



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

ΜΕΛΕΤΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΓΙΑ ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΟΥ
CORINE LAND COVER ΑΠΟ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ
LANDSAT 8, LANDSAT 7 & LANDSAT 4/5

Διπλωματική Εργασία

Ευαγγελία Γιαννακοπούλου

Αθήνα, Ιούλιος 2016



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF SURVEYING ENGINEERING
Department of Topography
Remote Sensing Laboratory

**STUDYING THE TIME SERIES OF BASIC CORINE LAND
COVER CLASSES FROM MULTITEMPORAL LANDSAT 8,
LANDSAT 7 & LANDSAT 4/5 DATASETS**

Diploma Thesis

Evangelia Giannakopoulou

Athens, July 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

**Μελέτη χρονοσειρών για βασικές κατηγορίες του Corine Land
Cover από διαχρονικά δεδομένα Landsat 8, Landsat 7 &
Landsat 4/5**

Εγκρίθηκε από την τριμελή
εξεταστική επιτροπή την
.....2016

.....
.....

Κ. Καράντζαλος
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
.....

Δ. Αργιαλάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
.....

Β. Καραθανάση
Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Copyright © All rights reserved. Ευαγγελία Ν. Γιαννακοπούλου, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

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

Περίληψη

Η ανάγκη παρακολούθησης και κατανόησης των φαινομένων και διεργασιών που συμβαίνουν στον πλανήτη είναι συνεχώς αυξανόμενη. Καθοριστικό ρόλο για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος σε κρατική, ηπειρωτική και παγκόσμια κλίμακα, παίζουν οι Μέθοδοι Παρατήρησης Γης και η Τηλεπισκόπηση. Το γεγονός ότι το αρχείο του δορυφορικού προγράμματος Landsat, που είναι και το μεγαλύτερο παγκοσμίως με δεδομένα υψηλής/μεσαίας ανάλυσης, είναι ανοικτό, σε συνδυασμό με την πρόοδο της τεχνολογίας των συστημάτων διαχείρισης μεγάλων δεδομένων (big data), έχει ανοίξει το δρόμο για την ανάπτυξη μεθόδων εξόρυξης και αξιοποίησης της πληροφορίας από χρονοσειρές τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Προς την κατεύθυνση αυτή, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναπτύχθηκε αλγόριθμος για την εξόρυξη χρονοσειρών από όλο το αρχείο των διαχρονικών δεδομένων του Landsat. Τα πειραματικά αποτελέσματα επικεντρώθηκαν στο επικαλυπτόμενο τμήμα μεταξύ δύο δορυφορικών διαδρομών (paths), ενώ χρησιμοποιήθηκαν όλες οι διαθέσιμες εικόνες ανακλαστικότητας της επιφάνειας (surface reflectance) των δορυφόρων Landsat 4, Landsat 5, Landsat 7 και Landsat 8 από το 1984 μέχρι το τέλος του έτους 2015. Στην περιοχή αυτή, με διαδικασία φωτοερμηνείας, λήφθηκαν σημεία για βασικές κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης και για τα σημεία αυτά εξήχθησαν οι τιμές ανακλαστικότητας από όλα τα διαχρονικά δορυφορικά δεδομένα της μελέτης. Ο μεγάλος όγκος των παρατηρήσεων που προέκυψε από περισσότερες από 730 εικόνες, αποτέλεσε αντικείμενο περαιτέρω επεξεργασίας. Οι παρατηρήσεις που αντιστοιχούν σε εικονοστοιχεία με σύννεφο, σκιά ή χιόνι διαγράφηκαν. Έγινε προσπάθεια στην συνέχεια να απαλειφθεί περαιτέρω ο εναπομένον θόρυβος και να δημιουργηθούν πιο ομοιογενείς φασματικά κατηγορίες LULC (LandUse - LandCover). Για το σκοπό αυτό, ακολουθήθηκε μια σειρά επεξεργασιών που περιλαμβάνει τη φασματική ανάλυση, είτε σε επίπεδο σημείου, είτε σε επίπεδο κατηγορίας LULC, μέσω γραφημάτων που δημιουργούνται από τα δεδομένα των παρατηρήσεων. Τέλος, με στόχο τη διερεύνηση των δυνατοτήτων που παρουσιάζουν τα διαγράμματα χρονοσειρών, για κάθε κατηγορία LULC της μελέτης, δημιουργήθηκαν χρονοσειρές για τιμές ανακλαστικότητας σε κανάλια ή πράξεις καναλιών, για διάφορες χρονικές περιόδους.

Abstract

The need for monitoring and understanding the phenomena and processes occurring in the planet constantly grows. Earth Observation (EO) Methods and Remote Sensing play a key role in monitoring the environment in local, continental and global scales. The fact that the archive of the Landsat satellite program, which is the world's largest with high/medium resolution data, is open, along with the progress of large data systems technology (big data), has opened the way for the development of methods for mining and exploitation of time series information from multitemporal remote sensing data.

To this end, as part of this thesis, an algorithm was developed for extracting time series from the entire Landsat archive. Experimental results focused on the overlapping region of two paths including all available Landsat 4, Landsat 5, Landsat 7 and Landsat 8 surface reflectance. In that area, several points were selected through a photo-interpretation process, belonging to basic land use/cover categories. For these points the reflectance values from all multitemporal satellite data were extracted. The acquired observations included pixels corresponding and/or affected by clouds, shadows or snow and therefore were removed based on the information derived by the fmask algorithm. Then, further effort was made to eliminate the remaining noise, towards the creation of more homogeneous spectral classes LULC (LandUse -LandCover). For this purpose, another processing procedure was followed, including spectral analysis, both at point and LULC-class level. Last but not least, time series models were computed based on certain ratios and indices, for studying and evaluating the consistence between the different Landsat sensors and between the LC classes at different geographical locations.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	i
Abstract	ii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Χρονοσειρές Τηλεπισκοπικών Δεδομένων	1
1.2 Αντικείμενο της Εργασίας	2
1.3 Κίνητρο και Συνεισφορά	2
1.4 Δομή της Εργασίας	2
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	3
3 Μεθοδολογία	16
3.1 Περιοχή Μελέτης και Τηλεπισκοπικά Δεδομένα	16
3.2 Επιλογή των Σημείων και Κατηγοριών Κάλυψης/Χρήσης Γης	21
3.3 Ανάπτυξη Αλγόριθμου Εξόρυξης Χρονοσειρών από Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων	28
3.4 Επεξεργασία και Ανάλυση Δεδομένων	31
4 Αποτελέσματα	41
4.1 Δορυφορικά Δεδομένα για τη Δημιουργία Χρονοσειρών	41
4.2 Χρονοσειρές από Δεδομένα Landsat 8	44
4.2.1 Υποκατηγορία Δάσος Κωνοφόρων	44
4.2.2 Υποκατηγορία Αμπελώνες	47
4.2.3 Υποκατηγορία Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα	49
4.2.4 Κατηγορία Αστικός Ιστός	50
4.3 Χρονοσειρές από Δεδομένα Landsat 7	52
4.3.1 Υποκατηγορία Δάσος Κωνοφόρων	52
4.3.2 Υποκατηγορία Αμπελώνες	53
4.3.3 Υποκατηγορία Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα	54
4.3.4 Κατηγορία Αστικός Ιστός	54
4.4 Χρονοσειρές από Δεδομένα Landsat 4 & Landsat 5	56
4.5 Χρονοσειρές από τη Συνένωση Δεδομένων Διαφορετικών Δορυφόρων	57
4.5.1 Δάσος Κωνοφόρων	57
4.5.2 Αμπελώνες	58
4.5.3 Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα	59
4.5.4 Αστικός Ιστός	60
4.6 Διαγράμματα Χρονοσειρών – Σύγκριση Καμπύλης Κινητού Μέσου Όρου	62
4.6.1 Δάσος Κωνοφόρων	62
4.6.2 Αμπελώνες	63
4.6.3 Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα	64

4.6.4 Συνεχής Αστικός Ιστός	66
5 Συμπεράσματα και Προτάσεις.....	67
5.1 Γενικά Συμπεράσματα.....	67
5.2 Ειδικά Συμπεράσματα.....	68
Βιβλιογραφία	70
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	75
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	76
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	77
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	78
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....	92

1

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται μια εισαγωγική αναφορά πάνω στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας και των κυριότερων λόγων που παρουσιάζεται έντονο ενδιαφέρον για την ανάλυση και αξιοποίηση χρονοσειρών από διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα. Στη συνέχεια, περιγράφεται το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, καθώς και το κίνητρο και η συνεισφορά της.

1.1 Χρονοσειρές Τηλεπισκοπικών Δεδομένων

Κατά την τελευταία δεκαετία, ένας μεγάλος αριθμός νέων δορυφόρων Παρατήρησης Γης ξεκίνησαν τη λειτουργία τους. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, την ενίσχυση της δυνατότητας απόκτησης διαχρονικών εικόνων στην επιφάνεια της Γης, με βελτιωμένη χρονική και χωρική ανάλυση. Επακόλουθα, αυτές οι νέες πηγές εικόνων οδήγησαν στην αύξηση του ενδιαφέροντος για θέματα συναφή με χρονοσειρές και ανάλυση διαχρονικών δεδομένων από τηλεπισκοπικές πηγές. Παράλληλα, η παρακολούθηση των μεταβολών σε κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης και πως αυτές σχετίζονται με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, αποτελεί τη βάση της κατανόησης, τόσο των προβλημάτων που σχετίζονται με τις αλλαγές του κλίματος, όσο και της γεωπολιτικής βάσης για μια βιώσιμη ανάπτυξη του κόσμου. Ο χαρακτηρισμός των ιστορικών μοτίβων κάλυψης γης και η παρακολούθηση της παρούσας κατάστασης είναι κρίσιμης σημασίας για τη μοντελοποίηση των διαδικασιών των γήινων συστημάτων και έχουν κινητοποιήσει πολλές προσπάθειες για τη χαρτογράφηση αυτών των μοτίβων μέσω τηλεπισκοπικών δεδομένων (Franklin & Walder, 2002).

Οι περισσότερες από τις παλαιότερες και τρέχουσες αναλύσεις εστιάζουν στην ανίχνευση μεταβολών μεταξύ δύο ή περισσότερων ημερομηνιών, ωστόσο, το άνοιγμα του αρχείου Landsat επέτρεψε την εξερεύνηση μεθόδων για υψηλότερης συχνότητας, χρονοσειριακή παρακολούθηση των δυναμικών της κάλυψης γης.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι, οι ιδιότητες των εικόνων από τους σύγχρονους αισθητήρες (π.χ. πολύ υψηλή γεωμετρική ανάλυση, μεγάλες χρονοσειρές εικόνων) θέτουν νέα μεθοδολογικά προβλήματα που απαιτούν την ανάπτυξη νέας γενιάς μεθόδων για την ανάλυση των διαχρονικών εικόνων και των χρονοσειρών δεδομένων. Το τελευταίο είναι κοινό τόσο για τους παθητικούς δέκτες (πολυφασματικούς, υπερφασματικούς, κλπ.) όσο και για τους ενεργούς (ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR), Lidar, κλπ.).

1.2 Αντικείμενο της Εργασίας

Αντικείμενο της εργασίας αποτέλεσε η μελέτη μεθόδων και αλγορίθμων εξόρυξης χρονοσειρών, η απαλοιφή θορύβου που σχετίζεται με σύννεφα και σκιές, καθώς και μια αρχική προσπάθεια για μοντελοποίηση χρονοσειρών που ανήκουν σε βασικές κατηγορίες του Corine Land Cover.

Βασική επιδίωξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη τεχνικών εξαγωγής πληροφορίας σε μορφή χρονοσειρών αλλά και η διερεύνηση τεχνικών για την αξιοποίηση της διαχρονικής αυτής πληροφορίας που είναι διαθέσιμη.

1.3 Κίνητρο και Συνεισφορά

Το βασικό κίνητρο για την ενασχόληση με το συγκεκριμένο αντικείμενο ήταν η απάντηση ερωτημάτων σχετικά με το κατά πόσο

- i. χρονοσειρές ίδιων κατηγοριών κάλυψης γης από διαφορετικούς δορυφόρους Landsat μπορούν να συνδυαστούν
- ii. αυτές οι χρονοσειρές παρουσιάζουν ίδια διαχρονικά πρότυπα
- iii. είναι δυνατό να γίνει απαλοιφή θορύβου με ίδιους κανόνες σε όλους τους αισθητήρες.

Η συνεισφορά της εργασίας συνοψίζεται στα εξής σημεία:

- Ανάπτυξη αλγορίθμου για την αυτοματοποιημένη εξόρυξη χρονοσειρών από διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα και διαφορετικούς αισθητήρες.
- Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την προεπεξεργασία δεδομένων χρονοσειρών, την απαλοιφή θορύβου και τη μοντελοποίηση ανά κατηγορία κάλυψης/χρήσης γης.

1.4 Δομή της Εργασίας

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται αναφορά σε κάποιες μελέτες από τη διεθνή βιβλιογραφία που μελετήθηκαν και αξιοποιούν χρονοσειρές τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφεται αρχικά η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε και τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε και επεξηγείται ο κώδικας που αναπτύχθηκε για την εξόρυξη πληροφορίας από χρονοσειρές εικόνων.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται τα διαγράμματα χρονοσειρών για κάποιες βασικές κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης της μελέτης. Τα διαγράμματα αυτά αφορούν, είτε ένα κανάλι, είτε δείκτες (πράξεις καναλιών) και δεδομένα από ένα ή περισσότερους δορυφόρους.

Τέλος, το **Κεφάλαιο 5** περιέχει κάποια γενικά και ειδικά συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Ακόμη, διατυπώνονται πιθανές προτάσεις βελτίωσης και προοπτικές εξέλιξης της προσέγγισης που ακολουθήθηκε.

2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Ακολουθούν κάποια παραδείγματα εφαρμογών από τη διεθνή βιβλιογραφία που μελετήθηκαν και αξιοποιούν διαχρονικά δορυφορικά δεδομένα.

Μία εφαρμογή των μοντέλων χρονοσειρών από τηλεπισκοπικά δορυφορικά δεδομένα είναι η δημιουργία ‘συνθετικών εικόνων’ (*synthetic images*). Σύμφωνα με τους **Z. Zhu et al. (2015)**, η δημιουργία συνθετικών εικόνων έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη δημιουργία “καθαρών” δορυφορικών εικόνων. Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες μέθοδοι σύνθεσης (Cihlar, Manak, & D’lorio, 1994; Griffiths, van der Linden, Kuemmerle, & Hostert, 2013; Hansen et al., 2008; Holben, 1986; Luo, Trishchenko, & Khlopenkov, 2008; Roy et al., 2010; Stoms, Bueno, & Davis, 1997; White et al., 2014), που είτε βασίζονται σε ενιαία κριτήρια (π.χ. μέγιστη τιμή NDVI, ελάχιστη τιμή στο κόκκινο κανάλι ή μέγιστη θερμοκρασία φωτεινότητας) ή σε πολλαπλά κριτήρια, για να επιλέξουν την “καλύτερη” παρατήρηση με την ελάχιστη επιρροή από σύννεφο, σκιά σύννεφου και χιόνι. Ωστόσο, οι περισσότερες από τις υφιστάμενες μεθοδολογίες για τη σύνθεση εικόνων είναι σχεδιασμένες για δορυφορικά δεδομένα υψηλής χρονικής συχνότητας, όπως τα δεδομένα MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) και AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) και μόνο λίγες έρευνες εφαρμόζονται για δορυφορικά δεδομένα με σχετικά χαμηλή χρονική συχνότητα, όπως τα δεδομένα Landsat (Griffiths et al., 2013; Hansen et al., 2008; Hermosilla, Wulder, White, Coops, & Hobart, 2015; Roy et al., 2010; White et al., in press). Λόγω της έλλειψης συχνών παρατηρήσεων, μπορεί να χρειαστούν μερικοί μήνες ή ακόμη και χρόνια για να παραχθεί μια καθαρή εικόνα Landsat από διαδικασία σύνθεσης. Επιπλέον, οι “καλύτερες” παρατηρήσεις είναι πιθανό να επιλέγονται από εικόνες που αποκτώνται διαφορετικές εποχές του χρόνου και αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα αν υπάρχουν επιπτώσεις φαινολογίας.

Οι ερευνητές αναφέρουν επίσης, ότι, για να ξεπεραστεί ο χρονικός περιορισμός των δεδομένων Landsat, μία λύση είναι να “αναμειχθούν” εικόνες Landsat με μικρότερης ανάλυσης εικόνες, που όμως έχουν πολύ μεγαλύτερη χρονική συχνότητα. Οι εικόνες MODIS είναι η καλύτερη επιλογή καθώς έχουν πολύ μεγαλύτερη χρονική συχνότητα (καθημερινές παρατηρήσεις για το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη) και πολύ παρόμοια φασματικά κανάλια (Justice et al., 2002). Με την επιπλέον χρονική πληροφορία που προσφέρει η χρονοσειρά εικόνων MODIS και την καλύτερη χωρική ανάλυση που προσφέρεται από μερικές Landsat εικόνες είναι δυνατό να προβλεφθούν καθαρές ημερήσιες εικόνες Landsat (Gao, Masek, Schwaller, & Hall, 2006; Hilker, Wulder, Coops, Seitz, et al., 2009; Roy et al., 2008). Αυτοί οι αλγόριθμοι “ανάμειξης” είναι ικανοί να παρέχουν πολύ καλά αποτελέσματα, αλλά έχουν περιορισμούς. Ο πρώτος περιορισμός είναι ότι, οι αλγόριθμοι αυτοί εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις παρατηρήσεις MODIS, οι οποίες δεν είναι διαθέσιμες πριν το 2000 (Justice et al., 2002). Για τις εικόνες Landsat επομένως, που έχουν αποκτηθεί πριν το 2000 είναι αδύνατο να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος. Ο δεύτερος περιορισμός των αλγόριθμων είναι ότι, ως είσοδο τους, εξακολουθούν να χρειάζονται μερικές καθαρές Landsat εικόνες, που για περιοχές με πολλά σύννεφα μπορεί να

χρειαστούν μερικά χρόνια (Zhu, Woodcock, & Olofsson, 2012). Τέλος, ο τρίτος περιορισμός είναι ότι, εξαιτίας των μεγάλων διαφορών στη χωρική ανάλυση μεταξύ των Landsat και MODIS, η απόδοση αυτής της μεθοδολογίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος των γεωτεμαχίων της περιοχής και μειώνεται όταν χρησιμοποιείται για περιοχές πολυτεμαχισμένης γης με ετερογένεια στην κάλυψη/χρήση (Gao et al., 2006; Roy et al., 2008). Τέλος, αυτού του είδους η μεθοδολογία αναφέρεται ότι είναι λιγότερο αποτελεσματική σε περιοχές όπου έχει επέλθει αλλαγή στην κάλυψη γης (Hilker, Wulder, Coops, Seitz, et al., 2009).

Οι Z. Zhu et al. (2015) προτείνουν έναν αλγόριθμο ικανό να παράγει “συνθετικές” εικόνες Landsat χρησιμοποιώντας όλες τις διαθέσιμες Landsat Thematic Mapper (TM) και ETM+ εικόνες. Συνθετικές Landsat εικόνες απαλλαγμένες από σύννεφα, σκιά σύννεφων και χιόνι (εκτός του μόνιμου χιονιού) μπορούν να δημιουργηθούν για οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή (κατά την περίοδο των δορυφόρων Landsat 4-7), με βάση **μοντέλα χρονοσειρών που δημιουργούνται για κάθε εικονοστοιχείο, χρησιμοποιώντας όλες τις διαθέσιμες παρατηρήσεις Landsat**. Οι συνθετικές εικόνες Landsat που προβλέπει το μοντέλο παράγονται για τα οπτικά κανάλια (Landsat TM και ETM+ κανάλια 1, 2, 3, 4, 5 και 7) και έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν συνεπή Landsat δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της κάλυψης γης και βιο-φυσικών προϊόντων.

Στη συγκεκριμένη έρευνα, για έξι διαφορετικές σκηνές Landsat στην περιοχή των Η.Π.Α. χρησιμοποιούνται όλα τα διαθέσιμα προϊόντα Level 1 Terrain (διορθωμένα) (L1T) Landsat TM/ETM+, με περισσότερο από 20% καθαρές παρατηρήσεις. Το ποσοστό των καθαρών παρατηρήσεων εκτιμάται από τον αλγόριθμο που ονομάζεται Fmask (Zhu & Woodcock, 2012; Zhu, Wang, & Woodcock, 2015). Ως είσοδος για την παραγωγή συνθετικών εικόνων, εκτός του θερμικού καναλιού, χρησιμοποιούνται τα έξι κανάλια 1, 2, 3, 4, 5 και 7, τα οποία διορθώνονται ατμοσφαιρικά ώστε οι τιμές να αναφέρονται σε ανακλαστικότητα επιφάνειας, με τη χρήση του αλγορίθμου LEDAPS (Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System). Στη συνέχεια, σε όλες τις διαθέσιμες παρατηρήσεις, εφαρμόζονται δύο βήματα για τη διαλογή των σύννεφων, των σκιών και του χιονιού. Στο πρώτο βήμα χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος Fmask που εφαρμόζεται για μία παρατήρηση/σκηνή και ανιχνεύει τα σύννεφα, τις σκιές σύννεφων και το χιόνι με βάση τη φασματική και την περιεχόμενη πληροφορία από μία εικόνα Landsat (Zhu & Woodcock, 2012; Zhu, Wang, & Woodcock, 2015). Το επόμενο βήμα βασίζεται στα αποτελέσματα του πρώτου και χρησιμοποιεί την επιπλέον χρονική πληροφορία για τον περαιτέρω εντοπισμό των ακραίων τιμών που έχουν παραμείνει από το πρώτο βήμα (Zhu & Woodcock, 2014a; Zhu & Woodcock, 2014b).

Για κάθε εικονοστοιχείο των εικόνων υπάρχει τουλάχιστον ένα μοντέλο χρονοσειρών που εκτιμάται για κάθε φασματικό κανάλι και ο αριθμός των εκτιμώμενων μοντέλων χρονοσειρών εξαρτάται από τον αριθμό των απότομων αλλαγών της επιφάνειας που ανιχνεύονται. **Τρία διαφορετικά μοντέλα χρονοσειρών**, που αποτελούνται από αρμονικά (Fourier) μοντέλα (Davis, 1986; Rayner, 1971) και ένα στοιχείο για τη μακροπρόθεσμη τάση, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ανακλαστικότητας επιφάνειας για τις διαφορετικές φασματικές ζώνες (κανάλια). Το πρώτο μοντέλο χρονοσειρών που καλείται “**απλό μοντέλο**” έχει μόνο τέσσερις συντελεστές και η εξίσωση του παρουσιάζεται στην εικόνα 2-1. Ο πρώτος συντελεστής αφορά την εκτίμηση της συνολικής αξίας για το κάθε κανάλι Landsat. Ο δεύτερος και ο τρίτος συντελεστής χρησιμοποιούνται για να μοντελοποιήσουν τις ενδοετήσιες αλλαγές που δημιουργούνται από τη φαινολογία και τις διαφορές στη γωνία της θέσης του ήλιου για το κάθε κανάλι. Ο τελευταίος συντελεστής είναι ο μόνος όρος που κάνει τα μοντέλα χρονοσειρών να διαφέρουν από τα αρμονικά μοντέλα (Fourier) και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της μακροπρόθεσμης τάσης για το κάθε κανάλι. Αυτή η πληροφορία είναι κρίσιμη για τον εντοπισμό μιας πιθανής σταδιακής αλλαγής στην επιφάνεια, που είναι πιο επίμονη στο χρόνο. Αυτό το απλό μοντέλο ίσως παρουσιάζει πρόβλημα σε μέρη που οι ενδοετήσιες αλλαγές δεν ακολουθούν το απλό

μοντέλο. Ως εκ τούτου, αν είναι διαθέσιμες περισσότερες καθαρές παρατηρήσεις χρησιμοποιείται ένα πιο ανεπτυγμένο μοντέλο που αποτελείται από έξι συντελεστές. Σε σχέση με το απλό, το “**ανεπτυγμένο μοντέλο**” έχει δύο επιπλέον συντελεστές ($a_{2,i}$, $b_{2,i}$) που επιτρέπουν την ανίχνευση αλλαγών που παρουσιάζουν 2 μέγιστα (*peaks*). Όταν υπάρχουν ακόμη περισσότερες καθαρές παρατηρήσεις διαθέσιμες εφαρμόζεται το “**πλήρες μοντέλο**”, με οκτώ συντελεστές. Το πλήρες μοντέλο έχει όλους τους συντελεστές του ανεπτυγμένου και επιπλέον δύο, που επιτρέπουν την ανίχνευση ενδοετήσιων τρικόρυφων αλλαγών, δηλαδή, που παρουσιάζουν 3 μέγιστα. Ένα παρόμοιο μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, των δασικών διαταραχών, με τη χρήση χρονοσειρών δορυφορικών εικόνων (Verbesselt, Zeileis, & Herold, 2012).

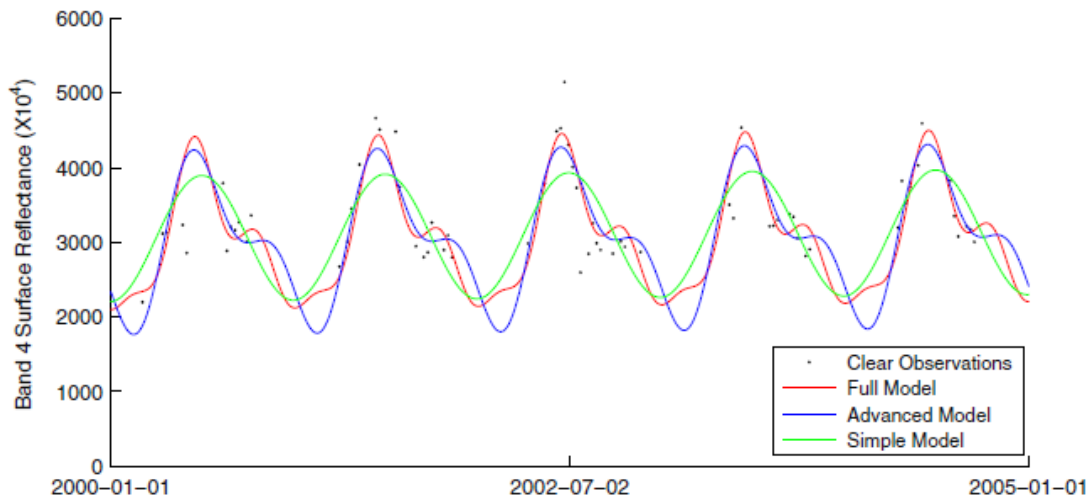
$$\hat{\rho}(i, x)_{simple} = a_{0,i} + a_{1,i} \cos\left(\frac{2\pi}{T}x\right) + b_{1,i} \sin\left(\frac{2\pi}{T}x\right) + c_{1,i}x$$

$$\{\tau_{k-1}^* < x \leq \tau_k^*\}$$

x	Julian date
i	the i th Landsat Band ($i = 1, 2, 3, 4, 5,$ and 7)
T	number of days per year ($T = 365.25$)
$a_{0,i}$	coefficient for overall value for the i th Landsat Band
$a_{1,i}, b_{1,i}$	coefficients for intra-annual change for the i th Landsat Band
$c_{1,i}$	coefficient for inter-annual change (slope) for the i th Landsat Band
τ_k^*	the k th break points

Εικόνα 2-1 : Εξίσωση του απλού μοντέλου χρονοσειρών και επεξήγηση των συντελεστών του

Η εικόνα 2-2, παρουσιάζει τα τρία διαφορετικά μοντέλα χρονοσειρών που έχουν εκτιμηθεί για το κανάλι 4 της ανακλαστικότητας επιφάνειας (εγγύς υπέρυθρο), από όλες τις διαθέσιμες παρατηρήσεις Landsat μεταξύ των ετών 2001 και 2004, για ένα εικονοστοιχείο καλλιέργειας.



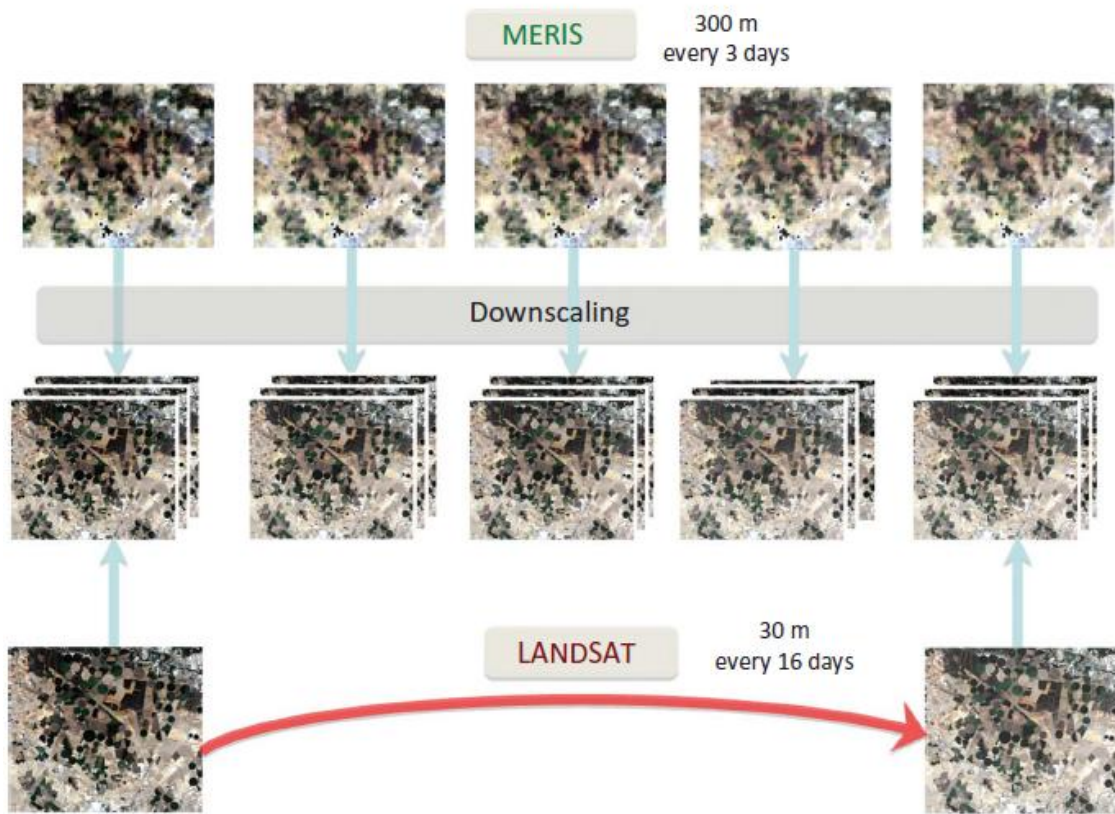
Εικόνα 2-2 : Μοντέλα χρονοσειρών υπολογισμένα για την ανακλαστικότητα επιφάνειας στο Κανάλι 4 (εγγύς υπέρυθρο), χρησιμοποιώντας όλες τις παρατηρήσεις από τα διαθέσιμα δεδομένα Landsat μεταξύ του 2001 και 2004 για ένα εικονοστοιχείο καλλιέργειας. Τα μαύρα σημεία είναι όλες οι διαθέσιμες καθαρές παρατηρήσεις. Η πράσινη γραμμή είναι η ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 4 υπολογισμένη από το απλό μοντέλο. Η μπλε γραμμή είναι η ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 4 υπολογισμένη από το ανεπτυγμένο μοντέλο. Η κόκκινη γραμμή είναι η ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 4 υπολογισμένη από το πλήρες μοντέλο.

Αν χρησιμοποιηθεί το απλό μοντέλο (πράσινη γραμμή) για την εκτίμηση αυτής της χρονοσειράς, δεν είναι δυνατό να μοντελοποιηθεί τη χρονική τροχιά αυτού του εικονοστοιχείου, λόγω της απλότητας του μοντέλου. Αν χρησιμοποιηθεί το ανεπτυγμένο μοντέλο (μπλε γραμμή) θα είναι σε θέση να μοντελοποιήσει περισσότερο καλά τη χρονική διακύμανση των παρατηρήσεων. Το καλύτερο αποτέλεσμα είναι από το πλήρες μοντέλο (κόκκινη γραμμή) που χρησιμοποιεί 8 συντελεστές για να μοντελοποιήσει την ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 4. Είναι φανερό ότι, όσο πιο σύνθετο το μοντέλο που χρησιμοποιείται, τόσο καλύτερη η απόδοση στη μοντελοποίηση των ενδο-ετήσιων διαφορών της χρονοσειράς των δεδομένων Landsat. Προηγούμενες μελέτες προτείνουν ότι, για να είναι ακριβές και ισχυρό το μοντέλο εκτίμησης, ο συνολικός αριθμός των καθαρών παρατηρήσεων πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το τριπλάσιο του αριθμού των συντελεστών του μοντέλου χρονοσειρών. Ως εκ τούτου, αν ο συνολικός αριθμός των καθαρών παρατηρήσεων είναι μεγαλύτερος ή ίσος με 12 αλλά μικρότερος από 18, θα χρησιμοποιηθεί το απλό μοντέλο για την εκτίμηση της ανακλαστικότητας της επιφάνειας. Διαφορετικά, αν ο συνολικός αριθμός των καθαρών τιμών ανακλαστικότητας είναι μεγαλύτερος από ή ίσος με 18 αλλά μικρότερος από 24, θα χρησιμοποιηθεί το ανεπτυγμένο μοντέλο. Αν ο αριθμός των καθαρών παρατηρήσεων είναι μεγαλύτερος από ή ίσος με 24, γίνεται εφαρμογή του πλήρους μοντέλου. Το χρονικό διάστημα για κάθε μοντέλο χρονοσειράς μπορεί να είναι κάθε διάστημα μεγαλύτερο του ενός έτους. Βασικά, για κάθε εικονοστοιχείο, όσο περισσότερες καθαρές παρατηρήσεις είναι διαθέσιμες, τόσο πιο σύνθετο μοντέλο χρονοσειρών επιλέγεται.

Οι Viera, Mather και Mccullagh (2000) ανέπτυξαν την έννοια της φασματο-χρονικής επιφάνειας απόκρισης (Spectral-temporal response surface – STRS), ως μέθοδο για την ταξινόμηση γεωργικών καλλιεργειών, χρησιμοποιώντας διαχρονικά δεδομένα από πολλούς αισθητήρες. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζει όλα τα εικονοστοιχεία μιας σκηνής, 'εξετάζοντας' τις τιμές έντασης τους σε συνάρτηση της χρονικής στιγμής της απεικόνισης και της φασματικής ζώνης συχνοτήτων και στη συνέχεια γίνεται παρεμβολή μιας αναλυτικής επιφάνειας. Οι ερευνητές εφάρμοσαν αυτή τη μέθοδο για διαχρονική ταξινόμηση καλλιεργειών, χρησιμοποιώντας εικόνες από Landsat και SPOT και δεν έγινε προσπάθεια να δημιουργήσουν συνθετικές εικόνες χρησιμοποιώντας την έννοια STRS.

Οι Eriphanio et al. (2010) εφάρμοσαν την ίδια διαδικασία STRS ταξινόμησης σε μια σειρά εικόνων MODIS μιας νεφώδους περιοχής, με στόχο την ταξινόμηση των εικόνων σε 5 κλάσεις, εκμεταλλευόμενοι την υψηλή χρονική συχνότητα των εικόνων MODIS. Λόγω της χαμηλής χωρικής ανάλυσης όμως του δέκτη, αυτή η ταξινόμηση είχε καλά αποτελέσματα σε περιοχές με υπερχρή μεγάλων γεωργικών εκμεταλλεύσεων και χειρότερα αποτελέσματα για κατακερματισμένες περιοχές με μικρότερης έκτασης γεωργικές εκμεταλλεύσεις.

Στη μελέτη των **Villa et al. (2012)** που αφορά τη δημιουργία εννοιολογικού πλαισίου για την ενοποίηση ραδιομετρικών δεδομένων από πολλούς τηλεπισκοπικούς αισθητήρες, συνδυάζεται η έννοια STRS με τις εξελίξεις προηγούμενων μελετών πάνω στη συγχώνευση δεδομένων (data fusion) και τη χωρική υποκλιμάκωση (spatial downscaling) (Εικόνα 2-3), στις φασματικές και χρονικές παρεμβολές αλλά και σε άλλες τεχνικές.



Εικόνα 2-3: Σχήμα διαδικασίας *spatial downscaling* (χωρικής υποκλιμάκωσης)

Οι Villa et al. (2012) αναφέρουν επίσης, ότι, μια εδαφοψηφίδα (**ground cell – GC**), σε ορισμένη χρονική στιγμή, χαρακτηρίζεται από τη φασματική ανακλαστικότητα (το κλάσμα την προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται από την επιφάνεια για κάθε μήκος κύματος). Οι επιφάνειες στη Γη είναι, σε γενικές γραμμές, μη Λαμπερτιανές (*Lambertian*), οπότε η ανάκλαση τους εξαρτάται από τη θέση του Ήλιου και τις οριζόντιες και κάθετες διευθύνσεις θέασης (Strahler et al. 1999):

$$\rho = \rho(\theta, \vartheta, \varphi, \lambda),$$

όπου, ρ είναι η ατμοσφαιρικά διορθωμένη ακτινοβολία, θ είναι η ηλιακή ζενίθια γωνία, ϑ είναι η ζενίθια γωνία θέασης, φ είναι η αζιμουθιακή γωνία θέασης του Ήλιου και λ το μήκος κύματος.

Αν οι τιμές ανακλαστικότητας διορθωθούν από επιδράσεις των διευθύνσεων, προκύπτει η ‘ναδρική αμφίδρομη συνάρτηση κατανομής ανάκλασης (*bidirectional reflectance distribution function – BRDF*)-πρασαρμοσμένων ανακλαστικότητων’ (υπολογισμένη για $\vartheta = 180^\circ$) που εξαρτάται μόνο από το μήκος κύματος:

$$\rho = \rho(\lambda).$$

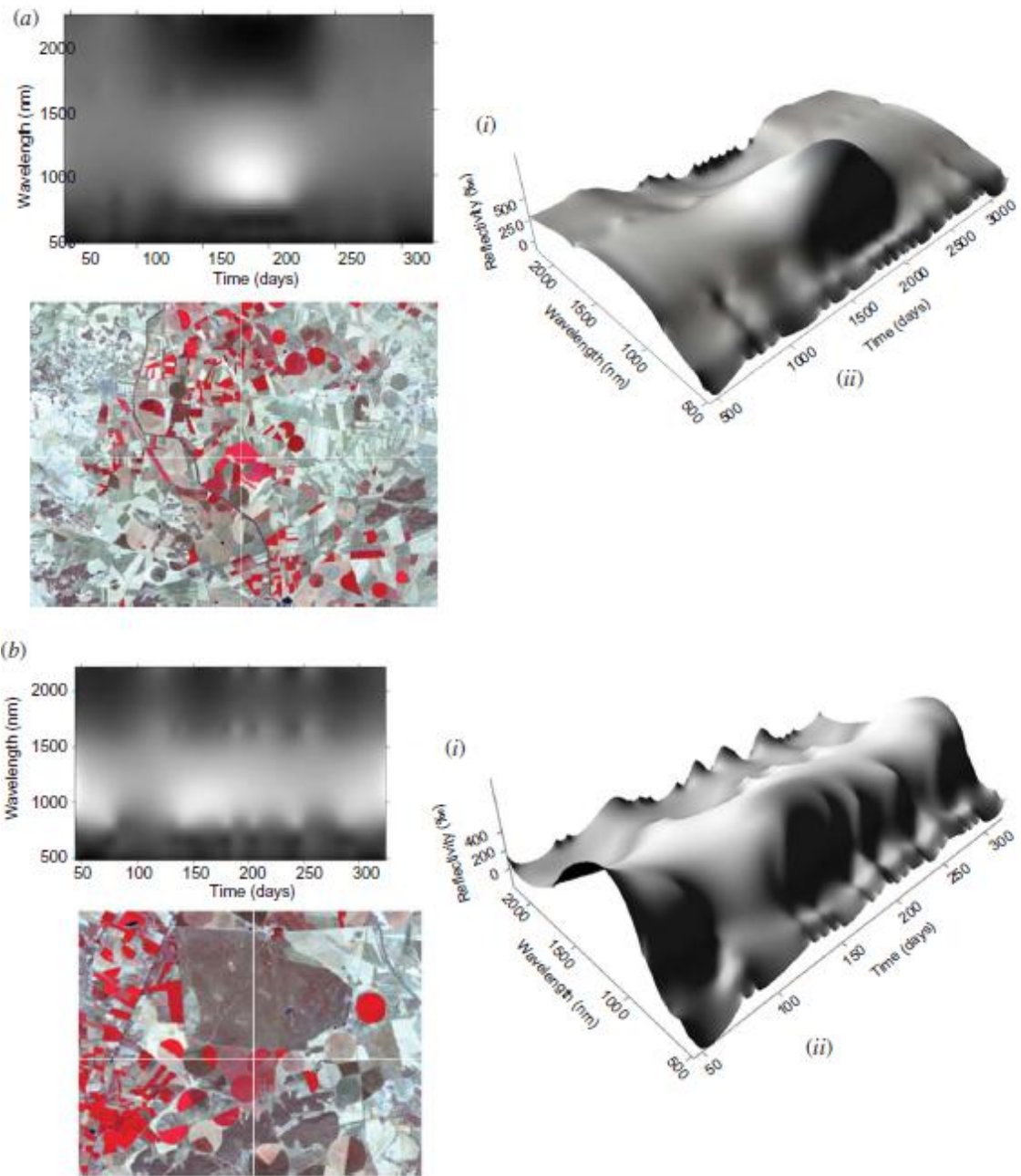
Αυτή η συνάρτηση καλείται ‘φασματική υπογραφή’ του GC.

Όμως, η επιφάνεια της Γης αλλάζει συνεχώς με το χρόνο, οπότε ένας καταλληλότερος χαρακτηρισμός του GC είναι μια δισδιάστατη επιφάνεια:

$$\rho = \rho(\lambda, t).$$

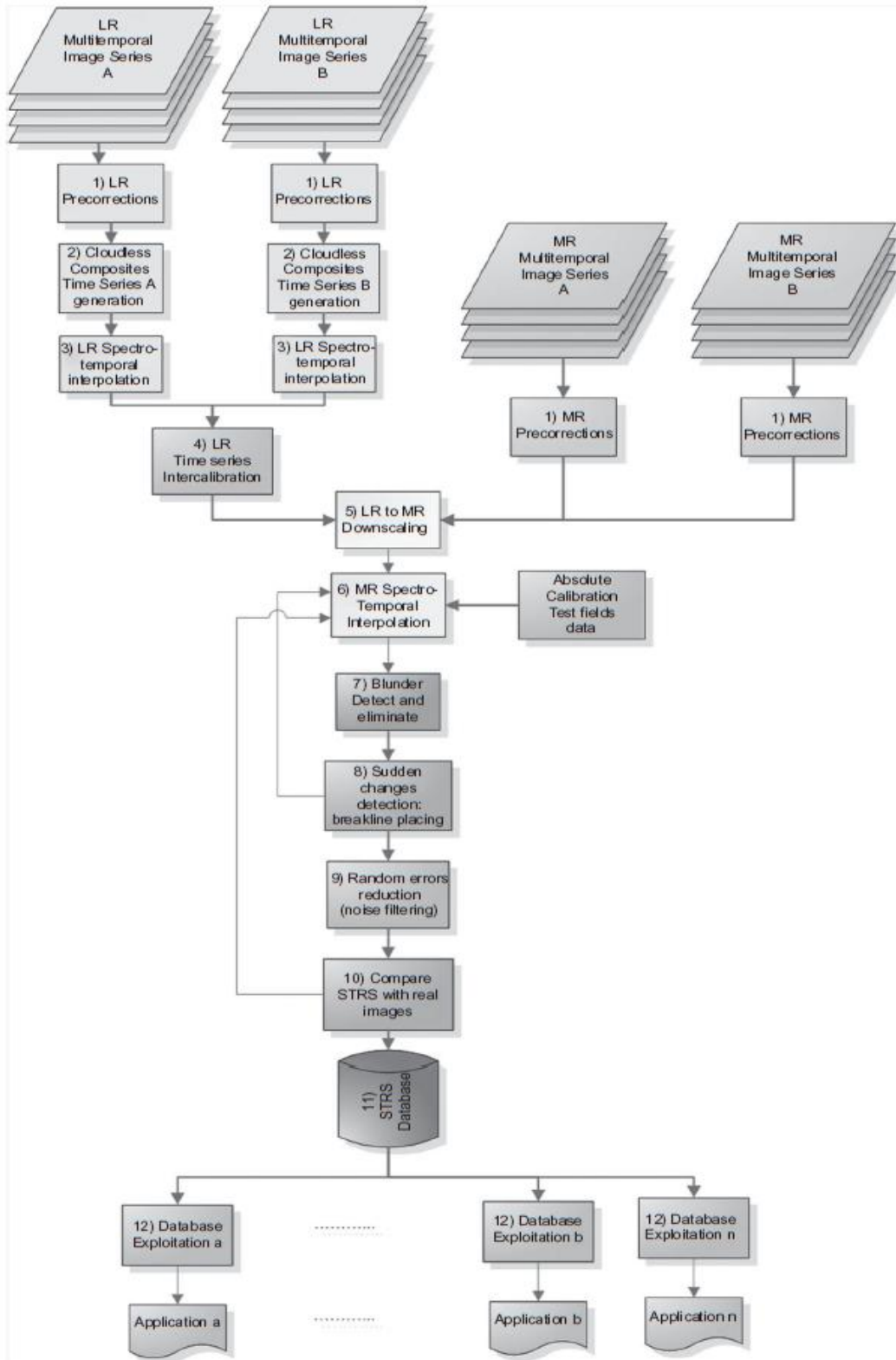
Η τελευταία συνάρτηση καλείται 'φασματο-χρονική επιφάνειας ανακλαστικότητας' (**spectro-temporal reflectance surface – STRS**) του GC. Κάθε απεικόνιση μιας συγκεκριμένης εδαφοψηφίδας (GC) σε μια εικόνα, αποτελεί ένα σημείο της επιφάνειας STRS για κάθε φασματικό κανάλι της εικόνας. Διαφορετικές εικόνες από διαφορετικές χρονικές στιγμές, αποτελούν διαφορετικά σημεία της ίδιας επιφάνειας, ακόμη κι αν προέρχονται από διαφορετικούς αισθητήρες.

Στόχος της μελέτης των Villa et al. (2012) αποτέλεσε ο υπολογισμός ή η 'ανακατασκευή' μιας τέτοιας επιφάνειας, όσο το δυνατόν ακριβέστερα, για κάθε GC στην περιοχή μελέτη, χρησιμοποιώντας ένα περιορισμένο αριθμό γνωστών σημείων σε αυτό (καθένα σημείο αντιστοιχεί σε μία εμφάνιση του GC σε μία εικόνα). Η εικόνα 2-4, δείχνει τις επιφάνειες STRS για δύο GCs (εδοφοψηφίδες), υπολογισμένες με εφαρμογή φασματο-χρονικής παρεμβολής κάνοντας χρήση της μεθόδου 'ελάχιστης καμπυλότητας' (*minimum curvature*) σε μια σειρά 22 σκηνών του Landsat 5 TM μεταξύ των ημερών 45 και 324 του έτους 2009, στην επικαλυπτόμενη περιοχή των path/row 199-33 και 200-33. Το πρώτο GC βρίσκεται μέσα σε αρδευόμενο γεωτεμάχιο με καλλιέργεια καλαμποκιών και με υψηλή βλαστική δραστηριότητα το καλοκαίρι (είναι φανερή η υψηλή ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο (NIR) κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού). Το δεύτερο GC είναι μέσα σε αρδευόμενο γεωτεμάχιο με τριφύλλι, με υψηλή βλαστική δραστηριότητα γύρω από τις μέρες 50, 175 και 300 και δύο συγκομιδές ή 'κοψίματα' κατά τη διάρκεια της περιόδου. Οι δύο τρόποι αναπαράστασης των STRS είναι: (1) ως εικόνα και (2) ως επιφάνεια. Η αναπαράσταση της φασματο-χρονική επιφάνειας ανακλαστικότητας – STRS ως επιφάνεια είναι χρήσιμη όταν εφαρμόζονται παρεμβολές, ανίχνευση σφαλμάτων και άλλες λειτουργίες, ενώ ως εικόνα είναι χρήσιμη όταν εφαρμόζονται τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας όπως η αποθήκευση, η συμπίεση, το φιλτράρισμα κ.λ.π.



Εικόνα 2-4 : Οπτικοποίηση των φασματο-χρονικών επιφανειών ανακλαστικότητας (STRs) 2 εδαφοψηφίδων (GCs) : (a) μέσα σε γεωτεμάχιο με καλαμπόκια και (b) μέσα σε γεωτεμάχιο με τριφύλλι. Η αναπαράσταση των STRs γίνεται με δύο διαφορετικούς τρόπους: ως (i) εικόνα και ως (ii) επιφάνεια.

Για να είναι δυνατή η ακριβής ανασύνθεση/ανακατασκευή της φασματο-χρονικής επιφάνειας ανακλαστικότητας κάθε εδαφοψηφίδας/GC, πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε διαθέσιμη χρονοσειρά εικόνων χαμηλής χωρικής ανάλυσης (low resolution –LR) και μεσαίας χωρικής ανάλυσης (moderate resolution – MR). Το απλοποιημένο διάγραμμα της προτεινόμενης μεθοδολογίας για την δημιουργία και χρήση μιας βάσης δεδομένων STRS φαίνεται στην επόμενη εικόνα, για την περίπτωση 2 σειρών εικόνων χαμηλής χωρικής ανάλυσης (low resolution –LR) διαφορετικών αισθητήρων (π.χ. MODIS και MERIS) και 2 σειρών εικόνων μεσαίας ανάλυσης (moderate resolution – MR) διαφορετικών αισθητήρων (π.χ. Landsat TM και SPOT HRV).



Εικόνα 2-5: Σχήμα της διαδικασίας για την ανακατασκευή, αποθήκευση και χρήση της βάσης δεδομένων φασματοχρονικών επιφανειών ανακλαστικότητας (STRS).

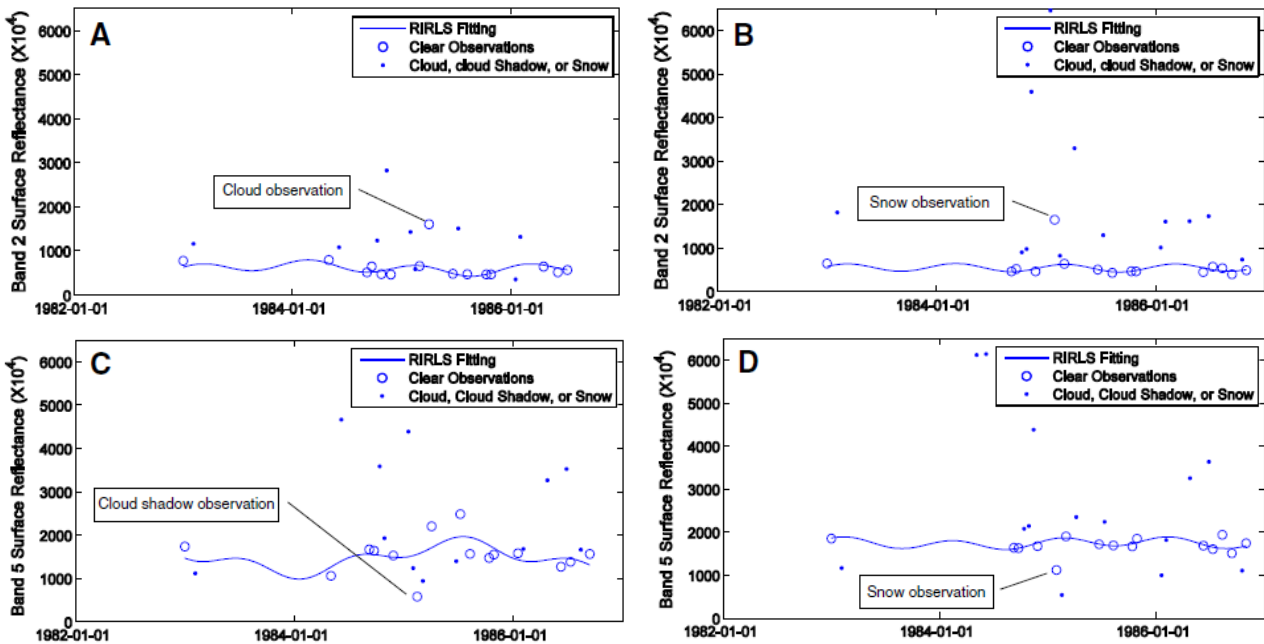
Σύμφωνα με τους Villa et al. (2012), η διαδικασία αυτή διευκολύνει τη δημιουργία χρήσιμων και 'εύχρηστων' προϊόντων, όπως καθαρά από νέφη μωσαϊκά μεγάλων περιοχών, για κάθε ακριβή ημερομηνία και για τα επιλεγμένα κανάλια, χρονοσειρές εικόνων χωρίς σύννεφα ανά ημέρα ή ανά εβδομάδα κ.ά., που μπορούν να αποτελέσουν είσοδο σε 'παραδοσιακούς' αλγόριθμους και διαδικασίες, όπως ταξινομήσεις κλπ. Νέα προϊόντα, όπως 'βίντεο εικόνων παρατήρησης της γης' θα επιτρέψουν νέους τρόπους αλληλεπίδρασης με δεδομένα τηλεπισκόπησης.

Ακόμη, στην ίδια μελέτη, επισημαίνεται ότι, για ιστορικές μελέτες τόσο σημαντικές όσο η εκτίμηση της κλιματικής αλλαγής, η παρακολούθηση της αποψίλωσης των δασών κ.ά., διαθέσιμα δεδομένα έχουν συλλεγεί από πολλούς διαφορετικούς αισθητήρες και υπάρχουν σε 'αρχαία' εικόνων. Πολλές από αυτές τις αρχειοθετημένες εικόνες δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ποτέ, εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού νεφοκάλυψης τους. Η προσέγγιση που προτείνεται στη μελέτη, αναφέρεται ότι έχει το πλεονέκτημα όλη αυτή η πληροφορία να καθίσταται χρησιμοποιήσιμη και γι'αυτό το λόγο τα διαχρονικά αρχεία δεδομένων πρέπει να κρατούν όλες τις εικόνες, ακόμα κι εκείνες με υψηλό ποσοστό κάλυψης από νέφη.

Στην έρευνα των **Zhu και Woodcock (2014)** πάνω στο συνεχή εντοπισμό αλλαγής και στην ταξινόμηση κάλυψης γης, αναφέρεται η ανάγκη εντοπισμού μικρών σε έκταση αλλαγών. Για το σκοπό αυτό χρειάζεται ένας αλγόριθμος, ο οποίος θα μπορεί να διαχειριστεί ικανοποιητικής χωρικής ανάλυσης δεδομένα, όπως αυτά της σειράς Landsat (30m) και να χρησιμοποιεί όσες παρατηρήσεις είναι απαραίτητες έτσι ώστε, να μπορεί να εντοπίζει την αλλαγή με ακρίβεια και ταχύτητα. Παρ'όλο που είναι σχετικά εύκολη η δημιουργία χαρτών κάλυψης γης από τηλεπισκοπικά δεδομένα, είναι δύσκολο αυτοί να είναι ακριβείς. Χρησιμοποιώντας διαχρονικά δεδομένα, η ακρίβεια αυτών βελτιώνεται (Carrao, Goncalves, & Caetano, 2008; Guerschman, Paruelo, Bella, Giallorenzi, & Pacin, 2003; Wolter et al., 1995; Zhu, Woodcock, Rogan, & Kellndorfer, 2012), ιδιαίτερα όσον αφορά τη βλάστηση, λόγω των μοναδικών φαινολογικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα διαφορετικά είδη βλάστησης (Γαλανάκης Δ.).

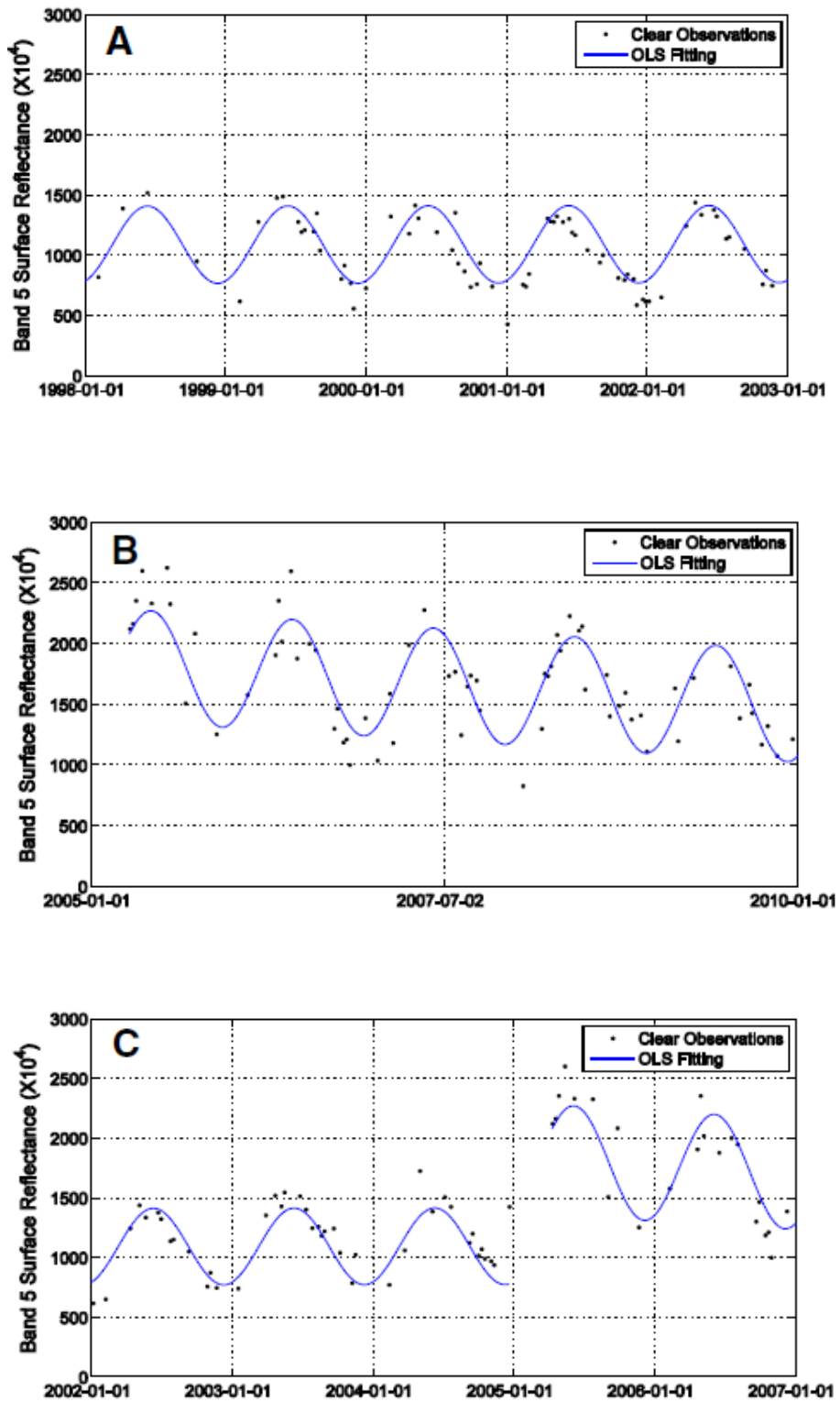
Χρησιμοποιώντας όλα τα διαθέσιμα TM/ETM+ δεδομένα από τους Landsat 4, 5 και 7, οι Zhu & Woodcock (2014), ανέπτυξαν ένα νέο αλγόριθμο Συνεχούς Εντοπισμού Αλλαγής και Ταξινόμησης (**Continuous Change Detection and Classification – CCDC**). Ο όρος συνεχής αναφέρεται στην ικανότητα του αλγόριθμου να εντοπίζει αλλαγή κάλυψης γης με κάθε νέα εικόνα Landsat που λαμβάνεται σαν είσοδος στον αλγόριθμο. Στις εικόνες που χρησιμοποιούνται, τα σύννεφα, οι σκιές τους και το χιόνι φιλτράρονται αρχικά με τη χρήση του αλγόριθμου Fmask. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δεν είναι απόλυτα ακριβής, γι' αυτό το λόγο, ο CCDC αλγόριθμος εφαρμόζει ένα δεύτερο βήμα που βασίζεται σε διαχρονική ανάλυση δεδομένων Landsat με σκοπό να εντοπίσει τα εναπομείναντα σφάλματα, που δεν εντόπισε ο αλγόριθμος Fmask. Με αυτή την προσέγγιση, εκτιμάται ένα μοντέλο χρονοσειρών βασισμένο στις "καθαρές" παρατηρήσεις, οι οποίες έχουν αναγνωρισθεί προηγουμένως από τον αλγόριθμο Fmask και στη συνέχεια εντοπίζονται ακραίες τιμές, συγκρίνοντας τις εκτιμήσεις του μοντέλου και τις Landsat παρατηρήσεις.

Καθώς τα σύννεφα και το χιόνι εμφανίζονται φωτεινότερα στο κανάλι 2 ενώ οι σκιές νεφών και το χιόνι εμφανίζονται πιο σκούρα στο κανάλι 5, τα μοντέλα χρονοσειρών εκτιμώνται για αυτά τα δύο κανάλια (Zhu, Woodcock 2014). Συγκρίνοντας τις πραγματικές Landsat παρατηρήσεις με τις αντίστοιχες προβλέψεις του μοντέλου είναι σχετικά εύκολο να εντοπιστούν τα εναπομείναντα σύννεφα, οι σκιές τους, το χιόνι και άλλες εφήμερες αλλαγές (Σχήμα 2-1). Οι παρατηρήσεις που ξεχωρίζουν χαρακτηρίζονται ως ακραίες και αφαιρούνται από την περαιτέρω ανάλυση(Γαλανάκης Δ.).



Σχήμα 2-1: Παραδείγματα από παρατηρήσεις σύννεφου, νεφοσκίασης και χιονιού, τα οποία ξεχωρίζουν στα διαχρονικά δεδομένα. Οι παρατηρήσεις που απεικονίζονται ως κύκλοι είναι αυτές που χαρακτηρίζονται ως “καθαρές” από τον αλγόριθμο *Fmask* ενώ αυτές που επισημαίνονται πρόκειται για παρατηρήσεις οι οποίες έχουν εντοπιστεί από την ανάλυση χρονοσειρών ως ακραίες τιμές

Όσον αφορά την αλλαγή στην επιφάνεια της γης, αυτή μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες (Zhu, Woodcock 2014): (1) ενδο – ετήσια αλλαγή (Σχήμα 2-2 α), η οποία προκαλείται από την φαινολογία της βλάστησης λόγω των εποχικών προτύπων και άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως η θερμοκρασία και τα κατακρημνίσματα, (2) σταδιακή/βαθμιαία μεταξύ των ετών αλλαγή (Σχήμα 2-2 β), η οποία προκαλείται από τη μεταβλητότητα του κλίματος, την αύξηση της βλάστησης, την σταδιακή αλλαγή στην διαχείριση της γης ή τον υποβιβασμό της γης, (3) απότομη αλλαγή (Σχήμα 2-2 γ), η οποία μπορεί να προκαλείται από αποψίλωση των δασών, πλημμύρες, πυρκαγιά, επιδημίες εντόμων, αστικοποίηση και διάφορους άλλους παράγοντες.



Σχήμα 2-2: Τρεις κατηγορίες αλλαγής κάλυψης γης παρουσιάζονται για το εγγύς υπέρυθρο κανάλι σε τιμές ανακλαστικότητας επιφάνειας (α) ενδο-ετήσια αλλαγή (ή εποχικότητα) (β) βαθμιαία μεταξύ των ετών αλλαγή (ή τάση) (γ) απότομη αλλαγή

Συμπερασματικά, χρησιμοποιώντας την προσέγγιση των Zhu και Woodcock (2014), η οποία μπορεί να λαμβάνει υπόψη όλα τα διαθέσιμα δεδομένα Landsat, είναι εφικτή η ανακατασκευή και μοντελοποίηση της ιστορικής επιφάνειας της γης για όλη την εποχή των Landsat TM και ETM+. Τα μοντέλα τα οποία εκτιμώνται από ημίτονα και συνημίτονα μπορούν να προβλέπουν παρατηρήσεις Landsat για κάθε ημερομηνία υποθέτοντας ότι δεν έχει επέλθει αλλαγή. Ο CCDC αλγόριθμος που ανέπτυξαν εντοπίζει αλλαγές από την διαφοροποίηση των αντίστοιχων προβλεπόμενων και παρατηρούμενων Landsat δεδομένων. Επίσης τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του αλγόριθμου κατάφεραν καθολική ακρίβεια 90.2%. **Πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου αλγορίθμου** είναι η πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία του και η δυνατότητα να εντοπίζει πολλών ειδών αλλαγές κάλυψης γης από εικόνες Landsat, με το που γίνονται διαθέσιμες. Επίσης δεν χρησιμοποιούνται εμπειρικά ή παγκόσμια κατώφλια για τον εντοπισμό αλλαγής. Αντιθέτως, τα κατώφλια που χρησιμοποιούνται παράγονται από τα αυθεντικά δεδομένα και τις αντίστοιχες προβλέψεις του μοντέλου, επομένως είναι ξεχωριστά για κάθε μεμονωμένο εικονοστοιχείο. Ακόμη, ένα σημαντικό προτέρημα του CCDC αλγόριθμου είναι το ότι δεν απαιτείται σχετική κανονικοποίηση για κάθε εικόνα όπως σε πολλές άλλες μεθόδους (Huang et al., 2010; Kennedy et al., 2007), καθώς το μοντέλο χρονοσειρών ήδη περιλαμβάνει τις επιδράσεις της φαινολογίας και των διαφορών λόγω θέσης του ηλίου. **Περιορισμοί του συγκεκριμένου αλγορίθμου** αποτελούν το απαιτούμενο υπολογιστικό κόστος αλλά και ο μεγάλος αποθηκευτικός χώρος των δεδομένων. Τα παραπάνω αναφέρονται στο πλήθος των εικόνων αλλά και στην επεξεργασία κάθε νέας εικόνας που διατίθεται. Σημαντικό περιορισμό αποτελεί η ανάγκη του αλγόριθμου για υψηλής χρονικής συχνότητας καθαρές παρατηρήσεις. Επίσης, η υπόθεση ότι όλα τα είδη των αλλαγών κάλυψης γης μπορούν να εκφραστούν από τις ημιτονοειδείς μορφές των μοντέλων δεν είναι πάντα έγκυρη, κυρίως για είδη κάλυψης τα οποία παρουσιάζουν πιο πολύπλοκες ενδο-ετήσιες διαφοροποιήσεις, π.χ καλλιέργειες. Σύμφωνα με τους Arvidson et al (2006), τόσο ο συγκεκριμένος όπως και άλλοι αλγόριθμοι αυτής της μορφής μπορούν να βελτιωθούν όσο αυξάνεται η χρονική συχνότητα και διαθεσιμότητα εικόνων της μορφής Landsat(Γαλανάκης Δ.).

3

Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφεται η μεθοδολογική προσέγγιση που καταστρώθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Αρχικά, παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Στη συνέχεια, αναλύεται ο κώδικας που αναπτύχθηκε προκειμένου να αντληθούν τα δεδομένα από χρονοσειρές δορυφορικών εικόνων και τέλος, γίνεται παρουσίαση των βημάτων της επεξεργασίας των δεδομένων αυτών.

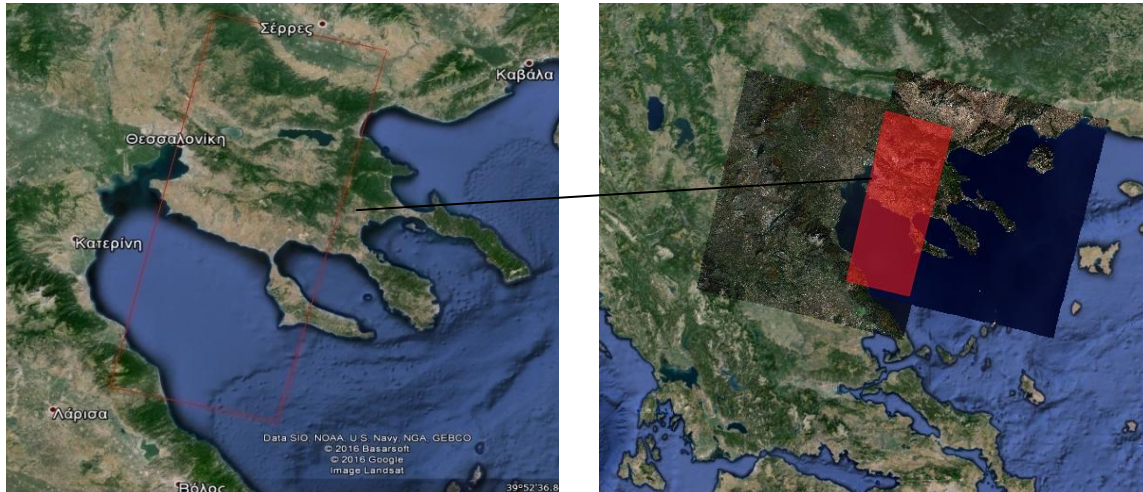
3.1 Περιοχή Μελέτης και Τηλεπισκοπικά Δεδομένα

Η περιοχή μελέτης η οποία επιλέχθηκε είναι η περιοχή που ορίζει το επικαλυπτόμενο τμήμα μεταξύ των δύο διαδρομών (**Paths**) **183** και **184** της σειράς (**Row**) **32** του Worldwide Reference System (WRS)-2. Οι δορυφόροι Landsat 8 και Landsat 7 ακολουθούν το WRS-2, όπως έκαναν και οι Landsat 5 και Landsat 4. Οι δορυφόροι¹ Landsat 1, Landsat 2 και Landsat 3 ακολουθούσαν το WRS-1.

Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε η περιοχή μελέτης να ταυτίζεται με το επικαλυπτόμενο τμήμα δύο διαδρομών των δορυφόρων είναι το γεγονός ότι, για την περιοχή του επικαλυπτόμενου, υπάρχει δορυφορική λήψη ανά 8 ημέρες και όχι ανά 16 ημέρες, που είναι ο ρυθμός επισκεψιμότητας του ίδιου σημείου για τους εν λειτουργία δορυφόρους της σειράς Landsat.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3-1), αριστερά απεικονίζεται η περιοχή μελέτης με κόκκινο περίγραμμα σε εικόνες Google και στην εικόνα δεξιά έχουν προστεθεί δύο φυσικά έγχρωμα σύνθετα εικόνων Landsat 8 για τα Path/Row : 184/032 και 183/032. Η περιοχή έχει περίπου εμβαδό 9.000 km² και καλύπτει τμήμα της κεντρικής Μακεδονίας, του Θερμαϊκού κόλπου κι ένα πολύ μικρό τμήμα της Θεσσαλίας. Στην περιοχή εντάσσονται η πόλη της Θεσσαλονίκης, τμήμα της χερσονήσου της Κασσάνδρας, της δυτικότερης της Χαλκιδικής, καθώς και οι λίμνες Βόλβη και Κορώνεια.

¹http://landsat.usgs.gov/worldwide_reference_system_WRS.php



Σχήμα 3-1: Η περιοχή μελέτης ως το επικαλυπτόμενο τμήμα των Path/Row: 183/032 και 184/032 του WRS-2.

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι όλες οι διαθέσιμες σκηνές **Surface Reflectance** (ανακλαστικότητας της επιφάνειας) των δορυφόρων **Landsat 4, Landsat 5, Landsat 7** και **Landsat 8**, μέχρι το τέλος του έτους 2015. Οι δορυφορικές σκηνές πάρθηκαν ελεύθερα από τον ιστοχώρο EarthExplorer², της γεωλογικής υπηρεσίας των Η.Π.Α. (USGS). Τα προϊόντα Surface Reflectance δεν είναι τα πρωτογενή/ακατέργαστα δορυφορικά δεδομένα αλλά παράγονται από εξειδικευμένο λογισμικό που ονομάζεται Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS). Το λογισμικό αυτό εφαρμόζει Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ρουτίνες ατμοσφαιρικής διόρθωσης σε δεδομένα Landsat επιπέδου-1 και καθιστά τα προϊόντα αυτά έτοιμα προς χρήση, χωρίς την ανάγκη προεπεξεργασίας τους.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των τηλεπισκοπικών δεκτών που χρησιμοποιήθηκαν.

Ο Θεματικός Χαρτογράφος των δορυφόρων Landsat 4 και Landsat 5 (Thematic Mapper, συντομογραφία TM) είναι πολυφασματικός σαρωτής με 7 κανάλια. Το μέγεθος του εικονοστοιχείου είναι 30m (μέτρα) εκτός από το κανάλι 6 (θερμικό κανάλι), στο οποίο το μέγεθος είναι 120 μέτρα. Μία εικόνα TM καλύπτει περίπου 184 km x 184 km επί του εδάφους.

Ο δέκτης του επόμενου δορυφόρου της σειράς, του Landsat 7, είναι ο Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος (Enhanced Thematic Mapper, συντομογραφία ETM) με 8 κανάλια. Έχει ένα επιπλέον κανάλι, το παγχρωματικό, με χωρική ανάλυση 15 μέτρα και τέσσερις φορές καλύτερη ανάλυση στο θερμικό υπέρυθρο κανάλι από τον TM δέκτη. Μία εικόνα ETM καλύπτει περίπου 183 km x 170 km επί του εδάφους.

Τέλος, ο πιο σύγχρονος δορυφόρος της σειράς Landsat, ο Landsat 8, φέρει δύο διαφορετικούς δέκτες, τον Operational Land Imager (OLI) και τον Thermal Infrared Sensor (TIRS), οι οποίοι αποτελούνται από 9 και 2 κανάλια αντίστοιχα. Τα φασματικά κανάλια του OLI έχουν επίσης 30m χωρική ανάλυση, όπως και οι προηγούμενοι δορυφόροι της σειράς, με εξαίρεση το παγχρωματικό κανάλι Band 8 (PAN), με χωρική διακριτική ικανότητα στα 15m. Το μέγεθος της σκηνής αυτού του δορυφόρου είναι 170 km x 185 km.

²<http://earthexplorer.usgs.gov/>

Στη συνέχεια του κειμένου, για λόγους συντομίας και αποφυγής της επανάληψης, τα δεδομένα των δορυφόρων **Landsat 4** και **Landsat 5** θα αναφέρονται και ως **TM**, ενώ τα δεδομένα του δορυφόρου **Landsat 7** θα αναφέρονται και ως **ETM** δεδομένα/(δορυφορικές) σκηνές.

Ακολουθούν εικόνες με τη φασματική ευαισθησία και τις εφαρμογές του κάθε καναλιού για τα όργανα καταγραφής των δορυφόρων που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, καθώς και διάγραμμα για τη σύγκριση των καναλιών των δορυφόρων Landsat 7 και Landsat 8 .

Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM) and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)

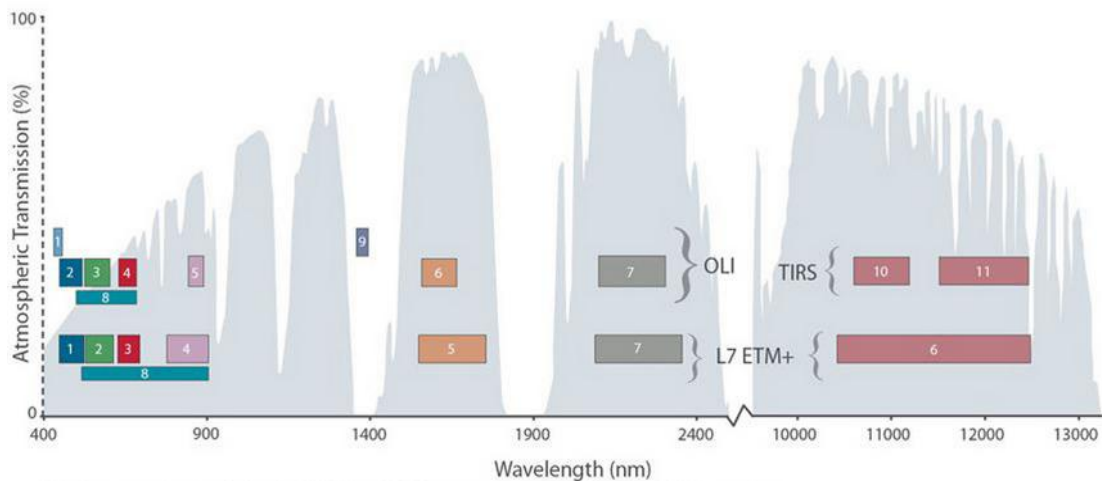
Band	Wavelength	Useful for mapping
Band 1 - blue	0.45 - 0.52	Bathymetric mapping, distinguishing soil from vegetation and deciduous from coniferous vegetation
Band 2 - green	0.52 - 0.60	Emphasizes peak vegetation, which is useful for assessing plant vigor
Band 3 - red	0.63 - 0.69	Discriminates vegetation slopes
Band 4 - Near Infrared	0.77 - 0.90	Emphasizes biomass content and shorelines
Band 5 - Short-wave Infrared	1.55 - 1.75	Discriminates moisture content of soil and vegetation; penetrates thin clouds
Band 6 - Thermal Infrared	10.40 - 12.50	Thermal mapping and estimated soil moisture
Band 7 - Short-wave Infrared	2.09 - 2.35	Hydrothermally altered rocks associated with mineral deposits
Band 8 - Panchromatic (Landsat 7 only)	0.52 - 0.90	15 meter resolution, sharper image definition

Εικόνα 3-1: Φασματικά κανάλια και εφαρμογές τους για τον Landsat TM και ETM+ (πηγή: http://landsat.usgs.gov/best_spectral_bands_to_use.php)

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)

Band	Wavelength	Useful for mapping
Band 1 - coastal aerosol	0.43 - 0.45	coastal and aerosol studies
Band 2 - blue	0.45 - 0.51	Bathymetric mapping, distinguishing soil from vegetation and deciduous from coniferous vegetation
Band 3 - green	0.53 - 0.59	Emphasizes peak vegetation, which is useful for assessing plant vigor
Band 4 - red	0.64 - 0.67	Discriminates vegetation slopes
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	Emphasizes biomass content and shorelines
Band 6 - Short-wave Infrared (SWIR) 1	1.57 - 1.65	Discriminates moisture content of soil and vegetation; penetrates thin clouds
Band 7 - Short-wave Infrared (SWIR) 2	2.11 - 2.29	Improved moisture content of soil and vegetation and thin cloud penetration
Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15 meter resolution, sharper image definition
Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	Improved detection of cirrus cloud contamination
Band 10 - TIRS 1	10.60 - 11.19	100 meter resolution, thermal mapping and estimated soil moisture
Band 11 - TIRS 2	11.5 - 12.51	100 meter resolution, Improved thermal mapping and estimated soil moisture

Εικόνα 3-2: Φασματικά κανάλια και εφαρμογές τους για τους δέκτες του Landsat 8 (πηγή: http://landsat.usgs.gov/best_spectral_bands_to_use.php)



Διάγραμμα 3-1: Σύγκριση καναλιών των δορυφόρων Landsat 7 και Landsat 8
(πηγή: http://landsar.usgs.gov/lcsm_vs_previous.php)

Ακολουθεί η περιγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών των τηλεπισκοπικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.

Τα δεδομένα που λαμβάνονται από τη διαδικτυακή υπηρεσία της USGS είναι συμπιεσμένα αρχεία gz (".tar.gz"), τα οποία συμπιεσμένα καταλαμβάνουν 1GB και ασυμπιεστα περίπου 2GB. Δεδομένου ότι, η συνήθης μέγιστη χωρητικότητα του σκληρού δίσκου ενός απλού προσωπικού υπολογιστή, επί το πλείστον, κυμαίνεται μεταξύ 500 GB και 1 TB και ο αριθμός των εικόνων που λήφθηκαν για την παρούσα εργασία είναι 731 στο σύνολο, γίνεται αντιληπτή η δυσκολία που υπάρχει στη διαχείριση ενός τέτοιου όγκου δεδομένων.

Κάθε αρχείο δορυφορικής σκηνής περιέχει μία εικόνα 16-bit για κάθε κανάλι σε φορμάτ GeoTIFF (φορμάτ με γεωαναφορά), δύο 8-bit εικόνες, μία με το αποτέλεσμα του αλγόριθμου *Fmask* και μία με το αποτέλεσμα του αλγόριθμου *cloud* καθώς και το αρχείο, σε *xml* φορμάτ, με τα μεταδεδομένα (metadata) για κάθε επιμέρους αρχείο/εικόνα που περιέχεται στο gz αρχείο. Ακόμη, κάθε τέτοιο αρχείο από τη συλλογή δεδομένων των δορυφόρων Landsat 4, Landsat 5 και Landsat 7, περιέχει επιπλέον αρχεία, τα οποία όμως δεν αποτέλεσαν αντικείμενο επεξεργασίας της παρούσας μελέτης.

Ενδεικτικά, για ένα τυχαίο gzip αρχείο από τα δεδομένα Landsat 7, όλα τα περιεχόμενα αρχεία είναι τα εξής:

1. [LE71830322010296ASN00_cfmask.tif](#)
2. [LE71830322010296ASN00_cfmask_conf.tif](#)
3. [LE71830322010296ASN00_sr_adjacent_cloud_qa.tif](#)
4. [LE71830322010296ASN00_sr_atmos_opacity.tif](#)
5. [LE71830322010296ASN00_sr_band1.tif](#)
6. [LE71830322010296ASN00_sr_band2.tif](#)
7. [LE71830322010296ASN00_sr_band3.tif](#)
8. [LE71830322010296ASN00_sr_band4.tif](#)
9. [LE71830322010296ASN00_sr_band5.tif](#)
10. [LE71830322010296ASN00_sr_band7.tif](#)
11. [LE71830322010296ASN00_sr_cloud_qa.tif](#)
12. [LE71830322010296ASN00_sr_cloud_shadow_qa.tif](#)
13. [LE71830322010296ASN00_sr_ddv_qa.tif](#)
14. [LE71830322010296ASN00_sr_fill_qa.tif](#)
15. [LE71830322010296ASN00_sr_land_water_qa.tif](#)
16. [LE71830322010296ASN00_sr_snow_qa.tif](#)

Στην παρούσα εργασία, από κάθε αρχείο δορυφορικής σκηνής τα αρχεία που ενδιέφεραν και αποτέλεσαν αντικείμενο επεξεργασίας είναι τα αντίστοιχα των παραπάνω, με αριθμούς **1, 5, 6, 7, 8, 9** και **10**.

Ο αλγόριθμος Fmask ταξινομεί τα εικονοστοιχεία κάθε δορυφορικής σκηνής σε 5 κατηγορίες, δημιουργώντας μια εικόνα (τη cfmask) με 5 συνολικά διαφορετικές τιμές για ολόκληρη τη δορυφορική σκηνή. Αυτές οι κατηγορίες διαχωρίζουν την εικόνα σε εικονοστοιχεία καθαρά από νέφη και σκιά (clear), εικονοστοιχεία σε νερό (water), εικονοστοιχεία σε σκιά νέφους (cloud shadow), εικονοστοιχεία σε πάγο/χιόνι (ice/snow) και εικονοστοιχεία σε νέφη (cloud). Στον επόμενο πίνακα αντιστοιχίζονται οι τιμές της cfmask εικόνας με τη φυσική ερμηνεία τους.

Pixel Value	Interpretation
255	Fill
0	Clear
1	Water
2	Cloud shadow
3	Snow
4	Cloud

Εικόνα 3-3: Επεξήγηση τιμών της εικόνας cfmask
(πηγή: http://landsat.usgs.gov/documents/provisional_l8sr_product_guide.pdf)

Ένα χαρακτηριστικό των αρχείων gzip και των περιεχομένων τους είναι ότι, το φορμάτ του ονόματος τους είναι σταθερό για όλα τα αρχεία και περιέχει κάποιες πληροφορίες γι' αυτά. Πιο συγκεκριμένα, οι 3 πρώτοι χαρακτήρες του ονόματος του αρχείου δηλώνουν το δορυφόρο της σειράς Landsat από τον οποίο προέρχεται η λήψη (*LC8* για τον Landsat 8, *LE7* για τον Landsat 7, *LT5* για τον Landsat 5 και *LT4* για τον Landsat 4). Τα επόμενα 6 ψηφία αφορούν το path/row της σκηνής, όπου στην περίπτωση του παραπάνω αρχείου πρόκειται για το path: 183 και το row: 032 του συστήματος του δορυφόρου. Στη συνέχεια, τα επόμενα 7 ψηφία αφορούν την ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε η δορυφορική λήψη. Συγκεκριμένα, τα 4 πρώτα ψηφία δηλώνουν τη χρονολογία και τα αμέσως επόμενα 3 ψηφία την ημέρα του χρόνου (Day of Year – DOY) της λήψης. Για το παραπάνω αρχείο που χρησιμοποιείται ως παράδειγμα, η δορυφορική λήψη έχει πραγματοποιηθεί την 296^η ημέρα του έτους 2010.

3.2 Επιλογή των Σημείων και Κατηγοριών Κάλυψης/Χρήσης Γης

Στην παρούσα μελέτη, σε αντίθεση με τις μέχρι τώρα συνήθεις πρακτικές σε αντίστοιχες έρευνες, όπου χρησιμοποιούνται πολύγωνα περιοχών(Γαλανάκης Δ.), χρησιμοποιήθηκαν μεμονωμένα σημεία (*points*) για κάθε κατηγορία κάλυψης/χρήσης γης. Στην περιοχή μελέτης, μετά από διαδικασία φωτοερμηνείας τόσο σε έγχρωμο σύνθετο εικόνων Landsat όσο και σε εικόνες Google Maps, επιλέχθηκαν αρχικά 269 σημεία συνολικά, τα οποία ανήκουν σε 16 διαφορετικές κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης (LULC) (Πίνακας 3-1). Ωστόσο, όπως περιγράφεται αναλυτικά στην ενότητα 3.4, μετά από επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων χρονοσειρών, οι κατηγορίες αυτές τροποποιήθηκαν, κάποιες διαγράφηκαν λόγω μεγάλης φασματικής ετερογένειας των σημείων τους, ενώ κάποιες άλλες διασπάστηκαν σε μικρότερες. Τελικά προέκυψαν οι υποκατηγορίες LULC που παρουσιάζει ο πίνακας 3-2. Στο συγκεκριμένο πίνακα οι υποκατηγορίες έχουν ομαδοποιηθεί σε πιο γενικές κατηγορίες. Εφόσον κάθε κατηγορία αντιπροσωπεύεται από σημεία, μειώθηκε και ο συνολικός αριθμός των σημείων της μελέτης.

Η διαδικασία για την επιλογή των σημείων πραγματοποιήθηκε στο ελεύθερο και ανοιχτού κώδικα λογισμικό QGIS. Η δημιουργία έγχρωμου σύνθετου στο συγκεκριμένο GIS (Geographic Information System) λογισμικό, στην έκδοση QGIS 2.12, γίνεται από το μενού Raster/Miscellaneous/Build Virtual Raster, ενώ για τη φωτοερμηνεία σε Google εικόνες έγινε χρήση του πρόσθετου (plugin) OpenLayers του λογισμικού από το μενού Web/OpenLayers plugin/Google Maps/Google Satellite. Ως οδηγός για την επιλογή και ονοματολογία των κατηγοριών κάλυψης γης χρησιμοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση του προγράμματος CORINE Land Cover (CLC) (Εικόνα 3-4).

Κατηγορία		Κωδικός Σημείων
1	Μεικτό Δάσος	1 - 20
2	Δάσος Κωνοφόρων	21 - 33
3	Θάμνοι και Χερσότοποι	34 - 60
4	Φυσιικοί Βοσκότοποι	61 - 84
5	Αμπελώνες	85 - 97
6	Μη Αρδευόμενη Αρώσιμη Γη	98 - 110
7	Βαθιά Εσωτερικά Ύδατα	111 - 120
8	Ρηχά Εσωτερικά Ύδατα	121 - 144
9	Συνεχής Αστικός Ιστός	145 - 156
10	Ασυνεχής Αστικός Ιστός	157 - 187
11	Χώροι Εξορύξεως Ορυκτών	188 - 206
12	Οπωροφόρα Δέντρα	207 - 220
13	Μόνιμα Αρδευόμενη Γη	221 - 237
14	Παραλίες με άμμο	238 - 246
15	Ρηχά Θαλάσσια Ύδατα	247 - 259
16	Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα	260 - 269

Πίνακας 3-1: Αρχικές κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης και κωδικοί των σημείων που ανήκουν σε αυτές (πριν την ανάλυση των δεδομένων)





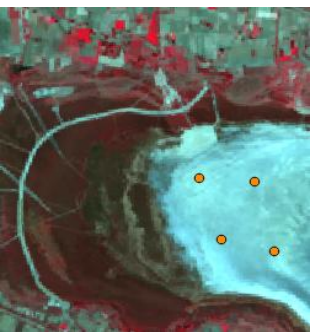


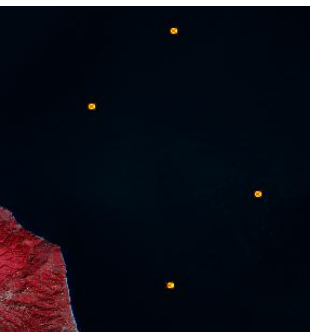

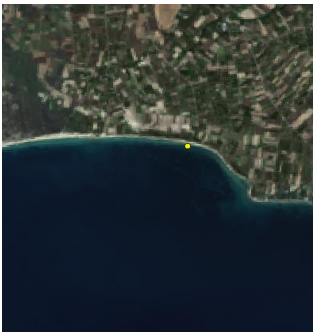

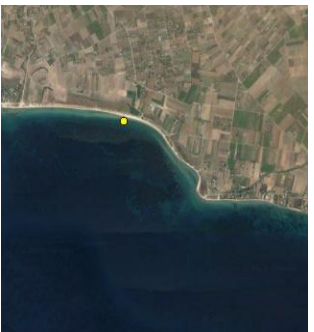
Κατηγορία	Υποκατηγορία
Inland waters	Deep inland waters
	Shallow inland waters
Marine waters	Deep Sea
	Coastal
Artificial surfaces	Continuous urban fabric
	Discontinuous urban fabric
Forests	Forest 1
	Forest 2
	Coniferous forest
Agricultural areas	Fruit trees
	Non-irrigated arable land
	Vineyards
Shrub and grassland	Natural grassland
	Moors and heathland
	Sand beaches

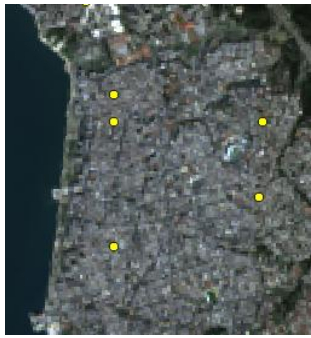
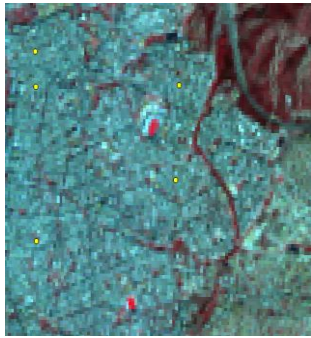

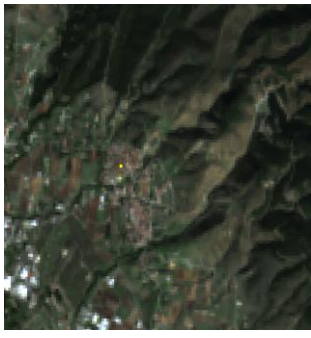
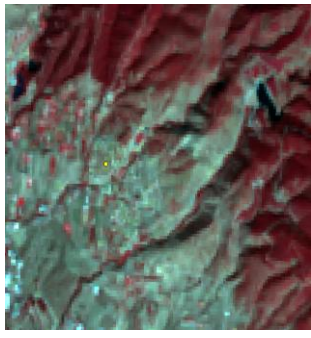


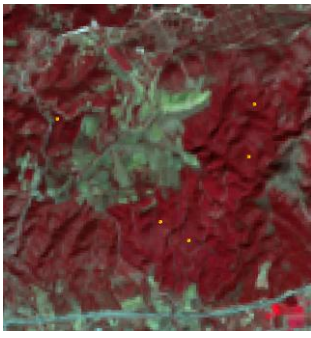

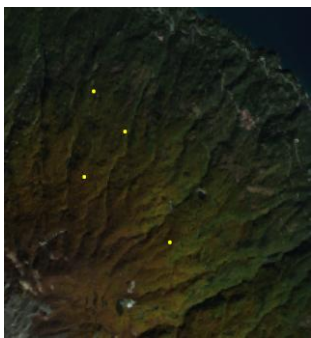
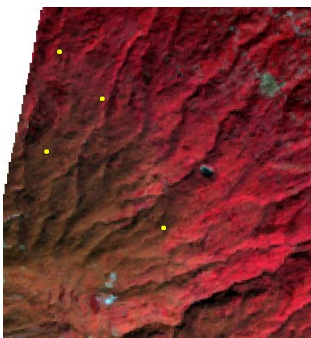
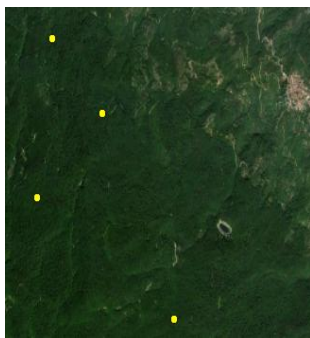
Πίνακας 3-2: Τελικές κατηγορίες και υποκατηγορίες κάλυψης γης, όπως προέκυψαν μετά την ανάλυση των δεδομένων


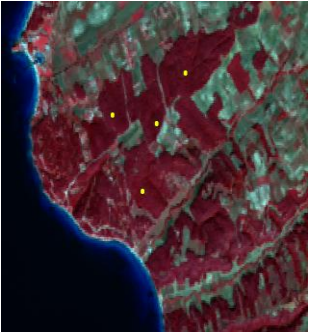

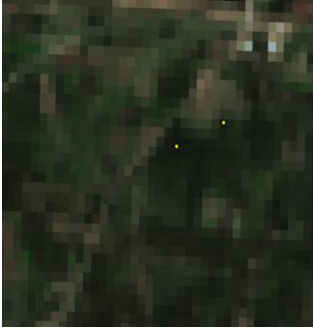
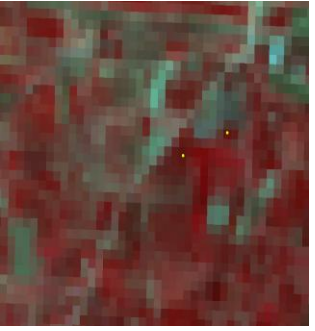
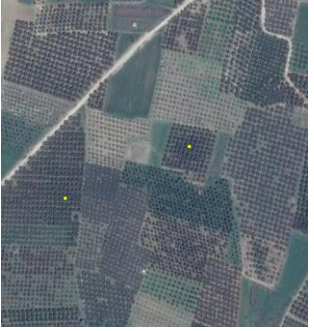
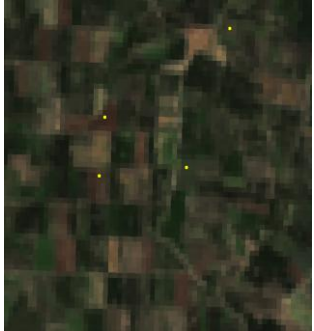
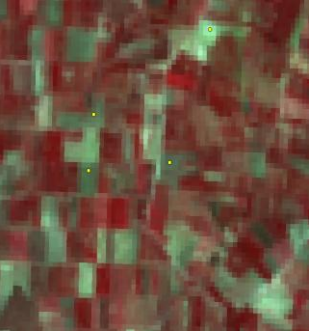

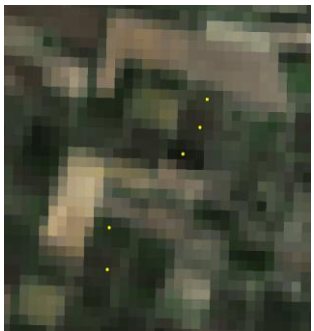
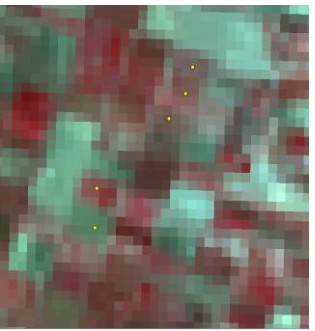



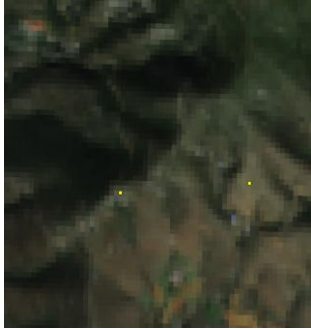
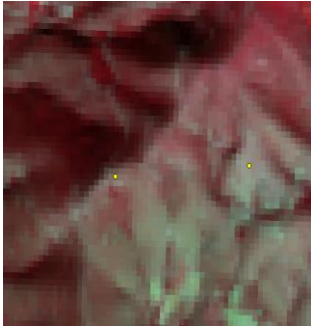

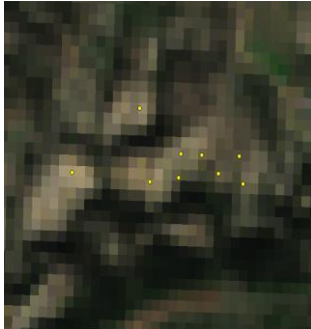
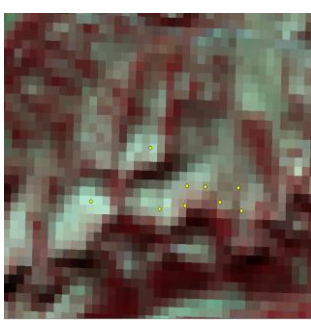
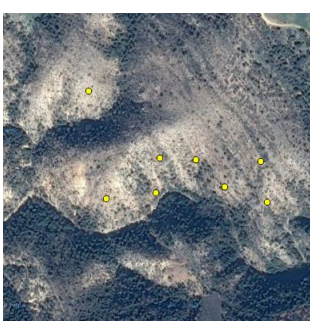
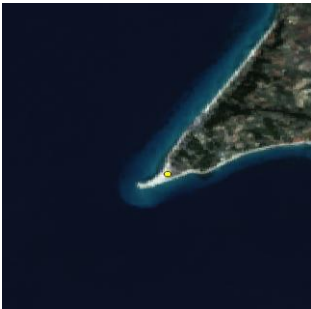

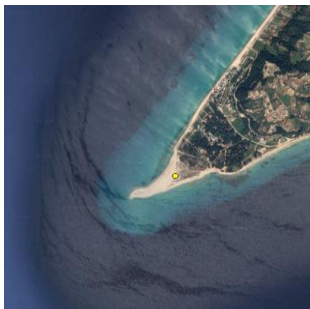
Εικόνα 3-4: Οι 44 κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης του προγράμματος CORINE Land Cover

Το σχήμα 3-2 παρουσιάζει παραδείγματα αυτών των σημείων για κάθε υποκατηγορία του πίνακα 3-2, σε έγχρωμα σύνθετα 4-3-2 και 5-4-3 εικόνων Landsat 8, καθώς και σε εικόνες Google Maps. Να σημειωθεί ότι, επειδή το κανάλι 1 του δορυφόρου Landsat 8 αντιστοιχεί στο coastal aerosol, το μπλε κανάλι του δορυφόρου είναι το κανάλι 2 και όχι το κανάλι 1, όπως ισχύει για τους προηγούμενους της σειράς δορυφόρων Landsat. Επομένως, το φυσικό έγχρωμο σύνθετο για τον Landsat 8 είναι το RGB: 4-3-2.

	Υποκατηγορία	RGB 432 Landsat 8	RGB 543 Landsat 8	Google Maps
Inland Waters	Deep inland waters			
	Shallow inland waters			
Marine Waters	Deep sea			
	Coastal			

Artificial Surfaces	Continuous urban fabric			
	Discontinuous urban fabric			
Forests	Forest 1			
	Forest 2			

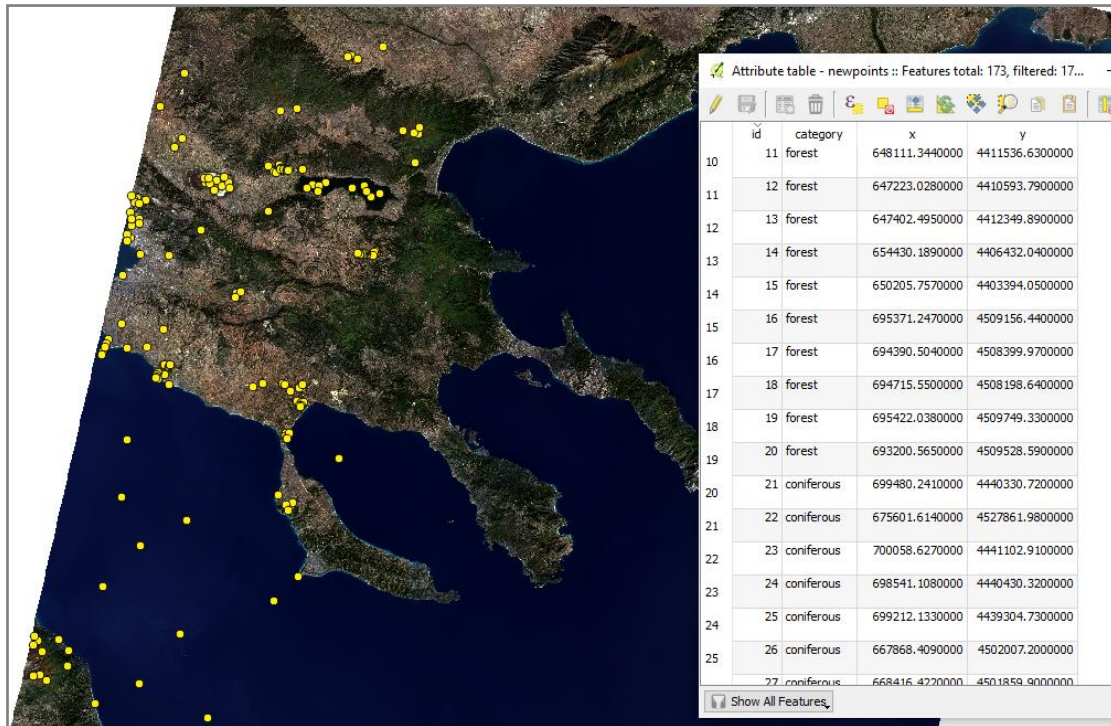
	<p>Coniferous forest</p>			
<p>Agricultural Areas</p>	<p>Fruit trees</p>			
	<p>Non-irrigated arable land</p>			
	<p>Vineyards</p>			

Shrub and grassland	Natural grassland			
	Moors and heathland			
	Sand beaches			

Σχήμα 3-2: Παραδείγματα σημείων για κάθε υποκατηγορία LULC της μελέτης, σε φυσικό και 5-4-3 έγχρωμο σύνθετο εικόνων Landsat 8 και σε εικόνες Google Maps

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την περιοχή μελέτης με τα τελικά σημεία, μετά την ανάλυση των δεδομένων, καθώς και απόσπασμα από τον πίνακα χαρακτηριστικών τους στο λογισμικό QGIS.

Οι συντεταγμένες και ο κωδικός των επιλεγέντων σημείων αποθηκεύτηκαν σε αρχείο μορμής CSV (Comma Separated Values) ('.csv'), το οποίο αποτέλεσε είσοδο για τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε και ο οποίος περιγράφεται στην ενότητα που ακολουθεί.



Εικόνα 3-5: Τα τελικά σημεία που έχουν επιλεγεί και ο πίνακας χαρακτηριστικών τους στο λογισμικό QGIS

3.3 Ανάπτυξη Αλγόριθμου Εξόρυξης Χρονοσειρών από Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται ο κώδικας που αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python³. Το πρόγραμμα που δημιουργήθηκε έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας αρχείων μεγάλου όγκου από χρονοσειρές τηλεπισκοπικών δεδομένων, καθώς και τη δυνατότητα να αντλεί δεδομένα από τις συγκεκριμένες χρονοσειρές για πλήθος συντεταγμένων σημείων της γήινης επιφάνειας. Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθεί ότι, τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν βρίσκονται στο server “Erato” του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης της σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ. Στο server αυτό συλλέγονται, προεπεξεργάζονται και αρχειοθετούνται, με αυτοματοποιημένες διαδικασίες, τηλεπισκοπικά δεδομένα από διάφορους δορυφορικούς δέκτες. Η αρχειοθέτηση ακολουθεί σταθερό πρότυπο για όλα τα δεδομένα και γίνεται με βάση : το δορυφόρο /τις σταθερές σκηνές που συλλέγει αυτός /το έτος λήψης /το μήνα λήψης. Συνέπεια αυτού είναι να υπάρχει ένα μοναδικό μονοπάτι στο δίσκο του server για κάθε δορυφορική σκηνή, που διαμορφώνεται ως εξής: **/data/Satellite/path_row/year/month/acquisition/(εικόνες σε μορμάτ tiff που περιλαμβάνει κάθε αρχείο δορυφορικής σκηνής).**

Ο κώδικας που αναπτύχθηκε, σχεδιάστηκε προσαρμοσμένος στη δενδρική μορφή οργάνωσης των δεδομένων η οποία φαίνεται παραπάνω(Γαλανάκης Δ.). Ακολουθεί μια συνοπτική επεξήγηση του κώδικα που παρατίθεται στο Παράρτημα II με τίτλο “Κώδικας για την Εξόρυξη Χρονοσειρών Σημείων

³ <https://www.python.org/>

από *Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων σε γλώσσα Python*". Αυτό το αρχείο Python αποτελεί το κυρίως τμήμα του προγράμματος, μέσα από το οποίο καλούνται τα άλλα δύο αρχεία : "extract_pix_val.py" και "mainfunction.py", που το καθένα αφορά και μία συνάρτηση με το αντίστοιχο όνομα. Να σημειωθεί ότι, οι συναρτήσεις είναι επαναχρησιμοποιήσιμα μέρη προγραμμάτων, μέσω των οποίων ένα σύνολο εντολών μπορεί να εκτελείται πολλές φορές σπουδήποτε στο πρόγραμμα, χρησιμοποιώντας το όνομα που έχει δοθεί στη συνάρτηση. Οι κώδικες των συναρτήσεων παρατίθενται επίσης στο Παράρτημα II.

Επεξήγηση κώδικα (Παράρτημα II)

- Στις γραμμές 40-41 του κώδικα, με τίτλο "Κώδικας για την Εξόρυξη Χρονοσειρών Σημείων από Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων σε γλώσσα Python", καλούνται να εκτελεστούν τα αρχεία 'extract_pix_val.py' και 'mainfunction.py' που περιέχουν συναρτήσεις.
 - Η συνάρτηση με όνομα *extract_pix_val* υπολογίζει από τις συντεταγμένες ενός σημείου τη θέση του πάνω στην εικόνα και επιστρέφει την τιμή του εικονοστοιχείου σε εκείνη τη θέση.
 - Η συνάρτηση με όνομα *mainfunction*, όπως δηλώνει και το όνομα της, είναι η κύρια συνάρτηση του προγράμματος, μέσα από την οποία καλείται και η προηγούμενη συνάρτηση *extract_pix_val*. Η κύρια αυτή συνάρτηση με όνομα *mainfunction*, δέχεται ως παράμετρο ένα αρχείο εικόνας (το 'gzip' αρχείο αποσυμπιεσμένο) και εξάγει τις επιθυμητές πληροφορίες που ενυπάρχουν στο όνομα κάθε τέτοιου αρχείου, όπως έχει ήδη περιγραφεί (π.χ. ο δορυφόρος, η ημερομηνία λήψης, το κανάλι της εικόνας κ.ά.). Ακόμη, με τη χρήση της βιβλιοθήκης *gdal*, 'διαβάζονται' η γεωαναφορά και οι διαστάσεις της εικόνας καθώς και οι τιμές των εικονοστοιχείων της, ενώ παράλληλα υπολογίζεται το ποσοστό των "καθαρών" εικονοστοιχείων (με τιμή 0 ή 1) κάθε *cfmask* εικόνας. Τέλος, με την κλήση της συνάρτησης με όνομα *extract_pix_val*, για τα σημεία που περιέχονται στο αρχείο εισόδου ('.csv'), εξάγονται οι τιμές των αντίστοιχων εικονοστοιχείων από κάθε εικόνα της βάσης δεδομένων.
- Στη γραμμή 44 καθορίζεται το επιθυμητό Path-Row του δορυφόρου και στην αμέσως επόμενη γραμμή πραγματοποιείται η δήλωση του μονοπατιού (path) του υπολογιστή στο οποίο βρίσκονται τα δορυφορικά δεδομένα. Αυτές οι δύο γραμμές του κώδικα πρέπει να τροποποιούνται ανάλογα με το δορυφορικό δέκτη και το path-row που επιλέγεται να μελετηθούν.
- Στη συνέχεια, οι γραμμές 48-60 αποτελούν το τμήμα του προγράμματος με το οποίο γίνεται η περιήγηση στους υποφακέλους του συστήματος στο οποίο βρίσκονται αποθηκευμένα τα επιθυμητά δεδομένα.
- Στις γραμμές του κώδικα από 68 έως 71, γίνεται η δήλωση του μονοπατιού του υπολογιστή στο οποίο έχει αποθηκευτεί το αρχείο εισόδου ("csv") με τις συντεταγμένες των σημείων που έχουν επιλεγεί. Στις αμέσως επόμενες γραμμές, μέχρι τη γραμμή 80, πραγματοποιείται το "διάβασμα" όλων των στοιχείων του αρχείου εισόδου, εν προκειμένω, ο κωδικός και οι συντεταγμένες κάθε σημείου στο σύστημα των εικόνων.
- Τέλος, στις γραμμές 103-143, 'καλείται' η συνάρτηση *mainfunction* για κάθε εικόνα που έχει βρεθεί στο σύστημα του υπολογιστή και έχει αποθηκευτεί σε μια λίστα βάσει του καναλιού του δέκτη που αφορά η εικόνα. Μέσω της συνάρτησης αυτής, συλλέγονται όλα τα επιθυμητά στοιχεία, τα οποία στη συνέχεια εγγράφονται γραμμή-γραμμή στο αρχείο εξόδου, επίσης, φορμάτ CSV.

Το κυρίως αρχείο κώδικα (*script*) Python εκτελέστηκε 6 φορές συνολικά, δύο φορές (μία για το path-row: 183-32 και μία για το 184-32) σε κάθε ένα από τα τρία σετ δεδομένων : **TM**, **ETM** και **Landsat 8**. Επομένως, προέκυψαν έξι διαφορετικά αρχεία τύπου CSV, κάθε γραμμή των οποίων αποτελεί και μια ξεχωριστή παρατήρηση για κάποιο σημείο που έχει επιλεγεί στην περιοχή μελέτης. Απόσπασμα από ένα τέτοιο αρχείο εξόδου είναι η παρακάτω εικόνα.

Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	
1	pid	x	y	fid	year	doy	month	day	%clear	cfmask	band1	band2	band3	band4	band5	band7
2	0	675995.73	4531543.39	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	4	4059	3963	3974	4669	2328	1835
3	1	723642.81	4516935.02	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	4	1802	1751	1808	2640	1718	1149
4	2	722592.4	4517046.17	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	255	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999
5	3	723731.19	4518170.07	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	4	2226	2188	2342	3350	2393	1825
6	4	720499.95	4517384.14	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	4	3370	3302	3434	4283	3905	3559
7	5	723041.57	4510991.28	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	4	5094	4991	5112	5815	4974	4725
8	6	693527.87	4500279.9	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	4	2790	2840	2870	3637	3364	2716
9	7	679864.32	4496143.72	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	1	246	168	171	338	231	121
10	8	648590.27	4404516.97	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	255	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999
11	9	647270.11	4404180.14	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	4	640	514	408	714	271	125
12	10	649130.34	4409279.93	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	4	1280	1263	1293	2206	834	578
13	11	648111.34	4411536.63	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	255	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999
14	12	647223.03	4410593.8	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	255	3045	3056	3156	3714	3375	3600
15	13	647402.5	4412349.9	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	255	636	668	650	1328	1099	578
16	14	654430.19	4406432.04	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	0	241	106	93	359	303	160
17	15	650205.76	4403394.05	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	255	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999
18	16	695371.25	4509156.45	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	255	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999
19	17	694390.5	4508399.97	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	255	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999
20	18	694715.55	4508198.64	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	255	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999
21	19	695427.04	4508740.23	LE71830322004056ASN01	2004	056	2	25	5.478	4	1673	1711	1714	2322	2661	2052

Εικόνα 3-6: Απόσπασμα αρχείου τύπου CSV, όπως προκύπτει ως έξοδος μετά την εκτέλεση του κώδικα σε python

Τα πεδία (οι στήλες) κάθε τέτοιου αρχείου, όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, για τα σετ δεδομένων TM και ETM είναι, με σειρά, τα εξής :

- **pid** (Point id) : ο κωδικός που έχει αποδοθεί στο σημείο
- **x** : η συντεταγμένη x του σημείου στο σύστημα της εικόνας
- **y** : η συντεταγμένη y του σημείου στο σύστημα της εικόνας
- **fid** (File id) : το όνομα του αρχείου/εικόνας
- **year** : η χρονολογία λήψης της δορυφορικής σκηνής
- **doy** (Day Of Year) : η ημέρα του έτους λήψης της σκηνής
- **month** : ο μήνας της ημερομηνίας λήψης
- **day** : η ημέρα του μήνα της ημερομηνίας λήψης
- **%clear** : το ποσοστό των καθαρών εικονοστοιχείων της εικόνας cfmask για τη Landsat σκηνή
- **cfmask** : η τιμή που έχει η εικόνα cfmask στο συγκεκριμένο σημείο
- **band1** : η τιμή ανακλαστικότητας του σημείου στο κανάλι 1
- **band2** : η τιμή ανακλαστικότητας του σημείου στο κανάλι 2
- **band3** : η τιμή ανακλαστικότητας του σημείου στο κανάλι 3
- **band4** : η τιμή ανακλαστικότητας του σημείου στο κανάλι 4
- **band5** : η τιμή ανακλαστικότητας του σημείου στο κανάλι 5
- **band7** : η τιμή ανακλαστικότητας του σημείου στο κανάλι 7

Για το αντίστοιχο αρχείο που αφορά τα Landsat 8 δεδομένα, υπάρχει ένα επιπλέον πεδίο (μία επιπλέον στήλη), για το κανάλι 6 του δέκτη OLI (**band6**).

3.4 Επεξεργασία και Ανάλυση Δεδομένων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία και ανάλυση του αρχικού όγκου των δεδομένων. Ως αρχικά δεδομένα για τη μετέπειτα ανάλυση θεωρούνται οι εγγραφές των αρχείων φορμάτ CSV, που προέκυψαν ως έξοδος από τον κώδικα (*python script*) που αναπτύχθηκε.

Στο σημείο αυτό, κρίνεται αναγκαίο να γίνουν κάποιες επισημάνσεις. Κατ' αρχάς, οι διαδικασίες επεξεργασίας που θα περιγραφούν στην ενότητα αυτή, πραγματοποιήθηκαν, εκτός εάν δηλώνεται διαφορετικά, ξεχωριστά για τα εξής 3 σετ δεδομένων :

- σετ δεδομένων/παρατηρήσεων TM των δορυφόρων Landsat 4 - 5
- σετ δεδομένων/παρατηρήσεων ETM από τον Landsat 7 και
- σετ για τις παρατηρήσεις από τον Landsat 8.

Ακόμη, στην ανάλυση των δεδομένων TM και ETM, έγινε χρήση των καναλιών Band1-blue μέχρι και το κανάλι (Band) 7, εκτός του καναλιού 6 (θερμικό), ενώ στην ανάλυση των Landsat 8 δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν τα κανάλια από Band 2–blue έως και Band7-Short-wave Infrared (SWIR) 2.

Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων καθώς και η δημιουργία των διαγραμμάτων πραγματοποιήθηκε μέσω σύνταξης κώδικα στο λογισμικό Matlab, ενώ έγινε χρήση και του λογισμικού Microsoft Office Excel. Αντίστοιχο του Excel, ελεύθερο λογισμικό που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είναι το LibreOffice Calc.

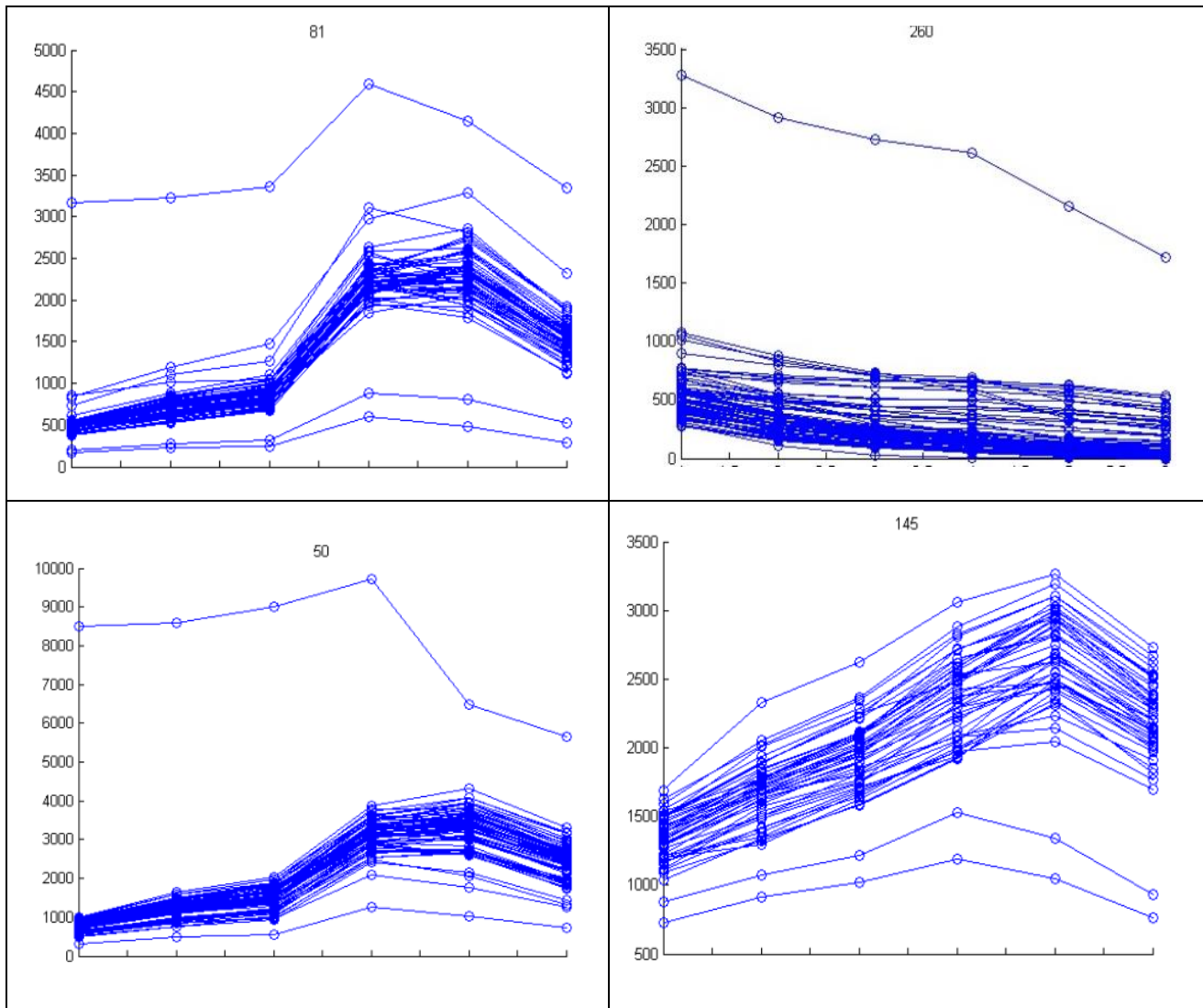
Σε πρώτο στάδιο, κάθε CSV αρχείο, προκειμένου να καταστεί διαχειρίσιμο, αποθηκεύτηκε σε μορφή αρχείου excel. Ενοποιήθηκαν τα δεδομένα για κάθε δορυφόρο από κάθε path-row και προκύπτουν 3 διαφορετικά αρχεία, ένα για κάθε σετ δεδομένων.

Το πρώτο και αναγκαίο βήμα της ανάλυσης είναι να κρατηθούν από το σύνολο των παρατηρήσεων εκείνες που είναι αξιοποιήσιμες. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε ένα πρώτο φιλτράρισμα των δεδομένων, ώστε να απαλειφθούν οι εγγραφές που ο αλγόριθμος *Fmask* έχει αναγνωρίσει ως σκιά, χιόνι ή σύννεφο και να παραμείνουν οι “καθαρές”. Με τον όρο “καθαρά εικονοστοιχεία” (ή καθαρές παρατηρήσεις/εγγραφές) εννοούνται εκείνα στα οποία η *cfmask* εικόνα έχει τιμή 0 (clear) ή 1 (water). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται εύκολα σε διάφορα προγράμματα (πχ., Matlab, Excel), όπου επιλέγεται από τη στήλη «*cfmask*» να διατηρηθούν μόνο οι τιμές 0 και 1, οι οποίες αντιστοιχούν στις κατηγορίες clear και water αντίστοιχα.

Στη συνέχεια, οι “καθαρές” αυτές εγγραφές αποτέλεσαν είσοδο για τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε στο περιβάλλον Matlab, με στόχο την περαιτέρω επεξεργασία και οπτικοποίηση των δεδομένων χρονοσειρών. Τμήμα του κώδικα παρατίθενται στο Παράρτημα II με τίτλο ‘*Κώδικας για την επεξεργασία αρχείου παρατηρήσεων χρονοσειρών σε γλώσσα Matlab*’. Συγκεκριμένα, με σκοπό τη διερεύνηση κατά πόσο οι παρατηρήσεις των σημείων που απέμειναν είναι πραγματικά απαλλαγμένες από επιδράσεις στην ανακλαστικότητα που προκαλούνται από το χιόνι, τα σύννεφα και τις σκιές τους, για καθένα από τα 269 αρχικά σημεία, δημιουργήθηκε το αντίστοιχο διάγραμμα με τις φασματικές υπογραφές όλων των παρατηρήσεων του.

Στο σχήμα 3-3, παρουσιάζονται ενδεικτικά τέτοια γραφήματα για τέσσερα τυχαία σημεία της μελέτης. Ο κάθετος άξονας αναφέρεται σε τιμές ανακλαστικότητας επιφάνειας και κάθε γραμμή στο διάγραμμα αντιστοιχεί σε μία παρατήρηση (διαφορετική ημερομηνία) του σημείου. Ο κάθε κύκλος κάθε γραμμής

αντιστοιχεί σε ένα φασματικό κανάλι. Συγκεκριμένα, ο πρώτος κύκλος, πάνω στον γ-άξονα, αντιστοιχεί στο κανάλι 1, ο δεύτερος κύκλος στο κανάλι 2 και ούτω καθεξής μέχρι το κανάλι 7. Παραλείπεται το κανάλι 6 αν πρόκειται για διαγράμματα από δεδομένα TM ή ETM, καθώς είναι το θερμικό κανάλι, ενώ στα διαγράμματα από δεδομένα Landsat 8, οι κύκλοι κάθε γραμμής είναι με τη σειρά τα Band 2 έως Band 7.



Σχήμα 3-3: Γραφήματα με τις φασματικές υπογραφές από τις παρατηρήσεις του Landsat 8 για τέσσερα επιλεγμένα σημεία με κωδικούς 81-260-50-145, των κατηγοριών “Φυσικοί Βοσκότοποι”, “Βαθιά Θαλάσσια Υδάτα”, “Θάμνοι και Χερσότοποι” και “Συνεχής Αστικός Ιστός” αντίστοιχα.

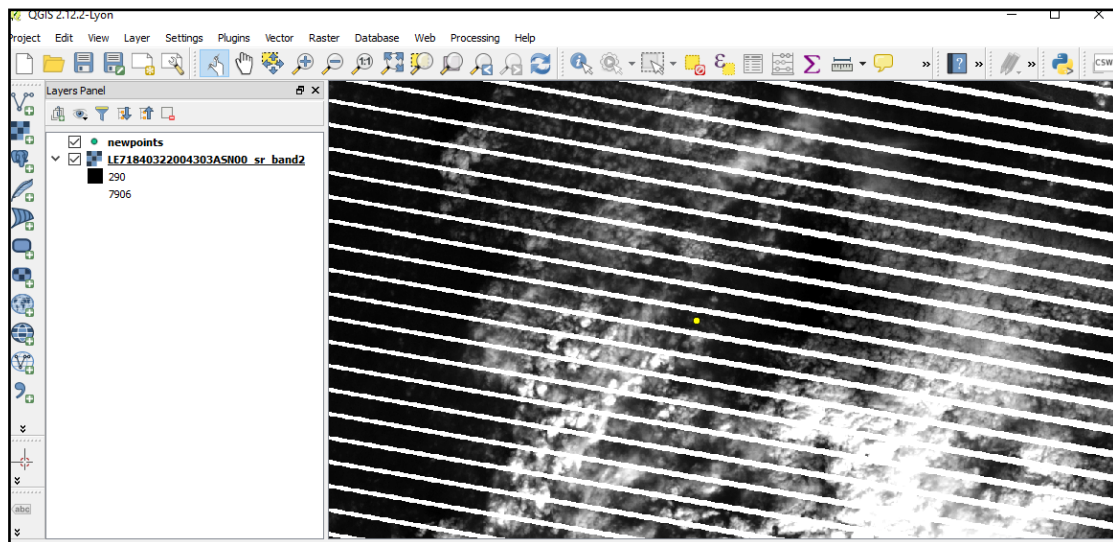
Μία χρησιμότητα της συγκεκριμένης μορφής διαγραμμάτων του παραπάνω σχήματος είναι η ανάδειξη των παρατηρήσεων κάθε σημείου οι οποίες διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από τις υπόλοιπες. Σε πολλές

από τις ακραίες αυτές τιμές των σημείων έγινε ο έλεγχος για να διαπιστωθεί αν πρόκειται για εναπομένοντα θόρυβο στις παρατηρήσεις. Ως εναπομένων θόρυβος στις παρατηρήσεις μπορεί να θεωρηθεί η φωτεινότητα που προκαλούν σύννεφα ή χιόνι είτε οι χαμηλές τιμές που προκαλούνται από την επίδραση σκιών των νεφών.

Ενδεικτικά, στην εικόνα 3-7, που είναι απόσπασμα από το αρχείο με τα δεδομένα ETM, παρατηρείται ότι για το σημείο 260 της κατηγορίας 'Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα', αντί της τιμής 1 (water), έχει αποδοθεί από τον αλγόριθμο *Fmask* η τιμή 0 (στήλη: *cfmask*). Επίσης, για τη συγκεκριμένη παρατήρηση του σημείου που φαίνεται με χρώμα στην επόμενη εικόνα, οι τιμές ανακλαστικότητας είναι αισθητά μεγαλύτερες, σε σχέση με τις προηγούμενες και επόμενες εγγραφές που αφορούν το ίδιο σημείο, γεγονός που μάλλον υποδηλώνει την ύπαρξη σύννεφου.

pid	x	y	fid	year	doy	month	day	%clear	cfmask	band1	band2	band3	band4	band5	band7
260	665704,9	4452964,7	LE71840322004191ASN01	2004	191	7	9	99,872	1	671	519	466	464	346	325
260	665704,9	4452964,7	LE71840322004207EDC01	2004	207	7	25	80,996	1	572	385	267	220	128	120
260	665704,9	4452964,7	LE71830322004216ASN03	2004	216	8	3	94,976	1	503	290	207	155	45	91
260	665704,9	4452964,7	LE71840322004255ASN01	2004	255	9	11	54,714	1	454	267	168	163	85	58
260	665704,9	4452964,7	LE71830322004296ASN00	2004	296	10	22	57,064	1	541	285	50	35	4	-31
260	665704,9	4452964,7	LE71840322004303ASN00	2004	303	10	29	56,525	0	2207	2018	2011	2069	2238	1862
260	665704,9	4452964,7	LE71830322004328ASN00	2004	328	11	23	86,939	1	452	263	171	91	69	36
260	665704,9	4452964,7	LE71830322004360ASN00	2004	360	12	25	94,376	1	533	355	147	116	80	43
260	665704,9	4452964,7	LE71830322005042ASN00	2005	42	2	11	68,665	1	479	283	199	90	89	101
260	665704,9	4452964,7	LE71840322005049ASN00	2005	49	2	18	72,71	1	604	366	257	190	128	86
260	665704,9	4452964,7	LE71830322005058ASN00	2005	58	2	27	85,468	1	386	211	140	60	69	28
260	665704,9	4452964,7	LE71840322005065ASN00	2005	65	3	6	78,256	1	328	132	45	73	25	76

Εικόνα 3-7: Απόσπασμα του αρχείου με τις παρατηρήσεις των σημείων από το Landsat 7 δορυφόρο. Με χρώμα τονίζεται μια εγγραφή για το σημείο 260 της κατηγορίας 'Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα', επηρεασμένη από σύννεφο



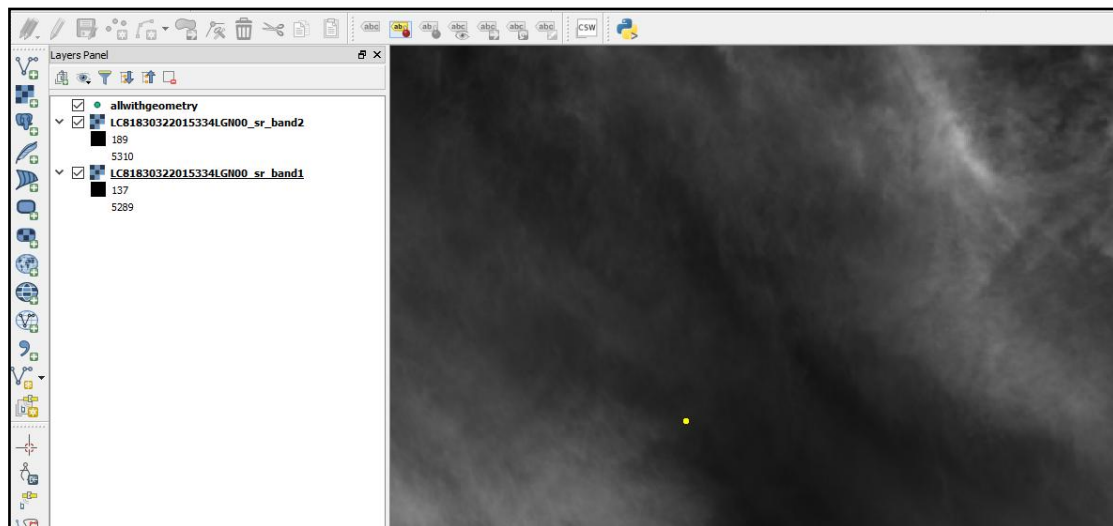
Εικόνα 3-8: Στιγμιότυπο από το λογισμικό QGIS για τον έλεγχο της εγγραφής της εικόνας 3-7

Ακολουθεί ένα ακόμη παράδειγμα για το ίδιο σημείο 260, από το αρχείο με τα αποτελέσματα που αφορούν το δορυφόρο Landsat 8 αυτή τη φορά. Στην εικόνα 3-9 που είναι απόσπασμα από το

αντίστοιχο αρχείο (για Landsat 8), φαίνεται ότι η cfmask εικόνα έχει τιμή 1, δηλαδή νερό, για το σημείο, ωστόσο, ο έλεγχος της συγκεκριμένης παρατήρησης στο QGIS έδειξε την ύπαρξη σύννεφου (Εικόνα 3-10).

pid	x	y	scene	year	day	month	day	clear%	cfmask	band2	band3	band4	band5	band6	band7
260	665704,85	4452964,74	LC81840322015277LGN00	2015	277	10	4	92,302	1	306	166	98	62	27	15
260	665704,85	4452964,74	LC81830322015286LGN00	2015	286	10	13	43,631	1	346	180	109	74	60	51
260	665704,85	4452964,74	LC81840322015309LGN00	2015	309	11	5	99,771	1	280	155	91	58	30	21
260	665704,85	4452964,74	LC81830322015318LGN00	2015	318	11	14	75,324	1	1055	821	704	655	548	390
260	665704,85	4452964,74	LC81830322015334LGN00	2015	334	11	30	11,673	1	899	794	724	693	485	444
260	665704,85	4452964,74	LC81840322015341LGN00	2015	341	12	7	69,191	1	515	356	274	229	135	114
260	665704,85	4452964,74	LC81840322015357LGN00	2015	357	12	23	98,193	1	325	205	110	68	15	13

Εικόνα 3-9: Απόσπασμα του αρχείου με τις παρατηρήσεις των σημείων από το Landsat 8 δορυφόρο. Με χρώμα τονίζεται μια εγγραφή για το σημείο 260 της κατηγορίας 'Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα', επηρεασμένη από σύννεφο

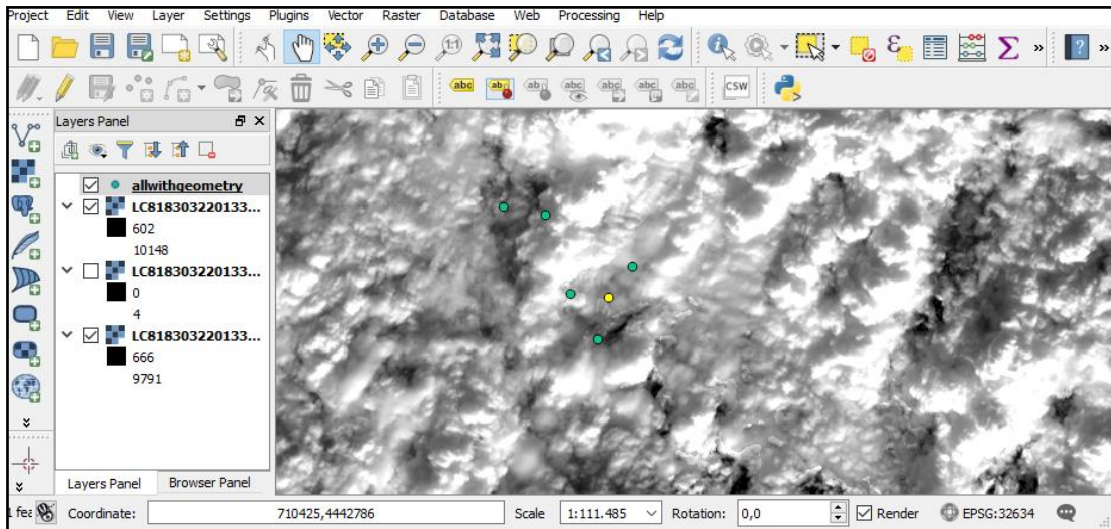


Εικόνα 3-10: Στιγμιότυπο από το λογισμικό QGIS για τον έλεγχο της εγγραφής της εικόνας 3-9

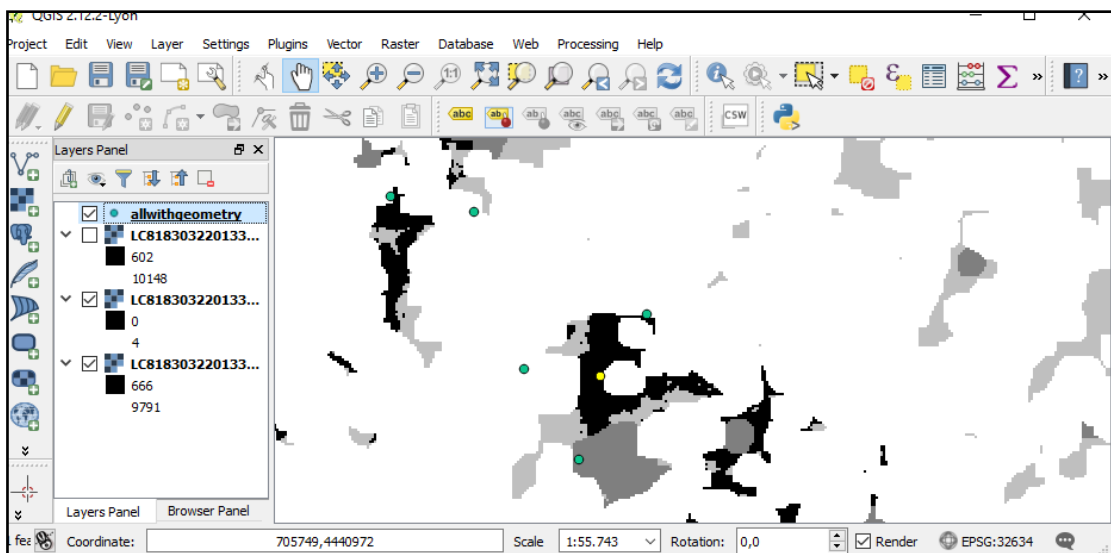
Το επόμενο παράδειγμα φανερώνει ότι, ο αλγόριθμος *Fmask*, δεν αποτυγχάνει μόνο στις πιο δύσκολες περιπτώσεις, που είτε πρόκειται για λεπτά νέφη ή για την περιοχή στα όρια των νεφών, όπως ίσως θα περίμενε κανείς, αλλά και στην περίπτωση ύπαρξης πυκνής νεφοκάλυψης. Έγινε έλεγχος για μια υψηλή τιμή ανακλαστικότητας (*surface reflectance*) του σημείου 21 της υποκατηγορίας 'Δάσος Κωνοφόρων' (Εικόνα 3-11), η οποία διαπιστώθηκε ότι οφείλεται σε πυκνή νεφοκάλυψη (Εικόνα 3-12). Στην εικόνα αυτή γίνεται φανερό ότι, λόγω της θέσης του ήλιου τη στιγμή της λήψης υπάρχουν σκιές στο νέφος. Η εικόνα 3-13 απεικονίζει το τμήμα της cfmask εικόνας για την ίδια περιοχή της εικόνας 3-12, όπου φάνηκε ότι, ο αλγόριθμος έχει ταξινομήσει λανθασμένα, το σύννεφο, σε εικονοστοιχεία με μαύρο χρώμα (καθαρά), με ανοιχτό γκρι χρώμα (σκιά) και με σκούρο γκρι (νερό).

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
pid	x	y	scene	year	month	day	clear%	cfmask	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7			
1175	21	699480,2	4440331	LC81830322013360LGN00	2013	360	12	26	26,165	0	5614	5620	5552	5625	5996	5272	4272	
1176	21	699480,2	4440331	LC81830322014043LGN00	2014	43	2	12	45,755	0	772	746	767	635	2044	996	592	
1177	21	699480,2	4440331	LC81840322013303LGN00	2013	303	10	30	73,041	0	698	694	759	600	1928	905	502	
1178	21	699480,2	4440331	LC81840322014114LGN00	2014	114	4	24	23,283	0	369	424	592	530	2007	1054	564	

Εικόνα 3-11: Απόσπασμα του αρχείου με τις παρατηρήσεις των σημείων από το Landsat 8 δορυφόρο. Με χρώμα τονίζεται μια εγγραφή για το σημείο 21 της κατηγορίας ‘Δάσος Κωνοφόρων’, επηρεασμένη από σύννεφο



Εικόνα 3-12: Στιγμιότυπο από το λογισμικό QGIS (εικόνα για το μπλε κανάλι) για τον έλεγχο της εγγραφής της εικόνας 3-11. Η κίτρινη κουκκίδα είναι το σημείο 21



Εικόνα 3-13: Στιγμιότυπο από το λογισμικό QGIS (cfmask εικόνα) για τον έλεγχο της εγγραφής της εικόνας 3-11. Η κίτρινη κουκκίδα είναι το σημείο 21

Παρά το γεγονός ότι, μετά το πρώτο βήμα της επεξεργασίας, δηλαδή το φιλτράρισμα βάσει του αλγόριθμου *Fmask*, οι εγγραφές των αρχείων αφορούσαν καθαρά εικονοστοιχεία, οι έλεγχοι που έγιναν, έδειξαν ότι απέμειναν παρατηρήσεις που είναι επηρεασμένες από σύννεφα ή σκιές. Το τελευταίο, ίσχυε για την πλειονότητα των σημείων της μελέτης, όπως έγινε φανερό από τα διαγράμματα της μορφής του παραπάνω σχήματος 3-3, με όλες τις φασματικές υπογραφές κάθε σημείου. Υπάρχει επομένως η ανάγκη απαλοιφής του εναπομένου θορύβου από τις παρατηρήσεις.

Στην κατεύθυνση αυτή, εφαρμόστηκε ένα κατώφλι στις τιμές ανακλαστικότητας επιφάνειας (surface reflectance) των σημείων. Σε κάθε αρχείο με τις διαχρονικές παρατηρήσεις ανακλαστικότητας επιφάνειας των σημείων/εικονοστοιχείων από κάθε δορυφόρο, για το σύνολο των παρατηρήσεων κάθε σημείου υπολογίζεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση σε κάθε κανάλι. Οι παρατηρήσεις εκείνες, που ταυτόχρονα στο **μπλε**, το **κόκκινο** και το **πράσινο** κανάλι, η τιμή είναι, είτε μεγαλύτερη από το άθροισμα του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης των τιμών του καναλιού, είτε μικρότερη από τη διαφορά του μέσου όρου (MEAN) και της τυπικής απόκλισης (STD –Standard Deviation) των τιμών του καναλιού, διαγράφονται. Σχηματικά, για κάθε παρατήρηση/εγγραφή του αρχείου που παρέμεινε, ίσχυαν και οι τρεις παρακάτω ανισότητες :

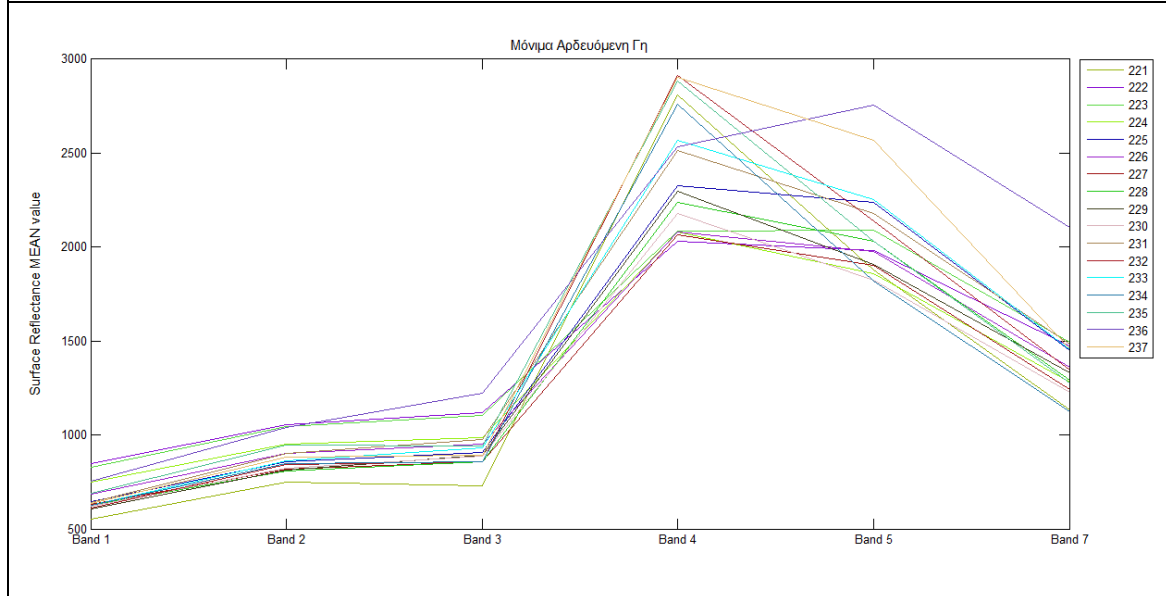
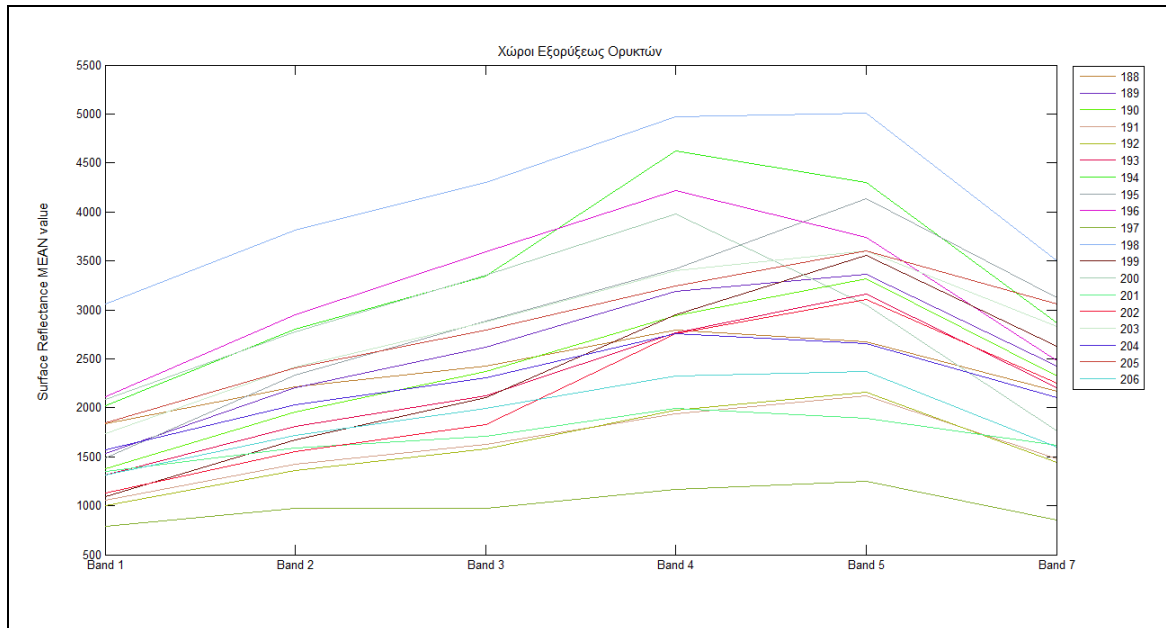
- $MEAN^{blue} - STD^{blue} < Blue\ Band\ SR < MEAN^{blue} + STD^{blue}$
- $MEAN^{red} - STD^{red} < Red\ Band\ SR < MEAN^{red} + STD^{red}$
- $MEAN^{green} - STD^{green} < Green\ Band\ SR < MEAN^{green} + STD^{green}$

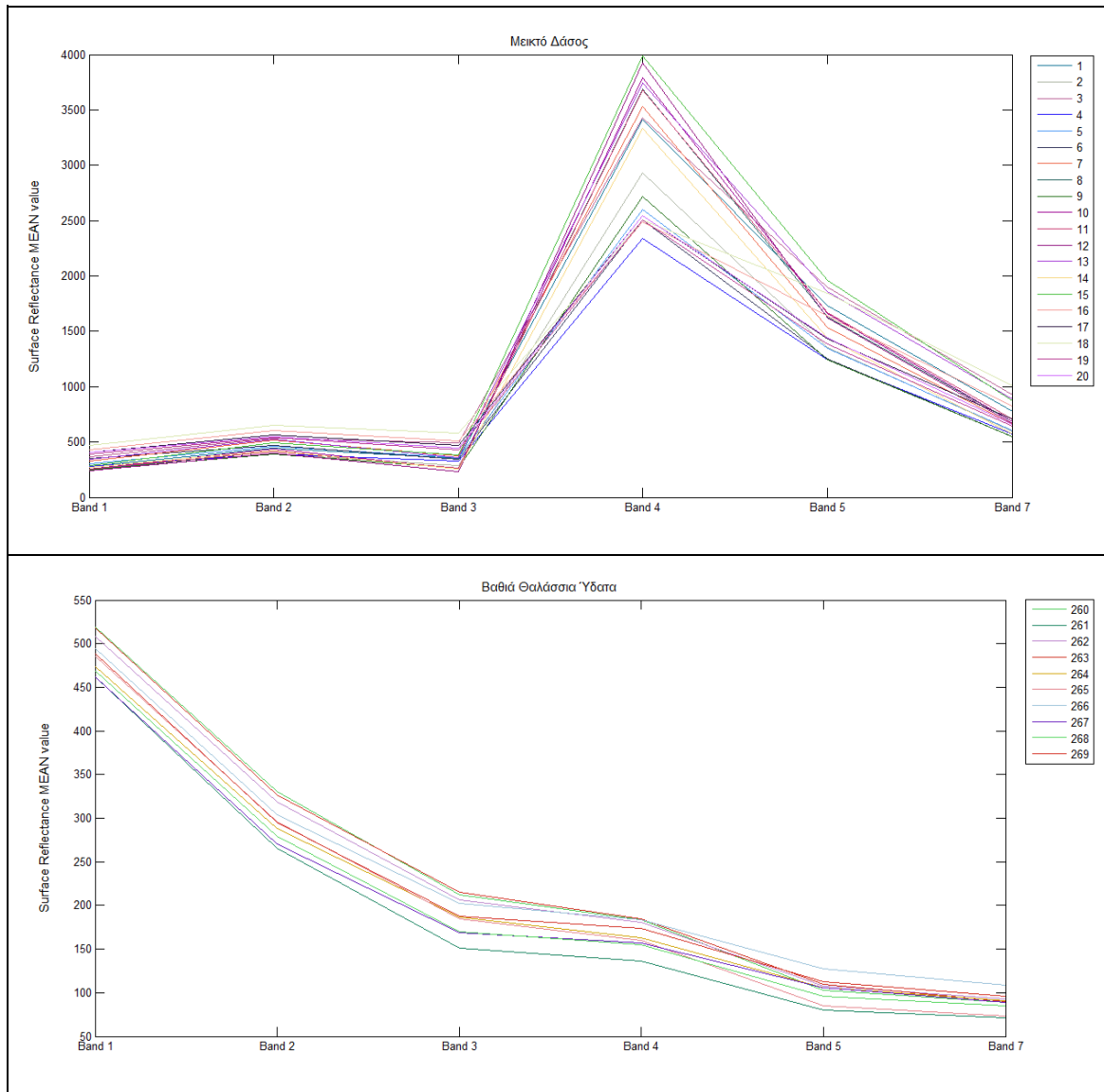
* *SR : Surface Reflectance*

Μετά τη διαγραφή των παρατηρήσεων που δεν ικανοποιούσαν την παραπάνω συνθήκη, απέμειναν το 72,8 τοις εκατό των TM εγγραφών, το 65,3 τοις εκατό των ETM εγγραφών και το 76,7 τοις εκατό των Landsat 8.

Με στόχο τη δημιουργία πιο ομοιογενών φασματικά κατηγοριών κάλυψης/χρήσης γης, το επόμενο βήμα στην επεξεργασία των δεδομένων ήταν, η παραγωγή διαγραμμάτων για κάθε μία από τις κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης του πίνακα 3-2, με τη μέση φασματική υπογραφή κάθε σημείου που ανήκει στην κατηγορία.

Παρακάτω, παρουσιάζονται ενδεικτικά, τα διαγράμματα για τις κατηγορίες 'Χώροι Εξορύξεως Ορυκτών', 'Μόνιμα Αρδευόμενη Γη', 'Μεικτό Δάσος' και 'Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα', από τα δεδομένα του Landsat 7. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει τη μέση φασματική υπογραφή διαφορετικού σημείου της κατηγορίας. Ουσιαστικά, έχει υπολογιστεί ο μέσος όρος ανά κανάλι, από όλες τις παρατηρήσεις κάθε σημείου και οι τιμές έχουν ενωθεί με γραμμή. Ο οριζόντιος x-άξονας αφορά τα κανάλια του δέκτη και ο κάθετος y-άξονας τη μέση τιμή ανακλαστικότητας επιφάνειας. Επίσης, στα διαγράμματα αυτά, παραλείπεται το κανάλι 6 αν πρόκειται για διαγράμματα από δεδομένα TM ή ETM, καθώς είναι το θερμικό κανάλι, ενώ στα διαγράμματα με δεδομένα Landsat 8, τα κανάλια κατά σειρά είναι τα Band 2 έως Band 7.



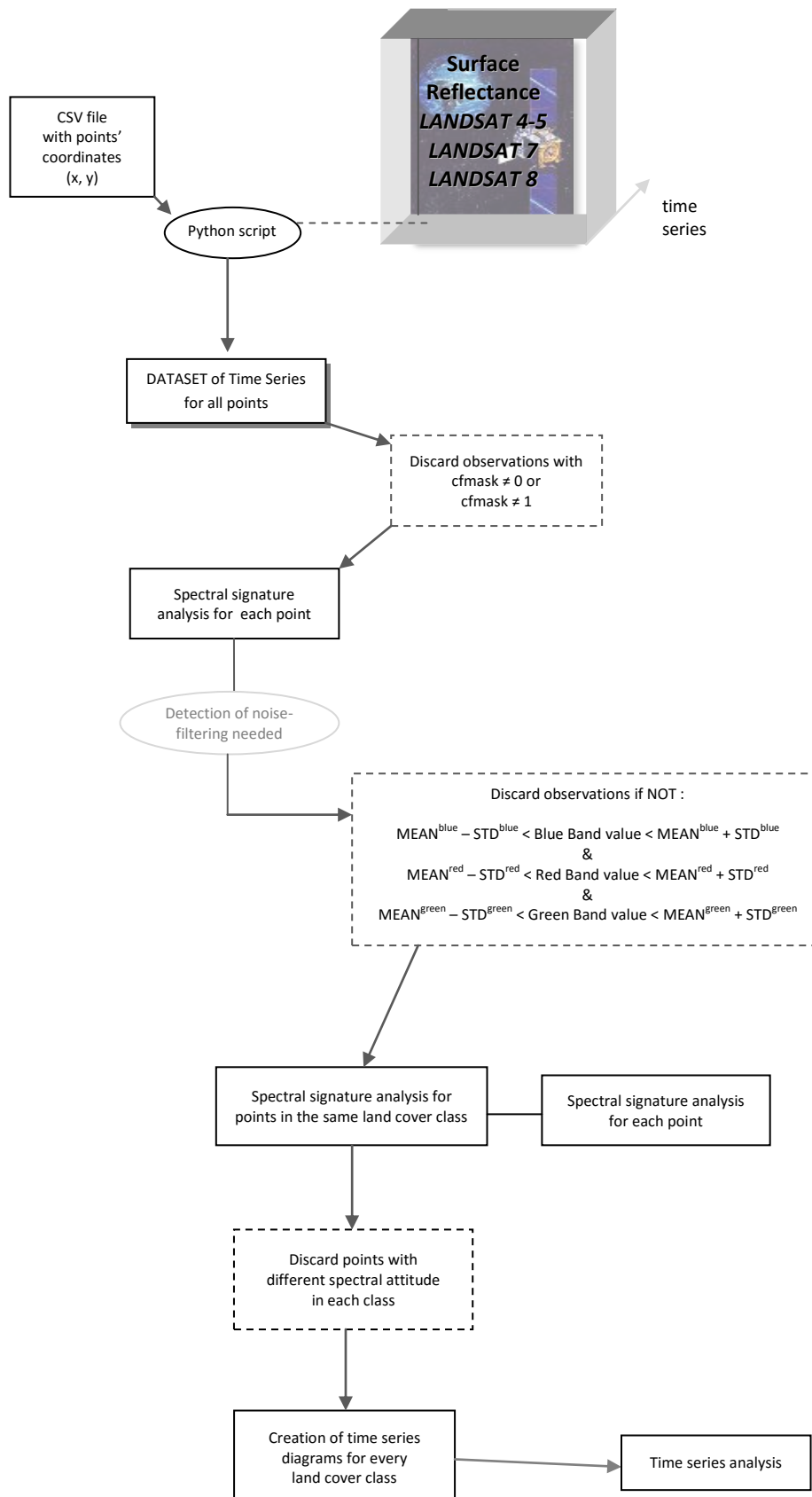


Σχήμα 3-4: Διαγράμματα μέσω των όρων ανακλαστικότητας ανά κανάλι για τέσσερις κατηγορίες κάλυψης γης της μελέτης

Με τη βοήθεια αυτού του τύπου γραφημάτων, μπορεί να διαπιστωθεί αν και κατά πόσο υπάρχει φασματική συνοχή μεταξύ των σημείων της ίδιας κατηγορίας ή σε επίπεδο κατηγορίας κάλυψης γης, αν φασματικά περιγράφεται από κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο (*pattern*). Για παράδειγμα, για την κατηγορία 'Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα', γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι, τα σημεία της παρουσιάζουν πολύ κοινό μέσο φασματικό πρότυπο, ενώ το αντίθετο παρατηρείται για τα σημεία στην κατηγορία 'Χώροι Εξορύξεως Ορυκτών'. Οι κατηγορίες των οποίων τα σημεία διέφεραν φασματικά πολύ μεταξύ τους και παρουσίαζαν μεγάλη ετερογένεια στο πρότυπο, όπως οι 'Μόνιμα Αρδευόμενη Γη', 'Χώροι Εξορύξεως Ορυκτών' κ.ά., δε συμπεριλήφθηκαν στη μετέπειτα ανάλυση. Επίσης, η κατηγορία 'Μεικτό Δάσος', στην οποία έγιναν διακριτά δύο διαφορετικά πρότυπα, με όριο την τιμή περίπου 3000, διασπάσθηκε σε δύο κατηγορίες (Forest 1, Forest 2). Παράλληλα, σε κάθε υποκατηγορία απαλείφθηκαν τα σημεία που η μέση φασματική τους υπογραφή διέφερε αισθητά από τη δέσμη που δημιουργούταν από την πλειονότητα των υπολοίπων σημείων της υποκατηγορίας. Μετά απ' αυτές τις διαδικασίες, προέκυψαν

οι υποκατηγορίες κάλυψης γης, οι οποίες ομαδοποιήθηκαν σε πιο γενικές κατηγορίες, του παραπάνω πίνακα 3-2 και τα σημεία που απεικονίζονται στην εικόνα 3-5 της προηγούμενης ενότητας.

Ακολούθησε η δημιουργία διαγραμμάτων χρονοσειρών για κάθε υποκατηγορία LULC. Με τον όρο χρονοσειρά νοείται κάθε διάγραμμα στο οποίο ο οριζόντιος άξονας x αφορά την παράμετρο του χρόνου. Αξιοποιώντας τα δεδομένα που έχουν απομείνει ύστερα απ'όλες τις διαδικασίες που περιγράφηκαν, δημιουργήθηκαν διαγράμματα με όλες τις διαχρονικές παρατηρήσεις για κάθε σημείο μιας υποκατηγορίας κάλυψης γης.



Διάγραμμα 3-2: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε

4

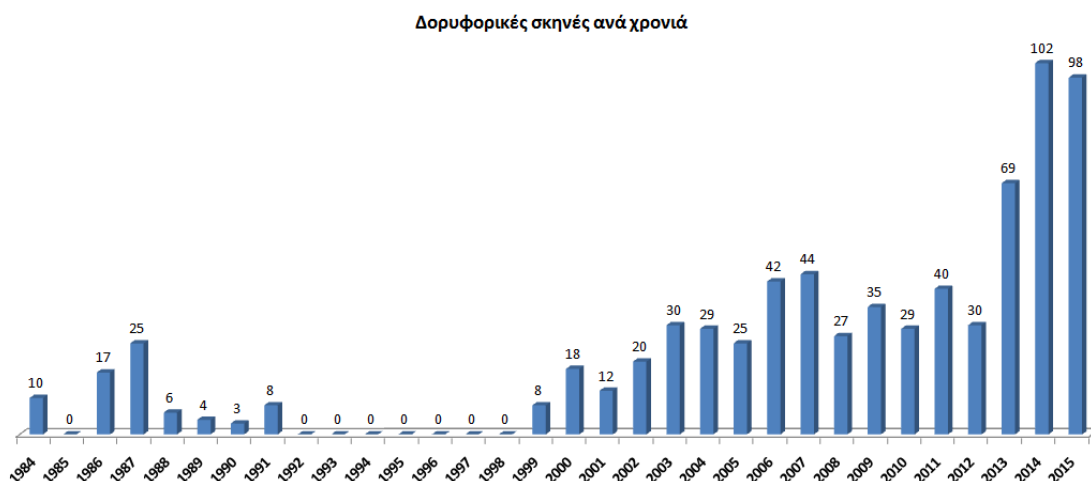
Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται σε μορφή διαγραμμάτων, αποτελέσματα μετά την αυτόματη εξόρυξη των χρονοσειρών από το αρχείο δεδομένων του Landsat και την επεξεργασία τους.

4.1 Δορυφορικά Δεδομένα για τη Δημιουργία Χρονοσειρών

Αρχικά, οι δορυφορικές σκηνές που αποκτήθηκαν ελεύθερα από τον ιστοχώρο EarthExplorer ήταν **συνολικά 731**. Συγκεκριμένα, **151** σκηνές των δορυφόρων Landsat 4 και Landsat 5, **432** σκηνές του Landsat 7 και **148** σκηνές Landsat 8.

Το επόμενο διάγραμμα αφορά το σύνολο των τηλεπισκοπικών δεδομένων που λήφθηκαν αρχικά, για όλους τους δορυφόρους της σειράς Landsat που ενδιαφέρουν στη συγκεκριμένη μελέτη (Landsat 4, Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8) και δείχνει τον αριθμό τους ανά έτος.



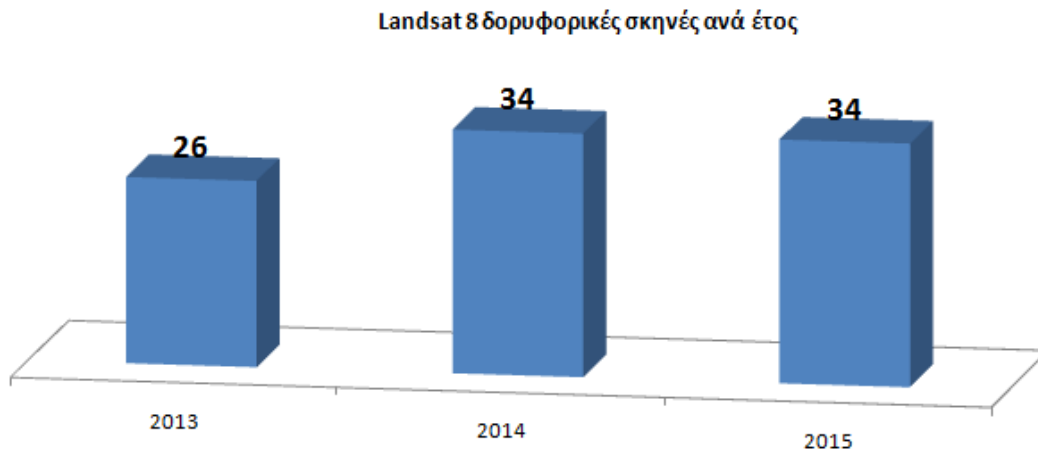
Διάγραμμα 4-1: Συνολικός ανά έτος αριθμός δορυφορικών σκηνών που αποκτήθηκαν (για όλους τους δορυφόρους)

Όπως φανερώνει το διάγραμμα 4-1, πρόκειται για χρονικά ακανόνιστη και ασυνεχή κατανομή δορυφορικών δεδομένων. Πιο αναλυτικά, δεν διατίθενται καθόλου δεδομένα για το έτος 1985 αλλά και μεταξύ 1992 και 1998, ενώ για ακόμη επτά έτη (1984, 1988, 1989, 1990, 1991, 1999, 2001) ο αριθμός των σκηνών είναι μικρότερος από δώδεκα ανά έτος. Μία ακόμη παρατήρηση, είναι τα 3 τελευταία έτη (2013, 2014, 2015), όπου συνυπάρχουν στο διάστημα οι εν λειτουργία δορυφόροι της σειράς Landsat (Landsat 7 & Landsat 8), ο αριθμός των δεδομένων είναι φανερά μεγαλύτερος.

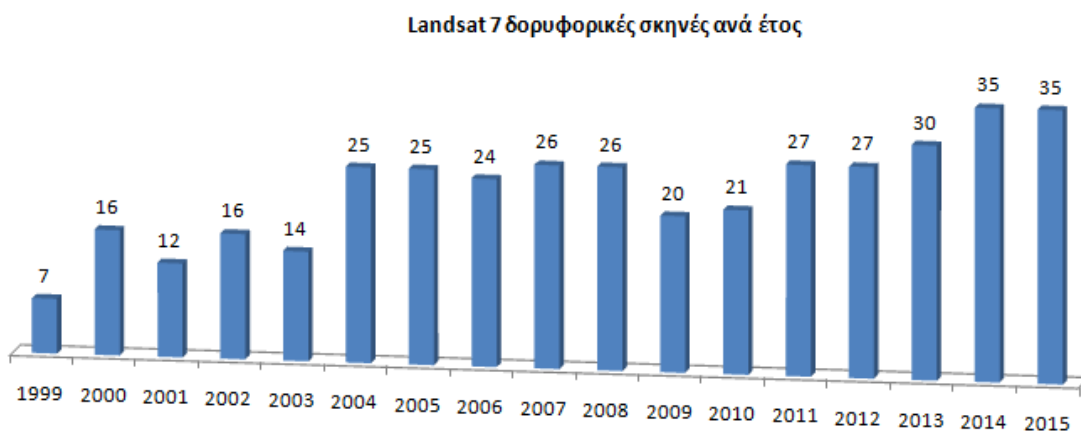
Τα δεδομένα Landsat 7 καλύπτουν το χρονικό φάσμα 5^η Ιουλίου 1999 με 8^η Δεκεμβρίου 2015, τα δεδομένα Landsat 8 καλύπτουν τη χρονική περίοδο 14 Απρίλη 2013 - 23 Δεκέμβρη 2015. Τα διαχρονικά δεδομένα Landsat 4-5 που λήφθηκαν είχαν σαν ακραίες ημερομηνίες : 16^η Μαΐου 1984 και 2^η Οκτώβρη 2011, χωρίς όμως να καλύπτεται όλο το χρονικό φάσμα.

Ωστόσο, ύστερα από τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία του αρχικού dataset (βλ. ενότητα 3.4), οι δορυφορικές εικόνες που τελικά αξιοποιήθηκαν στη δημιουργία διαγραμμάτων χρονοσειρών σημείων κατηγοριών LULC, είναι πολύ λιγότερες σε σχέση με αυτές που λήφθηκαν αρχικά (731).

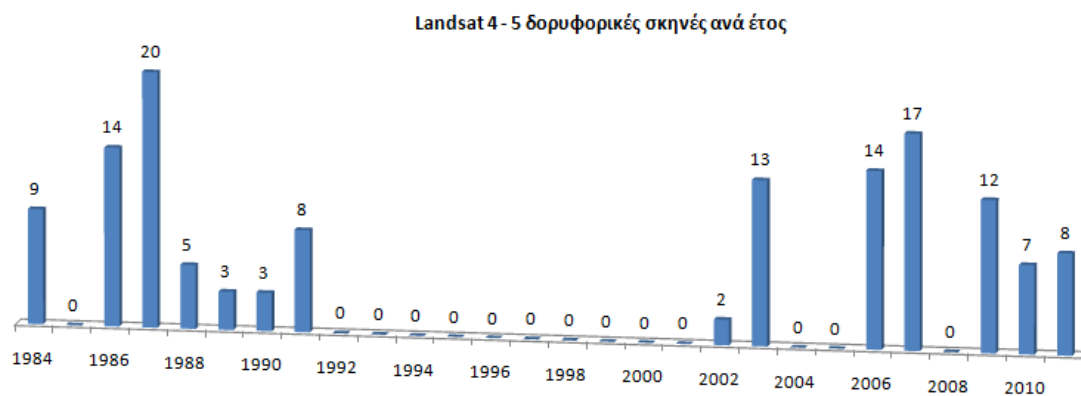
Στα επόμενα 3 διαγράμματα παρουσιάζεται αντίστοιχα ο αριθμός των δορυφορικών σκηνών Landsat 8, Landsat 7 και Landsat 4-5 που συμμετείχαν στη δημιουργία των χρονοσειρών.



Διάγραμμα 4-2: Ανά έτος αριθμός δορυφορικών σκηνών Landsat 8 που συμμετείχαν στη δημιουργία των χρονοσειρών

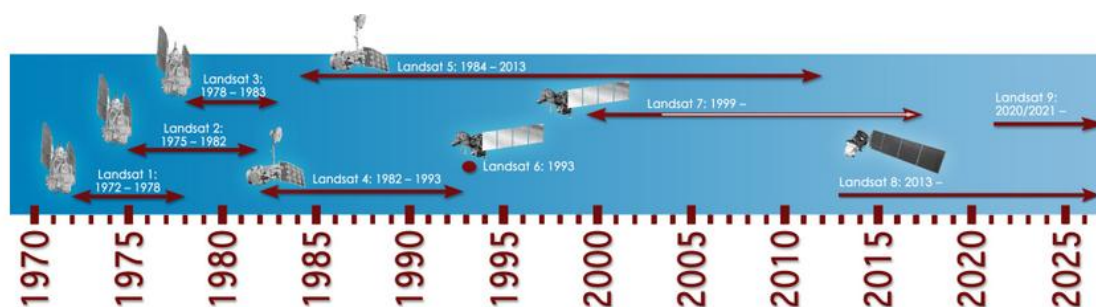


Διάγραμμα 4-3: Ανά έτος αριθμός δορυφορικών σκηνών Landsat 7 που συμμετείχαν στη δημιουργία των χρονοσειρών



Διάγραμμα 4-4: Ανά έτος αριθμός δορυφορικών σκηνών Landsat 4-5 που συμμετείχαν στη δημιουργία των χρονοσειρών

Η επόμενη εικόνα 4-1 παρουσιάζει τη χρονική περίοδο που καλύπτεται από κάθε δορυφόρο της σειράς Landsat.



Εικόνα 4-1: Χρονική περίοδος λειτουργίας των δορυφόρων Landsat
(πηγή: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3166>)

4.2 Χρονοσειρές από Δεδομένα Landsat 8

Στην ενότητα αυτή, καθώς και στις επόμενες του κεφαλαίου αυτού, παρουσιάζονται επιλεκτικά, χρονοσειρές τιμών ανακλαστικότητας για κάποιες υποκατηγορίες κάλυψης γης της μελέτης, λόγω του μεγάλου αριθμού διαγραμμάτων που θα έπρεπε να παρουσιαστούν διαφορετικά, για όλες.

Για τις LULC κατηγορίες που αφορούν βλάστηση επιλέχθηκε να παρουσιαστεί η χρονοσειρά για το εγγύς υπέρυθρο κανάλι, διότι η βλάστηση εμφανίζει μεγάλη ανάκλαση στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου και η διασπορά των τιμών είναι μεγαλύτερη σε αυτό σε σχέση με τα υπόλοιπα κανάλια, καθιστώντας πιο ευδιάκριτο το φαινόμενο της περιοδικότητας. Για τα σημεία που ανήκουν σε αστικό ιστό, οι χρονοσειρές που παρουσιάζονται αφορούν επίσης το εγγύς υπέρυθρο κανάλι (Band 5 του δέκτη OLI), στο οποίο τυπικά τα τεχνητά/ανθρωπογενή στοιχεία εμφανίζουν υψηλή ανακλαστικότητα. Τέλος, το νερό, κατά κανόνα, ανακλά την ακτινοβολία μόνο στην περιοχή του ορατού φάσματος, οπότε για τις κατηγορίες που αφορούν ύδατα παρουσιάζεται η χρονοσειρά για το μπλε κανάλι (Band 2 του δέκτη OLI).

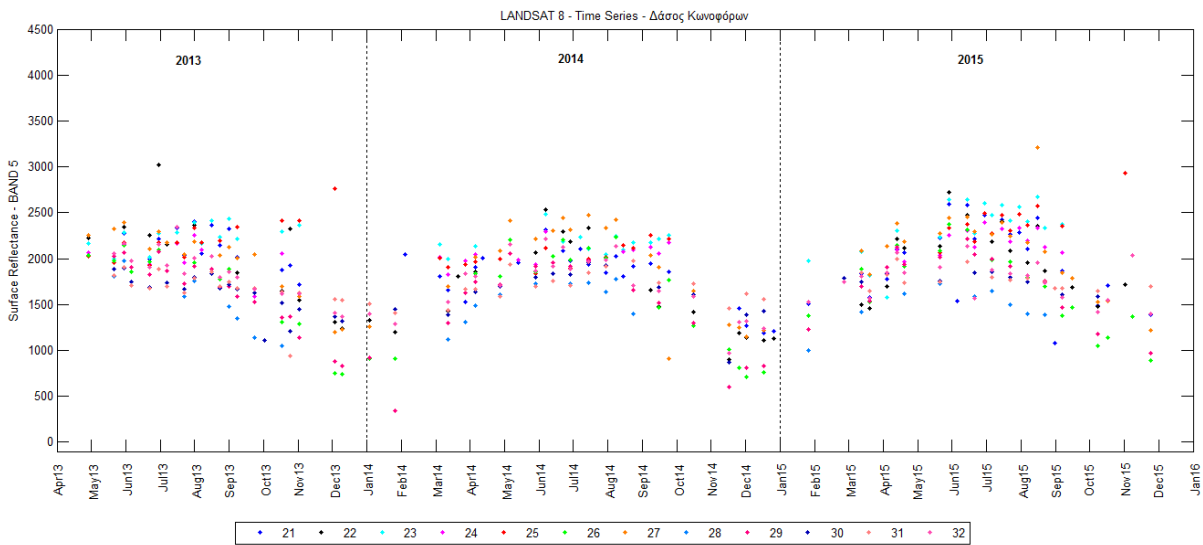
Να σημειωθεί εδώ ότι ο άξονας x, του χρόνου, για τις χρονοσειρές της συγκεκριμένης ενότητας 4.2, έχει αφηγηρία το μήνα Απρίλιο του έτους 2013, καθώς ο δορυφόρος Landsat 8, ενώ εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013, προϊόντα SR (Surface Reflectance) διατίθενται μετά την 11^η Απρίλη.

4.2.1 Υποκατηγορία Δάσος Κωνοφόρων

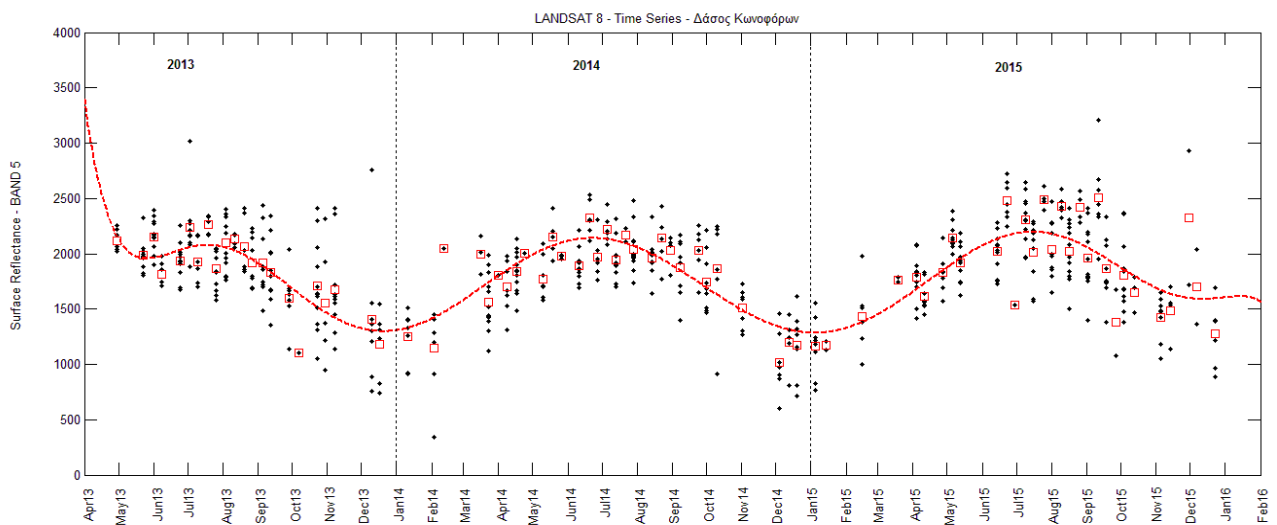
Τα διαγράμματα που ακολουθούν είναι της μορφής άξονας x=χρόνος, άξονας y=ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 5 του Landsat 8 (εγγύς υπέρυθρο) για την κατηγορία *Δάσος Κωνοφόρων*.

Στο πρώτο κατά σειρά διάγραμμα, οι παρατηρήσεις για κάθε σημείο που ανήκει στην κατηγορία αντιπροσωπεύονται από διαφορετικό χρώμα, όπως δείχνει και το υπόμνημα του διαγράμματος, ενώ το αμέσως επόμενο διάγραμμα είναι όμοιο του πρώτου, με τη διαφορά ότι οι παρατηρήσεις έχουν αποδοθεί όλες με ενιαίο χρώμα και έχει προσαρμοστεί σ'αυτές μια καμπύλη. Η εν λόγω καμπύλη,

περιγράφεται από πολυώνυμο 9^{ου} βαθμού και δημιουργείται με τη χρήση της εφαρμογής Curve Fitting Toolbox του λογισμικού Matlab. Στο Παράρτημα III παρατίθενται ενδεικτικά στιγμιότυπα και οδηγίες της διαδικασίας που ακολουθήθηκε στη συγκεκριμένη εφαρμογή του Matlab. Να σημειωθεί ότι, για τη δημιουργία της καμπύλης, δε λαμβάνονται υπόψη όλες οι παρατηρήσεις της χρονοσειράς, αλλά το διάλυμα με τις μέσες τιμές των παρατηρήσεων για κάθε ημερομηνία της χρονοσειράς. Οι ημερήσιοι μέσοι όροι αποδίδονται στο ίδιο διάγραμμα με τετραγωνάκια (Διάγραμμα 4-6).



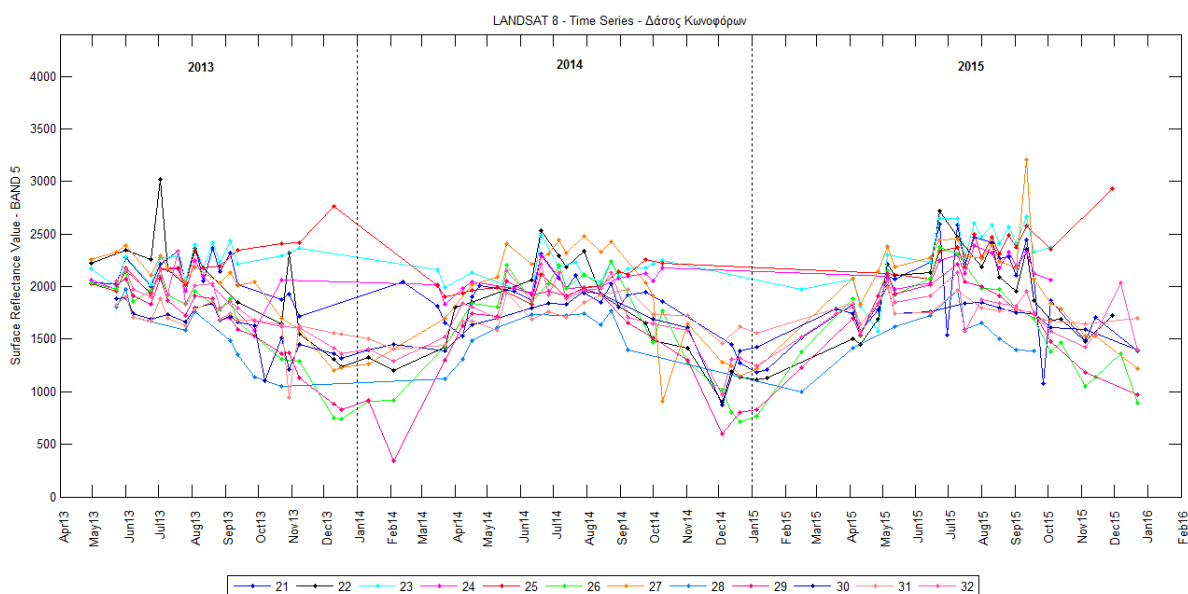
Διάγραμμα 4-5: Χρονοσειρά με τις παρατηρήσεις στο κανάλι 5 (εγγύς υπέρυθρο) του **Landsat 8** για κάθε σημείο της υποκατηγορίας **Δάσος Κωνοφόρων**



Διάγραμμα 4-6: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας (κουκκίδες) και των μέσων όρων τους ανά ημέρα (τετραγώνια) στο κανάλι 5 του **Landsat 8**, για τα σημεία της υποκατηγορίας **Δάσος Κωνοφόρων**

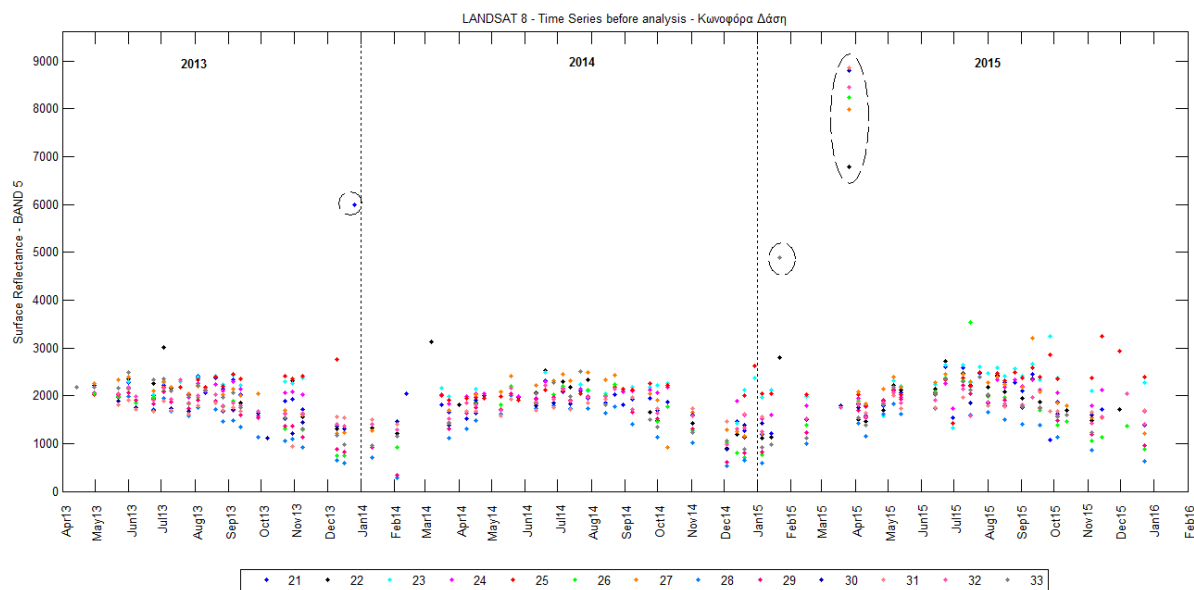
Ο αριθμός των σημείων της κατηγορίας είναι δώδεκα και το σύνολο των καταγραφών τους (με εξαίρεση τέσσερις ή πέντε) συγκεντρώνονται μεταξύ των τιμών 500 και 2700 περίπου. Η χρονοσειρά παρουσιάζει μια περιοδικότητα με περίοδο ενός έτους, με υψηλότερες τιμές ανακλαστικότητας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Ακόμη, η χρονοσειρά εμφανίζει “κενά” και είναι αισθητά πιο αραιή τα χρονικά διαστήματα φθινόπωρο-χειμώνας. Το γεγονός αυτό παρατηρείται σε όλες τις χρονοσειρές και δικαιολογείται απόλυτα, λόγω των καιρικών συνθηκών και της αυξημένης νεφοκάλυψης του ουρανού κατά τη χειμερινή περίοδο κάθε έτους.

Αν οι διαχρονικές παρατηρήσεις κάθε σημείου ενωθούν με γραμμή προκύπτει το διάγραμμα 4-7, στο οποίο εντοπίζονται σημεία, τα οποία, από το μήνα Οκτώβρη μέχρι και την άνοιξη του επόμενου έτους δεν έχουν καθόλου “καθαρές” παρατηρήσεις (μεγάλου μήκους, σχεδόν οριζόντια ευθύγραμμα τμήματα στο διάγραμμα).



Διάγραμμα 4-7: Χρονοσειρά με τις παρατηρήσεις στο κανάλι 5 (εγγύς υπέρυθρο) του **Landsat 8** για κάθε σημείο της υποκατηγορίας **Δάσος Κωνοφόρων**. Οι παρατηρήσεις κάθε σημείου έχουν ενωθεί με γραμμές

Ενδεικτικά, παρατίθεται στη συνέχεια το αντίστοιχο διάγραμμα χρονοσειράς με τα αρχικά δεδομένα για τη συγκεκριμένη κατηγορία LULC, δηλαδή, με τις αρχικές παρατηρήσεις των σημείων, όπως προέκυψαν ως έξοδος από τον αλγόριθμο εξόρυξης χρονοσειρών σε γλώσσα Python. Η μόνη επεξεργασία που έχει γίνει είναι η διαγραφή των παρατηρήσεων που σύμφωνα με τον αλγόριθμο Fmask ταξινομούνται ως σκιές, νέφη ή χιόνι. Στο διάγραμμα αυτό, με περίγραμμα έχουν σημειωθεί χαρακτηριστικές παρατηρήσεις που εξαλείφθηκαν από τη διαδικασία επεξεργασίας, όπως περιγράφηκε σε ενότητα του προηγούμενου κεφαλαίου.

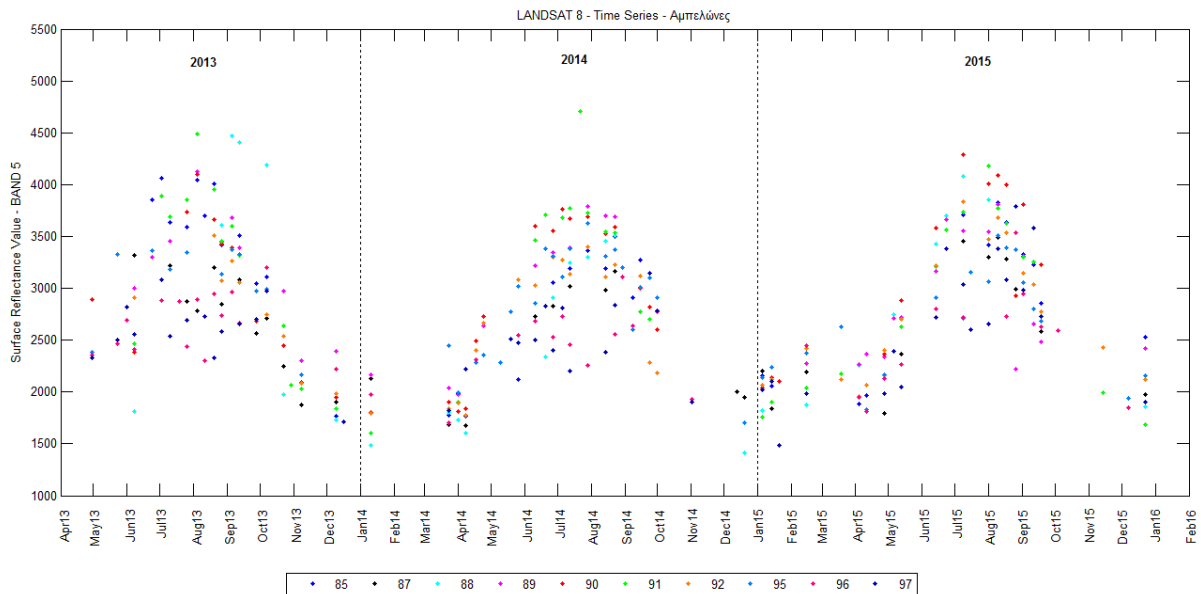


Διάγραμμα 4-8: Χρονοσειρά όλων των παρατηρήσεων (με τιμές cfmask 0 ή 1) στο κανάλι 5 (εγγύς υπέρυθρο) του **Landsat 8** για κάθε αρχικό σημείο της υποκατηγορίας **Δάσος Κωνοφόρων** (πριν την παραιτέρω επεξεργασία)

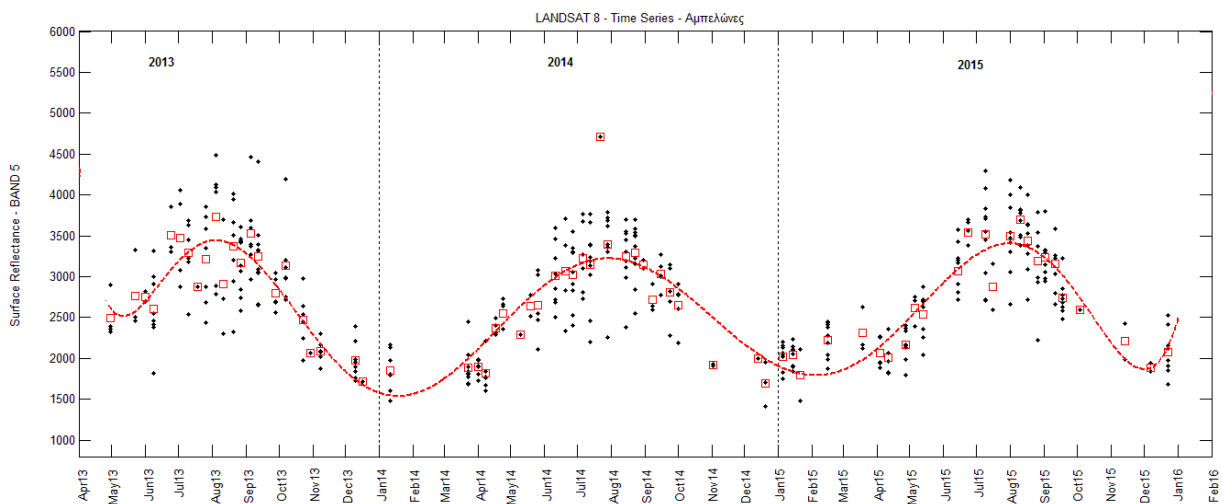
Από τη σύγκριση των χρονοσειρών, πριν και μετά επεξεργασίας των δεδομένων (Διαγράμματα 4-5 και 4-8 αντίστοιχα), για το κανάλι εγγύς υπέρυθρο της υποκατηγορίας 'Δάσος Κωνοφόρων', οι παρατηρήσεις που έχουν απομακρυνθεί δεν είναι πολλές σε αριθμό. Θα ήταν εύκολο επομένως, να απομακρυνθούν με το χέρι. Ωστόσο, για το σύνολο των δεδομένων της μελέτης, η απομάκρυνση με το χέρι, των μεμονωμένων παρατηρήσεων που διαφέρουν αισθητά από τις υπόλοιπες για κάθε διάγραμμα χρονοσειράς τιμών ανακλαστικότητας, θα ήταν πολύ χρονοβόρα διαδικασία, που αυξανόμενου του όγκου των δεδομένων (είτε σημείων, είτε εικόνων) θα την καθιστούσε μάλλον αδύνατη. Για να γίνει αυτό πιο κατανοητό, ας αναφερθούμε σε κάποια νούμερα. Έχοντας 3 σετ δορυφορικών δεδομένων (Landsat 8, Landsat 7, Landsat 4-5) με σημεία σε 16 κατηγορίες κάλυψης γης, για τα 6 κανάλια από κάθε δορυφόρο, το αποτέλεσμα είναι 288 διαγράμματα χρονοσειρών, αριθμός αρκετά μεγάλος για να επεξεργαστεί με μη αυτοματοποιημένο τρόπο, από ένα μελετητή.

4.2.2 Υποκατηγορία Αμπελώνες

Τα επόμενα διαγράμματα είναι της μορφής άξονας x=χρόνος, άξονας y=ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 5 του Landsat 8 (εγγύς υπέρυθρο) για τα σημεία της κατηγορίας *Αμπελώνες*, τα οποία είναι 10 στον αριθμό. Στο πρώτο διάγραμμα, οι παρατηρήσεις αντιστοιχίζονται σε διαφορετικού χρώματος κουκκίδες για κάθε σημείο, ενώ στο δεύτερο κατά σειρά διάγραμμα απεικονίζονται τα ίδια δεδομένα, με τη διαφορά ότι οι παρατηρήσεις έχουν αποδοθεί όλες με ενιαίο χρώμα και έχει προσαρμοστεί σ'αυτές μια καμπύλη. Η εν λόγω καμπύλη, περιγράφεται από πολυώνυμο 9^{ου} βαθμού, που δημιουργήθηκε με τη χρήση της εφαρμογής Curve Fitting Toolbox του λογισμικού Matlab. Για τη δημιουργία της καμπύλης αυτής δε λήφθηκαν υπόψη όλες οι παρατηρήσεις για κάθε ημερομηνία της χρονοσειράς, αλλά ο μέσος όρος τους. Ο ημερήσιος μέσος όρος είναι τα τετραγωνάκια στο διάγραμμα 4-10.



Διάγραμμα 4-9: Χρονοσειρά με τις παρατηρήσεις στο κανάλι 5 (εγγύς υπέρυθρο) του **Landsat 8** για κάθε σημείο της υποκατηγορίας **Αμπελώνες**

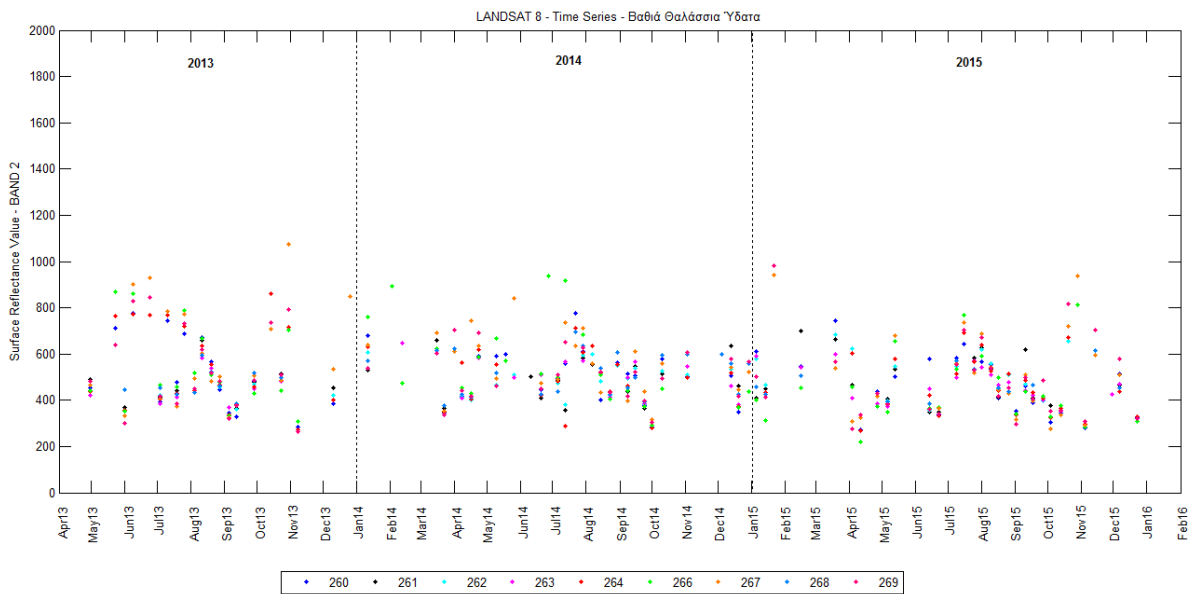


Διάγραμμα 4-10: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητα (κουκκίδες) και του ημερήσιου μέσου όρου τους (τετράγωνα) στο κανάλι 5 του **Landsat 8**, για τα σημεία της υποκατηγορίας **Αμπελώνες**

Οι τιμές ανακλαστικότητα επιφάνειας για τα εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύουν τα σημεία της υποκατηγορίας 'Αμπελώνες' στο κανάλι 5 του Landsat 8 στο διάστημα 2013-2015, κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 1500 και 4000 περίπου. Η προσαρμοσμένη καμπύλη παρουσιάζει μέγιστο στην τιμή 3500 περίπου, τους καλοκαιρινούς μήνες κάθε έτους.

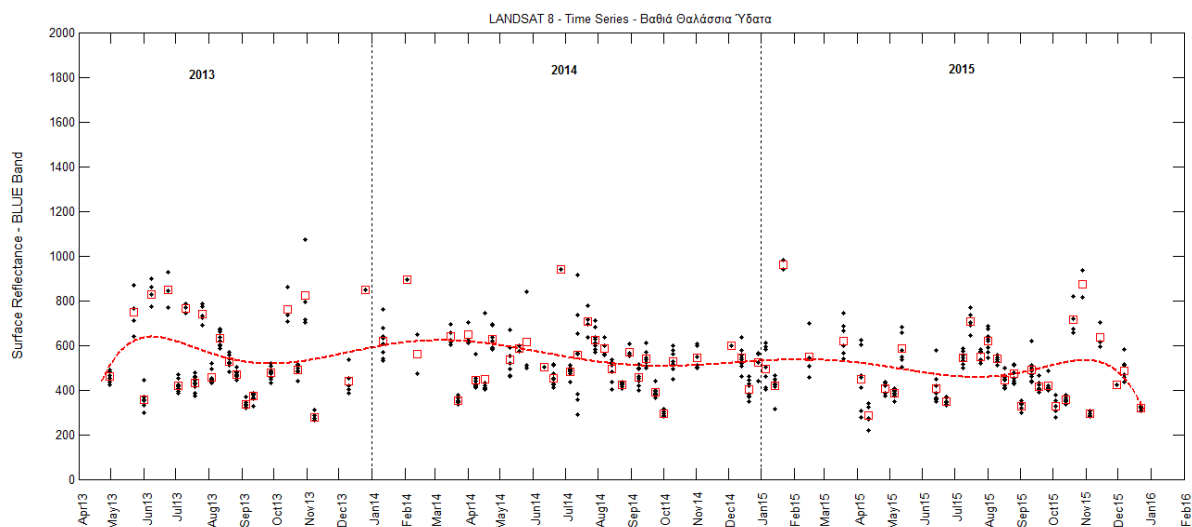
4.2.3 Υποκατηγορία Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα

Για την υποκατηγορία *Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα*, τα παρακάτω διαγράμματα είναι της μορφής άξονας x=χρόνος, άξονας y=ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 2 του Landsat 8 (μπλε κανάλι). Στο πρώτο κατά σειρά διάγραμμα, οι παρατηρήσεις για κάθε ένα από τα 9 σημεία της υποκατηγορίας αντιπροσωπεύονται από διαφορετικό χρώμα.



Διάγραμμα 4-11: Χρονοσειρά με τις παρατηρήσεις στο κανάλι 2 (μπλε) του **Landsat 8** για κάθε σημείο της υποκατηγορίας **Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα**

Στο επόμενο (Διάγραμμα 4-12), το οποίο είναι όμοιο του προηγούμενου διαγράμματος, έγινε προσαρμογή πολυώνυμου 8^{ου} βαθμού στις μέσες τιμές των παρατηρήσεων για κάθε ημερομηνία της χρονοσειράς.



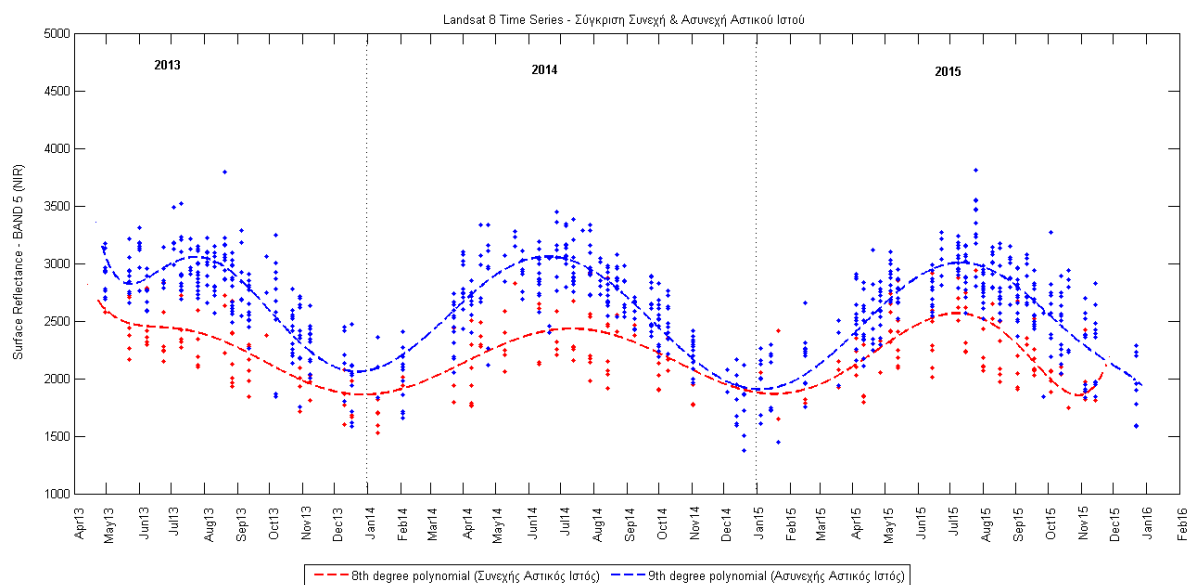
Διάγραμμα 4-12: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας (κουκκίδες) και του ημερήσιου μέσου όρου τους (τετράγωνα) στο κανάλι 2 του **Landsat 8**, για τα σημεία της υποκατηγορίας **Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα**

Το φάσμα των τιμών ανακλαστικότητας επιφάνειας στο μπλε κανάλι για τα σημεία, όπως παρατηρείται στο συγκεκριμένο διάγραμμα χρονοσειράς, είναι μικρό, από 300 έως 900 περίπου και η περιοδικότητα της χρονοσειράς αυτής είναι μηδενική. Αυτό είναι λογικό, καθόσον τα σημεία ανήκουν σε βαθιά θαλάσσια ύδατα.

4.2.4 Κατηγορία Αστικός Ιστός

Για τις κατηγορίες LULC: *Συνεχής Αστικός Ιστός* και *Ασυνεχής Αστικός Ιστός*, παρουσιάζονται στο ίδιο διάγραμμα, οι χρονοσειρές των τιμών ανακλαστικότητας στο κανάλι 5 (NIR- Near-infrared) του Landsat 8. Όπως προέκυψε από τη διπλωματική εργασία του κ. Δ.Γαλανάκη, που εκπονήθηκε πρόσφατα στο εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, το NIR κανάλι ενδείκνυται περισσότερο από το SWIR 1 κανάλι του δέκτη OLI για τη σύγκριση των δύο συγκεκριμένων υποκατηγοριών του αστικού ιστού.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, της μορφής άξονας x=χρόνος, άξονας y=ανακλαστικότητα επιφάνειας, το μπλε χρώμα αντιστοιχεί στις παρατηρήσεις των σημείων του *Ασυνεχή Αστικού Ιστού* και το κόκκινο στις παρατηρήσεις του *Συνεχή Αστικού Ιστού*. Από τα δεδομένα των μέσων ημερήσιων τιμών των χρονοσειρών, υπολογίστηκαν τα πολυώνυμα $9^{ου}$ και $8^{ου}$ βαθμού του διαγράμματος, με τη χρήση του Curve Fitting Toolbox (Matlab).



Διάγραμμα 4-13: Χρονοσειρά με τις τιμές ανακλαστικότητας στο κανάλι 5 του **Landsat 8**, για τα σημεία των υποκατηγοριών **Συνεχής Αστικός Ιστός (κόκκινο)** & **Ασυνεχής Αστικός Ιστός (μπλε)**

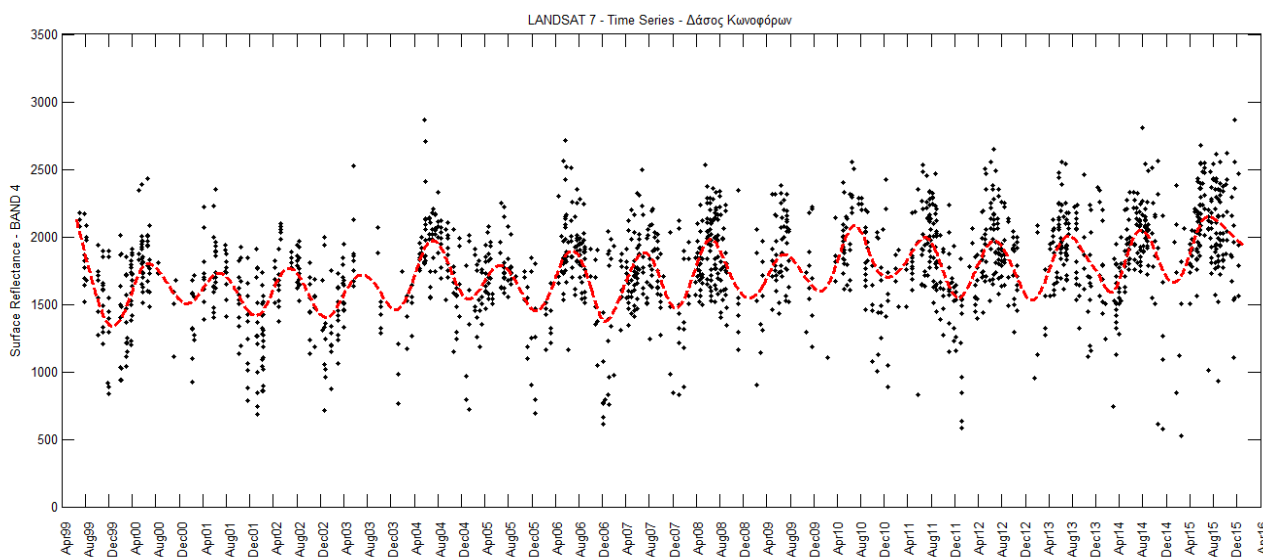
Στο αμέσως προηγούμενο διάγραμμα, γίνεται φανερή η συσχέτιση και η διαφορά μεταξύ των χρονοσειρών των δύο υποκατηγοριών του αστικού ιστού. Αρχικά, η διαφορά στο πλήθος των παρατηρήσεων μεταξύ των δύο υποκατηγοριών οφείλεται στο διαφορετικό αριθμό σημείων που ανήκει σε κάθε μία. Τα σημεία της υποκατηγορίας *Συνεχής Αστικός Ιστός* είναι 7 στον αριθμό, ενώ του *Ασυνεχής Αστικού Ιστού* είναι 13, σχεδόν τα διπλάσια. Οι τιμές ανακλαστικότητας, κατά μέσο όρο, των σημείων του *Ασυνεχής Αστικού Ιστού* είναι υψηλότερες από εκείνες για τα σημεία του *Συνεχής Αστικού Ιστού* και η καμπύλη που προσαρμόζεται στις μέσες τιμές ανακλαστικότητας του πρώτου παρουσιάζει μέγιστο (peak) περίπου στο 3000, ενώ η αντίστοιχη καμπύλη για το *Συνεχής Αστικό Ιστό* μεγιστοποιείται περίπου στην τιμή 2500. Εφόσον πρόκειται για χρονοσειρά τιμών στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, στο οποίο, όπως έχει αναφερθεί, η βλάστηση εμφανίζει μεγάλη ανάκλαση, είναι δικαιολογημένη αυτή η διαφορά στις κατά μέσο όρο τιμές ανακλαστικότητας των δύο χρονοσειρών, δεδομένου ότι ο *Ασυνεχής Αστικός Ιστός* περιέχει περισσότερη βλάστηση σε σχέση με τα σημεία που βρίσκονται σε πυκνότερο αστικό ιστό. Το γεγονός αυτό, ίσως εξηγεί και το ότι η καμπύλη του *Ασυνεχής Αστικού Ιστού* (μπλε χρώματος) παρουσιάζει πιο έντονη περιοδικότητα σε σχέση με την κόκκινη (του συνεχή).

4.3 Χρονοσειρές από Δεδομένα Landsat 7

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι χρονοσειρές για τα σημεία των ίδιων κατηγοριών κάλυψης/χρήσης γης που αποτέλεσαν αντικείμενο της προηγούμενης ενότητας, ώστε να καταστεί δυνατή η μεταξύ τους σύγκριση. Τα δεδομένα των διαγραμμάτων χρονοσειρών προέρχονται από τις εικόνες Landsat 7/ETM. Ο αριθμός των δορυφορικών δεδομένων ανά έτος παρουσιάζεται παραπάνω, στο Διάγραμμα 4-3 και το χρονικό φάσμα που καλύπτουν είναι *Ιούλιος 1999 - Δεκέμβρης 2015*.

4.3.1 Υποκατηγορία Δάσος Κωνοφόρων

Στο επόμενο διάγραμμα, της μορφής: άξονας x=χρόνος, άξονας y=ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 4 του Landsat 7 (εγγύς υπέρυθρο), αποδίδονται με ίδιο χρώμα οι διαχρονικές παρατηρήσεις όλων των σημείων της κατηγορίας *Δάσος Κωνοφόρων*. Προφανώς, τα σημεία είναι τα ίδια με της αντίστοιχης χρονοσειράς από τα δεδομένα του Landsat 8 της προηγούμενης ενότητας. Στα δεδομένα της χρονοσειράς έχει γίνει προσαρμογή της καμπύλης μορφής 'smoothing spline' του εργαλείου Curve Fitting Toolbox. Η συγκεκριμένη καμπύλη προσαρμόζεται στα δεδομένα του ημερήσιου μέσου όρου των τιμών ανακλαστικότητας για το κανάλι 4 των 12 σημείων της υποκατηγορίας.



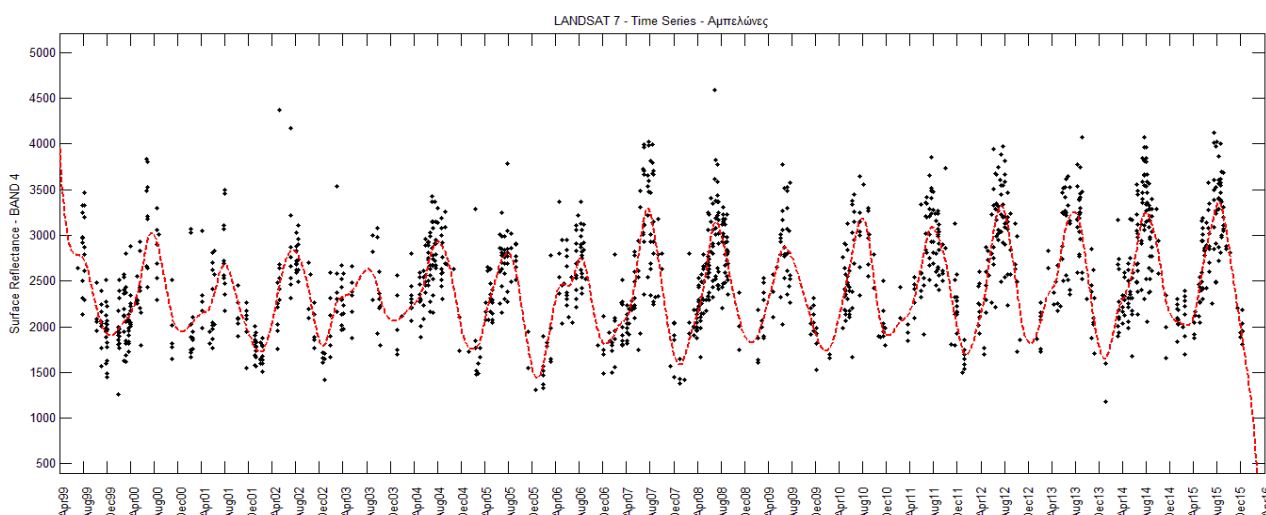
Διάγραμμα 4-14: Χρονοσειρά για τις τιμές ανακλαστικότητας στο κανάλι 4 του **Landsat 7** των σημείων της υποκατηγορίας **Δάσος Κωνοφόρων**

Το σύνολο των παρατηρήσεων συγκεντρώνονται μεταξύ των τιμών 500 και λίγο πάνω από 2500 περίπου, σε συμφωνία με το φάσμα τιμών της αντίστοιχης χρονοσειράς (για την ίδια κατηγορία LULC και το εγγύς υπέρυθρο κανάλι) που προκύπτει από τα δεδομένα του δορυφόρου Landsat 8. Αν λάβουμε ως δεδομένο ότι, στις περιοχές που βρίσκονται τα σημεία της κατηγορίας δεν έχει επέλθει

κάποιου είδους αλλαγή στη δασική κάλυψη γης, θεωρητικά, η καμπύλη θα έπρεπε να παρουσιάζει πολύ παρόμοιο, αν όχι ίδιο μοτίβο για κάθε χρονιά. Ωστόσο όμως, μετά από παρατήρηση του διαγράμματος, η εν λόγω καμπύλη έχει διαφορετική συμπεριφορά, ιδίως κατά τις χειμερινές περιόδους της χρονοσειράς. Το γεγονός αυτό πιθανώς να οφείλεται στο μικρό αριθμό παρατηρήσεων το χειμώνα σε σχέση με την υπόλοιπη περίοδο κάθε έτους και γενικότερα στη διαφορετική κατανομή μέσα στο χρόνο που έχουν τα δεδομένα της χρονοσειράς.

4.3.2 Υποκατηγορία Αμπελώνες

Ακολουθεί το διάγραμμα με οριζόντιο άξονα το χρόνο και κάθετο άξονα την ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 4 του δέκτη ETM (εγγύς υπέρυθρο), για την υποκατηγορία *Αμπελώνες*. Όπως έχει ακολουθηθεί και στα προηγούμενα γραφήματα χρονοσειρών, από τις μέσες ημερήσιες τιμές της χρονοσειράς υπολογίστηκε η καμπύλη εξομάλυνσης, εν προκειμένω είναι μορφής ‘smoothing spline’ της ‘εργαλειοθήκης’ Curve Fitting του Matlab.

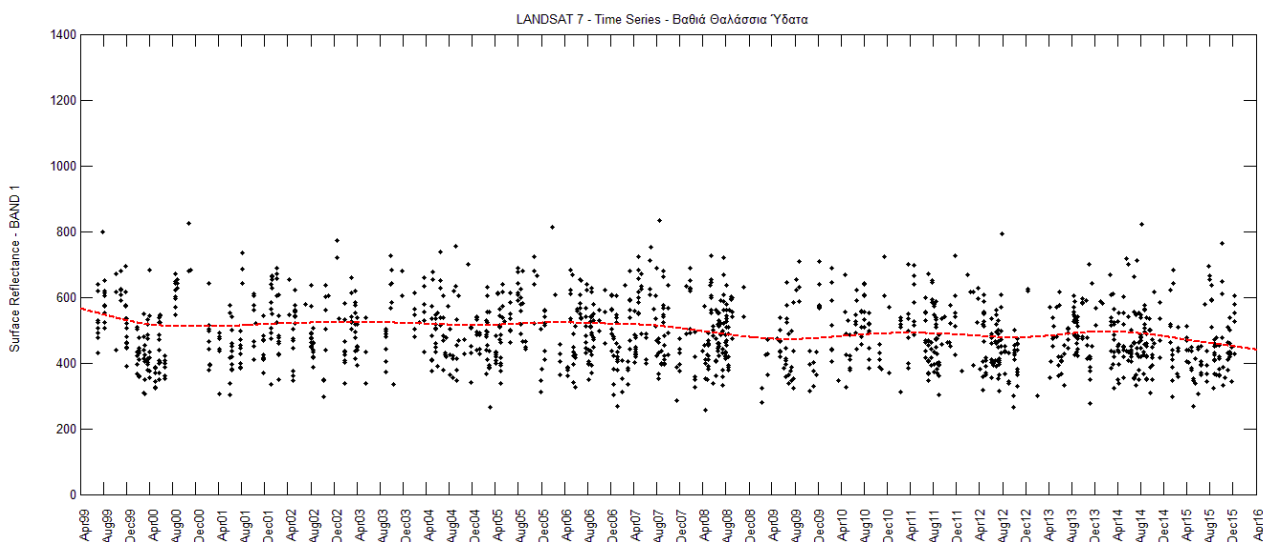


Διάγραμμα 4-15: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο κανάλι 4 του *Landsat 7* των σημείων της υποκατηγορίας *Αμπελώνες*

Η παραπάνω χρονοσειρά αποτελείται από παρατηρήσεις που έχουν τιμές μεταξύ, περίπου 1500 και 4000. Το ίδιο φάσμα τιμών ανακλαστικότητας παρατηρήθηκε και στην αντίστοιχη χρονοσειρά για την κατηγορία αυτή από τα δεδομένα Landsat 8 (Διάγραμμα 4-10). Και σε αυτή τη χρονοσειρά, η καμπύλη που προσαρμόζεται παρουσιάζει διαφορές από έτος σε έτος γεγονός που οφείλεται κυρίως στο διαφορετικό αριθμό παρατηρήσεων και στη διαφορετική τους πυκνότητα για κάθε έτος της χρονοσειράς.

4.3.3 Υποκατηγορία Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα

Το διάγραμμα 4-16 απεικονίζει τις διαχρονικές καταγραφές στο κανάλι 1 (μπλε) του δορυφόρου Landsat 7 για τα σημεία της μελέτης που ανήκουν στην κατηγορία *Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα*, καθώς και την αντίστοιχη καμπύλη μορφής spline που προσαρμόστηκε από τις μέσες ημερήσιες τιμές της χρονοσειράς.

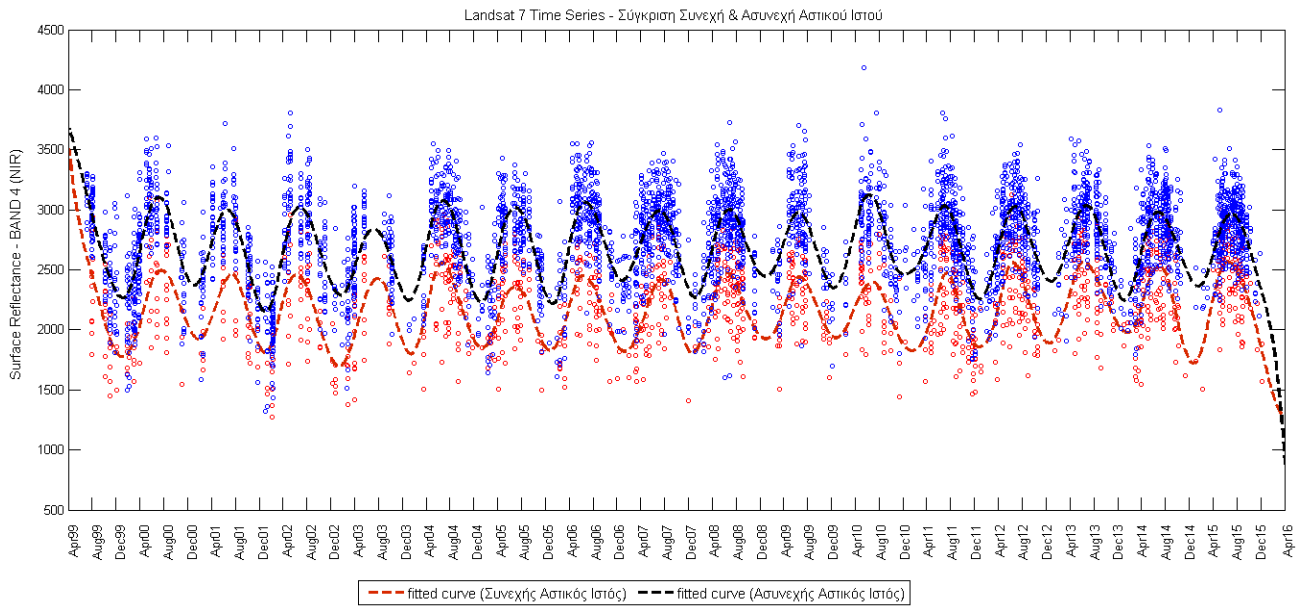


Διάγραμμα 4-16: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο κανάλι 1 (μπλε) του **Landsat 7** των σημείων της υποκατηγορίας **Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα**

Όπως φαίνεται και από τον άξονα του χρόνου, η χρονοσειρά καλύπτει το χρονικό φάσμα 1999-2015 και γίνεται πιο εύκολα διακριτό στο παραπάνω διάγραμμα, αυτό, που ήδη έχει παρατηρηθεί στην προηγούμενη ενότητα για τη χρονοσειρά της κατηγορίας αυτής, ότι εύλογα, δεν παρουσιάζει κάποια μορφή περιοδικότητας. Η καμπύλη που προσαρμόζεται στα δεδομένα της χρονοσειράς των σημείων στην κατηγορία *Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα* έχει περίπου σταθερή τιμή γύρω στο 550.

4.3.4 Κατηγορία Αστικός Ιστός

Για τα σημεία που ανήκουν στις υποκατηγορίες *Συνεχής Αστικός Ιστός* και *Ασυνεχής Αστικός Ιστός*, παρουσιάζονται σε κοινό διάγραμμα οι χρονοσειρές των τιμών ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι του Landsat 7. Στο διάγραμμα που ακολουθεί, της μορφής x =χρόνος, y =ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 4, το κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύει τις παρατηρήσεις για την κατηγορία *Συνεχής Αστικός Ιστός* και το μπλε χρώμα για τον *Ασυνεχή Αστικό Ιστό*. Στο ίδιο διάγραμμα, στις παρατηρήσεις κάθε χρονοσειράς έχει εφαρμοστεί η αντίστοιχη καμπύλη εξομάλυνσης της μορφής spline, όπως υπολογίζεται από το μέσο όρο ανακλαστικότητας κάθε ημερομηνίας για κάθε χρονοσειρά.

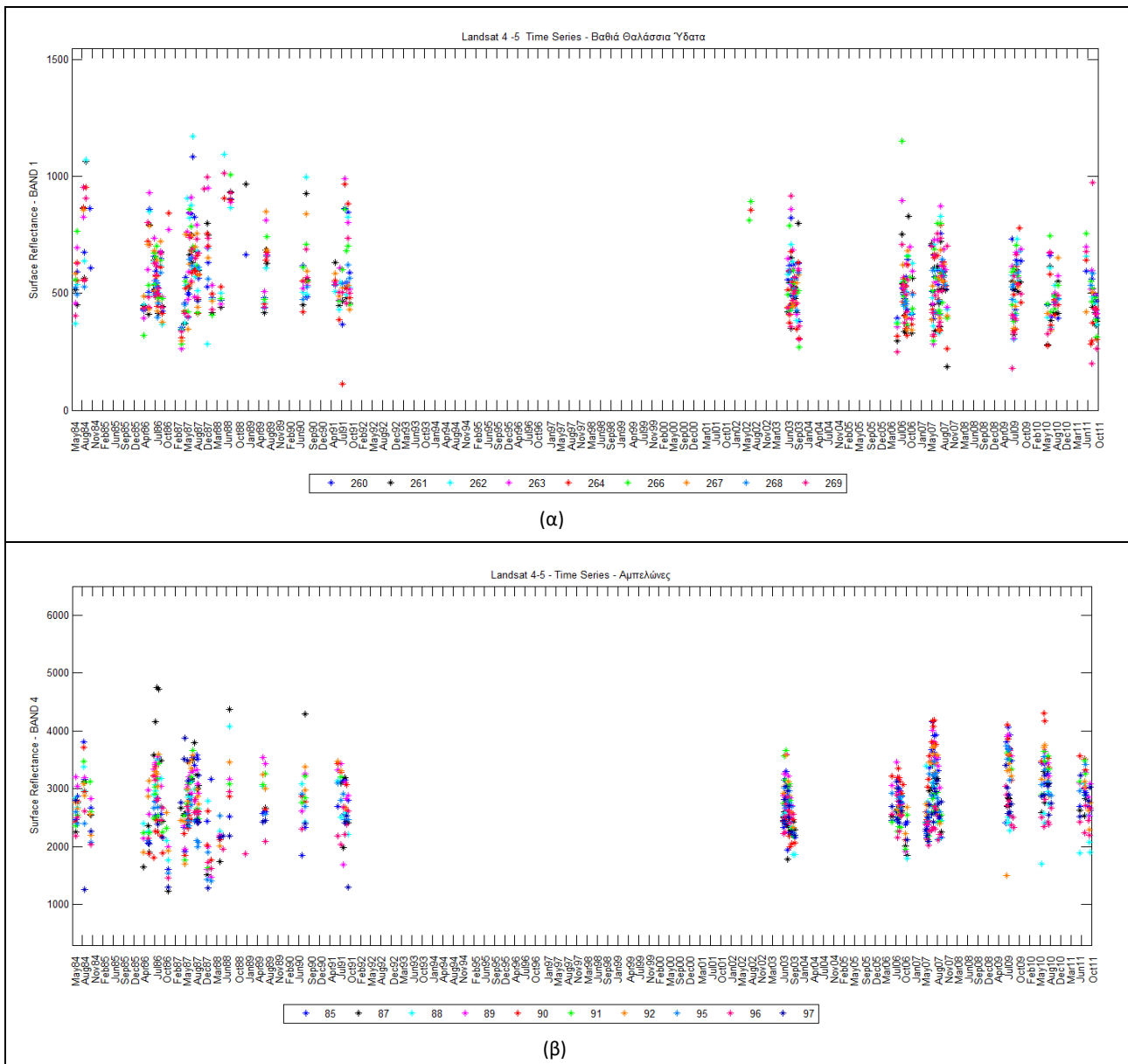


Διάγραμμα 4-17: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο κανάλι 4 του **Landsat 7**, για τα σημεία των υποκατηγοριών **Συνεχής Αστικός Ιστός (κόκκινο)** & **Ασυνεχής Αστικός Ιστός (μπλε)**

Η διαφορά στο πλήθος των παρατηρήσεων μεταξύ των δύο υποκατηγοριών οφείλεται στο διαφορετικό αριθμό σημείων που ανήκει σε κάθε μία, με τα σημεία του *Συνεχρή Αστικού Ιστού* να είναι σχεδόν τα μισά από αυτά που ανήκουν στον *Ασυνεχρή Αστικό Ιστό*. Ακόμη, όπως ίσχυε για το αντίστοιχο διάγραμμα στην προηγούμενη ενότητα (Διάγραμμα 4-13), η καμπύλη που προσαρμόζεται στις μέσες τιμές ανακλαστικότητας του *Συνεχρή Αστικού Ιστού* παρουσιάζει μέγιστο (peak) στην τιμή 2500, ενώ η αντίστοιχη καμπύλη για τον *Ασυνεχρή Αστικό Ιστό* μεγιστοποιείται περίπου στην τιμή 3000 σε κάθε έτος.

4.4 Χρονοσειρές από Δεδομένα Landsat 4 & Landsat 5

Τα προϊόντα Surface Reflectance των δορυφόρων Landsat 4 & Landsat 5 που είναι διαθέσιμα (βλ. Διάγραμμα 4-4), δεν είναι συνεπή χρονικά για το διάστημα 1984-2011 και οι χρονοσειρές των σημείων που δημιουργούνται από αυτά τα δεδομένα έχουν ασυνεχή μορφή. Εξαιτίας της μορφής τους, τα διαγράμματα δεν ενδείκνυνται για περαιτέρω ανάλυση και γι' αυτό το λόγο παρουσιάζονται ενδεικτικά στο παρακάτω σχήμα μόνο δύο γραφήματα της μορφής x =χρόνος, y =ανακλαστικότητα επιφάνειας, για την κατηγορία *Βαθιά Θαλάσσια Υδατα* στο μπλέ κανάλι και για την κατηγορία *Αμπελώνες* στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι του δέκτη TM (Thematic Mapper).



Σχήμα 4-1: (α) Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο κανάλι 1 του δέκτη TM για την υποκατηγορία **Βαθιά Θαλάσσια Υδατα**

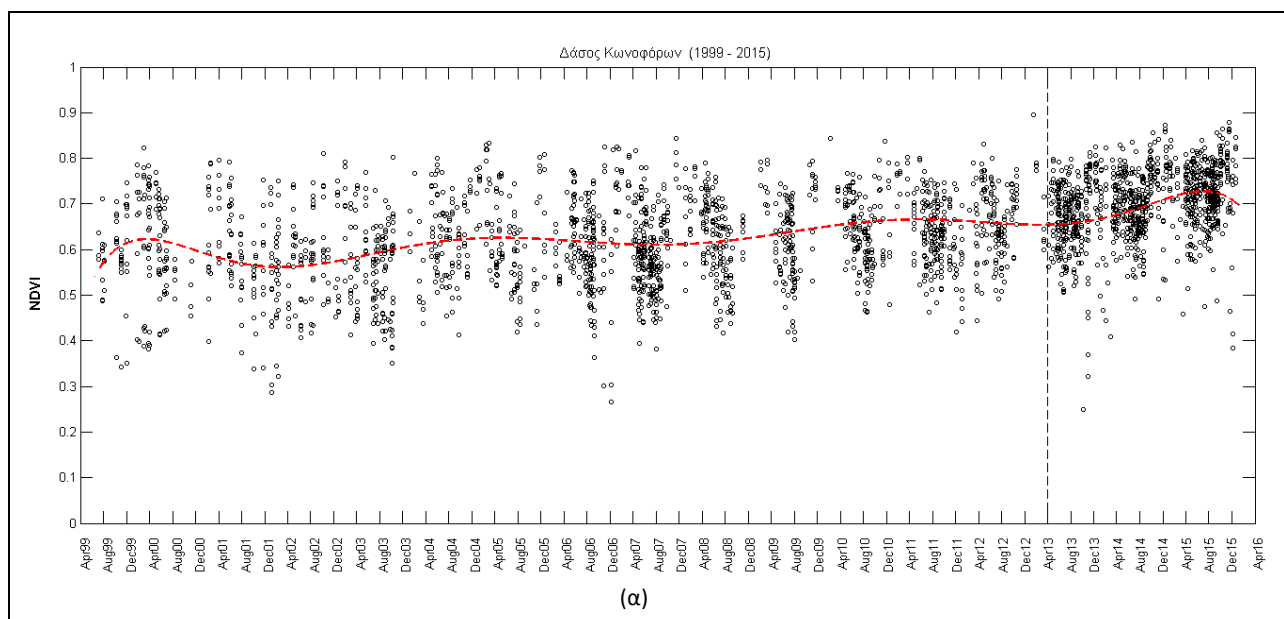
(β) Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο κανάλι 4 του δέκτη TM για την υποκατηγορία **Αμπελώνες**

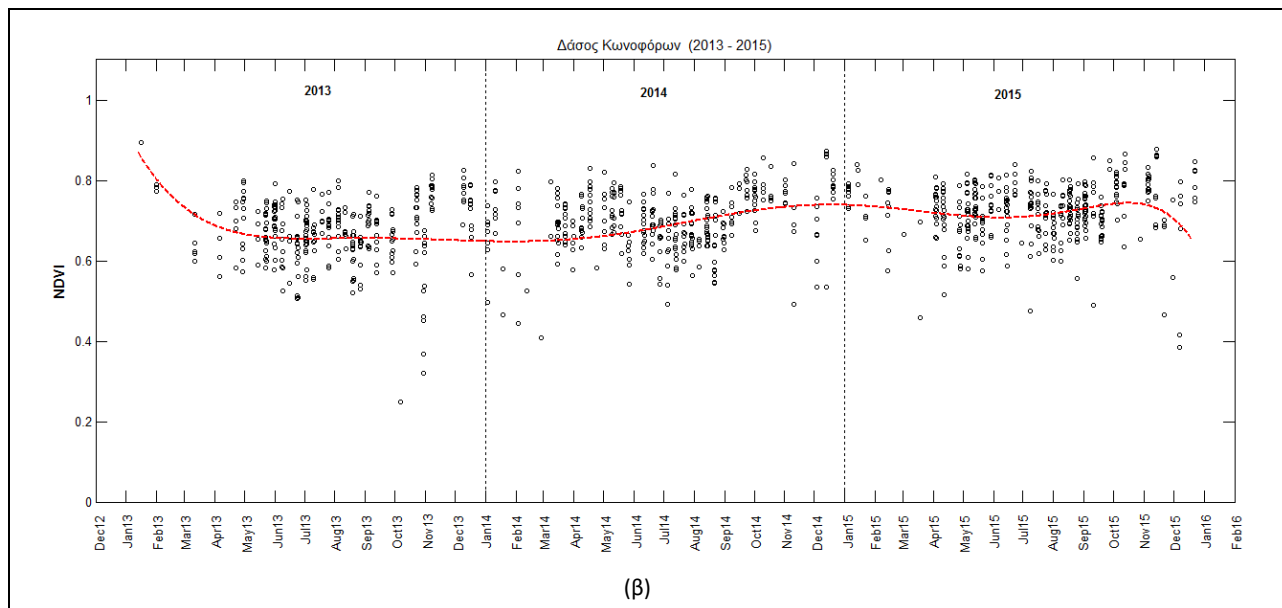
4.5 Χρονοσειρές από τη Συνένωση Δεδομένων Διαφορετικών Δορυφόρων

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται διαγράμματα χρονοσειρών με δεδομένα από περισσότερους του ενός δορυφόρου που μελετώνται. Για τις κατηγορίες βλάστησης επιλέχθηκε ο δείκτης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), για τον αστικό ιστό το κόκκινο κανάλι, το οποίο μπορεί να συσχετιστεί άμεσα μεταξύ των δορυφόρων της σειράς Landsat που ενδιαφέρουν και για κατηγορίες που αφορούν ύδατα το μπλε κανάλι, στο οποίο επίσης υπάρχει ταύτιση μεταξύ των τριών διαφορετικών τηλεπισκοπικών δεκτών (TM, ETM, OLI) (βλ. Διάγραμμα 3-1 & Εικόνα 3-1). Παράλληλα, σε κάθε διάγραμμα που ακολουθεί σ' αυτή την ενότητα, έχει προσαρμοστεί πολυώνυμο 8^{ου} βαθμού, με τη χρήση του Curve Fitting Toolbox και δεδομένα το διάστημα με τους μέσους όρους των παρατηρήσεων κάθε διαφορετικής ημερομηνίας για την εκάστοτε χρονοσειρά.

4.5.1 Δάσος Κωνοφόρων

Στη συνέχεια, ακολουθεί σχήμα με διαγράμματα της μορφής άξονας x=χρόνος, άξονας y=NDVI, για την κατηγορία *Δάσος Κωνοφόρων*. Τα δεδομένα των χρονοσειρών αυτών είναι από τους δορυφόρους Landsat 7 και Landsat 8. Στο σχήμα 4-2, το (α) αφορά τη χρονική περίοδο 1999 – 2015, όπου με κάθετη γραμμή ορίζεται το χρονικό σημείο έναρξης για τα δεδομένα του Landsat 8, ενώ το σχήμα 4-2(β) ουσιαστικά είναι το τμήμα του (α) από το έτος 2013 και μετά.



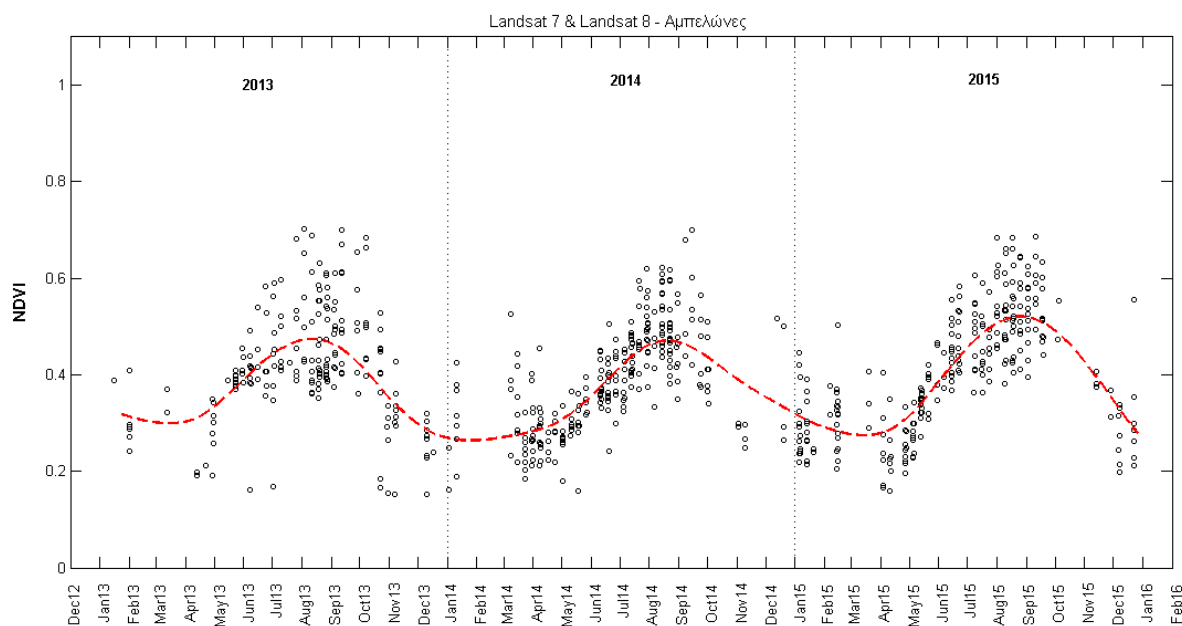


Σχήμα 4-2: (α) Χρονοσειρά του δείκτη **NDVI** από τα δεδομένα **Landsat 7 και Landsat 8** της περιόδου 1999 -2015, για τα σημεία της κατηγορίας **Δάσος Κωνοφόρων**
 (β) Χρονοσειρά του δείκτη **NDVI** από τα δεδομένα **Landsat 7 και Landsat 8** της περιόδου 2013-2015, για τα σημεία της κατηγορίας **Δάσος Κωνοφόρων**

Από το σχήμα 4-2(α) γίνεται εμφανής η σημαντική αύξηση των παρατηρήσεων μετά το μήνα Απρίλη του 2013 (δεξιά της κάθετης γραμμής). Το γεγονός αυτό αναδεικνύει τη σημαντικότητα της αξιοποίησης δεδομένων και από τους 2 διαφορετικούς δορυφόρους της σειράς Landsat, για την αύξηση της πυκνότητας των δεδομένων μιας χρονοσειράς. Αποτέλεσμα του τελευταίου είναι να μπορούν να υπολογιστούν ακριβέστερα μαθηματικά μοντέλα χρονοσειρών. Στο ίδιο διάγραμμα χρονοσειράς παρατηρείται ότι ο δείκτης βλάστησης NDVI παρουσιάζει αυξητική τάση με το πέρασμα του χρόνου. Πιθανώς το γεγονός αποτελεί ένδειξη ότι στην περιοχή των σημείων αυτών που καλύπτεται με δάσος από κωνοφόρα, τα δέντρα είναι πιο υγιή τα τελευταία έτη.

4.5.2 Αμπελώνες

Το επόμενο διάγραμμα είναι της μορφής άξονας x =χρόνος, άξονας y = NDVI, για τα σημεία που ανήκουν στην κατηγορία *Αμπελώνες* και οι παρατηρήσεις αφορούν τα δεδομένα Landsat 7 και Landsat 8 για το χρονικό διάστημα 2013 – 2015.

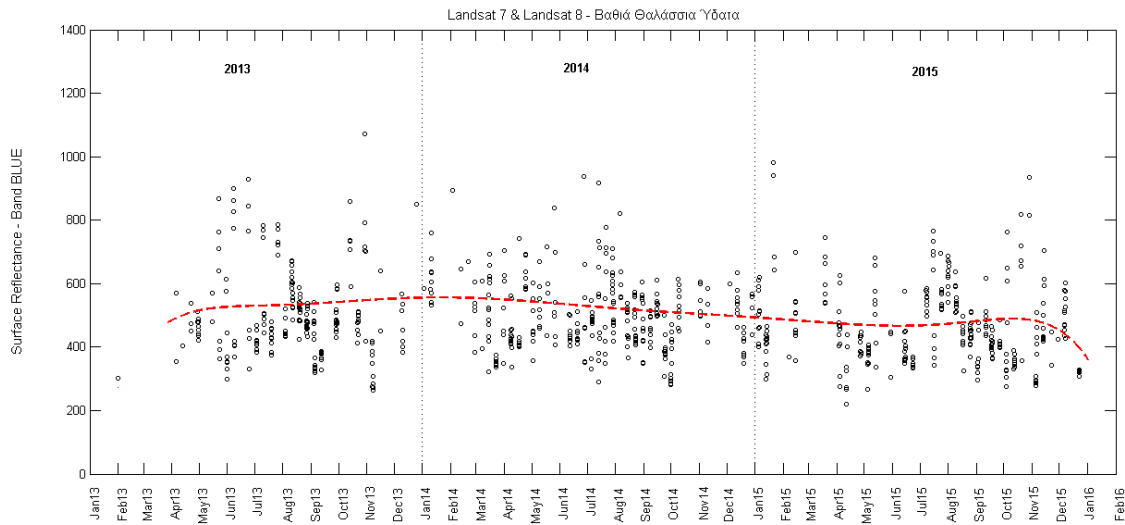


Διάγραμμα 4-18: Χρονοσειρά του δείκτη **NDVI** από τα δεδομένα **Landsat 7 και Landsat 8** της περιόδου 2013 -2015, για τα σημεία της κατηγορίας **Αμπελώνες**

Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 0.2 έως 0.7 περίπου και η καμπύλη (πολυώνυμο 8^{ου} βαθμού) που προσαρμόζεται παρουσιάζει ανώτατη τιμή στο 0.5 κατά την περίοδο του καλοκαιριού κάθε έτους. Το έτος 2015 η καμπύλη παρουσιάζει ελάχιστα υψηλότερο peak/μέγιστο, σε σχέση με τα δύο προηγούμενα έτη.

4.5.3 Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα

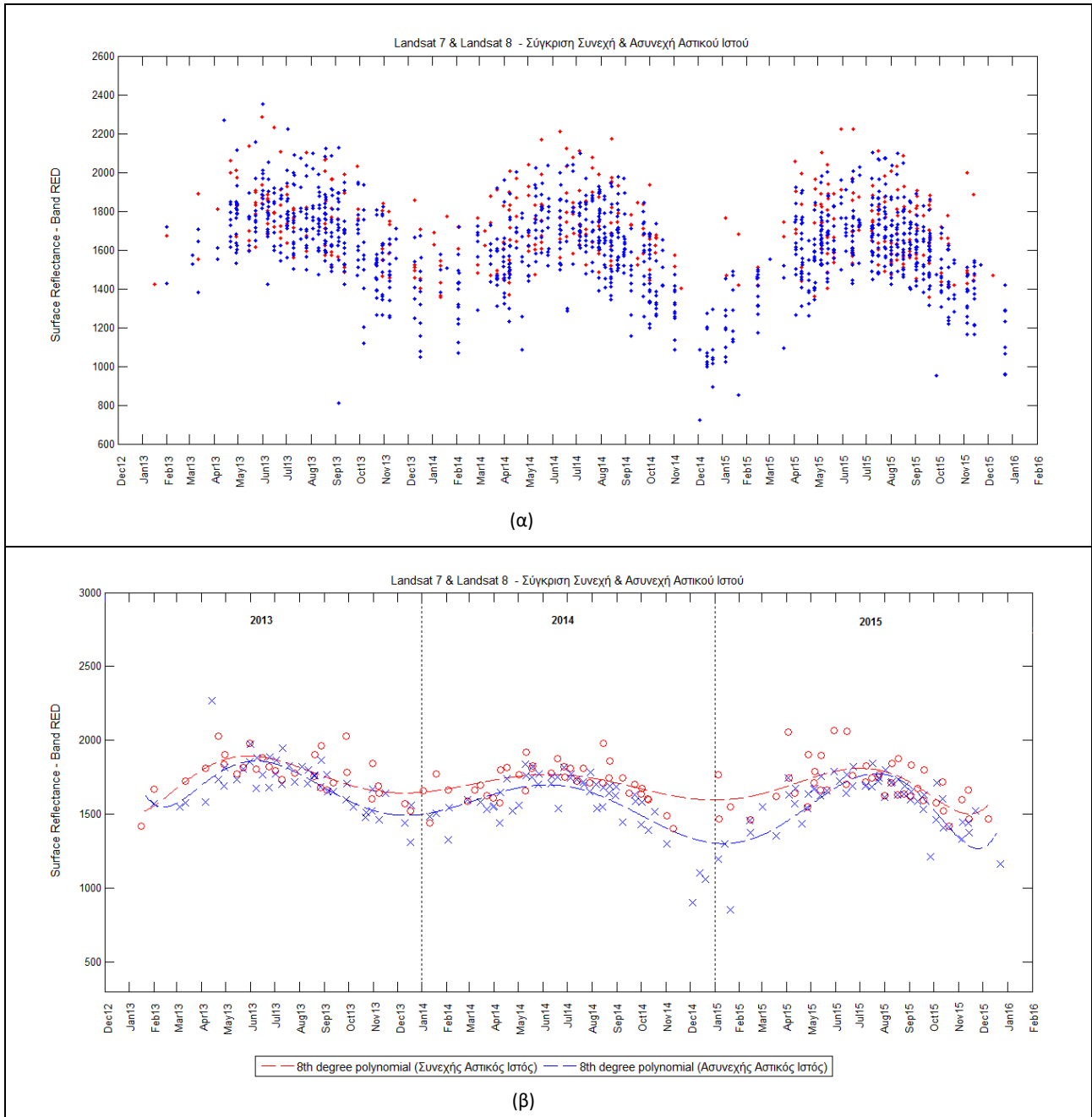
Το επόμενο διάγραμμα, για την κατηγορία *Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα*, είναι της μορφής άξονας x=χρόνος, άξονας y=τιμή ανακλαστικότητας στο μπλε κανάλι. Οι παρατηρήσεις που αποδίδονται στο διάγραμμα χρονοσειράς που ακολουθεί είναι οι καταγραφές των σημείων της κατηγορίας για τη χρονική περίοδο 2013 – 2015, από τα σετ δεδομένων Landsat 7 και Landsat 8.



Διάγραμμα 4-19: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο **μπλε** κανάλι από τα δεδομένα **Landsat 7** και **Landsat 8** της περιόδου 2013-2015, για τα σημεία της κατηγορίας **Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα**

4.5.4 Αστικός Ιστός

Το επόμενο σχήμα αφορά διαγράμματα χρονοσειρών, της μορφής: άξονας x=χρόνος, άξονας y= ανακλαστικότητα στο κόκκινο κανάλι (band 3 του δέκτη ETM, band 4 του OLI). Τα δεδομένα στο σχήμα 4-3 (α) είναι οι παρατηρήσεις των σημείων για τις δύο υποκατηγορίες του Αστικού Ιστού (Συνεχής και Ασυνεχής) στο κόκκινο κανάλι, από τα δεδομένα των δορυφόρων **Landsat 7** και **Landsat 8** της περιόδου 2013 – 2015. Με **μπλε** κουκκίδες είναι όλες οι παρατηρήσεις (και των δύο δορυφόρων) για τον **Ασυνεχή Αστικό Ιστό** και με **κόκκινες** κουκκίδες οι αντίστοιχες για το **Συνεχή Αστικό Ιστό**. Λόγω του μεγάλου αριθμού δεδομένων που περιέχει το εν λόγω διάγραμμα, το εικονιστικό αποτέλεσμα είναι αρκετά ασαφές. Στο διάγραμμα (β) του σχήματος, αντί όλων των ανά ημέρα παρατηρήσεων κάθε χρονοσειράς, απεικονίζεται μόνο ο μέσος όρος των τιμών ανακλαστικότητας ανά ημέρα, με κύκλους για τα σημεία της κατηγορίας **Συνεχής Αστικός Ιστός** και με το σύμβολο 'x' για την κατηγορία του **Ασυνεχή Αστικού Ιστού**. Επίσης, στα δεδομένα των χρονοσειρών του διαγράμματος (β) έχουν προσαρμοστεί, με τη χρήση του εργαλείου Curve Fitting Toolbox (βλ. οδηγίες στο Παράρτημα III), 8^{ου} βαθμού πολυώνυμα.



Σχήμα 4-3: (α) Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο κόκκινο κανάλι από τα δεδομένα **Landsat 7 και Landsat 8** της περιόδου 2013-2015 για τον **Ασυνεχή Αστικό Ιστό (μπλε)** & **Συνεχή Αστικό Ιστό (κόκκινο)**
 (β) Χρονοσειρά από τα δεδομένα του (α) διαγράμματος, με τους ημερήσιους μέσους όρους ανακλαστικότητας και προσαρμογή πολυώνυμων 8^{ου} βαθμού

Γίνεται αντιληπτό ότι, κατά μέσο όρο, οι παρατηρήσεις στο κόκκινο κανάλι των σημείων που ανήκουν στην κατηγορία του *Συνεχή Αστικού Ιστού* παρουσιάζουν υψηλότερη ανακλαστικότητα σε σχέση με του *Ασυνεχή*. Στα διαγράμματα 4-13 και 4-17, τα οποία αφορούν τις ίδιες κατηγορίες αλλά την εγγύς υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος παρατηρείται το αντίθετο, δηλαδή, οι κατά μέσο όρο ανακλαστικότητες των σημείων του *Ασυνεχή Αστικού Ιστού* είναι υψηλότερες. Η συμπεριφορά

αυτή για τα σημεία των δύο κατηγοριών είναι και η αναμενόμενη, διότι, κατά κανόνα, οι τεχνητές επιφάνειες ανακλούν περισσότερη ακτινοβολία σε σχέση με τη βλάστηση στο κόκκινο, ενώ στο εγγύς υπέρυθρο ισχύει το αντίθετο για την υγιή βλάστηση και τα ανθρωπογενή στοιχεία.

4.6 Διαγράμματα Χρονοσειρών – Σύγκριση Καμπύλης Κινητού Μέσου Όρου

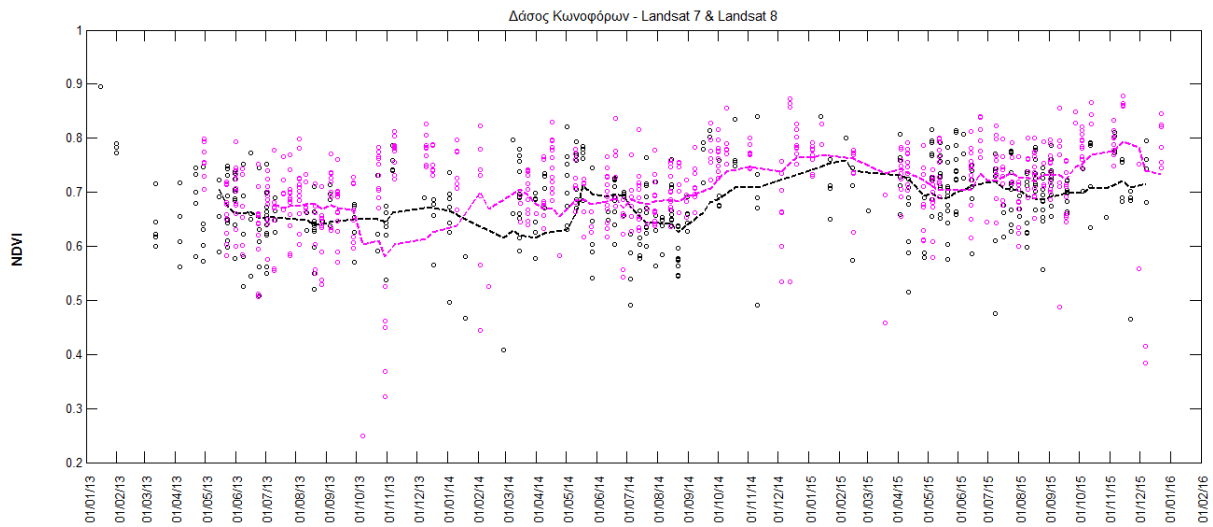
Στα παρακάτω διαγράμματα χρονοσειρών, οι παρατηρήσεις που προέρχονται από διαφορετικούς δορυφορικούς δέκτες αποδίδονται με διαφορετικό χρώμα, με στόχο να γίνει μια προσπάθεια σύγκρισης μεταξύ τους και να διαπιστωθεί αν μπορούν να συσχετίζονται και επακόλουθα να αποδίδονται ενιαία σε διαγράμματα αυτής μορφής.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθεί ότι, τα κανάλια Band 1 έως Band 7 (εκτός του θερμικού-Band 6) για τους δέκτες TM και ETM+, καλύπτουν τις ίδιες περιοχές του φάσματος (βλ. Εικόνα 3-1), επομένως δεν υπάρχει ανάγκη σύγκρισης τους. Το ίδιο ισχύει και για τα τρία οπτικά κανάλια (band 1, band 2 και band 3) όλων των δορυφόρων που μελετώνται. Ωστόσο, υπάρχει διαφορά στα μήκη κύματος κάποιων καναλιών του δέκτη του Landsat 8, σε σχέση με εκείνα των προηγούμενων δορυφόρων της σειράς Landsat. Για παράδειγμα, το εγγύς υπέρυθρο του OLI καλύπτει το φάσμα 0.85 μm -0.88 μm , ενώ το αντίστοιχο κανάλι των TM και ETM+ (βλ. Διάγραμμα 3-1: Σύγκριση καναλιών Landsat 7 – Landsat 8) καλύπτει το φάσμα 0.77 μm -0.90 μm .

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, παρουσιάζονται, για τις κατηγορίες *Δάσος Κωνοφόρων*, *Αμπελώνες*, *Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα* και *Συνεχής Αστικός Ιστός*, χρονοσειρές από δεδομένα 2 δεκτών (μεταξύ των TM, ETM+ και OLI) και εφαρμόζεται μία καμπύλη στα δεδομένα κάθε δορυφόρου, η οποία καμπύλη είναι ο κινητός μέσος όρος (moving average) για τις μέσες ημερήσιες παρατηρήσεις κάθε χρονοσειράς. Ο συγκεκριμένος τύπος καμπύλης, παρά της μη ομαλής μορφής που έχει, επιλέχθηκε να προσαρμοστεί στα δεδομένα κάθε χρονοσειράς, διότι είναι επιθυμητό να είναι ενιαίο και άρα περισσότερο αντικειμενικό το “εργαλείο” που θα χρησιμοποιηθεί για σύγκριση. Ο κινητός μέσος όρος υπολογίζεται με τη χρήση της συνάρτησης του Matlab ‘tsmonavg’, όπου μετά από δοκιμές, στον υπολογισμό κάθε νέας τιμής του διανύσματος κινητού μέσου όρου, επιλέχθηκε να συμμετέχουν οι 7 προηγούμενες τιμές των δεδομένων της χρονοσειράς, το οποίο εξηγεί γιατί οι καμπύλες δεν προσαρμόζονται από την αρχή των δεδομένων στα επόμενα διαγράμματα.

4.6.1 Δάσος Κωνοφόρων

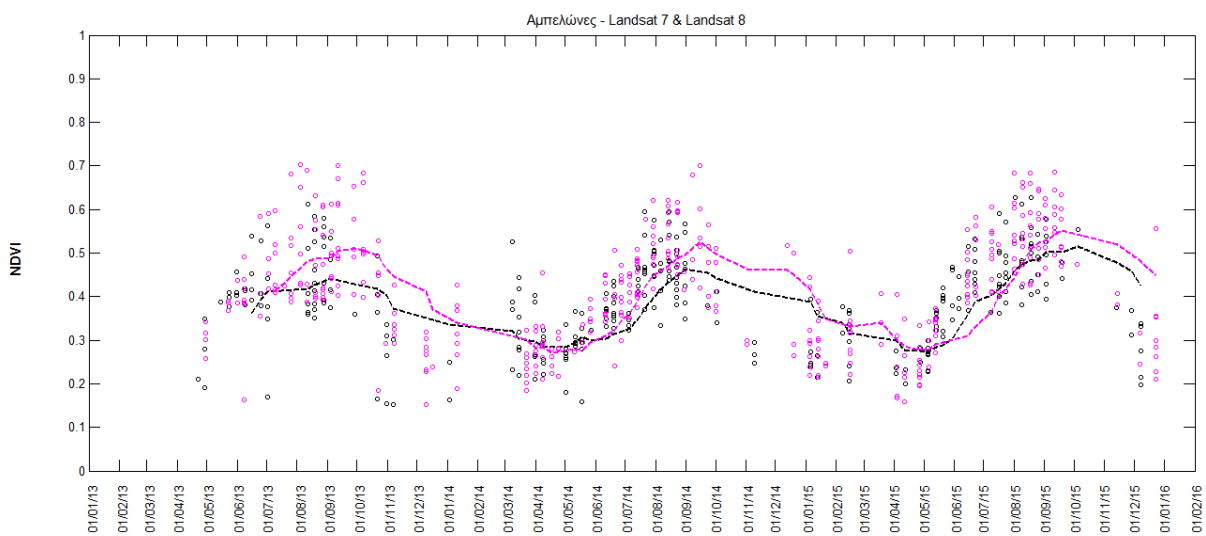
Το επόμενο διάγραμμα είναι της μορφής $x=\text{χρόνος}$, $y=\text{NDVI}$ και αφορά τις τιμές του δείκτη βλάστησης των σημείων της υποκατηγορίας *Δάσος Κωνοφόρων* για τα έτη 2013, 2014 και 2015. Με μαύρο χρώμα απεικονίζονται οι τιμές της χρονοσειράς του δείκτη από τα δεδομένα Landsat 7/ETM+ και με ματζέντα αυτές από τα δεδομένα Landsat 8. Οι αντίστοιχου χρώματος διακεκομμένες γραμμές στο διάγραμμα είναι ο κινητός μέσος όρος για τα δεδομένα κάθε χρονοσειράς.



Διάγραμμα 4-20: Χρονοσειρά NDVI **Landsat 7 (μαύρο)** και NDVI **Landsat 8 (ματζέντα)** για την υποκατηγορία **Δάσος Κωνοφόρων** (περίοδος: 2013 -2015)

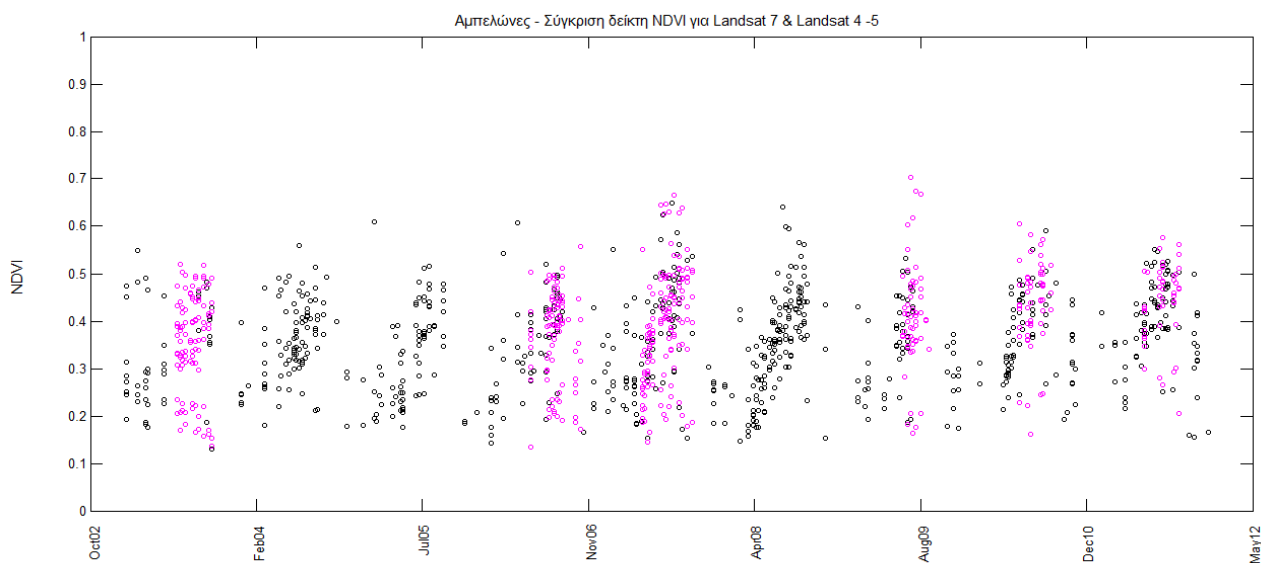
4.6.2 Αμπελώνες

Για την υποκατηγορία *Αμπελώνες*, τα επόμενα διαγράμματα είναι της μορφής $x=χρόνος$, $y=NDVI$. Το πρώτο κατά σειρά καλύπτει το χρονικό φάσμα Απρίλης 2013 – Δεκέμβρης 2015, στο οποίο, με μαύρο χρώμα αποδίδονται οι τιμές του δείκτη από τα δεδομένα Landsat 7/ETM+ και με ματζέντα αυτές από τα δεδομένα Landsat 8. Οι αντίστοιχοι χρώματος γραμμές είναι κι εδώ, ο κινητός μέσος όρος κάθε χρονοσειράς.



Διάγραμμα 4-21: Χρονοσειρά NDVI **Landsat 7 (μαύρο)** και NDVI **Landsat 8 (ματζέντα)** για την υποκατηγορία **Αμπελώνες** (περίοδος: Απρίλης 2013 -2015)

Το επόμενο διάγραμμα αφορά παρατηρήσεις NDVI για τα έτη από 2002 έως και το 2011, όπου οι κύκλοι με μαύρο χρώμα αντιστοιχούν στις τιμές του δείκτη από τα δεδομένα Landsat 7/ETM+ και με ματζέντα χρώμα είναι οι αντίστοιχες από τα δεδομένα TM. Το διάγραμμα αυτό συμπεριλήφθηκε, όχι για να συγκριθούν μεταξύ τους οι διαφορετικοί δορυφόροι, όπως έχει εξηγηθεί, αλλά για την περίπτωση που ενδεχόμενα αναδεικνυόταν κάποια εμφανή διαφορά στο τρόπο με τον οποίο συσχετίζονται τα δεδομένα στο αμέσως παραπάνω με το αμέσως επόμενο διάγραμμα (Διαγράμματα 4-21 και 4-22).

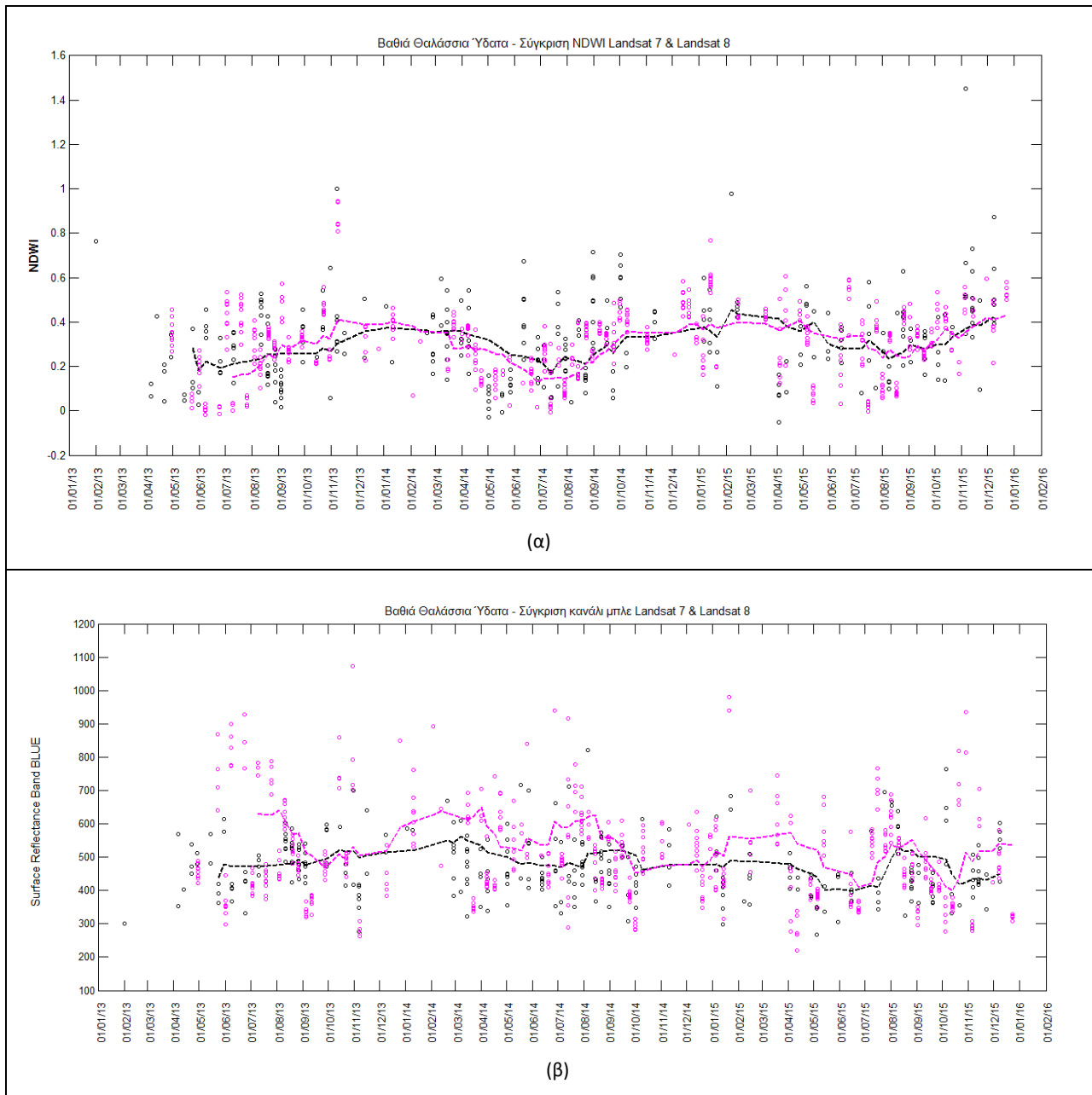


Διάγραμμα 4-22: Χρονοσειρά NDVI **Landsat 7 (μαύρο)** και NDVI **Landsat 4-5 (ματζέντα)** για την υποκατηγορία **Αμπελώνες** (περίοδος 2002 -2011)

Παρατηρείται και στο παραπάνω γράφημα η ασυνέχεια στο χρόνο των δεδομένων TM (Thematic Mapper).

4.6.3 Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα

Στο επόμενο σχήμα, για την υποκατηγορία *Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα*, περιλαμβάνονται δεδομένα από τους Landsat 7 και Landsat 8. Το σχήμα 4-4(α), είναι της μορφής άξονας x=χρόνος, άξονας y=NDWI (Normalized Difference Water Index), για την περίοδο 2013 – 2015, ενώ το σχήμα 4-4(β) είναι της μορφής άξονας x=χρόνος, άξονας y=ανακλαστικότητα επιφάνειας στο μπλε κανάλι για το ίδιο χρονικό διάστημα.

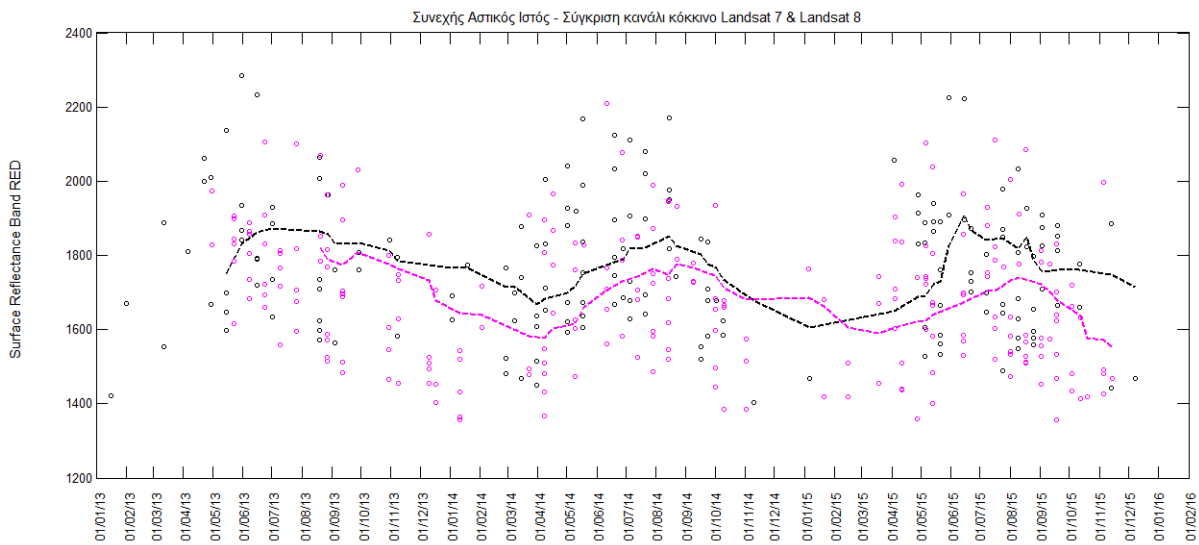


Σχήμα 4-4: (α) Χρονοσειρά NDWI Landsat 7 (μαύρο) και NDWI Landsat 8 (ματζέντα) για την υποκατηγορία **Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα** (περίοδος: 2013 -2015)

(β) Χρονοσειρά στο κανάλι μπλε Landsat 7 (μαύρο) και Landsat 8 (ματζέντα) για την υποκατηγορία **Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα** (περίοδος: 2013 -2015)

4.6.4 Συνεχής Αστικός Ιστός

Για την υποκατηγορία *Συνεχής Αστικός Ιστός*, το επόμενο διαγράμμα είναι της μορφής x =χρόνος, y =τιμές ανακλαστικότητας επιφάνειας στο κόκκινο κανάλι. Η χρονοσειρά καλύπτει το χρονικό φάσμα 2013 – 2015 και περιέχει παρατηρήσεις από τα δεδομένα των Landsat 7 και Landsat 8. Οι τιμές ανακλαστικότητας για τα σημεία στο κανάλι του Landsat 7/ETM+ έχουν μαύρο χρώμα και ματζέντα χρώμα έχουν οι αντίστοιχες τιμές από τα δεδομένα Landsat 8. Οι αντίστοιχου χρώματος διακεκομμένες γραμμές στο ίδιο διάγραμμα είναι η καμπύλη κινητού μέσου όρου για κάθε χρονοσειρά δεδομένων.



Διάγραμμα 4-23: Χρονοσειρά τιμών ανακλαστικότητας στο κόκκινο κανάλι του **Landsat 7 (μαύρο)** και του **Landsat 8 (ματζέντα)** για την υποκατηγορία **Συνεχής Αστικός Ιστός** (περίοδος 2013 -2015)

5

Συμπεράσματα και Προτάσεις

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει κάποια συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της εργασίας αλλά και προτάσεις πάνω στη βελτίωση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και την εξέλιξη της έρευνας στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

Κάποια από τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι παρόμοια και συμφωνούν με εκείνα της εργασίας που εκπονήθηκε πρόσφατα στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης από τον κ. Δ.Γαλανάκη αλλά και παρατηρήσεις άλλων ερευνητών στη βιβλιογραφία.

5.1 Γενικά Συμπεράσματα

Τα διαχρονικά δεδομένα και παρατηρήσεις σε περιοχές της Ελλάδας σε επικαλυπτόμενες περιοχές των Landsat, μπορεί να φτάσουν σε αριθμό **πάνω από 730** από το **1984** έως και το τέλος του **2015**. Αυτά τα δεδομένα δεν είναι αρμονικά συνεχόμενα στο χρόνο, διότι για πολλά έτη τα οποία καλύπτονται από τους δορυφόρους Landsat 4 και Landsat 5 δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Αυτό τουλάχιστον για τα δύο path-row (183-32 και 184-32) που μελετήθηκαν πιο επισταμένα στην παρούσα εργασία. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι για άλλα τουλάχιστον 7 έτη στο διάστημα 1984 -2011 τα δεδομένα των ίδιων δορυφόρων που παρέχονται είναι πολύ λίγα, είχε ως αποτέλεσμα οι εικόνες Landsat 4-5 να μη μπορέσουν να αξιοποιηθούν πλήρως στη δημιουργία χρονοσειρών λόγω της ασυνέχειας τους μέσα στο χρόνο.

Ένα λοιπόν πρώτο βασικό συμπέρασμα είναι ότι οι χρονοσειρές που είναι διαθέσιμες για τους δορυφόρους Landsat 4-5 δεν παρέχουν αρκετές παρατηρήσεις για μια πυκνή και συνεπής στο χρόνο διαχρονική ανάλυση της φασματικής συμπεριφοράς των εικονοστοιχείων και τον πιθανό εντοπισμό μεταβολών σε κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης (LandUse –LandCover : LULC).

Στην περίπτωση που η περιοχή μελέτης αφορά επικαλυπτόμενο τμήμα δορυφορικών διαδρομών του WRS-2, υπάρχει δορυφορική λήψη της περιοχής ανά 8 ημέρες από κάθε δορυφόρο της σειράς Landsat. Όταν υπάρχουν δύο δορυφόροι της σειράς σε τροχιά στο διάστημα, οι λήψεις της περιοχής ετησίως μπορεί να ξεπεράσουν τις **100**, όπως αυτό παρατηρήθηκε για το έτος 2014. Το γεγονός αυτό αντανάκλα το σημαντικό πλεονέκτημα που υπάρχει για μελέτη περιοχών σε επικαλυπτόμενα τμήματα.

Αξίζει να επισημανθεί ότι, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αλλά και ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε, με κατάλληλη τροποποίηση, μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικά τηλεπισκοπικά δεδομένα, με μεγαλύτερη χρονική διακριτική ικανότητα. Επακόλουθα, οι χρονοσειρές τιμών ανακλαστικότητας που θα προκύψουν θα είναι πυκνότερες.

Ο τρόπος επιλογής των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία παίζει σημαντικό ρόλο στη μορφή των χρονοσειρών και τις δυνατότητες μοντελοποίησης του σχήματος των καμπυλών. Πιο συγκεκριμένα, τα σημεία για κάθε κατηγορία κάλυψης /χρήσης γης επιλέχτηκαν τυχαία στην περιοχή του επικαλυπτόμενου χωρίς κάποια κανονικότητα ή ομαδοποίηση σημείων ανά περιοχή. Επομένως, υπάρχουν σημεία, για παράδειγμα, της κατηγορίας *Δάσος Κωνοφόρων* διάσπαρτα σε όλη την περιοχή μελέτης, αντί να υπάρχουν μικρές υπο-ομάδες σημείων της κατηγορίας σε συγκεκριμένες περιοχές. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να μελετηθεί η γενική φασματική συμπεριφορά, οι τάσεις και οι μεταβολές της ανακλαστικότητας των σημείων κάθε υποκατηγορίας, αλλά δε μπορεί να γίνει εντοπισμός αλλαγής κάλυψης/χρήσης γης σε συγκεκριμένες περιοχές. Αντιθέτως, αν είχαν επιλεγεί ομάδες σημείων σε συγκεκριμένες περιοχές θα ήταν εφικτή η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών περιοχών αλλά και ο πιθανός εντοπισμός αλλαγής κάλυψης/χρήσης γης σε κάποια περιοχή γνωρίζοντας σε ποια τοποθεσία αναφέρονται τα εκάστοτε σημεία και παρακολουθώντας τα, ομαδοποιημένα(Γαλανάκης Δ.).

Ένα πλεονέκτημα που παρουσιάζει η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, είναι ότι, λόγω της επιλογής μεμονωμένων σημείων και δεδομένου ότι δεν υπήρξε κάποιος περιορισμός/κατώφλι που να αφορά το ποσοστό νεφοκάλυψης των τηλεπισκοπικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, οι τιμές ανακλαστικότητας για τα σημεία είναι δυνατό να προέρχονται από οποιαδήποτε σκηνή (δορυφορική λήψη). Με αυτό τον τρόπο καθίστανται αξιοποιήσιμες (αν και όχι στο σύνολο τους) εικόνες με μεγάλο ποσοστό νεφοκάλυψης, χωρίς την εφαρμογή αλγόριθμου ανίχνευσης και αφαίρεσης νεφών.

Από την ανάλυση των δεδομένων, διαπιστώθηκε ότι ο αλγόριθμος *Fmask* που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό νεφών, σκιών, πάγου, χιονιού και νερού για τις εικόνες Landsat, δεν είναι πλήρως αξιόπιστος. Αναγκαία καθίσταται λοιπόν, επιπλέον διαδικασία και επεξεργασία για τον εντοπισμό μόνο των 'καθαρών' παρατηρήσεων.

Έγινε προσπάθεια η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων, λόγω του μεγάλου όγκου τους, να προσεγγιστεί με κάπως αυτοματοποιημένο τρόπο. Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της προσέγγισης είναι ότι, παρά το μεγάλο αριθμό των δεδομένων (π.χ. **20 σημεία σε 730 πολυφασματικές εικόνες**), η αυτοματοποιημένη διαδικασία επεξεργασίας τους δε συμπεριλαμβάνει λάθη ενός χειριστή ή διαφορετικές προσεγγίσεις από φωτοερμηνευτή σε φωτοερμηνευτή. Η επεξεργασία των δεδομένων και η παραγωγή διαφόρων γραφημάτων που πραγματοποιήθηκε στο Matlab (είτε σε άλλα προγραμματιστικά περιβάλλοντα) δίνει τη δυνατότητα, μετά από τροποποίηση του κώδικα, για την ανάλογη επεξεργασία πλήθους δεδομένων σε διάφορα μήκη και πλάτη και από δορυφορικά δεδομένα άλλων πηγών (π.χ. Sentinel-2).

5.2 Ειδικά Συμπεράσματα

Όσον αφορά τη διαδικασία επιλογής των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν, η φωτοερμηνεία τους σε έγχρωμο σύνθετο εικόνων Landsat (30m χωρική ανάλυση) παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία και δε θα μπορούσε να επιτευχθεί χωρίς την παράλληλη χρήση εικόνων καλύτερης ανάλυσης, όπως Google Maps.

Ένα αρχικό συμπέρασμα είναι ότι, η χρήση εικόνων από διαφορετικές ημερομηνίες, για παράδειγμα, μία εικόνα για κάθε εποχή του έτους, θα συνέβαλε στον ευκολότερο και καλύτερο εντοπισμό των διαφορετικών κατηγοριών LULC, ιδιαίτερα εκείνων που αφορούν καλλιέργειες και εν γένει βλάστηση.

Μία ακόμη προσέγγιση θα ήταν, πριν την επιλογή των σημείων να έχει προηγηθεί κάποιου είδους ψηφιακής επεξεργασίας σε εικόνα της περιοχής, όπως μια διαδικασία ταξινόμησης (είτε επιβλεπόμενης είτε μη επιβλεπόμενης).

Ένα ακόμη συμπέρασμα είναι ότι το διάγραμμα με τις φασματικές υπογραφές των παρατηρήσεων κάθε σημείου (άξονας x-κανάλια δέκτη, άξονας γ-τιμή ανακλαστικότητας σημείου), βοηθά στον εντοπισμό εκείνων των παρατηρήσεων του σημείου που διαφέρουν σημαντικά από την πλειονότητα, οπότε πιθανότητα αποτελούν θόρυβο που δεν εντοπίστηκε από τον αλγόριθμο *Fmask*.

Τα διαγράμματα που αφορούν τα σημεία κάθε υποκατηγορίας κάλυψης/χρήσης γης, στα οποία κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει τη μέση φασματική υπογραφή διαφορετικού σημείου της, επιτρέπει τη δημιουργία πιο ομοιογενών φασματικά υποκατηγοριών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των διαγραμμάτων, καθώς απομακρύνονται τα σημεία εκείνα που έχουν διαφορετική φασματική συμπεριφορά σε σχέση με τα άλλα της υποκατηγορίας. Ακόμη, από την ανάλυση αυτής της μορφής διαγραμμάτων μπορούν να εντοπιστούν διαφορετικές φασματικές ομάδες σημείων, τα οποία είχαν επιλεγεί με φωτοερμηνεία και είχαν συνδεθεί με μία κατηγορία χρήσης / κάλυψης γης. Επομένως, μια κατηγορία που είχε επιλεγεί αρχικά, μπορεί τελικά να διασπαστεί σε δύο ή περισσότερες πιο συμπαγείς φασματικά υποκατηγορίες (Γαλανάκης Δ.).

Τα διαγράμματα χρονοσειρών, στα οποία παρουσιάζονται όλες οι παρατηρήσεις για τα σημεία μιας υποκατηγορίας διαχρονικά και αφορούν, είτε ένα κανάλι, είτε κάποιο δείκτη (NDVI, NDWI κ.ά.), χρησιμεύουν στην αναγνώριση των τάσεων και της δυναμικής που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα σημεία και κατ' επέκταση ολόκληρη η υποκατηγορία.

Τα μοντέλα χρονοσειρών για κάθε εικονοστοιχείο μιας εικόνας είναι μια πρακτική που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία συνθετικών εικόνων. Τα μοντέλα αυτά εξαρτώνται από τον αριθμό των διαθέσιμων καθαρών παρατηρήσεων των σημείων, καθώς όσο περισσότερο καθαρές παρατηρήσεις τόσο πιο σύνθετο το μοντέλο που χρησιμοποιείται. Στην κατεύθυνση αυτή, η μεθοδολογική προσέγγιση που προτείνεται, αν συνδυαστεί με προεπεξεργασία των εικόνων για την αφαίρεση νεφών, πιθανώς συμβάλει στην αύξηση της πυκνότητας των δεδομένων και επακόλουθα στην προσαρμογή ακριβέστερων μαθηματικών μοντέλων σε κάθε εικονοστοιχείο. Επίσης ελπιδοφόρα φάνηκε και η προοπτική παράλληλης χρήσης δεδομένων Landsat 8 και ETM σε κοινή χρονοσειρά.

Βιβλιογραφία

- [1] Bovolo, F., Bruzzone, L., & King R. L. (2013). **Introduction to the Special Issue on Analysis of Multitemporal Remote Sensing Data.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(4)
- [2] Carrao, H., Goncalves, P., & Caetano, M. (2008). **Contribution of multispectral and multitemporal information from MODIS images to land cover classification.** *Remote Sensing of Environment*, 112(3), 986–997.
- [3] Cihlar, J., Manak, D., & D'lorio, M. (1994). **Evaluation of compositing algorithms for AVHRR data over land.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32, 427–437.
- [4] Davis, J.C. (1986). **Statistics and data analysis in geology (Second Edition).** New York, N. Y.: J. Wiley and Sons, 646.
- [5] Epiphonio, R. D. V., A. R. Formaggio, B. F. T. Rudorff, E. E. Maeda, and A. J. B. Luiz. (2010). **Estimating Soybean Crop Areas using Spectral-Temporal Surfaces Derived from MODIS Images in Mato Grosso, Brazil.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 45: 72–80.
- [6] Gao, F., Masek, J., Schwaller, M., & Hall, F. (2006). **On the blending of the Landsat and MODIS surface reflectance: Predicting daily Landsat surface reflectance.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(8), 2207–2218.
- [7] Griffiths, P., van der Linden, S., Kuemmerle, T., & Hostert, P. (2013). **A pixel-based Landsat compositing algorithm for large area land cover mapping.** *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(5), 2088–2101.
- [8] Guerschman, J. P., Paruelo, J. M., Bella, C. D. I., Giallorenzi, M. C., & Pacin, F. (2003). **Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data.** *International Journal of Remote Sensing*, 24(17), 3381–3402.
- [9] Hansen, M.C., Roy, D.P., Lindquist, E., Adusei, B., Justice, C.O., & Altstatt, A. (2008). **A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin.** *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 2495–2513.
- [10] Hermosilla, T.,Wulder, M.A.,White, J.C., Coops, N.C., & Hobart, G.W. (2015). **An integrated Landsat time series protocol for change detection and generation of annual gap-free surface reflectance composites.** *Remote Sensing of Environment*, 158, 220–234.
- [11] Hilker, T., Wulder, M.A., Coops, N.C., Linke, J., McDermid, G., Masek, J.G., et al. (2009). **A new data fusion model for high spatial- and temporal-resolution mapping of forest disturbance based on Landsat and MODIS.** *Remote Sensing of Environment*, 113(8), 1613–1627.
- [12] Holben, B.N. (1986). **Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data.** *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), 1417–1434.

- [13] Huang, C., Goward, S. N., Masek, J. G., Thomas, N., Zhu, Z., & Vogelmann, J. E. (2010). **An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks.** *Remote Sensing of Environment*, 114, 183–198.
- [14] Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Vermote, E.F., Masuoka, E., Wolfe, R.E., Saleous, N., et al. (2002). **An overview of MODIS Land data processing and product status.** *Remote Sensing of Environment*, 83(1), 3–15.
- [15] Kennedy, R. E., Cohen, W. B., & Schroeder, T. A. (2007). **Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics.** *Remote Sensing of Environment*, 110, 370–386.
- [16] Rayner, J.N. (1971). **An introduction to spectral analysis.** London: Pion Ltd, 174.
- [17] Roy, D.P., Ju, J., Kline, K., Scaramuzza, P.L., Kovalskyy, V., Hansen, M., et al. (2010). **Web-enabled Landsat Data (WELD): Landsat ETM+ composited mosaics of the conterminous United States.** *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 35–49.
- [18] Stoms, D.M., Bueno, M.J., & Davis, F.W. (1997). **Viewing geometry of AVHRR image composites derived using multiple criteria.** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 681–689.
- [19] Strahler, A. H., J. P. Muller, and Development Team. 1999. *MODIS BRDF/Albedo Product: Algorithm Theoretical Basis Document. Version 5.0.* Washington, DC: NASA, April, 7.
- [20] Verbesselt, J., Zeileis, A., & Herold, M. (2012). **Near real-time disturbance detection using satellite image time series.** *Remote Sensing of Environment*, 123, 98–108.
- [21] Vieira, C. A. O., P. M. Mather, and M. Mccullagh. (2000). **The Spectral-Temporal Response Surface and Its use in the Multi-Sensor, Multi-Temporal Classification of Agricultural Crops.** In *ISPRS: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, edited by International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 33, Amsterdam, The Netherlands, Part B2, 582–9.
- [22] Villa G., Moreno J., Calera A., Amorós-López J., Camps-Valls G., Domenech E., Garrido J., González-Matesanz J., Gómez-Chova L., Ángel Martínez J., Molina S., Peces J, Plaza N, Porcuna A., Tejeiro J. & Valcárcel N. (2012): **Spectro-temporal reflectance surfaces: a new conceptual framework for the integration of remote-sensing data from multiple different sensors.** *International Journal of Remote Sensing*, DOI:10.1080/01431161.2012.716910
- [23] White, J. C., Wulder, M. A., Hobart, G. W., Luther, J. E., Hermosilla, T., Griffiths, P., et al. (2014). **Pixel-based image compositing for large-area dense time series applications and science.** *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40(3), 192–212.
- [24] Wolter, P. I., Mladenof, D. S., & Crow, T. R. (1995). **Improved forest classification in the northern lake states using multi-temporal Landsat imagery.** *Photogrammetry Engineering & Remote Sensing*, 61(9), 1129–1143.
- [25] Zhu, Z., & Woodcock, C.E. (2012). **Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery.** *Remote Sensing of Environment*, 118(15), 83–94.

- [26] Zhu, Z., Woodcock, C.E., & Olofsson, P. (2012). **Continuous monitoring of forest disturbance using all available Landsat imagery.** *Remote Sensing of Environment*, 122, 75–91.
- [27] Zhu, Z., Woodcock, C. E., Rogan, J., & Kellndorfer, J. (2012). **Assessment of spectral, polarimetric, temporal, and spatial dimensions for urban and peri-urban land cover classification using Landsat and SAR data.** *Remote Sensing of Environment*, 117, 72–82.
- [28] Zhu, Z., & Woodcock, C.E. (2014a). **Automated cloud, cloud shadow, and snow detection in multitemporal Landsat data: An algorithm designed specifically for monitoring land cover change.** *Remote Sensing of Environment*, 152, 217–234.
- [29] Zhu, Z., & Woodcock, C.E. (2014b). **Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data.** *Remote Sensing of Environment*, 144, 152–171.
- [30] Zhu, Z., Woodcock, C.E., Holden, C., & Yang, Z. (2015). **Generating synthetic Landsat images based on all available Landsat data: Predicting Landsat surface reflectance at any given time.** *Remote Sensing of Environment*, 162, 67–83.
- [31] Γαλανάκης Δ. (2016). **Ανάλυση Χρονοσειρών από δεδομένα Landsat 8 για την αξιολόγηση του αλγόριθμου Fmask.** *Διπλωματική Εργασία*

Διαδικτυακοί Τόποι

1. <http://landsat.usgs.gov/documents/cdr_sr_product_guide.pdf> Ανάκτηση 2016
2. <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> Ανάκτηση 2016
3. <http://landsat.usgs.gov/worldwide_reference_system_WRS.php> Ανάκτηση 2016
4. <http://landsat.usgs.gov/best_spectral_bands_to_use.php> Ανάκτηση 2016

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1: Εξίσωση του απλού μοντέλου χρονοσειρών και επεξήγηση των συντελεστών του	5
Εικόνα 2-2 : Μοντέλα χρονοσειρών υπολογισμένα για την ανακλαστικότητα επιφάνειας στο Κανάλι 4 (εγγύς υπέρυθρο), χρησιμοποιώντας όλες τις παρατηρήσεις από τα διαθέσιμα δεδομένα Landsat μεταξύ του 2001 και 2004 για ένα εικονοστοιχείο καλλιέργειας. Τα μαύρα σημεία είναι όλες οι διαθέσιμες καθαρές παρατηρήσεις. Η πράσινη γραμμή είναι η ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 4 υπολογισμένη από το απλό μοντέλο. Η μπλε γραμμή είναι η ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 4 υπολογισμένη από το ανεπτυγμένο μοντέλο. Η κόκκινη γραμμή είναι η ανακλαστικότητα επιφάνειας στο κανάλι 4 υπολογισμένη από το πλήρες μοντέλο.	6
Εικόνα 2-3: Σχήμα διαδικασίας spatial downscaling (χωρικής υποκλιμάκωσης).....	8
Εικόνα 2-4 : Οπτικοποίηση των φασματο-χρονικών επιφανειών ανακλαστικότητας (STRSs) 2 εδαφοψηφίδων (GCs) : (α) μέσα σε γεωτεμάχιο με καλαμπόκια και (β) μέσα σε γεωτεμάχιο με τριφύλλι. Η αναπαράσταση των STRSs γίνεται με δύο διαφορετικούς τρόπους: ως (i) εικόνα και ως (ii) επιφάνεια.....	10
Εικόνα 2-5: Σχήμα της διαδικασίας για την ανακατασκευή, αποθήκευση και χρήση της βάσης δεδομένων, φασματο-χρονικών επιφανειών ανακλαστικότητας (STRS).	11
Εικόνα 3-1: Φασματικά κανάλια και εφαρμογές τους για τον Landsat TM και ETM+	18
Εικόνα 3-2: Φασματικά κανάλια και εφαρμογές τους για τους δέκτες του Landsat 8	18
Εικόνα 3-3: Επεξήγηση τιμών της εικόνας cfmask	20
Εικόνα 3-4: Οι 44 κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης του προγράμματος CORINE Land Cover	23
Εικόνα 3-5: Τα τελικά σημεία που έχουν επιλεγεί και ο πίνακας χαρακτηριστικών τους στο λογισμικό QGIS.....	28
Εικόνα 3-6: Απόσπασμα αρχείου τύπου CSV, όπως προκύπτει μετά την εκτέλεση του κώδικα σε ρυθμό.....	30
Εικόνα 3-7: Απόσπασμα του αρχείου με τις παρατηρήσεις των σημείων από το Landsat 7 δορυφόρο. Με χρώμα τονίζεται μια εγγραφή για το σημείο 260 της κατηγορίας 'Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα', επηρεασμένη από σύννεφο.....	33
Εικόνα 3-8: Στιγμιότυπο από το λογισμικό QGIS για τον έλεγχο της εγγραφής της εικόνας 3-7.....	33
Εικόνα 3-9: Απόσπασμα του αρχείου με τις παρατηρήσεις των σημείων από το Landsat 8 δορυφόρο. Με χρώμα τονίζεται μια εγγραφή για το σημείο 260 της κατηγορίας 'Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα', επηρεασμένη από σύννεφο.....	34
Εικόνα 3-10: Στιγμιότυπο από το λογισμικό QGIS για τον έλεγχο της εγγραφής της εικόνας 3-9.....	34
Εικόνα 3-11: Απόσπασμα του αρχείου με τις παρατηρήσεις των σημείων από το Landsat 8 δορυφόρο. Με χρώμα τονίζεται μια εγγραφή για το σημείο 21 της κατηγορίας 'Δάσος Κωνοφόρων', επηρεασμένη από σύννεφο.....	35
Εικόνα 3-12: Στιγμιότυπο από το λογισμικό QGIS (εικόνα για το μπλε κανάλι) για τον έλεγχο της εγγραφής της εικόνας 3-11. Η κίτρινη κουκκίδα είναι το σημείο 21	35
Εικόνα 3-13: Στιγμιότυπο από το λογισμικό QGIS (cfmask εικόνα) για τον έλεγχο της εγγραφής της εικόνας 3-11. Η κίτρινη κουκκίδα είναι το σημείο 21	35
Εικόνα 4-1: Χρονική περίοδος λειτουργίας των δορυφόρων Landsat	44

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3-1: Σύγκριση καναλιών των δορυφόρων Landsat 7 και Landsat 8	19
Διάγραμμα 3-2: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε	40
Διάγραμμα 4-1: Συνολικός ανά έτος αριθμός δορυφορικών σκηνών που αποκτήθηκαν (για όλους τους δορυφόρους)	41
Διάγραμμα 4-2: Ανά έτος αριθμός δορυφορικών σκηνών Landsat 8 που συμμετείχαν στη δημιουργία των χρονοσειρών	42
Διάγραμμα 4-3: Ανά έτος αριθμός δορυφορικών σκηνών Landsat 7 που συμμετείχαν στη δημιουργία των χρονοσειρών	43
Διάγραμμα 4-4: Ανά έτος αριθμός δορυφορικών σκηνών Landsat 4 -5 που συμμετείχαν στη δημιουργία των χρονοσειρών	43
Διάγραμμα 4-5: Χρονοσειρά με τις παρατηρήσεις στο κανάλι 5 (εγγύς υπέρυθρο) του Landsat 8 για κάθε σημείο της υποκατηγορίας Δάσος Κωνοφόρων	45
Διάγραμμα 4-6: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας (κουκκίδες) και των μέσων όρων τους ανά ημέρα (τετράγωνο) στο κανάλι 5 του Landsat 8, για τα σημεία της υποκατηγορίας Δάσος Κωνοφόρων	45
Διάγραμμα 4-7: Χρονοσειρά με τις παρατηρήσεις στο κανάλι 5 (εγγύς υπέρυθρο) του Landsat 8 για κάθε σημείο της υποκατηγορίας Δάσος Κωνοφόρων. Οι παρατηρήσεις κάθε σημείου έχουν ενωθεί με γραμμές.....	46
Διάγραμμα 4-8: Χρονοσειρά όλων των παρατηρήσεων (με τιμές cfmask 0 ή 1) στο κανάλι 5 (εγγύς υπέρυθρο) του Landsat 8 για κάθε αρχικό σημείο της υποκατηγορίας Δάσος Κωνοφόρων (πριν την παραιτέρω επεξεργασία)	47
Διάγραμμα 4-9: Χρονοσειρά με τις παρατηρήσεις στο κανάλι 5 (εγγύς υπέρυθρο) του Landsat 8 για κάθε σημείο της υποκατηγορίας Αμπελώνες	48
Διάγραμμα 4-10: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας (κουκκίδες) και του ημερήσιου μέσου όρου τους (τετράγωνο) στο κανάλι 5 του Landsat 8, για τα σημεία της υποκατηγορίας Αμπελώνες	48
Διάγραμμα 4-11: Χρονοσειρά με τις παρατηρήσεις στο κανάλι 2 (μπλε) του Landsat 8 για κάθε σημείο της υποκατηγορίας Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα	49
Διάγραμμα 4-12: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας (κουκκίδες) και του ημερήσιου μέσου όρου τους (τετράγωνο) στο κανάλι 2 του Landsat 8, για τα σημεία της υποκατηγορίας Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα	50
Διάγραμμα 4-13: Χρονοσειρά με τις τιμές ανακλαστικότητας στο κανάλι 5 του Landsat 8, για τα σημεία των υποκατηγοριών Συνεχής Αστικός Ιστός (κόκκινο) & Ασυνεχής Αστικός Ιστός (μπλε)	51
Διάγραμμα 4-14: Χρονοσειρά για τις τιμές ανακλαστικότητας στο κανάλι 4 του Landsat 7 των σημείων της υποκατηγορίας Δάσος Κωνοφόρων	52
Διάγραμμα 4-15: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο κανάλι 4 του Landsat 7 των σημείων της υποκατηγορίας Αμπελώνες	53
Διάγραμμα 4-16: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο κανάλι 1 (μπλε) του Landsat 7 των σημείων της υποκατηγορίας Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα	54

Διάγραμμα 4-17: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο κανάλι 4 του Landsat 7, για τα σημεία των υποκατηγοριών Συνεχής Αστικός Ιστός (κόκκινο) & Ασυνεχής Αστικός Ιστός (μπλε)	55
Διάγραμμα 4-18: Χρονοσειρά του δείκτη NDVI από τα δεδομένα Landsat 7 και Landsat 8 της περιόδου 2013 -2015, για τα σημεία της κατηγορίας Αμπελώνες	59
Διάγραμμα 4-19: Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο μπλε κανάλι από τα δεδομένα Landsat 7 και Landsat 8 της περιόδου 2013-2015, για τα σημεία της κατηγορίας Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα	60
Διάγραμμα 4-20: Χρονοσειρά NDVI Landsat 7 (μαύρο) και NDVI Landsat 8 (ματζέντα) για την υποκατηγορία Δάσος Κωνοφόρων (περίοδος 2013 -2015)	63
Διάγραμμα 4-21: Χρονοσειρά NDVI Landsat 7 (μαύρο) και NDVI Landsat 8 (ματζέντα) για την υποκατηγορία Αμπελώνες (περίοδος Απρίλης 2013 -2015)	63
Διάγραμμα 4-22: Χρονοσειρά NDVI Landsat 7 (μαύρο) και NDVI Landsat 4-5 (ματζέντα) για την υποκατηγορία Αμπελώνες (περίοδος 2002 -2011)	64
Διάγραμμα 4-23: Χρονοσειρά τιμών ανακλαστικότητας στο κόκκινο κανάλι του Landsat 7 (μαύρο) και του Landsat 8 (ματζέντα) για την υποκατηγορία Συνεχής Αστικός Ιστός (περίοδος 2013 -2015)	66

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2-1: Παραδείγματα από παρατηρήσεις σύννεφου, νεφοσκίασης και χιονιού, τα οποία ξεχωρίζουν στα διαχρονικά δεδομένα. Οι παρατηρήσεις που απεικονίζονται ως κύκλοι είναι αυτές που χαρακτηρίζονται ως “καθαρές” από τον αλγόριθμο Fmask ενώ αυτές που επισημαίνονται πρόκειται για παρατηρήσεις οι οποίες έχουν εντοπιστεί από την ανάλυση χρονοσειρών ως ακραίες τιμές	13
Σχήμα 2-2: Τρεις κατηγορίες αλλαγής κάλυψης γης παρουσιάζονται για το εγγύς υπέρυθρο κανάλι σε τιμές ανακλαστικότητας επιφάνειας (α) ενδο-ετήσια αλλαγή (ή εποχικότητα) (β) βαθμιαία μεταξύ των ετών αλλαγή (ή τάση) (γ) απότομη αλλαγή	14
Σχήμα 3-1: Η περιοχή μελέτης ως το επικαλυπτόμενο τμήμα των Path/Row: 183/032 και 184/032 του WRS-2.	17
Σχήμα 3-2: Παραδείγματα σημείων για κάθε υποκατηγορία κάλυψης γης της μελέτης σε φυσικό και 5-4-3 έγχρωμο σύνθετο εικόνων Landsat 8 και σε εικόνες Google Maps	27
Σχήμα 3-3: Γραφήματα με τις φασματικές υπογραφές από τις παρατηρήσεις του Landsat 8 για τέσσερα επιλεγμένα σημεία με κωδικούς 81-260-50-145 των κατηγοριών “Φυσικοί Βοσκότοποι”, “Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα”, “Θάμνοι και Χερσότοποι” και “Συνεχής Αστικός Ιστός” αντίστοιχα	32

Σχήμα 3-4: Διαγράμματα μέσω των όρων ανακλαστικότητας ανά κανάλι για τέσσερις κατηγορίες κάλυψης γης της μελέτης.....	38
Σχήμα 4-1: (α) Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο κανάλι 1 του δέκτη TM για την υποκατηγορία Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα	56
(β) Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο κανάλι 4 του δέκτη TM για την υποκατηγορία Αμπελώνες.....	56
Σχήμα 4-2: (α) Χρονοσειρά του δείκτη NDVI από τα δεδομένα Landsat 7 και Landsat 8 της περιόδου 1999 -2015, για τα σημεία της κατηγορίας Δάσος Κωνοφόρων	58
(β) Χρονοσειρά του δείκτη NDVI από τα δεδομένα Landsat 7 και Landsat 8 της περιόδου 2013-2015, για τα σημεία της κατηγορίας Δάσος Κωνοφόρων.....	58
Σχήμα 4-3: (α) Χρονοσειρά των τιμών ανακλαστικότητας στο κόκκινο κανάλι από τα δεδομένα Landsat 7 και Landsat 8 της περιόδου 2013-2015 για τον Ασυνεχή Αστικό Ιστό (μπλε) & Συνεχή Αστικό Ιστό (κόκκινο)	61
(β) Χρονοσειρά από τα δεδομένα της (α), με τους ημερήσιους μέσους όρους ανακλαστικότητας και προσαρμογή πολυωνύμων 8 ^{ου} βαθμού.....	61
Σχήμα 4-4: (α) Χρονοσειρά NDWI Landsat 7 (μαύρο) και NDWI Landsat 8 (ματζέντα) για την υποκατηγορία Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα (περίοδος 2013 -2015)	65
(β) Χρονοσειρά στο κανάλι μπλε Landsat 7 (μαύρο) και Landsat 8 (ματζέντα) για την υποκατηγορία Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα (περίοδος 2013 -2015).....	65

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3-1: Αρχικές κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης και κωδικοί των σημείων που ανήκουν σε αυτές (πριν την ανάλυση των δεδομένων)	22
Πίνακας 3-2: Τελικές κατηγορίες και υποκατηγορίες κάλυψης γης, όπως προέκυψαν μετά την ανάλυση των δεδομένων.....	22

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Κώδικας για την Εξόρυξη Χρονοσειρών Σημείων από Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων σε γλώσσα Python

```
1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  """"
3  /*****
4  copyright : (C) 2015 by Evangelia Giannakopoulou
5  email : evgian91@gmail.com
6  Notes : 1) Works ONLY on Linux platforms
7           2) Needs modification for Landsat 4 -5 and 7 Surface Reflectance data
8  *****/
9
10 /*****
11 *
12 This program is free software; you can redistribute it and/or modify
13 it under the terms of the GNU General Public License as published by
14 the Free Software Foundation; either version 3 of the License, or
15 (at your option) any later version.
16 *
17 This program is distributed in the hope that it will be useful,
18 but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
19 MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
20 GNU General Public License for more details.
21 *
22 You should have received a copy of the GNU General Public License
23 along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses>
24 *
25 *****/
26 """"
27
28 import os
29 import fnmatch
30 import datetime
31 import csv
32 #import gdal
33 try:
34     from osgeo import gdal
35     from osgeo.gdalconst import *
36 except ImportError:
37     import gdal
38     from gdalconst import *
39
40 execfile('extract_pix_val.py')
41 execfile('mainfunction.py')
42
43 # Path-Row
44 pr = '184_032/'
45 target_path = "/data1/LC8/" + pr
46
47 imlist = []
48 year = os.listdir(target_path)
49 year.sort()
50 for item in year:
51     path = target_path + item + "/"
52     months = os.listdir(path)
53     months.sort()
54     for x in months:
55         new_path = path + x + "/"
```

```

56     images = os.listdir(new_path)
57     images.sort()
58     for i in images:
59         im_path = new_path + i + "/"
60         imlist.append(im_path)
61
62     dirlist = imlist
63
64     # Read points' coordinates from a csv file
65     # The delimiters must be dots...not commas.
66     #print (" ")
67     #folder = raw_input('Enter the folder path for the csv file.....')
68     folder = "/home/rasdaman/Documents/evi"
69     os.chdir(folder)
70     # Select the '.csv' file in folder
71     mycsv = [i for i in fnmatch.filter(os.listdir(folder),'*.csv')]
72     # Read '.csv' file
73     points = []
74     pid = []
75     with open(mycsv[0]) as csvfile:
76         reader = csv.DictReader(csvfile)
77         for row in reader:
78             point = round(float(row['X']),2) , round(float(row['Y']),2)
79             points.append(point)
80             pid.append(row['id'])
81     # Create a copy of the list of points with their id
82     pointzipped = zip(pid,points)
83
84     # Create lists
85     cfmask = []
86     band1 = []
87     band2 = []
88     band3 = []
89     band4 = []
90     band5 = []
91     band6 = []
92     band7 = []
93
94     # Start timing...
95     #startTime = time.time()
96     print len(dirlist)
97     # Create a list with patterns
98     pat = ['*cfmask.tif','*band1.tif','*band2.tif','*band3.tif','*band4.tif','*band5.tif','*band6.tif','*band7.tif']
99
100    for i in dirlist:
101        os.chdir(i)
102        allfiles = os.listdir(i)
103
104    for i in fnmatch.filter(allfiles,pat[0]):
105        cfmask += mainfunction(i)
106    for i in fnmatch.filter(allfiles,pat[1]):
107        band1 += mainfunction(i)
108    for i in fnmatch.filter(allfiles,pat[2]):
109        band2 += mainfunction(i)
110    for i in fnmatch.filter(allfiles,pat[3]):
111        band3 += mainfunction(i)
112    for i in fnmatch.filter(allfiles,pat[4]):

```



```

113     band4 += mainfunction(i)
114 for i in fnmatch.filter(allfiles,pat[5]):
115     band5 += mainfunction(i)
116 for i in fnmatch.filter(allfiles,pat[6]):
117     band6 += mainfunction(i)
118 for i in fnmatch.filter(allfiles,pat[7]):
119     band7 += mainfunction(i)
120 print 'New image : ' + os.getcwd()
121
122 # Figure out how long took to run...
123 #endTime = time.time()
124 #print (" ")
125 #print ('Running time for '+str(len(dirlist))+ ' folders and '+str(len(points))+
126 #' points is... '+str(round(((endTime -startTime)/60),2))+ ' minutes')
127
128 # All results in one list
129 final_list = []
130
131 for i in range(0,len(band1)):
132     obj = str(cfmask[i][0])+ " "+str(cfmask[i][1])+ " "+str(cfmask[i][2])+"," + str(cfmask[i][3])+"," + str(cfmask[i][4])+
133     "," +str(cfmask[i][5])+"," + str(cfmask[i][6])+ " "+str(cfmask[i][7])+"," + str(cfmask[i][8])+ " "+str(cfmask[i][9])+","
134     +str(band1[i][9])+"," +str(band2[i][9])+"," +str(band3[i][9])+"," +str(band4[i][9])+"," +str(band5[i][9])+","
135     +str(band6[i][9])+"," +str(band7[i][9])
136     final_list.append(obj)
137
138 # Export values in a csv file
139 tgt_dir = '/home/rasdaman/Documents/evi/results'
140 os.chdir(tgt_dir)
141 with open(target_path[7:10]+target_path[11:-1]+'.csv', 'wb') as csvfile:
142     csvfile.write("pid,x,y,fid,year,doy,month,day,%clear,cfmask,band1,band2,band3,band4,band5,
143     band6,band7\n")
144
145 for line in final_list:
146     csvfile.write(line + '\n')

```

Κώδικας του αρχείου “mainfunction.py” για την εξαγωγή των επιθυμητών στοιχείων από κάθε εικόνα

```
1  #-*- coding: utf-8 -*-
2
3  from __future__ import division
4  import datetime
5  import numpy
6
7  #execfile('extract_val_from_xy.py')
8
9  def mainfunction(tifile):
10
11     fid = os.path.splitext(tifile)[0]
12     fid1 = fid.find('.')
13     fid2 = fid[0:fid1]
14     year = fid[9:13]
15     band = fid[-5:]
16     doy = fid[13:16]
17     ymd = datetime.datetime.strptime(fid[9:16], '%Y%j')
18     Month = ymd.month
19     Day = ymd.day
20
21     # Open filename with ReadOnly access
22     dataset = gdal.Open(tifile, GA_ReadOnly)
23     # Get the Driver name
24     drv_name = dataset.GetDriver().ShortName
25     ###dataset.GetDriver().LongName
26     ###driver = dataset.GetDriver()
27     # Get georeference info
28     gt = dataset.GetGeoTransform()
29     originX = gt[0]
30     originY = gt[3]
31     width = gt[1]
32     height = gt[5]
33     # Get image dimensions
34     cols = dataset.RasterXSize
35     rows = dataset.RasterYSize
36     # Read the numeric data and put it in an array
37     imdata = dataset.ReadAsArray(0, 0, cols, rows)
38     if band == 'fmask':
39         # Count data values
40         a, b = numpy.where(imdata == 0) #clear
41         c, d = numpy.where(imdata == 1) #water
42         e, f = numpy.where(imdata == 255)
43         div = ((cols * rows) - len(e))
44         try:
45             per1 = (len(a) + len(c))/div * 100
46             per1 = round(per1,3)
47         except ZeroDivisionError:
48             per1 = -1
49
50     else:
51         per1 = 'null'
52
53     res=[]
54     it=0
55     for p in points:
```

```

56     line = [it,p[0],p[1],fid2,year,doy,Month,Day,per1,extract_pix_val(imdata,originX,originY,width,
height,cols,rows, p)]
57     res += [line]
58     it+=1
59     # Clear variables and release the file
60     dataset = None
61
62
63     return res

```

Κώδικας του αρχείου “extract_pix_val.py”, για την εξαγωγή της τιμής του εικονοστοιχείου από δοσμένες γεωδαιτικές συντεταγμένες σημείου

```

1  def extract_pix_val(imdata, originX, originY, width, height, cols, rows, tuple):
2
3     # Get pixel offsets from the image's upper left corner
4     xoffset = (tuple[0]-originX)/width
5     xoffset = int(xoffset)
6     yoffset = (tuple[1]-originY)/height
7     yoffset = int(yoffset)
8
9     # Get pixel value
10    if yoffset >rows or yoffset<0 or xoffset > cols or xoffset<0 :
11        return -1000000
12    else:
13        return imdata[yoffset, xoffset]

```

Κώδικας για την επεξεργασία αρχείου παρατηρήσεων χρονοσειρών σε γλώσσα Matlab

```
1      clc; clear all; close all
2
3      filename='L7all.xlsx';
4      %[pid x y scene year doy month day clear% cfmask b2 b3 b4 b5 b6 b7]
5      data=xlsread(filename); %read excel
6      % vector with all point id
7      pid=unique(data(:,1));
8
9      for j=1:(length(pid)); % counter for points
10     k=1; % counter for dates
11     for i=1:length(data)
12         if data(i,1)==pid(j) % pixel id
13             values{j}(k,1:9)=data(i,[5,7,8,11:16]);
14             k=k+1;
15         end
16     end
17 end
18 %% plot (all doys for every point in one figure)
19 for j = 1:length(pid)
20     fname=[filename,'_',num2str(pid(j))];
21     f=figure('Name',fname);
22     hold on
23     for i = 1:length(values{j})
24         plot(values{j}(i,4:end),'-o')
25     end
26     title(num2str(pid(j)))
27     figsavename=[fname,'.fig'];
28     saveas(f,figsavename)
29     hold off
30     clear f
31 end
32 %% filter data with std
33 for j = 1:length(values)
34     M = mean(values{j}(:,4:end));
35     %V(j,1:6)=var(vals{j}); %matrix with variances for all points and 6 bands
36     STD = std(values{j}(:,4:end));
37     max1 = M+STD;
38     min1 = M-STD;
39     r=1;
40     for i = 1: length(values{j})
41         if (values{j}(i,4) < max1(1) && values{j}(i,4) > min1(1) && values{j}(i,5) < max1(2) && values{j}(i,5) > min1(2) &&
42             values{j}(i,6) < max1(3) && values{j}(i,6) > min1(3))
43             gn{j}(r,1:9) = values{j}(i,:); %good numbers
44             r=r+1;
45         end
46     end
47 end
48 %% plot filtered data (all doys for every point in one figure)
49 for j = 1:length(pid)
50     fname=[filename,'_',num2str(pid(j)),'std'];
51     f=figure('Name',fname);
52     hold on
53     for i = 1:length(gn{j})
54         plot(gn{j}(i,4:end),'-o')
55     end
56     title(num2str(pid(j)))
57     figsavename=[fname,'.fig'];
58     saveas(f,figsavename)
59     hold off
60     clear f
61 end
62 %% calculate percentage of remaining observations
63
64 %number of values for all points before
65 sum1 =0;
66 for i=1:length(values)
67     obj = length(values{i});
68     sum1 = sum1+obj;
69 end
70 %number of excluded values for all points after filtering
71 par1 =0;
72 par2 = 0;
73 for i=1:length(gn)
```

```

73     for j=1:length(gn{i})
74         if (gn{i}(j,1)==0 && gn{i}(j,2)==0 && gn{i}(j,3)==0 && gn{i}(j,4)==0 && gn{i}(j,5)==0 && gn{i}(j,6)==0)
75             par1 = par1+1;
76         end
77     end
78     par2 = par2 + (length(values{i})-length(gn{i}));
79     sum2 = par1+par2;
80     end
81     pososto = (sum1 -sum2)/sum1;
82     pososto = pososto*100;
83     %% add point id in good numbers -gn
84     for i = 1:length(gn)
85         for j = 1:length(gn{i})
86             final{i}(j,1:10) = horzcat(pid(i),gn{i}(j,:));
87         end
88     end
89     %% write new filtered data in excel
90     k=1;
91     for i=1:length(final)
92         for j = 1:length(final{i})
93             col1(k,1) = final{i}(j,1); %pid
94             col2(k,1) = final{i}(j,2); %year
95             col3(k,1) = final{i}(j,3); %month
96             col4(k,1) = final{i}(j,4); %day
97             col5(k,1) = final{i}(j,5); %band1 / band2 for Landsat8
98             col6(k,1) = final{i}(j,6); %band2 / band3 for Landsat8
99             col7(k,1) = final{i}(j,7); %band3 / band4 for Landsat8
100            col8(k,1) = final{i}(j,8); %band4 / band5 for Landsat8
101            col9(k,1) = final{i}(j,9); %band5 / band6 for Landsat8
102            col10(k,1) = final{i}(j,10); %band7
103
104            k=k+1;
105        end
106    end
107
108    % array with all cols: [pid, year, month, day, b1, b2, b3, b4, b5, b7]
109    A =[col1,col2,col3,col4,col5,col6,col7,col8,col9,col10];
110    %write results in excel book
111    xlswrite(['std',filename],A);
112    % format of column 10 in excel must be converted to text...
113
114    %% plot means of the points in every class
115
116    %specify point id for every category/class
117    a1 = find(pid<21); %dasos
118    a2 = find( pid>20 & pid<34 ); %coniferous
119    a3 = find( pid>33 & pid<61 ); %moors
120    a4 = find( pid>60 & pid<85 ); %grassland
121    a5 = find( pid>84 & pid<98 ); %vineyards
122    a6 = find( pid>97 & pid<111 ); %arable land
123    a7 = find( pid>110 & pid<121 ); %deep inland
124    a8 = find( pid>120 & pid<145 ); %shallow inland
125    a9 = find( pid>144 & pid<157 ); %continuous urban
126    a10 = find( pid>156 & pid<188 ); %discontinuous urban
127    a11 = find( pid>187 & pid<207 ); %mineral extraction sites
128    a12 = find( pid>206 & pid<221); %permanent crops
129    a13 = find( pid>220 & pid<238 ); %permanently irrigated
130    a14 = find( pid>237 & pid<247 ); %sand
131    a15 = find( pid>246 & pid<260 ); %shallow sea
132    a16= find( pid>259 & pid<270 ); %deep sea
133    a = {a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7, a8, a9, a10, a11, a12, a13, a14, a15, a16};
134    %cell with name of classes
135    myclass = {'Dasos' 'Coniferous' 'Moors&Heathland' 'NaturalGrassland' 'Vineyards' 'Non-IrrigatedLand' 'DeepInland'
'ShallowInland' 'ContinuousUrban' 'DiscontinuousUrban' 'MineralExtractionSites' 'FruitTrees' 'PermanentlyIrrigated' 'Sand'
'ShallowSea' 'DeepSea' };
136    figureTitle = {'Μεικτό Δάσος' 'Δάσος Κωνοφόρων' 'Θάμνοι και Χερσότοποι' 'Φυσικοί Βοσκότοποι' 'Αμπελώνες' 'Μη
Αρδευόμενη Αρώσιμη Γη' 'Βαθιά Εσωτερικά Ύδατα' 'Ρηχά Εσωτερικά Ύδατα' 'Συνεχής Αστικός Ιστός' 'Άσυνεχής Αστικός
Ιστός' 'Χώροι Εξορύξεως Ορυκτών' 'Όπρωροφόρα Δέντρα' 'Μόνιμα Αρδευόμενη Γη' 'Άμμος' 'Ρηχά Θαλάσσια Ύδατα' 'Βαθιά
Θαλάσσια Ύδατα'};
137    %plot for points in the same subclass the mean from all doys
138    for i=1:length(a);
139        fname=[filename,myclass{i}];
140        f=figure('Name',fname);
141        for j=1:length(a{i})
142            k = a{i}(j);

```

```

143         obj=mean(final{k}(:,5:end));
144         plot(obj,'color',[rand(1,1) rand(1,1) rand(1,1)])
145     ylabel('mean')
146
147     % set(gcf,'visible','off')
148     hold on
149     name(j)={num2str(pid(k))};
150     legend(name(:));
151     end
152     title(figureTitle{i})
153     figsavename=[fname,'.fig'];
154     saveas(f,figsavename)
155     hold off
156     clear f
157     end
158     break
159
160     clc; clear ; close all
161
162     %% create a color map
163     cmap11 =colorcube(10);
164     cmap12 = [0, 0, 1;
165     0, 0, 0;
166     0, 1, 1;
167     1, 0, 1;
168     1, 0, 0;
169     0, 1, 0;
170     1, 0.5, 0;
171     0, 0.5, 1;
172     1, 0, 0.5;
173     0, 0, 0.7;
174     1, 0.5, 0.5;
175     1, 0.3, 0.7;
176     0.5, 0.5, 0.5;
177     0.2, 0.1, 0.5;
178     0.8, 0.7, 0.3;
179     0.5, 1, 0;
180     0.7, 0.1, 0.1;
181     0.9, 0, 0.6;
182     0.5, 0.9, 0.4
183     1, 1, 0;];
184     cmap1 = vertcat(cmap12,cmap11);
185     %% read excel book
186     filename = 'stdL7all.xlsx';
187     % columns: [pid, year, month, day, b1, b2, b3, b4, b5, b7]
188     %Attention! date in text format
189     data = xlsread(filename);
190
191     % vector with all point id
192     point_all = unique(data(:,1));
193     %% get rid of some points
194     % vectors with point id that must be excluded
195     ex1 = [188:206]; %mineral extraction sites
196     ex1 = ex1.';
197     ex2 = [221:237]; %permanently irrigated
198     ex2 = ex2.';
199     ex3 = [270:285]; %soil
200     ex3 = ex3.';
201     p_ex = [33;
202     34;
203     42;47;52;53;59;60;
204     65;66;68;69;78;81;82;83;
205     86;93;94;
206     98;103;106;108;110;
207     127;130;131;136;137;139;140;141;142;144;
208     146;151;152;154;156;
209     158;160;161;163;166;167;168;169;170;171;173;174;175;177;178;179;180;185;
210     210;212;213;217;220;
211     240;
212     265];
213     out = vertcat(p_ex, ex1, ex2, ex3); %all pid that will be excluded
214     out = sort(out);
215     out = unique(out);
216
217     %loop for replacing the unwanted values with -9999

```

```

218 for i = 1:length(data)
219     for j = 1:length(out)
220         if data(i,1) == out(j);
221             data(i,1:10) = -9999;
222         end
223     end
224 end
225 %%get only the good values
226 k=1;
227 for i = 1 : length(data)
228     if data(i,1) ~= -9999
229         newdata(k,:) = data(i,:);
230         k=k+1;
231     end
232 end
233
234 %%write results in excel book
235 xlswrite('finalLandsat7.xlsx',newdata);
236 break
237
238 %% specify point id for every class
239 pid = unique(newdata(:,1)); %%collect point ids
240
241 d1 = [4 5 6 16:20]; %%point ids for dasos1
242 d2 = [1 2 3 7:15]; %%point ids for dasos2
243 pcodes =
244 {d1,d2,[21:33],[34:60],[61:84],[85:97],[98:110],[111:120],[121:144],[145:156],[157:187],[207:220],[238:246],[247:259],[260:269]};
245 for i = 1:length(pcodes)
246     c = ismember(pid,pcodes{i});
247     class{i} = find(c);
248 end
249 %%cell with name of classes
250 cname = {'Dasos1' 'Dasos2' 'Coniferous' 'Moors&Heathland' 'NaturalGrassland' 'Vineyards' 'Non-IrrigatedLand' 'DeepInland'
'ShallowInland' 'ContinuousUrban' 'DiscontinuousUrban' 'FruitTrees' 'Sand' 'ShallowSea' 'DeepSea' };
251 cnamegr = {'Δάσος 1' 'Δάσος 2' 'Δάσος Κωνοφόρων' 'Θάμνοι και Χερσότοποι' 'Φυσικοί Βοσκότοποι' 'Αμπελώνες' 'Μη
Αρδευόμενη Αρώσιμη Γη' 'Βαθιά Εσωτερικά Ύδατα' 'Ρηχά Εσωτερικά Ύδατα' 'Συνεχής Αστικός Ιστός' 'Ασυνεχής Αστικός
Ιστός' 'Όπρωροφόρα Δέντρα' 'Άμμος' 'Ρηχά Θαλάσσια Ύδατα' 'Βαθιά Θαλάσσια Ύδατα'};
252
253 %% get only the good values
254 k=1;
255 for i = 1 :length(newdata)
256     if newdata(i,1) ~= -10000;
257         fdata(k,:) = newdata(i,:);
258         k=k+1;
259     end
260 end
261 %% subclasses
262 for w = 1:length(class)
263     r=1;
264     for j = 1:length(class{w});
265         index = class{w}{j};
266         for n = 1:length(fdata)
267             if fdata(n,1) == pid(index)
268                 subdata{w}(r,1:10) = fdata(n,:);
269                 r=r+1;
270             end
271         end
272     end
273 end
274 %% manipulate date
275 startDate = datenum('04-01-1999');
276 endDate = datenum('01-31-2016');
277 xData = linspace(startDate,endDate);
278 % create a color map
279 cmap2 = {'b', 'g', 'r', 'k', 'm', 'c'};
280 break
281 %% plot moving average
282 clear w arr t newarr time doyval area mday x y a b windowSize BAND
283 close all
284 w = 6;
285 arr = subdata{w};
286 for i = 1:length(arr)
287     t(i,1) = datenum(arr(i,2),arr(i,3),arr(i,4));
288 end
289 newarr = horzcat(arr,t);

```

```

289 time = unique(t);
290 for j = 1:length(time)
291     k=1; %count observations for every doy
292     for i = 1:length(newarr)
293         if newarr(i,11) == time(j)
294             doyval{j}(k,:) = newarr(i,:);
295             k = k+1;
296         end
297     end
298 end
299
300 for i = 1:length(doyval)
301     area = doyval{i}(:,5:10);
302     mdoy(i,1:6) = mean(area);
303 end
304
305 windowSize = 7;
306 a=1;
307 b = (1/windowSize)*ones(1,windowSize);
308 BAND = [1:5,7];
309 for i=1:6;
310     fname=[cname{w},'_'B',num2str(BAND(i)),'mavg'];
311     f=figure('Name',fname);
312
313     x = mdoy(:,i);
314     y = filter(b,a,x);
315
316     hold on
317     for j = 1:length(doyval)
318         plot(time(j),doyval{j}(:,i+4),'-', 'MarkerSize',10.0,'color',cmap2{i})
319     end
320 %plot(tnew,mdoy(:,i),'-', 'color','y','LineWidth',1.4)
321 plot(time,y,'-', 'color','y','LineWidth',2.3)
322
323     figsavename=[fname,'.fig'];
324     l= axis;
325     axis([l(1) l(2) l(3) l(4)])
326     l=axis
327     ax =gca;
328     set(ax,'XTick',xData)
329     datetick('x','mmmyy','keepticks')
330     xticklabel_rotate([],90,[])
331     ylabel(['Surface Reflectance - BAND ',num2str(BAND(i))])
332     title(['LANDSAT 7 - Time Series - ',cnamegr{w}])
333     saveas(f,figsavename)
334     hold off
335
336     clear f
337 end
338 %% array for every point with band values
339 pid = unique(newdata(:,1));
340 for j=1:(length(pid)); %count points
341     k=1; %count number of doys per point
342     for i = 1:length(newdata)
343         if newdata(i,1) == pid(j)
344             values{j}(k,1) = pid(j); %pixel id
345             values{j}(k,2) = datenum(newdata(i,2),newdata(i,3),newdata(i,4)); %Date
346
347             values{j}(k,3)=newdata(i,5); %band1
348             values{j}(k,4)=newdata(i,6); %band2
349             values{j}(k,5)=newdata(i,7); %band3
350             values{j}(k,6)=newdata(i,8); %band4
351             values{j}(k,7)=newdata(i,9); %band5
352             values{j}(k,8)=newdata(i,10); %band7
353             k=k+1;
354         end
355     end
356 end
357 %% plot TIME SERIES for every class and every band
358 for k=1:length(class)
359     b=1;
360
361     for i=3:8;
362         if i == 8

```



```

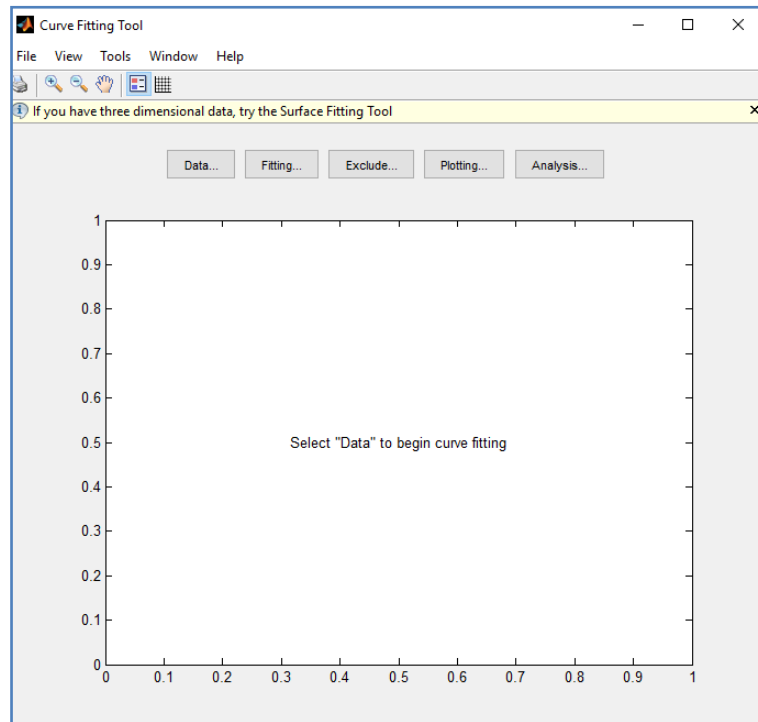
363     b = 7;
364     end
365     fname=['L7_TS_',cname{k},'B',num2str(b)]
366     f=figure('Name',fname);
367     % figure('Name',fname,'NumberTitle','off')
368     for j=1:length(class{k});
369         index = class{k}(j);
370         matlabDate = values{index}{:,2};
371         plot(matlabDate,values{index}{:,i},' ','MarkerSize',12.0,'color',cmap1(j,:));
372
373         ylabel(['Surface Reflectance Value - BAND ',num2str(b)])
374         title(['LANDSAT 7 -Time Series - ',cnamegr{k}])
375         % set(gcf,'visible','off')
376         hold on
377         name(j)={num2str(pid(index))};
378         legend(name(:));
379     end
380     figsavename=[fname, '.fig'];
381     l= axis;
382     axis([l(1)-1000 l(2)+1000 l(3)-200 l(4)+300])
383     l=axis
384     ax =gca;
385     set(ax,'XTick',xData)
386     datetick('x','mmmyy','keepticks')
387     xticklabel_rotate([],90,[])
388     saveas(f,figsavename)
389     hold off
390     b=b+1;
391     clear f
392     end

```

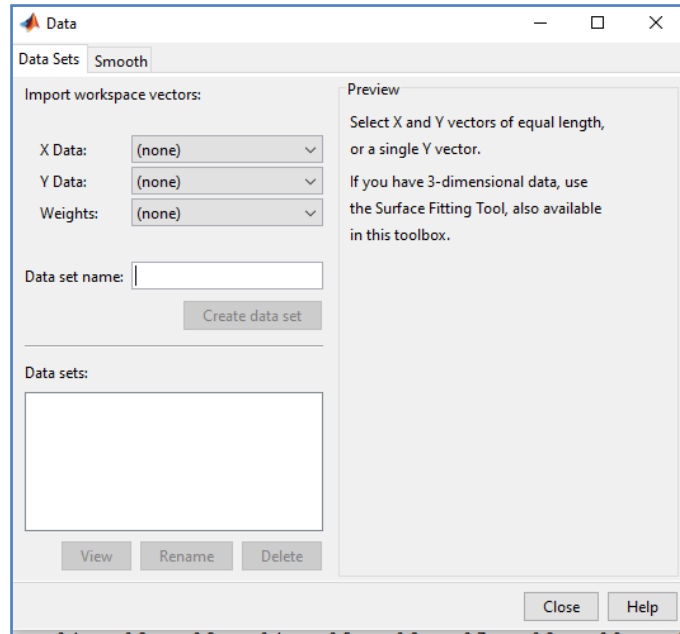
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

➤ Το εργαλείο Curve Fitting Toolbox του Matlab

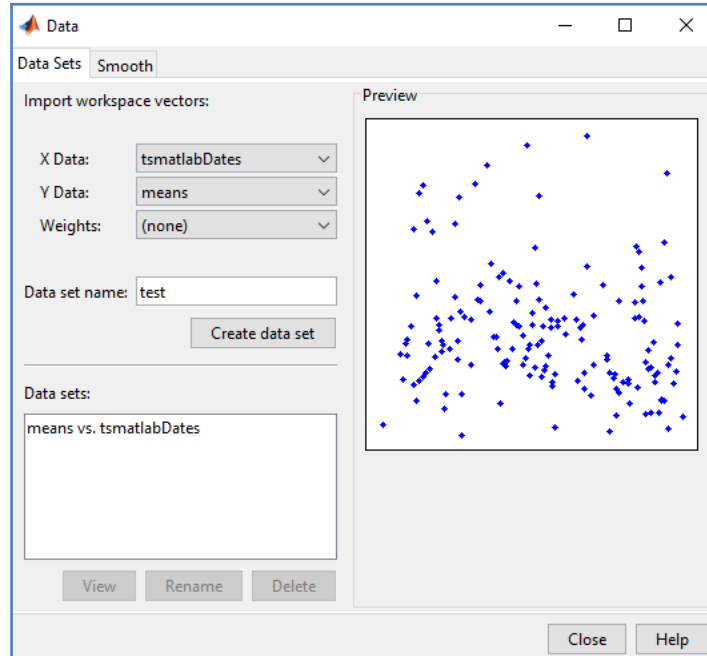
Η εντολή ***cftool*** στο command window του Matlab ανοίγει ένα καινούργιο παράθυρο με όνομα *Curve Fitting Tool*:



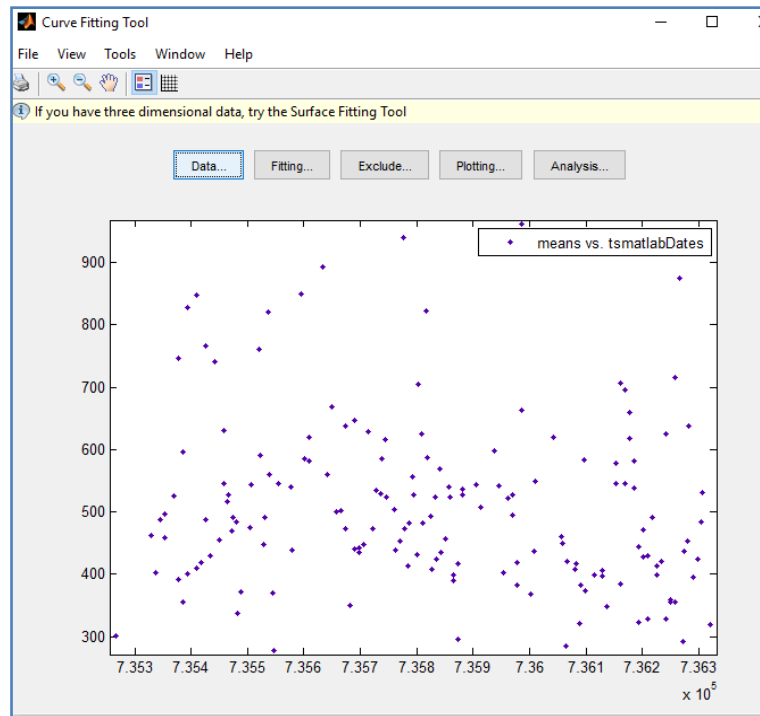
Στη συνέχεια, επιλέγονται τα δεδομένα στα οποία θέλουμε να εφαρμοστεί μία καμπύλη. Με την επιλογή **'Data...'** στο αρχικό παράθυρο, ανοίγει το επόμενο:



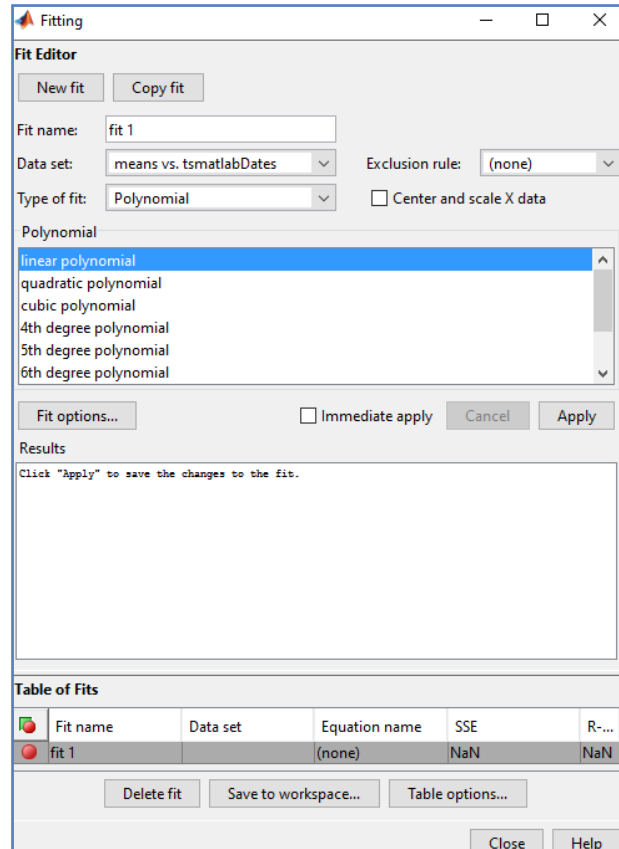
από το οποίο γίνεται η επιλογή των διανυσμάτων X και Y. Μετά την επιλογή των δεδομένων, όπως δείχνει η επόμενη εικόνα, εμφανίζεται στα δεξιά του παραθύρου η προεπισκόπηση τους (Preview):



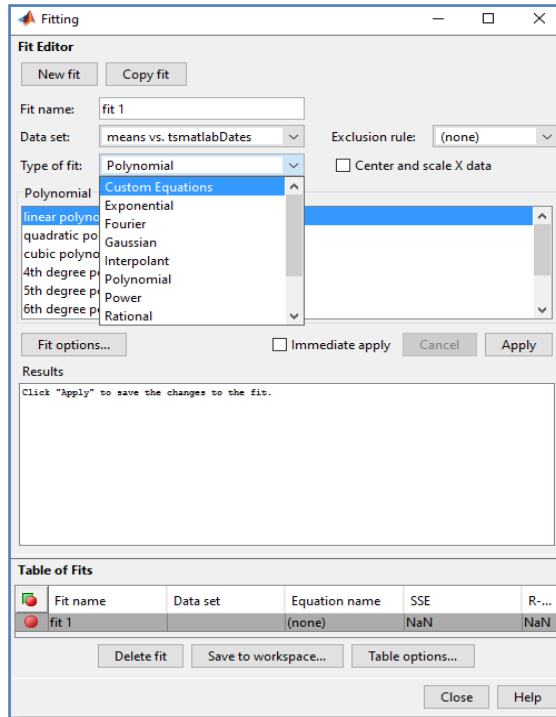
και με την επιλογή **'Create data set'** στο αρχικό παράθυρο της εφαρμογής (επόμενη εικόνα), φαίνεται το διάγραμμα όπου στον οριζόντιο άξονα χρησιμοποιούνται τα δεδομένα του διανύσματος X Data και στον κατακόρυφο άξονα τα δεδομένα του διανύσματος Y Data.



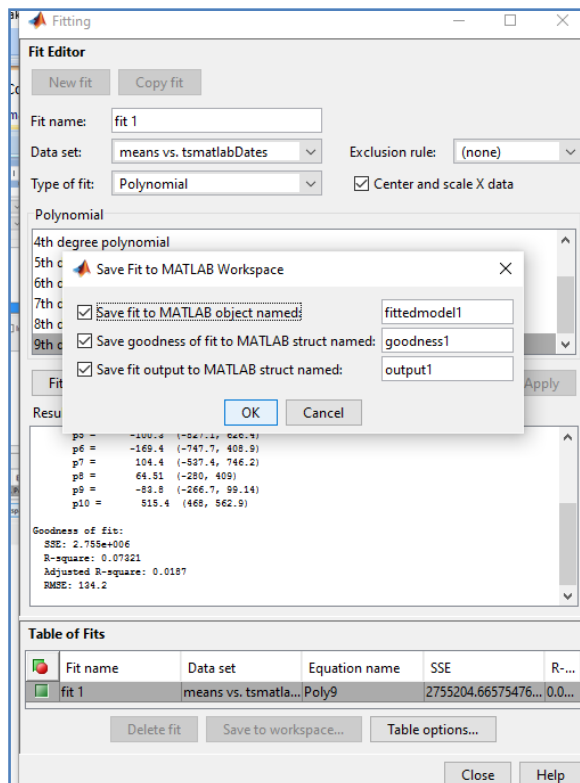
Έπειτα, με την επιλογή **'Fitting...'**, ανοίγει το αντίστοιχο παράθυρο:



Από το παραπάνω, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το είδος της καμπύλης που θα προσαρμοστεί στα δεδομένα, από μια γκάμα επιλογών που υπάρχουν στο μενού του 'Type of fit':

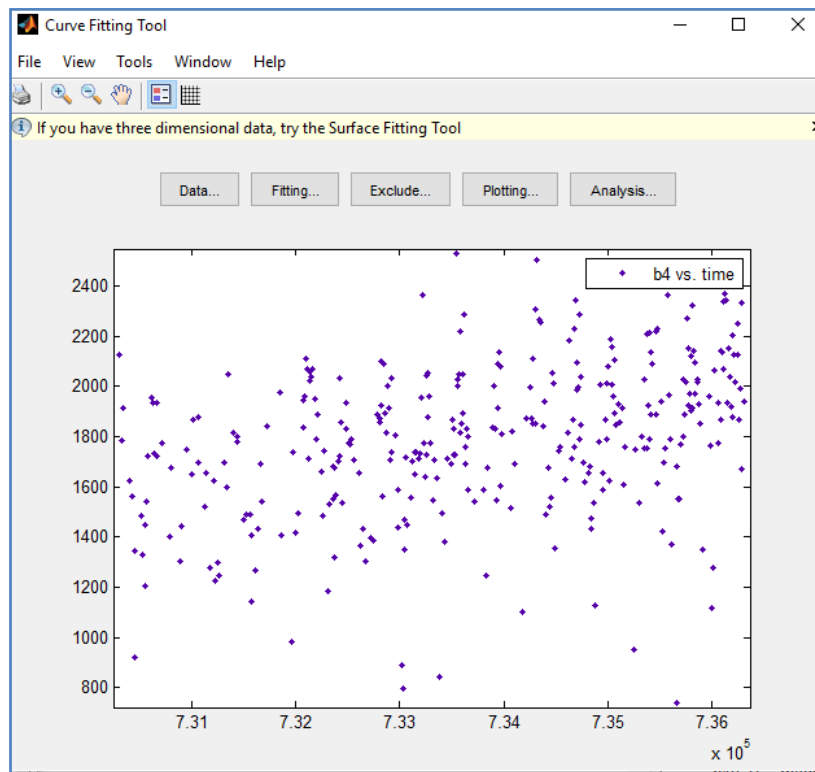


Αφού επιλεγεί το επιθυμό είδος καμπύλης που θα προσαρμοστεί, με την επιλογή **‘Save to workspace...’**, τα αποτελέσματα και οι ιδιότητες της καμπύλης αποθηκεύονται ως μεταβλητές στο χώρο εργασίας του Matlab, από τον οποίο μπορούν να αξιοποιηθούν περαιτέρω.



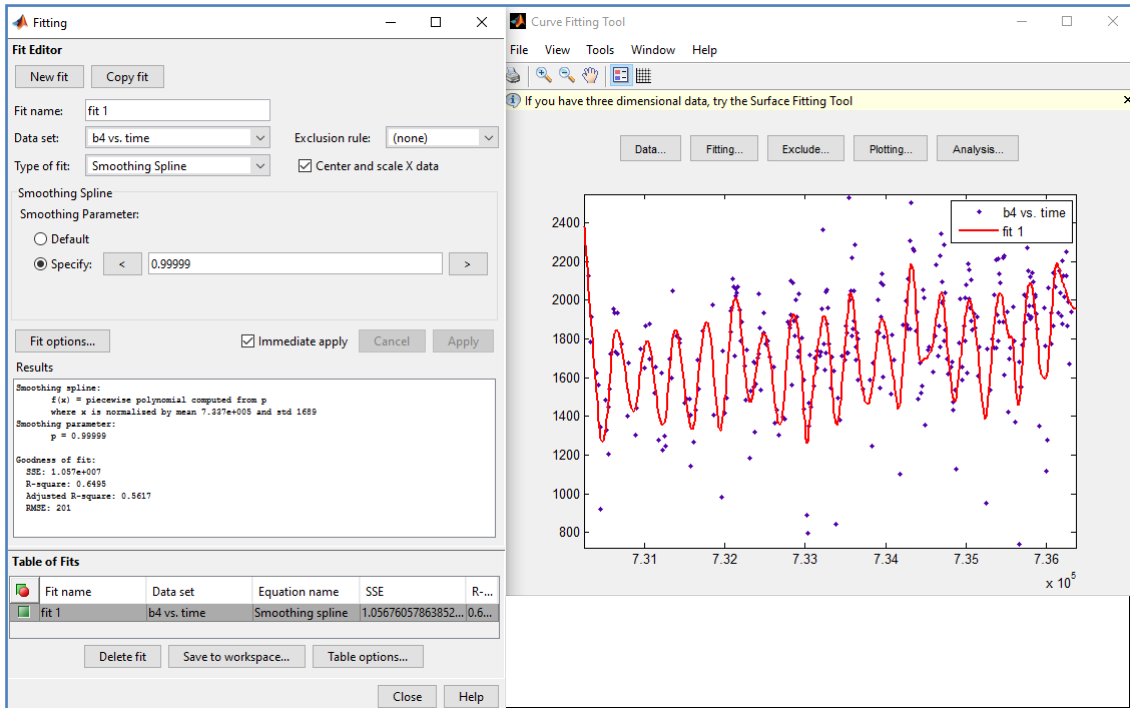
Ακολουθεί **παράδειγμα** για τις διαχρονικές παρατηρήσεις των σημείων της κατηγορίας 'Δάσος Κωνοφόρων' από τα δεδομένα για το κανάλι 4 του δορυφόρου Landsat 7.

Η εντολή: `cftool(time,b4)` στο παράθυρο εντολών του Matlab ανοίγει το επόμενο παράθυρο:



όπου **time** είναι το διάνυσμα με τις διαφορετικές ημερομηνίες της χρονοσειράς (άξονας x) και **b4** το διάνυσμα με τους ημερήσιους μέσους όρους των παρατηρήσεων της (άξονας y).

Στη συνέχεια επιλέγεται το 2^ο από αριστερά τετραγωνάκι **Fitting...** στο παράθυρο και προσαρμόζεται καμπύλη μορφής *'smoothing spline'* του εργαλείου Curve Fitting Toolbox, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα, όπου δεξιά εμφανίζεται το αποτέλεσμα της προσαρμογής στο διάγραμμα με τα δεδομένα, με κόκκινη γραμμή.



Το αποτέλεσμα της προσαρμογής αποθηκεύεται στο Matlab με την επιλογή **'Save to workspace...'**, έστω για παράδειγμα με όνομα **'fittedmodel1'**. Στη συνέχεια, μέσω γραμμών κώδικα στο Matlab, επιλέγεται στο ίδιο figure με τα δεδομένα της χρονοσειράς, με την εντολή **'plot(fittedmodel1)'**, να σχεδιαστεί η καμπύλη πάνω στα δεδομένα της χρονοσειράς. Ύστερα, αποδίδονται τα επιθυμητά χρώματα, πάχη γραμμών και μεγέθη συμβόλων για το βέλτιστο οπτικό αποτέλεσμα και το τελικό figure με τα δεδομένα της εν λόγω χρονοσειράς και την αντίστοιχη καμπύλη που προσαρμόστηκε παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα:

