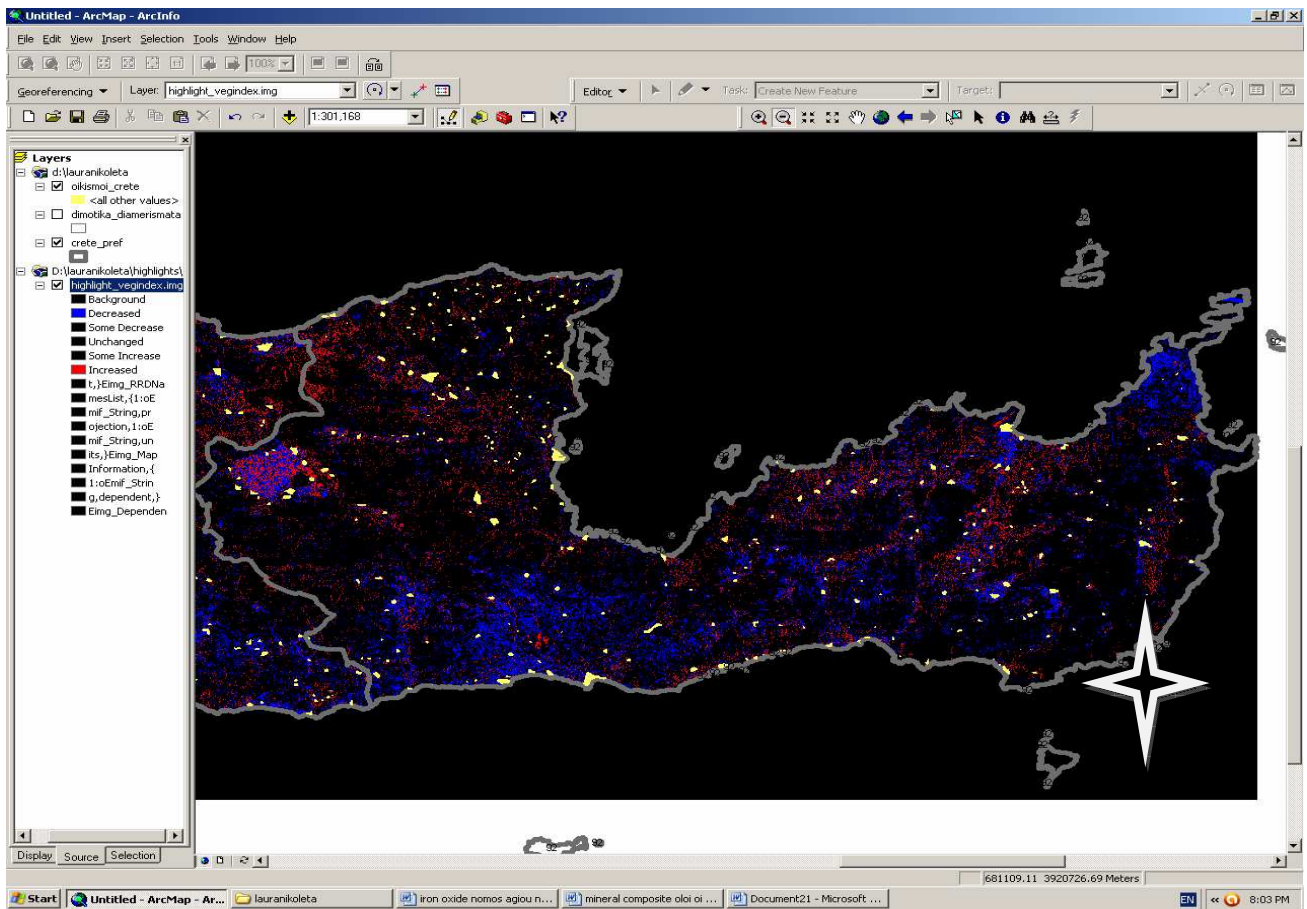
Νομός Ηρακλείου



Εικόνα 55: Εφαρμογή ανίχνευσης αλλαγής (Change Detection) του δείκτη VEG. INDEX για τον νομό Ηρακλείου.

ΧΑΡΤΗΣ GIS ΝΟΜΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	
	increased
	decreased
	οικισμοί

Νομός Λασιθίου



Εικόνα 54: Εφαρμογή ανίχνευσης αλλαγής (Change Detection) του δείκτη VEG. INDEX για τον νομό Λασιθίου.

ΧΑΡΤΗΣ GIS ΝΟΜΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	
	increased
	decreased
	οικισμοί

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ - ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ
--

Στην εφαρμογή του Change Detection (ανίχνευση αλλαγής) το όριο ανίχνευσης τέθηκε έως 7%, όμως παρατηρήθηκε ότι πάνω του ορίου ανίχνευσης δεν φάνηκαν ορατές μεταβολές, με αποτέλεσμα να ληφθούν υπ' όψιν τα εικονοστοιχεία που παρουσίαζαν μερική μείωση (τα οποία φαίνονται με γαλάζιο χρώμα) και μερική αύξηση (τα οποία φαίνονται με πορτοκαλί χρώμα), τα οποία ήταν κάτω του 7%.

Επομένως αφού το ποσοστό αντιπροσωπεύει μίας μικρής τάξεως μεταβολή, θα γίνει μια συνοπτική ερμηνεία για τον κάθε νομό σχετικά με την αύξηση-μείωση βλάστησης από το 1987 μέχρι το 2000. Τα κίτρινα πολύγωνα που φαίνονται στις εικόνες, αφορούν ένα επιπρόσθετο Layer, όπου υποδεικνύει τους οικισμούς κάθε νομού.

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης είναι πολύ χρήσιμη για την εξαγωγή συμπερασμάτων όπως φαίνεται και παρακάτω απ' όσα προέκυψαν στη παρούσα πτυχιακή εργασία. Θα ήταν βέβαια καλύτερα, αν υπήρχαν και άλλων ετών διαθέσιμες εικόνες για επεξεργασία, έτσι ώστε να προέκυπτε μια εμπειριστατωμένη εξαγωγή συμπερασμάτων.

8.1 Ο ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI

Νομός Ρεθύμνου

Γενικά υπάρχει μια μερική μείωση της βλάστησης, αντιθέτως μία μερική αύξηση παρατηρείται στις περιοχές όπου υπάρχουν κάποιοι οικισμοί. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στην αστικοποίηση των περιοχών αυτών δηλαδή στην δημιουργία νέων κατοικιών, δρόμων, δημοτικών πάρκων κ.α.

Νομός Ηρακλείου

Ομοίως και στον Νομό Ηρακλείου, παρατηρείται μερική αύξηση της βλάστησης κόντα σε οικισμούς. Επίσης, σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν οικισμοί παρατηρείται μία μερική αύξηση η οποία μπορεί να οφείλεται στην δημιουργία περιφερειακών δρόμων.

Νομός Λασιθίου

Ομοίως και στο Νομό Λασιθίου, παρατηρείται μερική αύξηση της βλάστησης εκεί όπου υπάρχουν οικισμοί.

Αξίζει να σημειωθεί ότι Νότια όλης της ακτογραμμής της Ανατολικής Κρήτης υπάρχει μία γενική μερική μείωση της βλάστησης. Πιθανόν, γιατί η μορφολογία του εδάφους ή οι κλιματολογικές συνθήκες δεν καθιστούν το έδαφος πρόσφορο για καλλιέργεια. Επιπλέον, αυτή η μείωση της βλάστησης μπορεί να υποδεικνύει, ότι στο χρονικό διάστημα 1987-2000 δεν υπήρξαν μεγάλες πλυθησσιακές μεταβολές στους οικισμούς που εμπεριέχονται σε αυτήν την περιοχή, με αποτέλεσμα να μην έγινε χρήση γης για την δομική επέκταση των οικισμών αυτών.

8.2 Ο ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ VEG. INDEX**Νομός Ρεθύμνου**

Στον Νομό Ρεθύμνου και συγκεκριμένα περιμετρικά της περιοχής του Ψηλορείτη, φαίνεται να μην υπάρχει κάποια μεταβολή της υγειούς βλάστησης. Νοτιοανατολικά όμως του νομού, στην περιοχή του Σπηλίου παρατηρείται μια μείωση της υγειούς βλάστησης. Ομοίως και στην ευρύτερη περιοχή του Πλακιά, νοτιοδυτικά του Ρεθύμνου. Πιθανά αίτια είναι, η αστικοποίηση, καθώς και η αύξηση των τουριστικών καταλυμάτων.

Νομός Ηρακλείου

Παρατηρείται μείωση της υγειούς βλάστησης σε όλο τον νομό, πιθανά αίτια είναι η αστικοποίηση, πυρκαγιές ή υποβάθμιση του εδάφους. Στην περιοχή των Μοιρών, νοτιοδυτικά του Νομού, παρατηρείται αύξηση της υγειούς βλάστησης, που πιθανόν να οφείλεται στην αύξηση των καλλιεργειών και θερμοκηπίων στην περιοχή αυτή.

Νομός Λασιθίου

Δυτικά του Νομού Λασιθίου και συγκεκριμένα στην περιοχή του Οροπεδίου Λασιθίου, μεταξύ των περιοχών Τζερμιάδο, Μαρμακέτο, Αγ. Χαράλαμπος και Κάτω Μετόχι, παρουσιάζεται παράλληλα μια αύξηση και μια μείωση της υγειούς βλάστησης. Πιθανή αιτία του φαινομένου αυτού, είναι η ποικιλία της καλλιεργήσιμης γης σε σιτάρι, ελιά κ.α.

Ενώ στη νότια πλευρά του νομού στην περιοχή της Ιεράπετρας παρατηρείται μια μείωση της υγειούς βλάστησης, πιθανόν από αύξηση του αστικού πληθυσμού. Ανατολικά της Σητείας και συγκεκριμένα στο Ανατολικό άκρο του νησιού (Βαι-Ιτάνου), διακρίνεται μια μείωση της υγειούς βλάστησης. Σε αυτή την περίπτωση όμως, το πιθανό αίτιο μείωσης, δεν είναι η αστικοποίηση (για τον λόγο ότι η περιοχή δε χαρακτηρίζεται ως κατοικίσημη), αλλά η ερημοποίηση του εδάφους λόγω πιθανών κλιματικών αλλαγών.

8.3 Ο ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ IR/R**Νομός Ρεθύμνου**

Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται για να διακρίνει την υγιή βλάστηση από τα γυμνά εδάφη. Επομένως, η αφαίρεση των δορυφορικών εικόνων δείχνει την μεταβολή της υγειούς βλάστησης σε όλο τον Νομό. Στο όρος του Ψηλορείτη και γενικά σε βραχώδης επιφάνειες (βουνά), η κατάσταση της βλάστησης, δεν

εμφανίζει μεταβολές, αφενός γιατί σε αυτές τις περιοχές η βλάστηση είναι μικρή και αυτές οι περιοχές αναγνωρίζονται από τον δείκτη σαν γυμνά εδάφη και αφετέρου γιατί πιθανότατα αυτές οι περιοχές λόγω της μορφολογίας του εδάφους και του υψομέτρου που βρίσκονται, δεν είναι κατάλληλες για κατοίκηση, με αποτέλεσμα, να μην ρυπαίνονται τα εδάφη από ανθρωπογενείς παράγοντες και η βλάστηση να παραμένει υγιής.

Στις πεδινές περιοχές όμως παρατηρείται μια μείωση στη υγεία της βλάστησης. Για παράδειγμα, νότια του νομού Ρεθύμνης και κατά μήκος όλης της ακτογραμμής και συγκεκριμένα στην περιοχή Πρέβελη, Αγ. Γαλήνη κ.τ.λ. υπάρχει μείωση της υγιούς βλάστησης, λόγω του ότι, αυτές όλες οι παραλιακές περιοχές χρησιμοποιούνται για αναψυχή και φιλοξενούν αρκετό κόσμο τις καλοκαιρινές περιόδους, επομένως είναι πολύ πιθανό να παρουσιάζεται κάποια ρύπανση του εδάφους.

Νομός Ηρακλείου

Ομοίως και στο Νομό Ηρακλείου διακρίνεται η περιοχή του Ψηλορείτη να μην εμφανίζει μεταβολές. Έντονη μείωση παρατηρείται όμως, στους Δήμους που βρίσκονται γύρω από τον Δήμο Ηρακλείου π.χ. Αρχάνες, Καστέλι, Αγ. Μύρωνας. Αυτό δείχνει, ότι με το πέρασμα των χρόνων έχει επηρεαστεί η ποιότητα της βλάστησης, είτε από την αύξηση της αστικοποίησης (που συνεπάγεται με περισσότερους ρύπους στην ατμόσφαιρα), είτε από την χρήση φυτοφαρμάκων με σκοπό την ταχύτερη ανάπτυξη των καλλιεργειών.

Νομός Λασιθίου

Στον νομό Λασιθίου, στην περιοχή Τζερμιάδο, όπου βρίσκεται και η πεδιάδα φαίνεται να υπάρχει μία έντονη μεταβολή περιμετρικά της πεδιάδας. Αυτό μπορεί να συμβαίνει γιατί την τελευταία περίοδο έχει γίνει μια προσπάθεια ανάπτυξης του αγροτουρισμού σε αυτήν την περιοχή, που σημαίνει ότι πιθανόν να έχει

συμβεί κάποια ρύπανση του εδάφους από τα καταλύματα, αλλά ταυτόχρονα έχουν δημιουργηθεί και οικολογικά πάρκα, στα οποία γίνεται φύτευση δέντρων και υπάρχει ενδιαφέρον για την συντήρηση και την φροντίδα τους, με αποτέλεσμα και η υγεία τους να έχει αυξηθεί. Γύρω από την πεδιάδα δεν παρατηρούνται αλλαγές γιατί εκεί βρίσκεται το όρος Δίκη , επίσης και κατά μήκος του νομού δεν παρατηρούνται έντονες αλλαγές, εκεί βρίσκεται και το Ορνό Όρος, τα οποία και θεωρούνται γυμνά εδάφη.

8.4 Ο ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ SQRT IR/R

Η μείωση που φαίνεται να υπάρχει σε όλους τους νομούς μπορεί να οφείλεται στην αλλαγή της ατμόσφαιρας. Υπάρχει περίπτωση από το 1987 μέχρι το 2000 να έχει αυξηθεί η ποσότητα καυσίμων που καταναλώνεται, είτε από την έντονη αστικοποίηση το οποίο συνεπάγεται με μεγαλύτερη ανάγκη για μεταφορά, άρα περισσότερα αμάξια, είτε από την δημιουργία όλο και περισσότερων βιομηχανιών, που έχουν σαν αντίκτυπο, να ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα με οργανισμούς , επιβλαβείς για τον άνθρωπο αλλά και για το περιβάλλον.

Λόγω του υδρολογικού κύκλου, αυτά τα σωματίδια αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, έπειτα υγροποιούνται για να καταλήξουν στο τέλος στην επιφάνεια της γης, μέσω των σταγονιδίων του νερού. Είναι λογικό λοιπόν, ότι με το πέρασμα των ετών, η καθίζηση αυτών των οργανισμών στο έδαφος θα έχει και την ανάλογη επίπτωση στην υγεία της βλάστησης.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την υγεία της βλάστησης, είναι η συχνότητα των βροχών. Αν από το 1987 έως το 2000 οι βροχοπτώσεις ήταν μειωμένες, τότε είναι φυσικό επακόλουθο, η ανάπτυξη της βλάστησης να είναι μειωμένη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΒΙΒΛΙΟΥ

- ❖ Φωτοερμηνεία Τηλεπισκόπηση - Γιώργος Χαρ. Μηλιαρέσης, Εκδόσεις Ίων, 2006
- ❖ Αργιαλάς Δημήτρης, Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση, τμήμα Αγρονόμων- Τοπογράφων ΕΜΠ 2000
- ❖ Lillesand and Kiefer 1994, *Remote Sensing and Image Interpretation*, p. 322 - 345.
- ❖ Sabins 1997-1999
- ❖ Gupta 1991
- ❖ STERN 2001

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ONLINE

- ❖ www.wikipedia.com
- ❖ <http://el.wikipedia.org/thlepiskophsh>
- ❖ www.geosystems-hellas.gr
- ❖ www.neo.gr/website/ergasiamathiti/75.htm
- ❖ [Kontoss_remotesensing.pdf](#)
- ❖ <http://lyk-vatheos.eyv.sch.gr/Ergasies/2006-2007/Tep/Doryforoi.htm>