



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**Τμήμα Γεωγραφίας
Πρόγραμμα Προπτυχιακών Σπουδών**

**" Τηλεπισκοπική ανασκόπηση με χρήση δορυφορικών εικόνων ASTER και LANDSAT
για την μελέτη της αποξήρανσης της λίμνης Τσαντ στην Αφρική για την χρονική περίοδο
1975 – 2013 "**

**Πτυχιακή εργασία της Τσόλη Ειρήνη
Επιβλέπων καθηγητής: Κ. Ισαάκ Παρχαρίδης**

Αθήνα, Ιούλιος 2014

Περιεχόμενα

Πρόλογος

Περίληψη

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Κεφάλαιο 2: Επιστήμη της τηλεπισκόπησης

2.1: Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

2.2: Αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ύλη

2.3: Συστήματα καταγραφής και είδη αισθητήρων

2.3.1: Κατηγορίες δορυφορικών αισθητήρων

2.3.2: Χαρακτηριστικά των μέσων τηλεπισκόπησης

2.4: Χαρακτηριστικά της τροχιάς των δορυφόρων

Κεφάλαιο 3: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Κεφάλαιο 4: Δορυφορικά συστήματα αναφοράς – Χαρακτηριστικά

4.1: Δορυφόρος Terra – όργανο καταγραφής ASTER

4.1.1: Κύρια υποσυστήματα οργάνου ASTER

4.1.2: Προϊόντα δεδομένων ASTER

4.1.3: Τι κάνει το υποόργανο ASTER μοναδικό

4.1.4: Προβλήματα λειτουργίας στο υποόργανο SWIR του ASTER

4.2: Δορυφόρος LANDSAT

4.2.1: LANDSAT 1

4.2.2: LANDSAT 2

4.2.3: LANDSAT 3

4.2.4: LANDSAT 4

4.2.5: LANDSAT 5

4.2.6: LANDSAT 7

4.2.7: LANDSAT 8

4.2.8: Ονομασίες καναλιών LANDSAT 8

4.3: Πως ο LANDSAT 8 διαφέρει από τους προηγούμενους δορυφόρους LANDSAT.

μελέτης

5.1: Περιοχή μελέτης – γεωγραφικά χαρακτηριστικά

5.2: Φυσικό – γεωγραφικά στοιχεία

5.2.1: Γεωλογικό υπόβαθρο

5.2.2: Έδαφος

5.2.3: Υδρολογικό δίκτυο

5.2.4: Κλιματικά δεδομένα

5.3: Ανθρωπογεωγραφικά στοιχεία

5.3.1: Κοινωνικο-οικονομική σημασία

5.3.2: Καλλιέργια στην λίμνη

5.3.3: Απειλές και συντήρηση

5.3.4: Αγροτική φτώχεια

5.4: Χάρτες χρήσεις/κάλυψης γης

Κεφάλαιο 6: Δεδομένα και προτεινόμενη μεθοδολογία για επεξεργασία

6.1: Δορυφορικά δεδομένα τύπου ASTER

6.2: Δορυφορικά δεδομένα LANDSAT.....σελ:

6.4: Στάδια επεξεργασίας δεδομένων

6.4.1: Προεπεξεργασία δεδομένων και δεδομένα L1B

6.4.2: Σώρευση καναλιών

6.4.3: Γεωαναφορά και συμπροσαρμογή εικόνων

6.4.4: Δείκτης βλάστησης

6.4.5: Διαγράμματα διαχρονικής παραμόρφωσης(προφίλ)

6.4.6: Συνδυασμός φασματικών ζωνών - δημιουργία ψευδέγχρωμων εικόνων

6.4.7: Ψευδέγχρωμες πολυχρονικές εικόνες

6.4.8: Ταξινόμηση εικόνας

Κεφάλαιο 7: Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων

7.1: Αποτελέσματα υπολογισμού δείκτη βλάστησης

7.2: Φασματικό προφίλ για τον δείκτη βλάστησης

7.3: Αποτελέσματα ψευδέγχρωμων εικόνων βάση δείκτη βλάστησης

7.4: Αποτελέσματα ψευδέγχρωμων εικόνων για τη διαφοροποίηση ξηράς-νερού στην
λίμνη Τσαντ

7.5: Αποτελέσματα ελεγχόμενης ταξινόμησης

Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα

Βιβλιογραφία

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου Αθηνών και αφορά περισσότερο κατεύθυνση Γεωπληροφορικής. Εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια των ετών 2013-2014. Η διπλωματική εργασία αυτή έχει ως στόχο τόσο τη διερεύνηση της ικανότητας και των αποτελεσμάτων της χρήσης παθητικών δορυφορικών συστημάτων τηλεπισκόπησης που ως σκοπό έχουν την παρατήρηση του γήινου περιβάλλοντος.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, κυρίως όμως τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή της σχολής Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου, κ. Ισαάκ Παρχαρίδη, ο οποίος μου εμπιστεύτηκε την εκπόνηση της παρούσας εργασίας καθώς τον ευχαριστώ και για την ουσιαστική καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου.

Τις θερμές μου ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω ξεχωριστά στον συμφοιτητή μου Χρίστο Μπουντζουκλή για την πολύτιμη συνεισφορά του στην εκπόνηση της εργασίας, για τις γνώσεις που μου μετέδωσε, για τη βοήθεια, τις σχετικές υποδείξεις και τις συμβουλές που μου παρείχε. Τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου αλλά και για την θερμή υποστήριξη του.

Ευχαριστίες ακόμη αποδίδονται στον συμφοιτητή και φίλο Δημήτρη Μουρουτζάκη που με στήριζε και με βοηθούσε όπου ηδύνατο όχι μόνο κατά την διάρκεια της πτυχιακής μου εργασίας αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών καθώς και στην Ερευνητική ομάδα Τηλεπισκόπησης του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου ιδιαίτερα στον Σπύρο Νεοκοσμίδη και Γιώργο Μπενέκο για την βοήθεια τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την συνεχή ενθάρρυνση και υποστήριξη τους κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο: " Τηλεπισκοπική ανασκόπηση με την χρήση δορυφορικών εικόνων ASTER και LANDSAT για την αποξήρανση της λίμνης Τσαντ στην Αφρική " πραγματεύεται την παρατήρηση της αλλαγής του δείκτη βλάστησης όσο και της εδαφικής παραμόρφωσης στην περιοχή της λίμνης Τσαντ στην Αφρική, με την χρήση δορυφορικών εικόνων ASTER και LANDSAT. Για την υλοποίηση της διπλωματικής αυτής, τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν ήταν α) εικόνες από τον δορυφόρο LANDSAT που καλύπτουν την χρονική περίοδο 1975 έως 2013 και β) δορυφορικές εικόνες ASTER για την χρονική περίοδο 2001 έως 2010. Οι εικόνες εστιάζουν στο δέλτα του ποταμού Chari στο νότιο τμήμα της λίμνης Τσαντ. Η λίμνη Τσαντ ήταν μία από τις μεγαλύτερες λίμνες παγκοσμίως η οποία άρχισε να συρρικνώνεται δραματικά από τα τέλη της δεκαετίας του 1960. Οι κλιματολογικές παράμετροι, η ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση του νερού για αρδευτική καλλιέργεια και η υψηλή δημογραφική πίεση έχουν συνεισφέρει στη συρρίκνωση της λίμνης στο 10 τοις εκατό του παλαιότερου μεγέθους της. Τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων και την εξαγωγή αποτελεσμάτων ήταν αρχικά ο δείκτης βλάστησης (NDVI), ψευδέγχρωμες εικόνες με βάση τον δείκτη βλάστησης καθώς και ψευδέγχρωμες με βάση το φασματικό κανάλι 7 (για τις εικόνες LANDSAT) και το φασματικό κανάλι 9 (για τις εικόνες ASTER), ελεγχόμενη ταξινόμηση. Για την διαδικασία αυτή, χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά ENVI και ERDAS Imagine και ArcGIS με σκοπό την τελειοποίηση των τελικών χαρτών. Τέλος, αξιοποιήθηκε το περιβάλλον Google Earth ως γεωγραφική βάση δεδομένων.

Λέξεις – κλειδιά: φωτοερμηνεία, τηλεπισκόπηση, δορυφορικά συστήματα, λίμνη Τσαντ, αποξήρανση, δείκτης βλάστησης, ψευδέγχρωμες εικόνες, φασματικό προφίλ, ελεγχόμενη ταξινόμηση, ERDAS, ENVI, ArcMAP

ABSTRACT

This thesis with title: " Remote Sensing Review using ASTER and LANDSAT satellite images to study the drying of Lake Chad in Africa " deals with the observation of the change of vegetation index and also of soil deformation in the area of Lake Chad in Africa using ASTER and LANDSAT satellite images. For the realization of this thesis, the data utilized was a) images from LANDSAT satellite covering the period between 1975 and 2013 b) ASTER images for the period 2001 to 2010. The images focus on the Chari River delta in the southern part of Lake Chad. Lake Chad was one of the largest lakes worldwide which started to shrink dramatically since the late 1960s. The climatic parameters, the uncontrolled exploitation of water for crop irrigation and high demographic pressure have contributed to the shrinking of the lake at 10 percent of the older size. Techniques used for the processing of raw data and export results were first the vegetation index (NDVI), false colour composite images based on vegetation index and false colour composite images by using spectral channel 7 (for LANDSAT images) and the spectral channel 9 (for ASTER images) and supervised classification. For this procedure, used the softwares of ENVI and ERDAS Imagine and ArcGIS in order to refine the final maps. Finally, utilized the Google Earth environment as a geographical database.

Keywords: image interpretation, remote sensing, satellite systems, Lake Chad, drying, vegetation index, false colour composite images, spectral profil, supervised classification, ERDAS, ENVI, ArcMAP

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

Η μελέτη και ανάλυση εικόνων της επιφάνειας της Γης από απόσταση, με αεροπλάνα ή δορυφόρους, σε φωτογραφική ή ψηφιακή μορφή, αποτελεί σήμερα στις γεωτεχνικές επιστήμες μία από τις πλέον χρήσιμες μεθόδους, με μεγάλη προσέγγιση και πολυδιάστατη πληροφόρηση. Στα μέσα του 19ου αιώνα για πρώτη φορά φωτογράφοι ανέβηκαν σε αερόστατο για να πάρουν πανοραμικές όψεις των πόλεων. Από τότε μέχρι σήμερα όπου οι δορυφόροι σαρώνουν τον πλανήτη μας, η γνώση του ανθρώπου για τον πλανήτη που ζει και λειτουργεί έχει οξυνθεί και διευρυνθεί.

Στη διάρκεια του δευτέρου παγκόσμιου πολέμου η εξέλιξη της μεθοδολογίας στη λήψη και στην ανάλυση φωτογραφιών από αεροπλάνα (αεροφωτογραφιών) υπήρξε ραγδαία.

Η πρώτη μεγάλη ανακάλυψη στη γνώση μας για τη Γη προήλθε από την πτήση του Βάνγκαρτ Ι το 1985, όπου με ανάλυση της πορείας του ο Τζων Ο ' Κηφ απέδειξε ότι, ο πλανήτης μας είναι στενότερος στο βόρειο και φαρδύτερος στο νότιο ημισφαίριο από ότι πίστευαν μέχρι τότε.

Η εξέλιξη της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, μετά την εκτόξευση του πρώτου αμερικανικού δορυφόρου εξερεύνησης φυσικών πόρων LANDSAT 1 (Ιούνιος 1972) ήταν και συνεχίζει να είναι ραγδαία με εφαρμογές σε όλους τους κλάδους των γεωεπιστημών.

Η παρατήρηση της γης από το διάστημα, τα τελευταία χρόνια, αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του περιβάλλοντος, την μελέτη του παγκόσμιου κλίματος, καθώς και το σχεδιασμό και την υποστήριξη αναπτυξιακών και παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή.

Φυσική καταστροφή είναι η συνέπεια ενός φυσικού κινδύνου όπως μίας πλημμύρας, μίας ηφαιστειακής έκρηξης, ενός σεισμού, μίας κατολίσθησης ή ενός τσουνάμι που όλα έχουν συνέπεια και επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Υπάρχει, βέβαια η περίπτωση η φυσική καταστροφή να οφείλεται σε αίτια αρκετά συνήθη όπως ένα μικρό χτύπημα κεραυνού, το οποίο απειλεί μία πολύ μικρή περιοχή, ή από την άλλη σε εξαιρετικά σπάνια αλλά άκρως επικίνδυνα φαινόμενα όπως ένα συμβάν πρόσκρουσης αστεροειδούς ή άλλου διαστημικού υλικού, το οποίο μπορεί να εξαλείψει ακόμη και ολόκληρο πολιτισμό.

Τα φυσικά φαινόμενα είναι απαραίτητα για την παραγωγή του φυσικού κινδύνου, και στη συνέχεια λόγω της τρωτότητας εξελίσσονται σε κίνδυνο και πιθανότητα καταστροφής. Πολλοί

επιστήμονες ορίζουν την έννοια του κινδύνου ως και την πιθανότητα πρόκλησης βλάβης από παράγοντα που προξενεί περιβαλλοντική καταστροφή. Ο περιβαλλοντικός κίνδυνος αποτελεί σήμερα αναπόσπαστο κομμάτι της ανθρώπινης ζωής και των καθημερινών ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Κατ' επέκταση κανένα άτομο δεν είναι δυνατόν να ζει σε περιβάλλον απόλυτα ασφαλές και να μην διατρέχει τον παραμικρό κίνδυνο.

Η ραγδαία ανάπτυξη η δορυφορικής τηλεπισκόπησης τις δύο τελευταίες δεκαετίες σε συνδυασμών με τη μείωση του κόστους εκτόξευσης των δορυφορικών συστημάτων, διαχείρισης και επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων, οδήγησε με ταχύ ρυθμό στην πλήρη επικράτηση της έναντι των μορφών τηλεπισκόπησης όπως τα αεροφωτογραφίας.

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση αξιοποιείται για την παρακολούθηση και τη μελέτη του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Χρησιμοποιείται στη γεωλογία, τη σεισμολογία, την τοπογραφία, τη μετεωρολογία, τη μελέτη της ατμόσφαιρας και του κλίματος, την ωκεανογραφία με αποτέλεσμα τα περισσότερα από τα παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα να μπορούν να μελετώνται και να παρακολουθούνται από δορυφόρους.

Τα δορυφορικά συστήματα έχουν δυνατότητες που δε διαθέτει καμία άλλη τεχνολογία, ιδίως σε ότι αφορά στην κάλυψη ολόκληρου του πλανήτη, στη χρήση διάφορων περιοχών του φάσματος και στη συχνή μέτρηση παραμέτρων σε περιοχές που συχνά είναι απρόσιτες για άλλα μέσα. Παράλληλα η δορυφορική τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για τη μελέτη φαινομένων περιορισμένης χωρικής κλίμακας, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα στις αλλαγές στο αστικό περιβάλλον.

Επίσης, προσφέρει λύσεις οικονομικότερες από οποιαδήποτε άλλη εναλλακτική τεχνολογία, ιδίως σε ότι αφορά στην ταχεία αποτύπωση και παρακολούθηση εκτεταμένων γεωγραφικών περιοχών. Μάλιστα, η νέα σειρά δορυφορικών συστημάτων πολύ υψηλής χωρικής και διακριτικής ικανότητας, όπως οι: IKONOS, Quickbird και οι δορυφόροι MSG, ενισχύει σημαντικά τις δυνατότητες της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, τόσο στα πλαίσια υπαρχουσών εφαρμογών όσο και σε σχέση με την ανάπτυξη νέων εφαρμογών (Καρτάλης, Φειδάς, 2006).

2.ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Ο όρος τηλεπισκόπηση ή τηλεανίχνευση (remote sensing) χρησιμοποιείται για την περιγραφή της διαδικασίας λήψης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μία περιοχή ή ένα φαινόμενο, με την χρήση ανιχνευτικών συσκευών που δεν βρίσκονται σε επαφή με το αντικείμενο παρατήρησης.

Με μια στενότερη έννοια, η τηλεπισκόπηση του περιβάλλοντος σημαίνει απόκτηση πληροφοριών για μια γήινη επιφάνεια με την από απόσταση μέτρηση και αποτύπωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης και την ατμόσφαιρα.

Η τηλεπισκόπηση έχει τριπλή διάσταση, που περιλαμβάνει τις ακόλουθες τρεις παραμέτρους:

- τους στόχους, που συνιστούν τα υπό μελέτη αντικείμενα ή τα φαινόμενα μιας περιοχής
- την τεχνική συλλογής δεδομένων με τη βοήθεια οργάνων που βρίσκονται σε απόσταση από τους στόχους
- την ανάλυση και την ερμηνεία δεδομένων

Η τηλεπισκόπηση με την ευρεία της έννοια μπορεί να συμπεριλάβει την ανθρώπινη όραση, και τις ακτίνες X των ιατρικών επιστημών. Οι συμβατικές φωτογραφίες, οι αεροφωτογραφίες, η λήψη εικόνων ραντάρ, οι δορυφορικές εικόνες, οι μετρήσεις του πεδίου βαρύτητας της γης και άλλα. Οι πιο χαρακτηριστικές και διαδεδομένες εφαρμογές της τηλεπισκόπησης όμως περιορίζονται στις αεροφωτογραφίες και τη λήψη εικόνων από δορυφόρους. Ιδιαίτερη άνθηση εμφάνισε τις δύο τελευταίες δεκαετίες, η δορυφορική τηλεπισκόπηση (satellite remote sensing), δηλαδή η καταγραφή δεδομένων από ανιχνευτές οι οποίοι φέρονται από δορυφόρους.

Οι αισθητήρες των δορυφορικών συστημάτων ανιχνεύουν και καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που είτε ανακλάται ή εκπέμπεται από κάποια επιφάνεια σε διάφορες φασματικές περιοχές. Η ακτινοβολία που καταγράφουν οι δορυφορικοί αισθητήρες έχει διαμορφωθεί από την αλληλεπίδραση της με την επιφάνεια και την ατμόσφαιρα της γης και συνεπώς μεταφέρει πληροφορίες για τις χημικές και φυσικές ιδιότητες της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας. Η γνώση λοιπόν των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά την αλληλεπίδρασή της με την ύλη αποτελεί το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση της επιστήμης της τηλεπισκόπησης (Καρτάλης, Φειδάς 2006).

2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Electromagnetic radiation – EMR) είναι η βασική ποσότητα ενέργειας όπου έχει την ικανότητα να παράγει έργο, και η οποία μετράται σε joules. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εκφράζεται όπως είναι γνωστό, σαν μηχανική, χημική, ηλεκτρική και θερμική.

Κάθε τηλεπισκοπική απεικόνιση προκύπτει ουσιαστικά με την κατάλληλη καταγραφή ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών, οι οποίες μεταφέρονται μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μετά από την αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα και τα αντικείμενα/ εμφανίσεις στην επιφάνεια της γης.

Η δυνατότητα λήψης δεδομένων σε μια μεγάλη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (από την κοσμική ακτινοβολία μέχρι τα μικροκύματα), σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπει ή ανακλά κάθε αντικείμενο/ εμφάνιση σε διάφορα μήκη κύματος είναι χαρακτηριστική της φυσικής κατάστασης και της χημικής του σύστασης, οδηγεί στην εξ αποστάσεως αναγνώριση και μελέτη του, δηλαδή σε εφαρμογή της τηλεπισκόπησης.

Οι δέκτες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε δορυφόρους καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ή την ένταση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι κύριες ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, όπως και κάθε κύμα γενικότερα, είναι το μήκος κύματος (λ), που ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ δύο κορυφών του κύματος, και η συχνότητά του (ν), δηλαδή ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από ένα σημείο σε ένα δευτερόλεπτο, η οποία μετριέται σε Hertz (Hz).

Το σύνολο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με διαφορετικό μήκος κύματος αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συνίσταται από κύματα με μήκη κύματος από $0,1\mu\text{m}$ ($1\text{m} = 1.000.000\mu\text{m}$) έως 100m και περιλαμβάνει: το πεδίο ακτινών γ (γ -rays), το πεδίο ακτινών x (x -rays), το πεδίο υπεριώδους ακτινοβολίας (ultraviolet), το πεδίο ορατού φωτός (visible light), το πεδίο υπέρυθρης ακτινοβολίας (infrared), το πεδίο μικροκυμάτων (microwaves) και το πεδίο ραδιοκυμάτων (radio waves).

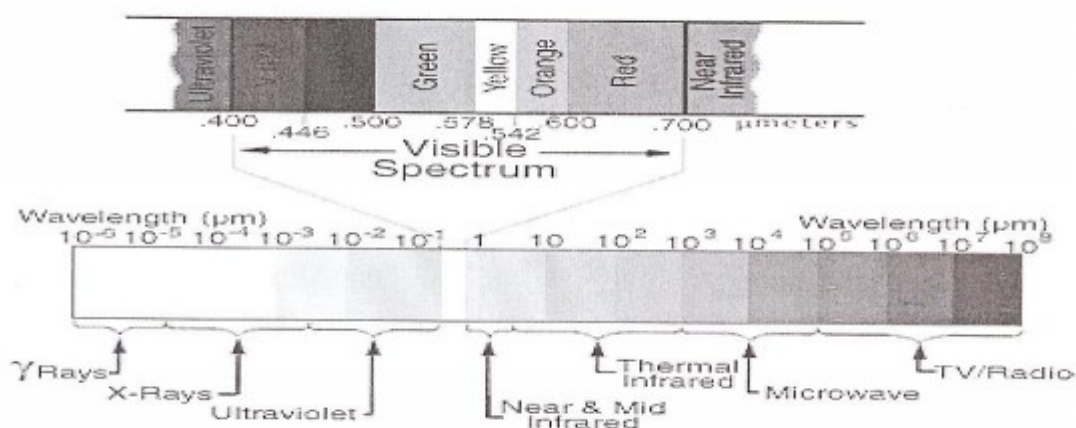
Από το συνολικό πεδίο του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η τηλεπισκόπηση αξιοποιεί την περιοχή εκείνη που έχει μήκος κύματος και περιλαμβάνει το υπεριώδες, το ορατό φως, το εγγύς και μέσο υπέρυθρο, το θερμικό υπέρυθρο και τα μικροκύματα.

Κάθε αντικείμενο/ εμφάνιση έχει μια φασματική υπογραφή, όπως ονομάζεται, η οποία είναι το ποσό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται από το αντικείμενο/ εμφάνιση. Το ποσό αυτό καταγράφεται από τον δέκτη ως μια συγκεκριμένη τιμή για κάθε

πεδίο του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ανάλογα με το εκάστοτε εξεταζόμενο πεδίο του φάσματος, για το ίδιο αντικείμενο/ εμφάνιση, μπορούμε να πάρουμε και διαφορετική πληροφορία. Έτσι, η φασματική υπογραφή μας επιτρέπει να διακρίνουμε το χιόνι από το νερό, τη βλάστηση από το χώμα, τους διάφορους τύπους πετρωμάτων μεταξύ τους, τις διάφορες ενώσεις στην ατμόσφαιρα (Αργιαλάς, 2000).

Το ορατό τμήμα του φάσματος είναι εξαιρετικά μικρό, αφού η φασματική ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού εκτείνεται μόνο από 0,4μm μέχρι περίπου 0,7μm. Το λευκό χρώμα του φωτός προέρχεται από ένα μείγμα έξι χρωμάτων, που είναι το ιώδες, μπλε, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και ερυθρό. Τα βασικά όμως χρώματα του ορατού είναι το μπλε (0,40 – 0,50 μm), το πράσινο (0,50 – 0,60 μm) και το ερυθρό (0,60 – 0,70 μm) και από τα οποία με κατάλληλο συνδυασμό προκύπτουν όλα τα υπόλοιπα. Για παράδειγμα το κίτρινο χρώμα προέρχεται από τον συνδυασμό του κόκκινου με το πράσινο, και ως εκ τούτου απορροφά το μπλε και ανακλά τα άλλα δύο, ενώ το κυανό απορροφά το κόκκινο και ανακλά το μπλε και το πράσινο.

Η υπεριώδης (UV) ενέργεια συνορεύει με το τέλος του μπλε στην ορατή περιοχή του φάσματος. Το κανάλι UV βρίσκεται μεταξύ ακτίνων X και ορατού στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, με μήκος κύματος από 0,01 έως 0,40 μm και διακρίνεται σε μακρινό (far UV, 0,01-0,20 μm), ενδιάμεσο (middle UV, 0,20-0,30 μm) και κοντινό (near UV, 0,30-0,40) (Καρτάλης, Φειδάς, 2006). Στο τέλος του κόκκινου (τέλος ορατής περιοχής) συνορεύουν 3 διαφορετικές κατηγορίες υπέρυθρων κυμάτων: Το εγγύς υπέρυθρο (near IR, από 0.7 έως 1.3μm), το μέσο υπέρυθρο (middle IR, από 1.3 έως 3μm) το μακρινό (far IR, 5,60-1000 μm) και το θερμικό υπέρυθρο (πέρα των 3μm έως 1000 μm ή 0,1 cm). Η περιοχή του θερμικού υπέρυθρου σχετίζεται άμεσα με τη θερμική ενέργεια. Το κανάλι των μικροκυμάτων τοποθετείται μεταξύ του υπέρυθρου και των ραδιοκυμάτων, με μήκος κύματος από 0,1 cm έως 1 m (Αργιαλάς, 2000).



Εικόνα 2.1: Κύρια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και των καναλιών του, με το βμήκος κύματος, τη συχνότητα και την ενέργεια φωτονίων (Πηγή: Frinberg 1968).

Αυτό περιλαμβάνει τα μεγαλύτερα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται στην Τηλεπισκόπηση. Η ακτινοβολία των μικροκυμάτων έχει την ικανότητα να διαπερνάει τα σύννεφα και διάφορα επιφανειακά αντικείμενα ανάλογα με το μήκος κύματος που χρησιμοποιείται. Σ' αυτό το κομμάτι της ακτινοβολίας, δηλαδή στο μικροκυματικό κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος λειτουργούν τόσο παθητικοί όσο και ενεργητικοί αισθητήρες.

Οι παθητικοί αισθητήρες (δέκτες) καταγράφουν την ενέργεια που προέρχεται από ένα αντικείμενο (στόχος). ενώ οι ενεργητικοί εκπέμπουν σήμα το οποίο αποστέλλεται στον στόχο και επιστρέφοντας καταγράφεται από κατάλληλους δέκτες (Παρχαρίδης,2003).

2.2 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ

Η ακτινοβολία κατά την αλληλεπίδρασή της με την ύλη εκπέμπεται, απορροφάται και ανακλάται και τέλος διαπερνά ένα σώμα. Οι διεργασίες αυτές περιγράφονται ως εξής:

- Εκπομπή (emission) . Όλα τα σώματα εκπέμπουν θερμική ενέργεια ακτινοβολώντας αλλά η ένταση της ακτινοβολίας αυτής εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται. Όσο πιο θερμό είναι ένα σώμα τόσο πιο έντονα ακτινοβολεί και μάλιστα σε πιο μικρά μήκη κύματος. Εκτός από την θερμοκρασία η ένταση της ακτινοβολίας ενός σώματος εξαρτάται και από τη φύση του σώματος
- Απορρόφηση (absorption) . Όταν η ακτινοβολία προσπέσει σε ένα σώμα τότε απορροφάται και η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται. Το ποσό της ακτινοβολίας που απορροφάται από ένα σώμα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του σώματος, τη φύση του υλικού και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας
- Ανάκλαση (reflection) . Εκφράζει την ικανότητα ενός σώματος να αποκρούει την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό χωρίς να μεταβάλλεται ούτε η φύση του σώματος ούτε τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας που προσπίπτει και ανακλάται. Ουσιαστικά είναι η αντίθετη διεργασία από την απορρόφηση καθώς αν μια ακτινοβολία ανακλάται δεν απορροφάται και αντίστροφα
- Σκέδαση (scattering) . Αποτελεί τη διαδικασία απομάκρυνσης των φωτονίων από την αρχική δέσμη και μεταβολή της διεύθυνσης κίνησής τους κατά την πρόσκρουση της ακτινοβολίας στα αιωρούμενα σωματίδια ή στα μόρια ενός ρευστού. Η ένταση της σκέδασης εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων αυτών, τη συγκέντρωσή τους, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και το μήκος διαδρομής της ακτινοβολίας στο ρευστό
- Διαπερατότητα (transmission) . Αυτή είναι η διεργασία κατά την οποία ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας διέρχεται μέσα από το σώμα. Η διαπερατότητα ενός σώματος εξαρτάται εκτός από τη φύση του σώματος και από το μήκος κύματος της

ακτινοβολίας (Καρτάλης, Φειδάς 2006)

2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Ο όρος απομακρυσμένοι αισθητήρες (remote sensors) περιλαμβάνει όλα τα όργανα ανίχνευσης και μέτρησης από απόσταση της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, καθώς και τα ανακλώμενα ακουστικά κύματα από αντικείμενα που βρίσκονται κάτω από τις υδατικές μάζες, στην περίπτωση των Sonar (Avery & Berlin, 1992).

Τα καταγραφικά συστήματα που φέρονται από δορυφόρους ανήκουν στην ευρεία κατηγορία των ραδιομέτρων (radiometer), τα οποία αποτελούν όργανα μέτρησης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Εάν ο αισθητήρας περιλαμβάνει ένα φράγμα περίθλασης το οποίο διαχωρίζει την ακτινοβολία, που εκτείνεται σε μία περιοχή του φάσματος, σε μικρότερες φασματικές περιοχές, τότε αυτός ονομάζεται φασματοραδιόμετρο (spectroradiometer).

2.3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της Τηλεπισκόπησης στην χρήση εικόνων, όπου χρησιμοποιούνται φασματικά κανάλια στο ορατό, υπέρυθρο και μικροκυματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, περιγράφονται με:

- την χωρική διακριτική ικανότητα η οποία αναφέρεται στο μέγεθος του μικρότερου χαρακτηριστικού που μπορεί να ανιχνευθεί. Συνήθως οι δορυφόροι που βρίσκονται σε πολύ υψηλή τροχιά ενώ καταγράφουν μεγάλες περιοχές η διακριτική ικανότητα περιορίζεται.
- την φασματική διακριτική ικανότητα η οποία σχετίζεται με τον αριθμό των φασματικών καναλιών που χρησιμοποιεί ο κάθε δορυφόρος
- την ραδιομετρική διακριτική ικανότητα η οποία περιγράφει την ικανότητα ενός συστήματος να καταγράφει διαφορές στην ισχύ του σήματος. Τα δεδομένα μιας εικόνας αντιπροσωπεύονται από ψηφιακές τιμές που μεταβάλλονται από 0 έως μια τιμή X παράγωγη στη δύναμη του 2. Η αύξηση της ραδιομετρικής ικανότητας προκαλεί αύξηση των διαβαθμίσεων του γκρι στην εικόνα, και επομένως έχουμε μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα των στόχων
- την χρονική διακριτική ικανότητα η οποία σχετίζεται με την συχνότητα λήψης εικόνων για την ίδια περιοχή. Η περίοδος επαναληψιμότητας για ένα δορυφορικό σύστημα συνήθως είναι της τάξης κάποιων ημερών για να μπορέσει να αποτυπώσει την ίδια γεωγραφική περιοχή με την ίδια γωνία παρατήρησης, απόλυτη χρονική διακριτική ικανότητα

2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ

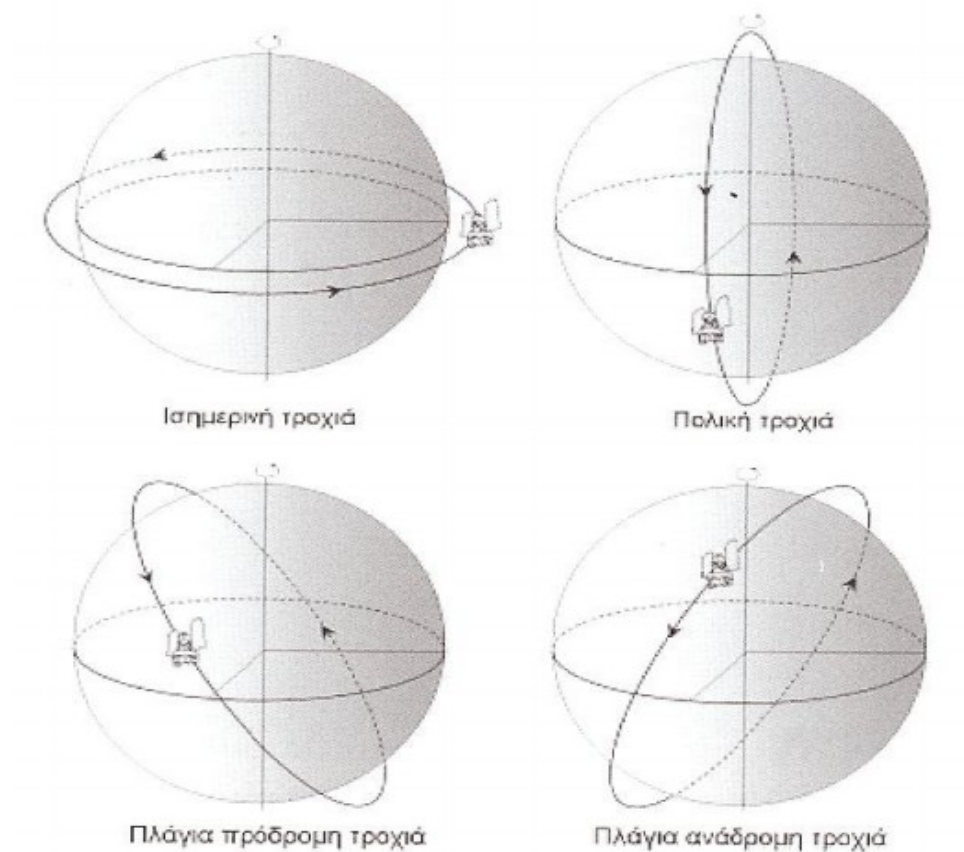
Η διαδρομή που ακολουθείται από έναν δορυφόρο γύρω από τη Γη ονομάζεται τροχιά. Η τροχιά σχετίζεται με τις δυνατότητες και το στόχο για το οποίο τέθηκε σε τροχιά ο δορυφόρος. Η επιλογή της τροχιάς μπορεί να αλλάζει ως προς το ύψος, τον προσανατολισμό και την περιστροφή ως προς τη Γη.

Το ύψος της τροχιάς που τίθενται οι δορυφόροι κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 800 και 1500 km. Υπάρχουν όμως και δορυφόροι που η τροχιά τους βρίσκεται σε πολύ μεγάλο ύψος, περίπου 36.000 km. Οι δορυφόροι της πρώτης κατηγορίας ονομάζονται δορυφόροι χαμηλής τροχιάς και της δεύτερης κατηγορίας καλούνται υψηλής τροχιάς ή γεωστατικοί.

- Δορυφόροι Χαμηλής Τροχιάς - Οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς (low-level earth observation satellites, LEO'S) περιστρέφονται γύρω από τη γη σε ύψος 800-1500 km.

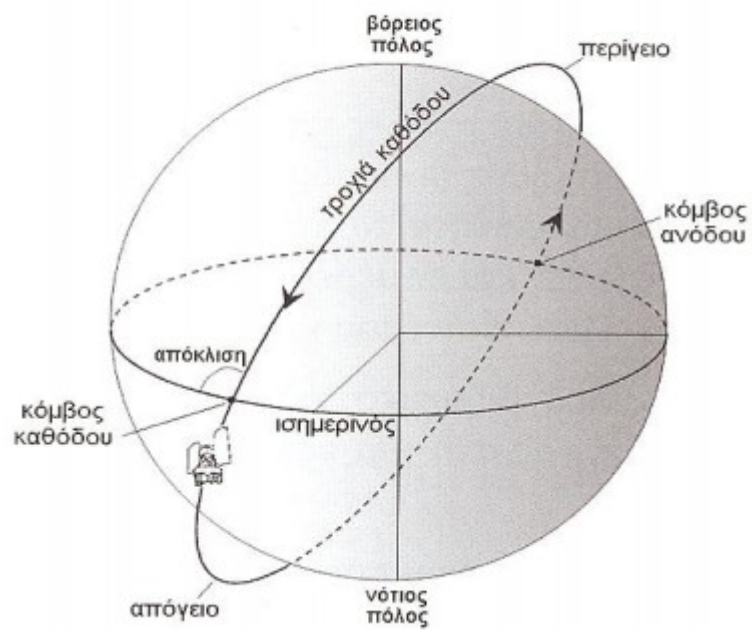
Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της τροχιάς τους διακρίνονται σε (Cambell, 2002) (Εικόνα 2.2).

1. Δορυφόρους με πολική ηλιοσύγχρονη (sun-synchronous) τροχιά όπου στους δορυφόρους αυτούς η γωνία μεταξύ του ήλιου και του επιπέδου της τροχιάς του δορυφόρου διατηρείται σταθερή. Έτσι, εξασφαλίζεται η σταθερότητα της γωνίας της ηλιακής ακτινοβολίας, σε δεδομένο γεωγραφικό πλάτος, για μικρό χρονικό διάστημα. Το είδος αυτό των δορυφόρων είναι ιδανικό για τηλεπισκοπικά συστήματα με παθητικούς ή οπτικούς δέκτες, που χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας την ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η κλίση της τροχιάς του δορυφόρου πλησιάζει τις 90ο, ώστε να καλύπτει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειας της γης, που βρίσκεται μεταξύ των δύο πόλων, ενώ το ύψος της τροχιάς του είναι περίπου 1.000km πάνω από την επιφάνεια της γη
2. Δορυφόρους με ισημερινή γεωσύγχρονη - γεωστατική (equatorial geosynchronous) τροχιά όπου οι δορυφόροι της κατηγορίας αυτής παραμένουν σταθεροί πάνω από το ίδιο σημείο της επιφάνειας της γης, γι' αυτό ονομάζονται και γεωστατικοί. Αυτό επιτυγχάνεται με τόση αύξηση του ύψους της τροχιάς τους (περίπου στα 35.800km ή 5,6 φορές την ακτίνα της γης), ώστε η περίοδος τροχιάς να γίνει ίση με την περίοδο περιστροφής της γης. Τέτοιου είδους τροχιές μπορούν να επιτευχθούν μόνο για σημεία του Ισημερινού
3. Δορυφόρους πλάγιας ή σχεδόν πολικής τροχιάς (oblique-orbiting or near-polar orbiting satellites), των οποίων η απόκλιση της τροχιάς είναι διαφορετική των 90ο. Οι περισσότεροι δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Επίσης μπορεί να παρατηρηθεί μια ιδιαίτερη τροχιά στην οποία η γωνία μεταξύ του επιπέδου της τροχιάς του δορυφόρου και της διεύθυνσης του άξονα γης-ήλιου είναι πάντοτε σταθερή. Στην περίπτωση αυτή ο δορυφόρος περνά πάνω από κάθε περιοχή πάντοτε την ίδια τοπική ώρα, σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα (δύο φορές την ημέρα για τους μετεωρολογικούς δορυφόρους και μια φορά ανά αρκετές ημέρες για τους πλουτοπαραγωγικούς δορυφόρους). Αυτή η τροχιά ονομάζεται ηλιοσύγχρονη (sun-synchronous) και έχει το πλεονέκτημα ότι οι λήψεις που γίνονται την ίδια εποχή έχουν τις ίδιες συνθήκες φωτισμού δηλαδή, την ίδια ηλιακή γωνία σε όλες τις περιοχές που βρίσκονται στην ίδια παράλληλο



Εικόνα 2.2: Δορυφόροι χαμηλής τροχιάς σε ισημερινή, πολική, πλάγια, πρόδρομη και πλάγια ανάδρομη τροχιά (Πηγή: Καρτάλης, 2006).

- Δορυφόροι Υψηλής τροχιάς - Οι δορυφόροι υψηλής τροχιάς (high-level earth observation satellites) περιστρέφονται γύρω από τη γη, στο επίπεδο του ισημερινού της γης, σε πολύ μεγάλο ύψος, περίπου 36.000 km. (Εικόνα 2.3). Η τροχιά αυτή έχει την ιδιαιτερότητα ο δορυφόρος να κινείται με γωνιακή ταχύτητα ίση με αυτή της γης. Με τον τρόπο αυτό, ο δορυφόρος βρίσκεται στάσιμος πάνω από μια περιοχή της γης, και για αυτό το λόγο ονομάζεται γεωστάσιμος (geostationary earth observation satellites, GEO's). Επιτυγχάνεται έτσι συνεχής κατόπτευση του γήινου δίσκου (Εικόνα 2.3) με πολύ μεγάλη διακριτική ικανότητα, η οποία εξαρτάται μόνο από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σαρωτή. Αρνητικό τους είναι το γεγονός πως το πολύ μεγάλο ύψος τους περιορίζει σημαντικά τη χωρική διακριτική ικανότητα που φέρουν (Καρτάλης, 2006)



Εικόνα 2.3: Τα χαρακτηριστικά της τροχιάς των δορυφόρων (Πηγή: Καρτάλης, 2006)

3.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Οι **Duan H. et al 2013** ασχολήθηκαν με τις δυνητικές παραμέτρους που επηρεάζουν την ταξινόμηση στην λεκάνη του Dali Erhai χρησιμοποιώντας το μοντέλο Bayesian MRF (Markov random field). Το MRF έχει περισσότερα πλεονεκτήματα στον τομέα της επεξεργασίας των συναφών πληροφοριών. Η Bayesian προσέγγιση επιτρέπει την ενσωμάτωση του μοντέλου και την κατανομή της πιθανότητας και η συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιεί το μοντέλο ταξινόμησης Bayesian MRF βασισμένο σ'έναν χάρτη θεμάτων (MAP-ICM framework). Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι πρώτον οι δυνητικές παραμέτροι επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την κατάταξη. Όταν είναι 0,5, η ακρίβεια ταξινόμησης φθάνει κατ 'ανώτατο όριο με το καλύτερο αποτέλεσμα ταξινόμησης για την περιοχή μελέτης χρησιμοποιώντας δεδομένα Landsat TM. Δεύτερον το MRF μοντέλο έχει προφανή πλεονεκτήματα στην κατάταξη για γειτονικά pixels, έτσι ώστε να μπορούμε να διαχωρίσουμε την κατηγορία σκιάς από την κατηγορία νερού, επειδή η σκιά στις ορεινές περιοχές είναι παρόμοια με το νερό στο φάσμα. Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης η καλύτερη ακρίβεια ταξινόμησης φτάνει 95,8%. Οι προσεγγίσεις και τα αποτελέσματα θα έχουν σημαντική αξία αναφοράς για εφαρμογές όπως η ταξινόμηση χρήσεων γης/κάλυψης, περιβαντολλογικές/οικολογικές παρακολουθήσεις κ.λ.π (Duan H. 2013).

Οι **Hicks B.J et al 2013** μελέτησαν την διαύγεια του νερού μέσω δορυφορικών εικόνων στην περιοχή Waikato στην Νέα Ζηλανδία. Οι δορυφορικές εικόνες προσφέρουν την ευκαιρία να επεκτείνουν χαμηλού κόστους παρακολουθήσεις και να εξετάσουν την χωρική και χρονική μεταβλητότητα των δεδομένων για την διαύγεια του νερού. Έχουν αναπτύξει αυτοματοποιημένες διαδικασίες χρησιμοποιώντας Landsat εικόνες για να υπολογίσουν το σύνολο των αιωρούμενων ιζημάτων (TSS), την θολρότητα (TURB) σε μονάδες θολότητας (NTU) και τον δίσκο που χρησιμοποιείται για να μετρηθεί η διαφάνεια του νερού (SDT) σε 34 ρηχές λίμνες στην περιοχή Waikato στην Νέα Ζηλανδία, που καλύπτει ένα χρονικό διάστημα πάνω από 10 έτη. Πενήντα τρεις εικόνες Landsat 7 ETM+ που έχουν ληφθεί μεταξύ Ιανουαρίου 2000 και Μαρτίου 2009 χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση, έξι εκ των οποίων συνελήφθησαν εντός 24 ωρών από φυσικές επιτόπιες μετρήσεις για κάθε 10 ρηχές λίμνες. Αυτό έδωσε 32-36 χρησιμοποιήσιμα σημεία δεδομένων για τις παλινδρομήσεις μεταξύ ανακλαστικότητας και επιτόπων μετρήσεων, το οποίο απέδωσε τιμές r^2 με εύρος διακύμανσης 0,67 - 0,94 για τις τρεις μεταβλητές της διαύγειας του νερού. Χρησιμοποιώντας αυτές τις παλινδρομήσεις, μια σειρά από σενάρια Arc Macro Language αναπτύχθηκαν για να αυτοματοποιήσουν την προετοιμασία της εικόνας και την ανάλυση της σαφήνειας του νερού.

Οι ελάχιστες και οι μέγιστες επιτόπιες μετρήσεις που αντιστοιχούν σε έξι εικόνες ήταν 2 και 344 mg / L για το TSS, 75 και 275 NTU για TURB, και 0,05 και 3,04 m για SDT. Οι τηλεανιχνευτικές εκτιμήσεις για την διαύγεια του νερού έδειξαν καλή συμφωνία με τα χρονικά πρότυπα και τις τάσεις στις παρακολουθούμενες λίμνες και έχουν επεκταθεί σύνολα δεδομένων για την διαύγεια του νερού σε λίμνες που προηγουμένως δεν είχαν κανέναν έλεγχο. Η υψηλή χωρική μεταβλητότητα των TSS και η διαύγεια του νερού σε ορισμένες λίμνες ήταν εμφανής, τονίζοντας τη σημασία των τοπικών εισροών και διαδικασιών που επηρεάζουν την σαφήνεια της λίμνης. Επιπλέον, η τηλεπισκόπηση μπορεί να δώσει μια ολόκληρη θέα στη ποιότητα του νερού της λίμνης, η οποία είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί με επιτόπιες μετρήσεις στο σημείο (Hicks B.J 2013) .

Οι **Lamaro A.A et al 2013** εκτίμησαν την θερμοκρασία στην επιφάνεια του νερού στο Embalse del Río Tercero (Córdoba, Αργεντινή) με δεδομένα από Landsat 7 ETM + (θερμικό υπέρυθρο) .

Η θερμοκρασία του επιφανειακού νερού είναι μια βασική παράμετρος στις φυσικές διεργασίες των υδρόβιων συστημάτων δεδομένου ότι συνδέεται στενά με τις ροές ενέργειας μέσω της διεπαφής του νερού-ατμόσφαιρα. Η τηλεπισκόπηση εφαρμόζεται σε μελέτες της ποιότητας του νερού στα εσωτερικά ύδατα καθώς είναι ένα ισχυρό εργαλείο που μπορεί να παρέχει πρόσθετες πληροφορίες γεγονός που είναι δύσκολο να επιτευχθεί με άλλα μέσα. Έχουν αναπτυχθεί πολλοί αλγόριθμοι για να ανακτήσουν την θερμοκρασία της επιφάνειας (κυρίως, την θερμοκρασία της επιφάνειας της γης) από ατ-αισθητήρα και τα δεδομένα εκπομπής στην επιφάνεια. Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να εφαρμοστεί το ενιαίο κανάλι γενικευμένης μεθόδου (SCGM) που αναπτύχθηκε από τους Jiménez Muñoz-και Sobrino (2003) για την εκτίμηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων από Landsat 7 ETM + (θερμικές ζώνες) . Έτσι, θεωρούν μια σταθερή τιμή εκπομπής νερού (0,9885) και συγκρίνουν τα αποτελέσματα με τη κλασική μέθοδο μεταφοράς ακτινοβολίας (RTM). Επέλεξαν το Embalse del Río Tercero (Córdoba, Αργεντινή) ως μελέτη περίπτωσης, διότι είναι μια δεξαμενή που πλήττεται από την έξοδο του συστήματος ψύξης του πυρηνικού σταθμού, του οποίου το θερμικό λοφίο θα μπορούσε να επηρεάσει τη διανομή και τη βιοποικιλότητα του βιόκοσμου του. Οι τιμές των εκτιμώμενων και των παρατηρούμενων θερμοκρασιών στην επιφάνεια του νερού που λαμβάνονται από τις δύο μεθόδους σύγκρισης συσχετίστηκαν από ένα απλό μοντέλο παλινδρόμησης. Οι συντελεστές συσχέτισης ήταν σημαντικοί (R^2 : 0,9498 για τη μέθοδο SCGM και R^2 : 0,9584 για τη μέθοδο RTM), ενώ τα τυπικά σφάλματα τους ήταν αποδεκτά και στις δύο περιπτώσεις (μέθοδος SCGM: $RMS = 1,2250$ μέθοδο και RTM: $RMS = 1.0426$) (Lamaro A.A 2013) .

Ο **Propastin P. 2012** ερέυνησε την ποσοτικοποίηση της σχέσης μεταξύ των κλιματολογικών συνθηκών και του κινδύνου μόλυνσεων από ακρίδες στο νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής της λίμνης Balkhash στη Δημοκρατία του Καζακστάν μέσω ενός συστήματος παρακολούθησης που συνδυάζει δορυφορικά και επίγεια δεδομένα. Σε αυτό το σύστημα παρακολούθησης, ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI), που προέρχεται από τον δορυφόρο SPOT-VGT, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση των πιθανών ενδιαιτημάτων ακρίδων και την παρακολούθηση της περιοχής τους κατά τη διάρκεια 1998 – 2007. Υψομετρικά στοιχεία TOPEX / Poseidon και Jason 1 χρησιμοποιήθηκαν για να παρακολουθείτε η διαχρονική δυναμική της στάθμης του νερού στη λίμνη Balkhash. Οι κλιματικές συνθήκες εκπροσωπούνται από τα αρχεία καιρικών συνθηκών για τη θερμοκρασία του αέρα και την βροχή κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου. Η διαδικασία κατάταξης, βασισμένη στην ανάλυση των πολύ-χρονικών τιμών SPOT-VGT NDVI που παρατηρούνται από τις επιμέρους κατηγορίες βλάστησης, παράγουν δέκα τύπους περιοχών κάλυψης γης ετησίως, οι οποίες στη συνέχεια χαρακτηρίζονται ως περιοχές με χαμηλό, μέσο και υψηλό κίνδυνο για προσβολή ακρίδων . Οι στατιστικές αναλύσεις έδειξαν τις σημαντικές επιδράσεις των κλιματικών παραμέτρων και ότι η λίμνη Balkhash είναι υδρολογικής σημασίας για την χωρική επέκταση των ετήσιων περιοχών των πιθανών ενδιαιτημάτων ακρίδων. Τα αποτελέσματα δείχνουν επίσης ότι οι δεσμοί μεταξύ του κινδύνου μόλυνσης ακριδών και περιβαλλοντικών παραγόντων χαρακτηρίζονται από χρονικές υστερήσεις. Η επέκταση των περιοχών κινδύνου ακρίδων προηγείται συνήθως πριν από ξηρή, καυτή χρονιά με χαμηλότερα επίπεδα του νερού στη λίμνη, όταν μεγάλες εκτάσεις με γρασίδι και καλάμια είναι απαλλαγμένες από εποχιακές πλημμύρες. Σε αντίθεση, χρονιές με υψηλά επίπεδα νερού στην λίμνη και χαμηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν την πιθανότητα ανάπτυξης ακρίδων (Propastin P. 2012) .

Οι **Chang N.B et al 2012** ασχολήθηκαν με την παρακολούθηση των συγκεντρώσεων ολικού οργανικού άνθρακα στη λίμνη Harsha (η οποία χρησιμεύει ως πηγή πρόσληψης νερού για την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού McEwen) στο Οχάιο χρησιμοποιώντας την τεχνική της ολοκληρωμένη σύντηξης δεδομένων και μηχανή-μάθησης (IDFM) με βάση τα δεδομένα ανάκλασης επιφάνειας από δορυφορικές εικόνες . Η συγκέντρωση του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) στα επιφανειακά ύδατα υπόκειται σε εποχιακές διακυμάνσεις, καθώς και σε απότομες αλλαγές στη συγκέντρωση που οφείλεται σε διάφορα γεγονότα. Κατά την επεξεργασία πόσιμου νερού, η TOC είναι ένας πρόδρομος για τα υποπροϊόντα απολύμανσης όπως η συνολική τριαλογονομεθάνια (TTHM). Με τη βοήθεια ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης για την ανίχνευση των συγκεντρώσεων TOC, οι υπεύθυνοι

επεξεργασίας νερού θα μπορούσαν να κάνουν πιο σωστές αποφάσεις και να προσαρμόσουν τις διαδικασίες επεξεργασίας για την ελαχιστοποίηση της παραγωγής των παραπροϊόντων απολύμανσης. Σε αυτή την εργασία, ένα σχεδόν πραγματικό χρονικό σύστημα παρακολούθησης εξερευνείται χρησιμοποιώντας την τεχνική ολοκληρωμένης σύντηξης δεδομένων και μηχανή-μάθησης (IDFM) για την πρόβλεψη της χωρικής κατανομής του πίνακα περιεχομένων σε μια λίμνη με βάση τα δεδομένα ανάκλασης επιφάνειας από δορυφορικές εικόνες. Δορυφορικές εικόνες Landsat 5 TM και Terra MODIS μπορούν να αποκτηθούν δωρεάν, οι MODIS έχουν ακόμη τραχύ χωρική ανάλυση, ενώ οι Landsat έχουν μια μακρά επανεξέταση 16 ημερών. Η δυσκολία λύνεται με τη χρήση αλγορίθμων σύντηξης για να συγχωνεύσει την χωρική ανάλυση του MODIS με την καθημερινή επανεξέταση του χρόνου του Landsat και να δημιουργήσει μια συνθετική εικόνα με τόσο υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής IDFM αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας 4 στατιστικούς δείκτες, που ανέφερε ότι το Artificial Neural Network μοντέλο είναι σε θέση να ανακατα τις συγκεντρώσεις TOC σε όλη τη λίμνη (Chang N.B 2012) .

Ο Sharifikia M. et al 2012 μελέτησαν την λίμνη Hamoun που βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του Ιράν. Η διαθεσιμότητα του γλυκού νερού στην λίμνη Hamoun έχει προκαλέσει πολλές κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην περιοχή μελέτης κατά τη διάρκεια αρκετών ετών όπως επίσης και τα υψηλά ποσοστά εξάτμισης σε μια πολύ ξηρή περιοχή και οι κλιματικές διακυμάνσεις κάνουν πολύ ευάλωτο το οικοσύστημα, προκαλώντας αρκετές περιβαλλοντικές προκλήσεις σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι παρατεταμένες ξηρασίες που οφείλονται στην μείωση των ετήσιων βροχοπτώσεων στη λεκάνη απορροής Hirmand βασίζονται στην αλλαγή του κλίματος κατά την τελευταία δεκαετία που έχουν καταγραφεί σε αυτή τη περιβαλλοντική επικίνδυνη περιοχή. Η ξήρανση της λίμνης Hamoun και το νεκρό σύστημα υφάλου στους υδροβιότοπους καταγράφηκε στην παρούσα μελέτη με την χρονική σειρά δορυφορικών εικόνων. Η ξήρανση της λίμνης έχει προκαλέσει αρκετές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως αμμοθύελλα και επικίνδυνη σκόνη, καταστροφή της βλάστησης, εξαφάνιση των καλλιεργειών παραγωγής, βλάβες στα ψάρια και ενδιαιτημάτων πτηνών, μείωση σε μεγάλο βαθμό των καλαμιών συγκομιδής, μείωση της κτηνοτροφίας και αύξηση των ποσοστών θανάτου άγριας ζωής, την αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και, κατά συνέπεια προβλήματα υγείας, αλμυρή κίνηση του εδάφους πάνω από τους τομείς της γεωργίας, τα οποία έχουν αναγνωριστεί ως αποτέλεσμα της έρευνας αυτής (Sharifikia M.) .

Οι **Carmelo Ricardo Fichera et al 2012** ασχολήθηκαν στην έρευνά τους με τεχνικές δεδομένων τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με GIS και μετρήσεις πεδίου σύμφωνα με τους οποίους είναι θεμελιώδους σημασίας για την ανάλυση και τον χαρακτηρισμό κάλυψη γης (LC) και τις αλλαγές της. Η μελέτη περίπτωσης που περιγράφεται εδώ, έχει διενεργηθεί στην περιοχή του Avellino (Νότια Ιταλία). Για να χαρακτηρίσουν τη δυναμική των αλλαγών κατά τη διάρκεια μιας περιόδου πενήντα χρόνων (1954 ÷ 2004), ένα σύνολο πολλαπλό-χρονικών εικόνων έχει υποβληθεί σε επεξεργασία: αεροφωτογραφίες (1954) και Landsat σκηνές (MSS 1975, TM 1985 και 1993, ETM + 2004). Το πρότυπο LC και οι αλλαγές της συνδέονται και με τις δύο φυσικές και κοινωνικές διεργασίες των οποίων ο καθοριστικός ρόλος έχει ξεκάθαρα αποδειχθεί στην μελέτη περίπτωσης: μετά τον καταστροφικό σεισμό Irpinia (1980), ειδικοί νόμοι χωρισμού και πολεοδομικά σχέδια έχουν ασχοληθεί σημαντικά με τα κατώτατα όρια της μεταβολή του τοπίου (Carmelo Ricardo Fichera 2012) .

Οι **Huang S. et al 2011** ασχολήθηκαν με την ένταξη του δείκτη ξηρασίας και των δεδομένων τηλεπισκόπησης για την προσομοίωση των υδροτόπων των επιφανειακών υδάτων για την χρονική περίοδο 1910 - 2009 στην περιοχή Cottonwood Lake, Βόρεια Ντακότα. Σύμφωνα με την έρευνα οι χωροχρονικές παραλλαγές του νερού των υδροτόπων στην περιοχή Λακκούβα Prairie ελέγχεται από πολλούς παράγοντες. Δύο από αυτούς είναι η θερμοκρασία και η βροχόπτωση που αποτελούν τη βάση του Δείκτη Σοβαρότητας Ξηρασίας Palmer (PDSI). Λαμβάνοντας τα 196 τετραγωνικά χιλιόμετρα της λίμνης Cottonwood ως χώρο πιλοτικής μελέτης, ενσωματώνουν τον PDSI, εικόνες Landsat και εναέρια φωτογραφικά αρχεία για την μηνιαία προσομοίωση της επιφάνειας του νερού. Πρώτον, ανέπτυξαν μια νέα Wetland Water Area Index (WWAI) από PDSI για να προβλέψει την επιφάνεια του νερού. Δεύτερον, ανέπτυξαν ένα μοντέλο κατανομής του νερού για την προσομοίωση της χωρικής κατανομής των υδατικών συστημάτων σε ανάλυση 30 μέτρων. Τρίτον, χρησιμοποίησαν μια πρόσθετη διαδικασία για την μοντελοποίηση των μικρών υδροτόπων (λιγότερο από 0.8ha) που δεν μπορούσε να ανιχνευθεί από Landsat. Τα αποτελέσματά έδειξαν ότι η WWAI είχε υψηλή συσχέτιση με τον τομέα του νερού με R^2 του 0,90, με αποτέλεσμα μια απλή πρόβλεψη υποχώρησης της μηνιαίας περιοχής νερού για να συλλάβει την ενδο-και δια-ετήσια αλλαγή νερού 1910 - 2009 καθώς και ότι η χωρική κατανομή των υδάτων διαμορφώθηκε από την προσέγγισή τους και συμφώνησε με τις θέσεις νερού προσδιοριζόμενα από τα οπτικά εναέρια φωτογραφικά αρχεία. Τέλος, η R^2 μεταξύ των διαμορφωμένων υδατινών σωμάτων τους (συμπεριλαμβανομένων των δύο μεγάλων και των μικρών υδροτόπων) και εκείνων που προέρχονται από τα εναέρια φωτογραφικά αρχεία θα μπορούσε να είναι έως 0,83 με μέσο όρο σφάλματος του 0,64 τετραγωνικά χιλιόμετρα εντός της περιοχής μελέτης όπου οι

διαμορφωμένες περιοχές νερού των υδροτόπων κυμαίνεται περίπου από 2 έως 14 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προσέγγισή έχει μεγάλες δυνατότητες για την προσομοίωση σημαντικών αλλαγών στην επιφάνεια του νερού των υδροτόπων για την υπηρεσία του οικοσυστήματος (Huang S. 2011) .

Ο **Durduran S.S. et al 2011** επικεντρώθηκαν στην μελέτη της αλλαγής της ακτογραμμής αξιολογώντας τις δεξαμενές νερού που βρίσκονται στην περιοχή της λεκάνης Konya στην Τουρκία. Σε αυτή τη μελέτη, οι αλλαγές εξετάστηκαν χρησιμοποιώντας Landsat TM και ETM + 1987-2006 και 1990-2000. Στο στάδιο της επεξεργασίας εικόνας, η εικόνα και η διανυσματοποίηση των δορυφορικών εικόνων πραγματοποιήθηκαν για την παρακολούθηση αλλαγών στην ακτογραμμή πάνω από τις λίμνες που βρίσκονται στην Konya Κλειστή Περιοχή Λεκάνης. Στο τέλος της μελέτης, οι σημαντικές κινήσεις ακτών εντοπίστηκαν για μια 19-χρονη περίοδο λόγω των επιπτώσεων της ξηρασίας, του γεωργικού ποτίσματος και τα λάθη σχεδιασμού με εμπειρία στη λεκάνη (Durudan 2011) .

Οι **Meliadis Ioannis et al 2011** στην παρακάτω έρευνα τους περιγράφουν τη μεθοδολογία και τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων των πολλαπλών χρονικών δεδομένων Landsat TM / ETM + του Νομού Θεσσαλονίκης στην περιοχή της Μακεδονίας, Ελλάδα για τα έτη 1986 , 1999 και 2008 .

Η μελέτη έδειξε την πιθανή χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης στη μελέτη της αλλαγής της χρήσης / κάλυψης γης γης. Τεχνικές GIS έχουν ενσωματωθεί σε αυτή τη μελέτη και έχουν αποδειχθεί πέραν πάσης αμφιβολίας τις δυνατότητές τους στην χωρικής ανάλυσης. Πληροφορίες από τη δορυφορική τηλεπισκόπηση μπορούν να διαδραματίσουν χρήσιμο ρόλο στην κατανόηση της φύσης των αλλαγών στις χρήσεις κάλυψης / γης όπου συμβαίνουν προβάλλοντας πιθανές μελλοντικές αλλαγές. Σε αυτή τη μελέτη οι εικόνες Landsat χρησιμοποιήθηκαν ικανοποιητικά για τον προσδιορισμό εννέα διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης / χρήσης γης. Εννέα διαφορετικές κατηγορίες έχουν χρησιμοποιηθεί , που ονομάζονται κωνοφόρα , πλατύφυλλα και μικτά δάση , αγροτικές γαίες , βοσκοτόπια , λιβάδια , τα υδατικά συστήματα , τις αστικές περιοχές και άλλες χρήσεις . Η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης ήταν 85 % για τα τρία έτη , καθώς και η ακρίβεια εντοπισμού αλλαγών ήταν 88-91 % . Ένα από τα πιο σημαντικά αποτελέσματα για τις ταξινομήσεις είναι η διακύμανση των περιοχών των υδάτινων σωμάτων , κυρίως των λιμνών , η μείωση των λιβαδιών και η αύξηση των δασών , των γεωργικών εκτάσεων και των βοσκοτόπων . Τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για την προβολή στο μέλλον να αναλύσουν την ποικιλότητα του τοπίου και τον κατακερματισμό , και να εξετάσουν διάφορα σενάρια για πιο οικολογική διαχείριση . Οι

ταξινομήσεις έδωσαν έναν οικονομικό και ακριβή τρόπο για να ποσοτικοποιηθούν , χαρτογραφηθούν και να αναλυθούν οι αλλαγές κάλυψη γης με την πάροδο του χρόνου (Meliadis Ioannis 2011) .

Οι **Nethaji Mariappan et 2010** μελέτησαν την ανίχνευση αλλαγής όπου είναι το μέτρο του διακριτού πλαισίου δεδομένων και θεματικών αλλαγών που μπορούν να καθοδηγήσουν σε πιο απτές γνώσεις σχετικά με την υποκείμενη διαδικασία που περιλαμβάνει την κάλυψη γης και τις αλλαγές χρήσης γης από τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τη συνεχή αλλαγή . Η κάλυψη γης και η ανάλυση της χρήσης γης της ημι - αστικής περιοχής διεξήχθη χρησιμοποιώντας εικόνες Landsat TM και ETM + μέσω λογισμικού απομακρυσμένης τηλεπισκόπησης για την περιοχή Vellore στο Tamil Nadu της Ινδίας . Η παρούσα μελέτη επιχειρεί να διερευνήσει τις μεταβολές κατά μήκος των περιοχών μελέτης χρησιμοποιώντας δύο ομάδες δεδομένων Landsat Thematic Mapper (TM) . Τα δεδομένα TM είναι χρήσιμα για αυτό το είδος της μελέτης λόγω της υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας του , της φασματικής ανάλυσης και της χαμηλής επαναλαμβανόμενης απόκτησης (16 ημέρες) . Επίσης η έρευνα τους εξετάζει την ανάλυση / κάλυψη γης και τις τεχνικές ανίχνευσης χρησιμοποιώντας χρονικά πολυ-φασματικά δεδομένα (1991 και 2001) των εικόνων LANDSAT TM, όπου αξιολογούνται συστηματικά και ελέγχονται τομεακά. Αρχικώς 18 κύριες κατηγορίες παρατηρήθηκαν και για τις δύο εικόνες. Για την ελαχιστοποίηση παρόμοιων χαρακτηριστικών, σχετικές κατηγορίες αναδιοργανώθηκαν για να καταλήξουν με 8 χρονικές τάξεις πολυφασματικών δεδομένων (1991 και 2001) των εικόνων LANDSAT TM. Η συνολική ακρίβεια για το 1991 είναι 78 εικόνα% και για το 2001 είναι 80%. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η περιοχή μελέτης παρουσίασαν ταχεία μείωση της δασικής κάλυψης, την μετατροπή της βλάστησης υγρότοπου σε άγονες / ξηρικές καλλιέργειες, τις αγροτικές περιοχές σε αστικές με αποτέλεσμα τη μείωση του υδροφόρου ορίζοντα την περίοδο των 10 ετών μεταξύ 1991 και 2001 (Nethaji Mariappan 2010) .

Ο **Muthusamy.S et al 2010** μελέτησαν την παράκτια ζώνη Cuddalore που βρίσκεται κατά μήκος της νοτιοανατολικής ακτής της Ινδίας , στο Ταμίλ Ναντού . Αυτή η παράκτια ζώνη πάσχει από πολλές φυσικές καταστροφές όπως καταιγίδες , κυκλώνες , πλημμύρες , τσουνάμι και διάβρωση . Η περιοχή μελέτης επηρεάστηκε σοβαρά από το τσουνάμι το 2004 και κατά τη διάρκεια του 2008 από τον κυκλώνα Nisha. Η παρούσα μελέτη έχει ως στόχο να μελετήσει τις χρήσεις γης και τις αλλαγές καλύψεων μέσω διερευνητικών αναλύσεων κάλυψης γης και ανίχνευση των αλλαγών που πραγματοποιούνται μέσα από δορυφορικά πολυ-χρονικά δεδομένα Landsat (1977 , 1991 και 2006) . Με βάση την ποσοτική ανάλυση για LULC ,

παρατηρήθηκε ταχεία ανάπτυξη στην δημιουργία εκτάσεων μεταξύ 1977 και 2006, ενώ στις περιόδους μεταξύ 1977 και 2006 παρατηρήθηκε μείωση σε αυτή την κατηγορία . Αναμένεται ότι η επέκταση των αστικών περιοχών θα ακολουθήσει την ίδια τάση από το έτος 2006 και μετά. Ο οικισμός με βλάστηση καλύπτει σχεδόν 8.876% της συνολικής έκτασης. Οι κυρίαρχες κατηγορίες χρήσεων γης το 1977 ήταν οικισμός με φυτεία, η οποία κατέλαβε 2.397%. Το 1991 ο οικισμός με φυτεία κάλυψε σχεδόν 4.743% στην παράκτια ζώνη Cuddalore . Η αύξηση αυτή οφείλεται στην πληθυσμιακή έκρηξη και την κατασκευή των κτιρίων και εργοστασίων. Τα δορυφορικά δεδομένα Landsat με τη χρήση τηλεπισκόπησης και GIS απόδειξαν επίσης ότι το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό διαφορετικές κλιματικές αλλαγές, καθώς και για σενάρια διαχείρισης αναπτυξιακών στρατηγικών προσαρμογής για την περιοχή μελέτης (Muthusamy.S et al 2010) .

Οι **Dong L. et al 2009** μελετούν την αλλαγή της κάλυψης και τη χρήση γης και τους παράγοντες των επιπτώσεων της στην περιοχή Madoi County που βρίσκεται στην περιοχή του Κίτρινου Ποταμού. Στην παρούσα εργασία τόσο οι αλλαγές αυτές όσο και η δυναμική του τοπίου διερευνώνται με τη χρήση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης (RS) και ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Οι στόχοι της παρούσας εργασίας είναι να καθορίσουν τα ποσοστά μετάβασης land-use/cover μεταξύ των διαφορετικών τύπων κάλυψης της Madoi County πάνω από 10 χρόνια, π.χ., 1990 - 2000. Δεύτερον, ποσοτικοποιούνται οι αλλαγές του τοπίου μετρήσεις με τη χρήση διαφόρων δεικτών και προτύπων. Οι παράγοντες των επιπτώσεων των Monitoring LUCC (αλλαγή χρήσης γης κάλυψης γης) προσδιορίζονται συστηματικά με την ενσωμάτωση της τηλεπισκόπησης, καθώς και στατιστικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένου του κλίματος, παγωμένου έδαφους, υδρολογικών δεδομένων και των κοινωνικο-οικονομικών δεδομένων. Χρησιμοποιώντας 30 m × 30 μέτρα χωρική διακριτική ικανότητα και Landsat (Enhanced) Thematic Mapper (TM / ETM +) στοιχεία στην περιοχή μελέτης μας, εννέα κατηγορίες κάλυψης γης μπορούν να διακριθούν. Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι οι λειμώνες, τα έλη και τα σώματα νερού μειώνονται σημαντικά, ενώ αντίθετα, τα Sands - Γκόμπι και η άγονη γη αυξάνεται σημαντικά. Ο αριθμός των λιμνών, με έκταση μεγαλύτερη από έξι εκτάρια μειώθηκε από 405 το 1990 σε 261 το 2000. Πολλές μικρές λίμνες έχουν στεγνώσει. Η περιοχή των χορτολιβαδικών εκτάσεων με υψηλό ποσοστό κάλυψης μειώθηκε, ενώ η επιφάνεια των λειμώνων με ένα μέσο επίπεδο του κλάσματος κάλυψης αυξάνεται. Το μέσο κλάσμα λειμώνες-κάλυμμα προέρχεται κυρίως από την υψηλή κάλυψη κλάσμα χορτολιβαδικές εκτάσεις. Η ερημοποίηση της γης είναι ένα σοβαρό ζήτημα. Πρώτον, οι μετασχηματισμοί μεταξύ των λιβαδιών, της άγονης γης, των Sands, Γκόμπι, των σωμάτων νερού και των ελών είναι αξιοσημείωτη. Η Shannon-Weaver Diversity Index (SWDI), ο

Evenness Index-Δείκτης ομαλότητας-(EI) και η Landscape Heterogeneity -έκταση της ετερογένειας του τοπίου -(LH) έχουν βελτιωθεί. Τα έλη έχουν γίνει πιο κατακερματισμένα, ως εκ τούτου, λιγότερο συνδεδεμένα με μπαλώματα. Δεύτερον κατά τα τελευταία 30 χρόνια, η μέση ετήσια θερμοκρασία, η δύναμη της εξάτμισης και του δείκτη ξηρότητας έχουν αυξηθεί σημαντικά. Επιπλέον, η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία (SMC) μειώθηκε και η τάση ξηρασίας επιταχύνθηκε. Η υποβάθμιση του παγωμένου εδάφους επηρέασε τη μείωση του χώρου των επιφανειακών υδάτων και προκάλεσε πτώση της στάθμης των υπόγειων υδάτων. Τα Monitoring LUCC παρακολούθησης σε ευαίσθητες περιοχές δεν θα επωφεληθούν μόνο από τη μελέτη των ευπαθών οικοσυστημάτων σε κρύες περιοχές υψηλού υψόμετρου, αλλά θα παρέχουν επιστημονικά τεκμηριωμένα εργαλεία λήψης αποφάσεων για τις τοπικές κυβερνήσεις (Dong L. 2009) .

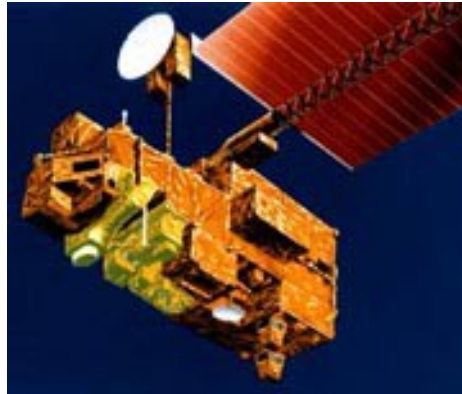
Ο **Fei Yuan et al 2005** στην συγκεκριμένη έρευνα υποστήριξαν πως η σημασία της ακριβούς και έγκαιρης ενημέρωσης που περιγράφει τη φύση και την έκταση των πόρων της γης με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται , ιδιαίτερα σε ταχέως αναπτυσσόμενες μητροπολιτικές περιοχές. Έτσι έχουν αναπτύξει μια μεθοδολογία για τη χαρτογράφηση και την παρακολούθηση της αλλαγής της εδαφοκάλυψης με πολλαπλό-χρονικά δεδομένα Landsat (TM) στους επτά δήμους του Twin Cities Metropolitan Area της Μινεσότα για το 1986 , 1991 , 1998 , και 2002 . Η συνολική ακρίβεια της επτατάξιας ταξινόμησης είναι κατά μέσο όρο 94% για τα τέσσερα έτη. Η συνολική ακρίβεια των χαρτών αλλαγής της εδαφοκάλυψης, παράγεται από τις μεθόδους ανίχνευσης αλλαγής μετα-ταξινόμησης και αξιολογείται χρησιμοποιώντας διάφορες προσεγγίσεις, κυμενόμενη από 80% έως 90%. Οι χάρτες έδειξαν ότι μεταξύ των ετών 1986 και 2002, η ποσότητα της αστικής ή αναπτυσσόμενης γης αυξήθηκε από 23,7% σε 32,8% της συνολικής έκτασης, ενώ τα είδη της υπαίθρου της γεωργίας, των δασών και των υγροτόπων μειώθηκε από 69,6% σε 60,5%. Τα αποτελέσματα ποσοτικοποιούν τα πρότυπα αλλαγής της κάλυψης γης στην μητροπολιτική περιοχή και καταδεικνύουν τη δυνατότητα των πολλαπλών-χρονικών δεδομένων Landsat για να παρέχουν ακριβή, οικονομικά μέσα για τη χαρτογράφηση και ανάλυση των αλλαγών στην κάλυψη γης στην πάροδο του χρόνου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εισροές στην διοίκηση της γης και πολιτικές αποφάσεις (Fei Yuan 2005)

Οι **Dengsheng Lu et al 2004** ασχολήθηκαν με το γεγονός ότι η πολυπλοκότητα του τοπίου και οι περιβαλλοντικές συνθήκες στην πιο υγρή τροπική περιοχή συχνά οδηγούν σε κακή ανίχνευση αλλαγών της κάλυψης γης χρησιμοποιώντας παραδοσιακές μεθόδους εντοπισμού μεταβολών. Έτσι στην έρευνα τους διερευνούν μια γραμμική φασματική ανάλυση μείγματος (LSMA) πολλαπλών χρονικών εικόνων θεματικού χαρτογράφου (TM) για την

ανίχνευση της αλλαγής κάλυψης γης στην περιοχή Ροντόνια , στη λεκάνη του Αμαζονίου της Βραζιλίας . Τρεις εικόνες (σκιάς, πράσινης βλάστησης και εδάφους) αναπτύχθηκαν με βάση ένα συνδυασμό δεδομένων πεδίου και διαγραμμάτων διασποράς .Οι κλασματικές εικόνες σκιάς (shade) ή πράσινης βλάστησης (GV) είναι πιο κατάλληλες για την ανίχνευση της αλλαγής της βλάστησης , ενώ η κλασματική εικόνα εδάφους (soil) είναι πιο κατάλληλη για την ανίχνευση αλλαγής της βλάστησης /μη βλάστησης. Μια λύση για την χρήση ελαχίστων τετραγώνων χρησιμοποιήθηκε για να αναμείξει τις πολλαπλές χρονικές εικόνες TM σε τρία κλάσματα. Στη συνέχεια , τα αποτελέσματα της διαφορετικότητας των κλασμάτων της εικόνας χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της αλλαγής κάλυψης γης / ή μη . Η λεπτομερής ανίχνευση αλλαγών υλοποιήθηκε κάνοντας σύγκριση pixel με pixel των ταξινομημένων εικόνων , οι οποίες αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας ένα δέντρο ταξινομητή πολλαπλό-χρονικών κλασματικών εικόνων . Αυτή η μελέτη δείχνει ότι η LSMA είναι ένα ισχυρό εργαλείο επεξεργασίας εικόνας για την ταξινόμηση και την ανίχνευση αλλαγών κάλυψης γης. Οι κλασματικές πολλαπλό-χρονικές εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την ανίχνευση των αλλαγών κάλυψης γης . Οι σταθερές και αξιόπιστες πολλαπλό-χρονικές κλασματικές εικόνες αναπτύχθηκαν με τη χρήση LSMA για να καταστεί δυνατή η ανίχνευση των αλλαγών χωρίς τη χρήση των συνόλων δεδομένων του δείγματος εκπαίδευσης για τα ιστορικά δεδομένα τηλεπισκόπησης . Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την ανίχνευση των αλλαγών κάλυψης γης στη λεκάνη του Αμαζονίου (Dengsheng Lu 2004) .

4.ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

4.1 ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ TERRA – ΟΡΓΑΝΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ASTER (TERRA-SATELLITE)



Εικόνα 4.1 : Δορυφόρος Terra με το όργανο Aster (Πηγή : Nasa)

Ένας από τους βασικούς δορυφόρους του EOS (Earth Observin System) είναι ο "Terra" ο οποίος εκτοξεύθηκε στις 18 Δεκεμβρίου του 1999 και ξεκίνησε να τροφοδοτεί με πληροφορίες τον Φλεβάρη του 2000. (Εικόνα 4.1). Βρίσκεται στα 705 km και η γωνία κλίσης του από τον άξονα περιστροφής της Γης είναι 98,2 μοίρες. Σκανάρει το ίδιο σημείο πάνω στην Γη κάθε 16 ημέρες (επαναληπτικότητα) και η ηλιοσύγχρονη πολική τροχιά φέρει τον δορυφόρο πάνω από τον Ισημερινό τοπική ώρα 10:30 π.μ.

Ο δορυφόρος "Terra" διαθέτει 5 καταγραφικά που συλλέγουν πληροφορίες για την επιφάνεια και το περιβάλλον της Γης. Οι αισθητήρες που διαθέτει είναι οι :

- 1.**ASTER**, ή Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
- 2.**CERES**, ή Clouds and Earth's Radiant Energy System
- 3.**MISR**, ή Multi-angle Imaging Spectroradiometer
- 4.**MODIS**, ή Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer
- 5.**MOPITT**, ή Measurements of Pollution in the Troposphere

– *Το ραδιόμετρο ASTER*

Το σύστημα ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), είναι ένα υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας ραδιόμετρο του δορυφόρου Terra. Ο Aster καλύπτει μια ευρεία φασματική περιοχή με 14 μπάντες από το ορατό στο θερμικό υπέρυθρο με υψηλή χωρική και ραδιομετρική ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα εσπεύει την Γη με τρία διαφορετικά υποσυστήματα :

-Δέκτης ορατού – εγγύς υπέρυθρου (VNIR), το οποίο αποτελείται από 3 φασματικές ζώνες που κατοπτρεύουν στο ναδίρ (1, 2, 3N) και μία επιπλέον στο εγγύς υπέρυθρο η οποία κατοπτρεύει προς τα πίσω (3B) , παρέχοντας στερεοσκοπική κάλυψη

-Δέκτης υπέρυθρου μικρού κύματος (SWIR), το οποίο αποτελείται από 6 φασματικές ζώνες (4, 5, 6, 7, 8, 9)

-Δέκτης θερμικού υπέρυθρου (TIR), το οποίο αποτελείται από 5 φασματικές ζώνες (10, 11, 12, 13, 14)

Η χωρική ικανότητα διαμορφώνεται ανάλογα με το μήκος κύματος ως εξής :

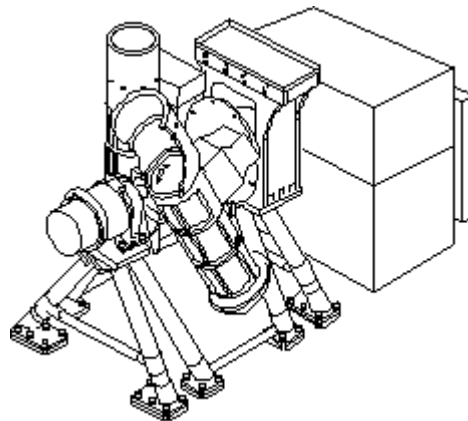
- 15 m στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο (VNIR)
- 30 m στο υπέρυθρο μικρού κύματος (SWIR)
- 90 m στο θερμικό υπέρυθρο (TIR)

4.1.1 ΚΥΡΙΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΓΑΝΟΥ ASTER

Υποσυστήματα	Ζώνες	Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (μm)	Χ.Δ. Ικανότητα (m)	Επίπεδα κβαντοποίησης
VNIR	1	0.52-0.60	15	8 bits
	2	0.63-0.69		
	3	0.78-0.86		
	N			
	3B	0.78-0.86		
SWIR	4	1.60-1.70	30	8 bits
	5	2.145-2.185		
	6	2.185-2.225		
	7	2.235-2.285		
	8	2.295-2.365		
	9	2.360-2.430		
TIR	10	8.125-8.475	90	12 bits
	11	8.475-8.825		
	12	8.925-9.275		
	13	10.25-10.95		
	14	10.95-11.65		

Πίνακας 4.1 : Τα χαρακτηριστικά των τριών αισθητήριων οργάνων του Aster (Πηγή : Nasa)

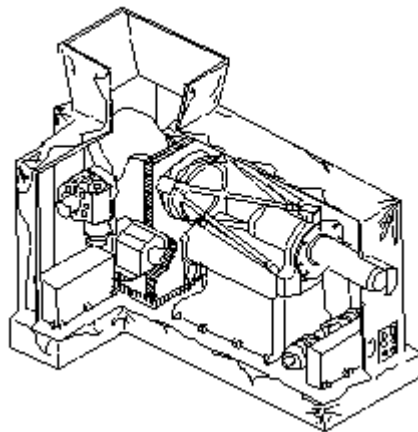
Το υποσύστημα VNIR δραστηριοποιείται σε τρεις φασματικές ζώνες στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο με ανάλυση 15 m. Αποτελείται από δύο τηλεσκόπια – το ένα κατοπτρεύει στο ναδίρ με έναν ανιχνευτή τριών φασματικών ζωνών, και το άλλο κατοπτρεύει προς τα πίσω με έναν ανιχνευτή μίας μπάντας. Το οπισθοδρομικό τηλεσκόπιο παρέχει μια δεύτερη άποψη από την περιοχή-στόχο σε 3Band για στερεοσκοπικές παρατηρήσεις όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Ο θερμικός έλεγχος και η ψύξη των ανιχνευτών CCD παρέχεται από μια πλατφόρμα. Το υποσύστημα VNIR εξάγει αυτόματα τα 4000 pixel βασισμένα στη θέση της τροχιάς που παρέχεται από τον EOSΟι ανιχνευτές για κάθε μία ζώνη αποτελούνται από 5.000 στοιχεία πυριτίου. Μόνο 4.000 από αυτά χρησιμοποιούνται οποιαδήποτε στιγμή. Κατά την διάρκεια της περιόδου περιστροφής της γης μετατοπίζεται το κέντρο της εικόνας. Το κομμάτι-σταυρος που δείχνει στις 24 μοίρες σε κάθε πλευρά της τροχιάς επιτυγχάνεται δια της περιστροφής ολόκληρου του τηλεσκοπίου. Ο διαχωρισμός των ζωνών γίνεται μέσω ενός συνδυασμού των διχροϊκών στοιχείων και των φίλτρων παρεμβολής που επιτρέπει και στις τρεις ζώνες να κοιτάνε την ίδια περιοχή στο έδαφος ταυτόχρονα. Ο ρυθμός δεδομένων είναι 62 Mbps όταν λειτουργούν και οι τέσσερις ζώνες. Δύο επί του σκάφους λάμπες αλογόνου χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση των ναδίρ ανιχνευτών. Αυτή η πηγή βαθμονόμησης είναι πάντα στην οπτική διαδρομή.



Εικόνα 2 : Υποσύστημα VNIR (Πηγή : Nasa)

SWIR

Το υποσύστημα SWIR λειτουργεί σε έξι φασματικές ζώνες στο εγγύς υπέρυθρο μέσω ενός ενιαίου ναδύρ-τηλεσκοπίου που παρέχει 30 m ανάλυση. Το κομμάτι-σταυρός (± 8.550) επιτυγχάνεται από ένα κάτοπτρο κατάδειξης. Λόγω του μεγέθους του συνδυασμού του ανιχνευτή / φίλτρου, οι ανιχνευτές θα πρέπει να απέχουν σε μεγάλες αποστάσεις, καθώς προκαλείται ένα σφάλμα παράλλαξης περίπου 0.5 pixels ανά 900 μ . ανύψωσης. Αυτό το σφάλμα διορθώνεται αν υψομετρικά δεδομένα, όπως τα DEM, είναι διαθέσιμα. Δύο επί του σκάφους λάμπες αλογόνου χρησιμοποιούνται για τη διακρίβωση με τρόπο παρόμοιο με εκείνον που χρησιμοποιείται για το υποσύστημα VNIR, όπου ωστόσο, το κάτοπτρο κατάδειξης πρέπει να γυρίσει για να δούμε την πηγή βαθμονόμησης. Ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων είναι 23 Mbps. Ο ανιχνευτής σε κάθε μία από τις έξι ζώνες είναι μία ένωση πυριτίου και λευκόχρυσου όπου εμποδίζει την ψύξη στους 80K. Η ψύξη παρέχεται από συμπιεστές και ενεργό ισορροπιστή για αντιστάθμιση του αποσυμπιεστή. Η διάρκεια ζωής του δοχείου είναι 50000 ώρες.

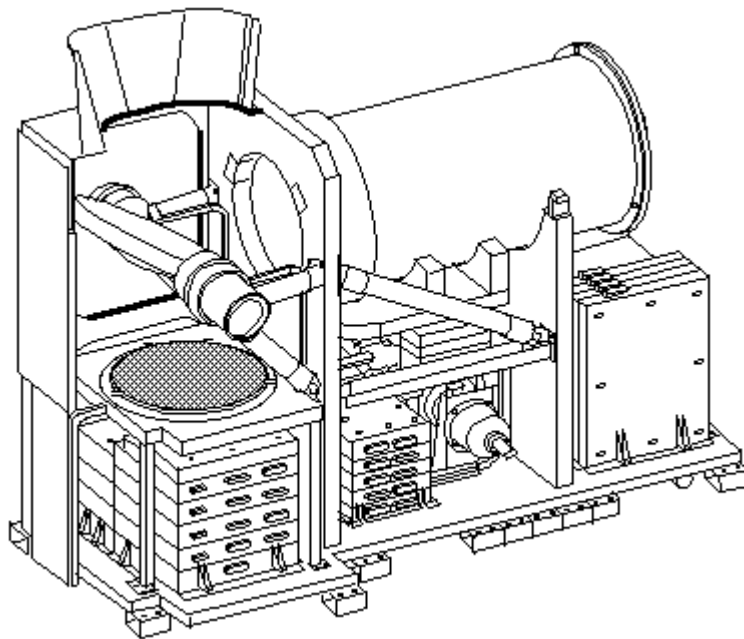


Εικόνα 3 : Υποσύστημα SWIR (Πηγή : Nasa)

TIR

Το υποσύστημα TIR λειτουργεί σε πέντε ζώνες στη θερμική υπέρυθρη περιοχή χρησιμοποιώντας μια ενιαία, σταθερή θέση, στο ναδύρ με ανάλυση 90 m. Σε αντίθεση με τα άλλα υποσυστήματα έχει έναν καθρέπτη ταχείας σάρωσης. Κάθε φασματική ζώνη χρησιμοποιεί 10 ανιχνευτές σε μια κλιμακωτή συστοιχία με οπτικά φίλτρα διέλευσης-ζώνης σε κάθε στοιχείο ανιχνευτή. Ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων είναι 4,2 Mbps. Ο καθρέφτης σάρωσης λειτουργεί τόσο για τη σάρωση όσο και για το σημείο-σταυρό ($\pm 8,55$ σε μοίρες). Στη λειτουργία σάρωσης, ο καθρέφτης ταλαντώνεται σε περίπου 7 Hz και κατά την ταλάντωση, τα

δεδομένα συλλέγονται σε μια κατεύθυνση μόνο. Κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης, ο καθρέπτης σάρωσης περιστρέφεται κατά 90 μοίρες από τη θέση ναδίρ για να κοιτάει έναν εσωτερικό μαύρο σώμα. Λόγω του υψηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων του μέσου, έχουν επιβληθεί περιορισμοί, έτσι ώστε ο μέσος ρυθμός δεδομένων να είναι διαχειρίσιμος από το σύστημα διαχείρισης δεδομένων διαστημοπλοίων. Οι περιορισμοί αυτοί αποτελούν μία τροχιά μέγιστης μέσου εύρους των 16,6 Mbps και δύο μέγιστου μέσου εύρους τροχιές των 8,3 Mbps που οδηγούν σε 9,3 % κάλυψη δεδομένων.



Εικόνα 4 : Υποσύστημα TIR (Πηγή : Nasa)

4.1.2 ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ASTER

Το όργανο ASTER παρέχει την κοινότητα των χρηστών με το πρότυπα προϊόντα δεδομένων σε ολόκληρη τη διάρκεια της αποστολής του. Αλγόριθμοι για τον υπολογισμό αυτών των προϊόντων δημιουργήθηκαν από την επιστημονική ομάδα του ASTER και εφαρμόζονται στην διαδικασία Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). Οι χρήστες μπορούν να περιηγηθούν και να αναζητήσουν τα προϊόντα αυτά μέσω των GDS και Reverb NASA.).

Ακόμη, ο πίνακας έκδοσης προϊόντος παρέχει πληροφορίες σχετικά με το ιστορικό των δεδομένων. Ο πίνακας αυτός είναι πολύ χρήσιμος για τους χρήστες που χρειάζεται να ξέρουν τις ημερομηνίες και την περιγραφή της έκδοσης δεδομένων που συνοδεύονται από διαφορετικές εκδόσεις του λογισμικού (ή “PGE”) που χρησιμοποιήθηκε ώστε να εξαχθούν τα δεδομένα (NASA).

Δεδομένα ASTER επιπέδου-1

Κάθε εικόνα Aster καλύπτει περιοχή επί της γης 60*60 Km. Ο Aster λαμβάνει στοιχεία απ'όλη την επιφάνεια της γης με μέσο κύκλο καθήκοντος 8% γεγονός που υποδηλώνει πως είναι δυνατόν να λαμβάνει ημερησίως 650 εικόνες , οι οποίες επεξεργάζονται σε επίπεδο 1A και από αυτές 150 σε 1B. Όλα τα αρχεία Aster αποθηκεύονται σε μορφή HDF-EOS. Το όργανο ASTER παράγει δύο τύπους δεδομένων επιπέδου-1: Επίπεδο -1A (L1A) και επίπεδο -1B (L1B).

Τα δεδομένα ASTER L1A ορίζονται τυπικά ως τα αναδομημένα, μη επεξεργασμένα στοιχεία οργάνων σε πλήρη ανάλυση. Αποτελούνται από τα δεδομένα εικόνας, τους ραδιομετρικούς συντελεστές, τους γεωμετρικούς συντελεστές και άλλα βοηθητικά στοιχεία χωρίς εφαρμογή των συντελεστών στα δεδομένα εικόνας, διατηρώντας κατά συνέπεια τις αρχικές τιμές των δεδομένων. Τα L1B δεδομένα παράγονται με την εφαρμογή αυτών των συντελεστών για τη ραδιομετρική βαθμονόμηση και τη γεωμετρική λήψη δείγματος.

Όλα τα επίκτητα στοιχεία εικόνας υποβάλλονται σε επεξεργασία L1A. Οι επί του σκάφους περιορισμοί αποθήκευσης περιορίζουν την λήψη του ASTER σε περίπου 650 L1A εικόνες ανά ημέρα. Ένας μέγιστος αριθμός 310 εικόνων ανά ημέρα υποβάλλεται σε επεξεργασία L1B βασισμένος στην νεφοκάλυψη.

Δεδομένα επιπέδου-1A

Δεδομένα ASTER επιπέδου-1A δημιουργούνται από δεδομένα επιπέδου-0, και αποτελούνται από ανεπεξέργαστες ψηφιακές αριθμήσεις οργάνων. Αυτό το προϊόν περιέχει, αποδιαλυωμένα και ευθυγραμμισμένα εκ νέου, στοιχεία εικόνας οργάνων με τους γεωμετρικούς συντελεστές διορθώσεων και τους ραδιομετρικούς συντελεστές βαθμονόμησης επισυναπτόμενους αλλά που δεν εφαρμόζονται. Αυτοί οι συντελεστές περιλαμβάνουν τη διόρθωση παράλλαξης στο SWIR καθώς επίσης και καταγραφή τηλεσκοπίων. (Το λάθος παράλλαξης στο SWIR προκαλείται από την αντιστάθμιση στην ευθυγράμμιση ανιχνευτών στη διαμήκη κατεύθυνση και εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ του διαστημικού σκάφους και της παρατηρούμενης γήινης επιφάνειας).

Για τις ζώνες SWIR οι διορθώσεις παράλλαξης πραγματοποιούνται με την τεχνική εικόνας ή τη βάση δεδομένων DEM, ανάλογα με την νεφοκάλυψη). Επίσης συμπεριλαμβάνονται τα στοιχεία εφαρμοσμένης μηχανικής βοηθημάτων και οργάνων διαστημικών σκαφών. Οι ραδιομετρικοί συντελεστές βαθμονόμησης, που αποτελούνται από την αντιστάθμιση και τις πληροφορίες ευαισθησίας, παράγονται από μία βάση δεδομένων για όλους τους ανιχνευτές, και ενημερώνονται περιοδικά. Η γεωμετρική διόρθωση είναι ο ισότιμος μετασχηματισμός για την καταγραφή με την μέθοδο band-to-band. Τα δεδομένα από το υποσύστημα TIR είναι 12-bit με ένα ενιαίο κέρδος.

Δεδομένα ASTER επιπέδου-1B

Τα δεδομένα ASTER επιπέδου-1B είναι L1A δεδομένα στα οποία έχουν εφαρμοστεί ραδιομετρικοί και γεωμετρικοί συντελεστές. Όλα αυτά τα στοιχεία αποθηκεύονται μαζί με τα μεταδεδομένα σε ένα αρχείο HDF. Η παραγωγή δεδομένων επιπέδου-1B περιλαμβάνει επίσης την καταγραφή του SWIR ειδικότερα, τα λάθη παράλλαξης λόγω των χωρικών θέσεων των ζωνών του διορθώνονται. Τα στοιχεία του επιπέδου-1B καθορίζουν ένα κέντρο εικόνας που λαμβάνεται από L1A χαρακτηριστικά που ονομάζονται “Scene Center” στο HDF-EOS χαρακτηρίζονται «προϊόντα μεταδεδομένων .0». Ο καθορισμός του κέντρου εικόνας L1B είναι το πραγματικό κέντρο στις στρεφόμενες συντεταγμένες (L1B συντεταγμένες) όχι όπως στα δεδομένα L1A (Abrams and Hook, 2002).

4.1.3 ΤΙ ΚΑΝΕΙ ΤΟ ΥΠΟΟΡΓΑΝΟ ASTER ΜΟΝΑΔΙΚΟ;

- Η τηλεσκόπιο που σαρώνει στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο (VNIR) προς την πίσω ζώνη (backward), για υψηλής ανάλυσης στερεοσκοπική παρατήρηση κατά μήκος τροχιάς.
- Πολυφασματικά δεδομένα (του θερμικού υπέρυθρου) υψηλής χωρικής ανάλυσης (περιοχής 8 έως 12 μ , σε παγκόσμιο επίπεδο).
- Επιφάνεια φασματικής ανάκλασης υψηλότερης χωρικής ανάλυσης, θερμοκρασίας, ημερομηνίας και εκπομπής στο όργανο Terra.

4.1.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΟ ΥΠΟΟΡΓΑΝΟ SWIR ΤΟΥ ASTER

Σύμφωνα με το ημερολόγιο του ASTER του δορυφόρου TERRA από τη NASA οι ανιχνευτές που σάρωναν στο μέσο υπέρυθρο δεν βρίσκονται πια σε κατάσταση λειτουργίας εξαιτίας ασυνήθιστα υψηλών θερμοκρασιών που εντοπίστηκαν στο υποόργανο SWIR. Τα δεδομένα, λοιπόν, του υποοργάνου αυτού που αποκτήθηκαν από τον Απρίλιο του 2008 και έπειτα δε χρησιμοποιούνται πια, ενώ παρουσιάζουν κορεσμό των τιμών και σοβαρή διαγράμμιση.

Όλες οι προσπάθειες που έχουν πραγματοποιηθεί με σκοπό να επανέλθει ο σαρωτής ξανά σε κατάσταση σωστής και πλήρους λειτουργίας έχουν αποτύχει, ενώ δεν προβλέπεται περεταίρω σχετική δράση ανάκαμψης του συστήματος. Αντίθετα τα υποόργανα VNIR και TIR εξακολουθούν να εμφανίζουν εξαιρετική ποιότητα, εκπληρώνοντας όλες τις απαιτήσεις και υποδείξεις της αποστολής.

Το πρόβλημα αυτό προέκυψε από μια σάρωση που έγινε σε περιοχή της Αφρικανικής ηπείρου. Όπως προαναφέρθηκε το σχετικό πρόβλημα του οργάνου αποδίδεται σε αύξηση της θερμοκρασίας του ανιχνευτή όπως αυτή παρατηρήθηκε στα κανάλια 5 έως 9 σε μια αποστολή που έλαβε μέρος τον Μάιο του 2007. Η ρίζα του προβλήματος αυτού θεωρείται πως είναι η αυξανόμενη αντίσταση θερμότητας του ψύκτη του οργάνου (NASA, ASTER SWIR User Advisory Document). Η μικρή άνοδος της θερμοκρασίας στο υποόργανο SWIR δεν αποτελούσε πρόβλημα μέχρι πριν το Μάιο του 2007, και δεν επιδρούσε, στην πραγματικότητα, στην ποιότητα των δεδομένων μέχρις ότου ο δορυφόρος ξεπέρασε τη θερμοκρασία αυτή των 83 K.

Ύστερα από αυτή την ημερομηνία έχουν ακολουθήσει τέσσερις απόπειρες που έχουν γίνει με σκοπό να επιτευχθεί μείωση της θερμοκρασίας του οργάνου ανακυκλώνοντας τον

ψύκτη του συστήματος, περιλαμβάνοντας αύξηση του μήκους της πίεσης που προκαλείται από το κατάλληλο έμβολο του ψύκτη.

Η πρώτη απόπειρα που πραγματοποιήθηκε το Μάιο του 2007 πέτυχε στο να μειώσει τη θερμοκρασία του οργάνου στους 82 K, μα η θερμοκρασία σύντομα ξεκίνησε να αυξάνεται εκ νέου ξεπερνώντας τους 83 K στα τέλη Ιουλίου. Η δεύτερη και τρίτη προσπάθεια για μείωση της θερμοκρασίας απλώς απέτυχαν τον ακόλουθο Οκτώβριο. Παρόλα αυτά, μια τέταρτη προσπάθεια στα μέσα Ιανουαρίου του 2008, κατάφερε να μειώσει τη θερμοκρασία του ανιχνευτή SWIR στους 83 K. Από εκείνη την ημερομηνία και στο εξής η θερμοκρασία του ανιχνευτή έχει παραμείνει σταθερή στους 83 K.

Γενικά μεταξύ των τελών Μαΐου του 2007 και τελών Ιανουαρίου 2008 έως που εντοπίστηκε η βλάβη στο συγκεκριμένο όργανο, πλην έξι εβδομάδων την περίοδο Ιουνίου και Ιουλίου, η θερμοκρασία του ανιχνευτή ξεπερνούσε μονίμως τους 83 K. Έτσι, λοιπόν, τα δεδομένα του ανιχνευτή SWIR που συλλέχθηκαν μεταξύ των ημερομηνιών που προαναφέρθηκαν, μπορεί να παρουσιάζουν τιμές μη ομαλού κορεσμού, ειδικά σε υψηλές ηλιακές γωνίες και για υλικά που αντανakλούν έντονα στα κανάλια του μέσου υπερύθρου (NASA, ASTER SWIR User Advisory Document).

4.2 ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ LANDSAT

Η αρχική ονομασία του Δορυφορικού Τηλεπισκοπικού Προγράμματος Landsat ήταν ERTS (Earth Resources Technology Satellites της NASA). Ο πρώτος δορυφόρος ERTS πήρε το όνομα Landsat 1 (LAND SATELLITE 1) και μέχρι σήμερα εκτοξεύθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος 8 δορυφόροι. Οι τηλεπισκοπικοί δέκτες των δορυφόρων Landsat 1 έως Landsat 7 και συγκεκριμένα οι:

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

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

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

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

Οι δορυφόροι Landsat 1, 2 και 3 έπαιξαν να στέλνουν ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις στη γη το 1978, το 1982 και το 1983 αντίστοιχα. Ο Landsat 6, μετά από αποτυχημένη εκτόξευση, δεν έγινε δυνατό να τεθεί σε τροχιά. Οι δορυφόροι Landsat 4, 5 και 7 έχουν παραπλήσιες ηλιοσύγχρονες, κυκλικές, σχεδόν πολικές (με κλίση 98,2° ως προς τον Ισημερινό) τροχιές. Η ελάττωση του ύψους από τα 900 km (Landsat 1, 2, 3) στα 705 km (Landsat 4, 5, 7) έγινε ώστε οι δορυφόροι, εφ' όσον χρειασθεί, να είναι προσβάσιμοι από το Space Shuttle για να είναι δυνατή τυχόν επισκευή τους. Οι δορυφόροι Landsat 4, 5 και 7 χρειάζονται 16 ημέρες για μία πλήρη κάλυψη της γης, (ήταν 18 ημέρες για τους Landsat 1, 2,

3) και συνεπώς μπορούμε με τον τηλεπισκοπικό δέκτη του ίδιου δορυφόρου να παρακολουθούμε συστηματικά ενδιαφέροντα φαινόμενα και χαρακτηριστικά τα οποία εξελίσσονται ή μεταβάλλονται δυναμικά δια μέσου του χρόνου στη φυσική γήινη επιφάνεια έως και 23 φορές μέσα στη διάρκεια ενός έτους και μάλιστα την ίδια ώρα σε κάθε συγκεκριμένη περιοχή. Οι τροχιές όμως των Landsat 4 και 5 έχουν διαφορά φάσης 8 ημερών, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επαναλαμβανόμενη κάλυψη από τους τηλεπισκοπικούς τους δέκτες της ίδιας περιοχής κάθε 8 ημέρες. Η πλευρική κατά πλάτος επικάλυψη των διαδοχικών λήψεων κάθε δορυφόρου στον ισημερινό είναι 7,3% και αυξάνει για μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, φτάνοντας σε μια μέγιστη τιμή 83,9% σε πλάτος 80ο.

Οι απεικονίσεις των δορυφόρων Landsat 4, 5 και 7 αρχειοθετούνται στο Landsat Worldwide Reference System (WRS) σε 233 paths και 248 rows. Όλοι οι δορυφόροι Landsat είναι προγραμματισμένοι να διασχίζουν τον Ισημερινό στις 9:45π.μ., αφού αυτή την ώρα η ατμόσφαιρα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαύγεια, ενώ η ηλιοσύγχρονη τροχιά των δορυφόρων εξασφαλίζει ιδανικές συνθήκες φωτισμού.

Οι Landsat 1 και 2 μετέφεραν δύο τηλεπισκοπικούς δέκτες. Έναν δέκτη RBV (Return Beam Vidicon) με 3 κανάλια και ένα πολυφασματικό δέκτη MSS (Multi Spectral Scanner) με 4 κανάλια. Η χωρική Διαχωριστική Διακριτική Δυνατότητα Ικανότητα και των δύο δεκτών ήταν περίπου 80m. Στον Landsat 3 έγιναν δύο βασικές αλλαγές. Ο δέκτης RBV είχε ένα μόνο κανάλι με χωρική ΔΔ/ΔΙ 30m. Προστέθηκε επίσης ένα θερμικό κανάλι στον δέκτη MSS του δορυφόρου, το οποίο όμως για τεχνικούς λόγους δεν λειτούργησε. Ο πολυφασματικός τηλεπισκοπικός σαρωτής MSS των δορυφόρων Landsat από το 1972 μέχρι σήμερα (εικόνα 19) με τις ψηφιακές τηλεπισκοπικές του απεικονίσεις καταγράφει πιστά την κατάσταση, την ποιότητα, τα χαρακτηριστικά και τις μεταβολές της φυσικής και της κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας με επαρκή ακρίβεια και σε κατάλληλη κλίμακα για την μελέτη, την έρευνα και την παρακολούθηση συγκεκριμένων εκτατικών φαινομένων ή εμφανίσεων (αποψίλωση και πυρκαγιές δασών, μεταβολές της βιομάζας, πλημμύρες κ.λπ.).

Από τα τέσσερα κανάλια του MSS τα δύο είναι ευαίσθητα στο ορατό τμήμα του φάσματος της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας 0,5–0,6μm (πράσινο) και 0,6–0,7μm (κόκκινο) και τα άλλα δύο στο εγγύς υπέρυθρο (0,7–0,8μm και 0,8–1,1μm). Τα κανάλια αυτά ονομάζονται 4, 5, 6 και 7 και το πλάτος σάρωσης και κάλυψης της φυσικής γήινης επιφανείας ήταν 185km. Οι Landsat 4 και 5, είναι εφοδιασμένοι με δύο πολυφασματικούς τηλεπισκοπικούς δέκτες, τον πολυφασματικό σαρωτή MSS και τον Θεματικό Χαρτογράφο (Thematic Mapper ή TM). Ο MSS είναι όμοιος με εκείνον ο οποίος υπήρχε στους Landsat 1, 2 και 3. Τα τέσσερα κανάλια του MSS μετονομάστηκαν σε κανάλια 1, 2, 3, 4 και το πλάτος σάρωσης παρέμεινε 185 km.

Ο πολυφασματικός δέκτης Thematic Mapper έχει 7 κανάλια. Τα τρία πρώτα είναι ευαίσθητα στο ορατό τμήμα του φάσματος της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας, 0,45-0,52μm (μπλε), 0,52-0,60μm (πράσινο) και 0,63-0,69μm (κόκκινο). Το κανάλι 4 είναι ευαίσθητο στο εγγύς υπέρυθρο (0,76-0,90μm), τα κανάλια 5 και 7 είναι ευαίσθητα στο μέσο υπέρυθρο (1,55-1,75μm και 2,08-2,35μm αντίστοιχα) και τέλος, το κανάλι 6 είναι ευαίσθητο στην περιοχή του θερμικού υπέρυθρου (10,4-12,5μm).

Η χωρική ΔΔ/ΔΙ του Θεματικού Χαρτογράφου είναι 30m για όλα τα κανάλια πλην του θερμικού υπέρυθρου, το οποίο έχει ΔΔ/ΔΙ 120m. Η μεγάλη χωρική και φασματική διακριτική ικανότητα του Θεματικού Χαρτογράφου τον καθιστά πολύτιμο τηλεπισκοπικό δέκτη για το μεγαλύτερο ποσοστό των σχετικών εφαρμογών. Στους δορυφόρους Landsat 6 και 7 τοποθετήθηκε μόνο ένας πολυφασματικός δέκτης, ο Θεματικός Χαρτογράφος με την προσθήκη ωστόσο ενός παγχρωματικού καναλιού (0,5–0,86μm), με χωρική διακριτική ικανότητα 15m. Η έκδοση αυτή του Thematic Mapper ονομάστηκε Enhanced Thematic Mapper στον Landsat 6 και Enhanced Thematic Mapper Plus στον Landsat 7. Στον τελευταίο η ΔΔ/ΔΙ του θερμικού καναλιού βελτιώθηκε και από τα 120 έφθασε στα 60m. Μία σημαντική λειτουργία των δύο αυτών δεκτών είναι η από το έδαφος ρύθμιση της ευαισθησίας (gain) τους ανάλογα με την φωτεινότητα της υπό απεικόνιση περιοχής. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγάλη βελτίωση της ποιότητας των απεικονίσεων.

Το πρώτο δορυφορικό σύστημα που αναπτύχθηκε ήταν ο Landsat από την αμερικανική NASA για την παροχή παγκόσμιας σχεδόν κάλυψης σε τακτή βάση. Αποτελεί κατεξοχήν μέσο ήψης εικόνων Τηλεπισκόπησης και αποτελεί τον πρόδρομο όλων των δορυφορικών προγραμμάτων. Μέχρι σήμερα έχουν τεθεί σε τροχιά επιτυχώς 6 δορυφόροι. Ο Landsat-1 που εκτοξεύθηκε το 1972, ο Landsat-2 το 1975, ο Landsat-3 το 1978, ο Landsat-4 το 1982, ο Landsat-5 το 1984 και ο Landsat-7 το 1999. Ο Landsat-6 εκτοξεύθηκε ανεπιτυχώς τον Οκτώβριο του 1993.

Κάθε δορυφόρος Landsat διαθέτει ένα σύστημα σάρωσης γραμμών το οποίο καταγράφει εικόνες της γης σε ψηφιακή μορφή και μεταδίδει σε επίγειους σταθμούς.

Οι πρώτοι δορυφόροι Landsat 1,2,3 ήταν σχεδιασμένοι να φέρουν δύο συστήματα δεκτών- την συσκευή Return Beam Vidicon (RVB) και τον πολυφασματικό σαρωτή (MSS). Εξαιτίας τεχνικών προβλημάτων η χρήση του RVB περιορίστηκε και ο MSS έγινε ο κύριος δέκτης για τους δορυφόρους Landsat.

Η νέα γενιά δορυφόρων Landsat 4,5 διέφερε σημαντικά από τους πρώτους καθώς διαθέτετε νέα τεχνολογία δεκτών. Οι νέοι Landsat είναι εφοδιασμένοι με μια νέα έκδοση του MSS που ονομάζεται 'θεματικός χαρτογράφος'. Έτσι σε αυτούς τους δορυφόρους έχουμε δύο συστήματα τον MSS και τον TM, όπου ο τελευταίος έχει την δυνατότητα να παρέχει

καλύτερη χωρική ανάλυση , μεγαλύτερη ραδιομετρική ανάλυση και πιο λεπτομερής φασματική πληροφορία.

Τέλος ο δορυφόρος Landsat7 καταγράφει 8 φασματικές ζώνες με καλύτερη χωρική ανάλυση από τους δύο προηγούμενους και η καταγραφή γίνεται μ'ένα όργανο που ονομάζεται ETM+ και αποτελεί βελτιωμένη έκδοση του TM.

4.2.1 LANDSAT 1

Πιο συγκεκριμένα ο αισθητήρας Return Beam Vidicon (RBV) του Landsat1 λειτούργησε από τις 23 Ιουλίου του 1972 έως τις 5 Αυγούστου του 1972 εγγράφοντας μόνο 1692 εικόνες και έχοντας χωρική ανάλυση 80 μέτρα. (Εικόνα 4.2). Διέθετε τρεις κάμερες που λειτουργούσαν στις παρακάτω φασματικά κανάλια:

Κανάλι 1 ορατό μπλέ-πράσινο (475-575 nm)

Κανάλι 2 ορατό πορτοκαλί-κόκκινο (580-680 nm)

Κανάλι 3 ορατό κόκκινο στο κοντινό υπέρυθρο (690-830 nm)

Ο αισθητήρας Multispectral Scanner (MSS) είχε χωρική ανάλυση στα 80 μέτρα σε 4 φασματικά κανάλια:

Κανάλι 4 ορατό πράσινο (0,5 - 0,6 μm)

Κανάλι 5 ορατό το κόκκινο (0.6 έως 0.7 μm)

Κανάλι 6 κοντινό υπέρυθρο (0,7 έως 0,8 μm)

Κανάλι 7 κοντινό υπέρυθρο (0,8 - 1,1 μm)



Εικόνα 4.2 : Απεικόνιση διαστημικού οχήματος Landsat 1 (Πηγή : USGS)

4.2.2 LANDSAT 2

Στον Landsat2 ο αισθητήρας Return Beam Vidicon (RBV) λειτούργησε κυρίως για τους σκοπούς της αξιολόγησης της μηχανικής και μόνο περιστασιακά ελήφθησαν εικόνες RBV κυρίως για το έργο χαρτογράφησης σε απομακρυσμένες περιοχές. (Εικόνα 4.3) Έχει και αυτός χωρική ανάλυση στα 80 μέτρα κι τρεις κάμερες που λειτουργούν στις παρακάτω φασματικά κανάλια:

Κανάλι 1 ορατό μπλε-πράσινο (475 - 575 nm)

Κανάλι 2 ορατό πορτοκαλί-κόκκινο (580-680 nm)

Κανάλι 3 ορατό κόκκινο στο κοντινό υπέρυθρο (690-830 nm)

Ο αισθητήρας Multispectral Scanner (MSS) φέρει και αυτός 4 φασματικά κανάλια:

Κανάλι 4 ορατό πράσινο (0,5 - 0,6 μm)

Κανάλι 5 ορατό το κόκκινο (0.6 έως 0.7 μm)

Κανάλι 6 κοντινό υπέρυθρο (0,7 έως 0,8 μm)

Κανάλι 7 κοντινό υπέρυθρο (0,8 - 1,1 μm)

Καθώς και είχε έξι ανιχνευτές για κάθε φασματική ζώνη που παρείχε έξι γραμμές σάρωσης σε κάθε ενεργή σάρωση.



Εικόνα 4.3 : Απεικόνιση διαστημικού οχήματος Landsat 2 (Πηγή : USGS)

4.2.3 LANDSAT 3

Με την σειρά του ο αισθητήρας Return Beam Vidicon (RBV) του Landsat 3 χρησιμοποιούσε δύο κάμερες, τοποθετημένες δίπλα-δίπλα, με παγχρωματική φασματική απόκριση και υψηλότερη χωρική ανάλυση (40 m) για τη συμπλήρωση της πολυφασματικής κάλυψης που παρέχεται από το Πολυφασματικό σαρωτή (MSS). (Εικόνα 4.4) Κάθε μία από τις κάμερες παρήγαγε μια λωρίδα περίπου 90 km (για συνολική λωρίδα 180 km).

Ο αισθητήρας Multispectral Scanner (MSS) φέρει τώρα πέντε φασματικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένου και ενός θερμικού καναλιού:

Κανάλι 4 ορατό (0,5 έως 0,6 μικρών)

Κανάλι 5 ορατό (0.6 έως 0.7 μm)

Κανάλι 6 κοντινό υπέρυθρο (0,7 έως 0,8 μm)

Κανάλι 7 κοντινό υπέρυθρο (0,8 - 1,1 μm)

Κανάλι 8 θερμικό (10.04 - 12.06 μm)



Εικόνα 4.4 : Απεικόνιση διαστημικού οχήματος Landsat 3 (Πηγή : USGS)

4.2.4 LANDSAT 4

Ο δορυφόρος Landsat4 τέθηκε σε τροχιά στις 16 Ιουλίου του 1982 έως και τις 14 Δεκεμβρίου του 1993.(Εικόνα 4.5) Όπως προαναφέρθηκε ο Landsat4 φέρει τον πολυφασματικό αισθητήρα MSS όπως και οι προηγούμενοι αλλά και έναν ακόμη διαφορετικό που είναι ο θεματικός αισθητήρας TM.

Ο Multispectral Scanner (MSS) φέρει τέσσερα φασματικά κανάλια ταυτόσημα με αυτά του Landsat1 και 2 δηλαδή:

Κανάλι 4 ορατό (0,5 έως 0,6 μικρών)

Κανάλι 5 ορατό (0.6 έως 0.7 μm)

Κανάλι 6 κοντινό υπέρυθρο (0,7 έως 0,8 μm)

Κανάλι 7 κοντινό υπέρυθρο (0,8 - 1,1 μm)

Στον Thematic Mapper (TM) προστέθηκε το μέσο εύρος υπέρυθρων στα δεδομένα και φέρει επτά φασματικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένου και ενός θερμικού καναλιού:

Κανάλι 1 ορατό (0,45 - 0,52 μm) 30 m

Κανάλι 2 ορατό (0,52 - 0,60 μm) 30 m

Κανάλι 3 ορατό (0,63 - 0,69 μm) 30 m

Κανάλι 4 κοντινό υπέρυθρο (0,76 - 0,90 μm) 30 m

Κανάλι 5 κοντινό υπέρυθρο (1,55 - 1,75 μm) 30 m

Κανάλι 6 Θερμικό (10,40 έως 12,50 μm) 120 m

Κανάλι 7 πέρα από το θερμικό (IR) (2,08 - 2,35 μm) 30 m



Εικόνα 4.5 : Απεικόνιση διαστημικού οχήματος Landsat 4 (Πηγή : USGS)

4.2.5 LANDSAT 5

Ο πολυφασματικός αισθητήρας MSS του Landsat5 (Εικόνα 4.6) φέρει τέσσερα φασματικά κανάλια ταυτόσημα με αυτά του 1 και 2:

Κανάλι 4 ορατό πράσινο (0,5 - 0,6 μm)

Κανάλι 5 ορατό το κόκκινο (0.6 έως 0.7 μm)

Κανάλι 6 κοντινό υπέρυθρο (0,7 έως 0,8 μm)

Κανάλι 7 κοντινό υπέρυθρο (0,8 - 1,1 μm)

Από την άλλη πλευρά ο Thematic Mapper (TM) φέρει επτά φασματικά κανάλια συμπεριλαμβανομένου και ενός θερμικού καναλιού και διαμορφώνονται ως εξής:

Κανάλι 1 ορατό (0,45 - 0,52 μm) 30 m

Κανάλι 2 ορατό (0,52 - 0,60 μm) 30 m

Κανάλι 3 ορατό (0,63 - 0,69 μm) 30 m

Κανάλι 4 κοντινό υπέρυθρο (0,76 - 0,90 μm) 30 m

Κανάλι 5 κοντινό υπέρυθρο (1,55 - 1,75 μm) 30 m

Κανάλι 6 Θερμικό (10,40 έως 12,50 μm) 120 m

Κανάλι 7 μετά από το θερμικό (2,08 - 2,35 μm) 30 m



Εικόνα 4.6 : Απεικόνιση διαστημικού οχήματος Landsat 5 (Πηγή : USGS)

4.2.6 LANDSAT 7

Στην συνέχεια ακολουθεί ο Landsat7 (Εικόνα 4.7) ο οποίος ένα μόνο αισθητήριο όργανο το οποίο ονομάζεται Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) και περιέχει οκτώ γασματικά κανάλια συμπεριλαμβανομένων ενός θερμικού και ενός παγχρωματικού καναλιού τα οποία έχουν ως εξής:

Κανάλι 1 ορατό (0,45 - 0,52 μm) 30 m

Κανάλι 2 ορατό (0,52 - 0,60 μm) 30 m

Κανάλι 3 ορατό (0,63 - 0,69 μm) 30 m

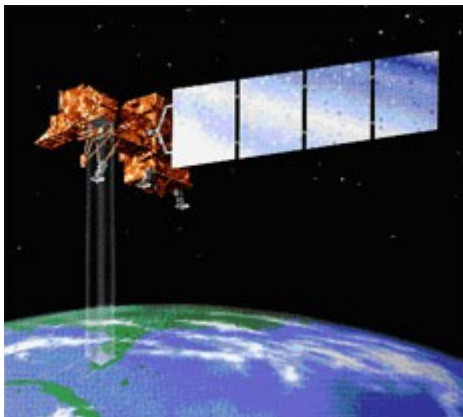
Κανάλι 4 κοντινό υπέρυθρο (0,77 - 0,90 μm) 30 m

Κανάλι 5 κοντινό υπέρυθρο (1,55 - 1,75 μm) 30 m

Κανάλι 6 Θερμικό (10,40 έως 12,50 μm) 60 m Low Gain / High Gain

Κανάλι 7 πέρα απο το θερμικό (2,08 - 2,35 μm) 30 m

Κανάλι 8 παγχρωματικό δορυφορικό(PAN) (0,52 - 0,90 μm) 15 m



Εικόνα 4.7 : Απεικόνιση διαστημικού οχήματος Landsat 7 (Πηγή : USGS)

Landsat Multispectral Scanner (MSS)

Οι MSS εικόνες αποτελούνται από τέσσερα φασματικά κανάλια με 60 μέτρα χωρική ανάλυση. Κατά προσέγγιση το μέγεθος της σκηνης είναι 170 χλμ. βόρεια-νότια κατά 185 χλμ ανατολικά-δυτικά (106 mi από 115 km).

MultispectralScanner	Landsat 1-3	Landsat 4-5	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
(MSS)	Band 4	Band 1	0.5-0.6	60
	Band 5	Band 2	0.6-0.7	60
	Band 6	Band 3	0.7-0.8	60
	Band 7	Band 4	0.8-1.1	60

Πίνακας 4.2 : Απεικόνιση καναλιών, μήκη κύματων και ανάλυσης για το αισθητήριο όργανο MSS

* Το αυθεντικό MSS μέγεθος pixel ήταν 79 x 57 μ. Τα συστήματα παραγωγής τώρα επαναπροσδιόρισαν τα δεδομένα σε 60 μέτρα.

Landsat Thematic Mapper (TM)

Οι TM εικόνες αποτελούνται από επτά φασματικές ζώνες με χωρική ανάλυση 30 μέτρων για κανάλια 1 έως 5 και 7. Η χωρική ανάλυση για το κανάλι 6 (θερμικό υπέρυθρο) είναι 120 μέτρα, αλλά σε νέα δειγματοληψία 30 μέτρων pixel. Κατά προσέγγιση το μέγεθος σκηνης είναι 170 χλμ. βόρεια-νότια κατά 183 χλμ ανατολικά-δυτικά (106 mi από 114 km).

Thematic Mapper Landsat Wavelength Resolution

		(micrometers)	(meters)
(TM)	Band 1	0.45-0.52	30
	Band 2	0.52-0.60	30
	Band 3	0.63-0.69	30
	Band 4	0.76-0.90	30
	Band 5	1.55-1.75	30
	Band 6	10.40-12.50	120* (30)
	Band 7	2.08-2.35	30

Πίνακας 4.3 : Απεικόνιση καναλιών, μήκη κύματων και ανάλυσης για το αισθητήριο όργανο TM

* Το κανάλι 6 TM αποκτήθηκε με ανάλυση 120 μέτρων, αλλά προϊόντα που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία πριν από την 25η Φεβρουαρίου του 2010 επαναπροσδιορίστηκαν σε pixel 60 μέτρων ενώ εκείνα που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία μετά από 25 Φεβρουαρίου του 2010 έχουν έως 30 μέτρα pixels.

Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)

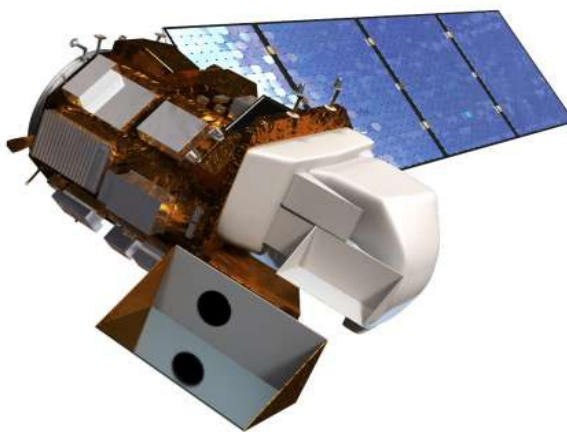
Οι ETM+ εικόνες αποτελούνται από οκτώ φασματικές ζώνες με χωρική ανάλυση 30 μέτρων για κανάλια 1 έως 7. Η χωρική ανάλυση για το κανάλι 8 (παγχρωματική) είναι 15 μέτρα. Όλες οι ζώνες μπορούν να συλλέξουν μια από τις δύο ρυθμίσεις κέρδους (υψηλή ή χαμηλή) για να αυξήσουν την ραδιομετρική ευαισθησία και το δυναμικό εύρος, ενώ το κανάλι 6 συλλέγει τόσο υψηλό όσο και χαμηλό κέρδος για όλες τις σκηνές. Κατά προσέγγιση το μέγεθος σκηνής είναι 170 χλμ. βόρεια-νότια κατά 183 χλμ ανατολικά-δυτικά (106 mi από 114 km).

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

Πίνακας 4.4 : Απεικόνιση καναλιών, μήκη κύματων και ανάλυσης για το αισθητήριο όργανο ETM+

* Το κανάλι 6 ETM + αποκτάται σε ανάλυση 60 μέτρων. Τα προϊόντα υποβάλλονται σε επεξεργασία μετά από 25 του Φεβ. 2010 με νέα δειγματοληψία έως 30 μέτρων pixels.

4.2.7 LANDSAT 8



Εικόνα 4.8 : Απεικόνιση διαστημικού οχήματος Landsat 8 (Πηγή: USGS)

Ο Landsat 8 (ή πρώην Landsat Data Continuity Mission, LDCM) που ξεκίνησε να λειτουργεί στις 11 Φεβρουαρίου του 2013 είναι η εξέλιξη των δορυφόρων Landsat. (Εικόνα 4.8). Συλλέγει πολύτιμα δεδομένα και εικόνες προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην γεωργία, στην εκπαίδευση, στις επιχειρήσεις, στις επιστήμες και τέλος στην κυβέρνηση. Το πρόγραμμα Landsat παρέχει επαναλαμβανόμενη απόκτηση υψηλής ανάλυσης πολυφασματικών δεδομένων της επιφάνειας της Γης σε παγκόσμια βάση. Τα δεδομένα από το διαστημικό σκάφος Landsat αποτελούν το μεγαλύτερο ρεκόρ της ηπειρωτικής επιφάνειας της Γης όπως φαίνεται από το διάστημα. Είναι ένα ρεκόρ στην ποιότητα, τις λεπτομέρειες, την κάλυψη και την αξία.

Ο Landsat 8 ξεκίνησε επίσημα τις συνήθειες εργασίες στις 30 Μαΐου 2013, όταν η ηγεσία για τη δορυφορικές εργασίες μεταφέρθηκε από τη NASA στο αμερικανικό Γεωλογικό Ινστιτούτο. Το USGS διαχειρίζεται τώρα την ομάδα δορυφορικών λειτουργιών πτήσης στο πλαίσιο του Mission Operations Center η οποία εξακολουθεί να βρίσκεται στο Goddard Space Flight στο κέντρο του Greenbelt, MD της NASA.

Η μετάβαση ακολούθησε μια περίοδο 100 ημερών κατά την οποία η NASA και η USGS έλεγχαν συστηματικά το σύνολο των διαστημοπλοίων και των υποσυστημάτων του εδάφους και έθεσαν το δορυφόρο σε τροχιά λειτουργίας σε 438 μίλια (705 χιλιόμετρα) υψόμετρο. Η ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται κατά τη διάρκεια της εν λόγω περιόδου δείχνουν ότι

ο δορυφόρος, οι αισθητήρες και οι μετρήσεις απόδοσης του συστήματος εδάφους υπερβαίνουν τις προδιαγραφές στα περισσότερα σημεία.

Στις 21 Ιουλίου, η ομάδα πτήσης εκτέλεσε έναν ελιγμό για να αποφευχθεί μια πιθανή σύγκρουση μεταξύ Landsat 8 και ενός άλλου αντικειμένου σε τροχιά. Ο ελιγμός χρησίμευσε επίσης για να αναπληρώσουν την ατμοσφαιρική έλξη και ο δορυφόρος επέστρεψε στη λειτουργία παρατήρησης της Γης.

Ο δορυφόρος Landsat 8 σκανάρει ολόκληρη την Γη κάθε 16 μέρες αντισταθμισμένος από τον δορυφόρο Landsat 7 κατά 8 ημέρες. Τα δεδομένα συλλέγονται από όργανα που βρίσκονται πάνω στον δορυφόρο και είναι διαθέσιμα για χρήση χωρίς χρέωση από το Glovis , Earthexplorer και μέσω δια του Landsatlook Viewer εντός 24 ωρών από την παραλαβή.

Ο Landsat 8 μεταφέρει δύο όργανα : το αισθητήρα Operational Land Imager (OLI) ο οποίος περιλαμβάνει ζώνες εκλεπτυσμένης κληρονομιάς μαζί με τρεις ακόμη νέες ζώνες. Μία βαθιά μπλέ ζώνη για παράκτιες μελέτες και μελέτη του αεροζόλ, μία μικρού κύματος υπέρυθρου ζώνη για νεφοκάλυψη και μία για την εκτίμηση της ποιότητας.

Operational Land Imager (OLI)

•Εννιά φασματικά κανάλια και περιέχει και μια πανγχρωματική ζώνη:

- Κανάλι 1 ορατό (0.43 - 0.45 μm) 30 m
- Κανάλι 2 ορατό (0.450 - 0.51 μm) 30 m
- Κανάλι 3 ορατό (0.53 - 0.59 μm) 30 m
- Κανάλι 4 κόκκινο (0.64 - 0.67 μm) 30 m
- Κανάλι 5 κοντινό υπέρυθρο (0.85 - 0.88 μm) 30 m
- Κανάλι 6 υπέρυθρο μικρού κύματος SWIR 1 (1.57 - 1.65 μm) 30 m
- Κανάλι 7 υπέρυθρο μικρού κύματος SWIR 2 (2.11 - 2.29 μm) 30 m
- Κανάλι 8 πανγχρωματικό (PAN) (0.50 - 0.68 μm) 15 m
- Κανάλι 9 νεφοκάλυψης (1.36 - 1.38 μm) 30 m

Ο αισθητήρας του θερμικού υπέρυθρου (TIRS) παρέχει δύο θερμικές ζώνες. Και οι δύο αυτοί αισθητήρες παρέχουν βελτιωμένο σήμα θορύβου (SNR) με ραδιομετρική απόδοση κβαντισμένη σε δυναμικό εύρος πάνω από 12-bit. (Αυτό μεταφράζεται σε 4096 πιθανά επίπεδα του γκρι σε μία εικόνα συγκρινόμενο με μόνο 256 επίπεδα του γκρι σε προηγούμενα όργανα των 8-bit). Βελτιώνοντας το σήμα θορύβου επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση στον χαρακτηρισμό της κάλυψης κρατικής γης καθώς και στην κατάστασή της.

Thermal Infrared Sensor (TIRS)

•Δύο θερμικά φασματικά κανάλια:

•Κανάλι 10 θερμικού υπέρυθρου TIRS 1 (10.6 - 11.19 μm) 100 m

•Κανάλι 11 θερμικού υπέρυθρου TIRS 2 (11.5 - 12.51 μm) 100 m

Τα προϊόντα παραδίδονται ως 16-bit εικόνες (κλίμακα των 55,000 επιπέδων του γκρι). Οι εικόνες του Landsat 8 έχουν ένα πολύ μεγάλο μέγεθος αρχείου δηλαδή 1GB περίπου συμπιεσμένο.

4.2.8 ΟΝΟΜΑΣΙΕΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ LANDSAT 8

Οι εικόνες των αισθητήρων OLI και TIRS του Landsat 8 αποτελούνται από εννέα φασματικές ζώνες με χωρική ανάλυση 30 μέτρων για τα κανάλια 1 έως 7 και 9. Η νέα ζώνη 1 (υπερ-μπλε) είναι χρήσιμη για τις παράκτιες μελέτες και μελέτες αερολυμάτων. Η νέα ζώνη 9 είναι χρήσιμη για την ανίχνευση των ωεφοκαλύψεων. Η χωρή ανάλυση για το κανάλι 8 (παγχρωματική) είναι 15 μέτρα. Οι θερμικές ζώνες 10 και 11 είναι χρήσιμες για την παροχή πιο ακριβών θερμοκρασιών της επιφανείας και συλλέγονται σε 100 μέτρα. Κατά προσέγγιση το μέγεθος της εικόνας είναι 170 χλμ. βόρεια-νότια κατά 183 χλμ ανατολικά-δυτικά (106 mi από 114 km).

Landsat 8		Wavelength	Resolution
Operational	Bands	(micrometers)	(meters)
Land Imager	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
(OLI)	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
and	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
Thermal	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30

Infrared	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
Sensor	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
(TIRS)	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
Launched	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
February 11, 2013	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

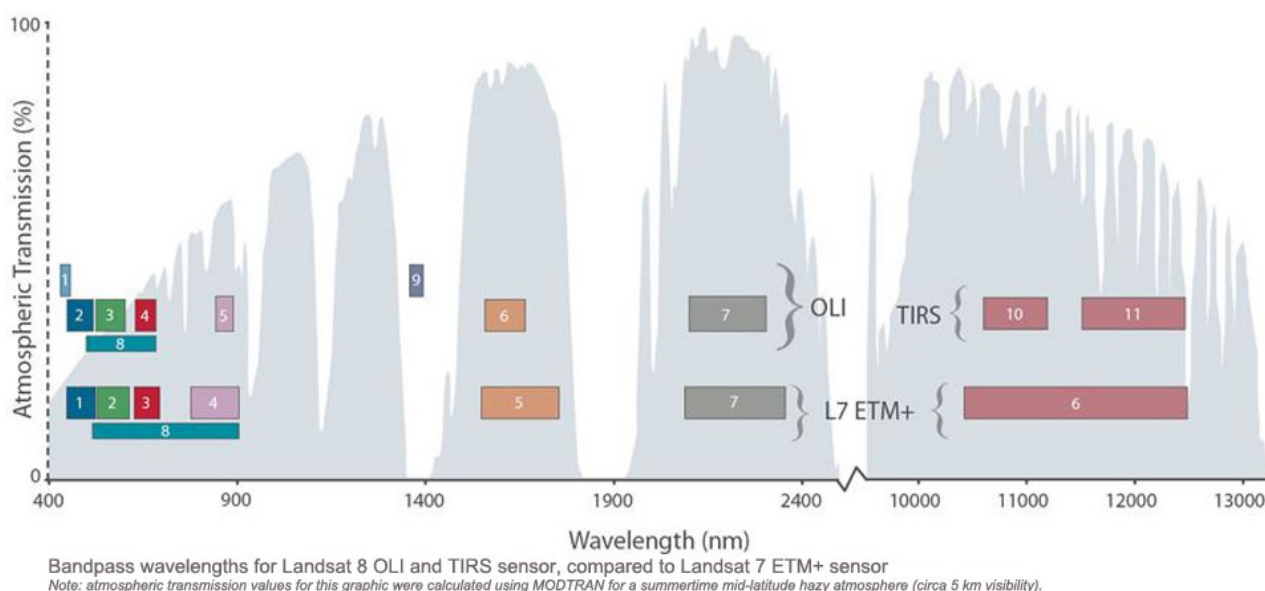
Πίνακας 4.5 : Κανάλια και μήκη κύματος στα δυο αισθητήρια όργανα του Landsat8 (Πηγή : NASA)

- TIRS Οι ζώνες που αποκτήθηκαν με ανάλυση 100 μέτρων, αλλά με νέα δειγματοληψία σε 30 μέτρα κατά την παράδοση των προϊόντων των δεδομένων.

4.3 ΠΩΣ Ο ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ LANDSAT 8 ΔΙΑΦΕΡΕΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΟΥΣ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ LANDSAT

Ο δορυφόρος Landsat 8 φέρει δύο αισθητήρια όργανα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω - τον OLI και τον TIRS. Οι φασματικές ζώνες του αισθητήρα OLI, ενώ είναι παρόμοιες με εκείνες του Landsat 7 και του ETM + αισθητήρων, παρέχουν βελτίωση από τις προηγούμενες

ζώνες του Landsat, με την προσθήκη δύο νέων φασματικών ζωνών: ένα βαθύ μπλε ορατό κανάλι (ζώνη 1), ειδικά σχεδιασμένο για τους υδατικούς πόρους και τη διερεύνηση των παράκτιων ζωνών, καθώς και ένα νέο υπέρυθρο κανάλι (ζώνη 9) για την ανίχνευση της νεφοκάλυψης. Μια νέα μπάντα Διασφάλισης Ποιότητας περιλαμβάνεται επίσης με κάθε προϊόν δεδομένων. Αυτό παρέχει πληροφορίες σχετικά με την παρουσία χαρακτηριστικών, όπως τα σύννεφα, το νερό, και το χιόνι. Το όργανο TIRS συλλέγει δύο φασματικές ζώνες για το μήκος κύματος που καλύπτεται από ένα ενιαίο συγκρότημα με τους προηγούμενους αισθητήρες TM και ETM+. Το παρακάτω γράφημα περιγράφει τις ονομασίες των καναλιών για όλους τους αισθητήρες Landsat καθώς και τα μήκη κύματος αυτών:



Εικόνα 4.9 : Ονομασίες καναλιών και μήκη κύματος για όλα τα κανάλια Landsat (Πηγή : USGS)

Η ποιότητα των δεδομένων (λόγος σήματος προς θόρυβο) και ο ραδιομετρική κβαντοποίηση (12-bits) του OLI και TIRS είναι υψηλότερες από εκείνες στα προηγούμενα μέσα Landsat (8-bit για TM και ETM+), παρέχοντας σημαντική βελτίωση στην ικανότητα να ανιχνεύει αλλαγές στην επιφάνεια της Γης. Τουλάχιστον 400 σκηνές συλλέγονται καθημερινά, και τοποθετούνται στο αρχείο USGS για να γίνουν διαθέσιμες για download μέσα σε 24 ώρες μετά την εξαγορά.

5.ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

5.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στην συγκεκριμένη εργασία, η έρευνα πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μελέτης της λίμνης Τσαντ της Αφρικής. Η λίμνη Τσαντ εντοπίζεται από το στίγμα με γεωγραφικές συντεταγμένες $\varphi : 13,11$ και $\lambda : 14,2757$ (σε δεκαδικές μοίρες) ως προς την ακριβή της θέση και έχει έκταση λιγότερο από 2.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Ως προς την σχετική της θέση βρίσκεται περίπου 755 χιλιόμετρα Βόρειο Βορειο-ανατολικά της Νιγηρίας, 667 χιλιόμετρα Νότιο Νοτιο-ανατολικά του Νίγηρα, 553 χιλιόμετρα Νότιο Νοτιο-δυτικά του Τσάντ και 920 χιλιόμετρα Βόρειο Βόρειο-δυτικά του Καμερούν.

Η λεκάνη απορροής της λίμνης Τσαντ καλύπτει περίπου 2.434.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα δηλαδή το 8% της συνολικής επιφάνειας της γης της Αφρικής (UNEP 2004, 13), από κοινού με τις ακόλουθες χώρες: Τσαντ (45,5%), ο Νίγηρας (28%), η Κεντροαφρικανική Δημοκρατία (CAR) (9%), τη Νιγηρία (7%), την Αλγερία (4%), το Σουδάν (4%), Καμερούν (2%) και τη Λιβύη (0,5%).

Με περισσότερο από το μισό των αντίστοιχων εδαφών τους, στη λεκάνη της λίμνης Τσαντ, το Τσαντ και ο Νίγηρας είναι οι παρόχθιες χώρες με το μεγαλύτερη εδαφική μετοχή. Ωστόσο, τα τρία τέταρτα του νερού της λίμνης προέρχονται από την CAR (που δεν συνορεύουν με τη λίμνη) και από το Καμερούν (η οποία μοιράζεται μόνο ένα μικρό μέρος του) (Wirkus / Böge, 2006, 64). Η λίμνη Τσαντ αποτελεί μια λίμνη όπου το μεγαλύτερο τμήμα της ανήκει στο Τσάντ και το υπόλοιπο μοιράζεται ανάμεσα στη Νιγηρία, τον Νίγηρα και το Καμερούν.



Εικόνα 5.1: Δορυφορική εικόνα της λίμνης Τσαντ (Πηγή Google Earth)

Η λίμνη Τσαντ είναι μια ιστορικά μεγάλη, ρηχή λίμνη στην Αφρική, το μέγεθος της οποίας παρουσίασε διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια των αιώνων. Σύμφωνα με την *Παγκόσμια Βάση Δεδομένων Ενημέρωσης* του ΟΗΕ για το Περιβάλλον, η λίμνη συρρικνώθηκε στο 95% περίπου από το 1963 – 1998, αλλά από το 2007 σημειώνεται σημαντική βελτίωση σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Η λίμνη Τσαντ έχει σημαντική οικονομική σημασία καθώς παρέχει νερό σε περισσότερους από 30 εκατομμύρια ανθρώπους που ζουν στις τέσσερις χώρες γύρω από αυτό (Τσαντ, Καμερούν, Νίγηρας και Νιγηρία) στην άκρη της ερήμου Σαχάρα. Η τοπική οικονομία στο ανώτερο τμήμα της λεκάνης απορροής βασίζεται στην αλιεία, τη γεωργία και την κτηνοτροφία. Είναι η μεγαλύτερη λίμνη στην λεκάνη Τσαντ.

Ο ποταμός Chari, που τροφοδοτείται από τον παραπόταμο του το Logone , παρέχει πάνω από το 90% του νερού του στη λίμνη Τσαντ, με μια μικρή ποσότητα να προέρχεται από τον Komadugu Yobe ποταμό στην Νιγηρία/Νίγηρα. Παρά τα υψηλά επίπεδα της εξάτμισης, η λίμνη έχει γλυκό νερό. Πάνω από το μισό κομμάτι της η λίμνη καταλαμβάνεται από πολλά μικρά νησιά (συμπεριλαμβανομένων των νησιών Bogomerom), καλαμιώνες, λάσπη και μια ζώνη από βάλτο πέρα από τη μέση που χωρίζει το βόρειο και το νότιο μισό της λίμνης. Από βάλτους επίσης αποτελούνται σε μεγάλο βαθμό και οι ακτές.

Επειδή η λίμνη Τσαντ είναι πολύ ρηχή - στην βαθύτερή της περιοχή είναι μόνο 10,5 μέτρα (34 πόδια) - είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε μικρές αλλαγές σε μέσο βάθος, και, κατά συνέπεια, δείχνει εποχιακές διακυμάνσεις στο μέγεθος περίπου του 1 εκατομμυρίου κάθε χρόνο. Το κλίμα της είναι ξηρό το μεγαλύτερο μέρος του έτους, με σποραδικές βροχές από τον Ιούνιο έως το Δεκέμβριο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η λίμνη Τσάντ αποτελεί απομεινάρια της πρώην εσωτερικής θάλασσας Palaeolake Mega-Chad όπου κάποια στιγμή πριν από το 5000 π.Χ., η λίμνη Mega-Chad ήταν η μεγαλύτερη από τα τέσσερα palaeo lakes της Σαχάρας και εκτιμάται ότι κάλυπτε μια έκταση 400.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων δηλαδή μεγαλύτερη από ό, τι είναι η Κασπία Θάλασσα σήμερα.

Πιο κοντά στο παρόν, η λίμνη Τσαντ για πρώτη φορά ερευνάτε από τους Ευρωπαίους το 1823, και θεωρήθηκε ως μία από τις μεγαλύτερες λίμνες στον τότε κόσμο. Η λίμνη Τσαντ έχει συρρικνωθεί σημαντικά από τη δεκαετία του 1960, όταν η ακτογραμμή της είχε μια αύξηση της τάξης περίπου των 286 μέτρων (938 πόδια) πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και είχε μια έκταση πάνω από 26.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα, καθιστώντας την επιφάνεια της την τέταρτη μεγαλύτερη στην Αφρική.

Η αυξημένη ζήτηση για το νερό της λίμνης από τον τοπικό πληθυσμό έχει επιταχύνει την πιθανή συρρίκνωση της κατά τα τελευταία 40 χρόνια. Κάποτε η λίμνη Τσαντ ήταν μια από τις μεγαλύτερες της Γης, ωστόσο πλέον έχει μείνει μόλις το 1/20 της έκτασης που είχε πριν από 50 χρόνια. Ήδη η συνεχής μείωση της υδάτινης ποσότητάς της, έχει προκαλέσει την εμφάνιση των πρώτων νησίδων στο κέντρο, της άλλοτε βαθιάς και γεμάτης ψάρια λίμνης, γεμίζοντας ανησυχία τόσο τους επιστήμονες όσο και τους κατοίκους των περιοχών που ζουν περιμετρικά της. Το μέγεθος της λίμνης Τσαντ διαφέρει σημαντικά εποχιακά ανάλογα με τις πλημμύρες στις περιοχές των υγροτόπων.

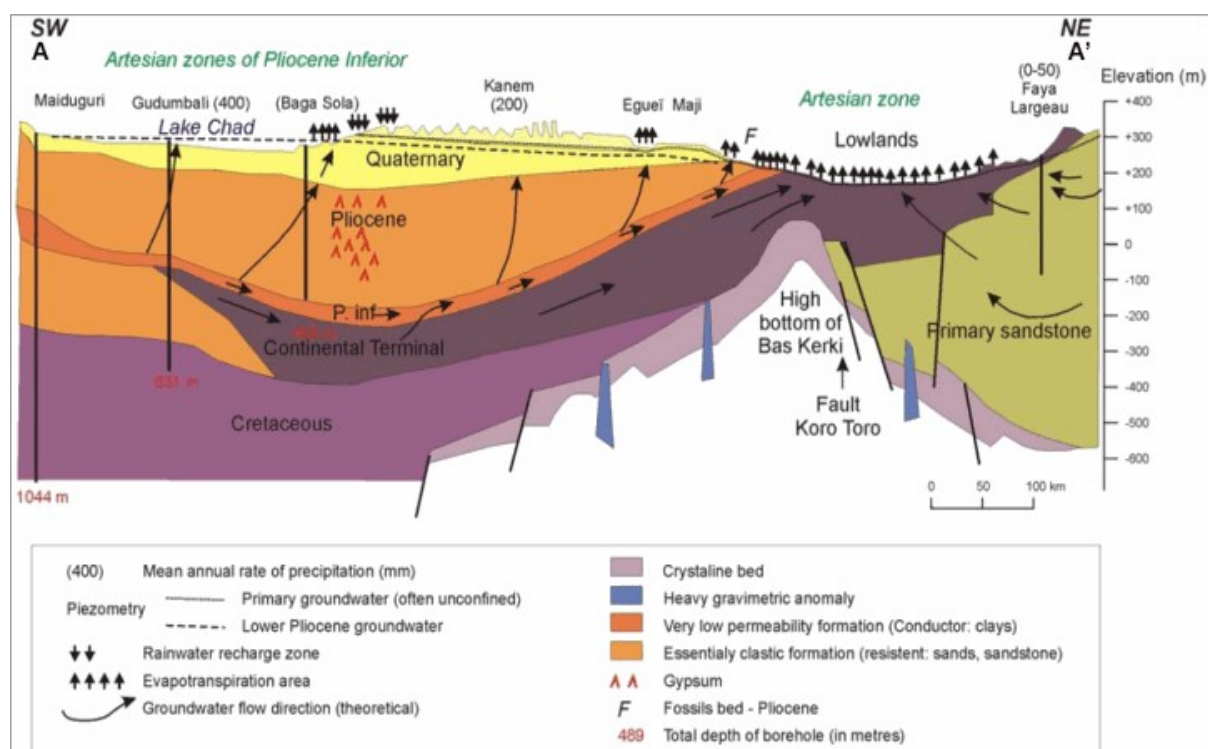
Το 1983, η λίμνη Τσαντ αναφέρθηκε ότι έχει καλύψει 10.000 έως 25.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα με μέγιστο βάθος τα 11 μέτρα και όγκο 72 κυβικά χιλιόμετρα. Μέχρι το 2000, η έκταση της μειώθηκε σε λιγότερο από 1.500 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Όσον αφορά την χλωρίδα της, η λίμνη Τσαντ φιλοξενεί 44 είδη φυκών και έχει μεγάλες περιοχές βάλτου και καλαμώνες. Οι πλημμυρικές περιοχές στη νότια όχθη της λίμνης καλύπτονται από χόρτα όπως *Echinochloa pyramidalis*, *Hyparrhenia rufa*, *Vetiveria nigritana* και *Oryza longistaminata*. Από την άλλη πλευρά στην λίμνη Τσαντ υπάρχουν 179 είδη ψαριών, εκ των οποίων περισσότερα από τα μισά είναι κοινά με την λεκάνη απορροής του ποταμού Νίγηρα, περίπου τα μισά είναι κοινά με την λεκάνη απορροής του ποταμού Νείλου και περίπου το ένα τέταρτο είναι κοινό με την λεκάνη απορροής του ποταμού Κονγκό.

Η ίδια η λίμνη Τσαντ έχει 85 είδη ψαριών. Από τα 25 ενδημικά στη λεκάνη, μόνο το *Brycinus dageti* βρίσκεται στην ίδια λίμνη. Αυτός ο σχετικά χαμηλός πλούτος των ειδών και η εικονική έλλειψη των ενδημικών ειδών ψαριών έρχεται σε μεγάλη αντίθεση με τις άλλες μεγάλες λίμνες της Αφρικής, όπως η Βικτόρια, η Τανκανίνγκα και Μαλάουι. Σ' αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως υπάρχουν πολλά επιπλέοντα νησιά στη λίμνη. Κατοικούνται κυρίως από μια ευρεία ποικιλία της άγριας ζωής, συμπεριλαμβανομένων των ιπποποτάμων, κροκοδείλων και μεγάλες κοινότητες όπως αποδημητικά πουλιά, πάπιες και άλλα υδρόβια πουλιά στην ξηρά.

5.2 ΦΥΣΙΚΟ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

5.2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

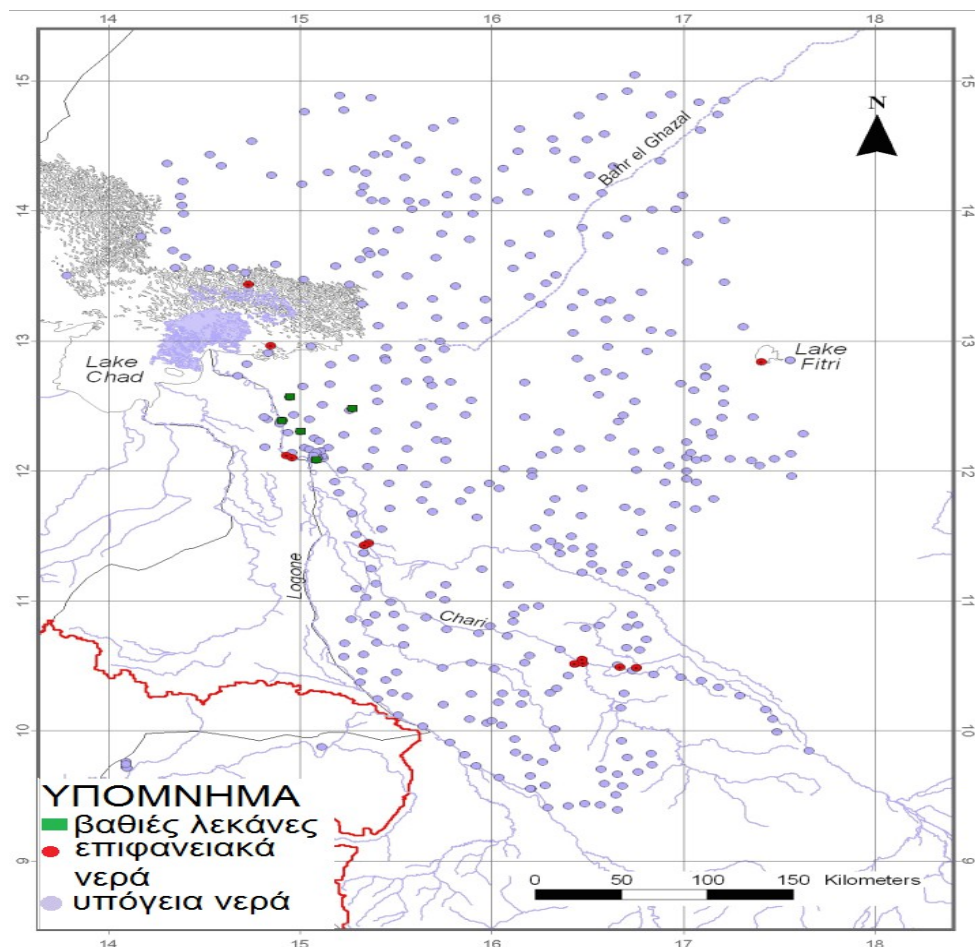
Η λεκάνη προήλθε κατά τη διάρκεια της Κρητιδικής περιόδου (πάνω από 100 εκατομμύρια χρόνια πριν) και κρύβεται κάτω από ένα υπόγειο συγκρότημα (Σχήμα 2) . Αποτελείται από μια σειρά καταθέσεων ιζήματος. Τα ιζήματα αυτά αποτελούνται από τέσσερα υδροφόρα στρώματα : το Άνω Τεταρτογενές , το Κάτω Πλειόκαινο , το Continental Terminal και το Continental Hamadien . Δεδομένου ότι η κύρια επαναφόρτιση των υδροφορέων είναι από επιφανειακά υδάτινα σώματα , είναι πολύ ευαίσθητη στις αλλαγές των επιφανειακών συστημάτων απορροής. (Εικόνα 5.2)



Εικόνα 5.2 : Υδρογεωλογική διατομή της περιοχής (Πηγή: Vassolo S. 2010)

Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων του Τεταρτογενούς υδροφόρου είναι κατάλληλη για οικιακή κατανάλωση του τοπικού ανθρώπινου και ζωικού πληθυσμού. Ο υδροφόρος ορίζοντας του Κάτω Πλειόκαινου , που βρίσκεται σε βάθος περίπου 250 m, με μέσο πάχος 60 m, είναι ένας αρτεσιανός υδροφορέας που χρησιμοποιείται εντατικά στο νιγηριανό τμήμα της λεκάνης .

Παρά το γεγονός ότι το αποθεματικό του υδροφόρου ορίζοντα του Κάτω Πλειόκαινου είναι άγνωστο , η εκμετάλλευση αυτού του υδροφορέα εκτιμάται σε περίπου 3 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως .

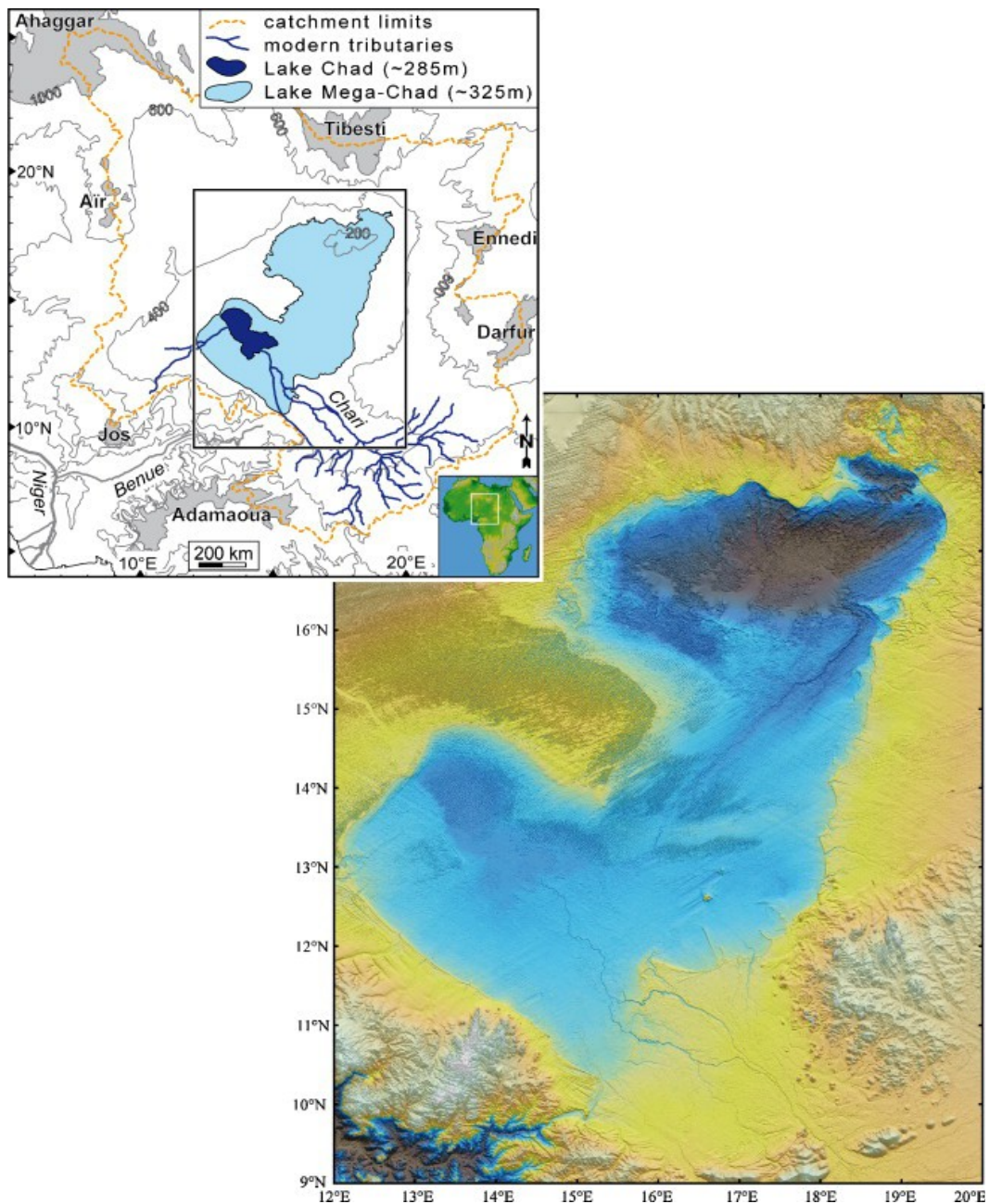


Εικόνα 5.3 : Υδροφόρος ορίζοντας γύρω από την λεκάνη Τσαντ (Πηγή: Vassolo S. 2010)

Ο υδροφόρος ορίζοντας του Continental Terminal είναι ουσιαστικά μια εναλλαγή από ψαμμίτη σε πηλό με περίπου 250 μέτρα πάχος . Τέλος , ο υδροφόρος ορίζοντας του Continental Hamadien είναι ένας σημαντικός υδροφόρος ορίζοντας της Δυτικής Αφρικής, αλλά πολύ λίγες πληροφορίες είναι διαθέσιμες σχετικά με αυτό το υδροφόρο στρώμα στην συμβατική λεκάνη. Η υπόγεια λεκάνη Τσαντ περιλαμβάνει μια σειρά από κρυσταλλικά πετρώματα που σχετίζονται με την παναφρική ορογένεση , τα οποία ήταν εκτεθειμένα και υπερκαλύφθηκαν από νεότερα

πετρώματα σε αρκετά αξιόλογα τοπογραφικά σημεία σηματοδοτώντας έτσι τα σύνορα της λεκάνης. (Εικόνα 5.3)

Προς τα βόρεια , τα καινοζωικά ηφαιστειακά πετρώματα της ανύψωσης Tibesti αντιπροσωπεύουν τα υψηλότερα βουνά στη Σαχάρα (Emi Koussi : 3415 m) . Προς τα βόρεια - ανατολικά , οι κρητιδικού ψαμμίτες (γνωστοί ως intercalaire Continental που σχετίζονται με τους ανατολικούς Αφρικανικούς Nubian Ψαμμίτες) συνθέτουν το οροπέδιο του Erdis (Korko , Dji ,Fochimi και Ma ? < 800 m) . Η ανατολική πλευρά της λεκάνης συνορεύει με τους Παλαιοζωικούς ψαμμίτες του βουνού Ennedi (Basso : 1450 m) και τα γρανιτωειδή βράχια των βουνών Precambrian και Ouaddaï (< 1100 m) . Προς τα νότια της λεκάνης , το Adamaoua και οι περιοχές Mayo Kebi αντιστοιχούν σε τεκτονικά ενεργές περιοχές που σχετίζονται με τα κρητιδικά – καινοζωικά γεγονότα που επηρέασαν τη δυτική και κεντρική Αφρική . Στα δυτικά , το πλειστοκαινικό πεδίο θινών Kanemis είναι το μόνο αξιοσημείωτο γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό .



Εικόνα 5.4 :Χάρτης που δείχνει το λεκανοπέδιο Τσαντ, τη σύγχρονη λίμνη Τσαντ και τη λίμνη Mega-Τσαντ στο Ολόκαινο (Επεξεργασία εικόνας από τον C. Roquin)

Ιζηματογενή γεωλογία των Μιο-Πλειοκαινικών στρωμάτων

Οι ιζηματογενείς αποθέσεις από τις τέσσερις μεγάλες απολιθωματοφόρες περιοχές (Toros-Menalla, Kossom Bougoudi, Kolle, Koro-Toro) προσφέρουν μοναδικές γνώσεις σχετικά με τα παλαιο-περιβάλλοντα της Μιο-Πλειοκαινική περιόδου στη βόρεια πλευρά της λεκάνης Τσαντ. Αναδυόμενες από το σύγχρονο αιολικό κάλυμμα, οι προεξοχές αυτές αποτελούνται από μεγάλες επιφάνειες και μικρά υψώματα άμμου. Η περιοχή αποτελείται από βασαλτικά

πετρώματα που έχουν μια σειρά από κρατήρες και μια παχιά ακολουθία ιζηματογενείς αποθέσεις (Fortnam και Oguntola, 2004). Η παλαιότερη ακολουθία, που είναι γνωστή ως Tibestian I, αποτελείται από μεταμορφωμένα ιζήματα και τις βασικά ηφαιστειακά πετρώματα, όπως σχιστόλιθους, μαρμαρυγιακούς χαλαζίτες, σχιστόλιθους, κεροστίλβη, αμφιβολίτες και πυροξενίτες. Η άνω μονάδα, που είναι γνωστή ως Tibestian II, εκτείνεται σε μια πολύ μεγαλύτερη περιοχή κατασκευασμένη από εναλλασσόμενους χαλαζίτες και πλάκες από χονδρόκοκκους ψαμμίτες (arkoses) και rhyolitic λάβες (Schluter 2006).

5.2.2 ΕΛΑΦΟΣ

Υπάρχουν δεκαέξι διαφορετικοί τύποι πετρωμάτων στην λεκάνη απορροής της λίμνης Τσαντ τα οποία είναι Acrisols, Cambisols, Podzoluvisols, Ferralsols, Gleysols, Lithosols, Fluvisols και Luvisols (FAO – UNESCO, 1991). Η λεκάνη απορροής κυριαρχείται από δύο τύπους εδάφους. Αυτοί είναι ο Podzoluvisols καταλαμβάνοντας μία έκταση 8337 τετραγωνίων χιλιομέτρων και ο Lithosols καταλαμβάνοντας μία έκταση 8423 τετραγωνικών χιλιομέτρων (FAO – UNESCO, 1991). Το έδαφος Podzol Luvisols αποτελείται από απεμπλουτισμένο σίδηρο και πηλό (FAO, 1993). Είναι όξινο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά και συναντάται σε κλιματικές ζώνες με περίπου 500 και 1000 χιλιοστά βροχής ανά έτος (FAO, 1993). Το έδαφος Lithosol αλλιώς ονομάζεται και σκελετικό έδαφος, διότι το μητρικό πέτρωμα δεν έχει μέταλλα. Είναι νέο έδαφος που βρίσκεται σε απότομες πλαγιές και διαβρώνεται εύκολα. Η κλίση του εδάφους προκαλεί αραιή χλωρίδα (θάμνους, λειμώνες) και βρίσκεται σε ορισμένα μέρη της άγονης Αφρικής (Ray, 2008).

5.2.3 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Τα υποσυστήματα της λίμνης Τσαντ

Το υποσύστημα Chari - Λογκόν

Το υποσύστημα Chari - Logone καλύπτει μια έκταση περίπου 650.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Ο ποταμός Chari έχει μήκος 1.400 χιλιόμετρα και στις παρόχθιες περιοχές του υποσυστήματος βρίσκονται το Τσαντ , το Καμερούν , η Κεντροαφρικανική Δημοκρατία και η Νιγηρία . Οι πλημμυρικές περιοχές Waza - Logone βρίσκονται στην υπολεκάνη απορροής .

Το υποσύστημα Yedseram και Ngadda

Οι ποταμοί Yedseram και Ngadda προέρχονται από το βόρειο Καμερούν και χάνουν το μεγαλύτερο μέρος του νερού τους σε πλημμυρικές πεδιάδες και έλη , έτσι ώστε τα ποτάμια να μην μπορούν να διατηρήσουν μια ροή νερού στη λίμνη Τσαντ . Το φράγμα Alau βρίσκεται νοτιοανατολικά του Μαϊντουνγκούρι (Νιγηρία) . Παρόχθιες περιοχές του υποσυστήματος αυτού είναι το Καμερούν και η Νιγηρία.

Το υποσύστημα Komadugu - Yobe

Το υποσύστημα Komadugu - Yobe καλύπτει μια έκταση 148.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων, αλλά συμβάλλει μόνο το 2,5 % της συνολικής εισροής στη λίμνη Τσαντ . Οι ποταμοί Komadugu - Yobe αποτελούν το σύνορο μεταξύ του Νίγηρα και της Νιγηρίας πάνω από 160 χιλιόμετρα και είναι το μόνο ποτάμι που ρέει στο βόρειο κομμάτι της λίμνης Τσαντ . Οι παραπόταμοι του συστήματος των ποταμών και η προς τα πάνω περιοχή βρίσκονται στο έδαφος της Νιγηρίας . Οι υγρότοποι Hadejia - Nguru αποτελούν μέρος της λεκάνης στη Νιγηρία . Οι υγρότοποι εκτείνονται σε μια έκταση περίπου 6000 τετραγωνικών χιλιομέτρων . Τα ξηρά μέρη των πλημμυρικών περιοχών παρέχουν μια ποικιλία πόρων για τον πληθυσμό αλλά και για τη βιοποικιλότητα της περιοχής. Ο ποταμός Hadejia ελέγχεται από τρία μεγάλα φράγματα . Λόγω της κατακράτησης, της ιζηματογένεσης και της απόφραξης από αγριόχορτα στις δεξαμενές αυτές, το ποτάμι δεν ήταν σε θέση να δημιουργήσει ένα φυσικό σύστημα στα κατώτα ρεύματα του ποταμού Yobe στη Νιγηρία και το Νίγηρα για 20 χρόνια. Οι απαιτήσεις σε νερό στη λεκάνη απορροής του ποταμού Hadejia ήδη υπερβαίνουν τους διαθέσιμους υδάτινους πόρους κατά καιρούς (Bdilaya et al . 1999 που αναφέρεται στο UNEP 2004 , 55) .

Μια μελέτη της International Union for the Conservation of Nature (IUCN) εκτιμά ότι η δυναμική των αναγκών σε νερό (χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες εξατμίσεως) είναι τουλάχιστον 2,6 φορές μεγαλύτερη από την επιφάνεια των διαθέσιμων υδάτινων πόρων. Στις λεκάνες Jama'are και Yobe, οι διαθέσιμοι υδάτινοι πόροι πληρούν τις απαιτήσεις του

παρόντος . Ωστόσο , η υλοποίηση των προγραμματισμένων έργων θα μπορούσε να οδηγήσει σε απαιτήσεις νερού 1,8 φορές περισσότερες από τους υδάτινους πόρους που διατίθενται σε ένα έτος για τη λεκάνη απορροής του Jama'are (Bdilaya et al . 1999 που αναφέρεται στην GEF N.Y., 13) . Και πάλι , οι επιπτώσεις από την άποψη της απώλειας του δυναμικού επαναφόρτισης και της απόσυρσης από το απόθεμα δεν έχει ακόμη αντιμετωπιστεί . Το ποσό και το ποσοστό της εξόρυξης από γεωργικές σήραγγες λόγω δημόσιας και ατομικής γεωργικής ανάπτυξης στις περιοχές fadama αυξάνεται , μειώνοντας έτσι τις εισροές και τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα (GEF n . Y . , 13-14) .

Λίμνη Fitri

Λίμνη Fitri βρίσκεται στο Τσαντ . Η επιφάνεια της καλύπτει τα 300 τετραγωνικά χιλιόμετρα . Η λίμνη Σαχέλ τροφοδοτείται από την εισροή των εποχικών ποταμών και τις βροχοπτώσεις . Σε αντίθεση με τη λίμνη Τσαντ, η ίμνη Fitri δεν έχει επηρεαστεί αρνητικά από σημαντικές υδρολογικές αλλαγές.

Βόρεια της λίμνης Τσαντ

Παρόχθιες κατοικίσιμες περιοχές της μεγάλης ξηρής περιοχής της λίμνης Τσαντ είναι το Τσαντ και ένα τμήμα της Αλγερίας . Δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου επιφανειακές ροές από τα βόρεια στην λίμνη .

Ανατολικά της λίμνης Τσαντ

Το ανατολικό τμήμα της λεκάνης είναι στο έδαφος του Σουδάν . Εδώ οι εποχιακοί ξεροπόταμοι Wadi Kaya και Wadi Azum εκβάλλουν στον ποταμό Σαρί . Οι αλλουβιακές αποθέσεις των υδροφορέων αυτών ξεροπόταμων έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν περίπου 0,08 κυβικά χιλιόμετρα ετησίως εξαιρετικής ποιότητας γλυκού νερού . (Πηγή : UNEP 2004, 21–23)

5.2.4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Πέντε κλιματικές ζώνες μπορούν να εντοπιστούν στη λίμνη Τσαντ. Το νότιο άκρο της λεκάνης στην επικράτεια του Καμερούν και της Κεντροαφρικανική Δημοκρατίας ανήκει στην υγρή ζώνη , η οποία ακολουθείται από την ξηρή ύφυγρη ζώνη της Κεντροαφρικανικής Δημοκρατίας και του Τσαντ. Μικρές περιοχές με υγρές και ύφυγρες κλιματικές συνθήκες στο βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης βρίσκονται εντός της Νιγηρίας . Το κεντρικό τμήμα της λεκάνη στην επικράτεια της Νιγηρίας , του Τσαντ και του Νίγηρα είναι ημίξηρο . Βορειότερα ,

οι κλιματικές συνθήκες της λεκάνης γίνονται άγονες και άνυδρες ακόμη και στον Νίγηρα και στο Τσαντ, δηλαδή στο ανώτερο βόρειο τμήμα της λεκάνης . Η βροχόπτωση κυμαίνεται από 1400 χιλιοστά / έτος στα νότια έως 10 χιλιοστά / έτος στο βόρειο τμήμα της λίμνης Τσαντ. Η ετήσια δυναμική εξάτμισης εκτιμάται σε 2.000 χιλιοστά / έτος στα νότια και 3.000 χιλιοστά / έτος, στη ζώνη της Σαχάρας (GEF nY , 10) .

5.3 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

5.3.1 ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ

Η λίμνη Τσαντ υποστηρίζει περισσότερους από 20 εκατομμύρια ανθρώπους. Η τοπική οικονομία στο ανώτερο τμήμα της λεκάνης απορροής βασίζεται στην αλιεία, τη γεωργία και την κτηνοτροφία. Ωστόσο, οι άνθρωποι που ζουν γύρω από τη λίμνη δεν έχουν πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό και κατάλληλες εγκαταστάσεις υγιεινής. Περισσότεροι από 150.000 ψαράδες ζουν στις ακτές της λίμνης και τα νησιά της. Η τρέχουσα εκτίμηση της ετήσιας παραγωγής ψαριών από τη λίμνη είναι 60.000 έως 70.000 τόνους. Ωστόσο, ως αποτέλεσμα των περιβαλλοντικών αλλαγών από το 1970, συμπεριλαμβανομένων των διακυμάνσεων της στάθμης στη λίμνη, υπήρξαν σημαντικές αλλαγές στην ιχθυοπανίδα. Αυτά περιλαμβάνουν υψηλή θνησιμότητα, την εξαφάνιση ορισμένων ειδών του ανοικτού νερού , καθώς και την εμφάνιση των ειδών όπου ήταν προηγουμένως άγνωστα. Η αύξηση των βοοειδών, προβάτων και καμήλων - από τους τοπικούς όσο και νομάδικους κτηνοτρόφους - είναι επίσης σημαντική οικονομική δραστηριότητα, μαζί με την καλλιέργεια κάποιων παραδοσιακών καλλιεργειών.

5.3.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΙΑ ΣΤΗΝ ΛΙΜΝΗ

Οι χωρικοί έχουν μετακινηθεί από όσο υποστηρίζεται εξ ολοκλήρου από την αλιεία στην γεωργία λόγω του ότι η λίμνη υποχωρεί. Μεγάλης κλίμακας συστήματα άρδευσης (πόλντερ) αναπτύχθηκαν σε ορισμένα τμήματα της όχθης της λίμνης και έχουν αποδειχθεί εντελώς ακατάλληλα για τις υδρολογικές, κλιματικές και πολιτισμικές συνθήκες στην περιοχή της λίμνης Τσαντ, και μπορούν να θεωρηθούν ως πλήρεις αποτυχίες. Αν και εξακολουθεί να είναι αρκετά οριακή, η παραγωγή της σπιρουλίνα (μπλε φύκια) φαίνεται να κερδίζει την οικονομική σημασία. Εκτός από την άμεση υποστήριξη για την επιβίωσή, η λίμνη διαδραματίζει επίσης σημαντικό κοινωνικο-οικονομικό ρόλο στη ρύθμιση της ετήσιας προσφοράς νερού, επαναφόρτισης των υπόγειων υδάτων και βοηθά στην αποφυγή πλημμύρων.

5.3.3 ΑΠΕΙΛΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Λόγω του τρόπου που έχει μειωθεί δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες η λίμνη έχει επισημανθεί ως μια οικολογική καταστροφή από τον ΟΗΕ και τον Οργανισμό Τροφίμων και Υγείας. Η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού και των μη αειφορικών ανθρώπινων διαδικασιών όπως η άντληση νερού από τη λίμνη Τσαντ έχουν προκαλέσει πολλές περιβαλλοντικές καταστροφές και πρέπει να τονιστεί πως πολλά είδη απειλούνται από τη μείωση των επιπέδων της λίμνης.

Περιβαλλοντικές οργανώσεις αναφέρουν ότι οι ραγδαίες αλλαγές της τελευταίας δεκαετίας έχουν επηρεάσει τη ζωή τουλάχιστον 20 εκατομμυρίων ανθρώπων (ψαράδων στην πλειοψηφία τους) προερχόμενοι από το Καμερούν, τη Νιγηρία, το Τσαντ και τον Νίγηρα. Οι κύριοι παράγοντες που έχουν οδηγήσει τη λίμνη σε αυτό το σημείο είναι η ξηρασία, η εκτεταμένη άδρευση και οι κλιματολογικές αλλαγές με τις μεγάλες περιόδους ξηρασίας να μην επιτρέπουν την ανανέωση των νερών της. Τοπικοί ψαράδες τονίζουν ότι όσο περνάει ο καιρός τα ψάρια γίνονται ολοένα και λιγότερα.

Η συρρίκνωση της λίμνης έχει προκαλέσει επίσης πολλές διαφορετικές συγκρούσεις ως προς το ποιά από τις χώρες που συνορεύουν με την λίμνη Τσαντ έχει τα δικαιώματα για το υπόλοιπο νερό. Μαζί με τις συγκρούσεις που αφορούν τις χώρες, η βία αυξάνεται μεταξύ των κατοίκων της λίμνης. Οι αγρότες και οι κτηνοτρόφοι θέλουν το νερό για τις καλλιέργειες και το ζωικό κεφάλαιο και τους στρέφουν συνεχώς το νερό. Οι ψαράδες, όμως, θέλουν το υπόλοιπο νερό στη λίμνη για να μείνουν, ώστε να μπορούν να συνεχίσουν να αλιεύουν και να μην χρειάζεται να ανησυχούν για τη λίμνη συρρίκνωση της λίμνης αλλά και για την όλο και πιο τεταμένη μείωση προσφορά τους στα ψάρια. Επιπλέον, τα πουλιά και τα ζώα στην περιοχή απειλούνται καθώς είναι σημαντικές πηγές τροφής για τον τοπικό ανθρώπινο πληθυσμό. Η μόνη προστατευόμενη περιοχή είναι η λίμνη Τσαντ Game Reserve το οποίο καλύπτει το μισό της περιοχής, δίπλα στη λίμνη, το οποίο ανήκει στη Νιγηρία. Ολόκληρη η λίμνη έχει κηρυχθεί μια περιοχή Ramsar διεθνούς σημασίας.

5.3.4 ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΦΤΩΧΕΙΑ

Ένας συνδυασμός της αποψίλωσης των δασών, των θάμνων, των μη βιώσιμων γεωργικών πρακτικών και της ξηρασίας δημιουργεί μια κυκλική σχέση μεταξύ της υποβάθμισης του περιβάλλοντος και της φτώχειας μεταξύ του αγροτικού πληθυσμού. Η συνέπεια της αδράνειας ενάντι στην απειλή της ανθρώπινης πίεσης και της αγροτικής φτώχειας είναι πιθανό να οδηγήσει:

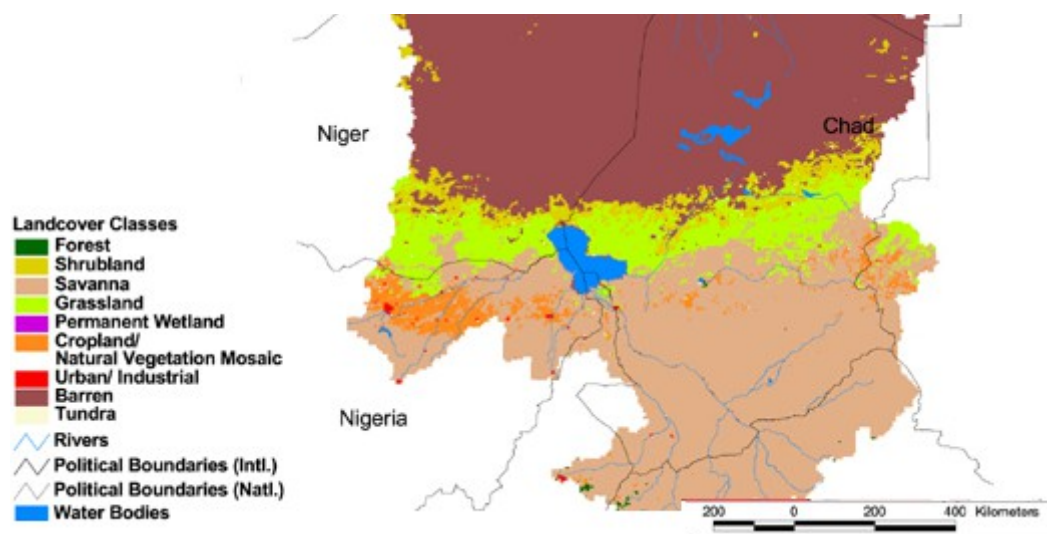
- Στην κακή κατανομή του πόρου του νερού, ιδιαίτερα μεταξύ των μεγάλων αρδευόμενων συστημάτων και των στοιχείων του φυσικού συστήματος
- Στον αυξημένο ανταγωνισμό για τη βάση των φυσικών πόρων μεταξύ των παραγωγικών δραστηριοτήτων, 'όπου οδηγούν σε διαφορές που θα αποδειχθεί δύσκολο να επιλυθούν και θα δημιουργήσει σοβαρές εντάσεις μεταξύ των συμφερόντων των διαφόρων χωρών/περιφερειών για το περιβάλλον, με συνέπεια την περιβαλλοντική υποβάθμιση.
- Σε μια πιθανή αύξηση της ρύπανσης από πηγές όπως γεωτρήσεις και παραγωγή πετρελαίου, τα ορυχεία, μη βιώσιμες γεωργικές πρακτικές, και αυξανόμενη χρήση των φυτοφαρμάκων
- Σε περαιτέρω υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος, αν εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη συνεργασίας σε όλα τα επίπεδα και συνεχόμενη αδυναμία των υπάρχουσων οργανισμών να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν μια σαφή και συνεκτική στρατηγική σε περιφερειακό επίπεδο

5.4 ΧΑΡΤΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ/ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ

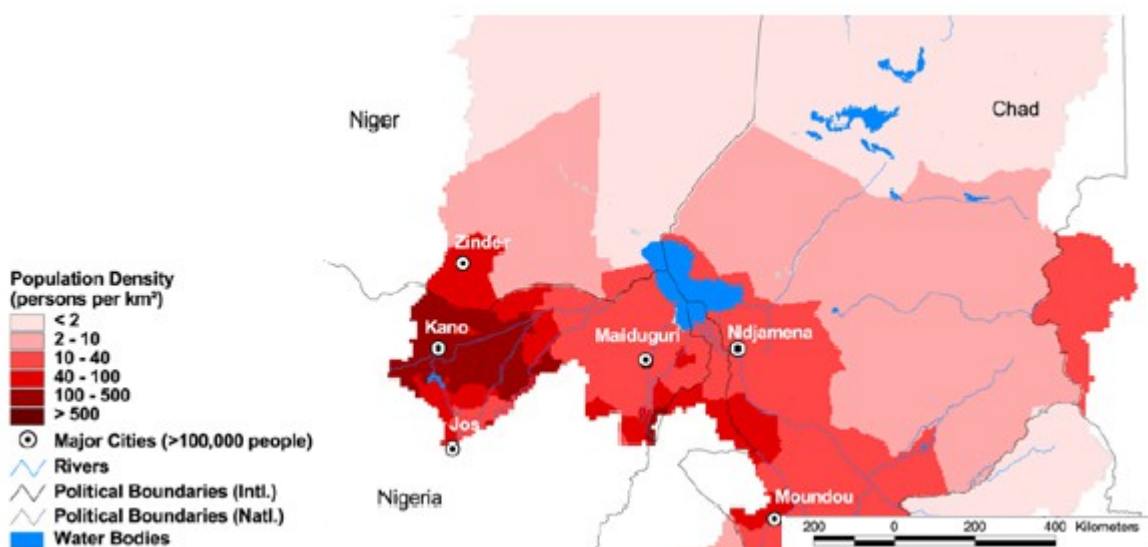
Η γεωργία αποτελεί την κύρια οικονομική δραστηριότητα στη λεκάνη απορροής με τις πιο κοινές καλλιέργειες να είναι το βαμβάκι, οι αραχίδες, ο σόργος, η μανιόκα, το κεχρί, το ρύζι και το κρεμμύδι (Fortnam και Oguntola, 2004). Το βαμβάκι είναι η κύρια καλλιέργεια που καλλιεργείται σε αυτή τη λεκάνη απορροής. Η πλειοψηφία των αγροτικών συστημάτων είναι ξηρικά με μικτή περικοπή σε ευρεία κλίμακα. Η συγκομιδή γίνεται με το χέρι και η καλλιέργεια γίνεται (σε μεγάλο βαθμό) χωρίς τη χρήση λιπασμάτων και άλλων αγροχημικών προϊόντων (Odada et al., 2006).

Η λεκάνη απορροής της λίμνης Τσαντ έχει ποικίλα ενδιαιτήματα, συμπεριλαμβανομένων ερήμων, θάμνων, στέπες, σαβάνες, δάση, λίμνες, υγρότοπους και βουνά. Εννέα οικο-περιοχές προσδιορίζονται στη λεκάνη απορροής της λίμνης Τσαντ στο World Wide Fund (WWF) σύστημα ταξινόμησης. Στην λίμνη, η βλάστηση στο νότιο τμήμα της αποτελείται από *Cyperus* πάπυρο, *Phragmites mauritianus*, *Vossia cuspidata* και άλλα φυτά των υγροτόπων. Στο βόρειο αλατούχο τμήμα τα κύρια είδη είναι *Phragmites australis* και *Typha australis*. Μερικές φορές η πλωτή μονάδα μαρουλιού του Νείλου (*Pistia stratiotes*) καλύπτει μεγάλες περιοχές της ανοικτής θάλασσας (Fortnam και Oguntola, 2004). Η *Acacia* κυριαρχεί σε ξυλώδεις κοινότητες και ποικίλλει σε πυκνότητα που κυμαίνεται από διάσπαρτα δέντρα σε θάμνους, λειμώνες σε δάση και αλσύλλια. Τα δασικά είδη είναι ξερικά συμπεριλαμβανομένων *Baobabs*, μύρο της Αφρικής και της Ινδίας *Jujub* (Mockrin και Thieme, 2001). Οι μεγάλες πόλεις γύρω από τη λίμνη περιλαμβάνουν Ντζαμένα, Kano, Μαϊντουνγκούρι και Μαρούα. Εκτός από αυτή την αστικοποίηση, τα μεγάλα αρδευτικά έργα προσδιορίζονται στα 1,16 εκατομμύρια εκτάρια (Odada et al., 2006).

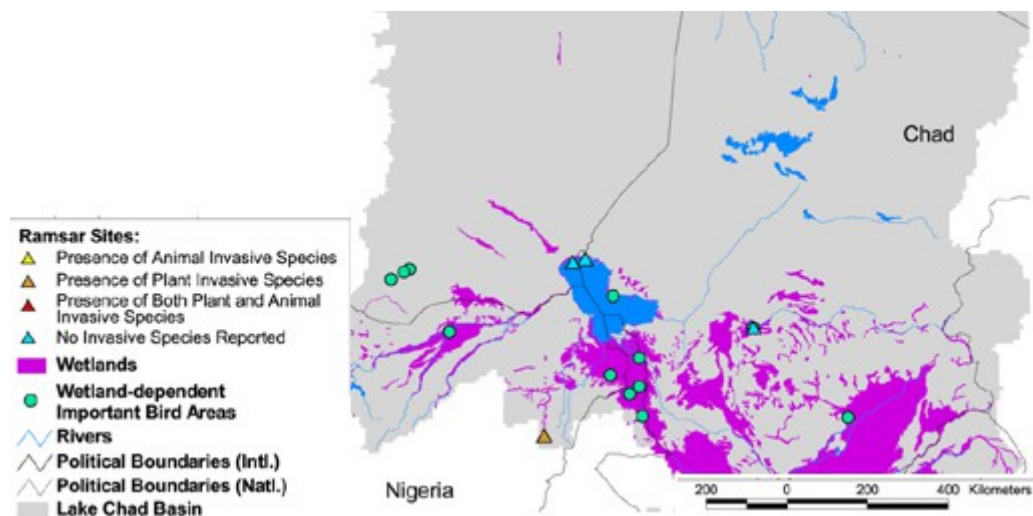
Αυτά τα μεγάλα αρδευτικά έργα αναλαμβάνονται με σκοπό την εντατικοποίηση της γεωργίας σε μεγάλες περιοχές κατά μήκος του ποταμού Chari στην Κεντρική Αφρικανική Δημοκρατία, τον ποταμό Logone στο Καμερούν, τον ποταμό Kumadugu-Yobe στην Νιγηρία, και το αρδευτικό έργο Casier A, B, C στο Τσαντ. Το Mega φράγμα κατασκευάστηκε ως μέρος του έργου SEMRY (Rice Ανάπτυξης του έργου αρχή στο Βόρειο Καμερούν) αντλώντας νερό από περίπου 700 τετραγωνικά χιλιόμετρα των πλημμυρικών περιοχών Yaere όπου μικροί αγρότες καλλιεργούν κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου (Fortnam και Oguntola, 2004).



Χάρτης 5.1 : Απεικόνιση χρήσεων/ κάλυψης γης (Πηγή : International Monetary Fund)



Χάρτης 5.2 : Απεικόνιση πληθυσμιακής πυκνότητας στην λίμνη Τσαντ (Πηγή : International Monetary Fund)



Χάρτης 5.3 : Απεικόνιση της βιοποικιλότητας στην λεκάνη απορροής στην λίμνη Τσαντ (Πηγή : International Monetary Fund)

6.ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

6.1 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΥΠΟΥ ASTER

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα τύπου Aster και επιπέδου L1B. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι εικόνες Aster προέρχονται από την σάρωση των τριών υποοργάνων του ραδιομέτρου δηλαδή το VNIR το οποίο σαρώνει στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο, το SWIR το οποίο σαρώνει στο μέσο υπέρυθρο και το TIR που σαρώνει στο θερμικό.

Τα δεδομένα που επιλέχθηκαν, αποτελούν εικόνες αρχείου οι οποίες παρέχονται από την National Aeronautics and Space Administration (NASA). Η αναζήτηση και η απόκτηση των εικόνων, πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του συστήματος παρακολούθησης και δεδομένων και πληροφοριών της NASA το EOSDIS (<http://reverb.echo.nasa.gov/>). Οι εν λόγω εικόνες καλύπτουν το δέλτα του ποταμού στο νότιο τμήμα της λίμνης Τσαντ στην Αφρική καθώς και την ευρύτερη περιοχή της λίμνης και γύρω από αυτή.

Οι εικόνες Aster που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή είναι τρεις στον αριθμό, οι οποίες έχουν ληφθεί σε διαφορετικές ημερομηνίες και καλύπτουν την ίδια περιοχή της λίμνης. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη εικόνα που απεικονίζει την περιοχή της λίμνης Τσαντ έχει ληφθεί στις 29 Ιανουαρίου 2001, ώρα 09.53.45 UTC και νεφοκάλυψη επιπέδου 0. Η δεύτερη εικόνα έχει ληφθεί 12 Μαρτίου 2007, ώρα 09.35.55 UTC και νεφοκάλυψη επιπέδου 3 που, όμως, δεν επηρεάζει την περιοχή μελέτης καθώς τα σύννεφα διαγράφονται στο βορειοδυτικό τμήμα της λίμνης και δεν επηρεάζουν το δέλτα του ποταμού. Τέλος η τρίτη εικόνα έχει ληφθεί 15 Ιανουαρίου 2010, ώρα 09.35.34 UTC και νεφοκάλυψη επιπέδου 3 όπου και εδώ τα σύννεφα βρίσκονται εκτός της περιοχής μελέτης (στα δυτικά της λίμνης) οπότε δεν επηρεάζεται η ποιότητα απεικόνισης της επιθυμητής περιοχής. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως στόχος είναι η επίτευξη επιλογής εικονών με όσο το δυνατόν παρόμοια ημερομηνία.

Στις συγκεκριμένες εικόνες Aster η εικόνα του 2007 έχει επιλεγθεί το μήνα Μάρτιο αντί για Ιανουάριο που είναι οι άλλες δύο και αυτό γιατί για την συγκεκριμένη περιοχή τον μήνα Ιανουάριο υπήρχαν λίγες εικόνες και με πολύ υψηλή νεφοκάλυψη στο σύνολο της επιθυμητής περιοχής. Επίσης, οι εικόνες έχουν ληφθεί ίδια περίπου εποχή και ώρα ώστε να αποφευχθούν τυχόν διαφορετικές συνθήκες φωτισμού και άρα διαφορές στη σκίαση.

6.2 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ LANDSAT

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν, ακόμη, οπτικά δεδομένα από τους δορυφόρους Landsat 2, Landsat 4, Landsat 7 και Landsat 8. Η αναζήτηση και η απόκτηση των εικόνων, πραγματοποιήθηκε με την πρόσβαση στην ηλεκτρονική σελίδα του γεωλογικού ινστιτούτου U.S.G.S (<http://www.usgs.gov/>).

Όπως και οι εικόνες Aster, οι εικόνες Landsat καλύπτουν την περιοχή της λίμνης και περιοχές γύρω από αυτές. Και εδώ η περιοχή ενδιαφέροντος είναι το δέλτα του ποταμού στο νότιο τμήμα της λίμνης και οι εικόνες που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι τέσσερις. Ειδικότερα, η πρώτη εικόνα έχει ληφθεί από τον δορυφόρο Landsat 2 στις 8 Οκτωβρίου 1975, η δεύτερη εικόνα από τον Landsat 4 στις 7 Νοεμβρίου 1987, η τρίτη από τον Landsat 7 στις 23 Οκτωβρίου 1999 και τέλος η τέταρτη εικόνα έχει ληφθεί από τον δορυφόρο Landsat 8 στις 30 Μαΐου του 2013.

Οι εικόνες έχουν επιλεγθεί έτσι ώστε να έχουν ληφθεί τις ίδιες περίπου ώρες και ημερομηνίες και άρα περιόδους και πάλι προς αποφυγήν προβλημάτων φωτισμού. Εξαίρεση, αποτελεί η τέταρτη εικόνα που έχει ληφθεί από τον Landsat 8 τον μήνα Μάιο σε αντίθεση με τις άλλες τρεις που έχουν ληφθεί τον Οκτώβρη και Νοέμβριο. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από το ότι ο δορυφόρος Landsat 8 ξεκίνησε επίσημα τις συνήθεις εργασίες στις 30 Μαΐου 2013 και οι εικόνες που είχαν ληφθεί από τον δορυφόρο για την περίοδο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου δεν κάλυπταν την περιοχή μελέτης.

6.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην παρούσα μελέτη αξιοποιήθηκαν τα λογισμικά Erdas 2011, Envi 4.7 και το ArcMap 10 (ESRI). Για τον υπολογισμό του δείκτη βλάστησης, το προφίλ, την διαφοροποίηση ξηράς – νερού καθώς και για τις περισσότερες λειτουργίες επεξεργασίας για επαλήθευση και σύγκριση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν αμφότερα το Erdas και το Envi. Για την ελεγχόμενη ταξινόμηση και για την εξαγωγή και οπτικοποίηση των τελικών αποτελεσμάτων δηλαδή την παραγωγή χαρτών αξιοποιήθηκε το λογισμικό ArcMap.

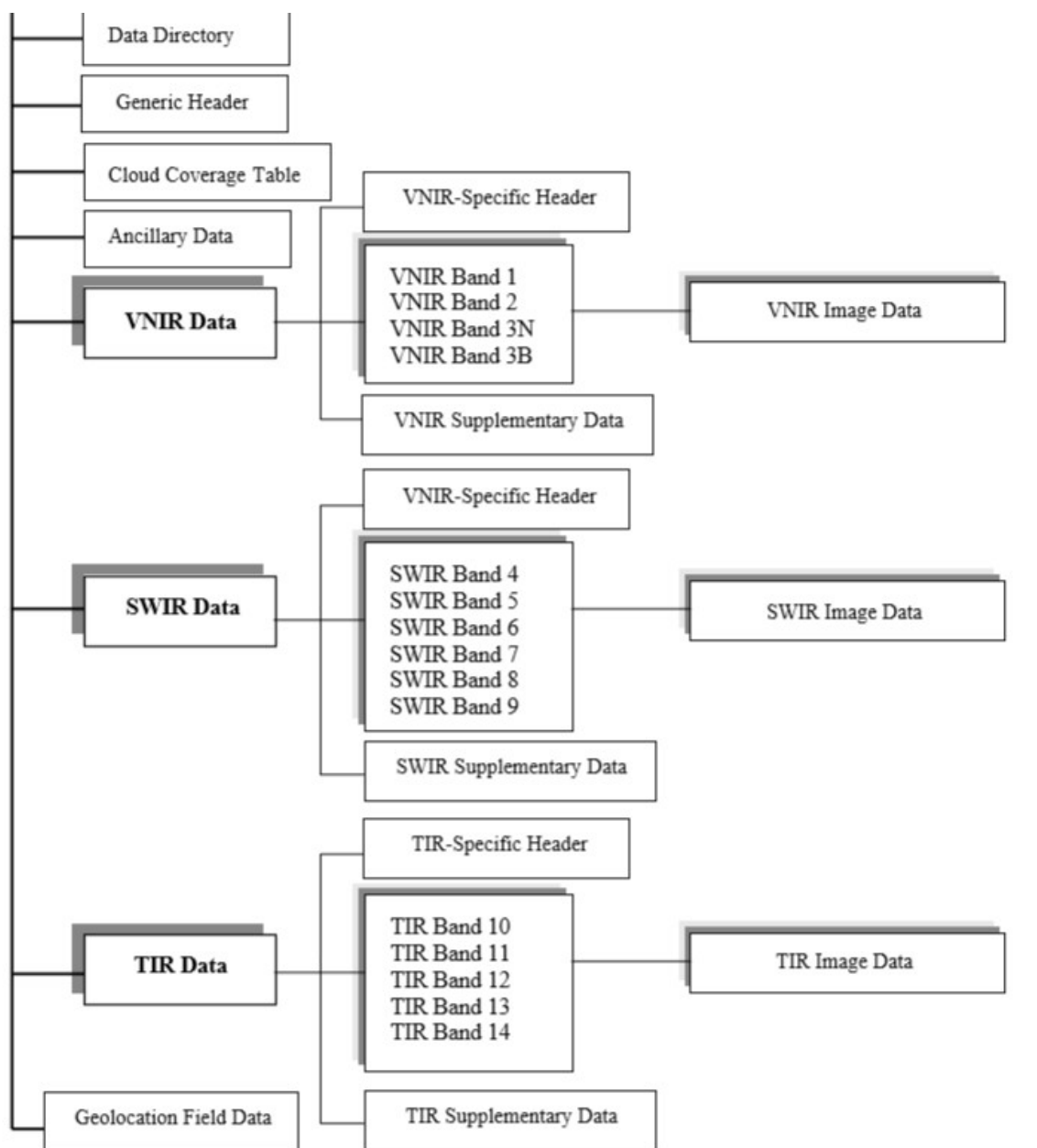
6.4 ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

6.4.1 ΠΡΟΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ L1B

Η παρούσα διπλωματική επεξεργάζεται δορυφορικά δεδομένα από το υποόργανο του δορυφόρου TERRA, ASTER τα οποία είναι επιπέδου L1B. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως τα δεδομένα αυτά που είναι αναφερόμενα ως προς την ακτινοβολία τους στο αισθητήριο όργανο, περιέχουν ραδιομετρικά βαθμονομημένα και γεωμετρικά γεωαναφερόμενα δεδομένα για όλα τα κανάλια, όπου αποκτήθηκαν προηγουμένως μέσω ρευμάτων τηλεμετρίας από τα τρία τηλεσκόπια σε επίπεδο L1A. Δηλαδή, τα δεδομένα L1A μετατρέπονται από DN (digital number) σε ακτινοβολία στον αισθητήρα ($W/m^2/sr/\mu m$).

Τα δεδομένα αυτά, λοιπόν, προκύπτουν εφαρμόζοντας ραδιομετρική βαθμονόμηση και συντελεστές γεωμετρικής διόρθωσης στα δεδομένα επιπέδου L1A. Η διόρθωση γεωαναφοράς τόσο των ενδοτηλεσκοπικών όσο και των διατηλεσκοπικών δεδομένων για όλα τα κανάλια έχει επιτευχθεί συσχετίζοντας τα όρια αναφοράς του κάθε υποσυστήματος. Τα προϊόντα ακτινοβολίας L1B προσφέρουν τον ίδιο αριθμό καναλιών και της ίδιας ανάλυσης με τα προϊόντα L1A. Τα προϊόντα τύπου L1B παρέχουν τα εισαγωγικά δεδομένα ώστε να παραχθούν καλύτερης ποιότητας και επιπέδου δεδομένα Επιπέδου-2.

Να σημειωθεί πως αυτά τα δεδομένα Επιπέδου-1B παράγονται στο Ground Data System (GDS) στο Τόκυο της Ιαπωνίας και αποστέλλονται στη συνέχεια στο κέντρο: “Land Processes (LP) Distributed Active Archive Center (DAAC)” για αρχειοθέτηση, διανομή και περαιτέρω επεξεργασία (NASA, ASTER SWIR User Advisory Document). Τα δεδομένα ASTER, είτε ανήκουν στην κατηγορία L1A είτε στην L1B ακολουθούν μια υπάρχουσα προτεινόμενη διαδικασία προεπεξεργασίας.



Πίνακας : Διάγραμμα κατασκευής αρχείου δεδομένων ASTER επιπέδου L1-B

Πηγή : ASTER user Handbook

6.4.2 ΣΩΡΕΥΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Η σώρευση καναλιών ή αλλιώς layer stacking αποτελεί το πρωταρχικό βήμα στην επεξεργασία των εικόνων μας. Ύστερα από την παραγγελία των δορυφορικών εικόνων θα πρέπει να συγχωνεύσουμε σε μία εικόνα όλα τα κανάλια που διαθέτει η κάθε εικόνα ξεχωριστά. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Erdas 2011. Αρχικά επιλέχθηκε από το κεντρικό μενού η εντολή inter μετά η εντολή utilities και τέλος η εντολή stack. Στο σημείο αυτό εισάγω όλα τα κανάλια της εκάστοτε εικόνας που με ενδιαφέρει και τα τοποθετώ με σειρά. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τις aster εικόνες μόνο δεν έχει επιλεγθεί το κανάλι 3B καθώς όπως έχει προαναφερθεί και παραπάνω στο κανάλι αυτό το υποόργανο βλέπει προς τα πίσω / στερεοσκοπική κάλυψη.

6.4.3 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΡΟΣΑΜΟΓΗ ΕΙΚΟΝΩΝ

Η γεωμετρική ανόρθωση ή γεωαναφορά (geometric rectification or georeferencing) έχει ως στόχο το μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων της εικόνας, το οποίο έχει παραμορφώσεις, σε ένα συγκεκριμένο σύστημα χαρτογραφικής προβολής με τη χρήση εδαφικών σημείων ελέγχου. Όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας συνδέονται με τις χαρτογραφικές συντεταγμένες. Έτσι κάθε εικονοστοιχείο δεν χαρακτηρίζεται μόνο από τις συντεταγμένες της εικόνας (γραμμές και στήλες) αλλά και από τις αντίστοιχες συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα του χάρτη (π.χ μέτρα σε Μερκατορική προβολή).

Με τη διαδικασία αυτή η δορυφορική εικόνα αποκτά την κλίμακα και τις ιδιότητες προβολής του χάρτη επιτρέποντας έτσι την εισαγωγή της σε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών και την ταυτόχρονη χρήση της με άλλα θεματικά πεδία πληροφορίας. Η γεωμετρική ανόρθωση όμως δεν μπορεί να απαλείψει τα σφάλματα που εισάγονται στην εικόνα από την τοπογραφία και το ανάγλυφο (Καρτάλης, Φειδάς 2006).

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται, συνήθως, για τη διαδικασία της γεωαναφοράς είναι δορυφορικές εικόνες ή αεροφωτογραφίες, που στην περίπτωση αυτή θα περιλαμβάνουν και κάποιες πληροφορίες τοποθεσίας χωρίς, όμως ιδιαίτερη ακρίβεια, είτε σαρωμένοι χάρτες. Πρώτο βήμα για να επιτευχθεί η γεωαναφορά είναι να αναγνωριστούν ορισμένα σημεία γνωστών συντεταγμένων που μπορεί να είναι κτίρια ή δρόμοι ή κάποιες οντότητες που μπορούν παράλληλα να εντοπιστούν και σε ένα άλλο αρχείο στο οποίο ήδη περιλαμβάνουν συντεταγμένες. Αυτά τα σημεία ονομάζονται Επίγεια Σημεία Ελέγχου – Control Ground Points

(GCP's) και αντιστοιχούν σημεία του ενός αρχείου με σημεία γνωστών συντεταγμένων. Τα σημεία εδαφικού ελέγχου αποτελούν συγκεκριμένα εικονοστοιχεία σε μλια εικόνα για τα οποία γνωρίζουμε τις συντεταγμένες από μία άλλη πηγή αναφοράς.

Σε κάθε σημείο ελέγχου αντιστοιχεί ένα ζεύγος τιμών συντεταγμένων X, Y. Η ακρίβεια στην επιλογή των GCP's είναι καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα της γεωμετρικής διόρθωσης. Η επιλογή των σημείων θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν μία κανονική διασπορά σε όλη την εικόνα. Έτσι, από το κεντρικό menu του Envi 4.7 επιλέγω *Map-registration-select GCPS : image to image*. Στο παράθυρο που ανοίγει στο base image (βασική εικόνα) επιλέχθηκε η εικόνα 2001 με βάση την οποία έγινε το registration και στο warp image επιλέχθηκε η εικόνα του 2007 και μετά του 2010. Το επόμενο βήμα προυποθέτει δεξί κλικ και στο link displays και geographic link κλικάρουμε off. Στο ground control points selection που έχει εμφανιστεί επιλέγουμε το show list και αμέσως μετά στο ίδιο παράθυρο το add point και επιλέγουμε τουλάχιστον πέντε σημεία για να γίνει η αντιστοίχιση.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως στο παράθυρο αυτό εμφανίζεται το RMS error η τιμή του οποίου θα πρέπει να παραμένει κάτω απο την μονάδα. Τέλος , στο ίδιο παράθυρο επιλέγουμε την εντολή *options-warp file* και επιλέγουμε την δεύτερη εικόνα και ορίζουμε την διεύθυνση που θα σώθουν τα αρχεία και η εικόνα. Τα σημεία ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ως επί το πλείστον φυσικά χαρακτηριστικά των εικόνων που, όπως παρατηρήθηκε περιείχαν το μικρότερο βαθμό αλλαγής ή αλλοίωσης από τη μία ημερομηνία στην άλλη. Επιλέχθηκαν 11 σημεία για την περιοχή και το σφάλμα RMS μικρότερο του 1 (= 0.577799) για το coregistration ανάμεσα στην εικόνα του 2001 και του 2007 και άλλα 9 σημεία ανάμεσα στην εικόνα του 2001 και του 2010 με σφάλμα RMS και πάλι μικρότερο του 1 (= 0.463900). Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και μεταξύ των δορυφορικών εικόνων Landsat με βασική εικόνα εκείνη του 1975. Τα σφάλματα RMS εδώ ήταν και πάλι μικρότερα της μονάδας (= 0.855857) , (= 0.699016) , (= 0.858678) για τους συνδυασμούς 1975 με 1987, 1987 με 1999, 1999 με 2013 αντίστοιχα.

Σ'αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθεί πως επιλέχθηκαν λιγότερα σημεία από εκείνα που χρησιμοποιήθηκαν στις εικόνες Aster και αυτό γιατί στην συγκεκριμένη περίπτωση οι εικόνες έχουν μεγάλη χρονική απόκλιση μεταξύ τους (περίπου στην δεκαετία) και εντοπίζονται μεγάλες διαφορές στη διαμόρφωση του αναγλύφου γεγονός που καθιστά δύσκολη την αντιστοίχια.

Τέλος ανάμεσα στις δορυφορικές εικόνες Aster και Landsat δεν πραγματοποιείται αντιστοίχια σημείων καθώς οι δορυφόροι έχουν διαφορετική χωρική διακριτική ικανότητα.

6.4.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Οι δείκτες βλάστησης (vegetation index) είναι ποσοτικές εκφράσεις οι οποίες υπολογίζονται από τις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων (pixel) και σχετίζονται κυρίως με τη βιομάζα ή την κατάσταση της βλάστησης (Μάκρας και Καρτέρης, 2002). Χρησιμοποιούνται ως μέσο παρακολούθησης της παραγωγής και διάκρισης της βλάστησης καθώς και για διαχρονικές συγκρίσεις (Μάκρας και Καρτέρης, 2002). Οι περισσότεροι δείκτες βλάστησης βασίζονται στο γεγονός ότι η υγιής βλάστηση παρουσιάζει μεγάλη ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (NIR) και μικρή στο κόκκινο (R) , αντίθετα με το γυμνό έδαφος που εμφανίζει κάποια σταθερότητα. Επομένως δημιουργώντας την αναλογία NIR/R η βλάστηση θα εμφανίσει μεγάλες τιμές ενώ το γυμνό έδαφος μικρότερες (Μάκρας και Καρτέρης, 2002). Οι περισσότεροι δείκτες βλάστησης εκμεταλλεύονται τη διαφορά της ανάκλασης μεταξύ της ορατής και κοντινής υπέρυθρης περιοχής. Επειδή η χλωροφύλλη βρίσκεται κυρίως σε φυτά και έχει μοναδική απορρόφηση στην κόκκινη περιοχή, αυτή η περιοχή συχνά επιλέγεται για τους δείκτες, αντί να χρησιμοποιηθεί η ορατή περιοχή στο σύνολό της.

ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI

Η πρώτη φορά που η ανάκλαση στην κόκκινη και εγγύς υπέρυθρες περιοχές συνδυάστηκαν, ήταν στην μέτρηση του δείκτη φυλλώδους περιοχής index (LAI) σε δασικά δέντρα (Jordan, 1969). Ο πρώτος αυτός δείκτης χρησιμοποίησε την αναλογία κοντινό υπέρυθρο προς κόκκινο (NIR/RED) και στη συνέχεια εφαρμόστηκε με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων από τους δορυφόρους LANDSAT / MSS της NASA.

Περαιτέρω μελέτες διαπίστωσαν ότι η κανονικοποιημένη εκδοχή της αναλογίας λειτουργεί καλύτερα σε ορισμένες περιπτώσεις, κι έτσι δημιουργήθηκε ο **Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI)**. Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI - Normalize Difference Vegetation Index) είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης βλάστησης. Η δημιουργία του αποδίδεται στον Rouse et al. (1973) αν και η σύλληψη της ιδέας δημιουργίας ενός τέτοιου δείκτη ανήκει στον Krigler et al (1969).

Αργότερα διαπιστώθηκε ότι το NDVI ήταν συνδεδεμένο με πολλές ιδιότητες των φυτών. Ήταν, και σε πολλές περιπτώσεις εξακολουθεί να είναι, χρήσιμος για τον προσδιορισμό της κατάστασης της υγείας των φυτών, να παρουσιάζει φαινολογικές αλλαγές, την εκτίμηση της πράσινης βιομάζας και της απόδοσης των καλλιεργειών, καθώς και σε άλλες εφαρμογές.

Ωστόσο, το NDVI έχει ιδιαίτερες αδυναμίες. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα λεπτά σύννεφα μπορούν να επηρεάσουν τον υπολογισμό του NDVI όταν χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα. Όταν η κάλυψη βλάστησης είναι χαμηλή, ό,τι είναι κάτω από την κόμη της βλάστησης συμβάλλει στο καταγραφόμενο σήμα ανάκλασης. Αυτό μπορεί να είναι γυμνό έδαφος, κατάλοιπα βλάστησης ή κάποιο άλλο είδος βλάστησης. Καθένα από αυτά τα έχει ιδιαίτερη και διαφορετική φασματική απόκριση από την βλάστηση που μελετάται. Οι τιμές που λαμβάνει μεταβάλλονται από -1 έως $+1$ και η σχέση που τον περιγράφει είναι $NIR-R/NIR+R$.

Η τιμή -1 σημαίνει πλήρη απουσία βλάστησης, ενώ η τιμή $+1$ πλήρη παρουσία υγιούς βλάστησης (Μάκρας και Καρτέρης, 2002). Ο NDVI ανάλογα με τα δεδομένα που χρησιμοποιεί επιλέγει εξ ορισμού το εγγύς υπέρυθρο και το ορατό κόκκινο. Κατά αυτόν τον τρόπο στο εγγύς υπέρυθρο δίνεται η αντίθεση μεταξύ βλάστησης και νερού και στο ορατό κόκκινο εμφανίζεται η βλάστηση σκουρότερη από τις ανθρώπινες κατασκευές.

Ο μαθηματικός ορισμός του δείκτη βλάστησης είναι:

$$NDVI = \frac{ANAKΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ\ IR - ANAKΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ\ RED}{ANAKΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ\ IR + ANAKΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ\ RED}$$

και παίρνει τιμές από -1 μέχρι $+1$ ($-1 < NDVI < +1$) όπως προαναφέρθηκε. Όσο περισσότερη χλωροφύλλη υπάρχει στην επιφάνεια παρατήρησης τόσο η τιμή του δείκτη αυξάνεται. NDVI υπολογίζεται από το ορατό και το εγγύς υπέρυθρο φως που ανακλάται από τη βλάστηση. Η υγιή βλάστηση απορροφά το μεγαλύτερο μέρος του ορατού φωτός που χτυπά και αντανακλά ένα μεγάλο τμήμα του εγγύς υπέρυθρου φωτός. Ανθυγιεινές ή αραιή βλάστηση (δεξιά) αντανακλά περισσότερο ορατό φως και λιγότερο εγγύς υπέρυθρο φως. Για παράδειγμα στο δάσος παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 0.5 ($NDVI > 0.5$) ενώ στο γυμνό έδαφος παίρνει τιμές μικρότερες του 0.2 ($NDVI < 0.2$).

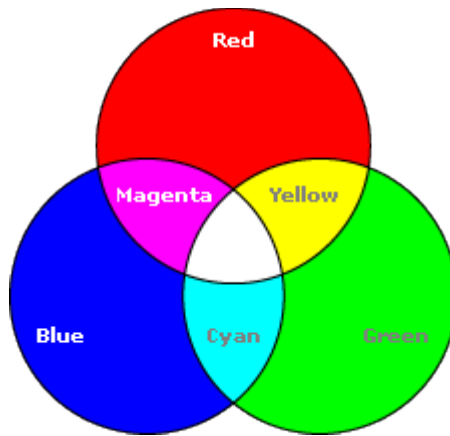
Για την εξαγωγή του NDVI από το κεντρικό menu στο Envi 4.7 ακολουθούμε την εντολή transform-ndvi. Στην συνέχεια στο παράθυρο ndvi calculation input file επιλέγουμε την εικόνα της οποίας αναζητούμε τον δείκτη και ορίζουμε την διαδρομή που θα σωθεί το αρχείο.

6.4.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΠΡΟΦΙΛ)

Τα διαγράμματα διαχρονικής παραμόρφωσης (Time-series analysis) ή αλλιώς φασματικό προφίλ (spectral profile) αφορούν την ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται στη διάρκεια του χρόνου που μπορεί να είναι εβδομαδιαίες τιμές, μηνιαίες τιμές, τριμηνιαίες τιμές, ετήσιες τιμές και άλλες. Συνήθως η πρόθεση είναι να διακρίνει κανείς αν υπάρχει κάποιο πρότυπο για τις τιμές που συλλέγονται μέχρι σήμερα, με την πρόθεση των βραχυπρόθεσμων προβλέψεων. Συγκεκριμένα, στην παρούσα εργασία παρατίθενται διαγράμματα διαχρονικής παραμόρφωσης (Time-series analysis) της περιοχής μελέτης για το χρονικό διάστημα από το 1975 μέχρι το 2013. Ειδικότερα, για το χρονικό διάστημα αυτό έχουν παρθεί τρεις διαφορετικές τομές στην περιοχή μελέτης για την μελέτη της πορείας του δείκτη βλάστησης ndvi. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Envi μέσα από την εξής διαδρομή εντολών – επιλέχθηκε από την κεντρική μπάρα η εντολή tools αμέσως μετά η εντολή profiles και στην σειρά η arbitrary profiles. Σε επόμενο βήμα επιλέχθηκαν οι τρεις τομές και επακολούθησε μελέτη, αξιοποίηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων.

6.4.6 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ – ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΨΕΥΔΕΓΧΡΩΜΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ (FCC)

Ο συνδυασμός διαφόρων φασματικών καναλιών οδηγεί στη δημιουργία πολυφασματικών εικονών με βελτιωμένη ευαισθησία στη φασματική ανάκλαση ή χρωματική διαφοροποίηση μεταξύ επιφανειακών αντικειμένων που συχνά είναι δύσκολο να ανιχνευτούν στα επιμέρους φασματικά κανάλια. Η ανθρώπινη αντίληψη για τα χρώματα προέρχεται από το σχετικό ποσό ακτινοβολίας, στο ερυθρό, πράσινο και το μπλε τμήμα, που μετρούνται από το αισθητήριο όργανο, το μάτι. Το ερυθρό, το πράσινο και το μπλε μπορούν να προστεθούν και να παράγουν ένα μεγάλο αριθμό χρωμάτων. Τα τρία αυτά χρώματα ονομάζονται κύρια χρώματα. Ο τρόπος εμφάνισης εικόνων στηριζόμενος στην λογική των κύριων αυτών χρωμάτων ονομάζεται σύστημα RGB (Red Green Blue) (Εικόνα)



Εικόνα 6.1 : Χρωματικό μοντέλο RGB (Πηγή : Παυλόπουλος, Παρχαρίδης, Γατσής, Ψωμιάδης 2003)

Σε μια πολυφασματική, έγχρωμη δορυφορική εικόνα κάθε εικονοστοιχείο λαμβάνει ένα χρώμα από τη σύνθεση των τριών βασικών χρωμάτων ερυθρό (R), πράσινο (G) και μπλε (B). Η ένταση κάθε χρώματος κυμαίνεται από 0 έως 255. Τα διαστημικά συστήματα συλλέγουν και αποθηκεύουν την πληροφορία από ένα περιορισμένο εύρος μήκους κύματος το οποίο καλείται φασματικό κανάλι ή φασματική ζώνη. Υπάρχει η δυνατότητα ενσωμάτωσης και εμφάνισης της πληροφορίας ενός αριθμού φασματικών καναλιών (συνήθως τριών) συνδεδεμένα με τα τρία βασικά χρώματα ερυθρό, πράσινο, μπλε. Η πληροφορία για κάθε κανάλι εμφανίζεται με ένα από τα βασικά χρώματα και εξαρτάται από την σχετική φωτεινότητα (ψηφιακή τιμή) του κάθε εικονοστοιχείου. Έτσι γίνεται η σύνθεση των βασικών χρωμάτων σε διαφορετικές αναλογίες δημιουργώντας διαφορετικά τελικά χρώματα. Η επιλογή των φασματικών καναλιών γίνεται με βάση το σκοπό για τον οποίο απαιτούνται οι πληροφορίες. Η αύξηση της ευκρίνειας λαμβάνει χώρα για δύο βασικούς λόγους, διότι:

- Η φασματική πληροφόρηση λαμβάνεται από τρεις διαφορετικές φασματικές εικόνες, πράγμα που ουσιαστικά προσθέτει τόσο στην πληροφόρηση όσο και στην καλύτερη χρωματική διαβάθμιση της εικόνας ($3 * 256$ χρώματα)
- Επιτρέπει την καλύτερη ανάλυση, αφού το ανθρώπινο μάτι είναι πιο ευαίσθητο στις χρωματικές αλλαγές (σε σχέση με τις αποχρώσεις του γκρι) (Παυλόπουλος, Παρχαρίδης, Γατσής, Ψωμιάδης 2003)

6.4.7 ΨΕΥΔΕΓΧΡΩΜΕΣ ΠΟΛΥΧΡΟΝΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

Η χρωματική σύνθεση εικόνων της ίδιας περιοχής οι οποίες έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους καλείται πολυχρονική εικόνα (multitemporal image). Η χρονική διαφορά λήψης των εικόνων επιλέγεται έτσι ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση δυναμικών γεγονότων και μπορεί να είναι ημέρες, εβδομάδες, μήνες ακόμη και έτη (όπως στην παρούσα μελέτη). Μερικά καταστροφικά γεγονότα (κατολισθήσεις, πλημμύρες, πυρκαγιές) απαιτούν χρονική διαφορά της τάξης των λίγων ημερών, ενώ γεγονότα που εξελίσσονται πιο αργά στο χρόνο (τήξη παγετώνων, μεταβολές στην κάλυψη του εδάφους ή της οικιστικής ανάπτυξης, ανάπτυξη βλάστησης) απαιτούν εικόνες με διαφορά ετών.

Στην περίπτωση αυτή τα δεδομένα θα πρέπει να είναι συγκρίσιμα για αυτό το λόγο ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δίνεται στη γεωαναφορά των εικόνων στο ίδιο προβολικό σύστημα και με την ίδια χωρική ανάλυση και στη σταθερότητα των συνθηκών φωτισμού και παρατήρησης (ηλιακής γωνίας, γωνία κατόπτρευσης δορυφόρου).

Οι πολυχρονικές εικόνες μπορούν να δημιουργηθούν είτε από δεδομένα ραντάρ τύπου SAR είτε από πολυφασματικές εικόνες όπως έχει πραγματοποιηθεί και στην συγκεκριμένη διπλωματική. Στην περίπτωση αυτή συνδυάζονται δύο κανάλια μιας πολυφασματικής εικόνας και ένα κανάλι μιας εικόνας που έχει ληφθεί σε άλλη χρονική στιγμή για τη δημιουργία της πολυχρονικής χρωματικής σύνθεσης RGB (Καρτάλης, Φειδάς 2006).

Συγκεκριμένα, για την παρούσα μελέτη, ένας αξιόπιστος και αποτελεσματικός τρόπος για να ερμηνεύσουμε καλύτερα την διαχρονική εξέλιξη της βλάστησης είναι η δημιουργία ψευδέγχρωμων πολυχρονικών εικόνων με βάση τις εικόνες NDVI. Έτσι συνθέτουμε δύο ψευδέγχρωμες εικόνες, η πρώτη με δορυφορικές εικόνες Landsat NDVI με Red- Οκτώβριο του 1975, Green- Νοέμβριο του 1987 και Blue- Νοέμβριο του 1999 και η δεύτερη με εικόνες NDVI Aster με Red- Ιανουάριος 2001, Green- Μάρτιος 2007 και Blue- Ιανουάριος 2010. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι στην πρώτη ψευδέγχρωμη εικόνα δουλεύουμε με εικόνες aster, ενώ στην δεύτερη με landsat.

Σε πρώτο στάδιο, πρέπει να αναφέρουμε πως σε μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα, καταγράφεται η ακτινοβολία που αντανακλάται ή εκπέμπεται από μία περιοχή της γης σε διάφορα μήκη κύματος. Η εικόνα αυτή μπορεί να παρουσιαστεί είτε ξεχωριστά σε κάθε κανάλι ως ασπρόμαυρη εικόνα είτε συνδυάζοντας τρία κανάλια ταυτόχρονα σε μια χρωματική σύνθεση. Επιπλέον, η τεχνική της δημιουργίας ψευδέγχρωμων πολυχρονικών εικόνων χρησιμοποιήθηκε και για την μελέτη της διαφοροποίησης ξηράς – νερού για την περιοχή

μελέτης δηλαδή τις όχθες του δέλτα. Σε αυτή την περίπτωση η σύνθεση έγινε με βάση το φασματικό κανάλι 9 (SWIR / μακρινό υπέρυθρο) για τις εικόνες aster και το φασματικό κανάλι 7 (IR), δηλαδή το μακρινό υπέρυθρο, για τις εικόνες landsat.

6.4.8 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

Η φασματική ταξινόμηση (spectral classification) μιας δορυφορικής εικόνας αποσκοπεί στην αυτοματοποίηση του εντοπισμού ομογενών επιφανειών σε μια εικόνα παρακάμπτοντας την υποκειμενικότητα του ανθρώπινου παράγοντα. Τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας ταξινομούνται με βάση τις ψηφιακές τιμές τους σε τάξεις ή κατηγορίες με φυσική όμως σημασία όπως έδαφος, θάλασσα, βλάστηση. Η ταξινόμηση ενός εικονοστοιχείου σε μια τάξη γίνεται με βάση στατιστικούς κανόνες. Ένα παράδειγμα μιας ταξινομημένης εικόνας είναι ένας χάρτης κάλυψης γης στον οποίο παρουσιάζεται η κατανομή της βλάστησης, του γυμνού εδάφους, των βοσκοτόπων, των αστικών περιοχών (Καρτάλης, Φειδάς 2006). Η διαδικασία ταξινόμησης (classification) περιέχει ουσιαστικά δύο βήματα, που είναι:

- Η αναγνώριση των κατηγοριών όλων των γήινων αντικειμένων. Στο πλαίσιο της τηλεπισκόπησης της γήινης επιφάνειας, οι ομάδες αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν για παράδειγμα δασώδεις περιοχές, υδάτινες μάζες, λιβάδια καθώς και άλλους τύπους κάλυψης γης, όπου εξαρτώνται από την φύση της κάθε μελέτης
- Η απόδοση μιας ιδιότητας (καταχώρηση ονόματος) στα εικονοστοιχεία, τα οποία με αυτόν τον τρόπο ταξινομούνται

Κάθε εικονοστοιχείο μιας εικόνας μπορεί να διαχειριστεί ως ένα ατομικό χαρακτηριστικό, που παρουσιάζει διάφορες τιμές σε διαφορετικά φασματικά κανάλια. Συγκρίνοντας τα εικονοστοιχεία τόσο μεταξύ τους όσο και με εικονοστοιχεία που έχουν γνωστή ταυτότητα, είναι δυνατό να ομαδοποιηθούν σε ομάδες όμοιων εικονοστοιχείων που συμπίπτουν με τις ομάδες πληροφόρησης που ενδιαφέρουν τους εκάστοτε χρήστες.

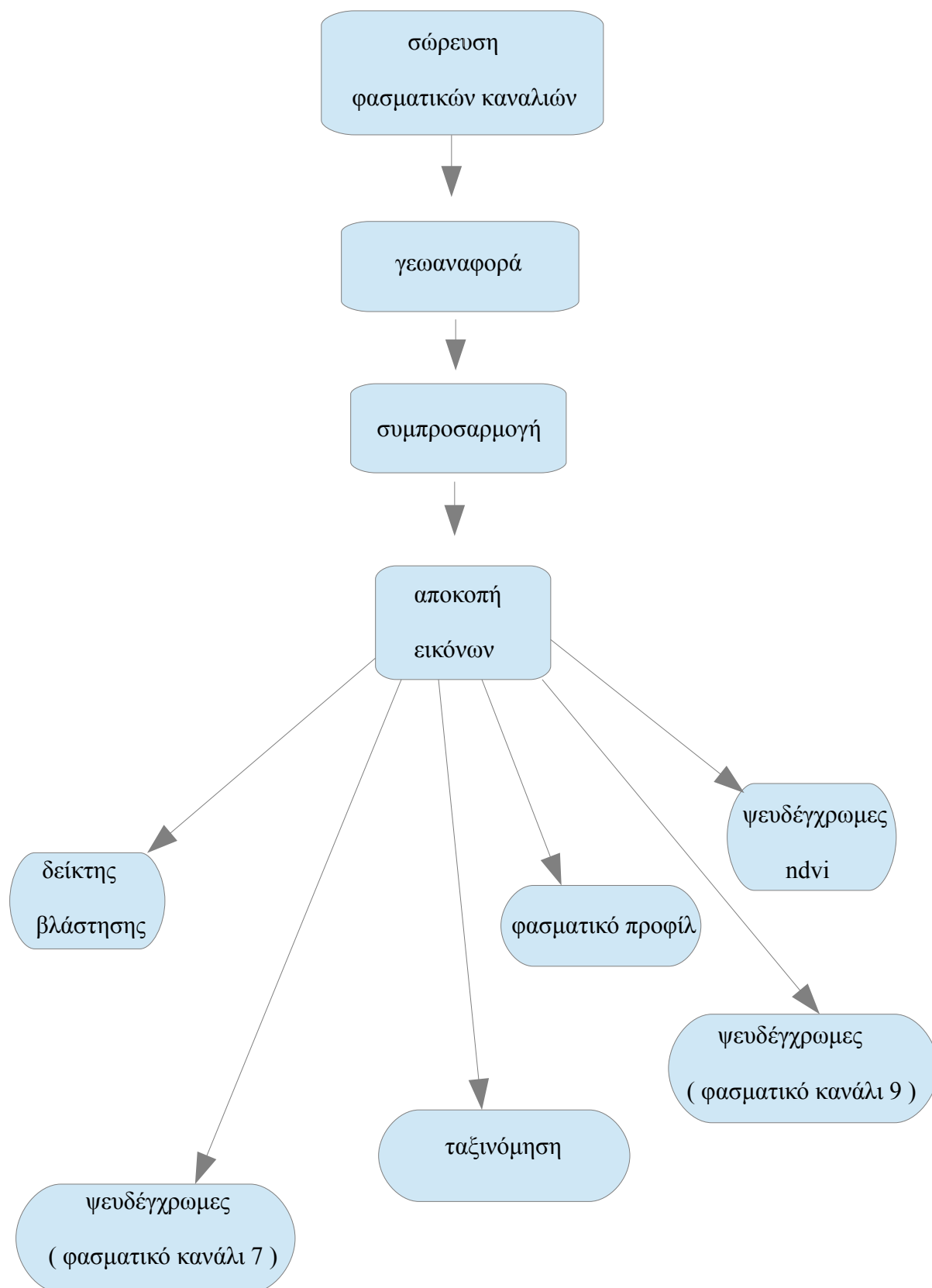
Οι ομάδες που σχηματίζονται ορίζουν περιοχές, με τέτοιο τρόπο ώστε μετά την ταξινόμηση η ψηφιακή εικόνα να εμφανίζεται ως ένα μωσαϊκό από ομοιόμορφα τεμάχια, που το καθένα διαχωρίζεται με ένα χρώμα ή ένα σύμβολο. Ένας διαχωρισμός μεταξύ μεθόδων ταξινόμησης, διαχωρίζει την ελεγχόμενη (supervised) από την μη ελεγχόμενη (unsupervised) ταξινόμηση.

Η ελεγχόμενη ταξινόμηση απαιτεί από τον αναλυτή να αναγνωρίσει περιοχές σε μια εικόνα που ξέρει ότι ανήκουν σίγουρα σε κάποια συγκεκριμένη κατηγορία, με σκοπό ουσιαστικά να οδηγήσει ο ίδιος την ταξινόμηση. Στην μη ελεγχόμενη ταξινόμηση η διαδικασία προχωρεί με ελάχιστη συνεισφορά, του αναλυτή και μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια έρευνα φυσικών ομάδων από εικονοστοιχεία που βρίσκονται και μπορούν να διαχωριστούν μέσα σε μια εικόνα (Forster 1992, Campbell 1996).

Για την συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η ελεγχόμενη ταξινόμηση για την μελέτη των αλλαγών της βλάστησης, του νερού, τους εδάφους, των αμμοθινών. Έτσι, ελεγχόμενη ταξινόμηση ονομάζεται η διαδικασία που χρησιμοποιεί "δείγματα" γνωστής ταυτότητας με σκοπό την ταξινόμηση εικονοστοιχείων, των οποίων δεν έχει προσδιοριστεί η ταυτότητα. Τα δείγματα λαμβάνονται από περιοχές δειγματοληψίας που καθορίζει ο αναλυτής και συνήθως οριοθετούνται με ψηφιοποίηση επάνω στη εικόνα. Οι περιοχές αυτές πρέπει να έχουν γνωστή ταυτότητα και να εμπεριέχουν μόνο ένα χαρακτηριστικό.

Τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται μέσα σε αυτές τις περιοχές και τα οποία χρησιμοποιούνται για την ελεγχόμενη ταξινόμηση, είναι οι οδηγοί που θα χρησιμοποιηθούν από τον αλγόριθμο ταξινόμησης. Οι φασματικές τιμές όλων των υπόλοιπων εικονοστοιχείων συγκρίνονται με αυτές των περιοχών δειγματοληψίας και καταχωρούνται στην πιο κοντινή από άποψη πληροφόρησης κατηγορία. Έτσι, καθίσταται προφανές ότι η επιλογή των περιοχών δειγματοληψίας είναι ουσιαστικά το κλειδί για την επιτυχία της ελεγχόμενης ταξινόμησης.

Το βασικό πλεονέκτημα της ελεγχόμενης ταξινόμησης επικεντρώνεται στην υψηλή εξειδίκευση της διαδικασίας η οποία οφείλεται στην επιλογή των περιοχών δειγματοληψίας, γεγονός που απλοποιεί την διαδικασία ταύτισης των φασματικών κλάσεων με τις κλάσεις πληροφόρησης, που ενδιαφέρουν τον αναλυτή, στον τελικό χάρτη (Παυλόπουλος, Παρχαρίδης, Γατσής, Ψωμιάδης 2003)



Διάγραμμα 6.1 : Διάγραμμα ροής βημάτων προτεινόμενης μεθοδολογίας για την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων

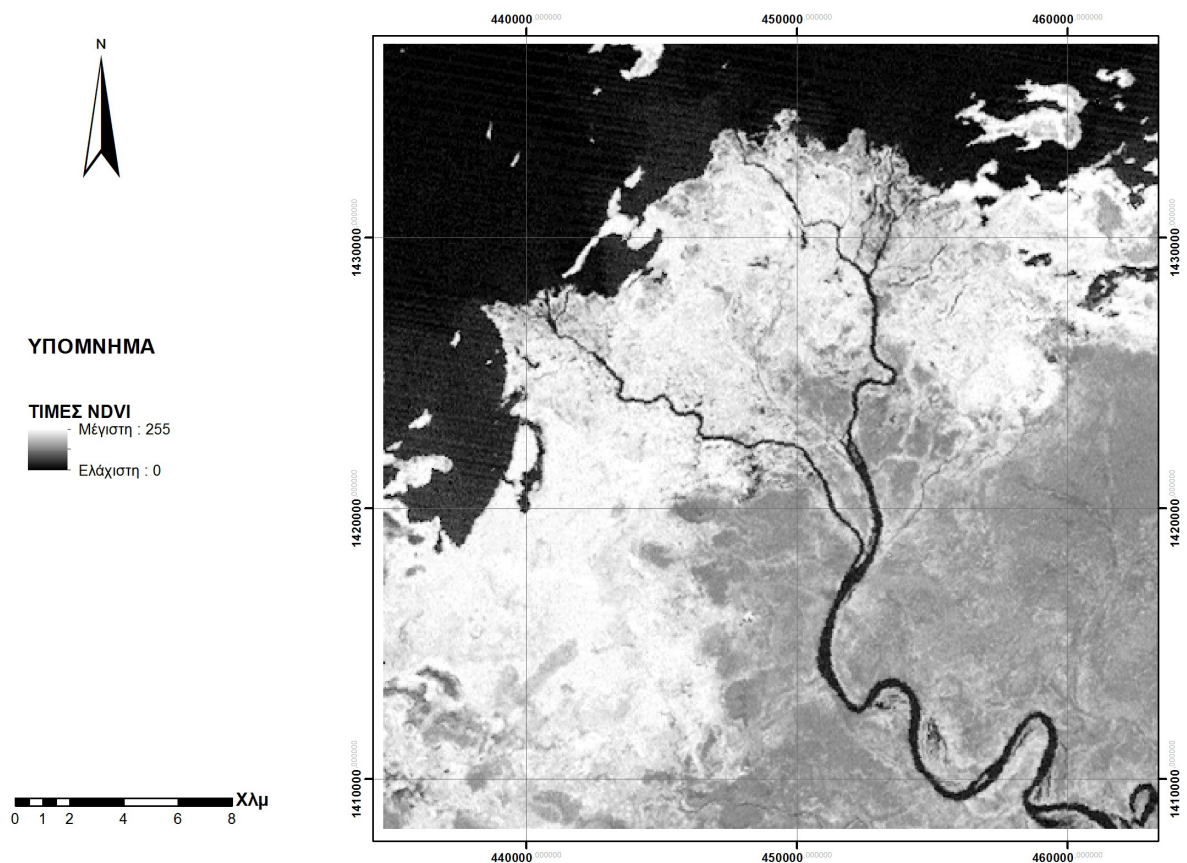
7.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα τελικά αποτελέσματα των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη και επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων. Πριν αρχίσει όμως η κύρια ανάλυση αξίζει να τονισθεί ότι οι σημειακές παρατηρήσεις εισήχθησαν σε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), όπου και πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας, σε περιβάλλον Arc GIS, για την εξαγωγή των τελικών μας χαρτογραφικών προϊόντων, με τη χρήση του προγράμματος Arc Map.

7.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Στη συγκεκριμένη εργασία έχει εφαρμοστεί η τεχνική υπολογισμού του δείκτη βλάστησης NDVI για την κομμένη περιοχή της λίμνης Τσαντ δηλαδή στο δέλτα του ποταμού που βρίσκεται στην νότια λεκάνη της λίμνης και καλύπτεται κυρίως από βλάστηση, γόνιμο έδαφος και πετρώματα. Η εφαρμογή των δεικτών πραγματοποιήθηκε στα λογισμικό περιβάλλον ENVI. Παρακάτω παραθέτονται οι ετήσιοι χάρτες ndvi, για την χρονική περίοδο από το 1975 έως το 2013, τόσο για τις δορυφορικές εικόνες aster όσο και τις δορυφορικές εικόνες landsat.

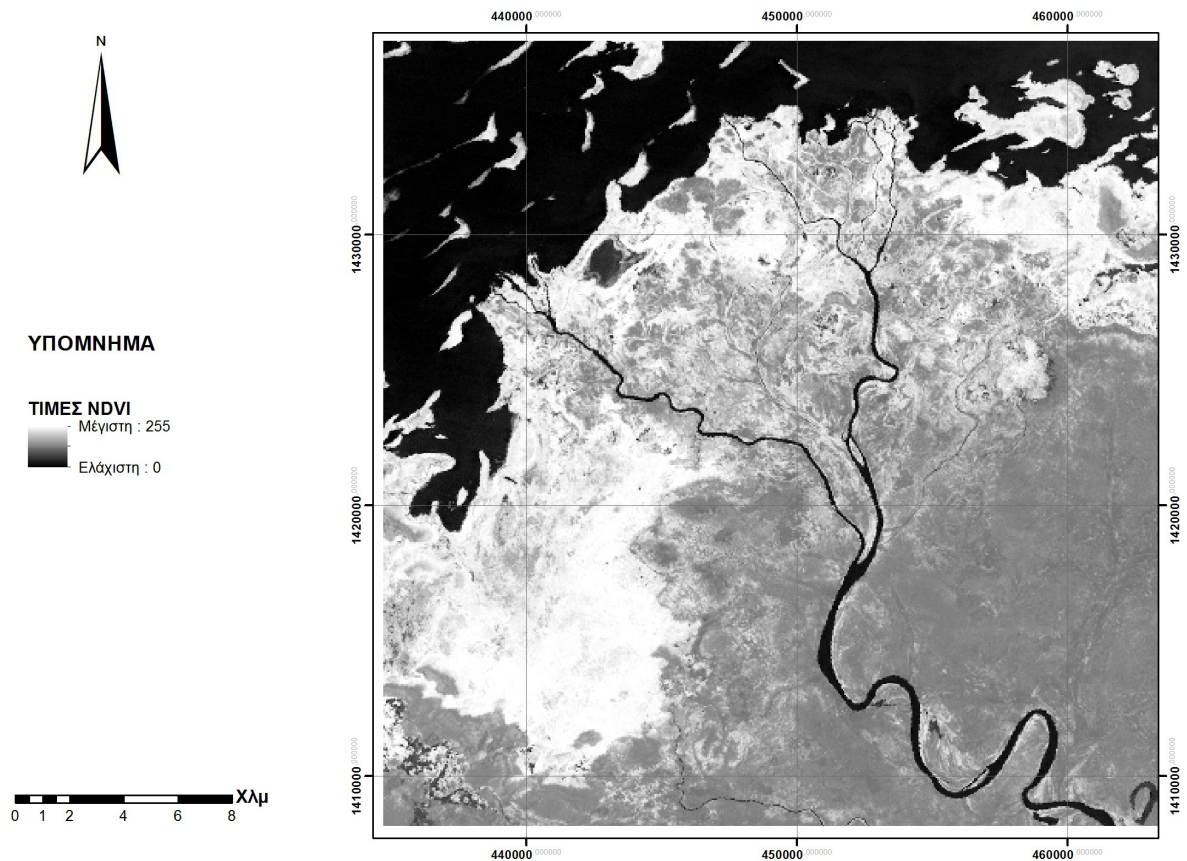
ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ 1975 (NDVI)



Χάρτης 7.1 : Ο δείκτης βλάστησης για την περιοχή μελέτης το 1975 , δορυφορική εικόνα landsat 2

Στον χάρτη 7.1 φαίνεται να υπάρχει πυκνή βλάστηση στις όχθες της λίμνης και στην περιοχή του δέλτα του ποταμού. Έντονη βλάστηση απεικονίζεται και στο νοτιοδυτικό μέρος της περιοχής μελέτης καθώς και βόρειο και βορειοανατολικά στις νησίδες που διαγράφονται μέσα στην λίμνη. Η έντονη βλάστηση αποδίδεται με όσο το δυνατόν ανοιχτότερες αποχρώσεις του γκρι έως και λευκές λόγω της υψηλής ανάκλασης που αυτή παρουσιάζει στο κοντινό υπέρυθρο και την αντίστοιχη χαμηλή στο ορατό, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω στην παρούσα εργασία. Έτσι, λιγότερο πυκνή βλάστηση απεικονίζεται με πιο σκούρες διαβαθμίσεις του γκρι και στο συγκεκριμένο χάρτη φαίνεται να υπερισχύουν στο νότιο και νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής. Με μαύρο χρώμα εμφανίζονται τα νερά της λίμνης σε όλο το βόρειο τμήμα της περιοχής καθώς και τα νερά του ποταμού.

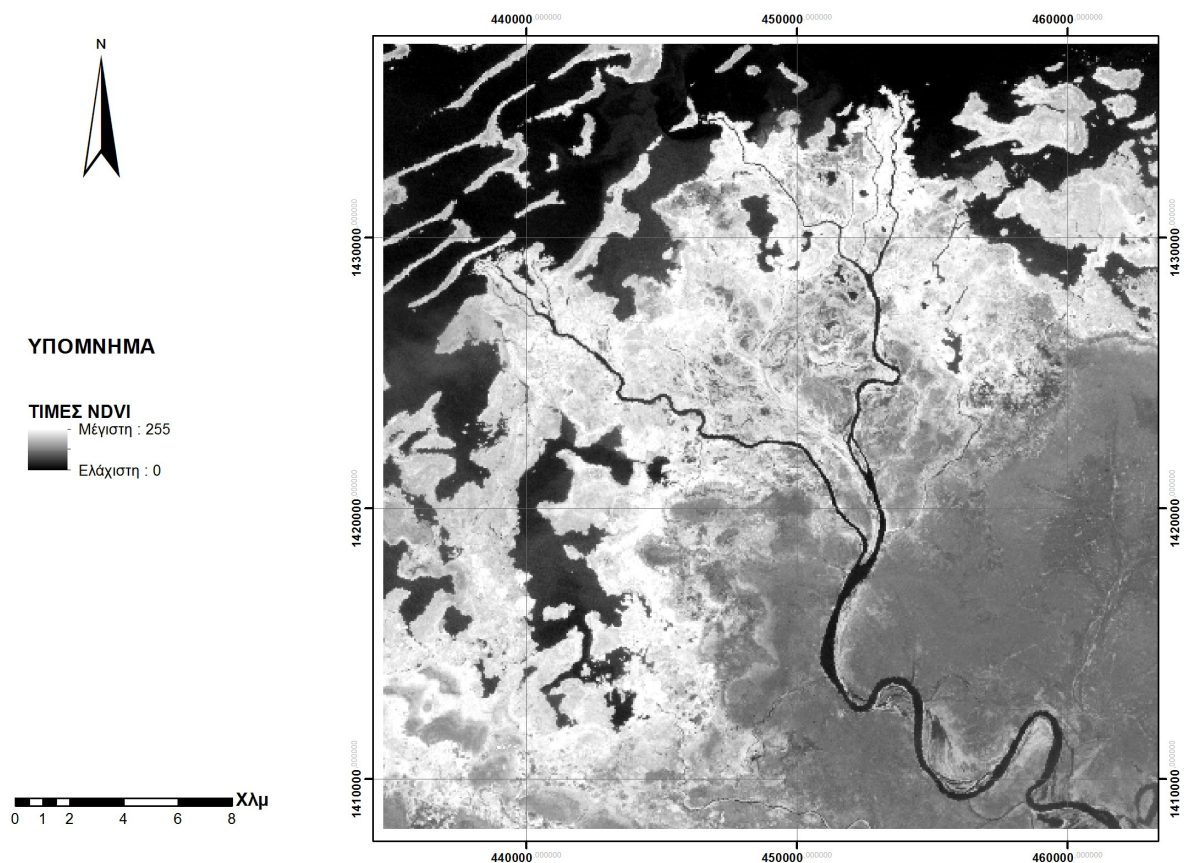
ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ 1987 (NDVI)



Χάρτης 7.2 : Ο δείκτης βλάστησης για την περιοχή μελέτης το 1987 , δορυφορική εικόνα landsat 4 (Πηγή : Επεξεργασία δεδομένων από τον αναλυτή)

Στον χάρτη 7.2 έντονη βλάστηση εμφανίζεται κυρίως στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Εξίσου υψηλή βλάστηση παρουσιάζουν οι όχθες της λίμνης και οι νησίδες που κυριαρχούν μέσα σε αυτή. Στο κεντρικό μέρος του δέλτα καθώς και στο νότιο και νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής η βλάστηση φαίνεται να μην είναι τόσο έντονη. Τέλος, η λίμνη στο βόρειο μέρος της περιοχής και το ποτάμι στο κεντρικό μέρος απεικονίζονται με μαύρο χρώμα που αντιπροσωπεύει τις υδάτινες μάζες.

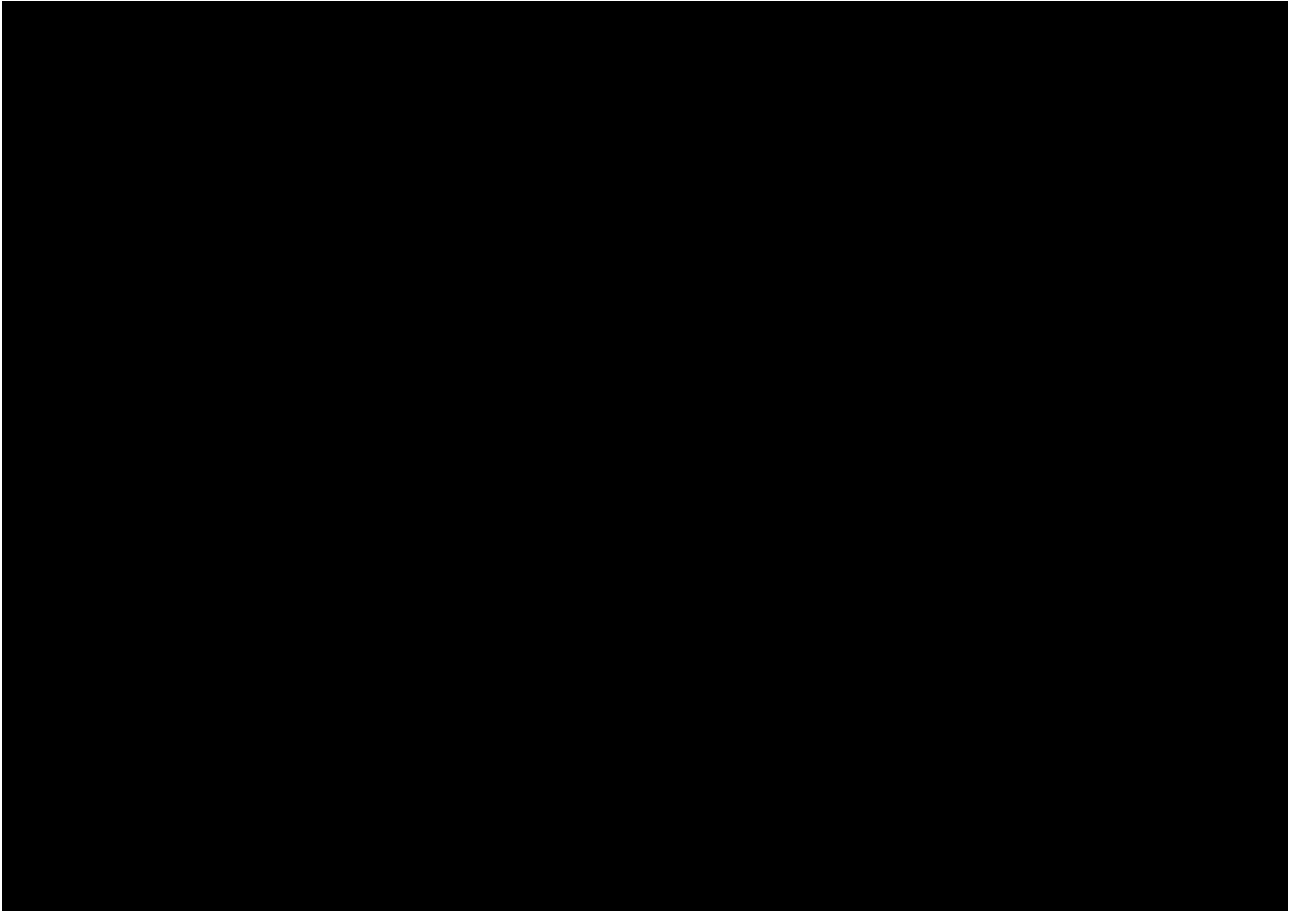
ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ 1999 (NDVI)



Χάρτης 7.3 : Ο δείκτης βλάστησης για την περιοχή μελέτης το 1999 , δορυφορική εικόνα landsat 7 (Πηγή : Επεξεργασία δεδομένων από τον αναλυτή)

Το έτος 1999 (χάρτης) έντονη βλάστηση σημειώνεται και πάλι στις όχθες της λίμνης και στις νησίδες της. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και νοτιοδυτικά της περιοχής και βόρειο και βορειοανατολικά της περιοχής του δέλτα. Τέλος, έντονη βλάστηση φαίνεται πως κυριαρχεί το 1999 και στις όχθες κατά μήκος του ποταμού. Λιγότερο έντονη βλάστηση περιορίζεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος. Και πάλι το μαύρο χρώμα που εμφανίζεται βόρεια και δυτικά της περιοχής καθώς και στο κέντρο αντιπροσωπεύει τις υδάτινες μάζες της λίμνης και του ποταμού αντιστοίχως.

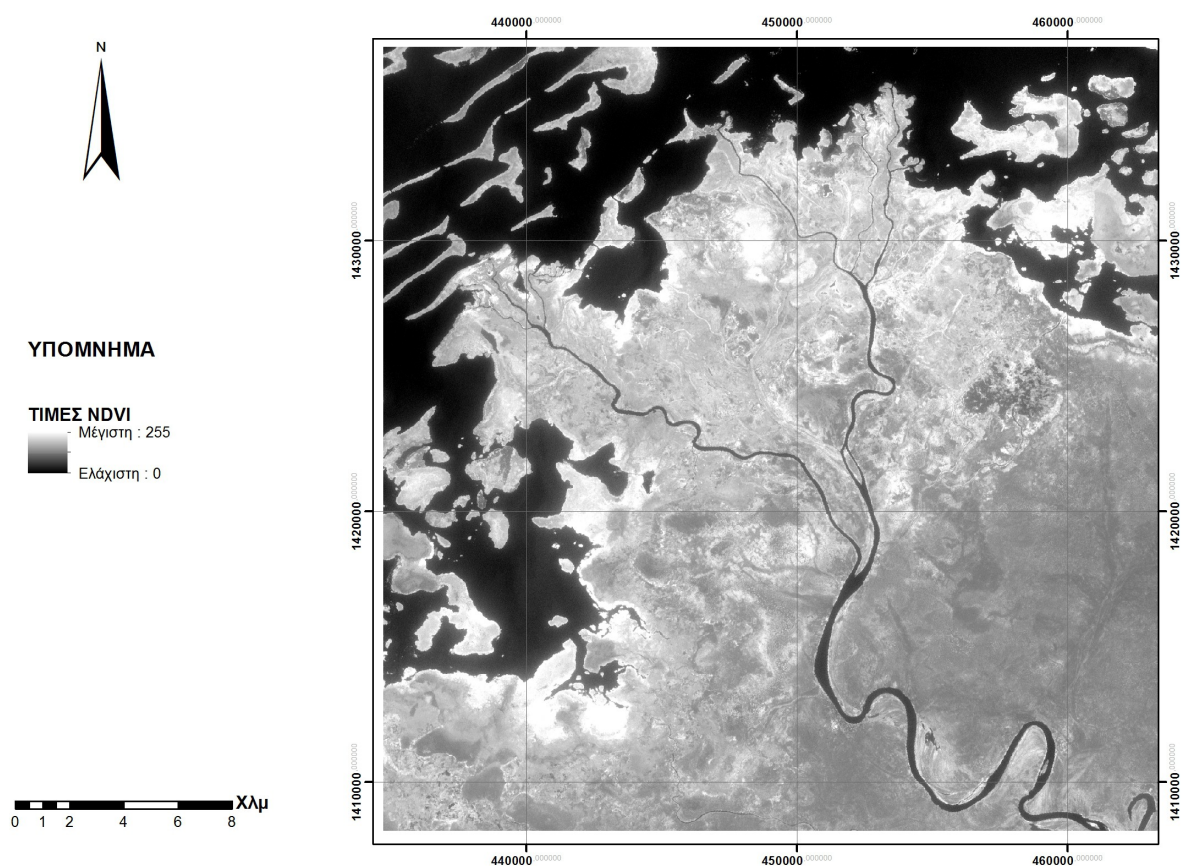
ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ 2001 (NDVI)



Χάρτης 7.4 : Ο δείκτης βλάστησης για την περιοχή μελέτης το 2001 , δορυφορική εικόνα aster
(Πηγή : Επεξεργασία δεδομένων από τον αναλυτή)

Το 2001 πολύ έντονη βλάστηση φαίνεται να συγκεντρώνεται στις όχθες της λίμνης και του ποταμού καθώς και στο νοτιοδυτικό κομμάτι του χάρτη 7.4. Με πιο σκούρες αποχρώσεις του γκρι και άρα λιγότερο πυκνή βλάστηση απεικονίζονται οι περιοχές του δέλτα στο κεντρικό κομμάτι του χάρτη και εκείνες στο νοτιοανατολικό μέρος. Οι νησίδες που βρίσκονται βόρεια της περιοχής και δυτικά φαίνεται να εμφανίζουν από πολύ έντονη βλάστηση έως και λιγότερο έντονη όπως υποδεικνύουν οι αποχρώσεις του γκρι. Τέλος, και πάλι το μαύρο χρώμα αποκαλύπτει το νερό που διαρθρώνεται βόρεια, κεντρικά και δυτικά του χάρτη.

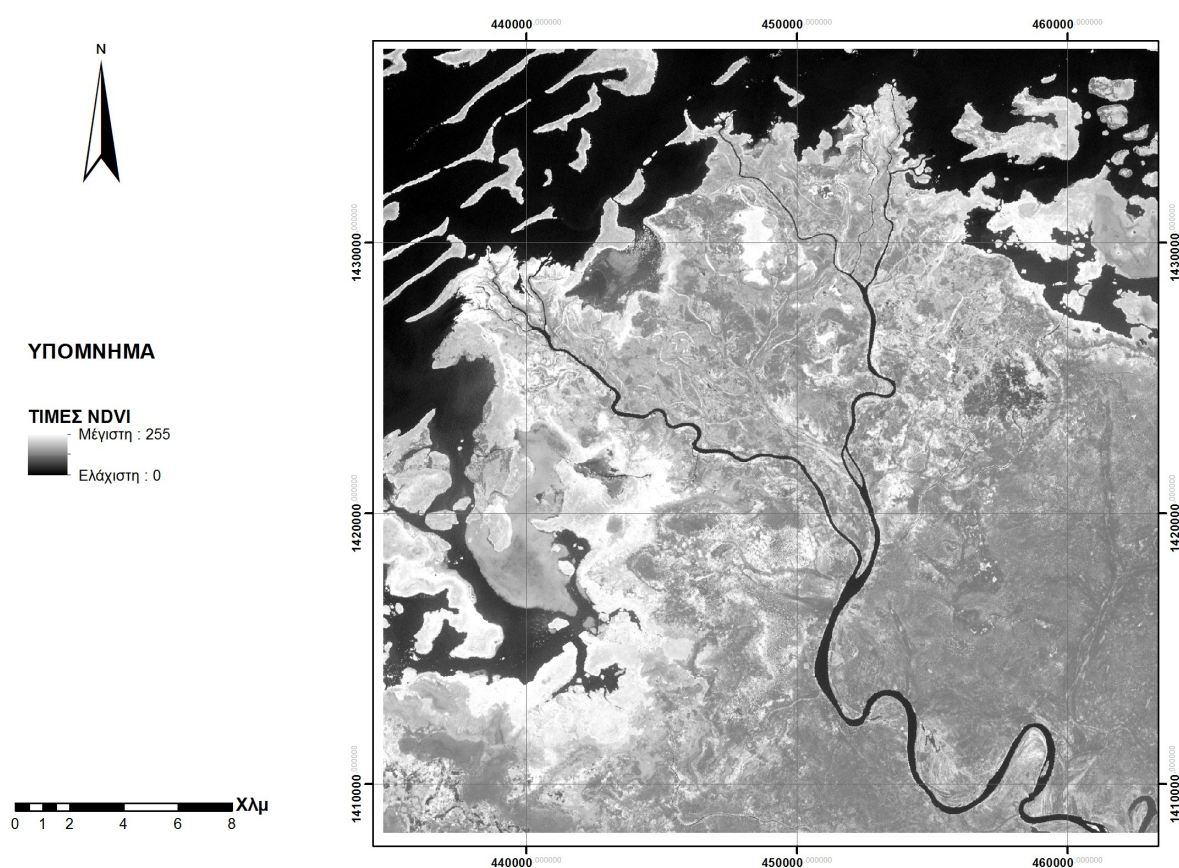
ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ 2007 (NDVI)



Χάρτης 7.5 : Ο δείκτης βλάστησης για την περιοχή μελέτης το 2007 , δορυφορική εικόνα aster (Πηγή : Επεξεργασία δεδομένων από τον αναλυτή)

Στον χάρτη 7.5 του 2007 η έντονη βλάστηση συγκεντρώνεται κατά μήκος των όχθων του ποταμού και της λίμνης, στις νησίδες της λίμνης στα βόρεια της περιοχής μελέτης και στο κεντρικό τμήμα του δέλτα. Στα ανατολικά και το νοτιοανατολικά οι τιμές της βλάστησης αρχίζουν να παίρνουν χαμηλότερες τιμές.

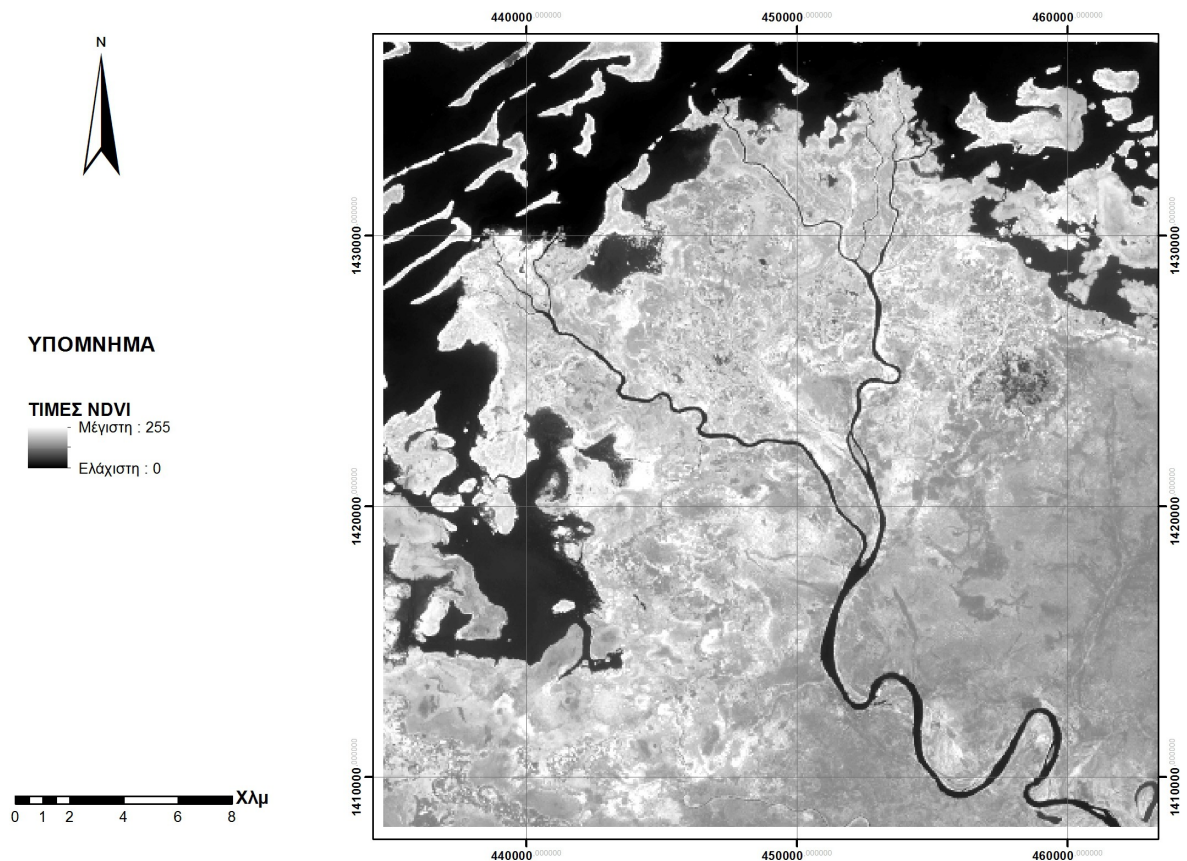
ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ 2010 (NDVI)



Χάρτης 7.6 : Ο δείκτης βλάστησης για την περιοχή μελέτης το 2010 , δορυφορική εικόνα aster (Πηγή : Επεξεργασία δεδομένων από τον αναλυτή)

Το 2010, μέσα από τον χάρτη 7.6, η βλάστηση φαίνεται να διαρθρώνεται πιο έντονα στα δυτικά και βορειοανατολικά της περιοχής ενδιαφέροντος ενώ πιο αραιή εμφανίζεται η βλάστηση στο κεντρικό τμήμα του δέλτα και νότια και δυτικά του χάρτη.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ 2013 (NDVI)

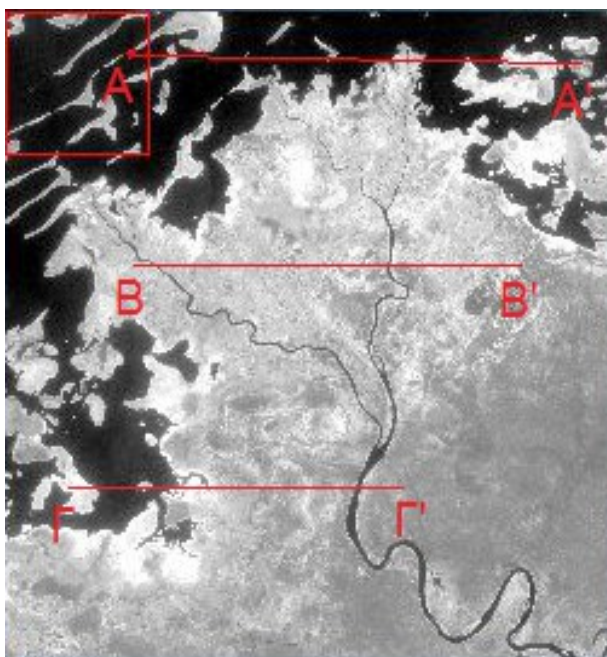


Χάρτης 7.7 : Ο δείκτης βλάστησης για την περιοχή μελέτης το 2013 , δορυφορική εικόνα landsat 8 (Πηγή : Επεξεργασία δεδομένων από τον αναλυτή)

Τέλος, το 2013 στον χάρτη 7.7 η βλάστηση κυμαίνεται σε υψηλές τιμές στο βόρειο τμήμα της περιοχής όπου βρίσκονται οι νησίδες, στις όχθες της λίμνης, στις όχθες του ποταμού και στο κεντρικό και νοτιοδυτικό τμήμα του χάρτη. Πιο αραιή η βλάστηση παρουσιάζεται και πάλι, όπως και στις παραπάνω χρονολογίες, στο νοτιοανατολικό κομμάτι της περιοχής ενδιαφέροντος.

7.2 ΦΑΣΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΓΙΑ ΤΟ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI (SPECTRAL PROFILE)

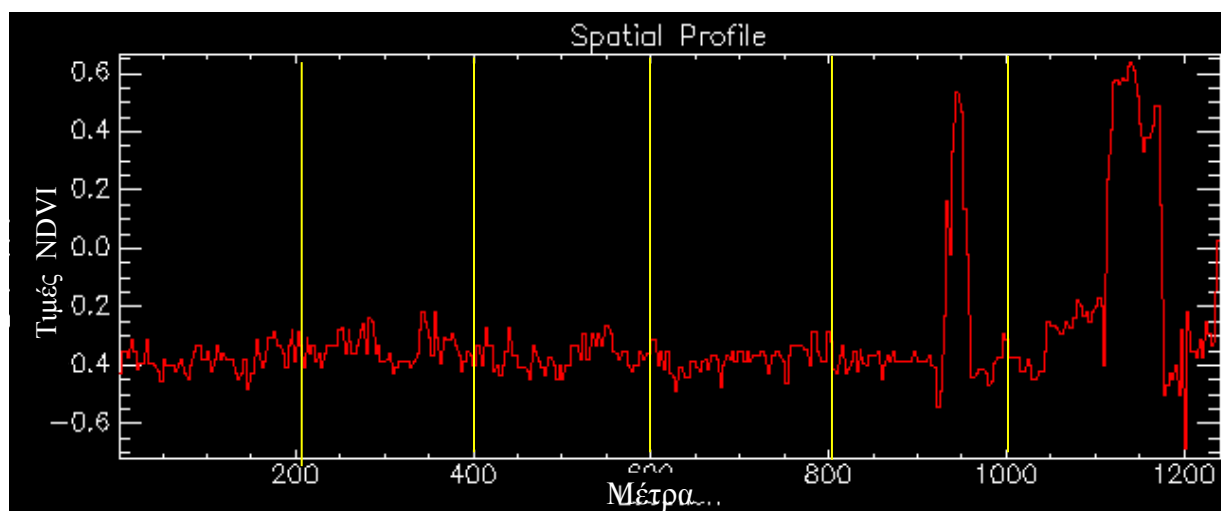
Όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω μέσα από την τεχνική αυτή επιτυγχάνεται η μελέτη της διακύμανσης του δείκτη βλάστησης σε μια σειρά από σημεία μέσα στην πάροδο των χρόνων. Στην παρούσα εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί τρεις τομές σε διαφορετικά σημεία της λίμνης για τις χρονολογίες 1975, 1987, 1999, 2001, 2007, 2010, 2013. Να σημειωθεί πως η πρώτη τομή πάρθηκε στο βόρειο τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος, δηλαδή στις όχθες της λίμνης. Η δεύτερη τομή πάρθηκε στο κέντρο της περιοχής μελέτης ενώ η τρίτη τομή στο νότιο μέρος της έτσι ώστε να μελετηθεί ο δείκτης βλάστησης σε ευρεία κλίμακα στην περιοχή. Παρακάτω παραθέτονται ενδεικτικά οι τρεις τομές για την χρονολογία του 2007, αλλά ισχύει και για όλες τις προαναφερθέντες χρονολογίες, ακολουθώντας τα αντίστοιχα διαγράμματα πορείας της βλάστησης για όλες τις χρονολογίες. (Χάρτης 7.8)



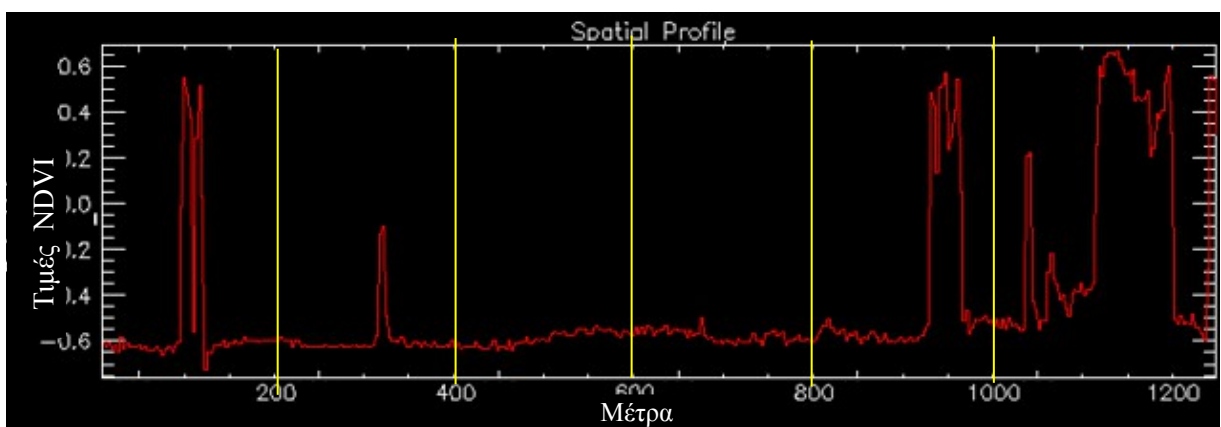
Χάρτης 7.8 : Σημεία που επιλέχθηκαν για την μελέτη της πορείας του δείκτη βλάστησης στην εικόνα του 2007

TOMH 1

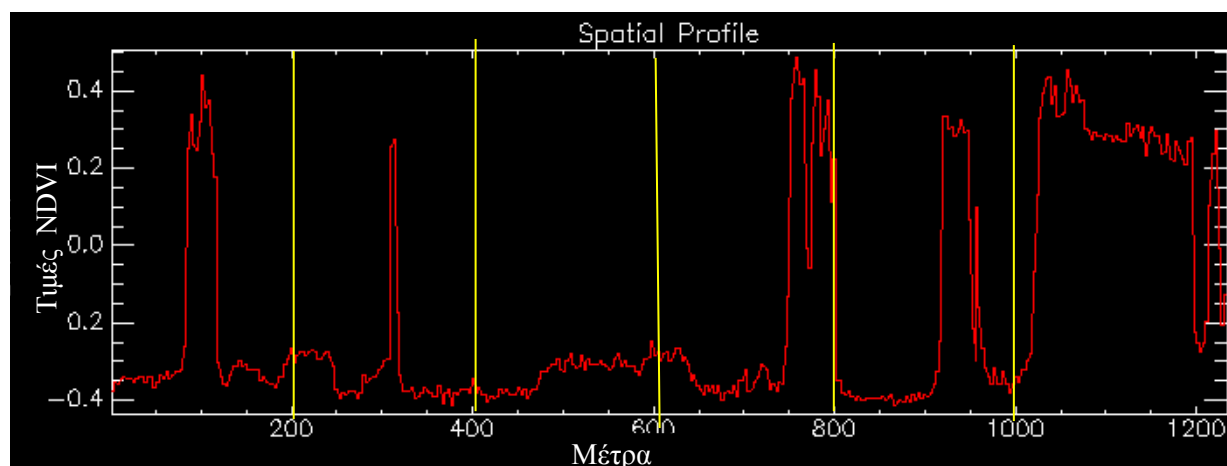
08/10/1975



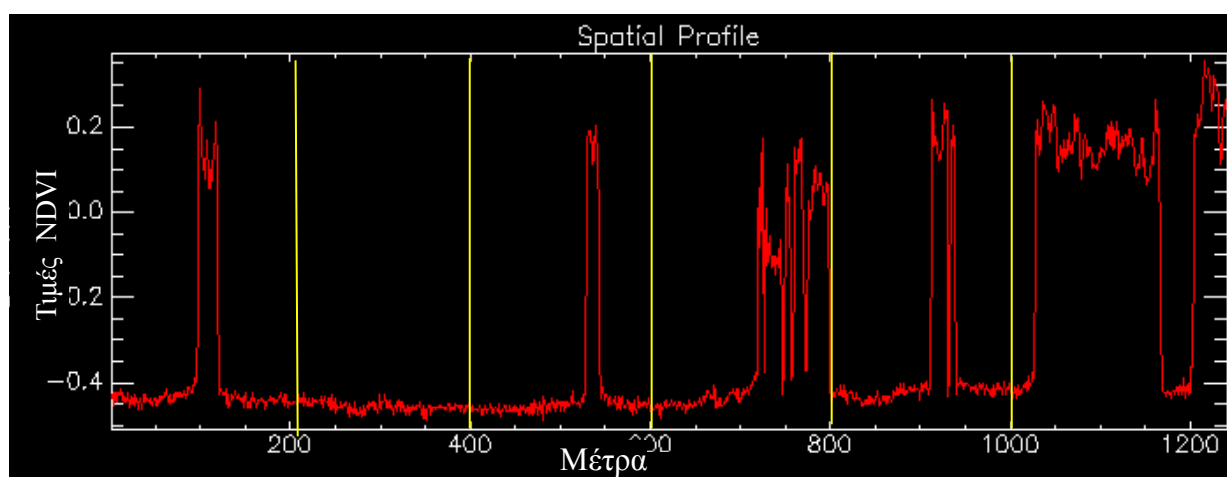
07/11/1987



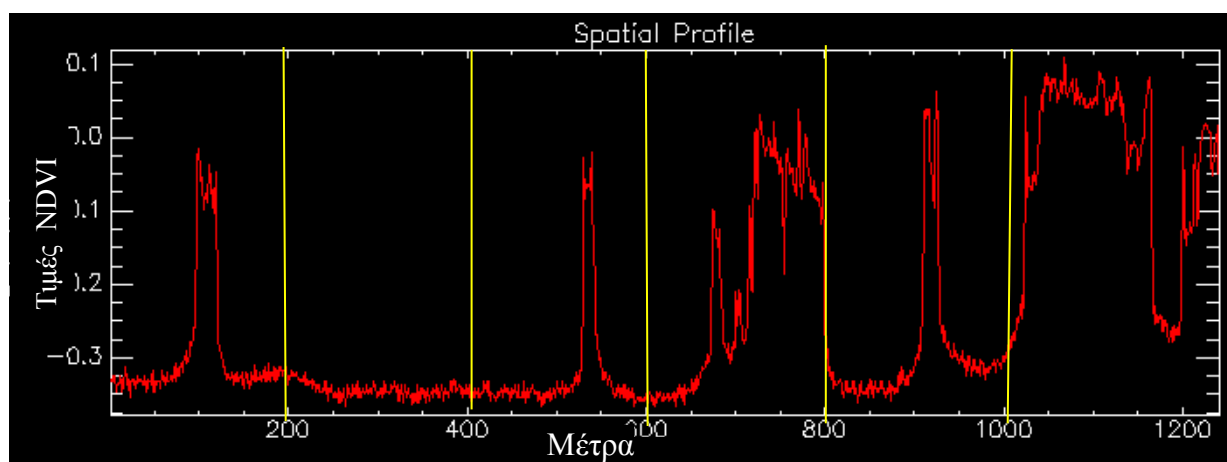
23/10/1999



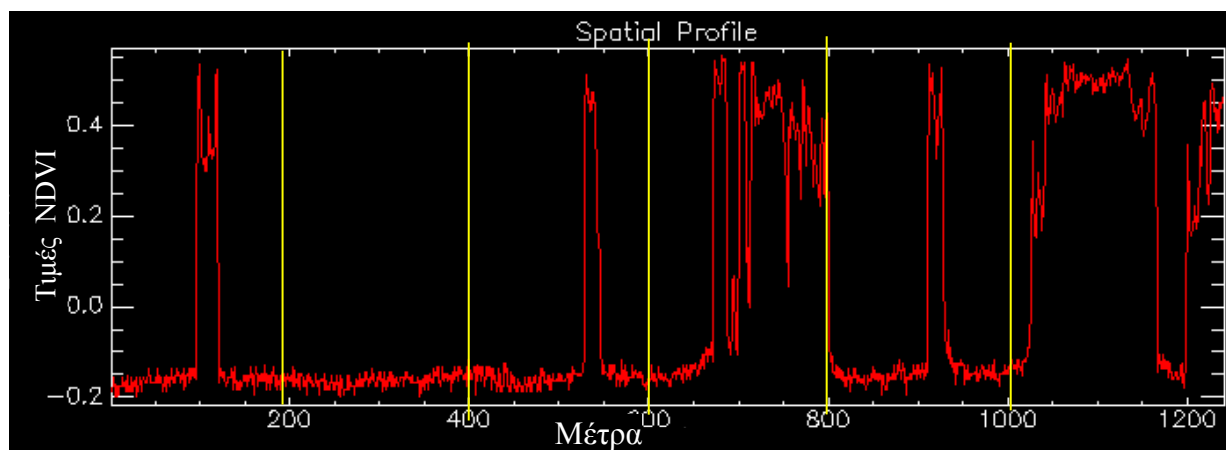
29/01/2001



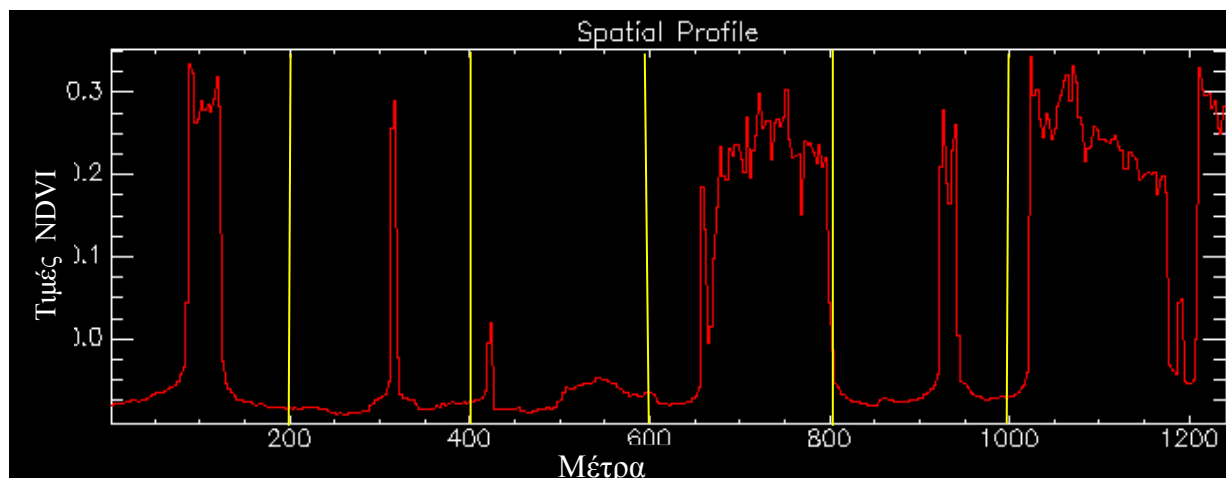
12/03/2007



15/01/2010

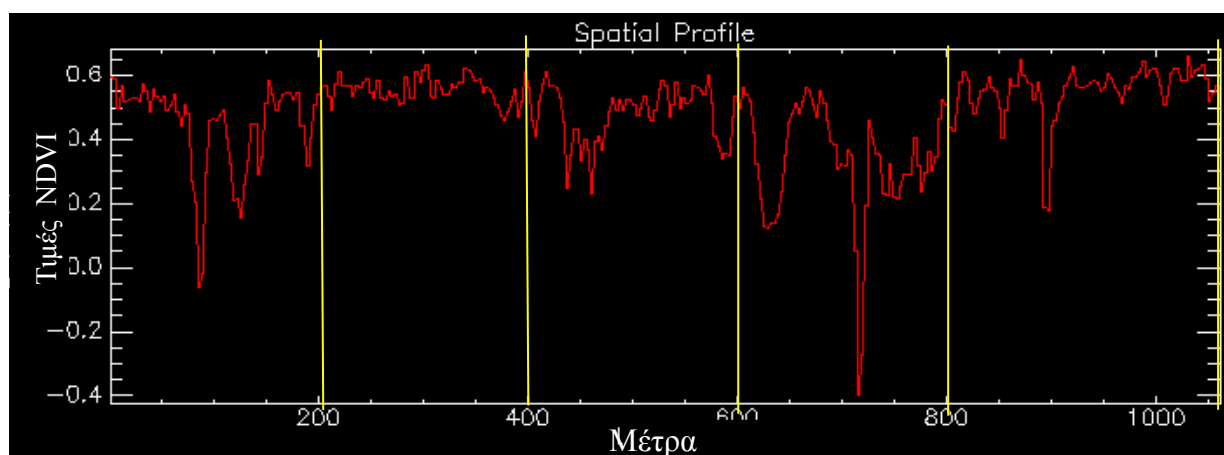


12/04/2013

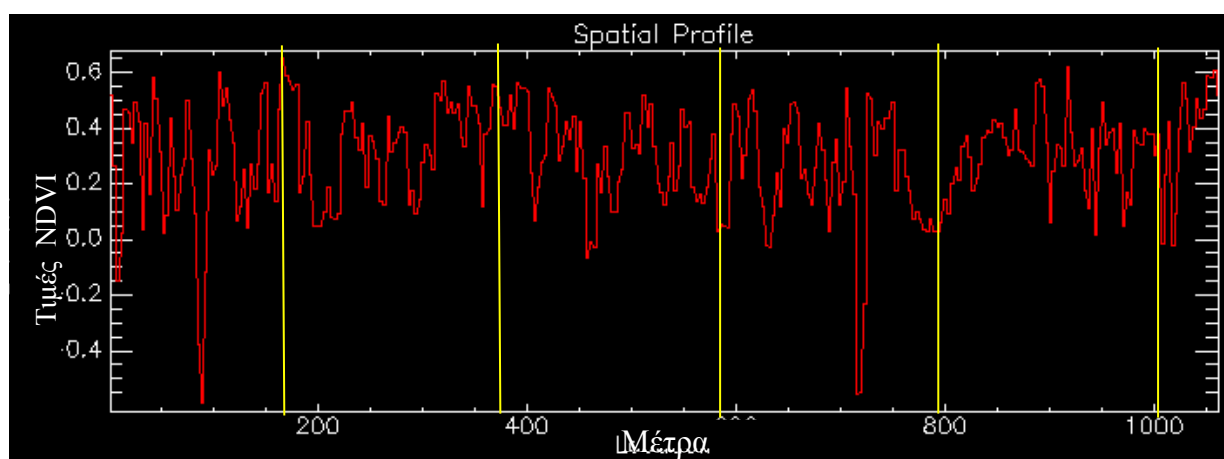


TOMH 2

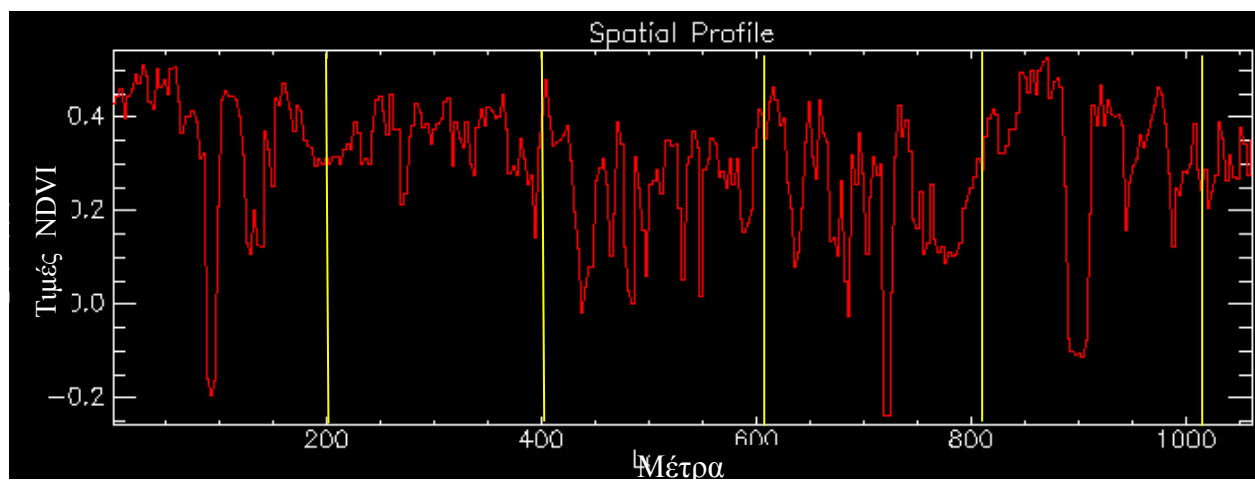
08/10/1975



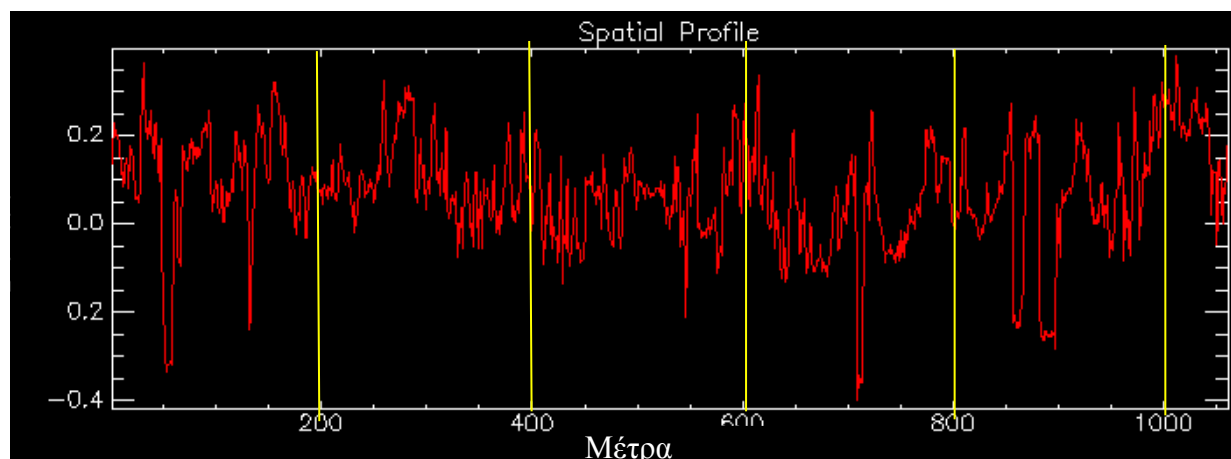
07/11/1987



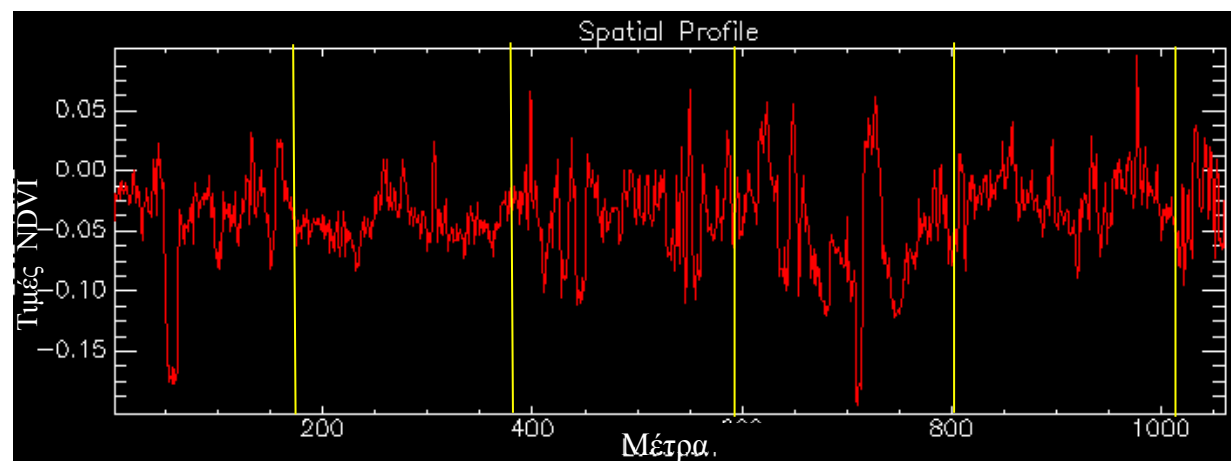
23/10/1999



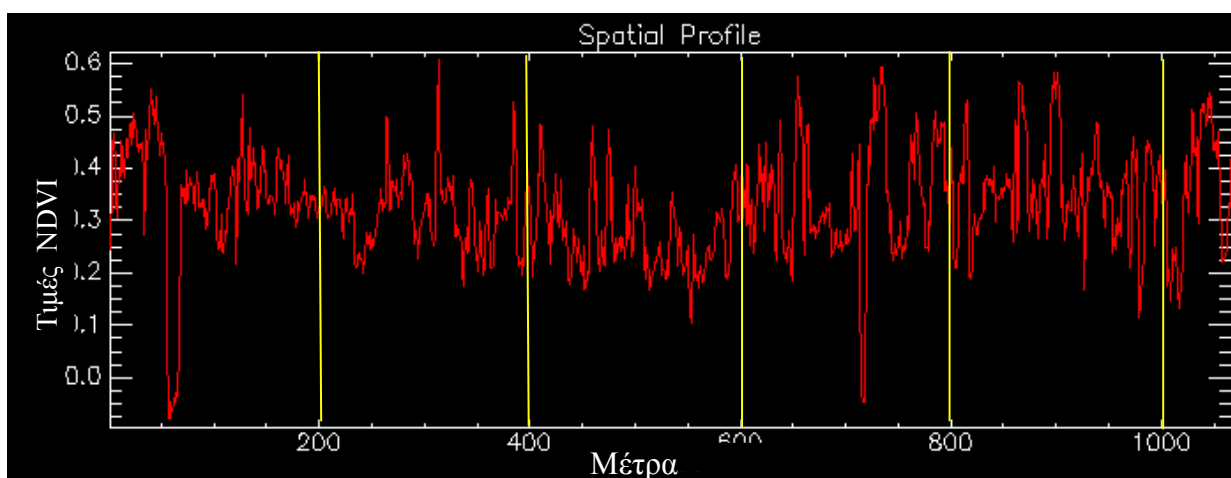
29/01/2001



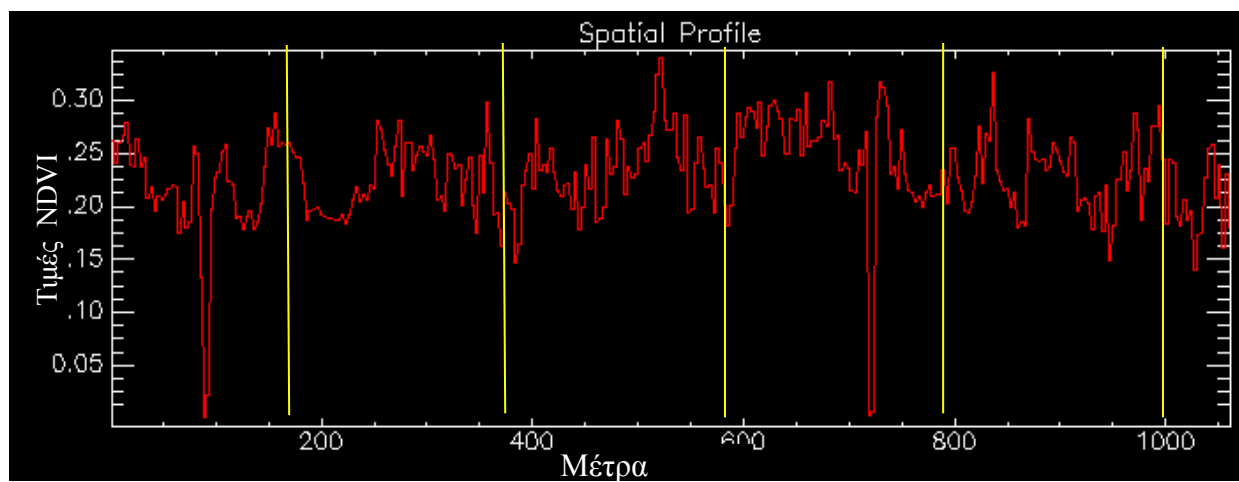
12/03/2007



15/01/2010

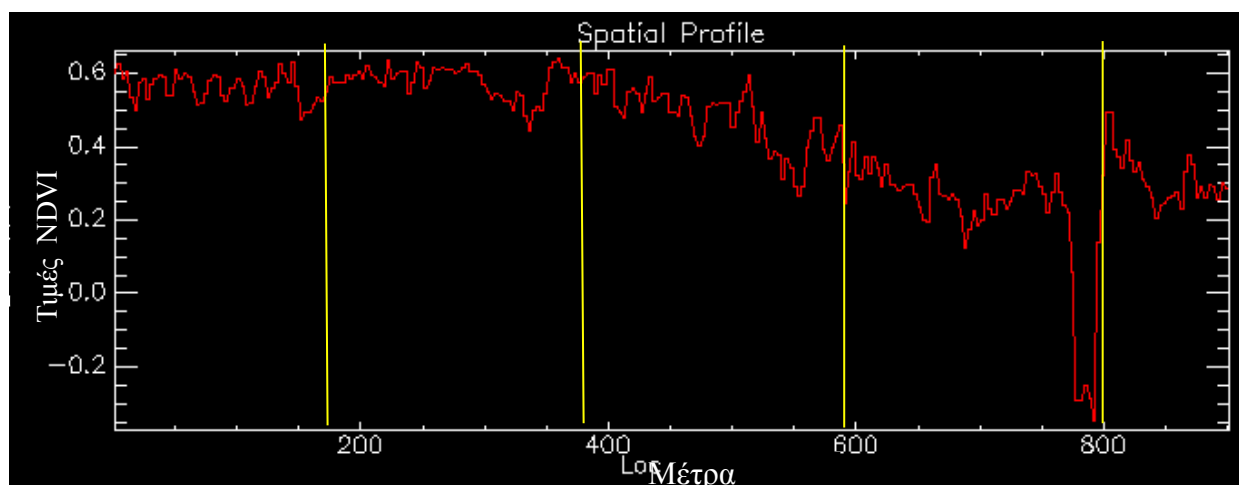


12/04/2013

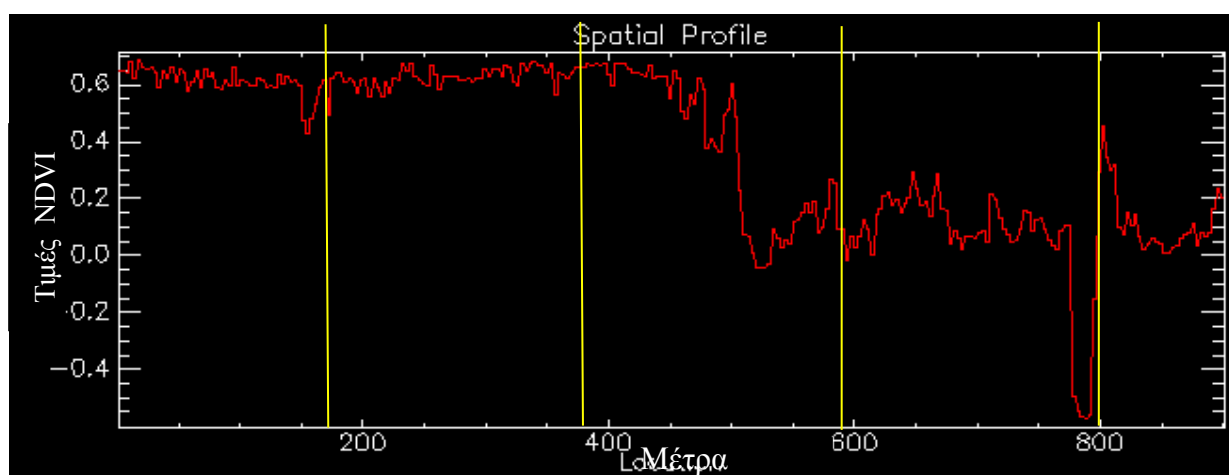


TOMH 3

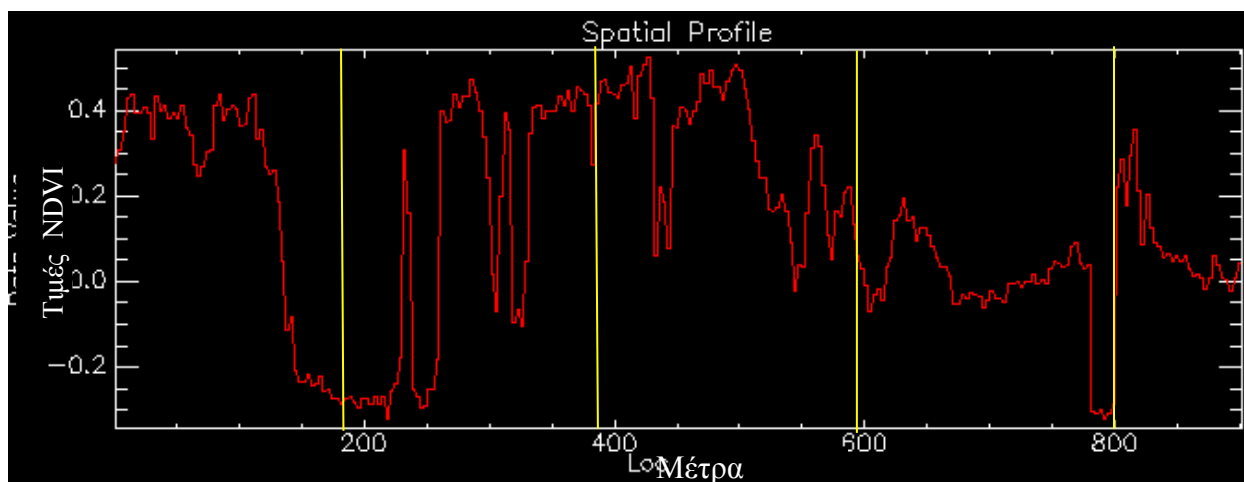
08/10/1975



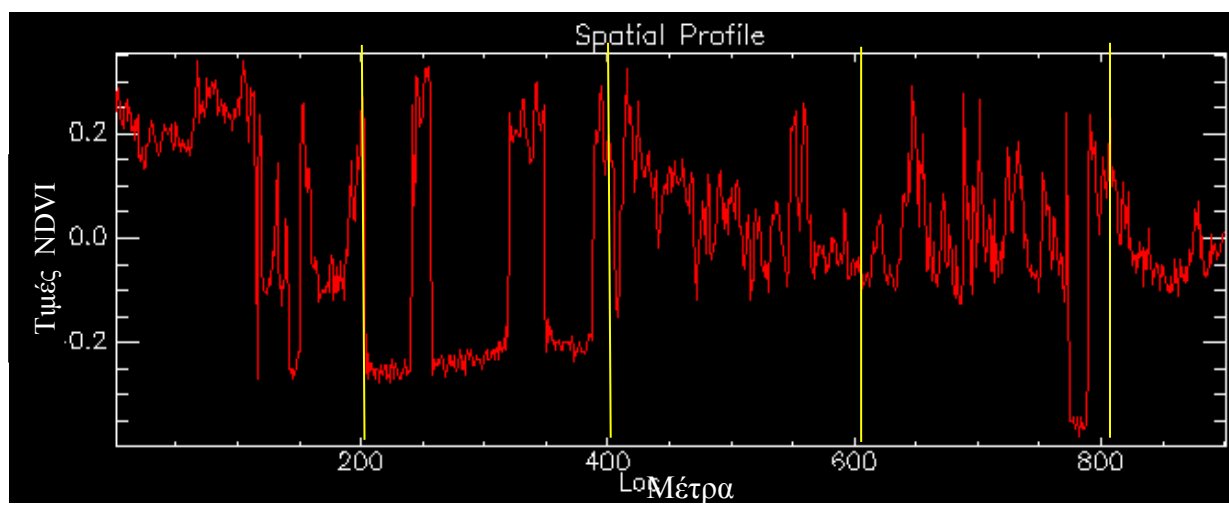
07/11/1987



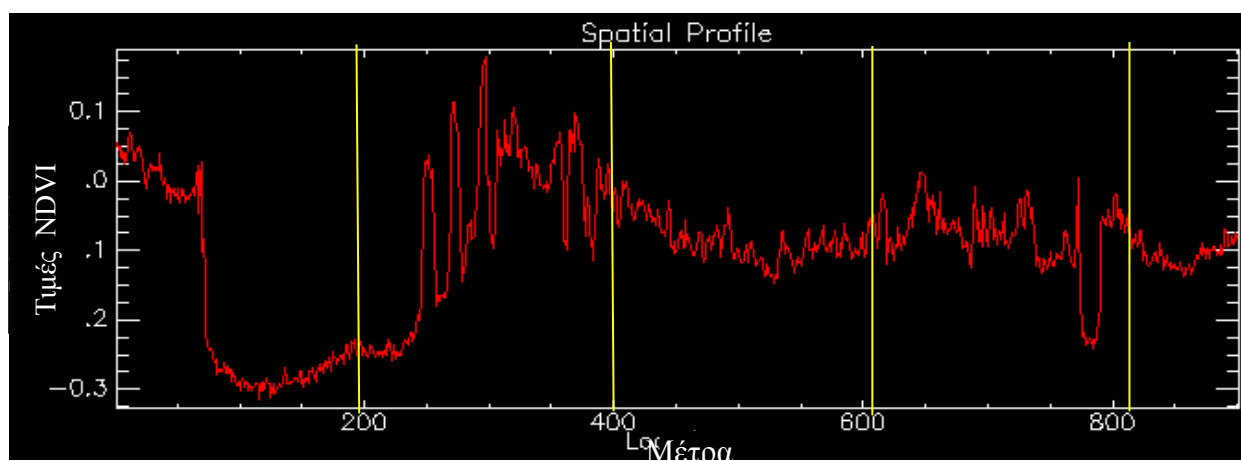
23/10/1999



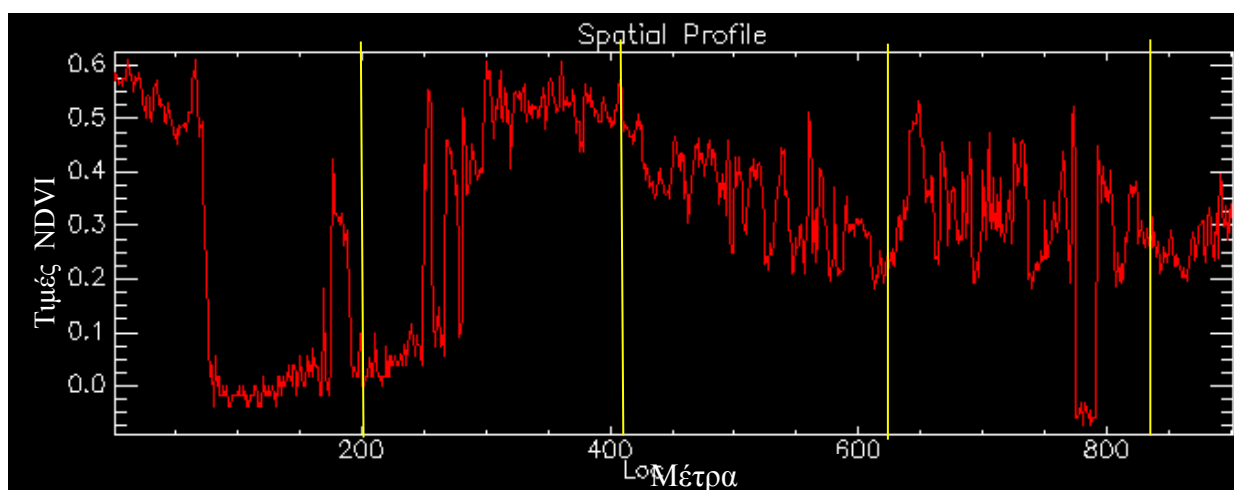
29/01/2001



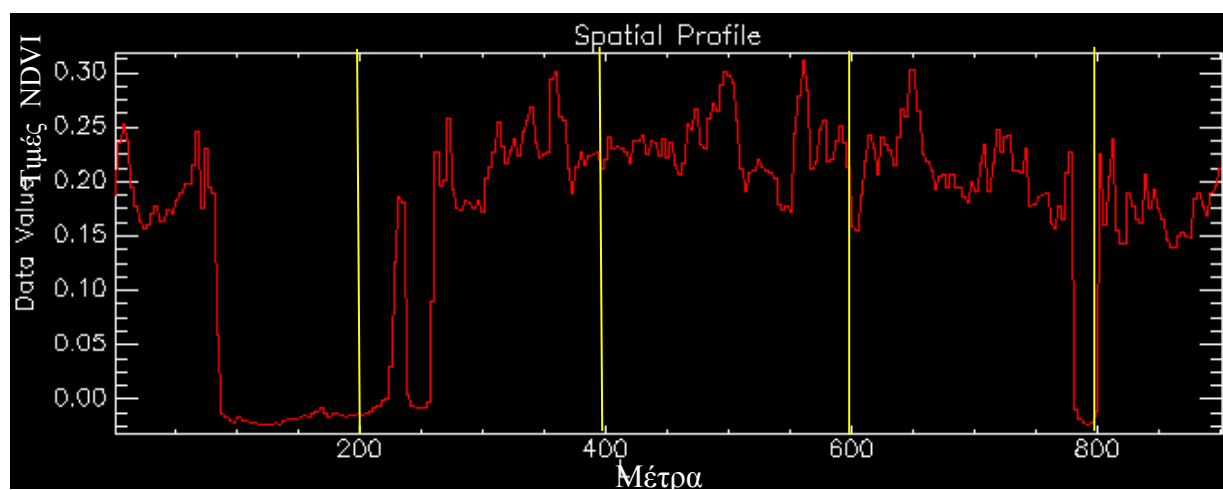
12/03/2007



15/01/2010

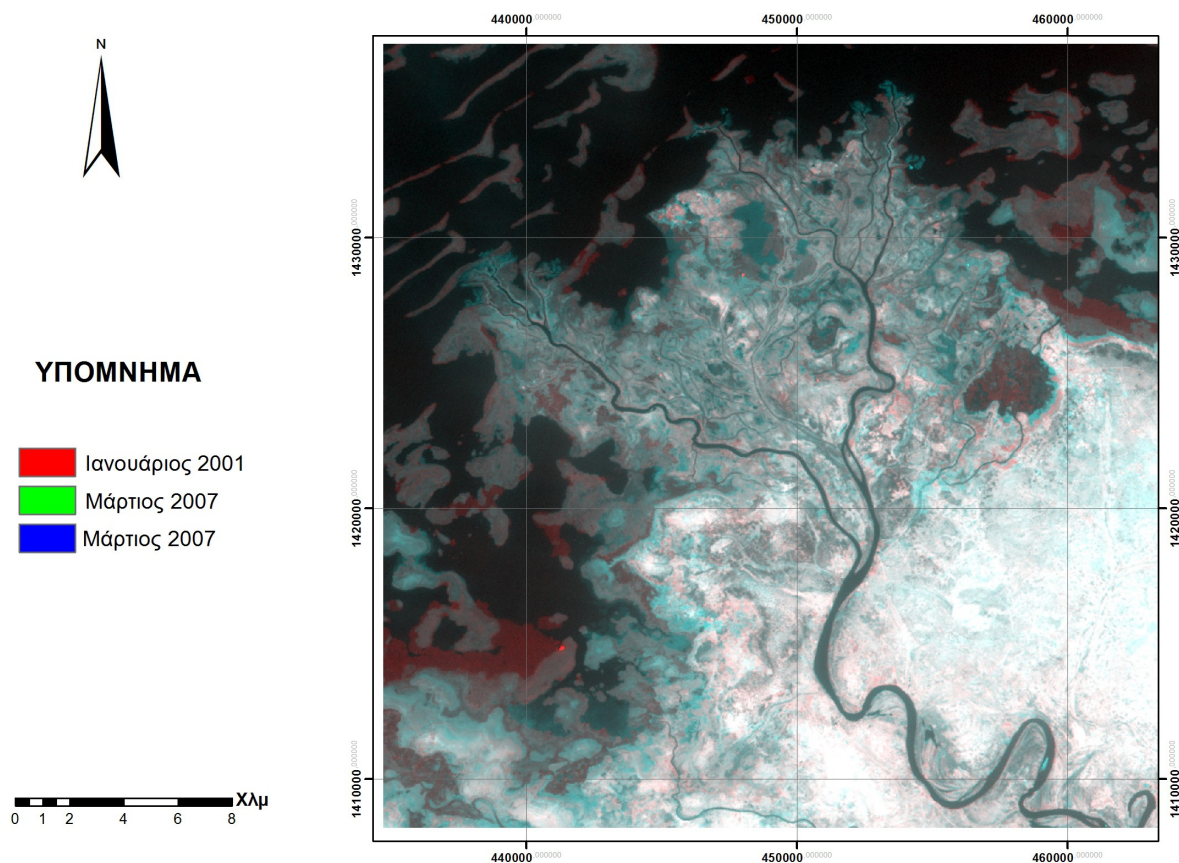


12/04/2013



Τέλος, σε όλο σχεδόν το ανατολικό και νοτιοανατολικό μέρος επικρατεί το άσπρο χρώμα που προσδιορίζει την ύπαρξη ξηράς (δηλαδή βλάστησης) σε αυτές τις περιοχές και για τις τρεις χρονολογίες. Δηλαδή στις περιοχές αυτές δεν υπήρξε ποτέ νερό. Από τον συγκεκριμένο χάρτη, λοιπόν, μας ενδιαφέρουν κυρίως οι περιοχές που εμφανίζουν τα βασικά χρώματα καθώς απαντάται μέσα από αυτό (στην αρχή της παραγράφου) το βασικό ερώτημα που τίθεται σε αυτό το κεφάλαιο, δηλαδή για το που και σε ποια χρονολογία η ξηρά αντικαταστήθηκε από νερό και το νερό από ξηρά.

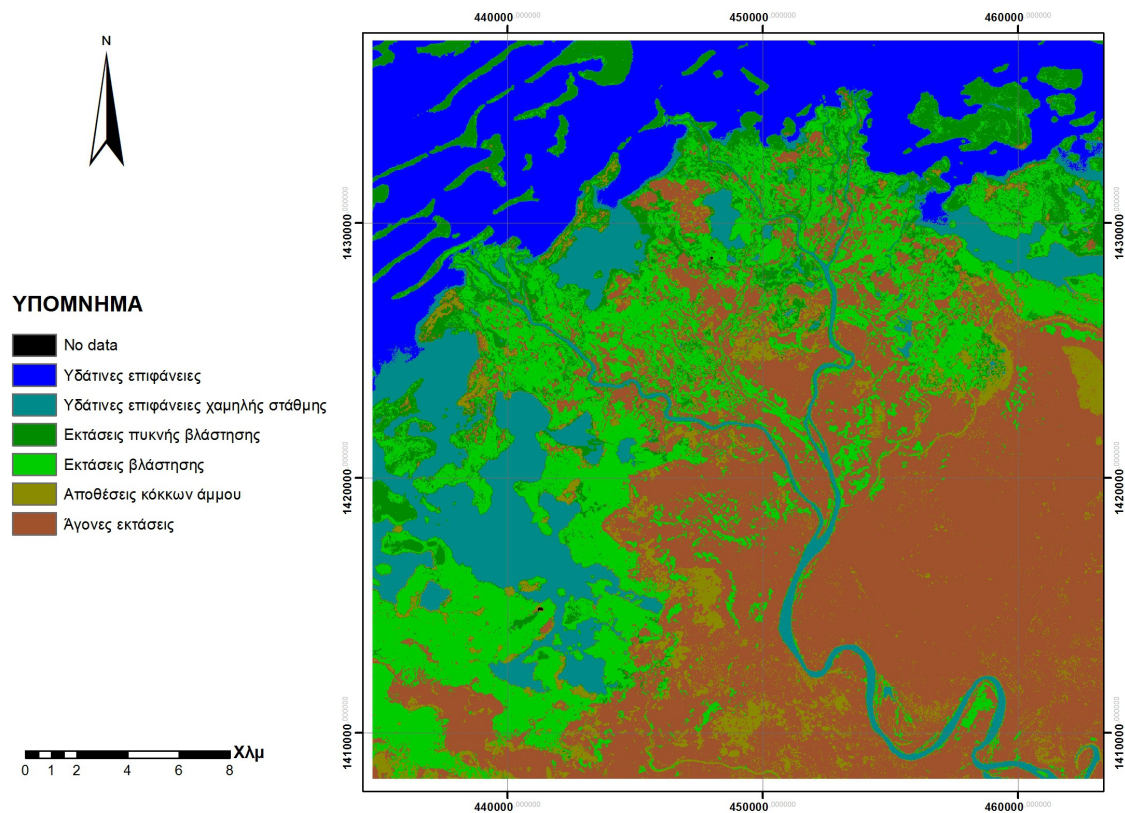
ΨΕΥΔΕΓΧΡΩΜΗ ΕΙΚΟΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΞΗΡΑΣ - ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΤΣΑΝΤ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ASTER



Χάρτης 7.12 : Δέλτα ποταμού στην περιοχή της λίμνης Τσαντ σε ψευδέγχρωμη εικόνα με R-φασματικό κανάλι 9, Ιανουάριος 2001, G-φασματικό κανάλι 9, Μάρτιος 2007 και B-φασματικό κανάλι 9, Μάρτιος 2007

Στον χάρτη 7.12 στην δυτική του πλευρά εμφανίζονται περιοχές σε κόκκινη απόχρωση, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη ξηράς σε αυτή την περιοχή μόνο το 2001. Το κόκκινο χρώμα εντοπίζεται επίσης και στις όχθες της λίμνης στο βορειοανατολικό της, περιμετρικά των νησίδων καθώς και κατά μήκος του ποταμού από τον βορρά έως τον νότο και σε διάσπαρτες περιοχές ανάμεσα στο δέλτα σε πιο απαλό τόνο. Το τελευταίο υποδηλώνει πως επειδή τα κομμάτια αυτά ξηράς είναι βλάστηση κυρίως μετά από διαστύρωση στο google earth, ο πιο απαλός τόνος θα αντιστοιχεί σε ποιο αραιή βλάστηση η οποία όμως εξακολουθεί να υπάρχει στα σημεία αυτά μόνο για το 2001. Στις περιοχές που απεικονίζονται με κυανό χρώμα σημαίνει πως υπήρχε ξηρά το 2007 μόνο και όχι το 2001 καθώς το κυανό χρώμα είναι ο συνδυασμός του μπλε και του πράσινου χρώματος που στην συγκεκριμένη περίπτωση και στα δύο χρώματα έχει οριστεί το φασματικό κανάλι 9 για το 2007. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται στον χάρτη στο νότιο και στο δυτικό τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος, βορειοανατολικά του χάρτη καθώς και σε όλη την περιοχή γύρω από το δέλτα στο βόρειο κομμάτι της περιοχής. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί πως σε πολλά σημεία στον χάρτη η κόκκινη περιοχή φαίνεται να επικαλύπτεται από ένα απαλό τόνο του κυανού που αυτό πιθανόν υποδηλώνει την αναγεννηση νέας βλάστησης στην περιοχή. Συνοψίζοντας, οι περιοχές που υπήρχε μόνο βλάστηση το 2001, το 2007 καλύφθηκαν από νερό και αυτές είναι οι περιοχές με έντονο κόκκινο χρώμα όπως προαναφέρθηκε και οι περιοχές οι οποίες απαντάνε στο ερώτημα του κεφαλαίου.

Χαρτογραφικό προϊόν ελεγχόμενης ταξινόμησης στο δέλτα του ποταμού της λίμνης Τσαντ



Χάρτης 7.14 : Δέλτα του ποταμού Chari της λίμνης Τσαντ το έτος 2001

τρεις δορυφορικές εικόνες απεικονίζει το άγονο έδαφος της περιοχής μελέτης (πιο συγκεκριμένα είναι μεγάλες εκτάσεις κόκκινου χρώματος). Στα νότιο και νότιο και ανατολικά παρατηρείται έντονη δραστηριότητα αναγέννησης της βλάστησης από το 1987 έως το 2010 καθώς το καφέ χρώμα διαδέχεται το πράσινο σταδιακά. Η αλλαγή είναι έντονα συγκρίνοντας την δορυφορική εικόνα του 1987 και την πιο πρόσφατη χρονολογικά, δηλαδή εκείνη του 2010.

υδάτινων πόρων τόσο από φυσικά αίτια όσο και από τους ανθρώπινους παράγοντες, όπως η αλλαγή της χρήσης γης.

Σε μελλοντικό επίπεδο η έρευνα θα μπορούσε να συνεχιστεί χρησιμοποιώντας επιπλέον τεχνικές για τα οπτικά δορυφορικά δεδομένα, όπως για παράδειγμα η τεχνική της ανάλυσης κύριων συνιστώσων για το εντοπισμό των διάφορων αλλαγών την περιοχή μελέτης. Επιπλέον θα μπορούσε να γίνει χρήση εικόνων ραντάρ και να ακολουθηθεί τεχνική ψευδέγχρωμων διαχρονικών εικόνων ώστε να επιτευχθεί μια ταυτοποίηση των αποτελεσμάτων από την χρήση των διαφορετικών τύπων δεδομένων.

Απώτερος σκοπός παραμένει, οι μεθοδολογίες και οι τεχνικές οι οποίες αναπτύσσονται ερευνητικά, να μπορούν να συμβάλλουν στην ορθολογικά σωστή περιβαλλοντική και κοινωνική διαχείριση των περιοχών αυτών και των διαθεσίμων τους.

