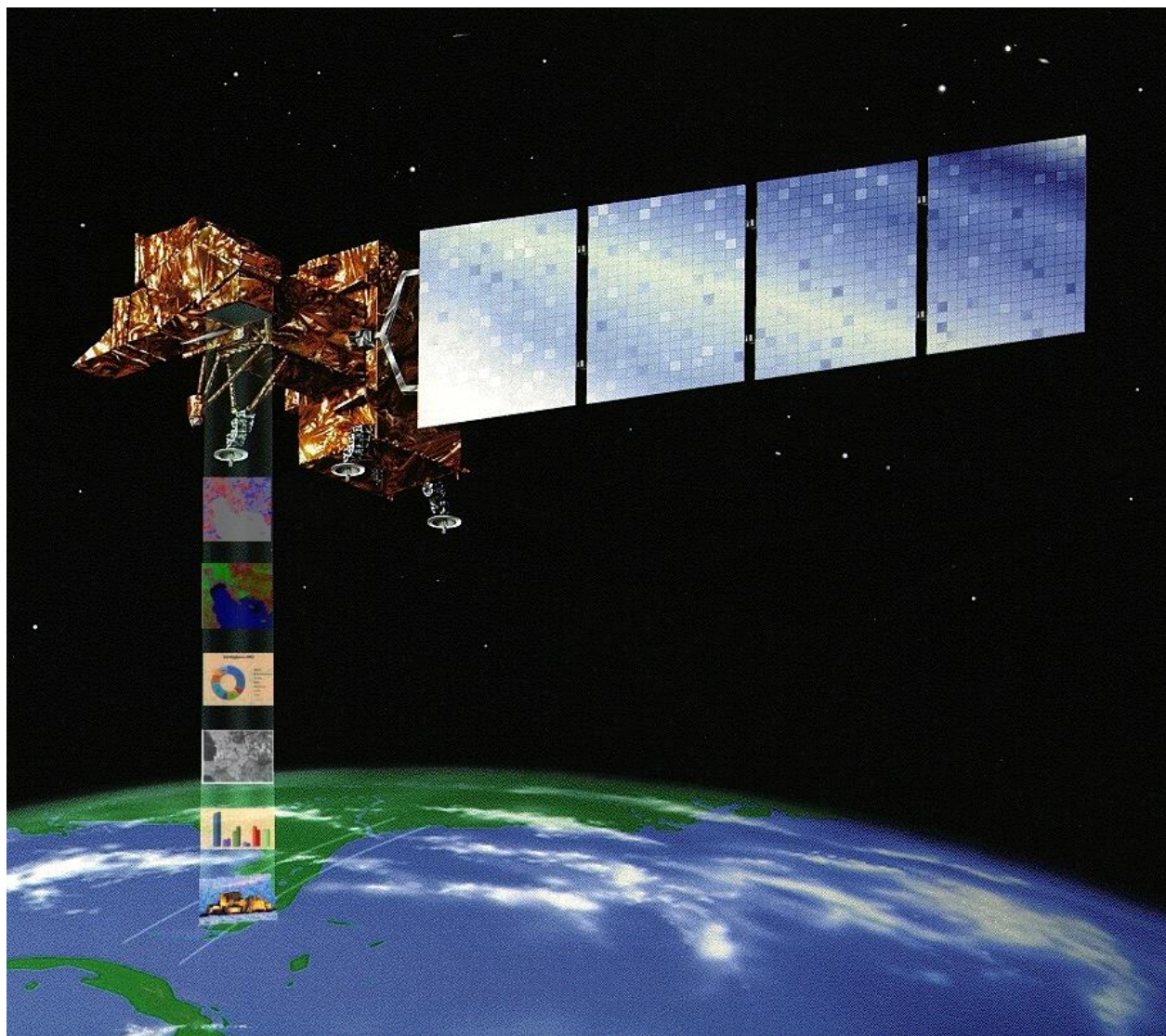




**«Διαχρονική χαρτογράφηση χρήσεων/κάλυψης γης της περιοχής Ναυπλίου
Αργολίδας με χρήση πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων»**

Επιτροπή : καθ. Σπυρίδων Βάλμης
καθ Βασιλική Κόλλια-Κουσουρή
καθ Διονύσιος Καλύβας

Εισηγητής : Δημήτριος Γιαννόπουλος
Γεωπόνος Γ.Π.Α.

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΙΕΡΑ ΟΔΟΣ 75, ΑΘΗΝΑ , 11255



© 2010

**«Διαχρονική χαρτογράφηση χρήσεων/κάλυψης γης της περιοχής Ναυπλίου
Αργολίδας με χρήση πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων»**

Ευχαριστίες:

Πριν ξεκινήσει η μελέτη και ανάγνωση της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα μέσα από καρδιάς να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, προς όλους εκείνους που συνέβαλλαν στην διεκπεραίωση του στόχου και της συγγραφής της μελέτης αυτής.

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον **επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου, κ. Σπυρίδων Βάλμη**, για την ανάθεση του θέματος, την καθοδήγηση και την εποπτεία σε κάθε φάση της εργασίας. Το αποτέλεσμα της συγγραφής απέδειξε μια άψογη συνεργασία και μια επιτυχημένη καθοδήγηση εκ μέρους του επιβλέποντα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη συνεπιβλέποντα **καθηγήτρια, κα Βασιλική Κόλλια-Κουσουρή** και τον συνεπιβλέποντα **καθηγητή, κ. Διονύσιο Καλύβα**, για τις γνώσεις που μου προσέφεραν προκειμένου να προσεγγίσω επιστημονικά το θέμα της διπλωματικής, μέσα από τη συνεχή διδασκαλία και εξάσκηση, μαζί με τη βιβλιογραφική υποστήριξη.

Ακόμη, θα ήθελα πραγματικά να ευχαριστήσω τον **Δρ. Γεώργιο Πετρόπουλο** για την πολύτιμη βοήθειά και καθοδήγηση, καθώς και για τη μετάδοση των γνώσεών του πάνω στη χρήση του λογισμικού πακέτου ENVI ITTS. Η εμπειρία του και η κατάρτισή του ήταν για μένα σημαντική.

Ταυτόχρονα, θα ήθελα να μεταδώσω ένα μεγάλο ευχαριστώ, στον **Δρ. Νικόλαο Σπυρόπουλο**, για την καθοδήγηση και μετάδοση των γνώσεών του πάνω σε θέματα αλγορίθμων ταξινόμησης χρήσεων και εξαγωγής χαρτών αλλαγών χρήσεων γης. Οι γνώσεις του και η εμπειρία του ήταν ξεχωριστή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον **κ. Νικόλαο Μανίκα**, υπεύθυνο τμήματος πληροφορικής, Βιβλιοθήκης Γ.Π.Α. , για τις υπηρεσίες πρόσβασης σε επιστημονικές πύλες και τους τεχνολογικούς πόρους που μου προσέφερε υποστηρικτικά στην διαδικασία της εξέλιξης της διπλωματικής αυτής μελέτης.

Με εκτίμηση,

Δημήτριος Γιαννόπουλος

© 2010

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	7
1.1	Περίληψη	7
1.2	Abstract.....	8
1.3	Παρουσίαση Περιοχής μελέτης	9
1.4	Στατιστικά δεδομένα της περιοχής μελέτης.....	10
2	Βιβλιογραφικές αναφορές – Θεωρητικό υπόβαθρο μελέτης.....	13
2.1	Τοπογραφία – Τηλεπισκόπηση	13
2.2	Ιστορική αναδρομή.....	14
2.3	Εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης & Ψηφιακής ανάλυσης.....	15
2.4	Τροχιά κίνησης γης – δορυφόροι.....	16
2.5	Τροχιές δορυφόρων τηλεπισκόπησης LANDAST	18
2.6	Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	20
2.6.1	Θεμελιώδεις ορισμοί – Βασικές έννοιες.....	20
2.6.2	Παράγοντες επίδρασης της ποιότητας του φάσματος.....	22
2.6.3	Μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σχετικές με την Τηλεπισκόπηση	23
2.6.4	Θερμικό υπέρυθρο φάσμα	24
2.7	Ανάλυση δεδομένων σε διάφορες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.....	26
2.7.1	Δεδομένα στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο	26
2.7.2	Δεδομένα στο θερμικό υπέρυθρο φάσμα	27
2.7.3	Δεδομένα στην περιοχή των μικροκυμάτων.....	29
2.8	Μελέτη χαρακτηριστικών ακτινοβολίας διαφόρων βιοφυσικών χαρακτηριστικών	30
2.8.1	Χαρακτηριστικά ακτινοβολίας των διαφόρων βιοφυσικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης	30
2.8.2	Βιοφυσικά ή άλλα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ακτινοβολία	30
2.8.3	Άμεσα παρατηρούμενες ιδιότητες υπαίθρου.....	30
2.9	Χαρακτηριστικές ιδιότητες των εικόνων	32
2.10	Ψηφιακή ανάλυση εικόνας.....	36
2.10.1	Γενικά	36
2.10.2	Δορυφορικοί απεικονιστές και τρόποι λήψης των δεδομένων εδάφους.....	36
2.10.3	Προεπεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων	41
3	Ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων.....	48
3.1	Επιλογή και κριτήρια δορυφορικών δεδομένων	48
3.2	Επιλογή κατάλληλων καναλιών (Bands) προς χρήση.....	49

3.3	Γεωμετρική διόρθωση και γεωαναφορά δορυφορικών εικόνων.....	52
3.4	Ψηφιακή διόρθωση λαμπρότητας δορυφορικής εικόνας	53
3.5	Κοπή δορυφορικών εικόνων στην περιοχή ενδιαφέροντος.....	55
3.6	Ανακεφαλαίωση – Σύνοψη Γεωμετρικών επεξεργασιών δορυφορικών εικόνων LANDSAT TM+	57
4	Στατιστική επεξεργασία διαχρονικής χαρτογράφησης αλλαγών χρήσεων γης δορυφορικών εικόνων (classification)	58
4.1	Μεθοδολογία	58
4.2	Εφαρμογή μη εποπτευόμενης ταξινόμησης χρήσεων γης στην περιοχή Ναυπλίου	59
4.3	Ορισμός μεθόδου – κλάσεων ταξινόμησης για την εφαρμογή εποπτευόμενης ταξινόμησης (Supervised Classification).....	65
4.4	Εφαρμογή εποπτευόμενης ταξινόμησης και εκπαίδευση αλγόριθμου συστήματος.....	66
4.5	Αποτελέσματα εφαρμογής εποπτευόμενης ταξινόμησης	70
4.5.1	LANDSAT TM -Σεπτέμβριος 2003.....	71
4.5.2	LANDSAT TM ΙΟΥΛΙΟΣ 2009.....	72
4.5.3	Αντιπαραβολική προβολή LANDSAT TMs	73
4.5.4	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ / ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ “MAXIMUM LIKELIHOOD” Σεπτεμβρίου 2003.....	74
4.5.5	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ / ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ “MAXIMUM LIKELIHOOD” Ιουλίου 2009.....	75
4.5.6	Συγκριτικό διάγραμμα διαχρονικών αλλαγών χρήσεων γης περιοχής Ναυπλίου Αργολίδος	76
4.5.7	Συγκριτικά διαγράμματα χρήσεων γης ανά εποχή λήψης εικόνας LANDSAT TM	77
4.5.8	Συγκεντρωτικός αναλυτικός πίνακας αποτελεσμάτων διαχρονικών αλλαγών περιοχής Ναυπλίου.....	78
5	Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	79
5.1	Συζήτηση αποτελεσμάτων για την περιοχή μελέτης	79
5.2	Συζήτηση αποτελεσμάτων με βάση την εφαρμογή της μεθόδου.	79
5.3	Συζήτηση αποτελεσμάτων μέσα από τη διαδικασία ποιοτικής σύγκρισης ISODATA-Maximum Likelihood	80
6	Συμπεράσματα Μελέτης	81
7	Παραρτήματα	82
7.1	Envi ITTS Unsupervised classification manual.....	82
7.2	Envi ITTS Supervised classification Manual.....	83
7.3	CLC 2000 (Corine Land Cover 200) map.....	84
8	Βιβλιογραφικές αναφορές	85

All rights reserved. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος .Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

e-mail : dgian@aua.gr

1 Εισαγωγή

1.1 Περίληψη

Στην εργασία αυτή, θα ληφθεί μια συγκεκριμένη περιοχή στο νομό Αργολίδος και συγκεκριμένα στην πόλη του Ναυπλίου στην οποία, με την βοήθεια δορυφορικών εικόνων θα μελετηθεί και θα χαρτογραφηθεί η διαχρονική αλλαγή χρήσεων και κάλυψης γης. Προσεγγίζοντας το θεωρητικό υπόβαθρο της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης και της ανάλυσης των δορυφορικών εικόνων, θα εκτιμηθούν οι αλλαγές που έχουν πραγματοποιηθεί στην εν λόγω περιοχή όσο αφορά την κάλυψη/χρήση της γης, με το χρόνο, με σημεία αναφοράς 2 χρονολογικά διαφορετικές δορυφορικές εικόνες. Η παλαιότερη έχει ληφθεί το έτος 2003, και η πιο πρόσφατη, το έτος 2009. Οι δορυφορικές εικόνες είναι τύπου LANDSAT TM και διανέμονται από την ηλεκτρονική βάση δεδομένων LANDSAT.ORG με ελεύθερη άδεια χρήσης.

Θα χρησιμοποιηθούν οι πολυφασματικές ιδιότητες του τύπου αυτού των δορυφορικών εικόνων και από τις χρωματικές αποχρώσεις (φάσμα εκπομπής) των εικόνων αυτών θα δημιουργηθούν κατηγορίες τιμών φασμάτων οι οποίες θα αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες καλλιέργειες και χρήσεις γης. Με τη μέθοδο αυτή, θα δημιουργηθεί ένα μοντέλο το οποίο από μία δορυφορική εικόνα τύπου LANDSAT TM, θα ξεχωρίζει τους τύπους καλλιέργειας και χρήσεων γης. Έτσι, θα αναλυθούν οι 2 διαχρονικές δορυφορικές εικόνες της περιοχής έρευνας της μελέτης αυτής και θα συνταχθεί ο χάρτης αλλαγών χρήσεων/κάλυψης γης.

Για τη δημιουργία του μοντέλου αυτού θα χρησιμοποιηθούν ορισμένα γνωστά-σταθερά σημεία στη περιοχή από τα οποία με επιτόπια παρατήρηση θα ταυτοποιηθεί το είδος χρήσης γης σε συνάρτηση με το φάσμα εκπομπής της. Παράλληλα, με τη βοήθεια του προγράμματος επεξεργασίας και ανάλυσης δορυφορικών εικόνων ENVI θα γίνει επεξεργασία με προσθήκη φίλτρων στις δορυφορικές εικόνες ώστε να ελαχιστοποιηθούν τυχόν σφάλματα από ατμοσφαιρικές επιδράσεις κατά τη λήψη των δορυφορικών εικόνων. Προς επαλήθευση της ορθότητας του μοντέλου, θα επιλεγούν τυχαία σημεία από την πιο πρόσφατη δορυφορική εικόνα και θα επαληθευτούν με επιτόπια φωτογράφιση.

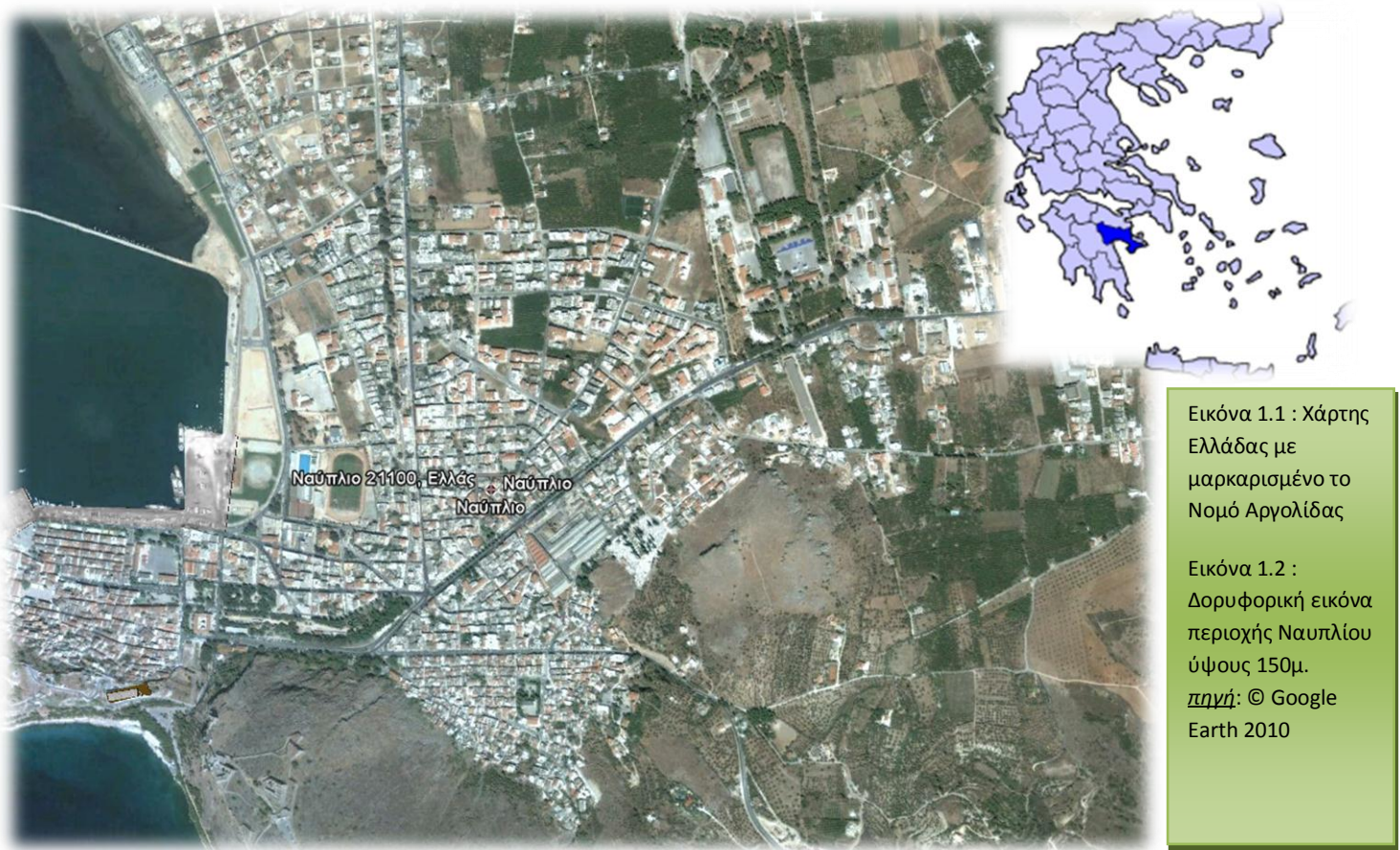
Μετά το πέρας της μελέτης αυτής, θα έχει συνταχθεί ένας ολοκληρωμένος χάρτης αλλαγών χρήσεων/κάλυψης γης της περιοχής του Ναυπλίου Αργολίδος από το 2003 έως και το 2009. Επιπρόσθετα θα έχει δημιουργηθεί ένα αξιόπιστο μοντέλο επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων τύπου LANDSAT TM το οποίο θα έχει την δυνατότητα να εισάγει ο χρήστης μια δορυφορική εικόνα και να εξάγεται η χρήση/κάλυψη γης.

1.2 Abstract

In this work, will be taken a particular region in the prefecture Argolida and concretely in the city of Nauplio in which, with the help of satellite pictures will be studied and will be been charted the diachronic change of uses and cover of ground. Approaching the theoretical background of [Telepiskopisis]science and analysis of satellite pictures, will be appreciated the changes that have been realized in this quested region as it concerns the cover/use of ground by the time, with points of report 2 chronologically different satellite pictures. Oldest has been taken in the year 2003, and most recent, in the year 2009. All satellite pictures are type LANDSAT TM and are distributed by the electronic base of data LANDSAT.ORG in free authorization of use. Will be also used the [multispectral] attributes of this type satellites pictures from the chromatic nuances (emission spectrum) of this pictures and will be created spectrum prices categories that will correspond in concrete cultures and ground uses. With this method, will be created a model which from a satellite picture type LANDSAT TM, will distinguish the culture method and ground uses. So, will be analyzed the 3 diachronic satellite pictures of this researched region and he's study, so will be drawn up the map of uses changes of/cover in this ground area. For the creation of this model will be used certain known points of this region from which after a local observation will be identified the type of ground use in agreement with her spectrum of emission. At the same time, using the help of program of treatment and analysis of satellite pictures ENVI will become treatment by addition of filters in the satellite pictures so that are minimized by any chance faults from atmospheric effects in the satellite reception pictures. To verify the correctness of this model, will be selected accidental points from the most recent satellite picture and will be verified by photographing on the spot. After the completion of this study, will have been drawn up a completed map of uses changes of/cover of ground in this region of Nauplio, Argolida from 2003 up to today. In addition will have been created a reliable model of satellite pictures treatment type LANDSAT TM which will have the possibility to import any user a satellite picture and will be exported automatically the use/cover of this area ground.

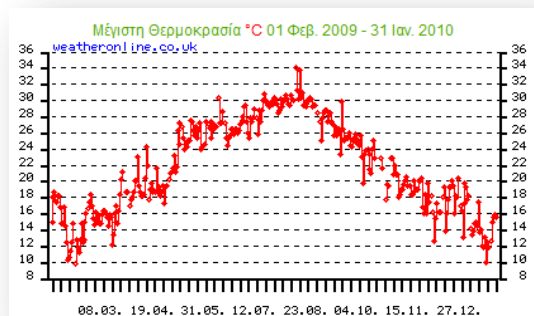
1.3 Παρουσίαση Περιοχής μελέτης

Η περιοχή που μελετάται σε αυτή την εργασία βρίσκεται στην Πελοπόννησο, στο νομό Αργολίδος, στην πόλη του Ναυπλίου. Η γεωγραφική της θέση είναι **37°34'Β , 22°48'Ε**.



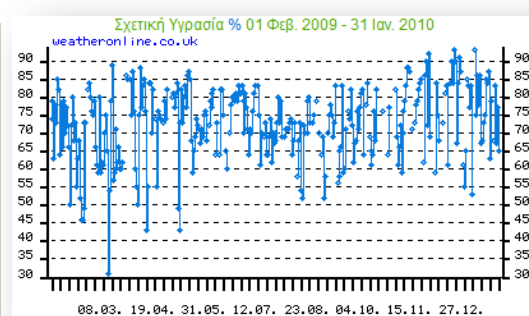
Η Αργολίδα είναι νομός της Ανατολικής Πελοποννήσου και βρέχεται στα νότια από τον Αργολικό Κόλπο και στα ανατολικά από τον Σαρωνικό κόλπο. Συνορεύει στα βόρεια με το νομό Κορινθίας και στα δυτικά και νότια με το νομό Αρκαδίας. Πρωτεύουσα του νομού είναι το Ναύπλιο. Πρωτεύουσα του νομού είναι το Ναύπλιο. Γεωγραφικά αποτελείται από 14 Δήμους και 2 Κοινότητες και καταλαμβάνει συνολική έκταση 2.214 km². Δημογραφικά, με βάση την απογραφή έτους 2001, ο αριθμός των μόνιμων κατοίκων καταμετρήθηκε στους 105.770 .

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ήπιο, μεσογειακό και αρκετά υγρό. Σε ετήσια κλίμακα παρουσιάζονται τα παρακάτω γραφήματα μετεωρολογικών συνθηκών για το 2009 :



Εικόνα 1.3 :
Γράφημα ετήσιων
Μέγιστων
Θερμοκρασιών

Εικόνα 1.4 :
Γράφημα ετήσιας
σχετικής υγρασίας



Από τα ανωτέρω γραφήματα διαπιστώνεται πως στην μελετώμενη περιοχή, σε ετήσια βάση, η μέγιστη θερμοκρασία δεν ξεπερνά τους 32°C και η ελάχιστη δεν πέφτει κάτω από τους 8°C . Επίσης η σχετική υγρασία κυμαίνεται σε ετήσια βάση σε υψηλά επίπεδα, μεταξύ 65-80 %. Τα χαρακτηριστικά του κλίματος, το καταστούν αρκετά καλό για καλλιέργεια εσπεριδοειδών και ελαιόδεντρων. Η γεωγραφική θέση όμως της υπό μελέτης περιοχής, η οποία απέχει λίγες μόνο ώρες από την πρωτεύουσα, βρέχεται από ήπιες και αμμώδεις παραλίες, ενώ συνδυάζει και μια ενδιαφέρουσα ιστορική πόλη με λιμάνι, την καταστούν μια αρκετά καλή τοποθεσία για ανάπτυξη τουριστικών επιχειρήσεων και διαμονής.

1.4 Στατιστικά δεδομένα της περιοχής μελέτης

Η μορφολογία και τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, ευνοούν την ανάπτυξη αρκετών επαγγελματιών, τα οποία μπορεί να έχουν εντελώς διαφορετική χρήση γης. Μελετώντας τα επίσημα στατιστικά δεδομένα των καλλιεργειών της περιοχής, για τα έτη 1986 έως 1998, από την Εθνική Στατιστική υπηρεσία, για την περιοχή του νομού Αργολίδος Πελοποννήσου, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας :

έτος	Σύνολο Καλλιεργειών & αγρανάπαυσης Πελοποννήσου (στρ)	Σύνολο Καλλιεργειών & Αγρανάπαυσης Νομού Αργολίδος (στρ)	Αροτραίες Καλλιέργειες (στρ)	Κηπευτική Γη (στρ)	Αμπελώνες (στρ)	Δενδρώδεις (στρ)
1986	7.087.138	683.397	199.763	28.900	9.444	318.207
1991	7.035.072	718.816	200.821	33.605	8.322	394.458
1994	6.833.420	171.014	194.786	37.756	7.873	393.488
1998	6.752.883	720.314	198.299	41.102	7.954	403.672

Πίνακας 1.1 : Στατιστικά δεδομένα καλλιεργειών ανά έτος και ανά κατηγορία περιοχής Ναυπλίου Αργολίδας

Από τον παραπάνω πίνακα διακρίνεται ότι με την πάροδο των χρόνων, η μείωση των καλλιεργούμενων γαιών στην ευρύτερη Πελοπόννησο δεν επηρέασε το νομό Αργολίδος και αντιθέτως, εμφανίζεται μια μικρή αύξηση. Επίσης ο κύριος όγκος των αγροτικών εκμεταλλεύσεων είναι οι δενδρώδεις καλλιέργειες, έπειτα ένα αρκετό ποσοστό είναι οι αροτραίες καλλιέργειες και μετά, λιγότερο τα κηπευτικά και ελάχιστα αμπέλια. Επίσης παρατηρείτε μια μικρή εναλλαγή των αροτραίων καλλιεργειών (που συνοδεύεται από μείωση) σε δενδρώδεις (παρατηρείται αύξηση) , με την πάροδο των χρόνων. Τέλος να σημειωθεί ότι το ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ & ΤΡΟΦΙΜΩΝ από τις 15 Μαρτίου 2006 για την περιοχή του Ναυπλίου έλαβε μέτρα για την ενίσχυση της καλλιέργειας στο νομό, με το πρόγραμμα «Καθορισμός προωθούμενων ειδών, ποικιλιών δενδροκηπευτικών καλλιεργειών και λοιπών δραστηριοτήτων για τα έτη 2006-2007».

2 Βιβλιογραφικές αναφορές – Θεωρητικό υπόβαθρο μελέτης

2.1 Τοπογραφία – Τηλεπισκόπηση

Τοπογραφία είναι η επιστήμη, που διδάσκει μεθόδους και με τη βοήθεια κατάλληλων τοπογραφικών οργάνων, εξυπηρετεί δύο στόχους. Πρώτος, τη συλλογή των απαραίτητων στοιχείων, ώστε με ακρίβεια και υπό κατάλληλη κλίμακα, να απεικονισθεί τμήμα της επιφάνειας της Γης, επί χάρτου και δεύτερος τη μεταφορά στοιχείων-μελετών στο έδαφος για εφαρμογή ή κατασκευή παντός τεχνικού έργου.

Η Τοπογραφία συμβάλλει θετικά στην επίλυση μεγάλου αριθμού προβλημάτων προσφέροντας πολύτιμες υπηρεσίες σε διάφορους κλάδους, το δε σχέδιο το οποίο προκύπτει έχει άμεση ή έμμεση χρήση. Γενικά υποβοηθά στη μελέτη και κατασκευή τεχνικών έργων (οδοποιίας, λιμενικών, εγγειοβελτιωτικών, δικτύων ύδρευσης αποχέτευσης, σιδηροδρομικών γραμμών, αεροδρομίων κλπ), σύνταξη κτηματολογίου, αναδασμού γης, τακτοποίηση οικοπέδων, στρατιωτικούς σκοπούς, αρχαιολογία, τουρισμό, πολεοδομικά θέματα και άλλους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. (Νίκου Ν., 1999).

Η λέξη **Τηλεπισκόπηση** συντίθεται από το αρχαίο επίρρημα "τήλε" (από μακριά), ως το πρώτο συνθετικό της, και το ρήμα "επισκοπέω -ώ", που σημαίνει εξετάζω, βλέπω από ψηλά, επιθεωρώ. Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing), επομένως, σημαίνει αντίληψη αντικειμένων ή φαινομένων από απόσταση. Ορίζεται ως η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από έναν στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς στην πραγματικότητα να έρθουμε σε απευθείας επαφή με αυτόν. (Μέρτικας Π., 2006)

Η Τηλεπισκόπηση αποτελείται από τρία τμήματα: α) τους στόχους που συνιστούν τα υπό μελέτη αντικείμενα ή τα φαινόμενα μιας περιοχής, β) τη συλλογή δεδομένων, μέσω ορισμένων οργάνων και γ) την ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων, πάλι μέσω ειδικών οργάνων. Ο ορισμός της Τηλεπισκόπησης είναι τόσο ευρύς που μπορεί να περιλαμβάνει την ανθρώπινη όραση και την ακοή, τις ακτίνες Χ των ιατρικών επιστημών, την έρευνα με laser για την παρατήρηση σωματιδίων της ατμόσφαιρας, κ.ά. Παραδείγματα μετρήσεων Τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν τη συμβατική φωτογραφία, την αεροφωτογραφία, τη λήψη εικόνων με Radar, τις μετρήσεις βαρύτητας κλπ. Στην πράξη όμως, οι μελέτες Τηλεπισκόπησης περιορίζονται μόνο σε συστήματα απεικονίσεων ή εικόνων, όπως αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, και όχι σε συστήματα της απευθείας μέτρησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως τα βαρυτόμετρα, τα μαγνητόμετρα, ή οι συσκευές μέτρησης ηλεκτρισμού. Επίσης ο στόχος ή το αντικείμενο μελέτης της Τηλεπισκόπησης μπορεί να είναι είτε πολύ μεγάλο, όπως η Γη, ή η Σελήνη και οι άλλοι πλανήτες, είτε πολύ μικρό, όπως τα βιολογικά κύτταρα, που ερευνούνται με μικροσκοπία στην ιατρική και στη βιολογία. Κύριος σκοπός της Τηλεπισκόπησης εδώ είναι η μέτρηση και η απεικόνιση της επιφάνειας της γης, η κατανομή των διαφόρων αντικειμένων και φαινομένων στον χώρο, καθώς και ο καθορισμός της θέσης και των ιδιοτήτων τους. (Μέρτικας Π., 2006).

2.2 Ιστορική αναδρομή

Μερικές από τις ιστορικές χρονολογίες της Τηλεπισκόπησης είναι επιγραμματικά οι ακόλουθες :

- ⊕ 1826 , ανακάλυψη της φωτογραφίας και έναρξη της Τηλεπισκόπησης.
- ⊕ 1939, Ανάπτυξη της τεχνολογίας υπέρυθρης (IR) φωτογραφίας
- ⊕ 1972, Εκτοξεύεται ο πρώτος δορυφόρος τύπου LANDSAT-1 με κύριο έργο την παρατήρηση της επιφανείας της γης.
- ⊕ 1982, Εκτοξεύεται ο δεύτερης γενιάς Δορυφόρος τύπου LANDSAT-2, εξελιγμένος με θεματικό χαρτογράφο TM (Thematic Mapper)
- ⊕ 1986, Εκτοξεύεται ο γαλλικής κατασκευής δορυφόρος τύπου SPOT-1
- ⊕ 1986, Αναπτύσσονται τα εικονοληπτικά φασματόμετρα τα οποία προσδίδουν πλέον στις δορυφορικές εικόνες περισσότερα κανάλια (bands) απεικόνισης.
- ⊕ 1990, Δημιουργείται το EOS (Earth Observing Systems) , διεθνές σύστημα της NASA το οποίο χρησιμοποιεί μια σειρά από τεχνολογικά μέσα και δορυφόρους τα οποία είναι δικτυωμένα και έχουν σαν έργο την πολύπλευρη παρατήρηση της επιφανείας της γης. Κάθε ένα όργανο ειδικεύεται σε μια συγκεκριμένη παρατήρηση και όλα μέσω του εσωτερικού δικτύου συνθέτουν μια ενιαία δορυφορική εικόνα. (Μέρτικας Π.,2006).

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, δόθηκε μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη και εκτόξευση



Πίνακας 2.1 : Μακέτα συστήματος EOS της NASA.

πηγή : <http://nasa.org>

συστημάτων εικονοληπτικών ραντάρ. Η χρήση των δορυφορικών στοιχείων έχει επιφέρει ουσιαστικές μεταβολές στη μεθοδολογία ανάλυσης των αεροφωτογραφιών. Τα συστήματα SPOT και LANDSAT , κατάφεραν η πληροφορία να βασίζεται όλο και λιγότερο στην θεματική πληροφορία, στο σχήμα και στο μέγεθος των αντικειμένων και να εξαρτάται περισσότερο από τη φασματική μεταβολή του χαρακτηριστικού αντικειμένου στην επιφάνεια της γης. Η οπτική ερμηνεία παραμερίζεται και πλέον η αυτόματη μηχανική ανάλυση μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει κυριαρχήσει. (Νίκου Ν., 1999).

2.3 Εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης & Ψηφιακής ανάλυσης

Ας αναφερθούμε σε μερικές χαρακτηριστικές εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης στις γεωεπιστήμες :

- Ωκεανοί , μετρήσεις θερμοκρασίας σε θαλάσσια επιφάνεια – χαρτογράφηση θαλάσσιου πυθμένα
- Οικολογία, παρατήρηση και εποπτεία θαλάσσιων πετρελαιοκηλίδων, ρύπανση ατμοσφαιρικού αέρα σε μεγάλες πόλεις, απόβλητα βιομηχανιών, μόλυνση των επιφανειακών υδάτων.
- Ανίχνευση ορυκτών πόρων, γεωλογική χαρτογράφηση, ανίχνευση κοιτασμάτων, υδρογονανθράκων.
- Τεκτονική πλακών, εξαγωγή προβλέψεων για την ποσότητα, το είδος και τη θέση νέων ορυκτών πλούτων.
- Μελέτη βλάστησης, ένας από τους στόχους της Τηλεπισκόπησης είναι η μελέτη των βιολογικών υλικών (βλάστησης), όπως η παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς της βλάστησης, μέσω του κύκλου
- Νομικά θέματα, αποτυπώσεις και χαρτογράφηση της επιφάνειας της γης απαιτούν τον προσδιορισμό της θέσης μερικών φυσικών υλικών σημείων πάνω στο έδαφος. Σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις, τα συστήματα τηλεπισκόπησης μπορούν να βοηθήσουν στη νομική διαδικασία, καθώς δορυφορικά δεδομένα χρησιμοποιούνται στον καθορισμό μεταβολών των ορίων ιδιοκτησιών και μπορούν να ληφθούν ως αποδεικτικά στοιχεία διεκδίκησης ιδιοκτησίας. Συστήματα όπως οι πολυφασματικοί σαρωτές MSS (Multispectral Scanner) και ο θεματικός χαρτογράφος TM (ή ο ETM+) του LANDSAT είναι κατάλληλα για εργασίες που αφορούν στον καθορισμό παράκτιων ορίων. Επίσης έχουν την ικανότητα παρατήρησης των διαχρονικών αλλαγών στα όρια αυτά.
- Εντοπισμός, τα συστήματα Τηλεπισκόπησης έχουν σχεδιαστεί για υψηλής ακρίβειας εντοπισμούς σε μεγάλες κλίμακες. Η ακρίβεια αυτή είναι συνάρτηση της διαχωριστικής ικανότητας του συστήματος λήψης. Ως **διαχωριστική ικανότητα** ή αλλιώς **χωρική ανάλυση** (spatial resolution) ορίζεται η μικρότερη επιφάνεια πάνω στη γη όπου το σύστημα έχει την ικανότητα να απεικονίσει.
- Πληροφορική των Γεωεπιστιμών, που αποτελεί τη συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία και απεικόνιση όλων των πληροφοριών που αφορούν τη γη.
- Διαχείριση της γης, περιλαμβάνει το σχεδιασμό και την υλοποίηση της ανάπτυξης που σχετίζεται με τη γη (land development). Μελέτες χρήσεων γης, μελέτες σκοπιμότητας, σχεδιασμός περιοχών για περιβαλλοντικές επιδράσεις συνιστούν μερικά από τα αντικείμενα της διαχείρισης γης. Μπορεί οι μελέτες αυτές να αρχίζουν από διαφορετικές επιστήμες όμως η χρήση της Τηλεπισκόπησης για τη συλλογή δεδομένων είναι η κατεξοχήν διαπιστευμένη μέθοδος άντλησης δεδομένων. (Μέρτικας Π.,2006)

2.4 Τροχιά κίνησης γης – δορυφόροι

Η περίοδος περιστροφής της γης περί τον άξονα της είναι 23 ώρες, 56 λεπτά και 4.09 δευτερόλεπτα (μία αστρική ημέρα). Έτσι παρατηρώντας από την γη τα ουράνια σώματα, η κύρια φαινόμενη κίνησή τους είναι από τα ανατολικά προς τα δυτικά με μία ταχύτητα

$15^\circ/\text{ώρα} = 15'/\text{λεπτό}$, λ.χ. μία ηλιακή ή



Εικόνα 2.1 : Μακέτα ηλιακού συστήματος.

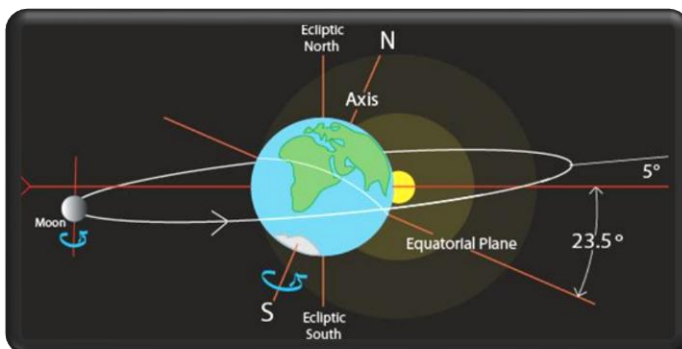
πηγή : <http://nasa.org>

σεληνιακή διάμετρο ανά δύο λεπτά. Η περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο διαρκεί 365,2564 μέσες ηλιακές ημέρες (ή ένα αστρικό έτος). Παρατηρώντας από τη Γη, είναι μία φαινόμενη κίνηση του Ήλιου ως προς τα αστέρια

περίπου $1^\circ/\text{ημέρα}$ ή μία ηλιακή ή

σεληνιακή διάμετρο κάθε 12 ώρες, σε αντίθετη διεύθυνση από την κύρια φαινόμενη κίνηση (λόγω περιστροφής).

Η Γη έχει έναν Φυσικό Δορυφόρο, την Σελήνη, η οποία περιφέρεται γύρω από την γη κάθε 27 1/3 ημέρες (αστρικός μήνας). Παρατηρώντας από την γη την κίνηση, φαίνεται να κινείται με



Εικόνα 2.2 : Μακέτα γης-σελήνης.

πηγή : <http://nasa.org>

$12^\circ/\text{ημέρα}$ (μία σεληνιακή διάμετρο την ώρα), σε αντίθετη διεύθυνση από την κύρια φαινόμενη κίνηση. Λόγω της συνδυασμένης περιφοράς γύρω από τον ήλιο, ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δύο ίδιων φάσεων της σελήνης (π.χ. από πανσέληνο σε πανσέληνο) διαρκεί περίπου 29,54 ημέρες περίοδος που ονομάζεται συνοδικός μήνας (χονδρικά 30 ημέρες ή έναν ημερολογιακό μήνα). Με σημείο

αναφοράς τον Βόρειο Πόλο της Γης, η κίνηση της Γης, της Σελήνης και της αξονικής περιστροφής, είναι όλες αντίθετα στην φορά των δεικτών του ρολογιού. Τα τροχιακά και αξονικά επίπεδα δεν είναι ακριβώς ευθυγραμμισμένα: Το τροχιακό επίπεδο Γης-Ηλίου ή αλλιώς Εκλειπτική ($23,5^\circ$ περίπου, η αιτία των εποχών) και το τροχιακό επίπεδο Γης-Σελήνης, σχηματίζουν γωνία, περίπου, 5° (αν ήταν απόλυτα ευθυγραμμισμένα, θα είχαμε μία έκλειψη Ηλίου ή Σελήνης κάθε μήνα). (Chris Sabol, 2001)

Γύρω από τη γη, σε συγκεκριμένες τροχιές κινούνται **δορυφόροι**. **Δορυφόρος**, Μη επανδρωμένο διαστημικό όχημα, που τίθεται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος μεταξύ 500

και 35.000 χιλιομέτρων από την επιφάνειά της, και εξοπλισμένο με κατάλληλα όργανα συλλέγει εικόνες και στοιχεία, τα οποία μεταδίδει σε επίγειους σταθμούς. Από το 1957, έτος εκτόξευσης του πρώτου δορυφόρου (Sputnik, ΕΣΣΔ), έως τα μέσα της δεκαετίας του 1990, έχουν εκτοξευτεί και τεθεί σε τροχιά χιλιάδες δορυφόροι, που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ερευνών και εφαρμογών, άλλοι πραγματοποιώντας επιστημονικές παρατηρήσεις και μετρήσεις (**επιστημονικοί δορυφόροι**) και άλλοι εξυπηρετώντας οικονομικούς και εμπορικούς σκοπούς (**δορυφόροι εφαρμογής**). Έτσι, μέσω δορυφόρων πραγματοποιούνται αστρονομικές παρατηρήσεις, μετρήσεις κοσμικής ακτινοβολίας, μετεωρολογικές προβλέψεις, γεωλογικές έρευνες, χαρτογράφηση ηπείρων και ωκεανών, περιβαλλοντολογικές έρευνες κ.λπ. και διεξάγονται οι τηλεπικοινωνίες, η ναυσιπλοΐα, η κατασκόπευση στρατηγικών στόχων κ.ά. Οι σημαντικότερες κατηγορίες των δορυφόρων



Εικόνα 2.3 : Μακέτα τροχιών τεχνητών δορυφόρων.
πηγή : <http://nasa.org>

είναι οι παρακάτω.

Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι, που διεκπεραιώνουν τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, αναμεταδίδουν τηλεοπτικά προγράμματα, δεδομένα κ.λπ. Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι τοποθετούνται γενικά σε γεωστατική τροχιά, δηλαδή σε απόσταση 36.000 χλμ. από τη Γη, στο επίπεδο του ισημερινού.

Οι δορυφόροι πλοήγησης, που αποτελούν τη βάση ενός συστήματος προσανατολισμού και καθορισμού πορείας, κυρίως για αεροπλάνα και πλοία. Το σύστημα αυτό, που είναι ταχύτερο και ακριβέστερο από τα άλλα συστήματα πλοήγησης, έχει εφαρμοστεί και για τον

προσανατολισμό και τον καθορισμό της πορείας αυτοκινήτων (επιβατικών και φορτηγών). Σε παγκόσμιο επίπεδο η πλοήγηση μέσω δορυφόρων διεξάγεται από τους δορυφόρους του Παγκοσμίου Συστήματος Εντοπισμού (Global Positioning System) των ΗΠΑ, που έχουν τη δυνατότητα να προσδιορίζουν τη θέση πλοίων και αεροπλάνων σε οποιοδήποτε σημείο της Γης όλο το 24ωρο. Οι δορυφόροι του συστήματος αυτού βρίσκονται σε τροχιά, σε απόσταση 20.200 χλμ. από τη Γη.

Οι **δορυφόροι γεωλογικών ερευνών**, που χρησιμοποιούνται τόσο για τον εντοπισμό ορυκτών κοιτασμάτων και την παρατήρηση γεωλογικών σχηματισμών όσο και για τη συλλογή σεισμολογικών δεδομένων. Εντοπίζουν τις μικρομετατοπίσεις των τμημάτων του φλοιού της γης. Τα στοιχεία που μεταδίδουν χρησιμοποιούνται για τη σαφή διάκριση κύριων και δευτερευουσών σεισμογενών ζωνών, ενώ θεωρείται ότι θα βοηθήσουν μελλοντικά στην πρόβλεψη των σεισμών.

Οι **επιστημονικοί και ερευνητικοί δορυφόροι** που ερευνούν τον περιγήινο διαστημικό χώρο.

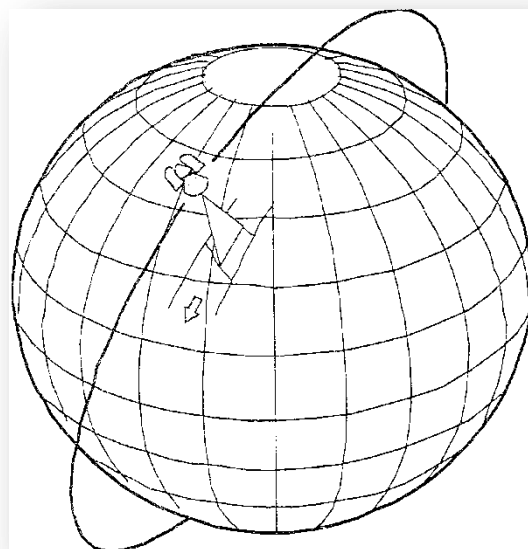
Οι **μετεωρολογικοί δορυφόροι**, που τοποθετούνται είτε σε γεωστατική τροχιά (36.000 χλμ. πάνω από τον ισημερινό) είτε σε πολική τροχιά, σε ύψος μεταξύ 700-1.200 χλμ. Οι δορυφόροι αυτοί παρέχουν εικόνες και στοιχεία σχετικά με τις παγκόσμιες και τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, παρακολουθώντας σχηματισμούς νεφών και μετρώντας τη θερμοκρασία και την εξάτμιση των υδάτων, και επιτρέπουν την έγκαιρη και όσο το δυνατόν ακριβέστερη πρόβλεψη του καιρού και την προειδοποίηση για απότομες καιρικές αλλαγές και φαινόμενα (τυφώνες κ.λπ.).

Οι **δορυφόροι περιβάλλοντος**. Δορυφόροι που μελετούν το χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον και καταγράφουν τα φαινόμενα και τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτό, καθώς και στην ατμόσφαιρα του πλανήτη. Οι περιβαλλοντικοί δορυφόροι συλλέγουν εικόνες και στοιχεία, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, την πρόγνωση μετεωρολογικών φαινομένων, την πρόληψη και τον εντοπισμό πυρκαγιών, την παρακολούθηση καλλιεργειών, την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, καθώς και για την έρευνα, με απώτερο στόχο τη βελτίωση της ζωής σε όλο τον πλανήτη. Τοποθετούνται συνήθως σε πολική τροχιά. (Chris Sabol, 2001)

2.5 Τροχιές δορυφόρων τηλεπισκόπησης LANDAST

Πολλοί δορυφόροι Τηλεπισκόπησης τοποθετούνται σε ηλιοσύγχρονες τροχιές που προσανατολίζονται έτσι ώστε το τροχιακό τους επίπεδο να διατηρεί σταθερή γωνία με την ηλιακή δέσμη. Ηλιοσύγχρονες τροχιές αναγκάζουν τον δορυφόρο να διασχίζει κάθε παράλληλο κύκλο της γης σε ίδιο τοπικό χρόνο περίπου, παρέχοντας κατά αυτόν τον τρόπο παρόμοιο εποχιακό φωτισμό και σκιές για εικόνες μιας δεδομένης περιοχής. Έτσι το δορυφορικό ίχνος πάνω στην επιφάνεια της γης μετατοπίζεται κατά 15° σε γεωγραφικό μήκος κάθε ώρα. Συνεπώς για έναν παρατηρητή πάνω στη γήινη επιφάνεια, ο δορυφόρος θα καλύπτει την περιοχή του την ίδια πάντα τοπική ώρα ελαχιστοποιώντας κατά αυτόν τον τρόπο τις μεταβολές στον ηλιακό φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σε δεδομένο

γεωγραφικό πλάτος ϕ , το ύψος του Ήλιου, πάνω από τον ορίζοντα και ο προσανατολισμός του (αζιμούθιο) θα είναι περίπου ίδια για παρόμοιες εποχές την ώρα των καταγραφών. Για δύο όμως εικόνες που λήφθηκαν σε διαφορετικά πλάτη, ή διαφορετικές εποχές, θα παρατηρηθούν διαφορές στο ύψος του Ήλιου εξαιτίας της φαινόμενης κίνησής του από εποχή σε εποχή. Δορυφόροι σε ηλιοσύγχρονες τροχιές καταγράφουν εικόνες και από τη φωτισμένη αλλά και από τη σκοτεινή πλευρά της γης. Οι δορυφόροι έχουν κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο την ημέρα και από Νότο προς Βορρά τη νύχτα. Οι δέκτες που η λειτουργία τους βασίζεται στην ανακλώμενη ηλιακή ενέργεια, λαμβάνουν δεδομένα μόνο κατά την κατιούσα τροχιά. Ενώ τα Radar και οι δέκτες θερμικής ακτινοβολίας λαμβάνουν δεδομένα ανεξάρτητα του ηλιακού φωτισμού και συνεπώς μπορούν να συλλέγουν δεδομένα και κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και κατά τη διάρκεια της νύχτας.



Εικόνα 2.3b : τροχιές τεχνητών δορυφόρων Τηλεπισκόπησης.
πηγή : <http://nasa.org>

Ο χρόνος διέλευσης των Landsat μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο του Landsat, αλλά οι περισσότερες τροχιές φέρουν τον δορυφόρο να διέρχεται πάνω από το. ισημερινό γύρω στις 9:30 π.μ. (τοπική ώρα) - μια ώρα που λογίζεται ως βέλτιστη από πλευράς ομοιομορφίας του ηλιακού φωτισμού και της νεφοκάλυψης, ώστε να λαμβάνονται υψηλής ποιότητας εικόνες. Θέσεις βόρεια του ισημερινού θα παρατηρούνται, φυσικά, λίγο νωρίτερα σε σχέση με τον χρόνο διέλευσης στον ισημερινό, ενώ θέσεις νότια του ισημερινού θα παρατηρούνται λίγο αργότερα. Τα χαρακτηριστικά στοιχεία των τροχιών των δορυφόρων Landsat παρουσιάζονται παρακάτω :

Σύστημα	Landsat 1,2,3	Landsat 4, 5, 7
Ύψος πτήσης	918 km	705 km
Τροχιές/ημέρα	14	14,5
Αριθμός τροχιών για ολική κάλυψη της γης	251	233
Πλευρική επικάλυψη στον ισημερινό	14%	7,6%
Διασχίζει σε $\phi = 400$ N γύρω στις	9:30 π.μ.	10:30 π.μ.
Λειτουργία	1972-1984	1982-σήμερα

(Μέρτικας Σ.,2006)

2.6 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

2.6.1 Θεμελιώδεις ορισμοί – Βασικές έννοιες

Το μέγιστο των φαινομένων και της δραστηριότητας που λαμβάνει χώρα στο περιβάλλον, δε γίνεται άμεσα αντιληπτό από τον άνθρωπο, γιατί το ανθρώπινο μάτι είναι ικανό να ευαισθητοποιηθεί μόνο σε ένα πολύ μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, από 350-700 nm. Ως **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα** θεωρούμε την ταξινόμηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, σύμφωνα με το μήκος κύματος ή σύμφωνα με τη συχνότητα ή σύμφωνα με την ενέργεια (Μέρτικας Π., 2006). Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται από μήκος κύματος 0,01 Angstrom (ακτίνες γ) μέχρι σχεδόν 3×10^6 μέτρα, που χαρακτηρίζει την υψηλή (VHF) και χαμηλή συχνότητα (LF) των ραδιοφωνικών κυμάτων. Συχνά είναι σκόπιμο να εξακριβωθούν και να αναγνωρισθούν φαινόμενα, καταστάσεις ή χρονικές μεταβολές που συμβαίνουν στα Βιοφυσικά στοιχεία της επιφάνειας της γης και οι οποίες είναι αδύνατο να γίνουν αντιληπτές από το ανθρώπινο μάτι. Στις περιπτώσεις αυτές η ανίχνευση και η αναγνώριση πρέπει να γίνεται από ειδικούς ανιχνευτές (sensors), οι οποίοι δεν έρχονται σε φυσική επαφή με τα αντικείμενα στόχους (τηλεπισκόπηση).

Οι γεωεπιστήμες ενδιαφέρονται για τα βασικά χαρακτηριστικά της ενέργειας και της ύλης, όπως αυτά σχετίζονται με τις εικόνες που καταγράφονται από τα διάφορα συστήματα απεικόνισης. Η ανάλυση των εικόνων πρέπει να βασίζεται επάνω στην πλήρη γνώση της διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και του τρόπου που η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ύλη, καθώς και με άλλες μορφές ενέργειας. Η τηλεπισκόπηση, όπως είναι γνωστό, βασίζεται στη φύση και στις ιδιότητες που έχει η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Στην περίπτωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας δυο θεωρίες επικρατούν:

- (1) το κυματικό μοντέλο ή κυματική θεωρία. &
- (2) το μοντέλο σωματιδίων ή η θεωρία των σωματιδίων.

Η σπουδαιότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας δεν οφείλεται μόνο στο γεγονός ότι μεταφέρει ενέργεια, αλλά και στο ότι μεταβάλλεται τοπικά και χρονικά. Όλες αυτές οι μεταβολές μεταφράζονται σε τεράστιες ποσότητες πληροφοριών. Είναι βέβαιο ότι οι περισσότερες πληροφορίες που λαμβάνονται από τον περιβάλλοντα χώρο μεταφέρονται με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Οι βασικές ιδιότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι:

1. Διαδίδεται σε ευθεία γραμμή
2. Η ένταση μειώνεται, όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή.
3. Οι δέσμες διάδοσης δεν επηρεάζουν η μια την άλλη.

4. Ανακλάται από λείες επιφάνειες κατοπτρικά (νόμος Snell).
5. Ανακλάται από τραχιές επιφάνειες προς όλες τις κατευθύνσεις.
6. Διαθλάται, όταν περνά από ένα διαφανές υλικό σε ένα άλλο (Sleen, 1982).

Τα διάφορα φωτογραφικά συστήματα, καθώς και οι παγχρωματικοί και πολυφασματικοί απεικονιστές, καταγράφουν την ενέργεια που η φύση παρέχει ως ανακλώμενη φωτεινή και εκπεμπόμενη θερμική ενέργεια από την επιφάνεια της γης. Αν και ο τύπος αυτός της ενέργειας (θερμικής) προέρχεται από την επιφάνεια της γης, η ηλιακή ακτινοβολία είναι έμμεσα υπεύθυνη, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια.

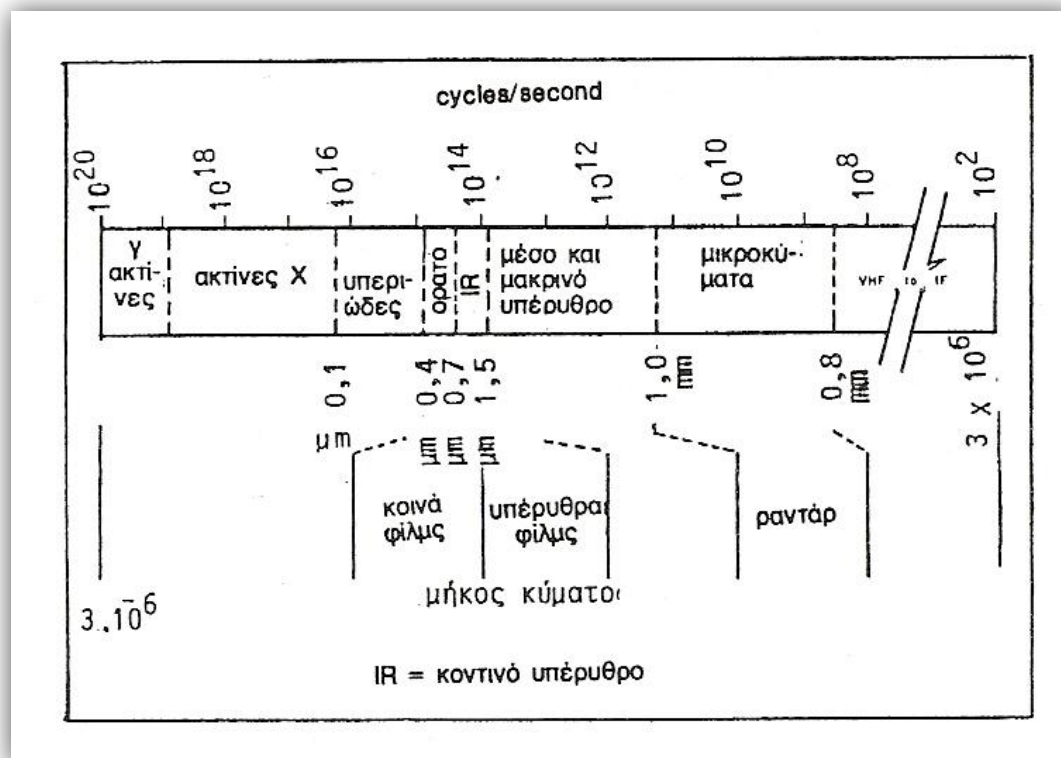
Ακόμη και σήμερα οι γνώμες δε συμφωνούν στα ακριβή όρια του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι περισσότεροι όμως ειδικοί συμφωνούν ότι, ως φως, θεωρείται η ακτινοβολούμενη ενέργεια που εκτιμάται σε αναλογία με την ικανότητά της να δημιουργεί αίσθημα όρασης.

Ο ορισμός αυτός δικαιολογείται από το γεγονός ότι το αίσθημα της όρασης ευαισθητοποιείται από το μηδέν στην περιοχή του φάσματος 0,4μm, σε ένα μέγιστο στην περιοχή 0,55μm και μηδενίζεται ξανά στην περιοχή περίπου 0,72μm, από όπου αρχίζει η υπέρυθη περιοχή. Το ορατό φάσμα αποτελεί μόνο ένα μικρό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα περιλαμβάνει όλη την ενέργεια που κινείται με τη σταθερή ταχύτητα του φωτός σε μια αρμονική μορφή κύματος και ταξινομείται με βάση τον τύπο,

$$f = \frac{v}{\lambda} \alpha \quad (1)$$

όπου **f** είναι η συχνότητα του κύματος, **v** η ταχύτητα κύματος, **λ** το μήκος κύματος και **α** μια σταθερά που κυμαίνεται ανάλογα με τις χρησιμοποιούμενες μονάδες μέτρησης. (Συλλαίος Ν.,2000)

Οι βασικές γνώσεις σχετικά με το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι απαραίτητες για τη φωτοερμηνεία αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων, για εδαφολογικούς, γεωλογικούς, γεωργικούς, οικολογικούς και άλλους σκοπούς. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, διαιρείται σε διάφορες περιοχές, όπως περιοχή των **ακτινών-Χ** μέχρι 0,01 μm, **υπεριώδους** από 0,01-0,4 μm, **ορατού** από 0,4-0,7μm, **υπέρυθρου** από 0,1-1,5 μm, και **θερμικού υπέρυθρου** 3-5, 8-14 μm, κ.λ.π. Στην πραγματικότητα τα όρια αυτά δεν είναι απόλυτα καθορισμένα και, σε μεγάλο ποσοστό, επικαλύπτονται με διαφορές που επεκτείνονται και στην ονοματολογία των διαφόρων περιοχών του φάσματος (Nunnally, 1969)



Εικόνα 2.1 : Περιοχές Ηλεκτρομαγνητικού Φάσματος
πηγή: (ΣΥΛΛΑΙΟΣ Γ. 2000)

Η εμφάνιση ενός βιοφυσικού στοιχείου στην εικόνα εξαρτάται από το ποσό της ενέργειας, που μεταδίδει μέσα στην κλίμακα που ευαισθητοποιείται ο δέκτης (sensor). Τα κλασσικά συστήματα που έχουν ευαισθησία σε ευρείες περιοχές του φάσματος, τείνουν να εξαλείψουν τις διαφορές τόνου μεταξύ των παρατηρουμένων στοιχείων και των υπόλοιπων χαρακτηριστικών της περιοχής. Αντίθετα, συστήματα που αποτυπώνουν ενέργεια μέσα σε στενά όρια του φάσματος, μπορούν να πραγματοποιήσουν το διαχωρισμό αυτό. (Συλλαίος Ν.,2000)

Η σημερινή τάση είναι η μελέτη εικόνων σε μήκη κύματος μεταξύ 0,3μm του ανωτέρου υπεριώδους και 0,4-14μm. Στις περιοχές αυτές χρησιμοποιούνται φωτογραφικά συστήματα, τηλεοπτικά συστήματα, ραδιόμετρα και πολυφασματικά φωτογραφικά ή πολυφασματικά συστήματα σάρωσης (απεικονιστές). (Nunnally, 1969)

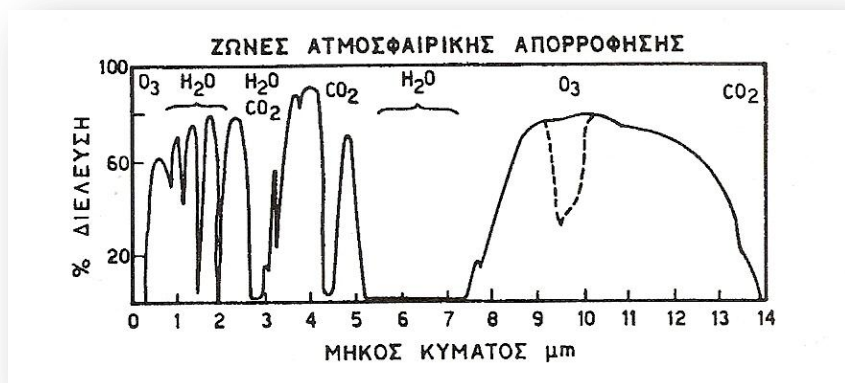
2.6.2 Παράγοντες επίδρασης της ποιότητας του φάσματος

Η **γωνία πρόσπτωσης** της ηλιακής ακτινοβολίας επιδρά, όχι μόνο, στην ποσότητα του φωτισμού, που εκπέμπεται ή ανακλάται, αλλά και στην ποιότητα του φάσματος. Για το λόγο αυτό πτήσεις με φωτογραφικά συστήματα που χρησιμοποιούν ανακλώμενη ενέργεια συνιστάται να πετούν 2 ώρες πριν ή μετά το τοπικό μεσημέρι. Η γωνία πρόσπτωσης της φωτεινής ακτινοβολίας επηρεάζει επίσης και την εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία που καταγράφουν τα παθητικά συστήματα καταγραφής. (Συλλαίος Ν.,2000)

Η **διάχυση (scattering)** του φωτός από την ατμόσφαιρα είναι η κύρια αιτία για τη μείωση της ενέργειας στο ορατό και υπέρυθρο φάσμα, ενώ δεν επιδρά παρά ελάχιστα στην περιοχή των μικροκυμάτων (Estes and Senger, 1974). Ο R. Wood (1959) αναφέρει ότι η διάχυση είναι ανάλογη με το τετράγωνο του όγκου ή 10^6 της διαμέτρου των σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Η διάχυση του φωτός είναι γνωστή ως ατμοσφαιρική ομίχλη και δημιουργεί μια ομοιόμορφη φωτεινότητα στη φωτογραφία, με αποτέλεσμα να μη φαίνονται καθαρά τα μακρινά αντικείμενα. Η μεγαλύτερη διάχυση του φωτός παρατηρείται στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος ($>0,4\mu\text{m}$) και για το λόγο αυτό, στην περίπτωση των φωτογραφικών μηχανών, χρησιμοποιούνται φίλτρα, όπως το “minus blue”, που εμποδίζουν την ακτινοβολία αυτή να διαπεράσει το φακό της μηχανής και να επηρεάσει το φίλμ. (Συλλαίος Ν., 2000)

Η **απορρόφηση (absorption)** από την ατμόσφαιρα είναι ακόμα μια πηγή μείωσης της ενέργειας και οφείλεται στην παρουσία αερίων, όπως O_3 , O_2 , H_2O , CO_2 και στερεών σωματιδίων. Όσο

μεγαλύτερο είναι το ύψος πτήσης, τόσο μεγαλύτερο πάχος ατμόσφαιρας έχει να διαπεράσει η ενέργεια που προέρχεται από γήινα στοιχεία. Γενικά πρέπει να γίνει σαφές ότι η ποσότητα και η ποιότητα της



Εικόνα 2.2 : Ζώνες ατμοσφαιρικής απορρόφησης
πηγή: (ΣΥΛΛΑΙΟΣ Γ. 2000)

ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ενέργειας εξαρτάται από πολλούς άλλους παράγοντες, που, μεμονωμένα ή ως σύμπλοκο, ενεργούν στο τελικό αποτέλεσμα. Η προσεκτική μελέτη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, η μέτρηση της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ενέργειας από διάφορα γήινα στοιχεία στο εργαστήριο και στην ύπαιθρο, η συσχέτισή τους με τα φωτογραφικά και βιοφυσικά χαρακτηριστικά και η ανάλυση με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών και ειδικών οπτικών οργάνων θα βοηθήσει στην κατανόηση των φαινομένων αυτών και στην επίλυση των δημιουργουμένων προβλημάτων στη φωτοερμηνεία.

2.6.3 Μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σχετικές με την Τηλεπισκόπηση

Διερχόμενη ακτινοβολία (transmitted radiation): Ονομάζεται η διερχόμενη διαμέσου ενός υλικού ακτινοβολία. Η ταχύτητα της ακτινοβολίας αυτής αλλάζει καθώς διέρχεται από τον αέρα ή το κενό μέσα σε άλλο υλικό. Η αλλαγή αυτής της ταχύτητας ονομάζεται **δείκτης διάθλασης (index of refraction)**, συμβολίζεται με n και εκφράζεται ως $n = \text{Ca}/\text{Cs}$, όπου Ca η ταχύτητα στον αέρα και Cs η ταχύτητα στο υλικό.

- ☛ **Αναρροφούμενη ακτινοβολία** (absorbed radiation): Είναι η ακτινοβολία που μπορεί να απορροφηθεί από ένα υλικό και να αποδώσει την ενέργειά της, κύρια, για τη θέρμανση του υλικού.
- ☛ **Εκπεμπόμενη ακτινοβολία** (emitted radiation): Εκφράζει την ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα υλικό ως αποτέλεσμα της δομής και της θερμοκρασίας του. Όλα τα υλικά με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 0°C εκπέμπουν ακτινοβολία.
- ☛ **Διαχεόμενη ακτινοβολία** (scattered radiation): Είναι η ακτινοβολία που διαχέεται προς όλες τις διευθύνσεις και χάνεται είτε λόγω απορρόφησης είτε λόγω περαιτέρω διάχυσης.
- ☛ **Ανακλώμενη ακτινοβολία** (reflected radiation): Η προσπίπτουσα ακτινοβολία ανακλάται από την επιφάνεια του υλικού μέσου με γωνία ανάκλασης ίση και αντίθετη με τη γωνία πρόσπτωσης.

Η μορφή της ακτινοβολίας είναι σχετική με το είδος του υλικού, τις ιδιότητες της επιφάνειάς του και την ατομική και μοριακή του δομή. Οι σχέσεις μεταξύ υλικών και ενέργειας παρέχουν τη βάση της τηλεπισκόπησης. Επειδή τα χαρακτηριστικά μιας εικόνας και τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος έχουν άμεση σχέση, είναι σκόπιμο να αναφερθούν στο σημείο αυτό μερικές από τις σχέσεις αυτές (Colwell και συνεργάτες, 1963).

2.6.4 Θερμικό υπέρυθρο φάσμα

Το ανακλώμενο IR κυμαίνεται από 0,7 έως 3 μm και περιλαμβάνει το **φωτογραφικό IR** (0,7-0,9 μm) που μπορεί να καταγραφεί, εκτός από τους δορυφορικούς απεικονιστές και από ευαίσθητα, στην περιοχή αυτή του φάσματος, φιλμ. Στις έγχρωμες υπέρυθρες αεροφωτογραφίες και στις ψευδοέγχρωμες δορυφορικές εικόνες (false color images) το κόκκινο χρώμα είναι αποτέλεσμα ανάκλασης της βλάστησης, χωρίς να περιέχει θερμικές πληροφορίες.

Η υπέρυθρη ακτινοβολία στο μήκος κύματος 3-14 μm ονομάζεται θερμική IR περιοχή του φάσματος. Η θερμική IR ακτινοβολία απορροφάται από τους γυάλινους φακούς των φωτογραφικών μηχανών και δεν είναι δυνατό να ευαισθητοποιήσει το φωτογραφικό φιλμ. Για την αποτύπωση της θερμικής IR ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται ειδικοί ανιχνευτές και οπτικομηχανικά συστήματα σάρωσης (optical mechanical scanners).

Όλα τα μήκη κύματος της θερμικής IR ακτινοβολίας δεν εκπέμπονται ομοιόμορφα δια μέσου της ατμόσφαιρας. Το CO, το O και οι υδρατμοί απορροφούν ενέργεια σε ορισμένα μήκη κύματος, που ονομάζονται περιοχές απορρόφησης (absorption band). Θερμική IR ακτινοβολία, σε 3-5 μm και 8-14 μm, εκπέμπεται με ταχύτητα δια μέσου της ατμόσφαιρας και οι περιοχές αυτές ονομάζονται ατμοσφαιρικά παράθυρα (atmospheric windows).

Η περιοχή 9-10 μm δημιουργείται από το στρώμα του όζοντος στην κορυφή της ατμόσφαιρας και δεν είναι δυνατή η καταγραφή της από αερομεταφερόμενα συστήματα, ενώ καταγράφεται στους πολυφασματικούς απεικονιστές των δορυφόρων. Θερμική IR

ακτινοβολία μεγαλύτερη από 14 μm δε χρησιμοποιείται στην τηλεπισκόπηση, γιατί απορροφάται από την ατμόσφαιρα. (Συλλαίος Ν, 2000)

Περιοχή	Περιγραφή
Ακτίνες Γ Gamma rays $<0,03\text{nm}$	Η εισερχόμενη από τον ήλιο ακτινοβολία απορροφάται τελείως από το άνω τμήμα της ατμόσφαιρας και δεν καταγράφεται για τηλεπισκόπηση. Ακτινοβολία Γ από ραδιενεργά ορυκτά καταγράφεται από αεροσκάφη, σε χαμηλό ύψος πτήσης με τις κατάλληλες μεθόδους.
Ακτίνες Χ X rays $(0,03-3\text{nm})$	Εισερχόμενη ακτινοβολία απορροφάται τελείως από την ατμόσφαιρα και δε χρησιμοποιείται στην τηλεπισκόπηση.
Υπεριώδης (UV) Ultraviolet $3\text{nm}-0,4\mu\text{m}$	Η εισερχόμενη υν ακτινοβολία απορροφάται τελείως από το όζον της ατμόσφαιρας. Ευαισθητοποιεί φίλμς και φωτοανιχνευτές, αλλά η διάχυσή του είναι μεγάλη.
Όρατό Visible $(0,4 - 0,7\mu\text{m})$	Καταγράφεται σε φιλμ και φωτοανιχνευτές.
Υπέρυθρο (Infrared) $0,7 - 14\mu\text{m}$	
Υπέρυθρο (IR) $0,73\mu\text{m} - 3\mu\text{m}$	Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, χωρίς πληροφορίες σχετικά με τις θερμικές ιδιότητες των υλικών
Θερμικό IR ThermalIR $3-5\mu\text{m}, 8-14\mu\text{m}$	Οι περιοχές αυτές είναι τα κύρια ατμοσφαιρικά παράθυρα στη θερμική ζώνη του φάσματος. Εικόνες στη ζώνη αυτή λαμβάνονται με οπτικομηχανικά μέσα και δεν καταγράφονται σε φιλμ.
Μικροκύματα Microwaves $0,3-300\text{ cm}$	Τα ηλεκτρομαγνητικά αυτά κύματα μπορούν να διαπεράσουν σύννεφα και ομίχλη. Επίσης μπορούν να καταγραφούν με ενεργητικούς απεικονιστές.
Ραντάρ $0,3-300\text{ cm}$	Ενεργητική μορφή της τηλεπισκόπησης των μικροκυμάτων.

2.7 Ανάλυση δεδομένων σε διάφορες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

2.7.1 Δεδομένα στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο

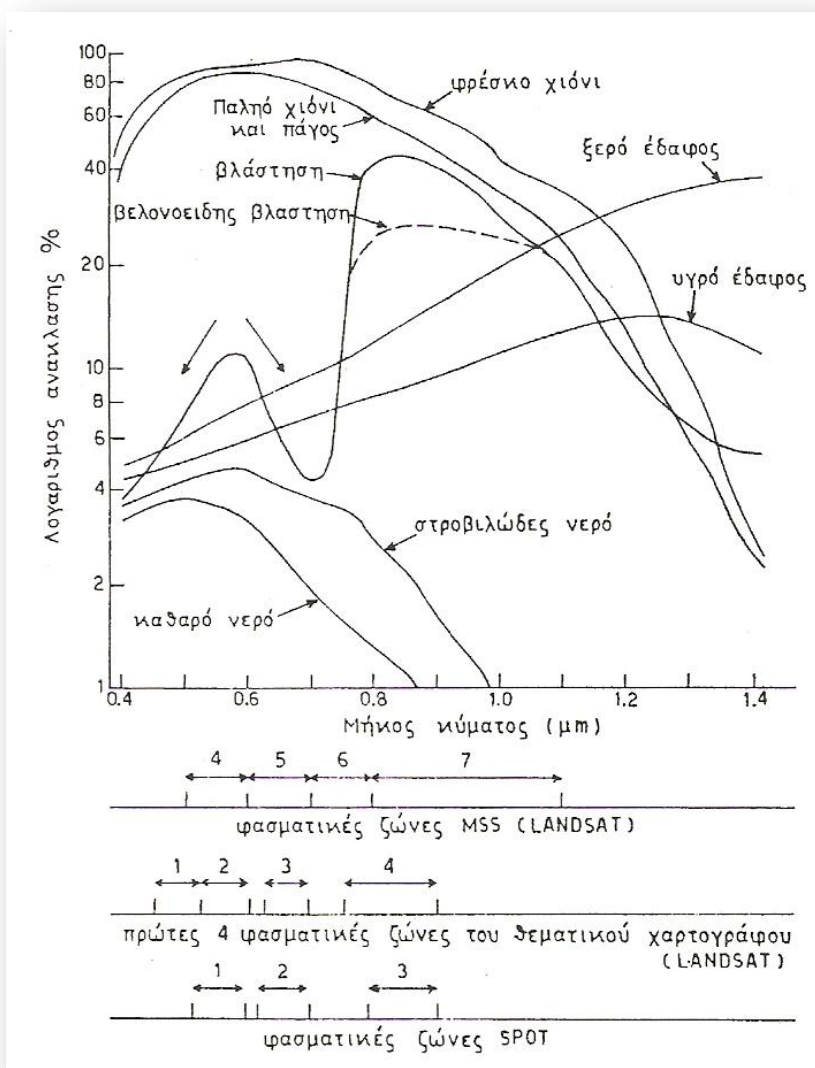
Ο μεγαλύτερος όγκος δεδομένων που ανιχνεύονται από όργανα τηλεπισκόπησης, ανήκει στις δυο αυτές περιοχές του ΕΜΦ και εξετάζονται μαζί, γιατί η ακτινοβολία τους έχει σχεδόν όμοιες φυσικές ιδιότητες και καταγράφονται με όμοιο τρόπο από φωτογραφικά συστήματα και οπτικούς απεικονιστές. Δεδομένα λαμβάνονται και από αεροπλάνα και από δορυφόρους. Η μεγαλύτερη δυσκολία στη λήψη των δεδομένων αυτών είναι ότι η ακτινοβολία στις περιοχές αυτές δεν μπορεί να διαπεράσει τα σύννεφα.

Δεδομένα στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο έχουν χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς, εδώ και πολλές δεκαετίες, για σκοπούς φωτογραμμετρίας και θεματική παρατήρηση. (Συλλαίος Ν.,2000)

Μια πρόσφατη εξέλιξη, λόγω ανάπτυξης των πολυφασματικών φωτογραφικών συστημάτων και των πολυφασματικών δορυφορικών απεικονιστών (MSS-TM), αφορά στη χρήση γης, αναγνώριση καλλιεργειών, κ.λ.π., που βασίζονται στην ανάλυση των φασματικών χαρακτηριστικών των δεδομένων τηλεπισκόπησης. Διάφορα στοιχεία της επιφάνειας της γης ανακλούν διάφορα ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας και σε διάφορες περιοχές του φάσματος. Από τη μελέτη της εικόνας αυτής φαίνονται οι διαφορές **μεταξύ χιονιού και πάγου** (ισχυρή ανάκλαση σε όλες της περιοχής του ΕΜΦ), του **νερού** (απορροφά σε όλα τα μήκη κύματος), **γυμνού εδάφους** (σταθερά αυξάνει η ανάκλαση με την αύξηση του μήκους κύματος) και της **βλάστησης** (ασθενής ανάκλαση στο πράσινο, ισχυρή στο κατώτερο υπέρυθρο και απορρόφηση στο μπλε και κόκκινο). Η **φυλλοβόλα βλάστηση** παρουσιάζει χαμηλότερη ανάκλαση στο κατώτερο υπέρυθρο, σε σχέση με την **αιθαλή**, το **υγρό έδαφος** αυξάνει την απορρόφηση του φωτός, καθώς αυξάνεται η υγρασία του, ενώ το **στροβιλούμενο** νερό παρουσιάζει ισχυρότερη ανάκλαση στη περιοχή 0,4-0,8μm.

Η γνώση του τρόπου ανάκλασης οδηγεί και στην αναγνώριση των διαφόρων βιοφυσικών στοιχείων επιφάνειας. Πχ το νερό παρουσιάζει μικρές τιμές τόνου στο φασματικό δίαυλο 7 του MSS, ενώ διαφορές μεταξύ ήρεμου και στροβιλούμενου νερού αναγνωρίζονται καλύτερα στο φασματικό δίαυλο 4 του TM (0,5-0,6μm).

Τέτοιες διαφορές στην ανάκλαση των διαφόρων βιοφυσικών στοιχείων οδήγησαν στη δημιουργία του όρου **φασματική ταυτότητα** (spectral signature). Επειδή όμως η ανάκλαση των στοιχείων του τοπίου αλλάζει πολλές φορές με τη πάροδο του χρόνου, χρησιμοποιείται και ο όρος **φασματική αντίδραση ή συμπεριφορά** (spectral response). (Συλλαίος Ν.,2000)



Εικόνα 2.3 : Φασματική συμπεριφορά διάφορων στοιχείων της επιφάνειας της γης
 πηγή: (ΣΥΛΛΑΙΟΣ Γ. 2000)

2.7.2 Δεδομένα στο θερμικό υπέρυθρο φάσμα

Η θερμική ακτινοβολία εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης σε αντίθεση με την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία. Όλες οι φυσικές επιφάνειες είναι πομποί ενέργειας στη θερμική περιοχή του ΕΜΦ, δηλαδή στην περιοχή 3-5, 8-14μm. Ο ειδικός χρειάζεται να ειρηνεύσει λεπτές θερμικές διαφοροποιήσεις, όπως τη διαφορά μεταξύ υγρού και ξηρού εδάφους. Θερμικά δεδομένα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε χρόνο που τα σώματα παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στη θερμοκρασία, δηλαδή το μεσημέρι και λίγο πριν την ανατολή του ηλίου. (Συλλάιος Ν.,2000)

Πηγές νερού μπορούν να ανιχνευθούν στο σημείο εισόδου τους σε κάποιο υδάτινο σώμα, γιατί το νερό, στις δυο αυτές περιπτώσεις, έχει διαφορετική θερμοκρασία, γεγονός που δίνει χρήσιμες πληροφορίες για πηγές νερού και τη γεωλογική δομή της περιοχής. Η θερμική

ακτινοβολία είναι ανεξάρτητη, σε σχέση με το φως της ημέρας. Θερμικά δεδομένα τηλεπισκόπησης, που αφορούν οποιαδήποτε χρονική στιγμή, είναι χρήσιμα για τους λόγους που αναφέρθηκαν. Θερμικά όμως δεδομένα σε δυο περιόδους, πριν το μεσημέρι (υψηλότερη) και κατά την διάρκεια της νύχτας, παρέχουν περισσότερες πληροφορίες. Ο λόγος είναι ότι οι νυκτερινές και ημερήσιες τιμές μπορούν να αποτυπωθούν και να αξιολογηθούν για διαφοροποίηση της θερμοκρασίας από σημείο σε σημείο. Έχοντας ακριβή δεδομένα υπαίθρου, η θερμική αδράνεια των σωμάτων μπορεί να υπολογιστεί και τα αποτελέσματα να επεκταθούν σε όλη την περιοχή. Δεδομένα **θερμικής αδράνειας** χρησιμοποιήθηκαν σε ξερές, ελεύθερες βλάστησης περιοχές για να ανιχνευτούν οι διαφορές μεταξύ εδαφικών τύπων και μεταξύ πετρωμάτων (Townshend, 1981). **Η θερμική αδράνεια μπορεί να δώσει πληροφορίες για το ποσοστό υγρασίας σε ακάλυπτα εδάφη και πετρώματα.** Η παρουσία βλάστησης περιπλέκει σοβαρά τη φωτοερμηνεία, όταν η έρευνα αφορά τα εδάφη ή τα πετρώματα. (Συλλαίος Ν.,2000)

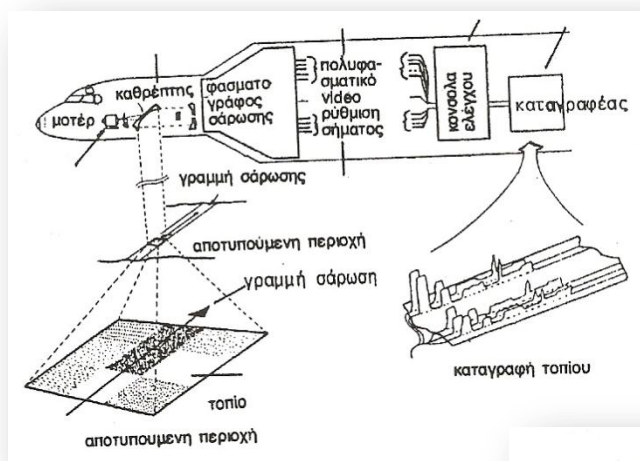
Σχετικά με τους δορυφόρους, ο LANDSAT-3 είχε τη δυνατότητα παροχής περιορισμένων θερμικών δεδομένων. Ο δορυφόρος HCMM (Heat Capacity Mapping Mission) έχει τη δυνατότητα καταγραφής του θερμικού υπέρυθρου και ανιχνεύει τις περιοχές περίπου τις ώρες της υψηλότερης και χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η διαχωριστική ικανότητα είναι περίπου 500-700μ. και η περιοχή σάρωσης 700 χιλιόμετρα. Οι δορυφόροι LANDSAT-4 και 5 φέρουν τον ονομαζόμενο Θεματικό Χαρτογράφο (Thematic Mapper) και πολυφασματικό απεικονιστή με 7 φασματικούς διαύλους, από τους οποίους ο δίαυλος 6 καταγράφει τη θερμική περιοχή του ΕΜΦ (10,4-12.5μm), με χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution) 120x120 μέτρα. Ο γαλλικός δορυφόρος SPOT δεν έχει σύστημα καταγραφής του θερμικού IR. Ο LANDSAT-7 καταγράφει τη θερμική περιοχή του φάσματος με χωρική διακριτική ικανότητα 60μ. (Chris Sabol,2001)

Από την άποψη της φωτοερμηνείας, στις κλασσικές θερμικές IR εικόνες οι ανοικτοί τόνοι σημαίνουν μεγαλύτερη θερμοκρασία, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στους σκούρους τόνους. Μέχρι το 1970 η μελέτη των εικόνων θερμικού IR γινόταν ποιοτικά και όχι ποσοτικά. Από το 1970 τα συστήματα καταγραφής του θερμικού IR έχουν τη δυνατότητα ρυθμίσεων για ποσοτική αξιολόγηση των διαφορών θερμοκρασίας. Νυκτερινές εικόνες είναι απαραίτητες για τη μελέτη γεωλογικών σχηματισμών, γιατί την ημέρα η διαφοροποίηση της θερμότητας από την ηλιακή ακτινοβολία είναι μεγάλη λόγω τοπογραφίας και σκιάσεων. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει είτε με άμεση σύγκριση των χαρακτηριστικών της εικόνας και των στοιχείων της επιφάνειας είτε με κάποιο μαθηματικό μοντέλο που θα συσχετίζει τα αποτελέσματα με τις φυσικές ιδιότητες των σωμάτων και τις θερμικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα σώματα αυτά. (Συλλαίος Ν.,2000)

2.7.3 Δεδομένα στην περιοχή των μικροκυμάτων

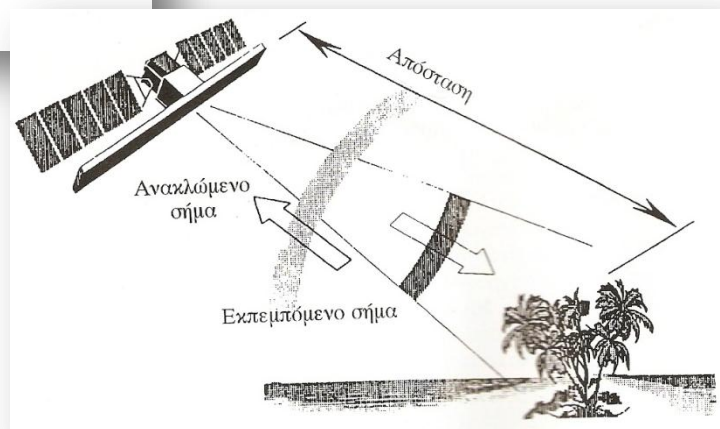
Η χρήση των δεδομένων αυτών, από τους ειδικούς της μελέτης των φυσικών πόρων, εξαρτάται από δυο διαφορετικές ιδιότητες της ακτινοβολίας των μικροκυμάτων. Η πρώτη είναι ότι η ακτινοβολία αυτή διαπερνά την ομίχλη και τα σύννεφα χωρίς σημαντική απώλεια. Η δεύτερη αφορά στο γεγονός ότι τα διάφορα στοιχεία της γήινης επιφάνειας έχουν διαφορετική αντίδραση στην εκπομπή μικροκυμάτων. Για παράδειγμα, η εκπομπή μικροκυμάτων από το έδαφος διακυμαίνεται ανάλογα με την αλλαγή στο ποσοστό της υγρασίας. Η εκπομπή ενός σώματος κυμαίνεται από 0 έως 1 και ορίζεται ως η εκπομπή ενέργειας από ένα φυσικό σώμα σε ένα ορισμένο μήκος κύματος και σε μια ορισμένη θερμοκρασία, σε σχέση με την εκπομπή ενέργειας, κάτω από τις ίδιες συνθήκες, από έναν "τέλειο πομπό ενέργειας", το θεωρητικά "μαύρο σώμα" (black body), που η τιμή εκπομπής του είναι 1. Με τη χρήση τιμών εκπομπής ακτινοβολίας μικροκυμάτων, επιφάνειες με, σχεδόν, ομοιόμορφη ακτινοβολία μπορούν εύκολα να διαχωριστούν με βάση τη θερμοκρασία φωτεινότητας (brightness temperature).

Τα συστήματα καταγραφής μικροκυμάτων με την παραπάνω έννοια ονομάζονται **παθητικά**, σε αντίθεση με τα **ενεργητικά** συστήματα τα οποία έχουν αυτοτελή πηγή ενέργειας η οποία εκπέμπεται σε μορφή σημάτων, ανακλάται στο έδαφος και "συλλαμβάνεται" από την κεραία του οργάνου. Τα όργανα αυτά ονομάζονται **ραντάρ**. Θα πρέπει να τονιστεί ότι το κύριο πλεονέκτημα των παθητικών και ενεργητικών συστημάτων καταγραφής μικροκυμάτων είναι ότι "σαρώνουν" τη γήινη επιφάνεια με όλες τις καιρικές συνθήκες (εκτός από ραγδαίες βροχοπτώσεις). Έτσι κατέστη δυνατή η χαρτογράφηση της λεκάνης του Αμαζόνιου, στη Βραζιλία και Νικαράγουα, όπου οι συνθήκες δεν ήταν κατάλληλες για τηλεπισκόπηση από τον αέρα ή το διάστημα. (Chris Sabol, 2001)



Εικόνα 2.4 : Παθητικό σύστημα καταγραφής μικροκυμάτων
πηγή: (Chris. Sabol, 2001)

Εικόνα 2.5 : Ενεργητικό σύστημα καταγραφής μικροκυμάτων
πηγή: (Chris. Sabol, 2001)



2.8 Μελέτη χαρακτηριστικών ακτινοβολίας διαφόρων βιοφυσικών χαρακτηριστικών

2.8.1 Χαρακτηριστικά ακτινοβολίας των διαφόρων βιοφυσικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης

Οι παρατηρήσεις αυτές είναι σημαντικές γιατί περιορίζουν την επίδραση της ατμόσφαιρας και επιτρέπουν μια καλύτερη συσχέτιση μεταξύ του τύπου/έντασης της ακτινοβολίας και των στοιχείων επιφάνειας. Οι μετρήσεις γίνονται με όργανα που ονομάζονται φασματικά ραδιόμετρα (spectroradiometer) και μετρούν την εκπεμπόμενη ή ανακλώμενη ακτινοβολία σε διάφορα μήκη κύματος. Ιδιαίτερα χρήσιμο είναι τα ραδιόμετρα φασματικής ζώνης (band pass radiometers) τα οποία μετρούν την ανακλώμενη ακτινοβολία σε φασματικές ζώνες (φασματικούς διαύλους) αντίστοιχες με αυτές των δορυφόρων LANDSAT ή SPOT. Τα όργανα αυτά είναι σχετικά φθηνά και εύχρηστα. Πιο πολύπλοκα είναι τα όργανα που ονομάζονται ραδιόμετρα συνεχούς σάρωσης και καταγράφουν το σύνολο ή σχεδόν το σύνολο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος σε ταινία ή σε οθόνη. (Chris Sabol, 2001)

2.8.2 Βιοφυσικά ή άλλα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ακτινοβολία

A. Γενικά

- α) Τοπογραφία
- β) Αζιμούθιο και ύψος ακτινοβολούσας πηγής.
- γ) Μεσολαβούσα ατμοσφαιρική επίδραση.
- δ) Οπτική γωνία οργάνου (εύρος γωνίας παρατήρησης)
- ε) Χαρακτηριστικά οργάνου

B. Στο ορατό και ανακλώμενο υπέρυθρο

- α) Κυτταρική δομή (σχετική με τη φυσική κατάσταση, ωριμότητα και ποσοστό νερού)
- β) Μορφολογία φυτού (π.χ. προσανατολισμός φύλλου, μέγεθος, κ.λ.π).
- γ) Χρωστικές ουσίες (χλωροφύλλη)
- δ) Ποσοστό υγρασίας φυλλώματος

Γ. Στο θερμικό υπέρυθρο

- α) Η θερμοκρασία που εξαρτάται από το ισοζύγιο ενέργειας και από τις θερμικές ιδιότητες, όπως της θερμικής αδράνειας.
- β) Ικανότητα ή το μέγεθος εκπομπής

Δ. Στη ζώνη των μικροκυμάτων

- α) Αδρότητα (τραχύτητα) μικροαναγλύφου.
- β) Διηλεκτρική σταθερά (επηρεάζεται, κυρίως, από την υγρασία και αγωγιμότητα)

2.8.3 Άμεσα παρατηρούμενες ιδιότητες υπαίθρου

Στη διαδικασία της ψηφιακής ταξινόμησης μιας εικόνας, οι παρατηρήσεις υπαίθρου χρησιμοποιούνται κυρίως για επέκταση των συμπερασμάτων σε όλη την περιοχή, και μπορεί να περιλαμβάνουν και βιοφυσικές ιδιότητες. Ορισμένες ομάδες ιδιοτήτων έχουν άμεση επίδραση στην εμφάνιση της εικόνας, όπως αυτές της μορφολογίας της επιφάνειας, του

επιφανειακού υλικού και της φυτικής ή άλλης κάλυψης. Οι ομάδες αυτές των ιδιοτήτων δεν είναι μόνο σημαντικές, ως ανεξάρτητες ιδιότητες, αλλά και για την σχέση τους με άλλες πεδολογικές, γεωμορφολογικές, γεωλογικές και υδρολογικές ιδιότητες. Οι τρεις βασικές ομάδες των άμεσα παρατηρούμενων χαρακτηριστικών της γης ή ιδιοτήτων επιφάνειας είναι:

1. Χαρακτηριστικά μορφολογίας.

Η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός είναι οι κύριες τοπογραφικές παράμετροι που προκαλούν την άμεση έκθεση περιοχών στον ήλιο ή τη σκιάσή τους. Η συσχέτιση μεταξύ γωνίας πρόσπτωσης ηλιακών ακτίνων και αζιμούθιου με τη γωνία κλίσης-έκθεσης, στη δημιουργία διαφοροποιήσεων στο φωτισμό επιφάνειας, δίδεται από την σχέση:

$$\text{Τιμή πρόσπτωσης} = \cos \alpha + \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta$$

όπου α = γωνία κλίσης

β = ύψος ήλιου από τον ορίζοντα

θ = διαφορά μεταξύ γωνίας έκθεσης και ηλιακού αζιμούθιου.

Η καταγραφή των ιδιοτήτων αυτών είναι συχνά θεμελιώδες γεγονός για την ερμηνεία και άλλων ιδιοτήτων επιφάνειας, εξαιτίας της επίδρασής τους στη λαμβανόμενη από τον απεικονιστή ακτινοβολία, η οποία είναι συνάρτηση των γωνιών εισόδου και εξόδου. Το γεγονός είναι, ότι η περιγραφή και η απεικόνιση της μορφολογίας του ανάγλυφου είναι σημαντική. Καθαρά μορφολογικές παρατηρήσεις πρέπει να διακρίνονται από τις γεωμορφολογικές, γιατί οι τελευταίες περιλαμβάνουν και την προέλευση των γαιομορφών και τις διεργασίες οι οποίες τις δημιουργήσαν. Παρά το γεγονός ότι τα γεωμορφολογικά στοιχεία είναι δυνατό να βοηθήσουν, είναι συχνά μια περίπλοκη, τεχνικά, προσπάθεια και οι καταγραφόμενες πληροφορίες δεν είναι πάντα δυνατό να επεκταθούν σε όλη την περιοχή έρευνας. (Chris Sabol, 2001)

2. Έδαφος

Η πλήρης περιγραφή του επιφανειακού υλικού πρέπει να περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους και την πετρογραφική εξέταση κόκκων μεγαλύτερων από τη διάμετρο της ιλύος. Το ποσοστό της οργανικής ουσίας πρέπει να προσδιορίζεται στο εργαστήριο, ενώ για το χρώμα χρησιμοποιείται το διεθνές βιβλίο χρωμάτων εδάφους. Η υγρασία του εδάφους μπορεί να προσδιοριστεί στο εργαστήριο ή με τη μέθοδο των νετρονίων. Το ποσοστό και η μορφή συσσώρευσης ανθρακικού ασβεστίου ή γύψου προσδιορίζεται στο εργαστήριο, συγχρόνως με την περιγραφή του τρόπου συσσώρευσης σε αδιατάρακτα δείγματα. Η περιγραφή των οριζόντων, ιδιαίτερα του Α ορίζοντα, είναι απαραίτητη μαζί με την περιγραφή της δομής και της συνεκτικότητας, ενώ η ταξινόμησή τους, σύμφωνα με κάποιο σύστημα ταξινόμησης, (πχ Αμερικανικό σύστημα ή το σύστημα FAO/UNESCO) αν και όχι απαραίτητη, είναι πολλές φορές χρήσιμη. Η παρουσία και το ποσοστό επίσης των αποκαλυπτομένων στην επιφάνεια βράχων είναι απαραίτητο να

υπολογιστούν και να περιγραφεί το είδος και, εάν είναι δυνατό, ο βαθμός αποσάθρωσης. Η φυτική κάλυψη πρέπει να περιγραφεί προσεκτικά, όσον αφορά στο ποσοστό κάλυψης και το είδος. (Munsell soil colour charts).

3. Ιδιότητες βλάστησης

Η περιγραφή της βλάστησης είναι αρκετά περίπλοκη και γι' αυτό, συνήθως, διακρίνουμε μεταξύ φυσιογνωμικών κριτηρίων, κριτηρίων δομής, λειτουργικών και κριτηρίων σύνθεσης της βλάστησης.

α. **Φυσιογνωμικά κριτήρια:** εξωτερική εμφάνιση, διαχωρισμός κατηγοριών, όπως δάσος, λιβάδι, κ.λ.π., καθώς και στοιχεία περιόδου εμφάνισης και αφθονίας της βλάστησης.

β. **Κριτήρια δομής:** Χωροταξική κατανομή της βλάστησης, δηλαδή ύψος, ανάπτυξη βλαστών, μέγεθος άνθους, μίσχου ή κορμού, πυκνότητα φυλλώματος, κ.λ.π.

γ. **Λειτουργικά κριτήρια:** Ξερομορφία, αντίσταση στη φωτιά, αλομορφία, μηχανισμοί διασποράς.

δ. **Κριτήρια σύνθεσης:** Είδος βλάστησης, ποσοστό κάθε είδους κάλυψης στην περιοχή.

2.9 Χαρακτηριστικές ιδιότητες των εικόνων

Ο όρος **εικόνα** είναι η γενική ονομασία για κάθε οπτική παρουσίαση, ανεξάρτητα από το μήκος κύματος ή τη συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή και αναπαραγωγή. Πολλές εικόνες αναπαράγονται σε φωτογραφικό χαρτί ή σε φιλμ, μετά την καταγραφή τους από μη φωτογραφικά, όπως για παράδειγμα από ραντάρ, οπτικά ή θερμικά IR συστήματα σάρωσης. Η φωτογραφία θεωρείται η εικόνα που σχηματίστηκε από την επίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και καταγράφηκε επάνω' στη, χημικά, φωτοευαίσθητη επιφάνεια ενός φιλμ ή σε ψηφιακή μορφή. Συνήθως, η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που καταγράφεται σε φιλμ, περιορίζεται στη φωτογραφική περιοχή του φάσματος, 0,3-0,9 μm . Όλες οι εικόνες μπορούν να περιγραφούν, με βάση ορισμένες βασικές ιδιότητες, ανεξάρτητα από το μήκος κύματος, στο οποίο έχουν καταγραφεί. Οι βασικές αυτές ιδιότητες είναι η **κλίμακα** (scale), η **φωτεινότητα** (brightness), η **αντίθεση** (contrast) και η **διακριτική ικανότητα** (resolution). Η τελευταία έχει σχέση με το φωτογραφικό ή πανχρωματικό/πολυφασματικό αερομεταφερόμενο ή δορυφορικό απεικονιστή. ή με κάποιο ενεργητικό σύστημα απεικόνισης (radar). (Chris Sabol, 2001)

Κλίμακα, είναι ο λόγος της απόστασης μεταξύ δυο σημείων στην εικόνα ή χάρτη με την αντίστοιχη απόσταση στο έδαφος. Π.χ. κλίμακα 1 :20.000, σημαίνει ότι μια μονάδα στο χάρτη αντιστοιχεί με 20.000 μονάδες στο έδαφος. Έτσι 1 εκ. στο χάρτη ισοδυναμεί με 20.000 εκ. στο έδαφος, ή 1 εκ. ισοδυναμεί με 200 μέτρα ή 0,2 χιλιόμετρα στο έδαφος. (Chris Sabol, 2001)

Φωτεινότητα είναι το μέγεθος της ανταπόκρισης του ματιού στο φως, είναι μια υποκειμενική αίσθηση και μπορεί να μετρηθεί σχετικά μόνο από όργανα, όπως τα φωτόμετρα. Οι φωτοερμηνευτές σπάνια κάνουν ποσοτική μέτρηση της φωτεινότητας σε μια εικόνα. Η φωτεινότητα μπορεί να διαβαθμιστεί στην κλίμακα του γκριζου τόνου. (Chris Sabol,2001)

Ο όρος **τόνος** χρησιμοποιείται για κάθε διακρινόμενη απόχρωση από το μαύρο ως το άσπρο. Στην πραγματικότητα, οι αναλυτές εικόνες δεν κάνουν χρήση της κλίμακας αυτής, αλλά χρησιμοποιούν τον ποιοτικό διαχωρισμό σε ανοικτούς, μέσους ή σκούρους τόνους. Ο τόνος ενός αντικειμένου στις εικόνες είναι το αποτέλεσμα της αντίδρασης του στην εισερχόμενη ακτινοβολία, ενώ επηρεάζεται και από την επίδραση της ατμόσφαιρας και την ευαισθησία του απεικονιστή. (Chris Sabol,2001)

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία ανακλάται, διέρχεται, εκπέμπεται ή διαχέεται, ανιχνεύεται και καταγράφεται με τη χρήση οργάνων τηλεπισκόπησης. Διακυμάνσεις στην ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, από την επιφάνεια του εδάφους, συνήθως εμφανίζονται ως διακυμάνσεις της φωτεινότητας στις ασπρόμαυρες εικόνες. Σε άλλες μορφές τηλεπισκόπησης ο τόνος του αντικειμένου επηρεάζεται και από άλλες ιδιότητές του. Σε μια θερμική ΙΑ εικόνα η φωτεινότητα του αντικειμένου είναι ανάλογη της θερμοκρασίας που ακτινοβολείται από το αντικείμενο. Η φωτεινότητα σε μια εικόνα ραντάρ επηρεάζεται από την ένταση με την οποία η εκπεμπόμενη δέσμη του ενεργειακού συστήματος του ραντάρ ανακλάται και συλλαμβάνεται από την κεραία του. (Chris Sabol,2001)

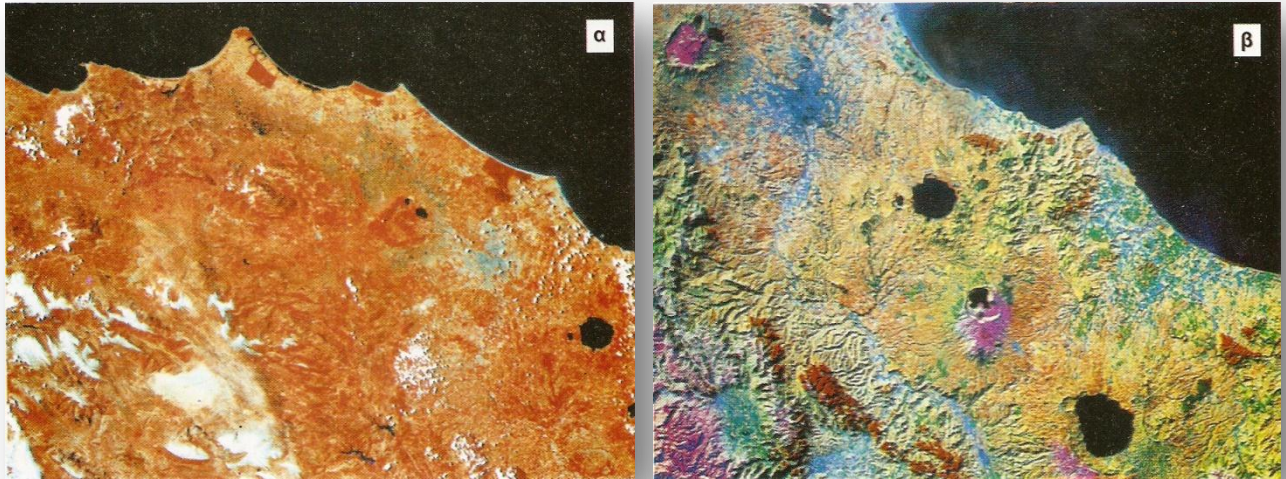
Αντίθεση εικόνας, είναι ο λόγος μεταξύ των φωτεινότερων και σκοτεινότερων τμημάτων μιας εικόνας. Η αντίθεση ονομάζεται και τιμή αντίθεσης ή κοντράστ (contrast ratio) και είναι: $Cr = B_{max}/B_{min}$, όπου **B_{max}** είναι η μέγιστη φωτεινότητα της εικόνας και **B_{min}** η ελάχιστη. (Chris Sabol,2001)

Διακριτική ικανότητα, είναι η λεπτομέρεια της πληροφορίας η οποία παρέχεται από την παραγόμενη αναλογική ή ψηφιακή εικόνα και έχει σχέση με τον απεικονιστή που έχει χρησιμοποιηθεί. Οι φακοί και το φιλμ ενός φωτογραφικού συστήματος ή ο πανχρωματικός /πολυφασματικός απεικονιστής έχουν μια χαρακτηριστική διαχωριστική ισχύ που καθορίζει την λεπτομέρεια διάκρισης των χωρικών στοιχείων στην εικόνα. (Chris Sabol,2001)

Όπως χρησιμοποιείται στη τηλεπισκόπηση, η ιδιότητα αυτή αφορά (**α**) στη χωρική, (**β**) στη φασματική, (**γ**) στη διαχρονική και (**δ**) στη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα. Όταν το μέγεθος δυο ή περισσότερων αντικειμένων είναι μικρότερο από τη διαχωριστική ισχύ του συστήματος, εμφανίζονται στην εικόνα ως ένα αντικείμενο.

Χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution) εννοείται το μικρότερο τμήμα που καταγράφεται επάνω στη γραμμή σάρωσης, μετά από μια πλήρη περιστροφή του καθρέπτη, του παγχρωματικού ή πολυφασματικού συστήματος σάρωσης. Το μικρότερο αυτό τμήμα επιφάνειας, που καταγράφεται στιγμιαία από ένα σύστημα σάρωσης, ονομάζεται

εικονοστοιχείο (pixel) και είναι διαστάσεων 10 x 10 μ. και 20 x 20μ. στο παγχρωματικό και πολυφασματικό, αντίστοιχα, σύστημα του SPOT, 79 x 79μ. και 30 x 30μ. στον MSS και στον Θεματικό Χαρτογράφο των LANDSAT 4,5,7 αντίστοιχα, και 5,8 μ. στον παγχρωματικό απεικονιστή του ινδικού δορυφόρου IRS. (Chris Sabol,2001)



Εικόνα 2.6 :Εικόνα MSS με διακριτική ικανότητα 79x79 (α), και διακριτική ικανότητα 30x30 (β), από θεματικό Χαρτογράφο

πηγή: (Chris Sabol,2001)

Φασματική διακριτική ικανότητα (spectral resolution) αφορά στο εύρος των ζωνών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, στο οποίο ο απεικονιστής του δορυφόρου είναι ευαίσθητος, π.χ. 0,4-0,7 μm ή 0,4-0,5μm. (Chris Sabol,2001)

Διαχρονική διακριτική ικανότητα (temporal resolution) αφορά στη χρονική περίοδο που απαιτείται για τη διέλευση του δορυφόρου επάνω από την ίδια περιοχή, δηλαδή στη χρονική περίοδο που απαιτείται για να έχει ο χρήστης και νέα εικόνα της υπό έρευνα περιοχής. Ο όρος «χρόνος επαναδιέλευσης» χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την ίδια αυτή ιδιότητα του δορυφόρου. (Chris Sabol,2001)

Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (radiometric resolution) αφορά στην ευαισθησία ενός απεικονιστή να ανιχνεύει διαφορές στο ανακλώμενο ή εκπεμπόμενο ραδιομετρικό σήμα. Πχ το σήμα στον πολυφασματικό απεικονιστή MSS καταγράφεται με 6 bits και, στη συνέχεια, διευρύνεται σε 7 bits (διαβαθμίσεις γκρίζου τόνου 0-127 με 79 x 79 μ. διακριτική ικανότητα και καταγραφή σε 4 ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος). Ο Θεματικός Χαρτογράφος του LANDSAT-5 (TM) καταγράφει το ανακλώμενο σήμα με 8 bits, που σημαίνει 0-255 διαβαθμίσεις του γκρίζου τόνου με 30 x 30μ. διακριτική ικανότητα και με καταγραφή σε 7 ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. (Chris Sabol,2001)

Φασματική ταυτότητα (spectral signature) εκφράζει τον τρόπο εμφάνισης ενός βιοφυσικού χαρακτηριστικού στην εικόνα, εμφάνιση με βάση την οποία το βιοφυσικό χαρακτηριστικό μπορεί να αναγνωριστεί. Οι φασματικές ταυτότητες αντικειμένων καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου, τα οποία σχετίζονται με την φασματική τους συμπεριφορά στις διάφορες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η φασματική ταυτότητα ενός βιοφυσικού χαρακτηριστικού του εδάφους διαφοροποιείται, όχι μόνο σε σχέση με τη φασματική ζώνη καταγραφής, αλλά και διαχρονικά. Π.χ. μια γεωργική καλλιέργεια παρουσιάζει διαφορετικές φασματικές ταυτότητες στα διάφορα φαινολογικά στάδια της. (Chris Sabol,2001)

Κλείδα φωτοερμηνείας (interpretation key) είναι ένα χαρακτηριστικό ή ομάδα χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση ενός αντικειμένου (κυρίως σε οπτική ερμηνεία εικόνων), όπως το μέγεθος, σχήμα, τόνος χρώμα, υφή. Πχ η ενότητα στρογγυλεμένης κορυφογραμμής, αραιής βλάστησης και έλλειψης υδρογραφικού δικτύου είναι χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται στην αναγνώριση του ασβεστόλιθου. Έχοντας υπόψη τις σχέσεις ανάκλασης και φάσματος των διαφόρων στοιχείων επιφάνειας, δίνεται η δυνατότητα αναγνώρισής τους στις εικόνες, καθώς είναι δυνατή η προμήθεια εικόνων σε διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. (Chris Sabol,2001)

Υφή, είναι η συχνότητα των αλλαγών και της διάταξης των τόνων στην εικόνα, που προκαλούνται από στοιχεία πολύ μικρά ή λεπτά ή από συνθήκες μικροαναγλύφου, δηλαδή καταστάσεις που δεν επιτρέπουν την διάκριση σε ανεξάρτητα στοιχεία. Λεπτή, μέση και αδρή υφή είναι μερικοί όροι που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του χαρακτηριστικού αυτού. Η υφή είναι στενά συνδεδεμένη με την κλίμακα της εικόνας. Π.χ. μια φωτογραφία ενός δάσους μεγάλης κλίμακας δείχνει ένα σύμπλοκο ανεξαρτήτων δένδρων, ενώ τα φύλλα, τα οποία δεν μπορούν να αναγνωριστούν ως ξεχωριστά στοιχεία, δημιουργούν για κάθε δένδρο μια ξεχωριστή «υφή». Σε μια εικόνα μικρής κλίμακας δεν είναι δυνατή η αναγνώριση μεμονωμένων δένδρων, αλλά το σύνολο των φυλλωμάτων τους δημιουργεί μια ορισμένη υφή, χαρακτηριστική του είδους των δένδρων και των αναλογιών. (Chris Sabol,2001)

Δομή (structure), είναι ο όρος που αποδίδει τη διεύθυνση στον χώρο των διαφόρων βιοφυσικών στοιχείων της επιφανείας της γης, διεύθυνση που αποτυπώνεται με τον ίδιο τρόπο και στις εικόνες. (Chris Sabol,2001)

Κηλιδώσεις είναι το χαρακτηριστικό που ορίζεται σαν σημείο σκούρου ή ανοιχτού φωτογραφικού τόνου σε ακανόνιστη διάταξη. Η παρουσία κηλιδώσεων είναι αιτία αναγνώρισης τύπων εδαφών σε μια πεδιάδα. (Chris Sabol,2001)

2.10 Ψηφιακή ανάλυση εικόνας

2.10.1 Γενικά

Η ψηφιακή ανάλυση εικόνων έχει ως σκοπό την επεξεργασία και ερμηνεία των ψηφιακών εικόνων με τη βοήθεια ενός Η/Υ. Η μορφή αυτή της ανάλυσης άρχισε στην πραγματικότητα στη δεκαετία του 60, κατά την οποία ένας μικρός αριθμός επιστημόνων εργαζόταν στην ανάλυση εικόνων που είχαν ληφθεί από αεροπλάνο και πολυφασματικό απεικονιστή ή από ψηφιοποίηση. Στην ουσία όμως, η ανάλυση εικόνων με ΗΥ άρχισε μετά την εκτόξευση του Landsat-1, τον Ιούνιο του 1972, οπότε εικόνες της γης, σε ψηφιακή μορφή, γίνονταν άμεσα διαθέσιμες στην παγκόσμια επιστημονική κοινότητα. Η ψηφιακή ανάλυση εικόνων είναι ένα ευρύ θέμα και εμπεριέχει επεξεργασίες, οι οποίες είναι πολύπλοκες από μαθηματικής και στατιστικής πλευράς. Ο σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να εξηγηθούν οι βασικές αρχές της ψηφιακής επεξεργασίας, χωρίς εμβάθυνση στις μαθηματικές αρχές, οι οποίες τις διέπουν, αλλά με δυνατότητα θεματικής ερμηνείας του αποτελέσματος κεντρική ιδέα της ψηφιακής επεξεργασίας είναι απλή. Ο υπολογιστής "διαβάζει" την ψηφιακή εικόνα εισόδου ανά ένα εικονοστοιχείο (pixel), με το ίδιο τρόπο, όπως διαβάζει ένα πίνακα αριθμών με x στήλες και y σειρές. Ο υπολογιστής είναι προγραμματισμένος να εισάγει τα δεδομένα σε μια εξίσωση ή σειρά εξισώσεων και στη συνέχεια να αποθηκεύει τα αποτελέσματα των υπολογισμών, για κάθε εικονοστοιχείο, σε έναν νέο πίνακα ραδιομετρικών τιμών (εικόνα εξόδου). Οι νέες αυτές ραδιομετρικές τιμές δημιουργούν μια νέα εικόνα, η οποία μπορεί να εμφανιστεί στην οθόνη του υπολογιστή ή να επανεπεξεργαστεί με άλλες τεχνικές. (Συλλαίος Ν.2000)

2.10.2 Δορυφορικοί απεικονιστές και τρόποι λήψης των δεδομένων εδάφους

Βασικά οι δορυφορικοί απεικονιστές μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες και υποκατηγορίες.

Ι. ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1. Απεικονιστές καταγραφής; του οπτικού τμήματος του φάσματος (Παγχρωματικοί Απεικονιστές).
2. Απεικονιστές καταγραφής περισσότερων του ενός τμημάτων του φάσματος, συνήθως οπτικού και υπέρυθρου (Πολυφασματικοί Απεικονιστές) .
3. Απεικονιστές καταγραφής της εκπεμπόμενης θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας (Θερμικοί Απεικονιστές).

Πολλές φορές δεν είναι ανεξάρτητα συστήματα αλλά αποτελούν μέρη ενός πολυφασματικού απεικονιστού.

ΙΙ. ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1. Ενεργητικά συστήματα καταγραφής των μικροκυμάτων (ραντάρ).

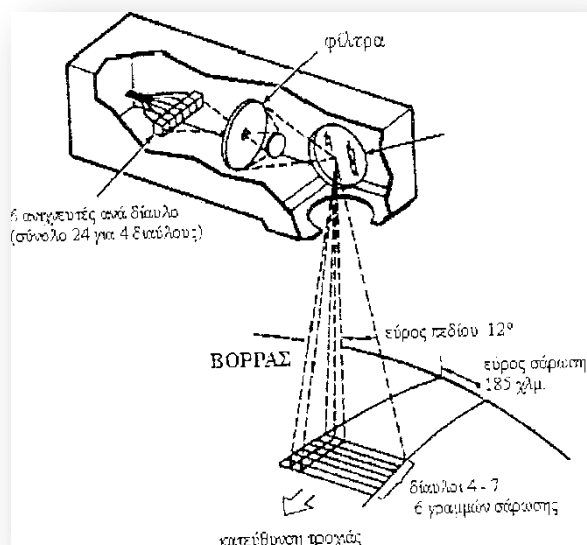
Οι τρεις πρώτοι φέρονται στους δορυφόρους LANDSAT, SPOT, IRS, JERS, Κ.α., ενώ τα συστήματα ραντάρ φέρονται στους δορυφόρους ERS, RADAR-SAT, ALMAZ, RESURS, JERS, κλπ. (Συλλαίος Ν.2000)

2.10.2.1 Παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης

Παρά το πλήθος των δορυφόρων που είναι ή που πρόκειται να τεθούν σε τροχιά, θα εξεταστεί μόνο ο τρόπος λήψης και οι απεικονιστές των δορυφόρων LANDSAT και SPOT, γιατί αποτελούν την βασική φιλοσοφία όλων των απεικονιστών καταγραφής της ανακλώμενης και της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, εκτός αυτής των ενεργητικών συστημάτων σάρωσης της μικροκυματικής ακτινοβολίας (ραντάρ). (Συλλαίος Ν.2000)

LANDSAT

Ο πολυφασματικός απεικονιστής MSS φέρεται επί όλων των δορυφόρων της σειράς LANDSAT. Ο απεικονιστής αυτός, με $79 \times 79 \mu\text{m}$ χωρική διακριτική ικανότητα και καταγραφή σε 4 φασματικούς διαύλους, έχει καταγράψει τις περισσότερες εικόνες της γης από κάθε άλλο απεικονιστή. Το σύστημα των ανιχνευτών / "φίλτρων" των διαφόρων ζωνών ακτινοβολίας και το σύστημα σάρωσης φαίνονται διαγραμματικά. Ο καθρέπτης σάρωσης ταλαντεύεται με μια γωνιακή μετατόπιση $\pm 2,890$. Λόγω του ότι η γωνία εισόδου της ακτινοβολίας είναι, περίπου, ίση με τη γωνία ανάκλασης, η δέσμη σάρωσης είναι περίπου $11,560$. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα πλάτος σάρωσης της επιφάνειας της γης 185 χλμ . Έξι παράλληλοι ανιχνευτές, ανά φασματικό δίαυλο, (4 φασματικοί δίαυλοι $\times$ 6 ανιχνευτές = 24 συνολικά), ευαίσθητοι σε 4 φασματικούς διαύλους ($0,5$ έως $0,6 \mu\text{m}$, $0,6$ έως $0,7 \mu\text{m}$, $0,7$ έως $0,8 \mu\text{m}$, και $0,8$ έως $1,1 \mu\text{m}$), ανιχνεύουν, συγχρόνως, την επιφάνεια της γης. Οι φασματικοί δίαυλοι του MSS έχουν ονομαστεί 4,5,6,7 γιατί υπάρχουν στο σύστημα RBV Return Beam Vidicon) οι δίαυλοι 1,2 και 3.



Εικόνα 2.7 :Εικόνα πολυφασματικού απεικονιστή MSS

[πηγή: NASA picture gallery](#)

Το στιγμιαίο εύρος πεδίου κάθε ανιχνευτή (Instantaneous Field Of View IFOV) είναι τετράγωνο και έχει ως αποτέλεσμα χωρική διακριτική ικανότητα 79×79 μέτρα. Το αναλογικό σήμα από κάθε ανιχνευτή μετατρέπεται σε ψηφιακή τιμή με τη χρήση ενός μετατροπέα αναλογικού - ψηφιακού σήματος. Τα δεδομένα ποσοτικοποιήθηκαν σε 6 bits, με εύρος τιμών 0-63. Τα δεδομένα αυτά επανακλιμακώθηκαν στα 8 bits, με εύρος τιμών 0-127 για τους 3 φασματικούς διαύλους (4,5,6).

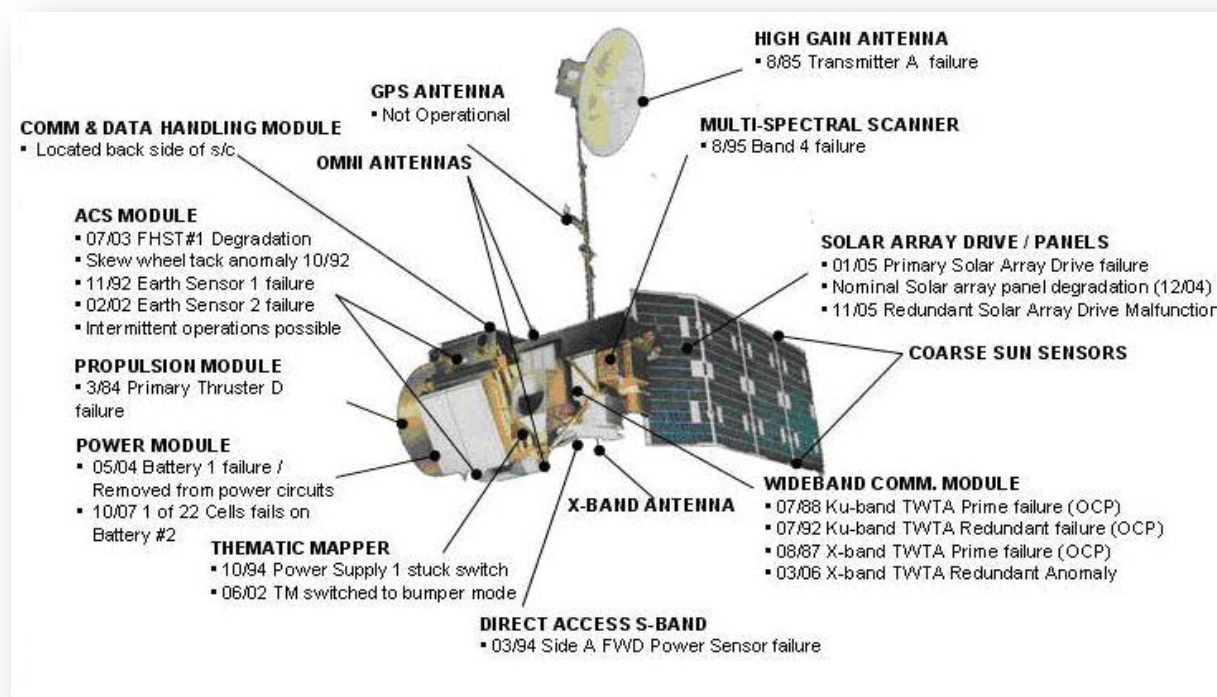
Μια τυπική εικόνα MSS αποτελείται από 2340 γραμμές σάρωσης με 3240 εικονοστοιχεία σε κάθε γραμμή, δηλαδή περίπου 7.581.600 εικονοστοιχεία/ φασματικό δίαυλο. Μια εικόνα

MSS ισοδυναμεί με μια περιοχή που θα χρειαζόταν για να καλυφθεί 5.000 αεροφωτογραφίες κλίμακας 1: 15.000. (Συλλαίος Ν.2000)

Σχετικά με τον πολυφασματικό απεικονιστή του LANDSAT-5 Θεματικό Χαρτογράφο, οι **διαφορές** με το σύστημα MSS είναι (1) το στιγμιαίο εύρος πεδίου του δημιουργεί χωρική διακριτική ικανότητα 30 χ 30 μέτρα, (2) ο TM είναι ένα οπτικομηχανικό σύστημα σάρωσης το οποίο καταγράφει, συγχρόνως, ανακλώμενη και εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία. (3) η καταγραφή του οπτικού και εγγύς υπέρυθρου τμήματος του φάσματος γίνεται με 16 ανιχνευτές σιλικόνης, το μέσο και μακρινό υπέρυθρο με 16 κύτταρα αντιμονίου, το θερμικό υπέρυθρο με κύτταρα υδραργύρου-καδμίου-τελλουρίτη και {4} ο TM καταγράφει την επιφάνεια της γης σε 7 τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (τρία στο οπτικό, τρία στο υπέρυθρο και ένα στο θερμικό υπέρυθρο), έναντι 4 του MSS. Επίσης μια άλλη διαφορά των LANDSAT 1,2,3 με τους LANDSAT 4,5 είναι ότι, στους δεύτερους, ο χρόνος επαναδιέλευσης μειώθηκε από 18 σε 16 ημέρες.(Συλλαίος.Ν.2000).

ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΟΣ TM.

Ο Θεματικός Χαρτογράφος (Thematic Mapper, TM) είναι ένα όργανο μηχανικής σάρωσης όπως και ο MSS, αλλά διαθέτει βελτιωμένα φασματικά και ραδιομετρικά χαρακτηριστικά και μπορεί να θεωρηθεί ως δεύτερη γενεά του MSS. Ενώ το MSS διαθέτει 4 φασματικές ζώνες καταγραφής (διαύλους) όπως και στους Landsat 1, 2 και 3, ο Θεματικός Χαρτογράφος TM



Εικόνα 2.8 :Εικόνα Θεματικού χαρτογράφου LANDSAT 4,5

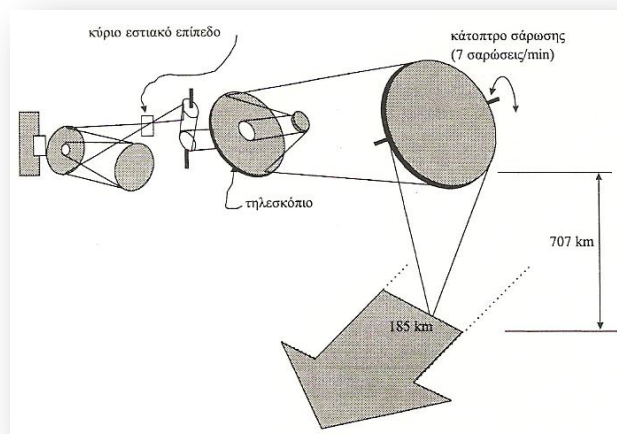
πηγή: NASA picture gallery

έχει 7 φασματικές ζώνες καταγραφής. Οι ζώνες των μηκών κύματος που είναι ανιχνεύσιμες στον TM του Landsat-4 και -5 δίδονται στο παρακάτω πίνακα:

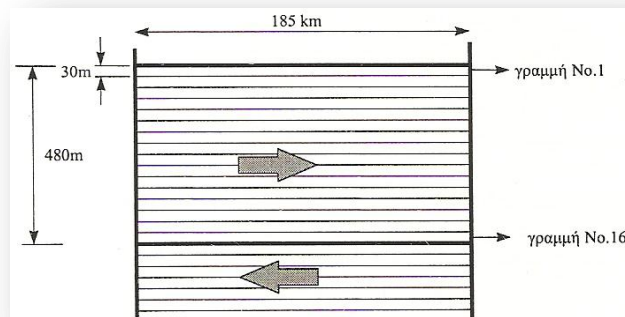
Δίαυλος	Φασματική Ζώνη
Δίαυλος TM-1	0,45-0,52 μm (ιώδες πράσινο)
Δίαυλος TM-2	0,52-0,60 μm (πράσινο)
Δίαυλος TM-3	0,63-0,69 μm (ερυθρό)
Δίαυλος TM-4	0,76-0,90 μm (εγγύς υπέρυθρο)
Δίαυλος TM-5	1,55-1,75 μm (μέσο υπέρυθρο)
Δίαυλος TM-6	10,4-12,50 μm (θερμικό υπέρυθρο)
Δίαυλος TM-7	2,08-2,35 μm (μέσο υπέρυθρο)

Το κανάλι TM-7 βρίσκεται εκτός λογικής σειράς των άλλων φασματικών ζωνών, αλλά καθιερώθηκε τελευταία στιγμή πριν από την κατασκευή του TM λόγω της σημασίας της φασματικής ζώνης των $\lambda=2 \mu\text{m}$ σε γεωλογικές εφαρμογές, όπως η ανίχνευση της υδροθερμικής μεταμόρφωσης των πετρωμάτων. Οι δορυφόροι Landsat-4 και -5 έχουν τροχιά σε ύψος $h=705 \text{ km}$ δίδοντας μια διαχωριστική ικανότητα στο έδαφος $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ για τον TM στις ανακλώμενες φασματικές ζώνες, και $120 \text{ m} \times 120 \text{ m}$ στις θερμικές ζώνες (δίαυλος TM-6, θερμικό κανάλι). Όμως, σε αυτούς τους δορυφόρους το στιγμιαίο οπτικό πεδίο IFOV των ανιχνευτών του πολυφασματικού σαρωτή MSS είναι προσαρμοσμένο να ταιριάζει περίπου με την κυψέλη διαστάσεων $79 \text{ m} \times 79 \text{ m}$ των προηγούμενων δορυφόρων. Ψηφιακές τιμές στον TM αντιπροσωπεύονται χρησιμοποιώντας μεγαλύτερο δυναμικό εύρος των τιμών φωτεινότητας (256 διαβαθμίσεις του γκρι ή 8-bit) από ότι στο MSS (128 διαβαθμίσεις του γκρι ή 7-bit).

Σε κάθε σάρωση του κατόπτρου του TM καταγράφονται 16 γραμμές ταυτόχρονα (4 γραμμές για το κανάλι TM-6), και έτσι κάθε φορά σαρώνονται λωρίδες πλάτους $16 \times 30 \text{ m} = 480 \text{ m}$. Διαθέτει επομένως μια σειρά από $6 \times 16 + 4 = 96 + 4 = 100$ ανιχνευτές. Αντίθετα με το MSS, η σάρωση του TM γίνεται και από ανατολικά προς δυτικά αλλά και από δυτικά προς ανατολικά. Το χαρακτηριστικό αυτό επιτρέπει στο κατόπτρο να κινείται με μικρότερη ταχύτητα, και κατά αυτόν τον τρόπο υπάρχει μεγαλύτερος χρόνος παραμονής στο εικονοστοιχείο, ώστε οι ανιχνευτές να ανταποκρίνονται καλύτερα και να καταγράφουν τη φωτεινότητα της εικόνας αξιόπιστα. Η μετατροπή αυτή απαιτεί επιπρόσθετη επεξεργασία των δεδομένων, επειδή με τη σάρωση



Εικόνα 2.9 :Εικόνα Θεματικού χαρτογράφου TM, LANDSAT
πηγή: Μέρτικας Σ.2006

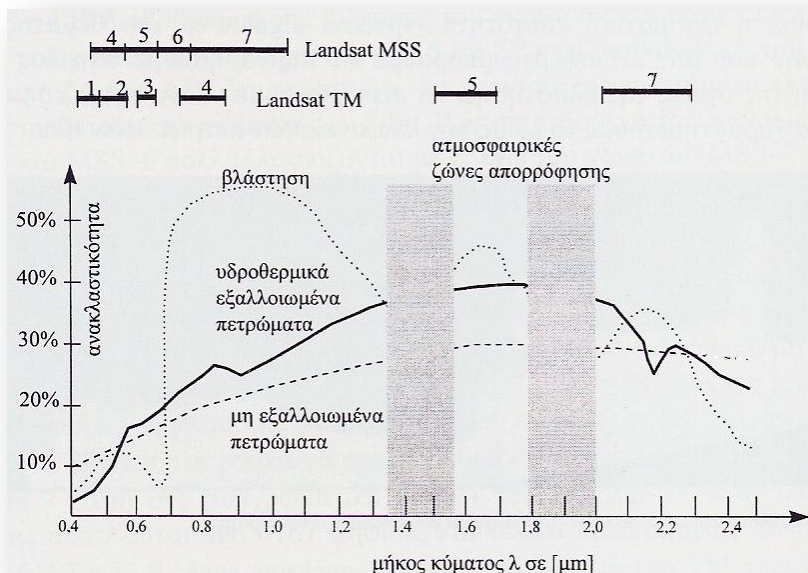


Εικόνα 2.10 :Διαδικασία σάρωσης των 16 γραμμών TM του LANDSAT
πηγή: Μέρτικας Σ.2006

δημιουργούνται γεωμετρικά σφάλματα που πρέπει να διορθωθούν. Τελικά η εικόνα που προκύπτει για τον TM ή για τον ETM+ έχει συνολικές διαστάσεις 185km x 170km. Ανακλώμενο φως και θερμική ενέργεια εστιάζεται μέσω τηλεσκοπίου κατευθείαν στο εστιακό επίπεδο του TM πάνω στο οποίο βρίσκεται μια σειρά από ανιχνευτές πυριτίου και MCT (Mercury-Cadmium-Telluride), που ο κάθε ένας είναι ευαίσθητος σε συγκεκριμένη φασματική ζώνη. Σημειώστε ότι στον TM δεν υπάρχουν οπτικές ίνες όπως στον MSS.

Εικόνα 2.11 : Φασματικές ζώνες καταγραφής MSS & TM στον LANDSAT και οι χαρακτηριστικές φασματικές αποκρίσεις ορισμένων υλικών

πηγή: Μέρτικας Σ.2006



Δίαυλος	Φασματική Ζώνη	Ιδιότητες
Δίαυλος TM-1	0,45–0,52μm	(ιώδες, πράσινο) Μέγιστη διείσδυση στο νερό, βυθομετρία μικρού βάθους, διάκριση εδαφών, είδους βλάστησης και διάκριση φυλλοβόλων και αειθαλών φυτών.
Δίαυλος TM-2	0,52–0,6μm	(πράσινο) Αξιολόγηση υγείας των φυτών.
Δίαυλος TM-3	0,63–0,69μm	(ερυθρό) διάκριση τύπων βλάστησης.
Δίαυλος TM-4	0,76–0,90μm	(εγγύς υπέρυθρο) καθορισμός βιομάζας και χαρτογραφήσεις ακτογραμμής.
Δίαυλος TM-5	1,55–1,75μm	(μέσο υπέρυθρο) αποκαλύπτει υγρασία σε εδάφη και βλάστηση.
Δίαυλος TM-6	10,4–12,5μm	(θερμικό υπέρυθρο) εντοπισμός ορυκτών, υδροθερμικά εξαστοιωμένων πετρωμάτων.
Δίαυλος TM-7	2,08–2,35μm	(μέσο υπέρυθρο) θερμικές καταγραφές, εκτίμηση εδαφικής υγρασίας.

Εικόνα 2.12 :Δίαυλοι καταγραφής του TM και οι ιδιότητές τους

πηγή: Μέρτικας Σ.2006

Ουσιαστικά, κάθε φασματική ζώνη καταγραφής δημιουργεί μία και μόνο μονοχρωματική εικόνα. Συνδυάζοντας όλα τα δεδομένα από διάφορες φασματικές ζώνες, με διαφορετικό (αυθαίρετα όμως) χρώμα, δημιουργείται μία έγχρωμη εικόνα κατάμεστη από κάθε είδους πληροφορία, εξαρτώμενη από το ποιες φασματικές ζώνες χρησιμοποιήθηκαν. Επιλέγοντας μια ποικιλία χρωμάτων ώστε να αποκαλυφθεί η φασματική ταυτότητα (spectral signature) του θέματος ή του αντικειμένου που μας ενδιαφέρει, μπορούμε να ταξινομήσουμε το είδος και την κατάσταση της υγείας της βλάστησης, να περιγράψουμε υδάτινες μάζες με λεπτομέρειες, να χαρακτηρίσουμε το είδος των επιφανειακών πετρωμάτων κλπ.

2.10.2.2 Ενεργητικό σύστημα τηλεπισκόπησης

Ο όρος **radar** προέρχεται από το "radar detection and ranging". Η χρήση του, σαν μέσο τηλεπισκόπησης, χρονολογείται από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Από τότε, αερομεταφερόμενα radar χρησιμοποιήθηκαν, κυρίως, για κατασκοπευτικούς αλλά και επιστημονικούς σκοπούς και μόλις το 1978 εκτοξεύθηκε ο πρώτος πολιτικός δορυφόρος (SEASAT) που έφερε σύστημα radar. (Chris Sabol, 2001)

2.10.3 Προεπεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων

Η προεπεξεργασία (preprocessing) των ψηφιακών δεδομένων αφορά εκείνες τις ποιοτικές προκαταρκτικές διεργασίες οι οποίες έχουν ως σκοπό τη διόρθωση των σφαλμάτων που υπάρχουν στα δεδομένα και κατά συνέπεια την ποιοτική βελτίωση αυτών. Στη συνέχεια περιγράφονται οι σημαντικότερες από αυτές:

2.10.3.1 Ραδιομετρική προεπεξεργασία

Η ραδιομετρική προ-επεξεργασία αφορά τις διεργασίες που πρέπει να γίνουν για να διορθωθούν τα σφάλματα που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική διάχυση και απορρόφηση, τις μεταβολές της γωνίας σάρωσης, της μεταβολές της γωνίας πρόσπτωσης του ήλιου και το "θόρυβο" του συστήματος. Η ραδιομετρική προ-επεξεργασία που λέγεται και ραδιομετρική διόρθωση επιδρά και επαναπροσδιορίζει τις τιμές λαμπρότητας. Για παράδειγμα, η διόρθωση των επιδράσεων της ατμόσφαιρας βασίζεται κυρίως στις τιμές λαμπρότητας που παρουσιάζει μια περιοχή με καθαρό και βαθύ νερό στους κοντινούς υπέρυθρους διαύλους. Με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά του καθαρού νερού, οι τιμές λαμπρότητας πρέπει να είναι περίπου 10. Επομένως υψηλότερες τιμές πχ. 15 οφείλονται στην ατμοσφαιρική διάχυση (άχλη): Είναι λοιπόν αυτονόητο ότι η τιμή αυτή έχει προστεθεί στις τιμές λαμπρότητας όλων των εικονοστοιχείων γύρω από την περιοχή. Δηλαδή, αν η καταγεγραμμένη τιμή λαμπρότητας ενός εικονοστοιχείου είναι 155, σημαίνει ότι η πραγματική τιμή, η οποία οφείλεται στο αντικείμενο που υπάρχει στο συγκεκριμένο σημείο, είναι 140, ενώ το υπόλοιπο 15 οφείλεται στην ατμόσφαιρα. Άρα, αφαιρώντας από τις τιμές λαμπρότητας όλων των εικονοστοιχείων την τιμή 15, απομακρύνεται από τα δορυφορικά δεδομένα η επίδραση της ατμόσφαιρας και η εικόνα γίνεται καθαρότερη. Ένα άλλο σφάλμα

το οποίο οφείλεται σε κακή λειτουργία (μη ενεργοποίηση) κάποιου καταγραφέα, είναι ή εμφάνιση γραμμών σάρωσης (εικονοστοιχεία) με μηδενικές τιμές λαμπρότητας. Αυτό διορθώνεται, στο στάδιο της ραδιομετρικής προεπεξεργασίας με την προσθήκη τη μέσης τιμής λαμπρότητας των εκατέρωθεν εικονοστοιχεία στα υπόψη εικονοστοιχεία. (Καρτέρης Μ, 1999)

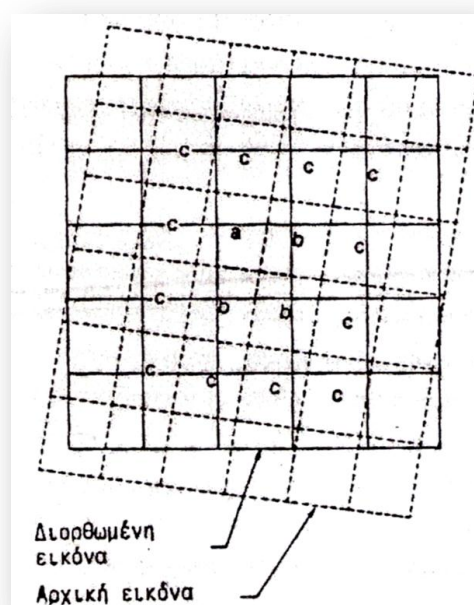
2.10.3.2 Γεωμετρική προεπεξεργασία

Η συνηθέστερη ίσως διόρθωση που λαμβάνει μέρος κατά το στάδιο της προεπεξεργασίας είναι η λεγόμενη γεωμετρική διόρθωση (geometric connection). Σκοπός της διόρθωσης αυτής είναι η εύρεση της ακριβούς θέσης των εικονοστοιχείων. Πράγματι εξαιτίας της κίνησης της γης, της κίνησης του δορυφόρου, των αποκλίσεων της ατράκτου, των υψομετρικών διαφορών κλπ τα δορυφορικά δεδομένα παρουσιάζουν συστηματικά και τυχαία σφάλματα, τα οποία επηρεάζουν τη θέση των εικονοστοιχεία και παραμορφώνουν την εικόνα. Οι συστηματικές παραμορφώσεις διορθώνονται με την εφαρμογή συγκεκριμένων μαθηματικών μοντέλων. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η προς ανατολή κίνηση της γης κατά τη διάρκεια των σαρώσεων. Εξαιτίας αυτού, κάθε επόμενη σάρωση καταγράφει περιοχή της οποίας η αρχή είναι ελαφρώς δυτικότερα απ' ότι η προηγούμενη σάρωση. Διόρθωση των δεδομένων αυτών έχει ως αποτέλεσμα την ρομβοειδή εμφάνιση της εικόνας. Τα τυχαία σφάλματα διορθώνονται με τη βοήθεια επίγειων σημείων ελέγχου (GCP's, Ground Control Points). Αυτό βέβαια απαιτεί την ύπαρξη χαρτών μεγάλης ακρίβειας. Η διαδικασία της γεωμετρικής διόρθωσης ονομάζεται επαναδειγματοληψία (resampling). Αυτή περιλαμβάνει τις διαδικασίες:

- Σχηματισμό ενός γεωμετρικά διορθωμένου κανάβου
- Μετατροπή των συντεταγμένων κάθε εικονοστοιχείο του κανάβου, έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι αντίστοιχες συντεταγμένες στα δορυφορικά μη διορθωμένα δεδομένα,
- Μεταφορά της τιμής λαμπρότητας του κατάλληλου εικονοστοιχείο των δορυφορικών δεδομένων στο αντίστοιχο του κανάβου

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι (αλγόριθμοι) γεωμετρικής διόρθωσης των δορυφορικών δεδομένων. Αυτοί είναι οι παρακάτω:

- Η πλησιέστερη γειτονία. Σε αυτήν, η τιμή της λαμπρότητας του εικονοστοιχείο των δεδομένων που βρίσκεται πλησιέστερα στο εικονοστοιχείο του κανάβου, μεταφέρεται σε αυτό. Η μέθοδος αυτή είναι γρήγορη, απλή και δεν μεταβάλλει τις τιμές των εικονοστοιχείων. Παραμορφώνει όμως κατά



Εικόνα 2.13 :Γεωμετρική διόρθωση εικόνας
πηγή: Καρτέρης Μ, 1999

μισό εικονοστοιχείο την εικόνα

- Η διγραμμική παρεμβολή. Σε αυτήν, στο εικονοστοιχείο του κανάβου μεταφέρεται ο μέσος όρος λαμπρότητας τεσσάρων εικονοστοιχείων των δεδομένων τα οποία βρίσκονται πλησιέστερα στο υπόψη εικονοστοιχείο. Η μέθοδος αυτή απαιτεί περισσότερο χρόνο (3-4 φορές) για να ολοκληρωθεί η διαδικασία και δημιουργεί μια εικόνα με μικρότερη αντίθεση (απαλότερη). Επίσης οι νέες τιμές λαμπρότητας μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα κατά την ψηφιακή ανάλυση.
- Η κυβική συστροφή. Η διαφορά με τη διγραμμική παρεμβολή είναι ότι ο μέσος όρος υπολογίζεται από τις τιμές λαμπρότητας των δεκαέξι πλησιέστερων εικονοστοιχείων των δεδομένων. Η μέθοδος αυτή απαιτεί 10-12 φορές μεγαλύτερο χρόνο από ότι η μέθοδος της πληρέστερης γειτονίας. Η τελική όμως εικόνα δεν παρουσιάζει ούτε την παραμόρφωση της πρώτης περίπτωσης ούτε τη μείωση της αντίθεσης της δεύτερης. (Καρτέρης Μ,1999).

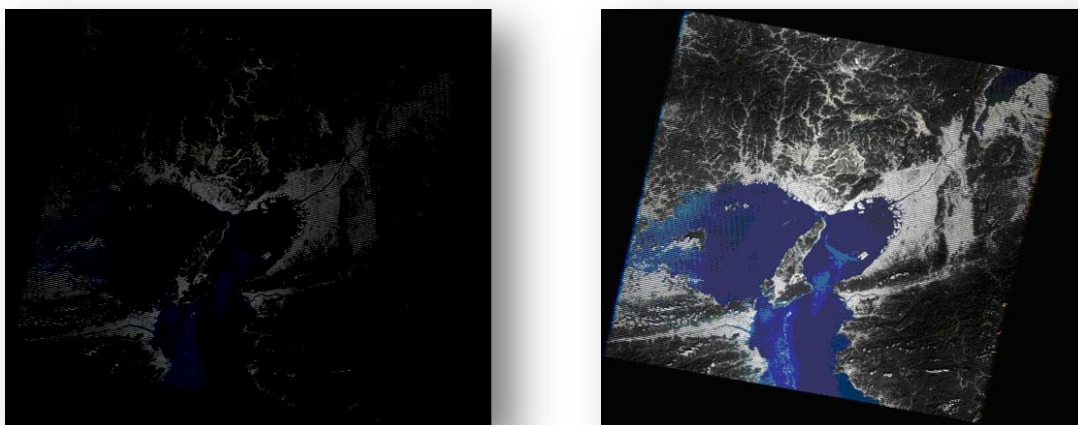
2.10.3.3 Βελτίωση (ενίσχυση) της εικόνας

Μετά την προεπεξεργασία των δεδομένων ο αναλυτής προβάλλει την εικόνα στην οθόνη για πληρέστερη οπτική εκτίμηση των δεδομένων ή παράγει την εικόνα πάνω στο φωτογραφικό χαρτί εφόσον αποφασίζει να ακολουθήσει την κλασική φωτοερμηνεία. Σημειώνεται ότι αναλογικά δεδομένα (εικόνες) παράγονται και από τους σταθμούς διανομής. Στις περιπτώσεις λοιπόν αυτές υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής μεθόδων και τεχνικών οι οποίες βελτιώνουν την οπτική εμφάνιση της εικόνας και διευκολύνουν την φωτοερμηνεία. Η διαδικασία αυτή λέγεται βελτίωση ή ενίσχυση της εικόνας (image enhancement). Η βελτίωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί τόσο στα ψηφιακά δεδομένα όσο και στα αναλογικά (εικόνες). Στην πρώτη περίπτωση όμως οι δυνατότητες είναι σαφώς μεγαλύτερες. (Καρτέρης Μ,1999)

2.10.3.4 Βελτίωση (ενίσχυση) της αντίθεσης της εικόνας

Μια, από τις συνηθέστερες βελτιώσεις που γίνονται στα δορυφορικά δεδομένα για να βελτιωθεί η οπτική εμφάνιση της εικόνας και να διευκολυνθεί η λήψη αποφάσεων είναι η λεγόμενη βελτίωση (ενίσχυση) της αντίθεσης της εικόνας. Η αντίθεση αναφέρεται στο εύρος των τιμών της λαμπρότητας (τόνοι του γκρι) που υπάρχουν στην εικόνα. Δηλαδή, έστω ότι το εύρος των αρχικών τιμών λαμπρότητας των εικονοστοιχείων της εικόνας κυμαίνονται μεταξύ 60 (αντιστοιχεί σε σκούρο τόνο του γκρι στην ασπρόμαυρη εικόνα) και 158 (αντιστοιχεί σε ανοικτό τόνο του γκρι στην ίδια εικόνα). Αν υπάρχει η δυνατότητα το εύρος αυτό να διευρυνθεί και να γίνει από 0 (εντελώς μαύρο) ως 255 (εντελώς άσπρο) τότε πολλές πληροφορίες οι οποίες έχουν συμπιεστεί στην πρώτη εικόνα θα εμφανιστούν στην δεύτερη βελτιωμένη εικόνα γιατί θα ενισχυθούν οι μικρό αντιθέσεις μεταξύ των τόνων του γκρι. Οι μέθοδοι βελτίωσης της εικόνας μεταβάλλουν τις αρχικές τιμές λαμπρότητας των εικονοστοιχείων και δημιουργούν μια νέα σειρά τιμών οι οποίες καταλαμβάνουν το ολικό εύρος των 256 (0-255) τιμών λαμπρότητας (τόνων του γκρι). Η απλούστερη μέθοδος ενίσχυσης της εικόνας είναι η γραμμική βελτίωση. Σε αυτήν οι αρχικές ψηφιακές τιμές λαμπρότητας μετατρέπονται γραμμικά. (ομοιόμορφα) σε νέα κατανομή με τη χρησιμοποίηση νέων συγκεκριμένων ελάχιστων και μέγιστων τιμών. Εννοείται βέβαια ότι

όλες οι ενδιαμέσες τιμές λαμπρότητας κλιμακώνονται αναλογικά μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής. Για τον επιτυχή χειρισμό και μετατροπή των τιμών, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η έκθεση και εξέταση του ιστογράμματος αυτού, το οποίο περιγράφει τη στατιστική κατανομή των επιπέδων του γκρι. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι το ήμισυ του εύρους των τελικών τιμών αφιερώνεται ακριβώς στο ήμισυ του εύρους των αρχικών τιμών, ανεξάρτητα της αχνότητας που παρουσιάζουν. Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα τιμές λαμπρότητας (τόνοι του γκρι) οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλη συχνότητα, δηλαδή αντιστοιχούν σε επικρατούσες κατηγορίες αντικειμένων, να συμπιέζονται κατά κάποιο τρόπο έναντι των σπανιότερα εμφανιζόμενων κατηγοριών. Το πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί αν με βάση το ιστογράμμα γίνει τμηματική γραμμική διόρθωση. Δηλαδή αν το εύρος των αρχικών τιμών χωριστεί πχ. σε δυο τμήματα. και το καθένα καταλάβει διαφορετικό εύρος στη νέα κατανομή.



Εικόνα 2.14 :Εικόνα ETM+ πριν και μετά την εφαρμογή βελτίωσης αντίθεσης

πηγή: NASA, Photo gallery 2010

Μια δεύτερη μέθοδος, η οποία είναι χρήσιμη σε πολλές περιπτώσεις, είναι η μη γραμμική διόρθωση η οποία ονομάζεται ιστογραμμική εξισορρόπηση. Η διόρθωση αυτή αυτόματα μειώνει την αντίθεση στις πολύ ανοικτές και πολύ σκούρες περιοχές της εικόνας και βελτιώνει σημαντικά τα μέσα επίπεδα των τιμών λαμπρότητας (μέσα επίπεδα του τόνου του γκρι) επεκτείνοντας τα σε μεγαλύτερο εύρος της κλίμακας 0–255. Εκτός από τις παραπάνω βελτιώσεις υπάρχουν και οι ειδικές τμηματικές βελτιώσεις οι οποίες βελτιώνουν ορισμένα τμήματα της εικόνας. Για παράδειγμα η κυκλική βελτίωση διαιρεί τις αρχικές τιμές λαμπρότητας σε πολλά μικρά τμήματα, κάθε ένα από τα οποία υπόκειται σε παρόμοιες βελτιώσεις. Σε άλλη περίπτωση (πχ. όταν υπάρχει γη και νερό) είναι δυνατό να βελτιωθεί η εικόνα που αντιστοιχεί στη γη και να συμπιεστούν οι υδάτινες λεπτομέρειες ή να συμπιεστούν οι γήινες λεπτομέρειες και να βελτιωθούν οι υδάτινες. (Καρτέρης Μ,1999)

2.10.3.5 Μέθοδος βελτίωσης με σύνθετες ψευδοέγχρωμες εικόνες του θεματικού χαρτογράφου

Οι σύνθετες ψευδοέγχρωμες εικόνες προέρχονται από το συνδυασμό τριών διαφορετικών απλών φασματικών καναλιών. Η ψευδοέγχρωμη εικόνα είναι μια εικόνα όπου τα χρώματα της δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα αλλά χρησιμοποιούνται από το χρήστη με σκοπό να ερμηνεύσει μια δορυφορική εικόνα. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα ανάλογα με τον αντίστοιχο συνδυασμό των τριών από τα φασματικά κανάλια του θεματικού χαρτογράφου για καλύτερη ανάδειξη και συνεπώς ανάλυση και ερμηνεία διαφορετικών χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας που ενδιαφέρουν κάθε ερευνητή ξεχωριστά.

Για παράδειγμα, ο συνδυασμός των καναλιών 1, 2 και 3 του ορατού δίνει μια εικόνα για τη γήινη επιφάνεια όπως θα την έβλεπε το ανθρώπινο μάτι από το δορυφόρο. Εάν όμως η περιοχή που εξετάζεται παρουσιάζει κατά τη στιγμή της λήψης υψηλό ποσοστό υγρασίας τότε οι τρεις αυτές ζώνες δεν δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα λόγω της μεγάλης διάχυσης που υφίσταται η μικρού μήκους ακτινοβολία. Στην περίπτωση αυτή χρειάζεται να συνδυαστούν κανάλια με μεγαλύτερο μήκος κύματος που επηρεάζονται λιγότερο.

Ο συνδυασμός των καναλιών 4, 5 και 7 (ως κόκκινο - πράσινο - μπλε/RGB) δίνει καλά αποτελέσματα για τροπικές περιοχές γιατί επιδεικνύει καλή χρωματική αντίθεση, μείωση των νεφών και καλύτερη έκφραση των γεωλογικών χαρακτηριστικών. Επίσης στο συνδυασμό αυτό, όπως και στο συνδυασμό 4, 3, 2 (ως RGB) είναι πιο ευδιάκριτα τα χαρακτηριστικά της βλάστησης λόγω της μεγαλύτερης ανάκλασης που έχει αυτή στο κοντινό υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τέλος ένας καλός συνδυασμός που χρησιμοποιείται ευρύτερα ιδιαίτερα σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές για γεωλογικές κυρίως εφαρμογές είναι αυτός των καναλιών 7, 4, 2 (ως RGB).

Οι συνήθεις συνδυασμοί φασματικών καναλιών του LANDSAT TM (ETM+) 7 είναι :

- ☛ **3,2,1 RGB** Αυτός ο συνδυασμός καναλιών είναι κοντά στο φυσικό χρώμα που μπορούμε να πάρουμε από μια εικόνα Landsat ETM. Είναι χρήσιμος για μελέτη υδατικών ενδιαμιμάτων.
- ☛ **4,3,2 RGB** Συνδυασμός που περιλαμβάνει το κοντινό υπέρυθρο κανάλι. Τα όρια των υδάτων και διαφορετικοί τύποι βλάστησης είναι πιο ευδιάκριτα. Ήταν ο πιο δημοφιλής συνδυασμός για τις εικόνες του Landsat MSS.
- ☛ **4,5,3 RGB** Διαφορετικοί τύποι βλάστησης διακρίνονται ευκολότερα και η επαφή νερού-εδάφους είναι ξεκάθαρη. Είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος συνδυασμός φασματικών καναλιών των εικόνων Landsat.
- ☛ **7,4,2 RGB** Έχει παρόμοιες ιδιότητες με τον προηγούμενο συνδυασμό με μεγαλύτερη διαφορά το χρώμα της βλάστησης που φαίνεται πράσινο. Επιλέχθηκε από τη NASA για τη δημιουργία του μωσαϊκού του πλανήτη από εικόνες Landsat.

Η χρήση του συνδυασμού κατάλληλων φασματικών καναλιών μιας δορυφορικής απεικόνισης, με τη δημιουργία έγχρωμων εικόνων, μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό

χαρακτηριστικών στο έδαφος, στο νερό ή στη βλάστηση. Όταν βλέπουμε μια δορυφορική εικόνα, συχνά αυτή μοιάζει με μια έγχρωμη εικόνα. Η αρχική σκέψη είναι ότι ο δορυφόρος πήρε αυτήν την εικόνα χρησιμοποιώντας ένα όργανο σαν την ψηφιακή κάμερα. Στο δορυφόρο Landsat, που χρησιμοποιεί πολυφασματικό αισθητήρα, η πληροφορία που λαμβάνεται σε διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός, συλλέγεται όπως και σε μια ψηφιακή κάμερα αλλά με δυο βασικές διαφορές. Η πρώτη είναι ότι το εύρος του ορατού φάσματος που μπορεί να εντοπιστεί είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό που μπορεί να εντοπιστεί από το ανθρώπινο μάτι. Επιπρόσθετα, μπορούν να συλλεχθούν δεδομένα από το υπέρυθρο και το θερμικό κανάλι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η δεύτερη βασική διαφορά είναι ότι, σε αντίθεση με τον αυτοματοποιημένο συνδυασμό των καναλιών για την δημιουργία εικόνας, στη δορυφορική απεικόνιση η πληροφορία από κάθε ξεχωριστό κανάλι, μπορεί να αποθηκευτεί σε ξεχωριστή εικόνα. Όταν παρατηρούμε τις εικόνες των μεμονωμένων καναλιών, αυτή μοιάζει με μια ασπρόμαυρη ψηφιακή εικόνα. Εξαρτάται από τους αναλυτές εικόνας, να καθορίσουν τον ανάλογο συνδυασμό καναλιών για τη δημιουργία έγχρωμων εικόνων. Όλα τα χρώματα σε μια ψηφιακή οθόνη αποτελούνται από το συνδυασμό του κόκκινου, πράσινου και μπλε φωτός, τα οποία χαρακτηρίζονται ως βασικά χρώματα, αφού όλα τα χρώματα μπορούν να οριστούν ως συνδυασμός των παραπάνω, όπως επίσης και οι αποχρώσεις του γκρι. Ο καθορισμός των βασικών χρωμάτων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να αντιπροσωπεύσουν ένα συγκεκριμένο κανάλι είναι ένα θέμα του πως μια εικόνα φαίνεται αν και κάποιοι άνθρωποι είναι πιο ευαίσθητοι σε ορισμένα χρώματα. Για παράδειγμα, κάποιοι βλέπουν περισσότερες λεπτομέρειες στο κόκκινο χρώμα. (Center of Biodiversity and Conservation, 2004).

2.10.3.6 Βελτίωση εικόνας στον πολυφασματικό χώρο

Η πολυφασματική φύση των δεδομένων της Τηλεπισκόπησης μας επιτρέπει να κάνουμε μετασχηματισμούς των πολυδιάστατων δεδομένων της εικόνας και να δημιουργήσουμε νέες εικόνες ή νέους διαύλους (κανάλια). Η μετασχηματισμένη εικόνα μπορεί να έχει καλύτερες ιδιότητες από την αρχική, επειδή ορισμένα χαρακτηριστικά της θα είναι πιο ευδιάκριτα ακόμη και όταν χρησιμοποιείται μικρότεροι αριθμός διαστάσεων (καναλιών).

Οι αριθμητικές πράξεις της πρόσθεσης, της αφαίρεσης, του πολλαπλασιασμού και της διαίρεσης στις τιμές Z του επιπέδου του γκρι (φωτεινότητας) των ψηφίδων από δύο κανάλια μιας εικόνας μπορούν να σχηματίσουν μια νέα εικόνα. Ο πολλαπλασιασμός δεν είναι, όμως, τόσο χρήσιμος όσο οι υπόλοιπες αριθμητικές πράξεις. Ένας πολυφασματικός χώρος είναι ένα σύστημα αναφοράς των συντεταγμένων στον οποίο κάθε άξονας αντιστοιχεί στις τιμές του επιπέδου του γκρι για συγκεκριμένη φασματική ζώνη (δίαυλο). Ο λόγος:

$$R(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^p z_k a_k}{\sum_{k=1}^p z_k b_k} \quad (1)$$

Είναι ο λόγος των τιμών ψηφίδων στη θέση (i, j) , όπου $(a$ και $b)$ είναι κάποιες σταθερές και P είναι ο αριθμός των φασματικών ζωνών (διαύλων) της εικόνας. Ένας συνηθισμένος

λόγος τιμών του γκρι που χρησιμοποιείται στην Τηλεπισκόπηση για τον χαρακτηρισμό της βλάστησης και της ποιότητάς της είναι ο ακόλουθος:

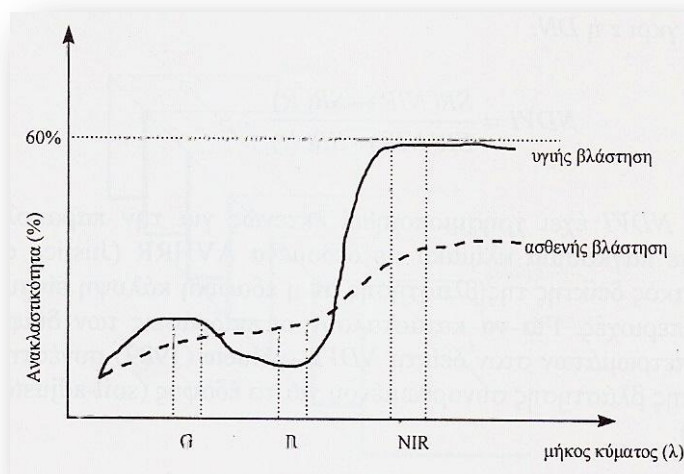
$$Rv = \frac{z(NIR)}{z(R)} \quad (2)$$

Ο λόγος Rv τείνει να βελτιώνει την εμφάνιση της βλάστησης στην εικόνα και ονομάζεται **δείκτης βλάστησης** (vegetation index). Επίσης άλλοι λόγοι τιμών του γκρι είναι :

$$R_{BG} = \frac{z(B)}{z(G)}, \quad R_{GR} = \frac{z(G)}{z(R)}, \quad R_{R,NIR} = \frac{z(R)}{z(NIR)}, \quad (3)$$

όπου B είναι το ιώδες (Blue), G το πράσινο (Green), R το ερυθρό (Red), και NIR είναι το εγγύς υπέρυθρο (Near Infrared). Σημειώστε ότι ο λόγος των τιμών του γκρι, όπως στις παραπάνω σχέσεις, ελαττώνει τις επιδράσεις της σκίασης στην εικόνα.

Για μια υγιή βλάστηση η διαφορά της φασματικής ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο (NIR) και στο ερυθρό (R) είναι αρκετά υψηλή, όπως φαίνεται και από την παρακάτω γραφική παράσταση :



Εικόνα 2.15 :Τιμές ανακλαστικότητας για δυο τύπους βλάστησης
πηγή: Μέρτικας Σ.2006

Αν δημιουργήσουμε δυο λόγους της φασματικής ανακλαστικότητας SR (spectral reflectance) και όχι των τιμών z του επιπέδου του γκρι μεταξύ της υγιούς και της ασθενούς βλάστησης, στο εγγύς υπέρυθρο και στο ερυθρό έχουμε :

$$R_{v,normal} = \frac{SR_{NIR}}{SR_R}, \quad R_{v,unhealthy} = \frac{SR_{NIR}}{SR_R}$$

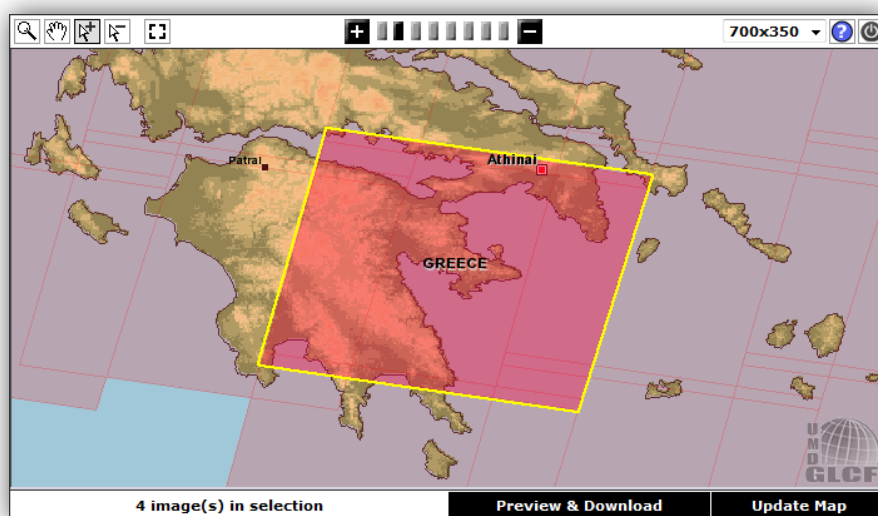
Τότε μπορούμε να διακρίνουμε την κατάσταση της υγείας μεταξύ δυο τύπων βλάστησης, επειδή συμβαίνει το εξής :

$$R_{v,normal} > R_{v,unhealthy}$$

3 Ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων

3.1 Επιλογή και κριτήρια δορυφορικών δεδομένων

Για τη μελέτη της περιοχής αυτής, χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες τύπου LANDSAT TM+. Στο διαδίκτυο, υπάρχουν δορυφορικές εικόνες τέτοιου τύπου οι οποίες είναι διαθέσιμες να διαμοιραστούν μέσω μιας δικτυακής εφαρμογής επιλογής της κατάλληλης. Στην ιστοσελίδα GLOBAL LAND COVER FACILITY (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/>) διατίθενται μέσω μιας εφαρμογής η μεταφόρτωση των δορυφορικών εικόνων. Οι εικόνες του τύπου LANDSAT TM+ είναι εικόνες από δορυφόρους Landsat 4 & 5, με 7 κανάλια, εύρος συχνότητας 0,45-2,35μm και μέγεθος κυψελίδας (pixel) 30m. Με τη βοήθεια της εφαρμογής μεταφόρτωσης που χωρίζει τη γη σε παραλληλόγραμμα λήψης δορυφορικών εικόνων, εντοπίστηκε το παραλληλόγραμμο που απεικονίζει την εξεταζόμενη περιοχή.



Εικόνα 3.1 :
πηγή: Μέρτικας Σ.2006

Εμφανίστηκαν έπειτα οι διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες για την συγκεκριμένη περιοχή λήψης. Να σημειωθεί ότι η περιοχή κάλυψης της εικόνας LANDSAT είναι αρκετά μεγαλύτερη από την εξεταζόμενη περιοχή στην μελέτη αυτή, οπότε κρίνεται αναγκαία η επεξεργασία κοπής και προσαρμογής της στα επόμενα κεφάλαια. Από τις υπάρχουσες δορυφορικές εικόνες επιλέχτηκαν προς χρήση δύο.

Η επιλογή των εικόνων έγινε με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά είναι τα παρακάτω :

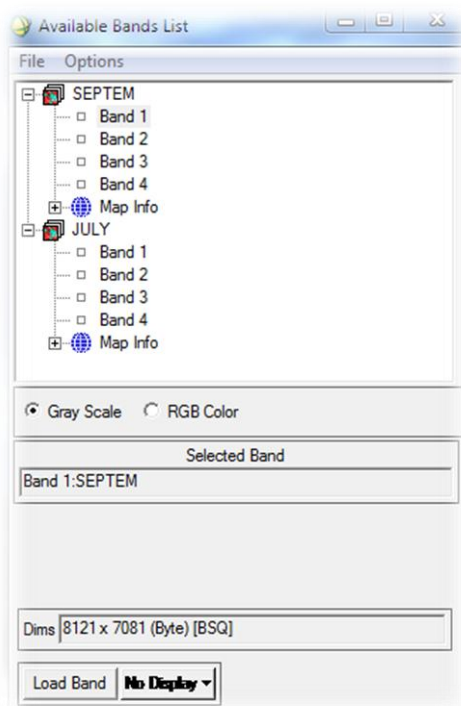
- ✓ Οι εικόνες έπρεπε να έχουν μεταξύ τους μια χρονική διαφορά τουλάχιστον 5 ετών.
- ✓ Οι εικόνες έπρεπε να έχουν ληφθεί από διατάξεις λήψης εικόνων ίδιας η όμοιας τεχνολογίας και να περιέχουν κανάλια φασμάτων. Οι δορυφόροι τύπου LANDSAT 4,5 έχουν όμοιες πολυφασματικές εικόνες, συγκρίσιμες και με ίδιο αριθμό φασματικών καναλιών.
- ✓ Οι εποχές λήψης του χρόνου έπρεπε να είναι συναφής έτσι ώστε να υπάρχει ταύτιση στην εποχική βλάστηση και στις εποχικές καλλιεργητικές εργασίες.

- ✓ Οι δορυφορικές εικόνες έπρεπε να είναι όσο το δυνατό διαυγείς, ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα στην ψηφιακή ανάλυση.
- ✓ Οι εικόνες έπρεπε να έχουν ληφθεί σε ακριβώς όμοιες συντεταγμένες, να είναι δηλαδή το ίδιο παραλληλόγραμμο λήψης.

Στηριζόμενοι στα ανωτέρω κριτήρια, επιλέχθηκαν για ψηφιακή ανάλυση δύο δορυφορικές εικόνες τύπου LANDSAT TM, με ημερομηνίες λήψης, **10 Σεπτεμβρίου 2003 & 23 Ιουλίου 2009**.

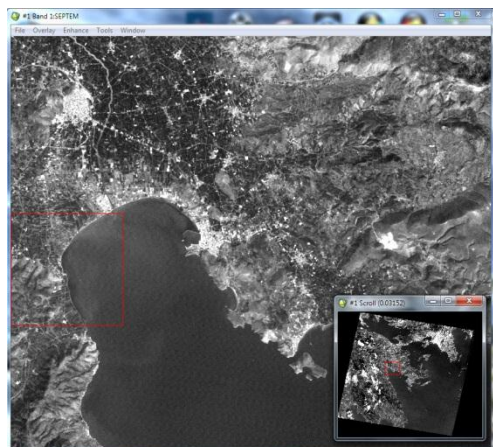
3.2 Επιλογή κατάλληλων καναλιών (Bands) προς χρήση

Όπως αναφέρθηκε στη βιβλιογραφία, μια δορυφορική εικόνα τύπου LANDSAT TM+, παριστάνεται σε 7 συνολικά κανάλια. Τα λογισμικά επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων αναλύουν και ανοίγουν ξεχωριστά κάθε κανάλι. Για την συγκεκριμένη μελέτη και για τις ανάγκες της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων με στόχο την εξαγωγή αποτελεσμάτων διαχρονικών αλλαγών, θα χρησιμοποιηθούν το πρώτα 4 κανάλια. Δηλαδή θα 3 ορατά κανάλια ιώδες πράσινο, πράσινο, ερυθρό και το υπέρυθρο κανάλι, εγγύς υπέρυθρο.



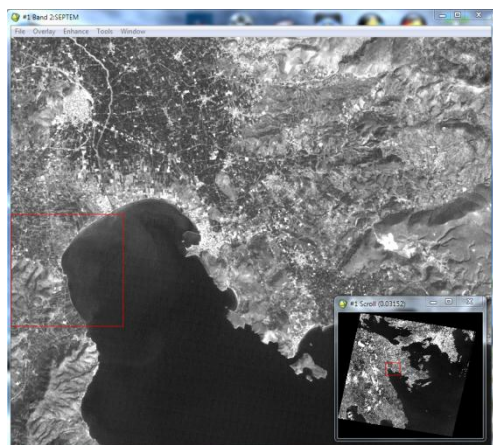
Από τις πληροφορίες των 7 καναλιών του αισθητήρα TM κρατήθηκαν οι πρώτες 4, για να ξεκινήσουν οι επεξεργασίες.

Εικόνα 3.2 : Φόρτωση εικόνων Landsat TM στο λογισμικό επεξεργασίας και διαχωρισμός των καναλιών
πηγή: ENVI 4.5 IDL

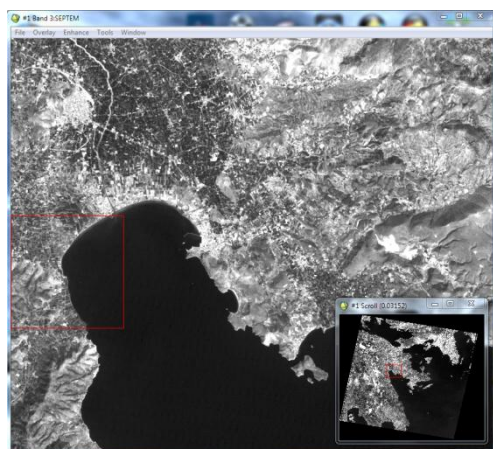


Εικόνα 3.3:

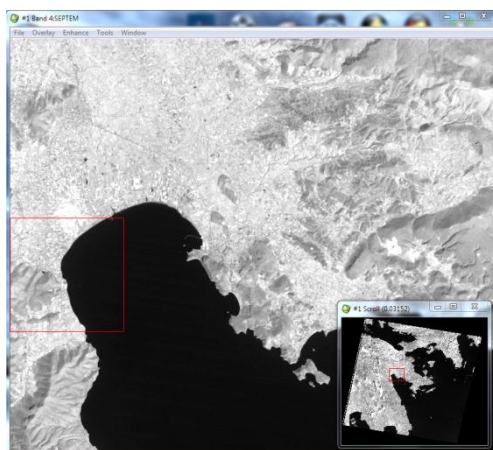
BAND 1 – Gray Scale



BAND 2 – Gray Scale



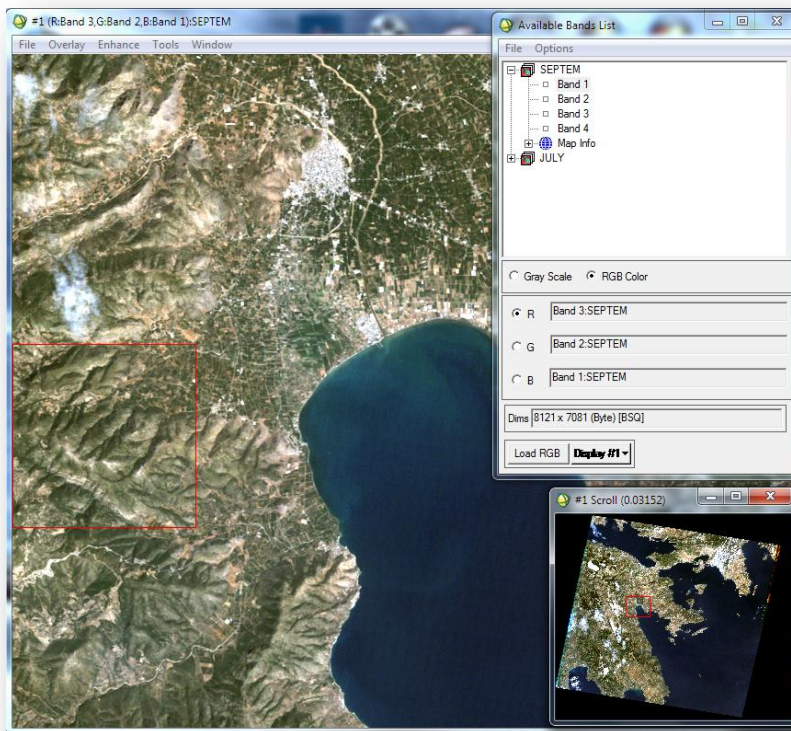
BAND 3 – Gray Scale



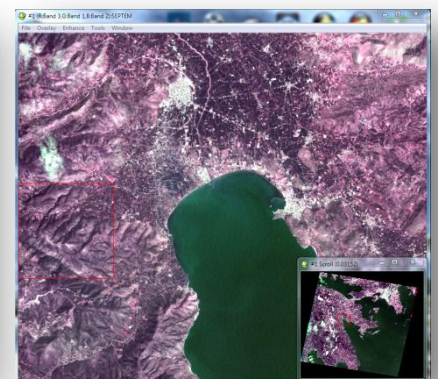
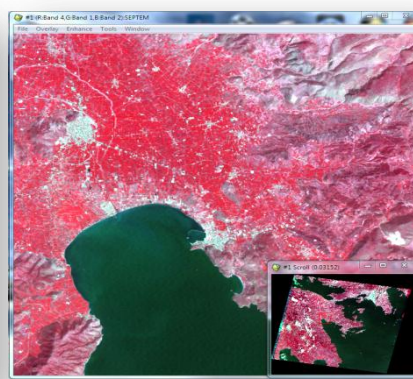
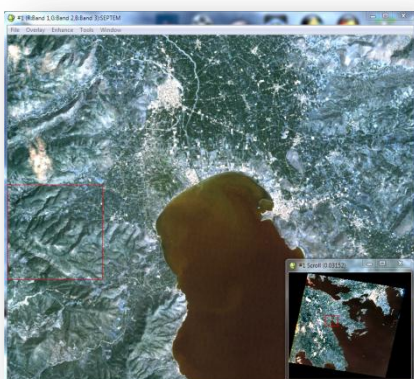
BAND 4 – Gray Scale

πηγή: ENVI 4.5 IDL

Μία δορυφορική εικόνα στο λογισμικό επεξεργασίας, μπορεί να προβληθεί είτε σαν ασπρόμαυρη (**Gray Scale**) το κάθε κανάλι ξεχωριστά, είτε σαν έγχρωμη (**RGB**) της οποίας η προβολή εξαρτάται από το συνδυασμό χρωμάτων και καναλιών που θα επιλεγεί. Ανάλογα με την αντιστοίχιση των καναλιών στα χρώματα προβάλλεται και διαφορετική εικόνα στο οπτικό πεδίο. Μονάχα ένας συνδυασμός είναι ο πραγματικός (true color) ενώ όλοι οι άλλοι είναι οι λεγόμενοι ψευδέχρωμοι συνδυασμοί που χρησιμοποιούνται για να τονιστεί κάποια συγκεκριμένη πληροφορία απεικόνισης.



Εικόνα 3.3 : Φόρτωση εικόνας Landsat TM στο λογισμικό επεξεργασίας και διαχωρισμός των καναλιών σε RGB TRUE COLOR και σε ψευδέχρωμες μορφές
πηγή: ENVI 4.5 IDL



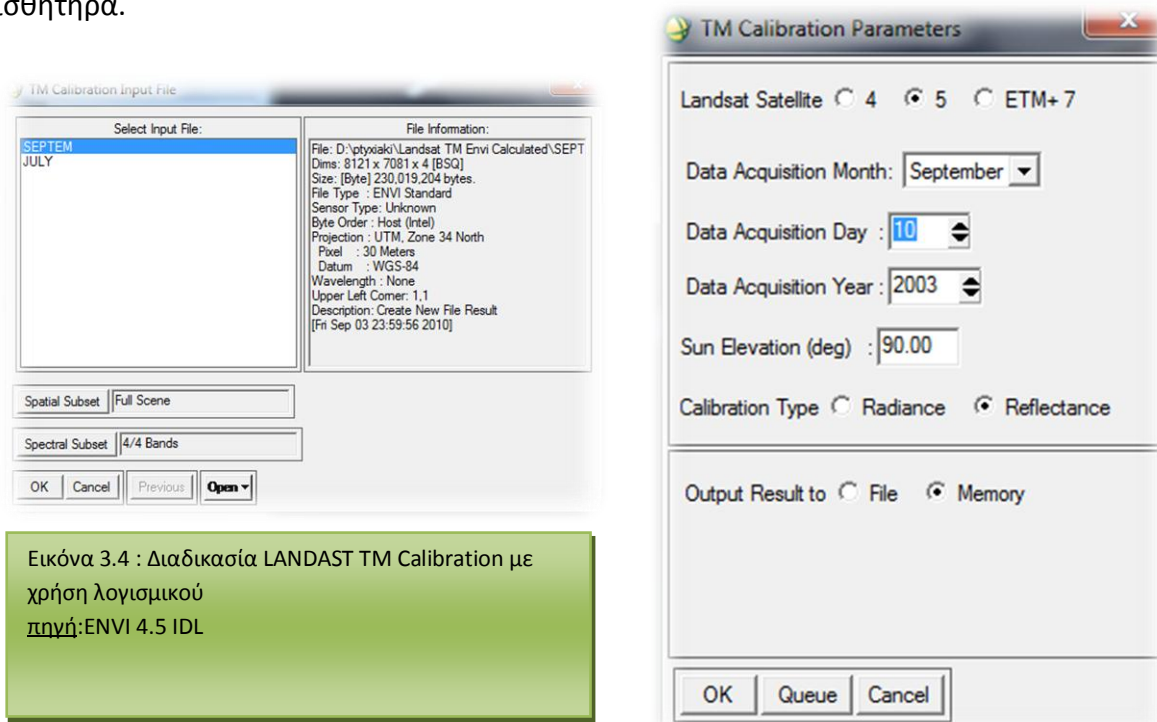
3.3 Γεωμετρική διόρθωση και γεωαναφορά δορυφορικών εικόνων

Μια αναγκαία ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων για έγκυρο αποτέλεσμα μετά από σύγκριση, είναι η γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση.

Η γεωμετρική διόρθωση έχει σαν σκοπό την μετατροπή των εικονοσυντεταγμένων σε πραγματικές συντεταγμένες εδάφους. Για να επιτευχθεί αυτό, επιλέχθηκαν σημεία εμφανή τόσο στην εικόνα όσο και στον αντίστοιχο χάρτη της περιοχής μελέτης (Επίγεια Σημεία Ελέγχου - Ground Control Points) με γνωστές συντεταγμένες εδάφους. Με τη χρήση του λογισμικού ENVI-ITTS 4.5 και βάσει των σημείων αυτών πραγματοποιήθηκε η γεωμετρική διόρθωση. Η ακρίβεια των δορυφορικών εικόνων τύπου LANDSAT TM+ είναι στα 30 μέτρα ανά εικονοστοιχείο, με το δεδομένο αυτό τα επίγεια σημεία επιλέχτηκαν σε απόσταση τουλάχιστον 30 μέτρα μεταξύ τους. Τα Gps χειρός, δίδουν ακρίβεια περίπου στο 1 μέτρο άρα θεωρούνται έγκυρα και εύστοχα στο να καταγράψουν μια θέση και αυτή να αποτελέσει ύστερα ένα εικονοστοιχείο μιας εικόνας LANDSAT TM+. Με επί τόπου παρατήρηση και καταγραφή γνωστοποιήθηκαν οι συντεταγμένες 12 σημείων τα οποία θα εισαχθούν στο λογισμικό για τη διαδικασία γεωαναφοράς.

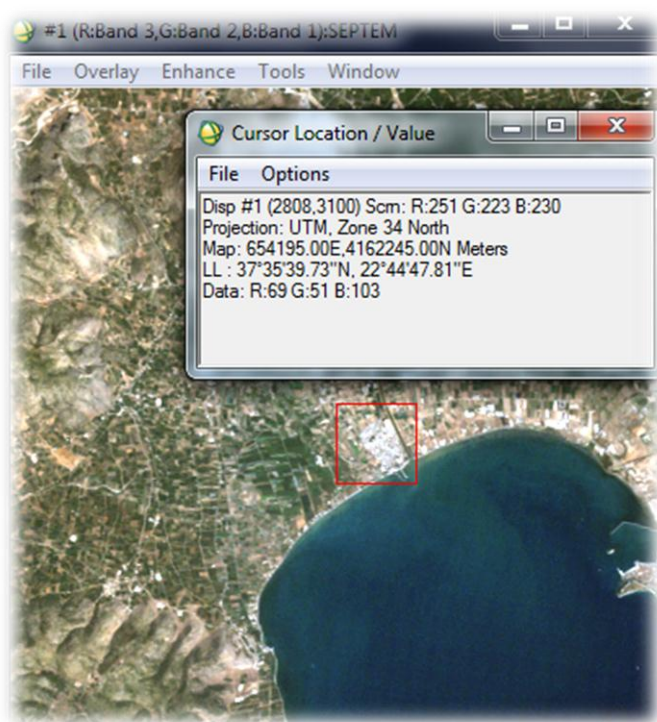
Να σημειωθεί ότι οι εικόνες LANDSAT TM+ είναι γεωαναφερόμενες σε πρώτο στάδιο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για να αυξηθεί η ακρίβεια (συντελεστής RMS).

Στην κεντρική οθόνη του λογισμικού, από το μενού "BASIC TOOLS", και την επιλογή "PREPROCESSINGS", επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί η εντολή "LANDSAT TM CALIBRATION". Επιλέχτηκαν διαδοχικά κάθε εικόνα και ρυθμίστηκαν η ημερομηνία, οι μοίρες και ο τύπος αισθητήρα.



Εικόνα 3.4 : Διαδικασία LANDAST TM Calibration με χρήση λογισμικού
πηγή:ENVI 4.5 IDL

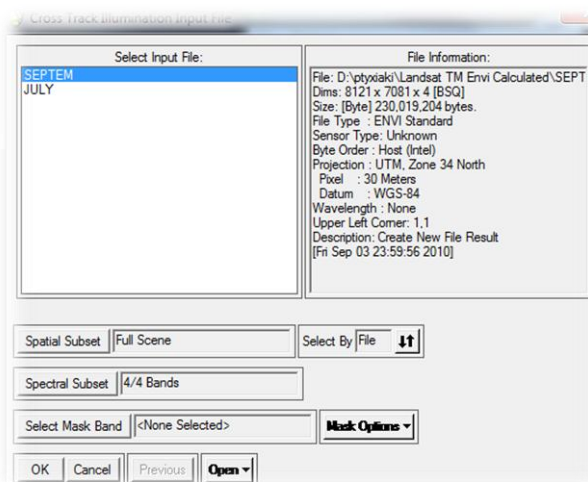
Έπειτα εισήχθηκα η βάση με τα σημεία ενδιαφέροντος (ROI) τα οποία είχαν μετρηθεί με το gps παλάμης και παρήχθηκαν 2 νέες εικόνες γεωμετρικά διορθωμένες και γεωαναφερόμενες. Το χαρακτηριστικό των νέων εικόνων πλέον, ήταν ότι το σταυρόνημα συνόδευε ένα παράθυρο το οποίο έγραφε την ακριβή UTM γεωγραφική θέση του, σε κάθε σημείο της εικόνας.



Εικόνα 3.5 : Προβολή Γεωαναφερμένης εικόνας παράθυρο “Cursor Location/Value” καταγράφει τις γεωγραφικές συντεταγμένες σε UTM κάθε σημείου που επισκέπτεται στην εικόνα, το σταυρόνημα του προγράμματος.
πηγή:ENVI 4.5 IDL

3.4 Ψηφιακή διόρθωση λαμπρότητας δορυφορικής εικόνας

Βλέποντας από ψηλά τη γη, μια μέρα ηλιόλουστη, παρατηρείται μια λαμπρότητα η οποία οφείλεται σε αντανάκλασεις αντικειμένων, κτηριακών κατασκευών, υαλοπινάκων και

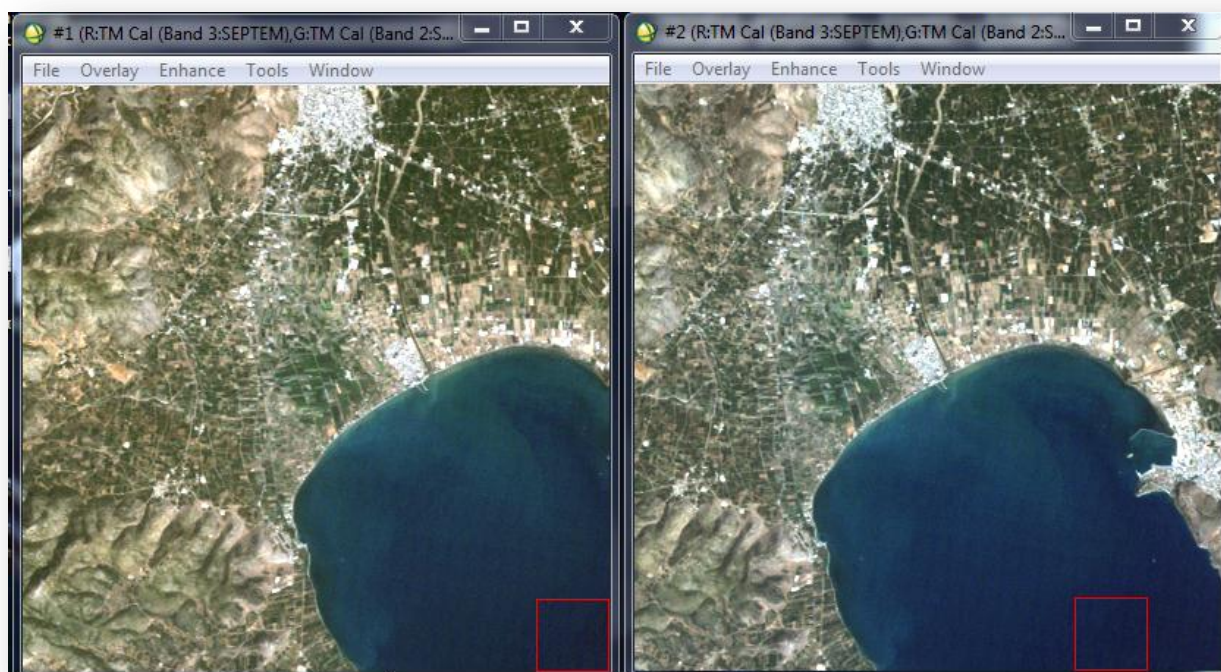


Εικόνα 3.6 : Διαδικασία εφαρμογής διόρθωσης λαμπρότητας “Cross track Illumination”
πηγή:ENVI 4.5 IDL

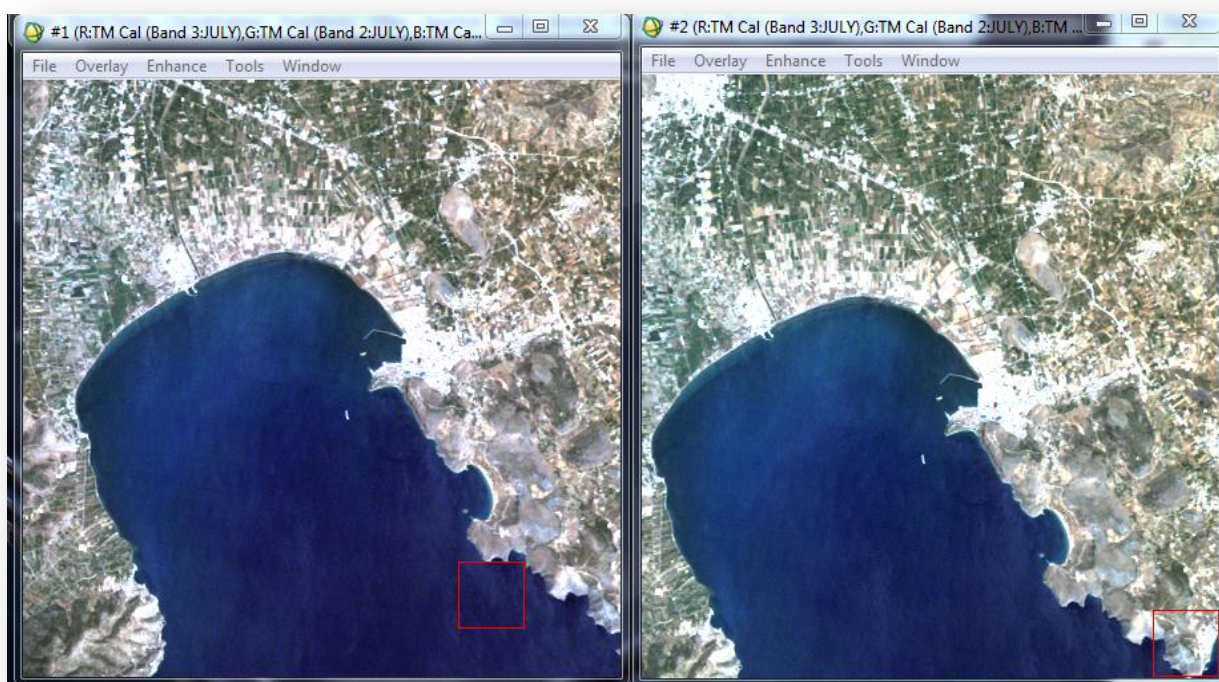
καθρεπτισμούς λιμνών, ποταμιών και θαλασσών. Οι καθρεπτισμοί αυτοί εμφανίζονται στις εικόνες LANDSAT TM+ σαν τμήματα με λαμπρότητα τα οποία αλλοιώνουν την πληροφορία των pixels. Για να ξεπεραστεί αυτή η απώλεια και να αυξηθεί η αξιοπιστία των πληροφοριών των εικόνων, εφαρμόστηκε από το λογισμικό ENVI 4.5 η ψηφιακή επεξεργασία “Cross Track Illumination”, και στις 2 εικόνες. Δημιουργήθηκαν εκ νέου 2 εικόνες

στις οποίες βελτιώθηκαν τα pixels που χάνονταν από τις αντανάκλασεις. Ακόμα και με μια απλή οπτική παρατήρηση, η βελτίωση

είναι φανερή, στον τονισμό των χρωμάτων της εικόνας :



Εικόνα 3.7: : Προβολή εικόνας Σεπτεμβρίου, πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) από την διόρθωση Λαμπρότητας
πηγή:ENVI 4.5 IDL



Εικόνα 3.8: : Προβολή εικόνας Ιουλίου, πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) από την διόρθωση Λαμπρότητας
πηγή:ENVI 4.5 IDL

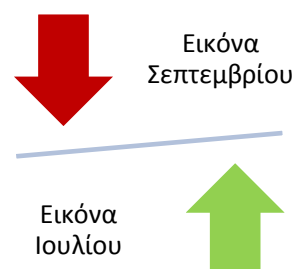
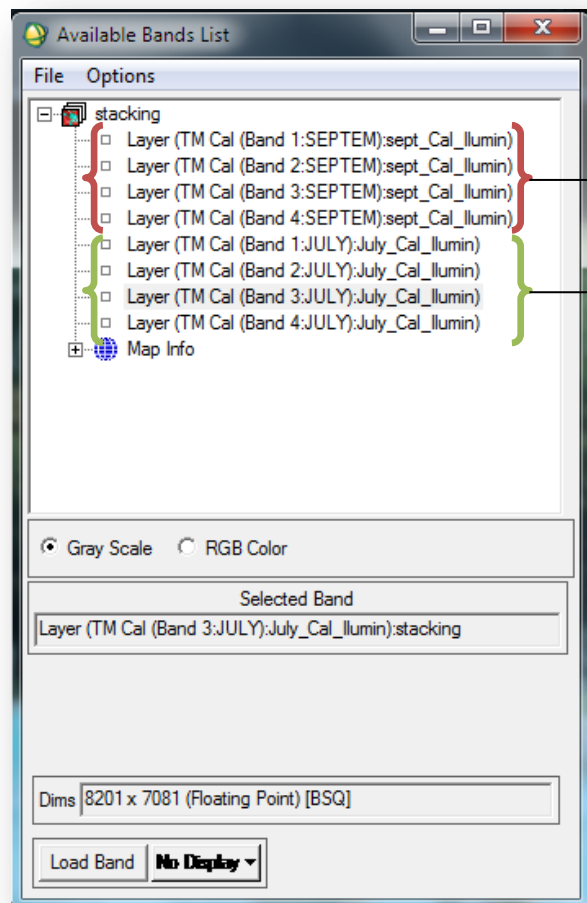
3.5 Κοπή δορυφορικών εικόνων στην περιοχή ενδιαφέροντος

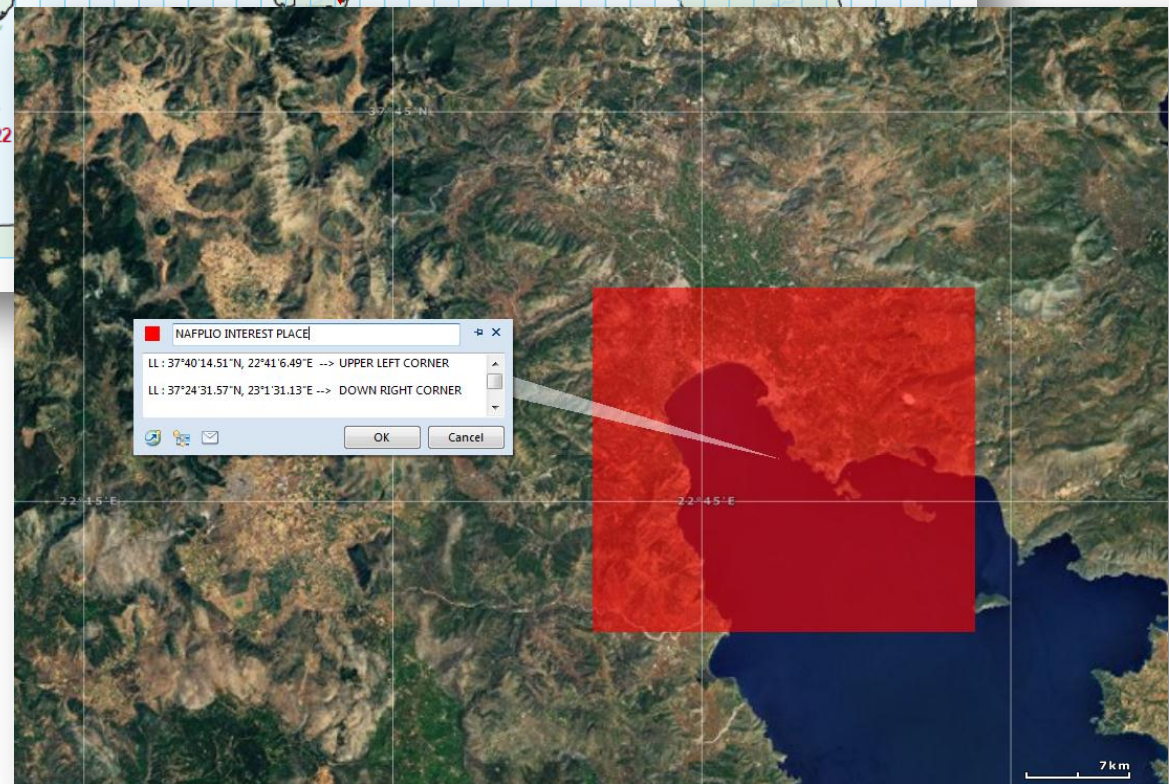
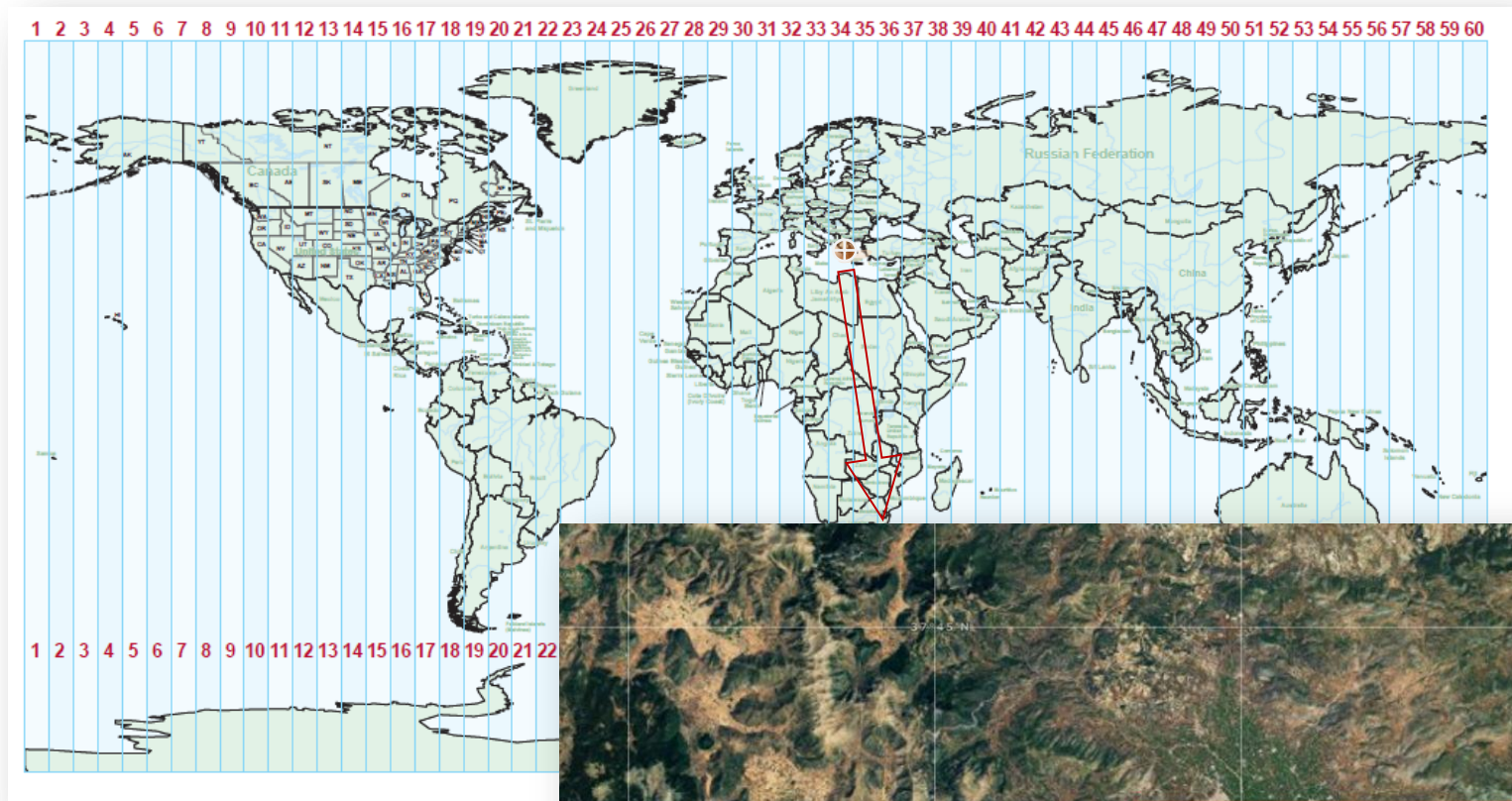
Η δορυφορικές εικόνες τύπου LANDSAT TM+ που επεξεργάστηκαν ψηφιακά απεικονίζουν μια περιοχή της ευρύτερης Πελοποννήσου. Η διαχρονική μελέτη αλλαγών χρήσεων γης της εργασίας αυτής εστιάστηκε στην περιοχή του Ναυπλίου Αργολίδας. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίος ο μετασχηματισμός των εικόνων έτσι ώστε να απεικονίζουν αυστηρά την προς μελέτη περιοχή ώστε τα αποτελέσματα να αφορούν την συγκεκριμένη περιοχή.. Η κοπή των δορυφορικών εικόνων έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού ENVI ITT 4.5, με τη διαδικασία “BASIC TOOLS” – “RESIZE DATA SPATIAL”.

Οι δορυφορικές εικόνες που εξήχθησαν από την προηγούμενη επεξεργασία γεωαναφοράς και γεωμετρικής διόρθωσης έχουν το χαρακτηριστικό ότι κάθε ψηφίδα τους (pixel) συνοδεύεται από τις γεωγραφικές του συντεταγμένες UTM. Με βάση αυτή την ιδιότητα, έγινε η κοπή των εικόνων. Οριοθετήθηκε ένα παραλληλόγραμμο το οποίο περιείχε την περιοχή ενδιαφέροντος με βάση τις συντεταγμένες της εικόνας, στο άνω αριστερό σημείο και στο κάτω δεξί σημείο του. Μεγάλη σημασία, για την περαιτέρω ψηφιακή επεξεργασία είχε η λεπτομέρεια να ήταν οι 2 εικόνες όμοια κομμένες και να περιέχουν ακριβώς την ίδια περιοχή. Για το λόγο αυτό ακολουθήθηκε μια τεχνική συνένωσης και κοπής των εικόνων, αποκαλούμενη “LAYERS STACKING”.

Τα δυο αρχεία εικόνων Σεπτεμβρίου και Ιουλίου, ενώθηκαν σε ένα νέο αρχείο, το οποίο περιείχε πλέον 2 επίπεδα αλληλεπικάλυψης και 8 κανάλια. Το κάθε επίπεδο περιείχε μια

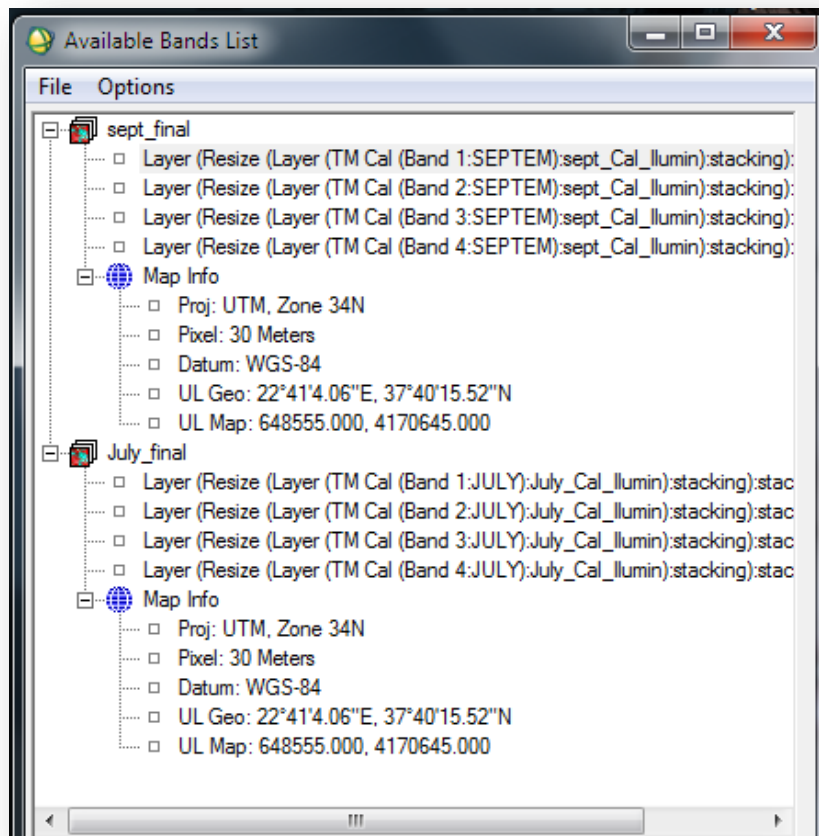
εικόνα, ενώ τα κανάλια ήταν από 1-4 της μιας εικόνα και από 5-8 της άλλης. Έτσι, ότι αλλαγές μεγέθους έγιναν στη νέα αυτή εικόνα, εφαρμόζονταν ταυτόχρονα και στα 2 επίπεδα που εμπεριείχε τις άλλες εικόνες. Από τη μελέτη του Γεωγραφικού Άτλα, βρέθηκαν για την περιοχή ενδιαφέροντος οι συντεταγμένες των ορίων του παραλληλογράμμου που την εμπεριέχουν ακριβώς. Αυτές απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα :





Η σύνθετη (Layer stacking) εικόνα επεξεργάστηκε με τη χρήση του ENVI 4.5 ITT , κόπηκε με βάση τις συντεταγμένες και το τελικό αποτέλεσμα ήταν μια σύνθετη εικόνα που απεικόνιζε την περιοχή του Ναυπλίου. Να σημειωθεί ότι η εικόνα αυτή διατηρούσε αναλλοίωτα τα χαρακτηριστικά, τις συντεταγμένες και την ανάλυση των αρχικών εικόνων LANDSAT TM+.

Ο διαχωρισμός της νέας αυτής κομμένης εικόνας και η παραγωγή των 2 απλών εικόνων Σεπτεμβρίου και Ιουλίου, αποτέλεσαν τις 2 τελικές εικόνες που θα προχωρούσαν στην διαδικασία επεξεργασίας



για την εξαγωγή χαρτών αλλαγών χρήσεως γης. Οι τελικές εικόνες αυτές ονομάστηκαν “sept_final” και “July_final” του Σεπτεμβρίου 2003 και Ιουλίου 2009 αντίστοιχα. Η ανάλυσή τους ήταν 30 μέτρα ανά ψηφίδα και περιείχαν τα γνωστά 4 κανάλια του αισθητήρα LANDAST 5 που αναφέρθηκαν, τα 3 χρωματικά(RGB) και το 1 υπέρυθρο (IR).

3.6 Ανακεφαλαίωση – Σύνοψη Γεωμετρικών επεξεργασιών δορυφορικών εικόνων LANDSAT TM+

Συνοψίζοντας, οι διαδικασίες ψηφιακής επεξεργασίας που εκτελέστηκαν ήταν οι εξής. Τα αρχικά δεδομένα ήταν 2 ψηφιακές δορυφορικές εικόνες που επιλέχτηκαν με συγκεκριμένα κριτήρια ομοιότητας από την ψηφιακή βάση LANDSAT TM+ . οι εικόνες αυτές, στη συνέχεια, διορθώθηκαν Γεωμετρικά προκειμένου να ξεπεραστεί το σφάλμα που αποδίδει ο αισθητήρας LANDSAT TM 4,5 και η γωνία της περιστροφής της γης. Έπειτα, οι εικόνες αυτές για να έχουν πλήρη ταύτιση με την πραγματική επιφάνεια της γης, γεωαναφέρθηκαν με ακρίβεια 30 μέτρων (όση και η διάσταση του εικονοστοιχείου των LANDSAT TM+). Μετά τη γεωαναφορά, κάθε σημείο στις δορυφορικές εικόνες είχε τις πραγματικές συντεταγμένες UTM της επιφανείας της γης. Πλέον, οι εικόνες ήταν απόλυτα ταυτισμένες με την

πραγματική επιφάνεια. Το επόμενο στάδιο επεξεργασιών, αφορούσε τη βελτίωση της ευκρίνειας των εικόνων καθώς και τον περιορισμό τους στην περιοχή ενδιαφέροντος. Οι εικόνες επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού ENVI 4.5 ITT με φίλτρα «cross track Illumination» τα οποία βελτίωσαν την ευκρίνεια αφαιρώντας το φαινόμενο της λαμπρότητας των αντανακλάσεων του ηλίου από τις γυαλιστερές επιφάνειες των κτισμάτων της περιοχής. Έπειτα, ένα τελευταίο στάδιο των ψηφιακών επεξεργασιών ήταν η κοπή των εικόνων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Οριοθετήθηκε γεωγραφικά (UTM) η περιοχή ενδιαφέροντος, οι εικόνες ενώθηκαν με αλληλοεπικάλυψη προκειμένου να είναι ακριβής και απόλυτα όμοια η κοπή των εικόνων και αφού κόπηκαν, χωρίστηκαν εκ νέου. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η παραγωγή 2 νέων ξεχωριστών αρχείων εικόνων LANDSAT TM+, έτοιμα για κάθε άλλη πλέον στατιστική επεξεργασία.

4 Στατιστική επεξεργασία διαχρονικής χαρτογράφησης αλλαγών χρήσεων γης δορυφορικών εικόνων (classification)

4.1 Μεθοδολογία

Η εφαρμογή της διαχρονικής χαρτογράφησης των αλλαγών χρήσεων γης στην μελετώμενη περιοχή του Ναυπλίου περιείχε 2 στάδια. Το πρώτο στάδιο ήταν η εξαγωγή ποιοτικού χάρτη αναπαράστασης αλλαγών γης και το δεύτερο στάδιο ήταν η εξαγωγή στατιστικού – ποσοτικού πίνακα καταγραφής των αλλαγών. Έπειτα, θα επαληθευτούν τυχαία σημεία, από δειγματοληψία επί τόπου που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του Ναυπλίου.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η μέθοδος χρήσης  CORINE Land COVER 2000. Στο πλαίσιο του CLC2000, η αλλαγή κάλυψη γης ερμηνεύεται ως μια κατηγοριοποιημένη μετατροπή, δηλαδή την αλλαγή της περιοχής από μια κατηγορία σε μία άλλη. Η βασική προϋπόθεση για την αναγνώριση των κατηγοριοποιημένων αλλαγών κάλυψης γης με χρήση δορυφορικών εικόνων είναι η παρουσία αλλαγών στη φασματική ανακλαστικότητα, εντοπιζόμενη από τον ανιχνευτή του δορυφόρου. Τέτοιες αλλαγές είναι εμφανείς στις εικόνες από τις μεταβολές των χαρακτηριστικών των στοιχείων ερμηνείας. Αυτό σημαίνει ότι οι εικόνες από δύο ή περισσότερους χρονικούς ορίζοντες (χρονική σειρά) μπορεί να χρησιμοποιηθούν στον εντοπισμό των μεταβολών κάλυψη του εδάφους. Δύο βασικά σύνολα μέθοδοι υπάρχουν για την ανίχνευση μεταβολών κάλυψη του εδάφους από τις εικόνες:

1. Visual και με τη βοήθεια υπολογιστικής οπτικής ερμηνείας (CAPI).
2. μεθόδους ψηφιακής ταυτοποίησης αλλαγής (Jensen 1986, Ρογκάν και Chen 2004).

Η πρώτη είναι αυτή που προτείνεται και με τις μεγαλύτερες παγκοσμίως εφαρμογές. Αυτή η μέθοδος κάνει χρήση των διορθωμένων γεωαναφερμένων εικόνων ως στρώμα αναφοράς με την χρήση των κατηγοριών IMAGE2000. (Steenmans, K. και B. Perdigão, 2001). Σύμφωνα με

τον τεχνικό οδηγό, όλες οι απαραίτητες τροποποιήσεις εκτελούνται στο αρχικό στρώμα δεδομένων, στα οποία μεταβάλλεται μόνο σε τοπικό επίπεδο. Διατηρούνται τα κοινά όρια των περιοχών από δύο ή περισσότερων χρονικών οριζόντων δεν επιβαρύνεται από την τυχόν αποκλίσεις. Corrin et al. 2004, αναφέρεται αυτή η μέθοδος όπως η διαχρονική μεθοδολογία ανίχνευσης αλλαγής - τη σύγκριση στην ίδια περιοχή σε δύο σημεία στο χρόνο. Η γενιά του CLC2000 είναι η νεώτερη και πλήρως επικαιροποιημένη μέθοδος. Οι κατηγορίες που χρησιμοποιεί η CLC2000 μέθοδος, καταγράφονται σε πίνακα, σε 1^ο, 2^ο, 3^ο στάδιο αλλαγών και όσο προχωρούν τα στάδια, τόσο πιο αναλυτική είναι η περιγραφή της αλλαγής αλλά ταυτόχρονα, τόσο πιο απαιτητική είναι και σε πληροφορίες από τις δορυφορικές εικόνες και τον αισθητήρα. Για τον αισθητήρα LANDSAT TM 4,5, αξιόπιστα αποτελέσματα είναι δυνατό να δοθούν μονάχα μέχρι το 1^ο στάδιο αλλαγών χρήσεων γης, βάση της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Περιβαλλοντικών αλλαγών (2003).

Πιο αναλυτικά, κατηγορίες χρήσεων γης αναγράφονται σε πίνακα και αντιστοιχίζονται σε 3 αριθμούς χρωμάτων **R-G-B**. Κάθε χρήση γης από τις κατηγορίες εμφανίζει ένα χαρακτηριστικό χρώμα (χρωματική απόχρωση) το οποίο όταν ανιχνευτεί χαρακτηρίζει την συγκεκριμένη χρήση γης. Το λογισμικό του H/Y, ENVI 4.5, αναλύει τις πολυφασματικές εικόνες καναλιών σε όλες χρωματικές τους αποχρώσεις. Έπειτα, με τον προγραμματισμό των κατηγοριών, αναλύει τις περιοχές που απεικονίζονται και ανιχνεύει τις χρήσεις γης ανά περιοχή/εικονοστοιχείο. Τέλος, δημιουργεί ψευδέχρωμους χάρτες απεικόνισης χρήσεων γης για κάθε εικόνα που ανέλυσε και έπειτα συγκεντρωτικό χάρτη αλλαγών και στατιστικά δεδομένα.

Με την εφαρμογή του CLC2000 αναλύθηκαν και δημιουργήθηκε ο χάρτης αλλαγών χρήσεων γης της περιοχής που μελετήθηκε σε αυτή την εργασία.

4.2 Εφαρμογή μη εποπτευόμενης ταξινόμησης χρήσεων γης στην περιοχή Ναυπλίου

Τα λογισμικά επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων περιέχουν μια σύντομη εφαρμογή classification και σύγκρισης αλλαγών χρήσεων γης μεταξύ δύο εικόνων. Η εφαρμογή αυτή δεν απαιτεί εκπαίδευση του λογισμικού, ούτε περεταίρω εισαγωγή δεδομένων, είναι ταχύτατη στην επεξεργασία αλλά δεν είναι σε θέση να δώσει πληροφορίες σχετικά με το είδος χρήσης γης. Η εφαρμογή αυτή βασίζεται στην εφαρμογή ενός μαθηματικού προγραμματιστικού λογάρithμου.

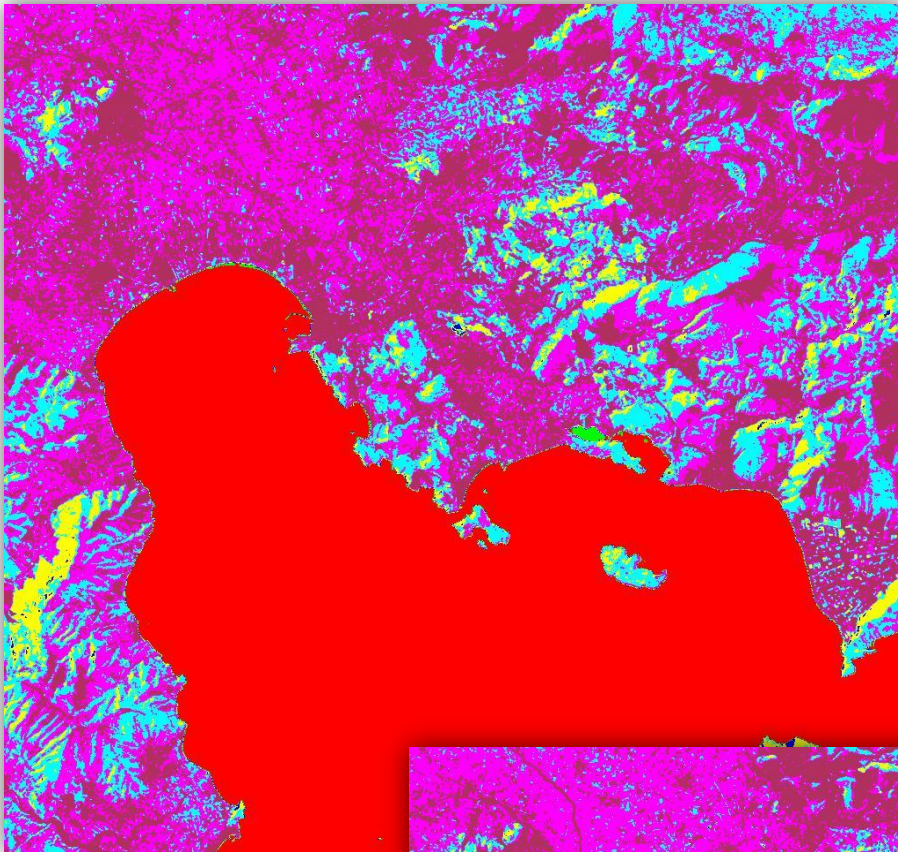
Εφαρμόστηκε μια τέτοιου είδους επεξεργασία για την προς μελέτη περιοχή, η οποία είναι γνωστή σαν "Unsupervised Classification". Με τη βοήθεια του λογισμικού ENVI 4.5 ITTS, επιλέχτηκε η εφαρμογή "Classification", "Unsupervised Classification". Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται συνήθως στην τηλεανίχνευση είναι δύο συχνά χρησιμοποιούμενοι, οι K-means και ο αλγόριθμος ομαδοποίησης ISODATA.

Και οι δύο αλγόριθμοι είναι επαναληπτικές διαδικασίες. Σε γενικές γραμμές και οι δύο τους παίρνουν για πρώτη φορά ένα αυθαίρετο αρχικό διάνυσμα συμπλέγματος. Το δεύτερο βήμα

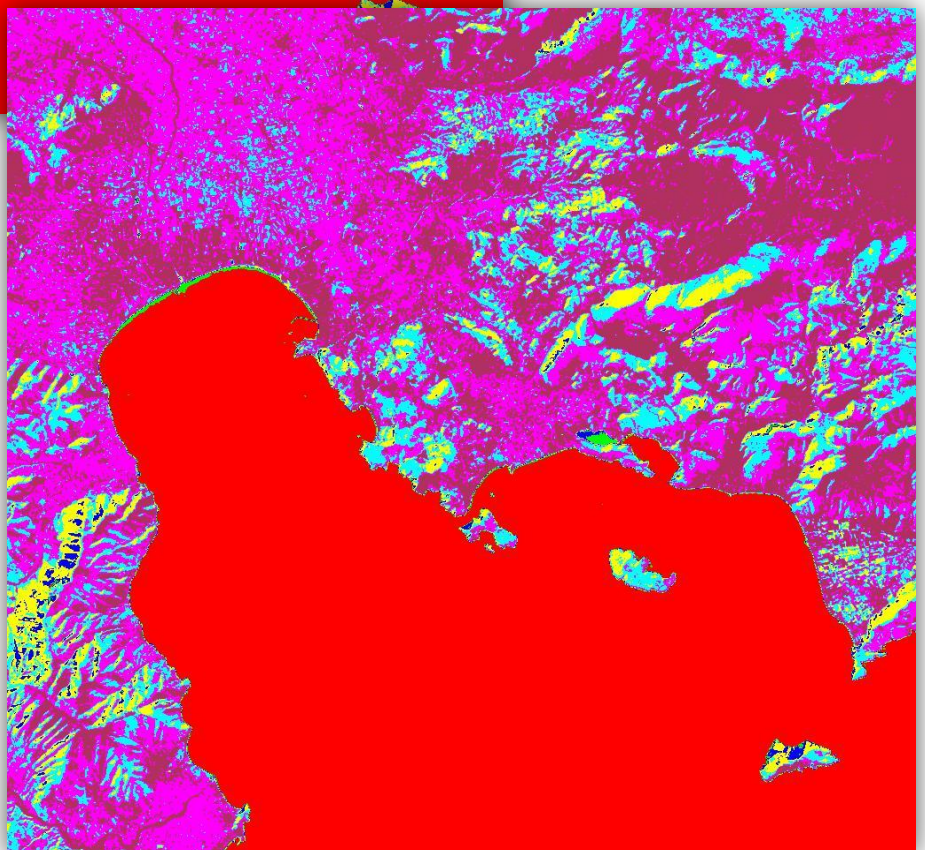
ταξινομεί κάθε pixel στο πλησιέστερο cluster. Στο τρίτο βήμα του νέου συμπλέγματος μέση φορείς υπολογίζονται με βάση όλα τα pixel σε μια συστάδα. Τα δεύτερο και τρίτο βήματα επαναλαμβάνονται μέχρι την «αλλαγή» μεταξύ της επανάληψης. Η "αλλαγή" μπορεί να οριστεί με διάφορους τρόπους, είτε μετρώντας την απόσταση του μέσου φορέα διασποράς που έχουν αλλάξει από τη μία επανάληψη στην άλλη ή από το ποσοστό των pixels που έχουν αλλάξει μεταξύ των επαναλήψεων.

Ο αλγόριθμος ISODATA έχει κάποια περαιτέρω τελειοποιήσεις με το διαχωρισμό και τη συγχώνευση των συνεργατικών σχηματισμών (JENSEN, 1996). Οι κλάσεις συγχωνεύονται, αν είτε ο αριθμός των μελών (pixel) σε ένα σύμπλεγμα είναι λιγότερο από ένα ορισμένο όριο ή αν τα κέντρα των δύο ομάδες είναι πιο κοντά από ένα ορισμένο όριο. Ο αλγόριθμος ISODATA είναι παρόμοιος με τον αλγόριθμο k-means με τη διακριτή διαφορά ότι ο αλγόριθμος ISODATA επιτρέπει τη διαφορετική σειρά των κλάσεων, ενώ ο k-means υποθέτει ότι ο αριθμός των κλάσεων είναι γνωστός εκ των προτέρων και προχωρά στην εφαρμογή τους. **Για πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα, επιλέχθηκε ο αλγόριθμος ISODATA να επιλυθεί στην μη εποπτευόμενη ταξινόμηση της περιοχής μας.**

Εισήχθησαν διαδοχικά οι 2 διαχρονικές εικόνες για την εφαρμογή του αλγορίθμου, ορίστηκε από το χρήστη μέγιστος αριθμός κατηγοριών ίσος με έξι και παρήχθησαν οι 2 ψευδεχρωμες εικόνες με τις διαφορετικές κλάσεις που υπολόγισε ο αλγόριθμος, για κάθε πραγματική εικόνα. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται παρακάτω :



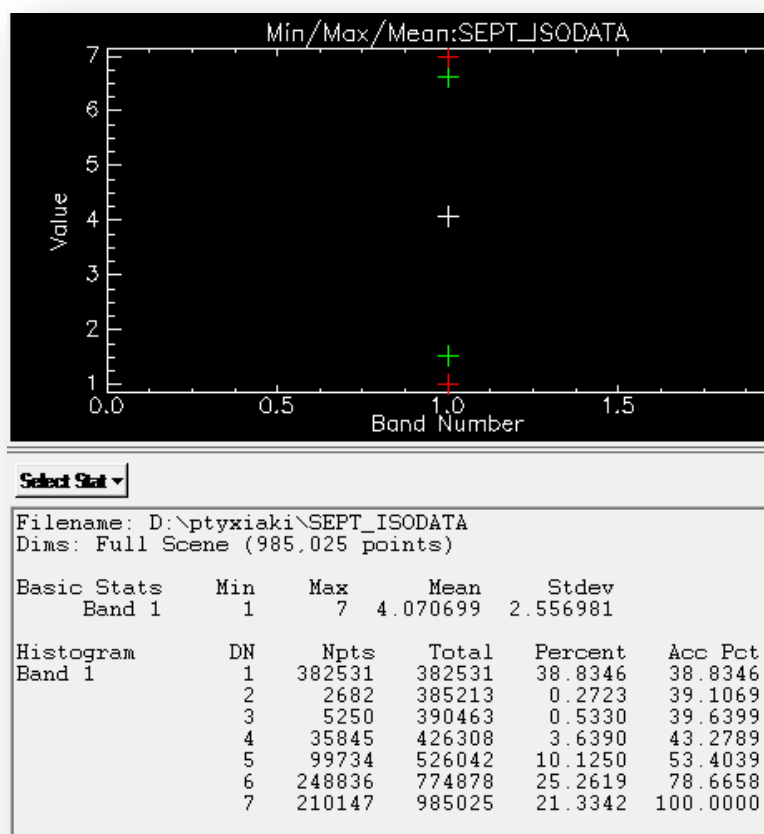
Εικόνα 3.9: Ψευδεχρωμη
εικόνα κλάσεων
ISODATA Αλγορίθμου,
ΙΟΥΛΙΟΣ 2009
πηγή:ENVI 4.5 IDL



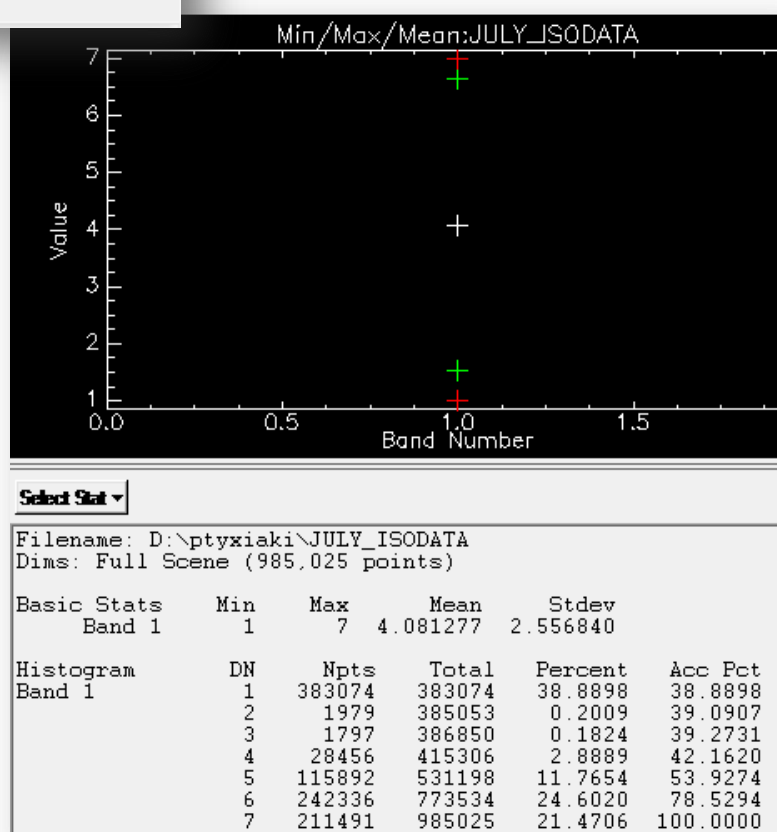
Εικόνα 3.10 :
Ψευδεχρωμη εικόνα
κλάσεων ISODATA
Αλγορίθμου,
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2003
πηγή:ENVI 4.5 IDL

Από τις εικόνες ήταν εμφανής ο διαχωρισμός σε κλάσεις των 7 χρήσεων γης, με διαφορετικά χρώματα, καθώς και οι διαφορές που υπήρξαν μεταξύ των δυο διαχρονικών εικόνων Σεπτεμβρίου και Ιουλίου ανά κλάση. Πέραν από τον οπτικό χάρτη, εξήχθησαν και οι παρακάτω στατιστικοί πίνακες εμφάνισης των 7 κλάσεων σε κάθε μία εικόνα, μετά από την

εφαρμογή του αλγόριθμου ISODATA (οι κλάσεις επιλέχθηκαν από τον αλγόριθμο αυτόματα) :

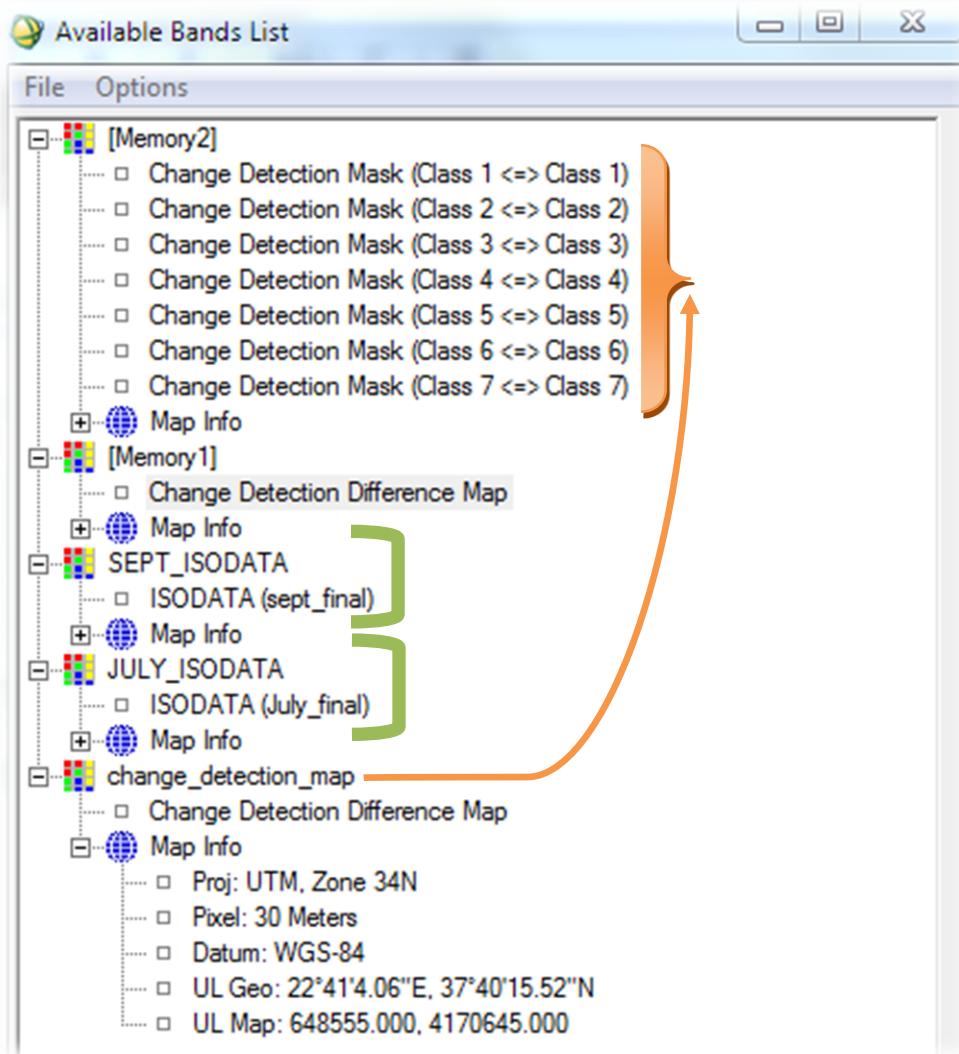


Εικόνα 3.11 : Στατιστική κλάσεων ISODATA Αλγορίθμου, **ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2003**
πηγή: ENVI 4.5 IDL

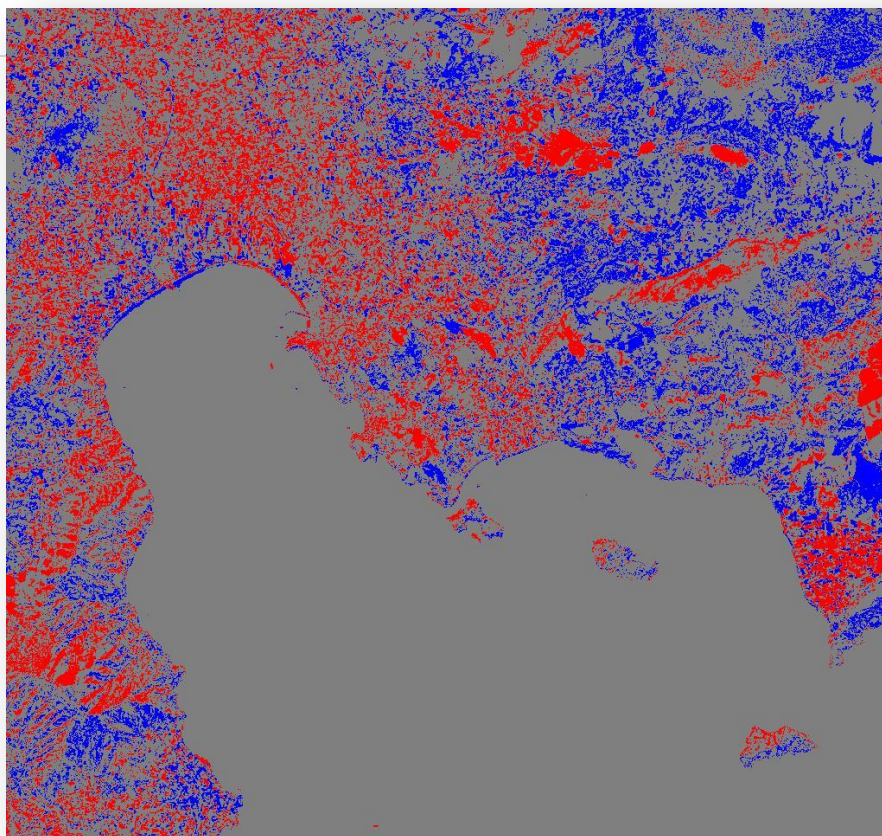


Εικόνα 3.12 : Στατιστική κλάσεων ISODATA Αλγορίθμου, **ΙΟΥΛΙΟΣ 2009**
πηγή: ENVI 4.5 IDL

Μετά από τα αποτελέσματα ταξινόμησης, για κάθε μήνα, με τη βοήθεια του λογισμικού και πάλι, αναπαραστάθηκαν σε ψευδέχρωμους χάρτες οι αλλαγές χρήσεων γης, συγκριτικά για τις δυο χρονικές περιόδους. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται παρακάτω, σε μεγάλο χάρτη αλλαγών χρήσεως γης, για όλες τις αλλαγές και αντίστοιχα σε 7 ξεχωριστούς χάρτες συγκρίνοντας μια προς μια κάθε κλάση:



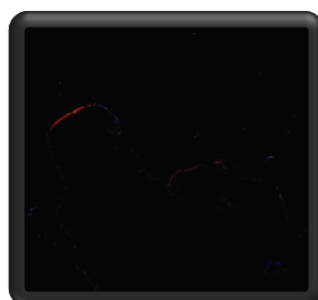
Εικόνα 3.13 : Πλατφόρμα Ανάλυσης ISODATA Αλγορίθμου στο λογισμικό, πηγή: ENVI 4.5 IDL



Εικόνα 3.14 : Σύνθετος χάρτης 4 καναλιών αλλαγών χρήσεων ISODATA Αλγορίθμου στο λογισμικό, Μπλέ : περιοχή αλλαγών , Κόκκινο: Χωρίς αλλαγές, πηγή:Change Detection of ENVI 4.5 IDL



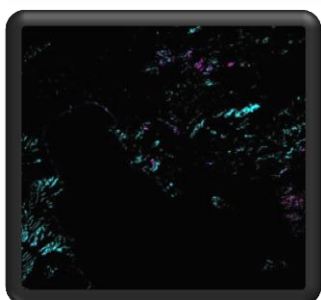
Κλάση 1



Κλάση 2



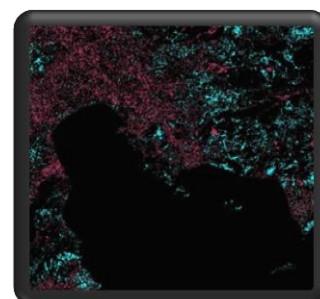
Κλάση 3



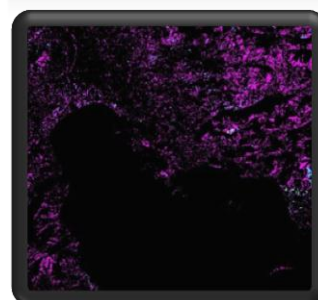
Κλάση 4



Κλάση 5



Κλάση 6



Κλάση 7

4.3 Ορισμός μεθόδου – κλάσεων ταξινόμησης για την εφαρμογή εποπτευόμενης ταξινόμησης (Supervised Classification)

Στα αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγορίθμου ISO-DATA, σε μη εποπτευόμενη ταξινόμηση χρήσεων γης, παριστάνονται μεν οι κλάσεις αλλά δεν γίνεται σαφές το είδος της χρήσης γης. Η ταξινόμηση αυτού του είδους, έγινε κατά κύριο λόγο για να μας δείξει ότι όντως στην συγκεκριμένη περιοχή και στις ημερομηνίες προς σύγκριση που επιλέχθηκαν, υπάρχει αλλαγή χρήσεων γης.

Για να γίνει σαφές η ταξινόμηση σε κλάσεις συγκεκριμένης χρήσης γης, εφαρμόστηκε μια νέα ταξινόμηση η οποία καλείτε εποπτευόμενη ταξινόμηση. Η ταξινόμηση αυτή βασίζεται και πάλι σε αλγόριθμο αλλά η διαφορά της με την προηγούμενη είναι στο ότι ο χρήστης ορίζει τις κλάσεις και εκπαιδεύει το σύστημα με βάση τις κλάσεις αυτές.

Για τον ορισμό των κλάσεων, μελετήθηκε η μεθοδολογία CLC2000, γνωστή ως CORINE LAND COVER 2000. Η CLC είναι μια μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε το 2000, από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος και είχε σαν στόχο να ταξινομήσει τις χρήσεις γης σε όλο τον κόσμο, με την βοήθεια των δορυφορικών αισθητήρων LANDSAT. Στηρίζεται στις αποχρώσεις R-G-B που συνθέτουν τα χρώματα στη δορυφορική εικόνα, από κάθε χρήση γης. Δημοσίευσε ένα υπόδειγμα (CLC Legend) στο οποίο αναγράφοντα χρήσεις γης (κλάσεις) και ο χαρακτηριστικός αριθμός χρώματος (RGB) για κάθε χρήση. Το υπόδειγμα αυτό συνοδεύει ένας χάρτης χρήσεων γης παγκόσμιος, ο οποίος επικαιροποιείται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η τελευταία επικαιροποίηση έγινε το 2007. Για μια περιοχή μεγέθους σαν την μελετώμενη, δεν θεωρείται αξιόπιστη μέθοδος μιας και η ακρίβεια της είναι ανά 100μέτρα (μέγεθος κυψελίδας), έναντι στα 30μέτρα (μέγεθος κυψελίδας) των εικόνων LANDSAT TM+. Τα αποτελέσματα της CLC2000 μελετήθηκαν προκειμένου να οριστούν οι κλάσεις για την κατηγοριοποίηση της προς μελέτη περιοχής και έπειτα, ενδεικτικά σε τυχαία σημεία, να γίνει επικύρωση των αποτελεσμάτων από την εποπτευόμενη ταξινόμηση. (Παράρτημα 3). Οι κλάσεις που ορίστηκαν ήταν συνολικά έξι. Αποτελούν κλάσεις επιλεγμένες από την CLC2000, με στρατηγικό τρόπο έτσι ώστε να δώσουν στα αποτελέσματα την δυνατότητα να αξιοποιηθούν μετέπειτα σε μελέτες υλικοτεχνικές ή οικονομικές για την περιοχή εφαρμογής από όλους τους κλάδους. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι κλάσεις :

A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	Περιεχόμενες χρήσεις
1	Νερά – Θάλασσες (Water)	Θάλασσες – ποτάμια – λίμνες – ρυάκια
2	Τεχνητές επιφάνειες (Artificial Surfaces)	Κτήρια – Θερμοκήπια – Δρόμοι
3	Δασικές εκτάσεις (Forest)	Φυσικά δάση πυκνής βλάστησης
4	Γυμνό έδαφος (Bare Soil)	Έδαφος ανεκμετάλλευτο – καμένες* εκτάσεις – φυσικά βράχια
5	Θαμνώνες Φρύγανα (Brush lands)	Φυσικές εκτάσεις θάμνων & φρύγανων
6	Καλλιέργειες – Καλλιεργήσιμες εκτάσεις (Crops)	Αροτραίες – δενδρώδεις καλλιεργήσιμες εκτάσεις

Πίνακας 4.1 : Πίνακας 6 κλάσεων ταξινόμησης

Με βάση αυτές τις έξι κλάσεις έγινε η ταξινόμηση των χρήσεων γης στην περιοχή του Ναυπλίου Αργολίδος.

*Να σημειωθεί ότι στην μελετώμενη περιοχή, από ιστορικές αναφορές, δεν υπάρχουν γεγονότα μεγάλων πυρκαγιών οπότε δε αναμέναμε εκτάσεις από καμένα δάση, για το λόγο αυτό δεν δημιουργήθηκε ξεχωριστή κλάση ανάλογη.

4.4 Εφαρμογή εποπτευόμενης ταξινόμησης και εκπαίδευση αλγόριθμου συστήματος

Η εποπτευόμενη ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε πάνω στην πλατφόρμα λογισμικού ENVI ITTS 9.5 . Πραγματοποιήθηκε επίσκεψη στην μελετώμενη περιοχή. Με οπτική παρατήρηση, βρέθηκαν και φωτογραφήθηκαν περιοχές οι οποίες είχαν χρήση γής, όμοια με τις κλάσεις που ορίστηκαν. Μαζί με τις φωτογραφίες, σημειώθηκαν με τη βοήθεια μιας φορητής συσκευής GPS, οι συντεταγμένες UTM του σημείου φωτογράφισης. Συλλέχτηκαν αρκετές θέσεις που είχαν παρόμοιες χρήσεις γης για κάθε κλάση έτσι ώστε να καλυφθούν περισσότερες περιπτώσεις μικροδιαφορών στην απεικόνιση. Ας σημειωθεί ότι η επίσκεψη και καταγραφή θέσεων πραγματοποιήθηκε τέλος Αυγούστου του 2010, εποχή όμοια με εκείνη λήψης των εικόνων LANDSAT TM, καθώς επίσης τα σημεία φωτογράφισης επιλέχτηκαν με κριτήριο την σταθερή διαχρονική ύπαρξή τους (δεν άνηκαν στην περίπτωση σημείων με αλλαγή χρήσεως γης).

Τα σημεία που φωτογραφήθηκαν συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα :

Θέση	Αρ. Κλάσης	N	E	Picture
ΔΡΑΠΑΝΟ ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	5	37° 22' 10"	22° 52' 27"	
Drepano aeria	6	37° 32' 22"	22° 53' 04"	
Drepano plaka	1	37° 32' 05"	22° 52' 39"	
Asini naos	4	37° 31' 41"	22° 52' 24"	
Tolo beach	4	37° 31' 39"	22° 52' 03"	
Tolo island	3	37° 31' 08"	22° 51' 59"	

Romvi tolo	3	37° 30' 42''	22° 51' 39''	
Daskaleio	1	37° 30' 29''	22° 51' 49''	
Arxaios naos sotiros	5	37° 33' 01''	22° 50' 09''	
Near nafplio1	3	37° 33' 32''	22° 48' 45''	
Nafplio center	2	37° 34' 06''	22° 48' 18''	

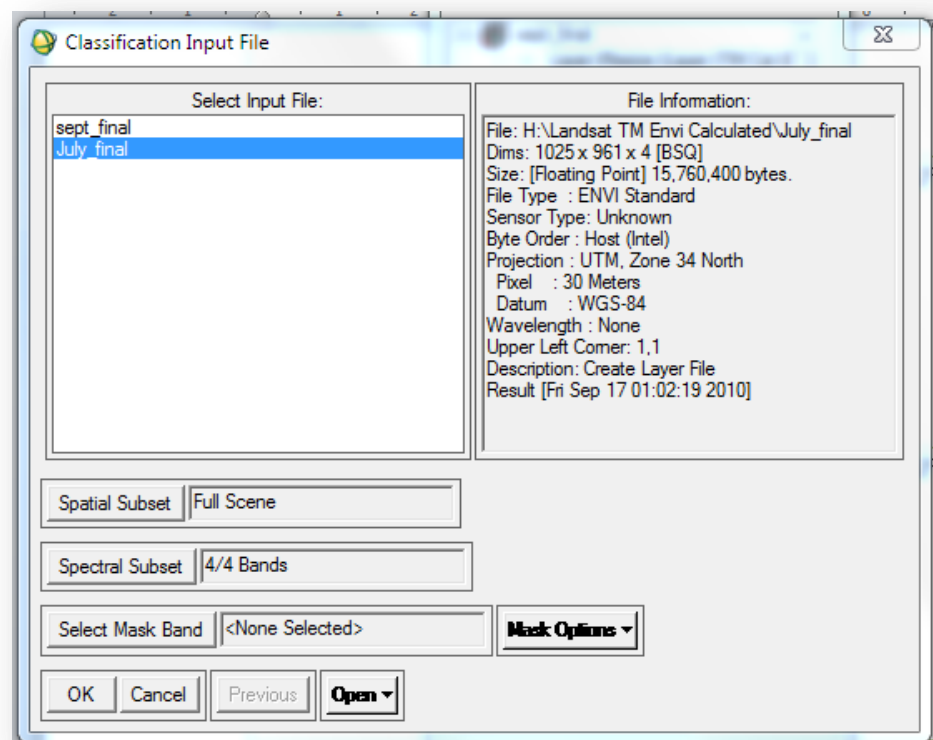
Nafplio nea tirintha	6	37° 35' 26''	22° 48' 28''	
Mikines dromos	2	37° 35' 59''	22° 47' 53''	
Dixala tirintha	2	37° 35' 51''	22° 47' 57''	
Agios dimitrios	5	37° 36' 36''	22° 56' 30''	
Arkadikon	5	37° 36' 02''	22° 57' 33''	

Ανοίχτηκε το λογισμικό ENVI ITTS 4.5 και δημιουργήθηκαν τα σημεία ενδιαφέροντος (ROI) ,από τις παραπάνω τοποθεσίες, αναγράφοντας τον αριθμό κλάσης τους. Το λογισμικό εντόπισε στη γεωαναφερμένη εικόνα του Ιουλίου 2009 (πιο πρόσφατη) τα ανωτέρω σημεία. Εν συνεχεία, ξεκίνησε η εφαρμογή της εποπτευόμενης ταξινόμησης (**Supervised Classification**) και συγκεκριμένα η μέθοδος με τους αλγόριθμους «**Maximum Likelihood**». Επιλέχτηκε η μέθοδος αυτή διότι αντιπροσωπεύει ακριβώς τον τρόπο εκπαίδευσης που εφαρμόστηκε στη μελέτη αυτή.

Ανοίχτηκαν οι επεξεργασμένες εικόνες Σεπτεμβρίου και Ιουλίου, καθώς επίσης και η βάση δεδομένων με τα σημεία ενδιαφέροντος που προγραμματίστηκαν από τον πίνακα με την επιτόπια παρατήρηση του Ναυπλίου. Η εφαρμογή αποκωδικοποίησε τα χρώματα αντανάκλασης RGB των σημείων ενδιαφέροντος, τα οποία αποτελούσαν και τις κλάσεις. Έπειτα, σαρώθηκαν οι δορυφορικές εικόνες και με την εφαρμογή του εκπαιδευμένου πλέον αλγόριθμου Maximum Likelihood, εντοπίστηκαν και επισημάνθηκαν σημεία με παρόμοια RGB απόχρωση που θεωρήθηκαν όμοιας κλάσης, για κάθε μία από τις 6 αρχικά ορισμένες κλάσεις. Τα αποτελέσματα αποτελούσαν πλέον τους χάρτες κατηγοριοποίησης χρήσεων γης (classification

maps) κάθε εικόνας.

Συνόδευσαν τους χάρτες αυτούς και αρχεία με τα στατιστικά αποτελέσματα του αλγόριθμου για κάθε εικόνα.

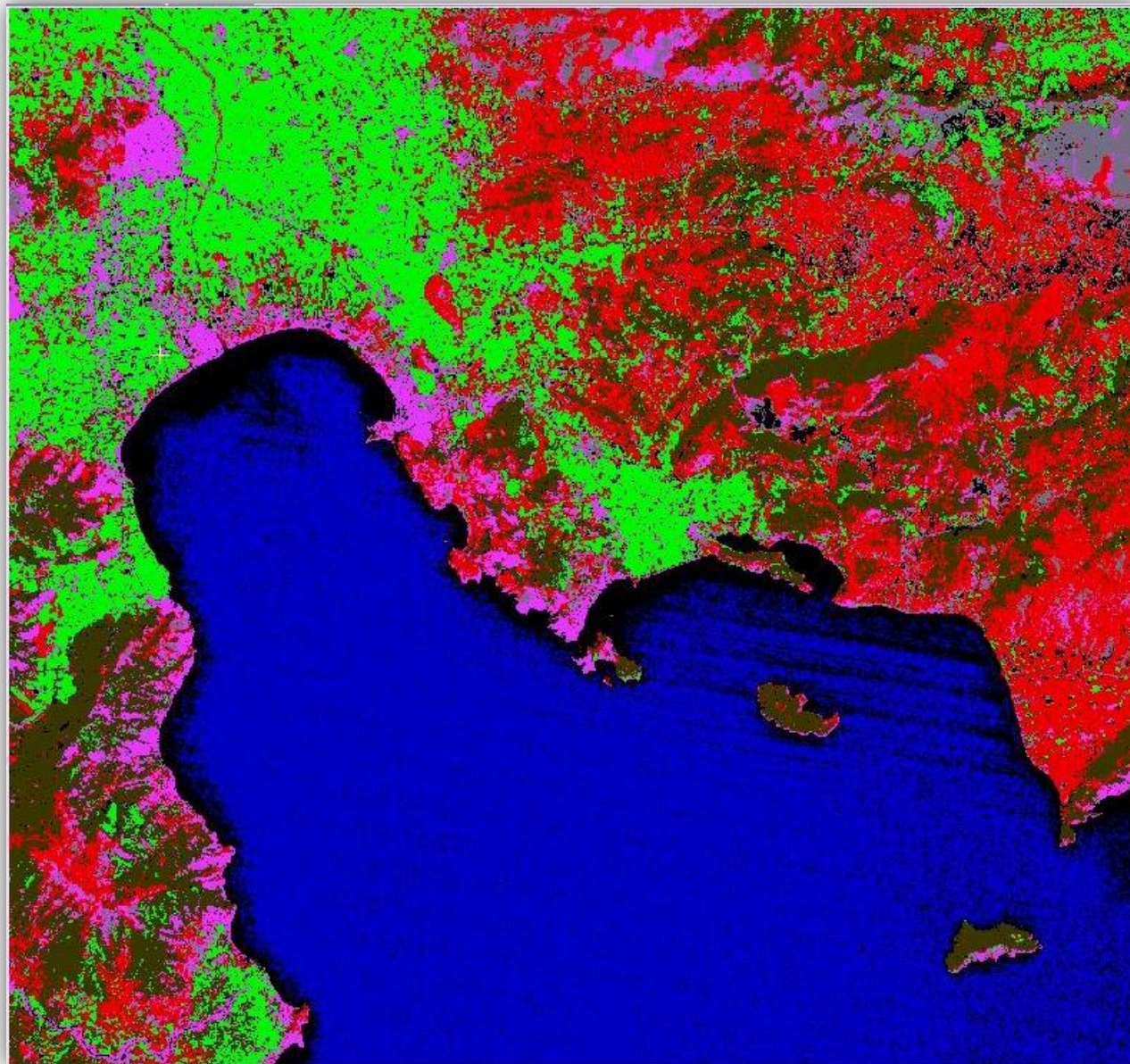


Εικόνα 4.16: πλατφόρμα εφαρμογής Supervised Classification, Maximum Likelihood
πηγή: ENVI 4.5 IDL

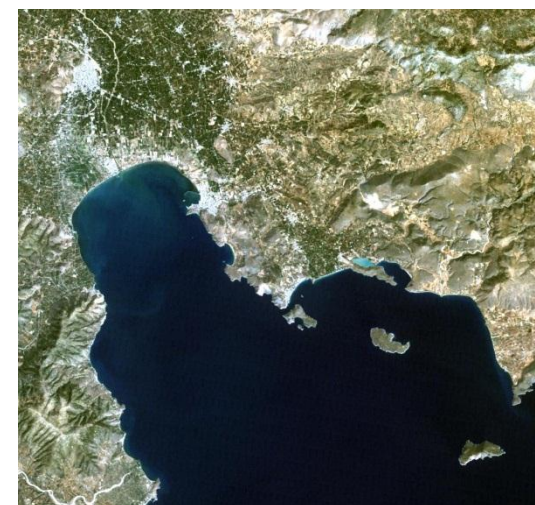
Τα αποτελέσματα καταγράφονται παρακάτω :

4.5 Αποτελέσματα εφαρμογής εποπτευόμενης ταξινόμησης

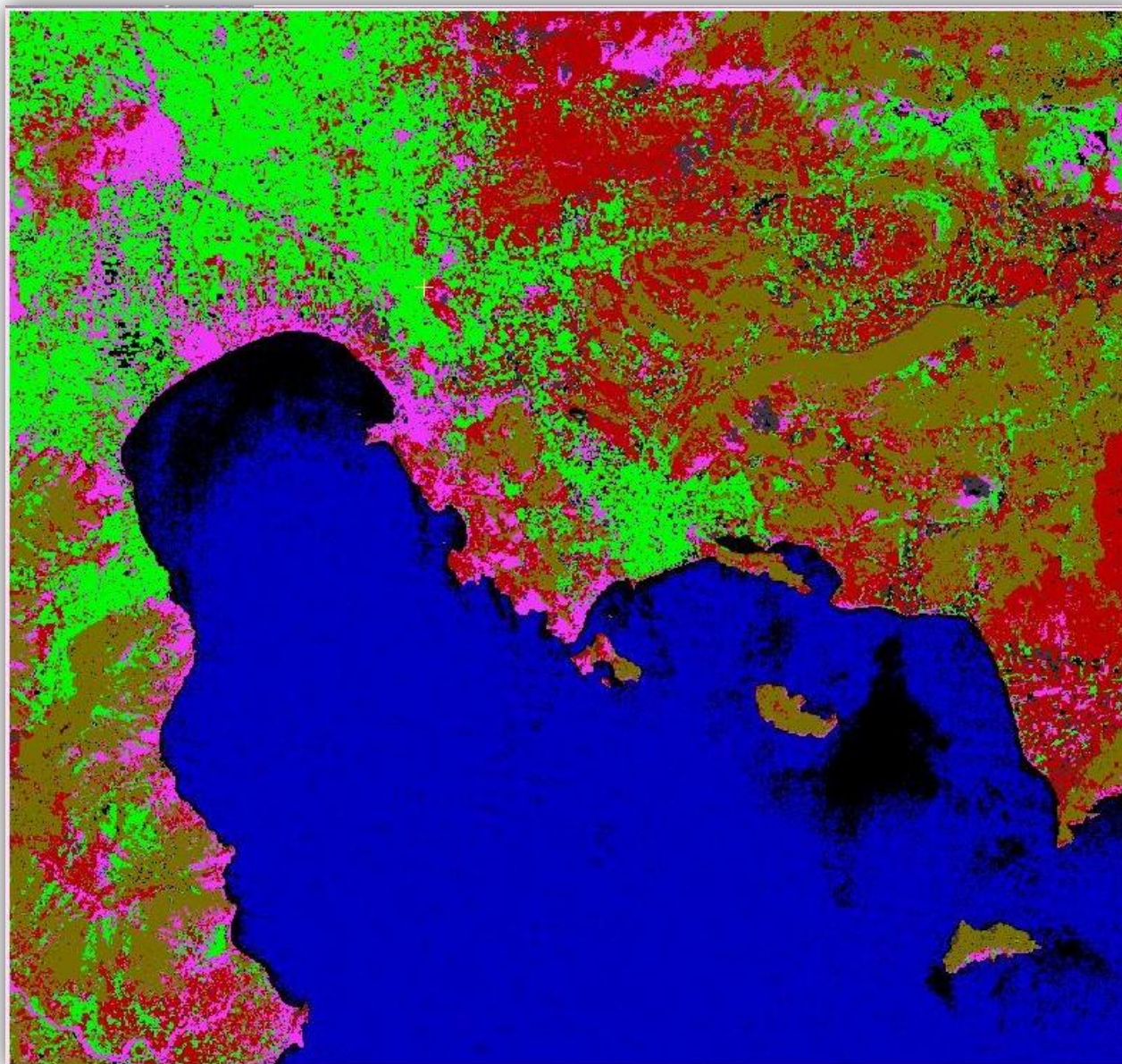
4.5.1 LANDSAT TM -Σεπτέμβριος 2003



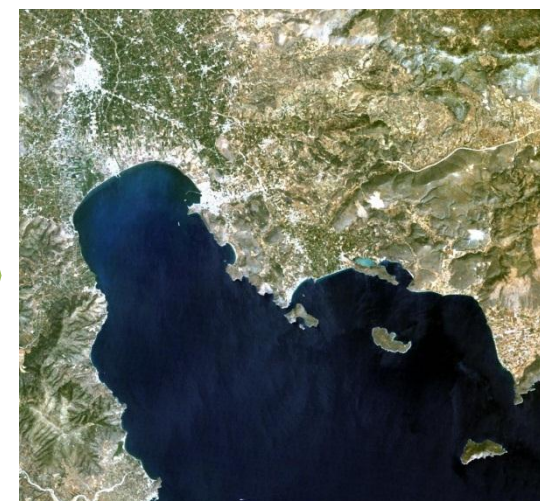
- Εκτός κατηγοριών (ERRORs)
- Νερά – Θάλασσες (Water)
- Τεχνητές επιφάνειες (Artificial Surfaces)
- Δασικές εκτάσεις (Forest)
- Γυμνό έδαφος (Bare Soil)
- Θαμνώνες Φρύγανα (Brush Lands)
- Καλλιέργειες – καλ. Εκτάσεις (Crops)



4.5.2 LANSAT TM ΙΟΥΛΙΟΣ 2009



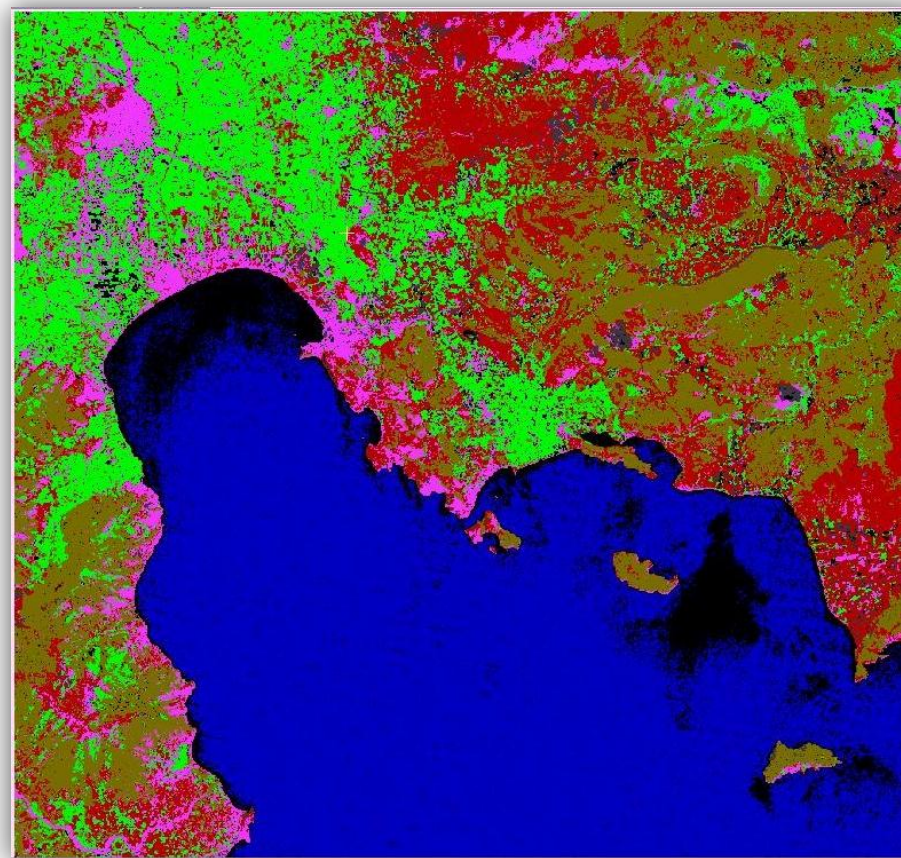
- Εκτός κατηγοριών (ERRORs)
- Νερά – Θάλασσες (Water)
- Τεχνητές επιφάνειες (Artificial Surfaces)
- Δασικές εκτάσεις (Forest)
- Γυμνό έδαφος (Bare Soil)
- Θαμνώνες Φρύγανα (Brush Lands)
- Καλλιέργειες – καλ. Εκτάσεις (Crops)



4.5.3 Αντιπαραβολική προβολή LANDAST TMs

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2003

ΙΟΥΛΙΟΣ 2009



- Εκτός κατηγοριών (ERRORS)
- Νερά – Θάλασσες (Water)
- Τεχνητές επιφάνειες (Artificial Surfaces)
- Δασικές εκτάσεις (Forest)
- Γυμνό έδαφος (Bare Soil)
- Θαμνώνες Φρύγανα (Brush Lands)
- Καλλιέργειες – καλ. Εκτάσεις (Crops)

4.5.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ / ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ “MAXIMUM LIKELIHOOD” Σεπτεμβρίου 2003

picture		SEPTEMBER 2003
Classification Algorithm:		Maximum Likelihood (with NULL class)
Classification Input Channels:		1,2,3,4
Classification Training Channel:		ROI DATA

Classification Result Channel:

New MAP

Name	Class	Pixels	%Image	TOTAL AREA (hect)
Water	1	311690	31.64	28052,1
Artificial Surfaces	2	59056	6.00	5315,04
Forest	3	137996	14.01	12419,64
Bare	4	36292	3.68	3266,28
Brushlands	5	185999	18.88	16739,91
Crops	6	152454	15.48	13720,86
NULL	0	101538	10,31	9138,42
	Total	985025	100.00	88652,25

Average accuracy 83.07 %

Overall accuracy 89.87 %

KAPPA COEFFICIENT 0.88780

Standard Deviation 0.00000

4.5.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ / ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ “MAXIMUM LIKELIHOOD” Ιουλίου 2009

picture		JULY 2009
Classification Algorithm:		Maximum Likelihood (with NULL class)
Classification Input Channels:		1,2,3,4
Classification Training Channel:		ROI DATA

Classification Result Channel:

New MAP

Name	Class	Pixels	%Image	TOTAL AREA (hect)
Water	1	324181	32.91	29176,29
Artificial Surfaces	2	67651	6.87	6088,59
Forest	3	184232	18.70	16580,88
Bare	4	22462	2.28	2021,58
Brushlands	5	152191	15.45	13697,19
Crops	6	154292	15.66	13886,28
NULL	0	80016	8.12	7201,44
	Total	985025	100.00	88652,25

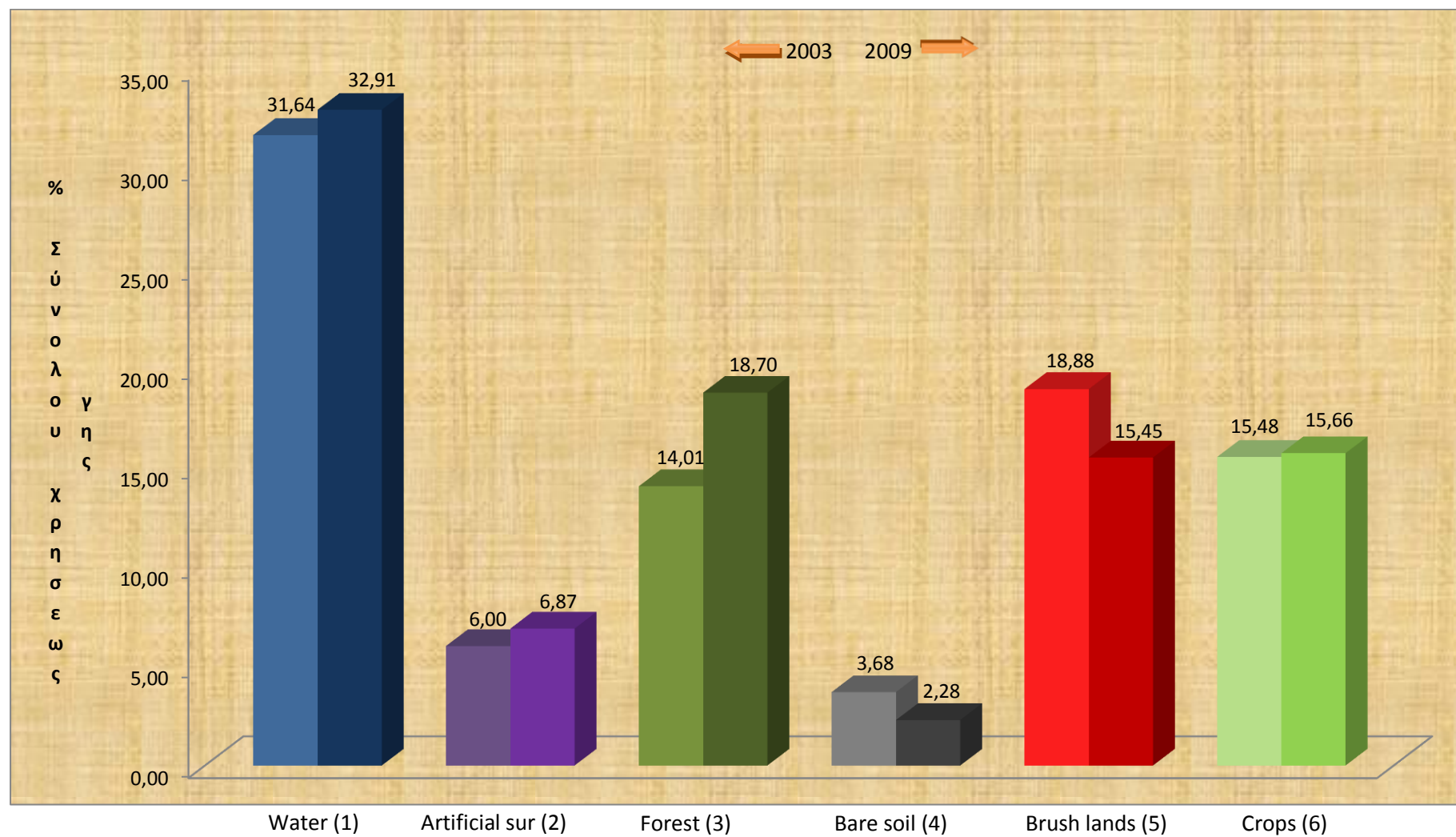
Average accuracy 80.54 %

Overall accuracy 90.77 %

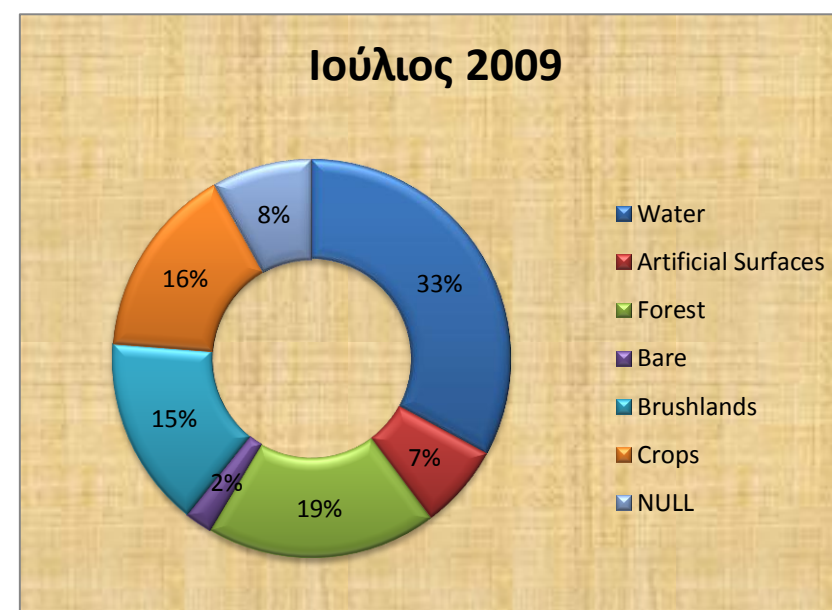
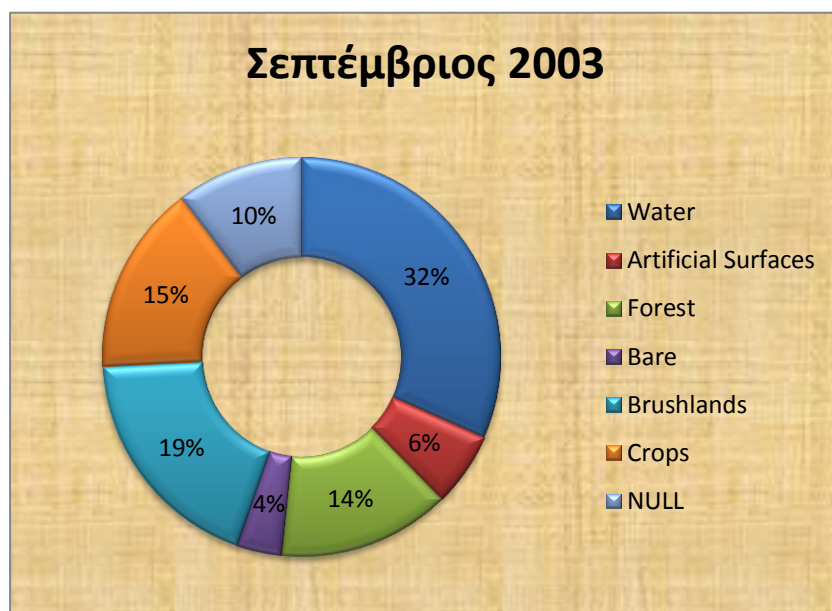
KAPPA COEFFICIENT 0.89828

Standard Deviation 0.00000

4.5.6 Συγκριτικό διάγραμμα διαχρονικών αλλαγών χρήσεων γης περιοχής Ναυπλίου Αργολίδος



4.5.7 Συγκριτικά διαγράμματα χρήσεων γης ανά εποχή λήψης εικόνας LANDSAT TM



4.5.8 Συγκεντρωτικός αναλυτικός πίνακας αποτελεσμάτων διαχρονικών αλλαγών περιοχής Ναυπλίου

Name	Class	2003		2009	
		%Image	TOTAL AREA (hect)	%Image	TOTAL AREA (hect)
Water	1	31.64	28052,1	32.91	29176,29
Artificial Surfaces	2	6.00	5315,04	6.87	6088,59
Forest	3	14.01	12419,64	18.70	16580,88
Bare	4	3.68	3266,28	2.28	2021,58
Brushlands	5	18.88	16739,91	15.45	13697,19
Crops	6	15.48	13720,86	15.66	13886,28
NULL	0	10,31	9138,42	8.12	7201,44
Total		100.00	88652,25	100.00	88652,25

5 Συζήτηση αποτελεσμάτων

5.1 Συζήτηση αποτελεσμάτων για την περιοχή μελέτης

Μετά από μελέτη όλων των παραπάνω αποτελεσμάτων, χαρτών και πινάκων, εμφανίστηκαν αξιόλογα στοιχεία για την περιοχή μελέτης. Κατά κύριο λόγο, το Ναύπλιο είναι μια περιοχή με αρκετό φυσικό τοπίο, το οποίο μπορεί να είναι δάση ή θαμνώνες φρύγανα. Επίσης εμφανίστηκε να υπάρχει ένα ποσοστό με εκτάσεις καλλιεργήσιμες το οποίο δεν αποτελεί μεν την κύρια πλουτοπαραγωγική διεργασία της περιοχής αλλά είναι αξιόλογη. Οι κάτοικοι της περιοχής διαχρονικά όχι μόνο δεν εγκατέλειψαν τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις αλλά τις αύξησαν ελάχιστα. Η αύξηση ήταν μικρή αλλά οπτικά φανερή τόσο στα στατιστικά όσο και στον χάρτη κλάσεων κάθε εικόνας. Εν συνεχεία, όσον αφορά την πολεοδομική και κατασκευαστική αύξηση της περιοχής, παρατηρήθηκε ότι πραγματοποιήθηκε μια αύξηση κατασκευών, όχι όμως σε βαθμό τέτοιο που θα έλεγε κάποιος ότι βρίσκεται η περιοχή αυτή σε εποχή έντονης πολεοδομικής ανάπτυξης. Ήταν μέσα στα όρια της φυσιολογικής ανάπτυξης μιας επαρχιακής πόλης η οποία παραμένει κατοικήσιμη και ζωντανή. Σε αυτό το σημείο, αντλώντας στοιχεία από τον χάρτη κλάσεων είναι φανερή μια έντονη ανάπτυξη των τεχνητών επιφανειών κοντά στη θάλασσα, πράγμα που σημαίνει ότι τα περισσότερα νέα κτίρια έχουν σαν στόχο τις τουριστικές εκμεταλλεύσεις.

Τέλος από οικολογικής / δασοπονικής πλευράς, η διαχρονική μελέτη των κλάσεων έδειξε ότι τα δάση αυξάνονται γενικά, είτε από την μείωση των γυμνών εδαφών (αναδασώσεις), είτε από την φυσική εξέλιξη ενός τμήματος από θαμνώνες σε δάσος. Ας σημειωθεί ότι επαληθεύτηκε το ότι από τη χρονική περίοδο του 2003 έως το 2009, δεν είχε σημειωθεί κανένα γεγονός πυρκαγιάς ή πλημμύρας ώστε να άλλαζε την εμφάνιση του φυσικού τοπίου της περιοχής.

Από ότι φάνηκε, οι διαχρονικές αλλαγές ήταν ήπιες και ομαλές, μεταξύ των 6 χρόνων που μεσολάβησαν από τις 2 δορυφορικές εικόνες τύπου LANDSAT TM.

5.2 Συζήτηση αποτελεσμάτων με βάση την εφαρμογή της μεθόδου.

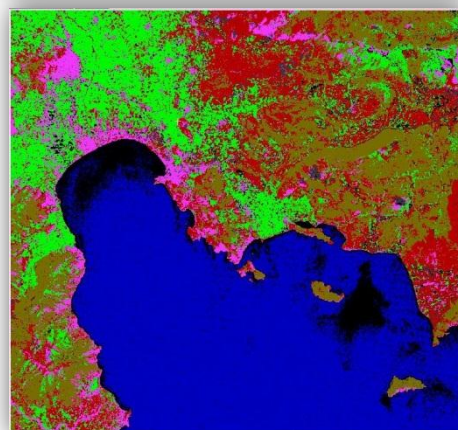
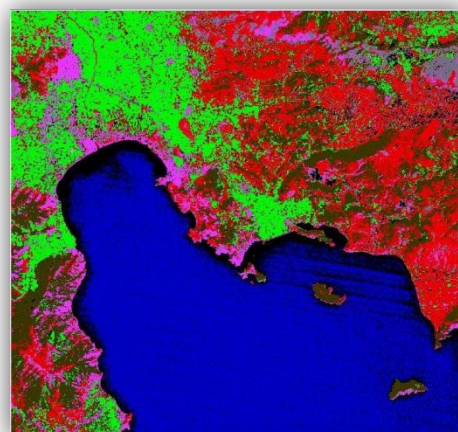
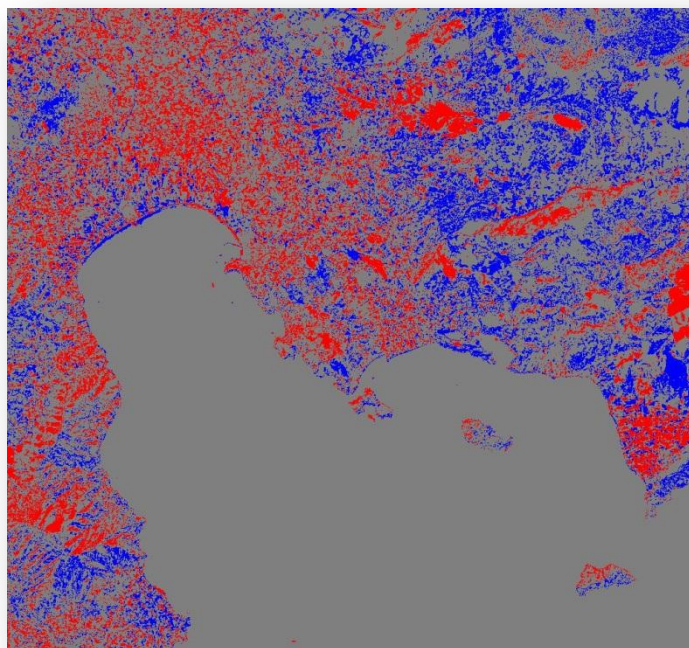
Η κύρια μέθοδος της κατηγοριοποίησης χρήσεων γής με βάση εικόνες αισθητήρα LANDSAT TM, και εφαρμογή λογάρithμου εποπτευόμενης ταξινόμησης «**Maximum Likelihood**» εμφανίζεται να απέδωσε αρκετά καλά με εικόνες 30x30 εικονοστοιχείων, αυτού του τύπου. Από τις 6 κλάσεις που ορίστηκαν, και στις δυο εικόνες που εφαρμόστηκε ο λογάρithμος, το ποσοστό (null) που δεν κατάφερε να ταξινομήσει ήταν αρκετά μικρό. Συγκεκριμένα, στην εικόνα του 2003, από τα 985025pixels που εμπεριείχε, τα 101538 δεν ταξινομήθηκαν, ποσοστό της τάξης του 10,31%, τα οποία είτε άνηκαν σε άλλος είδος χρήσης γης εκτός κλάσεων είτε δεν ανιχνεύτηκαν. Από τα στατιστικά αποτελέσματα του αλγορίθμου, η τιμή “overall accuracy” που εμφανίζει την ακρίβεια εφαρμογής του αλγορίθμου υπολογίστηκε στο 89,87%. Αντίστοιχα, για την εικόνα του 2009, από τα 985025pixels που εμπεριείχε, τα 80016 δεν ταξινομήθηκαν, ποσοστό του

8,12 % επί του συνολικού. Από τα στατιστικά αποτελέσματα του αλγορίθμου, η τιμή “overall accuracy” που εμφανίζει την ακρίβεια εφαρμογής του αλγορίθμου υπολογίστηκε στο 90,77%.

Στην εικόνα του 2009 εμφανίστηκε βελτιωμένη η ακρίβεια ταξινόμησης, Αυτό αφεΐλεται στο ότι η εικόνα αυτή είναι καθαρότερη από του 2003, γεγονός που σημαίνει ότι οι επεξεργασίες και τα φίλτρα εικόνας πριν την ταξινόμηση είναι αναγκαία για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

5.3 Συζήτηση αποτελεσμάτων μέσα από τη διαδικασία ποιοτικής σύγκρισης ISODATA- Maximum Likelihood

Κατά την εξέλιξη της μελέτης, στη φάση ενασχόλησης με την διαδικασία κατηγοριοποίησης, εφαρμόστηκαν μια μέθοδος ταξινόμησης μη εποπτευμένης (ISODATA) και μια μέθοδος εποπτευμένης ταξινόμησης (Maximum Likelihood). Παρακάτω εμφανίζεται ο χάρτης ποιοτικών αλλαγών χρήσεων γης (change detection map) της πρώτης μεθόδου και οι χάρτες ταξινόμησης χρήσεων γης της δεύτερης μεθόδου.:



Αν στον ποιοτικό χάρτη ISODATA θεωρηθούν με μπλέ χρώμα τα στίγματα στα σημεία που παρατηρήθηκαν αλλαγές χρήσεων γης, συμπεραίνεται μια ομοιότητα των σημείων αυτών, με τα σημεία διαφορετικών κλάσεων ανάμεσα στις 2 εικόνες, διαχρονικών αλλαγών Maximum Likelihood. Αντίστοιχα, αν θεωρηθούν με κόκκινο χρώμα τα στίγματα στα σημεία που δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές χρήσεων γης, πάλι ο χάρτης ISODATA ακολουθεί τις 2 εικόνες αλλαγών χρήσεων γης Maximum Likelihood.

6 Συμπεράσματα Μελέτης

Η μελέτη αυτή είχε σκοπό να μελετήσει τη διαχρονική αλλαγή χρήσεων γης στην περιοχή του Ναυπλίου Αργολίδας χρησιμοποιώντας 2 εικόνες δορυφορικές από αισθητήρα τύπου LANDSAT TM. Παράλληλα και μέσα από τη διαδικασία εξαγωγής της μελέτης αυτής καταρτιζόταν μια μεθοδολογία με βάση την οποία θα ήταν δυνατό βήμα προς βήμα να εφαρμοστεί και για άλλες περιοχές και χρονικές στιγμές και να εξαχθούν ίσης σημασίας αποτελέσματα και με αποδεκτή ακρίβεια. Η μεθοδολογία αυτή χτίστηκε βήμα προς βήμα, με αρχικό βήμα τα αναγκαία κριτήρια επιλογής εικόνων από τις γεωβάσεις. Έπειτα, περιγράφηκαν οι αναγκαίες ψηφιακές διορθώσεις των εικόνων ώστε να έρθουν σε συγκρίσιμη μορφή και τέλος δοκιμάστηκαν 2 είδη αλγόριθμων εφαρμογής κλάσεων σε εδάφη με χρήση τηλεπισκόπησης και δορυφορικών εικόνων. Το πρώτο είδος (isodata) αφορούσε μια μη εκπαιδευόμενη εφαρμογή κλάσεων, με ποιοτικά αποτελέσματα ενώ το δεύτερο είδος αφορούσε μια εκπαιδευόμενη πλήρης εφαρμογή κλάσεων χρήσεων γης σε εδάφη, με την μοναδική απαίτηση της γνώσης ορισμένων σημείων ενδιαφέροντος. Η δεύτερη μέθοδος εξήγαγε αριθμητικά ποσοτικά αποτελέσματα με ακρίβεια αποδεκτή ενώ η πρώτη εξήγαγε ποιοτικά αποτελέσματα σε μορφή χάρτη, που υποδείκνυε με επιτυχία τα σημεία στα οποία παρατηρήθηκαν αλλαγές χρήσεων γης. Η επιτυχία και η ορθότητα των αποτελεσμάτων επικυρώθηκε ύστερα από την ποιοτική σύγκριση των 2 μεθόδων. Τέλος προτάθηκε μια μεθοδολογία εξαγωγής των αναγκαίων 6 κλάσεων, στρατηγικά, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο CLC2000 σαν βάση.

Η μελέτη αυτή εξήγαγε αποτελέσματα με αποδεκτά όρια σφαλμάτων και κατάφερε να εδραιώσει μέθοδο επεξεργασίας για τη μελέτη διαχρονικών αλλαγών χρήσεων γης με τη χρήση εικόνων LANDSAT TM+ (30x30 px) οι οποίες παρέχονται στην έρευνα χωρίς πνευματικά δικαιώματα και είναι ελεύθερες (freeware) στο διαδίκτυο.

Τέλος, από την μελέτη των αποτελεσμάτων διαχρονικών αλλαγών χρήσεων γης για την περιοχή του Ναυπλίου Αργολίδας, τα συμπεράσματα που εξήχθησαν καθρέπτιζαν την περιοχή και την διαχρονική της πορεία με αρκετά μεγάλη λεπτομέρεια και από πολλούς τομείς μελέτης.

7 Παραρτήματα

7.1 Envi ITTS Unsupervised classification manual

Applying ISODATA Classification

ISODATA unsupervised classification calculates class means evenly distributed in the data space then iteratively clusters the remaining pixels using minimum distance techniques. Each iteration recalculates means and reclassifies pixels with respect to the new means. This process continues until the number of pixels in each class changes by less than the selected pixel change threshold or the maximum number of iterations is reached.

1. From the ENVI main menu bar, select Classification > Unsupervised > IsoData, or review the pre-calculated results of classifying the image by opening the can_iso.img file in the can_tm directory.
2. Select the can_tmr.img file and click OK. The ISODATA Parameters dialog appears.
3. Accept the default values, select the Memory radio button, and click OK. The new band is loaded into the Available Bands List.
4. From the Available Bands List, click the Display #2 button and select New Display.
5. Select the ISODATA band and click Load Band.
6. From the Display group menu bar, select Tools > Link > Link Displays. The Link Displays dialog appears.
7. Click the Display #2 toggle button to select No, and click the Display #3 toggle button to select Yes. Click OK to link the images.
8. Compare the ISODATA classification result to the color-composite image using the dynamic overlay feature in ENVI (click using the left mouse button in the Image window).
9. From the Display group menu bar, select Tools > Unlink Displays.
10. From the Display group menu bar, select Tools > Link > Link Displays. The Link Displays dialog appears.
11. Click the Display #1 toggle button to select No, and ensure that the Display #2 and Display #3 toggle buttons say Yes. Click OK to link and compare the K-means and ISODATA images.
12. If desired, experiment with different numbers of classes, change thresholds, standard deviations, maximum distance error, and class pixel characteristic values to determine their effect on the classification.

13. From the Display group menu bar on the K-Means Image window, select File > Cancel to close the display group. Close the ISODATA display group using the same technique.

7.2 Envi ITTS Supervised classification Manual

Selecting Training Sets Using Regions of Interest (ROI)

As described in the tutorial, An Introduction to ENVI and summarized here, ENVI lets you define regions of interest (ROIs) typically used to extract statistics for classification, masking, and other operations. For the purposes of this exercise, you can either use predefined ROIs, or create your own. In this exercise, you will restore predefined ROIs.

1. From the #1 Display group menu bar, select Tools > Region of Interest > ROI Tool. The ROI Tool dialog appears.
2. From the ROI Tool dialog menu bar, select File > Restore ROIs. The Enter ROI Filenames dialog appears.
3. Select the classes.roi file and click Open. Click OK. The ROIs appear in the Image window.

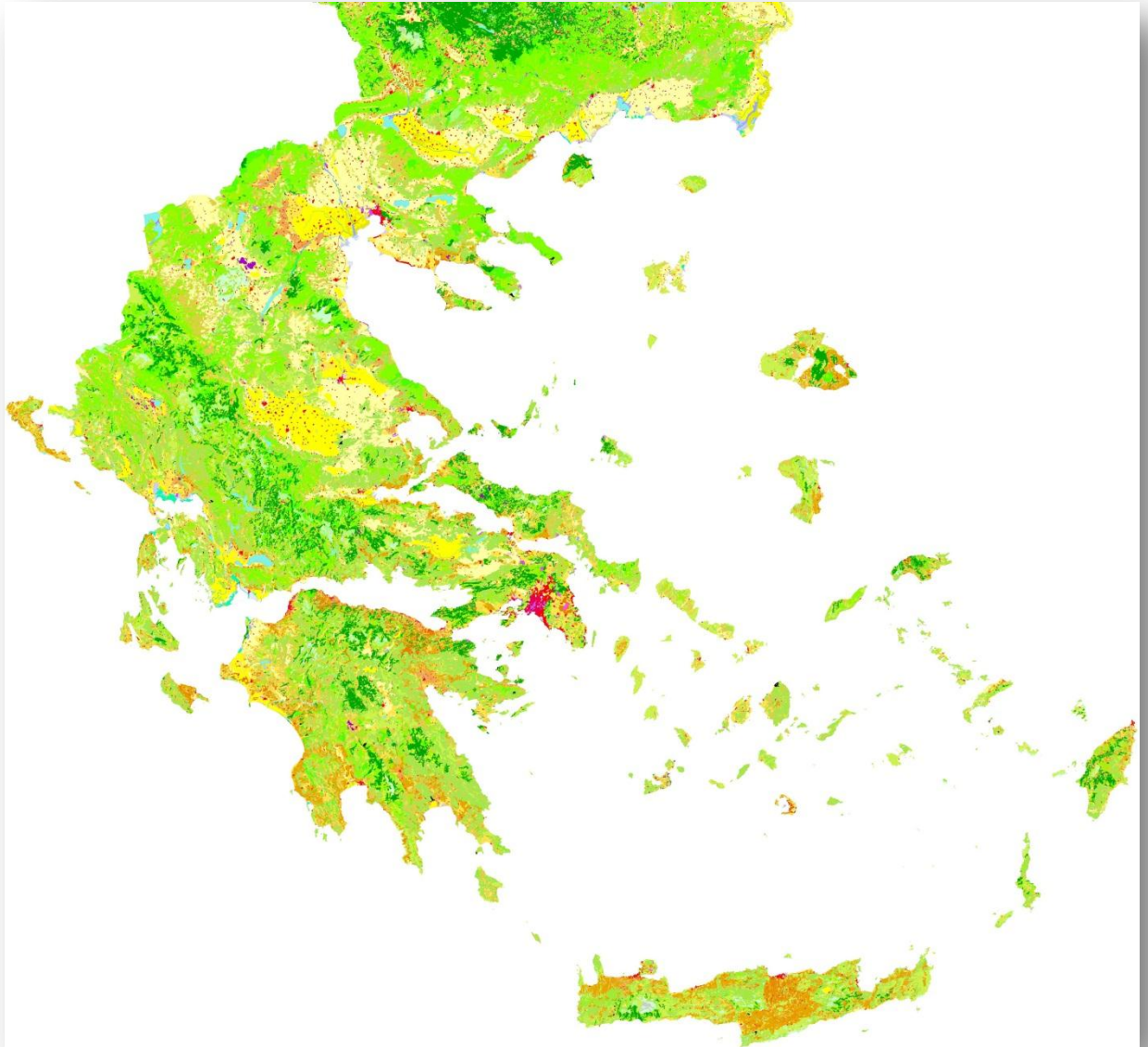
Applying Maximum Likelihood Classification

Maximum likelihood classification assumes that the statistics for each class in each band are normally distributed and calculates the probability that a given pixel belongs to a specific class. Unless a probability threshold is selected, all pixels are classified. Each pixel is assigned to the class that has the highest probability (i.e., the maximum likelihood).

1. Using the steps above as a guide, perform a Maximum Likelihood classification.
2. Try using the default parameters and various probability thresholds.
3. Use image linking and dynamic overlay to compare this classification to the color composite image and previous unsupervised and supervised classifications.

7.3 CLC 2000 (Corine Land Cover 200) map

Image2000 products are intended to be the main source of data for updating the European Land Cover database (CORINE Land Cover), but are also reference data in themselves. Primarily derived from Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper ETM+ imagery, they are georeferenced and orthorectified, resulting in a consistent, high quality product. (<http://image2000.jrc.ec.europa.eu/>)



8 Βιβλιογραφικές αναφορές

Γενική Βιβλιογραφία

- Εθνική μετεωρολογική υπηρεσία Ελλάδος
- Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος
- «Βασικές αρχές στη Δορυφορική Τηλεανίχνευση», Δρ. Γεώργιος Πετρόπουλος, 2009
- «Φασματικά χαρακτηριστικά υλικών σωμάτων και ραδιομετρικοί δείκτες στη δορυφορική Τηλεπισκόπηση», Δρ. Γεώργιος Πετρόπουλος, 2009
- A GIS-based fuzzy classification for mapping the agricultural soils for N-fertilizers use, J. H. Assimakopoulos, D. P. Kalivas and V. J. Kollias, 2003
- Fuzzy modeling of farmers' knowledge for land suitability classification, Rodrigo S. Sicat, , a, Emmanuel John M. Carranza, , b and Uday Bhaskar Nidumolu, 2004

Ειδική Βιβλιογραφία

- Νίκου Ν., 1999. Τοπογραφία Ι, Εκδόσεις Art of Text, Θεσσαλονίκη
- Στέλιου Π. Μέρτικας, 2006 «Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας», Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα
- Νικόλαος Γ. Συλλαίος, 2000, «Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών», Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη 2000
- Chris Sabol, Rich Burns, and Craig A. McLaughlin, «Satellite formation flying design and evolution», U.S. Air Force Research Laboratory, Kirtland Air Force Base, New Mexico 2001
- Καρτέρης Μ., 1999, «Τηλεπισκόπηση Περιβάλλοντος», Σχολή Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Θεσσαλονίκη
- IMAGE ANALYSIS TOOLBOX AND ENHANCED SATELLITE IMAGERY INTEGRATED INTO THE MAPPLACE By Ward E. Kilby¹, Karl Kliparchuk² and Andrew McIntosh²
- Anderson J., Mikhail E., Surveying: Theory and Practice, 1997. McGraw-Hill, 1200 pages.
- Kavanagh B. F., Surveying with Construction Applications, 2009. Prentice Hall, 704 pages.
- Raymond E. P., Whyte W., Basic Surveying, 1997. Laxton's, 348 pages.
- Uren J., Price W. F., Surveying for Engineers, 1994. Palgrave Macmillan, 608 pages.
- Αποστολάκης Κ., 1991. Τοπογραφία, Μετρήσεις-Σφάλματα-Τριγωνισμός - Οδεύσεις - Αποτυπώσεις-Υπολογισμός Εμβαδών και Όγκων, Εκδόσεις Α. Σταμούλης, Πειραιάς, 501 σελίδες.

- Βλάχος Δ., 1997. Τοπογραφία, Τόμος Α' - Όργανα και Μέθοδοι Μετρήσεων, Θεσσαλονίκη, 418 σελίδες.
- Βλάχος Δ., 1997. Τοπογραφία, Τόμος Β' - Τοπογραφικές Χαρτογραφήσεις, Θεσσαλονίκη, 368 σελίδες.
- Νίκου Ν., 1999. Τοπογραφία Ι, Εκδόσεις Art of Text, Θεσσαλονίκη, 206 σελίδες.
- Νίκου Ν., 2004. Τοπογραφία ΙΙ, Θεωρία-Εφαρμογές, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, 212 σελίδες.
- Satellite Formation Flying Design and Evolution, Chris Sabol,† and Rich Burns,† and Craig A. McLaughlin‡, U.S. Air Force Research Laboratory, Kirtland Air Force Base, New Mexico 87117-5776

Ιστοτόποι :

- <http://www.argolida.gr/>
- <http://topografia.wikispaces.com/%CE%91%CE%9D%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%95%CE%99%CE%9C%CE%95%CE%9D%CE%9F+%CE%A4%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%93%CE%A1%CE%91%CE%A6%CE%99%CE%91%CE%A3>
- <http://www.googlemaps.com>
- CORINE land cover 2000 – <http://clc2000.org> , <http://image2000.jrc.ec.europa.eu/>
- USGS GLOBAL Visualisation Center EROS (<http://glovis.usgs.gov/>)
- ENVI ITTS 4.5 On Line Manual : <http://ittvis.com>
- Center of Biodiversity and Conservation, 2004, «Remote Sensing Resources American Museum of Natural History», official website <http://cbc.amnh.org>, USA

Λογισμικά εφαρμογής :

- Microsoft Windows 7 platform
- Envi ITTS 4.5
- Corel Draw X graphics design software
- Microsoft Office 2010 suite
- ESRI – ArcGIS 10 software suite
- Google Earth Pro 2010
- ArcGIS EXPLORER real-time Land view suite
- Magellan GPS UTM Transfer suite
- Sony Picture Bridge image technology