



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

**Ανίχνευση Μεταβολών και Αναγνώριση των Κατηγοριών τους σε  
Διαχρονικά Υψηλής Χωρικής Ανάλυσης Τηλεπισκοπικά Δεδομένα**



*Διπλωματική Εργασία*

*Σοφία-Ελένη Ιατρίδη*

*Αθήνα, Ιούλιος 2018*



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

**Change Detection and Change Trajectory Recognition from  
Multitemporal, Very-High Resolution, Remote Sensing Data**

*Diploma Thesis*

*Sofia Eleni Iatridi*

*Athens, July 2018*



**RSLab**  
Remote Sensing Laboratory  
National Technical University of Athens  
✓ Sensing ✓ Analytics ✓ Monitoring





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

**Ανίχνευση Μεταβολών και Αναγνώριση των Κατηγοριών τους σε  
Διαχρονικά Υψηλής Χωρικής Ανάλυσης Τηλεπισκοπικά Δεδομένα**

Διπλωματική Εργασία

**Σοφία Ελένη Ιατρίδη**

**Τριμελής εξεταστική επιτροπή:**

Κ. Καράντζαλος

Χ. Ιωαννίδης

Δ. Αργιαλάς

.....  
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Επιβλέπων

.....  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



**RSLab**

Remote Sensing Laboratory  
National Technical University of Athens

✓ Sensing ✓ Analytics ✓ Monitoring



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών μου στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) και ακολουθεί τη δομή που προβλέπεται από τον αντίστοιχο Οδηγό Σπουδών της σχολής. Το αντικείμενο της εργασίας 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 γεωδαισία, το κτηματολόγιο, τα συγκοινωνιακά, η γεωγραφία, 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 εφαρμογές σε πληθώρα αντικειμένων. Πιο συγκεκριμένα, με την ενσωμάτωση της δορυφορικής τεχνολογίας καθώς και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι για την επεξεργασία ψηφιακών εικόνων και διανυσματικών αρχείων εξάγοντας ιδιαίτερα χρήσιμες γεωχωρικές πληροφορίες, διευκολύνοντας και βελτιώνοντας τον εντοπισμό, τη χαρτογράφηση και την πλοήγηση σε πολλές εφαρμογές με πολύ μεγάλη χωρική ακρίβεια.

Για τους παραπάνω λόγους, κίνητρο για την παρούσα διπλωματική εργασία αποτέλεσε η διερεύνηση μεθόδων ανίχνευσης μεταβολών κάλυψης γης αξιοποιώντας τα σημερινά διαχρονικά Τηλεπισκοπικά δεδομένα. Τα καινοτόμα στοιχεία της μεθόδου αφορούν κυρίως τη διαδικασία μάθησης απευθείας των χαρακτηριστικών και του είδους της μεταβολής (πχ. από βλάστηση σε κτίριο, από χέρσο έδαφος σε κτίριο) σε σχέση με την πλειονότητα των σημερινών τεχνικών που επικεντρώνονται στη μάθηση των κατηγοριών κάλυψης γης σε μια χρονική στιγμή και τη σύγκριση των διαχρονικών αποτελεσμάτων. Στην επίτευξη αυτού του στόχου, πραγματοποιήθηκαν πειράματα για την εκπαίδευση ενός SVM ταξινομητή ώστε να ανιχνεύσει τις αλλαγές και ταυτόχρονα να αναγνωριστούν οι κατηγορίες των μεταβολών (μεταβολή από τη κατηγορία Χ κάλυψης γης στην κατηγορία Υ). Οι περιοχές εκπαίδευσης, στην περίπτωση αυτή, δημιουργούνται ανά ζεύγη εικόνων, ενώ τα δεδομένα έχουν αντιστοιχηθεί με κατάλληλο τρόπο ώστε να ταυτίζονται χωρικά.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση μιας διπλωματικής εργασίας είναι μια πρωτόγνωρη διαδικασία για κάθε φοιτητή και απαιτεί τόσο τεχνική, όσο και πνευματική υποστήριξη. Για το λόγο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όσους βοήθησαν να υλοποιηθεί η παρούσα εργασία. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Καθηγητή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, κύριο Κωνσταντίνο Καράντζαλο, για την απεριόριστη εμπιστοσύνη, περισσή υπομονή και την αμέριστη συμπαράσταση που επέδειξε κατά τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επιπροσθέτως, ευχαριστώ τη Δρ. Μαρία Βακαλοπούλου για την αμέριστη βοήθειά και καθοδήγησή της στα πρώτα στάδια της εργασίας, πρόθυμη πάντα να βοηθήσει, παρά τις υποχρεώσεις της.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ την υποψήφια Δρ. Χριστίνα Καρακίζη, πρόθυμη να με βοηθήσει σε οποιοδήποτε εμπόδιο αντιμετώπιζα καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, να με καθοδηγήσει με τις γνώσεις της με τρόπο τέτοιο, ώστε να φαίνονται όλα πιο κατανοητά και εύκολα.

Ευχαριστώ, επίσης, ιδιαίτερα τους καθηγητές Χαράλαμπο Ιωαννίδη και Δημήτριο Αργιαλά για το ενδιαφέρον που έδειξαν και την παράθεση χρήσιμων παρατηρήσεων περαιτέρω εμβάθυνσης της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τις φίλες μου Κ. Ακριτίδου, Ε. Ζαραφωνίτη, Ο. Κουρουνιώτη, Γ. Κραμπί, Μ. Ντούρου, Α. Χατζηναστασιάδου και ιδιαίτερα τον Τοπογράφο Μηχανικό ΕΜΠ Σ. Καπερώνη, για τη διαρκή υποστήριξη τους τόσο στην εκπόνηση της διπλωματικής, όσο και καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στη σχολή.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο της εργασίας αναπτύχθηκε μεθοδολογία για την ανίχνευση μεταβολών σε διαχρονικά ζεύγη εικόνων με βάση την ταξινόμηση με μηχανές διανυσματικής υποστήριξης (Support Vector Machines, SVM). Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά τηλεπισκοπικά δεδομένα από τους δορυφόρους Quickbird και Worldview-2, καθώς και ορθοεικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η αντιστοίχιση των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Ως εικόνα αναφοράς χρησιμοποιήθηκε διαθέσιμη ορθοεικόνα χρονολογίας 2015. Η αντιστοίχιση πραγματοποιήθηκε με βάση την αυτοματοποιημένη μέθοδο (MRF-based Registration, MR) η οποία βασίζεται σε τοπικούς μετασχηματισμούς με δυνατότητα τοπικής παραμόρφωσης χρησιμοποιώντας μοντέλα MRF (Markov random field) και γραμμικό προγραμματισμό για την ελαχιστοποίηση τους. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκε και αξιολογήθηκε ένα μοντέλο ανίχνευσης-αναγνώρισης μεταβολών το οποίο βασίστηκε σε ταξινομητή SVM. Αφού δημιουργήθηκαν τα δεδομένα αναφοράς (εκπαίδευσης και ελέγχου) για τα 4 ζεύγη διαχρονικών εικόνων, δημιουργήθηκαν, ανά ζεύγος εικόνων, κύβοι δεδομένων που περιείχαν τα φασματικά κανάλια μαζί με φασματικούς δείκτες καναλιών. Με τη χρήση μηχανών διανυσματικής υποστήριξης και των δεδομένων εκπαίδευσης, δημιουργήθηκαν μοντέλα ανίχνευσης-αναγνώρισης μεταβολών, τα οποία αξιολογήθηκαν βάσει των δεδομένων ελέγχου ποσοτικά και ποιοτικά.

Σε γενικές γραμμές τα πειραματικά αποτελέσματα ήταν ελπιδοφόρα. Συγκεκριμένα, τα μεγαλύτερα ποσοστά ακρίβειας σημειώθηκαν στο ζεύγος Worldview-2 2010 με την Ορθοεικόνα 2015, όπου οι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης Producer's Accuracy και User's Accuracy έφτασαν το 76% και 79% αντίστοιχα, ενώ σε Overall Accuracy το 93%. Επιπρόσθετα, παρήχθησαν νέοι πίνακες σύγχυσης για τα αποτελέσματα μετά από ομαδοποίηση των αναλυτικών φασματικών κατηγοριών σε γενικευμένες. Τα μεγαλύτερα ποσοστά μετά την ομαδοποίηση των κατηγοριών, δόθηκαν εκ νέου για το ίδιο ζεύγος εικόνων, ήτοι Producer's Accuracy 82%, User's Accuracy 86% και Overall Accuracy 94%.

**Λέξεις-κλειδιά:** Ανίχνευση Μεταβολών, Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση, SVM, Χρήση/Κάλυψη Γης, κατηγορίες μεταβολών, αυτοματοποίηση, αντιστοίχιση

# ABSTRACT

This diploma thesis focused on the development of a classification methodology for the detection of changes in multitemporal remote sensing data based on Support Vector Machines (SVM). For this purpose, satellite remote sensing data from the Quickbird and Worldview-2, as well as high resolution orthoimages from aerial surveys were employed.

During the first steps of the methodology after data preprocessing, the co-registration of the multitemporal data is taking place. As a reference image, the available orthoimage of 2015 was used, while an MRF-based registration method was employed, which addresses local transformations through Markov Random Field models and linear programming. In addition, an SVM-based change detection model was developed and evaluated. The creation of the reference (training and validation) dataset for the 4 image-pairs was performed as well as the construction of datacubes which contain the available bands and certain spectral indices. Through an SVM classifier changes were detected as well as the *from-to* transitions. The methodology was validated through the annotated validation sets with standard quantitative and qualitative metrics.

Overall, the experimental results were promising. In particular, the higher detection accuracy rates were accomplished for the pair of the 2010 Worldview-2 and 2015 orthoimage, with producer's accuracy and user's accuracy at 76% and 79% respectively, while the overall accuracy reached the 93%. Moreover, after aggregating the classification (mainly spectral) classes to a more generic (close to thematic classes) representation higher, as expected accuracy rates were reached. In particular, the higher rates were achieved again from the same image pair with Producer's and User's Accuracy at 82% and 86%, respectively, while the overall accuracy reached the 94%.

**Keywords:** Change detection, Supervised Classification, SVM, Land cover/use, from-to transitions, automation, registration

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
ABSTRACT .....	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ .....	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1. Αντικείμενο Και Στόχοι Εργασίας .....	13
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	15
2.1. Τηλεπισκόπηση Και Παρακολούθηση Διαχρονικών Μεταβολών.....	15
2.1.1. Στρατηγικές για την ανίχνευση μεταβολών.....	16
2.2. Τεχνικές Ανίχνευσης Μεταβολών .....	17
2.2.1. Πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες.....	21
2.3. Αντιστοίχιση Εικόνων.....	24
2.3.1. Μέθοδοι αντιστοίχισης εικόνων .....	25
2.3.2. Εφαρμογές αυτόματης αντιστοίχισης σε δορυφορικά δεδομένα.....	26
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	28
3.1. Περιοχή Μελέτης Και Δεδομένα Ελέγχου.....	28
3.2. Προεπεξεργασία Εικόνων.....	30
3.2.1. Αντιστοίχιση Διαχρονικών Εικόνων .....	32
3.3. Δημιουργία Δεδομένων Αναφοράς .....	35
3.4. Μεθοδολογία Ανίχνευση Μεταβολών.....	53
3.4.1. Διαδικασία Ταξινόμησης .....	53
3.4.2. Πειράματα ανά Ζεύγη Δεδομένων.....	54
3.4.3. Ποσοτικοί Δείκτες Αξιολόγησης .....	58
3.5. Ομαδοποίηση Κατηγοριών.....	58
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ .....	62
4.1. Μεταβολές Μεταξύ 2006 (Δορυφορική) Και 2015 (Ορθοεικόνα) .....	62
4.1.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων με όλες τις κατηγορίες.....	63
4.1.2. Ομαδοποίηση κατηγοριών.....	75
4.2. Μεταβολές Μεταξύ 2009 (Δορυφορική) Και 2015 (Ορθοεικόνα) .....	83



4.2.1.	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	84
4.2.2.	Ομαδοποίηση κατηγοριών και αξιολόγηση αποτελεσμάτων .....	94
4.3.	Μεταβολές Μεταξύ 2010 (Ορθοεικόνα) Και 2015 (Ορθοεικόνα).....	101
4.3.1.	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων σε όλες τις κατηγορίες.....	101
4.3.2.	Ομαδοποίηση κατηγοριών και αξιολόγηση αποτελεσμάτων .....	111
4.4.	Μεταβολές Μεταξύ 2011 (Δορυφορική) Και 2015 (Ορθοεικόνα) .....	117
4.4.1.	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων για όλες τις κατηγορίες .....	117
4.4.2.	Ομαδοποίηση κατηγοριών και αξιολόγηση αποτελεσμάτων .....	125
5.	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	130
5.1.	Ποσοτικά Στοιχεία.....	130
5.2.	Ποιοτικά Στοιχεία.....	135
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	139
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	141
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α .....	147
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΠΙΝΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	160



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΚΩΔΙΚΟ ΟΝΟΜΑ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
DENSE_VEGE	NDV	Πυκνή βλάστηση και στις δύο εικόνες
SPARSE_VEGE	NSV	Αραιή βλάστηση και στις δύο εικόνες
BLD_KERMOSKEP	NBK	Κτίριο με κεραμοσκεπή και στις δύο εικόνες
BLD_GREY	NBG	Κτίριο με γκρι ταράτσα και στις δύο εικόνες
BLD_RED	NBR	Κτίριο με κόκκινη ταράτσα και στις δύο εικόνες
BLD_WHITE	NBW	Κτίριο με άσπρη ταράτσα και στις δύο εικόνες
WATERHEATER_WHITE	NWW	Κτίριο με άσπρη ταράτσα και θερμοσίφωνο και στις δύο εικόνες
WATERHEATER_KERAMOSKEPH	NWK	Κτίριο με κεραμοσκεπή και θερμοσίφωνο και στις δύο εικόνες
PISINA	NP	Πισίνα και στις δύο εικόνες
ASPHALTOS	NA	Άσφαλτος και στις δύο εικόνες
SOIL_DARKCOLOR	NSD	Σκουρόχρωμο έδαφος και στις δύο εικόνες
SOIL_LIGHTCOLOR	NSL	Ανοιχτόχρωμο έδαφος και στις δύο εικόνες
SOIL_MPEZ_RED	NSMR	Μπεζ κόκκινο χρώμα εδάφους και στις δύο εικόνες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ	ΚΩΔΙΚΟ ΟΝΟΜΑ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
BLD_GRAY_KERAMOSKEPH	BGK	Από σπίτι με γκρι ταράτσα σε σπίτι με κεραμοσκεπή
BLD_WHITE_KERAMOSKEPH	BWK	Από σπίτι με άσπρη ταράτσα σε σπίτι με κεραμοσκεπή
BLD_GREY_WHITE	BGW	Από σπίτι με γκρι ταράτσα σε σπίτι με άσπρη
BLD_WHITE_GREY	BWG	Από σπίτι με άσπρη ταράτσα σε σπίτι με γκρι
ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa	AWW	Από σπίτι με άσπρη ταράτσα σε σπίτι με άσπρη ταράτσα και θερμοσίφωνο
ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH	AWK	Από σπίτι με κεραμοσκεπή σε κτίριο με κεραμοσκεπή και θερμοσίφωνο
SOILDARK_BLDWHITE	DSBW	Από σκουρόχρωμο έδαφος σε κτίριο με άσπρη ταράτσα
DARKSOIL_BLDKERAMOSKEPH	DSBK	Από σκουρόχρωμο έδαφος σε κτίριο με κεραμοσκεπή
LIGHTSOIL_BLDWHITE	LSBW	Από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε κτίριο με άσπρη ταράτσα
DARKSOIL_BLDGREY	DSBG	Από σκουρόχρωμο έδαφος σε κτίριο με γκρι ταράτσα
LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH	LSBK	Από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε κτίριο με κεραμοσκεπή
MPEZREDSOIL_WHITBLD	MRSWB	Από μπεζ κόκκινο χρώμα έδαφος σε κτίριο με άσπρη ταράτσα
DENSEVEGE_BLDWHITE	DVBW	Από πυκνή βλάστηση σε κτίριο με άσπρη ταράτσα
DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	DVBK	Από πυκνή βλάστηση σε κτίριο με κεραμοσκεπή
SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	SVBK	Από αραιή βλάστηση σε κτίριο με κεραμοσκεπή
DENSEVEGE_BLDGREY	DVBG	Από πυκνή βλάστηση σε κτίριο με γκρι ταράτσα

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ	ΚΩΔΙΚΟ ΟΝΟΜΑ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
SPARSEVEGE_BLDWHITE	SVBW	Από αραιή βλάστηση σε κτίριο με άσπρη ταράτσα
SPARSEVEGE_PISINA	SVP	Από αραιή βλάστηση σε πισίνα
DARKSOIL_PISINA	DSP	Από πυκνή βλάστηση σε πισίνα
LIGHTSOIL_PISINA	LSP	Από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε πισίνα
LIGHTSOIL_SPARSEVEGE	LSSV	Από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε αραιή βλάστηση
LIGHTSOIL_DENSEVEGE	LSDV	Από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε πυκνή βλάστηση
DARKSOIL_SPARSEVEGE	DSSV	Από σκουρόχρωμο έδαφος σε αραιή βλάστηση
DARKSOIL_DENSEVEGE	DSDV	Από σκουρόχρωμο έδαφος σε πυκνή βλάστηση
DARKSOIL_LIGHTSOIL	DSLS	Από σκουρόχρωμο έδαφος σε ανοιχτόχρωμο έδαφος
LIGHTSOIL_DARKSOIL	LSDS	Από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε σκουρόχρωμο έδαφος
DENSEVEGE_LGHTSOIL	DVLS	Από πυκνή βλάστηση σε ανοιχτόχρωμο έδαφος
WHITEBLD_DENSEVEGE	WBDV	Από κτίριο με άσπρη ταράτσα σε πυκνή βλάστηση
BLDKERAMOSKEPH_ASFALTOS	BKA	Από κτίριο με κεραμοσκεπή σε ασφαλτο
LIGHTSOIL_ASFALTOS	LSA	Από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε ασφαλτο
DENSEVEGE_SPARSEVEGE	DVSV	Από πυκνή βλάστηση σε αραιή βλάστηση
SPARSEVEGE_DENSEVEGE	SVDV	Από αραιή βλάστηση σε πυκνή βλάστηση
WHITEASFALTOY_PISINA	WAP	Από άσπρη ασφαλτος σε πισίνα

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τους σημερινούς ρυθμούς αστικοποίησης και κλιματικής αλλαγής, μοιάζει επιτακτική η ανάγκη συνεχούς παρατήρησης της γης, των αντικειμένων, φαινομένων και μεταβολών στη γήινη επιφάνεια. Συγκεκριμένα, χρήζει άμεσης παρακολούθησης το φυσικό και θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς ως δυναμικό σύστημα, λόγω ποικίλων φυσικών και ανθρωπογενών διεργασιών, υφίσταται συνεχείς αλλαγές. Συγκεκριμένα, το αστικό περιβάλλον δέχεται συνεχείς μεταβολές, τόσο ως προς την έκταση όσο και ως προς τη δομή του. Η αλματώδης ανάπτυξη των προγραμματιστικών τεχνικών στο πλαίσιο της επιστήμης του Διαστήματος και παρατήρησης Γης αλλά και τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Μηχανικής Μάθησης, που αφορούν τη συλλογή, επεξεργασία και αξιοποίηση δεδομένων που σχετίζονται με το φυσικό περιβάλλον και τις δραστηριότητες του ανθρώπου σε αυτό, επιτρέπουν την απόκτηση των απαραίτητων πληροφοριών και την κατάλληλη αξιολόγησή αυτών.

Επιπλέον, ο συνδυασμός της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος και της γενικότερης συμπεριφοράς των φυσικών φαινομένων που επηρεάζουν τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι ιδιαίτερα δημοφιλής τα τελευταία χρόνια. Η ακρίβεια, η αμεσότητα και η καθολικότητα των επιστημών αυτών, τις έχουν καταστήσει απαραίτητα εργαλεία για κάθε είδους εφαρμογές που σχετίζονται με την παρατήρηση κάποιου φαινομένου. Καθίσταται αναγκαία, πλέον, η εύρεση τρόπων αυτοματοποίησης διαδικασιών, με μεγάλη βελτίωση στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων που παράγονται αλλά και μια μεγάλη μείωση στον απαιτούμενο χρόνο και κόστος προκειμένου αυτά να παραχθούν. Βέβαια, στην κατεύθυνση αυτή έχει συμβάλει και η εξέλιξη της τεχνολογίας των δορυφορικών συστημάτων και η διαθεσιμότητα των τηλεπισκοπικών δεδομένων από διαφορετικούς αισθητήρες ποικίλων δορυφορικών συστημάτων, με μεγάλο εύρος χωρικών, ραδιομετρικών και φασματικών αναλύσεων.

Στην παρούσα διπλωματική διερευνήθηκε πειραματικά η ανίχνευση μεταβολών από διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα με ταυτόχρονη αναγνώριση του είδους/ της κατηγορίας των μεταβολών στην κάλυψη γης (πχ. από βλάστηση σε κτίριο, από χέρσο έδαφος σε κτίριο). Τα αποτελέσματα της ανίχνευσης μεταβολών κρίνονται ιδιαίτερα χρήσιμα για μια πληθώρα εφαρμογών όπως είναι ο πολεοδομικός και χωροταξικός σχεδιασμός, το κτηματολόγιο, κοκ.

## 1.1. Αντικείμενο Και Στόχοι Εργασίας

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η παραγωγή χαρτών ανίχνευσης μεταβολών από διαχρονικές τηλεπισκοπικές εικόνες (δορυφορικές εικόνες και ορθοεικόνες). Στόχος της προσέγγισης είναι η ανίχνευση των μεταβολών (χωρικός εντοπισμός των σημείων, περιοχών που υπάρχουν μεταβολές στην κάλυψη γης) και η ταυτόχρονη αναγνώριση του είδους των μεταβολών (από την κατηγορία X στην κατηγορία Y).

Τα καινοτόμα στοιχεία της εργασίας επικεντρώνονται κυρίως στην, κατάλληλη ανά ζεύγη, ανάλυση δεδομένων και την διαδικασία της μάθησης του αλγορίθμου SVM στην φασματική συμπεριφορά της μεταβολής ανάμεσα σε 2 κατηγορίες και όχι στη σταθερή συμπεριφορά μίας κατηγορίας κάλυψης γης

σε μια εικόνα. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν δεδομένα αναφοράς (περιοχές εκπαίδευσης και ελέγχου) ανά ζεύγη εικόνων που απεικονίζουν, με ακρίβεια pixel, τις αλλαγές μεταξύ των ημερομηνιών λήψης. Για την εκπαίδευση του αλγορίθμου, δημιουργήθηκαν επιπλέον δεδομένα αναφοράς και για τις σταθερές (χωρίς μεταβολές) περιοχές ανά ζεύγος εικόνων, για τη διευκόλυνση της ερμηνείας της αλλαγής.

Η υλοποίηση της μεθοδολογίας βασίστηκε επίσης σε αρχικές προεπεξεργασίες και μέθοδο αντιστοίχισης εικόνων, η οποία ανταποκρίνεται σε τοπικούς μετασχηματισμούς. Η ανίχνευση των μεταβολών και η αναγνώριση των κατηγοριών τους (πχ. από βλάστηση σε κτίριο) πραγματοποιείται με τη βοήθεια ταξινομητή SVM που εφαρμόζεται σε συστοιχία των διαχρονικών εικόνων. Παράλληλα, στόχος της εργασίας ήταν η ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με βάση τους παραδοσιακούς δείκτες αξιολόγησης της βιβλιογραφίας.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η έγκαιρη και ακριβής ανίχνευση αλλαγών των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της Γης είναι πολύ σημαντική για την κατανόηση των σχέσεων και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ανθρωπογενών και φυσικών φαινομένων, προκειμένου να προωθηθεί η λήψη των καλύτερων δυνατών αποφάσεων. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τη βελτίωση των μέσων καταγραφής των πληροφοριών, έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές ανίχνευσης. Στο κεφάλαιο αυτό, στο πρώτο τμήμα γίνεται μια περιληπτική αναδρομή της ιστορίας της ανίχνευσης μεταβολών, ενώ στο δεύτερο τμήμα γίνεται περιεκτική ανασκόπηση των τεχνικών ανίχνευσης και των εφαρμογών της στη σύγχρονη βιβλιογραφία.

### 2.1. Τηλεπισκόπηση Και Παρακολούθηση Διαχρονικών Μεταβολών

Τηλεπισκόπηση (remote sensing) είναι η επιστήμη και η τεχνολογία που ασχολείται με τη συλλογή πληροφορίας σχετικά με ένα αντικείμενο, μια περιοχή, μια εμφάνιση ή ένα φαινόμενο, μέσω της κατάλληλης ανάλυσης δεδομένων, τα οποία προέρχονται από ένα σύστημα που δεν βρίσκεται σε επαφή με το συγκεκριμένο αντικείμενο, περιοχή, εμφάνιση ή φαινόμενο. Με μία στενότερη έννοια, η τηλεπισκόπηση του περιβάλλοντος σημαίνει απόκτηση πληροφοριών για μια γήινη επιφάνεια με την από απόσταση μέτρηση και αποτύπωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης και την ατμόσφαιρα. Ιδιαίτερη άνθηση εμφάνισε τις δύο τελευταίες δεκαετίες η δορυφορική τηλεπισκόπηση (satellite remote sensing), δηλαδή καταγραφή δεδομένων από ανιχνευτές οι οποίοι φέρονται από δορυφόρους. Χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία για τη χαρτογράφηση την καταγραφή και παρακολούθηση της βλάστησης και των αλλαγών κάλυψης γης όταν πρόκειται για περιοχές μεγάλης κλίμακας (Roughgarden, Running, & Matson, 1991), (Treitz & Howarth, 1999), (Jat, Garg, & Khare, 2008).

Πλεονέκτημα της Τηλεπισκόπησης αποτελεί το γεγονός της συλλογής δεδομένων με μεγάλη συχνότητα αλλά και ακρίβεια, παρέχοντας πληροφορίες τόσο για τα φασματικά χαρακτηριστικά των στοιχείων κάλυψης της γης αλλά και για το χώρο, το σχήμα και το μέγεθος τους.

Οι διαχρονικές μελέτες αναφέρονται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (Richards, 1993), (Lillesand & Kiefer, 1994), που υποστηρίζει όλες σχεδόν τις γεωεπιστήμες, καθώς επίσης και στο κτηματολόγιο, στη διαχείριση φυσικών πόρων και στην πολεοδομία. Ως παραδείγματα εφαρμογών σε περιβαλλοντικές μελέτες αναφέρονται η καταγραφή αλλαγών σε δασικές περιοχές (Collins & Woodcock, 1996), (Mas, 1999), η παρακολούθηση της μείωσης της επιφάνειας της λίμνης Κορώνειας (Pittas, 2003), (Alexandridis, Takavakoglou, Crisman, & Zalidis, 2007) και η καταγραφή πλημμυρών, της Μεσογειακής ξηρότητας δασικών πυρκαγιών, της καύσιμης ύλης και αποψίλωσης.

Ο όρος επεξεργασία ψηφιακών δορυφορικών απεικονίσεων περιλαμβάνει όλες τις μεθόδους που αποσκοπούν στη λήψη πληροφοριών οι οποίες περιέχονται σε μία ψηφιακή (δορυφορική) απεικόνιση αλλά και δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν με γυμνό μάτι (Jensen, 1996), (Campbell, 2002).

Η κάλυψη της γης (land cover), με την ευρεία έννοια, αφορά στην κατηγοριοποίηση των διαφόρων φυσικών και ανθρωπογενών στοιχείων του εδάφους με βάση ορατές αποδείξεις των χρήσεων γης. Έτσι,

το πυκνό έδαφος, η οργανωμένη γη, οι καλλιέργειες, το αστικό πλέγμα και άλλα πολλά, αποτελούν κατηγορίες κάλυψης γης. Υπό τη στενότερη έννοια, η κάλυψη γης σχετίζεται με τη κατηγοριοποίηση της βλάστησης, φυσικής ή ανθρωπογενούς στην επιφάνεια του εδάφους σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Campbell, 2002). Η κάλυψη γης είναι μια έννοια με συγκεκριμένα και παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά και συνεπώς αντικείμενο άμεσης παρατήρησης.

Με την πάροδο των χρόνων η κάλυψη της γης (land cover) αλλάζει και αυτό οφείλεται είτε σε περιβαλλοντικούς είτε σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Το φυσικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από πολύπλοκα και δυναμικά λειτουργικά συστήματα. Η κάλυψη της γης (land cover), με την ευρεία έννοια, αφορά στην κατηγοριοποίηση των διάφορων φυσικών και ανθρωπογενών στοιχείων του εδάφους με βάση τις ορατές αποδείξεις των χρήσεων γης. Έτσι, το πυκνό δάσος, η οργανωμένη γη, οι καλλιέργειες, το αστικό πλέγμα και άλλα πολλά, αποτελούν κατηγορίες κάλυψης γης. Υπό τη στενότερη της έννοια, η κάλυψη γης σχετίζεται με την κατηγοριοποίηση της βλάστησης, φυσικής ή ανθρωπογενούς, στην επιφάνεια του εδάφους σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Campbell, 2002). Η κάλυψη γης είναι μια έννοια με συγκεκριμένα και παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά και συνεπώς αντικείμενο άμεσης παρατήρησης.

Η παρακολούθηση πλέον είναι επιτακτική έτσι ώστε να εντοπίζονται και να μετριοούνται αυτές οι αλλαγές, να εντοπίζονται τα αίτια, να εκτιμώνται οι επιπτώσεις τους και να προλαμβάνεται η επανάληψή τους. Τα δορυφορικά συστήματα παρακολούθησης της γης δίνουν τη δυνατότητα διαχρονικών απεικονίσεων με σταθερή επαναληψιμότητα και για μακρά περίοδο.

### **2.1.1. Στρατηγικές για την ανίχνευση μεταβολών**

Η επιστημονική γνώση που αφορά τις μεθόδους για την ανίχνευση των μεταβολών με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι άφθονη. Μετά από μελέτη των διαφόρων αλγορίθμων παρατηρήθηκε ότι οι περισσότεροι δομούνται σε δύο βασικά βήματα:

- Την *εξαγωγή χαρακτηριστικών*, που αφορά στο κομμάτι της επεξεργασίας των εικόνων με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών και της επισήμανσης των δεδομένων εισόδου που απαιτούνται για το στάδιο της απόφασης. Τέτοια χαρακτηριστικά μπορεί να είναι πληροφορία που εξάγεται από τις εικόνες ή τους δείκτες αλλαγής, όπως η διαφορά ή ο λόγος (ratio) μεταξύ των εικόνων εισόδου.
- Τη *λειτουργία απόφασης*, που αποτελείται από τις πράξεις που εφαρμόζονται στην εξαγόμενη πληροφορία με σκοπό τη λήψη απόφασης (αλλαγή ή όχι αλλαγή).

Τέλος, παράγεται ο χάρτης των μεταβολών (change map) ανάλογα με τις αποφάσεις. Αυτό είναι το πιο γενικό σύστημα για την ανίχνευση μεταβολών, όμως δεν το ακολουθούν όλες οι μέθοδοι. Για παράδειγμα κάποιες μέθοδοι μπορούν να εισάγουν απευθείας τις εικόνες στην λειτουργία απόφασης χωρίς να προηγηθεί εξαγωγή χαρακτηριστικών (Mercier, Derrode, Trouné, & Bombrun, 2009).



## 2.2. Τεχνικές Ανίχνευσης Μεταβολών

Οι ερευνητές στις μελέτες ανίχνευσης αλλαγών με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων έχουν χρησιμοποιήσει αρκετές μεθοδολογίες για τον εντοπισμό μεταβολών.

Η ανίχνευση των διαχρονικών αλλαγών είναι η διαδικασία του προσδιορισμού των διαφορών στην κατάσταση ενός αντικειμένου ή φαινομένου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (Singh, 1989). Ο χρόνος και η ακρίβεια της ανίχνευσης αλλαγών στη γήινη επιφάνεια μπορεί να δώσει μια καλύτερη κατανόηση της σχέσης και της αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπινων και φυσικών φαινομένων. Η διαχρονική ανίχνευση των αλλαγών αποτελεί ένα σύγχρονο ερευνητικό αντικείμενο με μεγάλη πρόσφατη βιβλιογραφία και ιδιαίτερα χρήσιμες εφαρμογές τόσο στη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος όσο και στη διαχείριση των κοινωνικών και οικονομικών συνεπειών στο ανθρωπογενές περιβάλλον (Moshen, 1999).

Οι πρώτες τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών σε ψηφιακά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν τη δεκαετία του 1970, σύμφωνα με τους (Lunetta, Ross, & Elvidge, 1998), ήταν οι μέθοδοι άλγεβρας (algebra techniques), όπως η «διαφορά εικόνων» (image differencing) και η «αναλογία εικόνων» (image ratioing). Τα επόμενα χρόνια έδειξαν ότι οι πιο συνηθισμένες τεχνικές για ανίχνευση μεταβολών ήταν η Διαφορά Εικόνων (Image Differencing), η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) και η μέθοδος Post-Classification Comparison (PCC). Αυτές οι μέθοδοι εφαρμόζονται ευρέως μέχρι και σήμερα καθώς χαρακτηρίζονται ως απλές και γρήγορες στην εφαρμογή. Από τότε, αναπτύχθηκαν πιο πολύπλοκες μέθοδοι με την παράλληλη εξέλιξη της τεχνολογίας των Η/Υ αλλά και με την ανάπτυξη νέων θεωρητικών προσεγγίσεων φτάνοντας τα τελευταία χρόνια να χρησιμοποιούνται οι τεχνικές Spectral Mixture Analysis, τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks-ANN) και η τεχνική Integrated GIS (Geographical Information System) and RS (Remote Sensing) Method, ανήκουν στις πλέον πιο σημαντικές εφαρμογές ανίχνευσης αλλαγών. Όλοι οι αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί ανά τα χρόνια έχουν το χαρακτηριστικό ότι διαθέτει ο καθένας από αυτούς τις δικές του τεχνικές και δεν υπάρχει κάποιος που να ανταποκρίνεται σε όλων των ειδών τις περιπτώσεις. Στην πράξη, διαφορετικοί αλγόριθμοι συνήθως συγκρίνονται ως προς το ποιός θα έχει τα καλύτερα αποτελέσματα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

Μια τεχνική εντοπισμού μεταβολών πάνω σε διαχρονικές εικόνες της ίδιας γεωγραφικής περιοχής, μπορεί να βασισθεί σε ένα σύστημα απεικόνισης που να έχει τις παρακάτω προδιαγραφές:

- Να έχει μια συστηματική περίοδο λήψης.
- Οι καταγραφές των εικόνων της ίδιας γεωγραφικής περιοχής να γίνονται την ίδια ώρα της ημέρας για να ελαχιστοποιούνται οι διαφορετικές επιδράσεις λόγω ύψους του ήλιου.
- Να διατηρείται η ίδια κλίμακα (κυκλική τροχιά) και γεωμετρία της εικόνας.
- Να μειώνεται η μετατόπιση του ανάγλυφου όσο το δυνατόν περισσότερο.
- Να καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία σε προκαθορισμένες και χρήσιμες φασματικές περιοχές.

Υπό την προϋπόθεση ότι ικανοποιούνται οι παραπάνω συνθήκες, είναι δυνατόν στα τηλεπισκοπικά δεδομένα να αναλυθούν τα χωρικά, τα φασματικά και τα διαχρονικά χαρακτηριστικά για την παραγωγή στατιστικών στοιχείων, μεταβολών κάλυψης γης και χαρτών μεταβολών κάλυψης γης.

Η ανίχνευση μεταβολών, μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαδικασία που καλύπτει πολλά συνδεδεμένα και επικαλυπτόμενα βήματα: την προ-επεξεργασία, την εξαγωγή της αλλαγής, τον ορισμό ορίων (thresholding), το χαρακτηρισμό της αλλαγής και τον έλεγχο της ακρίβειας (Hecheltjen, Thonfeld, & Menz, 2014).

Παρακάτω, θα γίνει παρουσίαση των κυριότερων μεθόδων ανίχνευσης μεταβολών. Πρίν από αυτό, όμως, είναι αναγκαίο να γίνει και μια κατηγοριοποίησή τους σύμφωνα με τον βαθμό στον οποίο χαρακτηρίζουν τις αλλαγές (Hecheltjen, Thonfeld, & Menz, 2014):

- ✓ Μέθοδοι που εξάγουν πληροφορία για την ένταση και την πιθανότητα της αλλαγής, όπως η αφαίρεση ή η αναλογία εικόνων, οι οποίες είναι χρήσιμες στον εντοπισμό σημείων έντονης αλλαγής και στην δημιουργία μασκών αλλαγής. Ωστόσο, η δυνατότητα Χαρακτηρισμού της Αλλαγής είναι πολύ περιορισμένη.
- ✓ Μέθοδοι που παράγουν εικόνες με πληροφορία για το είδος της αλλαγής, όπως η δι-χρονική PCA και άλλες μέθοδοι μετασχηματισμού, και ακολουθώντας την κατάλληλη επεξεργασία έχουν την δυνατότητα παραγωγής χαρτών χαρακτηρισμένης αλλαγής. Επίσης, μερικοί αλγόριθμοι παράγουν πληροφορία τόσο για την ένταση όσο και το είδος της αλλαγής. Παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι η CVA, η οποία εντοπίζει το μέγεθος και την κατεύθυνση των αλλαγών.
- ✓ Μέθοδοι που επιστρέφουν χάρτες χαρακτηρισμένης αλλαγής χωρίς επιπλέον επεξεργασία, όπως η PCC και η ανίχνευση μεταβολών με SVM. Οι δύο αυτές τεχνικές χρησιμοποιούν αλγόριθμους ταξινόμησης και δεν χρειάζονται περαιτέρω ανάλυση για τον χαρακτηρισμό των αλλαγών.

Για λόγους ευκολίας οι μέθοδοι εντοπισμού των αλλαγών ομαδοποιούνται σε έξι κατηγορίες: 1) Άλγεβρα, 2) Μετατροπή, 3) Ταξινόμηση, 4) Προηγμένα μοντέλα, 5) Τεχνικές Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) και 6) Οπτική ανάλυση (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004).

Οι Al-doski, Mansor, & Shaftri (2013) διαχώρισαν τις κατηγορίες ανίχνευσης αλλαγών σε 7 κατηγορίες, όπως φαίνονται παρακάτω:

1. Άλγεβρική προσέγγιση
  - 1.1. Διαφορά Εικόνων (Image Differencing)
  - 1.2. Παλινδρόμηση εικόνων (Image Regression)
  - 1.3. Λόγος Εικόνων (Image Ratioing)
  - 1.4. Διαφορά δείκτη βλάστησης (Vegetation Index Differencing)
  - 1.5. Ανάλυση διανύσματος των αλλαγών (Change vector Analysis-CVA)
2. Μετασχηματισμοί (Transformation Based Change Detection Methods)
  - 2.1. Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA)
  - 2.2. Tasseled Cap (Kauth Thomas Μετασχηματισμός/ KT)
  - 2.3. Gramm-Schmidt (GS)
  - 2.4. Chi-Square
3. Βασισμένη στην ταξινόμηση
  - 3.1. Δέλτα ή μετά-ταξινομικές συγκρίσεις
  - 3.2. Συνδυασμός φασματικής διαχρονικής ανάλυσης (Spectral-Temporal Combined Analysis)
  - 3.3. EM Μετασχηματισμός (EM Transformation)

- 3.4. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση
- 3.5. Υβριδική ανίχνευση αλλαγών
- 3.6. Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks-ANN)
- 3.7. Μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης (Support Vector Machine – SVM)
- 3.8. Li-Strahler Reflectance Model
- 3.9. Spectral Mixer Model
- 3.10. Biophysical Parameter Method
- 4. Προηγμένα Μοντέλα
  - 4.1. Li-Strahler Reflectance Method
  - 4.2. Spectral Mixer Method
  - 4.3. Biophysical Parameter Method
- 5. GIS
  - 5.1. Integrated GIS and RS Method
  - 5.2. GIS Approach
- 6. Οπτική Ανάλυση
  - 6.1. Οπτική ερμηνεία
- 7. Άλλες τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών
  - 7.1. Μετρήσεις της φασματικής εξάρτησης (Henebry 1993)
  - 7.2. Οπτικό σύστημα που βασίζεται στη γνώση (knowledge-based vision system) (Wang 1993)
  - 7.3. Area production method (Hussion and de Gier 1994)
  - 7.4. Συνδυασμός τριών δεικτών: δείκτες βλάστησης, θερμοκρασία επιφάνειας της γης και φασματική δομή (Lambin and Strahlers 1994)
  - 7.5. Καμπύλες αλλαγών (Lawrence and Ripple 1999)
  - 7.6. Γενικευμένα γραμμικά μοντέλα (Morissette et al. 1999)
  - 7.7. Προσέγγιση βασισμένη σε θεωρήματα καμπυλών (Curve-theorem-based approach) (Yue et al. 2002)
  - 7.8. Προσέγγιση με τη βάση τη δομή (Structure based approach) (Zhang et al. 2002)
  - 7.9. Μέθοδος βασισμένη σε φασματικά στατιστικά δεδομένα (Read and Lam 2002)

Στο Παράρτημα παρέχεται περαιτέρω περιγραφή των μεθόδων αυτών, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Αυτές είναι ο Συνδυασμός φασματικής διαχρονικής ανάλυσης (Spectral-Temporal Combined Analysis) αλλά και η Μηχανή Διανυσμάτων Υποστήριξης (Support Vector Machine – SVM) .

#### Φασματο-διαχρονική ανάλυση (Spectral-Temporal Combined Analysis)

Αυτή η μέθοδος εναποθέτει/στοιβάζει διαχρονικά δεδομένα σε ένα μοναδικό αρχείο, οι εικόνες, δηλαδή, ενώνονται (stack). Στη συνέχεια γίνεται μή επιβλεπόμενη ταξινόμηση στη συνδυασμένη εικόνα και πραγματοποιείται η ανίχνευση μεταβολών. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η απλότητά της και ο μικρός χρόνος εφαρμογής της ταξινόμησης. Επιπλέον, μπορεί να εξαχθεί η μέγιστη διακύμανση των αλλαγών καθώς επίσης και περιλαμβάνει αναφορά της αλλαγής, οπότε η αλλαγή είναι σταθεροποιημένη στην αρχική τιμή, σε αντίθεση με την διαφορά εικόνων και την ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών. Στα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής συγκαταλέγεται το γεγονός ότι δίνει

γενικά λιγότερο ακριβή αποτελέσματα σε σχέση με άλλες μεθόδους και δεν παρέχει ολοκληρωμένο πίνακα πληροφορίας της αλλαγής (δυσκολία στην ερμηνεία των κλάσεων). (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004). Στα πλαίσια της εργασίας, η χρήση αυτής της μεθόδου έγινε με επιβλεπόμενη ταξινόμηση, με στόχο την παραγωγή χάρτη ανίχνευσης αλλαγών σε κάθε ζεύγος, όπου φαίνονται οι αλλαγμένες περιοχές και μπορούν να φανούν οι μεταβολές στην κάλυψη γης. Οι αλλαγές ανιχνεύονται και ονομάζονται, δημιουργώντας περιοχές εκπαίδευσης.

#### Μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης (Support Vector Machine – SVM)

Οι Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης αποτελούν μία από τις πιο ακριβείς προσεγγίσεις διακρινουσών συναρτήσεων για ταξινόμηση. Αποτελούν μία μη παραμετρική μέθοδο που δεν βασίζεται σε υποθέσεις για την κατανομή των δεδομένων. Μπορούν να λειτουργήσουν με σχετικά λίγα δεδομένα εκπαίδευσης και συχνά παρουσιάζουν μεγάλες ακρίβειες.

Ο ταξινομητής SVM προσπαθεί να βρει ένα υπερεπίπεδο απόφασης το οποίο να διαχωρίζει το σύνολο των παραδειγμάτων εκπαίδευσης με τέτοιο τρόπο ώστε τα παραδείγματα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία να είναι στη ίδια πλευρά του υπερεπιπέδου. Μεταξύ όλων των πιθανών υπερεπιπέδων αναζητά εκείνο για το οποίο η απόσταση από το κοντινότερο παράδειγμα είναι μέγιστη, δηλ. αναζητά υπερεπίπεδο μέγιστου περιθωρίου (maximal margin hyperplane). Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος δημιουργεί ένα μοντέλο που εισάγει νέα παραδείγματα στην κάθε κατηγορία καθιστώντας τον έναν μη πιθανοτικό δυαδικό γραμμικό ταξινομητή. Ένα μοντέλο SVM είναι μια αναπαράσταση των παραδειγμάτων ως σημεία στο χώρο, χαρτογραφημένα έτσι ώστε τα παραδείγματα των ξεχωριστών κατηγοριών να διαιρούνται με ένα σαφές χάσμα όσο το δυνατόν ευρύτερο. Εκτός από την εκτέλεση γραμμικής ταξινόμησης, η SVM μπορεί να εκτελέσει αποτελεσματικά μια μη γραμμική ταξινόμηση χρησιμοποιώντας αυτό που ονομάζεται κόλπο πυρήνα, χαρτογραφώντας σιωπηρά τις εισόδους τους σε χώρους υψηλών διαστάσεων. Κατόπιν, νέα παραδείγματα καταγράφονται στον ίδιο χώρο και γίνεται πρόβλεψη σε ποια κατηγορία ανήκουν ανάλογα σε ποια περιοχή του χάσματος θα βρεθούν.

Επιπλέον, ο ταξινομητής SVM μπορεί να επεξεργαστεί μεγάλο όγκο πολυδιάστατων δεδομένων και προτιμάται για χρήση σε πολυφασματικά δεδομένα. Στηρίζεται σε στατιστικές θεωρίες που ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο λάθους στην ταξινόμηση. Όταν εφαρμόζεται σε στοίβα/συστοιχία (stack) εικόνων, όπως για την εκπόνηση της εργασίας, η ανίχνευση μεταβολών αντιμετωπίζεται ως ένα δυαδικό πρόβλημα. Ο αλγόριθμος εκπαιδεύεται από τα πεδία εκπαίδευσης και θέτει όρια (thresholds) αυτόματα βάσει των φασματικών χαρακτηριστικών. Τέλος, παρουσιάζει δυσκολία στην επιλογή της βέλτιστης λειτουργίας πυρήνα (kernel function), ενώ ο χρόνος υπολογισμού και εκπαίδευσης του αλγορίθμου αυξάνεται εκθετικά όσο αυξάνονται οι διαστάσεις των δεδομένων (Hussain, Chen, Cheng, Wei, & Stanley, 2013).

### 2.2.1. Πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες

Όπως γίνεται φανερό από τα παραπάνω η τηλεπισκόπηση παρέχει τη δυνατότητα εστίασης και έπειτα ανάπτυξης και εφαρμογής μεθόδων και τεχνικών για τη μελέτη περιβαλλοντικών προβλημάτων και φαινομένων (Collins & Woodcock, 1996). Το εργαλείο της τηλεπισκόπησης εφαρμόστηκε σε πολλές περιπτώσεις περιβαλλοντικών μελετών όπως προκύπτει από την βιβλιογραφία. Ως παραδείγματα εφαρμογών σε περιβαλλοντικές μελέτες αναφέρονται, η καταγραφή αλλαγών σε δασικές περιοχές (Collins & Woodcock, 1996), (Mas, 1999), η παρακολούθηση των παράκτιων μεταβολών στον Νομό Μαγνησίας (Περάκης, Μπεριάτος, & Γκέσκου, 1997), η καταγραφή μεταβολών βλάστησης στο Νομό Πέλλας (Gitas, Meliadis, Katagis, Polychronaki, & Meliadis, 2009), η καταγραφή πλημμυρών, δασικών πυρκαγιών και αποψίλωσης (Kuntz & Karteris, 1993), η αναγνώριση και μεταβολή βιοτόπων προστατευμένων περιοχών (Μελιάδης, Ραδόγλου, & Καζαντζίδης, 2004), (Πλατής, και συν., 2004), η απογραφή λιβαδιών (Πλατής, Παπαχρήστου, & Παπαναστάσης, Δυνατότητες αξιοποίησης του προγράμματος απογραφής βοσκοτόπων στη διαχείριση των λιβαδιών της Περιφέρειας Ηπείρου. Η Λιβαδοπονία στο κατώφλι του 21ου αιώνα, 2001) και οι διαχρονικές μεταβολές χρήσεων γης λεκανών απορροής (Χουβαρδάς, Ισπικούδης, & Παπαναστάσης, 2006), (Αϊναλής, Μελιάδης, Πλατής, & Τσιουβάρας, 2006), (Αϊναλής, και συν., 2007), (Πλατής, Αϊναλής, Μελιάδης, & Τσιουβάρας, 2009). Οι αλλαγές σε αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να μετρηθούν κατά τη διάρκεια του χρόνου έτσι ώστε να εξυπηρετήσουν την ανίχνευση (τυχαίων) αλλαγών.

Οι Angelici, Brynt, & Friendman (1977), χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της διαφοράς του εύρους κάθε καναλιού και με την επιλογή ορίου (threshold) ανίχνευσε περιοχές που είχαν υποστεί αλλαγές. Οι Jensen & Toll, Detecting residential land use development at the urban fringe, (1982) βρήκαν τη χρησιμότητα του ορατού Κόκκινου Καναλιού, στην ανάλυση ανίχνευσης τόσο στη βλάστηση όσο και στο αστικό περιβάλλον. Επίσης, οι Chavez & Mackinnon, (1994) υπέδειξαν ότι το Κόκκινο Κανάλι της εικόνας παρείχε καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στην ανίχνευση αλλαγών στη βλάστηση από ότι χρησιμοποιώντας το Δείκτη Βλάστησης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) σε ξηρά και ημί-ξηρά περιβάλλοντα στην Νοτιοδυτική περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών. Οι Pilon, Howarth, Bullock, & Adeniyi, (1988) έφτασαν στο συμπέρασμα ότι το ορατό Κόκκινο Κανάλι παρείχε την πιο ακριβή αναγνώριση της φασματικής αλλαγής για την ημί-ξηρή περιοχή μελέτης στην βορειοδυτική Νιγηρία της Αφρικής. Οι Ridd & Liu (1998), σύγκριναν τις μεθόδους Διαφορά Εικόνων (*Image differencing*), Παλινδρόμηση Εικόνων (*Regression method*), Kauth Thomas Μετασχηματισμός (KT ή Tasseled Cap) και μετασχηματισμό *Chi-square* για ανίχνευση αστικών αλλαγών χρήσης γης στην περιοχή Salt Lake Valley, με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων Landsat TM.

Ο Nelson (1983) εξέτασε τη χρησιμότητα της μεθόδου Διαφορά Εικόνων (*Image Differencing*), της Αναλογίας των Εικόνων-Λόγου Καναλιών (*Image Ratioing*) και η διαφορά του Δείκτη Βλάστησης (*Vegetation Index Differencing*) στην ανίχνευση της αποψίλωσης. Συμπέρανε ότι η διαφορά του λόγου MSS7/MSS5 ήταν η πιο χρήσιμη στην οριοθέτηση περιοχών αποψίλωσης σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους. Οι Stow, Collins, & Mckinsey (1990) βρήκαν ότι η αναλογία multi-sensor, multi-temporal δεδομένων δορυφορικών εικόνων είχε υψηλής ακρίβειας αποτελέσματα όσον αφορά στην ανίχνευση σε σχέση με τη μέθοδο Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (*Principal Component Analysis-PCA*) και ότι ήταν χρήσιμη μια τεχνική ενίσχυσης της ανίχνευσης αλλαγών χρήση γης.

Οι Prakash & Gupta (1998) χρησιμοποίησαν τις μεθόδους Διαφορά Εικόνων (Image Differencing), της Αναλογίας των Εικόνων-Λόγου Καναλιών (Image Ratioing) και η διαφορά του Δείκτη Βλάστησης (Vegetation Index Differencing) για τον εντοπισμό αλλαγών στη χρήση της γης σε μια περιοχής εξόρυξης κοραλλιών της Ινδίας και βρέθηκε ότι δεν υπήρχε καμία αισθητή διαφορά ανάμεσα σε αυτές τις μεθόδους στην ανίχνευση αλλαγών και κάθε μέθοδος είχε τα δικά της πλεονεκτήματα. Οι Lyon, Yuan, Lunetta, & Elvigde (1998) σύγκριναν 7 διαφορετικούς δείκτες βλάστησης από 3 διαφορετικές ημερομηνίες δεδομένων MSS για ανίχνευση μεταβολών στην κάλυψη της γης και οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος της διαφοράς δεικτών βλάστησης κατέδειξε την καλύτερη ανίχνευση αλλαγής βλάστησης.

Ο Sohl (1999) επανεξέτασε και αξιολόγησε 5 μεθόδους : τη Διαφορά Εικόνων (Image Differencing), μια βελτιωμένης μορφής Διαφορά Εικόνων, διαφορά του Δείκτη Βλάστησης (Vegetation Index Differencing), Post-Classification και Change Vector Analysis (CVA), καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος CVA, διακρίθηκε για την πλούσιων ποιοτικών λεπτομερειών για τη φύση μιας αλλαγής. Οι Hayes & Sader (2001), σύγκριναν τη διαφορά του Δείκτη Βλάστησης (Vegetation Index Differencing), τη μέθοδο Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA), και τη διαφορά (RGB)-NDVI για την ανίχνευση των τροπικών δασών και την επαναφύτρωση της βλάστησης στην περιοχή της Γουατεμάλας. Με αυτό το πείραμα διαπιστώθηκε ότι η τελευταία μέθοδος έδωσε συνολικό ποσοστό ακρίβειας 85%.

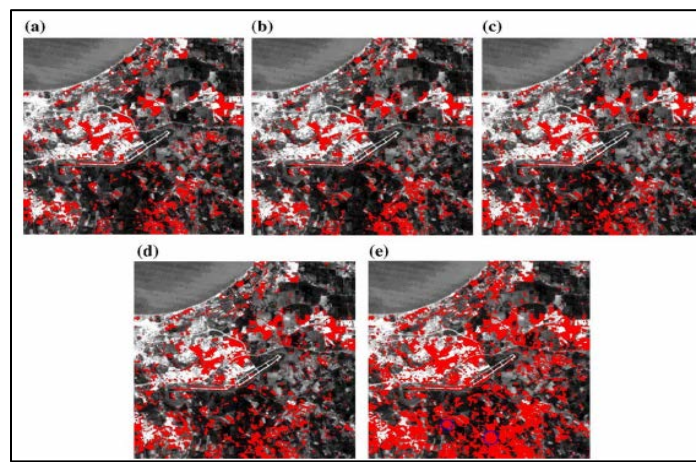
Οι Fung & Le Drew (1987) χρησιμοποίησαν used Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) και διαφορές στο PCA and differences Kauth Thomas Μετασχηματισμό (KT ή Tasseled Cap) στις εικόνες ώστε να ανιχνεύσουν τις αλλαγές στην κάλυψη της γης (land-cover) μέσω Multi-temporal δορυφορικές εικόνες (MSS και TM). Το συμπέρασμα που βγήκε μέσα από αυτή την έρευνα ήταν ότι η διαφοροποίηση των δεικτών πρασίνου (greenness) και φωτεινότητας (brightness) από το μετασχηματισμό KT, ήταν η καταλληλότερη για την ανίχνευση των αλλαγών με τα συγκεκριμένα δεδομένα.

Σε μια άλλη μελέτη, ο Fung, (1990) εξέτασε την Διαφορά Εικόνων (Image differencing), τη PCA και το μετασχηματισμό KT για την ανίχνευση διαφορών κάλυψης γης και διαπίστωσε ότι οι εικόνες σχετίζονται με αλλαγές στο εγγύς υπέρυθρο ή στο πράσινο μπορούν να ανιχνεύσουν την αλλαγή τύπου καλλιεργειών αλλά και τις αλλαγές ανάμεσα χαρακτηριστικών βλάστησης ή όχι. Οι Guirguis, Hassan, El-Raey, M.E., & Hassan (1996), σύγκριναν τις μεθόδους τυποποιημένης και μη, Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (PCA), Διαφορά Εικόνων και Αναλογία Εικόνων (Λόγος Εικόνων). Συμπέραναν ότι η τυποποιημένη μέθοδος PCA ήταν η πιο ικανή στον εντοπισμό διαφορών. Άλλες μελέτες επίσης συμφώνησαν σε αυτό το συμπέρασμα, ότι η τυποποιημένη μέθοδος PCA ήταν πιο αξιόπιστη στην ανίχνευση αλλαγών σε σχέση με τη μη τυποποιημένη μορφή της μεθόδου PCA (Singh & Harrison, Standardized principal components, 1985), (Fung & Le Drew, The application of principal component analysis to change detection, 1987), (Eklundh & Singh, 1993).

Στη συνέχεια ακολουθούν πιο αναλυτικά, δύο μελέτες εφαρμογής για την ανίχνευση μεταβολών μέσω ταξινομήσεων σε δορυφορικές εικόνες. Η πρώτη μελέτη των Nemmour και Chibani (2006), ακολουθεί τη μεθοδολογία ταξινόμησης SVM, παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα διπλωματική.

A. Πολλαπλές μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (SVM) για Εντοπισμό της Αλλαγής κάλυψης γης: Μια εφαρμογή για χαρτογράφηση των αστικών επεκτάσεων, (Nemmour & Chibani, 2006)

Για την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες Landsat (κανάλια 1-5, 7) της Αλγερινής πρωτεύουσας για τις ημερομηνίες 1985 και 1996, οι οποίες διορθώθηκαν γεωμετρικά (σφάλμα RMS 0.2) και ατμοσφαιρικά με το λογισμικό ATCOR-2. Για την διαδικασία του ΕτΑ έγινε εφαρμογή και σύγκριση των μεθόδων SVM με λειτουργία πυρήνα (kernel) και ANN (Εικόνα 2.1). Μετά από πειραματισμούς κατέληξαν ότι οι υψηλότερες ακρίβειες εμφανίζονται με χρήση πυρήνα μεγέθους 6 εικονοστοιχείων, ενώ τα αποτελέσματα της SVM είναι αρκετά καλύτερα από του ANN (97,58% έναντι 93,67%). Στην συνέχεια χρησιμοποιείται ένα σύστημα συνδυασμένων SVM, όπου διαπιστώνεται ότι ο συνδυασμός τριών SVM βελτιώνει το αποτέλεσμα κατά 1% στην συνολική ακρίβεια.

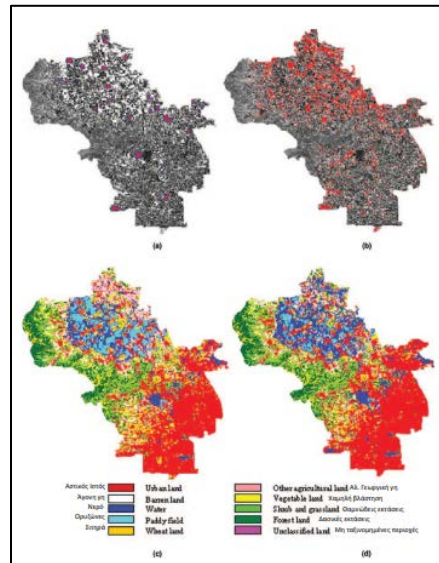


Εικόνα 2.1 Οι χάρτες αλλαγής που παράχθηκαν από τις διάφορες τεχνικές. Διαφορετικές προσεγγίσεις πυρήνα (kernel) (a)-(d) και το αποτέλεσμα της ANN (e). Πηγή: Nemmour et al. (2006)

B. Παράδειγμα ΕτΑ χρήσεων/κάλυψης γης με τη χρήση βελτιωμένης CVA, (Chen, Gong, Chunyang, Pu, & Shi, "Land-Use/Land-Cover Change Detection Using Improved Change-Vector Analysis.", 2003)

Σε αυτή την μελέτη γίνεται ΕτΑ της κάλυψης γης με χρήση μιας βελτιωμένης CVA στην περιοχή Haidian του Πεκίνου, μια περιοχή έκτασης 426 χλμ<sup>2</sup>, στην οποία έγιναν μεγάλες αλλαγές στις χρήσεις γης λόγω των μεγάλων ρυθμών ανάπτυξης της τελευταίας εικοσαετίας. Χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες Landsat TM (κανάλια 1-5, 7) του 1991 και του 1997, ένας τοπογραφικός χάρτης του 1972 (1:50.000), ένας χάρτης χρήσεων γης του 1991 (1:100.000), δεδομένα GPS του 1999 και μια παγχρωματική εικόνα SPOT του 1997. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση των Landsat εικόνων. Ακολούθησε η εξαγωγή του μεγέθους της αλλαγής για κάθε εικονοστοιχείο σύμφωνα με την εξίσωση του Malila (1980), ενώ στην συνέχεια θεσπίστηκαν όρια (thresholds) με τη χρήση της μεθόδου «Ευέλικτη έρευνα βήματος σε διπλό παράθυρο» (Double-Window Flexible Pace Search Method). Για τον διαχωρισμό του τύπου της αλλαγής, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση τύπου μεγίστης πιθανοφάνειας/πιθανότητας (Maximum Likelihood) για την 1991 με ακρίβεια 89%. Τέλος, με την χρήση της βελτιωμένης CVA δημιουργήθηκε και ο χάρτης κάλυψης γης του 1997. Καταλήγοντας, γίνεται ο υπολογισμός των ακριβειών της CVA, ο οποίος διαχωρίζεται σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο αφορά το

δυναμικό πρόβλημα του εντοπισμού της αλλαγής ή της μη αλλαγής των εικονοστοιχείων και έδωσε ακρίβεια 96,3%. Το δεύτερο στάδιο αφορά τον ΧτΑ, έδωσε ακρίβεια 87,3%. Τέλος, παρουσιάζεται η σύγκριση της βελτιωμένης CVA με την PCC, όπου η πρώτη υπερτερεί της δεύτερης και στα δύο στάδια με 96,26% - 90,75% για το πρώτο στάδιο και 87,3% - 75,13%. (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2 Αποτελέσματα μεθόδου. Πεδία εκπαίδευσης (με κόκκινο) (α), εικονοστοιχεία που εντοπίστηκαν ως μεταβλημένα (β). Θεματικοί χάρτες κάλυψης γης της περιοχής, παραγόμενοι από την ταξινόμηση για το 1991 (c), και από την CVA για το 1997 (d). Πηγή: J. Chen 2003.

### 2.3. Αντιστοίχιση Εικόνων

Στο στάδιο της προ-επεξεργασίας των εικόνων, για τον πετυχημένο εντοπισμό των αλλαγών, δεν αρκεί μόνο η επιμελής επιλογή των δεδομένων για τον περιορισμό της ραδιομετρικής ετερογένειας μεταξύ διαχρονικών εικόνων. Πρώτον, οι επιδράσεις των ατμοσφαιρικών συνθηκών και η γωνία ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας συνήθως χρειάζονται περαιτέρω διόρθωση και δεύτερον, άλλοι παράγοντες όπως η βαθμονόμηση του αισθητήρα και οι γεωμετρικές αλλοιώσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη. Επιπλέον, στην εφαρμογή μεθόδων ανίχνευσης μεταβολών, πολλές φορές, όπως και στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, γίνεται σύγκριση μεταξύ των εικονοστοιχείων (pixels). Σε αυτή την περίπτωση, η σχετική γεωαναφορά των διαχρονικών εικόνων πρέπει να γίνει με μεγάλη ακρίβεια, ώστε τα εικονοστοιχεία που εξετάζονται διαχρονικά να βρίσκονται στην ίδια θέση.

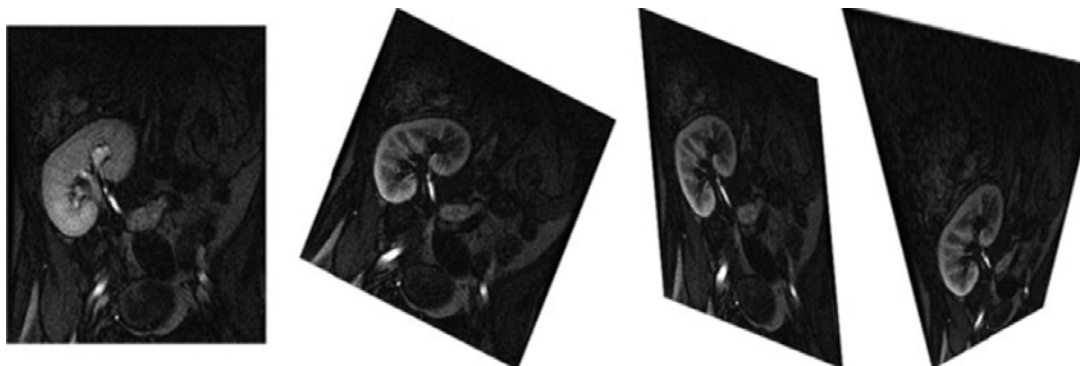
Για την ορθή διαχρονική ανάλυση, απαραίτητη είναι η ακριβής γεωμετρική σύμπτωση των δορυφορικών εικόνων από τις διάφορες χρονικές στιγμές. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με την πολύ καλή γεωμετρική διόρθωση (ή ορθοαναγωγή) των εικόνων σε κοινό σύστημα αναφοράς συντεταγμένων, ή με την μεταξύ τους γεωγραφική σύνδεση (image to image registration). Είναι αναγκαία, λοιπόν, η αντιστοίχιση των συγκρινόμενων εικόνων. Η λανθασμένη γεωαναφορά μεταξύ των εικόνων μπορεί να επιφέρει σφάλματα στην ερμηνεία της αλλαγής. Ωστόσο, οι επιπτώσεις της λανθασμένης γεωαναφοράς στην ανίχνευση μεταβολών διαφέρουν ανάλογα με την περίπτωση.



### 2.3.1. Μέθοδοι αντιστοίχισης εικόνων

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται ανήκουν σε δυο μεγάλες κατηγορίες με βάση το μοντέλο που χρησιμοποιούν, τις άκαμπτες και εύκαμπτες.

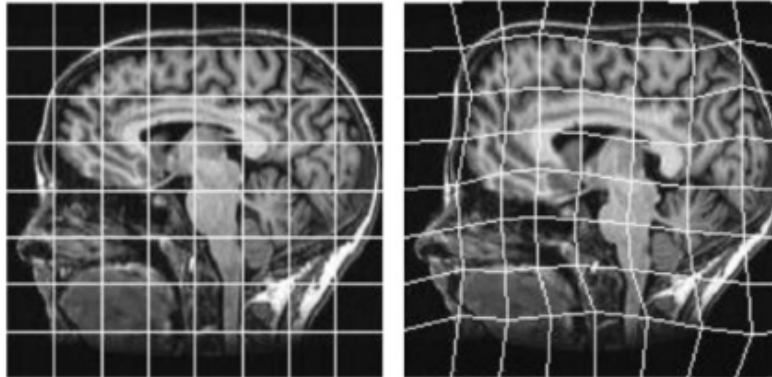
Η πρώτη κατηγορία των άκαμπτων αντιστοιχιών, αποτελείται από μεθόδους που στηρίζονται στην αυτοματοποιημένη ανίχνευση, την περιγραφή και την αντιστοίχιση τοπικών περιγραφέων στο ζεύγος εικόνων και έπειτα υπολογίζουν έναν καθολικό μετασχηματισμό για την αντιστοίχιση τους. Ένας μεγάλος αριθμός από τέτοιους αλγόριθμους, όπως οι SIFT (Lowe, 2004), ASIFT (Morel & Yu, 2009), SURF (Bay, Ess, Tuytelaars, & Gool, 2008), DAISY (Tola, Lepetit, & Fua, 2010), FREAK (Alahi, Ortiz, & Vandergheynst, 2012) κ.α. έχουν χρησιμοποιηθεί για πληθώρα εφαρμογών όπως η αναγνώριση προσώπου, η ταυτοποίηση αντικειμένων, η ανίχνευση κίνησης και η επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων (Price, 2015). Εκτενής χρήση και σύγκριση τέτοιων αλγορίθμων έχει γίνει για την αυτοματοποιημένη αντιστοίχιση υπερφασματικών δεδομένων, όπου σε συνδυασμό με κατάλληλη μεθοδολογία, το αποτέλεσμα είναι επιτυχές (Vakaloroulou & Karantzalos, 2014). Επιπλέον, οι αλγόριθμοι αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί και σε άλλους τομείς, όπως η ιατρική, όπου με τη χρήση του αλγορίθμου SURF (Bay, Ess, Tuytelaars, & Gool, 2008) γίνεται αντιστοίχιση ιατρικών εικόνων (Lukashevich, Zalesky, & Ablameyko, 2011). Οι άκαμπτοι μέθοδοι αντιστοίχισης είναι δημοφιλείς στην αντιστοίχιση ιατρικών εικόνων (Εικόνα 2.3), λόγω των άκαμπτων σωματικών περιορισμών σε πολλές ιατρικές εικόνες που οδηγούν σε καλή προσέγγιση. Επιπλέον, αυτή η κατηγορία μεθόδου περιλαμβάνει λίγες παραμέτρους που πρέπει να προσδιοριστούν και, τέλος πολλές τεχνικές αντιστοίχισης δεν είναι έτοιμες να εφαρμόσουν πιο σύνθετους μετασχηματισμούς.



Εικόνα 2.3 Τύποι άκαμπτων μετασχηματισμών: από αριστερά προς τα δεξιά - η εικόνα και η ομοιότητα αναφοράς, οι συγγενείς και οι προβολικοί μετασχηματισμοί της εικόνας στόχου Πηγή (Khalifa, Beache, Gimelfarb, Suri, & EL-Baz, 2011)

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει μη γραμμικές μεθόδους αντιστοίχισης και τοπικούς μετασχηματισμούς με δυνατότητα τοπικών παραμορφώσεων. Μια μετρική ομοιότητας χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η πιθανότητα του κάθε εικονοστοιχείου της πρώτης εικόνας να ανήκει σε μια γειτονιά εικονοστοιχείων της δεύτερης, βρίσκοντας την καλύτερη μετατόπιση που αποκαθιστά τη γεωμετρία. Αυτού του είδους οι μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε εφαρμογές “υπολογιστικής όρασης” (computer vision) (Αληφραγκής, 2010) και σε ιατρικές εικόνες (Sotiras, Davatzikos, & Paragios, 2013). Η σημασία τους για την ανάλυση ιατρικών εικόνων είναι μεγάλη και ήδη χρησιμοποιούνται πάνω από μια δεκαετία για το σκοπό αυτό (Crum, Hartkens, & Hill, 2004), (Δούμα, 2015), (Μαρκάκη, 2012). Πρόσφατα μάλιστα μια τέτοια μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την αντιστοίχιση πολυφασματικών δεδομένων

υψηλής ανάλυσης από τους δορυφόρους Worldview-2, Pleiades και TerraSAR-X αλλά και δεδομένων που είχαν ληφθεί με χρήση drones και κάλυπταν μεγάλες περιοχές, επιτυγχάνοντας πολύ υψηλές ακρίβειες (Karantzas, Sotiras, & Paragios, 2014). Η Εικόνα 2.4 παρακάτω, δείχνει την ελαστικότητα των ελαστικών μεθόδων σε σχέση με την άκαμπτη μέθοδο αντιστοίχισης, αλλά και ταυτόχρονα και την πολυπλοκότητα αυτής.



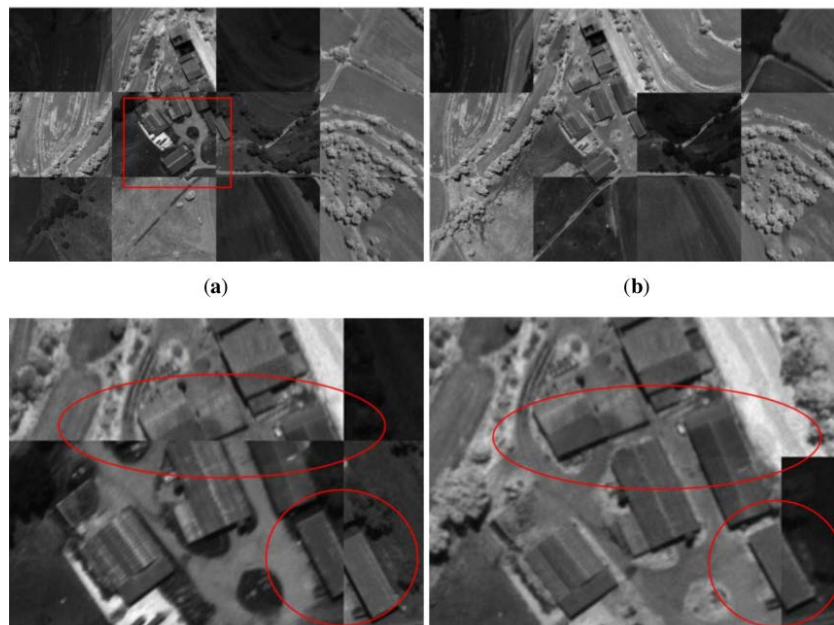
Εικόνα 2.4 Ελαστικό Παράδειγμα (τοπικό) Παραμόρφωσης Πηγή (Duy, 2009)

### 2.3.2. Εφαρμογές αυτόματης αντιστοίχισης σε δορυφορικά δεδομένα

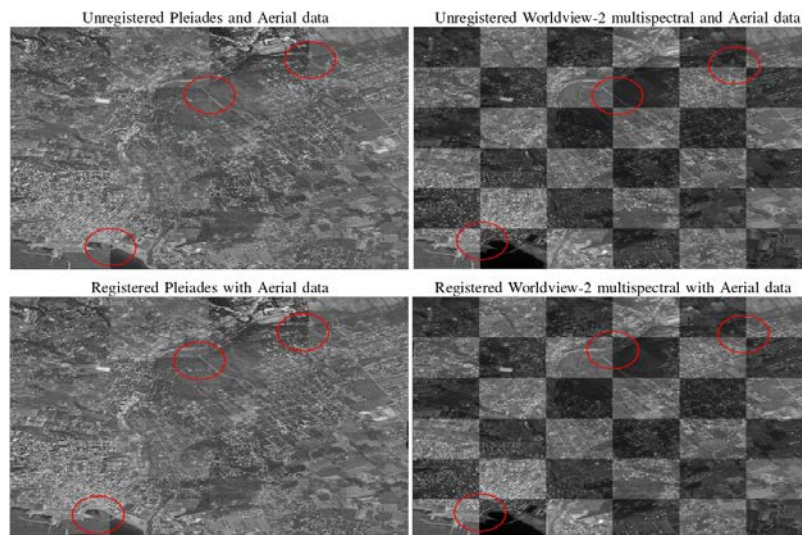
Σημαντικές είναι και οι εφαρμογές της μεθόδου ανίχνευσης και περιγραφής σημείων κλειδιών σε δορυφορικά δεδομένα. Στο άρθρο “Automatic Descriptor-Based Co-Registration of Frame Hyperspectral Data”, που δημοσιεύτηκε από τους Μαρία Βακαλοπούλου και Κωνσταντίνο Καράντζαλο (Vakalopoulou & Karantzas, 2014) στο περιοδικό “Remote Sensing”, υλοποιείται μια αυτοματοποιημένη διαδικασία εύρεσης αντιστοιχιών στα φασματικά κανάλια πολυφασματικών δεδομένων για την αντιστοίχιση τους. Η ανάγκη για την αντιστοίχιση όλων των φασματικών καναλιών σε ένα κοινό σύστημα είναι μεγάλη, καθώς τα κανάλια αυτά λαμβάνονται από το δέκτη συνεχόμενα σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, με συνέπεια το παραγόμενο πολυφασματικό προϊόν να μην αντιστοιχίζεται κατά μήκος του άξονα z και οι μετατοπίσεις κάθε εικόνας να είναι σημαντικές εξαιτίας της κίνησης της πλατφόρμας λήψης των δεδομένων. Για τις ανάγκες αυτές χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι SIFT (Lowe, 2004), ASIFT (Morel & Yu, 2009) και SURF (Bay, Ess, Tuytelaars, & Gool, 2008) και αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία που περιλαμβάνει τρία βήματα. Το πρώτο βήμα ήταν η ταξινόμηση των φασματικών καναλιών σε κύριες φασματικές ομάδες, το δεύτερο η αντιστοίχιση των καναλιών σε κάθε ομάδα και το τρίτο και τελευταίο, η αντιστοίχιση μεταξύ των ομάδων. Η υλοποίηση της μεθόδου του άρθρου αυτού ήταν επιτυχής, καθώς κατάφερε να αντιστοιχίσει τα δεδομένα και με τις τρεις αλγορίθμους σε σύντομο χρονικό διάστημα, με μικρά σφάλματα που κυμαίνονται από 0.5 έως 3.5 εικονοστοιχεία. Ένα δείγμα των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 2.5..

Η σημαντικότερη εφαρμογή της εύκαμπτης μεθόδου με τις τοπικές παραμορφώσεις σε δορυφορικά δεδομένα γίνεται στο άρθρο “Efficient and automated multimodal satellite data registration through MRFs and linear programming” των Κωνσταντίνου Καράντζαλου, Αριστεΐδη Σωτήρα και Νίκου Παραγιού (Karantzas, Sotiras, & Paragios, 2014). Χρησιμοποιώντας μοντέλα MRF (Markov’s random fields) και

προγραμματισμό, ανέπτυξαν ένα μοντέλο ικανό να αντιστοιχεί αυτοματοποιημένα δορυφορικά δεδομένα με διαφορετικές χωρικές αναλύσεις, αποφεύγοντας έτσι τη χρήση ψηφιακών μοντέλων υψομέτρων, που είναι επίπονα στην επεξεργασία και χρονοβόρα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δορυφορικές εικόνες από Pleiades, Worldview-2 και TerraSAR-X. Η αντιστοίχιση τους έγινε σε μωσαϊκό που λήφθηκε από εναέρια μέσα και ήταν επιτυχής. Τα μέσα σφάλματα της απόστασης δεν ξεπέρασαν σε καμία περίπτωση τα 3 εικονοστοιχεία. Ένα μέρος των αποτελεσμάτων φαίνεται στην Εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.5 Δείγμα των αποτελεσμάτων της έρευνας. (α) Περιοχή πριν την αντιστοίχιση. (β) Περιοχή μετά την αντιστοίχιση με την προτεινομένη μέθοδο. (γ) Περιοχή της εικόνας (α) με ζουμ. (δ) Περιοχή της εικόνας (β) με ζουμ. Πηγή (Vakalorouliou & Karantzas, 2014)



Εικόνα 2.6 Αποτελέσματα της εύκαμπτης αντιστοίχισης. Αριστερά εικόνα από Pleiades και δεξιά από Worldview-2. Πάνω τα δεδομένα πριν την αντιστοίχιση και κάτω μετά. Πηγή (Karantzas, Sotiras, & Paragios, 2014)

### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται και αναλύεται η μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας για την ανίχνευση μεταβολών κάλυψης γης. Για το σκοπό αυτό, αρχικά, γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης και στα κατάλληλα δεδομένα που αποτελούνται από δορυφορικές εικόνες και ορθοεικόνες. Κύρια προϋπόθεση για τη συλλογή των δεδομένων αυτών, ήταν η κάθε εικόνα να απεικονίζει την περιοχή μελέτης, έχοντας ληφθεί σε διαφορετική χρονική στιγμή. Στη συνέχεια, αφού έγιναν οι απαραίτητες ραδιομετρικές και γεωμετρικές διορθώσεις, δημιουργήθηκαν με τη ψηφιοποίηση πολυγώνων τα δεδομένα αναφοράς ανά ζεύγη εικόνων. Ακολούθως, παρουσιάζεται η εφαρμογή της προσέγγισης της μεθόδου ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκε σύμφωνα με τα μοντέλα εκπαίδευσης που έχουν δημιουργηθεί, τόσο από ποσοτική όσο και ποιοτική σκοπιά.

#### 3.1. Περιοχή Μελέτης Και Δεδομένα Ελέγχου

Αρχικά, ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το τμήμα της Ανατολικής Αττικής (Εικόνα 3.1) που απεικονίζει διάφορες χρήσεις γης και κατηγορίες κάλυψης γης με τις κύριες να είναι οι καλλιέργειες και οι αστικές περιοχές.



Εικόνα 3.1 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από πεδινές περιοχές με έντονη πυκνή βλάστηση αλλά και θαμνώδεις περιοχές. Επιπλέον, στο σύνολό της η περιοχή διαθέτει οικισμούς τόσο πυκνής αστικής δόμησης όσο και

αραιής αστικής δόμησης, ενώ γύρω τους διακρίνονται μεγάλες εκτάσεις διαφορετικών ειδών καλλιεργείων. Η ποικιλία των ειδών χρήσεων γης είναι απαραίτητη για αυτή τη μελέτη, καθώς σκοπός είναι να εξεταστεί η ποιότητα των αποτελεσμάτων (οπτική και ποσοτική) αλλά και η δυνατότητα διαχωρισμού και ανίχνευσης διαφορετικών χρήσεων γης.

Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν τα κατάλληλα δεδομένα για τη εκπόνηση της μελέτης, με προσοχή καθώς το στάδιο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη διαδικασία ανίχνευσης μεταβολών όσον αφορά την επιλογή των χρονικών στιγμών των δεδομένων και της χρονικής διαφοράς μεταξύ τους. Πολλοί μελετητές, όπως οι Corpin & Bauer (1996) και Sihna, Kumar, & Reid (2011), έχουν τονίσει τη σημασία της συλλογής δορυφορικών δεδομένων για ταξινομήσεις κάλυψης γης όσον αφορά τον αριθμό τους και τη χρονική στιγμή του. Βέβαια, είναι δύσκολο να προκαθοριστούν αυτές οι μεταβλητές λόγω των διαφορετικών καιρικών συνθηκών αλλά και των ιδιαιτεροτήτων της κάθε περιοχής.

Τα δεδομένα εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική χωρίζονται στα δορυφορικά δεδομένα και στα δεδομένα ορθοεικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης. Τα δορυφορικά γεωχωρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1 Δορυφορικά Δεδομένα προς επεξεργασία

ΔΕΔΟΜΕΝΑ/ΕΙΚΟΝΕΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΑΝΑΛΥΣΗ(m)	ΚΑΝΑΛΙΑ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΌΓΚΟΣ(Mbs)	ΠΕΡΙΟΧΗ
QUICKBIRD	28/05/2006	0.6	4	2002x1880	28.7	Ανατολική Αττική
QUICKBIRD	17/04/2009	0.6	4	2002x1880	28.7	Ανατολική Αττική
WORDLVIEW-2	28/04/2010	0.5	8	2402x2256	82.7	Ανατολική Αττική

Οι διαχρονικές δορυφορικές εικόνες απεικονίζουν περίπου το ίδιο τμήμα της ανατολικής Αττικής. Επισημαίνεται ότι ο δέκτης του δορυφόρου QUICKBIRD παρέχει παγχρωματική εικόνα με χωρική διακριτική ικανότητα στα 0,6m και πολυφασματική εικόνα τεσσάρων καναλιών (Blue: 450-520 nm, Green: 520-600 nm, Red: 630-690 nm, Near IR: 760-900 nm) με χωρική διακριτική ικανότητα στα 2,4m (Εικόνα 3.2).

Sensor					
Satellite	Sensor	Band#s	Spectral Range	Scene Size	Pixel Res
QuickBird-2	Multi-spectral	1=Blue	450 - 520 $\mu$ m	16.5 km X 16.5 km	2.44 - 2.88 meter
		2=Green	520 - 600 $\mu$ m		
		3=Red	630 - 690 $\mu$ m		
		4=NIR	760 - 900 $\mu$ m		
	Panchromatic	Pan	760 - 850 $\mu$ m	61 - 72 cm	

Εικόνα 3.2 Χαρακτηριστικά εικόνων Quickbird -2 Πηγή Global Land Cover Facility (<http://glcf.umd.edu/data/quickbird/>)

Αντίστοιχα, ο δέκτης του δορυφόρου WORLDVIEW 2 παρέχει παγχρωματική εικόνα με χωρική διακριτική ικανότητα στα 0,5m και πολυφασματική εικόνα οκτώ καναλιών (Coastal Blue: 400-450 nm, Blue: 450-510 nm, Green: 510-580 nm, Yellow: 585-625 nm, Red: 630-690 nm, Red-Edge: 705-745 nm, NIR1: 770-895 nm, NIR2: 860-1040 nm) με χωρική διακριτική ικανότητα στα 2 m (Εικόνα 3.3).

Mode	Spectral band		Resolution
Panchromatic	0,450 - 0,800 $\mu\text{m}$		0,5 m x 0,5 m
Mode	Band	Spectral band	Applications
Multispectral	1	0,770 - 0,895 $\mu\text{m}$ (near IR 1)	Analysis of vegetative condition. Directly related to plant health
	2	0,630 - 0,690 $\mu\text{m}$ (red)	
	3	0,510 - 0,580 $\mu\text{m}$ (green)	Vegetation applications – Facilitates the "true-color" representations
	4	0,450 - 0,510 $\mu\text{m}$ (blue)	
	5	0,705 - 0,745 $\mu\text{m}$ (red-edge*)	
	6	0,585 - 0,625 $\mu\text{m}$ (yellow)	Vegetation identification and analysis, bathymetric studies based upon its chlorophyll and water penetration characteristics, atmospheric corrections
	7	0,400 - 0,450 $\mu\text{m}$ (coastal band)	
	8	0,860 - 1,040 $\mu\text{m}$ (near IR 2)	Vegetation analysis and biomass studies (less affected by atmospheric influence than the NIR 1 band)

\* Red Edge: Spectral region at the limit of the red and near-infrared wavelengths characterized by a sharp rise in the plant reflectance

Εικόνα 3.3 Χαρακτηριστικά εικόνων Worldview-2 (Πηγή: <http://www.landinfo.com/WorldView2.htm>)

Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν άλλες δύο εικόνες από τον Οργανισμό Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος (ΟΚΧΕ) του 2011 και μία ορθοεικόνα του 2015 που απεικονίζουν την ίδια περιοχή με τις δορυφορικές εικόνες. Η Ορθοεικόνα του 2015, φτιάχτηκε στο Εργαστήριο της Τηλεπισκόπησης της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων, μετά από πτήση με UAV στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής.

Η ΟΚΧΕ του 2011, έχει διαστάσεις 2402x2256 και μέγεθος 15.5Mbs (16.275,375 bytes), ενώ ορθοεικόνα έχει διαστάσεις (15008x14095), μέγεθος 377Mbs (395.828,357 bytes). Η εικόνα ΟΚΧΕ 2011 και η ορθοεικόνα 2015, έχουν από 3 κανάλια (R:G:B) η καθεμία.

### 3.2. Προ-επεξεργασία Εικόνων

Στο Υποκεφάλαιο 3.2., παρουσιάζονται τα απαραίτητα βήματα προεπεξεργασίας των δορυφορικών και των εικόνων Κτηματολογίου, ώστε να χρησιμοποιηθούν στο επόμενο βήμα της εργασίας για την ανίχνευση μεταβολών. Αφού έγινε η ατμοσφαιρική διόρθωση των 3 δορυφορικών εικόνων, έγινε αναγωγή και των 5 εικόνων, στο ίδιο σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ '87) και στο ίδιο pixel size (0.6m). Για να απεικονίζουν ακριβώς το ίδιο κομμάτι της Ανατολικής Αττικής και να έχουν τις ίδιες διαστάσεις, οι 5 εικόνες επεξεργάστηκαν καταλλήλως, με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Matlab. Τέλος, εφαρμόστηκε αντιστοίχιση των εικόνων με τη χρήση του προγράμματος Drop2D.

#### Ατμοσφαιρική Διόρθωση και Συγχώνευση (Pan-sharpening) Δορυφορικών Εικόνων

Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική ήταν ήδη ατμοσφαιρικά διορθωμένες και συγχωνευμένες (pan-sharpened) από τις εργασίες του προγράμματος Πράξη-Θαλής ΕΜΠ «Αυτόματη Ανίχνευση και Μοντελοποίηση 2Δ και 3Δ Μεταβολών στο Αστικό Περιβάλλον από Πολυμορφικά, Διαχρονικά Τηλεπισκοπικά Δεδομένα».

Κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση διενεργούνται οι απαραίτητες, πριν την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, διορθώσεις ώστε να εξαιρεθεί η αλλοίωση που προκαλεί στην ακτινοβολία η επίδραση της ατμόσφαιρας η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ του στόχου και του δέκτη.

Η επίδραση της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται σε μια επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα μέρος της ακτινοβολίας να σκεδαστεί, να απορροφηθεί ένα άλλο και το υπόλοιπο να φτάσει στο δορυφορικό αισθητήρα. Η επιφάνεια του εδάφους δεν δέχεται όμως μόνο την άμεση ακτινοβολία του ήλιου αλλά και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία η οποία προέρχεται από τη σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα πριν αυτή φτάσει στο έδαφος. Η διάχυτη ακτινοβολία φτάνει στον δορυφορικό αισθητήρα είτε κατευθείαν από την ατμόσφαιρα είτε ανακλώμενη στην επιφάνεια του εδάφους και σε νέφη ως ακτινοβολία διαδρομής. Η ακτινοβολία που φτάνει στο δορυφορικό αισθητήρα, αποτελεί το άθροισμα όλων των παραπάνω συνιστωσών.

Ουσιαστικά η διόρθωση αυτή αποσκοπεί στην παραγωγή εικόνων ανακλαστικότητας (reflectance), με αφαίρεση των επιδράσεων της ατμόσφαιρας επί της καταγεγραμμένης έντασης της ανακλώμενης ακτινοβολίας, από την οποία προκύπτει η πρωτογενής εικόνα του δορυφόρου.

Στο πρακτικό τμήμα, οι διαδικασίες των ατμοσφαιρικών διορθώσεων για τις πέντε (3) πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες υλοποιήθηκαν στο λογισμικό ENVI (Exelis) και πιο συγκεκριμένα με χρήση του εργαλείου Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH™). Πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση οι εικόνες διορθώθηκαν ραδιομετρικά μέσω της ραδιομετρικής βαθμονόμησης (radiometric calibration) ούτως ώστε οι πρωτογενείς ψηφιακές τιμές που αντιπροσωπεύουν τη σχετική ακτινοβολία (relative radiance) να μετατραπούν σε τιμές απόλυτης ακτινοβολίας (absolute radiance).

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η συγχώνευση εικόνων. Ο όρος συγχώνευση εικόνας (Image fusion) αναφέρεται σε κάθε διαδικασία συνδυασμού δύο ή και περισσότερων εικόνων σε μια τελική παράγωγη εικόνα. Η συγχώνευση εικόνων μπορεί να αναφέρεται σε συγχώνευση εικόνων από διαφορετικούς δέκτες (multi-sensor data fusion), συγχώνευση διαφορετικού τύπου εικόνων (π.χ. οπτικές με SAR) αλλά και στη συγχώνευση της πολυφασματικής με την παγχρωματική εικόνα (pan-sharpening).

Το pan-sharpening αποτελεί μια περίπτωση συγχώνευσης εικόνας και αναφέρεται στη διαδικασία δημιουργίας μιας νέας εικόνας από τη συγχώνευση της παγχρωματικής εικόνας υψηλής χωρικής ανάλυσης με την πολυφασματική εικόνα χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης. Η παράγωγη εικόνα φέρει περισσότερη πληροφορία εφόσον συνδυάζει την ανώτερη φασματική ανάλυση της πολυφασματικής εικόνας με την ανώτερη χωρική ανάλυση της παγχρωματικής.

Στο πρακτικό τμήμα, οι διαδικασίες pan-sharpening για τις τρεις (3) ατμοσφαιρικά διορθωμένες πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες με τις αντίστοιχες παγχρωματικές εικόνες, υλοποιήθηκαν στο λογισμικό Erdas Imagine και συγκεκριμένα μέσω της εργαλειοθήκης Raster και την επιλογή Pan Sharpen. Μέσω του συγκεκριμένου εργαλείου δίνεται η δυνατότητα διενέργειας pan-sharpening με τις μεθόδους: Modified IHS, High Pass filter, Wavelet-PCA, Principal Components και Hyperspherical Color Space.

#### Αναγωγή εικόνων στο ίδιο σύστημα αναφοράς, ίδιο pixel και ίδια περιοχή

Πρίν την εφαρμογή της μεθόδου αντιστοίχισης των εικόνων, πρέπει όλες να αναφέρονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ '87), να έχουν το ίδιο pixel size (0.6m) και ίδιες διαστάσεις (1784x799). Οι

διαδικασίες αυτές υλοποιήθηκαν στα πρόγραμμα QGIS με τη χρήση της γλώσσας gdal, ενώ οι διαστάσεις δόθηκαν στο πρόγραμμα της MATLAB.

Η αναγωγή των τηλεπισκοπικών δεδομένων στο ίδιο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87, πραγματοποιήθηκε με την εντολή gdalwarp. Με την εντολή αυτή, εικόνα στρέφεται η εικόνα σε νέο σύστημα συντεταγμένων και μπορεί να γίνει προβολή σε οποιοδήποτε υποστηριζόμενη προβολή.

Η αναγωγή των τηλεπισκοπικών δεδομένων στο ίδιο pixel size στο 0.6 m, δηλαδή στο ίδιο με αυτό των Quickbird δορυφορικών εικόνων. Αλλάζοντας το Σύστημα Συντεταγμένων, με την εντολή gdalinfo ξαναβλέπουμε τις πληροφορίες του κάθε αρχείου-εικόνας ξεχωριστά. Το Pixel Size παρατηρούμε έχει αλλάξει ελάχιστα. Για να διευθετηθεί και αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιούμε πάλι την εντολή gdalwarp. Θα μετατρέψουμε το Pixel Size της Ορθοεικόνας, της Worldview-2 και της ΟΚΧΕ, ίδιο με αυτό των Quickbird.

Απαραίτητο ήταν να απεικονίζουν και οι 5 εικόνες ακριβώς την ίδια περιοχή και να έχουν τις ίδιες διαστάσεις. Αρχικά, με τη χρήση της Matlab, οι 5 εικόνες μετατράπηκαν σε διπλή ακρίβεια (διπλής τάξης) με την εντολή im2double, ανακατασκευάζοντας τα δεδομένα εφόσον ήταν απαραίτητο. Κατόπιν, χρησιμοποιώντας τις διαστάσεις της Ορθοεικόνας του 2015, έγινε προσαρμογή των διαστάσεων των υπόλοιπων 4 εικόνων σε αυτές, ώστε να έχουν το ίδιο μέγεθος όλες. Στη συνέχεια, στράφηκαν κατά την ίδια γωνία των 37.188 μοιρών με την εντολή imrotate και κόπηκαν στις ίδιες διαστάσεις ([195 437 1679 1079]) με την εντολή imcrop. Καθόλη την προεπεξεργασία των εικόνων, διατηρήθηκαν αναλλοίωτα τα κανάλια της καθεμίας. Τέλος, έγινε χρήση μόνο του κόκκινου καναλιού της κάθε εικόνας σε αρχείο format mhd, καθώς το πρόγραμμα για την αντιστοίχιση που ακολουθεί, χρησιμοποιεί ως δεδομένα μονοκάναλες εικόνες στο συγκεκριμένο format. Με αυτόν τον τρόπο, ελέγχθηκε η ακρίβεια (ποιοτική και ποσοτική) σε ένα μόνο κανάλι και στη συνέχεια ο γεωμετρικός μετασχηματισμός έγινε στα υπόλοιπα κανάλια κάθε εικόνας ξεχωριστά μέσω κώδικα στη Matlab.

Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τα αρχικά πειράματα για τη μέθοδο αντιστοίχισης, έχουν όγκο γύρω στα 4.08 MB (4,286,472 bytes) Mbs και διαστάσεις 1784x799 εικονοστοιχεία. Για πιο αναλυτική περιγραφή των προαναφερθέντων βημάτων βλ. Παράρτημα Α.

### **3.2.1. Αντιστοίχιση Διαχρονικών Εικόνων**

Για την πλήρη δυνατή αξιοποίηση των δεδομένων αυτών, ώστε να καταλήξουμε σε ανίχνευση μεταβολών, απαιτείται η αντιστοίχισή τους με κάποιο χάρτη, ορθοεικόνα ή εικόνα αναφοράς. Προς την κατεύθυνση αυτή, ασχοληθήκαμε με την εύρεση εφαρμογής μεθόδου για την αυτοματοποιημένη αντιστοίχιση των δεδομένων αυτών. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η (MR:MRF-based Registration) και αποτελεί κατηγορία μεθόδου εύκαμπτης αντιστοίχισης. Αυτή περιλαμβάνει τοπικούς μετασχηματισμούς με δυνατότητα τοπικών παραμορφώσεων. Βασίζεται σε τοπικούς μετασχηματισμούς, με δυνατότητα τοπικής παραμόρφωσης, χρησιμοποιώντας μοντέλα MRF (Markov random field). Συγκεκριμένα, με τη χρήση μετρητών ομοιότητας, υπολογίζεται η πιθανότητα του κάθε εικονοστοιχείου της 1ης εικόνας να ανήκει σε μια γειτονιά εικονοστοιχείων της 2ης, βρίσκοντας την κατάλληλη μετατόπιση που αποκαθιστά τη γεωμετρία. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γίνεται ποσοτικά και ποιοτικά. Ποσοτικά, γίνεται με τη χρήση χαρακτηριστικών σημείων ελέγχου εδάφους, τα CGPs (Control



Ground Points). Ποιοτικά γίνεται με τη χρήση εικόνων σκακιέρων , που δημιουργούνται από την εναλλαγή της μετασχηματισμένης εικόνας (Deformed Image) και της εικόνας αναφοράς (Target Image).

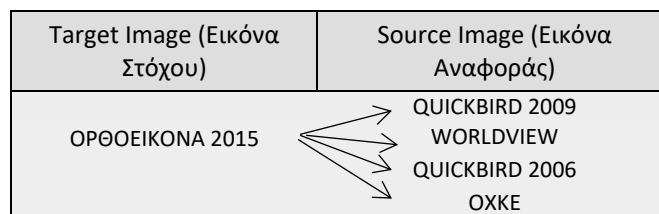
Έγινε χρήση του προγράμματος DPOP2D για την καταγραφή παραμορφώσιμων εικόνων χρησιμοποιώντας τη διακριτή βελτιστοποίηση. Τα δεδομένα εισόδου είναι δύο εικόνες ψηφιακές, αποθηκευμένες ως ξεχωριστοί πίνακες τιμών έντασης, φωτεινότητας και δισδιάστατες. Αυτές οι εικόνες θα αντιστοιχηθούν και το αποτέλεσμα θα είναι ένας γεωμετρικός μετασχηματισμός, δηλαδή, θα γίνει ευθυγράμμιση των σημείων CGPs στη μία εικόνα με τα αντίστοιχα σημεία ελέγχου στη δεύτερη. Στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν ως CGPs χαρακτηριστικά σημεία κτιρίων (πχ. ευδιάκριτες γωνίες ταρατσών). Η αντιστοίχιση καθίσταται επιτυχής όταν οι αντιστοιχίες των σημείων κατατάσσονται μαζί. Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε μια λειτουργία πολλαπλών αναλύσεων όπου μια πυραμιδοειδής αναπαράσταση των εικόνων, συνδυάστηκε με προσέγγιση πολλαπλών κλιμάκων (τόσο για την εικόνα όσο και για το γράφημα) για το μοντέλο παραμόρφωσης. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια υπολογίζεται σε διαφορετικά επίπεδα κανάβου-εικόνας.

Δουλέψαμε με ζεύγη εικόνων, με δεδομένα εισόδου τις μονοκάναλες εικόνες που προέκυψαν από τα προηγούμενα στάδια της προεπεξεργασίας. Ως εικόνα στόχου (Target Image), επιλέχθηκε η πιο πρόσφατη χρονολογικά, η Ορθοεικόνα του 2015. Έτσι, ως εικόνες πηγής (Source Image) , εναλλάσσονταν οι υπόλοιπες 4, οι 3 δορυφορικές εικόνες Quickbird, Worldview-2 και η ΟΚΧΕ (Πίνακας 2). Ως εικόνα αναφοράς θεωρείται η εικόνα πάνω στην οποία γίνεται η αντιστοίχιση και ως εικόνα πηγής, η εικόνα που θα αντιστοιχηθεί (Πίνακας 3.2.).

Οι δύο εικόνες κατακερματίζονταν σε ένα σύνολο κόμβων, που μπορούν να αντιστοιχούν από ένα εικονοστοιχείο μέχρι συσσωρεύσεις από εικονοστοιχεία, σχηματίζοντας και στις δύο περιπτώσεις, ένα γράφο πάνω από τη σύνθεση των δύο εικόνων.

Με τη χρήση του μοντέλου MRF μέσω του προγράμματος Dpop2D, πρέπει να οριστούν μεταβλητές και παράμετροι, οι οποίες επηρεάζουν το γράφο ώστε να διαμορφώνεται ανταποκρινόμενος κατά το βέλτιστο τρόπο στις ανάγκες κάθε εικόνας.

Πίνακας 3.2 Ζεύγη Εικόνας Στόχου-Εικόνας Αναφοράς



Οι παράμετροι αυτές είναι η αρχική απόσταση των κόμβων σε mm (Set distance), η μέθοδος παρεμβολής (Interpolation), τα επίπεδα εικόνας (Image Levels) και γράφου (Grid Levels), τις επαναλήψεις (Iterations), οι ρυθμίσεις αποστάσεις και μετατόπισης ετικέτας (Label factor) , τον υπολογισμό του κόστους με μετρικές ομοιότητας (Data Cost), τις μεθόδους προβολής (Projection) που μπορεί να είναι είτε γραμμική είτε καμπύλη B (Cubic B-Spline). Ως μέθοδο προβολής χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις εικόνες η καμπύλη B (Cubic B-Spline). Οι τιμές των μεταβλητών και παραμέτρων δεν είναι δεδομένες, αλλά διαμορφώνονται εμπειρικά αναλόγως των δεδομένων.

Όσον αφορά στην ποσοτική αξιολόγηση, με την εντολή `ginput` στη Matlab, στοχεύονταν 10 ίδια σημεία ελέγχου στην Target, Source και Output εικόνες ταυτόχρονα. Στη συνέχεια, για κάθε ίδιο σημείο και στις 4 εικόνες, βρίσκονται οι διαφορές των συντεταγμένων  $x$  και  $y$ , από Target με Output και Target με Source. Το αποτέλεσμα της αντιστοίχισης είναι επιθυμητό όταν η διαφορά του σημείου αυτού στη Target με Source είναι μεγαλύτερη από τη διαφορά του σημείου αυτού στη Target και Output.

Κατόπιν αρκετών δοκιμών με συνδυασμούς διαφορετικών τιμών στις παραμέτρους, για τα 4 ζεύγη των εικόνων παραθέτονται παρακάτω οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων ώστε να βγει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα γεωμετρικού μετασχηματισμού. (Πίνακας 3.3.)

Για το ζεύγος με Target την Ορθοεικόνα και Source την Worldview-2, η απόσταση κόμβων είναι 20 εικονοστοιχεία, τα επίπεδα εικόνας 3 και κανάβου 3, οι επαναλήψεις κάθε επιπέδου 5, τα βήματα δειγματοληψίας 5, το λάμδα 0.9 και ο συντελεστής πλαισίου 0.67.

Για το ζεύγος με Target την Ορθοεικόνα και Source την OKXE, η απόσταση κόμβων είναι 50 εικονοστοιχεία, τα επίπεδα εικόνας 2 και κανάβου 3, οι επαναλήψεις κάθε επιπέδου 5, τα βήματα δειγματοληψίας 5, το λάμδα 0.8 και ο συντελεστής πλαισίου 0.67.

Για το ζεύγος με Target την Ορθοεικόνα 2015 και Source την Quickbird 2006, η απόσταση κόμβων είναι 30 εικονοστοιχεία, τα επίπεδα εικόνας 2 και τα επίπεδα κανάβου 2, οι επαναλήψεις κάθε επιπέδου 5, τα βήματα δειγματοληψίας 12, το λάμδα 3 και ο συντελεστής πλαισίου 0.90.

Για το ζεύγος με Target την Ορθοεικόνα και Source την Quickbird 2009, η απόσταση κόμβων είναι 40 εικονοστοιχεία, τα επίπεδα εικόνας 3 και τα επίπεδα κανάβου 3, οι επαναλήψεις κάθε επιπέδου 5, τα βήματα δειγματοληψίας 5, το λάμδα 0.9 και ο συντελεστής πλαισίου 0.67.

Πίνακας 3.3 Συνδυασμοί παραμέτρων της μεθόδου που βασίζεται σε MRFs (MR) για κάθε πείραμα.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	Απ. κόμβων (mm)	Επ. εικόνας (Image Levels)	Επ. Κανάβου (Grid Levels)	Επαναλήψεις (Iterations)	Δειγματοληψία (Steps)	Lambda	Συντ. Μετατόπισης (Label Factor)
Ορθοεικόνα - Worldview-2	20	3	3	5	5	0.9	0.67
Ορθοεικόνα -OKXE	50	2	3	5	5	0.8	0.67
Ορθοεικόνα -Quickbird 2006	30	2	2	5	12	3	0.9
Ορθοεικόνα - Quickbird 2009	40	3	3	5	5	0.9	0.67

Για να είναι σωστό το αποτέλεσμα θα πρέπει οι μέσοι όροι του αθροίσματος των διαφορών των συντεταγμένων  $x$  και  $y$ , αντίστοιχα, τόσο στο μέσο όρο του αθροίσματος των διαφορών αυτών μεταξύ target και source όσο και στο μέσο όρο του αθροίσματος των διαφορών  $x$  και  $y$  target και deformed (μετασχηματισμένη εικόνα εξόδου της μεθόδου αντιστοίχισης), να είναι κοντά στο μηδέν. Επιπλέον, είναι προφανές ότι το σύνολο των διάφορων συντεταγμένων του ίδιου σημείου κάθε φορά στη target με τη source, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες από τις διαφορές συντεταγμένων του αντίστοιχου σημείου στη target με τη deformed (γεωμετρικά μετασχηματισμένη εικόνα).

Στο πρώτο στάδιο των πειραμάτων για την ποσοτική αξιολόγηση, για μεγαλύτερη ακρίβεια στόχευσης, εξετάζονταν κάθε φορά και οι 4 εικόνες στις ίδιες διαστάσεις (200:700,200:700), ενώ στο δεύτερο στάδιο των πειραμάτων, χρησιμοποιώντας τις ίδιες παραμέτρους, στοχεύθηκαν 10 σημεία σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης των 4 εικόνων. Στη συνέχεια, έγινε η ποιοτική αξιολόγηση με τη χρήση εικόνων σκακιέρων, που δημιουργούνται από την εναλλαγή της μετασχηματισμένης εικόνας (Deformed Image) και της εικόνας αναφοράς (Target Image). Τα ποσοτικά και ποιοτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα.

Αφού πραγματοποιήθηκε ο γεωμετρικός μετασχηματισμός στο κόκκινο κανάλι και των 4 εικόνων, με το πρόγραμμα της MATLAB, ο μετασχηματισμός αυτός πραγματοποιήθηκε και στα υπόλοιπα κανάλια αντίστοιχα για κάθε εικόνα. Στα παρακάτω στάδια της εργασίας, γίνεται χρήση αυτών των γεωμετρικά μετασχηματισμένων εικόνων (Wrapped Images).

### 3.3. Δημιουργία Δεδομένων Αναφοράς

Η παραγωγή των περιοχών αναφοράς ένα από τα πιο σημαντικά βήματα πριν τη διαδικασία της ανίχνευσης γιατί σε αυτό το βήμα βασίζεται όλη η εκπαίδευση αλλά και ο έλεγχος του αλγορίθμου και πρέπει να γίνεται με προσοχή ώστε να διατηρείται η ομοιογένεια ανάμεσα σε όλα τα ζεύγη ώστε να ξέρουμε τί σημαίνει η κάθε μεταβολή. Η οριοθέτηση των δεδομένων αναφοράς, πραγματοποιήθηκε πάνω στα ίδια χρονολογικά ζεύγη εικόνων, όπως εξετάστηκαν και στο στάδιο της αντιστοίχισης. Έτσι, πραγματοποιήθηκε σχολαστική μελέτη της περιοχής με εικόνα αναφοράς την Ορθοεικόνα του 2015, ώστε με την κατάλληλη φωτοερμηνεία να επιλεγθούν οι κατηγορίες χρήσεις γης/κάλυψης γης και μεταβολές αυτών, που θα χρησιμοποιηθούν ως κλάσεις στην ταξινόμηση. Η επιλογή των κατηγοριών έγινε με στόχο τη δημιουργία ενός μοντέλου ταξινόμησης που θα μπορεί να αναγνωρίζει περιοχές που έχουν παραμείνει αμετάβλητες αλλά και περιοχές που έχουν υποστεί κάποια μεταβολή στα ζεύγη εικόνων Quickbird 2006-2015, Quickbird 2009-2015, ΟΚΧΕ 2010-2015 και Worldview-2 2011-2015. Οι κατηγορίες αυτές, ως επί το πλείστον, αποτελούνται από μεταβολές ή μη-μεταβολές (Change-No Change) σε σπίτια, βλάστηση, έδαφος, ασφάλτο (δρόμους) αλλά και κομμάτια περιοχών με πισίνες. Από τα τέσσερα (4) ζεύγη εικόνων, δημιουργήθηκαν τέσσερα (4) Reference Data για τις μεταβολές ή μή μεταβολές όλων των εντοπισμένων περιοχών.

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι το πλήθος των κατηγοριών μεταβολής και μη-μεταβολής σε κάθε ζεύγος διέφερε. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μία από τις δύο ή και ταυτόχρονα στις δύο παρακάτω παραμέτρους :

- Ανίχνευση περισσότερων φασματικών ειδών βλάστησης και εδάφους στις εικόνες με τη μεγαλύτερη χωρική ανάλυση
- Ανίχνευση περισσότερων φασματικών ειδών βλάστησης και εδάφους στις εικόνες με τη μεγαλύτερη χωρική ανάλυση

Στον Πίνακα 3.4. που ακολουθεί, δίνεται μία συνολική εικόνα όλων των κατηγοριών (μεταβολών ή μη-μεταβολών) που εντοπίστηκαν και ψηφιοποιήθηκαν στα τέσσερα (4) ζεύγη και χρησιμοποιήθηκαν ως Δεδομένα Αναφοράς κατά την ανίχνευση των μεταβολών. Στο σύνολό τους, οι κατηγορίες μεταβολών καλύψεων γης που εντοπίστηκαν στα ζεύγη είναι 46 κατηγορίες.

Ωστόσο, το πλήθος των αυτών σε κάθε ζεύγος διαφέρει. Η διαφορά του πλήθους των κατηγοριών ανάμεσα στα ζεύγη των εικόνων, οφείλεται στην ανίχνευση περισσότερων φασματικών ειδών βλάστησης και εδάφους στις εικόνες με τη μεγαλύτερη χωρική ανάλυση. Επιπλέον, η διαφορά μπορεί να οφείλεται ακόμα και στη διαφορετική εποχή της λήψης των δορυφορικών εικόνων με την εικόνα αναφοράς, την Ορθοεικόνα 2015.

Όσον αφορά στο πλήθος των κατηγοριών, τις λιγότερες έχει το ζεύγος Worldview-2 2011-2015 (29 κατηγορίες) ενώ τις περισσότερες κατηγορίες έχει το ζεύγος των εικόνων ΟΚΧΕ και Ορθοεικόνας στα έτη 2010-2015 (41), αντίστοιχα. Το ζεύγος 2010-2015, έχει τις περισσότερες κατηγορίες και το μεγαλύτερο πλήθος συνδυασμών πειραμάτων, καθώς τα πειράματα ταξινόμησης ξεκίνησαν από αυτό, ως το ζεύγος εικόνων που μειονεκτούσαν ως προς τα κανάλια των υπόλοιπων ζευγών δορυφορικών εικόνων (/έλλειψη καναλιού εγγύς υπέρυθρου). Η συμπεριφορά του ζεύγους αυτού στην αναπτυγμένη μεθοδολογία ανίχνευσης, ήταν ιδιαίτερα κρίσιμη. Στο ζεύγος 2011-2015, οι αλλαγές που παρατηρούνται είναι οι λιγότερες καθώς οι συγκρινόμενες εικόνες λήφθηκαν σε κοντινές χρονολογικά ημερομηνίες. Στα ζεύγη των δορυφορικών εικόνων Quickbird 2006 και 2009 με την ορθοεικόνα 2015, αντίστοιχα, υπάρχει μία μεγαλύτερη συμφωνία πλήθους κατηγοριών με 36 κατηγορίες για το ζεύγος 2006-2015 και 39 κατηγορίες για το ζεύγος 2009-2015.

Στις μεταβολές που αφορούν αποκλειστικά τα κτίρια, δηλαδή στις περιοχές εκπαίδευσης που αποτελούνται από φασματικές αλλαγές που έχουν γίνει στα κτίρια της περιοχής μελέτης, στα ζεύγη 2006-2015 και 2009-2015 αποτελούνται από ίδιες κατηγορίες. Αντιθέτως στο ζεύγος 2010-2015 αντί για την κατηγορία BGW έχει χρησιμοποιηθεί η κατηγορία BRW. Επιπλέον, το ζεύγος 2011-2015, όπως είναι λογικό, δεν έχει τόσες μεταβολές, για αυτό και στις κατηγορίες μεταβολών των κτιρίων, έχουν περιοριστεί στις BGK, BWK και BWG.

Όσον αφορά στην κατηγορία μεταβολής από περιοχές εδάφους σε περιοχή κτιρίου, δηλαδή στις περιοχές εκπαίδευσης που αποτελούνται από θεματικές αλλαγές που έχουν γίνει στις περιοχές εδάφους που μετατράπηκαν σε κτίρια, υπάρχουν αρκετές διαφορές στις κατηγορίες ανάμεσα στα ζεύγη. Αυτό συμβαίνει καθώς οι κατηγορίες που αφορούν στο έδαφος NDS, NLS, NMRS δεν είναι ξεκάθαρες σε όλες τις εικόνες σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης. Για καλύτερα αποτελέσματα, επιλέγονταν οι κατηγορίες που ήταν ξεκάθαρες και με περισσότερο πλήθος αλλαγών ώστε να εκπαιδευτεί ο αλγόριθμος με μεγαλύτερη επιτυχία. Έτσι, τα ζεύγη 2006-2015, 2009-2015 και 2010-2015 αποτελούνται από τις κατηγορίες DSBW, DSBK, DSBG. Τα ζεύγη 2009-2015 και 2010-2015 έχουν επιπλέον κοινή την κατηγορία LSBK, ενώ τα ζεύγη 2006-2015 και 2010-2015 έχουν κοινή την κατηγορία LSBW. Το ζεύγος 2011-2015 αποτελείται συνολικά στην κατηγορία από έδαφος σε κτίριο, από τρεις κατηγορίες, LSBK, LSBW και MRSBW.

Στην κατηγορία μεταβολής από περιοχές βλάστησης σε κτίριο, και τα τέσσερα (4) ζεύγη έχουν κοινές τις κατηγορίες DVBW και DVBK. Τα ζεύγη 2006-2015, 2009-2015 και 2010-2015 έχουν επιπλέον μία κοινή υποκατηγορία SVBK, ενώ τα 3 ζεύγη εκτός του 2006-2015, έχουν κοινή την υποκατηγορία DVBG. Τέλος,

το ζεύγος 2009-2015 έχει μία επιπλέον υποκατηγορία που δεν εντοπίστηκε σε κάποιο άλλο ζεύγος, την κατηγορία SVBW.











Ταυτόχρονα με τη φωτοερμηνεία των κατηγοριών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία δεδομένων εκπαίδευσης/ελέγχου, έγινε και η σχολαστική ψηφιοποίηση πολυγώνων για την κάθε κατηγορία στο κάθε ζεύγος με τη χρήση του λογισμικού QGIS. Ακολουθως, παρουσιάζονται οι κατηγορίες Μεταβολών ή Μή Μεταβολών όπως εντοπίστηκαν στα τέσσερα (4) ζεύγη με παραδείγματα εικόνων.

Πίνακας 3.4 Κατηγορίες μεταβολών και μη-μεταβολών κάλυψης Γης και η παρουσία τους (πράσινα κελιά) στα εξεταζόμενα ζεύγη εικόνων

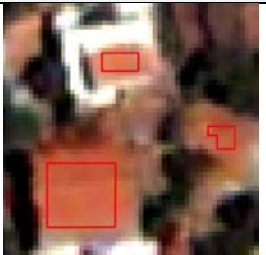

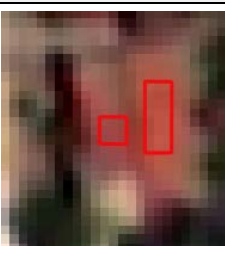
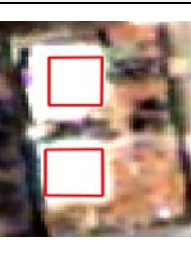


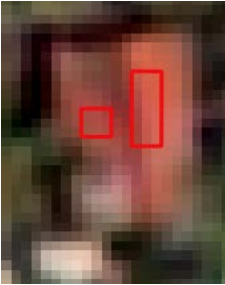
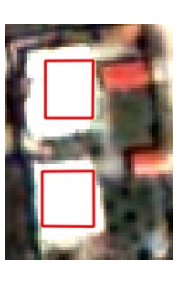

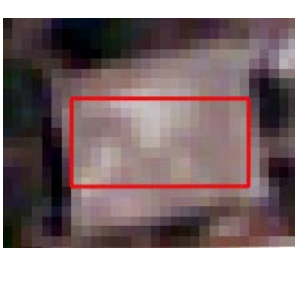
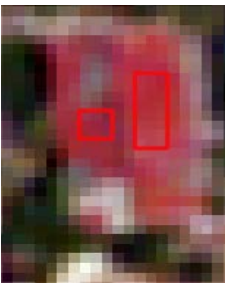
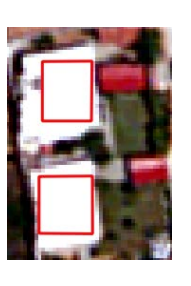

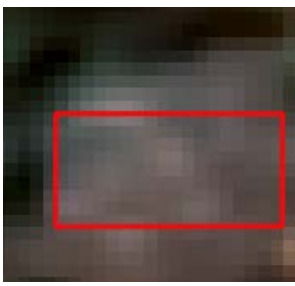

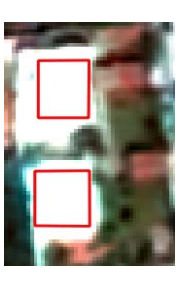

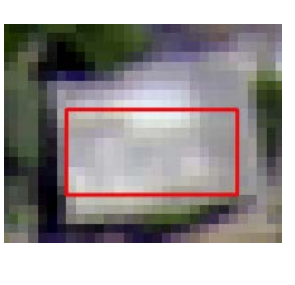

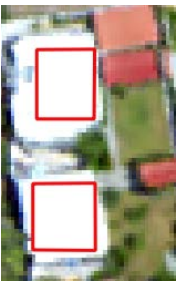
ΚΩΔΙΚΟ ΟΝΟΜΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	DATA SETS			
		2006-2015	2009-2015	2010-2015	2011-2015
NDV	DENSE_VEGE				
NSV	SPARSE_VEGE				
NBK	BLD_KERMOSKEP				
NBG	BLD_GREY				
NBR	BLD_RED				
NBW	BLD_WHITE				
NWW	WATERHEATER_WHITE				
NWK	WATERHEATER_KERAMOSKEPH				
NP	PISINA				
NA	ASFALTOS				
NSD	SOIL_DARKCOLOR				
NSL	SOIL_LIGHTCOLOR				
NSMR	SOIL_MPEZ_RED				
BGK	BLD_GRAY_KERAMOSKEPH				
BWK	BLD_WHITE_KERAMOSKEPH				
BGW	BLD_GREY_WHITE				
BWG	BLD_WHITE_GREY				
AWW	ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa				
AWK	ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH				
DSBW	SOILDARK_BLDWHITE				
DSBK	DARKSOIL_BLDKERAMOSKEPH				
LSBW	LIGHTSOIL_BLDWHITE				
DSBG	DARKSOIL_BLDGREY				
LSBK	LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH				
MRSWB	MPEZREDSOIL_WHITEBLD				
DVBW	DENSEVEGE_BLDWHITE				
DVBK	DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH				
SVBK	SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH				
DVBG	DENSEVEGE_BLDGREY				
SVBW	SPARSEVEGE_BLDWHITE				
SVP	SPARSEVEGE_PISINA				
DSP	DARKSOIL_PISINA				
LSP	LIGHTSOIL_PISINA				
LSSV	LIGHTSOIL_SPARSEVEGE				
LSDV	LIGHTSOIL_DENSEVEGE				
DSSV	DARKSOIL_SPARSEVEGE				
DSDV	DARKSOIL_DENSEVEGE				
DSLS	DARKSOIL_LIGHTSOIL				
LSDS	LIGHTSOIL_DARKSOIL				
DVLS	DENSEVEGE_LGHTSOIL				
WBDV	WHITEBLD_DENSEVEGE				
BAK	BLDKERAMOSKEPH_ASFALTOS				
LSA	LIGHTSOIL_ASFALTOS				
DVSV	DENSEVEGE_SPARSEVEGE				
SVDV	SPARSEVEGE_DENSEVEGE				
WAP	WHITEASFALTOY_PISINA				

Αρχικά παρουσιάζονται οι κατηγορίες που ανήκουν στην κλάση Μη-Μεταβολών, όπου οι περιοχές στις εικόνες 2006, 2009, 2010 και 2011 παραμένουν αμετάβλητες ως προς την εικόνα αναφοράς 2015 (Σχήματα 3.1, 3.2, 3.3).

Στα ζεύγη 2009-2015 και 2010-2015, διακρίνονται καθαρά οι θερμοσίφωνες που παραμένουν σταθεροί σε ταράτσες με κεραμοσκεπή αλλά και σε άσπρες ταράτσες. Έτσι, σε αυτά τα δύο ζεύγη χρησιμοποιήθηκαν ως κατηγορίες όσον αφορά στην κλάση Μη-Μεταβολών από κτίριο σε κτίριο (Σχήμα 3.3.).

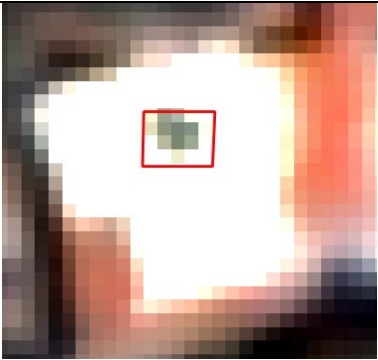
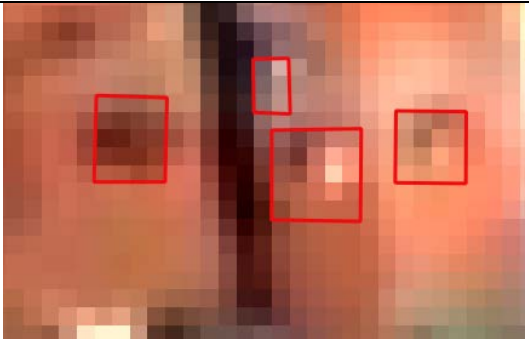
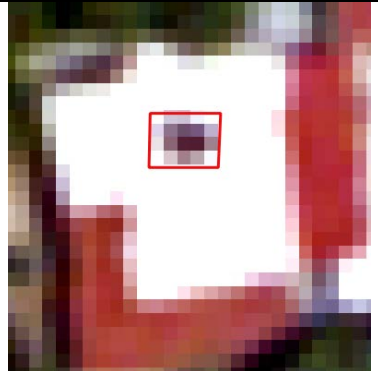



Μη Μεταβολών		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	
		NDV	NSV
ΕΙΚΟΝΕΣ	2006		
	2009		
	2010		
	2011		
ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	2015		

Σχήμα 3.1 Κατηγορία πυκνής βλάστησης (NDV) και κατηγορία αραιής βλάστησης (NSV).

Μη μεταβολών		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ			
		NBK	NBG	NBR	NBW
ΕΙΚΟΝΕΣ	2006				
	2009				
	2010				
	2011				
ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	2015				

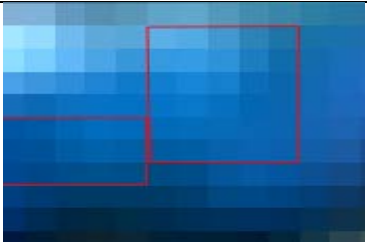

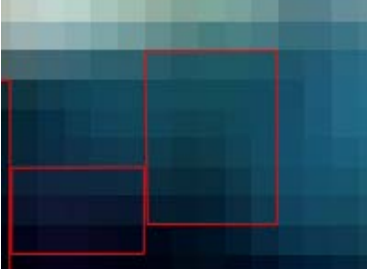

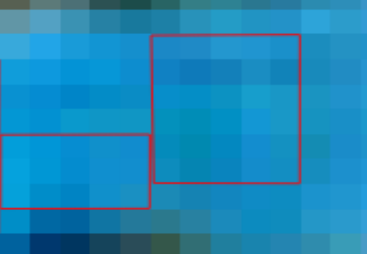

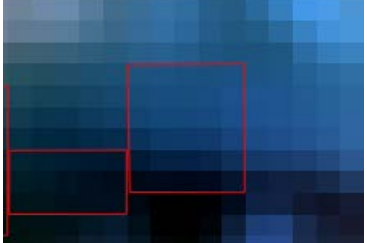

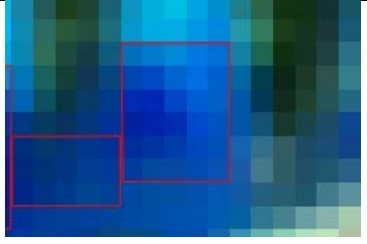




Σχήμα 3.2 Κατηγορίες μη μεταβολών κτιρίων

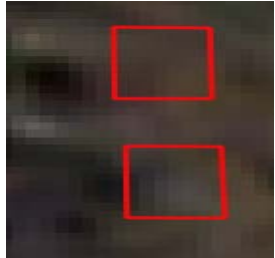
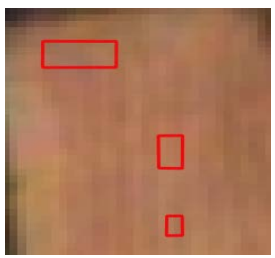

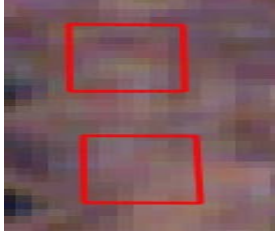




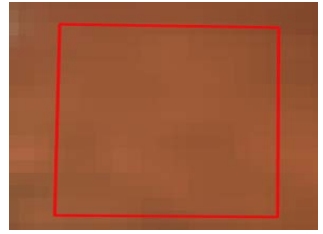
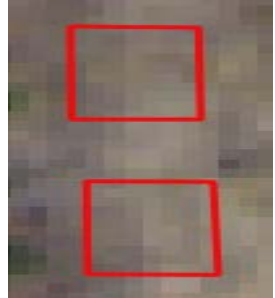
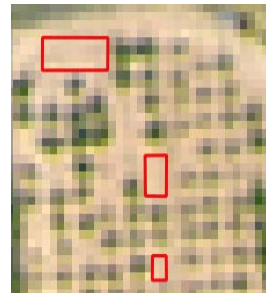
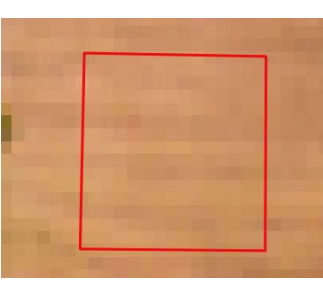


Μη μεταβολών		NWW	NWK
ΕΙΚΟΝΕΣ	2009		
	2010		
ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	2015		

Σχήμα 3.3 Κατηγορίες Μη μεταβολών στο κτίριο με θερμοσίφωνο σε άσπρη ταράτσα και με θερμοσίφωνο σε ταράτσα με κεραμοσκεπή και στις δύο εικόνες αντίστοιχα.

Σε όλα τα ζεύγη που εξετάζονται υπήρξαν κομμάτια κάλυψης γης με κατηγορία πισίνας, ασφάλτου αλλά και διαφορετικής φασματικής υπογραφής περιοχές εδάφους, όπου δεν υπέστησαν κάποια μεταβολή (Σχήμα 3.4.).

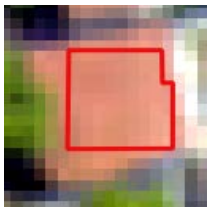
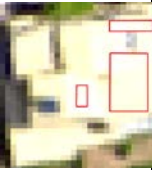




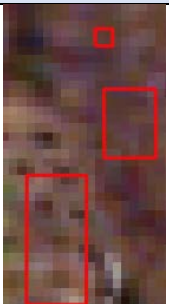



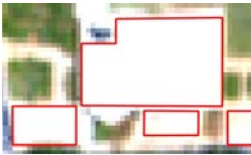



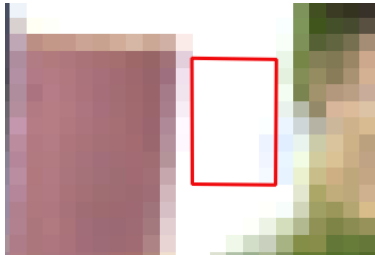


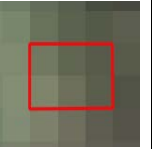



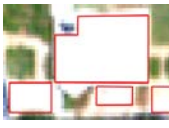
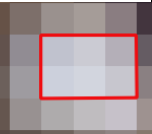


Μη μεταβολών		NP	NA	
ΕΙΚΟΝΕΣ	2006			
	2009			
	2010			
	2011			
	ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	2015		
Μη μεταβολών		NSD	NSL	NSMR
ΕΙΚΟΝΕΣ	2006			

	2009			
	2010			
	2011			
<b>ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑ Σ</b>	2015			

Σχήμα 3.4 Κατηγορίες Μη μεταβολών σε περιοχές πισίνας και στις δύο εικόνες, περιοχές ασφάλτου και στις δύο εικόνες και διαφορετικών φασματικών υπογραφών εδάφους και στις δύο εικόνες.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα, παραδείγματα δεδομένων αναφοράς των κατηγοριών Μεταβολών. Σε αυτές αναφέρονται οι περιοχές κάλυψης γης των εικόνων 2006, 2009, 2010 και 2011 όπου υπέστησαν μεταβολές ως προς την ορθοεικόνα του 2015 (Σχήμα 3.5).

ΕΙΚΟΝΕΣ/ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	BGK	BWK	BGW	BWG	AWW	AWK
2006						

ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015						
ΕΙΚΟΝΕΣ/ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	DSBW	DSBK	DSBG	LSBK	LSBW	
2010						
ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015						
ΕΙΚΟΝΕΣ/ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	SVBW	DVBW	DVBG	DVBK	SVBK	
2009						
ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015						

Σχήμα 3.5 Κατηγορίες Μεταβολών ανάμεσα σε κτίρια, εδάφους με κτίρια, βλάστησης με κτίρια.

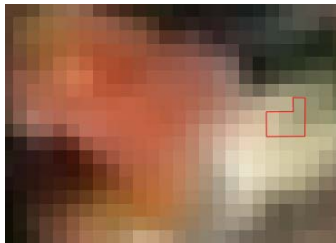

Η ψηφιοποίηση των περιοχών εκπαίδευσης στο πρόγραμμα QGIS, έγινε με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιμέλεια, ώστε να υπάρχει ομοιογένεια στις ομώνυμες κατηγορίες των διαφορετικών ζευγών. Τα μεγέθη των κατηγοριών ως προς τα pixels, αρχικά, έγινε προσπάθεια να διατηρηθούν σε όλα τα ζεύγη

περίπου ίδια. Βέβαια, λόγω των διαφορετικών χρονολογιών δεν υπήρξε αρκετή μεγάλη ομοιότητα κι έτσι το μέγεθος των κατηγοριών διαφέρει ανά ζεύγος.

Στη συνέχεια, παρατίθενται κάποια ακόμα παραδείγματα των κατηγοριών μεταβολών εντοπισμένων ανά ζεύγη.

Στο ζεύγος 2006-2015 εντοπίστηκε μία κατηγορία που δεν βρέθηκε σε κανένα άλλο ζεύγος (Πίνακας 3.5).

Πίνακας 3.5 Κατηγορία Μεταβολής αραιής βλάστησης σε πισίνα.













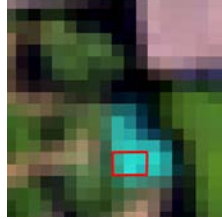

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ /ΕΙΚΟΝΕΣ	2006	ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015
SVP		

Άλλη μία κατηγορία που εντοπίστηκε σε μόνο δύο ζεύγη εικόνων (2009-2015 και 2010-2015), είναι η αλλαγή από ανοιχτόχρωμο κομμάτι ασφάλτου σε περιοχή πισίνας (WAP), (Πίνακας 3.6).

Πίνακας 3.6 Κατηγορία αλλαγής από άσπρη άσφαλτος (WHITEASFALTOY) σε πισίνα (PISINA).



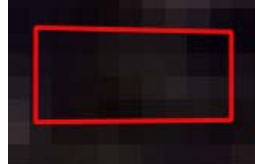



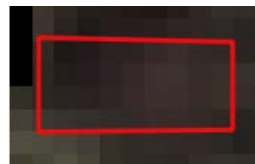












ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ /ΕΙΚΟΝΕΣ	2009	2010	ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015
WAP			

Οι κατηγορίες μεταβολών από περιοχές εδάφους σε περιοχές πισίνας, εντοπίστηκαν σε όλα τα ζεύγη εικόνων (Σχήμα 3.6).

ΕΙΚΟΝΕΣ/ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015			
	DSP	LSP	DSP	LSP
2006				
2009				
2010				
2011				

Σχήμα 3.6 Κατηγορίες Μεταβολών από έδαφος σε πισίνα.







Ακολουθεί το Σχήμα 3.7, με παραδείγματα των κατηγοριών που αφορούν στις μεταβολές από έδαφος σε βλάστηση. Οι κατηγορίες αυτές υπάρχουν σε όλα τα ζεύγη..

ΕΙΚΟΝΕΣ/ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Α	LSSV	LSDV	DSSV	DSDV
2006				
2009				
2010		Δεν είχε στο ίδιο σημείο αυτήν την κατηγορία αλλαγής.*		
2011				
<b>ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑ Σ 2015</b>				

Σχήμα 3.7 Κατηγορίες Μεταβολών από έδαφος σε βλάστηση.

\*Το ζεύγος 2010-2015 στην ίδια περιοχή δεν είχε την ίδια μεταβολή ώστε να εισαχθεί στη συγκεκριμένη κατηγορία περιοχής εκπαίδευσης.



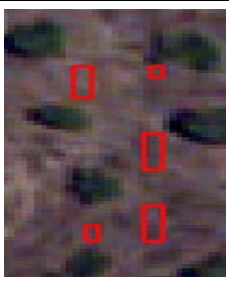


Στο Σχήμα 3.8, παρουσιάζονται παραδείγματα της κατηγορίας LSDV στο ζεύγος 2010-2015 σε άλλα διαφορετικά, από ότι στο Σχήμα 3.7, κομμάτια της περιοχής μελέτης.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Μεταβολής	ΕΙΚΟΝΕΣ	
	2010	ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015
LSDV		
		
		

Σχήμα 3.8 Κατηγορία Αλλαγής από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε πυκνή βλάστηση στο ζεύγος 2010-2015.


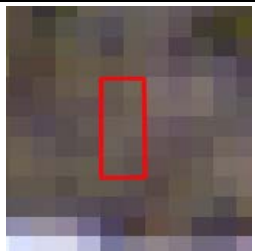
Στη συνέχεια, φαίνονται παραδείγματα της κατηγορίας φασματικής αλλαγής ανάμεσα στα είδη εδάφους. Οι κατηγορίες αυτές είναι η μεταβολή από σκουρόχρωμο έδαφος σε ανοιχτόχρωμο έδαφος (DSLS), (Πίνακας 3.7.). Στο ζεύγος 2010-2015 εντοπίζεται, επιπλέον, η κατηγορία μεταβολής από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε σκουρόχρωμο έδαφος (LSDS), (Πίνακας 3.8).

Πίνακας 3.7 : Κατηγορία Μεταβολής από περιοχές με σκουρόχρωμο έδαφος σε περιοχές με ανοιχτόχρωμο έδαφος.

ΕΙΚΟΝΕΣ/ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	2006	2009	2010	2011	ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015
DSLS					

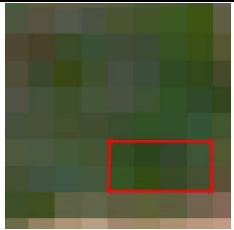





Πίνακας 3.8 Κατηγορία Μεταβολής από ανοιχτόχρωμο έδαφος στην εικόνα 2010, σε σκουρόχρωμο έδαφος στην εικόνα αναφοράς 2015.

ΕΙΚΟΝΕΣ/ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (Μεταβολή)-	2010	ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015
LSDS		

Στο Σχήμα 3.9, παρουσιάζονται οι κατηγορίες μεταβολών που αφορούν τις φασματικές αλλαγές ανάμεσα στα είδη της βλάστησης.

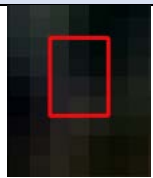
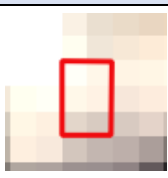



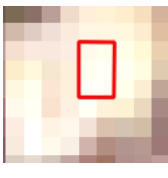




Στο Σχήμα 3.10, δίνονται παραδείγματα δύο κατηγοριών Από πυκνή βλάστηση σε ανοιχτόχρωμο έδαφος και β) από άσπρο κτίριο σε πυκνή βλάστηση.

ΕΙΚΟΝΕΣ/ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	α)DVSV	β)SVDV
2010		
ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015		

Σχήμα 3.9 Κατηγορίες μεταβολών α) Από πυκνή βλάστηση σε αραιή και β) από αραιή βλάστηση σε πυκνή.

Έτσι, ολοκληρώνονται οι κατηγορίες μεταβολών στα ζεύγη 2010-2015, 2011-2015. Στα δύο πρώτα ζεύγη, 2006-2015 και 2009-2015 προθέτονται κατηγορίες όπου περιοχές έχουν μετατραπεί από κτίριο και έδαφος, σε άσφαλο (Σχήμα 3.11).

Στο σημείο αυτό ολοκληρώθηκε η παρουσίαση των Περιοχών Αναφοράς/Εκπαίδευσης. Παρατηρείται ότι οι περισσότερες κατηγορίες μεταβολών εντοπίστηκαν στο ζεύγος 2006-2015, καθώς οι αλλαγές θα ήταν περισσότερες από το 2006 έως το 2015 σε σχέση με τα υπόλοιπα ζεύγη.

ΕΙΚΟΝΕΣ/ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	α) DVLS	β) WBDV
2006		
2009		
2010		
2011		
<b>ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015</b>		

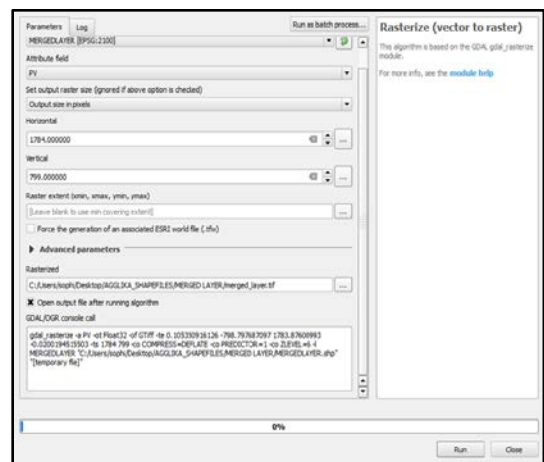
Σχήμα 3.10 Κατηγορίες μεταβολών α) Από πυκνή βλάστηση σε ανοιχτόχρωμο έδαφος και β) από άσπρο κτίριο σε πυκνή βλάστηση.

Αφού δημιουργήθηκαν τα πολύγωνα για το κάθε ζεύγος, έγινε συγχώνευση των vector layers και στη συνέχεια μετατροπή τους σε *raster layer* με την χρήση του QGIS. Πριν τη συγχώνευση, σε κάθε shapefile κάθε κατηγορίας για κάθε ζεύγος, εκτός από τον πεδίο id που αναφέρεται στον κωδικό αριθμό του κάθε ψηφιοποιημένου πολυγώνου, προστέθηκε ένα επιπλέον field με συγκεκριμένο κωδικό αριθμό για κάθε shapefile ξεχωριστά, ώστε να βοηθηθεί ο αλγόριθμος και να ξέρουμε που αντιστοιχεί η κάθε αλλαγή. Όλα τα Fields που προστέθηκαν, είναι απαραίτητο να έχουν το ίδιο όνομα, τον ίδιο τύπο και το ίδιο Length (10). Μετά τη δημιουργία των shapefiles, η συγχώνευση τους σε ένα Vector layer. Αυτό επιτυγχάνεται ακολουθώντας τις εντολές στο QGIS, Processing Toolbox > SAGA > Vector general tools > Merge vector layers. Στη συνέχεια, έγινε μετατροπή του Merge Layer (vector layer) σε format tiff (raster layer). Αυτό επιτυγχάνεται με τις εντολές στο QGIS, Processing Toolbox-> GDAL/OGR [48 geotools]-> [GDAL] Conversion --> Rasterize (vector to raster).

ΕΙΚΟΝΕΣ/ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ Σ	α)ΒΚΑ	β)LSA
2006		
2009		-
ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015		

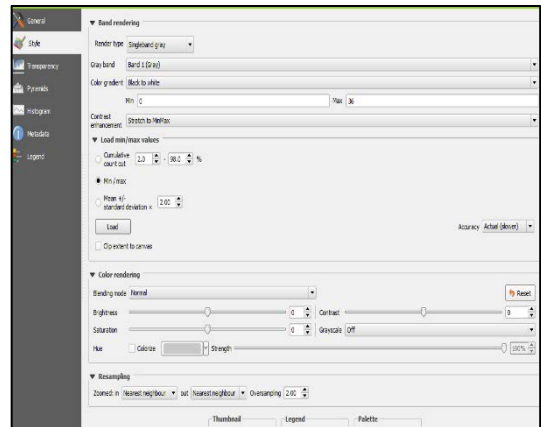
Σχήμα 3.11 Κατηγορίες Μεταβολών α) από κτίριο με κεραμοσκεπή σε άσφαλο και β) από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε άσφαλο.

Για Input Layer βάζουμε το Merged Layer του προηγούμενου βήματος, επιλέγουμε το Attribute field του προσθετικό field με τον κωδικό αριθμό του κάθε shapfile, στο Horizontal και Vertical βάζουμε αντίστοιχα τις διαστάσεις της εικόνας 1874x799 και τέλος αποθηκεύουμε το αρχείο (Εικόνα 3.4.).



Εικόνα 3.4 Εντολές στο QGIS για μετατροπή αρχείου από Vector σε Raster.

Στο ζεύγος 2006-2015, για παράδειγμα, οι κατηγορίες είναι συνολικά 36. Θα πρέπει, το αρχείο που δημιουργήθηκε να έχει από 0 έως 36 τιμές. Η επαλήθευση αυτή γίνεται στο Layer Properties--> Style, με φόρτωση min/max values και accuracy-->Actual(Shower), όπου θα πρέπει να το Color gradient να είναι από 0 έως 36, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.5.



Εικόνα 3.5. : Εμφάνιση Raster αρχείου Δεδομένων Αναφοράς στο πρόγραμμα QGIS.



Εικόνα 3.6. QUICKBIRD 2006 (R,G,B:3,2,1), Merge Layer σε μορφή Vector Layer



Εικόνα 3.7. Συγχώνευση Κατηγοριών 2006-2015 (Merge Layer) σε μορφή Raster Layer

### 3.4. Μεθοδολογία Ανίχνευση Μεταβολών

Μετά την επιλογή περιοχής μελέτης, τηλεπισκοπικών δεδομένων και επεξεργασία αυτών και τη δημιουργία περιοχών εκπαίδευσης, σειρά έχει ο σχηματισμός των σετ δεδομένων και η διαδικασία της ταξινόμησης. Επιλέχθηκε ο αλγόριθμος ταξινόμησης SVM. Για τη δημιουργία μοντέλου ανίχνευσης αλλαγών χρησιμοποιήθηκαν η βιβλιοθήκη Libsvm με λογισμικό για support vector classification προσαρμοσμένο στο λογισμικό MATLAB. Το μοντέλο αυτό είναι μοντέλο επιβλεπόμενης ταξινόμησης και δέχεται ως δεδομένα εισόδου ένα σύνολο παραδειγμάτων, που ανήκουν σε μία κατηγορία ή σε κάποιες άλλες κατηγορίες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση για την εκπόνηση της εργασίας, τα δεδομένα εισόδου ήταν οι κατηγορίες που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Έγιναν αρκετά πειράματα και δημιουργήθηκαν μοντέλα που αποτελούνταν από διαφορετικές παραμέτρους κάθε φορά (διαφορετικά κανάλια και δείκτες για κάθε ζεύγος), ώστε να επιλεγεί το μοντέλο με την καλύτερη ταξινόμηση, δηλαδή με τα μεγαλύτερα ποσοστά ακριβείας και αξιοπιστίας.

#### 3.4.1. Διαδικασία Ταξινόμησης

Η δομή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, επιτυγχάνεται με την υλοποίηση των παρακάτω βημάτων.

##### Σχηματισμός Κύβου των δύο εικόνων ανά ζεύγος

Ως πρώτο βήμα ταξινόμησης για την ανίχνευση μεταβολών στην παρούσα εργασία, πραγματοποιείται το 'στακάρισμα' (stack images) των δύο εικόνων που πρέπει να ταξινομηθούν, κάθε φορά ανά ζεύγος εικόνων (data set). Δημιουργείται η στοίβα/συστοιχία (stack) εικόνων και η ανίχνευση μεταβολών επιδιώκεται στην ταξινόμηση των διαχρονικών δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, σχηματίζονται κύβοι ('cubes') για κάθε dataset ξεχωριστά, με τα δεδομένα αναφοράς που προαναφέρθηκαν από τις δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές των εικόνων του κάθε ζεύγους. Εκτός από τα φασματικά κανάλια της κάθε εικόνας ενός ζεύγους, ορισμένα datasets σχηματίστηκαν και με επιπρόσθετη πληροφορία από δείκτες και λόγους καναλιών για τις εικόνες. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Rouse 1974) και ορισμένοι λόγοι (διαιρέσεις) καναλιών. Οι δείκτες και οι λόγοι δημιουργήθηκαν με στόχο να βελτιστοποιηθούν τα αποτελέσματα ταξινόμησης κατά τον εντοπισμό των κατηγοριών καθώς παρέχουν περισσότερες πληροφορίες για το κάθε εικονοστοιχείο.

**Normalized Difference Vegetation Index:** Ο συγκεκριμένος δείκτης υπολογίζεται από το ορατό και σχεδόν υπέρυθρο φως που ανακλάται από τη βλάστηση. Η υγιής βλάστηση απορροφά το μεγαλύτερο μέρος του ορατού φωτός που το χτυπά και αντανακλά ένα μεγάλο μέρος του εγγύς υπέρυθρου φωτός. Ο δείκτης NDVI για τα κανάλια του Quickbird και του Worldview-2 υπολογίζεται ως εξής:

Για QUICKBIRD :  $NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED) = (Band\ 4-Band\ 3) / (Band\ 4+Band\ 3)$

Για WORLDVIEW-2 :  $NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED) = (Band\ 4-Band\ 3) / (Band\ 4+Band\ 3)$

**Διαίρεση καναλιών :** Οι διαιρέσεις ή λόγοι καναλιών όπως είναι γνωστοί, αποτελούν τις πλέον χρησιμοποιούμενες πράξεις μεταξύ των δεδομένων της Τηλεπισκόπησης. Από την εφαρμογή της διαίρεσης στις ψηφιακές εικόνες προκύπτουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως: (α) η μείωση των

σκιάσεων και των επιδράσεων του ανάγλυφου γενικότερα, και (β) ο περιορισμός των επιπτώσεων από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Πριν την εφαρμογή της διαίρεσης στα φασματικά κανάλια θα πρέπει: (α) να αφαιρεθεί ο τυχαίος θόρυβος, και (β) να γίνει ατμοσφαιρική διόρθωση. Οι πιο δημοφιλείς εφαρμογές του λόγου των φασματικών καναλιών είναι ο εντοπισμός χαρακτηριστικών καλύψεων γης και η δημιουργία σημαντικών δεικτών όπως οι δείκτες βλάστησης. Στην παρούσα εργασία οι λόγοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι : Band Red/Band Blue και Band Red/Band Green.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι πριν από οποιαδήποτε πράξη είναι απαραίτητο το rescale των εικόνων ώστε να παίρνουν τιμές {0,1}.

#### Εξαγωγή Χαρακτηριστικών (Extract Features)

Στο αμέσως επόμενο βήμα για την εκπόνηση της ταξινόμησης, γίνεται εξαγωγή χαρακτηριστικών δηλαδή εξάγονται και αποθηκεύονται οι τιμές του κύβου στις θέσεις που βρίσκονται οι περιοχές αναφοράς για κάθε μια κατηγορία. Η εξαγωγή πραγματοποιείται με τη χρήση του στακαρισμένου κύβου του πρώτου βήματος της ταξινόμησης και της εικόνας με όλες τις περιοχές αναφοράς.

#### Υλοποίηση πειραμάτων αλγορίθμου SVM

Ο αλγόριθμος εκπαιδεύεται από τα πεδία εκπαίδευσης/περιοχές αναφοράς. Έτσι, για κάθε ζεύγος, πραγματοποιήθηκαν πειράματα με εναλλαγή του ποσοστού εκπαίδευσης (training set) και του ποσοστού ελέγχου (test set) του αλγορίθμου. Ο συνδυασμός των ποσοστών Training και Test Set, κυμάνθηκε σε όλα τα ζεύγη από 80%-20% έως και 50%-50%. Επειδή το πλήθος των δεδομένων αναφοράς για τις κατηγορίες είχε μεγάλες διαφορές, σε κάποια πειράματα έγινε η χρήση βαρών στα χαρακτηριστικά που εξήχθησαν, ανάλογα με το μέγεθός του δείγματος της κάθε μίας. Στο Υποκεφάλαιο 3.4.2 που ακολουθεί, παρουσιάζονται όλα τα πειράματα που έγιναν, σύμφωνα με τα ζεύγη και τα στάδια υλοποίησης του αλγορίθμου που αναφέρθηκαν.

### 3.4.2. Πειράματα ανά Ζεύγη Δεδομένων

Στα ζεύγη των εικόνων από το δορυφορικό δέκτη Quickbird και την Ορθοεικόνα του 2015, ζεύγη 2006-2015 και 2009-2015, τα πειράματα για την βέλτιστη ταξινόμηση, έγιναν στη στακαρισμένη εικόνα με 8 και 10 κανάλια (Πίνακας 3.9).

Τα βάρη (w), που χρησιμοποιήθηκαν στις κατηγορίες, κυμαινόταν από 0.2 έως 1, και ήταν ανάλογο του μεγέθους των Pixel κάθε κατηγορίας (Πίνακας 3.11., Πίνακας 3.12).

Για τα 8 κανάλια, αρχικά έχουμε 7 κανάλια με τα κανάλια της ορθοεικόνας (1,2,3) και τα κανάλια της δορυφορικής εικόνας (1,2,3,4). Το 8<sup>ο</sup> κανάλι συμπληρώνεται στην ορθοεικόνα, με το λόγο R/G. Με τον τρόπο αυτό οι δύο εικόνες έχουν ίδιο αριθμό καναλιών.

Για τα 10 κανάλια, αρχικά εκτός από τα 8 κανάλια του προηγούμενου πειράματος, προστίθενται στα κανάλια της δορυφορικής το κανάλι με τη μορφή δείκτη NDVI, εκμεταλλευόμενοι την ύπαρξη του υπερέθρου (NIR), στα ήδη υπάρχοντα κανάλια της Quickbird {δείκτης βλάστησης:  $NDVI = (NIR - red) / (NIR$

+ red)). Επιπλέον, στα ήδη υπάρχοντα κανάλια της ορθοεικόνας, προστίθεται το κανάλι με τη μορφή του λόγου των καναλιών ορατού Κόκκινου διά του ορατού Μπλε (R/B).

Πίνακας 3.9 Πειράματα Ταξινόμησης για τα ζεύγη 2006-2015 και 2009-2015.

ΖΕΥΓΟΣ	ΠΕΙΡΑΜΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΞΥ Training-Testing Set (%)
Quickbird-Ορθοεικόνα/2006-2015	8 bands	36	50%-50%
			60%-40%
			70%-30%
			80%-20%
	10 bands		50%-50%
			60%-40%
			70%-30%
			80%-20%
Quickbird-Ορθοεικόνα/2009-2015	8 bands	39	50%-50%
			60%-40%
			70%-30%
			80%-20%
	10 bands		50%-50%
			60%-40%
			70%-30%
			80%-20%

Με την προσθήκη λόγου-διαίρεσης των καναλιών γίνεται η ενίσχυση ώστε να επιτευχθεί σε ένα βαθμό η μείωση των σκιάσεων και των επιδράσεων του ανάγλυφου γενικότερα αλλά και ο περιορισμός των επιπτώσεων από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Τα πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος των εικόνων κτηματολογίου (ΟΚΧΕ 2010-Ορθοεικόνα 2015), πραγματοποιήθηκαν με δύο Δεδομένα Αναφοράς (Ground Truth), το πρώτο με 41 και το δεύτερο με 36 κατηγορίες. Τα πειράματα ξεκίνησαν, όπως έχει αναφερθεί, από αυτό το ζεύγος, για αυτό και επιλέχθηκαν αναλυτικά 41 κατηγορίες. Οι 36 κατηγορίες, προέκυψαν από την αφαίρεση κατηγοριών με χαμηλά ποσοστά αξιοπιστίας και ακρίβειας μετά την εκτέλεση της ταξινόμησης με τις 41 κατηγορίες (Πίνακας 3.10).

Για τα 6 κανάλια, αρχικά έχουμε 3 κανάλια με τα κανάλια της Ορθοεικόνας (1,2,3) και τα κανάλια της εικόνας ΟΚΧΕ (1,2,3). Για τα 8 κανάλια, το 7<sup>ο</sup> κανάλι συμπληρώνεται στη στακαρισμένη εικόνα, με το λόγο R/G στην Ορθοεικόνα και το 8<sup>ο</sup> κανάλι συμπληρώνεται με το λόγο R/B στην εικόνα ΟΚΧΕ. Σε αυτό το ζεύγος χρησιμοποιήθηκαν βάρη καθώς υπήρχαν μεγάλες αποκλίσεις στα pixels κάθε κατηγορίας. Οι τιμές των βαρών για κάθε κατηγορία είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους ως προς τα pixels της κάθε κατηγορίας.

Τέλος, στο ζεύγος Worldview-2 2011 και Ορθοεικόνας 2015, πραγματοποιήθηκαν πειράματα με τη στακαρισμένη εικόνα να περιέχει 11 και 13 κανάλια, ενώ οι περιοχές αναφοράς περιορίστηκαν στις 29 κατηγορίες. Τα 11 κανάλια αποτελούνται από τα 8 κανάλια της Worldview-2 και τα 3 κανάλια της Ορθοεικόνας. Τα 13 κανάλια αποτελούνται από τα 11 συνολικά κανάλια και των δύο εικόνων του ζεύγους, με την προσθήκη του δείκτη NDVI στη δορυφορική εικόνα Worldview-2 και του λόγου R/B στην ορθοεικόνα 2015 (Πίνακας 3.13).

Πίνακας 3.10 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2010-2015.

ΖΕΥΓΟΣ	ΠΕΙΡΑΜΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΞΥ Training-Testing Set (%)	
Εικόνες ΟΚΧΕ και Ορθοεικόνα/2010-2015	6 bands (no extra bands-no *w)	41	50%-50%	
			60%-40%	
			70%-30%	
			80%-20%	
	6 bands (no extra bands-with w)		50%-50%	
			60%-40%	
			70%-30%	
			80%-20%	
	8 bands (no w)		50%-50%	
			60%-40%	
			70%-30%	
			80%-20%	
	8 bands (with w)		50%-50%	
			60%-40%	
			70%-30%	
			80%-20%	
	6 bands (no extra bands-no w)		36	50%-50%
				60%-40%
				70%-30%
				80%-20%
	6 bands (no extra bands-with w)			50%-50%
				60%-40%
				70%-30%
				80%-20%
*8 bands (no w)	50%-50%			
	60%-40%			
	70%-30%			
	80%-20%			
8 bands (with w)	50%-50%			
	60%-40%			
	70%-30%			
	80%-20%			

Πίνακας 3.11 Πειράματα ταξινόμησης για το ζεύγος 2011-2015.

ΖΕΥΓΟΣ	ΠΕΙΡΑΜΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΞΥ Training-Testing Set (%)
Worldview-2-Ορθοεικόνα/2011-2015	11 bands (no extra band)	29	50%-50%
	13 bands (with R/B and NDVI)		60%-40%
			70%-30%
			80%-20%
			50%-50%
			60%-40%
			70%-30%
			80%-20%



Πίνακας 3.12 Προσθήκη Βαρών στις 41 κατηγοριών στο ζεύγος 2010-2015 στο ζεύγος 2010-2015.

.ΚΩΔΙΚΟ ΟΝΟΜΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	Pixels	weights
NDV	DENSE_VEGE	1822	0.3
NSV	SPARSE_VEGE	705	0.7
NBK	BLD_KERMOSKEP	10502	0.2
NBG	BLD_GREY	3259	0.3
NBW	BLD_WHITE	2997	0.3
NP	PISINA	130	0.8
NWW	WATERHEATER_WHITE	82	0.8
NWK	WATERHEATER_KERAMOSKEPH	100	0.8
NA	ASPHALTOS	684	0.7
NBR	BLD_RED	579	0.7
NSD	SOIL_DARKCOLOR	848	0.6
NSL	SOIL_LIGHTCOLOR	327	0.7
NMRS	SOIL_MPEZ_RED	535	0.7
BGB	BLD_GRAY_KERAMOSKEPH	150	0.8
BWK	BLD_WHITE_KERAMOSKEPH	337	0.7
BRW	BLD_RED_WHITE	4	1
BWG	BLD_WHITE_GREY	340	0.7
AWW	ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa	37	0.9
AWK	ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH	40	0.9
DSBW	SOILDARK_BLDWHITE	895	0.6
DSBK	DARKSOIL_BLDKERAMOSKEPH	173	0.8
DSBG	DARKSOIL_BLDGREY	15	1
LSBK	LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH	15	1
LSBW	LIGHTSOIL_BLDWHITE	55	0.9
DVBW	DENSEVEGE_BLDWHITE	55	0.9
DVBG	DENSEVEGE_BLDGREY	6	1
DVBK	DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	28	0.9
SVBK	SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	54	0.9
WAP	WHITEASFALTOY_PISINA	15	1
DSP	DARKSOIL_PISINA	6	1
LSP	LIGHTSOIL_PISINA	21	1
LSSV	LIGHTSOIL_SPARSEVEGE	39	0.9
LSDV	LIGHTSOIL_DENSEVEGE	94	0.8
DSSV	DARKSOIL_SPARSEVEGE	178	0.8
DSDV	DARKSOIL_DENSEVEGE	95	0.8
DVSV	DENSEVEGE_SPARSEVEGE	25	0.9
SVDV	SPARSEVEGE_DENSEVEGE	8	1
LSDS	LIGHTSOIL_DARKSOIL	10	1
DSL	DARKSOIL_LIGHTSOIL	207	0.7
DVLS	DENSEVEGE_LGHTSOIL	34	0.9
WBDV	WHITEBLD_DENSEVEGE	14	1

Πίνακας 3.13 Προσθήκη Βαρών στις 36 κατηγοριών στο ζεύγος 2010-2015.

ΚΩΔΙΚΟ ΟΝΟΜΑ	Pixels	weights
NDV	1802	0.2
NSV	705	0.3
NBK	10502	0.2
NBG	3259	0.2
NBW	2852	0.2
NP	130	0.8
NWW	252	0.8
NWK	207	0.8
NA	684	0.5
NBR	579	0.5
NSD	848	0.3
NSL	331	0.7
NMRS	535	0.5
BGB	150	0.7
BWK	337	0.4
BRW	4	1
BWG	349	0.7
AWW	157	0.8
AWK	332	0.7
DSBW	754	0.3
DSBK	147	0.8
LSBW	84	0.8
DVBW	45	1
DVBG	6	1
DVBK	28	1
SVBK	54	1
WAP	15	1
DSP	6	1
LSP	21	1
LSSV	53	1
LSDV	120	0.8
DSSV	165	0.8
DSDV	95	0.8
DVSV	25	1
DSL	257	0.8
DVLS	34	1

### 3.4.3. Ποσοτικοί Δείκτες Αξιολόγησης

Μετά την ταξινόμηση, εξετάστηκαν για όλα τα πειράματα για κάθε ζεύγος οι Πίνακες Σύγχυσης (Confusion Matrixes). Ο Πίνακας Σύγχυσης εξετάστηκε ως προς τα ποσοστά *Producer's Accuracy*, *User's Accuracy* αναλυτικά για κάθε κατηγορία αλλά και ως μέσους όρους και το ποσοστό *Overall Accuracy*.

Το ποσοστό της Ακρίβειας του Παραγωγού (*Producer's Accuracy*), γνωστό και ως Ακρίβεια (*Accuracy-ACC*) αντιπροσωπεύει την ακρίβεια της ταξινόμησης. Είναι το κλάσμα των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων σε σχέση με όλα τα εικονοστοιχεία αυτής της τάξης του Δεδομένου Αναφοράς (*Ground Truth*).

Η μέση ακρίβεια (*Average Accuracy*) υπολογίζεται ως το άθροισμα των αριθμών ακρίβειας στη στήλη PA διαιρούμενο με τον αριθμό των κατηγοριών στο σετ δοκιμών, το πλήθος, δηλαδή, των κλάσεων, του Δεδομένου Αναφοράς (*Ground Truth*).

Το ποσοστό της Αξιοπιστίας της ταξινόμησης (*Reliability*), γνωστό και ως Ακρίβεια Χρήστη (*User's Accuracy*), εκφράζει την αξιοπιστία των κλάσεων της ταξινομημένης εικόνας. Είναι το κλάσμα των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων σε σχέση με όλα τα εικονοστοιχεία που ταξινομούνται ως εικονοστοιχεία αυτής της κλάσης στην ταξινομημένη εικόνα. Για κάθε κλάση στην ταξινομημένη εικόνα (στήλη), ο αριθμός των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων διαιρείται με τον συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν ως αυτή η κατηγορία.

Η μέση αξιοπιστία (*Average Reliability*) υπολογίζεται ως το άθροισμα των αριθμών αξιοπιστίας στη στήλη UA διαιρούμενο με τον αριθμό των κατηγοριών στο σετ δοκιμών.

Η συνολική ακρίβεια (*Overall Accuracy*) υπολογίζεται ως ο συνολικός αριθμός των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων (διαγώνια στοιχεία) διαιρούμενα με τον συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων δοκιμής.

Τα μοντέλα ταξινόμησης με τα καλύτερα ποσοστά *Average Producer's Accuracy*, *Overall Accuracy* και *Average User's Accuracy*, χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία χάρτη ανίχνευσης/πρόβλεψης μεταβολών, οι οποίοι αξιολογήθηκαν ποιοτικά αλλά και ποσοτικά μέσω των ποσοστών αυτών.

### 3.5. Ομαδοποίηση Κατηγοριών

Προκειμένου να έχουμε μία γενικευμένη και συνολικότερη εικόνα του αποτελέσματος της ταξινόμησης, οι επιμέρους αναλυτικές κατηγορίες μεταβολών ανά ζεύγη ομαδοποιήθηκαν, ως προς ένα κοινό χαρακτηριστικό, σε απλούστερες (Εικόνα 3.5.). Για το ζεύγος 2006-2015, οι 36 κατηγορίες ομαδοποιήθηκαν σε 16 απλούστερες. Για το ζεύγος 2009-2015, οι 39 κατηγορίες ομαδοποιήθηκαν σε 15. Για το ζεύγος 2010-2015 από 41 κατηγορίες, δημιουργήθηκαν 15 και για το ζεύγος 2011-2015, οι 29 κατηγορίες ομαδοποιήθηκαν σε 13 (Πίνακας 3.15).

Όσον αφορά στην ποσοτική αξιολόγηση, αφού γίνει η ομαδοποίηση, δημιουργείται ένας καινούργιος ομαδοποιημένος *Confusion Matrix* (Πίνακας Σύγχυσης). Υπολογίζονται τα νέα ποσοστά ακρίβειας και

αξιοπιστίας της ταξινόμησης. Επιπλέον, προκειμένου να εκτιμηθούν οι δείκτες ακρίβειας, υπολογίζονται και τα νέα μέτρα των αληθινών θετικών (TP), τα ψευδώς θετικά (FP) και τα ψευδώς αρνητικά (FN).

Ο νέος Πίνακας Σύγχυσης (Confusion Matrix), δημιουργείται από αυτόν του βέλτιστου μοντέλου ταξινόμησης που βρέθηκε από τα πειράματα. Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό των στοιχείων της διαγωνίου του νέου πίνακα, υπολογίστηκαν τα νέα μέτρα TN και TP των ομαδοποιημένων κατηγοριών, προσθέτοντας κάθε φορά τα στοιχεία των αρχικών κατηγοριών.

Πίνακας 3.14 : Ομαδοποίηση κομμάτι του Πίνακα Σύγχυσης Κατηγορίας Μή Αλλαγής Πυκνή θλάστης (NDV) και Αραιή Βλάστηση (NSV)

		N. VEGE TO VEGE	
		NDV	NSV
N. VEGE TO VEGE	NDV	352	1
	NSV	21	149
			523

Στον Πίνακα 3.14., δίνεται η ομαδοποιημένη σταθερή κατηγορία N.VEGE TO VEGE. Το νέο της μέτρο True Negative, στοιχείο της διαγωνίου του πίνακα, είναι το άθροισμα των 4 στοιχείων των κατηγοριών από τις οποίες αποτελείται η νέα κατηγορία. Άρα (Εξίσωση 3.1):

$$TN\_VEGETOVEGE = \text{SUM}(352, 1, 21, 149) = 523$$

(Εξίσωση 3.1)

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίστηκαν και τα υπόλοιπα στοιχεία του πίνακα και για τις 16 νέες κατηγορίες. Τα ποσοστά ακρίβειας και αξιοπιστίας υπολογίστηκαν εκ νέου με τα νέα δεδομένα.

Το ποσοστό της Ακρίβειας του Παραγωγού (Producer's Accuracy), γνωστό και ως Ακρίβεια (Accuracy-ACC) αντιπροσωπεύει την ακρίβεια της ταξινόμησης. Είναι το κλάσμα των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων σε σχέση με όλα τα εικονοστοιχεία αυτής της τάξης του Ground Truth.

Η μέση ακρίβεια (Average Accuracy) υπολογίζεται ως το άθροισμα των αριθμών ακρίβειας στη στήλη PA διαιρούμενο με τον αριθμό των κατηγοριών στο σετ δοκιμών, το πλήθος, δηλαδή, των κλάσεων, του Ground Truth.

$$PA\%\_VEGETOVEGE = TN / \text{SUM\_VEGETOVEGE\_row} * 100$$

(Εξίσωση 3.2)

Το ποσοστό της Αξιοπιστίας της ταξινόμησης (Reliability), γνωστό και ως Ακρίβεια Χρήστη (User's Accuracy), εκφράζει την αξιοπιστία των κλάσεων της ταξινομημένης εικόνας. Είναι το κλάσμα των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων σε σχέση με όλα τα εικονοστοιχεία που ταξινομούνται ως εικονοστοιχεία αυτής της κλάσης στην ταξινομημένη εικόνα. Για κάθε κλάση στην ταξινομημένη εικόνα (στήλη), ο αριθμός των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων διαιρείται με τον συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν ως αυτή η κατηγορία.

Η μέση αξιοπιστία (Average Reliability) υπολογίζεται ως το άθροισμα των αριθμών αξιοπιστίας στη στήλη UA διαιρούμενο με τον αριθμό των κατηγοριών στο σετ δοκιμών.

$$UA\%_{VEGETOVEGE} = TN / SUM\_VEGETOVEGE\_column * 100$$

(Εξίσωση 3.3)

Η συνολική ακρίβεια (Overall Accuracy) υπολογίζεται ως ο συνολικός αριθμός των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων (διαγώνια στοιχεία) διαιρούμενα με τον συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων δοκιμής.

$$OA\% = SUM\_DIAGWNIOY/N$$

(Εξίσωση 3.4)

Όσον αφορά στην ποιοτική αξιολόγηση, στο χάρτη ανίχνευσης μεταβολών που έχει δημιουργηθεί από τις αναλυτικές κατηγορίες, οι κατηγορίες που ομαδοποιούνται στην ίδια γενικευμένη κατηγορία, οπτικοποιούνται με το ίδιο χρώμα. Με αυτό τον τρόπο είναι πιο εύκολη η αναγνώριση των μεταβολών.

Πίνακας 3.15 Συγκεντρωτικός πίνακας ομαδοποιημένων κατηγοριών και η παρουσία (πράσινα κελιά) τους στα εξεταζόμενα ζεύγη.

ΚΩΔΙΚΟ ΟΝΟΜΑ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	DATASETS			
		2006-2015	2009-2015	2010-2015	2011-2015
<b>NVV</b>	VEGE TO VEGE				
<b>NBB</b>	BLD TO BLD				
<b>NP</b>	POOL				
<b>NA</b>	ASPHALTOS				
<b>NSS</b>	SOIL TO SOIL				
<b>BB</b>	BLD TO BLD				
<b>SB</b>	SOIL TO BLD				
<b>VB</b>	VEGE TO BLD				
<b>SP</b>	SOIL TO POOL				
<b>SV</b>	SOIL TO VEGE				
<b>SS</b>	SOIL TO SOIL				
<b>VS</b>	VEGE TO SOIL				
<b>BV</b>	BLD TO VEGE				
<b>VP</b>	VEGE TO POOL				
<b>BA</b>	BLD TO ASPHALTOS				
<b>SA</b>	SOIL TO ASPHALTOS				
<b>AP</b>	ASPHALTOS TO POOL				
<b>BA</b>	BLD TO ASPHALTOS				
<b>WAP</b>	WHITEASFALTOY_PISINA				
<b>VV</b>	VEGE TO VEGE				

DATASETS									
2006-2015		2009-2015		2010-2015		2011-2015			
ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ		
DENSE_VEGE	VEGE TO VEGE	DENSE_VEGE	VEGE TO VEGE	DENSE_VEGE	VEGE TO VEGE	DENSE_VEGE	VEGE TO VEGE		
SPARSE_VEGE		SPARSE_VEGE		SPARSE_VEGE		SPARSE_VEGE			
BLD_KERMOSKEP	BLD TO BLD	BLD_KERMOSKEP	BLD TO BLD	BLD_KERMOSKEP	BLD TO BLD	BLD_KERMOSKEP	BLD TO BLD		
BLD_GREY		BLD_GREY		BLD_GREY		BLD_GREY			
BLD_RED		BLD_WHITE		BLD_WHITE		BLD_WHITE			
BLD_WHITE		BLD_RED		BLD_RED		BLD_RED			
PISINA		WATERHEATER_WHITE		WATERHEATER_WHITE		PISINA			
ASPHALTOS	ASHAPLTOS	WATERHEATER_KERAMOSKEPH	WATERHEATER_KERAMOSKEPH	WATERHEATER_KERAMOSKEPH	WATERHEATER_KERAMOSKEPH	ASPHALTOS	ASPHALTOS		
SOIL_DARKCOLOR	SOIL TO SOIL	PISINA	POOL ASFALTOS	PISINA	POOL ASFALTOS	SOIL_DARKCOLOR	SOIL TO SOIL		
SOIL_LIGHTCOLOR		ASPHALTOS		ASPHALTOS		SOIL_LIGHTCOLOR			
SOIL_MPEZ_RED		SOIL_DARKCOLOR		SOIL_DARKCOLOR		SOIL_MPEZ_RED			
BLD_GRAY_KERAMOSKEPH	BLD TO BLD	SOIL_LIGHTCOLOR	BLD TO BLD	SOIL_LIGHTCOLOR	BLD TO BLD	BLD_GRAY_KERAMOSKEPH	BLD TO BLD		
BLD_WHITE_KERAMOSKEPH		SOIL_MPEZ_RED		SOIL_MPEZ_RED		BLD_WHITE_KERAMOSKEPH			
BLD_GREY_WHITE		BLD_GRAY_KERAMOSKEPH		BLD_GRAY_KERAMOSKEPH		BLD_WHITE_GREY			
BLD_WHITE_GREY		BLD_WHITE_KERAMOSKEPH		BLD_WHITE_KERAMOSKEPH		LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH			
ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa		BLD_GREY_WHITE		BLD_GREY_WHITE		LIGHTSOIL_BLDWHITE			
ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH		BLD_WHITE_GREY		BLD_WHITE_GREY		MPEZREDSOIL_WHITEBLD			
SOILDARK_BLDWHITE		SOIL TO BLD		ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa		SOIL TO BLD		ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa	SOIL TO BLD
DARKSOIL_BLDKERAMOSKEPH	ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH		ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH	DENSEVEGE_BLDGREY					
LIGHTSOIL_BLDWHITE	SOILDARK_BLDWHITE		SOILDARK_BLDWHITE	DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH					
DARKSOIL_BLDGREY	DARKSOIL_BLDKERAMOSKEPH		DARKSOIL_BLDKERAMOSKEPH	DARKSOIL_PISINA					
DENSEVEGE_BLDWHITE	VEGE TO BLD	DARKSOIL_BLDGREY	VEGE TO BLD	DARKSOIL_BLDGREY	VEGE TO BLD	LIGHTSOIL_PISINA	SOIL TO POOL		
DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH		LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH		LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH		LIGHTSOIL_SPARSEVEGE			
SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH		SPARSEVEGE_BLDWHITE		SPARSEVEGE_BLDWHITE		LIGHTSOIL_DENSEVEGE			
SPARSEVEGE_PISINA	VEGE TO POOL	DENSEVEGE_BLDWHITE	VEGE TO BLD	DENSEVEGE_BLDWHITE	VEGE TO BLD	DARKSOIL_SPARSEVEGE	SOIL TO VEGE		
DARKSOIL_PISINA	SOIL TO POOL	DENSEVEGE_BLDGREY	VEGE TO BLD	DENSEVEGE_BLDGREY	VEGE TO BLD	DARKSOIL_DENSEVEGE			
LIGHTSOIL_PISINA		DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH		DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH		DARKSOIL_LIGHTSOIL	SOIL TO SOIL		
LIGHTSOIL_SPARSEVEGE	SOIL TO VEGE	SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	VEGE TO BLD	SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	VEGE TO BLD	DENSEVEGE_LGHTSOIL	VEGE TO SOIL		
LIGHTSOIL_DENSEVEGE		WHITEASFALTOY_PISINA		WHITEASFALTOY_PISINA		WHITEASFALTOY_PISINA	WHITEASFALTOY_PISINA	WHITEBLD_DENSEVEGE	BLD TO VEGE
DARKSOIL_SPARSEVEGE		DARKSOIL_PISINA		DARKSOIL_PISINA		DARKSOIL_PISINA	DARKSOIL_PISINA		
DARKSOIL_DENSEVEGE		LIGHTSOIL_PISINA		LIGHTSOIL_PISINA		LIGHTSOIL_PISINA	LIGHTSOIL_PISINA		
DARKSOIL_LIGHTSOIL		LIGHTSOIL_SPARSEVEGE		LIGHTSOIL_SPARSEVEGE		LIGHTSOIL_SPARSEVEGE	LIGHTSOIL_SPARSEVEGE		
DENSEVEGE_LGHTSOIL	VEGE TO SOIL	LIGHTSOIL_DENSEVEGE	SOIL TO VEGE	LIGHTSOIL_DENSEVEGE	SOIL TO VEGE				
WHITBLD_DENSEVEGE	BLD TO VEGE	DARKSOIL_SPARSEVEGE	SOIL TO VEGE	DARKSOIL_SPARSEVEGE	SOIL TO VEGE				
BLDKERAMOSKEPH_ASFALTOS	BLD TO ASPHALTOS	DARKSOIL_DENSEVEGE	SOIL TO VEGE	DARKSOIL_DENSEVEGE	SOIL TO VEGE				
LIGHTSOIL_ASFALTOS	SOIL TO ASPHALTOS	DARKSOIL_LIGHTSOIL	SOIL TO SOIL	DENSEVEGE_SPARSEVEGE	VEGE TO VEGE				
		DENSEVEGE_LGHTSOIL	VEGE TO SOIL	SPARSEVEGE_DENSEVEGE	VEGE TO VEGE				
		WHITBLD_DENSEVEGE	BLD TO VEGE	LIGHTSOIL_DARKSOIL	SOIL TO SOIL				
		BLDKERAMOSKEPH_ASFALTOS	BLD TO ASPHALTOS	DARKSOIL_LIGHTSOIL	SOIL TO SOIL				
				DENSEVEGE_LGHTSOIL	VEGE TO SOIL				
				WHITBLD_DENSEVEGE	BLD TO VEGE				

Εικόνα 3.5 Ομαδοποίηση Κατηγοριών σε όλα τα ζεύγη.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης με τη χρήση του *Αλγορίθμου SVM* και για τα τέσσερα (4) ζεύγη εικόνων ξεχωριστά, αναλυτικά για κάθε κατηγορία. Τα αποτελέσματα αυτά αξιολογούνται με τη χρήση στατιστικών στοιχείων από τους Πίνακες Σύγχυσης (Confusion Matrix) που προέκυψαν από τον καλύτερο συνδυασμό διαχωρισμού δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου. Ο καλύτερος συνδυασμός διαχωρισμού δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου, ερμηνεύεται από τα συνολικά ποσοστά ακριβείας και αξιοπιστίας. Επιπλέον, ο χάρτης πρόβλεψης που προέκυψε από το μοντέλο ταξινόμησης του ίδιου συνδυασμού ποσοστών δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου, αξιολογείται ποιοτικά/φωτοερμηνευτικά μέσα από την οπτικοποίηση των κατηγοριών στο χάρτη. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα ποσοστά ακριβείας και αξιοπιστίας των δεικτών αξιολόγησης, μετά την ομαδοποίηση των κατηγοριών για κάθε ζεύγος ξεχωριστά. Μετά την ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αποφέρει η ομαδοποίηση, γίνεται η ποιοτική αξιολόγηση μέσα από την οπτικοποίηση των κατηγοριών του χάρτη πρόβλεψης. Έγιναν αρκετά πειράματα ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα στην ταξινόμηση και κατά συνέπεια στην εκπαίδευση του αλγορίθμου να αναγνωρίζει τη μή αλλαγή ή αλλαγή ανά ζεύγος.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να τονιστεί ότι για τα μεγαλύτερα ποσοστά στους δείκτες αξιολόγησης μετά την πραγματοποίηση της ταξινόμησης, μεγαλύτερη βαρύτητα δόθηκε στα ποσοστά των δεικτών αξιολόγησης, Ακρίβειας του Παραγωγού (Producer's Accuracy) και Αξιοπιστίας του Χρήστη (User's Accuracy), και όχι τόσο στο δείκτη της Συνολικής Ακρίβειας (Overall Accuracy), καθώς η τιμή του επηρεάζεται από το πλήθος των pixel κάθε κατηγορίας, και έτσι δεν είναι πάντα ενδεικτική της συνολικής ακρίβειας της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες.

Η υλοποίηση του αλγορίθμου έγινε με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού MATLAB, ενώ το επόμενο βήμα της οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος QGIS.

### 4.1. Μεταβολές Μεταξύ 2006 (Δορυφορική) Και 2015 (Ορθοεικόνα)

Όπως αναφέρθηκε στο Υποκεφάλαιο 3.4., τα πειράματα βασίστηκαν στις αλλαγές στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας ταξινόμησης, στο σχηματισμό του κύβου των δύο εικόνα ανά ζεύγος. Έτσι, τα πειράματα επικεντρώθηκαν στις αλλαγές του πλήθους των καναλιών του 'κύβου' των εικόνων 2006 (Quickbird) και 2015. Τα πειράματα αυτά συνδυάστηκαν με πειράματα αλλαγών του χωρίσματος δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου. Στη συνέχεια, εκτελέστηκε ο αλγόριθμος ταξινόμησης σύμφωνα με τη διαδικασία ταξινόμησης που αναφέρθηκαν στο Υποκεφάλαιο 3.4.1. Τελικά, στο ζεύγος 2006-2015, τα καλύτερα αποτελέσματα ταξινόμησης, εμφανίστηκαν στα πειράματα όπου η Stack Image έχει τα περισσότερα κανάλια (10 κανάλια).

Ο Πίνακας 4.1. που ακολουθεί, παρουσιάζει τους μέσους όρους των ποσοστών δεικτών αξιολόγησης, όσον αφορά στην ακρίβεια και αξιοπιστία του αλγορίθμου ταξινόμησης, για κάθε Training-Testing Set για κάθε πείραμα που πραγματοποιήθηκε.

Τα αποτελέσματα των ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης και στα δύο πειράματα της ταξινόμησης, των 8 και 10 καναλιών, κυμαίνονται περίπου στα ίδια ποσοστά δεικτών αξιολόγησης για κάθε training-testing set. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα καλύτερα ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης, εμφανίστηκαν στην αναλογία μεταξύ training-testing set στο 80%-20%, λόγω του μεγάλου ποσοστού (80%) εκπαίδευσης στην αλλαγή. Αξιοσημείωτα είναι, τα ίδια καλά αποτελέσματα ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης που προέκυψαν στις περιπτώσεις της αναλογίας μεταξύ training-testing set στο 50%-50%. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στην καλύτερη αντιπροσώπευση της διασποράς της κάθε κατηγορίας και στο σετ ελέγχου και στο σετ εκπαίδευσης.

Πίνακας 4.1 Πειράματα και μέσοι όροι αποτελεσμάτων ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης για το ζεύγος 2006-2015. Με πράσινη λωρίδα σημειώνεται το πείραμα που αναλύεται αργότερα ποιοτικά και ποσοτικά.

ΖΕΥΓΟΣ	ΠΕΙΡΑΜΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΞΥ Training-Testing Set (%)	AVERAGE PRODUCER'S ACCURACY (PA%)	AVERAGE USER'S ACCURACY (RELIABILITY)(UA%)
2006-2015	8 bands	36	50%-50%	70%	72%
			60%-40%	69%	74%
			70%-30%	69%	70%
			80%-20%	70%	72%
	10 bands		50%-50%	72%	75%
			60%-40%	71%	75%
			70%-30%	71%	72%
			80%-20%	75%	75%

#### 4.1.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων με όλες τις κατηγορίες

##### 4.1.1.α. Ποσοτική αξιολόγηση

###### ΠΕΙΡΑΜΑ 8 ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Σε αυτό το πείραμα των 8 καναλιών, τα ποσοστά δεικτών αξιολόγησης που αφορούν στην ολική ακρίβεια της ταξινόμησης των κατηγοριών μεταβολών ή μη-μεταβολών (Overall Accuracy) είναι σταθερά στο 85%. Οι κατηγορίες με τα μεγαλύτερα ποσοστά δεικτών αξιολόγησης, όσον αφορά στις σταθερές κατηγορίες/μη-μεταβολής είναι οι NBK, NBW, NP, ενώ παράλληλα όσον αφορά στις κατηγορίες μεταβολών είναι οι BGK, BGW, WBDV, LSBW, LSA. Αντιθέτως, τα χαμηλότερα ποσοστά δεικτών αξιολόγησης ακριβείας και αξιοπιστίας ταξινόμησης σημείωσαν οι κατηγορίες DVBW και DVBK.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν στα ποσοστά δεικτών αξιολόγησης των Producer's Accuracy (Accuracy), User's Accuracy (Reliability) και Overall Accuracy, σε όλες τις αναλογίες μεταξύ training-testing sets, παρουσιάζονται παρακάτω σε ένα συγκεντρωτικό Πίνακα 4.2.

Παρατηρήθηκε από τον Πίνακα 4.2, ότι τα χαμηλότερα ποσοστά δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης σημειώθηκαν στις κατηγορίες μεταβολής DVBW και DVBK, δηλαδή ο αλγόριθμος δεν αναγνώρισε την

μεταβολή από βλάστηση στην εικόνα 2006 σε κτίριο στην εικόνα 2015, σε κανένα πείραμα ταξινόμησης. Αξιοσημείωτα είναι τα διαφορετικά ποσοστά μεταξύ των διαφορετικών αναλογιών μεταξύ σετ εκπαίδευσης και ελέγχου, που σημειώνουν οι κατηγορίες που αναφέρονται σε μεταβολές ως προς τις περιοχές με πίσινα, όπως οι κατηγορίες μεταβολής SVP και LSP.

Πίνακας 4.2 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2006-2015 (8 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών.

ΖΕΥΓΟΣ QUICKBIRD 2006- ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2015/ΠΕΙΡΑΜΑ 8 ΚΑΝΑΛΙΩΝ	TRAINING-TESTING SETS (%)							
	50%-50%		60%-40%		70%-30%		80%-20%	
	ACCURACY METRICS							
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	UA %	PA %	UA%	PA%	UA%	PA%	UA%	PA%
NDV	90%	94%	94%	93%	89%	94%	90%	94%
NSV	80%	69%	85%	72%	82%	69%	80%	69%
NBK	98%	96%	98%	96%	97%	97%	98%	96%
NBG	80%	67%	79%	69%	80%	72%	80%	67%
NBW	97%	99%	97%	99%	97%	98%	97%	99%
NP	100%	85%	100%	93%	100%	95%	100%	85%
NA	71%	84%	72%	83%	73%	82%	71%	84%
NBR	91%	87%	87%	92%	89%	89%	91%	87%
NDS	73%	69%	71%	70%	75%	68%	73%	69%
NLS	66%	85%	67%	86%	68%	88%	66%	85%
NMRS	84%	87%	84%	87%	88%	82%	84%	87%
BGK	99%	78%	93%	87%	100%	89%	99%	78%
BWK	99%	86%	94%	92%	92%	90%	99%	86%
BGW	91%	100%	93%	100%	98%	100%	91%	100%
BWG	79%	92%	80%	90%	79%	89%	79%	92%
AWW	32%	17%	47%	23%	34%	18%	32%	17%
AWK	75%	35%	77%	41%	80%	39%	75%	35%
DSBW	97%	95%	97%	95%	96%	95%	97%	95%
DSBK	52%	39%	94%	55%	63%	55%	52%	39%
DSBG	54%	67%	56%	54%	68%	85%	54%	67%
DVBW	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
DVBK	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SVBK	47%	100%	51%	95%	52%	93%	47%	100%
SVP	100%	100%	100%	33%	0%	0%	100%	100%
DSP	100%	14%	50%	50%	64%	69%	100%	14%
LSP	53%	69%	100%	10%	0%	0%	53%	69%
LSSV	41%	33%	52%	40%	52%	37%	41%	33%
LSDV	74%	84%	79%	83%	73%	71%	74%	84%
DSSV	57%	60%	60%	63%	61%	59%	57%	60%
DSDV	53%	71%	55%	79%	50%	69%	53%	71%
DSLS	86%	91%	87%	93%	86%	90%	86%	91%
DVLS	0%	0%	0%	0%	50%	13%	0%	0%
WBDV	100%	100%	100%	100%	91%	100%	100%	100%
BKA	94%	77%	93%	78%	100%	92%	94%	77%
LSBLDW	81%	100%	93%	100%	91%	100%	81%	100%
LSA	93%	100%	88%	100%	94%	100%	93%	100%
Overall Accuracy: OA	85%		85%		85%		85%	



Μεγάλα ποσοστά δεικτών αξιολόγησης ακριβείας σημειώνουν οι κατηγορίες Μη-Μεταβολών NP, NBK, NBW, αλλά και οι κατηγορίες Μεταβολών όπως BGK, BGW, DSBW, SVBK, WBDV, LSBW, LSA.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα των ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης του πειράματος με τα 10 κανάλια στη «στακαρισμένη εικόνα» των μεταβολών 2006-2015..

#### ΠΕΙΡΑΜΑ 10 ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Στο συγκεντρωτικό Πίνακα 4.3, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης που προέκυψαν από την ταξινόμηση του πειράματος των 10 καναλιών. Οι ποσοτικοί δείκτες που αξιολογούνται επικεντρώνονται στα ποσοστά των Producer Accuracy, User Accuracy και Overall Accuracy, σε όλα τα πειράματα των αναλογιών μεταξύ των σετ εκπαίδευσης και ελέγχου.

Σε όλες τις αναλογίες μεταξύ training-testing sets, τα ποσοστά ολικής ακρίβειας ταξινόμησης (Overall Accuracy), κυμαίνονται από 86% έως 88%. Υπάρχει μια μεγαλύτερη διαφορά ποσοστών από το προηγούμενο. Και σε αυτό το πείραμα των 10 καναλιών στη στακαρισμένη εικόνα του ζεύγους 2006-2015, οι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης κυμαίνονται σε ποσοστά ακριβείας και αξιοπιστίας από 0% (DVBW, DVBK) μέχρι 90%-100% (NBK, NBW, NP, BGW, BWDV, LSBW, LSA).

Παρατηρείται ότι η κατηγορία DVLS, που είχε μηδενικό δείκτη ακριβείας (Producer Accuracy) στο πρώτο πείραμα των 8 καναλιών, εδώ φαίνεται ότι έχει μηδενικό ποσοστό Ακρίβειας Παραγωγού μόνο στην αναλογία μεταξύ training-testing set 60%-40%, ενώ στην αναλογία 80%-20% αγγίζει το 80%.

Συγκριτικά, από τα δύο πειράματα ταξινόμησης με διαφορετικά κανάλια στακαρισμένης εικόνας μεταβολών 2006-2015 που προαναφέρθηκαν, το καλύτερο, σύμφωνα με την ποσοτική αξιολόγηση των δεικτών ακριβείας και αξιοπιστίας, είναι το δεύτερο με τα 10 κανάλια. Με την προσθήκη του δείκτη NDVI στη δορυφορική εικόνα και του λόγου καναλιών (R/B) στην ορθοεικόνα προσδίδεται περισσότερη πληροφορία.

Ειδικότερα, για να υπάρξει μία πιο αναλυτική εικόνα για την πορεία των κατηγοριών στην ταξινόμηση, έγινε επιλογή ανάλυσης του Πίνακα Σύγχυσης (Confusion Matrix), του Training-Testing Set 70%-30% (Εικόνα 4.1.).

Ο Πίνακας Σύγχυσης δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί η ποσοτική αξιολόγηση με βάση τον υπολογισμό των τυποποιημένων μετρήσεων της πληρότητας (Completeness), της ορθότητας (Correctness) και της συνολικής ποιότητας (Overall Quality) χρησιμοποιώντας τα δεδομένα αναφοράς (/Ground Truths), τα οποία περιλάμβαναν τις 36 κατηγορίες.

Πίνακας 4.3 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2006-2015 (10 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών

ΖΕΥΓΟΣ QUICKBIRD 2006- ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2015/ΠΕΙΡΑΜΑ 10 ΚΑΝΑΛΙΩΝ	TRAINING SETS (%)							
	50%-50%		60%-40%		70%-30%		80%-20%	
	ACCURACY METRICS							
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	UA %	PA %	UA%	PA%	UA%	PA%	UA%	PA%
NDV	96%	96%	98%	95%	95%	96%	97%	96%
NSV	80%	73%	82%	75%	82%	75%	80%	76%
NBK	98%	97%	97%	97%	97%	98%	98%	98%
NBG	79%	78%	79%	79%	80%	83%	81%	83%
NBW	97%	99%	97%	99%	97%	99%	97%	99%
NP	100%	82%	100%	93%	100%	95%	100%	92%
NA	79%	82%	81%	81%	84%	82%	83%	82%
NBR	76%	76%	90%	75%	95%	74%	90%	100%
NDS	69%	69%	68%	70%	72%	68%	72%	70%
NLS	71%	91%	72%	93%	76%	94%	80%	92%
NMRS	86%	87%	89%	86%	87%	83%	86%	85%
BGK	100%	81%	99%	83%	98%	91%	97%	81%
BWK	100%	86%	94%	92%	92%	90%	95%	94%
BGW	97%	100%	95%	100%	98%	100%	93%	100%
BWG	80%	92%	82%	90%	82%	90%	81%	93%
AWW	34%	19%	49%	26%	39%	22%	47%	20%
AWK	75%	35%	74%	34%	73%	35%	80%	38%
DSBW	96%	95%	97%	95%	96%	94%	97%	94%
DSBK	64%	39%	89%	55%	80%	55%	71%	36%
DSBG	51%	67%	57%	62%	68%	85%	63%	92%
DVBW	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
DVBK	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SVBK	49%	100%	53%	95%	54%	100%	53%	100%
SVP	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%
DSP	100%	9%	50%	44%	67%	62%	100%	56%
LSP	60%	69%	100%	10%	0%	0%	63%	100%
LSSV	59%	38%	61%	46%	70%	47%	67%	50%
LSDV	72%	82%	80%	85%	76%	81%	89%	80%
DSSV	59%	62%	60%	63%	66%	62%	59%	59%
DSDV	54%	69%	55%	73%	53%	70%	54%	71%
DSLS	86%	90%	87%	91%	86%	89%	83%	88%
DVLS	50%	31%	0%	0%	50%	38%	80%	80%
WBDV	100%	100%	100%	85%	91%	100%	100%	100%
BKA	95%	91%	88%	83%	100%	92%	89%	89%
LSBLDW	81%	100%	93%	100%	91%	100%	78%	100%
LSA	90%	100%	92%	100%	94%	100%	100%	100%
Overall Accuracy: OA	86%		87%		87%		88%	

70%-30% 2006 2015		1	2	3	4	8	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	35	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	36	sum	PA%
1	NDV	357	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	9	0	0	0	0	0	0	373	96%
2	NSV	5	162	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	24	0	0	0	0	0	0	215	75%
3	NBK	0	0	1244	0	1	0	0	0	0	16	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1271	98%
4	NBG	0	0	0	441	0	0	0	71	5	0	0	0	2	0	3	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	530	83%
8	NBR	0	0	7	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	74%
5	NBW	0	0	0	0	0	713	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	723	99%
6	NP	0	0	0	1	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	95%
7	NA	0	0	0	83	0	0	0	387	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	473	82%
9	NDS	0	18	0	13	0	0	0	0	118	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	174	68%
10	NLS	0	0	1	0	0	0	0	0	0	152	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	161	94%	
11	NMRS	0	0	13	0	0	0	0	0	7	0	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119	83%
12	BGK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	64	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	91%
13	BWK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	87	0	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	90%
14	BGW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	100%
15	BWG	0	0	0	2	0	3	0	3	0	0	0	0	4	0	166	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	184	90%
16	AWW	0	0	0	1	0	18	0	1	0	0	0	0	2	0	28	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	65	22%
17	AWK	0	0	12	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	31	35%
18	DVBW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	176	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	187	94%
19	DVBK	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0	1	3	0	0	0	0	0	22	55%	
35	LSBW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	100%	
20	DSBG	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	85%
21	DVBW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0%	
22	DVBK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0%
23	SVBK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	100%
24	SVP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0%	
25	DSP	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	62%	
26	LSP	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0%
27	LSSV	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	1	0	2	0	0	0	0	0	60	47%	
28	LSDV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	25	0	1	0	0	0	0	0	31	81%	
29	DSSV	7	9	0	0	0	0	0	11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92	28	0	0	0	0	0	0	148	62%	
30	DSDV	5	9	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	8	72	0	0	0	0	0	103	70%	
31	DSLS	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	89%	
32	DVLS	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	8	38%	
33	WBVDV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10	100%	
34	BKA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	13	92%	
36	LSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16	100%	
	sum	377	198	1279	553	21	734	19	462	164	199	114	65	95	43	203	36	15	183	15	11	25	0	0	26	0	12	2	40	33	140	137	63	6	11	12	17	OA	
	UA%	95%	82%	97%	80%	95%	97%	100%	84%	72%	76%	87%	98%	92%	98%	82%	39%	73%	96%	80%	91%	68%	0%	0%	54%	0%	67%	0%	70%	76%	66%	53%	86%	50%	91%	100%	94%		87%

Εικόνα 4.1 Πίνακας Σύγκρισης ζεύγους 2006-2015 με αναλογία μεταξύ training-testing set 70%-30%.

Το πρώτο κομμάτι του πίνακα σύγκρισης αναφέρεται στις κατηγορίες που δεν έχουν υποστεί μεταβολές από το 2006 (Quickbird) μέχρι το 2015 (Ορθοεικόνα), δηλαδή, από περιοχή βλάστησης το 2006 παραμένει περιοχή βλάστησης το 2015, από κτίριο σε κτίριο και στις δύο εικόνες, από πηλίνα (2006) σε πηλίνα (2015), από άσφαλτο σε άσφαλτο και από έδαφος σε έδαφος αντίστοιχα και στις δύο εικόνες. Οι κατηγορίες αυτές εξειδικεύονται σε υποκατηγορίες για καλύτερη κατανόηση στην αναγνώριση της μεταβολής. Η βλάστηση έχει ως υποκατηγορίες την αραιή και την πυκνή, τα κτίρια χωρίζονται σε κτίρια με κεραμοσκεπή, άσπρη, γκρι και κόκκινη ταράτσα και το έδαφος χωρίζεται σε ανοιχτόχρωμο, σκουρόχρωμο και μπλεζ-κόκκινο. Σύμφωνα με τον Πίνακα Σύγκρισης, παρατηρούμε ότι μεγάλο ποσοστό των εικονοστοιχείων των κατηγοριών ταξινομείται σωστά από τον αλγόριθμο, με εξαιρέσεις κάποια ελάχιστα pixels των κατηγοριών που ανιχνεύονται σε λάθος κατηγορίες. Ένα παράδειγμα λανθασμένης ταξινόμησης εντοπίζεται στην κατηγορία αραιή βλάστηση (NSV) η οποία «μπερδεύεται» με την κατηγορία μεταβολών (change) από σκουρόχρωμο έδαφος σε πυκνή βλάστηση (DSDV). Επιπλέον, κάποια pixels της κατηγορίας NBG κατηγοριοποιούνται στην σταθερή κατηγορία της ασφάλτου (NA), λογικό καθώς είναι σχετικά ίδιο το χρώμα που απεικονίζονται στην εικόνα. Παρακάτω, παρουσιάζεται ο συνοπτικός πίνακας των συνολικών ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης (ακριβείας, αξιοπιστίας), (Πίνακας 4.4).

Πίνακας 4.4 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ταξινόμησης όλων των κατηγοριών

Accuracy Metrics	
Overall	87.5%
Producer	70.8%
User	71.9%

#### 4.1.1.β. Ποιοτική Αξιολόγηση

##### ΠΕΙΡΑΜΑ 10 ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΜΕ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΞΥ TRAINING-TESTING SET 70%30%

Οι εικόνες του ζεύγους 2006-2015 φαίνονται σε έγχρωμο σύνθετο στο Σχήμα 4.1.

α) ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ 2006



β) ΟΡΘΟΕΙΚΟΝΑ 2015



Σχήμα 4.1 α) Δορυφορική Εικόνα (QUICKBIRD) 2006 και β) Ορθοεικόνα 2015 σε έγχρωμο σύνθετο.

Μετά την εκτέλεση της ταξινόμησης, προέκυψε η Ταξινομημένη Εικόνα με τιμές όσες και οι κατηγορίες του Δεδομένου Αναφοράς (Ground truth).

Με τη χρήση του QGIS, έγινε στην Ταξινομημένη Εικόνα, οπτικοποίηση των κατηγοριών (Σχήμα 4.2).

α) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΖΕΥΓΑΡΙ 2006-2015



β) ΕΝΤΟΠΙΣΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΖΕΥΓΑΡΙ 2006-2015



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΖΕΥΓΟΣ 2006-2015	BLD_GRAY_KERAMOSKEPH	DARKSOIL_PISINA
DENSE_VEGE	BLD_WHITE_KERAMOSKEPH	LIGHTSOIL_PISINA
SPARSE_VEGE	BLD_GREY_WHITE	LIGHTSOIL_SPARSEVEGE
BLD_KERMOSKEP	BLD_WHITE_GREY	LIGHTSOIL_DENSEVEGE
BLD_GREY	ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa	DARKSOIL_SPARSEVEGE
BLD_WHITE	ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH	DARKSOIL_DENSEVEGE
PISINA	SOILDARK_BLDWHITE	DARKSOIL_LIGHTSOIL
ASPHALTOS	DARKSOIL_BLDKERAMOSKEPH	DENSEVEGE_LIGHTSOIL
BLD_RED	DARKSOIL_BLDGREY	WHITEBLD_DENSEVEGE
SOIL_DARKCOLOR	DENSEVEGE_BLDWHITE	BLDKERAMOSKEPH_ASFALTOS
SOIL_LIGHTCOLOR	DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	LIGHTSOIL_BLDWHITE
SOIL_MPEZ_RED	SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	LIGHTSOIL_ASFALTOS
	SPARSEVEGE_PISINA	

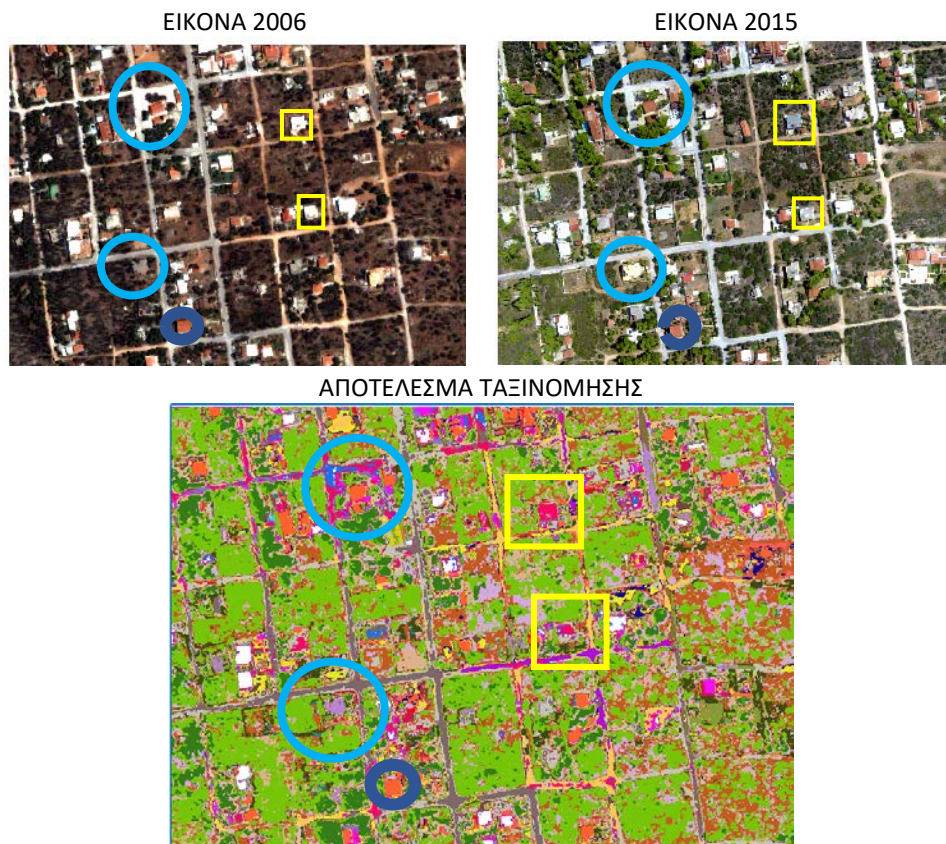
Σχήμα 4.2 α) Η ταξινομημένη εικόνα που περιέχει όλες τις κατηγορίες ήτοι μεταβολές και μη μεταβολές για το ζευγάρι 2006-2015, β) Χάρτης με τις εντοπισμένες μεταβολές για το ζευγάρι 2006-2015 (με λευκό χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές χωρίς μεταβολές).

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της οπτικοποίησης, τα αποτελέσματα αναλύονται, συγκρίνοντας κάποια κομμάτια της περιοχής μελέτης από τις δύο συγκρινόμενες εικόνες του ζεύγους μεταβολών και της ταξινομημένης εικόνας που προέκυψε.

Στο Σχήμα 4.3, στο κίτρινο περίγραμμα, η δορυφορική εικόνα 2006 δεξιά πάνω έχει ένα άσπρο σπίτι και αριστερά πάνω ένα σπίτι με κεραμοσκεπή, ενώ σε όλη την υπόλοιπη επιφάνεια υπάρχει έδαφος και κάποια δέντρα. Στο ίδιο σημείο, στην ορθοεικόνα 2015, το άσπρο σπίτι έχει γίνει σπίτι με κεραμοσκεπή, ενώ στην επιφάνεια που υπήρχε έδαφος και δέντρα έχει χτιστεί ένα άσπρο σπίτι. Στην εικόνα πρόβλεψης η αλλαγή του άσπρου σπιτιού σε σπίτι με κεραμοσκεπή απεικονίζεται με μοβ χρώμα, και αποτελεί την κατηγορία BWK. Επιπλέον, η αλλαγή από σκουρόχρωμο έδαφος σε άσπρο σπίτι απεικονίζεται με λαδί χρώμα και αποτελεί την κατηγορία αλλαγής DSBW.

Στο μπλε περίγραμμα, παρουσιάζονται και στις 3 εικόνες, η σταθερή κατηγορία NBK, όπου δηλαδή παραμένουν κτίρια με κεραμοσκεπή χωρίς αλλαγή από το 2006 μέχρι το 2015. Απεικονίζονται με πορτοκαλί χρώμα στην ταξινομημένη εικόνα. Στο κίτρινο ορθογώνιο περίγραμμα, απεικονίζεται η κατηγορία μεταβολής BWG, δηλαδή από άσπρο κτίριο (2006) σε γκρι (2015). Στην εικόνα ταξινόμησης, η κατηγορία αυτή οπτικοποιείται με φούξια χρώμα.

Με το γαλάζιο πλαίσιο, εμφανίζεται η κατηγορία μεταβολής BGW, όπου το γκρι κτίριο του 2006 έγινε κτίριο με άσπρη ταράτσα το 2015.

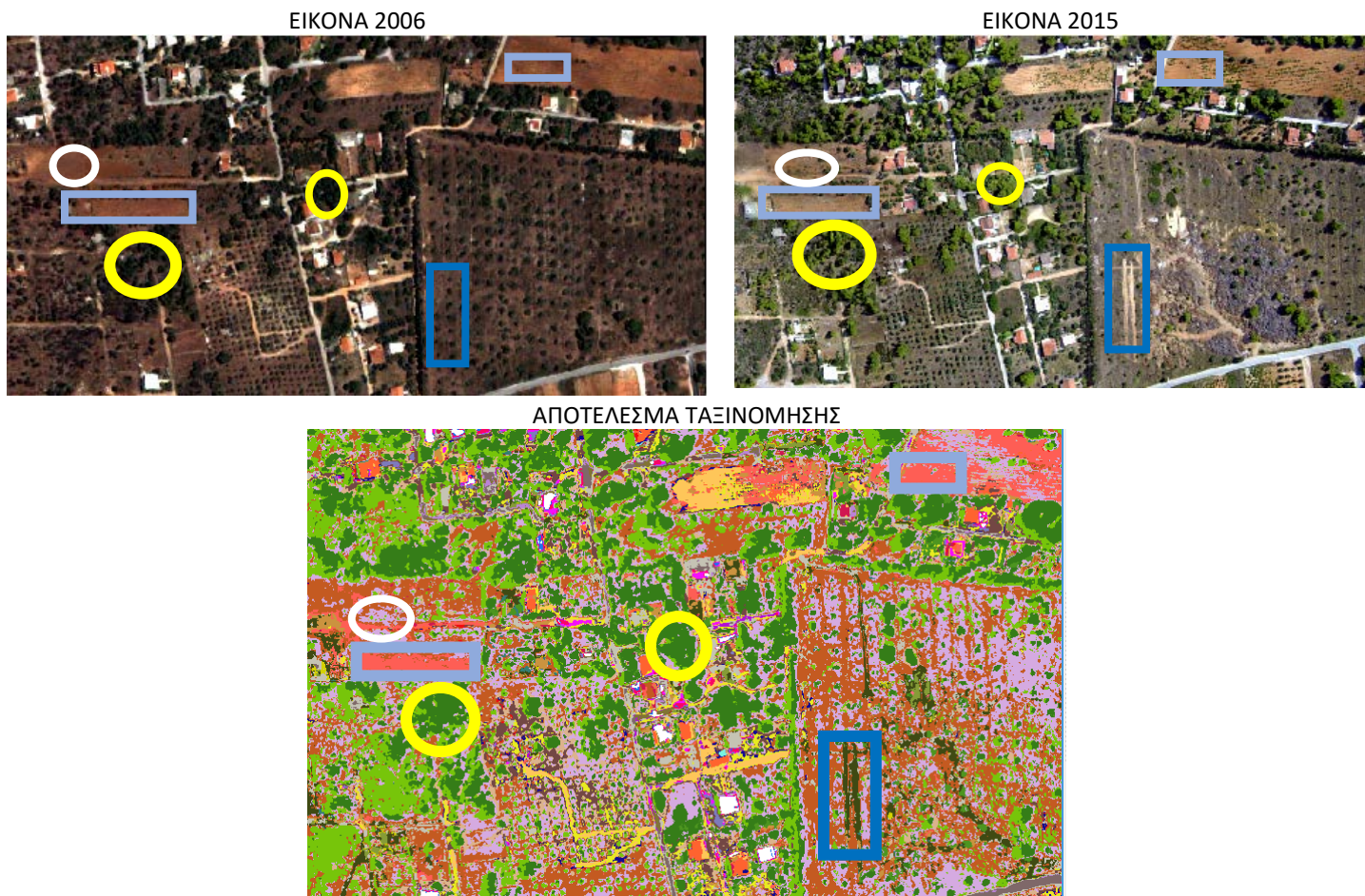


Σχήμα 4.3 Παραδείγματα σωστής κατηγοριοποίησης.

Στο Σχήμα 4.4, η κατηγορία μη-μεταβολής *NDV*, από πυκνή βλάστηση σε πυκνή βλάστηση, ταξινομείται με μεγάλη επιτυχία, όπως φαίνεται με πράσινο σκούρο χρώμα στην Ταξινομημένη εικόνα στις περιπτώσεις στο περίγραμμα με κίτρινο χρώμα. Στις σταθερές κατηγορίες, με την ίδια επιτυχία κατηγοριοποιείται και η κατηγορία (NMRs), όπως φαίνεται στο γαλάζιο πλαίσιο. Εξίσου καλά αποτελέσματα δίνουν οι κατηγορίες NLS και NA, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4, με μπεζ και γκρι χρώμα αντίστοιχα.

Όσον αφορά τις κατηγορίες των μεταβολών (*Change*), η κατηγορία DSBK, από σκούρο έδαφος (2006) σε κτίριο με κεραμοσκεπή (2015), φαίνεται με κίτρινο χρώμα εικονοστοιχείων στην Ταξινομημένη εικόνα, μέσα στο ροζ πλαίσιο. Επιπλέον, η μεταβολή από DSLS, παρουσιάζεται στο μπλε σκούρο πλαίσιο κι απεικονίζεται στην εικόνα του αποτελέσματος της ταξινόμησης με σκούρο λαδί πράσινο χρώμα.

Στο κομμάτι αυτό της περιοχής μελέτης, με άσπρο κυκλικό περίγραμμα στις εικόνες, απεικονίζονται τα τμήματα όπου το 2006 ήταν σκούρο έδαφος και το 2015 αραιή βλάστηση (*DSSV*). Στην εικόνα ταξινόμησης, τα pixels αυτής της κατηγορίας απεικονίζονται με μωβ ανοιχτό χρώμα.

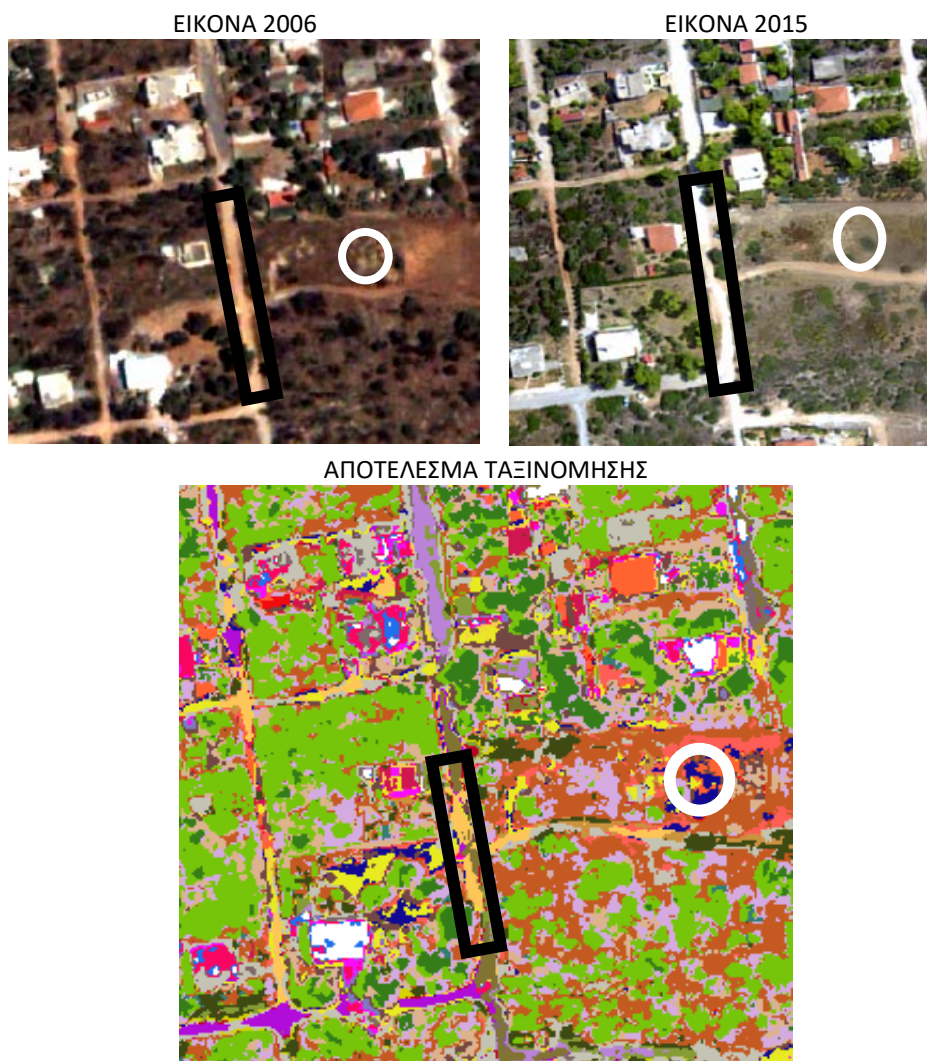


Σχήμα 4.4 Παραδείγματα σωστής κατηγοριοποίησης.

Στο Σχήμα 4.5, εντοπίζονται μερικές από τις λάθος ταξινομήσεις του αλγορίθμου όπως αυτή της περίπτωσης LSBW, που οπτικοποιείται με κίτρινο χρώμα εικονοστοιχείων μέσα στο μαύρο περίγραμμα στις εικόνες 2006,2015 και στην εικόνα που προέκυψε από την ταξινόμηση. Η κατηγορία μη-μεταβολής

της ασφάλτου, ταξινομείται ως κατηγορία μεταβολής από ανοιχτόχρωμο έδαφος (2006) σε κτίριο με άσπρη ταράτσα (2015). Είναι λογικό να «μπερδεύεται» ο αλγόριθμος, καθώς η άσφαλτος σε εκείνο το σημείο είναι χωματόδρομος, όπου μοιάζει με τις φασματικές αποχρώσεις της κατηγορίας του ανοιχτόχρωμου έδαφος. Μία ακόμα λανθασμένη ταξινόμηση προκύπτει στις περιοχές που απεικονίζουν άσπρο δρόμο, οι οποίες ταξινομούνται ως τη κατηγορία μη- μεταβολής που περιλαμβάνει τα άσπρα κτίρια.

Επιπλέον, η κατηγορία AWK, ταξινομείται σε αρκετά λανθασμένα σημεία, γεγονός που αποτυπώνεται και στους ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης που προκύπτουν από τον Πίνακα Σύγκρισης μετά την εκτέλεση της ταξινόμησης, που δεν είναι μεγαλύτερα του **35%**. Τα εικονοστοιχεία των σημείων αυτών οπτικοποιούνται στις παρακάτω εικόνες του Σχήματος 4.5, με σκούρο μπλε. Παράδειγμα της λανθασμένης αυτής ταξινόμησης απεικονίζεται μέσα στο άσπρο κυκλικό πλαίσιο (Σχήμα 4.5).



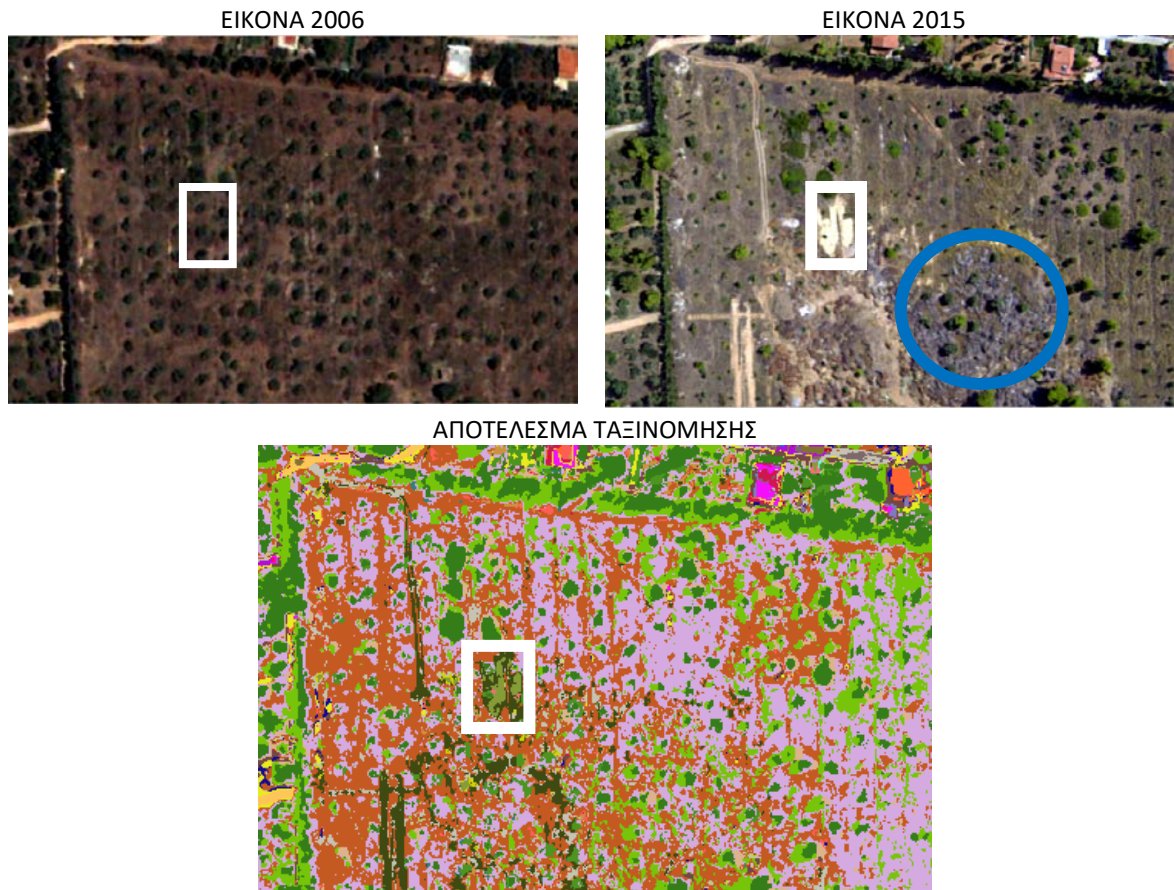
Σχήμα 4.5 Παραδείγματα λανθασμένης κατηγοριοποίησης.

Στο Σχήμα 4.6., με το άσπρο πλαίσιο, παρουσιάζεται η υφιστάμενη μεταβολή που δημιουργείται από το σκούρο έδαφος και κάποια κομμάτια βλάστησης, σε ανοιχτόχρωμο έδαφος. Μετά την εκτέλεση της



διαδικασίας της ταξινόμησης, όπως είναι διακριτό στην ταξινομημένη εικόνα, η περιοχή αυτή κατηγοριοποιήθηκε στην κατηγορία *DSBW*. Είναι δικαιολογημένο καθώς η φασματική υπογραφή των εικονοστοιχείων αυτής της κατηγορίας είναι όμοια με αυτή των εικονοστοιχείων του άσπρου κτιρίου.

Στην περιοχή μελέτης υπάρχει ένα κομμάτι περιοχής που αποτελείται από βράχους, όπως φαίνεται στο μπλε πλαίσιο στην εικόνα του 2015 στο Σχήμα 4.6. Η περιοχή αυτή, που υπάρχει το 2015, δε μπόρεσε να αναγνωριστεί ως μεταβολή από τον αλγόριθμο ταξινόμησης γιατί σε κανένα μέρος την εικόνας του 2006 δεν υπήρχε τέτοιου είδους βραχώδης περιοχή, με αποτέλεσμα ο αλγόριθμος να μην να εκπαιδευτεί ως προς αυτή τον εντοπισμό και την ταυτόχρονη αναγνώριση αυτής της αλλαγής.



Σχήμα 4.6 Παραδείγματα λανθασμένης κατηγοριοποίησης

Στο Σχήμα 4.7, με το μπλε πλαίσιο ξεχωρίζουμε την σωστή ταξινόμηση της κατηγορίας μεταβολής *BWG*, που εμφανίζεται στην ταξινομημένη εικόνα με φούξια χρώμα. Η κατηγορία μη-μεταβολής *NA*, επίσης κατηγοριοποιείται επιτυχώς όπως φαίνεται με γκρι χρώμα εικονοστοιχείων στην εικόνα ταξινόμησης.

Με άσπρο πλαίσιο εμφανίζονται οι κατηγορίες μεταβολής *DSP* και *LSP*, καθώς στο κομμάτι αυτό της περιοχής μελέτης (Σχήμα 4.7) το 2006 υπήρχαν και τα δύο είδη εδάφους (σκουρόχρωμο, ανοιχτόχρωμο) που το 2015 είχαν μετατραπεί σε πσίνα.

Οι κατηγορίες μη-μεταβολής BK και BW, ταξινομούνται με επιτυχία και σε αυτό το κομμάτι ανάλυσης της περιοχής μελέτης, με πορτοκαλί και με άσπρο χρώμα εικονοστοιχείων στην ταξινομημένη εικόνα, αντίστοιχα.

ΕΙΚΟΝΑ 2006



ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ



Σχήμα 4.7 Παραδείγματα σωστής κατηγοριοποίησης

Στο Σχήμα 4.8, μέσα στο πράσινο πλαίσιο εμφανίζονται τρεις κατηγορίες μεταβολών και μη-μεταβολών στην εικόνα ταξινόμησης, οι LS, LSSV και AWK. Οι δύο πρώτες που αναφέρθηκαν ταξινομούνται σωστά, καθώς όντως υπάρχουν αυτά τα δύο είδη κατηγοριών στην περιοχή. Η τελευταία, όμως, είναι λανθασμένα ταξινομημένη σε εκείνα τα σημεία. Αυτό το λάθος μπορεί να οφείλεται σε κάποιες σκιές των θάμνων της αραιής βλάστησης, τα εικοστοιχεία των οποίων απεικονίζονται με ένα μπλε σκούρο χρώμα, όπως και οι θερμοσίφωνες που συμπληρώθηκαν στις κεραμοσκεπές.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι οι κατηγορίες με την προσθήκη του θερμοσίφωνα σε κεραμοσκεπή και σε άσπρη ταράτσα, δικαιολογημένα εμφανίζουν λάθη, καθώς δεν βρέθηκαν ως σταθερές κατηγορίες στο ζεύγος 2006-2015. Αποτέλεσμα αυτού, είναι ο αλγόριθμος να μην έχει εκπαιδευτεί σωστά στον εντοπισμό και ταξινόμησή τους.

Μία επιπλέον λανθασμένη ταξινόμηση κατηγορίας, εντοπίζεται στην κατηγορία μεταβολής LSBW, καθώς ο αλγόριθμος ταξινόμησης μπερδεύεται με τη μεταβολή από χωματόδρομο (2006) σε ανοιχτόχρωμο δρόμο (2015), όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες περιπτώσεις, και είναι εμφανές στο ροζ πλαίσιο των εικόνων στο Σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8 Παραδείγματα λανθασμένης κατηγοριοποίησης

#### 4.1.2. Ομαδοποίηση κατηγοριών

Προκειμένου να έχουμε μία γενικευμένη και καλύτερη εικόνα του αποτελέσματος της ταξινόμησης, όπως αναφέρθηκε στη μεθοδολογία, οι 36 κατηγορίες ομαδοποιήθηκαν σε 16 απλούστερες, όπως φαίνονται ειδικότερα στον Πίνακα 4.5.

##### 4.1.2.α. Ποσοτική αξιολόγηση

#### ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΟΣΟΣΤΩΝ

Τα ποσοστά μετά την ομαδοποίηση παρουσιάζονται στο σύνολό τους, παρακάτω :

Πίνακας 4.5 Πίνακας Μέσων Όρων Ποσοστών Ακριβείας ομαδοποιημένων κατηγοριών

Accuracy Metrics	
Overall	90%

Producer	79.3%
User	81.2%

Σε μια συνολική εικόνα, φαίνεται ότι το ποσοστό του δείκτη αξιολόγησης της ακρίβειας μετά τη συγχώνευση κατηγοριών αυξήθηκε κατά **8.5%**, ενώ ο δείκτης αξιολόγησης ποσοστού αξιοπιστίας αυξήθηκε κατά **9.3%**.

Οι κατηγορίες μεταβολών και μη-μεταβολών που δεν έχουν υποστεί καμία αύξηση όσον αφορά στους ποσοτικούς δείκτες, είναι και αυτές που δε συγχωνεύτηκαν με καμία άλλη. Η κατηγορία με τη μεγαλύτερη αύξηση ποσοστού δείκτη αξιολόγησης ακριβείας, είναι η κατηγορία μεταβολής VEGE TO BLD, δηλαδή, όσα εικονοστοιχεία της ταξινομήθηκαν με φασματική συμπεριφορά της κατηγορίας από βλάστηση που υπήρχε το 2006, σε κτίριο, που δημιουργήθηκε μέχρι το 2015 (Πίνακας 4.7).

Η διαφορά του ποσοτικού δείκτη αξιοπιστίας της κάθε κατηγορίας ξεχωριστά, φαίνεται στον Πίνακα 4.8. Όπως είναι φυσικό οι κατηγορίες μεταβολών και μη-μεταβολών, που δεν συγχωνεύτηκαν παρέμειναν με το ποσοτικό δείκτη αξιολόγησης στο ίδιο ποσοστό. Παρατηρείται ότι η κατηγορία με τη μεγαλύτερη αύξηση ποσοστού δείκτη αξιολόγησης της ακρίβειας είναι η κατηγορία μεταβολής VEGE TO BLD.

Πίνακας 4.6 Ομαδοποίηση κατηγοριών ζεύγος 2006-2015.

	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΚΩΔΙΚΟ ΟΝΟΜΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ
ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	Από βλάστηση σε βλάστηση	N. VEGE TO VEGE	<b>NDV</b>
			<b>NSV</b>
	Από κτίριο σε κτίριο	N. BLD TO BLD	<b>NBK</b>
			<b>NBG</b>
			<b>NBW</b>
	Από πισίνα σε πισίνα	N. POOL	<b>NP</b>
Από άσφαλτο σε άσφαλτο	N. ASHAPLTOS	<b>NA</b>	
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ	Από έδαφος σε έδαφος	N. SOIL TO SOIL	<b>NBR</b>
			<b>NDS</b>
			<b>NLS</b>
	Από κτίριο σε κτίριο	BLD TO BLD	<b>NMRS</b>
			<b>BGK</b>
			<b>BWK</b>
			<b>BGW</b>
			<b>BWG</b>
			<b>AWW</b>
	Από έδαφος σε κτίριο	SOIL TO BLD	<b>AWK</b>
			<b>DSBW</b>
			<b>DSBK</b>
Από βλάστηση σε κτίριο	VEGE TO BLD	<b>DSBG</b>	
		<b>DVBW</b>	
		<b>DVBK</b>	
			<b>SVBK</b>

		<b>SVP</b>
Από βλάστηση σε πισίνα	VEGE TO POOL	<b>DSP</b>
Από έδαφος σε πισίνα	SOIL TO POOL	<b>LSP</b>
		<b>LSSV</b>
Από έδαφος σε βλάστηση	SOIL TO VEGE	<b>LSDV</b>
		<b>DSSV</b>
		<b>DSDV</b>
		<b>DSLS</b>
Από έδαφος σε έδαφος	SOIL TO SOIL	<b>DVLS</b>
Από βλάστηση σε έδαφος	VEGE TO SOIL	<b>WBDV</b>
Από κτίριο σε βλάστηση	BLD TO VEGE	<b>BKA</b>
Από κτίριο σε άσφαλτο	BLD TO ASPHALTOS	<b>LSBLDW</b>
Από έδαφος σε άσφαλτο	SOIL TO ASPHALTOS	<b>LSA</b>

Πίνακας 4.7 Ποσοστά και Διαφορά ποσοστών *Producer's Accuracy* για κάθε ομαδοποιημένη κατηγορία.

KATHΓΟΙΕΣ	PA% before	PA% after	difference
N. VEGE TO VEGE	86%	89%	4%
N. BLD TO BLD	88%	95%	7%
N. POOL	95%	95%	0%
N. ASHALTOS	82%	82%	0%
N. SOIL TO SOIL	82%	84%	2%
BLD TO BLD	71%	89%	17%
SOIL TO BLD	83%	92%	8%
VEGE TO BLD	33%	91%	58%
VEGE TO POOL	0%	0%	0%
SOIL TO POOL	31%	57%	26%
SOIL TO VEGE	65%	77%	12%
SOIL TO SOIL	89%	89%	0%
VEGE TO SOIL	38%	38%	0%
BLD TO VEGE	100%	100%	0%
BLD TO ASPHALTOS	92%	92%	0%
SOIL TO ASPHALTOS	100%	100%	0%

Πίνακας 4.8 Ποσοστά και Διαφορά ποσοστών *User's Accuracy* για κάθε ομαδοποιημένη κατηγορία.

KATHΓΟΙΕΣ	UA % before	UA% after	difference
N. VEGE TO VEGE	90%	91%	1%
N. BLD TO BLD	91%	94%	3%
N. POOL	100%	100%	0%
N. ASHALTOS	84%	84%	0%
N. SOIL TO SOIL	76%	80%	4%
BLD TO BLD	82%	95%	13%
SOIL TO BLD	84%	94%	10%
VEGE TO BLD	18%	81%	63%
VEGE TO POOL	0%	0%	0%
SOIL TO POOL	75%	86%	11%
SOIL TO VEGE	64%	75%	11%
SOIL TO SOIL	86%	86%	0%
VEGE TO SOIL	50%	50%	0%
BLD TO VEGE	91%	91%	0%
BLD TO ASPHALTOS	100%	100%	0%
SOIL TO ASPHALTOS	94%	94%	0%

Πίνακας 4.9: Πίνακας Σύγκρισης ζεύγους 2006-2015 μετά την ομαδοποίηση των κατηγοριών

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	sum	PA%
1. N. VEGE TO VEGE	523	0	0	0	15	0	0	0	0	0	49	0	0	0	0	0	587	89%
2. N. BLD TO BLD	0	2426	0	71	29	15	6	0	0	0	3	1	0	0	0	0	2551	95%
3. N. POOL	0	1	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	95%
4. N. ASHALTOS	0	83	0	387	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	473	82%
5. N. SOIL TO SOIL	18	27	0	0	380	0	1	0	0	0	28	0	0	0	0	0	454	84%
6. BLD TO BLD	0	41	0	4	2	434	3	3	0	0	0	0	0	1	0	1	489	89%
7. SOIL TO BLD	0	3	0	0	0	3	219	2	0	0	4	8	0	0	0	0	239	92%
8. VEGE TO BLD	0	0	0	0	0	0	2	21	0	0	0	0	0	0	0	0	23	91%
9. VEGE TO POOL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0%
10. SOIL TO POOL	0	3	0	0	2	0	1	0	0	12	0	0	3	0	0	0	21	57%
11. SOIL TO VEGE	30	0	0	0	46	2	0	0	0	0	264	0	0	0	0	0	342	77%
12. SOIL TO SOIL	0	3	0	0	3	0	1	0	0	0	0	54	0	0	0	0	61	89%
13. VEGE TO SOIL	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	8	38%
14. BLD TO VEGE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10	100%
15. BLD TO ASPHALTOS	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	12	0	13	92%
16. SOIL TO ASPHALTOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16	100%
sum	574	2587	19	462	477	457	234	26	0	14	350	63	6	11	12	17	5309	N
UA %	91%	94%	100%	84%	80%	95%	94%	81%	0%	86%	75%	86%	50%	91%	100%	94%	90%	OA

#### 4.1.2.β. Ποιοτική αξιολόγηση

Τα παραπάνω ποσοτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται και οπτικοποιημένα. Στην ήδη υπάρχουσα εικόνα ταξινόμησης, όλες οι όμοιες κατηγορίες που αποτελούν μία κοινή νέα κατηγορία, απεικονίζονται με το ίδιο χρώμα (Εικόνα 4.2).



ΥΠΟΜΝΗΜΑ		
ΖΕΥΓΟΣ 2006-2015 (ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ)	BLD TO BLD	SOIL TO POOL
VEGE TO VEGE	BLD TO BLD	SOIL TO POOL
VEGE TO VEGE	BLD TO BLD	SOIL TO VEGE
BLD TO BLD	BLD TO BLD	SOIL TO VEGE
BLD TO BLD	BLD TO BLD	SOIL TO VEGE
BLD TO BLD	BLD TO BLD	SOIL TO VEGE
PISINA	SOIL TO BLD	SOIL TO SOIL
ASPHALTOS	SOIL TO BLD	VEGE TO SOIL
BLD TO BLD	SOIL TO BLD	BLD TO VEGE
SOIL TO SOIL	VEGE TO BLD	BLD TO ASPHALTOS
SOIL TO SOIL	VEGE TO BLD	SOIL TO BLD
SOIL TO SOIL	VEGE TO BLD	SOIL TO ASPHALTOS
	VEGE TO POOL	

Εικόνα 4.2 Ταξινομημένη Εικόνα μετά την Ομαδοποίηση των κατηγοριών για το ζεύγος 2006-2015

Στο σύνολο της διαδικασίας αυτής, η ομαδοποίηση των κατηγοριών βοήθησε τα ποσοτικά αποτελέσματα της ταξινόμησης να βελτιωθούν και οδήγησε στην πιο εύκολη οπτικοποίηση της αναγνώρισης των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης. Αισθητό είναι το πρόβλημα ανάμεσα στα ζεύγη κατηγοριών N.BLD TO BLD και N.ASPHALTOS. Στο ζεύγος αυτό, ορισμένα τμήματα περιοχών ασφάλτου κατηγοριοποιούνται ως κτίρια. Στις κατηγορίες που δεν υπέστησαν κάποια συγχώνευση, συνεχίστηκαν οι λάθος κατηγοριοποιήσεις, όπως, για παράδειγμα στο ζεύγος LSBW και NA. Στην περίπτωση αυτή, όπως έχει αναφερθεί, ορισμένα κομμάτια ασφάλτου που ήταν χωματόδρομοι το 2006 και ασφαλτοστρώθηκαν το 2015, κατηγοριοποιούνται ως αλλαγή από ανοιχτόχρωμο χρώμα σε άσπρο κτίριο.

Στο επόμενο στάδιο έγινε διαχωρισμός μόνο των μεταβολών που προέκυψαν για τον καλύτερο εντοπισμό τους και αναγνώρισή τους.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ			
	BLD TO BLD		SOIL TO POOL
	BLD TO BLD		SOIL TO POOL
	BLD TO BLD		SOIL TO VEGE
	BLD TO BLD		SOIL TO VEGE
	BLD TO BLD		SOIL TO VEGE
	BLD TO BLD		SOIL TO VEGE
	BLD TO BLD		SOIL TO VEGE
	SOIL TO BLD		SOIL TO SOIL
	SOIL TO BLD		VEGE TO SOIL
	SOIL TO BLD		BLD TO VEGE
	VEGE TO BLD		BLD TO ASPHALTOS
	VEGE TO BLD		SOIL TO BLD
	VEGE TO BLD		SOIL TO ASPHALTOS
	VEGE TO POOL		

Εικόνα 4.3 Ταξινομημένη Εικόνα Μεταβολών 2006-2015 μετά την Ομαδοποίηση των κατηγοριών. Με μαύρο απεικονίζονται οι σταθερές κατηγορίες.

Είναι εμφανές ότι το μεγαλύτερο μέρος των αλλαγών επικεντρώνεται στην κατηγορία SOIL TO VEGE, με κόκκινο χρώμα, όπου το έδαφος μετατρέπεται σε βλάστηση. Πιο αναλυτικά, παρουσιάζονται παρακάτω μερικά παραδείγματα ευστοχιών αλλά και αστοχιών όσον αφορά στις μεταβολές 2006-2015.

Στο Σχήμα 4.9, με επιτυχία έχουν ταξινομηθεί και ταυτόχρονα αναγνωριστεί, με πορτοκαλί χρώμα εικονοστοιχείων, οι μεταβολές που έχουν υποστεί τα κτίρια, αλλά και με κόκκινο οι μεταβολές των περιοχών από χώμα σε βλάστηση. Με κόκκινο πλαίσιο εντοπίζεται το πρόβλημα στην κατηγορία μεταβολής BWG, όπου ο αλγόριθμος «μπερδεύει» το δρόμο με μεταβολή άσπρου σε γκρι κτιρίου, χρωμάτων, δηλαδή, παρόμοιων με του δρόμου.





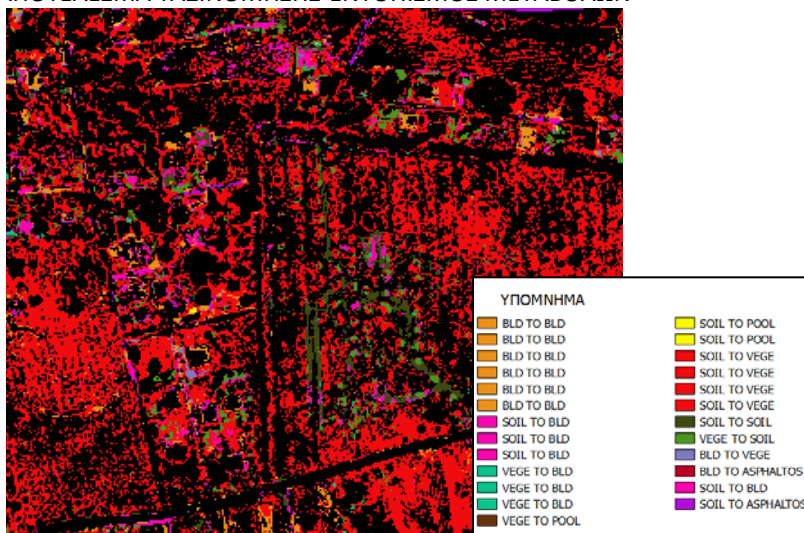
ΕΙΚΟΝΑ 2006



ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ-ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ



Σχήμα 4.10 Παραδείγματα λανθασμένης κατηγοριοποίησης μετά την ομαδοποίηση

## 4.2. Μεταβολές Μεταξύ 2009 (Δορυφορική) Και 2015 (Ορθοεικόνα)

Και σε αυτό το ζεύγος εντοπισμού και αναγνώρισης μεταβολών, ακολουθήθηκαν τα ίδια βήματα για την εκτέλεση της ταξινόμησης αλλά και την αξιολόγηση των ποσοτικών και ποιοτικών αποτελεσμάτων αυτής. Και σε αυτή την περίπτωση, τα καλύτερα αποτελέσματα εμφανίστηκαν στα πειράματα όπου η στακαρισμένη εικόνα (Stack Image) είχε 10 κανάλια.

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε αυτό το ζεύγος εικόνων, έχουν την ίδια αντιστοιχία όπως και στο προηγούμενο ζεύγος 2006-2015, καθώς υπάρχει και σε αυτή την περίπτωση σύγκριση δορυφορικής εικόνας Quickbird με Ορθοεικόνα. Αυτό που αλλάζει είναι το έτος και ο μήνας λήψης της δορυφορικής, όπου εδώ είναι το έτος 2009.

Οι διαφορές αυτές, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, αντικατοπτρίζονται στο πλήθος κατηγοριών, όπου σε αυτό το ζεύγος υπάρχουν 39 κατηγορίες αντί των 36. Προστέθηκαν στις κατηγορίες μή μεταβολών, οι κατηγορίες NWW, NWK, οι οποίες δεν υπήρχαν ως σταθερές το 2006. Επιπλέον, στις κατηγορίες μεταβολών, έχουν αφαιρεθεί οι κατηγορίες των μεταβολών 2006-2015 όπως οι LSBW και LSA, ενώ έχουν προστεθεί οι WAP, DVBG, SVBW, BGW και LSBK.

Στον Πίνακα 4.10, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης, για κάθε αναλογία μεταξύ Training-Testing Set που εκτελέστηκε για κάθε διαφορετικό πείραμα που πραγματοποιήθηκε όσον αφορά στο κομμάτι του σχηματισμού του κύβου του ζεύγους 2009-2015 κατά τη διαδικασία ταξινόμησης.

Πίνακας 4.10 Πειράματα και μέσοι όροι αποτελεσμάτων ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης για το ζεύγος 2009-2015. Με πράσινη λωρίδα σημειώνεται το πείραμα που αναλύεται αργότερα ποιοτικά και ποσοτικά.

ΖΕΥΓΟΣ	ΠΕΙΡΑΜΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	ΑΝΑΛΟΓΙΑ Training-Testing Set (%)	AVERAGE PRODUCER'S ACCURACY	AVERAGE USER'S ACCURACY
2009-2015	8 bands	39	50%-50%	62%	69%
			60%-40%	63%	69%
			70%-30%	63%	66%
			80%-20%	63%	64%
	10 bands		50%-50%	62%	68%
			60%-40%	63%	70%
			70%-30%	63%	66%
			80%-20%	63%	64%

Τα αποτελέσματα ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης και στα δύο πειράματα κυμαίνονται περίπου στα ίδια ποσοστά για κάθε αναλογία μεταξύ training-testing set (%). Τα ποσοστά ταξινόμησης των κατηγοριών αυτού του ζεύγους, είναι εμφανώς μειωμένα σε σχέση με το ζεύγος 2006-2015. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι μεγαλύτεροι μέσοι όροι ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ταξινόμησης εμφανίζονται στο training-testing set 50%-50%. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην καλύτερη αντιπροσώπευση της διασποράς της κάθε κατηγορίας και στο σετ ελέγχου και στο σετ εκπαίδευσης.

## 4.2.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

### 4.2.1.α. Ποσοτική αξιολόγηση με όλες τις κατηγορίες

#### ΠΕΙΡΑΜΑ 8 ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Στο πείραμα των 8 καναλιών, τα αποτελέσματα που προέκυψαν στους ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης της ταξινόμησης, πιο συγκεκριμένα, των *Producer Accuracy-Average Accuracy*, *User Accuracy-Average Reliability* και *Overall Accuracy*, σε όλες τις αναλογίες *training testing sets* που πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση, παρουσιάζονται παρακάτω σε ένα συγκεντρωτικό Πίνακα 4.11.

Σε αυτό το πείραμα των 8 καναλιών, ο ποσοτικός δείκτης αξιολόγησης που αφορά στη συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης (*Overall Accuracy*) είναι σταθερός στο 89% περίπου. Οι κατηγορίες με τα καλύτερα αποτελέσματα κατηγοριοποίησης είναι NBK, NBW, NP, BGK, BGW, WAP, DSP, BKA. Αντιθέτως, τα χαμηλότερα ποσοστά δεικτών σωστής ταξινόμησης σημείωσαν οι κατηγορίες DVBG, LSBK, SVBW, DSDV και DVLS.

#### ΠΕΙΡΑΜΑ 10 ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Στο πείραμα των 10 καναλιών, τα ποσοτικά αποτελέσματα ταξινόμησης που προέκυψαν όσον αφορά στα ποσοστά των *Producer Accuracy Average Accuracy*, *User Accuracy Average Reliability* και *Overall Accuracy*, σε όλες τις αναλογίες *training-testing sets*, παρουσιάζονται παρακάτω σε ένα συγκεντρωτικό Πίνακα 4.12.

Παρατηρείται ότι οι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης κυμαίνονται στα ίδια περίπου ποσοστά. Συγκριτικά με το ζεύγος 2006-2015, το ποσοστό του δείκτη αξιολόγησης της ακρίβειας (*Overall Accuracy*) είναι κατά 1% έως 3% αυξημένο.

Όσον αφορά στους ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης ακρίβειας και αξιοπιστίας και πάλι υπάρχουν κάποιες κατηγορίες με μηδενική ακρίβεια αλλά και κατηγορίες με μεγαλύτερη, που αγγίζει το 100%. Οι κατηγορίες DVBW και DVBK φτάνουν το 89% και 92% αντίστοιχα, αλλά και δείκτες αξιολόγησης ως προς την αξιοπιστία 97% και 89% αντίστοιχα. Αντίθετα, στο ζεύγος 2006-2015, τα ποσοστά των δεικτών αυτών ήταν μηδενικά.

Οι κατηγορίες DVLS, LSBK, DVBG έχουν μηδενικά ποσοστά δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης. Αντιθέτως, οι κατηγορίες με τα μεγαλύτερα ποσοστά δεικτών αξιολόγησης ποσοστά συνεχίζουν, και σε αυτό το ζεύγος, να είναι οι NBK, NBW, NP, BGW, WAP, BKA.

Αναλυτικότερα, για να υπάρξει μία καλύτερη εικόνα για την πορεία των κατηγοριών στην ταξινόμηση, έγινε επιλογή ανάλυσης του Πίνακα Σύγχυσης (*Confusion Matrix*), του *Training Testing Set 70%-30%* (Εικόνα 4.4.).

Πίνακας 4.11 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2009-2015 (8 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών.

ΖΕΥΓΟΣ QUICKBIRD 2009- ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2015/ΠΕΙΡΑΜΑ 8 ΚΑΝΑΛΙΩΝ	TRAINING SETS (%)							
	50%-50%		60%-40%		70%-30%		80%-20%	
	ACCURACY METRICS							
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	UA %	PA %	UA%	PA%	UA%	PA%	UA%	PA%
NDV	86%	95%	88%	95%	87%	97%	85%	96%
NSV	81%	80%	82%	78%	87%	78%	83%	74%
NBK	97%	96%	97%	96%	96%	96%	97%	96%
NBG	93%	94%	93%	94%	93%	96%	93%	96%
NBW	96%	96%	96%	98%	97%	96%	96%	97%
NP	100%	100%	100%	100%	88%	100%	90%	100%
NWW	33%	3%	100%	3%	50%	4%	0%	0%
NWK	52%	35%	61%	34%	73%	33%	50%	19%
NA	82%	86%	85%	86%	87%	87%	87%	87%
NBR	71%	49%	69%	42%	68%	43%	68%	42%
NDS	80%	85%	83%	88%	82%	93%	81%	84%
NLS	61%	87%	67%	87%	63%	90%	65%	91%
NMRS	65%	69%	65%	70%	66%	68%	69%	71%
BGK	93%	95%	93%	96%	92%	97%	90%	97%
BWK	99%	86%	98%	86%	96%	87%	99%	89%
BGW	94%	100%	97%	100%	93%	100%	100%	100%
BWG	80%	83%	84%	87%	74%	84%	76%	86%
AWW	71%	14%	77%	34%	38%	23%	71%	33%
AWK	83%	33%	100%	67%	64%	78%	83%	83%
DSBW	72%	63%	82%	62%	73%	64%	67%	60%
DSBK	65%	86%	62%	85%	57%	80%	68%	85%
DSBG	36%	33%	22%	20%	22%	29%	67%	40%
LSBK	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SVBW	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
DVBW	88%	97%	88%	97%	89%	96%	89%	96%
DVBG	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
DVBK	93%	78%	100%	81%	89%	89%	92%	85%
SVBK	67%	31%	58%	27%	60%	16%	75%	46%
WAP	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
DSP	100%	14%	65%	65%	100%	8%	0%	0%
LSP	59%	89%	80%	53%	65%	100%	54%	88%
LSSV	56%	55%	55%	58%	54%	59%	60%	59%
LSDV	73%	51%	66%	45%	65%	36%	70%	46%
DSSV	39%	42%	34%	46%	53%	61%	40%	56%
DSDV	100%	2%	8%	3%	0%	0%	0%	0%
DSLS	75%	82%	81%	88%	76%	84%	70%	76%
DVLS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BWDV	66%	88%	77%	89%	83%	71%	80%	80%
BKA	100%	100%	95%	100%	100%	100%	82%	100%
Overall Accuracy: OA	88%		89%		89%		89%	

Πίνακας 4.12 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2009-2015 (10 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών

ΖΕΥΓΟΣ QUICKBIRD 2009- ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2015/ΠΕΙΡΑΜΑ 10 ΚΑΝΑΛΙΩΝ	TRAINING SETS (%)							
	50%-50%		60%-40%		70%-30%		80%-20%	
	ACCURACY METRICS							
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	UA %	PA %	UA%	PA%	UA%	PA%	UA%	PA%
NDV	86%	95%	87%	95%	87%	96%	85%	96%
NSV	81%	80%	81%	79%	86%	78%	83%	73%
NBK	97%	96%	97%	96%	96%	96%	97%	96%
NBG	93%	94%	93%	94%	93%	96%	93%	96%
NBW	96%	96%	96%	98%	97%	96%	96%	97%
NP	100%	100%	100%	100%	88%	100%	90%	100%
NWW	40%	5%	100%	3%	50%	4%	0%	0%
NWK	52%	35%	58%	34%	73%	33%	50%	19%
NA	83%	86%	85%	86%	87%	87%	87%	87%
NBR	71%	52%	70%	45%	68%	44%	68%	42%
NDS	80%	85%	83%	88%	82%	93%	80%	85%
NLS	61%	87%	67%	87%	63%	90%	65%	91%
NMRS	65%	69%	65%	70%	66%	68%	69%	71%
BGK	93%	95%	93%	96%	92%	97%	90%	97%
BWK	99%	86%	98%	87%	96%	87%	99%	89%
BGW	94%	100%	97%	100%	93%	100%	100%	100%
BWG	80%	83%	84%	87%	74%	84%	76%	86%
AWW	63%	14%	77%	34%	38%	23%	71%	33%
AWK	100%	33%	100%	67%	70%	78%	83%	83%
DSBW	73%	63%	82%	62%	73%	64%	67%	60%
DSBK	64%	86%	62%	85%	57%	80%	68%	85%
DSBG	36%	33%	20%	20%	22%	29%	67%	40%
LSBK	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SVBW	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
DVBW	88%	97%	88%	97%	89%	96%	89%	96%
DVBG	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
DVBK	89%	78%	100%	81%	89%	89%	92%	85%
SVBK	67%	31%	58%	27%	60%	16%	75%	46%
WAP	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
DSP	100%	14%	63%	59%	100%	8%	0%	0%
LSP	59%	89%	80%	53%	61%	100%	54%	88%
LSSV	55%	55%	56%	58%	54%	59%	59%	58%
LSDV	73%	50%	68%	46%	65%	36%	70%	46%
DSSV	39%	41%	36%	49%	52%	59%	41%	56%
DSDV	33%	2%	20%	3%	0%	0%	0%	0%
DSL5	75%	82%	81%	88%	76%	84%	70%	76%
DVLS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BWDV	66%	88%	77%	89%	77%	71%	80%	80%
BAK	100%	100%	95%	100%	100%	100%	82%	100%
Overall Accuracy: OA	88%		89%		89%		89%	

70%-30% 2009-2015		1	2	3	4	5	10	7	8	6	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	sum	PA%
1	NDV	475	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6	0	0	0	0	0	493	96%
2	NSV	21	207	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	13	0	0	2	0	0	265	78%
3	NBK	0	0	2448	0	0	19	0	1	0	0	1	10	58	7	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	2557	96%	
4	NBG	0	2	0	721	0	0	0	2	0	15	0	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	1	0	0	752	96%		
5	NBW	0	0	0	11	976	0	0	0	0	10	0	1	0	0	3	1	11	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1017	96%		
10	NBR	0	0	46	0	0	41	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93	44%		
7	NWW	0	0	0	4	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	23	4%	
8	NWK	0	0	7	3	0	0	0	8	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	24	33%	
6	NP	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	100%	
9	NA	0	0	0	33	0	0	0	0	0	225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	258	87%	
11	NDS	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	122	93%		
12	NLS	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	127	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	141	90%		
13	NMRS	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	19	171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	253	68%		
14	BGK	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94	97%		
15	BWK	0	0	0	0	7	0	0	0	0	5	0	0	0	0	122	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	1	0	141	87%		
16	BGW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	100%		
17	BWG	0	0	0	0	9	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	81	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	84%		
18	AWW	0	0	0	0	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	22	23%		
19	AWK	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	78%		
20	DSBW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	2	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	64%		
21	DSBK	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	40	80%			
22	DSBG	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7	29%			
23	LSBK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0%			
24	SVBW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0%		
25	DVBW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	3	0	0	238	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	248	96%			
26	DVBG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0%			
27	DVBK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	89%			
28	SVBK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	16%			
29	WAP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100%			
30	DSP	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	7	0	0	1	0	0	13	8%				
31	LSP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	11	100%				
32	LSSV	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	39	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92	0	1	0	0	0	156	59%				
33	LSDV	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	22	4	0	0	0	61	36%					
34	DSSV	17	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	1	0	0	0	51	59%				
35	DSDV	19	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	28	0%				
36	DSLS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	62	84%			
37	DVLS	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	13	0%				
38	BWDV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	10	0	14	71%			
39	BKA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13	100%			
	sum	547	241	2538	773	1008	60	2	11	16	260	137	203	260	99	127	30	110	13	10	40	56	9	0	268	1	19	5	2	1	18	169	34	58	1	68	2	13	13	OA		
	UA%	87%	86%	96%	93%	97%	68%	50%	73%	88%	87%	82%	63%	66%	92%	96%	93%	74%	38%	70%	73%	57%	22%	0%	0%	89%	0%	89%	60%	100%	100%	61%	54%	65%	52%	0%	76%	0%	77%	100%		89%

Εικόνα 4.4 Πίνακας Σύγκρισης ζεύγους 2009-2015 (πείραμα 10 καναλιών) με αναλογία μεταξύ training testing set 70%-30%.

Από την Εικόνα 4.4, παρατηρούμε ότι οι κατηγορίες NP ,BGW, WAP ,LSP, BKA έχουν ποσοστό δείκτη αξιολόγησης ακρίβειας ταξινόμησης 100%. Με ποσοστό Producer’s Accuracy μεγαλύτερο του 90%, σημειώνονται οι κατηγορίες, NDV, NBK , NBG, NBW, NLS, BGK, DVBW.

Οι κατηγορίες με μηδενικά ποσοστά στους δείκτες αξιολόγησης της ταξινόμησης είναι οι εξής: DVLS, DSDV, DVBG, SVBW, LSBK. Η κατηγορία DVLS «μπερδεύεται» περισσότερο με τη DSLS, ενώ στην κατηγορία μεταβολής SVBW συγκεντρώνονται όλα τα rixels στην κατηγορία μεταβολής DVBW. Η κατηγορία μεταβολής DSDV, συγκεντρώνεται κατά μεγάλο ποσοστό στην κατηγορία NDV.

Στον Πίνακα 4.13, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ακριβείας και αξιοπιστίας, όπως δημιουργήθηκαν από τον Πίνακα Σύγχυσης μετά την εκτέλεση της ταξινόμησης.

Πίνακας 4.13 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοτών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ταξινόμησης όλων των κατηγοριών

Accuracy Metrics	
Overall	89%
Producer	63%
User	66%

#### 4.2.1.β. Ποιοτική αξιολόγηση

#### **ΠΕΙΡΑΜΑ 10 ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΜΕ TRAINING TESTING SET 70%30%**

Οι εικόνες του ζεύγους 2009-2015 φαίνονται σε έγχρωμο σύνθετο στο Σχήμα 4.11.

α) ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ 2009



β) ΟΡΘΟΕΙΚΟΝΑ 2015



Σχήμα 4.11 α) Δορυφορική Εικόνα (QUICKBIRD) 2009 και β) Ορθοεικόνα 2015 σε έγχρωμο σύνθετο.

Όπως και στο ζεύγος 2006-2015, παρουσιάζονται τα οπτικοποιημένα αποτελέσματα με όλες τις κατηγορίες αλλά και με τις ομαδοποιημένες κατηγορίες

Με τη χρήση του QGIS, έγινε στην ταξινομημένη εικόνα, οπτικοποίηση των κατηγοριών (Σχήμα 4.12).



α) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΖΕΥΓΑΡΙ 2009-2015



β) ΕΝΤΟΠΙΣΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΖΕΥΓΑΡΙ 2009-2015



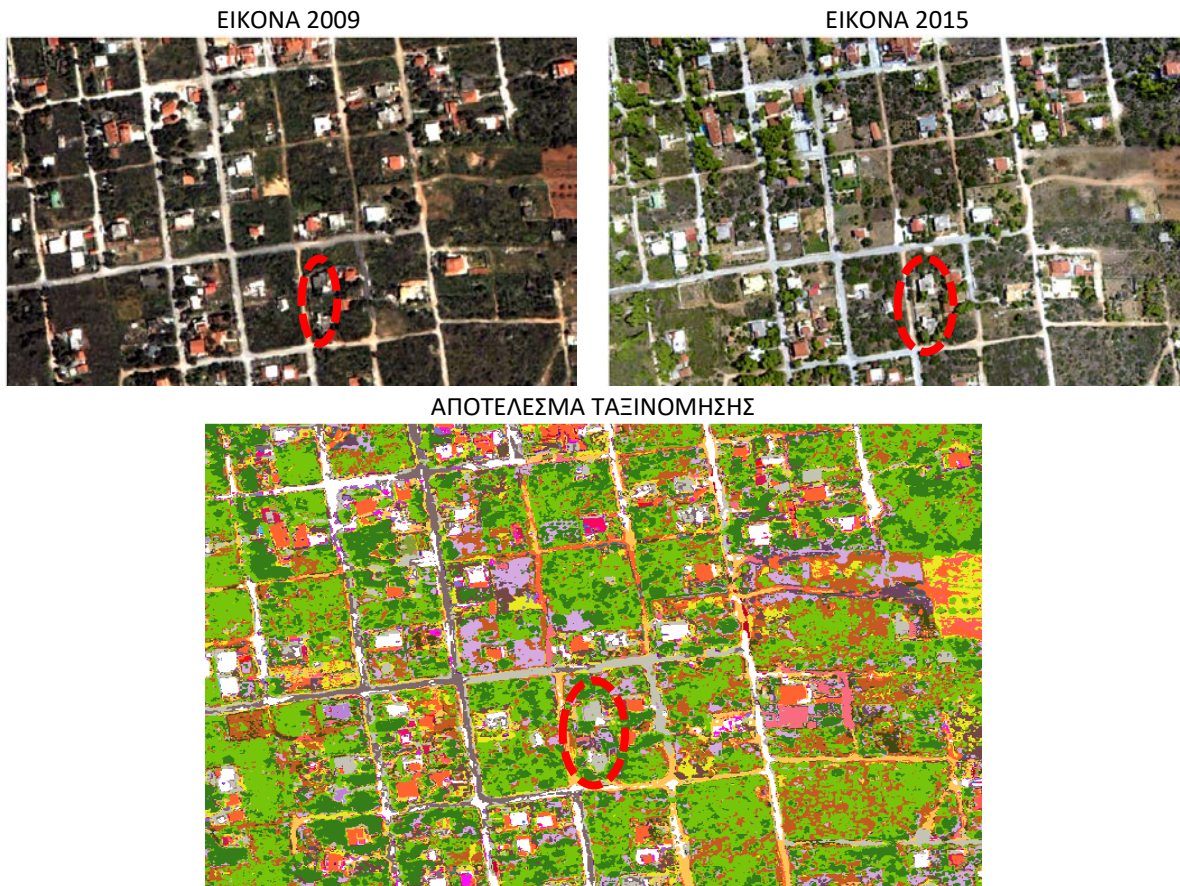
ΥΡΟΜΝΗΜΑ

ΖΕΥΓΟΣ 2009-2015					
	DENSE_VEGE		SOIL_MPEZ_RED		DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH
	SPARSE_VEGE		BLD_GRAY_KERAMOSKEPH		SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH
	BLD_KERMOSKEP		BLD_WHITE_KERAMOSKEPH		WHITEASFALTOY_PISINA
	BLD_GREY		BLD_GREY_WHITE		DARKSOIL_PISINA
	BLD_WHITE		BLD_WHITE_GREY		LIGHTSOIL_PISINA
	PISINA		ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa		LIGHTSOIL_SPARSEVEGE
	WATERHEATER_WHITE		ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH		LIGHTSOIL_DENSEVEGE
	WATERHEATER_KERAMOSKEPH		SOILDARK_BLDWHITE		DARKSOIL_SPARSEVEGE
	ASPHALTOS		DARKSOIL_BLDKERASMOSKEPH		DARKSOIL_DENSEVEGE
	BLD_RED		DARKSOIL_BLDGREY		DARKSOIL_LIGHTSOIL
	SOIL_DARKCOLOR		LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH		DENSEVEGE_LIGHTSOIL
	SOIL_LIGHTCOLOR		SPARSEVEGE_BLDWHITE		WHITEBLD_DENSEVEGE
			DENSEVEGE_BLDWHITE		BLDKERAMOSKEPH_ASFALTOS
			DENSEVEGE_BLDGREY		

Σχήμα 4.12 α) Η ταξινομημένη εικόνα που περιέχει όλες τις κατηγορίες ήτοι μεταβολές και μη μεταβολές για το ζευγάρι 2009-2015, β) Χάρτης με τις εντοπισμένες μεταβολές για το ζευγάρι 2009-2015 (με λευκό χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές χωρίς μεταβολές).

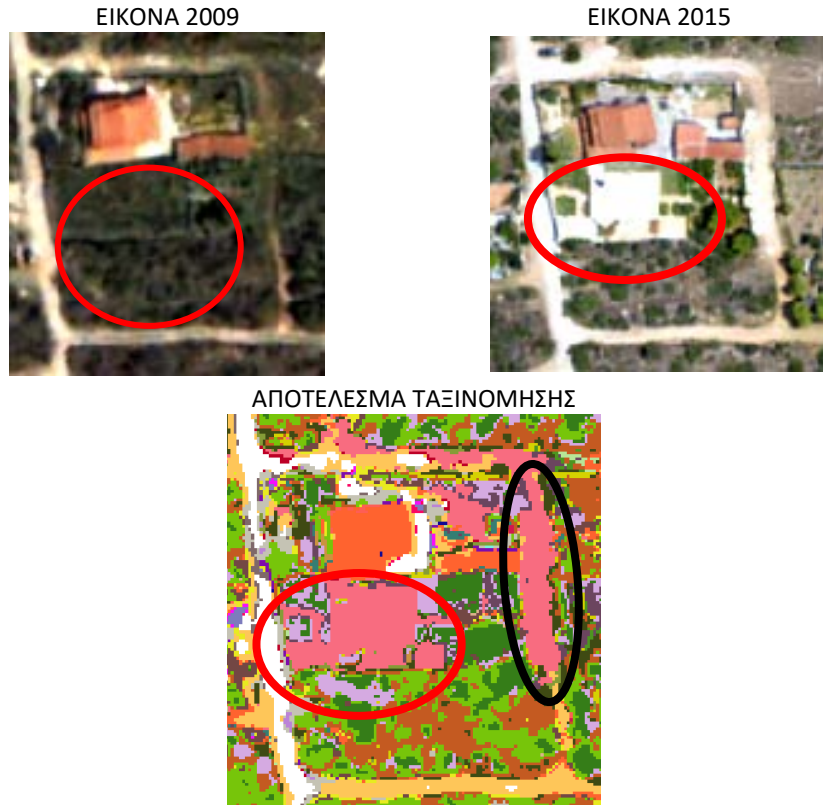
Τα οπτικοποιημένα αποτελέσματα αναλύονται παρακάτω, σε κάποια τμήματα των δύο αρχικών εικόνων και της ταξινομημένης εικόνας στο συγκεκριμένο ζεύγος για την ποιοτική αξιολόγηση όσον αφορά στον εντοπισμό και στην αναγνώριση των κατηγοριών χρήσεων γης και των μεταβολών τους την περίοδο 2009-2015.

Με άσπρο χρώμα εικονοστοιχείων απεικονίζονται τα άσπρα κτίρια σωστά ταξινομημένα. Επιπλέον, με πορτοκαλί χρώμα εικονοστοιχείων απεικονίζονται τα κτίρια με την κεραμοσκεπή, ενώ με γκρι χρώμα εικονοστοιχείων εμφανίζονται τα κτίρια με τη γκρι απόχρωση ταράτσας. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο αλγόριθμος ταξινόμησης «μπερδεύει» τα γκρι κτίρια με τη σταθερή κατηγορία της ασφάλτου, όπως εντοπίζεται στα κόκκινα περιγράμματα (Σχήμα 4.13).



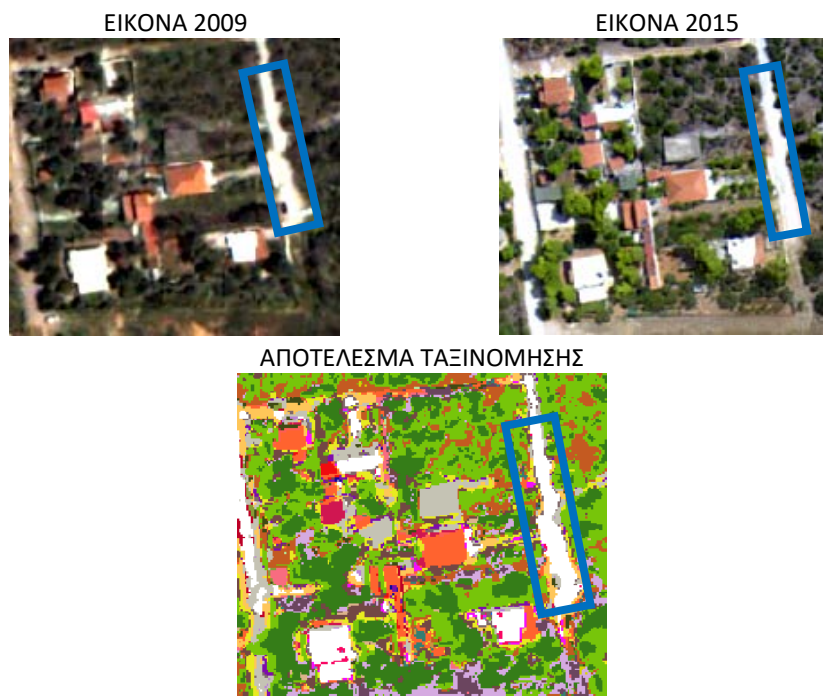
Σχήμα 4.13 Παραδείγματα ταξινόμησης για τις κατηγορίες σπίτια με κεραμοσκεπή και σπίτια με γκρι ταράτσα

Πιο αναλυτικά, στο κόκκινο κυκλικό πλαίσιο παρατηρείται ότι ο αλγόριθμος εντόπισε και αναγνώρισε επιτυχώς την κατηγορία μεταβολής από πυκνή βλάστηση σε άσπρο κτίριο (DVBW), αλλά, λόγω της όμοιας φασματικής συμπεριφοράς της μεταβολής αυτής της κατηγορίας με την κατηγορία μεταβολής από πυκνή βλάστηση σε δρόμο, είναι εμφανές ότι ο αλγόριθμος ‘μπερδεύτηκε’ και ταξινόμησε λάθος (μαύρο κυκλικό πλαίσιο). Σε αντίθεση με την ταξινόμηση στις μεταβολές 2006-2015, στο συγκεκριμένο τμήμα όπου υπήρχε η ίδια μεταβολή, εντοπίστηκε ως μεταβολή από σκουρόχρωμο έδαφος (2006) σε άσπρο κτίριο (2009), (Σχήμα 4.14).



*Σχήμα 4.14 Παράδειγμα ταξινόμησης κατηγορίας μεταβολής από πυκνή βλάστηση σε άσπρο κτίριο*

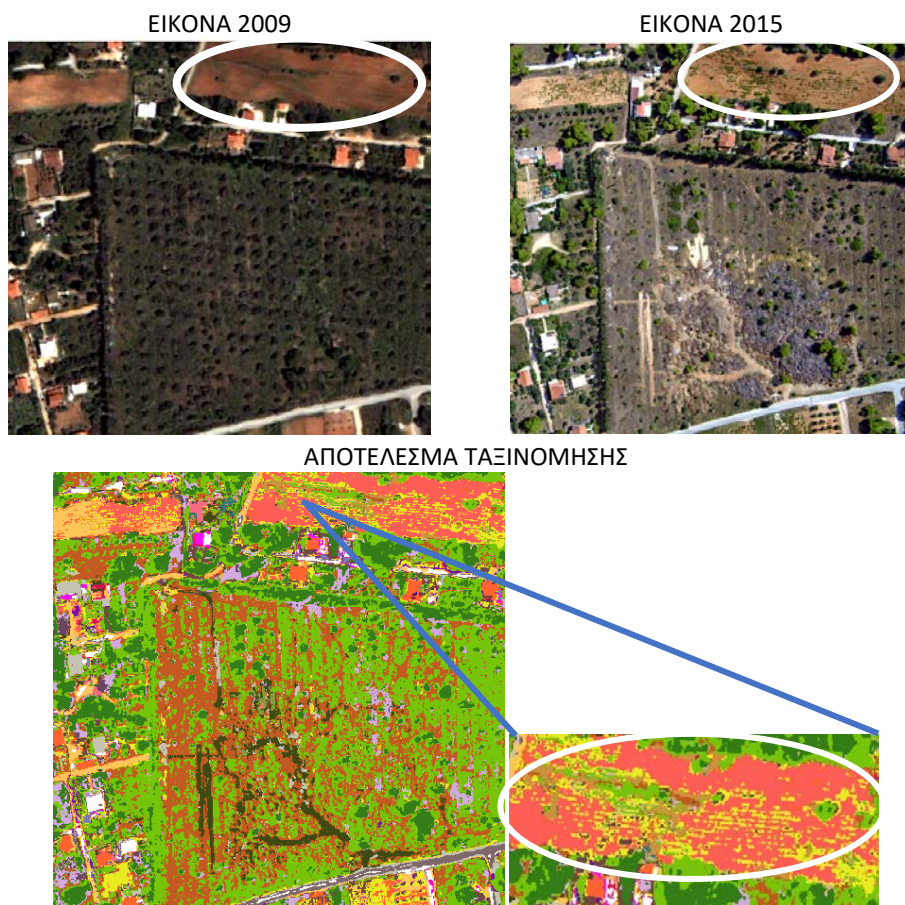
Ο αλγόριθμος ταξινόμησης το δρόμο που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.15 στην κατηγορία NBW (Σχήμα 4.15).



*Σχήμα 4.15 Παράδειγμα λανθασμένης ταξινόμησης κατηγορίας μη-μεταβολής ασφάλτου/δρόμου σε άσπρο σίτι*

Στο Σχήμα 4.16, στο πρώτο κομμάτι, οι μεταβολές στη βλάστηση και στο έδαφος είναι εμφανείς. Στην ταξινομημένη εικόνα, λοιπόν, με επιτυχία έχουν ταξινομηθεί με μπλε σκούρο χρώμα εικονοστοιχείων η κατηγορία DSLS, με σκούρο πράσινο χρώμα εικονοστοιχείων η σταθερή κατηγορία πυκνής βλάστησης, με πράσινο ανοιχτό χρώμα pixels η σταθερή κατηγορία αραιής βλάστησης, με καφέ η κατηγορία NDS και με πορτοκαλί ανοιχτό η κατηγορία NMRS.

Πιο αναλυτικά στο συγκεκριμένο κομμάτι της περιοχής μελέτης (Σχήματος 4.16), με καφέ χρώμα εικονοστοιχείων απεικονίζεται η κατηγορία σκουρόχρωμο έδαφος (NDS) που έχει ταξινομηθεί με επιτυχία, ενώ με λαδί χρώμα εικονοστοιχείων ο αλγόριθμος ταξινόμησης λανθασμένα την κατηγορία DSBK.



Σχήμα 4.16 Παραδείγματα ταξινόμησης μεταβολών σε τμήματα βλάστησης και εδάφους

Στο Σχήμα 4.17, από τη φωτοερμηνευτική σύγκριση των εικόνων 2009, 2015 και τα ποιοτικά αποτελέσματα της ταξινομημένης εικόνας, παρατηρούνται οι ταξινομήσεις κατηγοριών ανίχνευσης μεταβολών από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε αραιή ή σε πυκνή βλάστηση (LSSV, LSDV) αλλά και η εύστοχη αναγνώριση και ταξινόμηση της μεταβολής από σκουρόχρωμο έδαφος σε ανοιχτόχρωμο (DSLS).

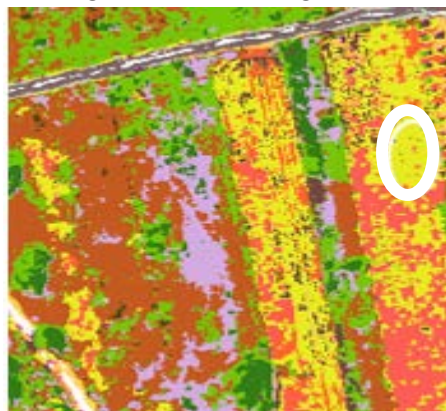
ΕΙΚΟΝΑ 2009



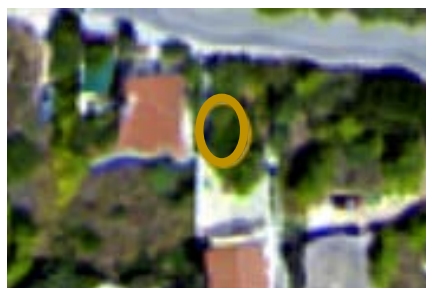
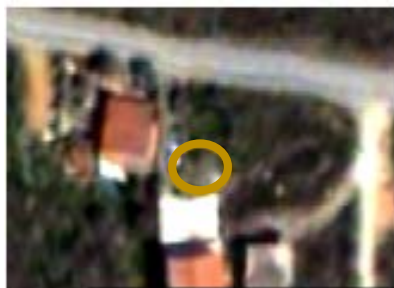
ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ



Ανίχνευση κατηγορίας μεταβολής από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε αραιή βλάστηση (LSSV)



Ανίχνευση κατηγορίας μεταβολής από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε πυκνή βλάστηση (LSDV)

Σχήμα 4.17 Παραδείγματα εύστοχης ανίχνευσης μεταβολών στις κατηγορίες LSSV, LSDV και DSLS.

Η ανίχνευση της κατηγορίας μεταβολής από κτίριο με γκρι ταράτσα σε κτίριο με κεραμοσκεπή, (BGK), οπτικοποιείται με φούξια χρώμα εικονοστοιχείων στην ταξινομημένη εικόνα (Σχήμα 4.18).



Σχήμα 4.18 Παράδειγμα ανίχνευσης κατηγορίας μεταβολής από κτίριο με γκρι ταράτσα σε κτίριο με κεραμοσκεπή.

#### 4.2.2. Ομαδοποίηση κατηγοριών και αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Προκειμένου να έχουμε μία γενικευμένη καλύτερη εικόνα του αποτελέσματος της ταξινόμησης, οι 39 κατηγορίες ομαδοποιήθηκαν σε 15 απλούστερες κατηγορίες (Πίνακας 4.14).

Μετά την ομαδοποίηση δημιουργήθηκε καινούργιος ομαδοποιημένος Confusion Matrix (Πίνακας 4.15), όπως και στο προηγούμενο ζεύγος 2006-2015. Υπολογίστηκαν οι νέοι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης ταξινόμησης, όσον αφορά στην ακρίβεια και αξιοπιστία της.

Πίνακας 4.14 Ομαδοποίηση κατηγοριών στο ζεύγος 2009-2015.

	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΚΩΔΙΚΟ ΟΝΟΜΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ		
ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	Από βλάστηση σε βλάστηση	N. VEGETO VEGETO	<b>NDV</b> <b>NSV</b>		
	Από κτίριο σε κτίριο	N. BLD TO BLD	<b>NBK</b> <b>NBG</b> <b>NBW</b> <b>NP</b> <b>NWW</b> <b>NWK</b>		
			Από πισίνα σε πισίνα	N. POOL	<b>NA</b>
			Από άσφαλτο σε άσφαλτο	N. ASFALTOS	<b>NBR</b>
			Από έδαφος σε έδαφος	N. SOIL TO SOIL	<b>NDS</b> <b>NLS</b> <b>NMRS</b>
					Από κτίριο σε κτίριο
	Από έδαφος σε κτίριο	SOIL TO BLD			
Από βλάστηση σε κτίριο			VEGETO BLD	<b>SVBW</b> <b>DVBW</b> <b>DVBG</b> <b>DVBK</b> <b>SVBK</b>	
	Από άσφαλτο σε πισίνα	ASFALTOS TO POOL		<b>WAP</b>	
	Από έδαφος σε πισίνα	SOIL TO POOL		<b>DSP</b> <b>LSP</b>	
				Από έδαφος σε βλάστηση	SOIL TO VEGETO
Από έδαφος σε έδαφος	SOIL TO SOIL	<b>DSLS</b>			
Από βλάστηση σε έδαφος	VEGETO SOIL	<b>DVLS</b>			
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ	Από κτίριο σε βλάστηση	BLD TO VEGETO	<b>BWDV</b>		
	Από κτίριο σε άσφαλτο	BLD TO ASFALTOS	<b>BKA</b>		

Πίνακας 4.15 Πίνακας Σύγκρισης ομαδοποιημένων κατηγοριών για το ζεύγος 2009-2015.

70%-30% 2009-2015	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	SUM	PA %
1.N. VEGE TO VEGE	713	0	0	0	17	0	0	1	0	0	25	0	2	0	0	758	94%
2.N. BLD TO BLD	2	4295	0	26	78	41	5	1	0	0	16	1	0	1	0	4466	96%
3.N. POOL	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	100%
4. N. ASFALTOS	0	33	0	225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	258	87%
5.N. SOIL TO SOIL	7	37	0	0	439	0	0	0	0	0	31	2	0	0	0	516	85%
6.BLD TO BLD	2	27	0	9	0	345	0	0	0	0	5	0	0	2	0	390	88%
7.SOIL TO BLD	4	0	0	0	3	0	65	17	0	0	2	3	0	0	0	94	69%
8.VEGE TO BLD	0	0	0	0	1	0	25	274	0	0	1	1	0	0	0	302	91%
9.ASFALTOS TO POOL	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	100%
10.SOIL TO POOL	0	0	2	0	0	0	2	0	0	19	1	0	0	0	0	24	79%
11.SOIL TO VEGE	58	0	0	0	58	0	0	0	0	0	180	0	0	0	0	296	61%
12.SOIL TO SOIL	0	0	0	0	2	0	8	0	0	0	0	52	0	0	0	62	84%
13.VEGE TO SOIL	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	13	0%
14.BLD TO VEGE	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	10	0	14	71%
15.BLD TO ASFALTOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13	100%
SUM	788	4392	16	260	600	389	105	293	2	19	262	68	2	13	13	7222	N
UA%	90%	98%	88%	87%	73%	89%	62%	94%	100%	100%	69%	76%	0%	77%	100%		



#### 4.2.2.α. Ποσοτική αξιολόγηση

Τα συνολικά ποσοστά μετά την ομαδοποίηση είναι τα εξής (Πίνακας 4.16):

Πίνακας 4.16 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ομαδοποιημένων κατηγοριών

Accuracy Metrics	
Overall	92%
Producer	80%
User	80%

Σε μια συνολική εικόνα, φαίνεται ότι το ποσοστό της ακρίβειας μετά τη συγχώνευση κατηγοριών αυξήθηκε κατά **17%**, ενώ η αξιοπιστία αυξήθηκε κατά **14%**.

Οι κατηγορίες που δεν έχουν υποστεί καμία αύξηση στους ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης είναι αυτές που δε συγχωνεύτηκαν με καμία άλλη κατηγορία. Η κατηγορία που σημείωσε τη μεγαλύτερη αύξηση δεικτών αξιολόγησης (PA%) είναι η κατηγορία VEGE TO BLD, δηλαδή, η κατηγορία μεταβολής από βλάστηση (εικόνα 2009) σε κτίριο (ορθοεικόνα 2015). Η ίδια κατηγορία μεταβολής είχε σημειώσει επίσης τη μεγαλύτερη αύξηση δεικτών αξιολόγησης στο ζεύγος 2006-2009 (Πίνακας 4.17).

Οι δείκτες αξιολόγησης των κατηγοριών που δε συγχωνεύτηκαν παρέμειναν στάσιμοι. Όπως και στις μεταβολές 2006-2015, έτσι και στις μεταβολές 2009-2015, παρατηρείται ότι η κατηγορία με τη μεγαλύτερη αύξηση δεικτών αξιολόγησης είναι η κατηγορία μεταβολής VEGE TO BLD (Πίνακας 4.18).

Πίνακας 4.17 Ποσοστά και Διαφορά ποσοστών *Producer's Accuracy* για κάθε ομαδοποιημένη κατηγορία

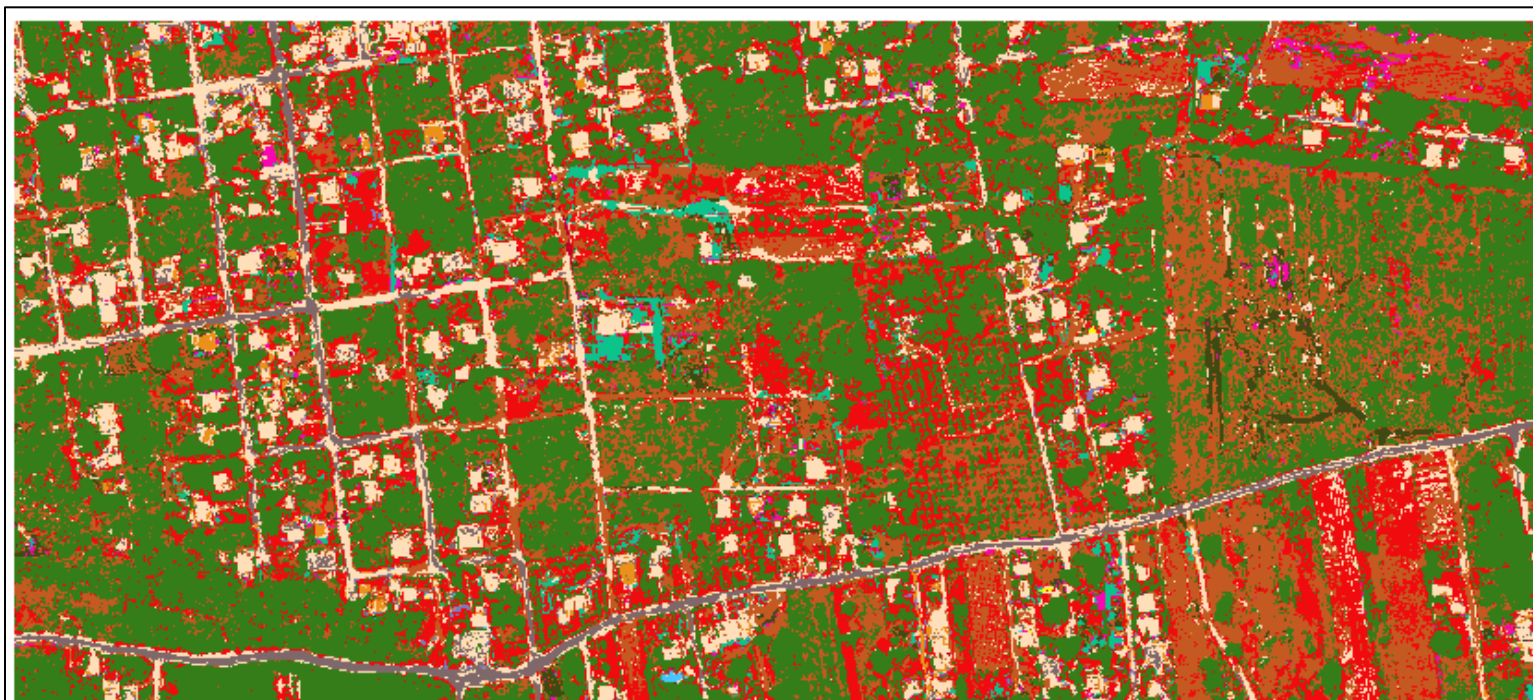
KATHΓΟΙΕΣ	PA% before	PA% after	difference
N. VEGE TO VEGE	87%	94%	7%
N. BLD TO BLD	62%	96%	35%
N. POOL	100%	100%	0%
N. ASFALTOS	87%	87%	0%
N. SOIL TO SOIL	83%	85%	2%
BLD TO BLD	78%	88%	10%
SOIL TO BLD	43%	69%	26%
VEGE TO BLD	40%	91%	50%
ASFALTOS TO POOL	100%	100%	0%
SOIL TO POOL	54%	79%	25%
SOIL TO VEGE	38%	61%	22%
SOIL TO SOIL	84%	84%	0%
VEGE TO SOIL	0%	0%	0%
BLD TO VEGE	71%	71%	0%
BLD TO ASFALTOS	100%	100%	0%

Πίνακας 4.18 : Ποσοστά και Διαφορά ποσοστών *User's Accuracy* για κάθε ομαδοποιημένη κατηγορία

KATHΓΟΙΕΣ	UA % before	UA% after	Difference
N. VEGE TO VEGE	86%	90%	4%
N. BLD TO BLD	80%	98%	18%
N. POOL	88%	88%	0%
N. ASFALTOS	87%	87%	0%
N. SOIL TO SOIL	70%	73%	3%
BLD TO BLD	77%	89%	12%
SOIL TO BLD	38%	62%	24%
VEGE TO BLD	48%	94%	46%
ASFALTOS TO POOL	100%	100%	0%
SOIL TO POOL	81%	100%	19%
SOIL TO VEGE	43%	69%	26%
SOIL TO SOIL	76%	76%	0%
VEGE TO SOIL	0%	0%	0%
BLD TO VEGE	77%	77%	0%
BLD TO ASFALTOS	100%	100%	0%

#### 4.2.2.β. Ποιοτική αξιολόγηση

Τα παραπάνω ποσοτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται και οπτικοποιημένα. Στην ήδη υπάρχουσα ταξινομημένη εικόνα, όλες οι όμοιες κατηγορίες που αποτελούν μία κοινή νέα κατηγορία, απεικονίζονται με το ίδιο χρώμα (Εικόνα 4.5).



ΥΠΟΜΝΗΜΑ		
ΖΕΥΓΟΣ 2009-2015 (ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ)	BLD TO BLD	SOIL TO BLD
VEGE TO VEGE	SOIL TO SOIL	SOIL TO BLD
VEGE TO VEGE	SOIL TO SOIL	SOIL TO BLD
BLD TO BLD	BLD TO BLD	SOIL TO BLD
BLD TO BLD	BLD TO BLD	VEGE TO BLD
BLD TO BLD	BLD TO BLD	VEGE TO BLD
PISINA	BLD TO BLD	VEGE TO BLD
BLD TO BLD	BLD TO BLD	VEGE TO BLD
BLD TO BLD	BLD TO BLD	VEGE TO BLD
ASPHALTOS	BLD TO BLD	ASPHALTOS TO POOL
		SOIL TO POOL
		SOIL TO POOL
		SOIL TO VEGE
		SOIL TO VEGE
		SOIL TO VEGE
		SOIL TO SOIL
		VEGE TO SOIL
		BLD TO VEGE
		BLD TO ASFALTOS

Εικόνα 4.5 : Ταξινομημένη Εικόνα μετά την Ομαδοποίηση των κατηγοριών για το ζεύγος 2009-2015

Είναι εμφανές ότι η ομαδοποίηση των κατηγοριών δίνει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα του αποτελέσματος του αλγορίθμου. Παρακάτω, η εικόνα χωρίζεται σε κάποια κομμάτια για καλύτερη ποιοτική αξιολόγηση.

Τα εικονοστοιχεία με μπεζ ανοιχτό χρώμα, απεικονίζουν τα κτίρια που δεν έχουν υποστεί κάποια μεταβολή. Στο άσπρο κυκλικό πλαίσιο, εντοπίζονται με πορτοκαλί χρώμα εικονοστοιχείων τα κτίρια που υπέστησαν μεταβολή. Παρατηρείται ότι ορισμένα κομμάτια ασφαλτοστρωμένου δρόμου είναι ταξινομημένα στην κατηγορία των κτιρίων που δεν έχουν υποστεί μεταβολές, όπως φαίνεται στο κίτρινο περίγραμμα (Σχήμα 4.19).

ΕΙΚΟΝΑ 2009



ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ



Σχήμα 4.19 Παραδείγματα σωστής ταξινόμησης ομαδοποιημένων κατηγοριών μη-μεταβολής και μεταβολής κτιρίων, αλλά και λανθασμένη ταξινόμηση μη-μεταβολής κατηγορίας ασφαλτοστρωμένου δρόμου σε κτίριο.

Με την απόχρωση κόκκινου, οπτικοποιούνται οι κατηγορίες που ταξινομήθηκαν ως κατηγορίες μεταβολής από χώμα (2009) σε βλάστηση (2015), ενώ με πράσινο χρώμα αποτυπώνονται οι κατηγορίες που παρέμειναν ως κατηγορίες βλάστησης (Σχήμα 4.20) και (Σχήμα 4.19).

Μία λάθος ταξινόμηση εντοπίζεται φωτοερμηνευτικά, στο Σχήμα 4.20 όπου ενδείκνυται με κόκκινο βέλος, όπου το έδαφος από σκουρόχρωμο έγινε ανοιχτόχρωμο, ενώ ο αλγόριθμος έχει κατηγοριοποιήσει τη μεταβολή αυτή ως μεταβολή από έδαφος σε κτίριο.

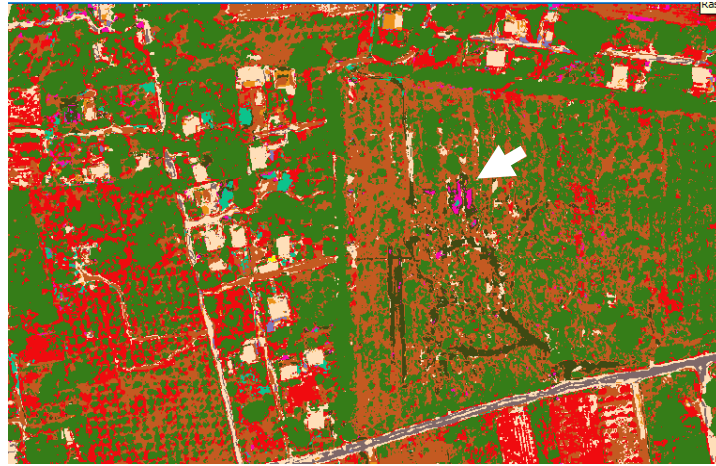
ΕΙΚΟΝΑ 2009



ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ



Σχήμα 4.20 Με μωβ χρώμα στην ταξινομημένη εικόνα παρουσιάζεται η λανθασμένη κατηγοριοποίηση της μεταβολής εδάφους σε μεταβολή από έδαφος σε κτίριο..

Στο ίδιο τμήμα της περιοχής μελέτης, πιο αναλυτικά , εντοπίζεται και η κατηγορία μεταβολής εδάφους από το 2009 μέχρι το 2015, όπως φαίνεται με σκούρο πράσινο χρώμα των εικονοστοιχείων στην ταξινομημένη εικόνα στο Σχήμα 4.21.

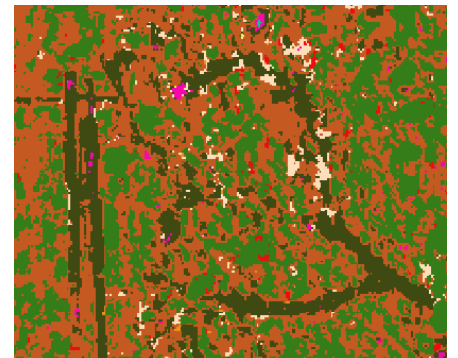
ΕΙΚΟΝΑ 2009



ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ



Σχήμα 4.21 Παράδειγμα ομαδοποιημένης κατηγορίας μεταβολής εδάφους με πράσινο σκούρο χρώμα..

### 4.3. Μεταβολές Μεταξύ 2010 (Ορθοεικόνα) Και 2015 (Ορθοεικόνα)

Και σε αυτό το ζεύγος πραγματοποιήθηκαν πειράματα, ώστε να επιτευχθεί η ζητούμενη ανίχνευση των κατηγοριών και η αναγνώριση των μεταβολών τους. Η δυσκολία σε αυτόν το συνδυασμό των εικόνων, επικεντρώνεται στο γεγονός ότι η εικόνα 2010 (OKXE), όπως και η εικόνα αναφοράς του 2015 (Ορθοεικόνα), διαθέτουν τρία (3) κανάλια (RGB) στο οπτικό φάσμα. Έτσι, η διαθέσιμη φασματική πληροφορία που απαιτείται για τη γνώση της φασματικής συμπεριφοράς της κάθε μεταβολής, δεν είναι αρκετή με αυτά τα διαθέσιμα κανάλια ώστε να χρησιμοποιηθούν επιπλέον δείκτες για την αναγνώριση των μεταβολών. Για το λόγο αυτό, στο ζεύγος 2010-2015, έγιναν τα πρώτα πειράματα. Ο πίνακας που ακολουθεί, παρουσιάζει τους μέσους όρους των ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης, για κάθε αναλογία μεταξύ Training-Testing Set για κάθε πείραμα που πραγματοποιήθηκε (Πίνακας 4.19).

*\*Όπου  $w$ , αναφέρεται το βάρος που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε κατηγορία, το οποίο κυμαινόταν από 0.2 έως 1, και ήταν ανάλογο του μεγέθους των Pixel κάθε κατηγορίας.*

*\*Τα 8 κανάλια προέκυψαν με την προσθήκη στα 6 ήδη υπάρχοντα, δύο επιπλέον καναλιών ως λόγους R/G στην ορθοεικόνα 2015 και R/B στην εικόνα 2010.*

Τα πειράματα, έγιναν με δύο Δεδομένα Αναφοράς (Ground Truth) κατηγοριών μεταβολών ή μη-μεταβολών, ένα με 41 και ένα με 36 κατηγορίες. Παρατηρείται ότι το Ground Truth με τις λιγότερες κατηγορίες, δίνει λίγο υψηλότερους ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης.

Στα πειράματα των 36 κατηγοριών μεταβολών και μη, οι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης είναι ελαφρώς υψηλότεροι όταν δεν υπάρχουν τα βάρη. Παρακάτω, θα αναλυθούν τα αποτελέσματα της ταξινόμησης (ποσοτικά και οπτικά), στο πείραμα των 6 καναλιών και με Δεδομένο Αναφοράς με τις 41 κατηγορίες μεταβολών και μη. Η ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση του πειράματος αυτού, επιλέγεται να γίνει στην αναλογία μεταξύ Training-Testing Set στο 70%-30%.

#### 4.3.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων σε όλες τις κατηγορίες

##### 4.3.1 α. Ποσοτική αξιολόγηση

###### ΠΕΙΡΑΜΑ 6 ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΚΑΙ 41 ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΣΤΟ ΔΕΔΟΜΕΝΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Αρχικά, τα πειράματα ταξινόμησης ξεκίνησαν με το Δεδομένο Αναφοράς των 41 κατηγοριών. Στο πείραμα των 6 καναλιών στη «στακαρισμένη» εικόνα (Stack Image) και των 41 κατηγοριών μεταβολών και μη-μεταβολών, τα ποσοτικά αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την εκτέλεση της ταξινόμησης από τον Πίνακα Σύγχυσης, όσον αφορά στους ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης (Producer Accuracy, User Accuracy και Overall Accuracy), αντικατοπτρίζουν την επιτυχία της ταξινόμησης.

Οι κατηγορίες με τους χαμηλότερους ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης, φαίνεται να είναι, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.20., οι κατηγορίες που αφορούν κυρίως το Θερμοσίφωνο και την προσθήκη του σε ταράτσα κτιρίου αλλά και κατηγορίες που αφορούν στις μεταβολές από έδαφος ή βλάστηση, σε κτίριο. Πιο

συγκεκριμένα, μερικές από αυτές τις κατηγορίες μεταβολών είναι οι NWK, AWW, LSBW, DVBG, DVLS. Αντιθέτως, οι κατηγορίες με τους υψηλότερους ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης

Πίνακας 4.19 Πειράματα και μέσοι όροι αποτελεσμάτων ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης για το ζεύγος 2010-2015. Με πράσινη λωρίδα σημειώνεται το πείραμα που αναλύεται αργότερα ποιοτικά και ποσοτικά.

ΖΕΥΓΟΣ	ΠΕΙΡΑΜΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΞΥ Training-Testing Set (%)	AVERAGE PRODUCER'S ACCURACY (PA%)	AVERAGE USER'S ACCURACY (RELIABILITY) (UA%)	
2010-2015	6 bands (no extra bands-no w)	41	50%-50%	51%	55%	
			60%-40%	52%	51%	
			70%-30%	51%	53%	
			80%-20%	52%	51%	
	6 bands (no extra bands-with w)		50%-50%	49%	50%	
			60%-40%	51%	51%	
			70%-30%	49%	47%	
			80%-20%	54%	52%	
	8 bands (no w)		50%-50%	51%	55%	
			60%-40%	51%	48%	
			70%-30%	50%	51%	
			80%-20%	53%	53%	
	8 bands (with w)		50%-50%	47%	49%	
			60%-40%	51%	49%	
			70%-30%	48%	48%	
			80%-20%	52%	51%	
	6 bands (no extra bands-no w)		36	50%-50%	56%	54%
				60%-40%	59%	56%
				70%-30%	61%	58%
				80%-20%	58%	56%
6 bands (no extra bands-with w)	50%-50%	55%		50%		
	60%-40%	58%		55%		
	70%-30%	59%		53%		
	80%-20%	58%		54%		
8 bands (no w)	50%-50%	56%		52%		
	60%-40%	57%		56%		
	70%-30%	53%		56%		
	80%-20%	58%		54%		
8 bands (with w)	50%-50%	54%		49%		
	60%-40%	56%		53%		
	70%-30%	59%		54%		
	80%-20%	58%		53%		

αφορούν στις κατηγορίες Μη-Μεταβολής από κτίριο σε κτίριο και στις δύο εικόνες (2010-2015), αλλά και στη σταθερή κατηγορία από πισίνα σε πισίνα (NP) που φτάνει μέχρι και 100% σε όλες τις αναλογίες μεταξύ Training Testing Sets που εκτελέστηκε ο αλγόριθμος ταξινόμησης.

Αξιοσημείωτες αποκλίσεις σημειώνουν τα ποσοτικά αποτελέσματα ταξινόμησης της κατηγορίας NWW, όπου στην αναλογία σετ δεδομένων εκπαίδευσης 50% και σετ δεδομένων ελέγχου 50%, οι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης όσον αφορά το ποσοστό αξιοπιστίας της κατηγορίας NWW είναι 50% και όσον αφορά στο ποσοστό δείκτη ακρίβειας φτάνει μόλις το 1%. Η ίδια και μεγαλύτερη απόκλιση εμφανίζεται και στις υπόλοιπες αναλογίες μεταξύ training-testing sets. Άλλη μία κατηγορία που έχει μεγάλες αποκλίσεις ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης, είναι η AWK.

Ο συνολικός ποσοτικός δείκτης αξιολόγησης (Overall Accuracy) , φτάνει το 81% σε όλες τις αναλογίες μεταξύ σετ δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου, εκτός από την αναλογία 60%-40% που φτάνει 84%.

Στον Πίνακα 4.21, που ακολουθεί, καταγράφονται οι ποσοτικοί δείκτες των κατηγοριών για το πείραμα 6 καναλιών και 36 κατηγορίες μεταβολών και μη-μεταβολών ως Δεδομένο Αναφοράς. Οι 36 κατηγορίες, προέκυψαν, όπως έχει αναφερθεί στο Υποκεφάλαιο 3.4.2, από την αφαίρεση κάποιων κατηγοριών με πολύ χαμηλούς δείκτες αξιολόγησης. Αφού έγινε η αφαίρεση αυτών, υλοποιήθηκε εκ νέου ο αλγόριθμος με τα ίδια βήματα. Κάποιες από τις κοινές κατηγορίες και στα δύο πειράματα, των 36 και 41 κατηγοριών, εμφανίζουν ομοιότητες, ενώ τα ποσοστά του ποσοτικού δείκτη αξιολόγησης (Overall Accuracy) που καταγράφηκαν και στα δύο αυτά πειράματα, έχουν απόκλιση μεταξύ τους 2%-5%.

Αναλυτικότερα, για να υπάρξει μία καλύτερη εικόνα για την πορεία της κάθε κατηγορίας στην ταξινόμηση, έγινε επιλογή ποσοτικής ανάλυσης του Πίνακα Σύγχυσης (Confusion Matrix), της αναλογίας 60%-40% μεταξύ training-testing set, του πειράματος των 41 κατηγοριών και 6 καναλιών (Εικόνα 4.6).

Στους συγκεντρωτικούς Πίνακες 4.20.,4.21, καταγράφονται, οι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης (PA%, UA%) για κάθε κατηγορία στα πειράματα που αναφέρθηκαν.

Οι κατηγορίες που ταξινομούνται με επιτυχία σε αυτό το ζεύγος είναι οι NBG, NBW, DVBW, SVBK, DSP. Χαμηλά ποσοστά δεικτών αξιολόγησης καταγράφονται στις κατηγορίες μεταβολών από έδαφος σε κτίριο αλλά και από κτίριο σε κτίριο (BRW, AWW),(Εικόνα 4.6).

Οι μέσοι όροι ποσοστών των 41 κατηγοριών, μέσα από τον Πίνακα Σύγχυσης είναι οι εξής (Πίνακας 4.22):.

*Πίνακας 4.20 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ταξινόμησης όλων των κατηγοριών*

Accuracy Metrics	
Overall	84%
Producer	52%
User	51%

Ο μέσος όρος του ποσοτικού δείκτη αξιολόγησης που αφορά στην ακρίβεια του παραγωγού (PA%) σημειώνει χαμηλό ποσοστό, 52%. Για να βελτιωθούν τα ποσοστά της ταξινόμησης, όπως και στα δύο προηγούμενα ζεύγη, μετά την ταξινόμηση θα πραγματοποιηθεί ομαδοποίηση κατηγοριών.

Πίνακας 4.21 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2010-2015 (6 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών.

ΖΕΥΓΟΣ ΟΚΧΕ 2010- ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2015/ΠΕΙΡΑΜΑ 6 ΚΑΝΑΛΙΩΝ	TRAINING SETS (%)							
	50%-50%		60%-40%		70%-30%		80%-20%	
	ACCURACY METRICS							
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	UA %	PA %	UA%	PA%	UA%	PA%	UA%	PA%
NDV	89%	90%	89%	65%	85%	49%	85%	58%
NSV	44%	48%	47%	51%	46%	47%	41%	40%
NBK	98%	97%	98%	97%	97%	97%	97%	97%
NBG	86%	90%	86%	92%	86%	90%	85%	88%
NBW	96%	97%	96%	96%	96%	96%	94%	95%
NP	100%	98%	100%	96%	100%	95%	100%	92%
NWW	100%	10%	67%	12%	100%	12%	50%	19%
NWK	100%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NA	69%	65%	76%	68%	74%	68%	74%	67%
NBR	82%	86%	80%	85%	78%	82%	76%	76%
NDS	65%	46%	65%	47%	64%	49%	63%	48%
NLS	87%	92%	84%	93%	81%	93%	84%	94%
NMRS	82%	84%	79%	81%	80%	79%	83%	89%
BGK	86%	89%	87%	88%	97%	80%	93%	87%
BWK	86%	60%	90%	85%	91%	91%	86%	90%
BRW	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NWG	69%	98%	82%	98%	87%	96%	86%	90%
AWW	0%	0%	0%	0%	100%	18%	100%	14%
AWK	100%	40%	70%	44%	100%	58%	67%	75%
DSBW	88%	38%	86%	29%	79%	27%	73%	21%
DSBK	25%	3%	38%	4%	29%	4%	0%	0%
DSBG	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
LSBK	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
LSBW	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
DVBW	10%	93%	9%	100%	8%	94%	9%	100%
DVBG	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
DVBK	50%	43%	57%	36%	60%	38%	50%	33%
SVBK	36%	100%	34%	100%	35%	100%	35%	100%
WAP	60%	43%	100%	33%	100%	25%	100%	33%
DSP	100%	67%	67%	100%	67%	100%	50%	100%
LSP	67%	80%	64%	88%	63%	83%	60%	75%
LSSV	29%	32%	41%	44%	33%	25%	50%	63%
LSDV	63%	96%	66%	92%	56%	96%	82%	95%
DSSV	39%	70%	43%	72%	39%	68%	49%	69%
DSDV	49%	72%	12%	82%	10%	89%	10%	95%
DVSV	0%	0%	8%	10%	6%	14%	0%	0%
SVDV	100%	25%	100%	33%	0%	0%	0%	0%
LSDS	0%	0%	0%	0%	100%	33%	0%	0%
DSLS	44%	93%	48%	92%	43%	90%	42%	90%
DVLS	20%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
WBDV	40%	29%	25%	17%	0%	0%	100%	33%
Overall Accuracy: OA	86%		84%		83%		83%	



Πίνακας 4.22 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2010-2015 (6 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών

ΖΕΥΓΟΣ ΟΚΧΕ 2010- ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2015/ΠΕΙΡΑΜΑ 6 ΚΑΝΑΛΙΩΝ	TRAINING SETS (%)							
	50%-50%		60%-40%		70%-30%		80%-20%	
	ACCURACY METRICS							
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	UA %	PA %	UA%	PA%	UA%	PA%	UA%	PA%
NDV	83%	51%	91%	91%	84%	44%	85%	52%
NSV	39%	40%	44%	44%	41%	38%	36%	34%
NBK	94%	97%	94%	97%	94%	97%	94%	97%
NBG	85%	89%	86%	91%	86%	90%	85%	88%
NBW	89%	97%	89%	97%	89%	98%	89%	97%
NP	100%	98%	100%	92%	100%	95%	100%	85%
NWW	50%	1%	75%	3%	50%	1%	100%	2%
NWK	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NA	68%	67%	74%	69%	71%	69%	68%	68%
NBR	83%	86%	80%	85%	77%	83%	75%	77%
NDS	64%	44%	64%	46%	62%	47%	63%	46%
NLS	82%	92%	80%	93%	77%	92%	84%	92%
NMRS	82%	79%	80%	82%	78%	78%	78%	86%
BGK	92%	87%	84%	88%	95%	80%	93%	87%
BWK	91%	86%	89%	88%	91%	90%	90%	90%
BRW	0%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%
BWG	88%	97%	89%	95%	91%	96%	87%	96%
AWW	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
AWK	100%	2%	67%	3%	100%	3%	67%	6%
DSBW	76%	24%	78%	29%	81%	38%	81%	30%
DSBK	38%	4%	71%	8%	71%	23%	86%	21%
LSBW	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
DVBW	9%	95%	9%	100%	12%	100%	10%	100%
DVBG	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
DVBK	56%	36%	67%	36%	67%	50%	50%	33%
SVBK	36%	100%	36%	95%	42%	94%	46%	100%
WAP	67%	86%	63%	83%	67%	100%	67%	67%
DSP	100%	100%	67%	100%	67%	100%	100%	100%
LSP	88%	70%	86%	75%	100%	50%	67%	100%
LSSV	40%	73%	55%	81%	41%	81%	35%	55%
LSDV	69%	92%	60%	92%	65%	89%	69%	83%
DSSV	22%	55%	35%	70%	30%	58%	33%	61%
DSDV	10%	87%	42%	82%	9%	89%	10%	95%
DVSV	0%	0%	0%	0%	3%	14%	29%	40%
DSLS	46%	91%	52%	94%	51%	92%	48%	90%
DVLS	8%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Overall Accuracy: OA	81%		84%		81%		81%	

	60%-40% 2010-2015	1	2	3	4	5	10	7	8	6	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	sum	PA%				
1	NDV	475	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20	209	12	0	0	0	0	0	0	0	0	729	65%
2	NSV	54	143	0	13	0	0	0	0	0	0	28	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	20	11	0	0	0	0	1	0	0	0	282	51%	
3	NBK	0	4	4078	6	3	50	0	0	0	1	8	10	13	2	5	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	7	1	0	0	0	0	0	6	0	0	0	4201	97%		
4	NBG	0	3	6	1194	11	0	2	0	0	40	27	4	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1304	92%		
5	NBW	0	0	0	20	1149	0	0	0	0	6	1	2	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1199	96%			
10	NBR	0	0	32	0	0	198	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	232	85%		
7	NWW	0	0	0	5	9	0	4	0	0	10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	33	12%		
8	NWK	0	1	11	17	0	0	0	0	0	1	3	1	1	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0%		
6	NP	0	1	0	1	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	96%		
9	NA	0	0	0	85	3	0	0	0	0	186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	274	68%		
11	NDS	0	128	0	32	0	0	0	0	0	0	158	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	339	47%		
12	NLS	0	0	5	2	2	0	0	0	0	0	0	122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131	93%		
13	NMRS	0	0	29	0	0	0	0	0	0	9	0	174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	214	81%		
14	BGK	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	53	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	88%		
15	BWK	0	0	2	2	11	0	0	0	0	0	0	0	0	2	115	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	85%		
16	BRW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0%		
17	NWG	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136	98%		
18	AWW	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0%		
19	AWK	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	44%	
20	DSBW	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	105	0	0	0	0	216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	2	0	0	358	29%	
21	DSBK	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	39	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	20	0	0	0	69	4%			
22	DSBG	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	6	0%			
23	LSBK	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0%			
24	LSBW	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	22	0%			
25	DVBW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	100%		
26	DVBG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0%		
27	DVBK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	11	36%		
28	SVBK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	100%		
29	WAP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	33%			
30	DSP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100%		
31	LSP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	88%			
32	LSSV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	16	44%			
33	LSDV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	92%		
34	DSSV	1	2	0	1	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	0	71	72%			
35	DSDV	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	82%			
36	DVSV	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10	10%				
37	SVDV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	33%				
38	LSDS	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0%				
39	DSLS	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	1	0	83	92%				
40	DVLS	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	14	0%					
41	WBDV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	17%				
	sum	536	305	4178	1386	1200	248	6	0	50	245	243	146	219	61	128	0																															

#### 4.3.1.β. Ποιοτική αξιολόγηση

##### ΠΕΙΡΑΜΑ 6 ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΜΕ ΑΝΑΛΟΓΙΑ TRAINING-TESTING SET 60%-40%

Οι εικόνες του ζεύγους 2010-2015 φαίνονται σε έγχρωμο σύνθετο στο Σχήμα 4.22.

α) ΕΙΚΟΝΑ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ 2010



β) ΟΡΘΟΕΙΚΟΝΑ 2015



Σχήμα 4.22 α) Δορυφορική Εικόνα (OKΧΕ) 2010 και β) Ορθοεικόνα 2015 σε έγχρωμο σύνθετο.

Η ταξινομημένη εικόνα που προέκυψε από την ολοκλήρωση της ταξινόμησης, αξιολογείται ποιοτικά μέσα από την οπτικοποίηση των κατηγοριών από το πρόγραμμα QGIS δίνεται από το Σχήμα 4.23.

Τα οπτικοποιημένα αποτελέσματα της ταξινόμησης αναλύονται παρακάτω, σε κάποια συγκρινόμενα τμήματα των δύο εικόνων του ζεύγους και της εικόνας πρόβλεψης που προέκυψε.

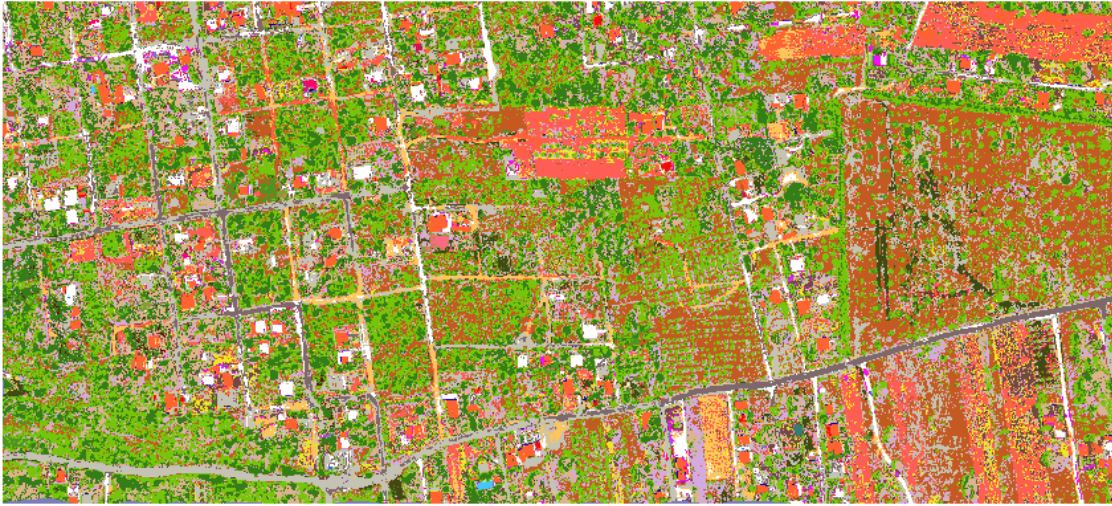
Στο Σχήμα 4.24, τα άσπρα κτίρια και τα κτίρια με κεραμοσκεπή που δεν έχουν υποστεί μεταβολές από το 2010 έως το 2015, οπτικοποιούνται στην ταξινομημένη εικόνα, με άσπρο και πορτοκαλί χρώμα αντίστοιχα.

Στον Σχήμα 4.25., καταγράφεται η σωστή ανίχνευση της κατηγορίας μεταβολής από πυκνή βλάστηση σε άσπρο κτίριο (DVBW). Αντίθετα, με κίτρινο χρώμα εμφανίζεται ο δρόμος, ταξινομημένος στην κατηγορία NLS, καθώς υπάρχουν στοιχεία χωματόδρομου στο συγκεκριμένο κομμάτι.

Στο μεγενθυμένο τμήμα των εικόνων προς σύγκριση του Σχήματος 4.26., εμφανίζεται με φούξια χρώμα η ταξινόμηση της μεταβολής από άσπρο κτίριο σε γκρι. Βέβαια, κάποια pixels της ταράτσας του κτιρίου, έχουν ταξινομηθεί σε λάθος κατηγορίες. Για παράδειγμα, μερικά pixels ταξινομήθηκαν ως κατηγορία προσθήκης του θερμοσίφωνα σε κτίριο με κεραμοσκεπή (AWK) με μπλε σκούρο χρώμα, όπως επίσης και με πορτοκαλί χρώμα έχει ταξινομηθεί ένα δώμα με κεραμοσκεπή ως κτίριο με κεραμοσκεπή (NBK).

Στο συγκεκριμένο κομμάτι των εικόνων Σχήματος 4.27, στο άσπρο πλαίσιο στην εικόνα 2015, όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα ζεύγη, υπήρχε η ιδιαιτερότητα της εμφάνισης βράχων στην ορθοεικόνα του 2015. Ο αλγόριθμος δεν εκπαιδεύτηκε να αναγνωρίζει την κατηγορία μεταβολής από έδαφος σε βραχώδη περιοχή, καθώς δεν υπήρχε κάποιο παρόμοιο τμήμα με βράχια το 2010. Οι περιοχές αυτές, ταξινομήθηκαν ως γκρι κτίρια, λόγω της παρόμοιας φασματικής υπογραφής τους. Εμφανής είναι η ανίχνευση, με πράσινο σκούρο χρώμα pixels στην ταξινομημένη εικόνα, της κατηγορίας DSLS.

α) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΖΕΥΓΑΡΙ 2010-2015



β) ΕΝΤΟΠΙΣΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΖΕΥΓΑΡΙ 2010-2015



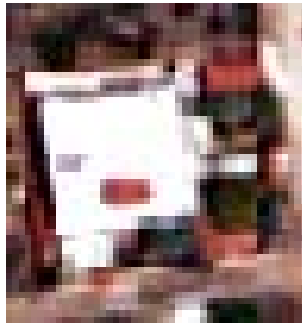
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΖΕΥΓΟΣ 2010-2015	BLD_RED	DARKSOIL_BLDKERAMOSKEPH	LIGHTSOIL_SPARSEVEGE
DENSE_VEGE	SOIL_DARKCOLOR	DARKSOIL_BLDGREY	LIGHTSOIL_DENSEVEGE
SPARSE_VEGE	SOIL_LIGHTCOLOR	LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH	DARKSOIL_SPARSEVEGE
BLD_KERMOSKEP	SOIL_MPEZ_RED	LIGHTSOIL_BLDWHITE	DARKSOIL_DENSEVEGE
BLD_GREY	BLD_GRAY_KERAMOSKEPH	DENSEVEGE_BLDWHITE	DENSEVEGE_SPARSEVEGE
BLD_WHITE	BLD_WHITE_KERAMOSKEPH	DENSEVEGE_BLDGREY	SPARSEVEGE_DENSEVEGE
PISINA	BLD_RED_WHITE	DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	LIGHTSOIL_DARKSOIL
WATERHEATER_WHITE	BLD_WHITE_GREY	SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	DARKSOIL_LIGHTSOIL
WATERHEATER_KERAMOSKEPH	ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa	WHITEASFALTOY_PISINA	DENSEVEGE_LIGHTSOIL
ASPHALTOS	ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH	DARKSOIL_PISINA	WHITEBLD_DENSEVEGE
	SOILDARK_BLDWHITE	LIGHTSOIL_PISINA	

Σχήμα 4.23 α) Η ταξινομημένη εικόνα που περιέχει όλες τις κατηγορίες ήτοι μεταβολές και μη μεταβολές για το ζευγάρι 2010-2015, β) Χάρτης με τις εντοπισμένες μεταβολές για το ζευγάρι 2010-2015 (με λευκό χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές χωρίς μεταβολές).



ΕΙΚΟΝΑ 2010



ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ



Εικόνες: Κατηγορία BWG

Σχήμα 4.26 Με φούξια χρώμα εικονοστοιχείων οπτικοποιείται ευστόχως η κατηγορία μεταβολής από άσπρο κτίριο σε γκρι

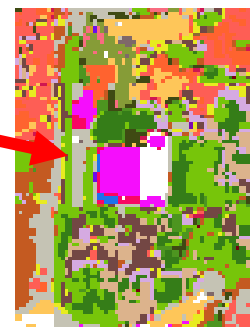
ΕΙΚΟΝΑ 2010



ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ



Σχήμα 4.27 Κατηγοριοποίηση ιδιαιτερότητας τύπου εδάφους που εμφανίζεται στο άσπρο πλαίσιο και με κόκκινο βελάκι εμφανίζεται η κατηγορία μεταβολής από άσπρο κτίριο σε κεραμοσκεπή

Σε μια γενική εικόνα, με βάση τη φωτοερμηνεία που προκύπτει από την οπτική σύγκριση των εικόνων συμπεραίνεται ότι οι κατηγορίες της βλάστησης έχουν ταξινομηθεί με επιτυχία.

### 4.3.2. Ομαδοποίηση κατηγοριών και αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Όπως και στα προηγούμενα ζεύγη, για καλύτερη απόδοση των ποιοτικών αποτελεσμάτων γίνεται ομαδοποίηση παρόμοιων περιοχών εκπαίδευσης (Πίνακας 4.23).

#### 4.3.2.α. Ποσοτική αξιολόγηση

##### ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΟΣΟΣΤΩΝ

Σύμφωνα με τον νέο Πίνακα Σύγχυσης των ομαδοποιημένων περιοχών εκπαίδευσης (Πίνακας 4.25), παρατηρούμε ότι αρκετά Pixels της κατηγορίας από Βλάστηση σε Βλάστηση ( #1.N.VEGE TO VEGE) , έχουν ταξινομηθεί στην κατηγορία μεταβολής SOIL TO VEGE , ενώ αρκετά Pixels της κατηγορίας SOIL TO SOIL έχουν ανιχνευτεί ως κατηγορία μη μεταβολής N.VEGE TO VEGE. Οι νέοι μέσοι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης φαίνονται παρακάτω στον Πίνακα 4.23.

Υπάρχει μεγάλη αύξηση των δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης όσον αφορά στα ποσοστά χρήστη και παραγωγού. Αύξηση της τάξης του 11% και 10% αντίστοιχα. Όσον αφορά στο συνολικό ποσοτικό δείκτη αξιολόγησης της ακρίβειας της ταξινόμησης, αυξήθηκε κατά 3%.

Αναλυτικότερα, ο ποσοτικός δείκτης αξιολόγησης του ποσοστού ακρίβειας του Παραγωγού (PA%), που αντικατοπτρίζει την ευστοχία της ταξινόμησης, αυξήθηκε σε αρκετές κατηγορίες, με την μεγαλύτερη αύξηση να σημειώνει η κατηγορία μεταβολής SOIL TO SOIL (41%). Μηδενική αύξηση, σημειώθηκε στις κατηγορίες που δεν ομαδοποιήθηκαν με κάποια άλλη. Στις κατηγορίες μεταβολών SOIL TO SOIL και VEGE TO VEGE, εμφανίζεται πτώση του ποσοτικού δείκτη αξιολόγησης της ακρίβειας του παραγωγού, γεγονός που σημαίνει ότι η ομαδοποίηση δεν ευνόησε την ταξινόμηση των δύο αυτών κατηγοριών (Πίνακας 4.26).

Εξετάστηκε και η συμπεριφορά του ποσοτικού δείκτη αξιολόγησης της ταξινόμησης όσον αφορά στην αξιοπιστία της (UA%) μετά την ομαδοποίηση. Τη μεγαλύτερη αύξηση αυτού του δείκτη αξιολόγησης, εμφανίζει η κατηγορία μεταβολής SOIL TO BLD με 68%. Αρκετές μειώσεις σημείωσαν οι κατηγορίες SOIL TO VEGE και VEGE TO VEGE, με την τελευταία να σημειώνει μείωση της τάξης του 40% (Πίνακας 4.27).

Πίνακας 4.23 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ομαδοποιημένων κατηγοριών

Accuracy Metrics	
Overall	87.41%
Producer	63%
User	61%

Πίνακας 4.24 Ομαδοποίηση κατηγοριών ζεύγους 2010-2015. Ομαδοποίηση κατηγοριών ζεύγους 2010-2015.

	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΚΩΔΙΚΟ ΟΝΟΜΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ					
ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	Από βλάστηση σε βλάστηση	N. VEGE TO VEGE	<b>NDV</b> <b>NSV</b>					
	Από κτίριο σε κτίριο	N. BLD TO BLD	<b>NBK</b> <b>NBG</b> <b>NBW</b> <b>NBR</b> <b>NWW</b> <b>NWK</b>					
			Από πισίνα σε πισίνα	N. POOL	<b>NP</b>			
			Από άσφαλτο σε άσφαλτο	N. ASPHALTOS	<b>NA</b>			
			Από έδαφος σε έδαφος	N. SOIL TO SOIL	<b>NDS</b> <b>NLS</b> <b>NMRS</b>			
					Από κτίριο σε κτίριο	BLD TO BLD	<b>BGK</b> <b>BWK</b> <b>BRW</b> <b>NWG</b> <b>AWW</b> <b>AWK</b>	
	Από έδαφος σε κτίριο	SOIL TO BLD					<b>DSBW</b> <b>DSBK</b> <b>DSBG</b> <b>LSBK</b> <b>LSBW</b>	
Από βλάστηση σε κτίριο			VEGE TO BLD	<b>DVBW</b> <b>DVBG</b> <b>DVBK</b> <b>SVBK</b>				
				Από ανοιχτόχρωμη άσφαλτο σε πισίνα			WHITEASFALTOY_PISINA	<b>WAP</b>
				Από έδαφος σε πισίνα			SOIL TO POOL	<b>DSP</b> <b>LSP</b>
Από έδαφος σε βλάστηση	SOIL TO VEGE	<b>LSSV</b> <b>LSDV</b> <b>DSSV</b> <b>DSDV</b>						
		Από βλάστηση σε βλάστηση	VEGE TO VEGE	<b>DVSV</b> <b>SVDV</b>				
				Από έδαφος σε έδαφος	SOIL TO SOIL	<b>LSDS</b> <b>DSL</b>		
		Από βλάστηση σε βλάστηση	VEGE TO SOIL			<b>DVLS</b>		
Από κτίριο σε βλάστηση	BLD TO VEGE	<b>WBDV</b>						



Πίνακας 4.25 Πίνακας Σύγκρισης Ομαδοποιημένων κατηγοριών ζεύγους 2010-2015.

ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	sum	PA%
1.VEGE TO VEGE	684	13	0	0	37	0	0	0	0	0	264	12	0	1	0	1011	68%
2.BLD TO BLD	8	6795	0	58	70	38	7	1	0	0	21	0	11	0	0	7009	97%
3.POOL	1	1	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	96%
4.ASPHALTOS	0	88	0	186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	274	68%
5.SOIL TO SOIL	128	70	0	0	480	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	684	70%
6.BLD TO BLD	1	36	0	0	3	319	2	3	0	0	0	0	0	0	0	364	88%
7.SOIL TO BLD	2	10	0	1	7	0	121	257	0	0	1	0	57	2	3	461	26%
8.VEGE TO BLD	0	0	0	0	2	0	0	48	0	0	0	0	7	0	0	57	84%
9.WHITEASFALTOY_PISINA	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	6	33%
10.SOIL TO POOL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10	100%
11.SOIL TO VEGE	4	1	0	0	7	0	0	0	0	0	151	0	0	0	0	163	93%
12.VEGE TO VEGE	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	13	15%
13.SOIL TO SOIL	0	4	0	0	2	0	0	1	0	0	3	0	76	1	0	87	87%
14.VEGE TO SOIL	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	14	0%
15.BLD TO VEGE	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	17%
sum	841	7018	50	245	608	362	130	310	2	14	452	14	157	4	4	10211	N
UA%	81%	97%	100%	76%	79%	88%	93%	15%	100%	71%	33%	14%	48%	0%	25%	87.41%	OVERALL

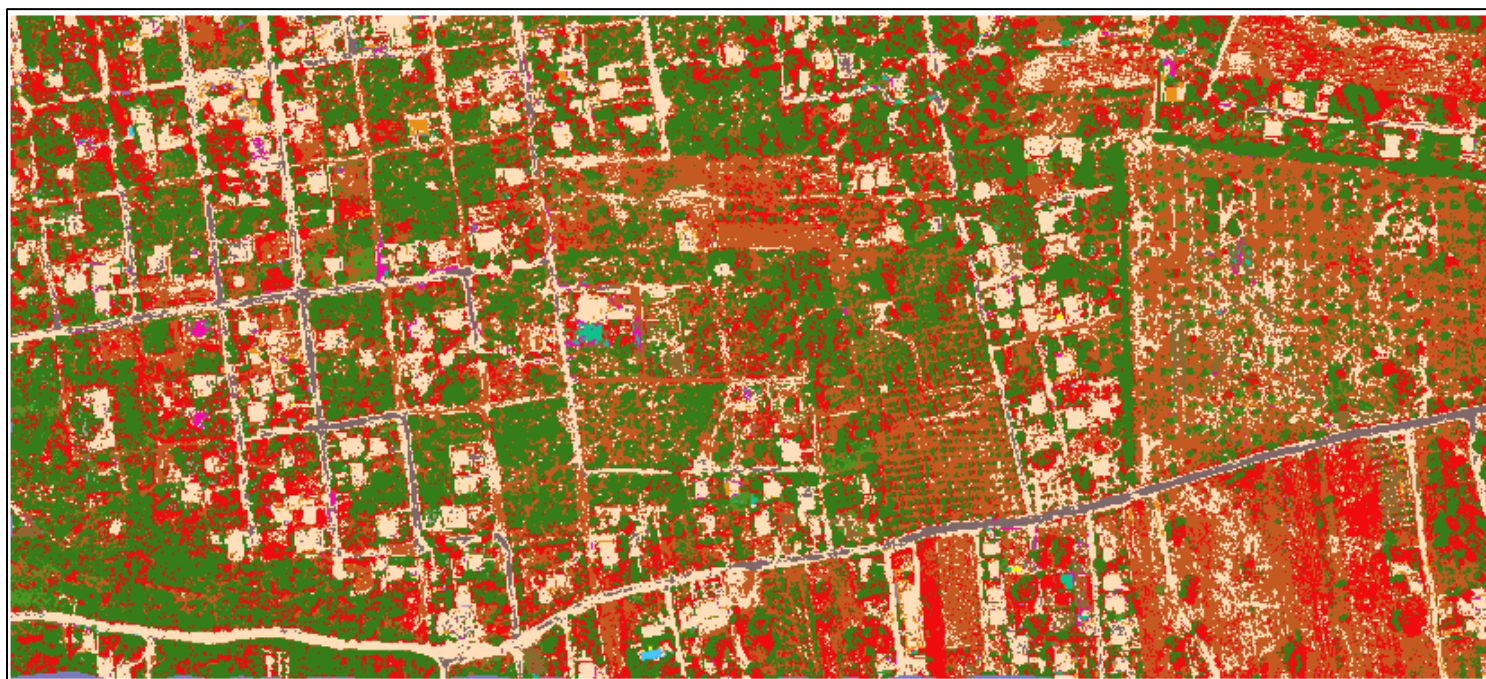
Πίνακας 4.26 Πίνακας ποσοστών ακρίβειας Παραγωγού ομαδοποιημένων κατηγοριών

KATHΓΟΡΙΕΣ	PA % before	PA% after	Difference
N. VEGE TO VEGE	58%	68%	10%
N. BLD TO BLD	64%	97%	33%
N. POOL	96%	96%	0%
N. ASFALTOS	68%	68%	0%
N. SOIL TO SOIL	74%	70%	-4%
BLD TO BLD	53%	88%	35%
SOIL TO BLD	7%	26%	19%
VEGE TO BLD	59%	84%	25%
WHITEASFALTOY_PISINA	33%	33%	0%
SOIL TO POOL	94%	100%	6%
SOIL TO VEGE	72%	93%	21%
VEGE TO VEGE	22%	15%	-7%
SOIL TO SOIL	46%	87%	41%
VEGE TO SOIL	0%	0%	0%
BLD TO VEGE	17%	17%	0%

Πίνακας 4.27 Πίνακας ποσοστών αξιοπιστίας Χρήστη ομαδοποιημένων κατηγοριών.

KATHΓΟΡΙΕΣ	UA % before	UA% after	Difference
N. VEGE TO VEGE	68%	81%	13%
N. BLD TO BLD	71%	97%	26%
N. POOL	100%	100%	0%
N. ASFALTOS	76%	76%	0%
N. SOIL TO SOIL	76%	79%	3%
BLD TO BLD	55%	88%	33%
SOIL TO BLD	25%	93%	68%
VEGE TO BLD	25%	16%	-10%
WHITEASFALTOY_PISINA	100%	100%	0%
SOIL TO POOL	65%	71%	6%
SOIL TO VEGE	40%	33%	-7%
VEGE TO VEGE	54%	14%	-40%
SOIL TO SOIL	24%	48%	24%
VEGE TO SOIL	0%	0%	0%
BLD TO VEGE	25%	25%	0%

Για μία καλύτερη εικόνα του αποτελέσματος της ομαδοποίησης, παρακάτω εμφανίζεται η εικόνα ομαδοποιημένων κατηγοριών (Εικόνα 4.8) ενώ στη συνέχεια αναλύονται κάποια κομμάτια αυτής.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ		
ZEYΓΟΣ 2010-2015 (ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ)	BLD TO BLD	VEGE TO BLD
VEGE TO VEGE	BLD TO BLD	WHITEASFALTOY_PISINA
VEGE TO VEGE	BLD TO BLD	SOIL TO POOL
BLD TO BLD	BLD TO BLD	SOIL TO POOL
BLD TO BLD	BLD TO BLD	SOIL TO VEGE
BLD TO BLD	BLD TO BLD	SOIL TO VEGE
PISINA	SOIL TO BLD	SOIL TO VEGE
BLD TO BLD	SOIL TO BLD	VEGE TO VEGE
BLD TO BLD	SOIL TO BLD	VEGE TO VEGE
ASFALTOS	SOIL TO BLD	SOIL TO SOIL
BLD TO BLD	SOIL TO BLD	SOIL TO SOIL
SOIL TO SOIL	VEGE TO BLD	VEGE TO SOIL
SOIL TO SOIL	VEGE TO BLD	BLD TO VEGE
SOIL TO SOIL	VEGE TO BLD	

Εικόνα 4.7 Ταξινομημένη Εικόνα μετά την Ομαδοποίηση των κατηγοριών για το ζεύγος 2010-2015.

Στο κομμάτι αυτό των εικόνων, επικρατεί η κατηγορία μη-μεταβολής BLD TO BLD, που εμφανίζεται με μπεζ χρώμα εικονοστοιχείων στην ταξινομημένη εικόνα. Ο αλγόριθμος SVM έχει κατηγοριοποιήσει με επιτυχία ένα μεγάλο μέρος των κτιρίων που παραμένουν κτίρια από το 2010 έως το 2015.

Στο κομμάτι αυτό των εικόνων (Σχήμα 4.28), επικρατεί η κατηγορία μη μεταβολής BLD TO BLD, που εμφανίζεται με μπεζ χρώμα εικονοστοιχείων. Ο αλγόριθμος έχει ταξινομήσει ευστόχως, ένα μεγάλο μέρος των κτιρίων που παραμένουν κτίρια από το 2010 έως το 2015.



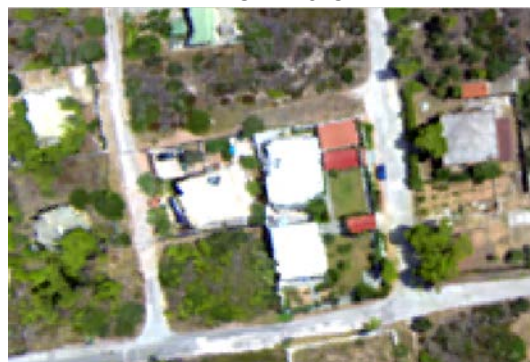
Σχήμα 4.28 Γενική εικόνα κατηγοριών μη μεταβολών κτιρίων (BLD TO BLD) με μπεζ χρώμα.

Παρακάτω, γίνεται μεγένθυση τμήματος της περιοχής μελέτης, ώστε να γίνουν πιο εμφανείς ορισμένες λανθασμένες ανίχνευσης κατηγοριών μεταβολών. Στο Σχήμα 4.29, παρουσιάζεται η κατηγορία της ασφάλτου, η οποία ταξινομήθηκε ως κατηγορία μη-μεταβολής από κτίριο σε κτίριο με μπεζ χρώμα. Στο Σχήμα 4.30, εντοπίζεται η κατηγορία μεταβολής από έδαφος σε ασφαλτο που ανιχνεύεται ως κατηγορία μεταβολής από έδαφος σε κτίριο.

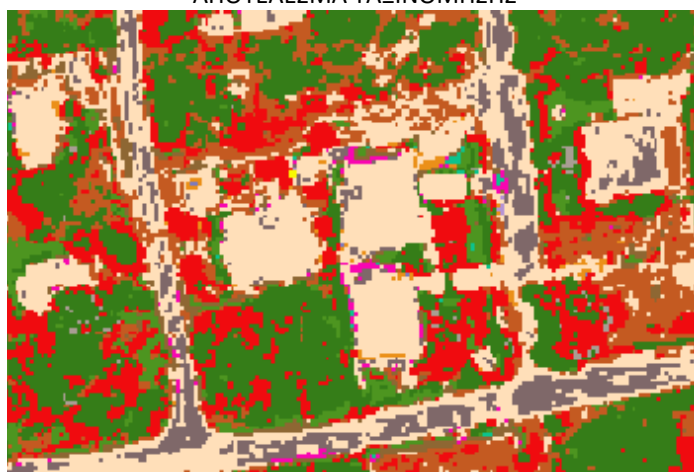
ΕΙΚΟΝΑ 2010



ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ



Σχήμα 4.29 Παράδειγμα λανθασμένης ταξινόμησης εξωτερικών σημείων της ασφάλτου σε μη αλλαγή από κτίριο σε κτίριο

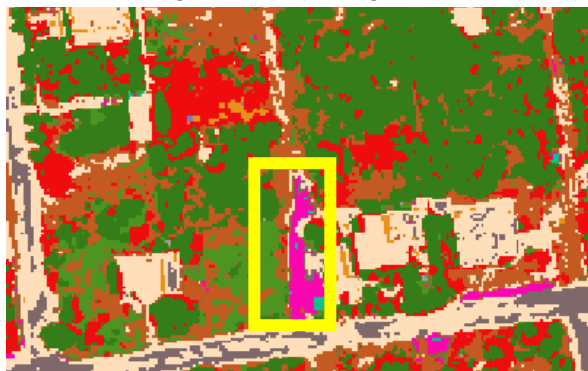
ΕΙΚΟΝΑ 2010



ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ



Σχήμα 4.30 Παράδειγμα λανθασμένης ταξινόμησης ομαδοποιημένης κατηγορίας SOIL TO BLD

#### 4.4. Μεταβολές Μεταξύ 2011 (Δορυφορική) Και 2015 (Ορθοεικόνα)

Σε αυτό το ζεύγος, οι απαιτήσεις για καλύτερα ποσοτικά και ποιοτικά αποτελέσματα, είναι μεγαλύτερες, καθώς η δορυφορική εικόνα Worldview-2, αποτελείται από 8 κανάλια στο ορατό φάσμα, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα περισσότερης διαθέσιμης φασματικής πληροφορίας. Τα πειράματα που ακολουθήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 4.28.

Πίνακας 4.28 Πειράματα και μέσοι όροι αποτελεσμάτων ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης για το ζεύγος 2011-2015. Με πράσινη λωρίδα σημειώνεται το πείραμα που αναλύεται αργότερα ποιοτικά και ποσοτικά.

ΖΕΥΓΟΣ	ΠΕΙΡΑΜΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΞΥ Training-Testing Set (%)	AVERAGE PRODUCER'S ACCURACY (PA%)	AVERAGE USER'S ACCURACY (RELIABILITY) (UA%)
2011-2015	11 bands (no extra band)	29	50%-50%	74%	76%
			60%-40%	74%	75%
			70%-30%	76%	79%
			80%-20%	76%	78%
	13 bands (with R/B and NDVI)		50%-50%	75%	76%
			60%-40%	74%	75%
		70%-30%	79%	76%	
		80%-20%	76%	78%	

Οι κατηγορίες μεταβολών στο Δεδομένο Αναφοράς, είναι σαφώς μειωμένες καθώς οι μεταβολές που σημειώθηκαν και ήταν εμφανείς από το 2011 μέχρι το 2015, ήταν αναλογικά μειωμένες σε σχέση με τα άλλα ζεύγη. Τους υψηλότερους ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης κατέχει το πείραμα με τους δύο δείκτες, το λόγο R/B και το δείκτη βλάστησης NDVI, που προστέθηκαν στα συνολικά 11 κανάλια των δύο εικόνων 2011 (8 κανάλια) και 2015 (3 κανάλια). αντίστοιχα. Παρακάτω, θα αναλυθούν οι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης τη ταξινόμησης σε όλες κατηγοριών και για τα δύο πειράματα των διαφορετικών καναλιών.

##### 4.4.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων για όλες τις κατηγορίες

###### 4.4.1.α. Ποσοτική αξιολόγηση

###### ΠΕΙΡΑΜΑ 11 ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Συμπερασματικά, από τον Πίνακα 4.29, οι κατηγορίες NP, BGK, LSBW, LSP, MRSWB, φτάνουν το 100% σχεδόν σε όλες τις αναλογίες μεταξύ training-testing sets. Αντίθετα, τρεις είναι οι κατηγορίες που έχουν μηδενικούς ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης. Αυτές είναι οι LSBK, DVBG και η DSP. Στην τελευταία κατηγορία, παρατηρείται μια ανισορροπία στους ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης, καθώς σε όλα τα πειράματα των διαφορετικών αναλογιών μεταξύ των training-testing sets, σημειώνουν μηδενικά ποσοστά, ενώ στην αναλογία training-testing set 70%-30% φτάνει το 100% στο δείκτη αξιολόγησης ποσοστού του χρήστη και το 50% στο δείκτη αξιολόγησης ποσοστού του παραγωγού. Η συνολική ακρίβεια (Overall Accuracy), κυμαίνεται στο 93%. Σε σχέση με τα προηγούμενα ζεύγη, στο ζεύγος 2011-2015 σημειώνονται υψηλότεροι δείκτες αξιολόγησης.

###### ΠΕΙΡΑΜΑ 13 ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Τα ποσοτικά αποτελέσματα και σε αυτό το πείραμα είναι περίπου ίδια με το πρώτο, με τις ίδιες κατηγορίες να σημειώνουν υψηλούς και χαμηλούς ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης. Επίσης, και σε αυτή την περίπτωση, η συνολική ακρίβεια (Overall Accuracy), κυμαίνεται πάλι στο 93% (Πίνακας 4.30).

Στη συνέχεια, παρατίθενται και κατόπιν αναλύεται ο Πίνακας Σύγχυσης (Confusion Matrix), για το πείραμα των 13 καναλιών στην αναλογία μεταξύ Training-Testing Set 70%-30% (Εικόνα 4.9).

Πίνακας 4.29 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2011-2015 (11 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών.

ΖΕΥΓΟΣ WORLDVIEW-2 2011-ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2015/ΠΕΙΡΑΜΑ 11 ΚΑΝΑΛΙΩΝ	TRAINING-TESTING SETS (%)							
	50%-50%		60%-40%		70%-30%		80%-20%	
	ACCURACY METRICS							
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	UA %	PA %	UA%	PA%	UA%	PA%	UA%	PA%
NDV	87%	89%	90%	87%	89%	96%	87%	93%
NSV	85%	92%	84%	94%	85%	92%	86%	93%
NBK	98%	97%	98%	97%	98%	97%	98%	96%
NBG	94%	84%	92%	86%	91%	86%	90%	90%
NBW	98%	98%	98%	98%	98%	98%	97%	98%
NP	100%	97%	100%	93%	100%	100%	100%	93%
NA	86%	96%	86%	94%	87%	93%	90%	92%
NBR	82%	84%	82%	86%	86%	84%	80%	86%
NDS	68%	96%	77%	95%	69%	81%	74%	95%
NLS	77%	88%	76%	79%	78%	85%	77%	83%
NMRS	97%	94%	97%	93%	97%	90%	97%	96%
BGK	97%	61%	100%	64%	96%	68%	100%	64%
BWK	73%	68%	71%	57%	70%	60%	76%	54%
BWG	95%	79%	92%	82%	98%	85%	96%	84%
LSBK	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
LSBW	73%	100%	86%	100%	100%	100%	100%	100%
DVBLW	94%	94%	93%	93%	94%	93%	92%	96%
DVBG	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
DVBK	72%	64%	77%	74%	84%	80%	89%	62%
DSP	0%	0%	0%	0%	100%	50%	0%	0%
LSP	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
LSSV	86%	39%	67%	49%	62%	57%	87%	68%
LSDV	83%	79%	71%	75%	64%	75%	78%	88%
DSSV	66%	79%	68%	83%	71%	71%	67%	83%
DSDV	70%	74%	69%	71%	74%	68%	74%	70%
DSLS	68%	93%	68%	93%	65%	96%	69%	100%
DVLS	65%	53%	61%	50%	67%	58%	60%	51%
WBDV	89%	73%	60%	67%	67%	57%	100%	100%
SMRBW	100%	89%	100%	86%	100%	75%	100%	82%
Overall Accuracy: OA	93%		92%		93%		93%	

Πίνακας 4.30 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2011-2015 (13 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών

ΖΕΥΓΟΣ WORLDVIEW-2 2011-ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2015/ΠΕΙΡΑΜΑ 13 ΚΑΝΑΛΙΩΝ	TRAINING-TESTING SETS (%)							
	50%-50%		60%-40%		70%-30%		80%-20%	
	ACCURACY METRICS							
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	UA %	PA %	UA%	PA%	UA%	PA%	UA%	PA%
NDV	88%	89%	90%	87%	89%	96%	87%	93%
NSV	85%	93%	84%	94%	85%	92%	86%	93%
NBK	98%	97%	98%	97%	98%	98%	98%	96%
NBG	94%	84%	92%	86%	91%	86%	90%	90%
NBW	98%	98%	98%	98%	98%	98%	97%	98%
NP	100%	97%	100%	93%	100%	100%	100%	93%
NA	86%	96%	86%	94%	87%	93%	90%	92%
NBR	83%	86%	82%	88%	86%	83%	81%	87%
NDS	68%	96%	77%	95%	68%	81%	74%	95%
NLS	77%	88%	76%	80%	78%	85%	77%	83%
NMRS	97%	94%	98%	93%	97%	91%	96%	96%
BGK	97%	61%	100%	64%	96%	68%	100%	64%
BWK	73%	69%	71%	57%	71%	63%	76%	54%
BWG	95%	79%	92%	81%	99%	85%	96%	84%
LSBK	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
LSBW	73%	100%	86%	100%	100%	100%	100%	100%
DVBLW	94%	94%	93%	93%	94%	93%	93%	96%
DVBG	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
DVBK	72%	64%	77%	74%	84%	80%	89%	62%
DSP	0%	0%	0%	0%	100%	50%	0%	0%
LSP	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
LSSV	86%	39%	69%	49%	62%	57%	87%	68%
LSDV	79%	79%	71%	75%	64%	75%	78%	88%
DSSV	68%	79%	68%	83%	71%	71%	67%	83%
DSDV	70%	74%	69%	71%	74%	68%	74%	70%
DSL	68%	93%	68%	93%	66%	96%	69%	100%
DVLS	64%	53%	61%	50%	67%	58%	59%	51%
WBDV	89%	73%	60%	67%	67%	57%	100%	100%
SMRBW	100%	89%	100%	86%	100%	75%	100%	82%
Overall Accuracy: OA	93%		92%		93%		93%	

70%-30% ΖΕΥΓΟΣ 2011-2015		1	2	3	4	5	8	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	sum	PA
1	NDV	85	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	96%
2	NSV	11	234	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	3	0	0	0	0	253	92%
3	NBK	0	0	2285	0	4	25	0	0	1	9	3	0	4	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	1	5	2	0	0	2343	98%
4	NBG	0	2	2	561	3	0	0	81	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	655	86%
5	NBW	0	0	0	0	1057	0	0	9	0	2	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1074	98%
8	NBR	0	0	29	2	0	164	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	197	83%
6	NP	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	100%
7	NA	0	0	0	48	3	0	0	709	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	763	93%
9	NDS	0	2	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	31	81%
10	NLS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	14	0	0	115	85%
11	NMRS	0	0	6	0	0	0	0	0	2	0	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	112	91%
12	BGK	0	1	1	2	0	1	0	0	0	1	0	23	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	34	68%
13	BWK	0	0	2	1	3	0	0	5	0	2	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	63%
14	BWG	0	0	0	0	5	0	0	9	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94	85%
15	LSBK	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0%
16	LSBW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	100%
17	DVBLW	0	3	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	233	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	250	93%
18	DVBG	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0%
19	DVBK	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	1	0	0	20	80%
20	DSP	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	50%
21	LSP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100%
22	LSSV	0	2	1	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	4	0	0	0	0	28	57%
23	LSDV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	12	75%
24	DSSV	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	17	71%
25	DSDV	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	34	0	0	0	0	50	68%	
26	DSLS	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	46	96%
27	DVLS	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	46	0	0	80	58%
28	WBDV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	7	57%	
29	SMRBW	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	16	75%
	sum	96	275	2330	616	1076	190	21	816	37	126	105	24	31	81	0	5	249	0	19	1	2	26	14	17	46	67	69	6	12	OA	
	UA	89%	85%	98%	91%	98%	86%	100%	87%	68%	78%	97%	96%	71%	99%	0%	100%	94%	0%	84%	100%	100%	62%	64%	71%	74%	66%	67%	67%	100%		93%

Εικόνα 4.8 Πίνακας Σύγκρισης ζεύγους 2011-2015 με αναλογία μεταξύ training-testing set 70%-30%.



Από τον Πίνακα Σύγχυσης (Εικόνα 4.9), παρατηρούμε μέσω της διαγωνίου, ότι αρκετά pixels κατηγοριών έχουν ταξινομηθεί σωστά. Στην κατηγορία NBG, 81 Pixels από τα 655 έχουν ταξινομηθεί στην κατηγορία NA, ενώ 48 pixels της κατηγορίας NA έχουν κατηγοριοποιηθεί ως NBG. Είναι φανερό, λόγω του παρόμοιου χρώματος, ο αλγόριθμος να “μπερδεύεται” στις δύο αυτές κατηγορίες. Όλες οι κατηγορίες δίνουν σχετικά υψηλούς δείκτες αξιολόγησης και οι μέσοι όροι των δεικτών όσον αφορά στα ποσοστά ακριβείας και αξιοπιστίας είναι οι εξής :

Πίνακας 4.31 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ταξινόμησης όλων των κατηγοριών

Accuracy Metrics	
Overall	93%
Producer	76%
User	79%

Το Overall Accuracy μετρήθηκε από τη διαίρεση του συνόλου της διαγωνίου του παραπάνω πίνακα διά του συνόλου της στήλης SUM. Οι μέσοι όροι των ποσοστών PA και UA, μετρήθηκαν από το σύνολο των PA% και UA% για κάθε κατηγορία αντίστοιχα, διά το πλήθος των κατηγοριών (29). Τα ποσοστά, είναι τα υψηλότερα που έχουν βρεθεί από όλα τα συγκρίσιμα ζεύγη. Αυτό οφείλεται στη διαθεσιμότητα των 8 καναλιών της πολυφασματικής δορυφορικής εικόνας (Worldview -2), που δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης δεικτών καθιστώντας διαθέσιμη περισσότερη φασματική πληροφορία.

Στη συνέχεια, γίνεται οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων ταξινόμησης και σε αυτό το ζεύγος.

#### 4.4.1.β. Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων όλων των κατηγοριών

Οι εικόνες του ζεύγους 2011-2015 φαίνονται σε έγχρωμο σύνθετο στο Σχήμα 4.31. Στο Σχήμα 4.32., παρουσιάζεται η εικόνα μετά την υλοποίηση της ταξινόμησης, με οπτικοποιημένες όλες τις κατηγορίες αλλά και η εικόνα με εντοπισμένες τις μεταβολές.

α) ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ 2011



β) ΟΡΘΟΕΙΚΟΝΑ 2015



Σχήμα 4.31 α) Δορυφορική Εικόνα (Worldview-2) 2011 και β) Ορθοεικόνα 2015 σε έγχρωμο σύνθετο..

α) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΖΕΥΓΑΡΙ 2011-2015



β) ΕΝΤΟΠΙΣΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΖΕΥΓΑΡΙ 2011-2015



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΖΕΥΓΟΣ 2011-2015

- DENSE\_VEGE
- SPARSE\_VEGE
- BLD\_KERMOSKEP
- BLD\_GREY
- BLD\_WHITE
- PISINA
- ASPHALTOS
- BLD\_RED
- SOIL\_DARKCOLOR

- |  |   |
|--|---|
| <span style="color: yellow;">■</span> SOIL_LIGHTCOLOR              | <span style="color: cyan;">■</span> DARKSOIL_PISINA             |
| <span style="color: orange;">■</span> SOIL_MPEZ_RED                | <span style="color: gold;">■</span> LIGHTSOIL_PISINA            |
| <span style="color: darkred;">■</span> BLD_GRAY_KERAMOSKEPH        | <span style="color: yellowgreen;">■</span> LIGHTSOIL_SPARSEVEGE |
| <span style="color: magenta;">■</span> BLD_WHITE_KERAMOSKEPH       | <span style="color: brown;">■</span> LIGHTSOIL_DENSEVEGE        |
| <span style="color: red;">■</span> BLD_WHITE_GREY                  | <span style="color: purple;">■</span> DARKSOIL_SPARSEVEGE       |
| <span style="color: olive;">■</span> LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH      | <span style="color: tan;">■</span> DARKSOIL_DENSEVEGE           |
| <span style="color: darkolivegreen;">■</span> LIGHTSOIL_BLDWHITE   | <span style="color: darkgreen;">■</span> DARKSOIL_LIGHTSOIL     |
| <span style="color: pink;">■</span> DENSEVEGE_BLDWHITE             | <span style="color: green;">■</span> DENSEVEGE_LGHTSOIL         |
| <span style="color: lightgreen;">■</span> DENSEVEGE_BLDGREY        | <span style="color: darkred;">■</span> WHITEBLD_DENSEVEGE       |
| <span style="color: darkpurple;">■</span> DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH | <span style="color: brown;">■</span> MPEZREDSOIL_WHITBLD        |

Σχήμα 4.32 α) Η ταξινομημένη εικόνα που περιέχει όλες τις κατηγορίες ήτοι μεταβολές και μη μεταβολές για το ζευγάρι 2011-2015, β) Χάρτης με τις εντοπισμένες μεταβολές για το ζευγάρι 2011-2015 (με λευκό χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές χωρίς μεταβολές).

Πιο αναλυτικά, παρακάτω παρουσιάζονται οπτικά οι ταξινομήσεις των κατηγοριών. Η φωτοερμηνεία της ταξινομημένης εικόνας σε σύγκριση με τη φωτοερμηνεία των εικόνων 2011-2015, επιβεβαιώνει με την ευστοχία της τα υψηλά ποσοστά που σημείωσαν οι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης. Στο Σχήμα 4.33., παρουσιάζεται στο κυκλικό άσπρο πλαίσιο η κατηγορία MRS, όπου οπτικοποιήθηκε με πορτοκαλί χρώμα στην ταξινομημένη εικόνα.

Στη συνέχεια, για καλύτερα ποσοτικά και οπτικά αποτελέσματα γίνεται στα ποσοτικά και οπτικά αποτελέσματα της ταξινόμησης και σε αυτό το ζεύγος ομαδοποίηση περιοχών εκπαίδευσης.



Σχήμα 4.33 Εύστοχη ανίχνευση σταθερής κατηγορίας εδάφους μπεζ κόκκινου χρώματος.

Στο Σχήμα 4.34, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εύστοχης ταξινόμησης της κατηγορίας μεταβολής από πυκνή βλάστηση σε κτίριο με άσπρη ταράτσα. Στο Σχήμα 4.35, παρουσιάζονται οι κατηγορίες μη-μεταβολής κτιρίων με κεραμοσκεπή, κτιρίων με άσπρη ταράτσα, κτιρίων με γκρι ταράτσα. Οι κατηγορίες αυτές οπτικοποιούνται στην εικόνα ταξινόμησης με πορτοκαλί, άσπρο και γκρι χρώμα αντίστοιχα.

ΕΙΚΟΝΑ 2011



ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ



Σχήμα 4.34 Παράδειγμα εύστοχων ταξινομήσεων της κατηγορίας μεταβολής DVBW.

ΕΙΚΟΝΑ 2011



ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ



Σχήμα 4.35 Παράδειγμα εύστοχων ταξινομήσεων των κατηγοριών μη μεταβολής NBG, NBW, NBK.

#### 4.4.2. Ομαδοποίηση κατηγοριών και αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Οι επιμέρους κατηγορίες, ομαδοποιήθηκαν ως εξής :

Πίνακας 4.32 Ομαδοποιημένες κατηγορίες ζεύγους 2011-2015.

	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΚΩΔΙΚΟ ΟΝΟΜΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ
ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	Από βλάστηση σε βλάστηση	N. VEGE TO VEGE	<b>NDV</b>
			<b>NSV</b>
	Από κτίριο σε κτίριο	N. BLD TO BLD	<b>NBK</b>
			<b>NBG</b>
			<b>NBW</b>
			<b>NBR</b>
	Από πισίνα σε πισίνα	N. POOL	<b>NP</b>
	Από άσφαλτο σε άσφαλτο	N. ASPHALTOS	<b>NA</b>
	Από έδαφος σε έδαφος	N. SOIL TO SOIL	<b>NDS</b>
			<b>NLS</b>
<b>NMRS</b>			
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ	Από κτίριο σε κτίριο	BLD TO BLD	<b>BGK</b>
			<b>BWK</b>
			<b>BWG</b>
	Από έδαφος σε κτίριο	SOIL TO BLD	<b>LSBK</b>
			<b>LSBW</b>
			<b>DVBLW</b>
	Από βλάστηση σε κτίριο	VEGE TO BLD	<b>DVBG</b>
			<b>DVBK</b>
			<b>DSP</b>
	Από έδαφος σε πισίνα	SOIL TO POOL	<b>LSP</b>
			<b>LSSV</b>
	Από έδαφος σε βλάστηση	SOIL TO VEGE	<b>LSDV</b>
			<b>DSSV</b>
			<b>DSDV</b>
			<b>DSLS</b>
Από έδαφος σε έδαφος	SOIL TO SOIL	<b>DVLS</b>	
Από βλάστηση σε έδαφος	VEGE TO SOIL	<b>WBDV</b>	
Από κτίριο σε βλάστηση	BLD TO VEGE	<b>SMRBW</b>	

#### 4.4.2.α. Ποσοτική αξιολόγηση

Η σύνθεση του νέου Confusion Matrix φαίνεται ότι αυξάνει τα ποσοστά. Η Producer's Accuracy αυξήθηκε κατά 6%, η User's Accuracy κατά 10%, ενώ το Overall Accuracy σημείωσε αύξηση του 1%.

Πίνακας 4.33 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ομαδοποιημένων κατηγοριών

Accuracy Metrics	
Overall	94%
Producer	82%
User	86%

Παρακάτω, γίνεται η σύγκριση των προηγούμενων ποσοστών με τα νέα που δημιουργήθηκαν ανά κατηγορίες.

Πίνακας 4.34 Ποσοστά ακρίβειας παραγωγού (PA%) ομαδοποιημένων κατηγοριών

ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA% before	PA% after	difference
1.N. VEGE TO VEGE	94%	98%	4%
2.N. BLD TO BLD	91%	97%	6%
3.N. POOL	100%	100%	0%
4.N. ASPHALTOS	93%	93%	0%
5.N. SOIL TO SOIL	86%	88%	2%
6.BLD TO BLD	72%	77%	5%
7.SOIL TO BLD	58%	68%	10%
8.VEGE TO BLD	58%	92%	34%
9.SOIL TO POOL	75%	75%	0%
10.SOIL TO VEGE	68%	75%	7%
11.SOIL TO SOIL	96%	96%	0%
12.VEGE TO SOIL	58%	58%	0%
13.BLD TO VEGE	57%	57%	0%

Πίνακας 4.35 . Ποσοστά αξιοπιστίας Χρήστη (UA%) ομαδοποιημένων κατηγοριών.

ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	UA% before	UA% after	difference
1.N. VEGE TO VEGE	87%	90%	3%
2.N. BLD TO BLD	93%	98%	5%
3.N. POOL	100%	100%	0%
4.N. ASPHALTOS	87%	87%	0%
5.N. SOIL TO SOIL	81%	85%	4%
6.BLD TO BLD	89%	92%	3%
7.SOIL TO BLD	67%	100%	33%
8.VEGE TO BLD	59%	93%	34%
9.SOIL TO POOL	100%	100%	0%
10.SOIL TO VEGE	68%	78%	10%
11.SOIL TO SOIL	66%	66%	0%
12.VEGE TO SOIL	67%	67%	0%
13.BLD TO VEGE	67%	67%	0%

Μέσα από τους Πίνακες 4.35 και 4.36, είναι εμφανές ότι τη μεγαλύτερη αύξηση ποσοστού χρήστη και παραγωγού υπέστη η κατηγορία #8.VEGE TO BLD, ενώ τη μικρότερη η κατηγορία #5.N. SOIL TO SOIL. Οι κατηγορίες που παραμένουν στάσιμες είναι σαφώς αυτές που δε συνενώθηκαν με καμία άλλη, εκτός από την κατηγορία SOIL TO POOL που ενώ ομαδοποιήθηκαν οι κατηγορίες DARKSOIL\_PISINA και LIGHTSOIL\_PISINA, δεν υπέστη καμία αλλαγή.

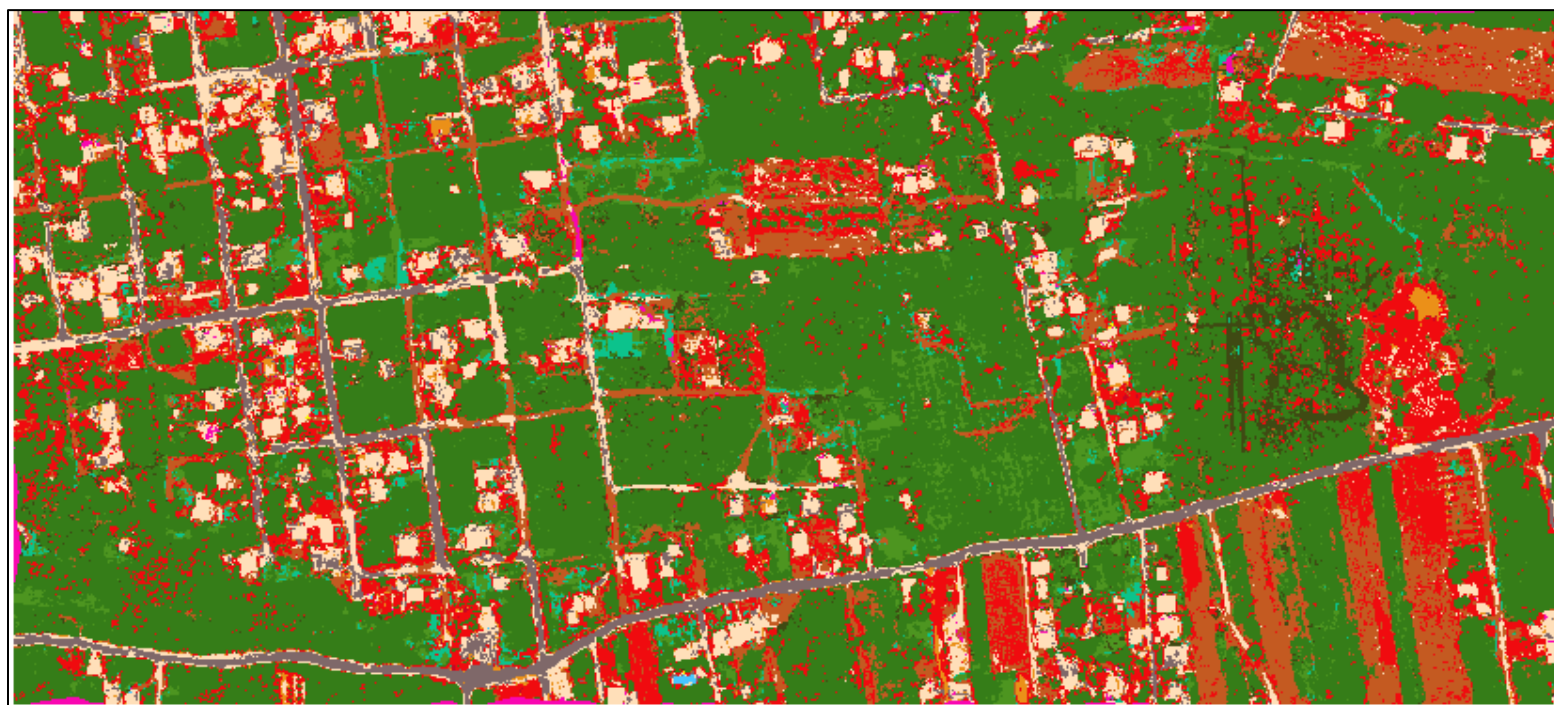
Παρακάτω, παρουσιάζεται ο νέος Confusion Matrix πίνακας (Πίνακας 4.33).

Πίνακας 4.36 Πίνακας Σύγκρισης ομαδοποιημένων κατηγοριών για το ζεύγος 2011-2015.

ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	SUM	PA%
1.N. VEGE TO VEGE	334	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	0	0	342	98%
2.N. BLD TO BLD	2	4132	0	90	22	9	0	2	0	3	5	2	2	4269	97%
3.N. POOL	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	100%
4.N. ASPHALTOS	0	51	0	709	2	1	0	0	0	0	0	0	0	763	93%
5.N. SOIL TO SOIL	2	6	0	0	227	0	0	0	0	9	0	14	0	258	88%
6.BLD TO BLD	1	15	0	14	3	125	0	1	0	3	0	1	0	163	77%
7.SOIL TO BLD	0	5	0	0	3	0	17	0	0	0	0	0	0	25	68%
8.VEGE TO BLD	6	2	0	3	1	0	0	249	0	0	5	6	0	272	92%
9.SOIL TO POOL	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4	75%
10.SOIL TO VEGE	18	1	0	0	8	0	0	0	0	80	0	0	0	107	75%
11.SOIL TO SOIL	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	46	96%
12.VEGE TO SOIL	5	0	0	0	1	0	0	15	0	0	13	46	0	80	58%
13.BLD TO VEGE	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	4	7	57%
SUM	371	4212	21	816	268	136	17	268	3	103	67	69	6	6357	82%
UA%	90%	98%	100%	87%	85%	92%	100%	93%	100%	78%	66%	67%	67%	86%	

#### 4.4.2.β. Ποιοτική αξιολόγηση

Παρακάτω παρουσιάζεται η ταξινομημένη εικόνα, οπτικοποιημένη με τις ομαδοποιημένες κατηγορίες για το ζεύγος 2011-2015 (Εικόνα 4.11).



ΖΕΥΓΟΣ 2011-2015 (ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ)		ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
■ VEGE TO VEGE	■ SOIL TO SOIL	■ SOIL TO SOIL	■ SOIL TO POOL
■ VEGE TO VEGE	■ SOIL TO SOIL	■ SOIL TO SOIL	■ SOIL TO POOL
■ BLD TO BLD	■ BLD TO BLD	■ BLD TO BLD	■ SOIL TO VEGE
■ BLD TO BLD	■ BLD TO BLD	■ BLD TO BLD	■ SOIL TO VEGE
■ BLD TO BLD	■ SOIL TO BLD	■ SOIL TO BLD	■ SOIL TO VEGE
■ PISINA	■ SOIL TO BLD	■ SOIL TO BLD	■ SOIL TO SOIL
■ ASPHALTOS	■ VEGE TO BLD	■ VEGE TO BLD	■ VEGE TO SOIL
■ BLD TO BLD	■ VEGE TO BLD	■ VEGE TO BLD	■ BLD TO VEGE
■ SOIL TO SOIL	■ VEGE TO BLD	■ SOIL TO BLD	■ SOIL TO BLD

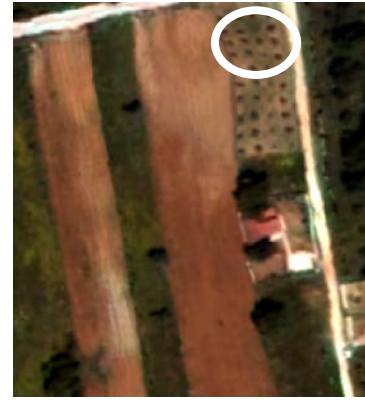
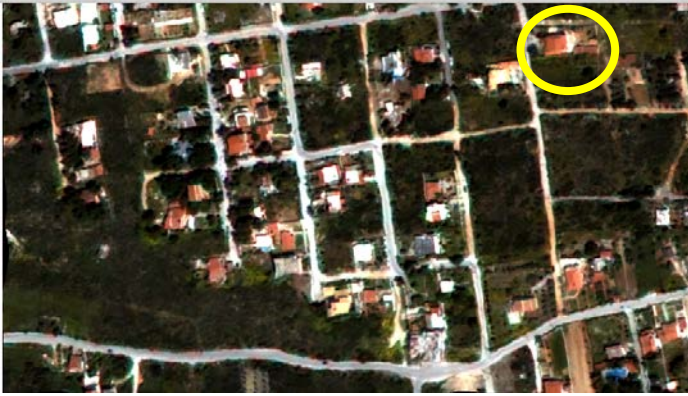
Εικόνα 4.9 Ταξινομημένη Εικόνα μετά την Ομαδοποίηση των κατηγοριών για το ζεύγος 2011-2015

Σε μια γενική ματιά, είναι εμφανές ότι τα κτίρια αλλά και η βλάστηση έχουν ταξινομηθεί οπτικά με ευστοχία. Στη συνέχεια θα αναλυθούν, οπτικά, ορισμένες κατηγορίες.

Στο αριστερό τμήμα του Σχήματος 4.36, με μπεζ χρώμα εικονοστοιχείων εμφανίζονται στην ταξινομημένη εικόνα τα κτίρια που δεν υπέστησαν καμία μεταβολή. Με πράσινο χρώμα οπτικοποιείται η μη-μεταβολή τμημάτων βλάστησης ενώ με γκρι χρώματα οπτικοποιείται η ανίχνευση τμημάτων της ασφάλτου όπως φαίνεται στην εικόνα μετά την ταξινόμηση. Στο κίτρινο κυκλικό πλαίσιο, εμφανίζεται η ομαδοποιημένη κατηγορία μεταβολής, από βλάστηση σε κτίριο (VEGE TO BLD), η οποία οπτικοποιείται στην ταξινομημένη με πράσινο ανοιχτό χρώμα. Στη δεξιά σειρά παραδειγμάτων (Σχήμα 4.36), φαίνονται στο κομμάτι των δύο περιοχών καλλιεργειών, η ομαδοποιημένη σταθερή κατηγορία και οι ομαδοποιημένες κατηγορίες μεταβολής N. SOIL TO SOIL με καφέ χρώμα και SOIL TO VEGE με κόκκινο. Με το άσπρο περίγραμμα, φωτοερμηνευτικά και με την ποιοτική αξιολόγηση, εντοπίζεται τμήμα λανθασμένη ταξινόμησης της ομαδοποιημένης κατηγορία μεταβολής VEGE TO BLD.



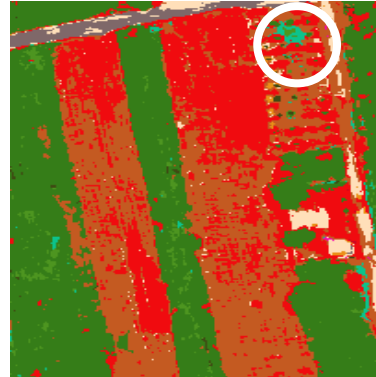
ΕΙΚΟΝΑ 2011



ΕΙΚΟΝΑ 2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ



Σχήμα 4.36 Παραδείγματα οπτικής αξιολόγησης ομαδοποιημένων κατηγοριών ζεύγους 2011-2015

## 5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των συνολικών ποιοτικών και ποσοτικών αποτελεσμάτων μέσα από τη σύγκριση των επιμέρους πειραμάτων με βασικό κριτήριο τις τιμές που κυμάνθηκαν οι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης αλλά και την ποιοτική αξιολόγηση τους, τόσο για τα πειράματα των κατηγοριών όσο και για τα πειράματα των ομαδοποιημένων κατηγοριών.

Σε γενικές γραμμές παρατηρείται ότι τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσαν τα ζεύγη όπου τα κανάλια ήταν περισσότερα, με την προφανή εξήγηση ότι η διαθέσιμη φασματική πληροφορία ήταν περισσότερη. Με τη προσθήκη επιπλέον καναλιών, είτε με δείκτη NDVI είτε με λόγους καναλιών, ο ταξινομητής ενισχύει τη διαχωριστική του ικανότητα επί των δεδομένων. Έτσι, γίνεται πιο εύκολος ο εντοπισμός της φασματικής συμπεριφοράς κάθε κατηγορίας στην αλλαγή.

### 5.1. Ποσοτικά Στοιχεία

Τα καλύτερα ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα εντοπισμού και αναγνώρισης κατηγοριών και μεταβολών αυτών, έδωσε το ζεύγος 2011-2015 (Worldview 2-Ορθοεικόνα), σημειώνοντας στους ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης της ταξινόμησης υψηλά ποσοστά μέσους όρους συνολικής, παραγωγού και χρήστη, ακριβειών *Overall 93%, Producer 76%, User 79%*. Με την ομαδοποίηση των κατηγοριών στα βέλτιστα αποτελέσματα της ταξινόμησης στο ζεύγος αυτό, οι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης σημείωσαν μέσο όρο ακριβειών *Overall 94%, Producer 82%, User 86%*. Τα αμέσως επόμενα καλύτερα αποτελέσματα με τα ίδια περίπου ποσοστά στους ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης, σημειώνουν τα δύο ζεύγη 2006-2015 και 2009-2015, με τις εικόνες Quickbird και την Ορθοεικόνα και τέλος το ζεύγος των δύο εικόνων κτηματολογίου και ορθοεικόνας, 2010-2015. Μετά την ομαδοποίηση των κατηγοριών στα βέλτιστα αποτελέσματα της ταξινόμησης, οι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης στο ζεύγος 2006-2015 σημείωσαν μέσους όρους ποσοστών ακριβείας *Overall 90%, Producer 79%, User 81%*, ενώ στο ζεύγος 2009-2015 οι μέσοι όροι ποσοστών ακριβειών είναι οι εξής: *Overall 92%, Producer 80%, User 80%*. Το τελευταίο ζεύγος, όσον αφορά στους χαμηλούς ποσοστικούς δείκτες αξιολόγησης, 2010-2015 σημείωσε μέσους όρους ποσοστών τους εξής: *Overall 87%, Producer 63%, User 61%*. Η σειρά αυτή των ζευγών, βασίζεται στη ποσοτική αξιολόγηση με βάσει τους δείκτες ακριβείας, είναι λογική, καθώς στηρίζεται στο αρχικό σχόλιο, όπου την περισσότερη φασματική πληροφορία δίνουν οι εικόνες με τα περισσότερα κανάλια.

Οι κατηγορίες που έφεραν τα μεγαλύτερα ποσοστά Ακριβείας Παραγωγού (PA%), στα περισσότερα ζεύγη σημειώθηκαν στις κατηγορίες μή μεταβολών: NDV, NP, NBK, NBW. ενώ στις κατηγορίες μεταβολών υπάρχουν αρκετές εναλλαγές κατηγοριών που σημείωσαν υψηλούς ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης στα τέσσερα (4) ζεύγη. Με την ομαδοποίηση, οι κατηγορίες που σημείωσαν μεγάλα ποσοστά Ακριβείας Παραγωγού (PA%), είναι στις σταθερές κατηγορίες: N. BLD TO BLD, N. POOL και πιο συγκεκριμένα στα ζεύγη 2009-2015 και 2011-2015 η κατηγορία N. VEGE TO VEGE. Είναι πιο εύκολο στον αλγόριθμο ταξινόμησης να εκπαιδευτεί στη σταθερή φασματική συμπεριφορά μιας κατηγορίας παρά στην αλλαγή της φασματικής συμπεριφοράς κατηγοριών αλλαγών.

Παρακάτω, παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.1., οι κατηγορίες για όλα τα ζεύγη με τα υψηλότερα ποσοστά του δείκτη ακριβείας παραγωγού (PA%). Αντίθετα, οι κατηγορίες με μηδενικούς και κοντά στο μηδέν, ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης που αφορούν τα ποσοστά Παραγωγού παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.1-5.4.. Στο ζεύγος 2006-2015 (Πίνακας 5.1), οι κατηγορίες DVBW και DVBK, που αρχικά είχαν 0%, ενώθηκαν με την κατηγορία SVBK, με αποτέλεσμα να αυξηθεί το ποσοστό κατά 58%.

2006-2015			
ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA %	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA %
NBW	98%	N.BLD TO BLD	95%
NBK	97%	N. POOL	95%
NP	95%	BLD TO VEGE	100%
NDV	94%	SOIL TO ASPHALTOS	100%
BGW	100%	SOIL TO BLD	92%
DSBW	95%	BLD TO ASPHALTOS	91%
SVBK	93%	VEGE TO BLD	91%
LSA	100%		
LSBW	100%		
WBDV	100%		
2009-2015			
ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA%	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA%
NP	100%	N.POOL	100%
BGW	100%	N.BLD TO BLD	96%
WAP	100%	N. VEGE TO VEGE	94%
LSP	100%	VEGE TO BLD	91%
BKA	100%		
2010-2015			
ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA %	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA %
NBG	92%	N.BLD TO BLD	97%
NBW	96%	N.POOL	96%
NP	96%	SOIL TO SOIL	100%
BWG	96%	SOIL TO VEGE	93%
DVBW	100%		
SVBK	100%		
DSP	100%		
2011-2015			
ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA %	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA %
NDV	96%	N.Vege TO VEGE	98%
NSV	92%	N.BLD TO BLD	97%
NBK	98%	N.POOL	100%
NP	100%	SOIL TO SOIL	96%
NAS	93%	VEGE TO BLD	92%
LSBW	100%		
LSP	100%		
DSLS	96%		

Σχήμα 5.1 Κατηγορίες με μεγαλύτερα ποσοστά ακριβείας Παραγωγού σε όλα τα ζεύγη. Με πράσινο υπογραμμίζονται τα ποσοστά 100%.

Η κατηγορία SVP, δεν ενώθηκε με καμία άλλη, δίνοντας έτσι πάλι 0% (VEGE TO POOL).

Πίνακας 5.1 Με κόκκινο υπογραμμίζονται τα χαμηλά Ποσοστά Ακριβείας Παραγωγού για αναλυτικές και ομαδοποιημένες κατηγορίες για το ζεύγος 2006-2015.

2006-2015			
ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA %	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA %
DVBW	0%	VEGE TO POOL	0%
DVBK	0%		
SVP	0%		

Στο ζεύγος 2009-2011, η κατηγορία NWW που αρχικά είχε 0% ποσοστό, ενώθηκε στη σταθερή κατηγορία BLD TO BLD, η οποία έφτασε στο 96%. Η κατηγορία LSBK, έγινε μέρος της ομαδοποιημένης κατηγορίας SOIL TO BLD φτάνοντας το ποσοστό 69%, ενώ η κατηγορία SVBW έγινε μέρος της ομαδοποιημένης κατηγορίας VEGE TO BLD, φτάνοντας το 91%. Η κατηγορία DSDV, έγινε μέρος της κατηγορίας SOIL TO VEGE με την ομαδοποίηση, έφτασε ποσοστό 61%. Τέλος, η κατηγορία DVLS, επειδή δεν ενώθηκε με καμία, παρέμεινε με ποσοστό 0%, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2 Με κόκκινο υπογραμμίζονται χαμηλά Ποσοστά Ακριβείας Παραγωγού για αναλυτικές και ομαδοποιημένες κατηγορίες για το ζεύγος 2009-2015.

2009-2015			
ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA%	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA%
NWW	4%	VEGE TO SOIL	0%
LSBK	0%		
SVBW	0%		
DSDV	0%		
DVLS	0%		

Στο ζεύγος 2010-2015 (Πίνακας 5.3), σημειώθηκαν οι χαμηλότεροι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης. Η σταθερή κατηγορία NWK που αρχικά είχε 0% ποσοστό, ενώθηκε στη σταθερή ομαδοποιημένη κατηγορία N.BLD TO BLD η οποία έφτασε στο 97%. Οι κατηγορίες μεταβολών BRW και AWW, έγιναν μέρος της ομαδοποιημένης κατηγορίας μεταβολής BLD TO BLD, φτάνοντας το ποσοστό 88%, ενώ οι κατηγορίες DSBG, LSBK και LSBW έγιναν μέρος της ομαδοποιημένης κατηγορίας SOIL TO BLD, φτάνοντας μόλις το 26%. Η κατηγορία DVBG, έγινε μέρος της κατηγορίας VEGE TO BLD με την ομαδοποίηση, έφτασε ποσοστό 84%. Επιπλέον, η κατηγορία DVSV, έγινε μέρος της κατηγορίας VEGE TO VEGE με την ομαδοποίηση, έφτασε ποσοστό 7%, ενώ η κατηγορία LSDS, μετά την ομαδοποίησης στην κατηγορία μεταβολής SOIL TO SOIL, σημείωσε το ποσοστό του 87%. Τέλος, η κατηγορία DVLS, επειδή δεν ενώθηκε με καμία, παρέμεινε με ποσοστό 0%, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.3 και όπως έγινε και στο ζεύγος 2009-2015 (Πίνακας 5.2).

Πίνακας 5.3 Με κόκκινο υπογραμμίζονται χαμηλά Ποσοστά Ακριβείας Παραγωγού για αναλυτικές και ομαδοποιημένες κατηγορίες για το ζεύγος 2010-2015.

2010-2015			
ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA %	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA %
NWK	0%	VEGE TO SOIL	0%
BRW	0%		
AWW	0%		
DSBG	0%		
LSBK	0%		
LSBW	0%		
DVBG	0%		
DVSV	10%		
LSDS	0%		
DVLS	0%		

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.4, το ζεύγος 2011-2015, είναι αυτό με τις λιγότερες κατηγορίες με μηδενικό ποσοτικό δείκτη ακριβείας, ενώ με την ομαδοποίηση δεν υπάρχει καμία κατηγορία που να σημειώνει μηδενικό ποσοτικό δείκτη αξιολόγησης της ακρίβειας της ταξινόμησης. Η κατηγορία LSBK ενσωματώθηκε στην κατηγορία μεταβολής SOIL TO BLD σημειώνοντας ποσοστό 68%, ενώ η κατηγορία DVBG, ομαδοποιήθηκε στην κατηγορία VEGE TO BLD, όπου και έφτασε το ποσοστό του 92%.

Πίνακας 5.4 Με κόκκινο υπογραμμίζονται χαμηλά Ποσοστά Ακριβείας Παραγωγού για αναλυτικές και ομαδοποιημένες κατηγορίες για το ζεύγος 2011-2015.

2011-2015			
ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA %	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	PA %
LSBK	0%	-	
DVBG	0%	-	

Στην Εικόνα 5.1., παρουσιάζεται μια συνολική εικόνα των κατηγοριών που έγινε η ταξινόμηση και οι ομαδοποιημένες κατηγορίες όλων των ζευγών αλλά και οι δείκτες αξιολόγησης ως μέσοι όροι των ποσοστών που αφορούν στην ακρίβεια και αξιοπιστία της ταξινόμησης.

		DATASETS								
		2006-2015		2009-2015		2010-2015		2011-2015		
		ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΛΕΣ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	
ΚΛΑΣΕΙΣ	DENSE_VEGE	VEGE TO VEGE	DENSE_VEGE	VEGE TO VEGE	DENSE_VEGE	VEGE TO VEGE	DENSE_VEGE	VEGE TO VEGE	VEGE TO VEGE	
	SPARSE_VEGE		SPARSE_VEGE		SPARSE_VEGE		SPARSE_VEGE		VEGE TO VEGE	
	BLD_KERMOSKEP	BLD TO BLD	BLD_KERMOSKEP	BLD TO BLD	BLD_KERMOSKEP	BLD TO BLD	BLD_KERMOSKEP	BLD TO BLD	BLD_KERMOSKEP	BLD TO BLD
	BLD_GREY		BLD_GREY		BLD_GREY		BLD_GREY		BLD_GREY	
	BLD_RED		BLD_WHITE		BLD_WHITE		BLD_WHITE		BLD_WHITE	
	BLD_WHITE		BLD_RED		BLD_RED		BLD_RED		BLD_RED	
	PISINA	POOL	WATERHEATER_WHITE		WATERHEATER_WHITE		WATERHEATER_WHITE		PISINA	POOL
	ASPHALTOS	ASHAPLTOS	WATERHEATER_KERAMOSKEPH		WATERHEATER_KERAMOSKEPH		WATERHEATER_KERAMOSKEPH		ASPHALTOS	ASPHALTOS
	SOIL_DARKCOLOR	SOIL TO SOIL	PISINA	POOL	PISINA	POOL	PISINA	POOL	SOIL_DARKCOLOR	SOIL TO SOIL
	SOIL_LIGHTCOLOR		ASPHALTOS		ASPHALTOS		ASPHALTOS		ASPHALTOS	
	SOIL_MPEZ_RED		SOIL_DARKCOLOR		SOIL_DARKCOLOR		SOIL_DARKCOLOR		SOIL_DARKCOLOR	
	BLD_GRAY_KERAMOSKEPH	BLD TO BLD	SOIL_LIGHTCOLOR	SOIL TO SOIL	SOIL_LIGHTCOLOR	SOIL TO SOIL	SOIL_LIGHTCOLOR	SOIL TO SOIL	BLD_GRAY_KERAMOSKEPH	BLD TO BLD
	BLD_WHITE_KERAMOSKEPH		SOIL_MPEZ_RED		SOIL_MPEZ_RED		SOIL_MPEZ_RED		SOIL_MPEZ_RED	
	BLD_GREY_WHITE		BLD_GRAY_KERAMOSKEPH		BLD_GRAY_KERAMOSKEPH		BLD_GRAY_KERAMOSKEPH		BLD_GRAY_KERAMOSKEPH	
	BLD_WHITE_GREY		BLD_WHITE_KERAMOSKEPH		BLD_WHITE_KERAMOSKEPH		BLD_WHITE_KERAMOSKEPH		BLD_WHITE_KERAMOSKEPH	
	ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa	BLD TO BLD	BLD_GREY_WHITE	BLD TO BLD	BLD_GREY_WHITE	BLD TO BLD	BLD_RED_WHITE	BLD TO BLD	LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH	SOIL TO BLD
	ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH		BLD_WHITE_GREY		BLD_WHITE_GREY		BLD_WHITE_GREY		MPEZREDSOIL_WHITBLD	
	SOILDARK_BLDWHITE		ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa		ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa		ADD_WATERHEATER_WHITEtaratsa		DENSEVEGE_BLDWHITE	
	DARKSOIL_BLDKERAMOSKEPH	SOIL TO BLD	ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH	SOIL TO BLD	ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH	SOIL TO BLD	ADD_WATERHEATER_KERAMOSKEPH	SOIL TO BLD	DENSEVEGE_BLDGREY	VEGE TO BLD
	LIGHTSOIL_BLDWHITE		SOILDARK_BLDWHITE		SOILDARK_BLDWHITE		SOILDARK_BLDWHITE		DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	
	DARKSOIL_BLDGREY		DARKSOIL_BLDKERAMOSKEPH		DARKSOIL_BLDKERAMOSKEPH		DARKSOIL_BLDKERAMOSKEPH		DARKSOIL_PISINA	
	DENSEVEGE_BLDWHITE	VEGE TO BLD	DARKSOIL_BLDGREY	SOIL TO BLD	DARKSOIL_BLDGREY	SOIL TO BLD	DARKSOIL_BLDGREY	SOIL TO BLD	LIGHTSOIL_PISINA	SOIL TO POOL
	DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH		LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH		LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH		LIGHTSOIL_BLDKERAMOSKEPH		LIGHTSOIL_BLDWHITE	
	SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH		SPARSEVEGE_BLDWHITE		SPARSEVEGE_BLDWHITE		SPARSEVEGE_BLDWHITE		LIGHTSOIL_SPARSEVEGE	
	SPARSEVEGE_PISINA	VEGE TO POOL	DENSEVEGE_BLDWHITE	VEGE TO BLD	DENSEVEGE_BLDWHITE	VEGE TO BLD	DENSEVEGE_BLDWHITE	VEGE TO BLD	LIGHTSOIL_DENSEVEGE	SOIL TO VEGE
	DARKSOIL_PISINA	SOIL TO POOL	DENSEVEGE_BLDGREY		DENSEVEGE_BLDGREY		DENSEVEGE_BLDGREY			
	LIGHTSOIL_PISINA	SOIL TO POOL	DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH		DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH		DENSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH			
	LIGHTSOIL_SPARSEVEGE	SOIL TO VEGE	SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	VEGE TO BLD	SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	VEGE TO BLD	SPARSEVEGE_BLDKERAMOSKEPH	VEGE TO BLD	DARKSOIL_SPARSEVEGE	SOIL TO SOIL
	LIGHTSOIL_DENSEVEGE		WHITEASFALTOY_PISINA		ASPHALTOS TO POOL		WHITEASFALTOY_PISINA		WHITEASFALTOY_PISINA	
	DARKSOIL_SPARSEVEGE		DARKSOIL_PISINA		SOIL TO POOL		DARKSOIL_PISINA		SOIL TO POOL	
	DARKSOIL_DENSEVEGE		LIGHTSOIL_PISINA		SOIL TO POOL		LIGHTSOIL_PISINA		SOIL TO POOL	
	DARKSOIL_LIGHTSOIL	SOIL TO SOIL	LIGHTSOIL_SPARSEVEGE	SOIL TO VEGE	LIGHTSOIL_SPARSEVEGE	SOIL TO VEGE	LIGHTSOIL_SPARSEVEGE	SOIL TO VEGE	LIGHTSOIL_DENSEVEGE	SOIL TO VEGE
DENSEVEGE_LGHTSOIL	VEGE TO SOIL	LIGHTSOIL_DENSEVEGE	LIGHTSOIL_DENSEVEGE		LIGHTSOIL_DENSEVEGE					
WHITEBLD_DENSEVEGE	BLD TO VEGE	DARKSOIL_SPARSEVEGE	DARKSOIL_SPARSEVEGE		DARKSOIL_SPARSEVEGE					
BLDKERAMOSKEPH_ASFALTOS	BLD TO ASPHALTOS	DARKSOIL_DENSEVEGE	DARKSOIL_DENSEVEGE		DARKSOIL_DENSEVEGE					
LIGHTSOIL_ASFALTOS	SOIL TO ASPHALTOS	DARKSOIL_LIGHTSOIL	SOIL TO SOIL	DARKSOIL_LIGHTSOIL	SOIL TO SOIL	DENSEVEGE_SPARSEVEGE	VEGE TO VEGE	DENSEVEGE_LGHTSOIL	VEGE TO SOIL	
		DENSEVEGE_LGHTSOIL	VEGE TO SOIL	SPARSEVEGE_DENSEVEGE	VEGE TO VEGE	SPARSEVEGE_DENSEVEGE	VEGE TO VEGE	WHITEBLD_DENSEVEGE	BLD TO VEGE	
		WHITEBLD_DENSEVEGE	BLD TO VEGE	LIGHTSOIL_DARKSOIL	SOIL TO SOIL	LIGHTSOIL_DARKSOIL	SOIL TO SOIL	DARKSOIL_LIGHTSOIL	SOIL TO SOIL	
		BLDKERAMOSKEPH_ASFALTOS	BLD TO ASPHALTOS	DARKSOIL_LIGHTSOIL	VEGE TO SOIL	DARKSOIL_LIGHTSOIL	VEGE TO SOIL	DENSEVEGE_LGHTSOIL	VEGE TO SOIL	
				DENSEVEGE_LGHTSOIL	VEGE TO SOIL	DENSEVEGE_LGHTSOIL	VEGE TO SOIL	WHITEBLD_DENSEVEGE	BLD TO VEGE	
Producer's Accuracy	70%	79%	63%	80%	52%	63%	76%	82%		
User's Accuracy	71%	81%	66%	80%	51%	61%	79%	86%		
Overall Accuracy	88%	90%	89%	92%	84%	87%	93%	94%		

Εικόνα 5.1 Συγκενρωτικός πίνακας αναλυτικών και ομαδοποιημένων κατηγοριών για όλα τα ζεύγη αλλά και τα ποσοστά που συγκέντρωσαν.

## 5.2. Ποιοτικά Στοιχεία

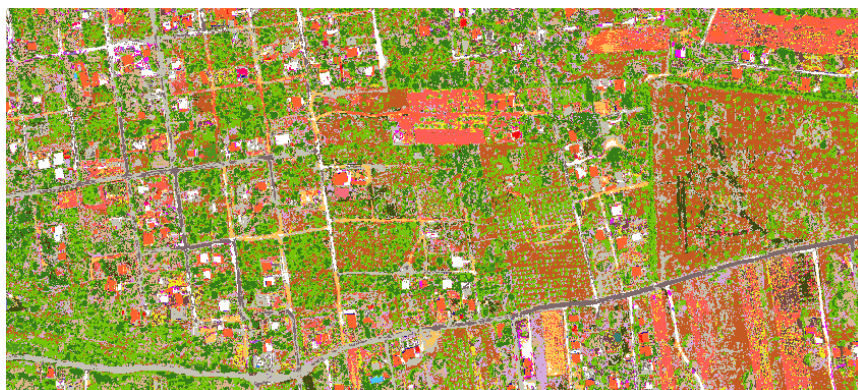
### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2006-2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2009-2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2010-2015

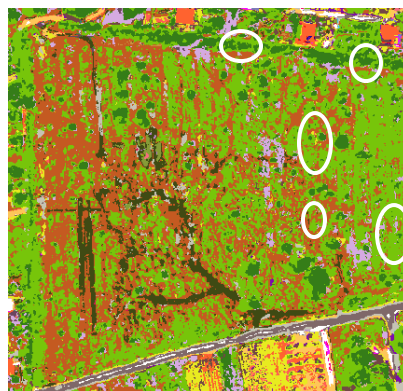


ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2011-2015

Σχήμα 5.2 Πίνακας οπτικοποίησης εικόνων πρόβλεψης με όλες τις κατηγορίες για κάθε ζεύγος



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2006-2015: Με το μοβ ανοιχτό χρώμα DSSV



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2009-2015 : Ελάχιστα σημεία με μοβ ανοιχτό (DSDV)



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2010-2015 : Με το καφέ χρώμα NDS, με το γκρι χρώμα λάθος πρόβλεψη κατηγορία NBG.



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2011-2015: Ελάχιστα σημεία κατηγορίας DSSV με μοβ ανοιχτό, με μοβ σκούρο LSDV, με κίτρινο LSSV, με μοβ φωσφορίζων BWK



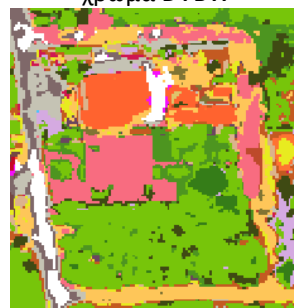
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2006-2015: Με λαδί χρώμα DSBW



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2009-2015: Με ροζ χρώμα DVBW



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2010-2015: Με ροζ χρώμα DVBW



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2011-2015: Με ροζ χρώμα DVBW.

Σχήμα 5.3 Συγκριτικά ποιοτικά παραδείγματα



### ΕΝΤΟΠΙΣΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2006-2015

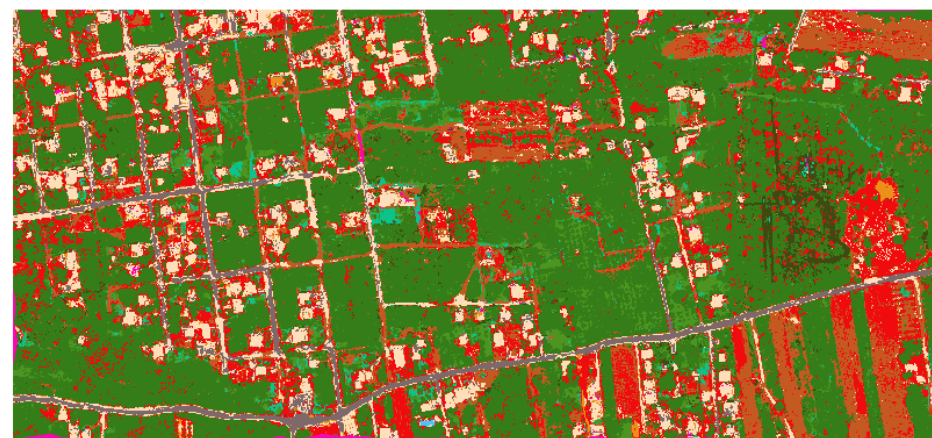


ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2009-2015

ΖΕΥΓΟΣ 2011-2015 (ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ)		ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
	VEGE TO VEGE		SOIL TO SOIL
	VEGE TO VEGE		SOIL TO SOIL
	BLD TO BLD		BLD TO BLD
	BLD TO BLD		BLD TO BLD
	BLD TO BLD		BLD TO BLD
	BLD TO BLD		SOIL TO BLD
	PISINA		SOIL TO BLD
	ASPHALTOS		VEGE TO BLD
	BLD TO BLD		VEGE TO BLD
	BLD TO BLD		VEGE TO BLD
	SOIL TO SOIL		SOIL TO POOL
			SOIL TO POOL
			SOIL TO VEGE
			SOIL TO VEGE
			SOIL TO VEGE
			SOIL TO VEGE
			SOIL TO SOIL
			VEGE TO SOIL
			BLD TO VEGE
			SOIL TO BLD



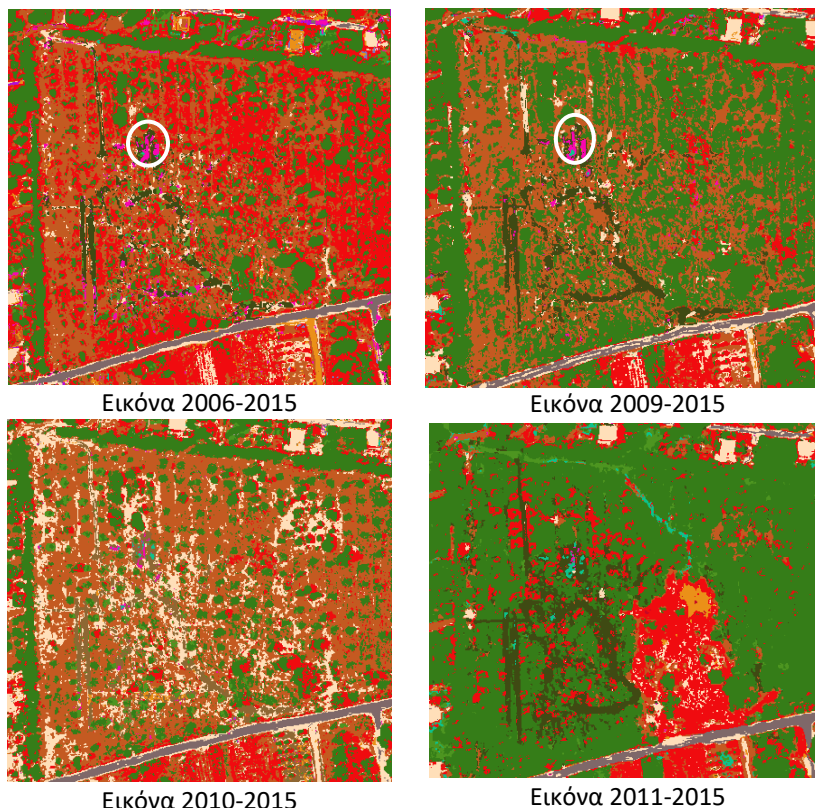
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2010-2015



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ 2011-2015

Σχήμα 5.4 Πίνακας οπτικοποίησης ομαδοποιημένων κατηγοριών εικόνων πρόβλεψης για όλα τα ζεύγη.

Είναι εμφανές ότι υπάρχουν αρκετές οπτικές διαφορές ανάμεσα στα 4 ζεύγη. Στο πρώτο ζεύγος 2006-2015, κυριαρχεί η ομαδοποιημένη κατηγορία SOIL TO VEGE με κόκκινο χρώμα, ενώ στο τελευταίο ζεύγος 2011-2015, κυριαρχεί ξεκάθαρα το πράσινο χρώμα που αντιστοιχεί στην κατηγορία VEGE TO VEGE.



Σχήμα 5.5 Οπτικά παραδείγματα εικόνων πρόβλεψης μετά την ομαδοποίηση.

Στο πρώτο ζεύγος, 2006-2015, με κόκκινο χρώμα κατηγοριοποιείται η κατηγορία από έδαφος σε βλάστηση (SOIL TO VEGE), ενώ με την κατηγοριοποίησή με τις αναλυτικές κατηγορίες, οι περιοχές αυτές ανήκαν στην αναλυτική κατηγορία από σκουρόχρωμο έδαφος σε αραιή βλάστηση (DSSV). Το δεύτερο ζεύγος 2009-2015, επικρατεί το πράσινο χρώμα, δηλαδή η κατηγορία από βλάστηση σε βλάστηση (VEGE TO VEGE).

Το άσπρο κυκλικό περίγραμμα (Σχήμα 5.5) στα δύο αυτά ζεύγη, αποτελεί την κατηγορία από έδαφος σε κτίριο (SOIL TO BLD). Το τρίτο ζεύγος, 2010-2015, αποτελείται στο μεγαλύτερο μέρος του από την σταθερή κατηγορία σκουρόχρωμο έδαφος και στις δύο εικόνες (DS), ενώ λανθασμένα προβλέπονται οι περιοχές με μπλε χρώμα ως κατηγορία κτίριο και στις δύο εικόνες σύγκρισης (BLD TO BLD). Τέλος, στο 4<sup>ο</sup> και τελευταίο ζεύγος, 2011-2015, η σταθερή κατηγορία από βλάστηση σε βλάστηση (VEGE TO VEGE), απεικονίζεται με πράσινο χρώμα. Στο ίδιο ζεύγος, με πορτοκαλί χρώμα λανθασμένα κατηγοριοποιείται η περιοχή ως μεταβολή από κτίριο σε κτίριο στις δύο συγκρίσιμες εικόνες (BLD TO BLD) (Σχήμα 5.5).

Στο σύνολο της διαδικασίας αυτής, η ομαδοποίηση των κατηγοριών βοήθησε τα ποσοτικά αποτελέσματα της ταξινόμησης να βελτιωθούν και οδήγησε στην πιο εύκολη οπτικοποίηση της αναγνώρισης των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε και τα αποτελέσματα της ποσοτικής και ποιοτικής αξιολόγησης, προκύπτουν συγκεκριμένα συμπεράσματα όσον αναφορά τη μεθοδολογία και την αποτελεσματικότητα της προσέγγισής μας:

- Η **ψηφιοποίηση** των δεδομένων αναφοράς ήταν απαραίτητο να γίνει με **μεγάλη επιμέλεια**, ώστε διατηρείται η **ομοιογένεια ανάμεσα σε όλα τα ζεύγη** ώστε να ξέρουμε τί σημαίνει η κάθε μεταβολή.
- Κατά την εφαρμογή της αναπτυγμένης μεθοδολογίας, ταξινομήθηκαν λανθασμένα κάποιες κατηγορίες μεταβολής και μη-μεταβολής, καθώς οι κατηγορίες συχνά παρουσίαζαν μεγάλη φασματική ομοιότητα. Για παράδειγμα μερικές από τις κατηγορίες μη μεταβολής ήταν, η κατηγορία Άσφαλτος που μεταφράζεται σε δρόμο που ταξινομήθηκε ως κτίριο με γκρι ταράτσα και το αντίστροφο, όπως επίσης και η κατηγορία Κτίρια με Κεραμοσκεπή που ταξινομήθηκε ως έδαφος με ανοιχτό χρώμα χώματος. Όσον αφορά στις κατηγορίες μεταβολών, ο αλγόριθμος μπερδεύτηκε ταξινομώντας την μεταβολή από έδαφος σε βλάστηση σε κατηγορία μεταβολών από Έδαφος σε Έδαφος.
- Τα **αποτελέσματα της ταξινόμησης** ήταν **καλύτερα** ως προς τα ποσοστά ακρίβειας και αξιοπιστίας όταν μετά την εφαρμογή της ταξινόμησης, **ομαδοποιήθηκαν** οι κατηγορίες στους ήδη υπάρχοντες πίνακες σύγχυσης, φτάνοντας ποσοστά **Overall 94%**, Producer's Accuracy 82% και User's Accuracy 86% στο ζεύγος Worldview-2 του 2011 και Ορθοεικόνας του 2015.
- Τα **καλύτερα αποτελέσματα** έδωσαν οι συγκρίσεις στα ζεύγη της εικόνας κτηματολογίου με τα **πολυφασματικά δεδομένα**, Quickbird και Worldview-2 εικόνες, αντίστοιχα, από ότι η σύγκριση του ζεύγους της ορθοεικόνας με την εικόνα ΟΚΧΕ, καθώς όπως ήταν λογικό οι δορυφορικές εικόνες με τα περισσότερα κανάλια δίνουν περισσότερη φασματική πληροφορία προς αξιοποίηση από τον ταξινομητή.
- Το **πλήθος pixels** για κάθε κατηγορία δεν βρέθηκε να έχει άμεση συσχέτιση με τα ποσοστά PA και UA.

Για τη βελτίωση ή/και την επέκταση της παρούσας εργασίας θα μπορούσε να γίνει μελέτη και αξιολόγηση του συγκεκριμένου σχήματος μεθοδολογίας σε μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων από υπερφασματικούς δέκτες. Επιπλέον, θα μπορούσε να γίνει μελέτη και εφαρμογή διαφορετικών προσεγγίσεων, μεθοδολογιών και λογισμικών για την εκτέλεση του πρώτου σταδίου της εργασίας, του γεωμετρικού μετασχηματισμού μεταξύ των δορυφορικών εικόνων.

Μία προσέγγιση αντιστοίχισης, για παράδειγμα, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο αντιστοίχισης με βάση περιγραφείς εικόνων (DR: Descriptor-based registration). Η μέθοδος αυτή, υπολογίζει έναν καθολικό μετασχηματισμό για την εικόνα που θα αντιστοιχηθεί.

Όσον αφορά στις μεθόδους ταξινόμησης, θα μπορούσε να δοκιμαστούν κι άλλοι εξελιγμένοι αλγόριθμοι όπως τα Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks – ANN) και Ανάλυση διανυσματικής αλλαγής (Change vector analysis-CVA). Επίσης, προτείνεται η χρήση τεχνικών ταξινόμησης που λαμβάνουν υπόψιν, εκτός από τη φασματική πληροφορία της αλλαγής, και τη χωρική πληροφορία

αλλαγής, ώστε να μπορεί να γίνει κατάτμηση των χωρικά γειτονικών εικονοστοιχείων σε φασματικά όμοια αλλαγών. Στη συγκεκριμένη πρόταση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας (object-based image analysis, OBIA).

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alahi, A., Ortiz, R., & Vandergheynst, P. (2012). Freak: Fast retina keypoint. *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE Conference*, (σσ. 510–517).
- Al-doski, J., Mansor, S. B., & Shaftri, M. H. (2013). Change Detection Process and Techniques. *Civil and Environmental Research*, 37-45.
- Alexandridis, T. K., Takavakoglou, V., Crisman, T. L., & Zalidis, G. C. (2007). Remote Sensing and GIS techniques for selecting a sustainable scenario for Lake Koronia. *Environmental management*, 278-290.
- Allen, T. R., & Kupfer, J. A. (2000). Application of Spherical Statistics to Change Vector Analysis of Landsat Data: Southern Appalachian Spruce–Fir Forests. *Remote Sensing of Environment*, 482–493.
- Angelici, G., Brynt, N., & Friendman, S. (1977). Techniques for land use changedetection using Landsat imagery. *Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the American Society of Photogrammetry and Joint Symposium on Land Data Systems* (σσ. 217–228). Falls Church, VA, USA: Bethesda, MD: American Society of Photogrammetry.
- Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., & Gool, L. V. (2008). Speeded-up robust features (surf). *Computer Vision and Image Understanding*.
- Campbell, J. B. (2002). *Introduction to remote sensing*. CRC Press.
- Castilla, G., Guthrie, R. H., & Hay, G. J. (2009). The Land-cover Change Mapper (LCM) and Its Application to Timber Harvest Monitoring in Western Canada. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 941–950.
- Chavez, P. S., & Mackinnon, D. J. (1994). Automatic detection of vegetation changes in the southwestern United States using remotely sensed images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 571–583.
- Chen, J., Gong, P., Chunyang, H., Pu, R., & Shi, P. (2003). “Land-Use/Land-Cover Change Detection Using Improved Change-Vector Analysis.”. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 369–379.
- Chen, J., Gong, P., Chunyang, H., Pu, R., & Shi, P. (2003). Land-Use/Land-Cover Change Detection Using Improved Change-Vector Analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 369–379.
- Collins, J. B., & Woodcock, C. E. (1996). An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multitemporal landsat TM data. *Remote sensing of Environment*, 56,66-77.
- Coppin, P. R., & Bauer, M. E. (1994). “Processing of Multitemporal Landsat TM Imagery to Optimize Extraction of Forest Cover Change Features. ” *IEEE Transactions on Geo-science and Remote Sensing*, 918–927.
- Coppin, P. R., & Bauer, M. E. (1996). Change Detection in Forest Ecosystem with Remote Sensing Digital Imagery. *Remote Sensing Reviews*, 207-234.

- Crum, W. R., Hartkens, T., & Hill, D. G. (2004). Non-rigid image registration: theory and practice. *The British Journal of Radiology*, 140.
- Duy, L. (2009). *Review and enhancement optimization methods in image registration*. Imperial College London.
- Eklundh, L., & Singh, A. (1993). A comparative analysis of standardized and unstandardized principal component analysis in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 1359–1370.
- Fung, T. (1990). An assessment of TM imagery for land-cover change detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 681–684.
- Fung, T., & Le Drew, E. (1987). The application of principal component analysis to change detection. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1649–1658.
- Gianinetto, M., & Villa, P. (2007). "Rapid Response Flood Assessment Using Minimum Noise Fraction and Composed Spline Interpolation." I. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 3204–3211.
- Gitas, I., Meliadis, M., Katagis, T., Polychronaki, A., & Meliadis, I. (2009). Monitoring land use/cover change with the use of object based image analysis and LANDSAT imagery. *Workshop of Remote Sensing of Land Use & Land Cover*, 25-27.
- Guirguis, S. K., Hassan, El-Raey, H. M., M.E., & Hassan, M. L. (1996). Technical note. Multitemporal change of Lake Brullus, Egypt. *International Journal of Remote Sensing*, 2915–2921.
- Hayes, D. J., & Sader, S. A. (2001). Comparison of change detection techniques for monitoring tropical forest clearing and vegetation regrowth in a time series. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1067–1075.
- Hechteljen, A., Thonfeld, F., & Menz, G. (2014). "Recent advances in remote sensing change detection – a review", *Center for Remote Sensing of Land Surfaces (ZFL)*. Bonn, Germany : University of Bonn. Ανάκτηση από Center for Remote Sensing of Land Surfaces.
- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., & Stanley, D. (2013). "Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 91-106.
- J., W. R., R., H. H., J., A. S., & D., W. D. (1974). 'Monitoring Vegetation Systems in the Great / Plains with ERTS'. *3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, (σ. 48-62). .
- Jat, M. K., Garg, P. K., & Khare, D. (2008). Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26-43.
- Jensen, J. R. (1996). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Prentice Hall Inc.
- Jensen, J. R., & Toll, D. L. (1982). Detecting residential land use development at the urban fringe. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 629–643.

- Jensen, J. R., Ramsey, E. W., Mackey, H. E., Christensen, E. J., & Sharitz, R. R. (1987). "Inland Wetland Change Detection Using Aircraft MSS Data." . *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 521–529.
- Jha, C. S., & M. Unni, N. V. (1994). "Digital Change Detection of Forest Conversion of a Dry Tropical Indian Forest Region." . *International Journal of Remote Sensing* 15, 2543–2552.
- Karantzalos, K., Sotiras, A., & Paragios, N. (2014). Efficient and automated multi-modal satellite data registration through mrfs and linear programming. *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*.
- Kennedy , R. E., Yang, Z., & Cohen, W. B. (2010). "Detecting Trends in Forest Disturbance and Recovery Using Yearly Landsat Time Series: 1. LandTrendr –Temporal Segmentation Algorithms." . *Remote Sensing of Environment*, 2897–2910.
- Khalifa, F., Beache, G., Gimelfarb, G., Suri, J., & EL-Baz, A. (2011). State-of-art medical image registration methodologies: A survey. *Multi-modality state-of-art medical image segmentation methologies*, 235-280.
- Kuntz, S., & Karteris, M. (1993). "Satellite technology and GIS for Mediterranean forest mapping and fire management". *International Workshop*, (σσ. 165-177). Thessaloniki Greece.
- Lambin , E. F., & Strahler, A. H. (1994). "Indicators of land-cover change for change vector analysis in multitemporal space at coarse spatial scales". *International Journal of remote sensing*, 2099-2119.
- Lillesand, M. T., & Kiefer, W. R. (1994). Remote Sensing and Image Interpretation. *Geological Magazine*.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer*.
- Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 2365-2401.
- Lukashevich, P. V., Zalesky, B. A., & Ablameyko, S. V. (2011). Medical image registration based on surf detector. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 519.
- Lunetta, Ross , S., & Elvidge, C. D. (1998). *Remote Sensing Change Detection: Environmental*. Chelsea, Mirch: Ann Arbor Press.
- Lyon, J. G., Yuan, D., Lunetta, R. S., & Elvigde, C. (1998). A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 143–150.
- Malila, W. A. (1980). "Change Vector Analysis: An Approach for Detecting Forest Changes with Landsat". LARS Symposia.
- Mas, J. F. (1999). Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques . *International Journal of Remote Sensing*, 139-152.
- Mercier, G., Derrode, S., Trouvé, E., & Bombrun, L. (2009). Change Detection in Remote Sensing Observation In Multivariate Image Processing: Methods and Applications. Στο *Digital Signal and Image Processing Series*. ISTE Ltd and John Wiley & Sons.

- Michalek, J. L., Wagner, T. W., Luczkovich, J. J., & Stoffle, R. W. (1993). "Multispectral Change Vector Analysis for Monitoring Coastal Marine Environments." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 381–384.
- Morel, J. M., & Yu, G. (2009). Asift: A new framework for fully affine invariant image comparison.
- Moshen, A. (1999). *Environmental Land Use Change Detection and Assessment Using with Multi-temporal Satellite Imagery*. Zanjan university.
- Nelson, R. F. (1983). Detecting forest canopy change due to insect activity using LandsatMSS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1303–1314.
- Nemmour, H., & Chibani, Y. (2006). "Multiple support vector machines for land cover change detection: An application for mapping urban extensions", *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Inc. (ISPRS)*.
- Nielsen, A. A., & Canty, M. J. (2008). "Kernel Principal Component Analysis for Change Detection." *In Image and Signal Processing for Remote Sensing XIV*.
- Nielsen, A. A., Hecheltjen, A., Thonfeld, F., & Canty, M. J. (2010). "Automatic change detection in RapidEye data using the combined MAD and kernel MAF methods." *In IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, (σσ. 3078–3081). Honolulu.
- Pilon, P. G., Howarth, P. J., Bullock, R. A., & Adeniyi, P. O. (1988). An enhanced classification approach to change detection in semi-arid environments. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1709–1716.
- Pittas, A. (2003). Application of remote sensing methods for monitoring the evolution of lake Koronia's water body. *9th National Conference of the Greek Hydro-technical Association*. Thessaloniki.
- Prakash, A., & Gupta, R. P. (1998). Land-use mapping and change detection in a coalmining area—a case study in the Jharia coalfield, India. *International Journal of Remote Sensing*, 391–410.
- Price. (2015). Rectifying the planet. *FOSS4G Free and Open Source Software for Geospatial*.
- Richards, J. A. (1993). *Remote sensing digital image analysis: An introduction (2nd ed.)*. Canderra, Australia: SpringerVerlag.
- Ridd, M. K., & Liu, J. (1998). "A Comparison of Four Algorithms for Change Detection in an Urban Environment." *Στο Remote Sensing of Environment* (σσ. 95-100).
- Ridd, M. K., & Liu, J. (1998). A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. *Remote Sensing of Environment*, 95–100.
- Roughgarden, J., Running, S. W., & Matson, P. A. (1991). What Does Remote Sensing Do For Ecology? *Ecology*, 1918-1922.
- Sihna, P., Kumar, L., & Reid, N. (2011). Land Use/ Land Cover mapping: Accuracy Comparison of various band combination. *34th International Symposium for Remote Sensing of the Environment (ISRSE)*.



- Singh, A. (1989). Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International journal of remote sensing*, 989-1003.
- Singh, A., & Harrison, A. (1985). Standardized principal components. *International Journal of Remote Sensing*, 883–896.
- Sohl, T. (1999). Change analysis in the United Arab Emirates: an investigation of techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 475–484.
- Sotiras, A., Davatzikos, C., & Paragios, N. (2013). Deformable medical image registration: A survey. *Medical Imaging, IEEE Transactions*.
- Stow, D. A., Collins, D., & McKinsey, D. (1990). Land use change detection based on multi-date imagery from different satellite sensor systems. *Geocarto International*.
- Théau, J. (2011). Change Detection. Στο W. Kresse, & D. Danko, *The Springer Handbook of Geographic Information* (σσ. 175-184).
- Tola, E., Lepetit, V., & Fua, P. (2010). DAISY: An Efficient Dense Descriptor Applied to Wide Baseline Stereo. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*.
- Treitz, P. M., & Howarth, P. J. (1999). Hyperspectral remote sensing forestimating biophysical parameters of forest ecosystems. *Progress in Physical Geography*, 359-390.
- Vakalopoulou, M., & Karantzalos, K. (2014, April 17). Automatic Descriptor-Based Co-Registration of Frame. *Remote Sensing*, σσ. 1-18.
- Wiemker, R. (1997). "An Iterative Spectral-spatial Bayesian Labeling Approach for Unsupervised Robust Change Detection on Remotely Sensed Multispectral Imagery." *Lecture Notes in Computer Science*, 263–270.
- Xian, G., & Homer, C. (2010). Updating the 2001 National Land Cover Database Impervious Surface Products to 2006 Using Landsat Imagery Change Detection Methods. *Remote Sensing of Environment*, 1676–1686.
- Xian, G., Homer, C., & Fry, J. (2009). Updating the 2001 National Land Cover Database Land Cover Classification to 2006 by Using Landsat Imagery Change Detection Methods." *Remote Sensing of Environment*, 1133–1147.
- Zhu, Z., Woodcock, C. E., & Olofsson, P. (2012). "Continuous Monitoring of Forest Disturbance Using All Available Landsat Imagery." *Remote Sensing of Environment*, 75–91.
- Αϊναλής, Α., Μελιάδης, Ι., Πλατής, Π., & Τσιουβάρας, Κ. (2006). Ταξινόμηση και διαχρονική παρακολούθηση των βοσκόμενων δασικών εκτάσεων στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Μπογδάνα Ν. Θεσσαλονίκης. *Πανελλήνιο Λιβαδοπονικό Συνεδρίο* (σσ. 221-226). Ηράκλειο: Β.Π. Παπαναστάσης και Ζ.Μ. Παρίση.
- Αϊναλής, Α., Πλατής, Π., Μελιάδης, Ι., Παπαδοπούλου, Σ. Χ., Σκλάβου, Π., & Τσιουβάρας, Κ. (2007). Διαχρονική παρακολούθηση μεταβολής της λιβαδικής βλάστησης στην υπολεκάνη Νέας Απολλωνίας της επαρχίας Λαγκαδά και είδη εντόμων γεωργικού ενδιαφέροντος που απαντώνται στην περιοχή. *Πρακτικά 13ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου*, (σσ. 402-410). Καστοριά.

- Αληφραγκής, Μ. (2010). Εικονική Ανακατασκευή και Ταυτοποίηση Αντικειμένων στο Χώρο με Τεχνικές. *Σ.Η.Μ.Μ.Υ, Ε.Μ.Π.*
- Δούμα, Χ. (2015). Ευθυγράμμιση τρισδιάστατων ιατρικών εικόνων με χρήση ελαστικού μετασχηματισμού. *Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Πατρών.*
- Μαρκάκη, Β. (2012). Ανάπτυξη Τεχνικών Επεξεργασίας και Ευθυγράμμισης Ιατρικών Δεδομένων με Χρήση. *Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Πατρών.*
- Μελιάδης, Ι., Ραδόγλου, Κ., & Καζαντζίδης, Σ. (2004). *Παρακολούθηση των αλλαγών βιοτόπων στη περιοχή Ειδικής Προστασίας Όρη Αντιχάσια – Μετέωρα με τη χρήση ψηφιακών διαχρονικών δορυφορικών εικόνων.* Θεσσαλονίκη: ΕΘ.ΙΑ.Γ.Ε. – Ι.Δ.Ε.
- Περάκης, Κ., Μπεριάτος, Η., & Γκέσκου, Ι. (1997). “Μελέτη των χρονικών μεταβολών χαρακτηριστικών των παράκτιων περιοχών του νομού Μαγνησίας την τελευταία εικοσαετία βασισμένη σε χάρτες και δορυφορικές εικόνες”. *4ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας, Χαρτογραφία και Χάρτες στην Ανάδειξη και την Προστασία του Περιβάλλοντος*, (σσ. 103-111).
- Πλατής, Π., Αϊναλής, Α., Μελιάδης, Ι., & Τσιουβάρας, Κ. (2009). Διαχρονική παρακολούθηση των βοσκόμενων δασικών εκτάσεων στη λεκάνη απορροής Βαμβακιάς Νομού Θεσσαλονίκης. *Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων*, (σσ. 167-176). Θράκη.
- Πλατής, Π., Μελιάδης, Ι., Παπαχρήστου, Θ., Τρακόλης, Δ., Καζαντζίδης, Σ., Μαντζανάς, Κ., . . . Μπουρδάκης, Σ. (2004). Διαχρονική παρακολούθηση των μεταβολών βιοτόπων στα όρη Ακαρνανικά με τη χρήση δορυφορικών εικόνων για αειφορική διαχείριση και προστασία. Στο *Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Τεύχος Α* (σ. 58). Θεσσαλονίκη: Ε.Τ.ΕΡ.Π.Σ. – Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., ΕΘ.ΙΑ.Γ.Ε.- Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών.
- Πλατής, Π., Παπαχρήστου, Θ. Γ., & Παπαναστάσης, Β. Π. (2001). Δυνατότητες αξιοποίησης του προγράμματος απογραφής βοσκοτόπων στη διαχείριση των λιβαδιών της Περιφέρειας Ηπείρου. Η Λιβαδοπονία στο κατώφλι του 21ου αιώνα . *Πανελληνίου Λιβαδοπονικού Συνεδρίου* (σσ. 43-49). Ιωάννινα: Θ. Παπαχρήστου και Ο. Ντίνη-Παπαναστάση.
- Χουβαρδάς, Δ., Ισικιούδης, Ι., & Παπαναστάσης, Β. (2006). Ανάλυση των διαχρονικών αλλαγών του τοπίου της λεκάνης Κολχικού της λίμνης Κορώνειας με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.),. *Λιβάδια των πεδινών και ημιορεινών περιοχών: Μοχλός ανάπτυξης της υπαίθρου* (σσ. 253-261). Βόλος: Π. Πλατής, Α. Σφουγγάρης, Θ. Παπαχρήστου και Α Τσιόντσης.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ➤ Από Κεφάλαιο 2.2. Τεχνικές Ανίχνευσης Μεταβολών

#### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ

##### Αλγεβρική Προσέγγιση

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει αλγόριθμους με κοινά χαρακτηριστικά (π.χ. η επιλογή ορίων για τον προσδιορισμό της αλλαγής), που κατά κύριο λόγο (εξαιρώντας την CVA) είναι απλοί, άμεσοι, εύκολοι στην εφαρμογή και στην ερμηνεία, αλλά δεν παρέχουν πλήρεις πίνακες πληροφορίας για τις αλλαγές. Ένα μειονέκτημα της κατηγορίας είναι η δυσκολία στην επιλογή των κατάλληλων ορίων για τον εντοπισμό των μεταβαλλόμενων περιοχών, ενώ τα αποτελέσματα είναι δυαδικής μορφής (αλλαγή/όχι αλλαγή). Στην κατηγορία αυτή δύο ζητήματα είναι κριτικά για τα αποτελέσματα της ανίχνευσης αλλαγών:

- η επιλογή των κατάλληλων καναλιών ή δεικτών βλάστησης
- η επιλογή των κατάλληλων ορίων (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004) (Hussain, Chen, Cheng, Wei, & Stanley, 2013).

##### Αφαίρεση (-Διαφορά) εικόνων (Image differencing)

Στην αφαίρεση εικόνων η πρώτη χρονικά εικόνα αφαιρείται από τη δεύτερη σχετικά γεωαναφερμένη, εικονοστοιχείο προς εικονοστοιχείο. Ως κατηγορία των μεθόδων Αλγεβρικής Προσέγγισης, περιλαμβάνει όλα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων άλγεβρας. Έναν ακόμα περιορισμό αποτελεί το γεγονός ότι το αποτέλεσμα της αφαίρεσης είναι απόλυτη τιμή, πράγμα που σημαίνει ότι ίδιες τιμές μπορεί να έχουν διαφορετική σημασία (Hussain, Chen, Cheng, Wei, & Stanley, 2013), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1. Οι εικόνες μπορεί να αποτελούνται από τις αρχικές τιμές ανάκλασης ή ακτινοβολίας, φασματικούς δείκτες ή ψηφιακές τιμές (digital number) (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004), (Hecheltjen, Thonfeld, & Menz, 2014). Τα εικονοστοιχεία που δεν έχουν αλλάξει βρίσκονται στο κέντρο της κατανομής ενώ τα εικονοστοιχεία που έχουν αλλάξει βρίσκονται στα άκρα της κατανομής. Για παράδειγμα για τις εικόνες Landsat MSS προτιμώνται οι δίαυλοι 2 και 4 και οι μετασχηματισμοί γίνονται σε αυτούς γιατί θεωρούνται ότι είναι οι πλέον χρήσιμοι για τη διάκριση της δασικής κομοστέγης και των μεταβολών της βλάστησης. (Nelson, 1983). Τέλος, παράγεται μια τρίτη εικόνα που αποτελείται από τις αριθμητικές διαφορές μεταξύ των ζευγών των εικονοστοιχείων (Ridd & Liu, 1998), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2.

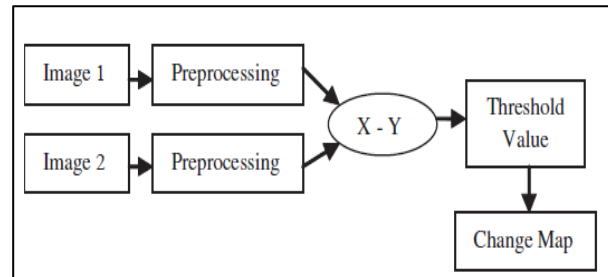
##### Παλινδρόμηση εικόνας (Image regression)

Η σχέση μεταξύ των τιμών των εικονοστοιχείων δύο ημερομηνιών καθορίζεται με τη χρήση ενός μοντέλου παλινδρόμησης. Το μέγεθος των υπολοίπων είναι δείκτης για το που έγιναν οι αλλαγές. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην υπόθεση ότι η μεταγενέστερη εικόνα είναι γραμμική συνάρτηση της προγενέστερης. Θεσπίζει σχέσεις μεταξύ των δύο εικόνων και στην συνέχεια υπολογίζει τις τιμές των εικονοστοιχείων της μεταγενέστερης εικόνας με τη χρήση μιας συνάρτησης παλινδρόμησης. Τέλος, αφαιρεί την εικόνα παλινδρόμησης από την προγενέστερη. Η εικόνα των αλλαγών παράγεται από τα υπόλοιπα (residuals) της παλινδρόμησης των ελαχίστων τετραγώνων για κάθε κανάλι (Ridd & Liu, 1998). Το πλεονέκτημα στη χρήση αυτή της μεθόδου είναι η μείωση των επιδράσεων της ατμόσφαιρας, του

αισθητήρα και των περιβαλλοντικών διαφοροποιήσεων στη μελέτη αλλαγής μεταξύ δύο εικόνων, ενώ τα μειονεκτήματα συγκεντρώνονται στο γεγονός ότι δε δίνει πίνακα αλλαγών και στην προϋπόθεση ανάπτυξης παλινδρομικών συναρτήσεων ακριβείας για τα επιλεγμένα κανάλια πριν την εφαρμογή ανίχνευσης μεταβολών (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004).



Εικόνα 0.1: Ημερομηνία 1 – Ημερομηνία 2, Μη αλλαγή = 0 είναι ερμηνεύσιμες



Εικόνα 2.2.: Διαδικασία Image differencing

### Αναλογία (Λόγος) εικόνας (Image ratioing)

Αυτή η μέθοδος υπολογίζει το λόγο δύο σχετικά γεωαναφερμένων διαχρονικών εικόνων, κανάλι προς κανάλι. Μειώνει τις επιπτώσεις της γωνίας ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας, της σκιάς και του τοπίου, αλλά επικρίνεται συχνά για τη μη κανονική κατανομή των αποτελεσμάτων της (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004). Στις εικόνες αναλογίας, οι περιοχές που δεν παρατηρήθηκε αλλαγή έχουν τιμή κοντά στο ένα (1), ενώ οι περιοχές που εντοπίστηκαν αλλαγές έχουν είτε υψηλές τιμές, είτε τιμές κοντά στο μηδέν (0) (Hecheljtjen, Thonfeld, & Menz, 2014). Ένα μειονέκτημά της μεθόδου αυτής είναι ότι οι αλλαγές μεταξύ δύο καλύψεων γης έχουν διαφορετικό αποτέλεσμα ανάλογα με την κατεύθυνση της αλλαγής πχ.  $50/100=0.5$ ,  $100/50=2$ .

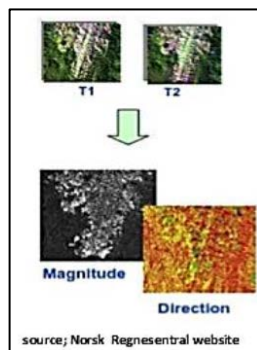
### Αφαίρεση δεικτών βλάστησης (Vegetation index differencing)

Αυτή η τεχνική σχετίζεται με τις διαφορές στην πράσινη βιομάζα. Σε αυτήν την περίπτωση, γίνεται η παραγωγή των δεικτών ξεχωριστά για κάθε εικόνα και στη συνέχεια αφαιρείται η μεταγενέστερη από την προγενέστερη εικόνα. Για παράδειγμα υπολογίζεται ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης για δύο εικόνες και μετά γίνεται η αφαίρεσή τους (Nelson, 1983). Επιπλέον, δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στις διαφορές στα φασματικά χαρακτηριστικά των διαφόρων αντικειμένων και μειώνει την επίδραση του τοπίου και του φωτισμού, όμως ενισχύει τον θόρυβο στην εικόνα (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004). Για καλύτερη οπτική ερμηνεία των εικόνων αφαίρεσης, προτείνεται από τους (Castilla, Guthrie, & Hay, 2009) η σύνθεση των εικόνων σε μια RGB εικόνα, με την εικόνα αφαίρεσης στο κόκκινο κανάλι, τη μεταγενέστερη εικόνα στο πράσινο και την προγενέστερη στο μπλε (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004).

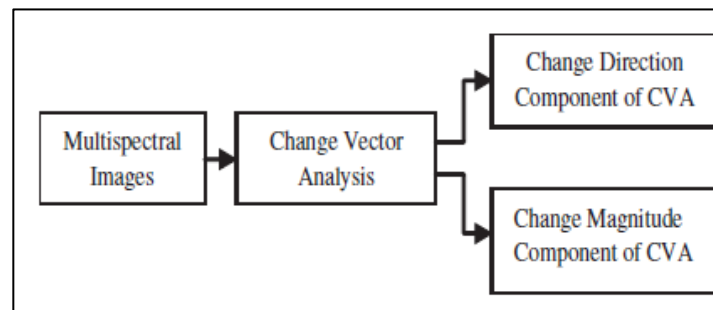
### Ανάλυση διανυσματικής αλλαγής (Change vector analysis-CVA)

Η CVA είναι μια εννοιολογική επέκταση της αφαίρεσης εικόνων. Παράγεται μία εικόνα έντασης (magnitude) και μια εικόνα κατεύθυνσης της αλλαγής (direction) (Εικόνα 2.3.). Η εικόνα κατεύθυνσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση των αλλαγών. Συνήθως χρησιμοποιείται όταν χρειάζεται

να ερευνηθούν όλες οι αλλαγές. Είναι σε θέση να εντοπίσει όλες τις αλλαγές που ξεπερνούν τα προκαθορισμένα όρια και να παρέχει λεπτομερή πληροφορία της αλλαγής (Malila, 1980). Στα πλεονεκτήματα της CVA είναι η δυνατότητα επεξεργασίας οποιουδήποτε αριθμού καναλιών, η αποφυγή των συνδυασμένων χωρικό-φασματικών σφαλμάτων που συχνά εμφανίζονται σε πολύ-χρονικές ταξινομήσεις, η δυνατότητα εντοπισμού αλλαγών τόσο στην κάλυψη γης όσο και στην κατάσταση της κάλυψης και η παραγωγή λεπτομερούς πληροφορίας για την ανίχνευση των αλλαγών που διευκολύνει την ερμηνεία και τον χαρακτηρισμό της αλλαγής. Επιπλέον, είναι χρήσιμη όταν α) δεν υπάρχει συγκεκριμένη αλλαγή ενδιαφέροντος, β) χρειάζεται να προηγηθεί εξαγωγή των αλλαγών πριν την επιλογή της πιθανής ή κατάλληλης αλλαγής ενδιαφέροντος, γ) η αλλαγή ενδιαφέροντος είναι γνωστή αλλά δεν είναι γνωστές οι βέλτιστες φασματικές ιδιότητες για την αξιόπιστη ανίχνευσή της (Johnson and Kasischke 1998). Παρόλα αυτά, είναι δύσκολος ο εντοπισμός της πορείας/τροχιάς της αλλαγής της κάλυψης γης. Παράγει δύο αποτελέσματα: 1) το διάνυσμα φασματικής αλλαγής που περιγράφει την κατεύθυνση και το μέγεθος της αλλαγής από την πρώτη στη δεύτερη χρονική στιγμή, και 2) το συνολικό μέγεθος της αλλαγής ανά εικονοστοιχείο που υπολογίζεται από τον προσδιορισμό της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ δύο φασματικών υπογραφών, π.χ. την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών για κάθε κανάλι (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004). Η κατεύθυνση μπορεί να υπολογιστεί με τέσσερις τρόπους: 1) κωδικοποίηση τομέα (sector coding) (Michalek, Wagner, Luczkovich, & Stoffle, 1993), 2) συνημίτονα των διανυσμάτων κατεύθυνσης (Chen, Gong, Chunyang, Pu, & Shi, 2003), 3) ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal Component Analysis - PCA) σε πολύ- χρονικό χώρο (Lambin & Strahler, 1994) και 4) πολικές συντεταγμένες για την κατεύθυνση διανυσμάτων (Allen & Kupfer, 2000). Παρά την ανάπτυξη τρόπων προσδιορισμού της κατεύθυνσης της αλλαγής, πράγμα που έκανε πιο ισχυρή την CVA, πολλές φορές χρησιμοποιείται μόνο για τον υπολογισμό του μεγέθους της αλλαγής (Xian, Homer, & Fry, 2009), (Xian & Homer, 2010), (Hechteljen, Thonfeld, & Menz, 2014).



Εικόνα 2.3.: Η εικόνα έντασης (magnitude) και η εικόνα κατεύθυνσης της αλλαγής



Εικόνα 2.4.: Διάγραμμα CVA

### Αφαίρεση υποβάθρου/φόντου (Background subtraction)

Το φόντο των περιοχών που δεν αλλάζουν παρουσιάζει μια πιο απαλή μεταβολή στην κλίμακα του γκρι. Εφαρμόζοντας ένα χαμηλοπερατό φίλτρο (low-pass filter) δημιουργείται μια παραλλαγή της αρχικής εικόνας με στόχο την καλύτερη προσέγγιση των διακυμάνσεων στο φόντο της εικόνας. Στη συνέχεια γίνεται αφαίρεση της χαμηλοπερατής εικόνας με την αρχική και παράγεται η εικόνα φόντου. Η ανίχνευση

της αλλαγής πραγματοποιείται μέσω της αφαίρεσης των εικόνων φόντου δύο χρονικών στιγμών. Η μέθοδος αυτή είναι εύκολη στην εφαρμογή αλλά έχει χαμηλή ακρίβεια (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004).

#### Μέθοδοι μετασχηματισμού (Transformation Based Change Detection Methods)

Αρκετές μέθοδοι στηρίζονται στο μετασχηματισμό των δεδομένων σε πολυδιάστατα στοιχεία. Το πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι η μείωση του πλεονασμού της πληροφορίας μεταξύ καναλιών και η έμφαση σε διαφορετικά στοιχεία των παραγόμενων εικόνων. Παρόλα αυτά, δεν μπορούν να παρέχουν λεπτομερείς πίνακες αλλαγών (περιέχουν πληροφορία από/σε χαρακτηρισμό της αλλαγής) και απαιτούν ορισμό ορίων για τον εντοπισμό των μεταβαλλόμενων περιοχών. Ένα ακόμα μειονέκτημα είναι η δυσκολία στην ερμηνεία και το χαρακτηρισμό της αλλαγής στις μετασχηματισμένες εικόνες (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004).

#### Ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal Component Analysis - PCA)

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην υπόθεση ύπαρξης μεγάλης συσχέτισης μεταξύ των διαχρονικών εικόνων και ότι η πληροφορία της αλλαγής μπορεί να φανεί στα παραγόμενα δεδομένα. Υπάρχουν δύο τρόποι εφαρμογής της PCA. Η πρώτη αφορά στη δημιουργία αρχείου «στοίβας» (stack) με δύο ή περισσότερες διαχρονικές εικόνες και εφαρμογή PCA για την ανίχνευση μεταβολών, και η δεύτερη αφορά στην εφαρμογή PCA ξεχωριστά στις εικόνες και στη συνέχεια αφαίρεση της μεταγενέστερης από την προγενέστερη. Η PCA εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εικόνα και για αυτό τα αποτελέσματα της μεθόδου της ανίχνευσης μεταβολών μεταξύ δύο ημερομηνιών είναι συχνά δύσκολο να ερμηνευθούν και να χαρακτηριστούν. Παράλληλα, δεν παράγει πλήρη πίνακα πληροφοριών αλλαγής και απαιτεί καθορισμό ορίων για τον εντοπισμό των μεταβαλλόμενων περιοχών (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004). Τα αμετάβλητα εικονοστοιχεία τοποθετούνται στον πρώτο άξονα κύριων συνιστωσών ως συνέπεια της υποθετικής γραμμικής σχέσης μεταξύ των αμετάβλητων εικονοστοιχείων, ενώ στο δεύτερο άξονα τοποθετούνται τα εικονοστοιχεία που άλλαξαν (Corpin & Bauer, 1994). Οι κύριες συνιστώσες υπολογίζονται από τα ιδιοδιανύσματα που βασίζονται σε όλα τα εικονοστοιχεία, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που άλλαξαν. Έτσι, η πρώτη κύρια συνιστώσα (ο άξονας μηδενικής μεταβολής) περιέχει σφάλματα λόγω των αλλαγμένων εικονοστοιχείων. Για τη μείωση της επίδρασης αυτών, ο (Wiemker, 1997) ανέπτυξε μια επαναληπτική προσέγγιση, η οποία υπολογίζει τον πίνακα συνδιακύμανσης (covariance) ενσωματώνοντας έναν διορθωτικό συντελεστή σε όλα τα εικονοστοιχεία, με αποτέλεσμα την ποσοτικοποίηση της πιθανότητας του καθενός να είναι μη μεταβαλλόμενο εικονοστοιχείο. Αυτή η μέθοδος βελτιώνει σημαντικά την αναγνώριση των μη μεταβλητών εικονοστοιχείων και συνεπώς βελτιώνει το αποτέλεσμα (Hechteljen, Thonfeld, & Menz, 2014). Παρόλο που η PCA σπανίως χρησιμοποιείται ως μέθοδος για την ανίχνευση μεταβολών, είναι χρήσιμη για τη μείωση των διαστάσεων (διαστατικότητα-Dimensionality) των αποτελεσμάτων (πολυδιάστατα δεδομένα) άλλων μεθόδων ανίχνευσης μεταβολών, π.χ. μετά από εφαρμογή αφαίρεσης εικόνων σε όλες τις εικόνες μια συστοιχίας δεδομένων (Jha & M. Unni, 1994).

### Tasselled Cap (TC/ Kauth Thomas Μετασχηματισμός/ KT)

Η αρχή αυτής της μεθόδου είναι παρόμοια με της PCA. Η μόνη διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι η PCA είναι εξαρτώμενη από την εικόνα, ενώ η TC όχι. Εδώ η εφαρμογή της μεθόδου της ανίχνευσης μεταβολών βασίζεται σε τρία στοιχεία: την φωτεινότητα, την υγρασία και το ποσοστό πρασίνου στην εικόνα. Παρόλα αυτά, παρουσιάζει δυσκολίες στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων και τον ΧτΑ. Ακόμα, απαιτεί θέσπιση ορίων για τον εντοπισμό των μεταβαλλόμενων περιοχών, καθώς και ατμοσφαιρική διόρθωση για κάθε εικόνα (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004).

### Μετασχηματισμός ορθογωνιοποίησης Gramm-Schmidt (GS)

Η μέθοδος GS ορθογωνιοποιεί τα φασματικά διανύσματα που λαμβάνονται απευθείας από τις εικόνες, και όπως και η TC, παράγει τρία σταθερά αποτελέσματα που αντιστοιχούν στις διαχρονικές αναλογίες της φωτεινότητας, του πρασίνου και της υγρασίας, καθώς και ένα αποτέλεσμα για την αλλαγή. Η συσχέτιση αυτών των μετασχηματισμών με τα χαρακτηριστικά της εικόνας επιτρέπει την εξαγωγή πληροφορίας, η οποία δεν θα ήταν διαθέσιμη με τη χρήση άλλων μεθόδων ανίχνευσης μεταβολών. Παράλληλα όμως, είναι δύσκολη η εξαγωγή πληροφορίας για τον τύπο της αλλαγής που να ανταποκρίνεται σε περισσότερες από μια από τις παραπάνω αναλογίες. Στην GS δίνεται βάση στην επιλογή συγκεκριμένων φασματικών διανυσμάτων από μια διαχρονική συστοιχία εικόνων, ανάλογα με τον τύπο της αλλαγής που είναι υπό εξέταση (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004). Μια συγκριτική μελέτη των παραπάνω τριών γραμμικών μεθόδων (Collins & Woodcock, 1996) καταλήγει στο ότι οι PCA και TC παράγουν καλύτερα αποτελέσματα από την GS, ενώ συγκεκριμένα συνιστάται η χρήση της TC λόγω ευκολίας στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Η μέθοδος GS επί του παρόντος δεν χρησιμοποιείται συχνά (Hecheltjen, Thonfeld, & Menz, 2014).

### Άλλες μέθοδοι μετασχηματισμού

Έχουν αναπτυχθεί και διάφορες άλλες μέθοδοι μετασχηματισμού, όπως η Chi-square ( $\text{Chi}^2$ ) (Ridd & Liu, 1998), η Ελαχιστοποίηση του Θορύβου (Minimum Noise Fraction - MNF) (Gianinetto & Villa, 2007) και ο Ταχύς Μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform - FFT), οι οποίες χρησιμοποιούνται σπανίως σήμερα, καθώς υπάρχουν πιο απλουστευμένοι αλγόριθμοι που παράγουν πιο εύκολα ερμηνεύσιμα αποτελέσματα. Σχετικά πρόσφατα εμφανίστηκαν και οι καινοτόμες μέθοδοι μετασχηματισμού πυρήνα (kernel), όπως η kPCA (Nielsen & Canty, 2008) και ο μέγιστος συντελεστής αυτοσυσχέτισης (kernel Maximum Autocorrelation Factor - kMAF) (Nielsen, Hecheltjen, Thonfeld, & Canty, 2010). Αυτές οι μέθοδοι επιτρέπουν την επίλυση μη-γραμμικών προβλημάτων και για αυτόν τον λόγο συχνά έχουν βελτιωμένα αποτελέσματα EtA (Hecheltjen, Thonfeld, & Menz, 2014).

### Μέθοδοι βασισμένες σε ταξινόμηση

Αυτές οι μέθοδοι βασίζονται σε ταξινομημένες εικόνες, για τις οποίες η ποσότητα και η ποιότητα των πεδίων εκπαίδευσης είναι ζωτικής σημασίας για την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι η δυνατότητα παραγωγής πινάκων με πληροφορία αλλαγής (ΧτΑ) και η μείωση των επιπτώσεων των ατμοσφαιρικών και περιβαλλοντικών διαφορών μεταξύ των διαχρονικών εικόνων. Ωστόσο, η επιλογή υψηλής ποιότητας και αρκετών σε αριθμό πεδίων εκπαίδευσης είναι συχνά δύσκολη, ιδίως για αρκετά παλιές ημερομηνίες. Το δύσκολο και χρονοβόρο έργο παραγωγής

μιας ταξινομημένης εικόνας υψηλής ακρίβειας συχνά οδηγεί σε μη ικανοποιητικά αποτελέσματα της ανίχνευσης μεταβολών, ειδικά όταν δεν είναι διαθέσιμα πεδία εκπαίδευσης υψηλής ακρίβειας και ποιότητας (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004).

#### Σύγκριση ταξινομημένων εικόνων (Post Classification Comparison – PCC)

Η PCC αποτελεί την παλαιότερη και ίσως πιο χρησιμοποιημένη μέθοδο της ανίχνευσης μεταβολών (Jensen, Ramsey, Mackey, Christensen, & Sharitz, 1987). Σε αυτή τη μέθοδο γίνεται ταξινόμηση της κάθε εικόνας ξεχωριστά παράγοντας θεματικούς χάρτες και στη συνέχεια γίνεται σύγκρισή τους εικονοστοιχείο ανά εικονοστοιχείο (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004). Ακολούθως, παράγονται πίνακες αλλαγής, οι οποίοι περιέχουν πληροφορία αλλαγής της μορφής από/σε χαρακτηριστικό της αλλαγής. Από αυτούς τους πίνακες υπολογίζονται τα στατιστικά στοιχεία της αλλαγής. Γενικά, η PCC έχει την τάση να παράγει περισσότερα σφάλματα («ψευδείς συναγερμούς») σε σύγκριση με μεθόδους που βασίζονται σε φασματικά χαρακτηριστικά ή χαρακτηριστικά ιστογράμματος (Hechteljen, Thonfeld, & Menz, 2014).

#### Υβριδική μέθοδος ανίχνευσης αλλαγών

Μια ακόμα εξέλιξη της PCC είναι η «περιορισμένη από την αλλαγή PCC». Αυτή η υβριδική μέθοδος λειτουργεί ως εξής: Αρχικά συγκεντρώνονται και ταξινομούνται τα διαχρονικά δεδομένα. Γίνεται η ανίχνευση των μεταβολών δύο εικόνων χρησιμοποιώντας μια μέθοδο που βασίζεται στη ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως η CVA. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται ένα συντηρητικό όριο διαφοροποίησης των μεταβλημένων και μη μεταβλημένων περιοχών. Τέλος, οι μεταβλημένες περιοχές ταξινομούνται ξανά χρησιμοποιώντας τις περιγραφές των κλάσεων των μη μεταβλημένων περιοχών (Xian et al. 2009, Xian & Homer 2010). Εδώ είναι σημαντικός ο χαρακτηρισμός/περιγραφή όλων των κλάσεων της μεταγενέστερης εικόνας, καθώς είναι πιθανό κάποιες από αυτές να μην υπάρχουν στην προγενέστερη εικόνα (Hechteljen, Thonfeld, & Menz, 2014).

#### Μεγιστοποίηση της προσδοκίας (expectation-maximization - EM)

Η μέθοδος EM χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο μεγιστοποίησης της προσδοκίας (EM) για την εκτίμηση των εκ των προτέρων (a priori) πιθανοτήτων των κοινών κλάσεων (joint classes) μεταξύ δύο χρονικών στιγμών. Αυτές οι πιθανότητες υπολογίζονται απευθείας από τις προς ανάλυση εικόνες. Περαιτέρω, η EM φαίνεται να έχει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με άλλες τεχνικές (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004).

#### Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Επιλέγει φασματικά παρόμοιες ομάδες εικονοστοιχείων και τα τοποθετεί σε πρωτογενή clusters (συσπειρώσεις) για την προγενέστερη εικόνα. Στη συνέχεια, κάνει το ίδιο για την μεταγενέστερη εικόνα, και τέλος εντοπίζει τις αλλαγές μεταξύ των δύο εικόνων. Πλεονέκτημά της αποτελεί η χρήση μη επιβλεπόμενων τεχνικών και η αυτοματοποίηση της διαδικασίας ανάλυσης της αλλαγής, όμως μειονεκτεί στην ταυτοποίηση και στο χαρακτηρισμό των κατευθύνσεων/τροχιών της αλλαγής (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004).

#### Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks – ANN)



Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων είναι τα φασματικά δεδομένα της περιόδου αλλαγής. Συχνά χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος ανάστροφης διάδοσης (backpropagation algorithm) για την εκπαίδευση του πολυεπίπεδου νευρωνικού δικτύου. Η ANN είναι μια μη-παραμετρική επιβλεπόμενη μέθοδος, που έχει την ικανότητα εκτίμησης των ιδιοτήτων των δεδομένων βασιζόμενη στα πεδία εκπαίδευσης. Στα μειονεκτήματά της είναι η περίπλοκη αρχιτεκτονική της και η ελλιπής γνώση πάνω σε αυτή, η χρονοβόρα διαδικασία εκπαίδευσης και η ευαισθησία της στην ποσότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Επίσης, οι λειτουργίες της ANN δεν χρησιμοποιούνται συχνά από τα λογισμικά επεξεργασίας εικόνων (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004).

#### Ασαφής Ανίχνευση Μεταβολών(Fuzzy change detection)

Η ασαφής ανίχνευση μεταβολών ασχολείται με την ασάφεια που έγκειται στον χαρακτηρισμό των κλάσεων και στηρίζεται στην υπόθεση ότι τα όρια μεταξύ των διάφορων κλάσεων και φαινομένων είναι διφορούμενα και ότι υπάρχει ετερογένεια στο εσωτερικό των κλάσεων λόγω φυσικών διαφορών. Η χρησιμότητά της είναι εμφανής όταν υπάρχει δυσκολία στη επιλογή ορίων για τον διαχωρισμό της αλλαγής από την μη-αλλαγή. Τα αποτελέσματα της ασαφούς λογικής δεν είναι ευδιάκριτα, αλλά εκφράζονται στα πλαίσια των πιθανοτήτων. Τα στοιχεία των κλάσεων χαρακτηρίζονται από έναν βαθμό ένταξης σε αυτές με μια συνάρτηση συμμετοχής. Τέλος, εφαρμόζεται η μέθοδος PCC για την ανίχνευση των αλλαγών. Στα πλεονεκτήματά της είναι η αντικειμενικότητα ορισμού ορίων και η χρήση πιθανοτήτων για την ένταξη των διαφόρων στοιχείων σε κλάσεις, ενώ στα μειονεκτήματα αναφέρετε η δυσκολία στον χαρακτηρισμό της αλλαγής και την ερμηνεία της παραγόμενης πληροφορίας στις επικαλυπτόμενες κλάσεις (Hussain, Chen, Cheng, Wei, & Stanley, 2013).

#### Αλγόριθμος συνεχούς παρακολούθησης διατάραξης δασών (Continuous Monitoring of Forest Disturbance Algorithm – CMFDA)

Πρόκειται για μια μέθοδο που αναπτύχθηκε πρόσφατα για ΕτΑ σε χρονοσειρά δορυφορικών εικόνων μικρού μεσοδιαστήματος (Zhu, Woodcock, & Olofsson, 2012). Η CMFDA εκμεταλλεύεται την πορεία της φασματικής υπογραφής κάθε εικονοστοιχείου (την «ιστορία» του), την οποία χρησιμοποιεί για τον προσδιορισμό διαχρονικών κλάσεων. Έτσι, οποιαδήποτε πιθανή ημερομηνία μιας εικόνας μπορεί να προβλεφθεί και να εξαχθεί ως νέα εικόνα. Περαιτέρω, υπό την προϋπόθεση ότι έχει πραγματοποιηθεί τέλεια αφαίρεση των σύννεφων και των σκιών τους, οι όποιες διαφορές προκύψουν μπορούν να χαρακτηριστούν ως αλλαγές στην κάλυψη γης. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου επιτρέπει τον άμεσο ΕτΑ, ενώ τα αποτελέσματα γίνονται πιο ισχυρά όσο πιο μεγάλες/μακροχρόνιες είναι οι χρονοσειρές πριν και μετά το γεγονός αλλαγής (Hechteljen, Thonfeld, & Menz, 2014).

#### Ανεπτυγμένα μοντέλα

Τα ανεπτυγμένα μοντέλα ΕτΑ περιλαμβάνουν το μοντέλο ανάκλασης Li-Strahler, μοντέλα φασματικού μίγματος και μοντέλα εκτίμησης βιοφυσικών παραμέτρων (π.χ. βιομάζα, κάλυψη κόμης – canopy κτλ.). Σε αυτές τις μεθόδους, οι τιμές ανάκλασης της εικόνας συχνά μετατρέπονται σε φυσικές παραμέτρους ή κλάσματα μέσω γραμμικών ή μη-γραμμικών μοντέλων. Οι μετασχηματισμένες παράμετροι είναι πιο εύκολες στην ερμηνεία και πιο χρήσιμες για την εξαγωγή πληροφορίας βλάστησης σε σχέση με τις

φασματικές υπογραφές. Τα μειονεκτήματά τους είναι η χρονοβόρα και δύσκολη διαδικασία της ανάπτυξης κατάλληλων μοντέλων για την μετατροπή των τιμών ανάκλασης της εικόνας σε βιοφυσικές παραμέτρους (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004).

#### Μοντέλο ανάκλασης Li-Strahler

Το μοντέλο κάλυψης κόμης (canopy) Li-Strahler χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της έκτασης της κόμης κωνοφόρων για δύο εικόνες ξεχωριστά, με σκοπό τη σύγκρισή τους και την εξαγωγή αποτελεσμάτων ΕτΑ. Αυτή η μέθοδος είναι ένας συνδυασμός της επεξεργασίας τηλεπισκοπικών δεδομένων με παραδοσιακές μεθόδους δειγματοληψίας και μετρήσεων πεδίου, ενώ παρέχει στατιστικά δεδομένα και χάρτες που δείχνουν τη γεωμετρική κατανομή των μοτίβων αλλαγής. Από την άλλη μεριά, απαιτεί μεγάλο αριθμό δεδομένων, είναι περίπλοκη στην εφαρμογή και δεν περιλαμβάνεται στα εργαλεία εμπορικών λογισμικών επεξεργασίας εικόνας. Τέλος, είναι κατάλληλη μόνο για τον ΕτΑ της βλάστησης (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004).

#### Διαχρονική ανάλυση φασματικού μίγματος (Multitemporal spectral mixture analysis –SMA)

Βασισμένα στον ορισμό αμιγών/αγνών «εικονοστοιχείων-στόχων» (end-members) για την εκπαίδευση της SMA, δεδομένα υψηλής φασματικής διαστατικότητας (π.χ. από υπερφασματικούς αισθητήρες) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ΕτΑ μεταξύ δύο ημερομηνιών. Από τη στιγμή που ακόμα και οι λεπτές αλλαγές μπορούν να εντοπιστούν με την SMA, η μέθοδος είναι ευαίσθητη και σε αλλαγές μέσα στην ίδια κλάση, όπως σε περιπτώσεις υποβάθμισης δασών. Συνήθως, τέσσερα εικονοστοιχεία-στόχοι (πράσινη βλάστηση, μη-φωτοσυνθετική ενεργή βλάστηση, έδαφος/χώμα και σκιά) μπορούν να προσδιοριστούν από τις φασματικές βιβλιοθήκες, τις επί τόπου μετρήσεις πεδίου ή τις ιδιότητες της εικόνας. Για πιο εύκολη σύγκριση, τα εικονοστοιχεία-στόχοι εξάγονται από ή μετατρέπονται σε ανάκλαση, π.χ. ατμοσφαιρικά διορθωμένες φασματικές υπογραφές. Η μέθοδος αυτή, στηρίζεται στην παραδοχή ότι οι φασματικές υπογραφές της εικόνας συντίθενται από ένα γραμμικό συνδυασμό αμιγών/αγνών φασματικών υπογραφών. Αλλαγές στις αναλογίες των εικονοστοιχείων-στόχων του κάθε εικονοστοιχείου μπορούν να θεωρηθούν αλλαγές στην κάλυψη γης (Hechteljen, Thonfeld, & Menz, 2014).

#### Μέθοδος βιοφυσικών παραμέτρων

Αυτή η μέθοδος στηρίζεται στην ανάπτυξη ενός μοντέλου εκτίμησης βιοφυσικών παραμέτρων (π.χ. βιομάζα) για την περιοχή μελέτης, μέσω του συνδυασμού μετρήσεων πεδίου και τηλεπισκοπικών δεδομένων. Έτσι, χρησιμοποιώντας τη βιοφυσική παράμετρο γίνεται ταξινόμηση της βλάστησης. Το μοντέλο αυτό, στη συνέχεια, μεταφέρεται σε άλλες εικόνες διαφορετικών ημερομηνιών για την εκτίμηση των επιλεγμένων παραμέτρων, εφόσον έχει προηγηθεί ραδιομετρική ή ατμοσφαιρική διόρθωση ή ομαλοποίηση. Τέλος, ο ΕτΑ πραγματοποιείται μέσω της σύγκρισης των βιοφυσικών παραμέτρων κάθε εικόνας. Περαιτέρω, η μέθοδος αυτή εμφανίζει μεγάλες ακρίβειες στον ΕτΑ της βλάστησης, όμως προϋποθέτει μεγάλη προσπάθεια για την ανάπτυξη του μοντέλου και εφαρμογής των κατάλληλων μεθόδων ραδιομετρικής και ατμοσφαιρικής διόρθωσης των εικόνων. Ακόμα, η εφαρμογή της χρειάζεται μεγάλο αριθμό μετρήσεων πεδίου και η χρήση της περιορίζεται στον ΕτΑ της βλάστησης (Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004).

### Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ)

Η κατηγορία μεθόδων ΕτΑ με χρήση ΓΣΠ περιλαμβάνει μεθόδους που συνδυάζουν τηλεπισκόπηση και ΣΓΠ και μεθόδους που προϋποθέτουν χρήση μόνο ΓΣΠ. Το πλεονέκτημα στη χρήση ΓΣΠ είναι η δυνατότητα συνδυασμού διαφόρων ειδών δεδομένων σε εφαρμογές ΕτΑ. Από την άλλη μεριά όμως, η πληθώρα δεδομένων σημαίνει και πληθώρα ακριβειών, αναλύσεων και μορφών, τα οποία συχνά επηρεάζουν το αποτέλεσμα (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004).

### Συνδυασμός ΓΣΠ και τηλεπισκόπησης

Γίνεται συνδυασμός εικόνων με δεδομένα ΓΣΠ, όπως πολύγωνα επικαλύψεων διαφόρων χαρτών, και στη συνέχεια τα αποτελέσματα εισάγονται σε περιβάλλον ΓΣΠ για περαιτέρω ανάλυση. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η εισαγωγή βοηθητικών δεδομένων στη διαδικασία για διευκόλυνση της ερμηνείας και της ανάλυσης των αποτελεσμάτων, αλλά και της άμεσης ενημέρωσης δεδομένων ΓΣΠ. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω όμως, η άντληση δεδομένων διαφόρων αναλύσεων από πολλές πηγές πολλές φορές υποβαθμίζει το αποτέλεσμα της μελέτης, όπως π.χ. στον ΕτΑ για κάλυψη γης (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004).

### Προσέγγιση ΓΣΠ

Εδώ, γίνεται συνδυασμός χαρτογραφικών δεδομένων διαφόρων ημερομηνιών, που περιέχουν τοπογραφική και γεωγραφική πληροφορία. Ο ΕτΑ ποσοτικών στοιχείων γίνεται με τη χρήση εργαλείων επικάλυψης και μασκών δυαδικής πληροφορίας (binary masks). Είναι δυνατή η χρήση οποιασδήποτε πληροφορίας κάλυψης και χρήσης γης για την περιοχή μελέτης, όμως όπως και παραπάνω, εμφανίζονται θέματα ακρίβειας (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004).

### Οπτική ανάλυση

Η οπτική ανάλυση περιλαμβάνει την οπτική ερμηνεία διαχρονικών εικόνων και τη χειροκίνητη ψηφιοποίηση των μεταβλημένων περιοχών. Αυτή η μέθοδος εξαρτάται άμεσα από την εμπειρία και τη γνώση του ερευνητή. Η υφή, το σχήμα, το μέγεθος και τα μοτίβα των εικόνων αποτελούν στοιχεία «κλειδιά» για την ταυτοποίηση αλλαγών στις καλύψεις/χρήσεις γης μέσω της οπτικής ερμηνείας, ενώ δεν χρησιμοποιούνται στον ψηφιακό ΕτΑ καθώς είναι δύσκολη η αναγνώριση και η εξαγωγή τους. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ο μεγάλος χρόνος εφαρμογής της για μεγάλες περιοχές μελέτης και η δυσκολία στην έγκαιρη ενημέρωση των αποτελεσμάτων του ΕτΑ, αλλά και η δυσκολία 23 παροχής λεπτομερούς πληροφορίας για την πορεία/τροχιά της αλλαγής. Τέτοιες μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν πριν το 1970 σε διάφορους τομείς, όπως η δασολογία, καθώς δεν υπήρχαν αρκετά δεδομένα και η υπολογιστική επιστήμη και τεχνολογία βρίσκονταν σε πρώιμο στάδιο (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004).

### Οπτική ερμηνεία

Σε αυτή τη μέθοδο γίνεται προβολή ενός φασματικού καναλιού από την προγενέστερη εικόνα στο κόκκινο κανάλι, το ίδιο φασματικό κανάλι της μεταγενέστερης εικόνας στο πράσινο κανάλι και (εφόσον υπάρχει) το ίδιο φασματικό κανάλι της τελευταίας εικόνας στο μπλε κανάλι. Στη συνέχεια γίνεται οπτική ερμηνεία σύμφωνα με το συνδυασμό των χρωμάτων. Εναλλακτικά, γίνεται χειροκίνητη ψηφιοποίηση

των αλλαγμένων περιοχών όπως φαίνονται οπτικά στη στοίβα εικόνων διαφορετικών ημερομηνιών (Lu, Mausel, Brondízio, & Moran, 2004).

#### Δι-χρονικές αναλύσεις και αναλύσεις χρονοσειράς – Έννοια του χρόνου ανάλυσης

Πληθώρα μελετών για τον ΕτΑ αναλύουν δύο χρονικά σημεία της περιοχής μελέτης τους (πριν και μετά) και θεωρούνται δι-χρονικές (bi-temporal). Αυτό όμως τις καθιστά περιορισμένες, καθώς πολλές διαδικασίες που συμβαίνουν στο περιβάλλον δεν μπορούν να εντοπιστούν με μόνο δύο ημερομηνίες ως δεδομένα εισόδου για ανάλυση. Έτσι, αναπτύχθηκε η ανάλυση δεδομένων χρονοσειράς στην τηλεπισκόπηση, η οποία αποκαλύπτει περισσότερη πληροφορία για τη φύση των αλλαγών που συμβαίνουν (Hecheltjen, Thonfeld, & Menz, 2014). Υπάρχουν μόνο λίγα είδη κάλυψης γης που δεν αλλάζουν. Ακόμα και σχετικά σταθερές επιφάνειες, όπως οι ανθρώπινες κατασκευές (π.χ. σκεπές, δρόμοι κτλ.), παρουσιάζουν αλλαγές με το πέρασμα του χρόνου. Φαίνεται λοιπόν, ότι η αλλαγή είναι μια διαδικασία του χρόνου, και η καταλληλότητα των δεδομένων για τον ΕτΑ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την χρονική τους διάσταση (Hecheltjen, Thonfeld, & Menz, 2014). Η ανάλυση χρονοσειράς στην τηλεπισκόπηση έχει ως στόχο την περιγραφή και μοντελοποίηση των περιβαλλοντικών διαδικασιών. Επίσης, πρόσφατες μελέτες χρησιμοποιούν δεδομένα για να μοντελοποιήσουν τις διαδικασίες που έχουν συμβεί με σκοπό να προβλέψουν τις μελλοντικές. Αν είναι γνωστή η διαχρονική συμπεριφορά ενός εικονοστοιχείου, είναι δυνατή η κατασκευή/πρόβλεψη μιας εικόνας για οποιοδήποτε χρονικό σημείο (Zhu, Woodcock, & Olofsson, 2012). Έτσι, κάθε νέα λήψη εικόνας μπορεί να συγκριθεί με την προβλεπόμενη-κατασκευασμένη εικόνα για την ίδια ημερομηνία και οι αλλαγές που θα προκύψουν από τη σύγκρισή τους μπορούν να θεωρηθούν ως αλλαγές στην κάλυψη γης (Hecheltjen, Thonfeld, & Menz, 2014). Οι δι-χρονικές μέθοδοι ΕτΑ μπορούν εντοπίσουν σταδιακές και απότομες αλλαγές καθώς και τις τάσεις του περιβάλλοντος, αλλά πιθανότατα δεν επαρκούν για την περιγραφή των διαχρονικών χαρακτηριστικών των περιβαλλοντικών διαδικασιών που διέπουν αυτά τα φαινόμενα. Για αυτό το λόγο, η ανάλυση χρονοσειράς θα πρέπει να προτιμάται στις περιπτώσεις που είναι υπό μελέτη αυτές οι διαδικασίες και υπάρχουν επαρκή δεδομένα (Hecheltjen, Thonfeld, & Menz, 2014).

#### Ανάλυση πορείας/τροχιάς

Πρόκειται για ανάλυση χρονοσειράς μεγάλου μεσοδιαστήματος μεταξύ των εικόνων εισόδου. Σε αντίθεση με την ανάλυση χρονοσειράς, που παρουσιάζει χρονικά συνεχόμενη πληροφορία (μικρό μεσοδιάστημα), η ανάλυση πορείας μπορεί να αναδείξει πληροφορίες 24 για μεγαλύτερα μεσοδιαστήματα (συνήθως χρόνια), αλλά δεν είναι σε θέση να απεικονίσει τις υποκείμενες (βαθύτερες, που βρίσκονται από πίσω) περιβαλλοντικές διαδικασίες. Η ανάλυση χρονοσειράς έχει την δυνατότητα εντοπισμού χωρικών και χρονικών αλλαγών με τον ταυτόχρονο χαρακτηρισμό τους ως απότομες διαταραχές ή μακροπρόθεσμες τάσεις. Παρόλα αυτά, λόγω ύπαρξης μεγάλων χρονικών κενών στα δορυφορικά δεδομένα ή σύννεφων στις εικόνες, οι ολοκληρωμένες μακροχρόνιες χρονοσειρές από ίδιους ή παρόμοιους δορυφόρους είναι σπάνιες. Επομένως, επιλέγονται ετήσια δεδομένα για την πραγματοποίηση αναλύσεων πορείας. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των χρονοσειρών μονοετούς μεσοδιαστήματος, σε σχέση με άλλες μεγαλύτερου μεσοδιαστήματος, είναι η δυνατότητα διαχωρισμού των απότομων και σταδιακών αλλαγών (Hecheltjen, Thonfeld, & Menz, 2014).

### Κατάτμηση/κατακερματισμός χρονοσειράς

Η μέθοδος Landsat-based detection of Trends in disturbance and Recovery (LandTrendR) είναι μια εξελιγμένη μέθοδος που εφαρμόζει στρατηγικές χρονικής κατάτμησης και τοποθετεί τις χρονικές πορείες των εικονοστοιχείων σε φασματικές καμπύλες χρησιμοποιώντας παλινδρόμηση και φασματικούς δείκτες. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η διάκριση των διαδικασιών αλλαγής σε γρήγορες και αργές. Η έννοια της κατάτμησης χρονοσειράς παρουσιάζεται ως η μοντελοποίηση της χρονικής πορείας της φασματικής υπογραφής ενός εικονοστοιχείου σε μια ακολουθία ευθύγραμμων τμημάτων, τα οποία εμπεριέχουν τα χαρακτηριστικά της πορείας του, εξαλείφοντας το θόρυβο χωρίς να θυσιάζεται η απαραίτητη λεπτομέρεια (Kennedy, Yang, & Cohen, 2010).

#### ➤ Από Κεφάλαιο 3.2.1. Αντιστοίχιση των εικόνων (MR : MRF-based Registration)

##### ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Παρακάτω, απεικονίζεται ο Πίνακας 4 με τα μέσα σφάλματα συντεταγμένων και αποστάσεων πριν και μετά το registration. Στοχεύθηκαν 10 σημεία ταυτοχρόνως και στα 4 ζεύγη εικόνων.

*Πίνακας 4: Σφάλματα πειραμάτων registration στις διαστάσεις των εικόνων (200:700,200:700)*

ΔΕΔΟΜΕΝΑ (IMAGES)		ΠΡΙΝ ΤΟ REGISTRATION (pixels)			ΜΕΤΑ ΤΟ REGISTRATION-ΜΕΘΟΔΟΣ MRF (pixels)		
TARGET	SOURCE	Dx	Dy	D	Dx	Dy	D
ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	WORLDVIEW2	0.600	1.600	2.920	0.600	0.600	0.849
ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	OKXE	1.100	1.600	1.942	0.600	0.500	0.781
ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	QUICKBIRD 2006	2.000	4.000	4.472	0.500	0.900	1.029
ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	QUICKBIRD 2009	1.400	1.300	1.910	0.300	0.600	0.671

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τις ίδιες παραμέτρους, στοχεύθηκαν 10 σημεία σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης των 4 εικόνων. Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 5, των μέσων σφαλμάτων (Dx Dy) πριν και μετά τη μέθοδο αντιστοίχισης, καθώς επίσης και τα σφάλματα της απόστασης (D).

*Πίνακας 5: Σφάλματα πειραμάτων registration σε όλη την περιοχή των εικόνων*

ΔΕΔΟΜΕΝΑ (IMAGES)		ΠΡΙΝ ΤΟ REGISTRATION (pixels)			ΜΕΤΑ ΤΟ REGISTRATION-ΜΕΘΟΔΟΣ MRF (pixels)		
TARGET	SOURCE	Dx	Dy	D	Dx	Dy	D
ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	WORLDVIEW2	2.000	1.400	2.567	0.800	1.000	1.281
ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	OKXE	0.800	1.400	1.612	0.600	1.200	1.342
ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	QUICKBIRD 2006	0.400	1.000	1.077	0.000	0.600	0.360
ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	QUICKBIRD 2009	1.400	1.000	1.720	0.800	0.800	0.800

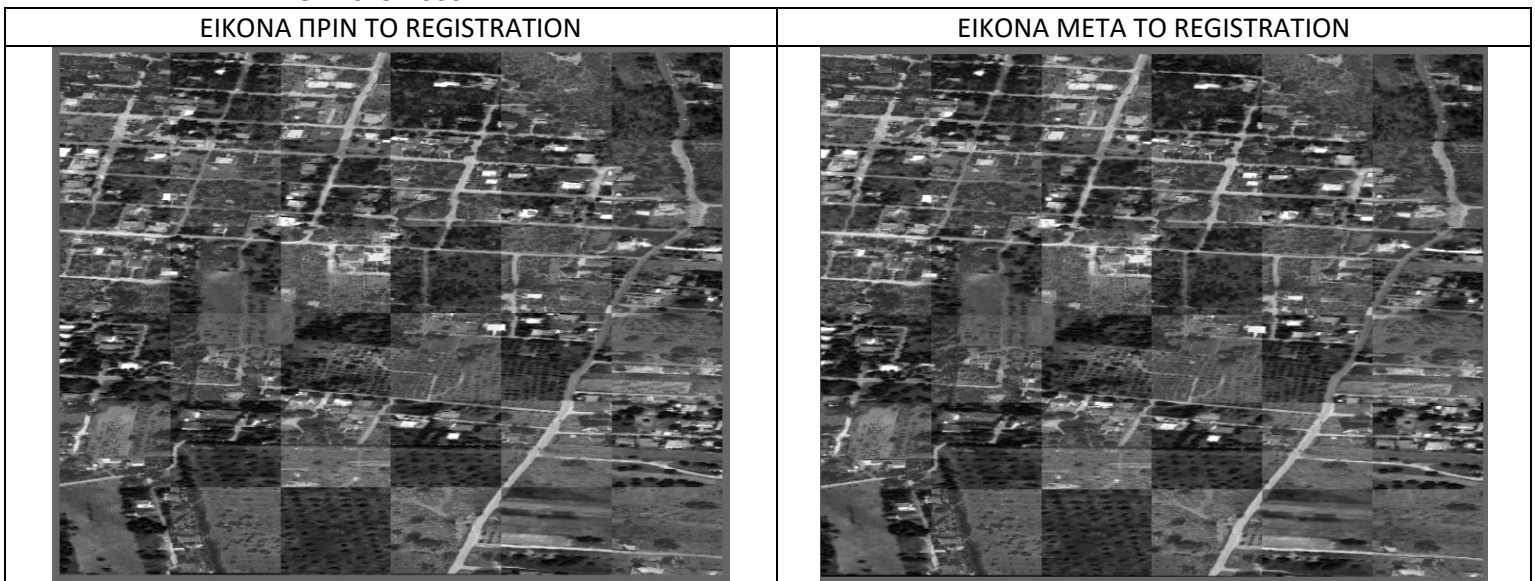
Τα σχετικά μικρά μέσα σφάλματα δείχνουν το ποσοτικό αποτέλεσμα της καταχώρησης και την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου αλγόριθμου, ο οποίος κατάφερε να ανακτήσει τη γεωμετρία των πολυφασματικών (δηλαδή 8 ή 4 φασματικών ζωνών), των πολυδιάστατων δεδομένων με διαφορετικές χωρικές αναλύσεις (δηλαδή 0,5m, 0,6m).

Συγκεκριμένα, όσον αφορά τη γεωγραφική ακρίβεια, η γεωμετρία των οπτικών δεδομένων ανακτάται με σφάλματα μετατόπισης αρκετά μικρότερα από 2 εικονοστοιχεία.

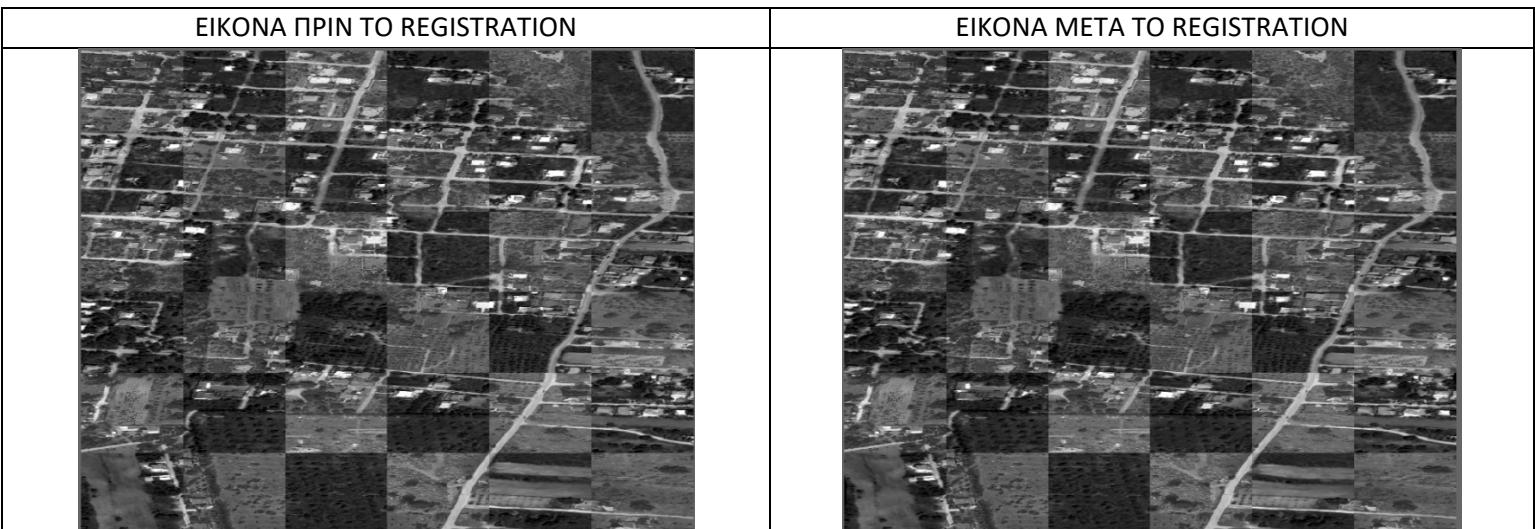
#### ΟΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Στις παρακάτω εικόνες παρατηρούνται οι ασυνέχειες του οδικού δικτύου πριν την αντιστοίχιση και η αποκατάστασή τους μετά από αυτή ανά ζεύγη

##### ✓ ΖΕΥΓΟΣ 2015-2006



##### ✓ ΖΕΥΓΟΣ 2015-2009



✓ ΖΕΥΓΟΣ 2015-2010

ΕΙΚΟΝΑ ΠΡΙΝ ΤΟ REGISTRATION

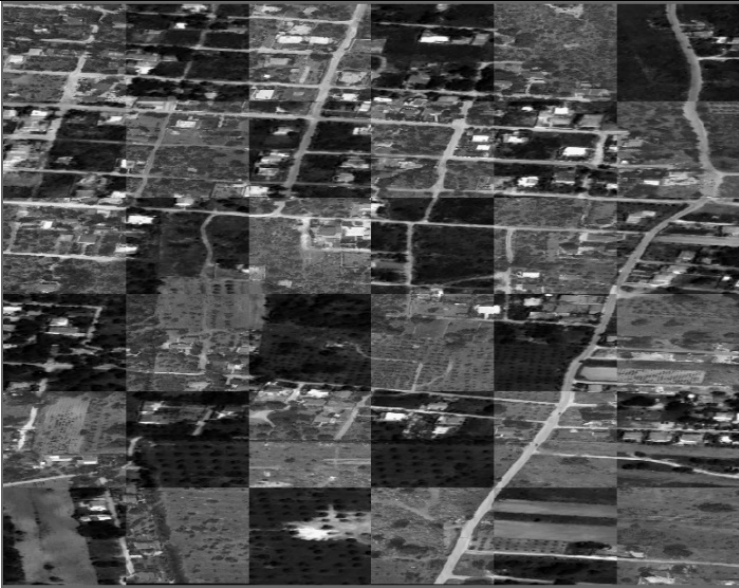


ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΤΑ ΤΟ REGISTRATION

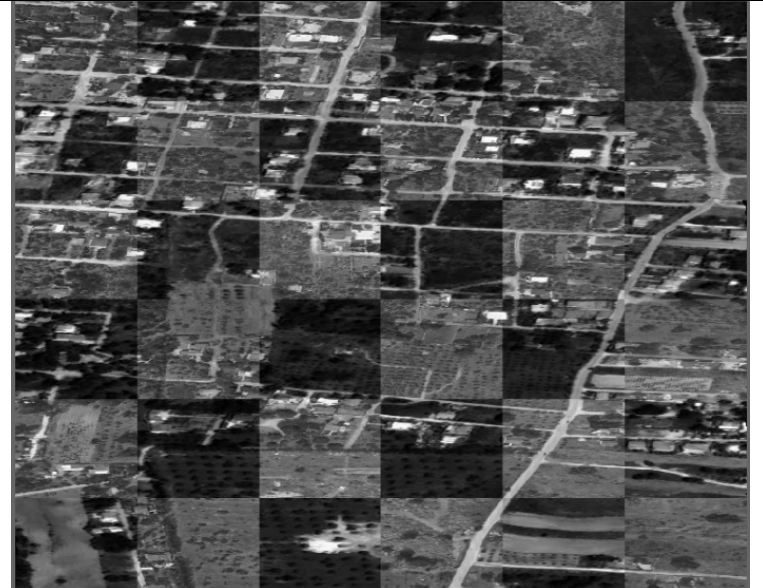


✓ ΖΕΥΓΟΣ 2015-2011

ΕΙΚΟΝΑ ΠΡΙΝ ΤΟ REGISTRATION



ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΤΑ ΤΟ REGISTRATION



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΠΙΝΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

### ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 3.1 Δορυφορικά Δεδομένα προς επεξεργασία .....	29
Πίνακας 3.2 Ζεύγη Εικόνας Στόχου-Εικόνας Αναφοράς .....	33
Πίνακας 3.3 Συνδυασμοί παραμέτρων της μεθόδου που βασίζεται σε MRFs (MR) για κάθε πείραμα. ....	34
Πίνακας 3.4 Κατηγορίες μεταβολών και μη-μεταβολών κάλυψης Γης και η παρουσία τους (πράσινα κελιά) στα εξεταζόμενα ζεύγη εικόνων .....	38
Πίνακας 3.5 Κατηγορία Μεταβολής αραιής βλάστησης σε πισίνα .....	45
Πίνακας 3.6 Κατηγορία αλλαγής από άσπρη άσφαλτος (WHITEASFALTOY) σε πισίνα (PISINA). ....	45
Πίνακας 3.7 : Κατηγορία Μεταβολής από περιοχές με σκουρόχρωμο έδαφος σε περιοχές με ανοιχτόχρωμο έδαφος .....	48
Πίνακας 3.8 Κατηγορία Μεταβολής από ανοιχτόχρωμο έδαφος στην εικόνα 2010, σε σκουρόχρωμο έδαφος στην εικόνα αναφοράς 2015. ....	49
Πίνακας 3.9 Πειράματα Ταξινόμησης για τα ζεύγη 2006-2015 και 2009-2015. ....	55
Πίνακας 3.10 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2010-2015. ....	56
Πίνακας 3.11 Πειράματα ταξινόμησης για το ζεύγος 2011-2015. ....	56
Πίνακας 3.12 Προσθήκη Βαρών στις 41 κατηγοριών στο ζεύγος 2010-2015 στο ζεύγος 2010-2015. ....	57
Πίνακας 3.13 Προσθήκη Βαρών στις 36 κατηγοριών στο ζεύγος 2010-2015. ....	57
Πίνακας 3.14 : Ομαδοποίηση κομμάτι του Πίνακα Σύγκρισης Κατηγορίας Μή Αλλαγής Πυκνή βλάστης (NDV) και Αραιή Βλάστηση (NSV) .....	59
Πίνακας 3.15 Συγκεντρωτικός πίνακας ομαδοποιημένων κατηγοριών και η παρουσία (πράσινα κελιά) τους στα εξεταζόμενα ζεύγη .....	60
Πίνακας 4.1 Πειράματα και μέσοι όροι αποτελεσμάτων ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης για το ζεύγος 2006-2015. Με πράσινη λωρίδα σημειώνεται το πείραμα που αναλύεται αργότερα ποιοτικά και ποσοτικά. ....	63
Πίνακας 4.2 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2006-2015 (8 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών. ....	64
Πίνακας 4.3 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2006-2015 (10 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών .....	66
Πίνακας 4.4 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ταξινόμησης όλων των κατηγοριών .....	68
Πίνακας 4.5 Πίνακας Μέσων Όρων Ποσοστών Ακριβείας ομαδοποιημένων κατηγοριών .....	75
Πίνακας 4.6 Ομαδοποίηση κατηγοριών ζεύγος 2006-2015. ....	76
Πίνακας 4.7 Ποσοστά και Διαφορά ποσοστών Producer's Accuracy για κάθε ομαδοποιημένη κατηγορία. ....	77
Πίνακας 4.8 Ποσοστά και Διαφορά ποσοστών User's Accuracy για κάθε ομαδοποιημένη κατηγορία. ....	77
Πίνακας 4.9: Πίνακας Σύγκρισης ζεύγους 2006-2015 μετά την ομαδοποίηση των κατηγοριών .....	78
Πίνακας 4.10 Πειράματα και μέσοι όροι αποτελεσμάτων ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης για το ζεύγος 2009-2015. Με πράσινη λωρίδα σημειώνεται το πείραμα που αναλύεται αργότερα ποιοτικά και ποσοτικά. ....	83



Πίνακας 4.11 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2009-2015 (8 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών. ....	85
Πίνακας 4.12 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2009-2015 (10 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών. ....	86
Πίνακας 4.13 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ταξινόμησης όλων των κατηγοριών. ....	88
Πίνακας 4.14 Ομαδοποίηση κατηγοριών στο ζεύγος 2009-2015. ....	95
Πίνακας 4.15 Πίνακας Σύγκυσης ομαδοποιημένων κατηγοριών για το ζεύγος 2009-2015. ....	96
Πίνακας 4.16 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ομαδοποιημένων κατηγοριών. ....	97
Πίνακας 4.17 Ποσοστά και Διαφορά ποσοστών Producer’s Accuracy για κάθε ομαδοποιημένη κατηγορία. ....	97
Πίνακας 4.18 : Ποσοστά και Διαφορά ποσοστών User’s Accuracy για κάθε ομαδοποιημένη κατηγορία. ....	97
Πίνακας 4.19 Πειράματα και μέσοι όροι αποτελεσμάτων ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης για το ζεύγος 2010-2015. Με πράσινη λωρίδα σημειώνεται το πείραμα που αναλύεται αργότερα ποιοτικά και ποσοτικά. ....	102
Πίνακας 4.20 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ταξινόμησης όλων των κατηγοριών. ....	103
Πίνακας 4.21 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2010-2015 (6 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών. ....	104
Πίνακας 4.22 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2010-2015 (6 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών. ....	105
Πίνακας 4.23 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ομαδοποιημένων κατηγοριών. ....	111
Πίνακας 4.24 Ομαδοποίηση κατηγοριών ζεύγους 2010-2015. Ομαδοποίηση κατηγοριών ζεύγους 2010-2015. ....	112
Πίνακας 4.25 Πίνακας Σύγκυσης Ομαδοποιημένων κατηγοριών ζεύγους 2010-2015. ....	113
Πίνακας 4.26 Πίνακας ποσοστών ακρίβειας Παραγωγού ομαδοποιημένων κατηγοριών. ....	114
Πίνακας 4.27 Πίνακας ποσοστών αξιοπιστίας Χρήστη ομαδοποιημένων κατηγοριών. ....	114
Πίνακας 4.28 Πειράματα και μέσοι όροι αποτελεσμάτων ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης για το ζεύγος 2011-2015. Με πράσινη λωρίδα σημειώνεται το πείραμα που αναλύεται αργότερα ποιοτικά και ποσοτικά. ....	117
Πίνακας 4.29 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2011-2015 (11 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών. ....	118
Πίνακας 4.30 Πειράματα ταξινόμησης στο ζεύγος 2011-2015 (13 κανάλια) και αναλυτικά ποσοτικά αποτελέσματα δεικτών αξιολόγησης της ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες μεταβολών ή μη μεταβολών. ....	119

Πίνακας 4.31 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ταξινόμησης όλων των κατηγοριών .....	121
Πίνακας 4.32 Ομαδοποιημένες κατηγορίες ζεύγους 2011-2015.....	125
Πίνακας 4.33 Πίνακας Μέσων Όρων ποσοστών ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης ομαδοποιημένων κατηγοριών .....	126
Πίνακας 4.34 Ποσοστά ακρίβειας παραγωγού (ΡΑ%) ομαδοποιημένων κατηγοριών.....	126
Πίνακας 4.35 . Ποσοστά αξιοπιστίας Χρήστη (ΥΑ%) ομαδοποιημένων κατηγοριών.....	126
Πίνακας 4.36 Πίνακας Σύγχυσης ομαδοποιημένων κατηγοριών για το ζεύγος 2011-2015.....	127

## ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 2.1 Οι χάρτες αλλαγής που παράχθηκαν από τις διάφορες τεχνικές. Διαφορετικές προσεγγίσεις πυρήνα (kernel) (a)-(d) και το αποτέλεσμα της ANN (e). Πηγή: Nemmour et al. (2006).....	23
Εικόνα 2.2 Αποτελέσματα μεθόδου. Πεδία εκπαίδευσης (με κόκκινο) (a), εικονοστοιχεία που εντοπίστηκαν ως μεταβλημένα (b). Θεματικοί χάρτες κάλυψης γης της περιοχής, παραγόμενοι από την ταξινόμηση για το 1991 (c), και από την CVA για το 1997 (d). Πηγή: J. Chen 2003.....	24
Εικόνα 2.3 Τύποι άκαμπτων μετασχηματισμών: από αριστερά προς τα δεξιά - η εικόνα και η ομοιότητα αναφοράς, οι συγγενείς και οι προβολικοί μετασχηματισμοί της εικόνας στόχου Πηγή (Khalifa, Beache, Gimelfarb, Suri, & EL-Baz, 2011) .....	25
Εικόνα 2.4 Ελαστικό Παράδειγμα (τοπικό) Παραμόρφωσης Πηγή (Duy, 2009) .....	26
Εικόνα 2.5 Δείγμα των αποτελεσμάτων της έρευνας. (a) Περιοχή πριν την αντιστοίχιση. (b) Περιοχή μετά την αντιστοίχιση με την προτεινόμενη μέθοδο. (c) Περιοχή της εικόνας (a) με ζουμ.(d) Περιοχή της εικόνας (b) με ζουμ. Πηγή (Vakaloroulou & Karantzalos, 2014).....	27
Εικόνα 2.6 Αποτελέσματα της εύκαμπτης αντιστοίχισης. Αριστερά εικόνα από Pleiades και δεξιά από Worldview-2. Πάνω τα δεδομένα πριν την αντιστοίχιση και κάτω μετά. Πηγή (Karantzalos, Sotiras, & Paragios, 2014) .....	27
Εικόνα 3.1 Περιοχή μελέτης .....	28
Εικόνα 3.2 Χαρακτηριστικά εικόνων Quickbird -2 Πηγή Global Land Cover Facility ( <a href="http://glcf.umd.edu/data/quickbird/">http://glcf.umd.edu/data/quickbird/</a> ).....	29
Εικόνα 3.3 Χαρακτηριστικά εικόνων Worldview-2 (Πηγή: <a href="http://www.landinfo.com/WorldView2.htm">http://www.landinfo.com/WorldView2.htm</a> )	30
Εικόνα 3.4 Εντολές στο QGIS για μετατροπή αρείου από Vector σε Raster. ....	51
Εικόνα 3.5 Ομαδοποίηση Κατηγοριών σε όλα τα ζεύγη. ....	61
Εικόνα 4.1 Πίνακας Σύγχυσης ζεύγους 2006-2015 με αναλογία μεταξύ training-testing set 70%-30%....	67
Εικόνα 4.2 Ταξινομημένη Εικόνα μετά την Ομαδοποίηση των κατηγοριών για το ζεύγος 2006-2015.....	79
Εικόνα 4.3 Ταξινομημένη Εικόνα Μεταβολών 2006-2015 μετά την Ομαδοποίηση των κατηγοριών. Με μαύρο απεικονίζονται οι σταθερές κατηγορίες. ....	80
Εικόνα 4.4 Πίνακας Σύγχυσης ζεύγους 2009-2015 (πείραμα 10 καναλιών) με αναλογία μεταξύ training testing set 70%-30%.....	87
Εικόνα 4.5 : Ταξινομημένη Εικόνα μετά την Ομαδοποίηση των κατηγοριών για το ζεύγος 2009-2015... ..	98
Εικόνα 4.6 Πίνακας Σύγχυσης ζεύγους 2010-2015 με αναλογία μεταξύ training testing set 60%-40%. .	106
Εικόνα 4.7 Ταξινομημένη Εικόνα μετά την Ομαδοποίηση των κατηγοριών για το ζεύγος 2010-2015... ..	114
Εικόνα 4.8 Πίνακας Σύγχυσης ζεύγους 2011-2015 με αναλογία μεταξύ training-testing set 70%-30%..	120
Εικόνα 4.9 Ταξινομημένη Εικόνα μετά την Ομαδοποίηση των κατηγοριών για το ζεύγος 2011-2015... ..	128
Εικόνα 5.1 Συγκεντρωτικός πίνακας αναλυτικών και ομαδοποιημένων κατηγοριών για όλα τα ζεύγη αλλά και τα ποσοστά που συγκέντρωσαν. ....	134

## ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 3.1 Κατηγορία πυκνής βλάστησης (NDV) και κατηγορία αραιής βλάστησης (NSV). .....	39
Σχήμα 3.2 Κατηγορίες μη μεταβολών κτιρίων .....	40
Σχήμα 3.3 Κατηγορίες Μη μεταβολών στο κτίριο με θερμοσίφωνο σε άσπρη ταράτσα και με θερμοσίφωνο σε ταράτσα με κεραμοσκεπή και στις δύο εικόνες αντίστοιχα. ....	41
Σχήμα 3.4 Κατηγορίες Μη μεταβολών σε περιοχές πισίνας και στις δύο εικόνες, περιοχές ασφάλτου και στις δύο εικόνες και διαφορετικών φασματικών υπογραφών εδάφους και στις δύο εικόνες .....	43
Σχήμα 3.5 Κατηγορίες Μεταβολών ανάμεσα σε κτίρια, εδάφους με κτίρια, βλάστησης με κτίρια. ....	44
Σχήμα 3.6 Κατηγορίες Μεταβολών από έδαφος σε πισίνα. ....	46
Σχήμα 3.7 Κατηγορίες Μεταβολών από έδαφος σε βλάστηση. ....	47
Σχήμα 3.8 Κατηγορία Αλλαγής από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε πυκνή βλάστηση στο ζεύγος 2010-2015. ....	48
Σχήμα 3.9 Κατηγορίες μεταβολών α) Από πυκνή βλάστηση σε αραιή και β) από αραιή βλάστηση σε πυκνή. ....	49
Σχήμα 3.10 Κατηγορίες μεταβολών α) Από πυκνή βλάστηση σε ανοιχτόχρωμο έδαφος και β) από άσπρο κτίριο σε πυκνή βλάστηση. ....	50
Σχήμα 3.11 Κατηγορίες Μεταβολών α) από κτίριο με κεραμοσκεπή σε ασφαλτο και β) από ανοιχτόχρωμο έδαφος σε ασφαλτο. ....	51
Σχήμα 4.1 α) Δορυφορική Εικόνα (QUICKBIRD) 2006 και β) Ορθοεικόνα 2015 σε έγχρωμο σύνθετο. ....	68
Σχήμα 4.2 α) Η ταξινομημένη εικόνα που περιέχει όλες τις κατηγορίες ήτοι μεταβολές και μη μεταβολές για το ζευγάρι 2006-2015, β) Χάρτης με τις εντοπισμένες μεταβολές για το ζευγάρι 2006-2015 (με λευκό χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές χωρίς μεταβολές). ....	69
Σχήμα 4.3 Παραδείγματα σωστής κατηγοριοποίησης. ....	70
Σχήμα 4.4 Παραδείγματα σωστής κατηγοριοποίησης. ....	71
Σχήμα 4.5 Παραδείγματα λανθασμένης κατηγοριοποίησης. ....	72
Σχήμα 4.6 Παραδείγματα λανθασμένης κατηγοριοποίησης. ....	73
Σχήμα 4.7 Παραδείγματα σωστής κατηγοριοποίησης. ....	74
Σχήμα 4.8 Παραδείγματα λανθασμένης κατηγοριοποίησης. ....	75
Σχήμα 4.9 Παραδείγματα σωστής κατηγοριοποίησης μετά την ομαδοποίηση. ....	81
Σχήμα 4.10 Παραδείγματα λανθασμένης κατηγοριοποίησης μετά την ομαδοποίηση. ....	82
Σχήμα 4.11 α) Δορυφορική Εικόνα (QUICKBIRD) 2009 και β) Ορθοεικόνα 2015 σε έγχρωμο σύνθετο. ....	88
Σχήμα 4.12 α) Η ταξινομημένη εικόνα που περιέχει όλες τις κατηγορίες ήτοι μεταβολές και μη μεταβολές για το ζευγάρι 2009-2015, β) Χάρτης με τις εντοπισμένες μεταβολές για το ζευγάρι 2009-2015 (με λευκό χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές χωρίς μεταβολές). ....	89
Σχήμα 4.13 Παραδείγματα ταξινόμησης για τις κατηγορίες σπίτια με κεραμοσκεπή και σπίτια με γκρι ταράτσα .....	90
Σχήμα 4.14 Παράδειγμα ταξινόμησης κατηγορίας μεταβολής από πυκνή βλάστηση σε άσπρο κτίριο ...	91
Σχήμα 4.15 Παράδειγμα λανθασμένης ταξινόμησης κατηγορίας μη-μεταβολής ασφάλτου/δρόμου σε άσπρο σπίτι. ....	91
Σχήμα 4.16 Παραδείγματα ταξινόμησης μεταβολών σε τμήματα βλάστησης και εδάφους .....	92
Σχήμα 4.17 Παραδείγματα εύστοχης ανίχνευσης μεταβολών στις κατηγορίες LSSV, LSDV και DSLS. ....	93
Σχήμα 4.18 Παράδειγμα ανίχνευσης κατηγορίας μεταβολής από κτίριο με γκρι ταράτσα σε κτίριο με κεραμοσκεπή. ....	94

Σχήμα 4.19 Παραδείγματα σωστής ταξινόμησης ομαδοποιημένων κατηγοριών μη-μεταβολής και μεταβολής κτιρίων, αλλά και λανθασμένη ταξινόμηση μη-μεταβολής κατηγορίας ασφαλτοστρωμένου δρόμου σε κτίριο. ....	99
Σχήμα 4.20 Με μωβ χρώμα στην ταξινομημένη εικόνα παρουσιάζεται η λανθασμένη κατηγοριοποίηση της μεταβολής εδάφους σε μεταβολή από έδαφος σε κτίριο. ....	100
Σχήμα 4.21 Παράδειγμα ομαδοποιημένης κατηγορίας μεταβολής εδάφους με πράσινο σκούρο χρώμα. ....	100
Σχήμα 4.22 α) Δορυφορική Εικόνα (OKXE) 2010 και β) Ορθοεικόνα 2015 σε έγχρωμο σύνθετο. ....	107
Σχήμα 4.23 α) Η ταξινομημένη εικόνα που περιέχει όλες τις κατηγορίες ήτοι μεταβολές και μη μεταβολές για το ζευγάρι 2010-2015, β) Χάρτης με τις εντοπισμένες μεταβολές για το ζευγάρι 2010-2015 (με λευκό χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές χωρίς μεταβολές).....	108
Σχήμα 4.24 Εύστοχη ταξινόμηση άσπρων κτιρίων και κτιρίων με κεραμοσκεπή. που δεν έχουν υποστεί μεταβολή (με άσπρο και πορτοκαλί χρώμα στην εικόνα ταξινόμησης).Με κόκκινα πλαίσια δηλώνονται οι περιοχές που μεγεθύνονται στο Σχήμα 4.25 και Σχήμα 4.26, για αναλυτικότερη εικόνα. ....	109
Σχήμα 4.25 Εύστοχη ταξινόμηση κατηγορίας μεταβολής από πυκνή βλάστηση σε άσπρο κτίριο και άστοχη ανίχνευση ο δρόμος να κατηγοριοποιείται ως ανοιχτόχρωμο έδαφος. ....	109
Σχήμα 4.26 Με φούξια χρώμα εικονοστοιχείων οπτικοποιείται ευστόχως η κατηγορία μεταβολής από άσπρο κτίριο σε γκρι.....	110
Σχήμα 4.27 Κατηγοριοποίηση ιδιαιτερότητας τύπου εδάφους που εμφανίζεται στο άσπρο πλαίσιο και με κόκκινο βελάκι εμφανίζεται η κατηγορία μεταβολής από άσπρο κτίριο σε κεραμοσκεπή .....	110
Σχήμα 4.28 Γενική εικόνα κατηγοριών μη μεταβολών κτιρίων (BLD TO BLD) με μπεζ χρώμα. ....	115
Σχήμα 4.29 Παράδειγμα λανθασμένης ταξινόμησης εξωτερικών σημείων της ασφάλτου σε μη αλλαγή από κτίριο σε κτίριο .....	116
Σχήμα 4.30 Παράδειγμα λανθασμένης ταξινόμησης ομαδοποιημένης κατηγορίας SOIL TO BLD .....	116
Σχήμα 4.31 α) Δορυφορική Εικόνα (Worldview-2) 2011 και β) Ορθοεικόνα 2015 σε έγχρωμο σύνθετο.. ....	121
Σχήμα 4.32 α) Η ταξινομημένη εικόνα που περιέχει όλες τις κατηγορίες ήτοι μεταβολές και μη μεταβολές για το ζευγάρι 2011-2015, β) Χάρτης με τις εντοπισμένες μεταβολές για το ζευγάρι 2011-2015 (με λευκό χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές χωρίς μεταβολές).....	122
Σχήμα 4.33 Εύστοχη ανίχνευση σταθερής κατηγορίας εδάφους μπεζ κόκκινου χρώματος. ....	123
Σχήμα 4.34 Παράδειγμα εύστοχων ταξινομήσεων της κατηγορίας μεταβολής DVNBW.....	124
Σχήμα 4.35 Παράδειγμα εύστοχων ταξινομήσεων των κατηγοριών μη μεταβολής NBG, NBW,NBK. ..	124
Σχήμα 4.36 Παραδείγματα οπτικής αξιολόγησης ομαδοποιημένων κατηγοριών ζεύγους 2011-2015 ..	129
Σχήμα 5.1 Κατηγορίες με μεγαλύτερα ποσοστά ακριβείας Παραγωγού σε όλα τα ζεύγη.Με πράσινο υπογραμμίζονται τα ποσοστά 100%. ....	131
Σχήμα 5.2 Πίνακας οπτικοποίησης εικόνων πρόβλεψης με όλες τις κατηγορίες για κάθε ζεύγος .....	135
Σχήμα 5.3 Συγκριτικά ποιοτικά παραδείγματα .....	136
Σχήμα 5.4 Πίνακας οπτικοποίησης ομαδοποιημένων κατηγοριών εικόνων πρόβλεψης για όλα τα ζεύγη. ....	137
Σχήμα 5.5 Οπτικά παραδείγματα εικόνων πρόβλεψης μετά την ομαδοποίηση. ....	138