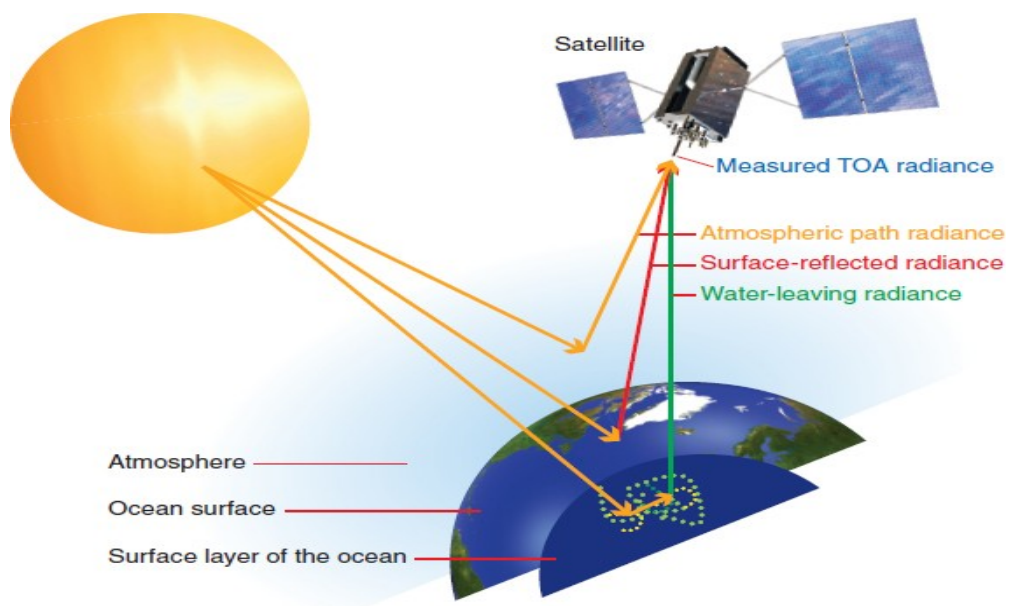




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Ποιοτική και ποσοτική συγκριτική αξιολόγηση ατμοσφαιρικών διορθώσεων σε δορυφορικά δεδομένα Landsat-8, Sentinel-2 και MODIS



Διπλωματική εργασία

Ευαγγελία Φιλίππου

Αθήνα, Οκτώβριος 2016



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
DEPARTMENT OF TOPOGRAPHY
REMOTE SENSING LABORATORY**

**Comparing atmospherically corrected products from
Landsat-8, Sentinel-2 and MODIS**

Diploma Thesis

Evangelia Filippou

Athens, October 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

**Ποιοτική και ποσοτική συγκριτική αξιολόγηση ατμοσφαιρικών
διορθώσεων σε δορυφορικά δεδομένα Landsat-8, Sentinel-2
και MODIS**

Εγκρίθηκε από τη τριμελή

εξεταστική επιτροπή την

.....2016

.....
.....

Κ. Καραντζαλος
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
.....

Δ. Αργιαλάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
.....

Β. Καραθανάση
Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Copyright © All rights reserved. Ευαγγελία Ν. Φιλίππου, 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, εκπαιδευτικό ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναγράφεται 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.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης των προπτυχιακών μου σπουδών στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το θέμα της διπλωματικής μου ανατέθηκε από το εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Τομέα Τοπογραφίας της σχολής. Ο Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός ασχολείται με ένα μεγάλο εύρος επιστημονικών πεδίων όπως είναι για παράδειγμα η τηλεπισκόπηση, η φωτογραμμετρία, η γεωγραφία, η γεωδαισία, το κτηματολόγιο, τα κοινωνικά, η διαχείριση των υδατικών πόρων και άλλα. Τα τελευταία χρόνια με την είσοδο των σύγχρονων τεχνολογιών, τα αντικείμενα ενασχόλησης του Τοπογράφου Μηχανικού έχουν διευρυνθεί και έχουν αποκτήσει νέες διαστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, με την ενσωμάτωση της δορυφορικής τεχνολογίας καθώς και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) έχουν αναπτυχθεί ειδικές μέθοδοι για την επεξεργασία ψηφιακών εικόνων και διανυσματικών στοιχείων παρέχοντας ιδιαίτερα χρήσιμες πληροφορίες, διευκολύνοντας και βελτιώνοντας τον εντοπισμό, τη χαρτογράφηση και την πλοήγηση σε πολλές εφαρμογές με πολύ μεγάλη χωρική ακρίβεια.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους βοήθησαν στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο για το θέμα της διπλωματικής, το οποίο μου έδωσε την ευκαιρία να μάθω και να εξελιχτώ, καθώς και για τη στήριξη, την καθοδήγηση και τη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της. Στη συνέχεια, θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Ιωσηφίδη για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε, συνεχώς και ανιδιοτελώς, με αρκετή υπομονή και επιμονή, καθώς και για τη μύηση μου στον κόσμο του ελεύθερου και ανοιχτού λογισμικού. Ευχαριστώ, επίσης, τη Χριστίνα Καρακίζη για τη βοήθεια που μου παρείχε πάντα με καλή διάθεση στο τελευταίο στάδιο της εργασίας. Επιπλέον, ευχαριστώ τους φίλους που βρίσκονται στη ζωή μου και όλα αυτά τα χρόνια εξελισσόμαστε παρέα. Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το χρωστάω στους γονείς και στην αδερφή μου για τη στήριξη που μου παρείχαν σε όλα τα στάδια της ζωής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λειτουργική αξιοποίηση της διαθέσιμης πληθώρας τηλεπισκοπικών δεδομένων για την παρακολούθηση των αλλαγών της επιφάνειας της γης σε παγκόσμιο επίπεδο, απαιτεί το σχεδιασμό και την εφαρμογή αποδοτικών κατά το δυνατόν πιο αυτόματων μεθόδων και τεχνικών για τον ακριβή προσδιορισμό ατμοσφαιρικά διορθωμένων εικόνων, δηλαδή την απόκτηση της πληροφορίας για την ανακλαστικότητα επιφάνειας της γης.

Προς αυτή την κατεύθυνση, στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκε μια μεθοδολογία για τη συγκριτική αξιολόγηση ατμοσφαιρικά διορθωμένων δεδομένων από διαφορετικούς αισθητήρες με διαφορετικές χωρικές αναλύσεις και υπολογίστηκε η συσχέτισή τους.

Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε δορυφορικά δεδομένα υψηλής και μέσης ανάλυσης, ήτοι Landsat-8, Sentinel-2 και MODIS. Πιο συγκεκριμένα, από τον Landsat-8 αξιοποιήθηκαν τα διαθέσιμα από την υπηρεσία USGS ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα του αλγορίθμου Landsat Surface Reflectance Code (LaSRC), καθώς επίσης και τα αρχικά (raw) δεδομένα τα οποία διορθώθηκαν ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά, στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, με τον αλγόριθμο Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S). Από τον Sentinel-2 χρησιμοποιήθηκαν τα διαθέσιμα από την ESA δεδομένα που διατηρούν την επίδραση της ατμόσφαιρας (Top of Atmosphere) και μετέπειτα διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά με χρήση του εργαλείου Sen2Cor. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν και τα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα MODIS που διατίθενται από τη NASA. Τονίζεται ότι όλα τα δεδομένα ήταν εικόνες με ημερομηνία λήψης την ίδια ημέρα και μέχρι 3 ώρες διαφορά.

Η ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση μέσω της σύγκρισης των διαθέσιμων δεδομένων στα κανάλια Κόκκινο (Red) και Εγγύς Υπέρυθρο (NIR), υλοποιήθηκε έχοντας ως εικόνες αναφοράς τις εικόνες MODIS, οι οποίες έχουν εκτενώς αξιολογηθεί στη διεθνή βιβλιογραφία και θεωρούνται αξιόπιστο προϊόν ανακλαστικότητας επιφανείας. Η σύγκριση αυτή πραγματοποιήθηκε και στις τρεις διαφορετικές χωρικές αναλύσεις των εικόνων αυτών, με την παραγωγή μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης, έχοντας ως ανεξάρτητη μεταβλητή την εικόνα MODIS. Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε και ποιοτική αξιολόγηση του μοντέλου παλινδρόμησης για το κάθε ζεύγος εικόνων, με την παραγωγή απόλυτων εικόνων διαφοράς που αποτύπωσαν χωρικά προβλήματα του μοντέλου μεταξύ των εικόνων MODIS και των νέων, εξαρτημένων από την εικόνα MODIS, εικόνων των τριών αισθητήρων, που προέκυψαν μετά την εφαρμογή του μοντέλου.

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα της ποσοτικής και ποιοτικής αξιολόγησης των συσχετίσεων που προέκυψαν, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τα περισσότερα σφάλματα εντοπίζονται σε περιοχές με υγρασία ή νερό, όπως σε καλλιέργειες με υγρασία, στο δέλτα του ποταμού Νείλου και κατά μήκος αυτού, ιδιαίτερα στη μελέτη του εγγύς υπέρυθρου καναλιού. Επιπρόσθετα, οι συσχετίσεις των δεδομένων από διαφορετικούς δέκτες, τόσο στη χωρική ανάλυση του MODIS, δηλαδή στα 232m, όσο και στις υπόλοιπες, παρουσίασαν πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα, για τις εικόνες Landsat-8 της USGS, από ότι για αυτές της Sentinel-2.

ABSTRACT

In order to exploit operationally remote sensing data for global, long-term monitoring of land-cover change, efficient and automated methods are required for the fast and accurate production of validated atmospheric correction data, i.e. obtaining information about the surface reflectance of the earth.

To this end, in this paper, we have designed a methodology that exploits atmospherically corrected data of different sensors and with different resolutions in order to assess their correlation.

The validation of the developed methodology framework exploited high and moderate resolution satellite data, i.e. Landsat-8, Sentinel-2 and MODIS. For the experimental validation, the USGS available Landsat-8 product, generated from the Landsat Surface Reflectance Code (LaSRC) and the USGS available Landsat-8 raw data that were converted to TOA reflectance and then to surface reflectance using the 6S algorithm. Additionally, Sen2Cor processor was used to convert from ESA available Top Of Atmosphere Level 1C data to Bottom Of atmosphere reflectance images. Finally, MODIS surface reflectance data were used, which were available from NASA. All image data were obtained from the same day and about 3 hours difference.

Quantitative and qualitative validation were made comparing all available data for bands Red and NIR, using MODIS as a reference image, as the high quality of the MODIS data provides the best available reference for global comparison. Comparisons were performed on all 3 different resolutions by modeling their relationship through linear regression and using MODIS reflectance as a dependent variable. The quantitative validation of the linear regression model was made for every comparison, extracting absolute difference images between MODIS and MODIS-equivalent images after modeling the relationship of the images.

Combining correlation results of the quantitative and qualitative evaluation we conclude that most errors are located in areas with water or humidity, such as in moist crops, in Nilos river delta and across it, especially in NIR band. Also, correlation data from different satellites in MODIS resolution, i.e. 232m, but also and in other two resolutions, showed better results for Landsat-8 from USGS images, comparatively to the Sentinel-2 images.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Αντικείμενο και Στόχοι της Εργασίας.....	2
1.2. Κίνητρο και Συνεισφορά.....	3
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	4
2.1. Το Πρόγραμμα Landsat.....	4
2.2. Πολυφασματικά Δεδομένα.....	5
2.2.1. Το πρόγραμμα Landsat 8.....	5
2.2.2. Ο δορυφόρος MODIS.....	6
2.2.3. Ο δορυφόρος Sentinel 2 (MSI).....	9
2.3. Βασικές Έννοιες και Όροι.....	11
2.4. A Harmonized Surface Reflectance Product.....	13
3. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	19
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	26
4.1. Συνοπτική Παρουσίαση Μεθοδολογίας.....	26
4.2. Προεπεξεργασία.....	27
4.2.1. Επιλογή δεδομένων.....	27
4.2.2. Έλεγχος γεωμετρίας.....	29
4.2.3. Ραδιομετρική διόρθωση αρχικών εικόνων Landsat 8.....	29
4.2.4. Ατμοσφαιρική διόρθωση.....	30
4.3. Μοντέλα Παλινδρόμησης και Συσχετίσεις Δεδομένων.....	33
4.3.1. Συμφωνία δεδομένων.....	34
4.3.2. Σύγκριση στη Χωρική Ανάλυση του MODIS στα 250m.....	36
4.3.3. Σύγκριση στη Χωρική Ανάλυση του Landsat 8 στα 30m.....	36
4.3.4. Σύγκριση στη Χωρική Ανάλυση του Sentinel 2 στα 10m.....	37
4.3.5. Συνολική Αξιολόγηση.....	38
4.4. Περιοχή Μελέτης και Δορυφορικά Δεδομένα Ίδιας Ημέρας.....	38
4.4.1. Επιλογή Δεδομένων.....	39
4.4.2. Προεπεξεργασία Δεδομένων.....	40
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	44
5.1. Σύγκριση στη Χωρική Ανάλυση του MODIS στα 232m.....	44
5.1.1. Υποπεριοχή 1.....	44
5.1.2. Υποπεριοχή 2.....	52
5.1.3. Υποπεριοχή 3.....	54
5.1.4. Σύνολο περιοχής.....	56
5.2. Σύγκριση στη Χωρική Ανάλυση του Landsat 8 στα 30m.....	61
5.2.1. Υποπεριοχή 1.....	61
5.2.2. Υποπεριοχή 2.....	66
5.2.3. Υποπεριοχή 3.....	69
5.2.4. Σύνολο περιοχής.....	71
5.3. Σύγκριση στη Χωρική Ανάλυση του Sentinel 2 στα 10m.....	74
5.3.1. Υποπεριοχή 1.....	74
5.3.2. Υποπεριοχή 2.....	78
5.3.3. Υποπεριοχή 3.....	81

5.3.4. Σύνολο περιοχής.....	83
5.4. Συνολική Αξιολόγηση.....	86
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	93

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 της διαδικασίας ατμοσφαιρικής διόρθωσης από δορυφορικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης. Στη συνέχεια, περιγράφεται το αντικείμενο και οι στόχοι της εργασίας καθώς και το κίνητρο και η συνεισφορά της.

Ένας κύριος στόχος της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης είναι η διερεύνηση των φυσικών ιδιοτήτων των υλικών της επιφάνειας της γης, αντλώντας πληροφορία από τη φασματική κατανομή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Electro Magnetic Radiation – EMR), η οποία αποτελεί την ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από την επιφάνεια της γης. Η παρουσία της ατμόσφαιρας όμως αλλοιώνει της πραγματικές τιμές αυτής. Καθώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο προσπίπτει στην επιφάνεια της γης, ανακλάται και επιστρέφει στο διάστημα όπου τη συλλέγει ο δέκτης / δορυφόρος. Κατά τη διαδρομή αυτή, περνάει μέσα από την ατμόσφαιρα, όπου διαχέεται και απορροφάται ένα ποσοστό της αρχικής της ποσότητας, δημιουργώντας απώλειες.

Κατά τη διέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μέσα από την ατμόσφαιρα, υπάρχει αλληλεπίδραση αυτής με τα μόρια των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς και των αέριων συστατικών της ατμόσφαιρας. Αυτή η αλληλεπίδραση χωρίζεται στη διάχυση, όπου η ακτινοβολία αλλάζει κατεύθυνση ανάλογα με την πυκνότητα του υλικού που διαπερνά, και στην απορρόφηση, κατά την οποία η ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια των συστατικών της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα να μετατρέπεται σε άλλη μορφή ακτινοβολίας (π.χ. θερμότητα). Τα αποτελέσματα αυτής της αλληλεπίδρασης είναι να εμφανίζεται “θολούρα (haze)” στην εικόνα, μειώνοντας δραστικά την αντίθεσή της, καθώς και να μειώνεται η ανακλώμενη από τη γη ακτινοβολία που συλλέγει ο δέκτης. Η ατμόσφαιρα που επηρεάζει και συμβάλλει σε αυτό το διαχωρισμό της ακτινοβολίας, αποτελείται από συστατικά όπως είναι οι υδρατμοί, το όζον, ο καπνός, η σκόνη και λοιπά αέρια.

Η ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων αποτελεί απαραίτητο βήμα για τη βελτίωση της ανάλυσης των δεδομένων για τους παρακάτω λόγους [Richter, 1996]:

- Η επίδραση της ατμόσφαιρας και της ηλιακής φωταύγειας στην εικόνα, απομακρύνεται ή τουλάχιστον ελαχιστοποιείται κατά πολύ.
- Διαχρονικά δεδομένα τα οποία λήφθηκαν κάτω από διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες μπορούν να συγκριθούν πιο αποτελεσματικά. Το γεγονός αυτό, συμπεραίνεται καθώς η ανίχνευση των αλλαγών που θα προκύψει οφείλεται σε

πραγματικές αλλαγές της επιφάνειας που μελετάται και όχι σε διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες.

- Τα αποτελέσματα από την ανίχνευση αλλαγών και οι αλγόριθμοι ταξινόμησης αποκτούν δυνατότητα βελτίωσης.
- Τα δεδομένα από διαφορετικούς δέκτες / δορυφόρους μπορούν να συγκριθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια, το οποίο αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα για διαχρονικές παρατηρήσεις μιας περιοχής. Συγκεκριμένα, όταν η εικόνα μελέτης μιας περιοχής έχει μεγάλη νεφοκάλυψη είναι δυνατή η ανάκτηση δεδομένων από διαφορετικό δορυφόρο, ο οποίος έχει διαφορετική τροχιά. Η διαφορετική τροχιά, επιπλέον, εξασφαλίζει μεγαλύτερη πιθανότητα για μειωμένη νεφοκάλυψη. Όσο λοιπόν ο αριθμός των δορυφόρων που συλλέγουν δεδομένα αυξάνεται, λόγω διαφορετικών τροχιών, η πιθανότητα να υπάρχουν δεδομένα από μια περιοχή χωρίς σύννεφα αυξάνεται αντίστοιχα.

Μέθοδοι ατμοσφαιρικής διόρθωσης

Οι μέθοδοι της ατμοσφαιρικής διόρθωσης μπορούν να συνοψισθούν στις παρακάτω τρεις κατηγορίες [Mather, 2004]:

- Τεχνικές που βασίζονται καθαυτού στην ίδια την εικόνα. Περιλαμβάνουν δυο σχετικά απλές διαδικασίες. Την εύρεση της ελάχιστης τιμής από το ιστόγραμμα ή αλλιώς την τεχνική της αφαίρεσης του σκοτεινού αντικειμένου (dark object subtraction) και την τεχνική της παλινδρόμησης. Αυτές οι δυο τεχνικές υπολογίζουν την αλλαγή στην τιμή της ακτινοβολίας που προκύπτει από το πέρασμά της μέσα από την ατμόσφαιρα.
- Μοντέλα μετάδοσης ακτινοβολίας (radiative transfer models), τα οποία προσπαθούν να προσομοιώσουν τη φυσική συμπεριφορά της ακτινοβολίας, καθώς αυτή διαπερνά την ατμόσφαιρα. Στόχος τους είναι η εκτίμηση της ακτινοβολίας που αντανακλά το προς εικονοστοιχείο που μελετάται.
- Η τελευταία κατηγορία μοντέλων λειτουργεί με πιο σύνθετη λογική, αναζητώντας τις σχέσεις των τιμών φωτεινότητας διάφορων αντικειμένων της εικόνας σε πολλούς φασματικούς δέκτες. Προσπαθεί έτσι να ερμηνεύσει τις σχέσεις, με τη χρήση της μεθόδου των πινάκων συνδιακύμανσης (covariance matrices).

1.1. Αντικείμενο και Στόχοι της Εργασίας

Το βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση, ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση σύγχρονων τεχνολογικών μεθόδων και τεχνικών τηλεπισκόπησης, για

την ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση ατμοσφαιρικών διορθώσεων από δορυφορικά δεδομένα Landsat-8, Sentinel-2 και MODIS. Πιο αναλυτικά, συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν δορυφορικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης, και αναπτύχθηκαν τεχνικές για την επεξεργασίας τους και την παραγωγή αποτελεσμάτων, με στόχο την επίλυση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής διόρθωσης που αφορά τη βελτίωση της ανάλυσης των δεδομένων. Βασική επιδίωξη στην παρούσα εργασία αποτέλεσε η σύγκριση ατμοσφαιρικά διορθωμένων δεδομένων, αλλά και η υλοποίηση επιπλέον στόχων που προέκυψαν με την απόκτηση πληθώρας νέων δεδομένων και τη διερεύνηση νέων τεχνικών τηλεπισκόπησης και επεξεργασίας δεδομένων. Συγκεκριμένα, στόχος της εργασίας ήταν η ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση μεθοδολογίας ατμοσφαιρικής διόρθωσης για (i) την παραγωγή ατμοσφαιρικά διορθωμένων εικόνων και (ii) τη σύγκριση αυτών με άλλα πολυφασματικά, υψηλής ανάλυσης, δορυφορικά δεδομένα, από τρεις δέκτες (Landsat-8, Sentinel-2 και MODIS). Βασικός άξονας κατά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας ήταν η όσο το δυνατόν καλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων, με στόχο τη μελλοντική επίλυση του θέματος της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας στα διαθέσιμα δεδομένα στόχευσε στην παραγωγή αποτελεσμάτων που θα αξιολογούνταν με υψηλούς δείκτες επιτυχίας. Ως επιπλέον στόχος τέθηκε η μελέτη και ερμηνεία των αποτελεσμάτων και της αξιολόγησης για την εξαγωγή συμπερασμάτων, τόσο για τα εγγενή τεχνικά χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας, όσο και για τα αντικείμενα μελέτης, δηλαδή τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες.

1.2. Κίνητρο και Συνεισφορά

Βασικό κίνητρο για τη διερεύνηση της εφαρμογής σύγχρονων τηλεπισκοπικών μεθόδων και τεχνικών στο θέμα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης αποτέλεσε η ραγδαία ανάπτυξη σύγχρονων τηλεπισκοπικών αισθητηρίων που έχει οδηγήσει στην παραγωγή ενός διαρκώς αυξανόμενου όγκου δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης. Ταυτόχρονα, επιπλέον κίνητρο αποτέλεσε η σύγχρονη τάση για υιοθέτηση αυτοματοποιημένων πρακτικών υψηλής τεχνολογίας για τη βελτιστοποιημένη απόκτηση ατμοσφαιρικά διορθωμένων εικόνων ως πλήρωση της ανάγκης χρήσης τους σε άλλες εφαρμογές διαδικασιών όπως η ταξινόμηση, η μελέτη χρονοσειρών κλπ., οι οποίες κατ' επέκταση θα αποδώσουν ακριβέστερα και πληρέστερα αποτελέσματα.

Η παρούσα εργασία συγκρίνει ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες Landsat-8 και Sentinel-2, με βάση τα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα του MODIS και ως εκ τούτου συνεισφέρει στην προσπάθεια για δημιουργία διαχρονικών δεδομένων ανακλαστικότητας από ποικίλους δορυφόρους. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από το πλαίσιο συγκριτικής αξιολόγησης αναδεικνύονται οι μέθοδοι και τα δεδομένα που οδηγούν σε αναλαστικότητες οι οποίες ταιριάζουν περισσότερο με αυτές του MODIS, ενώ επισημαίνονται και οι περιοχές στην εικόνα και οι κατηγορίες κάλυψης γης που παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στην ανακλαστικότητα.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται κάποιες βασικές έννοιες που αφορούν την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης, καθώς και κάποια βασικά χαρακτηριστικά όσον αφορά τους πολυφασματικούς δέκτες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

2.1. Το Πρόγραμμα Landsat

Το πρόγραμμα δορυφόρων Landsat αποτελεί, μέχρι στιγμής, την μακροβιότερη και μεγαλύτερη επιχείρηση συλλογής τηλεπισκοπικών δεδομένων, μεσαίας ανάλυσης, που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές για την παρατήρηση της επιφάνειας της Γης. Πρόκειται για μία σειρά δορυφόρων κινούμενων σε τροχιά γύρω από τη γη και των οποίων η λειτουργία βρίσκεται υπό τη διαχείριση της NASA και της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Η.Π.Α.(USGS). Το πρόγραμμα ξεκίνησε το 1972, με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου, ενώ η έναρξη της σχεδίασης και της κατασκευής των τριών πρώτων πολυφασματικών σαρωτών, που αργότερα θα τοποθετούνταν στους δορυφόρους, έγινε το 1969. Παρέχουν δεδομένα για τέσσερις συνεχόμενες δεκαετίες σε τομείς που ασχολούνται με την γεωργία, τη γεωλογία, τη χωροταξία, την εκπαίδευση, τη χαρτογράφηση και την παγκόσμια έρευνα για τη διαρκή παρακολούθηση των αλλαγών στην επιφάνεια της Γης. Τα δεδομένα από τους δορυφόρους Landsat έχουν χρησιμοποιηθεί, επίσης, για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, καθώς και για την ανίχνευση φυσικών καταστροφών [/http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php](http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php), 2016].

Το πρόγραμμα δορυφόρων Landsat ξεκίνησε τη λειτουργία του με τον πρώτο δορυφόρο με ονομασία Landsat 1 στις 23 Ιουλίου του 1972 τελειώνοντας τη λειτουργία του στις 6 Ιανουαρίου του 1978, παρέχοντας έτσι δεδομένα για διάστημα περίπου 6 ετών [\http://landsat.usgs.gov/about_landsat1.php, 2016]. Στις 22 Ιανουαρίου του 1975 εκτοξεύθηκε η δεύτερη σειρά δορυφόρου με ονομασία Landsat 2 και με χαρακτηριστικά περίπου όμοια με τα αντίστοιχα του πρώτου δορυφόρου. Ο Landsat 2 παρείχε δεδομένα για διάστημα περίπου 8 ετών τερματίζοντας τη λειτουργία του στις 27 Ιουλίου του 1983 [/http://landsat.usgs.gov/about_landsat2.php](http://landsat.usgs.gov/about_landsat2.php), 2016]. Παράλληλα με τον Landsat 2, ξεκίνησε τη λειτουργία του σε κοντινό χρονικό διάστημα και ο Landsat 3 στις 5 Μαρτίου του 1978 λειτουργώντας για 5 χρόνια και τερματίζοντας τη λειτουργία του στις 7 Σεπτεμβρίου του 1983 [\http://landsat.usgs.gov/about_landsat3.php, 2016]. Τους προηγούμενους δύο δορυφόρους τους αντικατέστησε ο Landsat 4, ο οποίος παρείχε δεδομένα για διάστημα 11 ετών, καθιστώντας τον έναν από τους πιο επιτυχημένους δορυφόρους της δεκαετίας. Πιο αναλυτικά, η λειτουργία του Landsat 4 διήρκησε από τις 26 Ιουλίου του 1982 έως τις 14 Δεκεμβρίου του 1993 [\http://landsat.usgs.gov/about_landsat4.php, 2016]. Τη δεκαετία του '80, ωστόσο, η USGS στα πλαίσια του προγράμματος Landsat εκτόξευσε την 1 Μαρτίου του 1984 τον μακροβιότερο δορυφόρο στην ιστορία των δορυφόρων παρατήρησης της Γης με ονομασία Landsat 5 και με διάρκεια ζωής 29 χρόνια, τερματίζοντας τη λειτουργία του τον Ιανουάριο του 2013 [\http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php, 2016]. Τη χρονική περίοδο που τερμάτισε ο Landsat 4 τη λειτουργία του έγινε προσπάθεια για εκτόξευση του δορυφόρου Landsat 6, οποίος θα λειτουργούσε παράλληλα με τον Landsat 5, όμως δεν κατάφερε να πιάσει τροχιά και πρακτικά δεν παρείχε ποτέ

δεδομένα [http://landsat.usgs.gov/about_landsat6.php, 2016]. Η σειρά ολοκληρώνεται με τους δύο, τελευταίας τεχνολογίας, δορυφόρους Landsat 7 και Landsat 8, όπου ο πρώτος έχει ξεκινήσει τη λειτουργία του στις 15 Απριλίου του 1999 και ο δεύτερος στις 11 Φεβρουαρίου του 2013. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ο δορυφόρος Landsat 7 παρέχει δεδομένα μέχρι και σήμερα λειτουργώντας μέχρι στιγμής περίπου 15 χρόνια [http://landsat.usgs.gov/about_landsat7.php, 2016].

2.2. Πολυφασματικά Δεδομένα

2.2.1. Το πρόγραμμα Landsat 8

Ο δορυφόρος Landsat 8 είναι ο πιο σύγχρονος δορυφόρος της USGS, ο οποίος ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Φεβρουάριο του 2013. Αποτελείται από δύο διαφορετικούς δέκτες, τον Operational Land Imager (OLI) και τον Thermal Infrared Sensor (TIRS) που αποτελούνται από 9 και 2 κανάλια αντίστοιχα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε δύο διαφορετικές κατηγορίες. Τα πρώτα είναι τα Pre-WRS-2 Data Products που αφορούν τη χρονική διάρκεια από τις 11 Φεβρουαρίου 2013 μέχρι τις 10 Απριλίου 2013. Από τις 10 Απριλίου του 2013 και έπειτα, χρησιμοποιούνται τα νέα δεδομένα, τα οποία είναι βελτιωμένα ως προς την γεωμετρία και τη ραδιομετρία τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι, από τα παλιά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο τα αντίστοιχα του θερμικού δέκτη TIRS, καθώς υπήρξαν σημαντικές αλλαγές στον δέκτη OLI από τις 10 Απριλίου 2013 και μετά.

Τα προϊόντα του δορυφόρου Landsat 8 μπορούν να ληφθούν ελεύθερα από τους ιστοχώρους GloVis και Earthexplorer, καθώς και από διαδικτυακούς χώρους που χρησιμοποιούν την τεχνολογία του cloud (π.χ. google, amazon) [*Landsat Missions*, <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>, 2016].

Κανάλι	Μήκος κύματος (nm)	Χρησιμότητα
1 – coastal aerosol	0.43 – 0.45	Μελέτες για ακτογραμμή και αεροζόλ
2 – blue	0.45 – 0.51	Βαθυμετρική χαρτογράφηση, κωνοφόρα – αειθαλή
3 – green	0.53 – 0.59	Πυκνή βλάστηση, ασθένειες φυτών
4 – red	0.64 – 0.67	Διαχωρισμός βλάστησης
5 – near infrared (NIR)	0.85 – 0.88	Περιεκτικότητα βιομάζας
6 – short-wave infrared (SWIR) 1	1.57 – 1.65	Περιεκτικότητα σε υγρασία εδάφους, βλάστησης
7 – short-wave infrared (SWIR) 2	2.11 – 2.29	Βελτιωμένη περιεκτικότητα σε υγρασία εδάφους, βλάστησης
8 – panchromatic	0.50 – 0.68	15m ανάλυση, ακριβής ορισμός εικόνας
9 – cirrus	1.36 – 1.38	Ανίχνευση σύννεφων
10 – TIRS 1	10.60 – 11.19	100m ανάλυση, θερμική χαρτογράφηση
11 – TIRS 2	11.50 – 12.51	100m ανάλυση, βελτιωμένη θερμική χαρτογράφηση

Πίνακας 2.1: Ενδεικτικές χρήσεις των καναλιών του Landsat 8 OLI/TIRS

2.2.2. Ο δορυφόρος MODIS

Ο MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) είναι ένα βασικό εργαλείο πάνω στους Terra και Aqua δορυφόρους. Η τροχιά του Terra γύρω από την Γη είναι χρονομετρημένη, ώστε να περνά από τον βορρά στον νότο διαμέσου του ισημερινού το πρωί, ενώ ο Aqua να περνά νότια προς βόρεια πάνω από τον ισημερινό το απόγευμα. Οι Terra MODIS και Aqua MODIS καταγράφουν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης κάθε 1 με 2 ημέρες, αποκτώντας δεδομένα σε 36 φασματικά κανάλια. Αυτά τα δεδομένα, βελτιώνουν την κατανόηση της παγκόσμιας δυναμικής και των παγκόσμιων διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στην ξηρά, στη θάλασσα και στο χαμηλότερο επίπεδο της ατμόσφαιρας. Ο MODIS παίζει έναν ρόλο ζωτικής σημασίας στην ανάπτυξη έγκυρων, παγκόσμιων και διαδραστικών με την Γη μοντέλων, ικανών για την πρόβλεψη παγκόσμιων αλλαγών με τέτοια ακρίβεια, ώστε οι πολιτικοί φορείς να λάβουν σημαντικές αποφάσεις για την προστασία του περιβάλλοντος.

Τα προϊόντα ακτινοβολίας επιφάνειας παρέχουν μία εκτίμηση της φασματικής ακτινοβολίας στην επιφάνεια, όπως αυτή θα μπορούσε να μετρηθεί στο επίπεδο του εδάφους, αν ήταν δυνατή η

απουσία της ατμοσφαιρικής διάχυσης και απορρόφησης. Τα δεδομένα χαμηλού επιπέδου διορθώνονται για τα ατμοσφαιρικά αέρια και αερολύματα, παράγοντας μία δευτερογενή βάση για την περαιτέρω επεξεργασία αρκετών προϊόντων.

Όνομασία Προϊόντος	Terra Product ID	Aqua Product ID
Surface Reflectance 8-Day L3 Global 500m	MOD09A1	MYD09A1
Surface Reflectance 8-Day L3 Global 250m	MOD09Q1	MYD09Q1
Surface Reflectance Daily L2G Global 1km and 500m	MOD09GA	MYD09GA
Surface Reflectance Daily L2G Global 250m	MOD09GQ	MYD09GQ
Surface Reflectance Daily L3 Global 0.05Deg CMG	MOD09CMG	MYD09CMG

Πίνακας 2.2: Δεδομένα ακτινοβολίας επιφάνειας MODIS και η ονομασία τους, όπως δίνονται από τη NASA

MOD09GQ-MYD09GQ		
Κύρια χρήση	Κανάλι	Μήκος κύματος καναλιού (nm)
Land / Cloud / Aerosols Boundaries	1	620 – 670
	2	841 – 876
Land / Cloud / Aerosols Properties	3	459 – 479
	4	545 – 565
	5	1230 – 1250
	6	1628 – 1652
	7	2105 – 2155
Ocean Color / Phytoplankton / Biogeochemistry	8	405 – 420
	9	438 – 448
	10	483 – 493
	11	526 – 536
	12	546 – 556
	13	662 – 672
	14	673 – 683
	15	743 – 753
Atmospheric Water Vapor	16	862 – 877
	17	890 – 920
	18	931 – 941
	19	915 – 965

Πίνακας 2.3: Μήκη κύματος όλων των καναλιών MODIS και η κύρια χρήση τους

Διαφορές των MODIS Terra και MODIS Aqua

- **Διαφορές αλγορίθμου**

Ο αλγόριθμος χαρτογράφησης του χιονιού του MODIS χρησιμοποιεί έναν κανονικοποιημένο δείκτη, τον Normalized Difference Snow Index (NDSI) για να διαφοροποιήσει το χιόνι και άλλα χαρακτηριστικά σε μία σκηνή. Ο NDSI αποτελεί μία αναλογία καναλιού που εκμεταλλεύεται τις φασματικές διαφορές μεταξύ του χιονιού στο κανάλι 4 (εγγύς υπέρυθρο) και στο κανάλι 6 (ορατό). Μέχρι την Έκδοση 5, τα προϊόντα χιονιού του MODIS Aqua που παράγονταν, απέδιδαν λανθασμένα αποτελέσματα, έπειτα από ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν συγκρίνοντας τον NDSI με τον Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) σε περιοχές βλάστησης λόγω προβλήματος που προκλήθηκε κατά την εκτόξευση. Στη συνέχεια, η εφαρμογή μίας τεχνικής κατάφερε να ανακτήσει τον Aqua MODIS και πέρα από αυτό το στάδιο, με την Έκδοση 6 οι Aqua και Terra χρησιμοποιούν τον ίδιο αλγόριθμο ανίχνευσης του χιονιού.

- **Διαφορές στην τροχιά**

Τα όργανα του MODIS, Aqua και Terra, απεικονίζουν την ίδια περιοχή σε μία εικόνα της Γης έχοντας περίπου τρεις ώρες διαφορά. Παρατηρώντας ολόκληρη την επιφάνεια της Γης κάθε 1 με 2 ημέρες, αυτοί οι αισθητήρες εργάζονται σε συνδυασμό για την οπτικοποίηση μιας επιφάνειας προβολής χωρίς σύννεφα και για να παρέχουν ευκαιρίες για την διερεύνηση διεργασιών που συμβαίνουν σε περίπου καθημερινή χρονική κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα:

Terra

Ο αισθητήρας Terra είναι συγχρονισμένος με τον ήλιο, με κυκλική τροχιά κοντά στον πόλο και χρονομετρημένος να διασχίζει τον ισημερινό από τον βορρά προς τον νότο (φθίνουσα διεύθυνση) περίπου στις 10:30 a.m. τοπική ώρα.

Aqua

Ο αισθητήρας Aqua είναι συγχρονισμένος με τον ήλιο, με κυκλική τροχιά κοντά στον πόλο και χρονομετρημένος να διασχίζει τον ισημερινό από τον νότο προς τον βορρά (αύξουσα διεύθυνση) περίπου στη 1:30 p.m. τοπική ώρα.

- **Διαφορές κάλυψης**

Οι εικόνες που προέρχονται από δεδομένα του Aqua κανονικά εμφανίζονται ανάποδα εξ αιτίας της αύξουσας διεύθυνσης του Aqua. Σε αυτή την περίπτωση, οι εικόνες έχουν στραφεί κατά 180 μοίρες για να είναι δυνατή η οπτική σύγκριση με τις εικόνες Terra.

2.2.3. Ο δορυφόρος Sentinel 2 (MSI)

Η αποστολή του δορυφόρου Sentinel-2 αποτελείται από δύο πανομοιότυπους δορυφόρους πολικής τροχιάς, κάθε ένας από τους οποίους κατέχει ένα όργανο, το Multispectral Instrument (MSI), το οποίο παρέχει πολυφασματικές εικόνες υψηλής ανάλυσης σε δεκατρία (13) κανάλια. Η αποστολή, έτσι, ανήκει στην ίδια κατηγορία με τους δορυφόρους Landsat και SPOT. Ο πρώτος από τους δορυφόρους Sentinel-2, τέθηκε σε τροχιά στις 23 Ιουνίου 2015 και οι εικόνες ξεκίνησαν να γίνονται διαθέσιμες για απόκτηση έπειτα από περίπου μισό έτος. Όταν ολοκληρωθεί, η αποστολή

Sentinel 2 θα μπορεί να καλύψει σχεδόν ολόκληρη την Γη με μία περιοδική επανάληψη τουλάχιστον πέντε ημερών στον ισημερινό.

Η αποστολή του Sentinel 2 επικεντρώνεται στο γεγονός της εξαγωγής μελέτης χρονοσειρών, συνεπώς, τα βασικά προϊόντα του (Level 1), θα πρέπει να είναι διορθωμένα τόσο γεωμετρικά, όσο και ραδιομετρικά. Το γεγονός αυτό οδήγησε στον προσδιορισμό των ακόλουθων προϊόντων :

- Το προϊόν Level 0 και το Level 1A παρέχει ακατέργαστα δεδομένα, συμπιεσμένα και μη, αντίστοιχα.
- Το προϊόν Level 1B παρέχει ραδιομετρικά διορθωμένες ανακλώμενες ακτινοβολίες (radiances). Το φυσικό γεωμετρικό μοντέλο σε αυτή την περίπτωση προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας σημεία ελέγχου (GCPs), τα οποία επισυνάπτονται στο προϊόν αλλά δεν εφαρμόζονται σε αυτό.
- Το προϊόν Level 1C παρέχει ανακλαστικότητες στην επιφάνεια της ατμόσφαιρας (Top-of-Atmosphere reflectances) με καταγραφή πολυφασματικής και χρονικής πληροφορίας ανά εικονοστοιχείο (pixel). Το προϊόν αυτό συνδυάζεται με μία μάσκα πληροφορίας σύννεφου και γης/νερού. Η μάσκα σύννεφου παρέχει επίσης μια ένδειξη για την ύπαρξη νεφελώματος (cirrus). Αυτές οι μάσκες βασίζονται σε επαναλαμβανόμενες δοκιμές χρησιμοποιώντας τη φασματική πληροφορία που παρέχεται από τον αισθητήρα MSI. Το μέγεθος του εικονοστοιχείου στο έδαφος είναι 10 m, 20 m ή 60 m, αναλόγως με το κανάλι και ένα ενιαίο προϊόν Level 1C αποτελεί ένα πλακάκι διαστάσεων 100x100 km².

Sentinel 2A			
Χωρική Ανάλυση (m)	Κανάλι	Κέντρο μήκους κύματος καναλιού (nm)	Εύρος καναλιού (nm)
10	2	490	65
	3	560	35
	4	665	30
	8	842	115
20	5	705	15
	6	740	15
	7	783	20
	8a	865	20
	11	1610	90
	12	2190	180
60	1	443	20
	9	945	20
	10	1380	30

Πίνακας 2.4: Μήκη κύματος όλων των καναλιών Sentinel 2 ανάλογα με τη χωρική ανάλυσή τους

2.3. Βασικές Έννοιες και Όροι

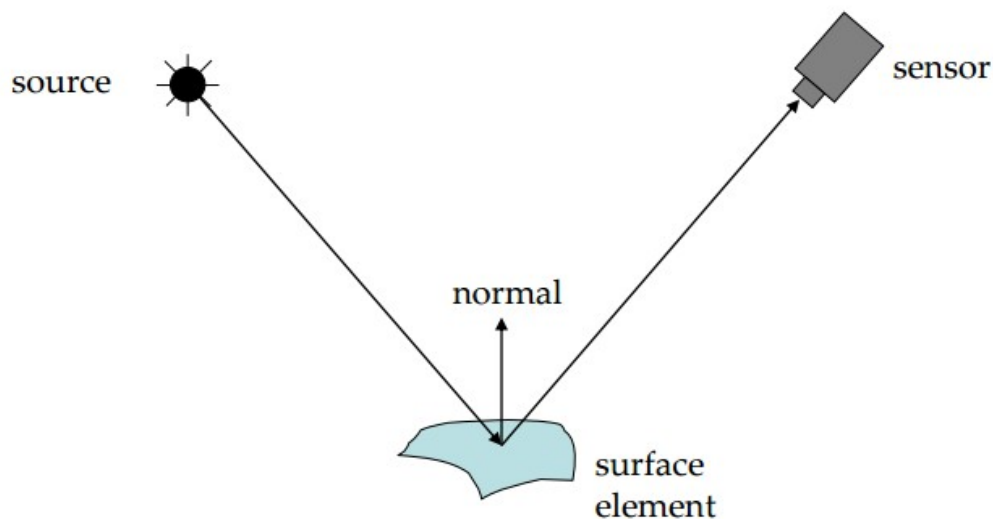
Ανακλαστικότητα (Reflectance): αποτελεί μέτρο της ικανότητας μιας επιφάνειας να αντανακλά ποσό της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ουσιαστικά παρέχει μία χοντρική παρουσίαση της γήινης επιφάνειας για τις διάφορες εξωτερικές συνθήκες. Ισούται με τον λόγο της έντασης της ανακλώμενης ακτινοβολίας προς εκείνη της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια. Το φάσμα ανακλαστικότητας συνήθως υπολογίζεται ως ποσοστό ανά μήκος κύματος, βάσει του λόγου της φασματικής απόκρισης ενός αντικειμένου – στόχου προς τη φασματική απόκριση ενός δείγματος αναφοράς.

Ανακλώμενη ακτινοβολία (Radiance): αποτελεί μέτρο της ποσότητας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται από μία επιφάνεια σε μια δεδομένη γωνία με καθορισμένη κατεύθυνση. Μονάδα μέτρησης είναι το Watt ανά στερακτίνο ανά τετραγωνικό μέτρο ($W * sr^{-1} * m^2$).

Προσπίπτουσα ακτινοβολία (Irradiance): είναι η ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας (ροή ακτινοβολίας) που προσπίπτει σε μία επιφάνεια (W/m^2).

Αναφορά ανακλώμενης ακτινοβολίας (Reference): ο όρος αυτός αναφέρεται στην καταγραφή της ποσότητας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλά ένας στόχος που προσομοιάζει τέλεια ανακλαστική επιφάνεια ($W * sr^{-1} * m^2$). Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια ενδιαφέροντος.

Ανακλαστικότητα επιφάνειας (surface reflectance): αποτελεί μία εκτίμηση της φασματικής ακτινοβολίας επιφάνειας, όπως αυτή θα μπορούσε να μετρηθεί σε επίπεδο εδάφους, εάν απουσίαζε η ατμοσφαιρική διάχυση ή απορρόφηση. Η ακτινοβολία επιφάνειας εξαρτάται τόσο από την κατεύθυνση προβολής, όσο και από την γωνία φωτισμού.



Σχήμα 2.1: Παρουσίαση εξάρτησης της ακτινοβολίας επιφάνειας από το φωτισμό και την πηγή

Χωρική ανάλυση (spatial resolution): Ο όρος αυτός εκφράζει το μέτρο της ικανότητας οριοθέτησης αντικειμένων σε μία ψηφιακή εικόνα. Αναφέρεται και ως χωρική διακριτική ικανότητα (εδαφοψηφίδα) που ορίζεται ως το μήκος/πλάτος σε πραγματική κλίμακα των αντικειμένων – περιοχών, που απεικονίζει κάθε μοναδιαίο (εικονοστοιχείο) μιας ψηφιακής εικόνας.

Φασματική ανάλυση (spectral resolution): Η φασματική ανάλυση ενός αισθητήρα αποτελεί ένα μέτρο της ικανότητάς του να καταγράψει τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ουσιαστικά αναφέρεται στον ορισμό των περιοχών του μήκους κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για τις οποίες μπορεί να καταγράψει πληροφορία.

Χρονική ανάλυση (temporal resolution): Ο όρος αυτός αναφέρεται στο ποσό του χρόνου που απαιτείται για την επανάληψη και απόκτηση δεδομένων για μία συγκεκριμένη τοποθεσία μελέτης.

Όταν εφαρμόζεται στην τηλεπισκόπηση, αυτό το ποσό του χρόνου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της τροχιάς του αισθητήρα, καθώς και από τα χαρακτηριστικά του ίδιου του αισθητήρα.

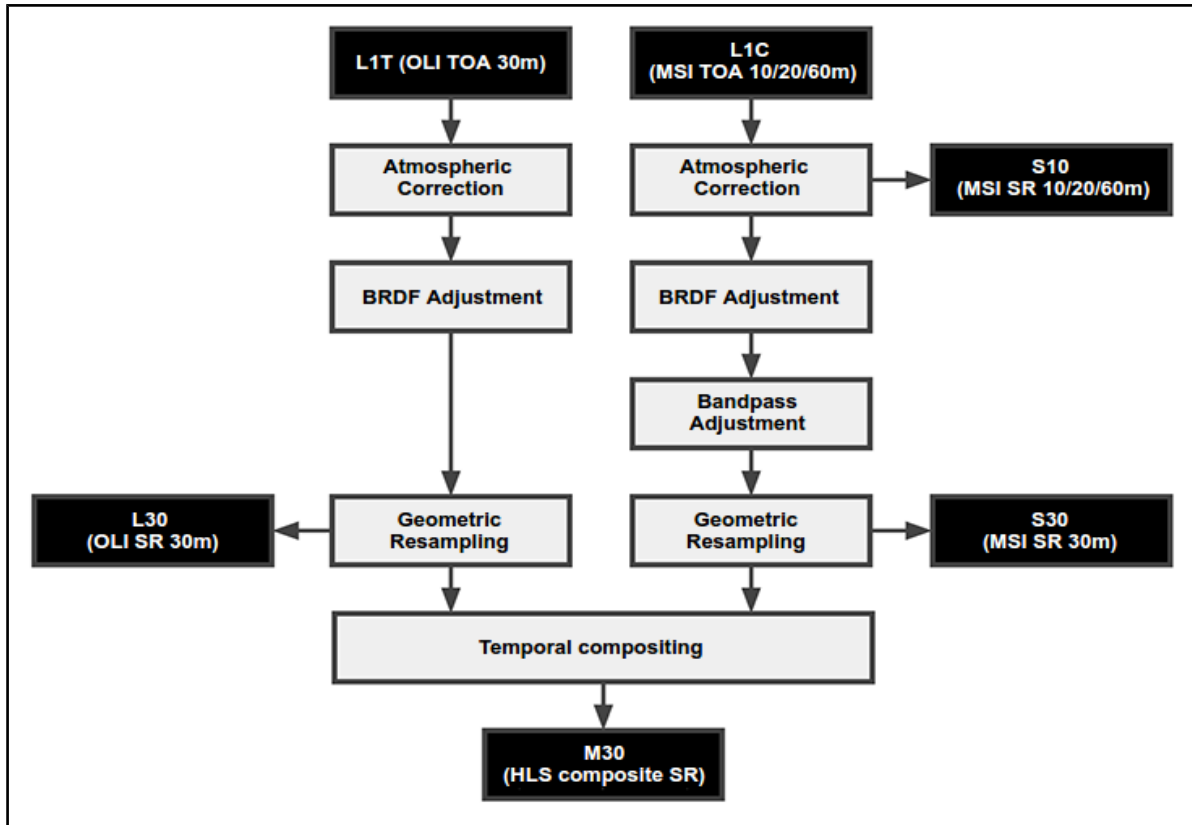
2.4. A Harmonized Surface Reflectance Product

1.Εναρμονισμένο προϊόν ακτινοβολίας στην επιφάνεια (Harmonized Surface Reflectance Product - HLS)

Τα δεδομένα των δορυφόρων Landsat 8 και Sentinel 2 αντιπροσωπεύουν τα πιο ευρέως αποδεκτά τηλεπισκοπικά πολυφασματικά δεδομένα μέτριας προς υψηλή ανάλυσης. Έπειτα από την πρόσφατη εκτόξευση του δορυφόρου Sentinel 2, η πιθανότητα συνεργασίας των δύο αυτών πηγών δεδομένων δημιουργεί ευκαιρίες για την παρατήρηση της κατάστασης της Γης και των δυναμικών της, τόσο ως προς τον χρόνο, όσο και ως προς την ακρίβεια. Συνεπώς, η εναρμόνιση αυτών των δύο προϊόντων είναι πολύ σημαντική και για το λόγο αυτό, χρειάζονται περαιτέρω συνεργασίες, με σκοπό την ολοκλήρωση και βελτίωση αυτού του προϊόντος, ώστε να δοθεί η δυνατότητα σε πολλούς χρήστες να συμπεριλάβουν αυτά τα δύο είδη δεδομένων σε οποιαδήποτε εργασία, εύκολα και αποτελεσματικά [<http://hls.gsfc.nasa.gov/>, 2016].

2. Περιγραφή αλγορίθμου

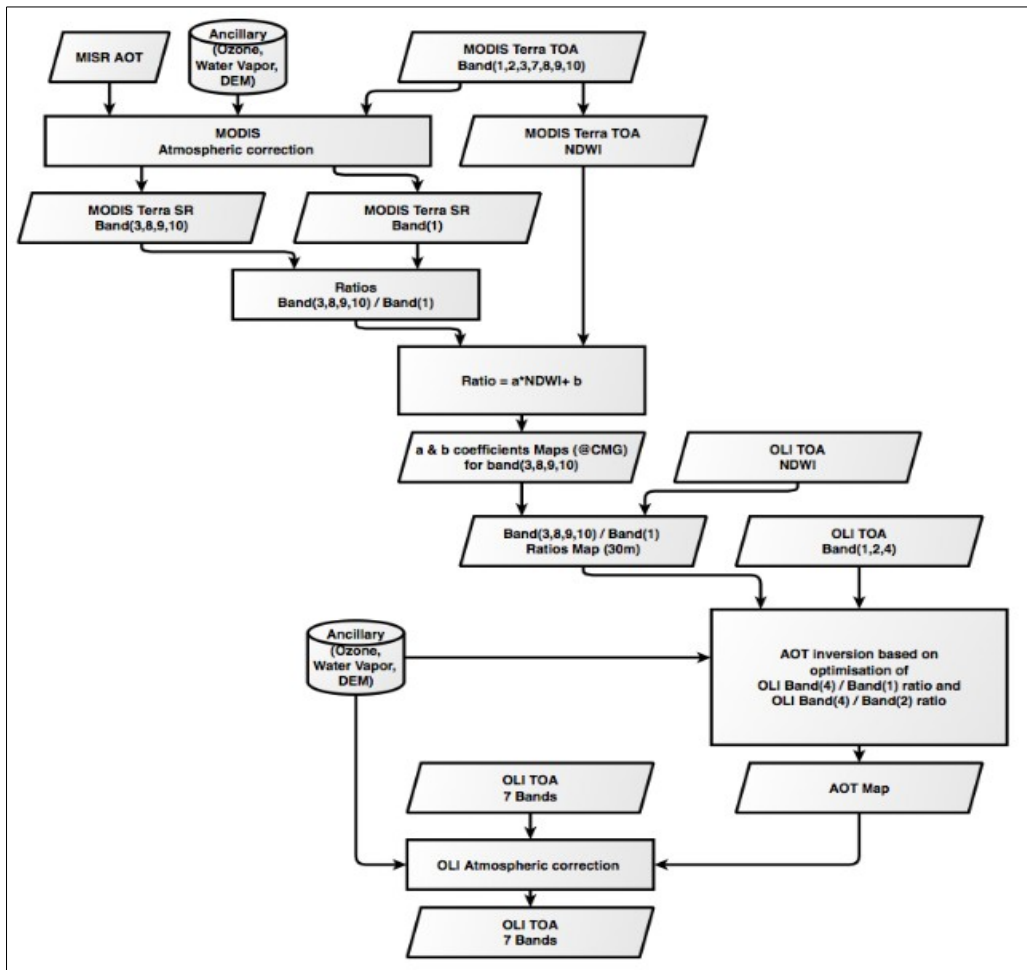
Αυτή η διαδικασία στοχεύει στην παραγωγή ενός συγχωνευμένου προϊόντος επιφάνειας από τις αποστολές των Landsat και Sentinel 2, ώστε να επιτυγχάνει υψηλή χρονική κάλυψη (με κύκλο επανάληψης περίπου 5 ημερών) και υψηλή χωρική ανάλυση (20 – 60 m). Ο στόχος είναι να επιτευχθεί μια ομοιογενής και συνεχής ροή δεδομένων ανακλαστικότητας επιφάνειας από τους διαφορετικούς αισθητήρες. Τα απαραίτητα στάδια αυτής της διαδικασίας περιλαμβάνουν βαθμονόμηση, ατμοσφαιρικές διορθώσεις, διορθώσεις από την επίδραση της BRDF, φασματική προσαρμογή των καναλιών και γεωμετρικές διορθώσεις. Η απόδοση των διορθώσεων αυτών πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που δίνονται από τον MODIS (Climate Modeling Grid-CMG at 0.05deg) σε παγκόσμιο επίπεδο. Στη συνέχεια, κατά την διαδικασία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, χρησιμοποιούνται και οι λόγοι καναλιών του δέκτη MODIS Terra και του OLI του δορυφόρου Landsat 8, καθώς και ο δείκτης NDWI. Τέλος, μετά από αυτή τη διαδικασία, εξάγεται ένας χάρτης με το πάχος του αεροζόλ (Aerosol Optical Thickness-AOT). Ακολουθεί η διαδικασία διόρθωσης από την επίδραση της BRDF, η διαδικασία προσαρμογής του μήκους κύματος στο οποίο εκπέμπουν οι δύο δορυφόροι, το οποίο είναι διαφορετικό, η γεωμετρική διόρθωση σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς και τέλος, η χρονική προσαρμογή των δεδομένων, ώστε να παραχθεί το τελικό προϊόν.



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας για την παραγωγή του HLS product

Ατμοσφαιρική διόρθωση

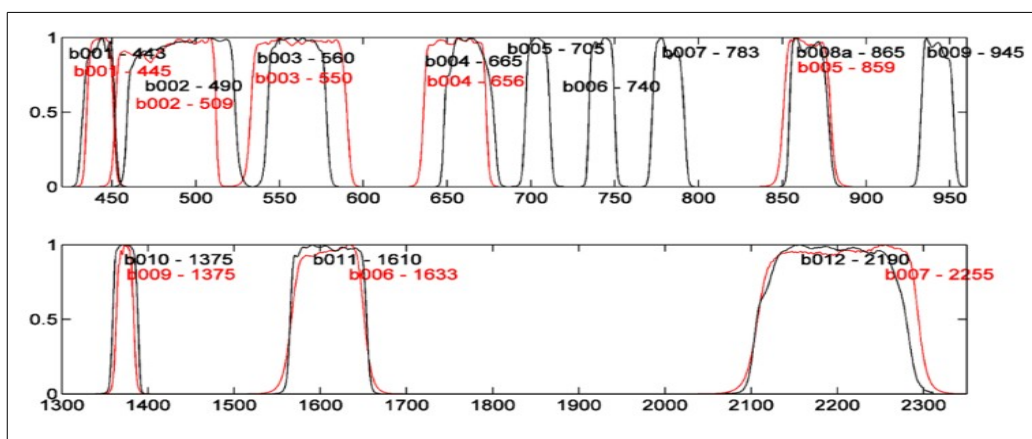
Ο αλγόριθμος της ατμοσφαιρικής διόρθωσης βασίζεται σε έναν συνεχή αναλογικό χάρτη που αναπτύχθηκε από τον Eric Vermote (NASA GSFC). Παρακάτω παρουσιάζεται το ολοκληρωμένο διάγραμμα ροής βασισμένο στον Vermote et al.



Σχήμα 2.3 : Διάγραμμα ροής της διαδικασίας ατμοσφαιρικής διόρθωσης των προϊόντων HLS

Προσαρμογή των μηκών κύματος (Bandpass Adjustment)

Παρατηρήθηκαν μικρές διαφορές μεταξύ των ισοδύναμων φασματικών καναλιών των MSI και OLI, τα οποία είναι απαραίτητο να προσαρμοστούν. Η ζωνοπερατή προσαρμογή ανταποκρίνεται σε ένα γραμμικό μοντέλο μεταξύ των ισοδύναμων φασματικών καναλιών. Οι συντελεστές της παλινδρόμησης υπολογίστηκαν βασιζόμενοι σε 500 υπερφασματικά κανάλια που επιλέχθηκαν σε 160 σκηνές παγκοσμίως κατανεμημένες.



Σχήμα 2.4 :Μήκη κύματος των φασματικών καναλιών των αισθητήρων MSI και OLI

Περιγραφή προϊόντων

Τα προϊόντα που θα παραχθούν από αυτή την εφαρμογή είναι τα ακόλουθα και περιλαμβάνουν δεδομένα με 10, 30 και 60m χωρική ανάλυση.

Product Name	S10	S30	L30	M30
Spatial	10-20-60m	30m	30m	30m
Spectral	As input	OLI-like	OLI-like	Landsat-like
Temporal	As input	As input	As input	5-day (TBC)
BRDF-adjustm.	No	Yes	Yes	Yes
Projection	UTM	UTM	UTM	UTM
Tiling System	S2 (110*110)	S2 (110*110)	S2 (110*110)	S2 (110*110)

- **Προϊόν ακτινοβολίας επιφάνειας του Sentinel 2 MSI σε πλήρη ανάλυση 10m**

Το προϊόν Sentinel 2 10m HLS θα αποτελείται από ακτινοβολίες εδάφους, οι οποίες έχουν αποκτηθεί από τα προϊόντα L1C που επεξεργάζεται η ESA. Όλα τα δεδομένα θα αναφέρονται χωρίς χρονική συσχέτιση, χωρική δειγματοληψία, ή φασματική προσαρμογή. Όλες οι τιμές των καναλιών θα αντιπροσωπεύουν ακτινοβολίες εδάφους (SR), εκτός από το κανάλι cirrus (B10), το οποίο θα εκφράζει ακτινοβολίες πριν την αφαίρεση της επίδρασης της ατμόσφαιρας (ToA reflectance).

- **Προϊόν εναρμονισμένης ακτινοβολίας επιφάνειας του Sentinel 2 MSI, από παρεμβολή, στα 30m**

Το εναρμονισμένο προϊόν Sentinel 2 HLS 30m θα αποτελείται από ακτινοβολία εδάφους από τα προϊόντα L1C που επεξεργάζεται η ESA, εκφρασμένο χωρικά στο σύστημα του Sentinel 2. Τα προϊόντα αυτά δημιουργούνται με resampling στα 30m και περιλαμβάνουν προσαρμογή στο σημείο

αναφοράς και προσαρμογή του φάσματος.

Η προσαρμογή στο φάσμα θα γίνεται με βάση τις διαφορές μεταξύ των δεκτών MSI και OLI. Πιο αναλυτικά, η φασματική απόκριση του προϊόντος αυτού, προέρχεται από τον OLI, εκτός από τα κανάλια εγγύς υπέρυθρο και Red-edge. Η προσαρμογή του φάσματος αυτή, αποτελεί το αποτέλεσμα μίας γραμμικής παλινδρόμησης κανάλι-με-κανάλι, χρησιμοποιώντας ισοδύναμα κανάλια και από τους δύο αισθητήρες. Η ισοδυναμία αυτή εκφράζεται με τον ακόλουθο πίνακα.

Όνομασία καναλιού	Αριθμός καναλιού του δέκτη OLI	Ισοδύναμος αριθμός καναλιού του δέκτη MSI
Coastal aerosol	1	1
Blue	2	2
Green	3	3
Red	4	4
NIR	5	8A
SWIR 1	6	11
SWIR 2	7	12

Πίνακας 2.5: Αντιστοιχία καναλιών μεταξύ OLI και MSI, για την παραγωγή του εναρμονισμένου προϊόντος Sentinel 2 HLS 30m

- **Προϊόν εναρμονισμένης ακτινοβολίας επιφάνειας του Landsat 8 OLI, από παρεμβολή, στα 30m**

Το εναρμονισμένο προϊόν Landsat 8 OLI 30m θα αποτελείται από ακτινοβολία εδάφους από τα προϊόντα L1T, εκφρασμένο χωρικά στο σύστημα του Sentinel 2. Τα προϊόντα αυτά δημιουργούνται με resampling στα 30m και περιλαμβάνουν προσαρμογή στο σημείο αναφοράς.

Η προσαρμογή στο φάσμα θα γίνεται με βάση τις διαφορές μεταξύ των δεκτών MSI και OLI. Πιο αναλυτικά, η φασματική απόκριση του προϊόντος αυτού, προέρχεται από τον OLI, εκτός από τα κανάλια εγγύς υπέρυθρο και Red-edge. Η προσαρμογή του φάσματος αυτή, αποτελεί το αποτέλεσμα μίας γραμμικής παλινδρόμησης κανάλι-με-κανάλι, χρησιμοποιώντας ισοδύναμα κανάλια και από τους δύο αισθητήρες. Η ισοδυναμία αυτή εκφράζεται με τον ακόλουθο πίνακα.

Γεωμετρική διόρθωση

Ο στόχος της γεωμετρικής διόρθωσης των προϊόντων Sentinel 2 είναι να επιτευχθεί χρονική και φασματική καταγραφή όλων των εικόνων από οποιονδήποτε στόχο. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, το φυσικό γεωμετρικό μοντέλο, το οποίο συσχετίζει μία κατεύθυνση θέασης σε οποιοδήποτε εικονοστοιχείο, θα πρέπει να διευκρινιστεί. Αυτό το φυσικό γεωμετρικό μοντέλο συνδυάζει την θέση, το υψόμετρο και την πληροφορία των δεδομένων, τους πίνακες μετασχηματισμού μεταξύ των διαφορετικών πλαισίων αναφοράς, όπως ο δορυφόρος, ο αισθητήρας, το εστιακό επίπεδο και ο ανιχνευτής, καθώς και μία κατεύθυνση θέασης για κάθε στοιχειώδη ανιχνευτή κάθε καναλιού. Η απ' ευθείας ραδιομετρική διόρθωση του μοντέλου (π.χ. όταν γίνεται η επεξεργασία του προϊόντος Level 1C) και η διόρθωση από αποκλίσεις στο υψόμετρο

και στη θέση, πραγματοποιείται με τη διαδικασία μίας αυτόματης συσχέτισης της επεξεργασίας μεταξύ ενός καναλιού αναφοράς της εικόνας που θα προκύψει και μίας εικόνας αναφοράς που παρέχει φωτοσταθερά (GCPs). Αυτό το βελτιωμένο γεωμετρικό μοντέλο εφαρμόζεται σε όλα τα κανάλια και προβάλλονται σε ένα κοινό χαρτογραφικό πλαίσιο αναφοράς.

Η εικόνα αναφοράς ανήκει σε μία παγκόσμια γεωαναφερμένη βάση δεδομένων που αποτελείται από μονο-φασματικές εικόνες Sentinel 2. Στη συνέχεια, χτίζεται βαθμωτά από εικόνες χωρίς σύννεφα. Η γεωαναφορά όλων των εικόνων πραγματοποιείται μέσα από μια παγκόσμια διαδικασία χωρο-τριγωνισμού, χρησιμοποιώντας σημεία ελέγχου μεταξύ των διαφορετικών εικόνων και φωτοσταθερών. Εξαιτίας της παράλλαξης μεταξύ των διαφορετικών μονών και ζυγών ενοτήτων ανιχνευτή και μεταξύ καναλιών, η καταγραφή είναι ευαίσθητη στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model – DEM) που χρησιμοποιείται στην διαδικασία.

3. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η παγκόσμια, μακροπρόθεσμη παρακολούθηση των αλλαγών στην κάλυψη γης είναι ένας κύριος και μακροχρόνιος στόχος των επιστημών που σχετίζονται με την Γη [Goward & Williams, 1997; Huang et al., 2009; Townshend et al., 1991]. Για να μπορούν τα δεδομένα να συσχετιστούν τόσο ως προς το χρόνο, όσο και ως προς τον τόπο, να έχουν δηλαδή συνέχεια και επαναληπτικότητα, είναι απαραίτητο, οι βασικές συγκρίσεις εικόνας-προς-εικόνα, που βασίζονται στα δεδομένα, να πραγματοποιούνται στην ίδια θεματική κλίμακα μετρήσεων [Sexton et al., 2013; Song et al., 2001; Stevens, 1946]. Η ανακλώμενη ακτινοβολία (radiance), δηλαδή το ποσό της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μια επιφάνεια, αποτελεί μία βασική κλίμακα για την αντιπροσώπευση και σύγκριση των τηλεπισκοπικών παρατηρήσεων. Ωστόσο, η ανακλώμενη ακτινοβολία ποικίλει ανάλογα με τον φωτισμό και την γεωμετρία θέασης, την εισερχόμενη ακτινοβολία και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες [Chander et al., 2009]. Εναλλακτικά, η ανακλαστικότητα (reflectance), δηλαδή ο λόγος της εξερχόμενης ακτινοβολίας προς την εισερχόμενη, παρέχει μία πιο σταθερή και αξιόπιστη παρουσίαση της επιφάνειας της Γης πάνω σε ποικίλες εξωτερικές συνθήκες [Kaufman & Tanre, 1996; Vermote et al., 1997a].

Η USGS για τους δορυφόρους Landsat 4-5, TM και Landsat 7 χρησιμοποιούσε τον αλγόριθμο 6S προκειμένου να παράγει την ακτινοβολία εδάφους και να αποβάλλει την επίδραση της ατμόσφαιρας από τις αρχικές εικόνες. Η εφαρμογή του αλγορίθμου γίνεται με το σύστημα Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS). Αντίθετα, για τον δορυφόρο Landsat 8 οι ακτινοβολίες εδάφους (surface reflectance) προκύπτουν από έναν εσωτερικό αλγόριθμο, ο οποίος θεωρείται προσωρινός αλλά μακροπρόθεσμα θα μπορεί να παρέχει μία συλλογή επιστημονικών δεδομένων κατάλληλα για την παρακολούθηση, την αξιολόγηση και την πρόβλεψη των αλλαγών στην επιφάνεια του εδάφους. Ο αλγόριθμος Landsat Surface Reflectance Code (LaSRC) χρησιμοποιεί το κέντρο της σκηνής για τον υπολογισμό της γωνίας του ήλιου και στη συνέχεια αναπτύσσοντας έναν εσωτερικό κώδικα εξαναγκάζει την ζενίθια γωνία θέασης να ισούται με το μηδέν. Η ηλιακή ζενίθια γωνία και η ζενίθια γωνία θέασης χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς ως μέρος της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. [http://landsat.usgs.gov/CDR_LSR.php]

Τα δεδομένα ακτινοβολίας επιφάνειας του εδάφους (Surface Reflectance-SR), έχουν προκύψει από δεδομένα που συλλέχθηκαν από διαστημικούς αισθητήρες σε ποικίλες χωρικές και χρονικές κλίμακες, συμπεριλαμβανομένων των Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) [Vermote et al., 2002], Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) [Kangas et al., 2001] και Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) [Yamaguchi et al., 1998]. Οι αισθητήρες Landsat συλλέγουν παρατηρήσεις με συγκεκριμένη κλίμακα για την παρακολούθηση της αλλαγής της κάλυψης Γης από το 1972, αλλά μέχρι το 2006 δεν είχε υπάρξει ένα σταθερό προϊόν ανακλαστικότητας επιφάνειας που να συνδέεται με την αποστολή του Landsat [Masek et al., 2006]. Για να αυξηθεί η συσχέτιση των δεδομένων Landsat τόσο στο χώρο, όσο και στο χρόνο, καθώς και των δεδομένων από άλλους αισθητήρες, είναι απαραίτητο να προκύψουν οι εκτιμήσεις ανακλαστικότητας επιφάνειας από αυτό το πολύτιμο αρχείο της πρόσφατης ιστορίας της παρακολούθησης της γης [Vermote et al., 2006].

1. Global surface reflectance products from Landsat : Assessment using coincident MODIS observations [M. Feng et al., 2013]

Βασιζόμενοι στο γεγονός της αύξησης της συνοχής και της αυτοδυναμίας παρακολούθησης της Γης με εικόνες Landsat, οι *M. Feng et al., 2013*, πραγματοποίησαν ατμοσφαιρική διόρθωση σε δεδομένα GLS (Global Land Survey) Landsat, χρησιμοποιώντας την εκτέλεση του συστήματος LEDAPS (Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System) που εφαρμόζει τον αλγόριθμο ακτινοβολίας μοντέλου 6S. Το σύνολο δεδομένων GLS παρέχει συνοπτική, χωρίς σύννεφα και με γεωαναφορά κάλυψη της Γης σε τέσσερις ονομαστικές εποχές (1975, 1990, 2000 και 2005). Η παρούσα δημοσίευση παρουσιάζει τα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα GLS των περιόδων 2000 και 2005, καθώς και μία παγκόσμια αξιολόγηση ως προς τις συμπίπτουσες καθημερινές ακτινοβολίες εδάφους MODIS και ως προς τις Normalized Distribution Function – Adjusted Reflectance (NBAR). Έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα ελέγχου της συνέχειας των δεδομένων Landsat-MODIS, LMCCS (Landsat-MODIS Consistency Checking System) για την αξιολόγηση των προϊόντων ανακλαστικότητας επιφάνειας χρησιμοποιώντας σχεδόν ταυτόχρονες παρατηρήσεις MODIS [*Feng et al., 2012*].

Ο αλγόριθμος 6S είναι ένα εξελιγμένο μοντέλο μεταφοράς ακτινοβολίας, σχεδιασμένο να προσομοιώνει την αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας από ένα ζεύγος συστήματος ατμόσφαιρα – έδαφος για ένα μεγάλο εύρος ατμοσφαιρικών, φασματικών και γεωμετρικών καταστάσεων. Θεωρώντας ότι η Γη είναι άπειρη και προσομοιάζει Λαμπερτιανή επιφάνεια, καθώς και ότι η απορρόφηση αερίων και η μερική σκέδαση από τα μόρια των αερίων μπορούν να διαχωριστούν, χρησιμοποιείται το μοντέλο μεταφοράς ακτινοβολίας 6S για τον υπολογισμό της μετάδοσης, της εγγενούς ανάκλασης και του σφαιρικού albedo για τα σχετικά ατμοσφαιρικά συστατικά – συμπεριλαμβανομένων των αερίων, του όζοντος, των υδρατμών και των αεροζόλ [*Vermote et al., 1997b*]. Το σύστημα LEDAPS στη συνέχεια, υπολογίζει την ανακλαστικότητα εδάφους αντισταθμίζοντας τις επιδράσεις απορρόφησης και σκέδασης της ακτινοβολίας, ώστε να διορθωθεί σωστά η Top Of Atmosphere Reflectance. Οι ατμοσφαιρικές παράμετροι συγκεντρώθηκαν από ποικίλες πηγές. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση του όζοντος αποκτήθηκε από το Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) επί των πλατφορμών Nimbus-7, Meteor-3 και Earth Probe, καθώς και από το πρόγραμμα NOAA's Television Infrared Observation Satellite Program (TIROS) Operational Vertical Sounder (TOVS), όταν δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα από το TOMS. Οι στήλες υδρατμών αποκτήθηκαν από τα δεδομένα ανάλυσης του NOAA National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Για την προσαρμογή της σκέδασης Rayleigh στις τοπικές συνθήκες χρησιμοποιήθηκε ένα ψηφιακό τοπογραφικό στα 0.05 deg και ένα σετ δεδομένων πίεσης εδάφους NCEP. Το οπτικό πάχος αεροζόλ (AOT) αποκτήθηκε εμπειρικά για κάθε μία εικόνα Landsat χρησιμοποιώντας την μέθοδο σκοτεινού αντικειμένου πυκνής βλάστησης (dark dense vegetation method) [*Kaufman & Tanre, 1996*], ή χρησιμοποιώντας σχέσεις μεταξύ κόκκινων και μπλε καναλιών με το κανάλι SWIR, όπως παρουσιάστηκε από τους Vermote και Saleous (2006). Όταν η τιμή AOT δεν μπορούσε να ανακτηθεί με αυτές τις μεθόδους, δόθηκε η τιμή 0.06 στα 550 nm.

Οι συγκρίσεις πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των εικόνων MODIS daily SR (MOD09GA) και των Nadir Bidirectional Reflectance Distribution Function-Adjusted Reflectance (NBAR) ανά 16 ημέρες (MCD43A4), στη χωρική ανάλυση των 500m [*Schaaf et al., 2002*]. Οι εκτιμήσεις της ανακλαστικότητας συλλέχθηκαν από δείγματα εικονοστοιχείων εικόνων Landsat και MODIS χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο που σχεδιάστηκε από τον Feng et al. (2012), με σκοπό την

απόκτηση, επικάλυψη, εξαγωγή και σύγκριση ταυτόχρονων δορυφορικών παρατηρήσεων. Οι συγκρίσεις που πραγματοποιήθηκαν στη συνέχεια, δημιούργησαν ένα συγκεντρωτικό παγκόσμιο δείγμα για μια συνολική ποσοτική αξιολόγηση και επίσης χαρτογράφησαν όλες τις σκηνές Landsat (στο σύστημα Worldwide Reference System-2 WRS-2) για την ποσοτική αξιολόγηση στο χώρο, όπως συνίσταται από τον Schaaf et al. (2002). Ακολουθώντας τον Masek et al. (2006), για τη σύγκριση των καναλιών Landsat και MODIS, κάθε ένα από τα έξι φασματικά κανάλια Landsat TM και ETM+ αντιστοιγήθηκαν με τα πιο κοντινά κανάλια MODIS. Για την αντιμετώπιση της διαφοράς στη χωρική ανάλυση μεταξύ των δύο αισθητήρων, οι τιμές Landsat συγκεντρώθηκαν στην ανάλυση του MODIS, βγάζοντας το μέσο όρο των Landsat τιμών που αντιστοιχούν στο κάθε εικονοστοιχείο MODIS. Στη συνέχεια, το δείγμα εικονοστοιχείων φιλτραρίστηκε ώστε να αποκλειστούν τα ετερογενή εικονοστοιχεία, τα εικονοστοιχεία που περιέχουν σύννεφα ή σκιές και τα εικονοστοιχεία των οποίων η ηλιακή ζενίθια γωνία ήταν διαφορετική μεταξύ των Landsat και MODIS.

Για τον έλεγχο συμφωνίας των δεδομένων, εφαρμόστηκε μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης για κάθε φασματικό κανάλι [Willmott, 1982]. Η συμφωνία ποσοτικοποιήθηκε με το Mean Bias Error (MBE) και το Root-Mean-Squared Difference (RMSD):

$$MBE = \sum_{i=1}^n \frac{L_i - M_i}{n}$$

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - M_i)^2}{n}}$$

Αφού μοντελοποιήθηκε η σχέση μεταξύ των Landsat και MODIS, η διαφορά τετραγώνου τους χωρίστηκε σε συστηματικό (MSEs) και μη συστηματικό σφάλμα (MSEu), με βάση τη γραμμική σχέση:

$$MSE_s = \sum_{i=1}^n \frac{(\hat{L}_i - M_i)^2}{n}$$

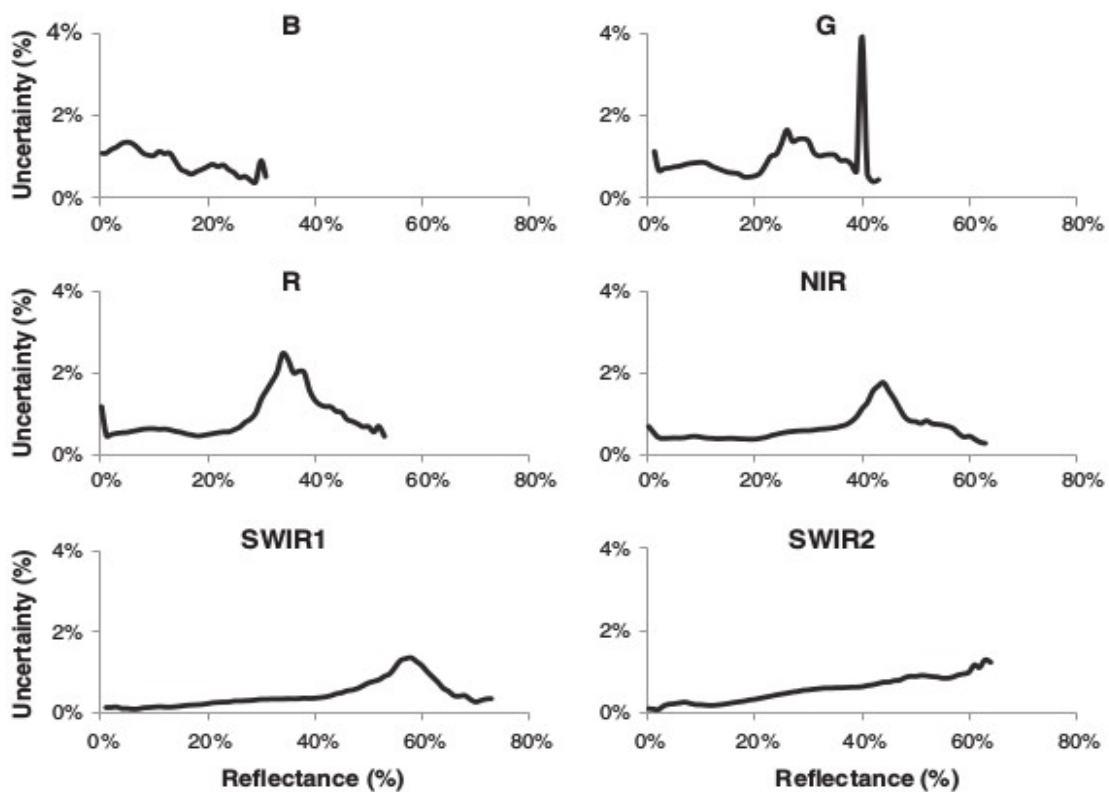
$$MSE_u = \sum_{i=1}^n \frac{(L_i - \hat{L}_i)^2}{n}$$

Δεδομένου ότι τόσο οι τιμές SR MODIS, όσο και οι τιμές SR Landsat έχουν αβεβαιότητες, εφαρμόστηκε παλινδρόμηση με τη μέθοδο Reduced Major Axis – RMA, αντί για την κανονική Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων (OLS) για τον υπολογισμό των παραμέτρων α (τομή), β (κλίση) και R^2 [Berterretche et al., 2005; Cohen et al., 2003; Sokal & Rohlf, 1994]. Το συστηματικό σφάλμα εκφράζει τη διαφορά μεταξύ της τάσης της SR στη Landsat και στη MODIS εικόνα. Η διακύμανση γύρω από αυτή την τάση μετρείται με το μη συστηματικό σφάλμα.

Μέρος της διαφωνίας μεταξύ των τιμών SR Landsat και MODIS αποδίδεται στην αβεβαιότητα των παρατηρήσεων των δύο δορυφόρων. Οι απόλυτες αβεβαιότητες βαθμονόμησης (1σ) των καναλιών ανακλαστικότητας προέκυψαν 7% και 5% για τον Landsat 5 TM και Landsat 7 ETM+, αντίστοιχα [Markham & Helder, 2012].

Epoch	Sensor	Band	n	Slope	Intercept	R ²	RMSD	RMSD _S	RMSD _U	MBE	RMSD _R
2000	ETM+	B	214,893	1.057	2.493	0.785	2.188	1.996	0.662	0.96	1.557
		G	214,843	1.015	1.105	0.847	1.425	1.132	0.696	0.242	1.291
		R	214,779	1.016	1.255	0.876	1.386	1.033	0.753	0.140	1.460
		NIR	214,923	1.024	-0.993	0.896	1.728	0.971	1.297	-0.34	1.153
		SWIR1	214,941	0.980	-1.742	0.901	2.672	2.314	1.116	-2.174	2.603
		SWIR2	213,850	0.972	-0.011	0.886	1.856	1.393	0.971	-0.772	2.412
2005	ETM+	B	202,238	1.035	1.295	0.777	2.282	2.016	0.838	1.320	1.732
		G	202,839	0.974	0.345	0.831	1.706	1.320	0.895	0.378	1.564
		R	202,663	1.075	0.057	0.858	1.593	1.154	0.935	0.348	1.736
		NIR	203,113	1.019	-0.845	0.891	1.956	1.085	1.493	-0.279	1.252
		SWIR1	203,125	0.964	-1.241	0.891	2.770	2.342	1.240	-2.092	2.724
		SWIR2	203,097	0.963	0.205	0.868	1.987	1.467	1.097	-0.702	2.618
	TM	B	94,915	1.197	0.283	0.562	2.547	1.906	1.544	0.974	1.718
		G	95,866	1.044	-0.135	0.697	2.280	1.552	1.558	0.409	1.884
		R	95,783	1.052	0.027	0.760	2.261	1.483	1.605	0.428	2.126
		NIR	95,562	0.991	-1.422	0.810	3.434	2.305	2.296	-1.130	1.925
		SWIR1	95,906	0.990	-2.638	0.789	3.404	2.461	2.089	-1.636	2.800
		SWIR2	95,905	1.066	-0.521	0.802	2.261	1.406	1.655	0.171	2.679

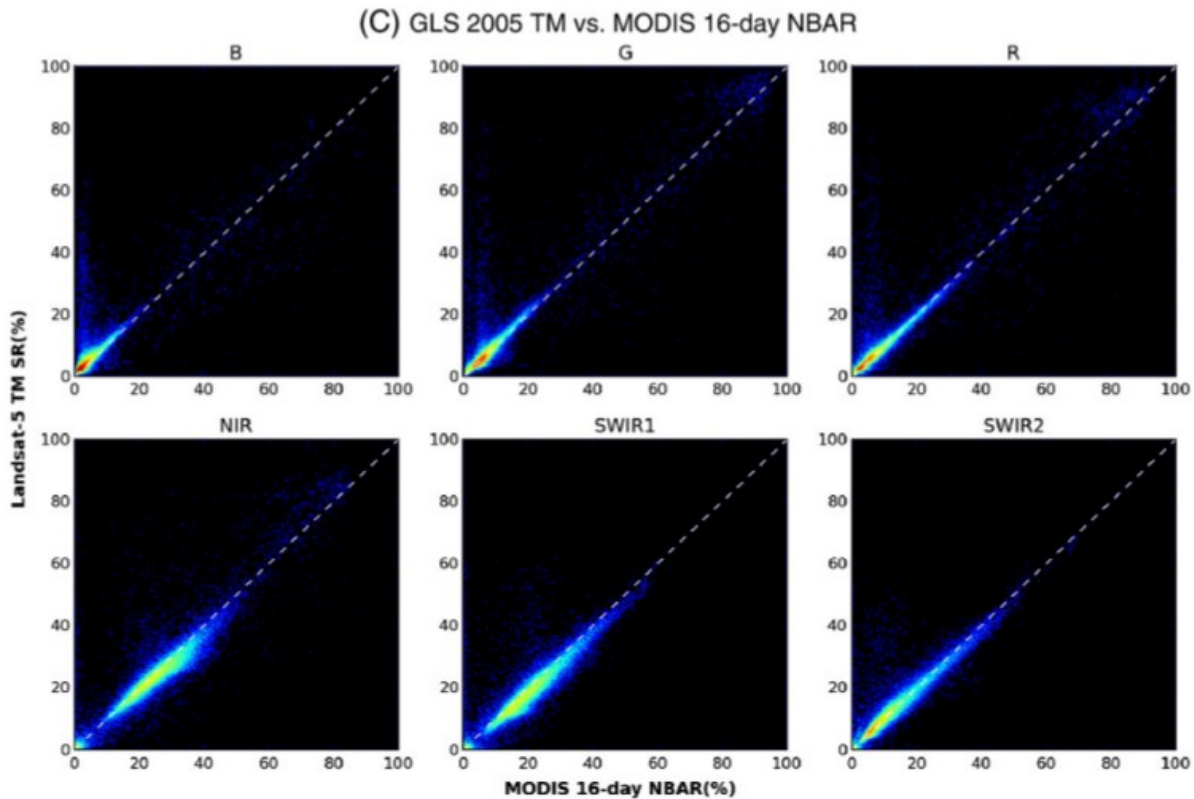
Πίνακας: Αποτελέσματα παγκόσμιας σύγκρισης μεταξύ των SR που προέκυψαν από τις GLS 2000 & 2005 Landsat (Landsat 5 TM και Landsat 7 ETM+) και των αντίστοιχων MODIS SR (daily SR και NBAR 16-ημερών που συγκρίθηκαν με τις ETM+ και TM αντίστοιχα)



Σχήμα: Αβεβαιότητες παρατηρήσεων (1σ) των δεδομένων MODIS SR στο R, G, B, NIR, SWIR1 και SWIR2 κανάλι

Συμπερασματικά, συμφωνία προέκυψε στις τιμές των SR μεταξύ των προϊόντων Landsat ETM+ και MODIS daily για κάθε κανάλι και για τις δύο περιόδους 2000 και 2005, όπως παρουσιάζεται

στο σχήμα. Η διαφωνία μεταξύ των Landsat 7 ETM+ και των MODIS SR, όπως μετρήθηκε από το RMSD, κυμάνθηκε μεταξύ 1.3 και 2.8 ποσοστιαίων μονάδων ανακλαστικότητας, ή περίπου 20% του δυναμικού εύρους ανακλαστικότητας των επιφανειών με βλάστηση.

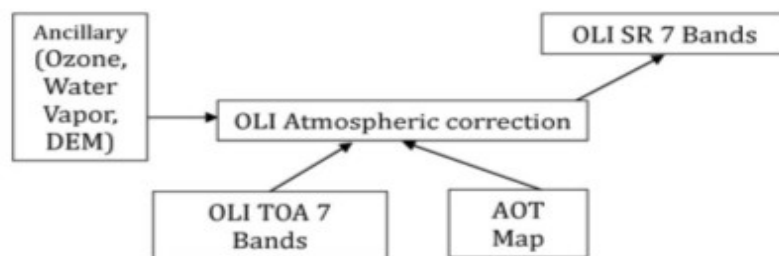


Σχήμα: Διαγράμματα πυκνότητας, όπως υπολογίστηκαν στις επιλεγμένες σκηνές Landsat για τα έξι κανάλια των GLS 2000 και 2005

2. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product [Vermote et al., 2016]

Στη συγκεκριμένη δημοσίευση, αναφέρεται από τους *Vermote et al., 2016*, ότι έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός από μεθοδολογίες ατμοσφαιρικής διόρθωσης, αλλά εκείνες οι οποίες χρησιμοποιούν αλγόριθμους μετάδοσης ακτινοβολίας και δεδομένα με ατμοσφαιρικά χαρακτηριστικά, παρέχουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα αυτόματης εφαρμογής σε μεγάλες περιοχές [*Diner et al., 2005; Gordon, 1997; Vermote, El Saleous & Justice, 2002*]. Η προσέγγιση της συγκεκριμένης δημοσίευσης βασίστηκε σε μία τεχνική ατμοσφαιρικής διόρθωσης που στοχεύει στην παραγωγή ανακλαστικότητας όπως αυτή θα μετριάταν σε επίπεδο εδάφους, αν δεν υπήρχε καθόλου ατμόσφαιρα. Για δεδομένα Landsat 8/OLI, οι πρόσφατες και βελτιωμένες ανακλαστικότητες εδάφους MODIS, Collection 6, παρείχαν τα μέσα, λαμβάνοντας υπόψη τη βελτιωμένη ραδιομετρική παρουσία και τα στενά φασματικά κανάλια που εντοπίζονται σε μήκη κύματος τα οποία είναι λιγότερο εκτεθειμένα στην ατμοσφαιρική απορρόφηση, καθώς και χρησιμοποιώντας καλύτερα αρχικά δεδομένα. Συνεπώς, παρουσιάζεται ο αλγόριθμος ατμοσφαιρικής διόρθωσης που αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο 6SV (Second Simulation of the Satellite Signal in the

Solar Spectrum Vectorial), βελτιωμένο ώστε να επωφεληθούν από τα στενά φασματικά κανάλια του OLI (συγκρινόμενο με τους TM / ETM+), της ραδιομετρικής ανάλυσης και του θορύβου του σήματος. Εκτός αυτού, ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί το νέο κανάλι OLI coastal aerosol (0.433 – 0.450 μm), το οποίο είναι αρκετά βοηθητικό στην ανάκτηση των ιδιοτήτων του αεροζόλ, καθώς καλύπτει μικρότερα μήκη κύματος από τα μπλε κανάλια των Landsat TM και ETM+. Ακόμη, αναπτύχθηκε μία μάσκα σύννεφων και σκιάς σύννεφων χρησιμοποιώντας το “cirrus” κανάλι (1.360 – 1.390μm) που είναι διαθέσιμο από τον OLI και τα θερμικά υπέρυθρα κανάλια του αισθητήρα TIRS. Η αξιοπιστία του προϊόντος ανακλαστικότητας εδάφους από τον OLI αναλύθηκε από το δίκτυο Aeronet Robotic Network (AERONET) χρησιμοποιώντας ακριβή ατμοσφαιρική διόρθωση (βασισμένη σε μετρήσεις υπαίθρου των ατμοσφαιρικών συνθηκών), με σύγκριση της ανακλαστικότητας εδάφους από το προϊόν MODIS Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF), καθώς και με σύγκριση του ευρυζωνικού albedo από τον OLI που προήλθε από μετρήσεις του δικτύου United States Surface Radiation Budget Network (US SURFRAD). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν έδειξαν ξεκάθαρα βελτίωση του προϊόντος ανακλαστικότητας εδάφους, συγκριτικά με το διατιθέμενο προϊόν Landsat 5/7 LEDAPS.



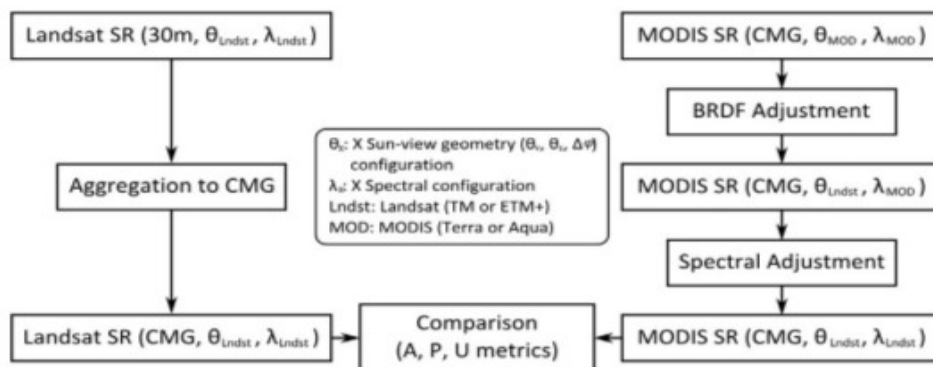
Σχήμα: Διάγραμμα ροής της ατμοσφαιρικής διόρθωσης του OLI

3. Evaluation of the Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+ surface reflectance products [Claverie et al., 2015]

Τα προϊόντα Landsat 5 TM και Landsat 7 ETM+, τα οποία έχουν προέλθει έπειτα από παραγγελία από το σύστημα επεξεργασίας Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS), απαιτούν περιοδική αξιολόγηση ώστε να ελεγχθεί η συνοχή των δεδομένων. Σε αυτή τη δημοσίευση παρουσιάστηκαν δύο προσεγγίσεις αξιολόγησης. Η πρώτη προσέγγιση χρησιμοποίησε τα δεδομένα του δικτύου Aerosol Robotic Network (AERONET) για την περίοδο 2000 έως 2013 για πάνω από 489 τοποθεσίες με 3600 επιλεγμένες εικόνες Landsat 5 TM και Landsat 7 ETM+. Για κάθε σκηνή, συγκρίθηκαν υποσύνολα των 10x10 km από εικόνες Landsat SR που προήλθαν από το σύστημα LEDAPS και από το AERONET. Στη δεύτερη οι SR υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τη Landsat Top Of Atmosphere reflectance, τις μετρήσεις των ατμοσφαιρικών παραμέτρων από το AERONET και το μοντέλο μετάδοσης ακτινοβολίας 6S. Δεύτερον, εισήγαγαν μία μεθοδολογία για τη σύγκριση δεδομένων Landsat και MODIS της ίδιας ημέρας. Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει: (i) μία προσαρμογή της ανισότροπης επιφάνειας, βασισμένη στη μέθοδο VJB Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF), ώστε να προσαρμοστούν τα

δεδομένα MODIS Terra και Aqua στη γεωμετρία του ήλιου των Landsat 5 και 7, (ii) μία προσαρμογή του φάσματος βασισμένη σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα που έχουν εκπαιδευτεί με το μοντέλο μετάδοσης ακτινοβολίας της βλάστησης PROSAIL, ώστε να προσαρμοστούν τα δεδομένα MODIS στις φασματικές απαιτήσεις των TM και ETM+.

Τα συνολικά αποτελέσματα και των δύο προσεγγίσεων έδειξαν καλό τάϊριασμα για πάνω από το 80% των σκηνών, δηλαδή η αβεβαιότητα των TM και ETM+ SR παρέμεινε εντός των προδιαγραφών SR, οριζόμενη ως $0.05 \times SR + 0.005$. Τα χειρότερα αποτελέσματα εντοπίστηκαν στο μπλε κανάλι που χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα LEDAPS για τον προσδιορισμό του Aerosol Optical Thickness (AOT). Η σύγκριση των Landsat – MODIS SR επιβεβαιώνει τη χρησιμότητα της μεθόδου BRDF adjustment, με σκοπό τη μείωση της σκέδασης μεταξύ των αισθητήρων Landsat και MODIS (Terra και Aqua). Η φασματική προσαρμογή αφαιρεί μέρος των κλίσεων που σχετίζονται με της διαφορές στο φάσμα. Η παγκόσμια ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των θεμάτων ανάκτησης του AOT σε συγκεκριμένες σκηνές, κυρίως πάνω από φωτεινές επιφάνειες. Από το 2000 έως το 2013, δεν έχει ανιχνευτεί καμία σημαντική χρονική μεταβολή της απόδοσης, το οποίο ενισχύει τη συνοχή των δεδομένων ανακλαστικότητας εδάφους που προέρχονται από το σύστημα LEDAPS.



Σχήμα: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας της παγκόσμιας σύγκρισης μεταξύ των ανακλαστικότητας εδάφους Landsat και MODIS

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε με σκοπό την παραγωγή ατμοσφαιρικά διορθωμένων εικόνων Landsat 8, αλλά και τη σύγκριση αυτών με αντίστοιχα ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες MODIS. Ακόμη, πραγματοποιήθηκε σύγκριση ατμοσφαιρικά διορθωμένων εικόνων Sentinel 2 με MODIS στις χωρικές αναλύσεις των 232, 30 και 10m.

4.1. Συνοπτική Παρουσίαση Μεθοδολογίας

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας στοχεύθηκε η δημιουργία μεθοδολογίας για την ποιοτική και ποσοτική σύγκριση των προϊόντων ατμοσφαιρικής διόρθωσης από διαφορετικούς πολυφασματικούς δέκτες, αλλά και σύγκριση δύο διαφορετικών προσεγγίσεων της ατμοσφαιρικής διόρθωσης του πολυφασματικού δέκτη Landsat 8. Πιο συγκεκριμένα, συνολικά η μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε αξιοποιεί δεδομένα από τους τηλεπισκοπικούς δέκτες Landsat 8, Sentinel 2 και MODIS. Παράλληλα, επισημαίνεται πως βασικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι η αξιοποίηση και χρήση δεδομένων και λογισμικών που διέπονται από τις αρχές του ανοιχτού λογισμικού και ανοιχτών προτύπων αντίστοιχα.

Συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε, ώστε να συγκριθούν και να αξιολογηθούν τα δεδομένα, ακολουθεί τα εξής στάδια: (i) αρχικά, επιλέχθηκαν τα κατάλληλα δορυφορικά δεδομένα από τους διαφορετικούς δέκτες λαμβάνοντας υπόψη διάφορα κριτήρια που παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια του κεφαλαίου, (ii) στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος της γεωμετρίας μεταξύ των γειτονικών σκηνών του ίδιου δέκτη και των σκηνών των διαφορετικών δεκτών, ώστε να γίνει σωστή αξιολόγηση στο επικαλυπτόμενο τμήμα τους, (iii) εφόσον δεν παρατηρήθηκαν προβλήματα στη γεωμετρία πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες ραδιομετρικές διορθώσεις, στην επιλεγμένη σκηνή, με σκοπό τη μετατροπή των ψηφιακών τιμών (DN) σε τιμές φαινόμενης ανακλαστικότητας (Top-Of-Atmosphere – TOA reflectance) και τέλος, (iv) πραγματοποιήθηκε αφαίρεση της επίδρασης από την ατμόσφαιρα (Bottom-Of-Atmosphere – BOA reflectance), με σκοπό την εξαγωγή των τιμών ανακλαστικότητας εδάφους (surface reflectance). Τα δύο τελευταία βήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, υλοποιήθηκαν για τις αρχικές εικόνες Landsat 8 (raw data), με χρήση του ελεύθερου και ανοιχτού λογισμικού GRASS GIS.

Τελικά, έχοντας ως δεδομένα :

- δύο εικόνες Landsat 8 surface reflectance (με 30 m ανάλυση), οι οποίες έχουν προέλθει από την εφαρμογή του 6S αλγορίθμου, με χρήση του λογισμικού GRASS GIS,
- δύο εικόνες Landsat 8 surface reflectance (προϊόν level 1G – με 30 m ανάλυση), οι οποίες έχουν προέλθει από την εφαρμογή ενός εσωτερικού αλγορίθμου (Landsat Surface Reflectance Code – LaSRC) και δίνονται από τον οργανισμό USGS
- μία εικόνα MODIS surface reflectance (MOD09GQ – με 250 m ανάλυση), η οποία έχει προέλθει από την εφαρμογή του 6S αλγορίθμου και δίνεται από τον οργανισμό της NASA

- μία εικόνα Sentinel 2 surface reflectance (με 10 m ανάλυση), η οποία έχει προέλθει από τη χρήση της εργαλειοθήκης SNAP – Sen2cor που δίνεται από τον ευρωπαϊκό οργανισμό ESA

και θεωρώντας ένα γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης εκφράζονται τα σφάλματα, ώστε να γίνει σύγκριση και αξιολόγηση μεταξύ ζευγών αυτών των εικόνων, ως προς τις διαφορετικές χωρικές αναλύσεις. Πιο αναλυτικά, πραγματοποιείται στα αρχικά δεδομένα αλλαγή της κλίμακας, ώστε να αναχθούν όλες οι εικόνες σε μία κοινή χωρική ανάλυση. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η σύγκριση με βάση το γραμμικό μοντέλο και οι αρχικές εικόνες μετατρέπονται ως ισοδύναμα, τόσο της εικόνας MODIS, όσο και της εικόνας Sentinel 2. Τέλος, η ποιοτική αξιολόγηση πραγματοποιείται εντοπίζοντας τα σημεία επάνω στην εικόνα, στα οποία παρουσιάζει πρόβλημα το μοντέλο που εφαρμόστηκε.

4.2. Προεπεξεργασία

Σε αυτό το στάδιο έγινε η εφαρμογή των πρωταρχικών επεξεργασιών στα δεδομένα, προκειμένου αυτά να αξιοποιηθούν στα επόμενα βήματα της διαδικασίας. Πιο συγκεκριμένα, οι αρχικές εικόνες (raw) Landsat 8 OLI/TIRS υποβλήθηκαν σε μία διαδικασία ώστε να διορθωθούν ατμοσφαιρικά και να αξιοποιηθούν στη συνέχεια. Οι μετέπειτα επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν, αξιοποιήθηκαν στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή απόλυτων διαφορών μεταξύ των ζευγών των δεδομένων που μελετήθηκαν. Παράλληλα, σε όλες τις εικόνες που πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση, έγινε περικοπή ενός μέρους τους, από το επικαλυπτόμενο τμήμα μεταξύ αυτών, ώστε να προκύψουν εικόνες μελέτης με ίδιες διαστάσεις και κοινή περιοχή απεικόνισης. Συνεπώς, για την αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν τρία διαφορετικά σετ δεδομένων, με την κατάλληλη περικοπή των αρχικών εικόνων του επικαλυπτόμενου τμήματος.

4.2.1. Επιλογή δεδομένων

Μεγάλη σημασία για την επίτευξη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων έχει η επιλογή των κατάλληλων αρχικών δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία της ανάλυσης. Συγκεκριμένα, έγινε προσπάθεια εύρεσης μιας σκηνης του δέκτη Landsat 8, απαλλαγμένη όσο το δυνατόν περισσότερο από σύννεφα, η οποία περιέχει ένα μέρος της κοινό με τις αντίστοιχες σκηές των δορυφόρων MODIS και Sentinel 2. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανάλυση στους τρεις δέκτες διαφέρει, καθώς το μέγεθος του εικονοστοιχείου στο έδαφος στον Landsat 8 είναι 30 m, στον MODIS είναι 250m, ενώ στον Sentinel 2 είναι 10 m.

Δεδομένα Landsat 8 – OLI/TIRS

Οι εικόνες μελέτης Landsat προμηθεύτηκαν από την Επιστημονική Υπηρεσία της Κυβέρνησης των Ηνωμένων Πολιτειών «United States Geological Survey» (USGS). Η επιλογή και απόκτηση των εικόνων πραγματοποιήθηκε ύστερα από εγγραφή στην υπηρεσία GLOVIS (Global Visualization Viewer) του οργανισμού USGS. Από τον δέκτη Landsat 8 OLI/TIRS χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση, (i) τόσο τα αρχικά, raw δεδομένα, όσο και (ii) οι ήδη διαθέσιμες από την υπηρεσία της USGS διορθωμένες ακτινοβολίες από την επίδραση της ατμόσφαιρας (surface reflectance - provisional), οι οποίες αποκτήθηκαν σε μορφή *.tiff*. Έπειτα από παρατήρηση και οπτική

αξιολόγηση, επιλέχθηκαν δύο εικόνες μελέτης αυτού του δορυφόρου, καθώς απεικόνιζαν επαρκώς την περιοχή και ήταν απαλλαγμένες από νεφοκάλυψη. Για τις δύο αυτές εικόνες οι γήινες συντεταγμένες των δεδομένων έχουν προέλθει από το ελλειψοειδές αναφοράς, όπως ορίζεται από το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (WGS84). Στη συνέχεια, οι γήινες συντεταγμένες προβάλλονται σε δύο διαστάσεις σύμφωνα με την Παγκόσμια Εγκάρσια Προβολή (UTM) που αναπτύχθηκε από μηχανικούς στο Αμερικανικό Σώμα Στρατού.

Επιπρόσθετα, προκειμένου να διορθωθούν ατμοσφαιρικά οι αρχικές εικόνες Landsat 8 κρίθηκε απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) ανάλυσης 30 m, το οποίο εισήχθη ως παράμετρος, δίνοντας την πληροφορία του εδάφους, στο στάδιο της ατμοσφαιρικής διόρθωσης με τη χρήση του λογισμικού GRASS GIS, το οποίο θα αναπτυχθεί εκτενέστερα σε επόμενη ενότητα. Το DEM αποκτήθηκε από την υπηρεσία GLOVIS και συγκεκριμένα, επιλέχθηκε το προϊόν ASTER Global Digital Elevation Map (ASTER GDEM) της δεύτερης έκδοσης (V2), του 2011. Στη συνέχεια, τα προϊόντα αυτά μετατράπηκαν στην αντίστοιχη προβολή της εικόνας του Landsat 8 με χρήση του λογισμικού QGIS και δημιουργήθηκε ένα μωσαϊκό προκειμένου να καλύψει όλη την περιοχή της εικόνας μέσω της οποίας θα αξιοποιηθούν.

Δεδομένα MODIS

Η εικόνα μελέτης MODIS προμηθεύτηκε από τον οργανισμό LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center), μέσω της υπηρεσίας GLOVIS. Έγινε επιλογή οπτικά μεταξύ των δύο προϊόντων MODIS της ίδιας ημέρας και της ίδιας περιοχής, δηλαδή του MODIS Terra και MODIS Aqua, ώστε να βρεθεί η εικόνα με το λιγότερο ποσοστό εμφάνισης σύννεφων. Η εικόνα που επιλέχθηκε ήταν η MODIS Aqua, διότι παρουσίαζε τη λιγότερη δυνατή κάλυψη σύννεφων, ενώ η εικόνα MODIS Terra παρουσίαζε “καμμένα” εικονοστοιχεία (artifacts) στο μεγαλύτερο κομμάτι της περιοχής μελέτης και ήταν αισθητή η παρουσία συννεφοκάλυψης. Η εικόνα MODIS που αποκτήθηκε, ήταν σε μορφή *.hdr* (header file) και για το λόγο αυτό έγινε η μετατροπή της σε *.tiff* μορφή μέσω του εργαλείου μετατροπής HEG (HDF-EOS to GeoTIFF) της NASA (National Aeronautics and Space Administration). Με τη χρήση του εργαλείου αυτού, επιτρέπεται στον χρήστη να μετατρέψει, να μετα-προβάλλει και να πραγματοποιήσει διεργασίες όπως η δημιουργία μωσαϊκού, κατάτμηση κλπ. στα προϊόντα μελέτης που θα χρησιμοποιηθούν. Για την εικόνα αυτή, οι γήινες συντεταγμένες των δεδομένων έχουν προέλθει από το ελλειψοειδές αναφοράς, όπως ορίζεται από το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (WGS84). Στη συνέχεια, οι γήινες συντεταγμένες προβάλλονται σε δύο διαστάσεις σύμφωνα με την Παγκόσμια Εγκάρσια Προβολή (UTM) που αναπτύχθηκε από μηχανικούς στο Αμερικανικό Σώμα Στρατού.

Δεδομένα Sentinel 2 – MSI

Η εικόνα μελέτης Sentinel 2 ανακτήθηκε από τον οργανισμό επιστημονικών δεδομένων Copernicus, ο οποίος παρέχει ολοκληρωμένη, ελεύθερη και ανοιχτή πρόσβαση σε προϊόντα Sentinel 1 και Sentinel 2. Η επιλογή και απόκτηση της εικόνας πραγματοποιήθηκε ύστερα από εγγραφή στην υπηρεσία Scientific Data Hub. Έτσι, επιλέχθηκε μια σκηνή με κοινό τμήμα επικάλυψης τόσο με την Landsat 8 σκηνή, όσο και με την MODIS σκηνή, της ίδιας ημέρας. Το προϊόν αυτό (level-2A) ήταν σε τιμές φαινόμενης ανακλαστικότητας (TOA reflectance), σε μορφή *.tiff* και στη συνέχεια έγινε η ατμοσφαιρική διόρθωση. Για την εικόνα αυτή, οι γήινες συντεταγμένες των δεδομένων έχουν προέλθει από το ελλειψοειδές αναφοράς, όπως ορίζεται από το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (WGS84). Στη συνέχεια, οι γήινες συντεταγμένες προβάλλονται σε δύο διαστάσεις σύμφωνα με την Παγκόσμια Εγκάρσια Προβολή (UTM) που

αναπτύχθηκε από μηχανικούς στο Αμερικανικό Σώμα Στρατού. Από την συνολική εικόνα που δόθηκε, η οποία περιλαμβάνει πολύ μεγάλη έκταση στην επιφάνεια της Γης, επιλέχθηκαν δύο επιμέρους “πλακάκια”, τα RUV και RUU, τα οποία περιελάμβαναν την περιοχή μελέτης. Τα υπόλοιπα απορρίφθηκαν αφενός διότι δεν περιείχαν κοινό επικαλυπτόμενο κομμάτι με του άλλους δύο δορυφόρους και αφετέρου διότι υπήρχε νεφοκάλυψη σε αυτά.

4.2.2. Έλεγχος γεωμετρίας

Οι υπηρεσίες από τις οποίες αποκτήθηκαν οι εικόνες, παρέχουν γεωμετρικά διορθωμένες εικόνες με ενιαίο σύστημα συντεταγμένων και συγκεκριμένο προβολικό σύστημα ανά περιοχή. Η υπηρεσία GLOVIS παρέχει και τα μεταδεδομένα κάθε εικόνας ώστε να υπάρχει πλήρης αναφορά της επεξεργασίας που έχει υποστεί μια εικόνα αλλά και γενικά των ιδιοτήτων της.

Απαραίτητο στοιχείο του συνόλου της μεθοδολογίας είναι ο έλεγχος της γεωμετρίας μεταξύ των επικαλυπτόμενων τμημάτων μεταξύ των τριών διαφορετικών δορυφορικών δεκτών. Ο συγκεκριμένος έλεγχος εξασφαλίζει τη σωστή αξιολόγηση των τιμών φωτεινότητας, ώστε να μην υπάρχουν παραμορφώσεις στο επικαλυπτόμενο τμήμα, καθώς και τη σωστή εφαρμογή στις ατμοσφαιρικές διορθώσεις που θα ακολουθήσουν.

Συνεπώς, πριν την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε τοπικός έλεγχος γεωμετρικά, έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν μετά από την περικοπή των τριών μικρότερων εικόνων μελέτης, τα εικονοστοιχεία βρισκόταν στη σωστή τους θέση. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις χρειάστηκε μία μετατόπιση ενός έως πέντε εικονοστοιχείων, με σκοπό να λυθεί το πρόβλημα των μετατοπισμένων εικονοστοιχείων. Εκτός από το στάδιο της περικοπής, γεωμετρικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε και έπειτα από κάθε αλλαγή της κλίμακας των εικόνων, ώστε να μην εμφανιστεί το πρόβλημα των μετατοπισμένων εικονοστοιχείων.

4.2.3. Ραδιομετρική διόρθωση αρχικών εικόνων Landsat 8

Όσον αφορά την απαιτούμενη ραδιομετρική διόρθωση των δύο αρχικών εικόνων raw του Landsat 8, πραγματοποιήθηκε η μετατροπή των ψηφιακών τιμών των εικονοστοιχείων σε τιμές φαινόμενης ανακλαστικότητας (top-of-atmosphere reflectance) για τα κανάλια 1 έως 5 (Coastal, B, G, R, NIR) του δέκτη OLI. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία της USGS, η διαδικασία αυτή εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ραδιομετρικής διόρθωσης που παρέχονται από το αρχείο των μεταδεδομένων (MTL) του Landsat 8 προϊόντος και τις εξισώσεις που δίνονται από την USGS [/http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php/](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php/).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό GRASS GIS δέχεται ως δεδομένα εισόδου τα κανάλια 1-5 του Landsat 8 σε μορφή Gtiff καθώς και το αρχείο (MTL) με τα μεταδεδομένα σε μορφή txt, όπως δίνεται από την USGS, το οποίο περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία όπως η γωνία ανύψωσης ήλιου (Sun_Elevation) κλπ. Σαν αποτέλεσμα λαμβάνονται οι νέες εικόνες με τιμές φαινόμενης ανακλαστικότητας για τα κανάλια 1-5 σε μορφή Gtiff. Για την καλύτερη απεικόνιση αυτών, επιλέγεται μία χρωματική παλέτα grayscale ώστε η παρουσίαση, οπτικά, για όλα τα κανάλια να είναι κοινή και να διακρίνονται ευκολότερα τα χαρακτηριστικά της περιοχής.

Μετατροπή σε Top-of-Atmosphere reflectance

Η μετατροπή των ψηφιακών τιμών σε τιμές φαινόμενης ανακλαστικότητας πραγματοποιήθηκε με τις ακόλουθες εξισώσεις :

$$\rho\lambda' = M\rho Qcal + A\rho$$

όπου,

$\rho\lambda'$ η τιμή ανακλαστικότητας χωρίς τη διόρθωση από τη γωνία του ήλιου,

$M\rho$ ο πολλαπλασιαστικός αναβαθμονομημένος συντελεστής, του οποίου η τιμή βρίσκεται στα μεταδεδομένα με το όνομα REFLECTANCE_MULT_BAND_x,

$A\rho$ ο αθροιστικός αναβαθμονομημένος συντελεστής, του οποίου η τιμή βρίσκεται στα μεταδεδομένα με το όνομα REFLECTANCE_ADD_BAND_x και

$Qcal$ η ψηφιακή τιμή του εικονοστοιχείου όπως αυτή λήφθηκε.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η διόρθωση από τη γωνία του ήλιου με την εξής εξίσωση:

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})}$$

όπου,

$\rho\lambda$ η τιμή της φαινόμενης πλανητικής ανακλαστικότητας (TOA planetary reflectance),

θ_{SE} η τοπική γωνία ανύψωσης ηλίου, της οποίας η τιμή βρίσκεται στο αρχείο των μεταδεδομένων με το όνομα SUN_ELEVATION και

θ_{SZ} η τοπική ηλιακή ζενίθια γωνία που υπολογίζεται από τη σχέση $\theta_{SZ} = 90^\circ - \theta_{SE}$.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού, οι τιμές ανακλαστικότητας που προκύπτουν βρίσκονται μεταξύ των τιμών 0-1. Παράλληλα όμως, παρατηρήθηκε πως ορισμένα εικονοστοιχεία είχαν αρνητική τιμή ανακλαστικότητας, η οποία δεν έχει φυσική σημασία, ενώ το μεγαλύτερο μέρος τους εμφανίζεται στην περιφέρεια της εικόνας. Σε αυτή την περίπτωση, τα συγκεκριμένα εικονοστοιχεία αφαιρούνται από το σύνολο των δεδομένων με μία μάσκα. Επιπρόσθετα, παρατηρήθηκε πως ορισμένα εικονοστοιχεία παρουσίασαν τιμές ανακλαστικότητας μεγαλύτερες από την μονάδα. Αυτές οι τιμές είναι φυσικά αποδεκτές και προκύπτουν συχνά από φωτεινές επιφάνειες χιονιού ή σύννεφων που προσανατολίζονται προς τον ήλιο. [Yale guide to Landsat 8 image processing, 2013]

4.2.4. Ατμοσφαιρική διόρθωση

Ατμοσφαιρική διόρθωση αρχικών εικόνων Landsat 8

Τα δεδομένα που απαιτούσαν ατμοσφαιρική διόρθωση ήταν αυτά των αρχικών, ακατέργαστων εικόνων Landsat 8 και του Sentinel 2. Η ατμοσφαιρική διόρθωση για τις εικόνες Landsat 8 πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού GRASS GIS, από τιμές φαινόμενης ανακλαστικότητας (top-of-atmosphere reflectance) σε τιμές ακτινοβολίας επιφάνειας (surface reflectance). Η ατμοσφαιρική διόρθωση αποτελεί μία σημαντική διαδικασία για την εξασφάλιση

της αξιοπιστίας των τελικών αποτελεσμάτων, καθώς οι τιμές οι οποίες καταγράφονται στον δορυφορικό δέκτη δεν αποτελούν τις πραγματικές τιμές που εκπέμπονται από το επίγειο αντικείμενο. Αυτό φυσικά οφείλεται στο γεγονός ότι μεταξύ της γήινης επιφάνειας και του δέκτη παρεμβάλλονται τα στρώματα της ατμόσφαιρας τα οποία επηρεάζουν τόσο την πορεία της ακτινοβολίας, όσο και την ενέργεια που καταγράφεται από αυτόν.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε, στο περιβάλλον του λογισμικού, δέχεται ως δεδομένα εισόδου τα κανάλια 4 και 5 του Landsat 8 σε τιμές φαινόμενης ανακλαστικότητας, όπως αυτά προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο σε μορφή Gtiff. Ακόμη, ως δεδομένο εισόδου χρησιμοποιείται ένα αρχείο σε μορφή txt, το οποίο δομείται με βάση το εγχειρίδιο που δίνεται για το λογισμικό [<https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/i.atcorr.html>] και περιέχει τις απαραίτητες παραμέτρους που θα χρησιμοποιηθούν, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- περιγραφή βασικών γεωμετρικών συνθηκών
- ατμοσφαιρικό μοντέλο
- μοντέλο αεροζόλ
- μοντέλο συγκέντρωσης αεροζόλ (ορατότητα)
- υψόμετρο στόχου ή πλατφόρμα αισθητήρα
- κανάλι αισθητήρα

Ακολουθεί μία ενδεικτική παρουσίαση του αρχείου txt που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και η εκτενέστερη επεξήγησή του.

18	%κωδικός για τον δορυφόρο Landsat 8
06 08 8.38 31.951 30.297	%μήνας, ημέρα, ώρα, γεωγρ.μήκος κέντρου, γεωγρ.πλάτος κέντρου
2	%κωδικός ατμοσφαιρικού μοντέλου, επιλέχθηκε midlatitude summer
2	%κωδικός μοντέλου αεροζόλ, επιλέχθηκε maritime model
0	%ορατότητα μηδενική
0.200	%Aerosol Optical Depth στα 550nm
-0.10	%υψόμετρο περιοχής (100m)
-1000	%πλατφόρμα αισθητήρα
118	%κωδικός για το κόκκινο κανάλι του Landsat 8

Πίνακας 4.1: Αρχείο εισόδου σε μορφή txt που χρησιμοποιήθηκε για το κόκκινο κανάλι της πρώτης εικόνας (Path176/Row38) του δορυφόρου Landsat 8

Οι μεταβλητές της ατμόσφαιρας που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή του μοντέλου συγκέντρωσης αεροζόλ, συγκεντρώθηκαν από άλλη πηγή. Το οπτικό βάθος του αεροζόλ (Aerosol Optical Depth) υπολογίστηκε από το Ρομποτικό Δίκτυο Αεροζόλ (AERONET), το οποίο προέρχεται από συνεργασία της NASA και PHOTONS και παρέχει παρατηρήσεις του φασματικού οπτικού βάθους (AOD) σε συγκεκριμένους σταθμούς που καλύπτουν όλη την έκταση της γης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έλαβε την τιμή 0.200 στα 550nm.

Όπως είναι φανερό, η κάθε μία από αυτές τις παραμέτρους εμφανίζεται κωδικοποιημένη στο αρχείο. Αντίστοιχα δομήθηκαν και τα υπόλοιπα αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του προϊόντος ατμοσφαιρικής διόρθωσης για την κάθε μία εικόνα που μελετήθηκε. Επιπρόσθετα, ως δεδομένο εισόδου λαμβάνεται και το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας (DEM) της περιοχής, ώστε να αξιοποιηθεί και η πληροφορία του υψομέτρου.

Όσον αφορά το DEM που χρησιμοποιήθηκε, αρχικά, βρέθηκαν οι κατάλληλες εικόνες απεικόνισης,

ώστε να καλύπτεται ολόκληρη η περιοχή που έχει επιλεγθεί για την μελέτη. Στη συνέχεια, συγχωνεύτηκαν όλες οι σκηνές και έπειτα κόπηκε το μωσαϊκό στην περιοχή μελέτης για την Αίγυπτο. Δόθηκε προσοχή στην προσαρμογή των σκηνών στο ίδιο εύρος ψηφιακών τιμών, καθώς και στην ένωσή τους ώστε να καλύπτεται ολόκληρη η απεικόνιση της κάθε Landsat 8 σκηνής.

Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό Q GIS, στο οποίο με χρήση της βιβλιοθήκης gdal, συγχωνεύτηκαν όλες οι σκηνές του DEM και δημιουργήθηκε μία ενιαία εικόνα ψηφιακού μοντέλου απεικόνισης υψομέτρου. Στη συνέχεια, με χρήση του λογισμικού GRASS GIS, πραγματοποιήθηκε η περικοπή του μωσαϊκού. Πιο αναλυτικά, εφόσον οι εικόνες μελέτης Landsat 8 ήταν δύο, δημιουργήθηκαν δύο ξεχωριστές εικόνες ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Συγκεκριμένα, ως δεδομένα εισόδου λήφθηκαν το ενιαίο DEM που είχε δημιουργηθεί και η μία από τις δύο αρχικές εικόνες Landsat 8 raw. Με βάση την αρχική αυτή εικόνα, περικοπήθηκε το ψηφιακό μοντέλο και δημιουργήθηκε ένα νέο, διαστάσεων όσο η εικόνα Landsat 8. Ομοίως, η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και για την δεύτερη εικόνα Landsat 8 και προέκυψε μία νέα εικόνα ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

Εισάγοντας λοιπόν όλα τα δεδομένα που απαιτούνται και αναλύθηκαν παραπάνω, προκύπτουν οι νέες εικόνες για τα κανάλια 4 και 5, οι οποίες αποτελούνται από τιμές της ακτινοβολίας επιφάνειας (surface reflectance), απαλλαγμένες από την επίδραση της ατμόσφαιρας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, η εικόνα εισόδου αποτελεί πραγματικό αριθμό, ενώ η εικόνα εξόδου προκύπτει ως ακέραιος 8 bit, δηλαδή έχει τιμές από 0-255. Επιπρόσθετα, η ατμοσφαιρική διόρθωση πρέπει να πραγματοποιηθεί πριν από την περικοπή της εικόνας.

Ατμοσφαιρική διόρθωση αρχικής εικόνας Sentinel 2

Η ατμοσφαιρική διόρθωση της αρχικής εικόνας Sentinel 2 πραγματοποιήθηκε με χρήση της εργαλειοθήκης SNAP (Sentinel Application Platform), την οποία παρέχει η Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA). Η εργαλειοθήκη αυτή, αποτελείται από ένα πλούσιο σύνολο απεικόνισης, ανάλυσης και επεξεργασίας, με σκοπό την αξιοποίηση των δεδομένων MSI από την αποστολή του Sentinel 2.

Όσον αφορά την αρχική εικόνα Sentinel 2, το προϊόν που αποκτήθηκε ήταν το level 1C, όπου ήταν σε μορφή (Top-Of-Atmosphere reflectance), οπότε δεν πραγματοποιήθηκε ραδιομετρική διόρθωση. Στη συνέχεια, με τη χρήση της εργαλειοθήκης SNAP η αρχική εικόνα μετατράπηκε σε Bottom-Of-Atmosphere reflectance (BOA) και απαλλάχθηκε από την επίδραση της ατμόσφαιρας. Ο αλγόριθμος αυτός, που παρέχει και χρησιμοποιεί η ESA, μέσω της εργαλειοθήκης SNAP, είναι ένας συνδυασμός τεχνικών (συμπεριλαμβανομένης και της διόρθωσης σύννεφων), τα οποία έχουν προσαρμοστεί στο περιβάλλον Sentinel 2 μαζί με μία διαδικασία ταξινόμησης σκηνής. Ο αλγόριθμος ταξινόμησης της σκηνής επιτρέπει την ανίχνευση σύννεφων, χιονιού και σκιών σύννεφων, καθώς και την παραγωγή ενός χάρτη ταξινόμησης, ο οποίος αποτελείται από τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες για τα σύννεφα, μαζί με έξι διαφορετικές ταξινομήσεις για σκιές, σκιές σύννεφων, βλάστηση, γυμνό έδαφος, νερό και χιόνι. Στη συγκεκριμένη διαδικασία ακολουθείται μία σειρά δοκιμών με δεδομένο εισόδου τις ακτινοβολίες Top-Of-Atmosphere όπως αυτές προκύπτουν από τα φασματικά κανάλια του Sentinel 2. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιούνται ακόμη στους λόγους καναλιών και στους δείκτες βλάστησης (όπως ο NDVI ή ο NDSI). Στο τέλος αυτής της διαδικασίας των δοκιμών, εξάγεται ένα επίπεδο εμπιστοσύνης και ένας ποιοτικός δείκτης μάσκας σύννεφου και χιονιού. Επιπρόσθετα, ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί τις ανακλαστικές ιδιότητες των χαρακτηριστικών της σκηνής για τον προσδιορισμό της ύπαρξης ή απουσίας

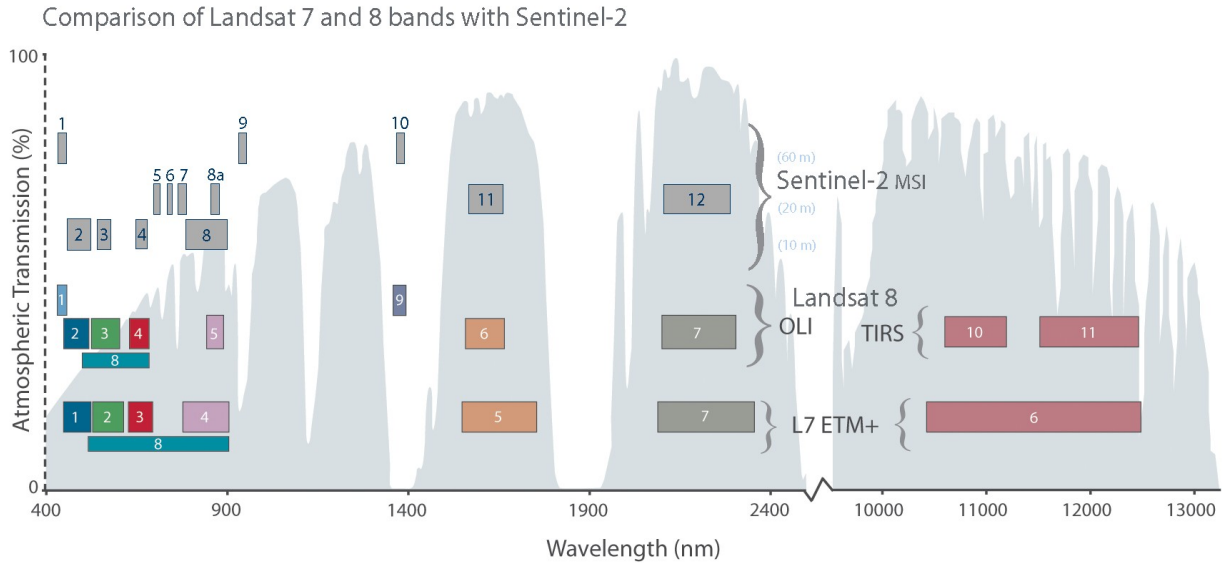
σύννεφων στη σκηνή αυτή. Στα δεδομένα, εφαρμόζεται ένα σύννεφο διαλογής με σκοπό την εξαγωγή ατμοσφαιρικών και επιφανειακών παραμέτρων με ακρίβεια, ώστε αυτά να χρησιμοποιηθούν σε επόμενα στάδια ή να ληφθούν ως παράμετροι εισόδου στην εξαγωγή των επόμενων προϊόντων. [Richter, R., Wang, X., Bachmann, M., and Schlaepfer, D. (2010)]

4.3. Μοντέλα Παλινδρόμησης και Συσχετίσεις Δεδομένων

Δεδομένου ότι οι δέκτες δεν καταγράφουν πληροφορία στα ίδια μήκη κύματος, κάθε ένα από τα κανάλια του Landsat 8 OLI/TIRS και του Sentinel 2 (MSI), αντιστοιχήθηκαν με τα πιο κοντινά και παρόμοια κανάλια του MODIS. Συνεπώς, η αντιστοιχία αυτή έγινε για τους δορυφόρους MODIS, Landsat 8 και Sentinel 2, η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί. Οι δορυφόροι Landsat 8 και MODIS Terra ακολουθούν την ίδια τροχιά (φθίνουσα) και ο χρόνος διέλευσής τους διαφέρει κατά λιγότερο από 30 λεπτά (10:00 a.m. +/- 15 λεπτά για τον Landsat 8 και 10:30 a.m. για τον MODIS Terra). Ο δέκτης MODIS Aqua ακολουθεί αντίθετη τροχιά με τον MODIS Terra (αύξουσα) (1:30 p.m.). Επιπρόσθετα, ο δορυφόρος Sentinel 2 ακολουθεί την ίδια τροχιά με τον Landsat 8. Αξίζει να σημειωθεί ότι, εάν κάποια περιοχή βρίσκεται βόρεια του ισημερινού, ο δέκτης MODIS Aqua θα “περάσει” από αυτήν την περιοχή μετά την 1:30 p.m. (αύξουσα τροχιά), ενώ οι δέκτες Landsat 8 και Sentinel 2 θα “περάσουν” από την περιοχή πριν τις 10:30 a.m. (φθίνουσα τροχιά). Συνεπώς, συμπεραίνουμε ότι υπάρχει χρονική συσχέτιση μεταξύ αυτών των δεδομένων και μπορούμε να προχωρήσουμε στη μελέτη και στην περαιτέρω ανάλυσή τους [Masek et al.'s (2006)].

Ονομασία Καναλιού	Κανάλι MODIS	Μήκος Κύματος MODIS (nm)	Κανάλι Landsat 8	Μήκος Κύματος Landsat 8 (nm)	Κανάλι Sentinel 2	Μήκος Κύματος Sentinel 2 (nm)
RED	1	620 – 670	4	640 – 670	4	665
NIR	2	841 – 876	5	850 – 880	8	842

Πίνακας 4.2: Τα δύο κανάλια μελέτης των δορυφόρων Landsat 8 και Sentinel 2, όπως αντιστοιχίζονται με τα πιο παρόμοια του δορυφόρου MODIS



Σχήμα 4.1 : Σύγκριση καναλιών Landsat 8, Landsat 7 και Sentinel 2

4.3.1. Συμφωνία δεδομένων

Η διαδικασία μέσω της οποίας έγινε η διερεύνηση των πιθανών συσχετίσεων ανάμεσα στις τιμές ανακλαστικότητας επιφάνειας από τους τρεις δορυφόρους που χρησιμοποιήθηκαν στα κανάλια κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο, περιελάμβανε τη δημιουργία μοντέλων παλινδρόμησης. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνική η οποία εφαρμόστηκε ήταν αυτή της γραμμικής παλινδρόμησης, η οποία μοντελοποιεί τη σχέση ανάμεσα σε μία βαθμωτή μεταβλητή Y (απόκλισης ή εξαρτημένη) και μία μεταβλητή X (ερμηνευτική ή ανεξάρτητη). Το μοντέλο έχει την εξής μορφή :

$$Y = b_0 + b_1 X$$

όπου,

Y είναι ένα διάνυσμα διαστάσεων $n \times 1$

X είναι ένα διάνυσμα διαστάσεων $n \times 1$

b_0 και b_1 είναι οι άγνωστοι συντελεστές της παλινδρόμησης (regression coefficients). Συγκεκριμένα, το b_0 αποτελεί το σημείο τομής της ευθείας με τον κατακόρυφο άξονα (intercept) και το b_1 αποτελεί την κλίση της ευθείας (slope).

Η συμφωνία μεταξύ των τιμών ανακλαστικότητας των ζευγών των εικόνων, ποσοτικοποιήθηκε μέσω του μέσου τυπικού σφάλματος (Mean Bias Error – MBE) και της τετραγωνικής ρίζας της τυπικής απόκλισης (Root Mean Squared Difference – RMSD). Τα μεγέθη αυτά υπολογίστηκαν με τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n X_i - Y_i}{n}$$

$$\text{RMSD} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}}$$

όπου,

X_i οι τιμές ακτινοβολίας εδάφους (SR) από το διάνυσμα X

Y_i οι τιμές ακτινοβολίας εδάφους (SR) από το διάνυσμα Y

σε μια θέση εικονοστοιχείου του δείγματος που επιλέχθηκε από τις κοινές παρατηρήσεις των εικόνων.

Στη συνέχεια, έχοντας το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης και τους συντελεστές παλινδρόμησης γνωστούς, μοντελοποιήθηκε η σχέση των δύο εικόνων που συγκρίθηκαν και επαναλήφθηκε η εφαρμογή του. Πιο συγκεκριμένα, έχοντας ως δεδομένες πια τις παραμέτρους της εξίσωσης, με σκοπό την εξαγωγή ενός εικονοστοιχείου ισοδύναμου με αυτό της εικόνας που αντιστοιχήθηκε στο διάνυσμα Y για κάθε ένα εικονοστοιχείο της εικόνας που αντιστοιχήθηκε στο διάνυσμα X, προέκυψαν νέες τιμές της εικόνας που αντιστοιχήθηκε στο διάνυσμα X.

Επιπρόσθετα, μέτρο αξιολόγησης του μοντέλου αποτελεί και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 . Ο οποίος εκφράζει το ποσοστό μεταβλητότητας Y_i , που ερμηνεύεται από το μοντέλο. Όσο η τιμή αυτού προσεγγίζει την μονάδα, τόσο καλύτερο είναι το αναπτυχθέν μοντέλο παλινδρόμησης και τόσο περισσότερο η προκύπτουσα ευθεία αντιπροσωπεύει τα δεδομένα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαφορά ανάμεσα στο θεωρηθέν και πραγματικό μοντέλο τείνουν στο μηδέν. Αντιθέτως, όσο μικρότερη είναι η τιμή του R^2 , τόσο μικρότερη είναι και η συσχέτιση ανάμεσα στις μεταβλητές.

$$R^2 = \frac{(n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i)^2}{[n \sum (X_i)^2 - (\sum X_i)^2][n \sum (Y_i)^2 - (\sum Y_i)^2]}$$

όπου,

X_i οι τιμές ακτινοβολίας εδάφους (SR) από το διάνυσμα X

Y_i οι τιμές ακτινοβολίας εδάφους (SR) από το διάνυσμα Y

σε μια θέση εικονοστοιχείου του δείγματος που επιλέχθηκε από τις κοινές παρατηρήσεις των εικόνων.

Για την διατήρηση των μονάδων, τα σφάλματα που αναφέρθηκαν παραπάνω εκφράστηκαν σε μονάδες ακτινοβολίας επί της εκατό.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα εικονοστοιχεία MODIS, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 ήταν σε μορφή 16bit ακεραίων, δηλαδή αποτελούνταν από τιμές μεταξύ του 0 και του 65535. Αντιθέτως, τα εικονοστοιχεία Landsat 8 atcorr, που προέκυψαν μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση του λογισμικού GRASS GIS, ήταν σε μορφή 8bit (byte), δηλαδή κυμαινόταν μεταξύ των τιμών 0 έως 255. Η διαφορά αυτή εξαλείφθηκε μετατρέποντας τις εικόνες σε δεδομένα διπλής ακριβείας (double), πριν από οποιαδήποτε επεξεργασία τους.

4.3.2. Σύγκριση στη Χωρική Ανάλυση του MODIS στα 250m

Οι συγκρίσεις στα δεδομένα πραγματοποιήθηκαν, για το κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο κανάλι, μεταξύ των προϊόντων MODIS SR daily (MOD09GQ), με ανάλυση 250, του Landsat 8 SR (atcorr) συχνότητας 16 ημερών, με ανάλυση 30 m, όπως προέκυψε από την εφαρμογή του 6S αλγορίθμου με τη χρήση του λογισμικού GRASS GIS, του Landsat 8 SR (usgs) συχνότητας 16 ημερών, με ανάλυση 30m και του Sentinel 2 SR συχνότητας 20 ημερών, με ανάλυση 10m.

Σε αυτή την περίπτωση, το διάνυσμα Y αντιστοιχίστηκε με τις τιμές ακτινοβολίας του δορυφόρου MODIS, ενώ το διάνυσμα X αποτέλεσε τις τιμές ακτινοβολίας του δορυφόρου Landsat 8 atcorr ή Landsat 8 usgs ή Sentinel 2.

Εφόσον οι εικόνες μελέτης έχουν διαφορετική χωρική ανάλυση μεταξύ τους, πραγματοποιήθηκε αλλαγή της κλίμακας, έτσι ώστε να αναχθούν όλες στη χωρική ανάλυση των 232m. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Matlab. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε η εφαρμογή διγραμμικής μεθόδου (bilinear) για την αναγωγή από την υψηλότερη ανάλυση των 10m και 30m, σε αυτή των 232m, καθώς αυτή παρουσίαζε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Συνεπώς, το νέο μέγεθος εικονοστοιχείου των Landsat 8 εικόνων με 30m ανάλυση, προκύπτει και υπολογίζεται ως 30/232 (που είναι η ακριβέστερη ανάλυση του MODIS), ενώ το νέο μέγεθος του εικονοστοιχείου της εικόνας Sentinel 2 με 10m ανάλυση, υπολογίζεται ως 10/232. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι εικόνες μετά την αλλαγή της κλίμακας θα προκύψουν μικρότερες σε μέγεθος διαστάσεων, αφού δεν περιέχουν τόση πληροφορία όπως οι αρχικές.

Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν τρία διαφορετικά μέρη (υποπεριοχές 1, 2 και 3) από το κοινό κομμάτι των εικόνων των διαφορετικών δορυφόρων, καθώς έπρεπε να είναι όσο το δυνατόν απαλλαγμένο από σύννεφο-κάλυψη. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η αρχική εικόνα μελέτης MODIS παρουσιάζει αρκετά σφάλματα “καμμένων” εικονοστοιχείων (artifacts) στην περιοχή της θάλασσας και της παράκτιας ζώνης, καθώς και σύννεφα σε ορισμένα σημεία της περιοχής. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκαν και περικόπηκαν μικρότερα κομμάτια των εικόνων, απαλλαγμένων από σφάλματα και σύννεφα. Συνεπώς, προέκυψαν τρία σετ δεδομένων, η υποπεριοχή 1, 2 και 3, οι οποίες αξιολογήθηκαν ξεχωριστά αλλά και συνολικά όλες μαζί λαμβάνοντας το σύνολο των δεδομένων τους.

Οι συγκρίσεις και η ποσοτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκαν ανά ζεύγη εικόνων. Τα ζεύγη αυτά αποτελούν τις εικόνες Landsat 8 atcorr – MODIS, τις εικόνες Landsat 8 usgs – MODIS και τέλος τις Sentinel 2 – MODIS. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η εικόνα που αντιστοιχίστηκε στο διάνυσμα Y ήταν η MODIS, συνεπώς έπειτα από την εφαρμογή της εξίσωσης παλινδρόμησης προέκυψαν μία νέα εικόνα Landsat 8 atcorr, μία νέα εικόνα Landsat 8 usgs και μία νέα εικόνα Sentinel 2.

4.3.3. Σύγκριση στη Χωρική Ανάλυση του Landsat 8 στα 30m

Οι συγκρίσεις πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των ίδιων ατμοσφαιρικά διορθωμένων προϊόντων, όπως στην προηγούμενη ενότητα, με την διαφορά ότι εδώ η σύγκριση πραγματοποιήθηκε στη χωρική ανάλυση των 30m. Σύμφωνα με αυτό, πραγματοποιήθηκε παρεμβολή ώστε οι εικόνες MODIS και Sentinel 2 να μεταβάλλουν την ανάλυσή τους στα 30m, από τα 232m και 10m, αντίστοιχα.

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Matlab. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε

η εφαρμογή δικυβικής μεθόδου (bicubic), τόσο για την αναγωγή από την υψηλότερη ανάλυση των 10m σε αυτή των 30m, όσο και για την αναγωγή από την χαμηλότερη ανάλυση των 232m, σε αυτή των 30m. Συνεπώς, το νέο μέγεθος εικονοστοιχείου των εικόνων Sentinel 2 με 10m ανάλυση, προκύπτει και υπολογίζεται ως 10/30, ενώ το νέο μέγεθος του εικονοστοιχείου τη εικόνας MODIS με 232m ανάλυση, υπολογίζεται ως 232/30. Συμπερασματικά, μετά την αλλαγή της κλίμακας, η εικόνα MODIS θα προκύψει μεγαλύτερη από την αρχική, ενώ η εικόνα Sentinel 2 θα προκύψει λίγο μικρότερη από την αρχική της.

Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν οι ίδιες υποπεριοχές, που είχαν επιλεγεί, στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι συγκρίσεις και η περαιτέρω αξιολόγηση. Συνεπώς, προέκυψαν τρία σετ δεδομένων, η υποπεριοχή 1, 2 και 3, οι οποίες αξιολογήθηκαν ξεχωριστά αλλά και συνολικά όλες μαζί λαμβάνοντας το σύνολο των δεδομένων τους.

Οι συγκρίσεις και η ποσοτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκαν ανά ζεύγη εικόνων, με εικόνα αναφοράς την εικόνα MODIS. Τα ζεύγη αυτά, λοιπόν, αποτελούν τις εικόνες Landsat 8 atcorr – MODIS, τις εικόνες Landsat 8 usgs – MODIS και τις εικόνες Sentinel 2 – MODIS. Συνεπώς, έπειτα από την εφαρμογή της εξίσωσης παλινδρόμησης προέκυψαν μία νέα εικόνα Landsat 8 atcorr (από την αντιστοιχία της με την MODIS), μία νέα εικόνα Landsat 8 usgs (από την αντιστοιχία της με την MODIS), μία νέα εικόνα Sentinel 2 (από την αντιστοιχία της με την MODIS). Η επιλογή αυτής της εικόνας αναφοράς γίνεται διότι η MODIS παρέχει το πιο αξιόπιστο προϊόν ραδιομετρικής και ατμοσφαιρικής διόρθωσης [Vermote & Kotchenova, 2008a; Vermote et al., 2002; Wang et al., 2009].

4.3.4. Σύγκριση στη Χωρική Ανάλυση του Sentinel 2 στα 10m

Οι συγκρίσεις πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των ίδιων ατμοσφαιρικά διορθωμένων προϊόντων, όπως στην προηγούμενη ενότητα, με την διαφορά ότι εδώ η σύγκριση πραγματοποιήθηκε στη χωρική ανάλυση των 10m. Σύμφωνα με αυτό, πραγματοποιήθηκε παρεμβολή ώστε οι εικόνες MODIS και Landsat 8 (atcorr και usgs) να μεταβάλλουν την ανάλυσή τους στα 10m, από τα 250m και 30m, αντίστοιχα.

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Matlab. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε η εφαρμογή δικυβικής μεθόδου (bicubic), για την αναγωγή από την χαμηλότερη ανάλυση των 30m και 250m σε αυτή των 10m. Συνεπώς, το νέο μέγεθος εικονοστοιχείου των εικόνων Landsat 8 με 30m ανάλυση, προκύπτει και υπολογίζεται ως 30/10, ενώ το νέο μέγεθος του εικονοστοιχείου τη εικόνας MODIS με 250m ανάλυση, υπολογίζεται ως 232/10. Συμπερασματικά, μετά την αλλαγή της κλίμακας, οι εικόνες Landsat 8 και MODIS θα προκύψουν μεγαλύτερες από τις αρχικές τους.

Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν οι ίδιες υποπεριοχές, που είχαν επιλεγεί και στις προηγούμενες περιπτώσεις διαφορετικών χωρικών αναλύσεων, στις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι συγκρίσεις και η περαιτέρω αξιολόγηση. Συνεπώς, προέκυψαν τρία σετ δεδομένων, η υποπεριοχή 1, 2 και 3, οι οποίες αξιολογήθηκαν ξεχωριστά αλλά και συνολικά όλες μαζί λαμβάνοντας το σύνολο των δεδομένων τους.

Μοντέλο παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS

Οι συγκρίσεις και η ποσοτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκαν ανά ζεύγη εικόνων, με εικόνα

αναφοράς την εικόνα MODIS. Τα ζεύγη αυτά, λοιπόν, αποτελούν τις εικόνες Landsat 8 atcorr – MODIS, τις εικόνες Landsat 8 usgs – MODIS, τις εικόνες Sentinel 2 – MODIS. Συνεπώς, έπειτα από την εφαρμογή της εξίσωσης παλινδρόμησης προέκυψαν μία νέα εικόνα Landsat 8 atcorr (από την αντιστοιχία της με την MODIS), μία νέα εικόνα Landsat 8 usgs (από την αντιστοιχία της με την MODIS), μία νέα εικόνα Sentinel 2 (από την αντιστοιχία της με την MODIS),

Μοντέλο παλινδρόμησης ως προς την εικόνα Sentinel 2

Η δεύτερη σύγκριση και αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε σε διαφορετικά ζεύγη εικόνων, με εικόνα αναφοράς τη Sentinel 2. Τα ζεύγη αυτά, περιλαμβάνουν τις εικόνες Landsat 8 και την εικόνα Sentinel 2. Οπότε, τα ζεύγη εικόνων μελέτης που προέκυψαν είναι τα Landsat 8 atcorr – Sentinel 2 και Landsat 8 usgs – Sentinel 2.

Συνεπώς, έπειτα από την εφαρμογή της εξίσωσης παλινδρόμησης προέκυψαν μία νέα εικόνα Landsat 8 atcorr (από την αντιστοιχία της με την Sentinel 2) και μία νέα εικόνα Landsat 8 usgs (από την αντιστοιχία της με την Sentinel 2).

Παραγωγή απόλυτων διαφορών

Εκτός από την αξιολόγηση της συσχέτισης των δεδομένων, πραγματοποιήθηκαν απόλυτες αφαιρέσεις μεταξύ των νέων τιμών των εικόνων που προέκυψαν μετά την εφαρμογή των εξισώσεων του μοντέλου και των τιμών του διανύσματος Y, με σκοπό την οπτική απεικόνιση των διαφορών που παρατηρούνται. Συμπερασματικά, προέκυψαν τρεις εικόνες που απεικονίζουν τις απόλυτες διαφορές των νέων μείον των εικόνων αναφοράς, για κάθε εικονοστοιχείο της περιοχής. Σύμφωνα με αυτό, πραγματοποιείται μία οπτικοποίηση των διαφορών του μοντέλου, με σκοπό τον εντοπισμό των προβλημάτων του χωρικά. Πιο αναλυτικά, γίνεται εντοπισμός, στο χώρο, των σημείων που το μοντέλο παρουσιάζει πρόβλημα και δεν προσαρμόζεται σωστά. Έτσι, μπορεί να γίνει εξαχθεί ένα συμπέρασμα, ανάλογα με τη χρήση ή κάλυψη γης (π.χ. αστικός χώρος, καλλιέργειες κλπ.), ως προς τα σημεία που το μοντέλο εμφανίζει τα μεγαλύτερα σφάλματα.

4.3.5. Συνολική Αξιολόγηση

Έπειτα από την εξαγωγή κάποιων βασικών συμπερασμάτων ως προς τη σύγκριση και αξιολόγηση των δεδομένων με γνώμονα την χωρική ανάλυσή τους, αλλά και ως προς τη σύγκριση και αξιολόγηση με γνώμονα την εικόνα στην οποία ισοδυναμούν οι αρχικές εικόνες, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω αξιολόγηση αυτών, συνδυάζοντας τα δεδομένα που εξήχθησαν. Πιο συγκεκριμένα, προκύπτουν κάποια βασικά συμπεράσματα ως προς την αλλαγή της κλίμακας από χαμηλότερη σε υψηλότερη ανάλυση ή το αντίθετο, τα οποία μπορούν να συνδυαστούν. Τέλος, μία συνολική αξιολόγηση μπορεί να πραγματοποιηθεί ως προς την εκτίμηση του πιο αξιόπιστου προϊόντος ατμοσφαιρικής διόρθωσης.

4.4. Περιοχή Μελέτης και Δορυφορικά Δεδομένα Ίδιας Ημέρας

Η επιλογή της συγκεκριμένης περιοχής για μελέτη, έγινε διότι έπρεπε να βρεθεί μία κοινή περιοχή που να καλύπτεται χωρικά και από τους τρεις διαφορετικούς δορυφόρους, MODIS, Landsat 8 και Sentinel 2, οι οποίοι εφαρμόζουν διαφορετικό “πάτημα” στην επιφάνεια της Γης. Επιπρόσθετα, έπειτα από εκτενή αναζήτηση, βρέθηκε ότι η συγκεκριμένη περιοχή της Αιγύπτου συνέπιπτε

χρονικά και στα τρία διαφορετικά περιοδικά περάσματα των δορυφόρων. Εκτός αυτού, η περιοχή μελέτης συνδυάζει διαφορετικές και ποικίλες χρήσεις γης με έμφαση τόσο στο αστικό κομμάτι, όσο και στη βλάστηση και στις καλλιέργειες. Πιο αναλυτικά, η περιοχή της Αιγύπτου συγκροτείται από πεδινά και παράκτια τμήματα εμφανίζοντας συχνές εναλλαγές χρήσεων γης.

4.4.1. Επιλογή Δεδομένων

Για τη σωστή επιλογή των δεδομένων, αρχικά, ήταν απαραίτητο να επιλεγεί η ιδανική εποχή έτσι ώστε τα δεδομένα να έχουν όσο το δυνατόν λιγότερα σύννεφα, ενώ παράλληλα, οι συνθήκες λήψης των δορυφορικών εικόνων να είναι κατάλληλες για την εφαρμογή των διαδικασιών της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκε και προτιμήθηκε η καλοκαιρινή περίοδος και συγκεκριμένα ο Ιούνιος, στον οποίο η πιθανότητα ύπαρξης σύννεφων είναι αρκετά περιορισμένη.

Για την επιλογή των δεδομένων, αρχικά, βρέθηκε η κατάλληλη περιοχή μελέτης (μονοπάτι (path) και στήλη (row)), η οποία απεικονίζεται τόσο στον δορυφόρο Landsat 8, όσο και στον Sentinel 2, με βασικό παράγοντα η ευρύτερη περιοχή να έχει την τάση μειωμένης κάλυψης σε σύννεφα. Ταυτόχρονα, ελέγχθηκε η περιοδική επανάληψη αυτών των δύο, ώστε να βρεθεί μία κοινή ημερομηνία. Τέλος, εφόσον διαπιστώθηκε ότι η περιοχή δεν περιείχε σύννεφα, έγινε η αντιστοιχία τόσο στο χώρο, όσο και στο χρόνο με τον δορυφόρο MODIS, ο οποίος παρέχει δεδομένα σε καθημερινή βάση και έτσι υπάρχει χρονική συσχέτιση.

Παρατηρήθηκε λοιπόν, πως η καταλληλότερη ημερομηνία για το σκοπό αυτό ήταν η 8 Ιουνίου 2016, καθώς και οι σκηνές που επιλέχθηκαν ήταν οι ακόλουθες:

- για τον δορυφόρο Landsat 8: Path 176 – Row 038 και Path 176 – Row 039
- για τον δορυφόρο Sentinel 2: R021 – τα “πλακάκια” RUV και RUU
- για τον δορυφόρο MODIS: επιλέχθηκε ο Aqua, καθώς ο Terra παρουσίαζε μεγάλο μέρος με “καμμένα” εικονοστοιχεία και
- τέλος, για την ατμοσφαιρική διόρθωση των αρχικών εικόνων Landsat 8 ήταν απαραίτητη η χρήση ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας (DEM), το οποίο επιλέχθηκε με βάση την περιοχή κάλυψης από τον δορυφόρο Landsat 8.

Συνεπώς, δημιουργήθηκαν τρία σετ δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία, τα οποία ομαδοποιήθηκαν με βάση την περιοχή κάλυψης που έχουν μεταξύ των τριών δορυφόρων, αλλά και με βάση την κάλυψη που έχουν ως προς τα σύννεφα.

Δορυφόροι	Δεδομένα	Ανάλυση	Κανάλια	Αντιστοιχία Καναλιών	Ημερομηνία
Landsat 8 (OLI/TIRS) atcorr	P176/R38	30m	Red	4	08/06/2016
	P176/R38	30m	NIR	5	
	P176/R39	30m	Red	4	08/06/2016
	P176/R39	30m	NIR	5	
Landsat 8 (OLI/TIRS) usgs	P176/R38	30m	Red	4	08/06/2016
	P176/R38	30m	NIR	5	
	P176/R39	30m	Red	4	08/06/2016
	P176/R39	30m	NIR	5	
MODIS Aqua MYD09GQ	A2016160	250m	Red	1	08/06/2016
	A2016160	250m	NIR	2	
Sentinel 2 (MSI)	RUV	10m	Red	4	08/06/2016
	RUV	10m	NIR	8	
	RUU	10m	Red	4	08/06/2016
	RUU	10m	NIR	8	

Πίνακας 4.3: Παρουσίαση των αρχικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στη σύγκριση και αξιολόγηση

4.4.2. Προεπεξεργασία Δεδομένων

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιήθηκαν όλες οι απαραίτητες διαδικασίες προεπεξεργασίας των δεδομένων, με σκοπό την τελική σύγκριση αυτών, σύμφωνα με την μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε. Το μεγαλύτερο μέρος της προεπεξεργασίας περιλαμβάνει τις αρχικές εικόνες του Landsat 8, οι οποίες καταλήγουν έχοντας το τελικό προϊόν που είναι οι ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες.

Εφαρμογή ραδιομετρικής διόρθωσης

Έχοντας ολοκληρώσει τον έλεγχο της γεωμετρίας των δεδομένων του Landsat 8, πραγματοποιήθηκε η μετατροπή των ψηφιακών τιμών σε τιμές φαινόμενης ανακλαστικότητας (top-of-atmosphere reflectance), χρησιμοποιώντας το ελεύθερο λογισμικό GRASS GIS. Η ραδιομετρική διόρθωση εφαρμόστηκε στις δύο σκηνές Landsat 8 που επιλέχθηκαν για τη διαδικασία ανάλυσης και συγκεκριμένα για τα κανάλια 1-5.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα στατιστικά της αρχικής και της τελικής εικόνας σε μορφή πίνακα:

Δορυφόρος / Δέκτης	Δεδομένα	Κανάλι	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική απόκλιση
Landsat 8 / OLI - TIRS	P176/R38	1	0	27530	8546.090	5805.110
	P176/R38	2	0	29518	7905.040	5428.620
	P176/R38	3	0	32018	7025.160	5156.780
	P176/R38	4	0	34344	6775.350	5482.280
	P176/R38	5	0	35900	7182.730	6581.980
Landsat 8 / OLI - TIRS	P176/R39	1	0	28437	9381.180	6485.620
	P176/R39	2	0	29269	9361.180	6561.890
	P176/R39	3	0	32415	10285.500	7516.670
	P176/R39	4	0	37743	11687.700	9052.070
	P176/R39	5	0	44383	14625.900	10994.100

Πίνακας 4.4: Στατιστικά στοιχεία εικόνων Landsat 8 πριν την εφαρμογή των ραδιομετρικών διορθώσεων

Δορυφόρος / Δέκτης	Δεδομένα	Κανάλι	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τοπική απόκλιση
Landsat 8 / OLI - TIRS	P176/R38	1	118.355	483.068	159.181	19.300
	P176/R38	2	97.364	525.693	139.199	27.282
	P176/R38	3	56.111	579.296	111.766	52.976
	P176/R38	4	36.686	629.168	103.981	78.524
	P176/R38	5	24.379	662.530	116.678	115.362
Landsat 8 / OLI - TIRS	P176/R39	1	120.594	501.842	185.791	34.350
	P176/R39	2	100.017	519.657	185.166	44.271
	P176/R39	3	76.014	587.020	214.011	73.415
	P176/R39	4	57.642	701.105	257.786	113.858
	P176/R39	5	56.614	843.283	349.502	123.793

Πίνακας 4.5: Στατιστικά στοιχεία εικόνων Landsat 8 μετά την εφαρμογή των ραδιομετρικών διορθώσεων σε TOA reflectance

Δορυφόρος / Δέκτης	Δεδομένα	Κανάλι	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τοπική απόκλιση
Sentinel 2 / MSI	“πλακάκι” RUU	4	704	15889	2426.370	1011.480
		8	727	14466	3029.110	785.082
	“πλακάκι” RUV	4	712	4637	1426.440	433.900
		8	727	5018	2273.290	556.426

Πίνακας 4.6: Στατιστικά στοιχεία αρχικών εικόνων Sentinel 2 σε TOA reflectance όπως τις παρέχει η ESA

Εφαρμογή ατμοσφαιρικής διόρθωσης

Έχοντας ολοκληρώσει την εφαρμογή των ραδιομετρικών διορθώσεων, ακολουθεί η διαδικασία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, για τις εικόνες Landsat 8, βασίστηκε στον αλγόριθμο 6S (Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum), με σκοπό την απόκτηση μιας εκτίμησης της ακτινοβολίας στην επιφάνεια (surface reflectance), τον οποίο εφαρμόζει το λογισμικό GRASS GIS που χρησιμοποιήθηκε μέσω της εντολής atcor. Η ατμοσφαιρική διόρθωση εφαρμόστηκε στις δύο σκηνές Landsat 8 που επιλέχθηκαν για τη διαδικασία ανάλυσης και συγκεκριμένα για τα κανάλια 4 και 5 (red και NIR). Η ατμοσφαιρική διόρθωση για την εικόνα Sentinel 2, εφαρμόστηκε με χρήση της εργαλειοθήκης SNAP που παρέχει η ESA, για τα κανάλια 4 και 8 (red και NIR).

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα στατιστικά των ατμοσφαιρικά διορθωμένων εικόνων Landsat 8 και Sentinel 2.

Δορυφόρος / Δέκτης	Δεδομένα	Κανάλι	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική απόκλιση
Landsat 8 / OLI - TIRS	P176/R38	4	37	255	111.514	58.238
	P176/R38	5	23	255	119.031	76.746
	P176/R39	4	56	255	206.141	62.599
	P176/R39	5	54	255	234.912	40.717
Sentinel 2 / MSI	“πλακάκι” RUU	4	0	18565	2561.550	1224.570
		8	0	17119	3430.360	956.790
	“πλακάκι” RUV	4	0	6861	1371.870	702.916
		8	0	6750	2605.490	801.583

Πίνακας 4.7: Στατιστικά στοιχεία εικόνων μετά την εφαρμογή των ατμοσφαιρικών διορθώσεων

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Το κεφάλαιο των αποτελεσμάτων και της αξιολόγησης, περιλαμβάνουν την ανάλυση και παρουσίαση των συγκρίσεων και των στατιστικών στοιχείων, τα οποία προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων και χωρίζονται σε τέσσερις φάσεις, για το τόσο για το κόκκινο, όσο και για το εγγύς υπέρυθρο κανάλι. Στην πρώτη, περιγράφονται οι συγκρίσεις και τα στατιστικά στοιχεία των προϊόντων στη χωρική ανάλυση του MODIS στα 250m. Στην δεύτερη, περιγράφονται οι συγκρίσεις και τα στατιστικά στοιχεία των προϊόντων στη χωρική ανάλυση του Landsat 8 στα 30m. Στην τρίτη φάση, περιγράφονται οι συγκρίσεις και τα στατιστικά στοιχεία των προϊόντων στη χωρική ανάλυση του Sentinel 2 στα 10m και τέλος, στην τέταρτη φάση, πραγματοποιείται μία συνολική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν αρχικά για την κάθε υποπεριοχή ξεχωριστά και στη συνέχεια, όλα μαζί ως ένα σύνολο δεδομένων της ευρύτερης περιοχής που επιλέχθηκε.

5.1. Σύγκριση στη Χωρική Ανάλυση του MODIS στα 232m

Η σύγκριση και ποσοτική αξιολόγηση στην χωρική ανάλυση του MODIS στα 232m πραγματοποιήθηκε μεταξύ των ζευγών των εικόνων Landsat 8 (atcorr) – MODIS, Landsat 8 (usgs) – MODIS και Sentinel 2 – MODIS, τόσο στο κόκκινο όσο και στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι. Όλη η διαδικασία που ακολουθεί πραγματοποιήθηκε και ολοκληρώθηκε με την κατασκευή αλγορίθμου και χρήση του λογισμικού Matlab. Αρχικά, αξιολογήθηκαν ξεχωριστά η κάθε μία υποπεριοχή και στη συνέχεια συνολικά, ως ένα σύνολο δειγμάτων της ευρύτερης περιοχής.

Οι αρχικές εικόνες της περιοχής για τον κάθε δορυφόρο, αποκόπηκαν έτσι ώστε να προκύψει μόνο το κοινό και επικαλυπτόμενο κομμάτι τους, το οποίο θα συμμετέχει στην αξιολόγηση και σύγκριση. Λόγω του προβλήματος που παρουσιάζουν τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται στη θάλασσα στην εικόνα του MODIS, από τις αρχικές αυτές εικόνες, αποκόπηκε ένα μικρότερο μέρος αυτών, οι υποπεριοχές 1, 2 και 3.

5.1.1. Υποπεριοχή 1

Όσον αφορά την υποπεριοχή 1, πρόκειται για περιοχή χωρίς το στοιχείο της θάλασσας, με ηπειρωτική Γη, η οποία αποτελείται κυρίως από καλλιέργειες και πολύ μικρό αστικό ιστό. Η εικόνα της υποπεριοχής 1, έχει διαστάσεις 182x195 εικονοστοιχεία με 232m ανάλυση στο έδαφος. Οι εικόνες μετά την εφαρμογή της αλλαγής κλίμακας (imresize), παρουσιάζονται παρακάτω. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι εικόνες Landsat 8 (usgs και atcorr), καθώς και η εικόνα Sentinel 2, μετά την αλλαγή της κλίμακας, προέκυψαν μικρότερες από ότι οι αρχικές, με μεγαλύτερη ανάλυση.

Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που εφαρμόστηκε, αντιστοιχίζει στον άξονα y την εικόνα MODIS και εξάγονται οι δύο βασικές παράμετροι a και b της εξίσωσης που προκύπτει από την $y = ax + b$ (a= Slope , b = Intercept).

Η συσχέτιση του προϊόντος Landsat 8 atcorr στο κόκκινο κανάλι παρουσιάζεται μέτρια στην υποπεριοχή 1 φτάνοντας μέχρι το 0.67, ενώ η συσχέτιση του Landsat 8 usgs φτάνει στο 0.69. Αντίθετα, η συσχέτιση του Sentinel 2 εμφανίζεται να είναι 0.61.

Η κλίση (Slope) και για τις τρεις εικόνες μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ του 0.62 και του 0.94, με αυτές της εικόνας Landsat 8 usgs και Sentinel 2, να παρουσιάζουν μία ελάχιστη διαφορά της τάξης του 0.02. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 6.00 έως 7.33, για τις τρεις εικόνες. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 6.278 – 7.022, 0.095 – 0.498 και 17.789– 93.865, αντίστοιχα.

Παράλληλα, η συσχέτιση του Landsat 8 atcorr στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι προκύπτει χαμηλότερη με 0.54, ενώ οι συσχετίσεις των Landsat 8 usgs και Sentinel 2, παραμένουν σχεδόν το ίδιο με τιμές 0.68 και 0.63, αντίστοιχα. Η κλίση (Slope) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.51 – 0.89, ενώ η τομή (Intercept) μεταξύ των τιμών -0.63 – (-8.66). Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τις τρεις εικόνες μεταξύ των τιμών 5.857 – 7.029, 0.003 – 0.497 και 0.494 – 93.550, αντίστοιχα.

RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
<i>Υποπεριοχή 1</i>	Landsat 8 atcorr	35490	0.62	6.29	0.67	6.459	0.196	36.961
	Landsat 8 usgs	35490	0.94	6.00	0.69	6.278	0.095	17.789
	Sentinel 2	35490	0.93	7.33	0.61	7.022	0.498	93.865

Πίνακας 5.1.1: Αποτελέσματα συσχετίσεων των ζευγών των εικόνων που εξετάστηκαν στο κόκκινο κανάλι στην Υποπεριοχή 1

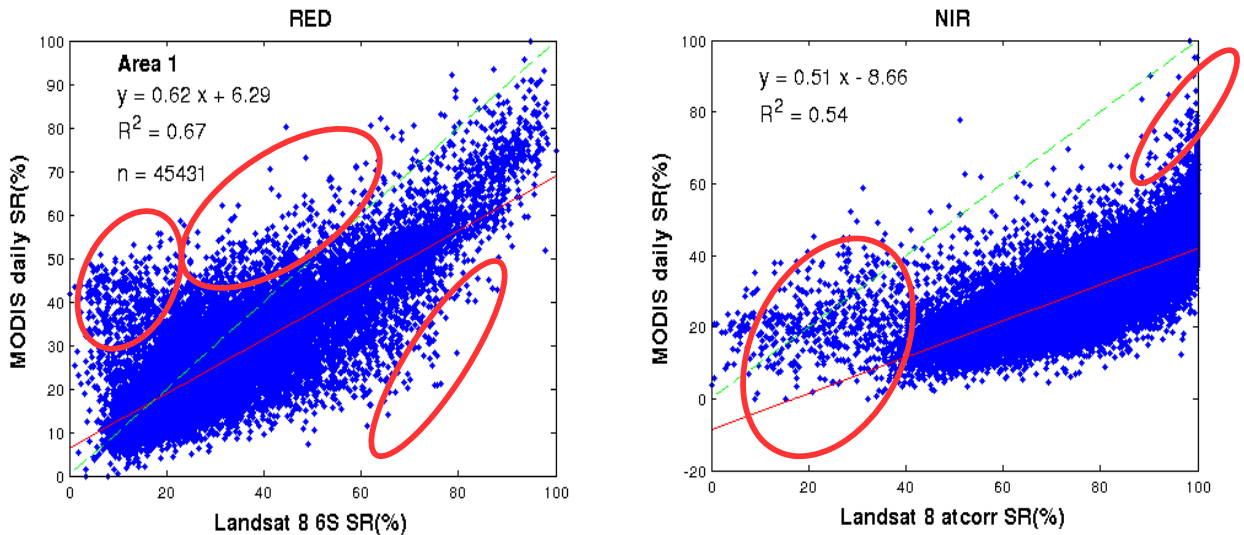
NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
<i>Υποπεριοχή 1</i>	Landsat 8 atcorr	35490	0.51	-8.66	0.54	7.029	0.280	52.745
	Landsat 8 usgs	35490	0.85	-4.28	0.68	5.857	0.003	0.494
	Sentinel 2	35490	0.89	-0.63	0.63	6.274	0.497	93.550

Πίνακας 5.1.2: Αποτελέσματα συσχετίσεων των ζευγών των εικόνων που εξετάστηκαν στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι στην Υποπεριοχή 1

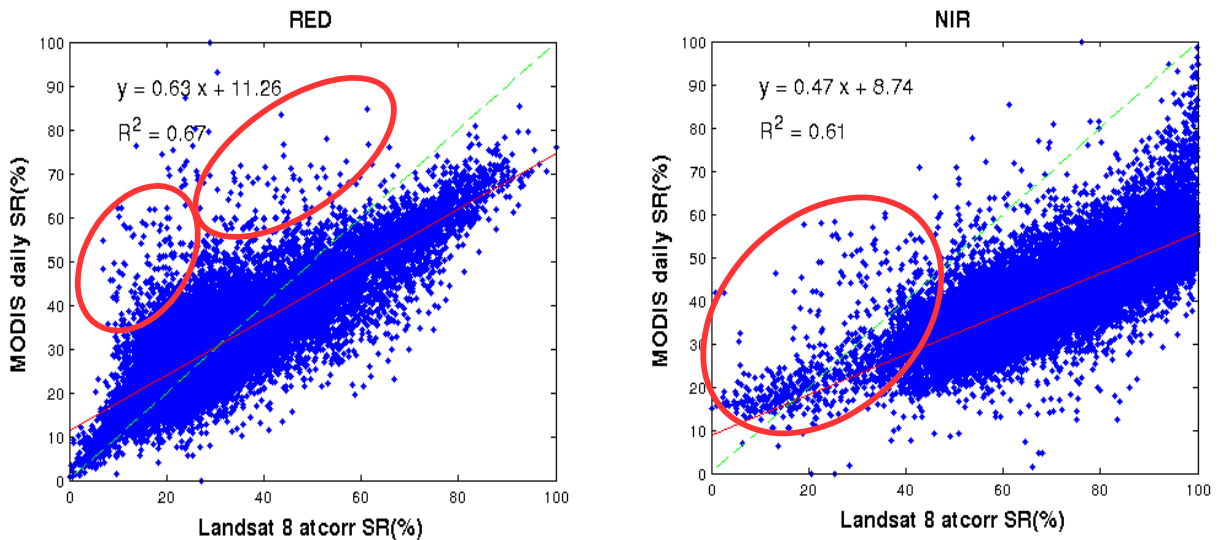
Τα διαγράμματα παλινδρόμησης όπως προέκυψαν από το μοντέλο, εμφανίζονται παρακάτω για το κόκκινο αλλά και για το εγγύς υπέρυθρο κανάλι.

Παρατηρώντας τα εικονοστοιχεία στο κάθε ένα διάγραμμα διασποράς, διακρίνονται αυτά τα οποία απέχουν αρκετά από την συνολική τάση του μοντέλου και παρουσιάζονται μέσα στις ελλείψεις. Όσον αφορά το κόκκινο κανάλι, ένας από τους λόγους της μειωμένης συσχέτισης αποδίδεται σε αυτά τα εικονοστοιχεία, καθώς η διαφορά των τιμών των δύο αυτών εικόνων είναι αυξημένη και παρατηρείται στην τάξη του 100. Αξίζει να σημειωθεί, ότι πραγματοποιήθηκε έλεγχος τοπικά και

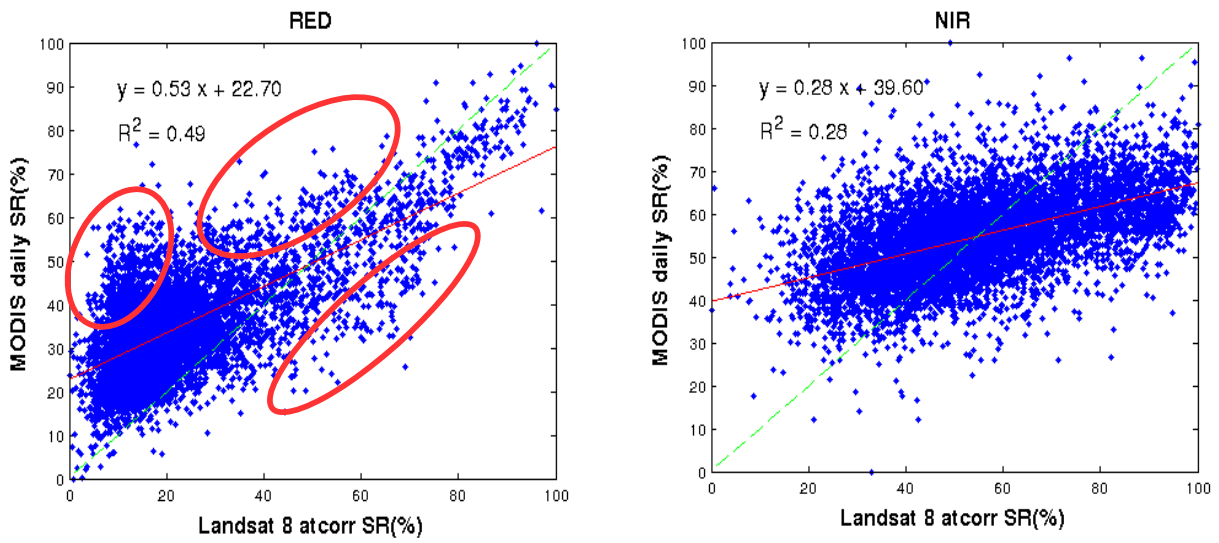
χειροκίνητα στα συγκεκριμένα εικονοστοιχεία, ώστε να διαπιστωθεί το σφάλμα που προκύπτει. Εξετάζοντας τις εικόνες που προέκυψαν μετά την αλλαγή της κλίμακας τόσο στο κόκκινο, όσο και στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, διαπιστώνεται και οπτικά, έπειτα από φωτοερμηνεία, ότι τα εικονοστοιχεία αυτά, αποτελούν σημεία καλλιεργείων με αυξημένη υγρασία, τα οποία βρίσκονται κοντά στην παράκτια ζώνη και παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στην φωτεινότητα με την αλλαγή της κλίμακας.



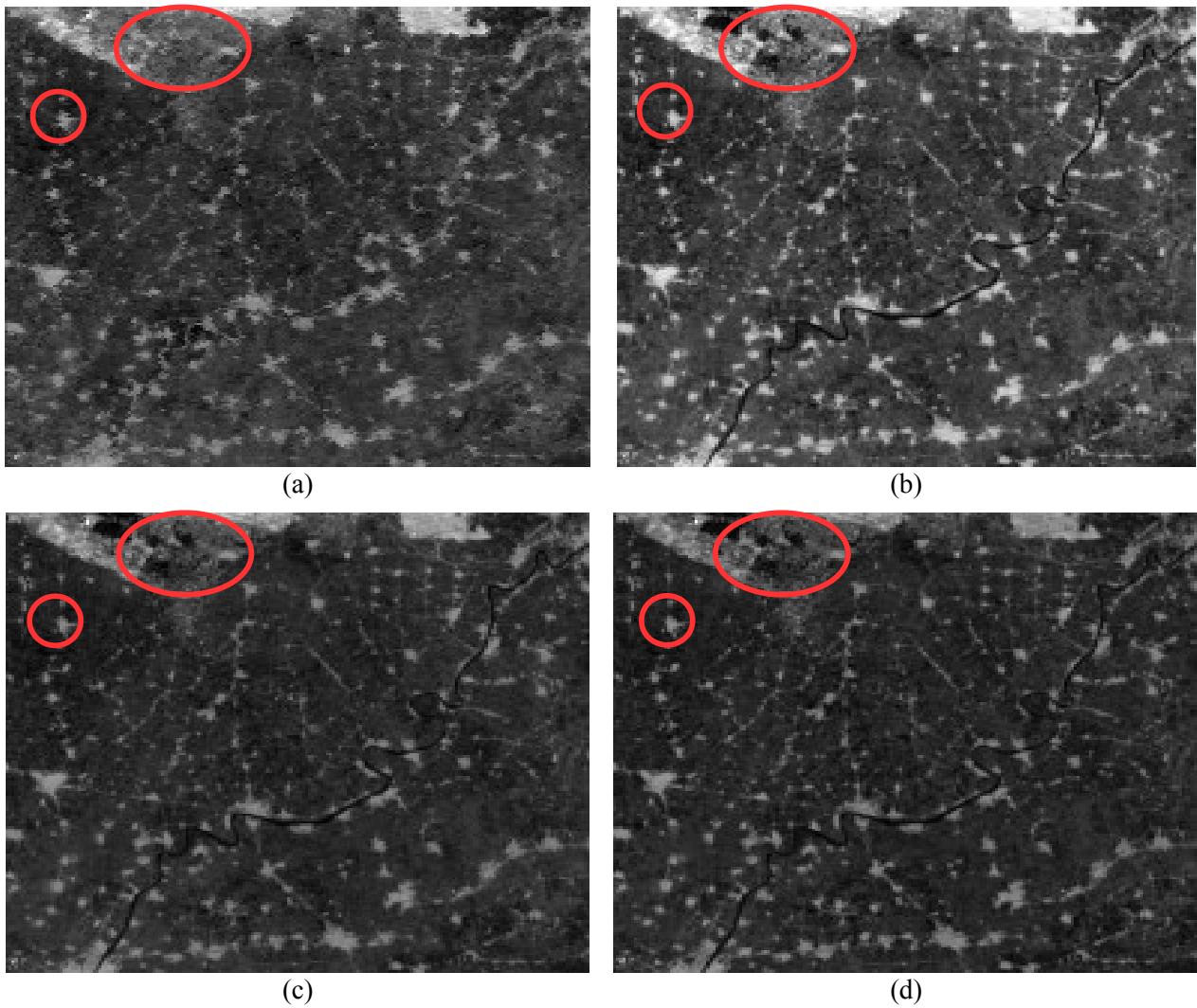
Διάγραμμα 5.1.1: Διάγραμμα συσχέτισης της εικόνας MODIS και της εικόνας Landsat 8 atcorr. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται τα εικονοστοιχεία που απέχουν αρκετά και διαφοροποιούν την παλινδρόμηση. Η πράσινη γραμμή δείχνει την 1:1 συσχέτιση, ενώ η κόκκινη, τη συσχέτιση όπως προέκυψε από το μοντέλο.



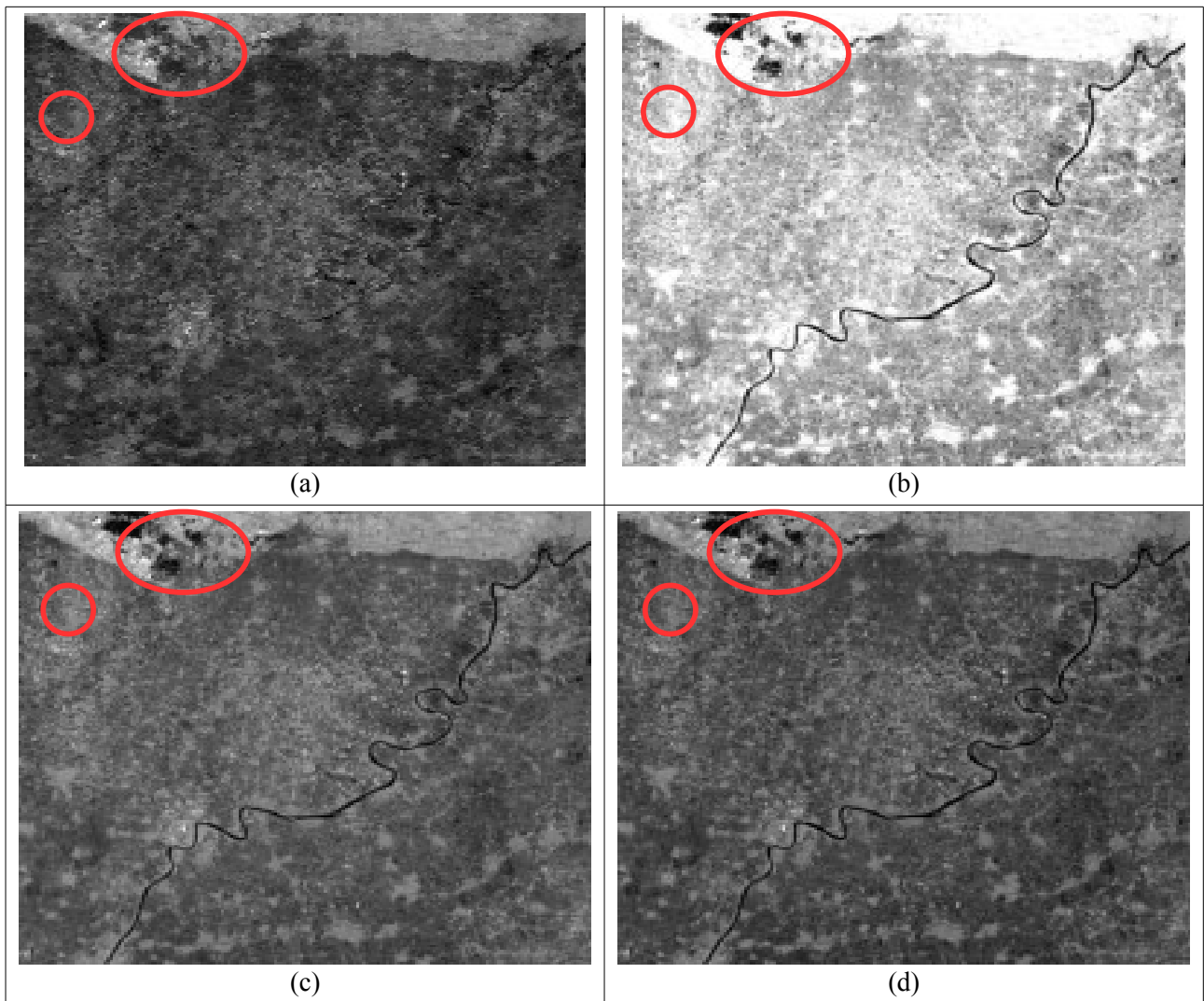
Διάγραμμα 5.1.2: Διάγραμμα συσχέτισης της εικόνας MODIS και της εικόνας Landsat 8 usgs. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται τα εικονοστοιχεία που απέχουν αρκετά και διαφοροποιούν την παλινδρόμηση. Η πράσινη γραμμή δείχνει την 1:1 συσχέτιση, ενώ η κόκκινη, τη συσχέτιση όπως προέκυψε από το μοντέλο.



Διάγραμμα 5.1.3: Διάγραμμα συσχέτισης της εικόνας MODIS και της εικόνας Sentinel 2. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται τα εικονοστοιχεία που απέχουν αρκετά και διαφοροποιούν την παλινδρόμηση. Η πράσινη γραμμή δείχνει την 1:1 συσχέτιση, ενώ η κόκκινη, τη συσχέτιση όπως προέκυψε από το μοντέλο.



Εικόνα 5.1.1: Αρχικές εικόνες της υποπεριοχής 1, οι MODIS (a), Landsat 8 atcorr (b), Landsat 8 usgs (c) και Sentinel 2 (d), στο κόκκινο κανάλι. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται έντονα τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν κατά την αλλαγή της κλίμακας στην εικόνα MODIS. Στα εικονοστοιχεία αυτά αποδίδεται η ασυμφωνία των δύο αυτών εικόνων, όπου πρόκειται για περιοχές καλλιεργείων με αυξημένο το ποσοστό υγρασίας



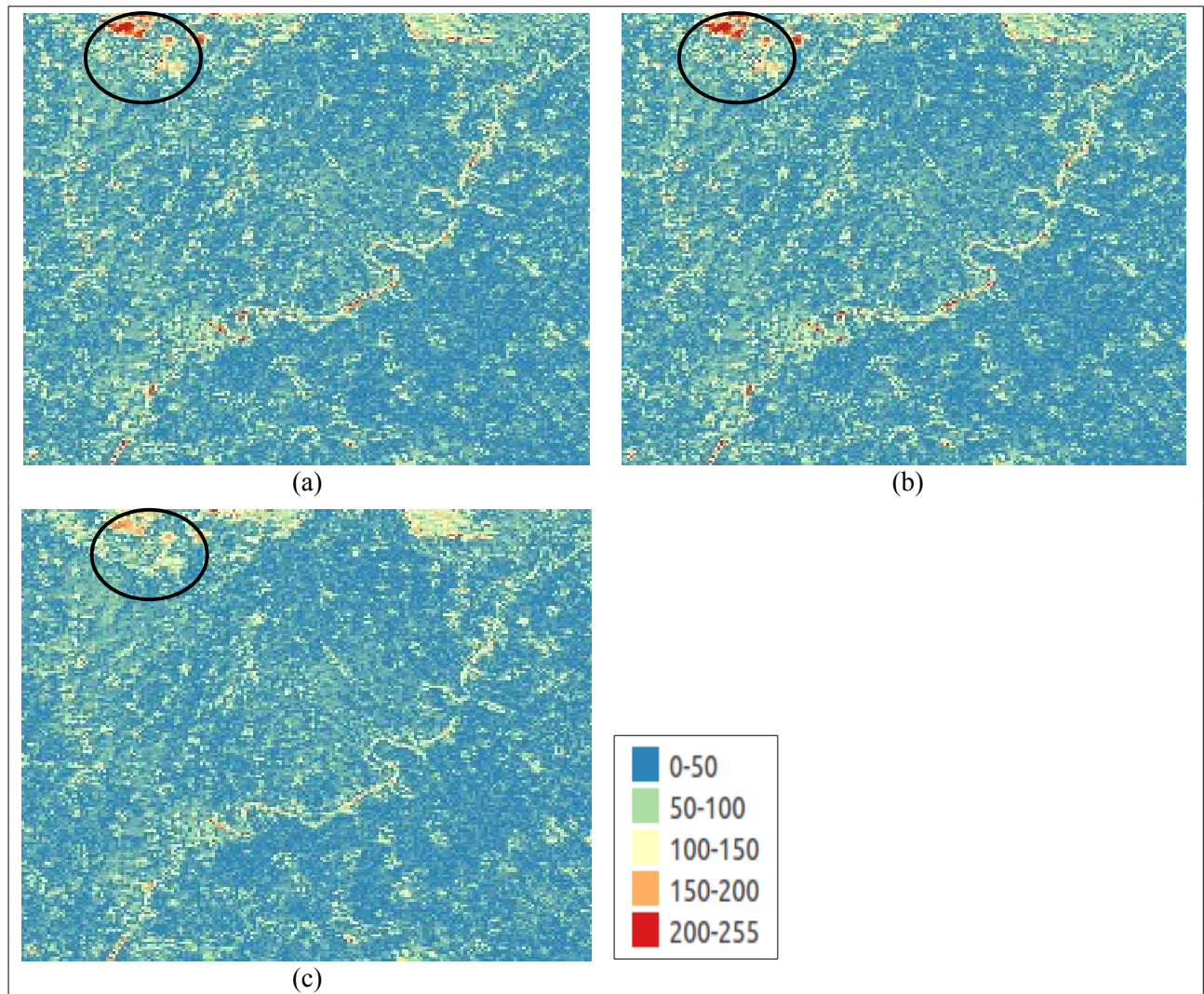
Εικόνα 5.1.2: Αρχικές εικόνες της υποπεριοχής 1, οι MODIS (a), Landsat 8 atcorr (b), Landsat 8 usgs (c) και Sentinel 2 (d), στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται έντονα τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν κατά την αλλαγή της κλίμακας στην εικόνα MODIS. Στα εικονοστοιχεία αυτά αποδίδεται η ασυμφωνία των δύο αυτών εικόνων, όπου πρόκειται για περιοχές καλλιερχειών με αυξημένο το ποσοστό υγρασίας

Τέλος, στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της εικόνας MODIS και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS, για το κάθε εικονοστοιχείο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Εξετάζοντας αρχικά το κόκκινο κανάλι, εξάχθηκαν οι απόλυτες διαφορές, αφαιρώντας την εικόνα MODIS, από τη νέα εικόνα που προέκυψε συσχετίζοντας ξεχωριστά τις Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2, με τη MODIS. Όπως είναι φανερό, στην εικόνα της απόλυτης διαφοράς και για τα τρία ζεύγη συσχέτισης, οι διαφορές εντοπίζονται σε χαμηλά επίπεδα στο μεγαλύτερο μέρος της και κυρίως μεταξύ των καλλιερχειών. Πιο αναλυτικά, παρουσιάζονται διαφορές μεταξύ των

καλλιεργειών και του αστικού ιστού που λαμβάνει τιμές από 0 έως 100. Επιπρόσθετα, στα σημεία καλλιεργειών που παρατηρείται αυξημένο ποσοστό υγρασίας, οι διαφορές αυτές παρατηρούνται πιο αυξημένες, λαμβάνοντας τιμές από 150 έως 255. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στα σημεία με αυξημένο ποσοστό υγρασίας, οι διαφορές της MODIS από τη νέα Landsat 8 atcorr, καθώς και της MODIS από τη νέα Landsat 8 usgs, παρουσιάζονται ίδιες με μέγεθος 200 έως 255 μονάδων. Αντίθετα, οι διαφορές της MODIS από τη νέα Sentinel 2, παρουσιάζονται ελαφρώς μειωμένες με μέγεθος 150 έως 200 μονάδων.

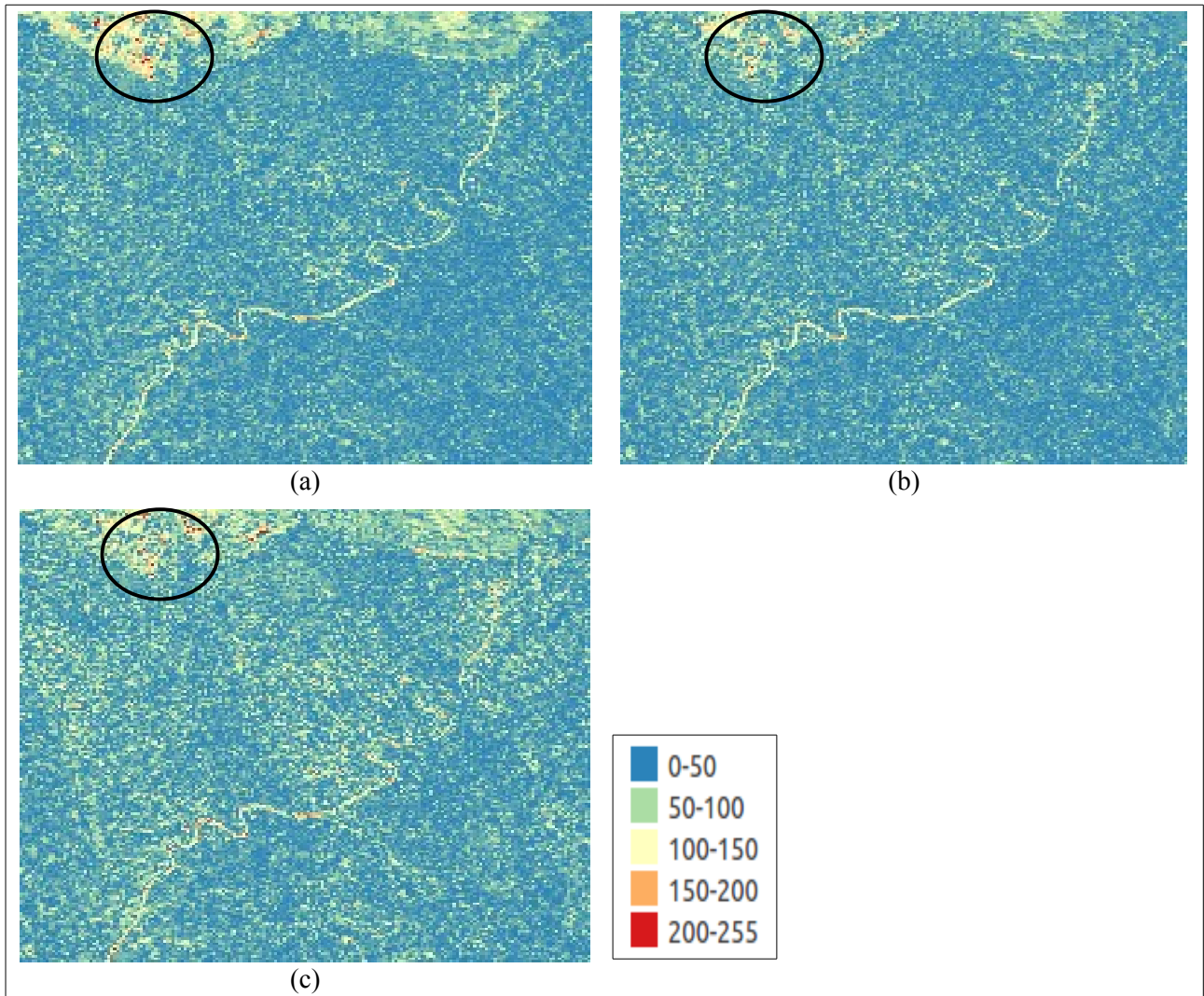


Εικόνα 5.1.3: Εικόνες διαφορών της εικόνας MODIS από τις νέες εικόνες που προέκυψαν, μετά την εφαρμογή των εξισώσεων του μοντέλου, για την υποπεριοχή 1 στο κόκκινο κανάλι. Landsat 8 atcorr νέα – MODIS (a), Landsat 8 usgs νέα – MODIS (b) και Sentinel 2 νέα - MODIS (c). Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται κάποια από τα σημεία καλλιεργειών με αυξημένο ποσοστό υγρασίας

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Όσον αφορά το εγγύς υπέρυθρο κανάλι, οι απόλυτες διαφορές που προέκυψαν αφαιρώντας την εικόνα MODIS από τις νέες Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 (που προέκυψαν εφαρμόζοντας τις εξισώσεις των αντίστοιχων μοντέλων παλινδρόμησης), παρουσιάζονται χαμηλές

για όλες τις εικόνες, όπως συνέβη και με το κόκκινο κανάλι. Συγκεκριμένα, στα σημεία του ποταμού Νείλου, που αντιπροσωπεύουν το στοιχείο του νερού, οι διαφορές των δύο εικόνων και για τα τρία ζεύγη μελέτης, λαμβάνουν τιμές μεταξύ 100 και 150 μονάδων, με εξαίρεση κάποια ελάχιστα σημεία με τιμές 150 έως 255 μονάδων. Επιπλέον, οι διαφορές μεταξύ του αστικού ιστού και των καλλιεργειών εκφράζεται με τιμές από το 0 έως το 100. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, οι καλλιέργειες με αυξημένο ποσοστό υγρασίας δεν διακρίνονται εύκολα σε αυτή τη περίπτωση, καθώς παρουσιάζουν πολύ χαμηλές διαφορές των δύο εικόνων. Τέλος, οι διαφορές της MODIS από τη νέα Landsat 8 atcorr εικόνα, παρουσιάζονται πιο αυξημένες σε σύγκριση με τις διαφορές της MODIS από τη Landsat 8 usgs και Sentinel 2, στα σημεία καλλιεργειών κοντά στην παράκτια ζώνη και συγκεκριμένα σε σημεία με υψηλή υγρασία εδάφους.



Εικόνα 5.1.4: Εικόνες διαφορών της εικόνας MODIS από τις νέες εικόνες που προέκυψαν, μετά την εφαρμογή των εξισώσεων του μοντέλου, για την υποπεριοχή 1 στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι. Landsat 8 atcorr νέα – MODIS (a), Landsat 8 usgs νέα – MODIS (b) και Sentinel 2 νέα - MODIS (c). Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται κάποια από τα σημεία καλλιεργειών με αυξημένο ποσοστό υγρασίας

5.1.2. Υποπεριοχή 2

Όσον αφορά την υποπεριοχή 2, πρόκειται για περιοχή με ηπειρωτική Γη, σε απόσταση από την παράκτια ζώνη, η οποία αποτελείται κυρίως από καλλιέργειες και αστικό ιστό. Η εικόνα της υποπεριοχής 2, έχει διαστάσεις 117x298 εικονοστοιχεία με 232m ακριβή ανάλυση στο έδαφος. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι εικόνες Landsat 8 (usgs και atcorr), καθώς και η εικόνα Sentinel 2, μετά την αλλαγή της κλίμακας, προέκυψαν μικρότερες από ότι οι αρχικές, με μεγαλύτερη ανάλυση.

Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που εφαρμόστηκε, αντιστοιχίζει στον άξονα y την εικόνα MODIS και εξάγονται οι δύο βασικές παράμετροι a και b της εξίσωσης που προκύπτει από την $y = ax + b$ (a= Slope , b = Intercept).

Η συσχέτιση του προϊόντος Landsat 8 atcorr στο κόκκινο κανάλι, στην υποπεριοχή 2, παρουσιάζεται ίση με αυτή της υποπεριοχής 1, φτάνοντας μέχρι το 0.67. Όμοια και η συσχέτιση του Landsat 8 usgs με τιμή 0.68. Αντίθετα, η συσχέτιση του Sentinel 2 εμφανίζεται να είναι 0.60, με μικρή διαφορά σε σύγκριση με την συσχέτιση της υποπεριοχής 1.

Η κλίση (Slope) και για τις τρεις εικόνες μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ του 0.58 και του 0.65. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 11.04 έως 13.82, για τις τρεις εικόνες. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 5.824 – 6.465, 0.002 – 0.499 και 0.324 – 93.164, αντίστοιχα.

Παράλληλα, η συσχέτιση του Landsat 8 atcorr και του Sentinel 2 με τη MODIS, στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι προκύπτει χαμηλότερη με 0.61 και 0.63, αντίστοιχα. Αντίθετα, η συσχέτιση του Landsat 8 usgs παραμένει σχεδόν το ίδιο με τιμή 0.67. Η κλίση (Slope) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.47 – 0.70, ενώ η τομή (Intercept) μεταξύ των τιμών 8.74 – 16.34. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τις τρεις εικόνες μεταξύ των τιμών 5.139 – 5.596, 0.002 – 0.498 και 0.404 – 92.900, αντίστοιχα.

RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 2	Landsat 8 atcorr	34866	0.63	11.26	0.67	5.866	0.084	15.593
	Landsat 8 usgs	34866	0.65	11.04	0.68	5.824	0.002	0.324
	Sentinel 2	34866	0.58	13.82	0.60	6.465	0.499	93.164

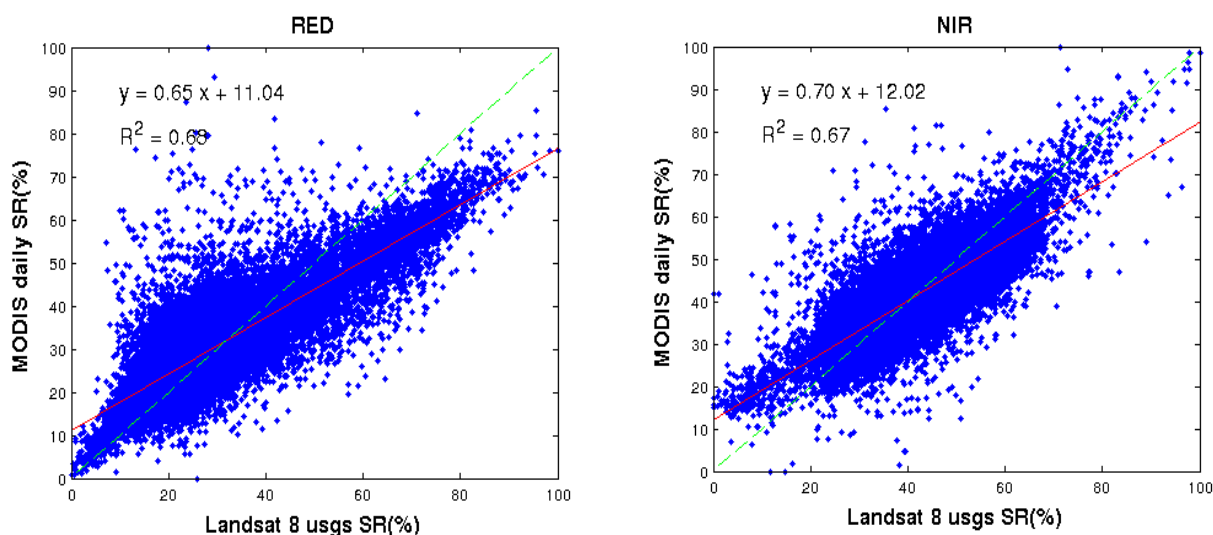
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα συσχετίσεων των ζευγών των εικόνων που εξετάστηκαν στο κόκκινο κανάλι στην Υποπεριοχή 2

NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 2	Landsat 8 atcorr	34866	0.47	8.74	0.61	5.596	0.254	47.471
	Landsat 8 usgs	34866	0.70	12.02	0.67	5.139	0.002	0.404
	Sentinel 2	34866	0.62	16.34	0.63	5.433	0.498	92.900

Πίνακας 5.1.4: Αποτελέσματα συσχετίσεων των ζευγών των εικόνων που εξετάστηκαν στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι στην Υποπεριοχή 2

Τα διαγράμματα παλινδρόμησης όπως προέκυψαν από το μοντέλο, εμφανίζονται παρακάτω για το κόκκινο αλλά και για το εγγύς υπέρυθρο κανάλι.

Παρατηρώντας τα εικονοστοιχεία στο κάθε ένα διάγραμμα διασποράς, διακρίνονται αυτά τα οποία απέχουν αρκετά από την συνολική τάση του μοντέλου και παρουσιάζονται μέσα στις ελλείψεις. Όσον αφορά το κόκκινο αλλά και το εγγύς υπέρυθρο κανάλι, τα εικονοστοιχεία που απέχουν αρκετά από την γραμμή συσχέτισης, αποτελούν εικονοστοιχεία που βρίσκονται σε καλλιέργειες με αυξημένο ποσοστό υγρασίας. Όμοια με την μελέτη της υποπεριοχής 1, πραγματοποιήθηκε έλεγχος τοπικά και χειροκίνητα στα συγκεκριμένα εικονοστοιχεία, ώστε να διαπιστωθεί το σφάλμα που προκύπτει. Εξετάζοντας τις εικόνες που προέκυψαν μετά την αλλαγή της κλίμακας τόσο στο κόκκινο, όσο και στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, διαπιστώνεται και οπτικά, έπειτα από φωτοερμηνεία, ότι τα εικονοστοιχεία αυτά, αποτελούν σημεία καλλιέργειών με αυξημένη υγρασία, τα οποία βρίσκονται κοντά στην παράκτια ζώνη και παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στην φωτεινότητα με την αλλαγή της κλίμακας.

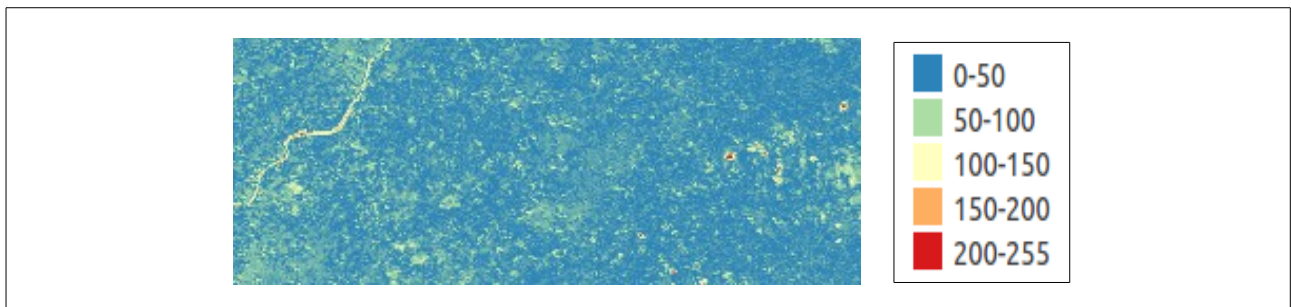


Διάγραμμα 5.1.4: Διάγραμμα συσχέτισης της εικόνας MODIS και της εικόνας Landsat 8 usgs, για τα κανάλια κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο. Η πράσινη γραμμή δείχνει την 1:1 συσχέτιση, ενώ η κόκκινη, τη συσχέτιση όπως προέκυψε από το μοντέλο.

Τέλος, στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της εικόνας MODIS και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS, για το κάθε εικονοστοιχείο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Εξετάζοντας το κόκκινο κανάλι της υποπεριοχής 2, οι εικόνες διαφορών της MODIS από τις νέες που προέκυψαν εφαρμόζοντας τις εξισώσεις του μοντέλου παλινδρόμησης, παρουσιάζονται στα ίδια μεγέθη με την υποπεριοχή 1. Αναλυτικότερα, οι διαφορές εμφανίζονται στις καλλιέργειες και στον αστικό ιστό μεταξύ των τιμών 0 έως 100. Εκτός αυτού, στα σημεία νερού από τον Νείλο ποταμό, οι διαφορές κυμαίνονται μεταξύ 100 έως 150 μονάδων. Τέλος, παρατηρείται ότι στην εικόνα διαφοράς της εικόνας MODIS από τη νέα εικόνα Landsat 8 usgs, τα μεγέθη των διαφορών εμφανίζονται ελαφρώς μειωμένα, κάνοντας έτσι πιο ευδιάκριτα τα σημεία του ποταμού και κανένα άλλο συγκεκριμένο αντικείμενο στην εικόνα. Τα σημεία αυτά παρουσιάζουν διαφορές μεγέθους 255 μονάδων.



Εικόνα 5.1.5: Εικόνα διαφοράς της εικόνας MODIS από τη νέα εικόνα Landsat 8 usgs, που προέκυψε μετά την εφαρμογή των εξισώσεων του μοντέλου, για την υποπεριοχή 2 στο κόκκινο κανάλι

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Παρατηρώντας τις διαφορές που προκύπτουν από τις αφαιρέσεις των εικόνων MODIS μείον των νέων, εξαρτημένων από την MODIS, εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 στην υποπεριοχή 2, προκύπτει το συμπέρασμα ότι είναι όμοιες ως προς την δομή και κατανομή των μεγεθών τους, με τις αντίστοιχες διαφορές της υποπεριοχής 1. Αξιοσημείωτο παραμένει το γεγονός ότι, οι διαφορές της εικόνας MODIS από τη Landsat 8 usgs, παρουσιάζονται μειωμένες, όπως και στην περίπτωση του κόκκινου καναλιού. Ακόμη, σε καμία από τις εικόνες διαφορών δεν μπορούν να εντοπιστούν τα αντικείμενα της εικόνας όπως για παράδειγμα ο αστικός ιστός, εκτός από το ποτάμι.

5.1.3. Υποπεριοχή 3

Όσον αφορά την υποπεριοχή 3, πρόκειται για περιοχή με ηπειρωτική Γη, σε απόσταση από την παράκτια ζώνη, η οποία αποτελείται κυρίως από κάποιες καλλιέργειες και αστικό ιστό. Η εικόνα της υποπεριοχής 3 είναι μικρή, με διαστάσεις 65x104 εικονοστοιχεία με 232m ακριβή ανάλυση στο έδαφος. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στη συγκεκριμένη υποπεριοχή, οι αρχικές εικόνες παρουσίαζαν

μεγάλη έκταση νεφοκάλυψης και για το λόγο αυτό, αποκόπηκε αυτό το μικρό μέρος από τις αρχικές εικόνες προκειμένου να μελετηθεί.

Η συσχέτιση του προϊόντος Landsat 8 atcorr στο κόκκινο κανάλι, στην υποπεριοχή 3, παρουσιάζεται αρκετά μειωμένη σε σύγκριση με αυτή της υποπεριοχής 1 και 2, φτάνοντας μέχρι το 0.49, ενώ η συσχέτιση του Landsat 8 usgs κυμαίνεται σε σχεδόν ίση τιμή, στο 0.50. Αντίθετα, η συσχέτιση του Sentinel 2 μειώνεται λίγο ακόμη, συγκριτικά με τις υποπεριοχές 1 και 2, παίρνοντας την τιμή του 0.46.

Η κλίση (Slope) και για τις τρεις εικόνες μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ του 0.48 και του 0.54, ενώ η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 22.52 έως 23.44, για τις τρεις εικόνες. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 8.726 – 9.100, 0.002 – 0.498 και 0.151 – 40.966, αντίστοιχα.

Παράλληλα, στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι τα δεδομένα παρουσιάζονται τελείως ασυσχέτιστα, με το R^2 να προκύπτει 0.28 για την Landsat 8 atcorr εικόνα, ενώ για τις Landsat 8 usgs και Sentinel 2, 0.32, αντίστοιχα. Η κλίση (Slope) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.28 – 0.38, ενώ η τομή (Intercept) μεταξύ των τιμών 39.60 – 40.62. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τις τρεις εικόνες μεταξύ των τιμών 8.280 – 8.522, 0.002 – 0.498 και 0.184 – 40.951, αντίστοιχα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, το γεγονός ότι τα δεδομένα είναι ασυσχέτιστα πιθανόν να οφείλεται στην ύπαρξη σύννεφου ή κάποιας νεφέλης, εφόσον η γύρω περιοχή παρουσίαζε αυτό το φαινόμενο και για το λόγο αυτό προκύπτουν αυτά τα σφάλματα.

RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 3	Landsat 8 atcorr	6760	0.53	22.70	0.49	8.825	0.055	4.516
	Landsat 8 usgs	6760	0.54	22.52	0.50	8.726	0.002	0.151
	Sentinel 2	6760	0.48	23.44	0.46	9.100	0.498	40.966

Πίνακας 5.1.5 : Αποτελέσματα συσχετίσεων των ζευγών των εικόνων που εξετάστηκαν στο κόκκινο κανάλι στην Υποπεριοχή 3

NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 3	Landsat 8 atcorr	6760	0.28	39.60	0.28	8.522	0.306	25.186
	Landsat 8 usgs	6760	0.38	40.16	0.32	8.280	0.002	0.184
	Sentinel 2	6760	0.37	40.62	0.32	8.293	0.498	40.951

Πίνακας 5.1.6: Αποτελέσματα συσχετίσεων των ζευγών των εικόνων που εξετάστηκαν στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι στην Υποπεριοχή 3

Τέλος, στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της εικόνας MODIS και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS, για το κάθε εικονοστοιχείο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Όσον αφορά τις απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι, που προκύπτουν από την αφαίρεση της MODIS από τις νέες εικόνες που παράχθηκαν, παρουσιάζονται κοινές με τις άλλες δύο υποπεριοχές που μελετήθηκαν. Συγκεκριμένα, οι διαφορές μεταξύ των καλλιεργειών ποσοτικοποιείται μεταξύ 0 και 50 μονάδων, ενώ τα σημεία που χαρακτηρίζονται από αστικό ιστό, εμφανίζουν διαφορές μεταξύ 50 έως 100 μονάδων. Συνεχίζει να παρατηρείται το γεγονός ότι, δεν διακρίνεται ο αστικός ιστός παρά μόνο εμπλεκόμενος μεταξύ των καλλιεργειών, πράγμα που δυσκολεύει την παρατήρηση και οπτικοποίηση των προβλημάτων που παρουσιάζει το μοντέλο.

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Οι διαφορές των εικόνων MODIS από τις νέες εικόνες Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2, αντίστοιχα από τις εφαρμογές των εξισώσεων των μοντέλων παλινδρόμησης στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, παρομοιάζονται με αυτές του κόκκινου καναλιού. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζονται πιο αυξημένες στα σημεία που υπάρχει αστικός ιστός, χωρίς όμως αυτός να είναι ευδιάκριτος, με μεγέθη 50 έως 100 μονάδων.

5.1.4. Σύνολο περιοχής

Όσον αφορά το σύνολο της περιοχής, πρόκειται για την συνολική αξιολόγηση των επιμέρους υποπεριοχών 1, 2 και 3, η οποία αποτελείται από τα ίδια χαρακτηριστικά.

Η συσχέτιση του προϊόντος Landsat 8 atcorr στο κόκκινο κανάλι, στο σύνολο της περιοχής, παρουσιάζεται χαμηλότερη από οποιαδήποτε από τις υποπεριοχές, φτάνοντας το 0.55, ενώ η συσχέτιση του Landsat 8 usgs εμφανίζεται να συμβαδίζει με τις υπόλοιπες υποπεριοχές και ελαφρώς χαμηλότερη με τιμή 0.41. Όμοια, η συσχέτιση του Sentinel 2 παρουσιάζεται μειωμένη σε σύγκριση με την μελέτη των επιμέρους υποπεριοχών, λαμβάνοντας την τιμή 0.56. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ο λόγος αυτής της μείωσης, συγκριτικά με τις τρεις υποπεριοχές που συσχετίστηκαν, πιθανόν να εντοπίζεται στη λήψη και της υποπεριοχής 3, η οποία έχει αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης κάποιου σύννεφου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανομοιογένεια του διαγράμματος συσχέτισης και της μεγάλης διασποράς των εικονοστοιχείων των τριών υποπεριοχών. Η κλίση (Slope) και για τις τρεις εικόνες μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ του 0.66 και του 0.71, ενώ η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 10.81 έως 12.75, για τις τρεις εικόνες. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 7.035 – 7.658, 0.097 – 0.103 και 24.508 – 28.686, αντίστοιχα.

Παράλληλα, στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι τα δεδομένα παρουσιάζονται σχεδόν τελείως ασυσχέτιστα, για την εικόνα Landsat 8 atcorr με τη MODIS, με το R^2 να προκύπτει 0.12. Η συσχέτισή της Landsat 8 usgs εικόνας με τη MODIS, υπολογίζεται και αυτή χαμηλή με τιμή 0.41. Ωστόσο, το αποτέλεσμα συσχέτισης της εικόνας Sentinel 2 προκύπτει λίγο καλύτερο με τιμή 0.50, το οποίο

αποτελεί το καλύτερο δυνατό, συγκριτικά με τα αποτελέσματα των υποπεριοχών αυτού του δορυφόρου του εγγύς υπέρυθρου καναλιού στην υποπεριοχή 3. Η κλίση (Slope) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.27 – 0.79, ενώ η τομή (Intercept) υπολογίστηκε μεταξύ των τιμών 6.16 – 17.28. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τις τρεις εικόνες μεταξύ των τιμών 9.101 – 12.070, 0.100 – 0.405 και 27.746 – 112.577, αντίστοιχα. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα, ότι η συσχέτιση του συνόλου της περιοχής μειώνεται διότι λαμβάνεται υπόψη και η υποπεριοχή 3, η οποία παρουσίαζε παντελώς ασυσχέτιστα δεδομένα και για τους τρεις δορυφόρους. Το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι πρόκειται για μία υποπεριοχή με αυξημένη την τάση σύννεφων, το οποίο καθιστά αδύνατο τον εντοπισμό οποιασδήποτε νεφέλης που μπορεί να υπάρχει στην περιοχή.

RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Σύνολο Περιοχής	Landsat 8 atcorr	77116	0.59	10.81	0.55	7.658	0.097	27.013
	Landsat 8 usgs	77116	0.71	10.82	0.62	7.035	0.088	24.508
	Sentinel 2	77116	0.66	12.75	0.56	7.573	0.103	28.686

Πίνακας 5.1.7: Αποτελέσματα συσχετίσεων των ζευγών των εικόνων που εξετάστηκαν στο κόκκινο κανάλι στο σύνολο της περιοχής

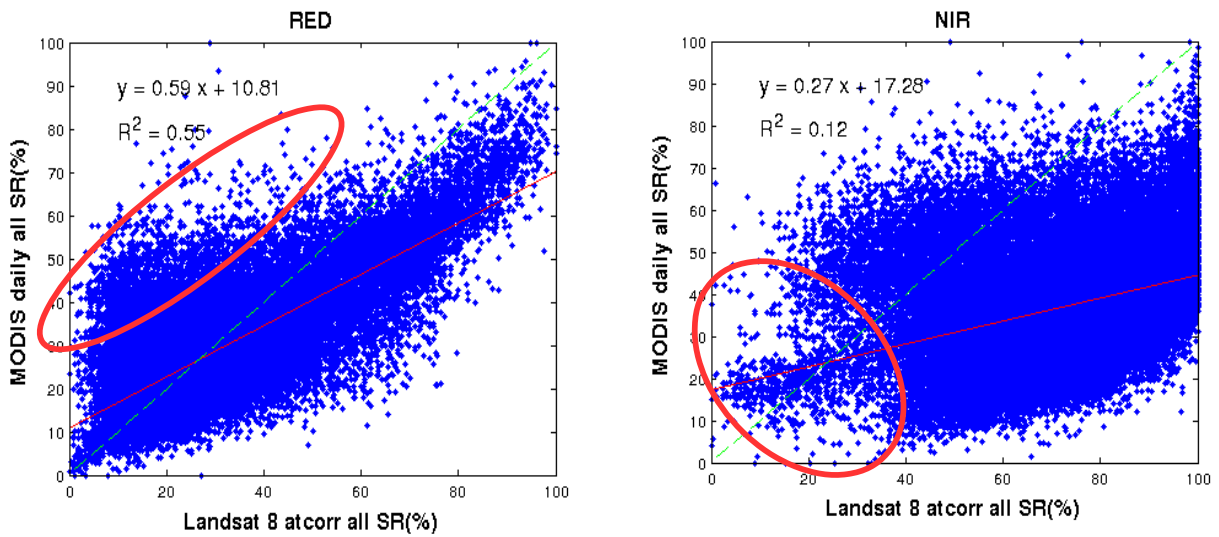
NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Σύνολο Περιοχής	Landsat 8 atcorr	77116	0.27	17.28	0.12	12.070	0.405	112.577
	Landsat 8 usgs	77116	0.76	6.16	0.41	9.859	0.122	33.906
	Sentinel 2	77116	0.79	7.60	0.50	9.101	0.100	27.746

Πίνακας 5.1.8: Αποτελέσματα συσχετίσεων των ζευγών των εικόνων που εξετάστηκαν στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι στο σύνολο της περιοχής

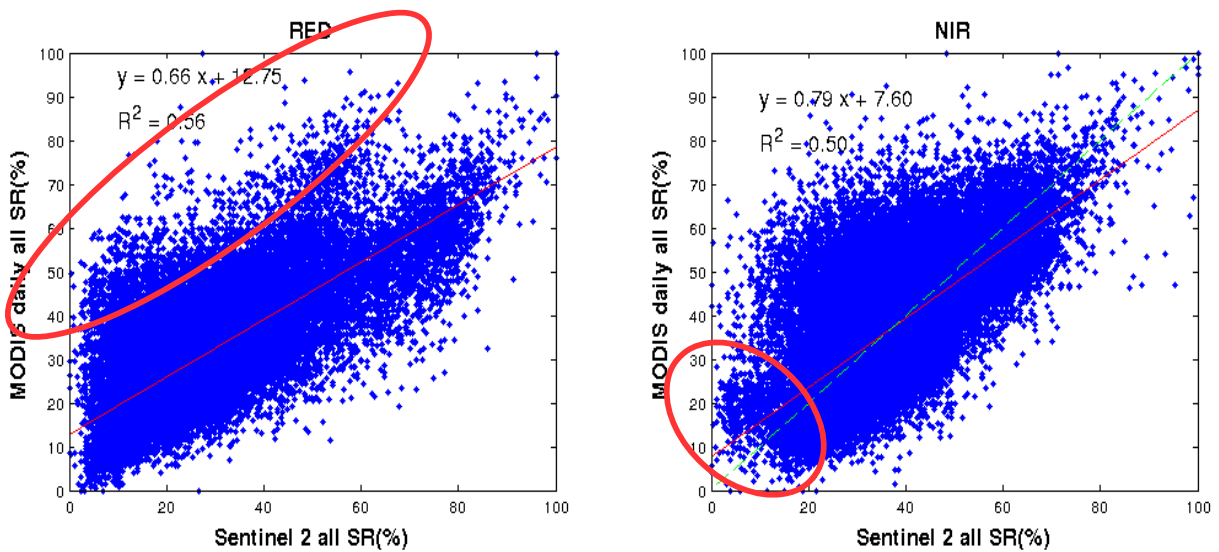
Τα διαγράμματα παλινδρόμησης όπως προέκυψαν από το μοντέλο, εμφανίζονται παρακάτω για το κόκκινο αλλά και για το εγγύς υπέρυθρο κανάλι.

Παρατηρώντας τα εικονοστοιχεία στο κάθε ένα διάγραμμα διασποράς, διακρίνονται αυτά τα οποία απέχουν αρκετά από την συνολική τάση του μοντέλου και παρουσιάζονται μέσα στις ελλείψεις. Όσον αφορά την εικόνα Landsat 8 usgs, είναι φανερό ότι το διάγραμμα συσχέτισης διαχωρίζεται, με αυτό της υποπεριοχής 2 να απέχει αρκετά από το υπόλοιπο της περιοχής, παρουσιάζοντας μία αυξημένη τάση στις τιμές ανακλαστικότητας. Σχετικά με τις άλλες δύο εικόνες, Landsat 8 atcorr και Sentinel 2, διαπιστώνεται ότι τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στις επιμέρους υποπεριοχές, παρουσιάζονται και στην συνολική εκτίμηση, με αξιοσημείωτη διαφορά, ότι το αποτέλεσμα της Landsat 8 atcorr έχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ των δύο καναλιών, κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο. Το

αποτέλεσμα της Sentinel 2 προκύπτει αναμενόμενο, λαμβάνοντας υπόψη τις συσχετίσεις των υποπεριοχών 1, 2 και 3.



Διάγραμμα 5.1.5: Διάγραμμα συσχέτισης της εικόνας MODIS και της εικόνας Landsat 8 atcorr για τα κανάλια κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται τα εικονοστοιχεία που απέχουν αρκετά και διαφοροποιούν την παλινδρόμηση. Η πράσινη γραμμή δείχνει την 1:1 συσχέτιση, ενώ η κόκκινη, τη συσχέτιση όπως προέκυψε από το μοντέλο.



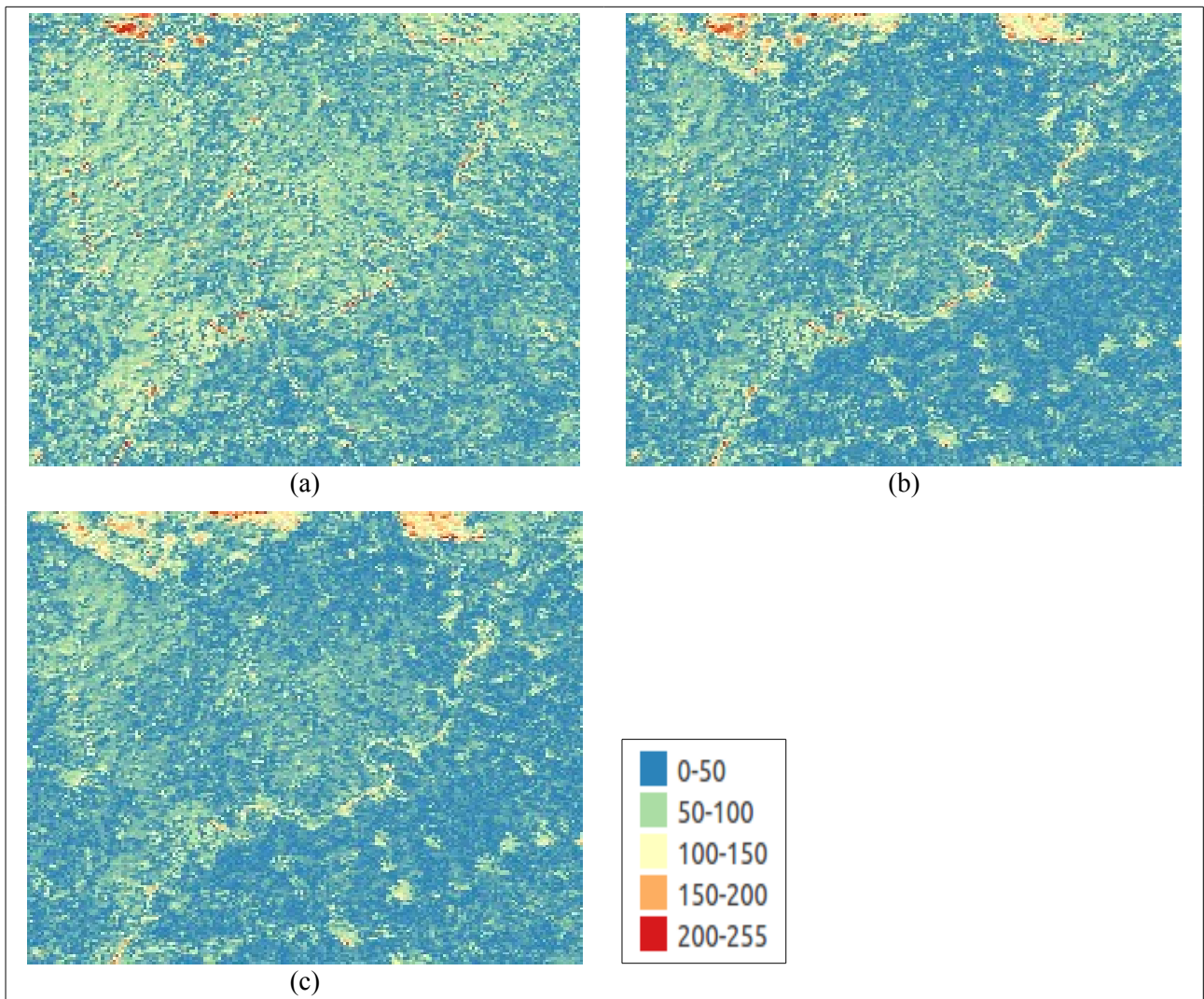
Διάγραμμα 5.1.6: Διάγραμμα συσχέτισης της εικόνας MODIS και της εικόνας Sentinel 2, για τα κανάλια κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται τα εικονοστοιχεία που απέχουν αρκετά και διαφοροποιούν την παλινδρόμηση. Η πράσινη γραμμή δείχνει την 1:1 συσχέτιση, ενώ η κόκκινη, τη συσχέτιση όπως προέκυψε από το μοντέλο.

Στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της αρχικής εικόνας και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS, για το κάθε εικονοστοιχείο. Στη μελέτη του συνόλου της περιοχής, δεν πραγματοποιήθηκε ένωση των εικόνων των υποπεριοχών, συνεπώς προέκυψε μία εικόνα διαφοράς της αρχικής από την νέα εικόνα για την κάθε υποπεριοχή, για τον κάθε δορυφόρο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Οι απόλυτες διαφορές μελετήθηκαν για την κάθε μία υποπεριοχή ξεχωριστά, εξάγοντας μία εικόνα διαφοράς για την κάθε υποπεριοχή, για το κάθε κανάλι.

- Συνεπώς, από τη συνολική αξιολόγηση, εξετάζοντας την υποπεριοχή 1 και τις διαφορές που προκύπτουν αφαιρώντας τη MODIS από τις νέες εικόνες Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2, στο κόκκινο κανάλι, προκύπτουν παρόμοιες με αυτές που προέκυψαν εξετάζοντας μεμονωμένα τις υποπεριοχές 1, 2 και 3. Πιο αναλυτικά, μπορεί να γίνει η διάκριση ότι η εικόνα διαφοράς της MODIS από τη νέα εικόνα Landsat 8 atcorr, εμφανίζει υψηλά μεγέθη διαφορών στα σημεία καλλιεργειών με αυξημένη υγρασία και σε κάποια σημεία του ποταμού Νείλου. Αντίθετα, η εικόνα διαφοράς της MODIS από τη νέα εικόνα Landsat 8 usgs στην υποπεριοχή 1, εμφανίζει τις μεγαλύτερες διαφορές μεγέθους 200 και 255 μονάδων στα σημεία ξηρών επιφανειών. Συγκεκριμένα, ο ποταμός Νείλος δεν διακρίνεται καν στην εικόνα, παρουσιάζοντας δηλαδή μηδενικές διαφορές, ενώ αρχίζει να διαμορφώνεται ο αστικός ιστός ως προς το σχήμα του με μέγεθος διαφοράς περίπου 100 μονάδων.



Εικόνα 5.1.6: Εικόνες διαφορών της εικόνας MODIS από τις νέες εικόνες που προέκυψαν, μετά την εφαρμογή των εξισώσεων του μοντέλου, από τη συνολική αξιολόγηση, για την υποπεριοχή 1 στο κόκκινο κανάλι. Landsat 8 atcorr νέα – MODIS (a), Landsat 8 usgs νέα – MODIS (b) και Sentinel 2 νέα - MODIS (c)

- Όσον αφορά τη μελέτη της υποπεριοχής 2, από τις εικόνες διαφοράς που προέκυψαν από τη συνολική αξιολόγηση του μοντέλου, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι, οι εικόνες διαφοράς της MODIS από τη νέα Landsat 8 atcorr και της MODIS από τη νέα Sentinel 2, παρουσιάζονται παρόμοιες με αυτές που προέκυψαν μελετώντας την κάθε υποπεριοχή ξεχωριστά. Αντίθετα, ενδιαφέρον παρουσιάζει η εικόνα διαφοράς της MODIS από τη νέα Landsat 8 usgs, η οποία εμφανίζει ευδιάκριτα τον αστικό ιστό με τιμές διαφορών 50 έως 150 μονάδων.
- Τέλος, παρατηρώντας τις εικόνες διαφορών που προέκυψαν από το σύνολο της περιοχής, για την υποπεριοχή 3, διακρίνεται ότι κανένα αντικείμενο δεν είναι ευδιάκριτο ως προς το σχήμα του. Ακόμη, στην εικόνα διαφοράς της MODIS από τη νέα Sentinel 2, οι διαφορές μεταξύ των καλλιιεργειών εμφανίζονται έντονα και απλώνονται σε όλη την εικόνα.

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Όπως και στο κόκκινο κανάλι, έτσι και στο εγγύς υπέρυθρο, οι απόλυτες διαφορές των νέων εικόνων με τις αρχικές, μελετήθηκαν για την κάθε μία υποπεριοχή ξεχωριστά, εξάγοντας μία εικόνα διαφοράς για την κάθε υποπεριοχή, για το κάθε κανάλι.

- Εξετάζοντας, αρχικά, την υποπεριοχή 1, παρατηρείται πως δεν μπορεί να προκύψει κάποια παρατήρηση για τις εικόνες διαφορών της εικόνας MODIS από τη νέα Landsat 8 atcorr και της MODIS από τη νέα Sentinel 2, καθώς αυτές εμφανίζουν διάχυτο “θόρυβο” σε όλη την εικόνα, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να διακριθεί κανένα αντικείμενό τους. Η εικόνα διαφοράς MODIS από τη νέα Landsat 8 usgs παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα ως προς το μοτίβο της περιοχής.
- Παρατηρώντας τις εικόνες διαφορών της υποπεριοχής 2, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι εικόνες της διαφοράς MODIS από τη νέα Landsat 8 atcorr και της διαφοράς MODIS από τη νέα Sentinel 2, μπορούν να αποδώσουν μόνο το σχήμα του ποταμού, με τιμές 100 μονάδων και κανένα άλλο αντικείμενο της εικόνας
- Τέλος, οι εικόνες διαφορών της υποπεριοχής 3 και από τα τρία ζεύγη εικόνων μελέτης, παρουσιάζουν πολύ έντονο “θόρυβο” σε όλη την εικόνα, ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 0 έως 100 μονάδες, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να διακριθεί ο αστικός ιστός που υπάρχει στη περιοχή.

5.2. Σύγκριση στη Χωρική Ανάλυση του Landsat 8 στα 30m

Η σύγκριση και ποσοτική αξιολόγηση στην χωρική ανάλυση του Landsat 8 στα 30m πραγματοποιήθηκε μεταξύ των ζευγών των εικόνων Landsat 8 (atcorr) – MODIS, Landsat 8 (usgs) – MODIS και Sentinel 2 – MODIS, τόσο στο κόκκινο όσο και στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι. Όλη η διαδικασία που ακολουθεί πραγματοποιήθηκε και ολοκληρώθηκε με την κατασκευή αλγορίθμου και χρήση του λογισμικού Matlab. Αρχικά, αξιολογήθηκαν ξεχωριστά η κάθε μία υποπεριοχή και στη συνέχεια συνολικά, ως ένα σύνολο δειγμάτων της ευρύτερης περιοχής.

Οι αρχικές εικόνες της περιοχής για τον κάθε δορυφόρο, αποκόπηκαν έτσι ώστε να προκύψει μόνο το κοινό και επικαλυπτόμενο κομμάτι τους, το οποίο θα συμμετέχει στην αξιολόγηση και σύγκριση. Λόγω του προβλήματος που παρουσιάζουν τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται στη θάλασσα στην εικόνα του MODIS, από τις αρχικές αυτές εικόνες, αποκόπηκε ένα μικρότερο μέρος αυτών, οι υποπεριοχές 1, 2 και 3.

5.2.1. Υποπεριοχή 1

Όσον αφορά την υποπεριοχή 1, πρόκειται για περιοχή χωρίς το στοιχείο της θάλασσας, με ηπειρωτική Γη, η οποία αποτελείται κυρίως από καλλιέργειες και ένα μέρος αστικού ιστού. Η εικόνα της υποπεριοχής 1, έχει διαστάσεις 1401x1501 εικονοστοιχεία με 30m ανάλυση στο έδαφος.

Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που εφαρμόστηκε, αντιστοιχίζει στον άξονα y την εικόνα MODIS και εξάγονται οι δύο βασικές παράμετροι a και b της εξίσωσης που προκύπτει από την

$y = ax + b$ (a= Slope , b = Intercept).

Τα δεδομένα των εικόνων Landsat 8 atcorr και MODIS παρουσιάζονται ασυσχέτιστα στο κόκκινο κανάλι της υποπεριοχής 1, με τιμή R^2 0.46. Το ίδιο ισχύει και με τις συσχετίσεις των εικόνων Landsat 8 usgs και MODIS, ή Sentinel 2 και MODIS, οι οποίες παρουσιάζουν ασυμφωνία που εκφράζεται με τιμές 0.46 και 0.39, αντίστοιχα.

Η κλίση (Slope) και για τα τρία ζεύγη εικόνων μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.40 και 0.98. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 12.19 έως 12.66, για τα τρία ζεύγη δεδομένων. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 7.624 – 8.119, 0.050 – 0.735 και 0.001 – 333.002, αντίστοιχα.

Παράλληλα, εξετάζοντας το εγγύς υπέρυθρο κανάλι, προκύπτει ασυμφωνία μεταξύ των εικόνων Landsat 8 atcorr και Sentinel 2, με τιμή R^2 0.28. Ομοίως, για τις εικόνες Landsat 8 usgs και Sentinel 2, η ασυμφωνία τους ποσοτικοποιείται με τιμή R^2 0.35. Τέλος, τα δεδομένα των εικόνων MODIS και Sentinel 2 εμφανίζονται ασυσχέτιστα, λαμβάνοντας τιμή ασυμφωνίας 0.31.

Η κλίση (Slope) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.26 – 0.63, ενώ η τομή (Intercept) μεταξύ των τιμών 7.63 – 11.51. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τα τρία ζεύγη εικόνων μεταξύ των τιμών 7.679 – 8.130, 0.090 – 0.600 και 131.041 – 869.872, αντίστοιχα.

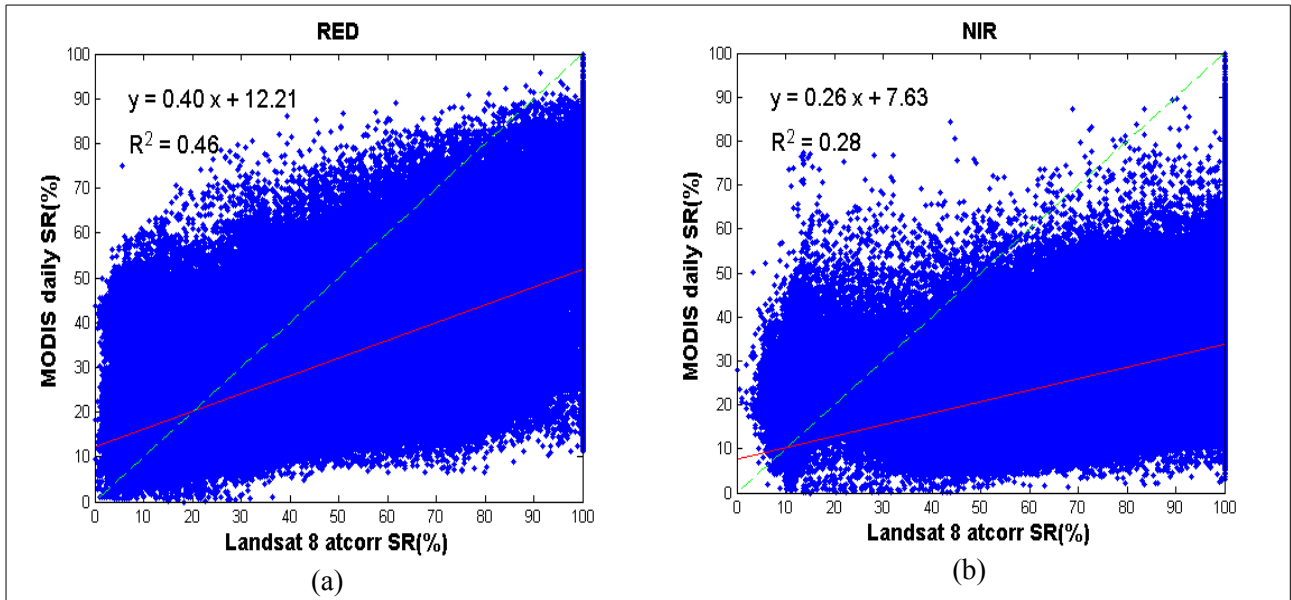
RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
<i>Υποπεριοχή 1</i>	Landsat 8 atcorr	2102901	0.40	12.21	0.46	7.627	0.230	333.002
	Landsat 8 usgs	2102901	0.98	12.19	0.46	7.624	0.050	72.208
	Sentinel 2	2102901	0.91	12.66	0.39	8.119	0.735	0.001

Πίνακας 5.2.1: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο κόκκινο κανάλι στην Υποπεριοχή 1

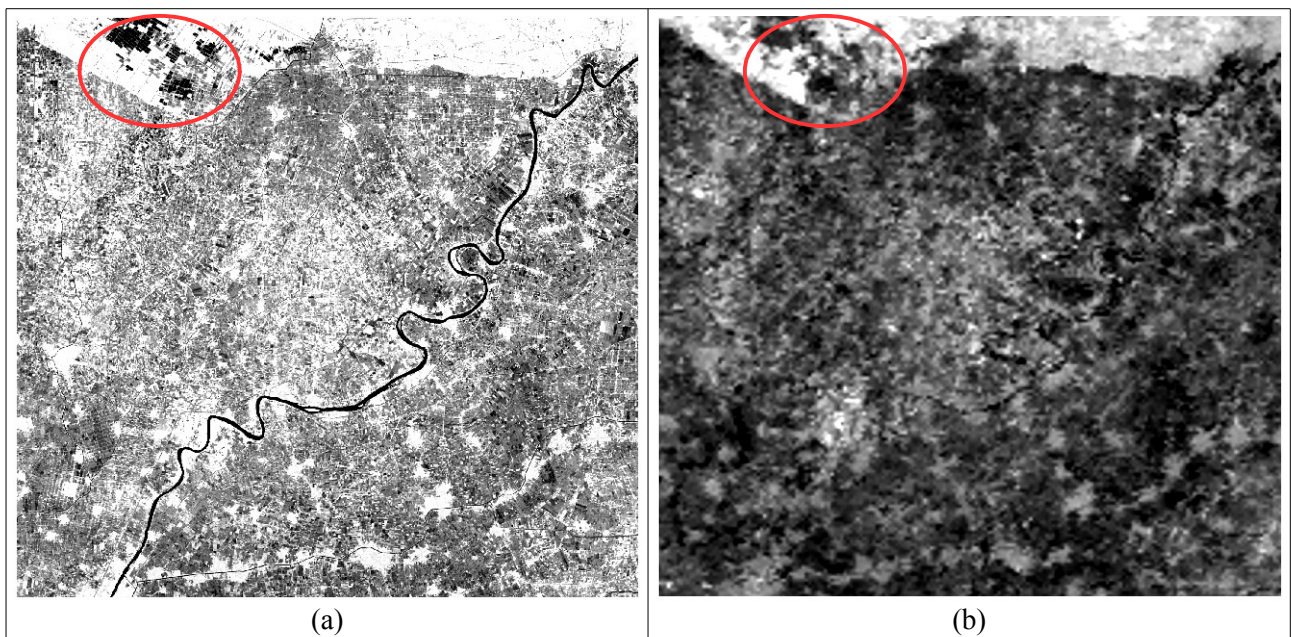
NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
<i>Υποπεριοχή 1</i>	Landsat 8 atcorr	2102901	0.26	7.63	0.28	8.130	0.594	860.620
	Landsat 8 usgs	2102901	0.63	10.34	0.35	7.679	0.090	131.041
	Sentinel 2	2102901	0.60	11.51	0.31	7.959	0.600	869.872

Πίνακας 5.2.2: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι στην Υποπεριοχή 1

Στο διάγραμμα συσχέτισης των εικόνων Landsat 8 atcorr και Sentinel 2 παρατηρείται η μείωση της R^2 στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, σε σύγκριση με το κόκκινο περίπου στο μισό. Το γεγονός αυτό, πιθανώς οφείλεται στην μεγάλη διαφορά φωτεινότητας που παρουσιάζουν οι δύο εικόνες, με την Landsat 8 atcorr να παρουσιάζει πολύ αυξημένες τιμές. Αν παρατηρηθούν άλλωστε και τα δύο διαγράμματα του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου καναλιού, διακρίνεται μία συνολική μετατόπιση της ακτινοβολίας των εικονοστοιχείων του εγγύς υπέρυθρου καναλιού προς τα κάτω.

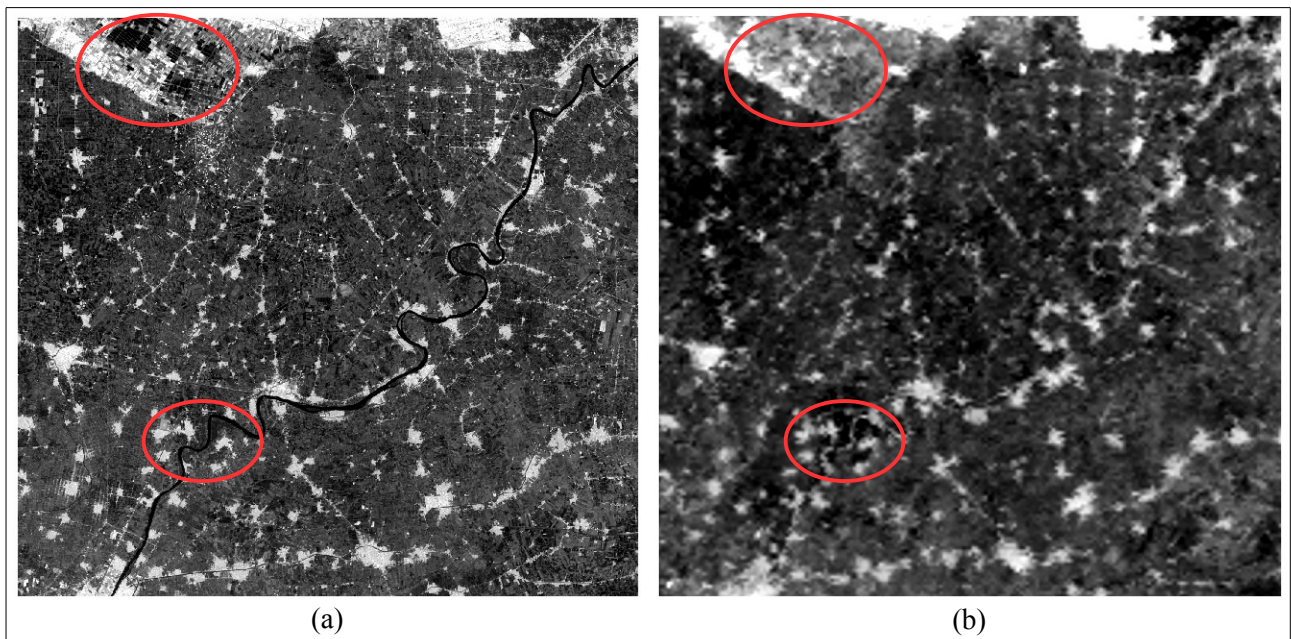


Διάγραμμα 5.2.1 : Διάγραμμα συσχέτισης της εικόνας Landsat 8 atcorr και της εικόνας MODIS, στο κόκκινο (a) και στο εγγύς υπέρυθρο (b) κανάλι της Υποπεριοχής 1. Η πράσινη γραμμή δείχνει την 1:1 συσχέτιση, ενώ η κόκκινη, τη συσχέτιση όπως προέκυψε από το μοντέλο.

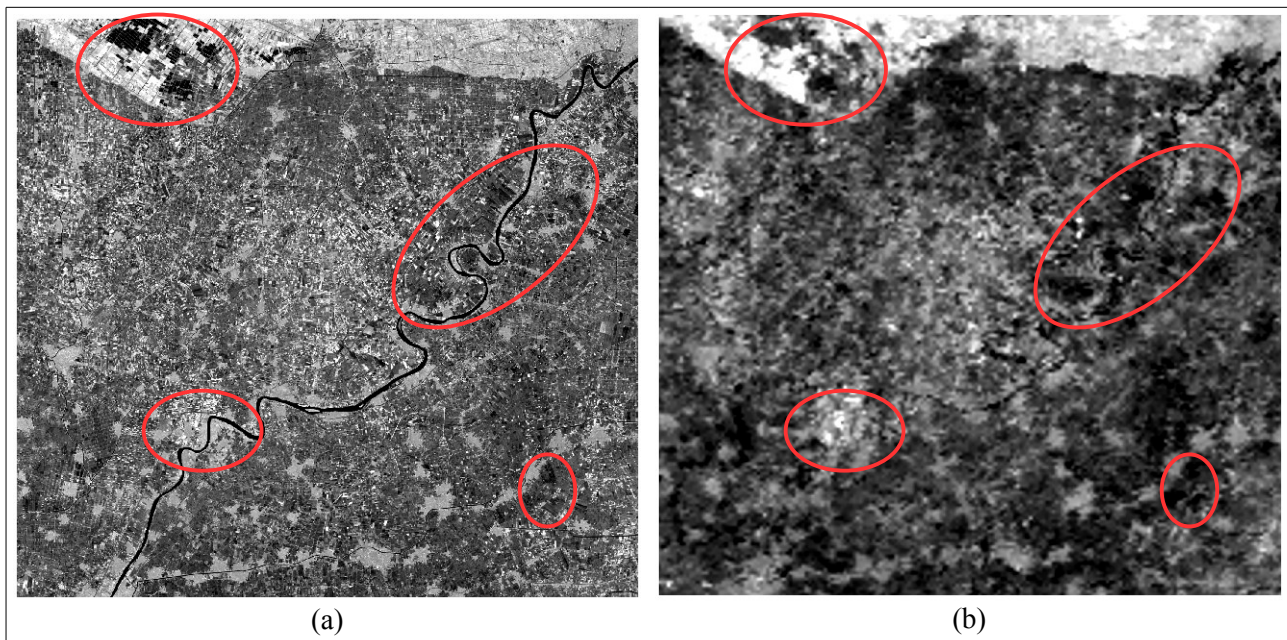


Εικόνα 5.2.1: Αρχικές εικόνες της υποπεριοχής 1, οι Landsat 8 atcorr (a) και MODIS (b), στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι. Είναι εμφανής η διαφορά στη φωτεινότητα μεταξύ των δύο εικόνων

Η ασυμφωνία τόσο μεταξύ των εικόνων Landsat 8 usgs και MODIS, όσο και μεταξύ των εικόνων Sentinel 2 και MODIS, στο κόκκινο αλλά και εγγύς υπέρυθρο κανάλι, αποδίδεται στο γεγονός ότι κατά την διαδικασία της αλλαγής κλίμακας, η εικόνα MODIS παρουσιάζει αρκετά σφάλματα και προβλήματα, χωρικά, τα οποία αποδίδονται στην έλλειψη πληροφορίας της MODIS συγκριτικά με τις άλλες δύο εικόνες που έχουν υψηλότερη ανάλυση.



Εικόνα 5.2.2: Αρχικές εικόνες που συμμετέχουν στο μοντέλο παλινδρόμησης, της υποπεριοχής 1, οι Landsat 8 usgs (a) και MODIS (b), στο κόκκινο κανάλι. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται έντονα τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν κατά την αλλαγή της κλίμακας στην εικόνα MODIS. Στα εικονοστοιχεία αυτά αποδίδεται η ασυμφωνία των δύο αυτών εικόνων, όπου πρόκειται για σημεία καλλιερχειών με αυξημένο το ποσοστό υγρασίας και για σημεία με το στοιχείο του νερού



Εικόνα 5.2.3: Αρχικές εικόνες που συμμετέχουν στο μοντέλο παλινδρόμησης, της υποπεριοχής 1, οι Sentinel 2 (a) και MODIS (b), στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται έντονα τα προβλήματα στην απεικόνιση που οφείλονται στη διαφορετική χωρική ανάλυση των δύο εικόνων. Στα εικονοστοιχεία αυτά αποδίδεται η ασυμφωνία των δύο εικόνων, όπου πρόκειται για σημεία καλλιεργείων με αυξημένο το ποσοστό υγρασίας και για σημεία με το στοιχείο του νερού

Τέλος, στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της εικόνας MODIS και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS, για το κάθε εικονοστοιχείο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Εξετάζοντας το κόκκινο κανάλι της υποπεριοχής 1, οι εικόνες διαφορών της MODIS από τις νέες που προέκυψαν εφαρμόζοντας τις εξισώσεις του μοντέλου παλινδρόμησης, παρουσιάζονται γενικά χαμηλές στο σύνολο της εικόνας, όπως συνέβη και στη μελέτη της ίδιας υποπεριοχής στη χωρική ανάλυση του MODIS. Αναλυτικότερα, το μόνο που μπορεί να διακριθεί στην εικόνα είναι ο Νείλος ποταμός, ο οποίος παρουσιάζει διαφορές των 100 έως 150 μονάδων. Αυτό παρατηρείται και στις τρεις εικόνες διαφορών, δηλαδή, στην εικόνα διαφοράς της MODIS από τη νέα Landsat 8 atcorr, της MODIS από τη νέα Landsat 8 usgs και της MODIS από τη νέα Sentinel 2. Επιπρόσθετα, τα σημεία καλλιεργείων αυξημένης υγρασίας, εμφανίζουν μηδενικές διαφορές. Τέλος, κάποια σημεία που θα μπορούσαν ακόμη να διαχωριστούν ως προς το σχήμα είναι οι ξηρές επιφάνειες εδάφους, ή ο αστικός ιστός, οι οποίες εμφανίζουν διαφορές 100 μονάδων.

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Παρατηρώντας τις διαφορές που προκύπτουν από τις αφαιρέσεις των εικόνων MODIS από τις νέες, εξαρτημένες από την MODIS, εικόνες Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 στην υποπεριοχή 2, προκύπτει το συμπέρασμα ότι είναι όμοιες ως προς την δομή και κατανομή των

μεγεθών τους, με τις αντίστοιχες διαφορές του κόκκινου καναλιού. Αξιοσημείωτο παραμένει το γεγονός ότι, και στις τρεις εικόνες, οι διαφορές μεταξύ των καλλιεργειών, κάνουν αδύνατη τη διάκριση κάποιου αντικειμένου σε αυτή, πέρα από το διαχωρισμό κάποιων καλλιεργειών με πολύ ή καθόλου υγρασία, καθώς και του ποταμού, οποίος παρουσιάζει διαφορές μεγέθους 100 μονάδων.

5.2.2. Υποπεριοχή 2

Όσον αφορά την υποπεριοχή 2, πρόκειται για περιοχή με ηπειρωτική Γη, σε απόσταση από την παράκτια ζώνη, η οποία αποτελείται κυρίως από καλλιέργειες και αστικό ιστό. Η εικόνα της υποπεριοχής 2, έχει διαστάσεις 901x2301 εικονοστοιχεία με 30m ανάλυση στο έδαφος.

Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που εφαρμόστηκε, αντιστοιχίζει στον άξονα y την εικόνα Sentinel 2 και εξάγονται οι δύο βασικές παράμετροι a και b της εξίσωσης που προκύπτει από την $y = ax + b$ (a= Slope , b = Intercept).

Συσχετίζοντας τα δεδομένα Landsat 8 atcorr και MODIS, παρουσιάζεται διαφωνία στο κόκκινο κανάλι, με το R^2 να φτάνει το 0.45 στην υποπεριοχή 2. Αντίστοιχα, διαφωνία παρουσιάζουν και τα δεδομένα Landsat 8 usgs και MODIS με το R^2 να λαμβάνει την τιμή 0.46. Στην περίπτωση της συσχέτισης της Sentinel 2 εικόνας με την MODIS, η διαφωνία υπολογίζεται με ακόμα χειρότερη τιμή 0.38.

Η κλίση (Slope) και για τα τρία ζεύγη εικόνων μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.42 και 0.93. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 16.60 έως 16.71, για τα τρία ζεύγη δεδομένων. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 7.270 – 7.772, 0.065 – 0.715 και 0.001 – 304.514, αντίστοιχα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των συσχετίσεων στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, εμφανίζεται διαφωνία μεταξύ όλων των ζευγών των εικόνων. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα της Landsat 8 atcorr και της MODIS παρουσιάζουν διαφωνία R^2 0.32. Ομοίως, τα δεδομένα των Landsat 8 usgs και MODIS και των εικόνων Sentinel 2 και MODIS, εμφανίζουν διαφωνία με τιμή R^2 0.36 και 0.31, αντίστοιχα.

Η κλίση (Slope) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.25 – 0.54, ενώ η τομή (Intercept) μεταξύ των τιμών 23.23 – 25.98. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τα τρία ζεύγη εικόνων μεταξύ των τιμών 6.726 – 6.960, 0.088 – 0.632 και 127.198 – 910.342, αντίστοιχα.

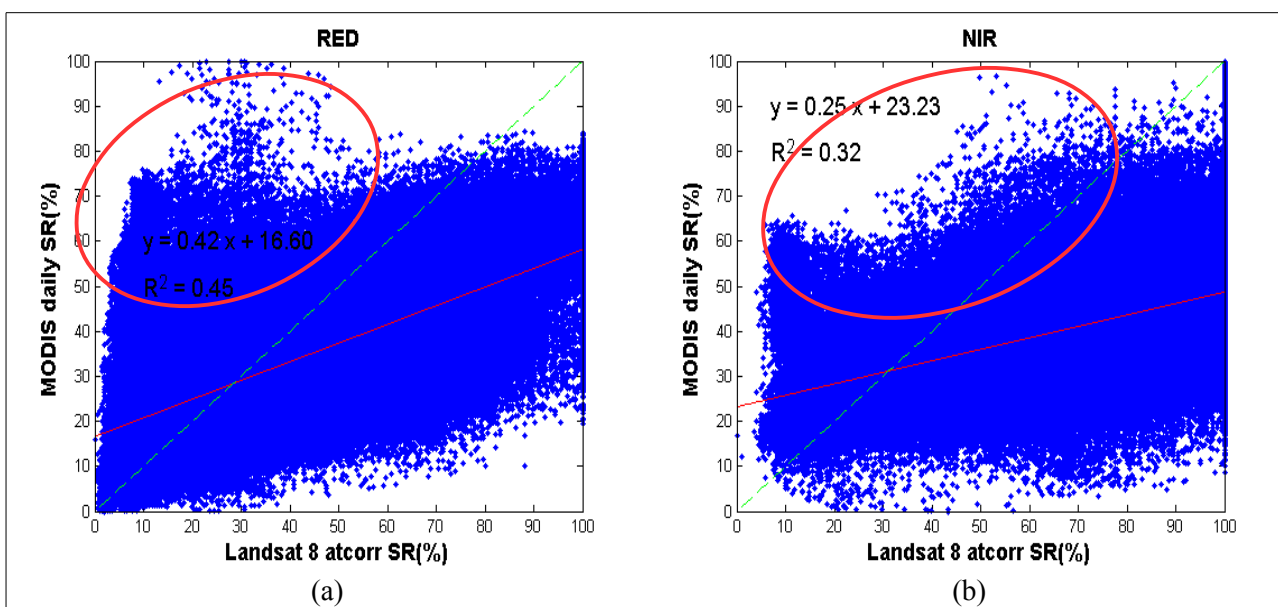
RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 2	Landsat 8 atcorr	2073201	0.42	16.60	0.45	7.288	0.212	304.514
	Landsat 8 usgs	2073201	0.93	16.71	0.46	7.270	0.065	93.235
	Sentinel 2	2073201	0.85	16.71	0.38	7.772	0.715	0.001

Πίνακας 5.2.3: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο κόκκινο κανάλι στην Υποπεριοχή 2

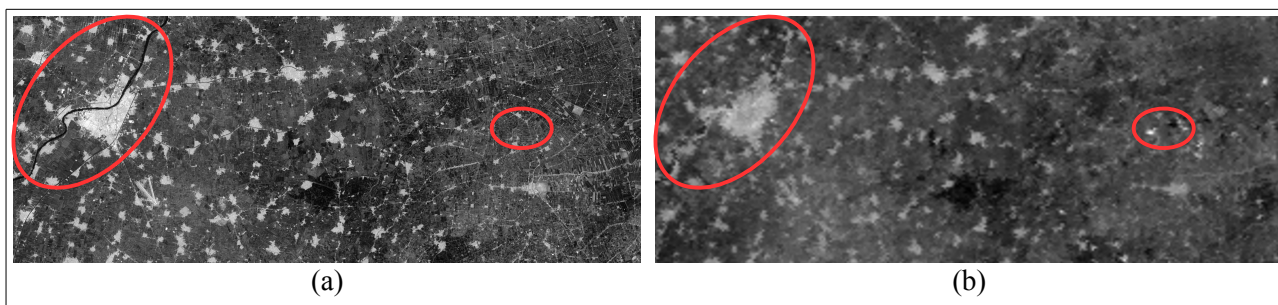
NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 2	Landsat 8 atcorr	2073201	0.25	23.23	0.32	6.894	0.534	768.435
	Landsat 8 usgs	2073201	0.54	25.28	0.36	6.726	0.088	127.198
	Sentinel 2	2073201	0.54	25.98	0.31	6.960	0.632	910.342

Πίνακας 5.2.4: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι στην Υποπεριοχή 2

Στο διάγραμμα συσχέτισης των εικόνων Landsat 8 atcorr και MODIS παρατηρείται η μείωση της R² στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, σε σύγκριση με το κόκκινο, όπως συνέβη και στη μελέτη της υποπεριοχής 1. Το γεγονός αυτό, αποδίδεται ομοίως, στην αυξημένη φωτεινότητα που παρουσιάζει η εικόνα Landsat 8 atcorr, σε σύγκριση με την MODIS με την οποία συγκρίνεται.



Διάγραμμα 5.2.4: Διάγραμμα συσχέτισης της εικόνας Landsat 8 atcorr και της εικόνας MODIS, στο κόκκινο (a) και στο εγγύς υπέρυθρο (b) κανάλι της υποπεριοχής 2. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται τα εικονοστοιχεία που οφείλονται στη διαφωνία των δύο εικόνων. Η πράσινη γραμμή δείχνει την 1:1 συσχέτιση, ενώ η κόκκινη, τη συσχέτιση όπως προέκυψε από το μοντέλο



Εικόνα 5.2.4: Διάγραμμα συσχέτισης της εικόνας Landsat 8 atcorr (a) και της εικόνας MODIS (b), στο κόκκινο κανάλι της υποπεριοχής 2. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται

Όπως είναι φανερό, μέρος της διαφωνίας των εικόνων Landsat 8 atcorr και MODIS διακρίνονται από τα εικονοστοιχεία που απέχουν αρκετά από το σύνολο των υπολοίπων στο διάγραμμα. Τα εικονοστοιχεία αυτά εντοπίζονται στην εικόνα σε ορισμένα σημεία της περιοχής και συγκεκριμένα εκεί που εντοπίζεται το στοιχείο του νερού στον Νείλο. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται μία διαφορά στη φωτεινότητα, με την εικόνα Landsat 8 atcorr να λαμβάνει υψηλότερες τιμές, ιδιαίτερα σε σημεία υψηλών τιμών ακτινοβολίας εδάφους.

Όμοια, το ίδιο ισχύει και για τα ζεύγη των Landsat 8 usgs – MODIS και Sentinel 2 – MODIS, ως προς τα προβλήματα που δημιουργούνται κατά την αλλαγή της κλίμακας, ειδικά στην εικόνα MODIS, η οποία δεν περιέχει τόση πληροφορία, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες.

Τέλος, στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της εικόνας MODIS και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS, για το κάθε εικονοστοιχείο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

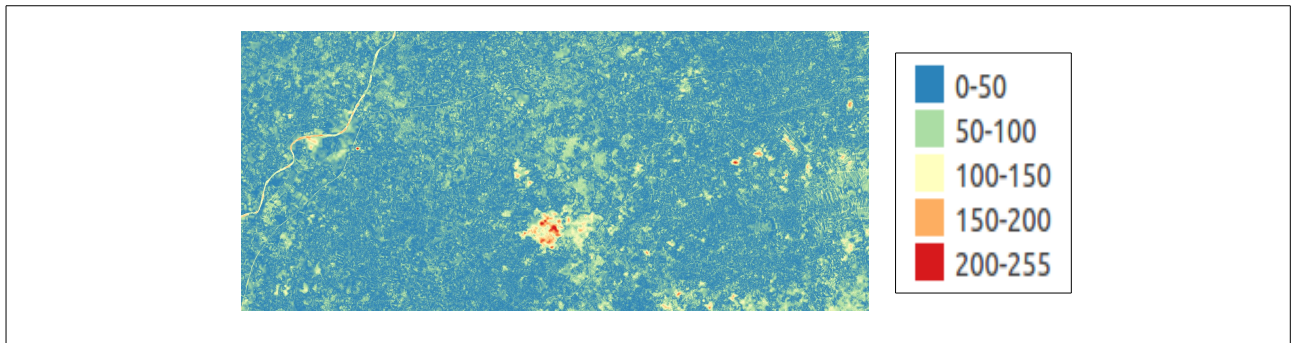
Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Εξετάζοντας το κόκκινο κανάλι της υποπεριοχής 2, οι εικόνες διαφορών της MODIS από τις νέες που προέκυψαν εφαρμόζοντας τις εξισώσεις του μοντέλου παλινδρόμησης, παρουσιάζονται στα ίδια μεγέθη με την υποπεριοχή 1 και για τις τρεις εικόνες διαφορών. Αναλυτικότερα, οι διαφορές εμφανίζονται στις καλλιέργειες μεταξύ των τιμών 0 έως 100. Εκτός αυτού, στα σημεία νερού από τον Νείλο ποταμό, οι διαφορές κυμαίνονται μεταξύ 100 έως 200 μονάδων. Τέλος, παρατηρείται ότι στην εικόνα διαφοράς της εικόνας MODIS από τη νέα εικόνα Landsat 8 usgs, τα μεγέθη των διαφορών στα σημεία του αστικού ιστού, βοηθούν στη διάκριση αυτού από τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία, λαμβάνοντας τιμή 50 ή 100 μονάδων.

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Παρατηρώντας τις διαφορές που προκύπτουν από τις αφαιρέσεις των εικόνων MODIS από τις νέες, εξαρτημένες από την MODIS, εικόνες Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 στην υποπεριοχή 2, προκύπτει το συμπέρασμα ότι είναι όμοιες ως προς την δομή και κατανομή των μεγεθών τους, με τις αντίστοιχες διαφορές της υποπεριοχής 1. Αξιοσημείωτο παραμένει το γεγονός ότι, στις διαφορές της εικόνας MODIS από τη Landsat 8 atcorr, τα σημεία καλλιεργειών με αυξημένη υγρασία παρουσιάζονται με τιμή 200 έως 255 μονάδων, κάνοντας τα ευδιάκριτα. Ακόμη, το στοιχείο του νερού, που εκφράζεται με την παρουσία του ποταμού εκφράζεται με τιμή διαφορών 100 έως 200 μονάδων. Τέλος, και σε αυτή την περίπτωση, ο αστικός ιστός είναι δύσκολο να

διακριθεί στην εικόνα.



Εικόνα 5.2.5: Εικόνα διαφοράς της εικόνας MODIS από τη νέα εικόνα Landsat 8 atcorr, που προέκυψε μετά την εφαρμογή των εξισώσεων του μοντέλου, για την υποπεριοχή 2 στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι

5.2.3. Υποπεριοχή 3

Όσον αφορά την υποπεριοχή 3, πρόκειται για περιοχή με ηπειρωτική Γη, σε απόσταση από την παράκτια ζώνη, η οποία αποτελείται κυρίως από κάποιες καλλιέργειες και αστικό ιστό. Η εικόνα της υποπεριοχής 3 είναι μικρότερη σε σύγκριση με τις άλλες δύο που μελετήθηκαν, με διαστάσεις 501x801 εικονοστοιχεία με 30m ανάλυση στο έδαφος. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η συγκεκριμένη υποπεριοχή ήταν δύσκολη στην περικοπή, καθώς οι αρχικές εικόνες παρουσίαζαν αυξημένη νεφοκάλυψη και έπρεπε να γίνει προσεκτικός και εκτενής έλεγχος για σύννεφα.

Όπως και στις προηγούμενες, έτσι και σε αυτή την υποπεριοχή, όλα τα ζεύγη συγκρίσεων των εικόνων, δηλαδή Landsat 8 atcorr – MODIS, Landsat 8 usgs – MODIS και Sentinel 2 – MODIS, παρουσιάζουν διαφωνία. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα τόσο της Landsat 8 atcorr με τη MODIS, όσο και της Landsat 8 usgs με τη MODIS παρουσιάζονται ασυσχέτιστα με R^2 0.33. Όμοια, η Sentinel 2 με τη MODIS παρουσιάζει διαφωνία με τιμή 0.28.

Η κλίση (Slope) και για τα τρία ζεύγη εικόνων μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.45 και 0.62. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 22.10 έως 24.12, για τα τρία ζεύγη δεδομένων. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 9.636 – 9.987, 0.090 – 0.742 και 56.777 – 470.249, αντίστοιχα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των συσχετίσεων στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, παρουσιάζονται και εδώ ασυσχέτιστα με τις χειρότερες τιμές από όλες τις προηγούμενες υποπεριοχές. Η εικόνα Landsat 8 atcorr ως προς τη MODIS, καθώς και η Landsat 8 usgs ως προς τη MODIS παρουσιάζουν τιμές R^2 0.12. Όμοια, η εικόνα Sentinel 2 ως προς την εικόνα MODIS παρουσιάζει διαφωνία με R^2 0.11. Τέλος, η πλήρης ασυμφωνία των εικόνων MODIS και Sentinel 2 παραμένει με ακόμα μικρότερη τιμή R^2 ίση με 0.11.

Η κλίση (Slope) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.17 – 0.33, ενώ η τομή (Intercept) μεταξύ των τιμών 40.48 – 43.14. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τα τρία ζεύγη εικόνων μεταξύ των τιμών 8.461 – 8.508, 0.112 – 0.666 και 70.840 – 421.994, αντίστοιχα.

RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 3	Landsat 8 atcorr	401301	0.45	22.44	0.33	9.662	0.159	100.612
	Landsat 8 usgs	401301	0.62	22.10	0.33	9.636	0.090	56.777
	Sentinel 2	401301	0.59	24.12	0.28	9.987	0.742	470.249

Πίνακας 5.2.5: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο κόκκινο κανάλι στην Υποπεριοχή 3

NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 3	Landsat 8 atcorr	401301	0.17	40.48	0.12	8.475	0.642	406.743
	Landsat 8 usgs	401301	0.33	42.48	0.12	8.461	0.112	70.840
	Sentinel 2	401301	0.32	43.14	0.11	8.508	0.666	421.994

Πίνακας 5.2.6 : Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι στην Υποπεριοχή 3

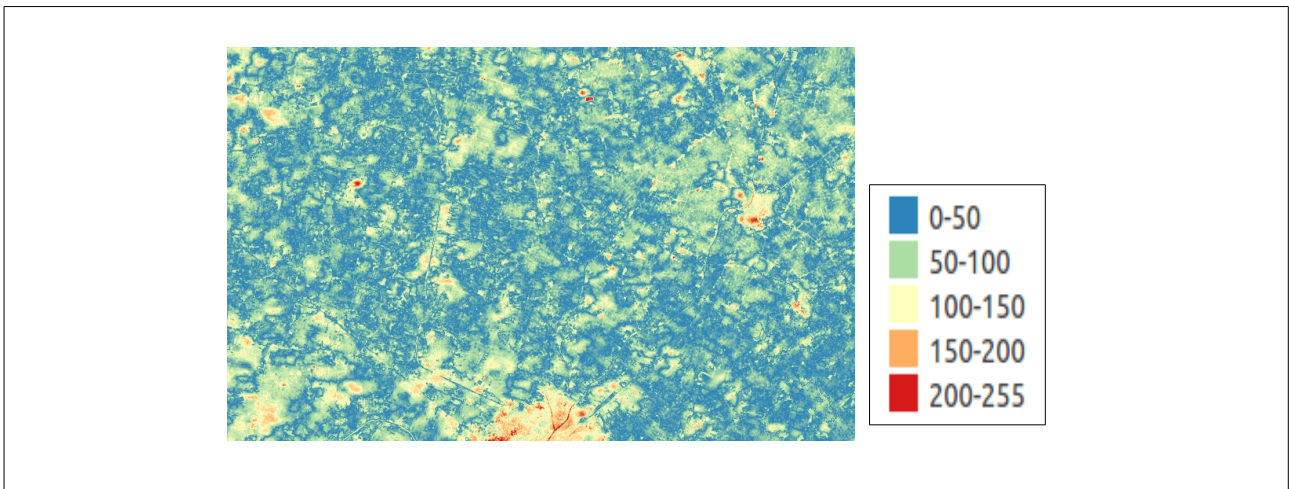
Η ασυμφωνία της σύγκρισης των εικόνων Sentinel 2 και MODIS, εντοπίζεται στη δημιουργία αρκετών σφαλμάτων στην εικόνα MODIS κατά τη διαδικασία της αλλαγής κλίμακας. Ακόμη, επειδή η υποπεριοχή 3 είναι πιθανό να περιέχει την ύπαρξη κάποιας νεφέλης ή σύννεφου, σε αυτήν παρατηρούνται οι πιο μικρές τιμές της R², ιδίως στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι.

Τέλος, στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της εικόνας MODIS και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS, για το κάθε εικονοστοιχείο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Όσον αφορά τις απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι, που προκύπτουν από την αφαίρεση της MODIS από τις νέες εικόνες που παράχθηκαν, παρουσιάζονται κοινές με τις άλλες δύο υποπεριοχές που μελετήθηκαν. Συγκεκριμένα, οι διαφορές μεταξύ των καλλιιεργειών ποσοτικοποιείται μεταξύ 0 και 100 μονάδων, ενώ τα σημεία που χαρακτηρίζονται από αστικό ιστό, εμφανίζουν διαφορές μεταξύ 50 έως 100 μονάδων, με εξαίρεση κάποια σημεία στα οποία οι διαφορές αγγίζουν την τιμή των 150 έως 255 μονάδων και τα οποία βοηθούν στο διαχωρισμό του αστικού ιστού σε ένα μικρό μέρος του. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι τρεις εικόνες διαφορών (νέα Landsat 8 atcorr – MODIS, νέα

Landsat 8 usgs – MODIS και νέα Sentinel 2 – MODIS) παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά ως προς το πως παρουσιάζονται οι διαφορές αυτές.



Εικόνα 5.2.6: Εικόνα διαφοράς της εικόνας MODIS από τη νέα εικόνα Landsat 8 usgs, που προέκυψε μετά την εφαρμογή των εξισώσεων του μοντέλου, για την υποπεριοχή 3 στο κόκκινο κανάλι

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Οι διαφορές των εικόνων MODIS από τις νέες εικόνες Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2, αντίστοιχα από τις εφαρμογές των εξισώσεων των μοντέλων παλινδρόμησης στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, παρομοιάζονται με αυτές του κόκκινου καναλιού στα σημεία καλλιεργειών της εικόνας. Πιο συγκεκριμένα, στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι δεν είναι ευδιάκριτο κανένα σημείο του αστικού ιστού και οι διαφορές λαμβάνουν τιμές από 0 έως 100 μονάδες.

5.2.4. Σύνολο περιοχής

Όσον αφορά το σύνολο της περιοχής, πρόκειται για την συνολική αξιολόγηση των επιμέρους υποπεριοχών 1, 2 και 3, η οποία αποτελείται από τα ίδια χαρακτηριστικά.

Εξετάζοντας το κόκκινο κανάλι, τα δεδομένα της εικόνας Landsat 8 atcorr υπολογίζονται να είναι σε διαφωνία με την εικόνα MODIS, με το R^2 να λαμβάνει τιμή ίση με 0.38. Το ίδιο ισχύει με την συσχέτιση της Landsat 8 usgs με την MODIS, όπου η διαφωνία τους ποσοτικοποιείται με τιμή 0.46. Τέλος, όπως και στη μελέτη των επιμέρους υποπεριοχών, η εικόνα Sentinel 2 με την MODIS παρουσιάζουν ασυμφωνία με τιμή 0.39.

Η κλίση (Slope) και για τα τρία ζεύγη εικόνων μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.40 και 0.91. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 15.00 έως 15.46, για τα τρία ζεύγη δεδομένων. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 7.957 – 8.469, 0.113 – 0.155 και 240.635 – 330.825, αντίστοιχα.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα, ότι η συσχέτιση του συνόλου της περιοχής μειώνεται διότι λαμβάνεται υπόψη και η υποπεριοχή 3, η οποία παρουσίαζε τις χαμηλότερες τιμές συσχέτισης και για τους τρεις δορυφόρους. Το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι πρόκειται για μία υποπεριοχή με αυξημένη την τάση σύννεφων, το οποίο καθιστά

αδύνατο τον εντοπισμό οποιασδήποτε νεφέλης που μπορεί να υπάρχει στην περιοχή.

Όσον αφορά το εγγύς υπέρυθρο κανάλι και τις συγκρίσεις μεταξύ των εικόνων, γίνεται αντιληπτό ότι, οι διαφωνίες ενισχύονται και η τιμή του R^2 μειώνεται ακόμη περισσότερο, όπως συνέβαινε και στη μελέτη των υποπεριοχών ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, η σύγκριση της Landsat 8 atcorr με τη MODIS εκφράζεται με τιμή R^2 0.11, ενώ η σύγκριση της Landsat 8 usgs με τη MODIS εκφράζεται με τιμή R^2 0.27. Τέλος, η διαφωνία της Sentinel 2 με τη MODIS ποσοτικοποιείται με τιμή R^2 0.24.

RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
Σύνολο Περιοχής	Landsat 8 atcorr	4577403	0.40	15.46	0.38	8.469	0.113	240.635
	Landsat 8 usgs	4577403	0.91	15.11	0.46	7.957	0.155	330.825
	Sentinel 2	4577403	0.88	15.00	0.39	8.400	0.151	323.801

Πίνακας 5.2.7: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο κόκκινο κανάλι στο σύνολο της περιοχής

NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
Σύνολο Περιοχής	Landsat 8 atcorr	4577403	0.21	20.33	0.11	11.690	0.401	857.640
	Landsat 8 usgs	4577403	0.69	15.99	0.27	10.550	0.121	259.102
	Sentinel 2	4577403	0.68	16.91	0.24	10.760	0.128	274.598

Πίνακας 5.2.8: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι στο σύνολο της περιοχής

Στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της αρχικής εικόνας και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS, για το κάθε εικονοστοιχείο. Στη μελέτη του συνόλου της περιοχής, δεν πραγματοποιήθηκε ένωση των εικόνων των υποπεριοχών, συνεπώς προέκυψε μία εικόνα διαφοράς της αρχικής από την νέα εικόνα για την κάθε υποπεριοχή, για τον κάθε δορυφόρο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Οι απόλυτες διαφορές μελετήθηκαν για την κάθε μία υποπεριοχή ξεχωριστά, εξάγοντας μία εικόνα διαφοράς για την κάθε υποπεριοχή, για το κάθε κανάλι.

- Συνεπώς, από τη συνολική αξιολόγηση της περιοχής, εξετάζοντας την υποπεριοχή 1 και τις διαφορές που προκύπτουν αφαιρώντας τη MODIS από τις νέες εικόνες Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2, στο κόκκινο κανάλι, προκύπτουν παρόμοιες με αυτές που προέκυψαν εξετάζοντας μεμονωμένα τις υποπεριοχές 1, 2 και 3. Πιο αναλυτικά, παρατηρείται ότι τα σημεία καλλιεργειών με αυξημένη υγρασία, οι διαφορές και στις τρεις εικόνες διαφορών εμφανίζονται μηδενικές. Εκτός αυτού, ο αστικός ιστός δεν μπορεί να διακριθεί και μόνο το ποτάμι αναγνωρίζεται από τα αντικείμενα της εικόνας, καθώς παρουσιάζει τιμές διαφορών ίσες με 50 ή 100 μονάδες. Τέλος, στο επάνω μέρος της εικόνας που υπάρχουν κάποιες εκτάσεις με ξηρά εδάφη, οι διαφορές λαμβάνουν την τιμή των 50 ή 100 μονάδων. Τα παραπάνω, προκύπτουν και για τις τρεις εικόνες διαφοράς που παράχθηκαν.
- Όσον αφορά τη μελέτη της υποπεριοχής 2, από τις εικόνες διαφοράς που προέκυψαν από την αξιολόγηση της συνολικής περιοχής του μοντέλου, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι, οι εικόνες διαφοράς της MODIS από τις νέες εικόνες Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2, παρουσιάζονται παρόμοιες με αυτές που προέκυψαν μελετώντας την κάθε υποπεριοχή ξεχωριστά. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, ο ποταμός που υπάρχει στην εικόνα, παρουσιάζει υψηλές διαφορές μεγέθους 100 έως 200 μονάδων. Τέλος, στις τρεις εικόνες διαφορών υπάρχει μία μέτρια διάκριση αστικού ιστού με μέγεθος διαφορών 50 έως 100 μονάδες.
- Τέλος, παρατηρώντας τις εικόνες διαφορών που προέκυψαν από το σύνολο της περιοχής, για την υποπεριοχή 3, διακρίνεται ότι στις εικόνες διαφορών της MODIS από τη νέα Landsat 8 usgs και της MODIS από τη νέα Sentinel 2, επικρατούν διαφορές σε όλη την εικόνα με τιμές 0 έως 100 μονάδων, χωρίς να διακρίνεται κάποιο αντικείμενο της περιοχής. Στην εικόνα διαφοράς της MODIS από τη Landsat 8 atcorr, οι διαφορές υπάρχουν με τιμές 0 έως 100 μονάδων, αλλά μπορεί να διακριθεί ένα κομμάτι αστικού ιστού με τιμές από 150 έως 200 μονάδες.

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Όπως και στο κόκκινο κανάλι, έτσι και στο εγγύς υπέρυθρο, οι απόλυτες διαφορές των νέων εικόνων με τις αρχικές, μελετήθηκαν για την κάθε μία υποπεριοχή ξεχωριστά, εξάγοντας μία εικόνα διαφοράς για την κάθε υποπεριοχή, για το κάθε κανάλι.

- Εξετάζοντας, αρχικά, την υποπεριοχή 1, παρατηρείται πως δεν μπορεί να προκύψει κάποια παρατήρηση για τις εικόνες διαφορών της εικόνας MODIS από τη νέα Landsat 8 atcorr, της MODIS από τη νέα Landsat 8 usgs και της MODIS από τη νέα Sentinel 2, καθώς αυτές εμφανίζουν διάχυτο “θόρυβο” σε όλη την εικόνα, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να διακριθεί κανένα αντικείμενό τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι τιμές των διαφορών όπου εμφανίζεται το στοιχείο του νερού ή γενικά υγρασία, υπολογίζονται να είναι μεταξύ του μηδενός και των 50 μονάδων.
- Παρατηρώντας τις εικόνες διαφορών της υποπεριοχής 2, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι εικόνες της διαφοράς MODIS από τη νέα Landsat 8 usgs και της διαφοράς MODIS από τη νέα Sentinel 2, μπορούν να αποδώσουν μόνο το σχήμα του ποταμού, με τιμές 100 ή 150 μονάδων και κανένα άλλο αντικείμενο της εικόνας. Η εικόνα διαφοράς της MODIS από τη

νέα Landsat 8 atcorr, παρουσιάζει περισσότερο ενδιαφέρον, καθώς σε σημεία με υγρασία ή νερό, οι διαφορές αυξάνονται στις 150 έως 250 μονάδες.

- Τέλος, οι εικόνες διαφορών της υποπεριοχής 3 και από τα τρία ζεύγη εικόνων μελέτης, παρουσιάζουν πολύ έντονο “θόρυβο” σε όλη την εικόνα, ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 0 έως 150 μονάδων, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να διακριθεί είτε ο αστικός ιστός, είτε οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο που υπάρχει στη περιοχή.

5.3. Σύγκριση στη Χωρική Ανάλυση του Sentinel 2 στα 10m

Η ποιοτική και ποσοτική συγκριτική αξιολόγηση στη χωρική ανάλυση του δορυφόρου Sentinel 2 στα 10m, πραγματοποιήθηκε μεταξύ των ζευγών των εικόνων Landsat 8 (atcorr) – MODIS, Landsat 8 (usgs) – MODIS και Sentinel 2 – MODIS, τόσο στο κόκκινο, όσο και στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι. Όσον αφορά την αλλαγή της κλίμακας που πραγματοποιήθηκε, σημειώνεται ότι, οι νέες εικόνες, Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2, προέκυψαν μεγαλύτερες σε διαστάσεις, αφού από την μικρότερη ανάλυση, των 30m και 250m, αντίστοιχα, μετατράπηκαν σε εικόνες υψηλότερης ανάλυσης.

5.3.1. Υποπεριοχή 1

Η εικόνα μελέτης της υποπεριοχής 1, μετά την αλλαγή της κλίμακας έχει διαστάσεις 4201x4701 εικονοστοιχεία με 10m ανάλυση στο έδαφος.

Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που εφαρμόστηκε, αντιστοιχίζει στον άξονα y την εικόνα MODIS και στον άξονα x τις εικόνες Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2, διαδοχικά. Εξάγονται λοιπόν οι δύο βασικές παράμετροι a και b της εξίσωσης που προκύπτει από την $y = ax + b$ (a = Slope, b = Intercept).

Το προϊόν Landsat 8 atcorr στο κόκκινο κανάλι της υποπεριοχής 1, δεν παρουσιάζει συμφωνία με την εικόνα MODIS, καθώς η R^2 υπολογίζεται ίση με 0.45. Το ίδιο ισχύει και για τη σύγκριση των εικόνων Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την MODIS, των οποίων η R^2 υπολογίζεται ίση με 0.45 και 0.33, αντίστοιχα.

Η κλίση (Slope) και για τα τρία ζεύγη των εικόνων κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.45 και 1.01. Παράλληλα, η τομή (Intercept) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 11.97 και 14.76, για τα τρία ζεύγη δεδομένων. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 7.723 – 8.505, 0.054 – 0.689 και 0.003 – 850.920, αντίστοιχα.

Ομοίως, στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι της υποπεριοχής 1, η συσχέτιση των εικόνων Landsat 8 atcorr και MODIS παρουσιάζουν διαφωνία μεγέθους 0,27. Αντίστοιχα, διαφωνία προέκυψε με τη σύγκριση των εικόνων Landsat 8 usgs και MODIS, παρουσιάζοντας R^2 ίση με 0.34. Τέλος, ασυσχέτιστες εμφανίζονται και οι εικόνες Sentinel 2 και MODIS, με μέγεθος R^2 0.25. Εδώ παρατηρείται μία πτώση των συσχετίσεων των εικόνων, σε σύγκριση με αυτές του κόκκινου καναλιού.

Η κλίση (Slope) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.29 και 0.63, ενώ η τομή (Intercept) μεταξύ των τιμών 8.09 και 14.52. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τα

τρία ζεύγη μελέτης, μεταξύ των τιμών 7.634 – 8.135, 0.089 – 0.560 και 0.002 – 396.258, αντίστοιχα.

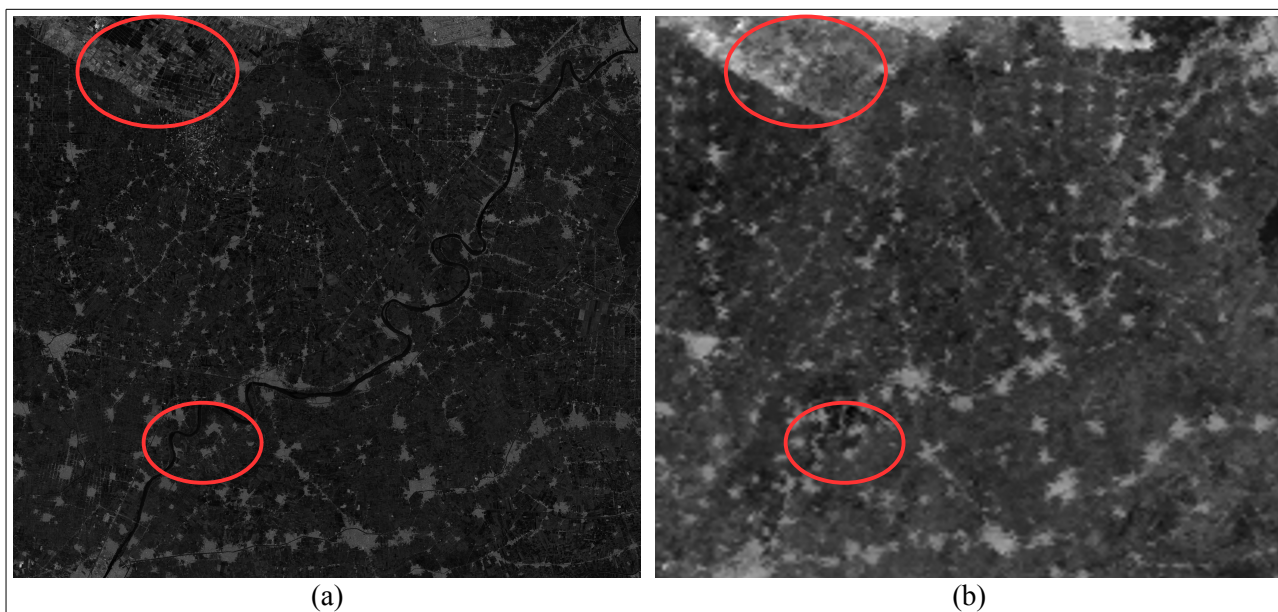
RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
<i>Υποπεριοχή 1</i>	Landsat 8 atcorr	19748901	0.45	11.97	0.45	7.723	0.192	850.920
	Landsat 8 usgs	19748901	1.01	12.03	0.45	7.738	0.054	239.240
	Sentinel 2	19748901	0.86	14.76	0.33	8.505	0.689	0.003

Πίνακας 5.3.1: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο κόκκινο κανάλι στην Υποπεριοχή 1

NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
<i>Υποπεριοχή 1</i>	Landsat 8 atcorr	19748901	0.29	8.09	0.27	8.035	0.507	0.002
	Landsat 8 usgs	19748901	0.63	10.61	0.34	7.634	0.089	396.258
	Sentinel 2	19748901	0.51	14.52	0.25	8.135	0.560	0.002

Πίνακας 5.3.2: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι στην Υποπεριοχή 1

Όπως συνέβη και στη σύγκριση των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με τη MODIS, στη χωρική ανάλυση των 250m, έτσι και εδώ, η συσχέτιση μειώνεται στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, περισσότερο από ότι στο κόκκινο. Το αποτέλεσμα αυτό αποδίδεται στη διαφορά φωτεινότητας που παρουσιάζουν οι εικόνες που συγκρίνονται στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, καθώς και στη δημιουργία σφαλμάτων που εντοπίζονται κατά τη διαδικασία της αλλαγής κλίμακας. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει και για τα τρία ζεύγη αξιολόγησης του εγγύς υπέρυθρου καναλιού και συγκεκριμένα, σε περιοχές με το στοιχείο του νερού ή καλλιεργειών με αυξημένο το ποσοστό υγρασίας.



Εικόνα 5.3.1: Αρχικές εικόνες που συμμετέχουν στο μοντέλο παλινδρόμησης, της υποπεριοχής 1, οι Sentinel 2 (a) και MODIS (b), στο κόκκινο κανάλι. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται ενδεικτικά έντονα τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν κατά την αλλαγή της κλίμακας στην εικόνα MODIS. Στα εικονοστοιχεία αυτά αποδίδεται η ασυμφωνία των δύο αυτών εικόνων, όπου πρόκειται για σημεία καλλιεργειών με αυξημένο το ποσοστό υγρασίας και για σημεία με το στοιχείο του νερού

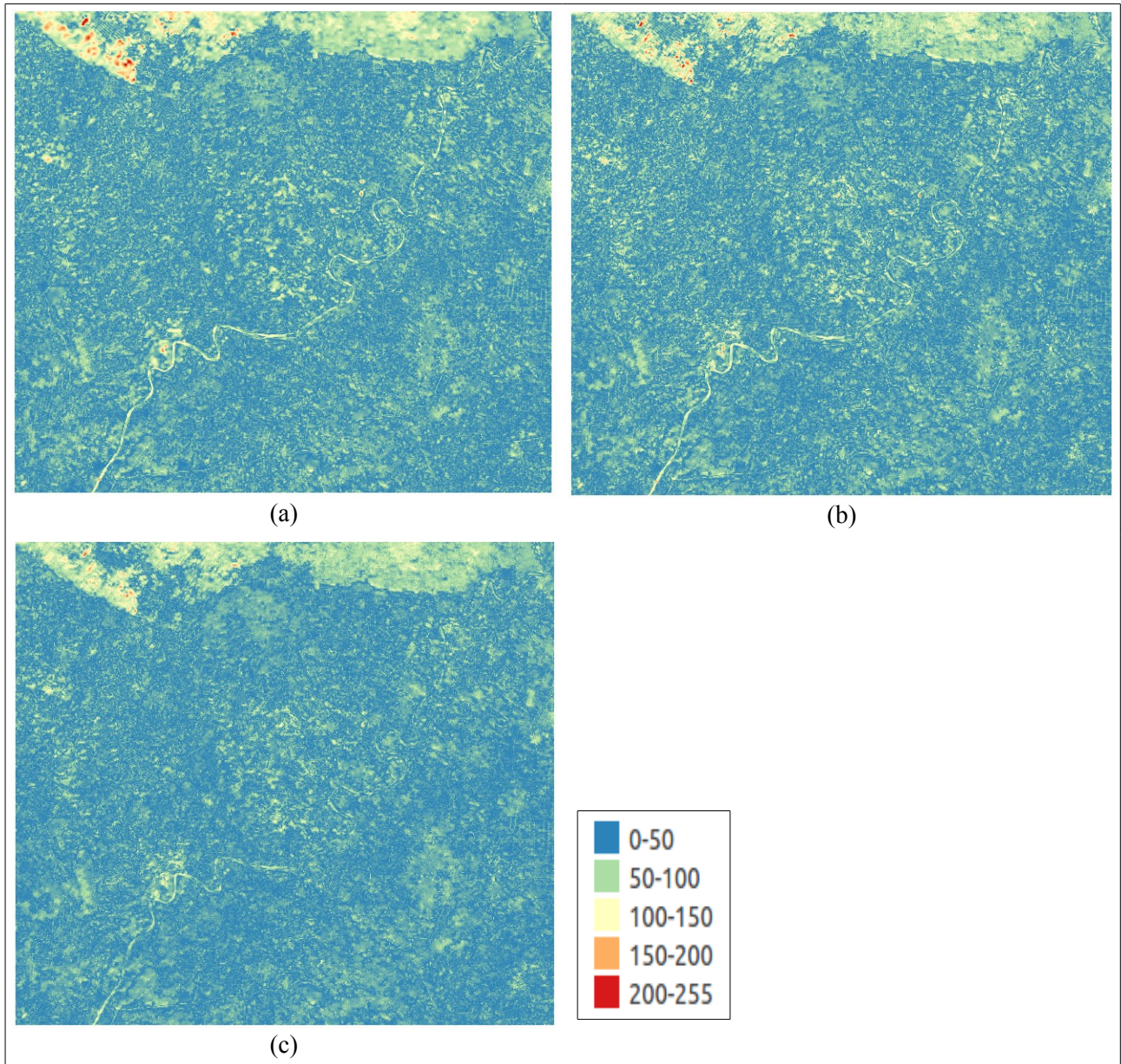
Τέλος, στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της εικόνας MODIS και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS, για το κάθε εικονοστοιχείο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Εξετάζοντας το κόκκινο κανάλι της υποπεριοχής 1, οι εικόνες διαφορών της MODIS από τις νέες που προέκυψαν εφαρμόζοντας τις εξισώσεις του μοντέλου παλινδρόμησης, παρουσιάζονται γενικά χαμηλές και σε αυτή την περίπτωση, στο σύνολο της εικόνας, όπως συνέβη και στη μελέτη της ίδιας υποπεριοχής στη χωρική ανάλυση του MODIS. Οι διαφορές που είχαν παρατηρηθεί και στις προηγούμενες περιπτώσεις, συνεχίζει να επικρατεί με τιμές διαφορών από 0 έως 100 και για τις τρεις εικόνες διαφορών. Οι εικόνες των απόλυτων διαφορών της MODIS από την Landsat 8 atcorr, αλλά και από την Landsat 8 usgs, παρουσιάζουν σχεδόν ίδια μεγέθη διαφορών, λαμβάνοντας τιμές στο νερό από 50 έως 200 μονάδες. Ακόμη, στις δύο αυτές εικόνες, οι ξηρές επιφάνειες και ο αστικός ιστός λαμβάνουν τιμές από 50 έως 150, χωρίς όμως αυτά τα σημεία να μπορούν να διακριθούν στις εικόνες. Όμοια χαρακτηριστικά παρουσιάζει και η εικόνα διαφοράς της MODIS από τη Sentinel 2, με αξιοσημείωτο γεγονός, ότι οι μέγιστες διαφορές που εμφανίζονται σε αυτή είναι 200 μονάδες σε πολύ λίγα σημεία της εικόνας. Δηλαδή, στο γενικό πλαίσιο της εικόνας, εμφανίζει μικρότερες διαφορές, σε σύγκριση με τις άλλες δύο. Αυτό ισχύει και για τις περιοχές αστικού ιστού ή νερού, οι οποίες εμφανίζονται μεταξύ των τιμών 0 έως 100.

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Παρατηρώντας τις διαφορές που προκύπτουν από τις αφαιρέσεις των εικόνων MODIS από τις νέες, εξαρτημένες από την MODIS, εικόνες Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 στην υποπεριοχή 1, προκύπτει το συμπέρασμα ότι είναι όμοιες ως προς την δομή και κατανομή των μεγεθών τους, με τις αντίστοιχες διαφορές του κόκκινου καναλιού. Συγκεκριμένα, και στις τρεις εικόνες διαφορών, οι μέγιστες διαφορές εντοπίζονται στα σημεία ξηρών εδαφών, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 50 έως 255 μονάδων. Αντίθετα, στα σημεία υγρασίας ή νερού, οι διαφορές μειώνονται, λαμβάνοντας τιμές από 50 έως 100 μονάδες.



Εικόνα 5.3.2: Εικόνες διαφορών της νέας εικόνας μετά την συσχέτισή της με την MODIS, με την αρχική για την υποπεριοχή 1. Landsat 8 atcorr νέα – MODIS (a), Landsat 8 usgs νέα – MODIS (b) και Sentinel 2 νέα - MODIS (c), στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι

5.3.2. Υποπεριοχή 2

Όσον αφορά την υποπεριοχή 2, πρόκειται για περιοχή με ηπειρωτική Γη, σε απόσταση από την παράκτια ζώνη, η οποία αποτελείται κυρίως από καλλιέργειες και αστικό ιστό. Η εικόνα της υποπεριοχής 2, έχει διαστάσεις 2701x7001 εικονοστοιχεία με 10m ανάλυση στο έδαφος.

Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που εφαρμόστηκε, αντιστοιχίζει στον άξονα y την εικόνα MODIS και εξάγονται οι δύο βασικές παράμετροι a και b της εξίσωσης που προκύπτει από την $y = ax + b$ (a= Slope , b = Intercept).

Συσχετίζοντας τα δεδομένα Landsat 8 atcorr και MODIS, παρουσιάζεται διαφωνία στο κόκκινο κανάλι, με το R^2 να φτάνει το 0.45 στην υποπεριοχή 2. Αντίστοιχα, διαφωνία παρουσιάζουν και τα δεδομένα Landsat 8 usgs και MODIS με το R^2 να λαμβάνει την τιμή 0.46. Στην περίπτωση της συσχέτισης της Sentinel 2 εικόνας με την MODIS, η διαφωνία υπολογίζεται με ακόμα χειρότερη τιμή 0.33.

Η κλίση (Slope) και για τα τρία ζεύγη εικόνων μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.46 και 0.95. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 16.11 έως 19.36, για τα τρία ζεύγη δεδομένων. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 7.262 – 8.050, 0.064 – 0.733 και 0.003 – 812.311, αντίστοιχα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των συσχετίσεων στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, εμφανίζεται διαφωνία μεταξύ όλων των ζευγών των εικόνων. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα της Landsat 8 atcorr και της MODIS παρουσιάζουν διαφωνία R^2 0.34. Ομοίως, τα δεδομένα των Landsat 8 usgs και MODIS και των εικόνων Sentinel 2 και MODIS, εμφανίζουν διαφωνία με τιμή R^2 0.37 και 0.27, αντίστοιχα.

Η κλίση (Slope) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.30 – 0.57, ενώ η τομή (Intercept) μεταξύ των τιμών 22.35 – 29.01. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τα τρία ζεύγη εικόνων μεταξύ των τιμών 6.847 – 7.378, 0.087 – 0.615 και 0.002 – 377.938, αντίστοιχα.

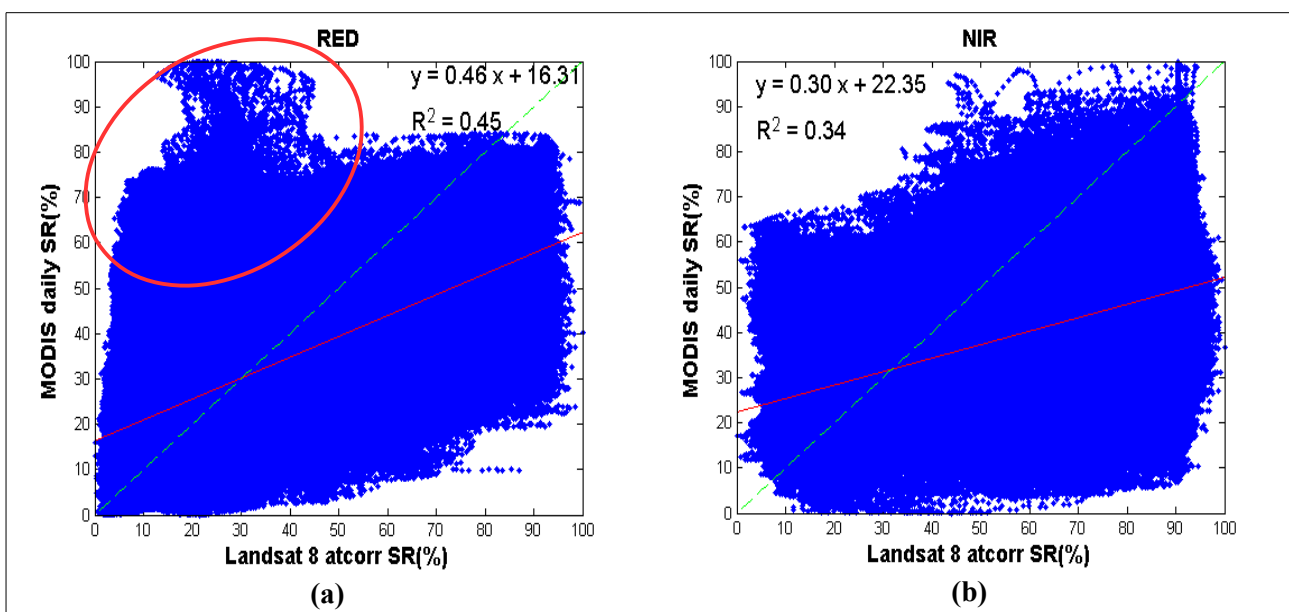
RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 2	Landsat 8 atcorr	18909701	0.46	16.31	0.45	7.283	0.187	812.311
	Landsat 8 usgs	18909701	0.95	16.11	0.46	7.262	0.064	278.428
	Sentinel 2	18909701	0.79	19.36	0.33	8.050	0.733	0.003

Πίνακας 5.3.3: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο κόκκινο κανάλι της Υποπεριοχής 2

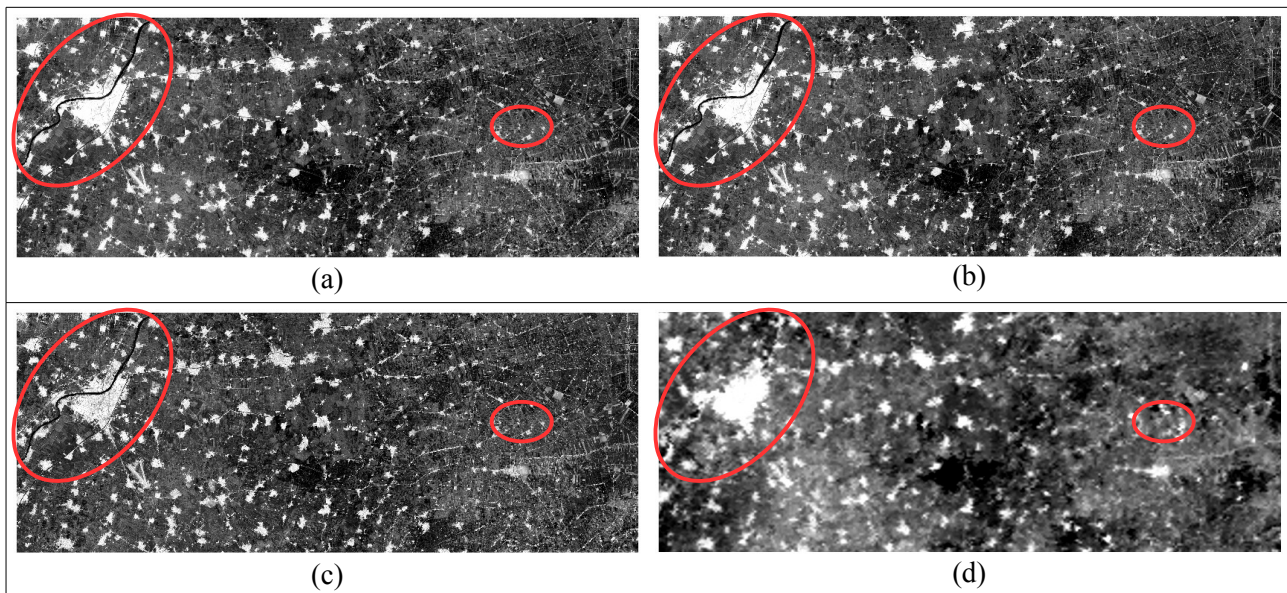
NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 2	Landsat 8 atcorr	18909701	0.30	22.35	0.34	7.016	0.469	0.002
	Landsat 8 usgs	18909701	0.57	24.30	0.37	6.847	0.087	377.938
	Sentinel 2	18909701	0.53	29.01	0.27	7.378	0.615	0.002

Πίνακας 5.3.4: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι της Υποπεριοχής 2

Στο διάγραμμα συσχέτισης των εικόνων Landsat 8 atcorr και MODIS παρατηρείται η μείωση της R² στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, σε σύγκριση με το κόκκινο, όπως συνέβη και στη μελέτη της υποπεριοχής 1. Το γεγονός αυτό, αποδίδεται ομοίως, στην αυξημένη φωτεινότητα που παρουσιάζει η εικόνα Landsat 8 atcorr, σε σύγκριση με την MODIS με την οποία συγκρίνεται.



Διάγραμμα 5.3.1 : Διάγραμμα συσχέτισης της εικόνας Landsat 8 atcorr και της εικόνας MODIS, στο κόκκινο (a) και στο εγγύς υπέρυθρο (b) κανάλι της υποπεριοχής 2. Μέσα στην έλλειψη διακρίνονται τα εικονοστοιχεία που οφείλονται στη διαφωνία των δύο εικόνων. Η πράσινη γραμμή δείχνει την 1:1 συσχέτιση, ενώ η κόκκινη, τη συσχέτιση όπως προέκυψε από το μοντέλο.



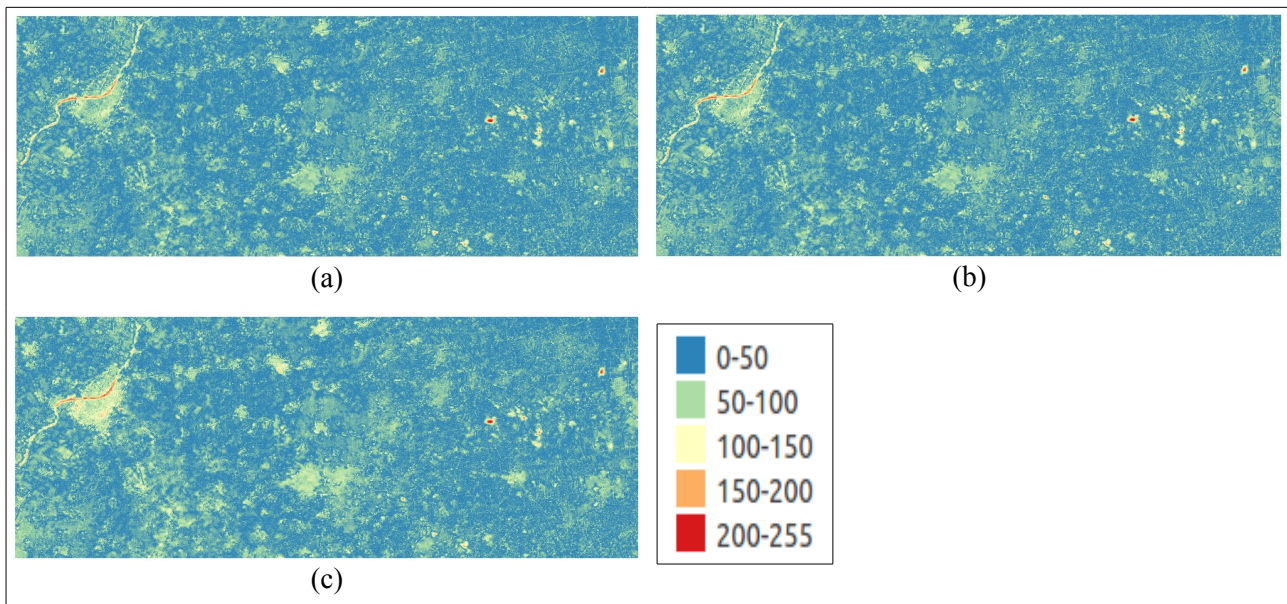
Εικόνα 5.3.3: Εικόνες όπως προέκυψαν μετά την αλλαγή της χωρικής ανάλυσης. Landsat 8 atcorr (a), Landsat 8 usgs (b), Sentinel 2 (c) και MODIS (d), στο κόκκινο κανάλι της υποπεριοχής 2. Μέσα στις ελλείψεις διακρίνονται τα βασικά σφάλματα που προκύπτουν κατά την αλλαγή της χωρικής ανάλυσης σε αυτή των 10m

Όπως είναι φανερό, μέρος της διαφωνίας των εικόνων Landsat 8 atcorr και MODIS διακρίνονται από τα εικονοστοιχεία που απέχουν αρκετά από το σύνολο των υπολοίπων στο διάγραμμα. Τα εικονοστοιχεία αυτά εντοπίζονται στην εικόνα σε ορισμένα σημεία της περιοχής και συγκεκριμένα εκεί που εντοπίζεται το στοιχείο του νερού στον Νείλο. Συγκεκριμένα, ο Νείλος ποταμός, είναι δυσδιάκριτος στην εικόνα MODIS και παρουσιάζεται με τις πιο φωτεινές της εικόνας, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες, στις οποίες εμφανίζεται με χαμηλές τιμές. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται μία διαφορά στη φωτεινότητα, ως προς όλες τις εικόνες των ζευγών που αξιολογούνται.

Τέλος, στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της εικόνας MODIS και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS, για το κάθε εικονοστοιχείο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Παρατηρώντας τις διαφορές του κόκκινου καναλιού που προκύπτουν από τις αφαιρέσεις των νέων, εξαρτημένων από την MODIS, εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 στην υποπεριοχή 2, προκύπτει το συμπέρασμα ότι είναι όμοιες ως προς την δομή και κατανομή των μεγεθών τους, με τις αντίστοιχες διαφορές της υποπεριοχής 1. Οι διαφορές στις τρεις εικόνες διαφορών κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0 έως 100, με εξαίρεση κάποια σημεία νερού και υγρασίας που λαμβάνουν τιμές 200 έως 255. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στις τρεις αυτές εικόνες διαφορών, ο αστικός ιστός διακρίνεται ελαφρώς με τιμές διαφορών 50 έως 100.



Εικόνα 5.3.4: Εικόνες διαφορών της νέας εικόνας μετά την συσχέτισή της με την MODIS, με την αρχική για την υποπεριοχή 2. Landsat 8 atcorr νέα – MODIS (a), Landsat 8 usgs νέα – MODIS (b) και Sentinel 2 νέα - MODIS (c), στο κόκκινο κανάλι

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Εξετάζοντας το εγγύς υπέρυθρο κανάλι της υποπεριοχής 2, οι εικόνες διαφορών της MODIS από τις νέες που προέκυψαν εφαρμόζοντας τις εξισώσεις του μοντέλου παλινδρόμησης, παρουσιάζονται γενικά χαμηλές και σε αυτή την περίπτωση, στο σύνολο της εικόνας, όπως συνέβη και στη μελέτη της ίδιας υποπεριοχής στη χωρική ανάλυση του MODIS. Οι διαφορές που είχαν παρατηρηθεί μεταξύ των καλλιεργειών και στις προηγούμενες περιπτώσεις, συνεχίζουν να επικρατούν με τιμές διαφορών από 0 έως 100 και για τις τρεις εικόνες διαφορών. Αξίζει να σημειωθεί ότι, τις μεγαλύτερες διαφορές, με τιμές από 100 έως 255, παρουσιάζει η εικόνα διαφοράς MODIS από τη Landsat 8 atcorr, στα σημεία με αυξημένη υγρασία, όπως κάποιες καλλιέργειες και ο Νείλος ποταμός. Παράλληλα, στα σημεία αυτά, η εικόνα της διαφοράς MODIS από τη Landsat 8 usgs, παρουσιάζει μικρότερες διαφορές με τιμές από 100 έως 200 μονάδες στο μεγαλύτερο μέρος τους. Τέλος, στις εικόνες αυτές ο αστικός ιστός δεν είναι εύκολο να διακριθεί ως προς το σχήμα του.

5.3.3. Υποπεριοχή 3

Η εικόνα της υποπεριοχής 3 είναι μικρότερη σε σύγκριση με τις άλλες δύο που μελετήθηκαν, με διαστάσεις 1701x2501 εικονοστοιχεία με 10m ανάλυση στο έδαφος. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η συγκεκριμένη υποπεριοχή ήταν δύσκολη στην επιλογή της εικόνας περικοπής, καθώς τα αρχικά δεδομένα παρουσίαζαν αυξημένη νεφοκάλυψη και έπρεπε να γίνει προσεκτικός και εκτενής έλεγχος για σύννεφα.

Όπως και στις προηγούμενες, έτσι και σε αυτή την υποπεριοχή, όλα τα ζεύγη συγκρίσεων των εικόνων, δηλαδή Landsat 8 atcorr – MODIS, Landsat 8 usgs – MODIS και Sentinel 2 – MODIS, παρουσιάζουν διαφωνία. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα τόσο της Landsat 8 atcorr με τη MODIS, όσο και της Landsat 8 usgs με τη MODIS παρουσιάζονται ασυσχέτιστα με R^2 0.39. Όμοια, η Sentinel 2

με τη MODIS παρουσιάζει διαφωνία με τιμή 0.27.

Η κλίση (Slope) και για τα τρία ζεύγη εικόνων μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.53 και 0.78. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 21.98 έως 23.21, για τα τρία ζεύγη δεδομένων. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 9.475 – 10.360, 0.089 – 0.709 και 0.001 – 301.273, αντίστοιχα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των συσχετίσεων στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, παρουσιάζονται και εδώ ασυσχέτιστα με τις χειρότερες τιμές από όλες τις προηγούμενες υποπεριοχές. Η εικόνα Landsat 8 atcorr ως προς τη MODIS, καθώς και η Landsat 8 usgs ως προς τη MODIS παρουσιάζουν τιμές R^2 0.14. Όμοια, η εικόνα Sentinel 2 ως προς την εικόνα MODIS παρουσιάζει διαφωνία με R^2 0.09. Η κλίση (Slope) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.22 – 0.40, ενώ η τομή (Intercept) μεταξύ των τιμών 37.86 – 42.37. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τα τρία ζεύγη εικόνων μεταξύ των τιμών 8.638 – 8.887, 0.109 – 0.579 και 0.001 – 223.721, αντίστοιχα.

RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 3	Landsat 8 atcorr	4254201	0.53	23.21	0.39	9.475	0.146	301.273
	Landsat 8 usgs	4254201	0.78	22.90	0.39	9.482	0.089	182.541
	Sentinel 2	4254201	0.74	21.98	0.27	10.360	0.709	0.001

Πίνακας 5.3.5: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο κόκκινο κανάλι της Υποπεριοχής 3

NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 3	Landsat 8 atcorr	4254201	0.22	37.86	0.14	8.652	0.573	0.001
	Landsat 8 usgs	4254201	0.40	40.18	0.14	8.638	0.109	223.721
	Sentinel 2	4254201	0.29	42.37	0.09	8.887	0.579	0.001

Πίνακας 5.3.6: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι της Υποπεριοχής 3

Η ασυμφωνία της σύγκρισης των εικόνων Sentinel 2 και MODIS, εντοπίζεται στη δημιουργία αρκετών σφαλμάτων στην εικόνα MODIS κατά τη διαδικασία της αλλαγής κλίμακας. Ακόμη,

επειδή η υποπεριοχή 3 είναι πιθανό να περιέχει την ύπαρξη κάποιας νεφέλης ή σύννεφου, σε αυτήν παρατηρούνται οι πιο μικρές τιμές της R^2 , ιδίως στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι.

Τέλος, στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της εικόνας MODIS και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS, για το κάθε εικονοστοιχείο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Όσον αφορά τις απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι της υποπεριοχής 3, παρουσιάζονται κοινές με τις άλλες δύο υποπεριοχές που μελετήθηκαν, για τις εικόνες διαφορών της MODIS από τη Landsat 8 atcorr και της MODIS από τη Landsat 8 usgs. Πιο αναλυτικά, στις εικόνες αυτές μπορεί να διακριθεί ο αστικός ιστός, λαμβάνοντας τιμές από 100 έως 255 μονάδες. Η εικόνα διαφοράς της MODIS από τη Sentinel 2, παρουσιάζει ίδια χαρακτηριστικά ως προς τη δομή και το μοτίβο, αλλά ποσοτικά παρουσιάζει περισσότερα σημεία με τις υψηλότερες διαφορές στο τμήμα του αστικού ιστού, δηλαδή με τιμές 200 έως 255.

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Παρατηρώντας τις διαφορές που προκύπτουν από τις αφαιρέσεις των νέων, εξαρτημένων από την MODIS, εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 στην υποπεριοχή 3, προκύπτει το συμπέρασμα ότι είναι όμοιες ως προς την δομή και κατανομή των μεγεθών τους, με τις αντίστοιχες διαφορές της υποπεριοχής 2 και 3. Αξιοσημείωτο παραμένει το γεγονός ότι, και στις τρεις εικόνες διαφορών, είναι δυσδιάκριτο οποιοδήποτε αντικείμενο της περιοχής, όπως για παράδειγμα ο αστικός ιστός ή οι καλλιέργειες.

5.3.4. Σύνολο περιοχής

Όσον αφορά το σύνολο της περιοχής, πρόκειται για την συνολική αξιολόγηση των επιμέρους υποπεριοχών 1, 2 και 3, η οποία αποτελείται από τα ίδια χαρακτηριστικά.

Εξετάζοντας το κόκκινο κανάλι, τα δεδομένα της εικόνας Landsat 8 atcorr υπολογίζονται να είναι σε διαφωνία με την εικόνα MODIS, όπως συνέβη και με την μελέτη των επιμέρους υποπεριοχών, με το R^2 να λαμβάνει τιμή ίση με 0.38. Το ίδιο ισχύει με την συσχέτιση της Landsat 8 usgs με την MODIS, όπου η διαφωνία τους ποσοτικοποιείται με τιμή 0.47. Τέλος, όπως και στη μελέτη των επιμέρους υποπεριοχών, η εικόνα Sentinel 2 με την MODIS παρουσιάζουν ασυμφωνία με τιμή 0.38.

Η κλίση (Slope) και για τα τρία ζεύγη εικόνων μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.46 και 1.01. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 14.04 έως 16.70 για τα τρία ζεύγη δεδομένων. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 8.035 – 8.753, 0.102 – 0.693 και 0.001 – 665.120, αντίστοιχα.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα, ότι η συσχέτιση του συνόλου της περιοχής συμβαδίζει με τα αποτελέσματα που εξάγονται από την ξεχωριστή μελέτη των υποπεριοχών, η οποία παρουσιάζει αρκετά χαμηλές συσχετίσεις και για τους τρεις

δορυφόρους. Το πρόβλημα εντοπίζεται στο γεγονός ότι στην εικόνα MODIS είναι δύσκολο να αποτυπωθεί σωστά και λεπτομερώς η πληροφορία της εικόνας στο στάδιο της αλλαγής της χωρικής ανάλυσης.

RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Σύνολο Περιοχής	Landsat 8 atcorr	42912803	0.46	15.10	0.38	8.713	0.102	665.120
	Landsat 8 usgs	42912803	1.01	14.04	0.47	8.035	0.157	0.001
	Sentinel 2	42912803	0.87	16.70	0.38	8.753	0.693	0.002

Πίνακας 5.3.7: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο κόκκινο κανάλι στο σύνολο της περιοχής

NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Σύνολο Περιοχής	Landsat 8 atcorr	42912803	0.26	19.11	0.12	11.720	0.333	0.002
	Landsat 8 usgs	42912803	0.75	14.39	0.30	10.400	0.120	785.254
	Sentinel 2	42912803	0.63	19.44	0.23	10.980	0.126	825.208

Πίνακας 5.3.8: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με την εικόνα MODIS στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι στο σύνολο της περιοχής

Στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της αρχικής εικόνας και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα MODIS, για το κάθε εικονοστοιχείο. Στη μελέτη του συνόλου της περιοχής, δεν πραγματοποιήθηκε ένωση των εικόνων των υποπεριοχών, συνεπώς προέκυψε μία εικόνα διαφοράς της αρχικής από την νέα εικόνα για την κάθε υποπεριοχή, για τον κάθε δορυφόρο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε πέντε διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Οι απόλυτες διαφορές μελετήθηκαν για την κάθε μία υποπεριοχή ξεχωριστά, εξάγοντας μία εικόνα διαφοράς για την κάθε υποπεριοχή, για το κάθε κανάλι.

- Συνεπώς, από τη συνολική αξιολόγηση, εξετάζοντας την υποπεριοχή 1 και τις διαφορές που προκύπτουν αφαιρώντας τη MODIS από τις νέες εικόνες Landsat 8 atcorr, Landsat 8 usgs και Sentinel 2, στο κόκκινο κανάλι, προκύπτουν αρκετά παρόμοιες με αυτές που προέκυψαν εξετάζοντας μεμονωμένα τις υποπεριοχές 1, 2 και 3. Πιο αναλυτικά, στις τρεις εικόνες διαφορών, τα μεγέθη στο στοιχείο του νερού παρουσιάζονται μεταξύ των τιμών 0 έως 100. Όμοια, και στις τρεις εικόνες διαφορών, οι ξηρές επιφάνειες και ο αστικός ιστός εμφανίζουν διαφορές μεταξύ των τιμών 50 έως 200.
- Όσον αφορά τη μελέτη της υποπεριοχής 2, από τις εικόνες διαφοράς που προέκυψαν από τη συνολική αξιολόγηση του μοντέλου, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι, οι τρεις εικόνες των διαφορών, παρουσιάζονται παρόμοιες με αυτές που προέκυψαν μελετώντας την υποπεριοχή 2 ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, οι μεγαλύτερες διαφορές εντοπίζονται στον ποταμό Νείλο με τιμές 100 έως 255. Τέλος, στις εικόνες διαφορών της MODIS από τη Landsat 8 atcorr και της MODIS από τη Sentinel 2, μπορεί να διακριθεί ένα μικρό μέρος του αστικού ιστού με τιμές από 50 έως 100.
- Τέλος, παρατηρώντας τις εικόνες διαφορών που προέκυψαν από το σύνολο της περιοχής, για την υποπεριοχή 3, διακρίνεται ότι οι διαφορές μεταξύ των καλλιεργειών εμφανίζονται έντονα και απλώνονται σε όλες τις εικόνες, δυσκολεύοντας έτσι τη διάκριση των αντικειμένων σε αυτές. Εκτός αυτού, στις τρεις εικόνες διαφορών που μελετήθηκαν, μπορεί να διακριθεί ένα μέρος του αστικού ιστού, ο οποίος λαμβάνει διαφορές μεταξύ του 50 έως 255.

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Όπως και στο κόκκινο κανάλι, έτσι και στο εγγύς υπέρυθρο, οι απόλυτες διαφορές των νέων εικόνων με τις αρχικές, μελετήθηκαν για την κάθε μία υποπεριοχή ξεχωριστά, εξάγοντας μία εικόνα διαφοράς για την κάθε υποπεριοχή, για το κάθε κανάλι.

- Εξετάζοντας, αρχικά, την υποπεριοχή 1, παρατηρείται πως δεν μπορεί να προκύψει κάποια παρατήρηση για τις εικόνες διαφορών της εικόνας MODIS από τη νέα Landsat 8 atcorr και της MODIS από τη νέα Sentinel 2, καθώς αυτές εμφανίζουν διάχυτο “θόρυβο” σε όλη την εικόνα, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να διακριθεί κανένα αντικείμενό τους. Η εικόνα διαφοράς MODIS από τη νέα Landsat 8 usgs παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα ως προς το μοτίβο της περιοχής. Το μόνο αποτέλεσμα που μπορεί να εξαχθεί είναι η θέση του ποταμού, ο οποίος διακρίνεται λαμβάνοντας τιμές διαφορών 0 έως 100.
- Παρατηρώντας τις εικόνες διαφορών της υποπεριοχής 2, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι εικόνες της διαφοράς MODIS από τη νέα Landsat 8 atcorr και της διαφοράς MODIS από τη νέα Sentinel 2, μπορούν να αποδώσουν ένα μέρος του αστικού ιστού, με τιμές 0 έως 100, καθώς και κάποια σημεία καλλιεργειών με αυξημένη υγρασία, τα οποία λαμβάνουν υψηλότερες τιμές, μεταξύ του 100 έως 255.
- Τέλος, οι εικόνες διαφορών της υποπεριοχής 3 και από τα τρία ζεύγη εικόνων μελέτης, παρουσιάζουν πολύ έντονο “θόρυβο” σε όλη την εικόνα, ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 0 έως 150 μονάδες, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να διακριθεί ο αστικός ιστός που υπάρχει στη περιοχή. Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι αντιληπτό και στις τρεις εικόνες διαφοράς, ένα μέρος του οδικού δικτύου της περιοχής.

5.4. Συνολική Αξιολόγηση

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν, τόσο ως προς τις επιμέρους υποπεριοχές και το σύνολό της, όσο και ως προς τις διαφορετικές χωρικές αναλύσεις που μελετήθηκαν, προκύπτουν κάποια γενικά συμπεράσματα, τα οποία αναλύονται παρακάτω.

- Αρχικά, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι εικόνες ατμοσφαιρικής διόρθωσης του δορυφόρου Landsat 8 είναι πιο κοντά σε αυτές του Sentinel 2, από ότι σε αυτές του MODIS, καθώς όταν οι πρώτες ανάγονται στις δεύτερες, οι συσχετίσεις παρουσιάζονται μέτριες και τις περισσότερες φορές ικανοποιητικές. Αξίζει να σημειωθεί, ότι το συμπέρασμα αυτό προκύπτει και έπειτα από την μελέτη στη χωρική ανάλυση του MODIS και όχι μόνο στις άλλες δύο.
- Επιπρόσθετα, είναι φανερό το γεγονός ότι όταν οι εικόνες MODIS πρόκειται να μετατραπούν στη χωρική ανάλυση των 10m και 30m, δημιουργείται πρόβλημα στη γραμμική παρεμβολή και οι εικόνες MODIS με αλλαγμένη κλίμακα, δεν μπορούν να αποτυπώσουν τόση πληροφορία. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς οι αρχικές εικόνες MODIS είναι μειωμένης ανάλυσης, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες, ώστε να μην μπορούν να δημιουργήσουν σωστά τη νέα πληροφορία με την τεχνική της δικυβικής παρεμβολής.
- Τέλος, παρατηρώντας τα αποτελέσματα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι, το εγγύς υπέρυθρο κανάλι, σε αρκετές από τις συγκρίσεις παρουσιάζει μειωμένες συσχετίσεις, συγκριτικά με το κόκκινο. Το γεγονός αυτό, πιθανώς να οφείλεται στην ύπαρξη κάποιου σύννεφου ή νεφέλης στην περιοχή.

Εφαρμογή μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή Y την εικόνα MODIS									
RED BAND									
Χωρική ανάλυση	250m – ανάλυση MODIS			30m – ανάλυση Landsat 8			10m – ανάλυση Sentinel 2		
ανεξάρτητη μεταβλητή X	L8 atcorr SR	L8 usgs SR	S2A SR	L8 atcorr SR	L8 usgs SR	S2 SR	L8 atcorr SR	L8 usgs SR	S2 SR
Υποπεριοχή 1	0.67	0.69	0.61	0.46	0.46	0.39	0.45	0.45	0.33
Υποπεριοχή 2	0.67	0.68	0.60	0.45	0.46	0.38	0.45	0.46	0.33
Υποπεριοχή 3	0.49	0.50	0.46	0.33	0.33	0.28	0.34	0.34	0.24
Σύνολο περιοχής	0.55	0.62	0.56	0.38	0.46	0.39	0.38	0.47	0.38
NIR BAND									
Χωρική ανάλυση	250m – ανάλυση MODIS			30m – ανάλυση Landsat 8			10m – ανάλυση Sentinel 2		
ανεξάρτητη μεταβλητή X	L8 atcorr SR	L8 usgs SR	S2A SR	L8 atcorr SR	L8 usgs SR	S2 SR	L8 atcorr SR	L8 usgs SR	S2 SR
Υποπεριοχή 1	0.54	0.68	0.63	0.28	0.35	0.31	0.27	0.34	0.25
Υποπεριοχή 2	0.61	0.67	0.63	0.32	0.36	0.31	0.34	0.37	0.27
Υποπεριοχή 3	0.28	0.32	0.32	0.12	0.12	0.11	0.13	0.13	0.08
Σύνολο περιοχής	0.12	0.41	0.50	0.11	0.27	0.24	0.12	0.30	0.23

Πίνακας 5.3.9: Συνολικός πίνακας για όλες τις χωρικές αναλύσεις, όλα τα προϊόντα και όλες τις περιοχές μελέτης

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση ατμοσφαιρικά διορθωμένων προϊόντων Landsat 8 και Sentinel 2 σε σύγκριση με δεδομένα του δέκτη MODIS. Τα δεδομένα ανακλαστικότητας επιφανείας (reflectance) του δέκτη MODIS έχουν εκτενώς αξιολογηθεί στη διεθνή βιβλιογραφία (Vermote et al., 2002; Liang et al., 2002; Fang et al., 2004; Kotchenova and Vermote, 2007; Vermote and Kotchenova, 2008a) και ως εκ τούτου θεωρούνται αξιόπιστα ως δεδομένα αναφοράς για την εκτίμηση της ποιότητας των δεδομένων ανακλαστικότητας άλλων δεκτών (Feng et al., 2012, Feng et al., 2013).

Έπειτα από τη συγκριτική ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε, η οποία περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους, μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα ως προς τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Οι συσχετίσεις των δεδομένων από διαφορετικούς δέκτες στη χωρική ανάλυση του MODIS, δηλαδή στα 232m, παρουσίασαν πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα, για όλες τις εικόνες με τις οποίες συσχετίστηκε η MODIS, συγκριτικά με αυτά στις χωρικές αναλύσεις των 30m και 10m που μελετήθηκαν. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στα σφάλματα που δημιουργούνται κατά την αλλαγή της χωρικής ανάλυσης της εικόνας MODIS, από τη χαμηλότερη των 232m, στην υψηλότερη, δηλαδή στα 10m ή 30m, καθώς η αρχική εικόνα δεν περιέχει τόση πληροφορία για την περιοχή.

Επιπρόσθετα, το κόκκινο κανάλι εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα συσχετίσεων από ότι το εγγύς υπέρυθρο, κυρίως στην υποπεριοχή 3. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στην ύπαρξη κάποιου σύννεφου ή νεφελώματος στην περιοχή. Το τελευταίο επιβεβαιώνεται και από την παρατήρηση της εικόνας διαφοράς των τριών εικόνων με τη MODIS, ιδιαίτερα σε αυτές του εγγύς υπέρυθρου καναλιού. Γενικότερα, η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης παρουσίασε τα χαμηλότερα ποσοστά συσχετίσεων, σε σύγκριση με τις άλλες δύο υποπεριοχές που μελετήθηκαν. Έτσι, τα αποτελέσματα που προήλθαν από τη συνολική συνδυαστική συσχέτιση και από τις τρεις υποπεριοχές σε αρκετές περιπτώσεις, παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση λόγω της επίδρασης των παρατηρήσεων της υποπεριοχής 3.

Επιπρόσθετα, κάποιες συστηματικές αποκλίσεις που εντοπίζονται στη συσχέτιση των δεδομένων για τα μοντέλα παλινδρόμησης, αποδίδονται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε δέκτη, όπως οι διαφορές στα εύρη των μηκών κύματος στα κανάλια που εξετάστηκαν, όπως επίσης και σε διαφορές στον κορεσμό και τη φωτεινότητα των εικόνων.

Αξίζει να τονισθεί ότι, οι χαμηλές συσχετίσεις των εικόνων Landsat 8 και Sentinel 2 ως προς την εικόνα MODIS, αποδίδονται επίσης και στη διαφορά της ώρας απόκτησης των εικόνων, καθώς σε αυτό το διάστημα των 2 – 3 ωρών είναι πιθανή η μεταβολή της σκηνής απεικόνισης εξαιτίας κυρίως της μετακίνησης σύννεφων.

Σχετικά με την ποιοτική αξιολόγηση των δύο διαφορετικών δεδομένων Landsat 8 παρατηρήθηκε ότι η συσχέτιση των εικόνων Landsat 8 atcorr και MODIS παρουσιάζεται χαμηλότερη στις περισσότερες περιπτώσεις, συγκριτικά με τις συσχετίσεις των εικόνων Landsat 8 usgs. Συνεπώς, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι εικόνες Landsat 8 usgs προσεγγίζουν καλύτερα και αποδοτικότερα τις εικόνες MODIS. Εκτός αυτού, αξίζει να σημειωθεί ότι, στη μία από τις δύο εικόνες Landsat 8 atcorr (P176/R38) που προέκυψαν μετά την εφαρμογή του 6S αλγορίθμου με χρήση του

λογισμικού GRASS GIS, το μεγαλύτερο μέρος της καλυπτόταν από θάλασσα. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και κατά συνέπεια το μεγαλύτερο μέρος της εικόνας είχε ως δεδομένο υψόμετρο τη μέση στάθμη της θάλασσας. Συνεπώς, η ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα προέκυψε με σφάλματα ως προς αυτό. Αντίθετα, η δεύτερη εικόνα που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά περιείχε κυρίως ηπειρωτική γη, άρα και πιο αποδοτική πληροφορία του υψόμετρου που λήφθηκε υπόψη στις παραμέτρους για την ατμοσφαιρική διόρθωσή της.

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα της ποσοτικής και ποιοτικής αξιολόγησης των συσχετίσεων που προέκυψαν για όλους τους συνδυασμούς δεδομένων σε όλες τις υποπεριοχές, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τα περισσότερα σφάλματα εντοπίζονται σε περιοχές με υγρασία ή νερό, όπως σε καλλιέργειες με υγρασία, στο δέλτα του ποταμού Νείλου και κατά μήκος αυτού, ιδιαίτερα στη μελέτη του εγγύς υπέρυθρου καναλιού.

Ακολουθούν ορισμένες προτάσεις που θα μπορούσαν να αφορούν τη βελτίωση ή/και επέκταση της παρούσας εργασίας:

- Εφαρμογή και αξιολόγηση του συγκεκριμένου σχήματος μεθοδολογίας σε μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων από ποικίλους δέκτες διαφορετικών χωρικών αναλύσεων.
- Μελέτη και εφαρμογή διαφορετικών προσεγγίσεων, μεθοδολογιών και λογισμικών για την αρχική ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων.
- Χρήση επίγειων μετεωρολογικών και κλιματολογικών παρατηρήσεων, με σκοπό την ακριβέστερη προσέγγιση του ατμοσφαιρικού μοντέλου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Willmott, C. J. (1982), **Some comments on the evaluation of model performance**, Bulletin of the American Meteorological Society, 63(11), 1309–1313

Vermote, E.F., Tanre, D., Deuzé, J. -L., Herman, M., & Morcrette, J. -J. (1997), **Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview**, IEEE Transactions.

Vermote, E.F., Saleous, N.Z., Justice, C.O., 2002, **Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results**, Remote Sensing of Environment 83(1–2), 97–111

Liang, S., Fang, H., Chen, M., Shuey, C.J., Walthall, C., Daughtry, C., Morisette, J., Schaaf, C., Strahler, A., 2002, **Validating MODIS land surface reflectance and albedo products: methods and preliminary results**, Remote Sensing of Environment 83 (1–2)

Fang, H., Liang, S., Chen, M., Walthall, C., Daughtry, C., 2004, **Statistical comparison of MISR, ETM+ and MODIS land surface reflectance and albedo products of the BARC land validation core site, USA**, International Journal of Remote Sensing 25 (2), 409–422

Vermote, E. F., Saleous, N. Z., & Privette, J. L. (2006), **Surface reflectance earth system data record/climate data record white paper**, Greenbelt, MD: NASA, 6.

Kotchenova, S.Y., Vermote, E.F., 2007, **Validation of a vector version of the 6S radiative transfer code for atmospheric correction of satellite data. Part II. Homogeneous Lambertian and anisotropic surfaces**. Applied Optics 46 (20), 4455–4464

Vermote, E.F., Kotchenova, S.Y., 2008a, **Atmospheric correction for the monitoring of land surfaces**, Journal of Geophysical Research 113 (D23), D23S90

Gutman, G., Byrnes, R., Masek, J., Covington, S., Justice, C., Franks, S., et al. (2008), **Towards monitoring land-cover and land-use changes at a global scale: The Global Land Survey 2005**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 74(1), 6–10

Franks, S., Masek, J., Headley, R., Gasch, J., Covington, S., & Arvidson, T. (2009), **Large Area Scene Selection Interface (LASSI): Methodology of Selecting Landsat Imagery for the Global Land Survey 2005**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 75(11), 1287–1296

Wang, Y., Lyapustin, A. I., Privette, J. L., Morisette, J. T., & Holben, B. (2009), **Atmospheric correction at AERONET locations: A new science and validation data set**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47, 2450–2466

Roy, D. P., Ju, J., Kline, K., Scaramuzza, P. L., Kovalsky, 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.

Feng, M., Huang, C., Channan, S., Vermote, E. F., Masek, J. G., & Townshend, J. R. (2012),

Quality assessment of Landsat surface reflectance products using MODIS data, Computers & Geosciences, 38(1), 9–22

Ju, J., Roy, D. P., Vermote, E. F., Masek, J., & Kovalskyy, V. (2012), **Continental-scale validation of MODIS-based and LEDAPS Landsat ETM+ atmospheric correction methods**, Remote Sensing of Environment, 122, 175–184

Feng, M., Sexton, J.O., Huang, C., Masek, J.G., Vermote, E.F., Gao, F., Narasimhan, R., Channan, S., Wolfe, R.E., Townshend, J.R. (2013), **Global surface reflectance products from Landsat: Assessment using coincident MODIS observations**, Remote Sensing of Environment, 134, 276–293

D.P. Roy M.A. Wulder, T.R. Loveland, C.E. Woodcock, R.G. Allen, M.C. Anderson, D. Helder, J.R. Irons, D.M. Johnson, R. Kennedy, T.A. Scambos, C.B. Schaaf, J.R. Schott, Y. Sheng, E.F. Vermote, A.S. Belward, R. Bindschadler, W.B. Cohen, F. Gao, J.D. Hipple, P. Hostert, J. Huntington, C.O. Justice, A. Kilic, V. Kovalskyy, Z.P. Lee, L. Lymburner, J.G. Masek, J. McCorkel, Y. Shuai, R. Trezza, J. Vogelmann, R.H. Wynne, Z. Zhu, 2014, **Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research**, Remote Sensing of Environment, 145(2014), 154 – 172

Quinten Vanhellemont , Kevin Ruddick, 2015, **Advantages of high quality SWIR bands for ocean colour processing: Examples of Landsat-8**, Remote Sensing of Environment 161, 89 – 106

D.P. Roy, H.K. Zhang, J. Ju, J.L. Gomez-Dans, P.E. Lewis, C.B. Schaaf f , Q. Sun, J. Li, H. Huang, V. Kovalskyy, 2016, **A general method to normalize Landsat reflectance data to nadir BRDF adjusted reflectance**, Remote Sensing of Environment 176, 255 – 271

Αργιαλάς Δ., 1998, **Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση**

Αργιαλάς Δ., 1999, **Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση**

Θεολόγου Ι., 2014, **Εκτίμηση και χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών σε υδάτινους αποδέκτες με τεχνικές τηλεπισκόπησης: η περίπτωση της λίμνης Κάρλα**, Διπλωματική εργασία Σ.Α.Τ.Μ ΕΜΠ

Σισμανίδης Π., 2012, **Διάδοση της ακτινοβολίας μέσα από την ατμόσφαιρα. Εφαρμογή και αξιολόγηση απόλυτων ατμοσφαιρικών αλγορίθμων διόρθωσης τηλεπισκοπικών απεικονίσεων**, Διπλωματική εργασία Σ.Α.Τ.Μ ΕΜΠ

Οικονόμου Μ., 2014, **Ανάλυση, συσχέτιση και αξιολόγηση τηλεπισκοπικών δεδομένων, από δορυφόρους, μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα και φασματοραδιόμετρα πεδίου, με εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας**, Διπλωματική εργασία Σ.Α.Τ.Μ ΕΜΠ

Καρακίζη Χ., 2015, **Εντοπισμός αμπελοτεμαχίων, εξαγωγή γραμμών φύτευσης και διαχωρισμός ποικιλιών αμπέλου σε δορυφορικά δεδομένα πολύ υψηλής ανάλυσης**, Μεταπτυχιακή εργασία Σ.Α.Τ.Μ. ΕΜΠ

Ηλεκτρονικές Πηγές

<http://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεπισκόπηση>, Ανάκτηση 2016.
<https://www.grass.osgeo.org>, Ανάκτηση 2016.
<https://www.qgis.org/en/site/>, Ανάκτηση 2016.
<https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>, Ανάκτηση 2016.
<https://www.mathworks.com/help>, Ανάκτηση 2016.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Σύγκριση στη χωρική ανάλυση του Sentinel 2 στα 10m

Η ποιοτική και ποσοτική συγκριτική αξιολόγηση στη χωρική ανάλυση του δορυφόρου Sentinel 2 στα 10m, πραγματοποιήθηκε μεταξύ των ζευγών των εικόνων Landsat 8 (atcorr) – Sentinel 2 και Landsat 8 (usgs) – Sentinel 2, τόσο στο κόκκινο, όσο και στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι. Όσον αφορά την αλλαγή της κλίμακας που πραγματοποιήθηκε, σημειώνεται ότι, οι νέες εικόνες, Landsat 8 atcorr και Landsat 8 usgs προέκυψαν μεγαλύτερες σε διαστάσεις, αφού από την μικρότερη ανάλυση, των 30m μετατράπηκαν σε εικόνες υψηλότερης ανάλυσης, 10m.

1. Αντιστοίχιση των εικόνων Landsat 8 atcorr και Landsat 8 usgs, στη Sentinel 2

1.1. Υποπεριοχή 1

Η εικόνα μελέτης της υποπεριοχής 1, μετά την αλλαγή της κλίμακας έχει διαστάσεις 4201x4701 εικονοστοιχεία με 10m ανάλυση στο έδαφος.

Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που εφαρμόστηκε, αντιστοιχίζει στον άξονα y την εικόνα Sentinel 2 και στον άξονα x τις εικόνες Landsat 8 atcorr και Landsat 8 usgs, διαδοχικά. Εξάγονται λοιπόν οι δύο βασικές παράμετροι a και b της εξίσωσης που προκύπτει από την $y = ax + b$ (a = Slope, b = Intercept).

Το προϊόν Landsat 8 atcorr στο κόκκινο κανάλι της υποπεριοχής 1, παρουσιάζει συμφωνία με την εικόνα Sentinel 2, καθώς η R^2 υπολογίζεται ίση με 0.84. Το ίδιο ισχύει και για τη σύγκριση της εικόνας Landsat 8 usgs με τη Sentinel 2, των οποίων η R^2 υπολογίζεται ίση με 0.86.

Η κλίση (Slope) για τα δύο ζεύγη των εικόνων υπολογίζεται 0.41, για την Landsat 8 atcorr και 0.94 για τη Landsat 8 usgs. Παράλληλα, η τομή (Intercept) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών -0.09 και 0.03, για τα δύο ζεύγη δεδομένων. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 2.635 – 2.818, 0.300 – 0.488 και 0.001 – 0.002, αντίστοιχα.

Ομοίως, στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι της υποπεριοχής 1, η σύγκριση των εικόνων Landsat 8 atcorr και Sentinel 2 παρουσιάζουν μέτρια συσχέτιση μεγέθους 0.70. Παράλληλα, ικανοποιητική συμφωνία παρουσίασαν και οι εικόνες Landsat 8 usgs και Sentinel 2, με R^2 ίση με 0.84. Εδώ παρατηρείται μία πτώση των συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr και Sentinel 2, σε σύγκριση με αυτές του κόκκινου καναλιού.

Η κλίση (Slope) υπολογίζεται 0.45 για τη σύγκριση της Landsat 8 atcorr με τη Sentinel 2 και 0.96 για τη σύγκριση της Landsat 8 usgs με τη Sentinel 2. Η τομή (Intercept) υπολογίστηκε και βρέθηκε μεταξύ των τιμών -5.03 και -0.33. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τα δύο ζεύγη μελέτης, μεταξύ των τιμών 3.742 – 5.068, 0.379 – 0.673 και 0.002 (και για τις δύο συγκρίσεις), αντίστοιχα.

RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 1	Landsat 8 atcorr	19748901	0.41	0.03	0.84	2.818	0.300	0.001
	Landsat 8 usgs	19748901	0.94	-0.09	0.86	2.635	0.488	0.002

Πίνακας 1: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr με τη Sentinel 2 στο κόκκινο κανάλι της Υποπεριοχής 1

NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 1	Landsat 8 atcorr	19748901	0.45	-5.03	0.70	5.068	0.673	0.002
	Landsat 8 usgs	19748901	0.96	-0.33	0.84	3.742	0.379	0.002

Πίνακας 2: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr με τη Sentinel 2 στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι της Υποπεριοχής 1

1.2. Υποπεριοχή 2

Όσον αφορά την υποπεριοχή 2, πρόκειται για περιοχή με ηπειρωτική Γη, σε απόσταση από την παράκτια ζώνη, η οποία αποτελείται κυρίως από καλλιέργειες και αστικό ιστό. Η εικόνα της υποπεριοχής 2, έχει διαστάσεις 2701x7001 εικονοστοιχεία με 10m ανάλυση στο έδαφος.

Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που εφαρμόστηκε, αντιστοιχίζει στον άξονα y την εικόνα MODIS και εξάγονται οι δύο βασικές παράμετροι a και b της εξίσωσης που προκύπτει από την $y = ax + b$ (a= Slope , b = Intercept).

Συσχετίζοντας τα δεδομένα Landsat 8 atcorr και Sentinel 2, παρουσιάζεται συμφωνία στο κόκκινο κανάλι, με το R² να φτάνει το 0.87 στην υποπεριοχή 2. Αντίστοιχα, συμφωνία παρουσιάζουν και τα δεδομένα Landsat 8 usgs και Sentinel 2 με το R² να λαμβάνει επίσης την τιμή 0.87.

Η κλίση (Slope) για τα δύο ζεύγη εικόνων μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.46 και 0.95. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών -0.49 έως -0.63. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 7.262 – 8.050, 0.064 – 0.733 και 0.003 – 812.311, αντίστοιχα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των συσχετίσεων στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, εμφανίζεται διαφωνία μεταξύ όλων των ζευγών των εικόνων. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα της Landsat 8 atcorr και της MODIS παρουσιάζουν διαφωνία R² 0.34. Ομοίως, τα δεδομένα των Landsat 8 usgs και MODIS και

των εικόνων Sentinel 2 και MODIS, εμφανίζουν διαφωνία με τιμή R^2 0.37 και 0.27, αντίστοιχα. Η κλίση (Slope) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.30 – 0.57, ενώ η τομή (Intercept) μεταξύ των τιμών 22.35 – 29.01. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τα τρία ζεύγη εικόνων μεταξύ των τιμών 3.271 – 3.971, 0.420 – 0.664 και 0.001 – 0.002, αντίστοιχα.

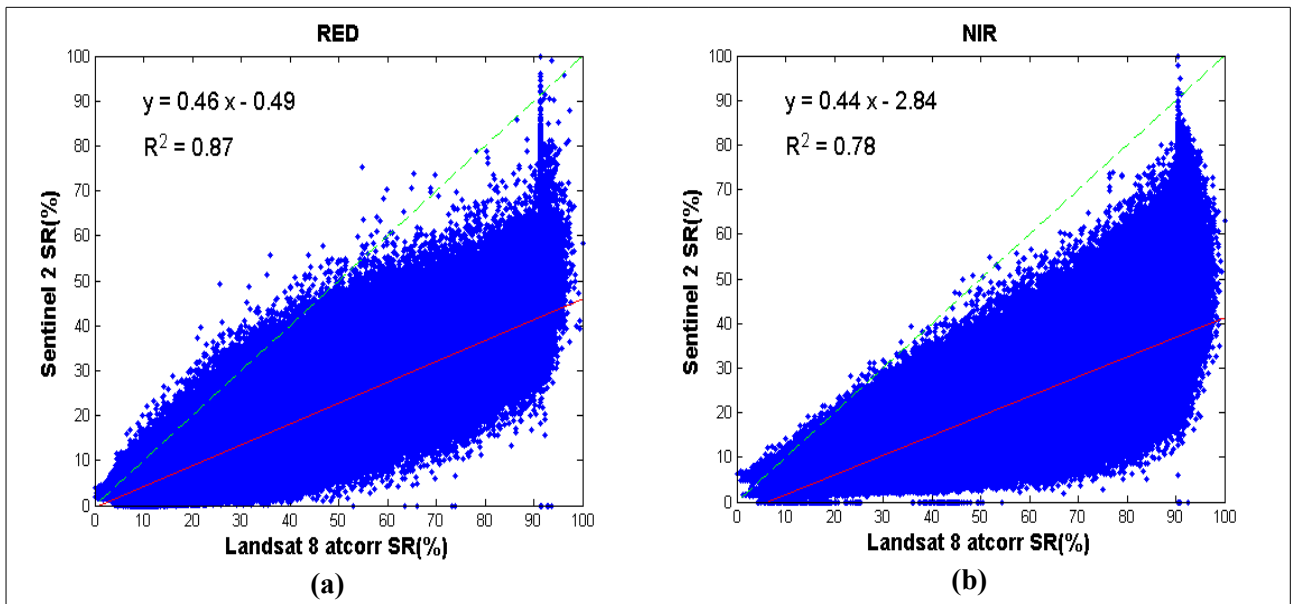
RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 2	Landsat 8 atcorr	18909701	0.46	-0.49	0.87	2.536	0.294	0.001
	Landsat 8 usgs	18909701	0.95	-0.63	0.87	2.564	0.548	0.002

Πίνακας 3: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr και Landsat 8 usgs με την εικόνα Sentinel 2 στο κόκκινο κανάλι της Υποπεριοχής 2

NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 2	Landsat 8 atcorr	18909701	0.44	-2.84	0.78	3.971	0.664	0.002
	Landsat 8 usgs	18909701	0.85	0.05	0.85	3.271	0.420	0.001

Πίνακας 4: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr και Landsat 8 usgs με την εικόνα Sentinel 2 στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι της Υποπεριοχής 2

Στο διάγραμμα συσχέτισης των εικόνων Landsat 8 atcorr και Sentinel 2, παρατηρείται η μείωση της R^2 στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, σε σύγκριση με το κόκκινο, όπως συνέβη και στη μελέτη της υποπεριοχής 1. Το γεγονός αυτό, αποδίδεται στην αυξημένη φωτεινότητα που παρουσιάζει η εικόνα Landsat 8 atcorr, σε σύγκριση με τη Sentinel 2, με την οποία συγκρίνεται.



Διαγράμμα 1 : Διαγράμμα συσχέτισης της εικόνας Landsat 8 atcorr και της εικόνας Sentinel 2, στο κόκκινο (a) και στο εγγύς υπέρυθρο (b) κανάλι της υποπεριοχής 2. Η πράσινη γραμμή δείχνει την 1:1 συσχέτιση, ενώ η κόκκινη, τη συσχέτιση όπως προέκυψε από το μοντέλο.

1.3. Υποπεριοχή 3

Η εικόνα της υποπεριοχής 3 είναι μικρότερη σε σύγκριση με τις άλλες δύο που μελετήθηκαν, με διαστάσεις 1701x2501 εικονοστοιχεία με 10m ανάλυση στο έδαφος. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η συγκεκριμένη υποπεριοχή ήταν δύσκολη στην επιλογή της εικόνας περικοπής, καθώς τα αρχικά δεδομένα παρουσίαζαν αυξημένη νεφοκάλυψη και έπρεπε να γίνει προσεκτικός και εκτενής έλεγχος για σύννεφα.

Όπως και στις προηγούμενες, έτσι και σε αυτή την υποπεριοχή, τα ζεύγη συγκρίσεων των εικόνων, δηλαδή Landsat 8 atcorr – Sentinel 2 και Landsat 8 usgs – Sentinel 2, παρουσιάζουν συμφωνία. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα τόσο της Landsat 8 atcorr με τη Sentinel 2, όσο και της Landsat 8 usgs με τη Sentinel 2 παρουσιάζονται συσχετισμένα με R^2 0.83.

Η κλίση (Slope) για τα δύο ζεύγη εικόνων μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.54 και 0.79. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 6.33 έως 6.65, για τα δύο ζεύγη δεδομένων. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 3.483 – 3.499, 0.297 – 0.610 και 0.001 – 611.858, αντίστοιχα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των συσχετίσεων στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, παρουσιάζουν μέτρια συσχέτιση, με τις χαμηλότερες τιμές από όλες τις προηγούμενες υποπεριοχές. Η εικόνα Landsat 8 atcorr ως προς τη Sentinel 2 παρουσιάζουν τιμή R^2 0.65. Όμοια, η Landsat 8 usgs ως προς τη Sentinel 2 παρουσιάζει τιμή R^2 0.71.

Η κλίση (Slope) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.49 – 0.91, ενώ η τομή (Intercept) μεταξύ των τιμών 2.98 – 6.94. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD υπολογίστηκαν και είναι και για τα δύο ζεύγη εικόνων μεταξύ των τιμών 5.109 – 5.688, 0.421 – 0.687 και 0.001 – 868.016, αντίστοιχα.

RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 3	Landsat 8 atcorr	4254201	0.54	6.65	0.83	3.483	0.297	611.858
	Landsat 8 usgs	4254201	0.79	6.33	0.83	3.499	0.610	0.001

Πίνακας 5: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr και Landsat 8 usgs με την εικόνα Sentinel 2 στο κόκκινο κανάλι της Υποπεριοχής 3

NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R ²	RMSE	MBE	RMSD
Υποπεριοχή 3	Landsat 8 atcorr	4254201	0.49	2.98	0.65	5.688	0.687	0.001
	Landsat 8 usgs	4254201	0.91	6.94	0.71	5.109	0.421	868.016

Πίνακας 6: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr και Landsat 8 usgs με την εικόνα Sentinel 2 στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι της Υποπεριοχής 3

Η μείωση της συσχέτισης στη σύγκριση των εικόνων Landsat 8 atcorr και Sentinel 2, εντοπίζεται στο γεγονός ότι η υποπεριοχή 3 είναι πιθανό να περιέχει την ύπαρξη κάποιας νεφέλης ή σύννεφου. Συνεπώς, σε αυτήν παρατηρούνται οι πιο μικρές τιμές της R², ιδίως στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι το οποίο επηρεάζεται περισσότερο.

1.4. Σύνολο περιοχής

Όσον αφορά το σύνολο της περιοχής, πρόκειται για την συνολική αξιολόγηση των επιμέρους υποπεριοχών 1, 2 και 3, η οποία αποτελείται από τα ίδια χαρακτηριστικά.

Εξετάζοντας το κόκκινο κανάλι, τα δεδομένα της εικόνας Landsat 8 atcorr υπολογίζονται να είναι σε συμφωνία με την εικόνα Sentinel 2, με το R² να λαμβάνει όμως μία μέτρια τιμή ίση με 0.72. Το ίδιο ισχύει με την συσχέτιση της Landsat 8 usgs με την Sentinel 2, όπου η συμφωνία τους εδώ προκύπτει αρκετά καλύτερη και ποσοτικοποιείται με τιμή 0.86.

Η κλίση (Slope) και για τα δύο ζεύγη εικόνων μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.44 και 0.95. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών -0.13 έως 0.56, για τα δύο ζεύγη δεδομένων. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 2.961 – 4.096, 0.025 – 0.168 και 0.001 – 164.848, αντίστοιχα.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα, ότι η συσχέτιση του συνόλου της περιοχής της εικόνας Landsat 8 atcorr με τη Sentinel 2 μειώνεται διότι λαμβάνεται υπόψη και η υποπεριοχή 3, η οποία παρουσίαζε τις χαμηλότερες τιμές συσχέτισης και για τους

τρεις δορυφόρους. Το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι πρόκειται για μία υποπεριοχή με αυξημένη την τάση σύννεφων, το οποίο καθιστά αδύνατο τον εντοπισμό οποιασδήποτε νεφέλης που μπορεί να υπάρχει στην περιοχή.

Όσον αφορά το εγγύς υπέρυθρο κανάλι και τις συγκρίσεις μεταξύ των εικόνων Landsat 8 atcorr και Sentinel 2, γίνεται αντιληπτό ότι, οι εικόνες παρουσιάζουν μέτρια συσχέτιση με το R^2 να μειώνεται λαμβάνοντας την τιμή 0.65. Το ίδιο ισχύει και με την σύγκριση των εικόνων Landsat 8 usgs και Sentinel 2, όπου το R^2 υπολογίζεται να είναι ίσο με 0.77.

Η κλίση (Slope) και για τα δύο ζεύγη εικόνων μελέτης, κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.46 και 0.91. Παράλληλα, η τομή (Intercept), κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών -0.40 έως -3.44, για τα δύο ζεύγη δεδομένων. Τα σφάλματα RMSE, MBE και RMSD προέκυψαν μεταξύ των τιμών 4.594 – 5.622, 0.042 – 0.425 και 0.002 – 273.298, αντίστοιχα.

RED band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
Σύνολο Περιοχής	Landsat 8 atcorr	42912803	0.44	0.56	0.72	4.096	0.168	0.001
	Landsat 8 usgs	42912803	0.95	-0.13	0.86	2.961	0.025	164.848

Πίνακας 7: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr και Landsat 8 usgs με την εικόνα Sentinel 2, στο κόκκινο κανάλι στο σύνολο της περιοχής

NIR band								
	product	n	Slope	Intercept	R^2	RMSE	MBE	RMSD
Σύνολο Περιοχής	Landsat 8 atcorr	42912803	0.46	-3.44	0.65	5.622	0.425	0.002
	Landsat 8 usgs	42912803	0.91	0.40	0.77	4.594	0.042	273.29

Πίνακας 8: Αποτελέσματα συσχετίσεων των εικόνων Landsat 8 atcorr και Landsat 8 usgs με την εικόνα Sentinel 2, στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι στο σύνολο της περιοχής

Στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων, υπολογίστηκαν οι απόλυτες διαφορές για το κάθε ζεύγος της αρχικής εικόνας αναφοράς και της νέας εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή των παραμέτρων της εξίσωσης παλινδρόμησης ως προς την εικόνα Sentinel 2, για το κάθε εικονοστοιχείο. Στη μελέτη του συνόλου της περιοχής, δεν πραγματοποιήθηκε ένωση των εικόνων των υποπεριοχών, συνεπώς προέκυψε μία εικόνα διαφοράς της αρχικής από την νέα εικόνα για την κάθε υποπεριοχή, για τον κάθε δορυφόρο. Οι διαφορές αυτές οπτικοποιήθηκαν σε έξι διαβαθμισμένες κατηγορίες από το 0 έως το 255, οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Απόλυτες διαφορές στο κόκκινο κανάλι

Οι απόλυτες διαφορές μελετήθηκαν για την κάθε μία υποπεριοχή ξεχωριστά, εξάγοντας μία εικόνα διαφοράς για την κάθε υποπεριοχή, για το κάθε κανάλι.

- Συνεπώς, από τη συνολική αξιολόγηση, εξετάζοντας τις διαφορές της εικόνας Sentinel 2 από τη νέα Landsat 8 atcorr στο κόκκινο κανάλι, τόσο για την υποπεριοχή 1, όσο και για την υποπεριοχή 2, διαπιστώνεται ότι παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλές διαφορές με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα ως προς τα αντικείμενα που βρίσκονται στην εικόνα. Εκτός αυτού, επικρατεί στο σύνολο της εικόνας μια διαφορά μεταξύ των τιμών 0 έως 100, κάνοντας αδύνατη τη διάκριση των καλλιεργειών στην περιοχή. Ωστόσο, στην υποπεριοχή 3, οι διαφορές της MODIS από τη νέα Landsat 8 atcorr εμφανίζονται περισσότερες, με χαμηλό όμως μέγεθος, διάχυτες σε όλη την εικόνα. Αυτό οφείλεται, στην πιθανή ύπαρξη σύννεφου στην περιοχή αυτή.
- Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εικόνες διαφορών της υποπεριοχής 3, της εικόνας Sentinel 2 από τη νέα Landsat 8 usgs, όπου σε αυτή την περίπτωση, οι διαφορές εμφανίζονται να είναι αρκετά μικρότερες σε όλη την εικόνα, συγκριτικά με αυτές της εικόνας Landsat 8 atcorr. Τέλος, σε περιοχές με υγρασία ή νερό, οι διαφορές των δύο εικόνων εμφανίζονται μηδενικές, κάνοντας τα σημεία αυτά αρκετά δυσδιάκριτα στην εικόνα.

Απόλυτες διαφορές στο εγγύς υπέρυθρο

Όπως και στο κόκκινο κανάλι, έτσι και στο εγγύς υπέρυθρο, οι απόλυτες διαφορές των νέων εικόνων με τις αρχικές, μελετήθηκαν για την κάθε μία υποπεριοχή ξεχωριστά, εξάγοντας μία εικόνα διαφοράς για την κάθε υποπεριοχή, για το κάθε κανάλι.

- Οι εικόνες διαφορών της νέας Landsat 8 atcorr με τη Sentinel 2 και Landsat 8 usgs με τη Sentinel 2, προκύπτουν αρκετά παρόμοιες με αυτές που προέκυψαν και στο κόκκινο κανάλι, τόσο ως προς το μοτίβο, όσο και ως προς το μέγεθος διαφορών. Αξιοσημείωτο παραμένει το γεγονός ότι οι διαφορές εμφανίζονται κυρίως μηδενικές, με εξαίρεση την υποπεριοχή 2, στην οποία μπορεί να διακριθεί ένα μέρος με καλλιέργειες αυξημένης υγρασίας. Τέλος, η υποπεριοχή 3, η οποία παρουσιάζει και τα χειρότερα αποτελέσματα παρουσιάζει “θόρυβο” τέτοιο ώστε να μην μπορεί να διακριθεί τίποτα στην εικόνα.