

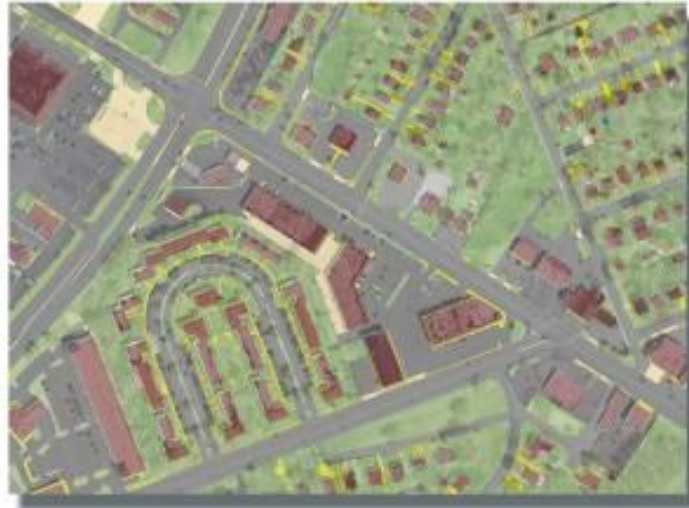


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΔΙΑΠΕΡΑΣΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΕ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπούσουλας Γρηγόριος

Αθήνα, Οκτώβριος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

**ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΔΙΑΠΕΡΑΣΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΕ ΥΨΗΛΗΣ
ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΓΑΛΩΝ
ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπούσουλας Γρηγόριος

Επιβλέπων Καθηγητής: Καράντζαλος Κωνσταντίνος

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 13η Οκτωβρίου 2014

.....
.....

Κ. Καράντζαλος

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Γ. Καρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Β. Καραθανάση

Αν.Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

Μπούσουλας Γρηγόριος

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Μπούσουλας Γρηγόριος, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο **«Ανίχνευση αδιαπέραστων επιφανειών σε υψηλής ανάλυσης τηλεπισκοπικά δεδομένα μεγάλων διαστάσεων»** ανατέθηκε από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με κύριο στόχο τη διερεύνηση, ανάπτυξη και αξιολόγηση μεθόδων ανίχνευσης και εντοπισμού αδιαπέραστων επιφανειών (ανθρωπογενείς κατασκευές όπως δρόμοι, πεζοδρόμια, χώροι στάθμευσης, στέγες) από δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης μεγάλων διαστάσεων.

Στη σημερινή εποχή, η τεράστια συγκέντρωση πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα οδηγεί στη δημιουργία νέων προαστίων και τη δημιουργία νέων κατοικιών, των οποίων η σύνδεση τόσο μεταξύ τους όσο και με την αρχική πόλη, απαιτεί τη βελτίωση των υπαρχόντων οδών και τη διάνοιξη νέων οδών. Ταυτόχρονα, απαιτούνται συνεχώς ανανεωμένες και λεπτομερείς πληροφορίες για το οδικό δίκτυο και ενημέρωση των βάσεων δεδομένων του δικτύου των μεταφορών, καθώς και του Κτηματολογίου με τη χωρική θέση σπιτιών και δρόμων.

Η επιστήμη και κατάρτιση του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού τον βοηθά να έχει υψηλού επιπέδου αντίληψη του γεωγραφικού χώρου, της ακρίβειας και της γεωπληροφορίας. Επιπλέον, η βελτίωση της τεχνολογίας και η αξιοποίηση νέων επιστημονικών δεδομένων έχει δώσει στην τηλεπισκόπηση μια νέα ώθηση να παρέχει γρήγορες, οικονομικές και ακριβείς μεθόδους για τις ανωτέρω εφαρμογές, κάτι που αποτέλεσε και το κίνητρο για την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Πριν την παρουσίαση της εργασίας μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Κωνσταντίνο Καραντζαλο, για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράστασή του σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω να πω στην οικογένειά μου και ειδικά στη σύζυγό μου Δήμητρα, που με υποστήριξε με κάθε τρόπο, όλα αυτά τα 5 εξάμηνα των σπουδών μου στο Ε.Μ.Π.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, που μου έδωσε την δυνατότητα να φοιτήσω στα έδρανα ενός μεγάλου πανεπιστημιακού ιδρύματος και να αποκτήσω νέες και πολύ σημαντικές γνώσεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	5
Περίληψη	9
Abstract	11
1. Εισαγωγή	13
1.1. Αντικείμενο και Στόχοι της εργασίας	14
1.2. Κίνητρο και Συνεισφορά της εργασίας	16
1.3. Δομή Εργασίας	16
2. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας	19
2.1. Ανασκόπηση Γενικής Βιβλιογραφίας	19
2.1.1. Πηγές ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και αρχές ακτινοβολίας	19
2.1.2. Ανακλαστικότητα Επιφανειών	20
2.1.3. Τηλεπισκοπικοί Αισθητήρες.....	23
2.1.4. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων	23
2.1.5. Πολυφασματική Εικόνα.....	24
2.1.6. Συγχώνευση εικόνων (Pansharpening)	25
2.1.7. Ραδιομετρική Διόρθωση	28
2.1.8. Γεωμετρική Διόρθωση	30
2.1.9. Μαθηματική Μορφολογία.....	31
2.1.10. Ταξινόμηση Εικόνων.....	34
2.1.11. Ποσοτική Αξιολόγηση Ταξινομήσεων	35
2.2. Ανασκόπηση Ειδικής Βιβλιογραφίας	39
2.2.1. Γενικά Χαρακτηριστικά Οδικού Δικτύου	43
2.2.2. Χαρτογράφηση οδικού δικτύου.....	43
2.2.3. Φασματικά χαρακτηριστικά των υλικών οδοστρώματος και οροφών κτιρίων	44
2.2.4. Φασματικά χαρακτηριστικά της βλάστησης και των υλικών οδοστρώματος με σκίαση	46
3. Σύγχρονα Δορυφορικά Συστήματα Μέσης και Υψηλής Χωρικής Ανάλυσης 49	
3.1. Ο Δορυφόρος World View-2.....	49
3.2. Ο Δορυφόρος Landsat-8	51
3.3. Ο Δορυφόρος Pleiades	53
4. Ταξινόμηση Δορυφορικών Εικόνων Μεγάλων Διαστάσεων	55
4.1. Περιοχή Μελέτης.....	55
4.2. Γεωχωρικά Δεδομένα	57

4.2.1.	Δορυφορικές Εικόνες World View-2.....	57
4.2.2.	Δορυφορικές Εικόνες Pleiades	60
4.2.3.	Οδικό Δίκτυο	62
4.3.	Προεπεξεργασίες	63
4.3.1.	Δημιουργία Πολυφασματικής Εικόνας World View-2.....	63
4.3.2.	Συγχώνευση εικόνων WorldView-2 (Pansharpering)	64
4.3.3.	Δημιουργία Μωσαικού από εικόνες Pleiades	66
4.4.	Ορθοαναγωγή – Αντιστοίχιση εικόνων	67
4.5.	Επεξεργασία Διανυσματικών Δεδομένων Οδικού Δικτύου.....	72
4.6.	Επεξεργασία Διανυσματικών Δεδομένων Κτιρίων	74
4.7.	Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση	77
➤	Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην Pleiades_test_subset3	78
➤	Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην Wv2_test1_subset3.....	80
➤	Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην Pleiades_test1_subset4	81
➤	Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην wv2_test1_subset4	82
4.8.	Επιβλεπόμενη ταξινόμηση	83
➤	Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην pleiades_test_subset3	84
➤	Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην wv2_test1_subset3	88
➤	Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση στην Pleiades_test1_subset4	89
➤	Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην wv2_test1_subset4	91
5.	Πειραματικά Αποτελέσματα, Ποσοτική και Ποιοτική Αξιολόγηση	93
5.1.	Προβλήματα κατά την αξιολόγηση.....	108
6.	Συμπεράσματα και Προτάσεις.....	111
6.1.	Γενικά Συμπεράσματα	111
6.2.	Ειδικότερα Συμπεράσματα	112
6.3.	Προτάσεις	112
6.4.	Επίλογος.....	113
7.	Βιβλιογραφία	115
Παράρτημα.....		119
	Κατάλογος Εικόνων.....	119
	Κατάλογος Πινάκων.....	121

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματεύεται διεξοδικά μεθόδους και τεχνικές ανίχνευσης και εντοπισμού αδιαπέραστων επιφανειών (ανθρωπογενών κατασκευών), μέσα από διαδικασίες μη επιβλεπόμενης και επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Το τελικό αποτέλεσμα της εξαγωγής των χαρακτηριστικών αυτών δύναται να έχει διανυσματική μορφή για να είναι εφικτή η περαιτέρω εκμετάλλευσή τους σε εφαρμογές ενημέρωσης γεωχωρικών βάσεων δεδομένων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης, όπως World_View-2 (Digital Globe) και Pleiades (Astrium).

Η μελέτη αυτή ουσιαστικά διερευνά το κατά πόσο δύναται τα τελικά αποτελέσματα της ανίχνευσης και εντοπισμού να ενταχθούν σε μία διαδικασία παραγωγής και να γίνουν αντικείμενο εκμετάλλευσής για την αναθεώρηση χαρτών. Πιο συγκεκριμένα:

Στο *πρώτο Κεφάλαιο* παρουσιάζεται ο στόχος και η συνεισφορά της εργασίας.

Στο *δεύτερο Κεφάλαιο* πραγματοποιείται μια ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Αρχικά αναλύονται οι βασικότερες αρχές της Τηλεπισκόπησης και οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν για την εκπόνηση της εργασίας, ενώ στη συνέχεια αναλύονται οι εργασίες που συνδέονται με τις αδιαπέραστες επιφάνειες.

Στη συνέχεια, στο *Κεφάλαιο 3* έχουμε την αναλυτική παρουσίαση των σύγχρονων δορυφορικών συστημάτων μέσης και υψηλής χωρικής ανάλυσης.

Στο *Κεφάλαιο 4* παρουσιάζονται οι πειραματικές προεπεξεργασίες που έγιναν σε γεωχωρικά δεδομένα και δεδομένα αναφοράς, καθώς και τα αποτελέσματα από τις ταξινομήσεις που πραγματοποιήθηκαν.

Στο *Κεφάλαιο 5* ακολουθεί η ποιοτική και ποσοτική αξιολόγησή με τους αντίστοιχους δείκτες και παρατίθενται τα κυριότερα προβλήματα τα οποία εντοπίστηκαν από ολόκληρη την διαδικασία των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν.

Τέλος, στο *Κεφάλαιο 6* περιλαμβάνονται τα τελικά συμπεράσματα από το σύνολο της διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης και προτάσεις για μελλοντική βελτίωση και επέκταση πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

ABSTRACT

The primary goal of this diploma thesis was to study methods and techniques for the detection and recognition of impervious surfaces (artificial surfaces, man-made objects), through supervised and unsupervised classification, in very large, high resolution satellite data.

The motivation was to exploit the use of the resulting detected objects, through a raster or a vector representation, towards the update of geospatial geodatabases (e.g., cadastral database). To this end, very large satellite images, covering >40 sq.km, with high spatial resolution were used, such as WorldView-2 (DigitalGlobe) and Pleiades (Astrium).

Substantially, this study investigates how the final algorithmic outputs can be further employed towards their integration into the map production process and how they could be used towards semi-automated map revision. More specifically:

In the first Chapter, the purpose and contribution of the thesis are presented.

In the second chapter, a review of the state-of-the-art is presented. In the beginning, the basic principles of remote sensing and the methodologies applied in this study are analyzed, and then studies associated with impervious surfaces are presented. In *Chapter 3* there is a detailed presentation of modern satellite systems of medium and high spatial resolution.

Chapter 4 presents the experimental preprocessing made in geospatial data and reference data, and the results of the classifications that were fulfilled. *Chapter 5* includes the qualitative and quantitative evaluation by using standard indexes, and lists the main problems identified during the whole process of the used methodologies.

Finally, *Chapter 6* includes the conclusions of the thesis, as well as recommendations for future improvement and extension on this particular subject.

1. Εισαγωγή

Οι αεροφωτογραφίες και οι δορυφορικές εικόνες παρέχουν μία τεράστια ποσότητα δεδομένων για την επιφάνεια της γης για λεπτομερή ανάλυση, για ανίχνευση μεταβολών και παρακολούθηση, αλλά και για εξαγωγή χαρακτηριστικών (Mayer, 2008).

Τα σημερινά Τηλεπισκοπικά, Φωτογραμμετρικά και Χαρτογραφικά ψηφιακά συστήματα επεξεργασίας παρέχουν πλέον τη δυνατότητα παρακολούθησης του παγκοσμίου περιβάλλοντος με ολόένα και πιο αυτοματοποιημένες μεθόδους. Όλα τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την ύπαρξη δεδομένων υψηλής διακριτικής ικανότητας οδηγούν στην ανάπτυξη νέων προσεγγίσεων και δυνατοτήτων για ποικίλους επιστημονικούς τομείς, όπως τη Γεωπληροφορική. Έτσι λοιπόν για όλες τις εφαρμογές που προκύπτουν, έχουν αναπτυχθεί αντίστοιχα στους τομείς της Φωτογραμμετρίας, της Τηλεπισκόπησης, της Όρασης Υπολογιστών και της Τεχνητής Νοημοσύνης ημιαυτόματες και αυτόματες μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών (Καράντζαλος, 2007).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «*Ανίχνευση αδιαπέραστων επιφανειών σε υψηλής ανάλυσης τηλεπισκοπικά δεδομένα μεγάλων διαστάσεων*» υλοποιήθηκαν και διερευνήθηκαν μέθοδοι αυτόματου εντοπισμού και ανίχνευσης ανθρωπογενών κατασκευών. Πιο συγκεκριμένα με τον όρο:

- «*ανίχνευση αδιαπέραστων επιφανειών*» εννοούμε τη μοντελοποίηση του αντικειμένου, συμπεριλαμβάνοντας τουλάχιστον τη γεωμετρική του περιγραφή. Ουσιαστικά αναφερόμαστε στον εντοπισμό και στην οριοθέτηση πάνω στην ψηφιακή εικόνα χαρακτηριστικών τοπογραφικού ενδιαφέροντος. Πρόκειται για ανθρωπογενείς κατασκευές, όπως δρόμοι, πεζοδρόμια, χώροι στάθμευσης, στέγες κ.α., μέσω των οποίων το νερό δεν μπορεί να διεισδύσει στο έδαφος.

- «*τηλεπισκοπικά δεδομένα*» εννοούμε τα δεδομένα τα οποία προέρχονται από δορυφορικούς δέκτες και συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία αναφερόμαστε σε πολυφασματικές εικόνες υψηλής ανάλυσης World_View-2 και Pleiades χωρικής ανάλυσης 0.5m.

1.1. Αντικείμενο και Στόχοι της εργασίας

Βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση, ανάπτυξη και αξιολόγηση μεθοδολογίας για την ανίχνευση και εντοπισμό των αδιαπέραστων επιφανειών. Συνεπώς το αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εντάσσεται στα πεδία της Φωτογραμμετρίας και της Τηλεπισκόπησης αλλά και της Όρασης Υπολογιστών.

Τα επιστημονικά πεδία της Φωτογραμμετρίας και της Τηλεπισκόπησης συμβάλλουν από την πλευρά τους στην εξαγωγή στοιχείων όπως το σχήμα, την υφή, το μέγεθος, το πρότυπο, τη θέση και διάταξη στο χώρο των αντικειμένων στο φυσικό περιβάλλον, ενώ το επιστημονικό πεδίο της Όρασης Υπολογιστών συμβάλλει με τη γνώση για μεθοδολογίες και τεχνικές ανάλυσης, επεξεργασίας και εξαγωγή πληροφορίας από σήματα και εικόνες. Με αυτόν τον τρόπο τα παραπάνω επιστημονικά πεδία αλληλοσυμπληρώνονται στην προσπάθεια για εξαγωγή χαρακτηριστικών τόσο από εναέρια όσο και από δορυφορικά δεδομένα (Καράντζαλος, 2007)

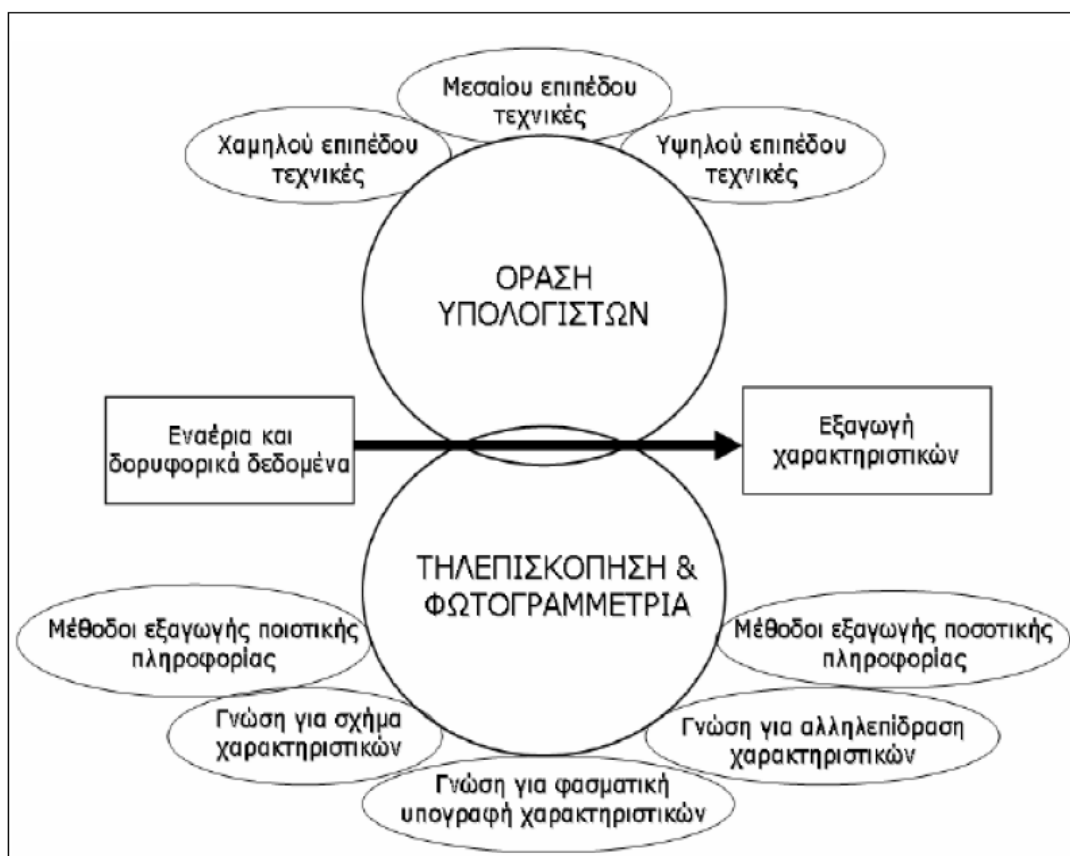
Το επιστημονικό πεδίο της Όρασης Υπολογιστών είναι ευρύτατο και μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις βασικές τεχνικές, όπως παρουσιάζεται και στη Εικόνα 1-1, ανάλογα με το είδος των προς επεξεργασία δεδομένων (Καράντζαλος, 2007):

- *Χαμηλού επιπέδου τεχνικές (Low Level Techniques)*: Οι τεχνικές χαμηλού επιπέδου είναι οι βασικές επεξεργασίες που πρέπει να γίνουν σε μία εικόνα ώστε από την αρχική εικόνα να εντοπιστούν και να εξαχθούν τα θεμελιώδη «πρωταρχικά» στοιχεία της. Πρόκειται για χαρακτηριστικά σημεία και ακμές όλων ή μερικών αντικειμένων που ανιχνεύονται έπειτα από την εφαρμογή τεχνικών φιλτραρίσματος (ενίσχυσης, ομαλοποίησης και απλοποίησης των εικόνων) και ανίχνευσης σημείων και ακμών. Ουσιαστικά οι συγκεκριμένες τεχνικές επεξεργάζονται τα δεδομένα σε επίπεδο pixel.

- *Μεσαίου επιπέδου τεχνικές (Medium Level Techniques)*: Αυτές περιλαμβάνουν την κατάτμηση της εικόνας ώστε να περιγραφούν και εντοπιστούν τα όρια των πρωτογενών αντικειμένων καθώς και η παράλληλη ανάπτυξη και χρήση ενός γενικού πιθανολογικού/στατιστικού μοντέλου για το σχήμα των αντικειμένων, το οποίο να περιγράφει τα πιο κοινά χαρακτηριστικά του γνωρίσματα. Παρόμοιο μοντέλο απαιτείται και για την κίνηση αντικειμένων σε όποιες περιπτώσεις αυτή υπάρχει. Παραδείγματα τέτοιων τεχνικών είναι η *αντικειμενοστραφής ταξινόμηση*

(object oriented classification), η *κατάτμηση* χαρακτηριστικών και υφής (feature and texture segmentation).

- *Υψηλού επιπέδου τεχνικές (High Level Techniques)*: Κατά τις υψηλού επιπέδου επεξεργασίες εξάγονται συμπεράσματα για την ερμηνεία εικόνας. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για την αναγνώριση/κατανόηση ενός αντικειμένου: αναγνώριση βασισμένη σε ένα πρότυπο/μοντέλο (model – based recognition) και η αναγνώριση βασισμένη στη μάθηση (learning – based recognition).



Εικόνα 1-1: Η εξαγωγή χαρακτηριστικών και η σχέση της με τα πεδία της Φωτογραμμετρίας, της Τηλεπισκόπησης και της Όρασης Υπολογιστών

Πηγή : Καράντζαλος, 2007

Έμφαση δόθηκε στις αδιαπέραστες επιφάνειες, όπως οδικό δίκτυο, στέγες κτιρίων, περιοχές στάθμευσης. Θα πρέπει να τονιστεί η ιδιαίτερη προσοχή και επιμέλεια που δόθηκε στην εκτέλεση όλων των δυνατών δοκιμών στους αλγόριθμους για τον αποτελεσματικό εντοπισμό των παραμέτρων, αλλά και του τρόπου με τον οποίο αυτοί επηρεάζουν την ποιότητα των αποτελεσμάτων.

1.2. Κίνητρο και Συνεισφορά της εργασίας

Κίνητρο για τη διερεύνηση μεθοδολογιών ανίχνευσης και εντοπισμού αδιαπέραστων επιφανειών αποτέλεσαν οι συνεχείς ανάγκες για την ύπαρξη ενός ανανεωμένου υποβάθρου, το οποίο θα μπορεί να αξιοποιηθεί για την αναθεώρηση χαρτών, αποφεύγοντας την χρονοβόρα και κοστοβόρα ψηφιοποίηση, παράλληλα με την καλύτερη αξιοποίηση του έμψυχου δυναμικού. Επιπλέον κίνητρο αποτέλεσε η συχνότητα με την οποία πραγματοποιούνται συνεχώς λήψεις από τους δορυφόρους και η ευκολία των χρηστών στην προσβασιμότητα των νέων πληροφοριών. Τέλος, οι συνεχείς υπηρεσιακές ανάγκες των Ενόπλων Δυνάμεων για γνώση νέων δρομολογιών και καταλληλότητας των υπαρχόντων. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι πλέον στις μέρες μας, με την τεχνολογική πρόοδο που έχει επιτευχθεί, κύρια επιδίωξη δεν είναι τόσο η ανάλυση της υπάρχουσας πληροφορίας, αλλά η απόκτηση, συλλογή και αξιοποίηση κάθε νέας πληροφορίας.

Η συνεισφορά της παρούσας εργασίας συνοψίζεται στα παρακάτω σημεία:

- Διερεύνηση, ανάπτυξη και αξιολόγηση αλγορίθμων για την ανίχνευση και εντοπισμό αδιαπέραστων επιφανειών από δορυφορικά δεδομένα με βάση τις τεχνικές μη επιβλεπόμενης και επιβλεπόμενης ταξινόμησης.
- Διερεύνηση και αξιολόγηση της χρήσης ανοιχτών γεωχωρικών δεδομένων για την εκπαίδευση αλγορίθμων μάθησης σε δεδομένα μεγάλων διαστάσεων.

1.3. Δομή Εργασίας

Αρχικά, όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή, έχουμε το *Κεφάλαιο 1*, που αποτελεί την εισαγωγή στο αντικείμενο, τον στόχο και την συνεισφορά της εργασίας. Στην συνέχεια ακολουθούν άλλα πέντε (5) κεφάλαια.

Στο *Κεφάλαιο 2* πραγματοποιείται μια ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Αρχικά αναλύονται οι βασικότερες αρχές της Τηλεπισκόπησης και οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν για την εκπόνηση της εργασίας, ενώ στη συνέχεια αναλύονται οι εργασίες που συνδέονται με τις αδιαπέραστες επιφάνειες.

Στη συνέχεια, στο *Κεφάλαιο 3* έχουμε την αναλυτική παρουσίαση των σύγχρονων δορυφορικών συστημάτων μέσης και υψηλής χωρικής ανάλυσης.

Στο *Κεφάλαιο 4* παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, τα γεωχωρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, οι προεπεξεργασίες που έγιναν σε γεωχωρικά δεδομένα και δεδομένα αναφοράς, καθώς και τα σημαντικότερα αποτελέσματα από τις ταξινομήσεις που πραγματοποιήθηκαν.

Στο *Κεφάλαιο 5* ακολουθεί η ποιοτική και ποσοτική αξιολόγησή με τους αντίστοιχους δείκτες και παρατίθενται τα κυριότερα προβλήματα τα οποία εντοπίστηκαν από ολόκληρη την διαδικασία των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν.

Τέλος, στο *Κεφάλαιο 6* περιλαμβάνονται τα τελικά συμπεράσματα από το σύνολο της διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης και προτάσεις για μελλοντική βελτίωση και επέκταση πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο. Το τεύχος ολοκληρώνεται στο *Κεφάλαιο 7*, με την παράθεση της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε για την σύνταξη της παρούσας εργασίας.

2. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

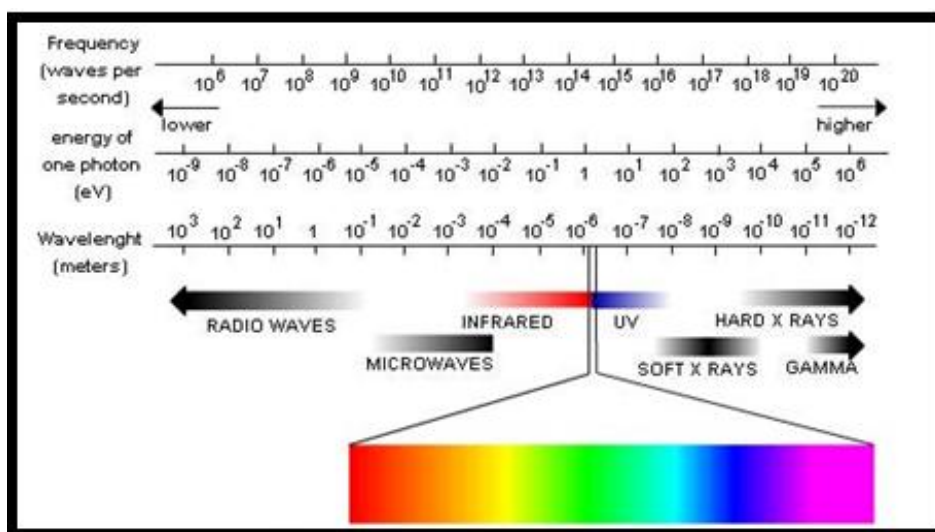
Στο Κεφάλαιο 2 πραγματοποιείται ανασκόπηση της σημαντικότερης βιβλιογραφίας για το αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Αρχικά, γίνεται μια ανασκόπηση των βασικών αρχών της Τηλεπισκόπησης και των σημαντικότερων εργασιών που έχουν αξιοποιηθεί στην παρούσα εργασία, ενώ στη συνέχεια ακολουθεί μια συνοπτική ανάλυση των εργασιών που έχουν στενή εφαρμογή με την παρούσα διπλωματική.

2.1. Ανασκόπηση Γενικής Βιβλιογραφίας

Η τηλεπισκόπηση ασχολείται με την απομακρυσμένη συλλογή και ερμηνεία πληροφοριών που αφορούν τα φυσικά χαρακτηριστικά αντικειμένων ή περιοχών, αξιοποιώντας την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται ή ανακλάται από αυτά. Η συλλογή και η καταγραφή της ακτινοβολίας πραγματοποιείται υπό μορφή ψηφιακών εικόνων από τηλεπισκοπικούς αισθητήρες προσαρτημένους σε δορυφόρους (Ιερωνυμίδα, 2009).

2.1.1. Πηγές ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και αρχές ακτινοβολίας

Το σύνολο της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας η οποία ακτινοβολείται από τον ήλιο στη γη συνιστά το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.



Εικόνα 2-1: Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Πηγή: <http://panacea.med.uoa.gr/topic.aspx?id=920>, 2014

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια περιγράφεται από την κυματική θεωρία ως μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Στην Τηλεπισκόπηση, είναι πιο συνηθισμένο να κατηγοριοποιούνται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ανάλογα με τη θέση τους μέσα στο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η πιο καθιερωμένη μονάδα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του μήκους κύματος κατά μήκος του φάσματος είναι το *μικρόμετρο* ($1 \cdot 10^{-6}$ m).

Η ακτινοβολία που μπορεί να εντοπιστεί από το ανθρώπινο μάτι (από 400 έως 700 nm) δεν είναι παρά ένα πολύ μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το μπλε χρώμα απεικονίζεται στο εύρος από 0,4 έως 0,5μm περίπου. Το πράσινο από 0,5 έως 0,6μm, ενώ κόκκινο από 0,6 έως 0,7μm περίπου.

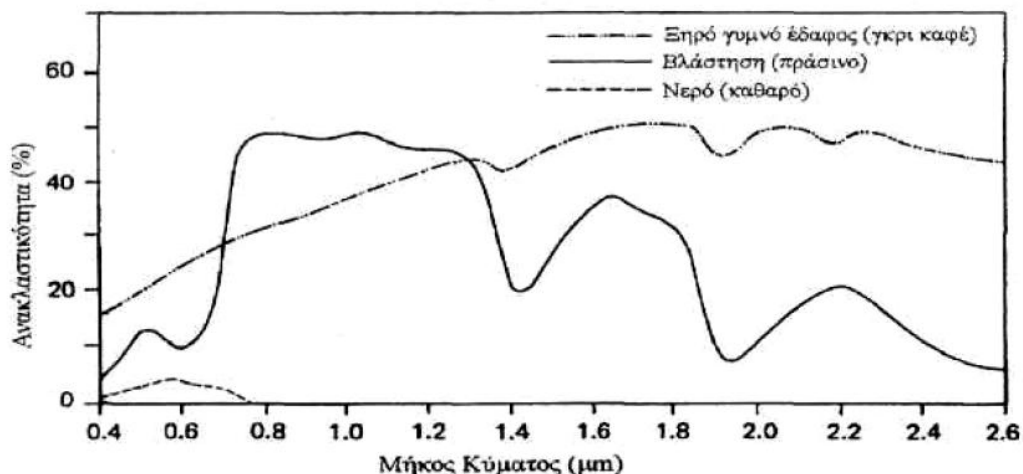
Η υπεριώδης ακτινοβολία (Ultraviolet radiation) έχει συχνότητα λίγο παραπάνω από αυτή του ορατού φωτός. Το μήκος κύματος της εκτείνεται από 50 μέχρι και 400 nm.

Η υπέρυθρη ακτινοβολία (Infrared radiation) εκτείνεται σε ένα μήκος κύματος από εκεί που σταματάει η ορατή ακτινοβολία, δηλαδή περίπου τα 700 nm μέχρι περίπου το ένα χιλιοστό. Στο τέλος του κόκκινου (τέλος ορατής περιοχής) συνορεύουν 3 διαφορετικές κατηγορίες υπέρυθρων κυμάτων: Το εγγύς υπέρυθρο (από 0.7 έως 1.3μm), το μέσο υπέρυθρο (από 1.3 έως 3μm) και το θερμικό υπέρυθρο (πέρα των 3μm). Η μικροκυματική περιοχή του φάσματος βρίσκεται μεταξύ του 1mm και του 1m (Αργιαλάς, 2000).

2.1.2. Ανακλαστικότητα Επιφανειών

Κάθε υλικό ανακλά την προσπίπτουσα σε αυτό ακτινοβολία με διαφορετικό και χαρακτηριστικό τρόπο, ως προς το ποσοστό της ανάκλασης και τα μήκη κύματος στα οποία παρατηρείται αυτή. Η διαφοροποίηση αυτή εξαρτάται κυρίως από τη σύσταση και τη δομή των υλικών.

Για κάθε αντικείμενο η κατανομή της καταγεγραμμένης εκπεμπόμενης ή ανακλώμενης ακτινοβολίας στα διάφορα μήκη κύματος περιγράφεται από μια καμπύλη. Η καμπύλη αυτή είναι μοναδική για κάθε αντικείμενο και αποτελεί τη φασματική ταυτότητα αυτού. Βάσει της φασματικής υπογραφής ενός αντικειμένου καθίσταται δυνατή η αναγνώριση και διάκριση του από τα υπόλοιπα (Ιερωνυμίδα, 2009).



Εικόνα 2-2: Τυπικές Καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για βλάστηση, νερό και έδαφος

Πηγή: Αργιαλάς, 2000

Το διάγραμμα στην Εικόνα 2-2 παρουσιάζει τις τυπικές καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για τρία βασικά είδη γήινων χαρακτηριστικών: πράσινη υγιής βλάστηση, ξηρό και γυμνό έδαφος και καθαρό λιμναίο νερό. Οι γραμμές στο διάγραμμα αυτό, απεικονίζουν καμπύλες μέσης φασματικής ανακλαστικότητας που στηρίζονται σε μετρήσεις ενός σημαντικού δείγματος. Σε γενικές γραμμές, η μορφή της καμπύλης μέσης φασματικής ανακλαστικότητας είναι ένας δείκτης του είδους και των συνθηκών ενός υλικού, στο οποίο αυτές εφαρμόζονται. Αν και η ανακλαστικότητα του κάθε είδους υλικού θα μεταβάλλεται σημαντικά περί τον μέσο όρο, οι καμπύλες αυτές επισημαίνουν μερικά θεμελιώδη σημεία, όσον αφορά στην φασματική ανακλαστικότητα.

Η χλωροφύλλη απορροφά σημαντικά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που βρίσκεται περί τα 0.45 και 0.67μm. Συνεπώς, βλέπουμε την υγιή βλάστηση ως πράσινη λόγω της μεγάλης απορρόφησης της μπλε και κόκκινης ενέργειας από τα φύλλα των φυτών, και μεγάλης ανάκλασης της πράσινης ενέργειας. Εάν ένα φυτό είναι σε ασθενική κατάσταση, η οποία διακόπτει την κανονική του ανάπτυξη και παραγωγικότητα, αυτό μπορεί να παρουσιάσει ελάττωση ή παύση χλωροφύλλης. Το αποτέλεσμα είναι η λιγότερη απορρόφηση της μπλε και κόκκινης ακτινοβολίας. Όταν η κόκκινη ακτινοβολία αυξηθεί, τότε το φυτό φαίνεται να κιτρινίζει (συνδυασμός πράσινου και κόκκινου). Καθώς το μήκος κύματος αυξάνεται από το ορατό προς το εγγύς υπέρυθρο μέρος του φάσματος, γύρω στα 0.7μm, η ανακλαστικότητα της υγιούς βλάστησης αυξάνεται σημαντικά. Στην περιοχή από 0.7 μέχρι 1.3μm, το φύλλωμα των φυτών τυπικώς ανακλά το 40-50% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Πέρα από τα 1.3μm, η προσπίπτουσα στη βλάστηση ακτινοβολία, απορροφάται ουσιαστικά, ή ανακλάται, χωρίς να διαπερνά το φύλλωμα.

Η καμπύλη ανακλαστικότητας του εδάφους δείχνει πολύ μικρότερες μεταβολές. Άρα, οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα των εδαφών, ενεργούν σε λιγότερο συγκεκριμένες φασματικές ζώνες. Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα του εδάφους, είναι η περιεχόμενη υγρασία, η υφή του εδάφους, η επιφανειακή τραχύτητα, η παρουσία οξειδίων του σιδήρου και η περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά. Αυτοί οι παράγοντες είναι σύνθετοι, μεταβλητοί και αλληλοσυσχετιζόμενοι. Για παράδειγμα, η ύπαρξη υγρασίας στο έδαφος ελαττώνει την ανακλαστικότητα του. Όπως και στη βλάστηση, η επίδραση αυτή είναι μέγιστη στις ζώνες υδατοαπορρόφησης που βρίσκονται περίπου στα 1.4, 1.9 και 2.7μm. Η υγρασία του εδάφους σχετίζεται άμεσα με την εδαφική υφή: χονδρόκοκκα, αμμώδη εδάφη παρουσιάζουν συνήθως καλή αποστράγγιση, με αποτέλεσμα να έχουν χαμηλό ποσοστό υγρασίας και σχετικά υψηλή ανακλαστικότητα. Λεπτόκοκκα εδάφη με χαμηλή αποστράγγιση θα έχουν γενικά χαμηλότερη ανακλαστικότητα. Απουσία ύδατος, όμως, τα εδάφη συνήθως εμφανίζονται αντιστρόφως: τα χονδρόκοκκα εδάφη θα παρουσιάζονται σκουρότερα από τα λεπτόκοκκα.

Όσον αφορά στη φασματική απορρόφηση του νερού, πιθανώς το πιο διακριτό χαρακτηριστικό που συνάγεται από την καμπύλη μέσης φασματικής ανακλαστικότητας του νερού, είναι η απορρόφηση της ενέργειας σε μήκη κύματος που αντιστοιχούν στην εγγύς υπέρυθρη περιοχή. Εν συντομία, το νερό απορροφά την υπέρυθρη ακτινοβολία είτε ως λίμνη, θάλασσα ή ποτάμι, είτε ως συστατικό της βλάστησης ή του εδάφους. Λόγω αυτής της ιδιότητας του η ανίχνευση, ο εντοπισμός και η οριοθέτηση των υδατικών μαζών γίνονται σχετικά εύκολα στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα. Όμως, συγκεκριμένες συνθήκες των υδατικών μαζών εκδηλώνονται φασματικά, κυρίως στο ορατό τμήμα του φάσματος. Οι αλληλεπιδράσεις ενέργειας/νερού είναι σύνθετες και εξαρτώνται από πολλούς και αλληλοσυσχετιζόμενους παράγοντες. Για παράδειγμα, η ανακλαστικότητα των υδατικών μαζών μπορεί να πηγάζει από μια αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την επιφάνεια των υδατικών μαζών (κατοπτρική ανάκλαση), με τα αιωρούμενα στο νερό σωματίδια, ή με τον πυθμένα των υδατικών μαζών (για ρηχά νερά). Στα βαθιά νερά, όπου οι επιδράσεις στον πυθμένα είναι αμελητέες, η ανακλαστικότητα ενός υδάτινου σώματος είναι συνάρτηση, όχι μόνο καθεαυτού του νερού, αλλά και των υλικών που βρίσκονται σ' αυτό (Αργιαλάς, 2000).

2.1.3. Τηλεπισκοπικοί Αισθητήρες

Κάθε εικονοστοιχείο (pixel) των καταγεγραμμένων ψηφιακών εικόνων αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη περιοχή της επιφάνειας της γης, και εμφανίζει συγκεκριμένη τιμή ακτινοβολίας στην οποία αποδίδεται συγκεκριμένο χρώμα ή τόνος του γκρι. Η διάσταση της γήινης επιφάνειας που αντιστοιχεί σε ένα εικονοστοιχείο καθορίζει και τη χωρική διαχωριστική ικανότητα ή χωρική ανάλυση του αισθητήρα, δηλαδή τη δυνατότητα διάκρισης των αντικειμένων στον χώρο.

Οι τηλεπισκοπικοί αισθητήρες χαρακτηρίζονται επίσης και από τη φασματική ανάλυση τους, η οποία εξαρτάται από τα μήκη κύματος του φάσματος που καταγράφει κάθε αισθητήρας. Η πληροφορία που καταγράφεται από μια στενή περιοχή μηκών κύματος (φασματική ζώνη) συλλέγεται και αποθηκεύεται σε ένα φασματικό κανάλι. Όσο αυξάνεται η φασματική ανάλυση, τόσο μειώνεται ο αριθμός των μηκών κύματος που καταγράφει το κάθε φασματικό κανάλι του αισθητήρα, γεγονός που συνεπάγεται ακριβέστερη απόδοση της φασματική καμπύλης ενός υλικού.

Ανάλογα με εύρος της ζώνης, οι αισθητήρες διακρίνονται σε υπερφασματικούς και πολυφασματικούς. Οι υπερφασματικοί καταγράφουν από 32 έως και περισσότερες από 256 φασματικές ζώνες και καλύπτουν το ορατό και υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι πολυφασματικοί αισθητήρες συνήθως δεν υπερβαίνουν τις οκτώ ζώνες καταγραφής (π.χ. δορυφόρος World_View-2).

2.1.4. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων

Η ανάλυση δορυφορικών εικόνων είναι η διαδικασία διάκρισης των φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών που αποτυπώνονται σε αυτές και μπορούν να εντοπιστούν με βάση τον τρόπο με τον οποίο ανακλούν και εκπέμπουν ακτινοβολία. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία καταγράφεται από το δορυφορικό αισθητήρα και απεικονίζεται σε μία εικόνα με τους διάφορους τόνους του γκρι.

Η αναγνώριση των φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών αποτελεί το κλειδί για την ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων και την εξαγωγή πληροφορίας από αυτές. Η ανάλυση των δορυφορικών εικόνων γίνεται κυρίως με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- Ο *τόνος* αφορά τη σχετική φωτεινότητα ή το χρώμα των αντικειμένων στις απεικονίσεις. Ο τόνος είναι ένα βασικό οπτικό χαρακτηριστικό για τον διαχωρισμό των στοιχείων στην εικόνα. Οι μεταβολές στον τόνο επιτρέπουν την διάκριση και άλλων οπτικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων, όπως σχήμα, υφή κ.α.

- Η *υφή* είναι η συχνότητα των αλλαγών του τόνου σε μία συγκεκριμένη περιοχή της εικόνας. Οι διαβαθμίσεις του γκρι χρώματος δημιουργούνται επειδή τα διάφορα αντικείμενα αντανακλούν ή εκπέμπουν ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος και ενεργειακής έντασης.

- Το *σχήμα* αναφέρεται στην γενική μορφή, δομή και περίγραμμα ενός αντικειμένου. Επίσης το σχήμα των αντικειμένων είναι ένα σημαντικό στοιχείο για την ερμηνεία της εικόνας. Πολλά αντικείμενα μπορούν να αναγνωριστούν με μεγάλη βεβαιότητα από το σχήμα τους ή την μορφή τους

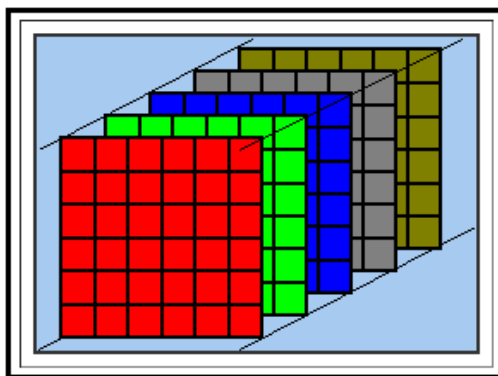
- Το *μέγεθος* σχετίζεται με τις φαινομενικές διαστάσεις όπως μήκος, ύψος, εμβαδόν και όγκο. Το μέγεθος ενός αντικειμένου στην εικόνα είναι συνάρτηση της χωρικής κλίμακας.

- Η *διάταξη*. Μια συστηματική επανάληψη παρόμοιων τόνων και υψών δημιουργεί μια διακριτική και συνεπώς αναγνωρίσιμη μορφή. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν π.χ. γεωργικές δραστηριότητες, όπως αγροκτήματα είτε αστική δόμηση με συνεχή κτίσματα.

- Η *σκίαση*, που χρησιμεύει για την ερμηνεία της εικόνας επειδή μπορεί να δώσει στοιχεία για το προφίλ και το σχετικό ύψος ενός αντικειμένου, και καθιστά την αναγνώριση του πιο εύκολη. Η σκιά τονίζει την τοπογραφία και μορφολογία του εδάφους, όμως αποκρύπτει πληροφορίες της περιοχής που καλύπτει.

2.1.5. Πολυφασματική Εικόνα

Για τη δημιουργία μιας πολυφασματικής εικόνας είναι απαραίτητη η επίθεση του ενός φασματικού καναλιού επάνω στο άλλο. Η χρησιμότητα της είναι ιδιαίτερα μεγάλη, διότι συνενώνονται τα μεμονωμένα κανάλια εικόνων (image bands) σε μια ενιαία πολυφασματική εικόνα. Επίσης, συχνά χρησιμοποιείται για να συνδυάσει παράγωγα της εικόνας με άλλα κανάλια για περαιτέρω αναλύσεις π.χ. εικόνα που προέκυψε με το δείκτη NDVI σε συνδυασμό με άλλα κανάλια για την πραγματοποίηση βέλτιστης ταξινόμησης.



Εικόνα 2-3: Πολυφασματική εικόνα που αποτελείται από πέντε κανάλια

Πηγή : www.crisp.nus.edu.sg/~research , 2014

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην επιλογή των καναλιών της δορυφορικής εικόνας που θα συνδυαστούν, διότι πρέπει να έχουν την ίδια χωρική ανάλυση. Καλό είναι τα παγχρωματικά και τα θερμικά κανάλια, που συνήθως έχουν διαφορετική ανάλυση, να παραμένουν σε ξεχωριστά αρχεία.

Η πολυφασματική εικόνα συνεπώς αποτελείται από επιμέρους εικόνες, έκαστη των οποίων καταγράφει στενές περιοχές μηκών κύματος (φασματικά κανάλια). Η αλληλεπίδραση μεταξύ των υλικών της γήινης επιφάνειας και της ηλιακής ακτινοβολίας διαφοροποιείται με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Κατ' επέκταση, το ίδιο υλικό εμφανίζεται με διαφορετικό τρόπο σε κάθε κανάλι (π.χ. η βλάστηση εμφανίζεται σκουρόχρωμη στα κανάλια του ορατού και ανοιχτόχρωμη στο εγγύς υπέρυθρο).

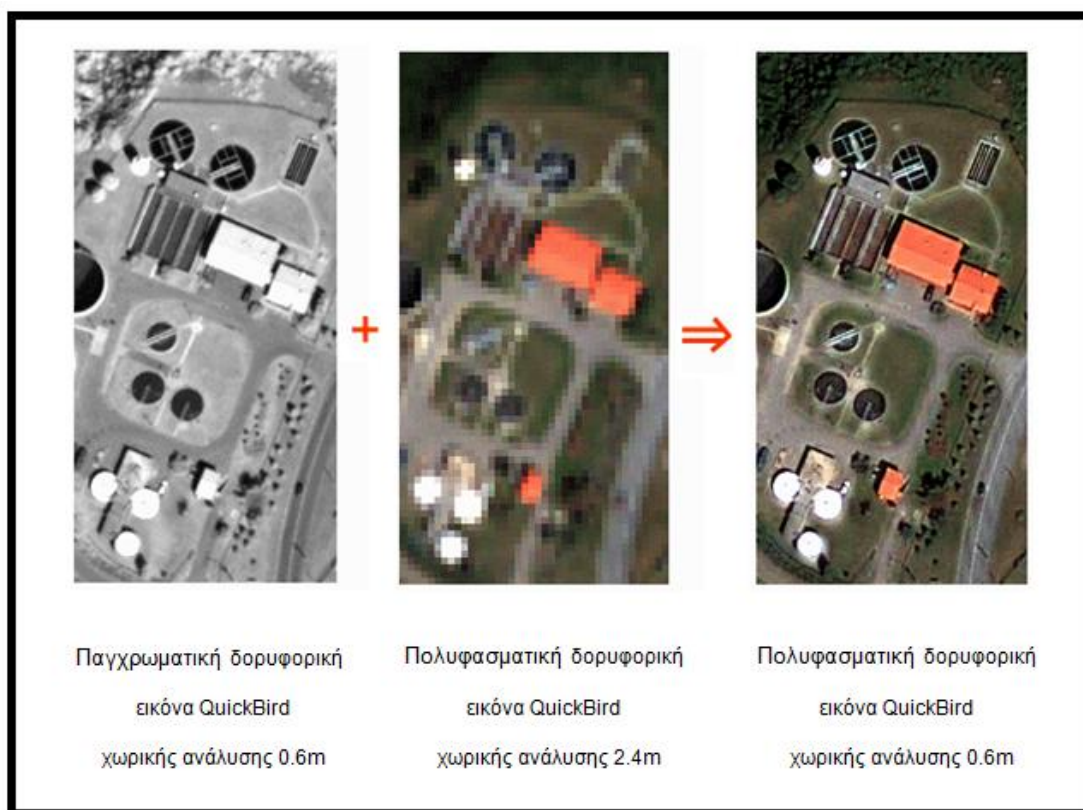
Η ψηφιακή απεικόνιση της φασματικής πληροφορίας που περιλαμβάνουν τα κανάλια μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας συνδυασμούς τριών καναλιών, σε κάθε ένα από τα οποία αποδίδεται ένα από τα τρία βασικά χρώματα (κόκκινο, πράσινο, κίτρινο). Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπεται ο ποιοτικός διαχωρισμός επιφανειών ή αντικειμένων (π.χ. γυμνά ή πρόσφατα καλλιεργημένα εδάφη, δασικές περιοχές, κ.α.).

2.1.6. Συγχώνευση εικόνων (Pansharpering)

Το μειονέκτημα των ψηφιακών εικόνων που καταγράφονται από κάθε κανάλι των πολυφασματικών αισθητήρων είναι η χαμηλή χωρική ανάλυση. Σε αρκετές εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης παρατηρείται η ανάγκη εικόνων που παρέχουν

ταυτόχρονα την υψηλή χωρική ανάλυση των παγχρωματικών και την υψηλή φασματική ανάλυση των πολυφασματικών εικόνων. Σε εμπορικό τουλάχιστον επίπεδο, δεν υπάρχουν αισθητήρες που να καταγράφουν τέτοιου τύπου εικόνες. Η συγχώνευση εικόνων αποτελεί, μέχρι σήμερα, την καλύτερη λύση σε αυτό το πρόβλημα.

Η συγχώνευση αφορά το συνδυασμό εικόνων, με διαφορετικά και συμπληρωματικά χαρακτηριστικά, για τη δημιουργία μιας νέας εικόνας που περιλαμβάνει όσο το δυνατόν περισσότερο από τα χαρακτηριστικά και τις πληροφορίες των αρχικών δεδομένων. Η πληροφορία που εξάγεται από την τελική εικόνα είναι σαφώς βελτιωμένη και η ερμηνεία αυτής αρκετά πιο εύκολη, σε σύγκριση με την ερμηνεία των μεμονωμένων αρχικών εικόνων, όπως παρατηρείται και στην κάτωθι Εικόνα 2-4:



Εικόνα 2-4: Αποτέλεσμα του Pansharpening

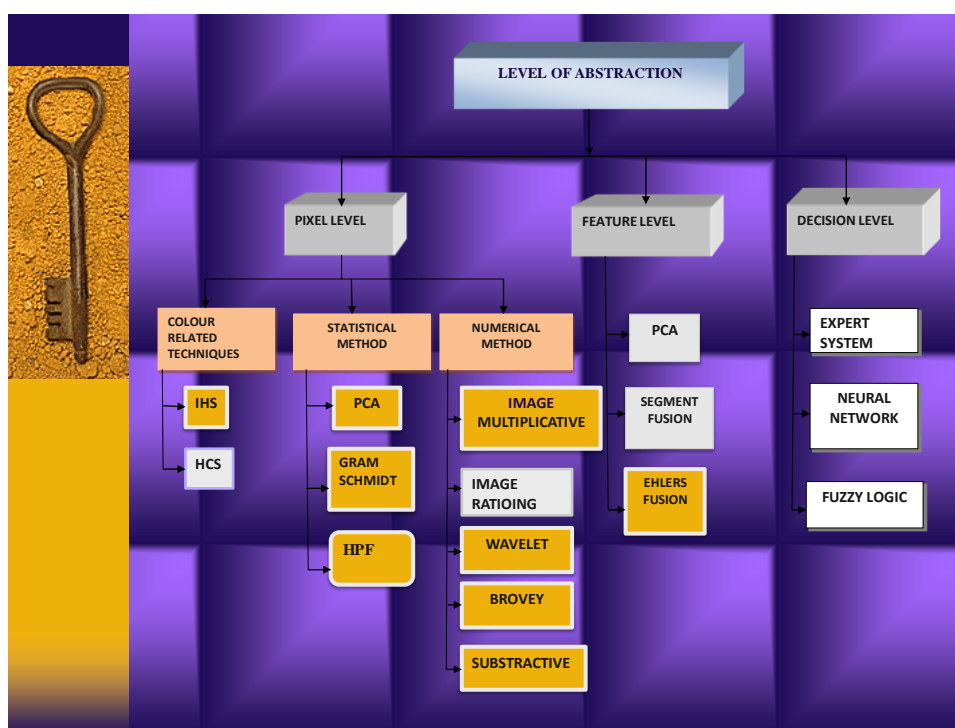
Πηγή : <http://www.geosage.com/highview/imagefusion.html>

Η θεωρία της συγχώνευσης εικόνων αποτέλεσε, από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, και συνεχίζει να αποτελεί αντικείμενο μελέτης για διάφορους ερευνητές. Συγχώνευση εικόνων μπορεί να πραγματοποιηθεί σε τρία διαφορετικά επίπεδα (Pohl and Van Genderen, 1998):

- *Επίπεδο εικονοστοιχείου*, όπου το εικονοστοιχείο της μιας εικόνας συγχωνεύεται με το αντίστοιχο εικονοστοιχείο της δεύτερης εικόνας, με την προϋπόθεση οι δύο εικόνες να έχουν ίδιες διαστάσεις εικονοστοιχείων.

- *Επίπεδο χωρικών γνωρισμάτων* που περιλαμβάνονται στις εικόνες, όπως κτήρια, γεωλογικές γραμμώσεις, ποτάμια, κ.ά. Σκοπός είναι η εξαγωγή και ο συνδυασμός παρόμοιων αντικειμένων που εμφανίζονται στα διαθέσιμα δεδομένα.

- *Επίπεδο αποφάσεων*. Κυρίως χρησιμοποιείται για βελτίωση της ακρίβειας στην ταξινόμηση των ψηφιακών εικόνων, συνδυάζοντας ήδη ταξινομημένες εικόνες.



Εικόνα 2-5: Επίπεδα συγχώνευσης εικόνων

Κάποιες από τις περισσότερες διαδεδομένες στη βιβλιογραφία τεχνικές συγχώνευσης είναι:

- Μετασχηματισμός “Ένταση–Απόχρωση–Κορεσμός” – IHS
- Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών – PCA
- Μετασχηματισμός Κυματιδίων – WTF
- Μετασχηματισμός «À trous»
- Συνδυασμοί μετασχηματισμών
- Μετασχηματισμός HCS

Ο μετασχηματισμός Hyperspherical Color Space Pan Sharpening σχεδιάστηκε αποκλειστικά έχοντας κατά νου τις δορυφορικές εικόνες World View-2. Παρ' όλα αυτά, δουλεύει κανονικά για όλα τα πολυφασματικά δεδομένα, από 3 κανάλια και πάνω.

Στον παρακάτω Πίνακα 2-1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης τεσσάρων αλγορίθμων, οι οποίοι είναι ο HIS αλγόριθμος, ο PCA αλγόριθμος, ο Gramm-Schmidt αλγόριθμος και ο HCS αλγόριθμος.

Algorithm	Q_{red}	Q_{green}	Q_{blue}	CC_{red}	CC_{green}	CC_{blue}	$Ave(Q_{\lambda})$	$Ave(CC_{\lambda})$	Q_{PS}
PCA	0.891	0.878	0.898	0.847	0.859	0.816	0.889	0.841	0.747
GS	0.898	0.886	0.900	0.882	0.869	0.853	0.895	0.868	0.777
HIS	0.920	0.860	0.780	0.960	0.996	0.984	0.853	0.980	0.836
HCS Smart	0.929	0.904	0.878	0.929	0.946	0.909	0.904	0.928	0.839

Πίνακας 2-1: Αξιολόγηση τεσσάρων αλγορίθμων Pansharpening σε δορυφορική εικόνα WV-2

Πηγή: ASPRS 2010 Annual Conference San Diego, California, 2010

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα των αλγορίθμων από την φασματική πλευρά, ο HCS δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα, ακολουθούμενος από τους GS και PCA, ενώ ο HIS παράγει το χειρότερο αποτέλεσμα. Από χωρική άποψη, ο HIS είναι ο πιο ακριβής, ακολουθούμενος από τους HCS, GS και τελευταίο τον PCA.

Συνολικά, ο αλγόριθμος HCS έχει την καλύτερη ισορροπία μεταξύ φασματικής και χωρικής ποιότητας αποτελεσμάτων (Βαϊόπουλος, 2013).

2.1.7. Ραδιομετρική Διόρθωση

Η ραδιομετρική διόρθωση αποσκοπεί στη διόρθωση των ραδιομετρικών αλλοιώσεων της εικόνας, που προκύπτουν κατά τη σάρωση, καταγραφή και αναπαραγωγή της εικόνας. Πρέπει να ελαχιστοποιηθούν οι χρωματικές διαφορές που προέρχονται από τις συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη στιγμή της λήψης, πριν χρησιμοποιηθούν οι εικόνες για ερμηνεία (Γκιούρου, 2007).

Όταν η εκπεμπόμενη ή ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία λαμβάνεται από έναν αισθητήρα, η μετρούμενη ενέργεια δεν συμπίπτει με την ενέργεια που εκπέμπεται ή αντανακλάται από το ίδιο το αντικείμενο, όταν αυτό παρατηρείται από κοντινή απόσταση. Αυτό οφείλεται στο αζιμούθιο του ήλιου και στο υψόμετρο, στις ατμοσφαιρικές συνθήκες όπως ομίχλη, στην απόκριση του αισθητήρα κ.α., τα οποία

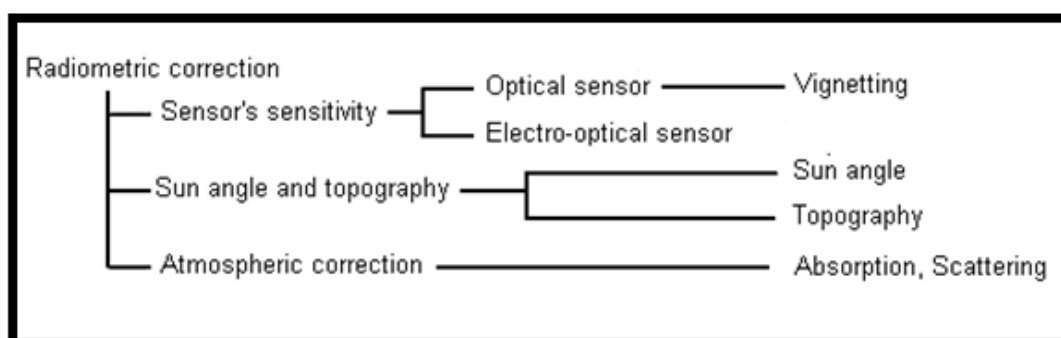
επηρεάζουν την μετρούμενη ενέργεια. Ως εκ τούτου, προκειμένου να ληφθεί το πραγματικό ποσοστό ακτινοβολίας ή ανάκλασης, οι εν λόγω ραδιομετρικές στρεβλώσεις πρέπει να διορθωθούν.

Οι Ραδιομετρικές διορθώσεις κατατάσσονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-6:

- Η ραδιομετρική διόρθωση των επιδράσεων που οφείλονται στην *ευαισθησία του αισθητήρα*. Στην περίπτωση των οπτικών αισθητήρων, με τη χρήση φακού, μια περιοχή στις άκρες θα είναι πιο σκούρα σε σύγκριση με μια κεντρική περιοχή. Στην περίπτωση των ηλεκτρο-οπτικών αισθητήρων, τα δεδομένα βαθμονόμησης μεταξύ της ακτινοβολίας και του σήματος εξόδου του αισθητήρα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για ραδιομετρική διόρθωση.

- Η ραδιομετρική διόρθωση για τη *γωνία του ήλιου* και του *αναγλύφου*. Η ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται διάχυτα στην επιφάνεια του εδάφους, κάτι που οδηγεί σε φωτεινότερες περιοχές σε μια εικόνα. Μπορεί να διορθωθεί με την εκτίμηση της καμπύλης σκίαση η οποία προσδιορίζεται από την ανάλυση Fourier. Η επίδραση σκίασης λόγω τοπογραφικού ανάγλυφου μπορεί να διορθωθεί με τη χρήση της γωνίας μεταξύ της κατεύθυνσης της ηλιακής ακτινοβολίας και το κάθετο διάνυσμα στην επιφάνεια του εδάφους.

- Ατμοσφαιρική διόρθωση. Διάφορες ατμοσφαιρικές επιδράσεις προκαλούν απορρόφηση και σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 2-6: Είδη Ραδιομετρικών διορθώσεων

Πηγή: <http://wtlab.iis.u-tokyo.ac.jp/~wataru/lecture/rsgis/rsnote/cp9/cp9-1.htm>

2.1.8. Γεωμετρική Διόρθωση

Πραγματοποιείται με τη γεωαναφορά, η οποία ονομάζεται και επαναδειγματοληψία της εικόνας.

Με τη γεωαναφορά δημιουργείται ένας γεωγραφικός χώρος με το επιθυμητό σύστημα αναφοράς π.χ. ΕΓΣΑ '87. Αρχικά δημιουργείται μια εικόνα με εικονοστοιχεία χωρίς τιμές φωτεινότητας. Έπειτα, με βάση τύπους μετασχηματισμού συντεταγμένων, βρίσκεται η αντιστοιχία των εικονοστοιχείων με αυτά της αρχικής εικόνας και έτσι εντοπίζονται οι αντίστοιχες τιμές φωτεινότητας που μεταφέρονται στη γεωαναφερόμενη εικόνα (Ασάρας, 2010).

Τα κύρια σημεία της γεωαναφοράς είναι τα εξής:

- Εντοπίζονται συγκεκριμένα σημεία, τα “σημεία ελέγχου” (*Ground Control Points*) πάνω στην εικόνα, τα οποία έχουν γνωστές συντεταγμένες στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς. Η επιλογή τους γίνεται με γνώμονα την όσο το δυνατόν ομοιόμορφη κατανομή τους στην περιοχή. Επιπλέον, πρέπει να είναι ευδιάκριτα, ώστε να μπορούν να «σκοπευτούν» με ακρίβεια (π.χ. διασταυρώσεις κάθετων οδών, γέφυρα, χαρακτηριστικές εξοχές πετρωμάτων, γωνίες καλλιεργειών κλπ). τόσο στην εικόνα όσο και στον χάρτη.

- Με τη βοήθεια αλγορίθμων, μετατρέπονται οι συντεταγμένες εδάφους/χάρτη σε συντεταγμένες της γεωαναφερμένης εικόνας, ανάλογα με τις διαστάσεις των εικονοστοιχείων της εικόνας (χωρική ανάλυση).

- Εντοπίζονται οι τιμές φωτεινότητας της αρχικής εικόνας που πρέπει να αποδοθούν στην γεωαναφερόμενη. Επειδή το σημείο ελέγχου στις υπολογιζόμενες συντεταγμένες δε συμπίπτει με το κέντρο του αντίστοιχου εικονοστοιχείου στην αρχική, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια μέθοδος παρεμβολής

- Τέλος, ελέγχεται εάν και κατά πόσο συμπίπτει το τελικό διορθωμένο προϊόν με το αρχικό υπόβαθρο, ώστε να επαληθευτεί η ορθότητα της γεωμετρικής διόρθωσης και η ακρίβειας της αναγωγής.

Οι σημαντικότερες μέθοδοι παρεμβολής- επαναδειγματοληψίας είναι οι εξής:

- του *εγγύτερου γείτονα* (ως τιμή φωτεινότητας ενός εικονοστοιχείου, θεωρείται η τιμή φωτεινότητας του κοντινότερου εικονοστοιχείου)

- της *διγραμμικής παρεμβολής* (η τιμή φωτεινότητας ενός εικονοστοιχείου υπολογίζεται από την τιμή φωτεινότητας των τεσσάρων εγγύτερων εικονοστοιχείων του αρχικού καννάβου, στα οποία αποδίδονται διαφορετικά βάρη)
- της *δικυβικής παρεμβολής* (η τιμή της φωτεινότητας του εικονοστοιχείου προκύπτει από τα 16 εγγύτερα εικονοστοιχεία).

Κάθε μέθοδος είναι περισσότερο χρήσιμη σε συγκεκριμένες εργασίες, ανάλογα με τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σε σχέση με κάποια άλλη.

Οι τιμές των χρωμάτων των εικονοστοιχείων της εικόνας που προκύπτει από τη μέθοδο του *εγγύτερου γείτονα* έχει είναι ίδιες με τις τιμές χρωμάτων των *ρίxel* της αρχικής εικόνας, με αποτέλεσμα η εικόνα που προκύπτει είναι καλύτερη στη φωτοερμηνεία και πιο χρήσιμη στις ταξινομήσεις. Επίσης, παρουσιάζει μικρή πολυπλοκότητα.

Οι τιμές των χρωμάτων των εικονοστοιχείων της εικόνας που προκύπτει με τη μέθοδο της *Διγραμμικής παρεμβολής*, προσεγγίζουν τις πραγματικές τιμές και η εικόνα έχει σωστή γεωμετρία. Επίσης, παρατηρείται μία σχετική ομαλοποίηση των ακμών.

Στη μέθοδο της *Δικυβικής Παρεμβολής* έχουμε ενίσχυση των ορίων, των διαχωριστικών επιφανειών και ακόμη μεγαλύτερη ομαλοποίηση των ακμών (*smoothing*). Προκαλεί όμως αλλοίωση των πραγματικών χρωμάτων.

Μετά τις γεωμετρικές διορθώσεις είναι εφικτή η απεικόνιση των δορυφορικών εικόνων σε ενιαίο χαρτογραφικό υπόβαθρο και η άμεση σύγκριση με όλα τα υπόλοιπα διαθέσιμα δεδομένα.

2.1.9. Μαθηματική Μορφολογία

Η *μαθηματική μορφολογία* αποτελεί ένα εργαλείο εξαγωγής χαρακτηριστικών από εικόνες. Η συγκεκριμένη τεχνική αρχικά αναπτύχθηκε από τους Matheron και Serra στο Ecole des Mines στο Παρίσι. Πρόκειται για μια θεωρία και τεχνική για την ανάλυση και επεξεργασία γεωμετρικών δομών, με βάση τις θεωρίες συνόλων, δικτύων, την τοπολογία και επιμέρους μαθηματικές διαδικασίες. Η μαθηματική μορφολογία αφορούσε αρχικά σε δυαδικές εικόνες αλλά αργότερα επεκτάθηκε και σε

εικόνες τόνων του γκρι (Grayscale Morphology). Σήμερα, χρησιμοποιείται κυρίως σε ψηφιακές εικόνες, με εφαρμογή σε τομείς όπως η τηλεπισκόπηση και η όραση υπολογιστών.

Οι μορφολογικές λειτουργίες ορίζονται από την μετακίνηση ενός δομικού στοιχείου – παραθύρου πάνω στην εικόνα, με τέτοιο τρόπο ώστε να βρίσκεται πάνω σε όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας σε κάποια χρονική στιγμή. Το δομικό στοιχείο – παράθυρο είναι μια γεωμετρική σχέση μεταξύ των εικονοστοιχείων, δηλαδή ένας τρόπος συγκέντρωσης των τοπικών φωτεινότητων μιας εικόνας. Όταν το δομικό στοιχείο βρίσκεται πάνω σε ένα σημείο της εικόνας, μια λογική λειτουργία εκτελείται στα εικονοστοιχεία που καλύπτονται από το δομικό στοιχείο, οδηγώντας έτσι σε μια δυαδική έξοδο.

Οι περισσότερες μορφολογικές πράξεις μπορούν να οριστούν χρησιμοποιώντας τις δύο βασικές μορφολογικές πράξεις οι οποίες είναι η *συστολή* (erosion) και η *διαστολή* (dilation).

Έστω το αντικείμενο A και το δομικό στοιχείο B εικόνες του διδιάστατου χώρου, ενώ Bx η μετατροπή του B ώστε η αρχή του να είναι το x .

Η συστολή της εικόνας A με δομικό στοιχείο B ορίζεται σαν το σύνολο των σημείων x τέτοια ώστε το Bx περιλαμβάνεται στην εικόνα A . Αντίστοιχα, η διαστολή της εικόνας A με δομικό στοιχείο B ορίζεται σαν το σύνολο των σημείων x τέτοια ώστε το Bx και η εικόνα A έχουν μη κενή τομή.

Το δομικό στοιχείο μπορεί να είναι ένας οποιοσδήποτε πίνακας (διαστάσεων μικρότερων από την αρχική εικόνα) ο οποίος περιλαμβάνει για στοιχεία του μηδέν και μονάδες με τρόπο τέτοιο ώστε να σχηματίζουν ένα γεωμετρικό σχήμα. Το πιο διαδεδομένο δομικό στοιχείο είναι :

0	1	0
1	1	1
0	1	0

που είναι το πλησιέστερο σχήμα στον κύκλο στον κλίμακα μιας εικόνας.

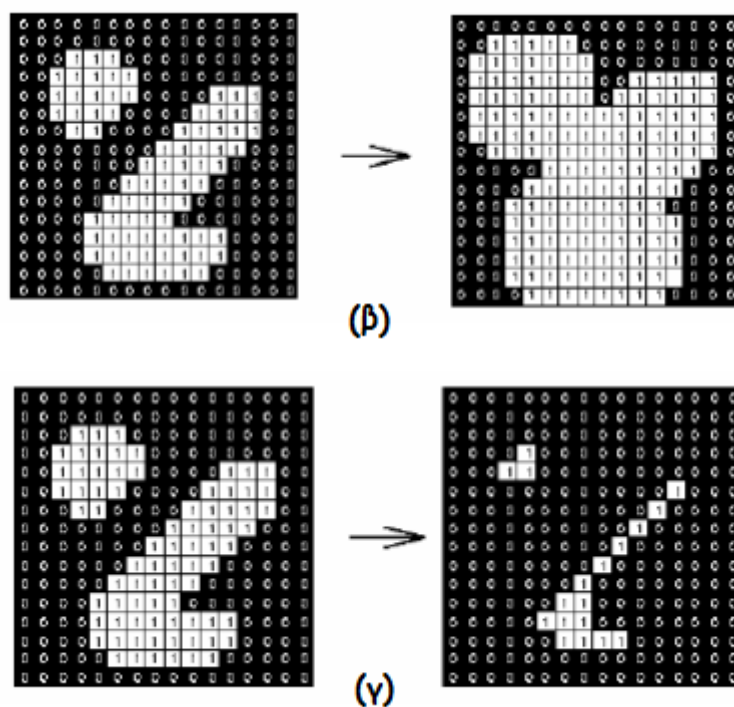
Με βάση το δομικό στοιχείο, κατά την *δυαδική διαστολή*, υπολογίζεται μια νέα τιμή σε κάθε θέση της αρχικής εικόνας. Η νέα τιμή είναι η μέγιστη τιμή όλων των εικονοστοιχείων στη γειτονιά του αρχικού εικονοστοιχείου. Επομένως αν έστω ένα

από τα γειτονικά εικονοστοιχεία έχει τιμή 1, η νέα τιμή του κεντρικού εικονοστοιχείου θα είναι 1.

Με βάση το δομικό στοιχείο, κατά την *δυναμική συστολή*, υπολογίζεται μια νέα τιμή σε κάθε θέση της αρχικής εικόνας. Η νέα τιμή είναι η ελάχιστη τιμή όλων των εικονοστοιχείων στη γειτονιά του αρχικού εικονοστοιχείου. Επομένως αν έστω ένα από τα γειτονικά εικονοστοιχεία έχει τιμή 0, η νέα τιμή του κεντρικού εικονοστοιχείου θα είναι 0.

Η εφαρμογή της διαστολής σε μία ασπρόμαυρη εικόνα ισοδυναμεί με εφαρμογή του κεντρικού σημείου του δομικού στοιχείου σε κάθε σημείο του υποβάθρου και αν υπάρχει τομή με την εικόνα, τότε το σημείο αυτό μετατρέπεται σε σημείο εικόνας (σχήμα β). Δηλαδή η διαστολή ισοδυναμεί με διόγκωση-διαστολή του φόντου της εικόνας.

Αντίστοιχα, η εφαρμογή της συστολής ισοδυναμεί με εφαρμογή του κεντρικού σημείου του δομικού στοιχείου σε κάθε σημείο της εικόνας και αν όλα τα σημεία του δομικού στοιχείου δεν περιλαμβάνονται στην εικόνα, τότε το σημείο αυτό μετατρέπεται σε σημείο υποβάθρου (σχήμα γ). Η συστολή ισοδυναμεί με διάβρωση-συρρίκνωση της εικόνας.



Εικόνα 2-7: Εφαρμογή συστολής και διαστολής

Πηγή: Β. Γάτος, Ψηφιακή Επεξεργασία και Αναγνώριση Εγγράφων

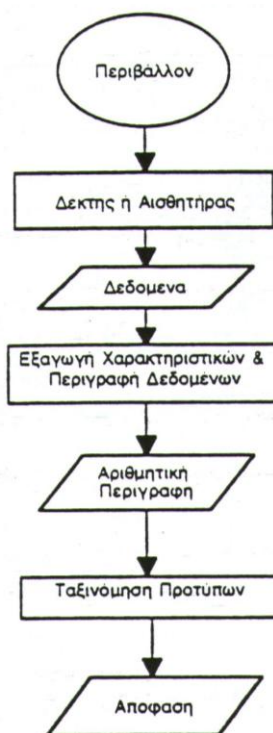
Συνεπώς, η διαστολή έχει την ιδιότητα να μεγαλώνει σε γενικές γραμμές το αντικείμενο, ενώ αντίθετα η συστολή να το μικραίνει (εξού και οι ονομασίες τους). Το πόσο πολύ ή με ποιον τρόπο αναπτύσσεται ή συρρικνώνεται εξαρτάται από την επιλογή του στοιχείου δόμησης.

2.1.10. Ταξινόμηση Εικόνων

Ο σκοπός της ταξινόμησης των δορυφορικών εικόνων είναι η κατηγοριοποίηση όλων των εικονοστοιχείων της εικόνας σε διάφορες τάξεις κάλυψης γης ή σε αντικείμενα. Συνήθως στη διαδικασία της ταξινόμησης χρησιμοποιούνται πολυφασματικά δεδομένα. Τα αντικείμενα ή οι κατηγορίες γης εκφράζονται από διαφορετικούς συνδυασμούς ψηφιακών τιμών στα κανάλια μιας εικόνας, ανάλογα με τις ιδιότητες της φασματικής εκπομπής και ανακλαστικότητας (Αργιαλάς, 1998). Η διαδικασία της ταξινόμησης, όπως περιγράφεται στην Εικόνα 2-8, μπορεί να διαχωριστεί σε δύο βασικές τεχνικές:

- *Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση*, η οποία απαιτεί από το χρήστη τη συλλογή ενός συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης από κάθε θεματική κατηγορία. Πρόκειται συνήθως για πολύγωνα, με γνωστή εκ των προτέρων ταυτότητα, που τα ομαδοποιεί ο χρήστης και χρησιμοποιούνται για την επίβλεψη του αλγορίθμου ταξινόμησης. Τα δεδομένα εκπαίδευσης πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά και πλήρη. Κατόπιν, αφού δημιουργηθούν φασματικές υπογραφές για κάθε τάξη, εφαρμόζεται ο αλγόριθμος ταξινόμησης σε ολόκληρη την εικόνα, με αποτέλεσμα την κατηγοριοποίηση της στις θεματικές τάξεις που υπέδειξε ο χρήστης με το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης. Οι κυριότεροι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται είναι ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους, ο αλγόριθμος του παραλληλεπιπέδου και ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας.

- *Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση*, η οποία χωρίς δεδομένα εκπαίδευσης, κατηγοριοποιεί την ψηφιακή εικόνα σε ομοιογενείς φασματικές τάξεις (όχι όμως θεματικές). Η σχέση των ταξινομηθέντων με τις επιθυμητές θεματικές τάξεις προσδιορίζεται μετά το στάδιο της ταξινόμησης, με τη βοήθεια εργασιών πεδίου, επίγειων ελέγχων, φωτοερμηνεία αεροφωτογραφιών κ.α. Οι κυριότεροι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται είναι ο αλγόριθμος των Κ-Κέντρων και ο IsoData.



Εικόνα 2-8: Γενική Διαδικασία Ταξινόμησης

Πηγή : Αργιαλάς, 1998

Συνεπώς, στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση ο χρήστης ορίζει τις θεματικές κατηγορίες και κατόπιν εξετάζει τη φασματική τους διαχωριστικότητα, ενώ στη μη επιβλεπόμενη πρώτα προσδιορίζονται οι φασματικώς διαχωρίσιμες κατηγορίες και έπειτα η θεματική κατηγορία στην οποία ανήκουν.

2.1.11. Ποσοτική Αξιολόγηση Ταξινομήσεων

Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης δεν είναι ούτε "σωστοί" ούτε "λανθασμένοι", αλλά άλλοι κάνουν καλύτερη και άλλοι χειρότερη δουλειά στην ταξινόμηση των pixel σε μια εικόνα. Γι ' αυτό το λόγο απαιτείται η εκτίμηση της ακρίβειας ταξινόμησης, που είναι ένα σημαντικό και αναπόσπαστο μέρος της ταξινόμησης. Πρόκειται για τη διαδικασία ποσοτικοποίησης του πόσο καλή δουλειά έγινε από ένα αλγόριθμο ταξινόμησης. Αυτό γίνεται συνήθως με τη σύγκριση των προϊόντων της ταξινόμησης με κάποια στοιχεία αναφοράς, τα οποία θεωρείται ότι αντικατοπτρίζουν με μεγάλη ακρίβεια την κάλυψη του εδάφους. Πηγές των στοιχείων αναφοράς μπορεί να αποτελέσουν πραγματικά δεδομένα εδάφους (ground truth data), εικόνες υψηλότερης ανάλυσης, χάρτες, κ.α. .

Συνήθως, δεν είναι πρακτικό να ελεγχθεί κάθε εικονοστοιχείο μιας ταξινομημένης εικόνας. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται συνήθως ένα σύνολο από εικονοστοιχεία αναφοράς (reference data), δηλαδή σημεία στην ταξινομημένη εικόνα για τα οποία τα πραγματικά δεδομένα είναι γνωστά.

Όταν τα εικονοστοιχεία αναφοράς επιλέγονται από τον αναλυτή, είναι συχνά δελεαστικό να επιλεγούν για τον έλεγχο τα ίδια εικονοστοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στα δείγματα εκπαίδευσης. Όμως, αυτό διαστρεβλώνει το τεστ ακρίβειας, διότι τα δείγματα εκπαίδευσης είναι η βάση της ταξινόμησης. Επιλέγοντας τα εικονοστοιχεία αναφοράς με τυχαίο τρόπο, η δυνατότητα διαστρέβλωσης μειώνεται ή εξαλείφεται.

Ο αριθμός των pixels αναφοράς είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον προσδιορισμό της ακρίβειας της ταξινόμησης. Με βάση την διωνυμική θεωρία των πιθανοτήτων υπολογίζεται από τον τύπο :

$$N = \frac{Z^2 (p)(q)}{E^2}$$

, όπου :

N = ο αριθμός του δείγματος,

p = η εκτιμώμενη ακρίβεια στο σύνολο του χάρτη),

q = 100- p

E= το επιτρεπόμενο σφάλμα

Z = 2σ, καλύπτοντας το 95,4% της εικόνας

Με βάση πολυωνυμική θεωρία των πιθανοτήτων :

$$N = \frac{B \Pi_i (1-\Pi_i)}{b_i^2}$$

, όπου :

k = ο αριθμός των κλάσεων

B= $\chi^2_{(1,1-\alpha/k)}$ η τιμή του πίνακα της κατανομής χ^2 , με βαθμό ελευθερίας 1

Π_i = η αναλογία του πληθυσμού της τάξης με ποσοστό πιο κοντά στο 50%

b= η επιθυμητή ακρίβεια της τάξης

Συνολικά υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τύποι επιλογής των εικονοστοιχείων αναφοράς:

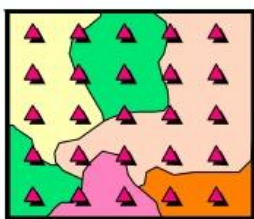
- Τυχαία- Οι παρατηρήσεις τοποθετούνται τυχαία και δεν υπάρχουν κανόνες



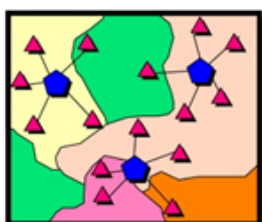
- Τυχαία Στρωματοποιημένη – Ένας ελάχιστος αριθμός παρατηρήσεων τοποθετείται τυχαία σε κάθε κατηγορία (θεματικό επίπεδο)



- Τυχαία Κανονικοποιημένη – Οι παρατηρήσεις τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους



- Cluster sampling -Τυχαία τοποθετημένα κέντρα βάρους (centroids) χρησιμοποιούνται ως βάση για κοντινές παρατηρήσεις.



Ένας από τους συχνούς τρόπους έκφρασης της ακρίβειας της ταξινόμησης είναι η δημιουργία πινάκων σφαλμάτων ταξινόμησης (ονομάζονται και πίνακες σύγχυσης ή πίνακες σύμπτωσης). Οι πίνακες αυτοί συγκρίνουν τη σχέση μεταξύ γνωστών επίγειων δεδομένων αναφοράς (αληθινών δεδομένων) και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων μίας αυτόματης διαδικασίας ταξινόμησης, κατηγορία προς κατηγορία. Τέτοιοι πίνακες είναι τετραγωνικοί με αριθμό γραμμών και στηλών ίσο με τον αριθμό των κατηγοριών, των οποίων εκτιμάται η ακρίβεια.

Από τους πίνακες σφαλμάτων μπορούμε να συμπεράνουμε αρκετά στοιχεία σχετικά με την επίδοση της ταξινόμησης. Τα εικονοστοιχεία τα οποία ταξινομήθηκαν στις κατάλληλες κατηγορίες κάλυψης γης, βρίσκονται πάνω στην κύρια διαγώνιο του πίνακα σφαλμάτων. Αθροίζοντας τα και κατόπιν διαιρώντας τα με τον συνολικό αριθμό των pixels προκύπτει η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης (overall classification accuracy). Το μειονέκτημα αυτού του μέτρου είναι ότι δεν δίνει πληροφορίες για το πως ταξινομήθηκαν οι μεμονωμένες κατηγορίες.

Τέλος, υπολογίζεται ο συντελεστής Kappa, ένα μέτρο της διαφοράς μεταξύ της πραγματικής συμφωνίας μεταξύ των επίγειων δεδομένων αναφοράς και ενός αυτόματου αλγόριθμου ταξινόμησης, και της τυχαίας συμφωνίας μεταξύ των επίγειων δεδομένων αναφοράς και ενός τυχαίου αλγόριθμου ταξινόμησης. Ο συντελεστής Kappa εκφράζει την αναλογική μείωση των σφαλμάτων που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία ταξινόμησης σε σχέση με το σφάλμα μιας εντελώς τυχαίας κατάταξης. Η στατιστική παράμετρος K υπολογίζεται ως:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^k [x_{ii}] - \sum_{i=1}^k [x_{i+} \times x_{+i}]}{N^2 - \sum_{i=1}^k [x_{i+} \times x_{+i}]}, \text{ όπου}$$

r = ο αριθμός των γραμμών του πίνακα σύγχυσης,

x_{ii} = ο αριθμός των παρατηρήσεων στη γραμμή i και τη στήλη i (στην κύρια διαγώνιο),

x_{i+} = το σύνολο των παρατηρήσεων στη γραμμή i (στο δεξί μέρος του πίνακα),

x_{+i} = το σύνολο των παρατηρήσεων στη στήλη i (στο κάτω μέρος του πίνακα), και

N = ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων που περιλαμβάνονται στον πίνακα

2.2. Ανασκόπηση Ειδικής Βιβλιογραφίας

Οι αδιαπέραστες επιφάνειες (impervious surface) είναι ανθρωπογενείς κατασκευές, όπως δρόμοι, πεζοδρόμια, χώροι στάθμευσης, στέγες, κ.α., μέσω των οποίων το νερό δεν μπορεί να διεισδύσει στο έδαφος. Τα τελευταία χρόνια, η έννοια της αδιαπέραστης επιφάνειας προέκυψε όχι μόνο ως ένδειξη του βαθμού αστικοποίησης, αλλά και ως ένας σημαντικός δείκτης της ποιότητας του περιβάλλοντος. Ως εκ τούτου, η εύρεση και χαρτογράφηση αδιαπέραστων επιφανειών είναι σημαντική για ένα εύρος θεμάτων στην περιβαλλοντική επιστήμη (εκτίμηση της ποιότητας του νερού και της φορολογίας όμβριων υδάτων), στο πλαίσιο της παγκόσμιας περιβαλλοντικής αλλαγής και των αλληλεπιδράσεων ανθρώπου-περιβάλλοντος. Το σύνολο των δεδομένων των αδιαπέραστων επιφανειών είναι επίσης πολύτιμο και για τον πολεοδομικό σχεδιασμό, π.χ. τη δημιουργία υποδομών και την αειφόρο ανάπτυξη (Weng Q., 2012).

Με την έλευση των δορυφορικών εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης, όπως IKONOS (1999), QuickBird (2001), OrbView (2003), World_View 2, World_View3 και Pleiades μεγάλες προσπάθειες έχουν γίνει για εξαγωγή λεπτομερών θεματικών πληροφοριών (χρήση και κάλυψη γης), χαρτογραφικών χαρακτηριστικών όπως κτίρια και δρόμοι (Karantzalos K. et al , 2009), και μετρικής πληροφορίας με stereo-εικόνες (ύψος και έκταση). Αυτές οι πληροφορίες είναι ιδιαίτερα επωφελείς για την εκτίμηση και εντοπισμό των αδιαπέραστων επιφανειών.

Οι δρόμοι, στις δυναμικά αναπτυσσόμενες πόλεις, έχουν την τάση να αλλάζουν πολύ συχνά, ακόμα και σε μικρά χρονικά διαστήματα. Οι οδικοί χάρτες αυτών των περιοχών πρέπει να ανανεώνονται περιοδικά, κατά προτίμηση από πρόσφατες δορυφορικές εικόνες. Για παράδειγμα, οι δορυφορικές εικόνες IKONOS με χωρική ανάλυση 4m στο πολυφασματικό και 1m στο παγχρωματικό έχουν δώσει τη δυνατότητα να εξαχθούν ακόμα και μικροί δρόμοι σε αστικό περιβάλλον, συμβάλλοντας στην ανανέωση των οδικών δικτύων και μεταφορών (J. Gao and L. Wu, 2004).

Η παγκόσμια διαθεσιμότητα πληροφοριών δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας γεωβάσεων για σχεδόν κάθε περιοχή της γης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ποικίλους σκοπούς (στρατιωτικά ενδιαφέροντα, πρόληψη καταστροφών). Σήμερα, η εξαγωγή πληροφορίας από δορυφορικές εικόνες γίνεται κυρίως χειροκίνητα, μια διαδικασία χρονοβόρα με εκτεταμένο κόστος. Για να υπερπηδηθεί

αυτό το εμπόδιο, απαιτείται η εφαρμογή αυτοματοποιημένων μεθόδων (U. Bacher et al, 2005).

Το 2013 οι **Deng, C., και Wu, C.**, παρουσιάζουν το άρθρο **A spatially adaptive spectral mixture analysis for mapping subpixel urban impervious surface distribution** (Remote Sensing of Environment, 133, 62–70). Στο άρθρο αυτό χρησιμοποιείται ως περιοχή μελέτης το Franklin County του Ohio στις ΗΠΑ με δορυφορικές εικόνες Landsat ETM+ 7 και περιγράφεται η μέθοδος SASMA (χωρική προσαρμοσμένη φασματική ανάλυση μιας περιοχής), η οποία δημιουργεί ειδικές γειτονικές υπογραφές για τις τάξεις, χρησιμοποιώντας μια χωρική προσέγγιση βαρών. Αξιοποιείται ο δείκτης BCI, ένας ποσοτικός φασματικός δείκτης με βάση τον οποίο γίνεται ο εντοπισμός. Οι αδιαπέραστες επιφάνειες παρουσιάζουν τις υψηλότερες και θετικές τιμές, η βλάστηση τις χαμηλότερες και αρνητικές τιμές, ενώ το γυμνό έδαφος και τα μικτά εδάφη έχουν ενδιάμεσες τιμές. Επίσης χρησιμοποιείται και ο κανονικοποιημένος δείκτης NDVI για τον εντοπισμό της βλάστησης. Η ταξινόμηση πραγματοποιείται για 5 θεματικές τάξεις (βλάστηση, αδιαπέραστες επιφάνειες υψηλής ανακλαστικότητας, αδιαπέραστες επιφάνειες χαμηλής ανακλαστικότητας, έδαφος και μικτά εδάφη. Τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια για ανεπτυγμένες και μη ανεπτυγμένες περιοχές, αφού έδωσαν παρόμοιες τιμές σε μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE), μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) και συστηματικό σφάλμα (SE).

Το 2012 οι **Zhang, H., Zhang, Y., Lin, H.**, παρουσιάζουν το άρθρο **A comparison study of impervious surfaces estimation using optical and SAR remote sensing images** (International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 18, 148–156). Στο άρθρο αυτό χρησιμοποιείται ως περιοχή μελέτης το Pearl River Delta (PRD) στη Νότια Κίνα με δορυφορικές εικόνες ASAR Wide Swath Mode (WSM) /ENVISAT με χωρική ανάλυση 75 m και Landsat ETM+7 με χωρική ανάλυση 30m. Αρχικά πραγματοποίησαν ραδιομετρική διόρθωση στις εικόνες ASAR και επαναδειγματοληψία στα 30m με τη μέθοδο του εγγύτερου γείτονα. Ακολούθησε registration των δύο εικόνων στο ίδιο σύστημα αναφοράς, με 15 Ground Control Points (GCPs), και συνολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) 0,83 pixel. Πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση με 5 θεματικές τάξεις (βλάστηση, νερό, γυμνό έδαφος, αδιαπέραστες επιφάνειες, σύννεφα) με δύο μεθοδολογίες: τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN) και support vector machine (SVM). Οι συγκεκριμένοι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα, με βάση τα πειραματικά τους αποτελέσματα, ότι τα SVM τείνουν να υπερτερούν των ANN στην ταξινόμηση στον Landsat ETM +7.

Παρ' όλα αυτά, τα SVM φαίνεται να δίνουν χειρότερα αποτελέσματα από τα ANN όταν εφαρμόζεται η ταξινόμηση στις εικόνες ASAR.

Το 2011 οι **Mountrakis, G., Luo, L.**, παρουσίασαν το άρθρο **Enhancing and replacing spectral information with intermediate structural inputs: A case study on impervious surface detection** (Remote Sensing of Environment, 115, 1162–1170). Στο άρθρο αυτό χρησιμοποιήθηκε ως περιοχή μελέτης το area of Syracuse, στη Νέα Υόρκη με δορυφορικές εικόνες Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) χωρικής ανάλυσης 30 m. Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια a priori ταξινόμηση με χρήση νευρωνικών δικτύων με ένα όριο ακρίβειας (threshold), που οδηγεί σε τρία πιθανά αποτελέσματα: εικονοστοιχεία ανήκουν σε αδιαπέραστες επιφάνειες, εικονοστοιχεία ανήκουν σε μη-αδιαπέραστες και εικονοστοιχεία που παρέμειναν αταξινομήτα. Τα ήδη σημασμένα pixels αναλύθηκαν περαιτέρω για να αντληθούν πληροφορίες σχετικά με τους δρόμους. Η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται σε δύο επόμενες διαδικασίες. Η πρώτη ήταν μια διαστολή (μορφολογική λειτουργία), μια διαδικασία που αφορά μόνο αδιαπέραστα εικονοστοιχεία συνδέοντας τμήματα δρόμων. Η δεύτερη (a posteriori ταξινόμηση) έχει στόχο την ταξινόμηση των pixels που έχουν απομείνει από την a priori ταξινόμηση και τη διαδικασία της διαστολής. Επίσης, δημιουργήθηκαν με δοκιμές 5 διαφορετικά δομικά στοιχεία για τους δρόμους (road structural intermediate inputs (RSIs)) από τα αταξινομήτα pixels. Τα χειρότερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στην a priori ταξινόμηση (απλή νευρωνικών δικτύων), ενώ τα καλύτερα με τη χρήση και των 5 RSIs παράλληλα με τη χρήση φασματικών χαρακτηριστικών, σε ταξινόμηση νευρωνικών δικτύων.

Το 2011 οι **Lu, D., Moran, E., Hetrick, S.** παρουσίασαν το άρθρο **Detection of impervious surface change with multitemporal Landsat images in an urban-rural frontier** (ISPRS J Photogramm Remote Sens., 66, 298–306). Στο άρθρο αυτό χρησιμοποιήθηκε ως περιοχή μελέτης το Lucas de Rio Verde, στη Βραζιλία, με δορυφορικές εικόνες Quick Bird έτους 2007 και 2008. Αρχικά πραγματοποιήθηκε συγχώνευση (Pansharpening) με αποτέλεσμα τη βελτίωση της χωρικής ανάλυσης των πολυφασματικών εικόνων από 2,4m σε 0,6m. Έπειτα, με τη χρήση του δείκτη *NDVI* ανιχνεύτηκε η βλάστηση, ενώ εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι το νερό έχει πολύ χαμηλότερες φασματικές τιμές από αδιαπέραστες επιφάνειες στο εγγύς υπέρυθρο βρέθηκαν όλες οι υδάτινες επιφάνειες. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με 50 φασματικές τάξεις και χειροκίνητο editing για την εξαγωγή των αδιαπέραστων επιφανειών και τη δημιουργία μιας εικόνας αναφοράς.

Τέλος, με επιλογή 450 τυχαίων σημείων η ακρίβεια της ταξινόμησης ανήλθε στο 98%.

Παρ' όλα αυτά, η τηλεπισκόπηση αντιμετωπίζει διάφορες προκλήσεις. Οι σκιές σκουραίνουν τις αδιαπέραστες επιφάνειες χαμηλά και έτσι αυξάνουν τη δυσκολία να εξαχθεί θεματική και χαρτογραφική πληροφορία, οδηγώντας σε μικρότερη ακρίβεια ταξινόμησης. Λαμβάνοντας υπόψη την τρισδιάστατη δομή της επιφάνεια του εδάφους, οι δρόμοι είναι το χαμηλότερο στρώμα, οπότε μπορεί να καλυφθεί με αυτοκίνητα ή να σκιαστεί από περιβάλλουσες επιφάνειες όπως δέντρα, κτίρια, κ.α. Η δομή του δρόμου και η γεωμετρία συνδυάζονται και οδηγούν ραδιομετρικά σε έναν δυσδιάκριτο μίγμα με υψηλή χωρική μεταβλητότητα. Στις αστικές περιοχές, όπου το οδικό δίκτυο είναι ιδιαίτερα πυκνό, αυτοί οι παράγοντες γίνονται ακόμα πιο σύνθετοι. Η ύπαρξη πολλών υλικών όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κατοικιών, επιφανειών οδοστρώματος, αλλά και η βλάστηση, το γυμνό έδαφος και άλλοι τύποι κάλυψης γης έχουν ως αποτέλεσμα μια χωρική και φασματική ετερογένεια που υπερβαίνει κατά πολύ τα φυσικά περιβάλλοντα (Εικόνα 2-9), καθιστώντας την ανάλυση της εικόνας σε αστικές περιοχές μια μεγάλη πρόκληση. Γενικά, η διάκριση και η χαρτογράφηση των οδικών επιφανειών πρέπει να εξετάζει πλήρως τα σύνθετα φασματικά χαρακτηριστικά των αστικών υλικών και των διαφόρων τύπων κάλυψης του εδάφους (Herold M. et al, 2003), ενώ για να είναι αποδεκτό το αποτέλεσμα της διαδικασίας ανίχνευσης οδικού δικτύου θα πρέπει να υπάρχει σημαντική αντίθεση μεταξύ του δρόμου και του περιβάλλοντός του.



Εικόνα 2-9: Παραδείγματα των προκλήσεων που αντιμετωπίζει η τηλεπισκόπηση στην χαρτογράφηση του οδικού δικτύου

Πηγή: Herold M. et al., 2003

2.2.1. Γενικά Χαρακτηριστικά Οδικού Δικτύου

Οι δρόμοι είναι τεχνικά έργα από συνθετικά και φυσικά υλικά. Δύναται να εμφανιστούν σε οποιοδήποτε μέρος της γης, σε όλα τα είδη του περιβάλλοντος (αστικό, περιαστικό, αγροτικό κ.α.). Όσον αφορά το πλάτος τους, αυτό μπορεί να αλλάζει βαθμιαία ανάλογα με το είδος του οδικού δικτύου (εθνικό, αστικό, επαρχιακό).

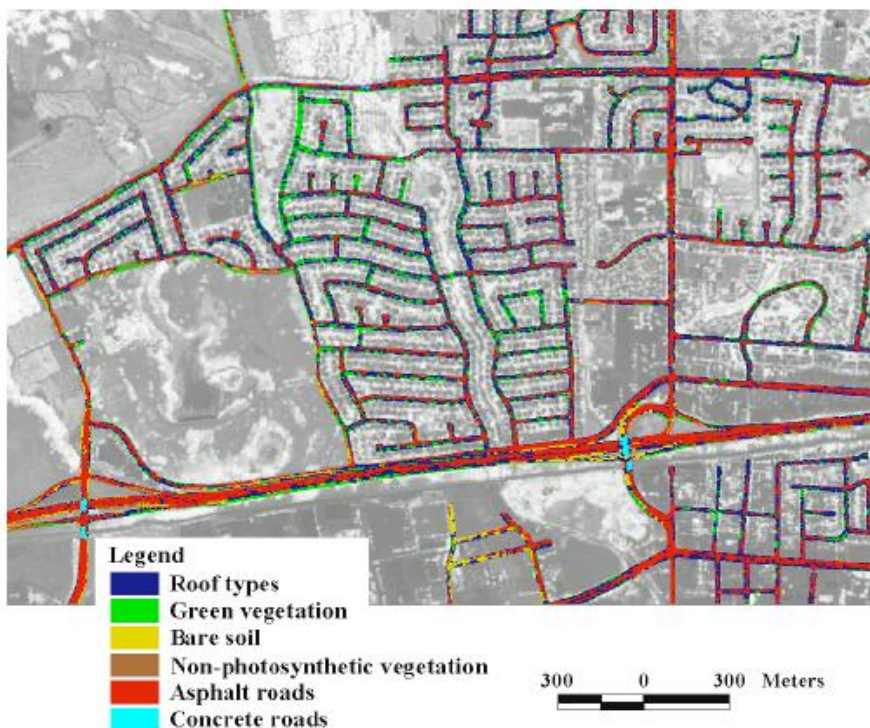
Οι δρόμοι είναι γραμμικά χαρακτηριστικά αποτελούμενα από επιμήκη, συνεχή, οριζόντια τμήματα με ομαλές καμπύλες και ευθείες γραμμές. Γενικά, είναι ευθείς τοπικά αλλά όχι συνολικά. Σχηματίζουν κόμβους, συνδέουν δίκτυα και απεικονίζονται με ποικίλους τρόπους στις τηλεπισκοπικές απεικονίσεις. Αυτό οφείλεται στην ανάλυση και την ευαισθησία των αισθητήρων, στην κλίμακα, στον περιβάλλοντα χώρο αλλά και στα ίδια τα χαρακτηριστικά των δρόμων (Ανδρέου, 2008). Τα τμήματα του οδικού δικτύου όπως εμφανίζονται στις τηλεπισκοπικές απεικονίσεις αποτελούνται από σημεία, γραμμές και πολύγωνα συσχετιζόμενα μεταξύ τους σχηματίζοντας δομημένα σύνολα (Trinder και Wang, 1998).

2.2.2. Χαρτογράφηση οδικού δικτύου

Η διαδικασία που περιγράφεται πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα "MultiSpec", που σχεδιάστηκε για ανάλυση δεδομένων τηλεπισκόπησης μεγάλων διαστάσεων. (Landgrebe and Biehl 2001).

Τα δεδομένα ταξινομήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της Μεγίστης Πιθανοφάνειας. Η ταξινόμηση κατέληξε σε χάρτη κάλυψης γης που περιείχε πολλούς τύπους δρόμων, όπως δρόμοι από άσφαλτο, δρόμοι από σκυρόδεμα, δρόμοι από αμμοχάλικο και χώρους στάθμευσης. Ένα τμήμα αυτού του χάρτη παρουσιάζεται στην Εικόνα 2-10.

Οι περιοχές με κόκκινο και ανοιχτό μπλε δείχνουν τα pixel των οδών που ταξινομήθηκαν σωστά. Οι περιοχές με άλλα χρώματα αντιστοιχούν σε pixel των οδών που τοποθετήθηκαν σε άλλες κατηγορίες χρήσεων γης. Μεταφράζοντας το οπτικό αποτέλεσμα σε ποσοστά, πραγματοποιούνται υπολογισμοί με τυχαία δειγματοληψία 100 ξεχωριστών σημείων αναφοράς για κάθε τάξη. Η ακρίβεια είναι μικρότερη για ασφάλτινες οδούς (70 %), βελτιώνεται σε σκυροποίητες (80 %), και είναι μέγιστη σε οδούς από αμμοχάλικο (90 %). (Herold et al. 2003)



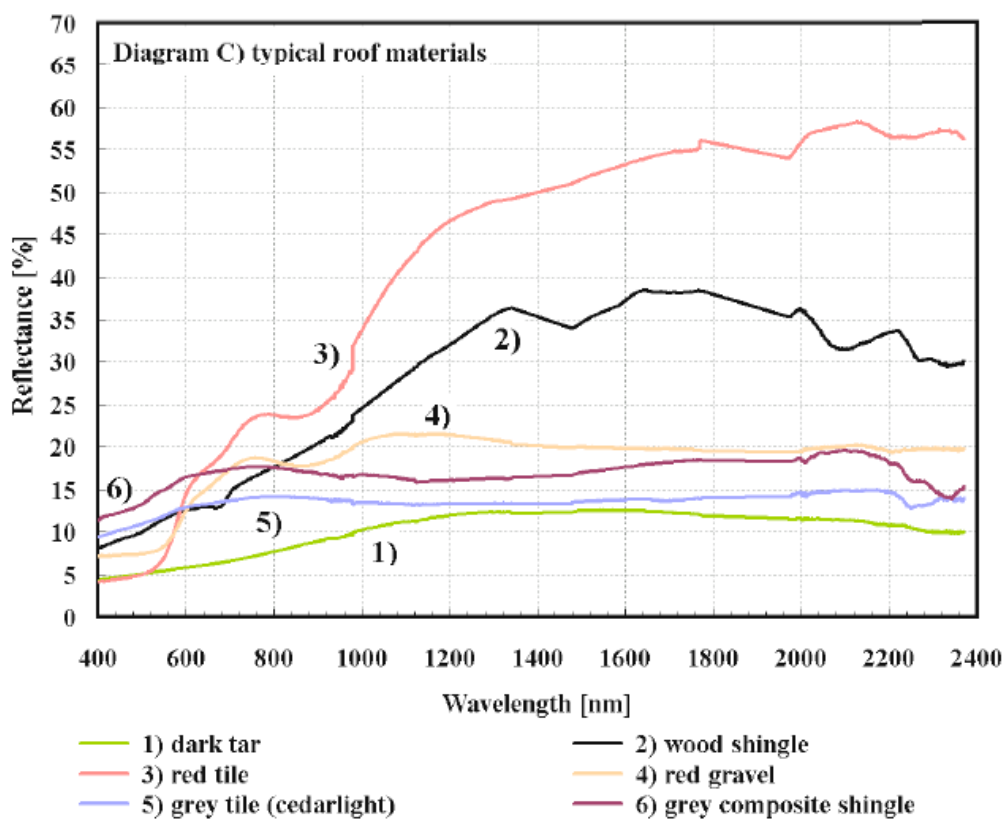
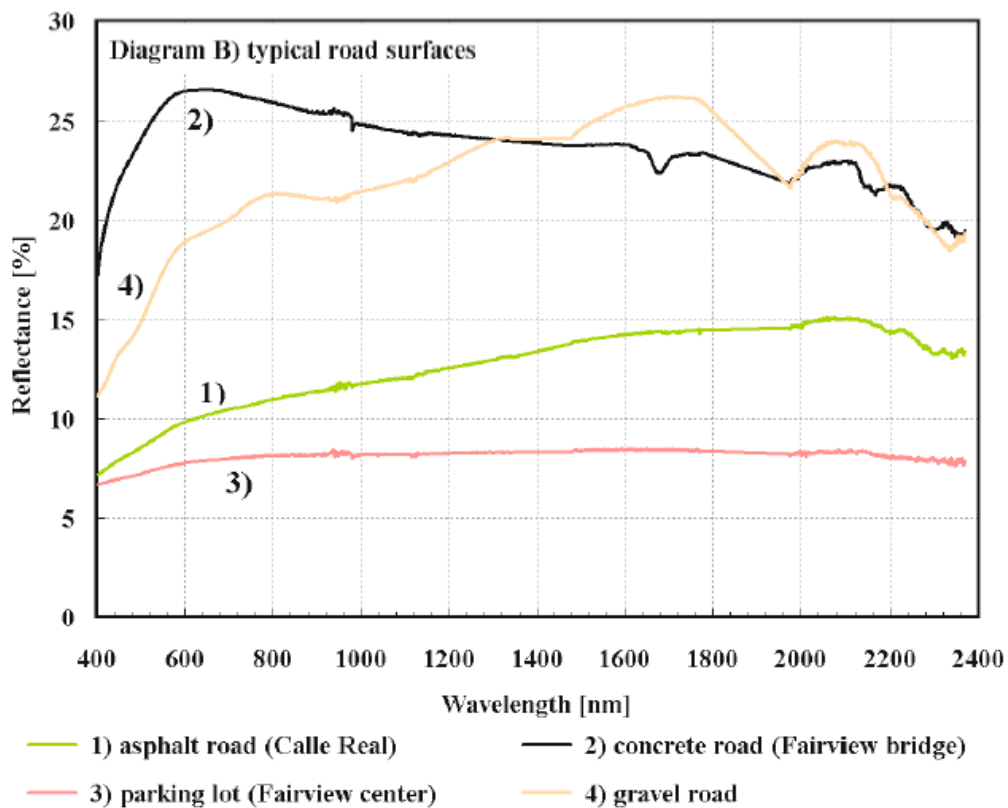
Εικόνα 2-10: Τμήμα χάρτη κάλυψης γης με πολλούς τύπους δρόμων

Πηγή: Herold M. et al., 2003

Η εμφάνιση pixel οροφών κτιρίων και βλάστησης μέσα στην περιοχή των δρόμων φανερώνει τη σημαντική σύγχυση μεταξύ αυτών των κλάσεων, ειδικά σε σκούρες και σκιασμένες οδούς. Γενικά, οι κύριες οδοί εντοπίζονται πιο εύκολα σε σχέση με δευτερεύουσες.

2.2.3. Φασματικά χαρακτηριστικά των υλικών οδοστρώματος και οροφών κτιρίων

Η Εικόνα 2-11 παρουσιάζει την φασματική ανακλαστικότητα κάποιων βασικών υλικών για την κατασκευή των δρόμων (επιφάνεια του οδοστρώματος) και στεγών κτιρίων.



Εικόνα 2-11: Διαγράμματα ανακλαστικότητας υλικών οδοστρώματος και στεγών

Πηγή: Herold M. et al., 2003

Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν μια αύξηση της ανακλαστικότητας στα πιο μεγάλα μήκη κύματος, με μεγιστοποίηση του συντελεστή ανάκλασης στο μικροκυματικό υπέρυθρο (SWIR). Οι δρόμοι από σκυρόδεμα και αμμοχάλικο έχουν την μεγαλύτερη ανακλαστικότητα, ενώ οι χώροι στάθμευσης έχουν τη χαμηλότερη σε ολόκληρο το φασματικό εύρος. Τα οδικά υλικά παρουσιάζουν χαρακτηριστικά έντονης απορροφητικότητας στο SWIR που μπορούν να συσχετισθούν με τα ορυκτά συστατικά τους.

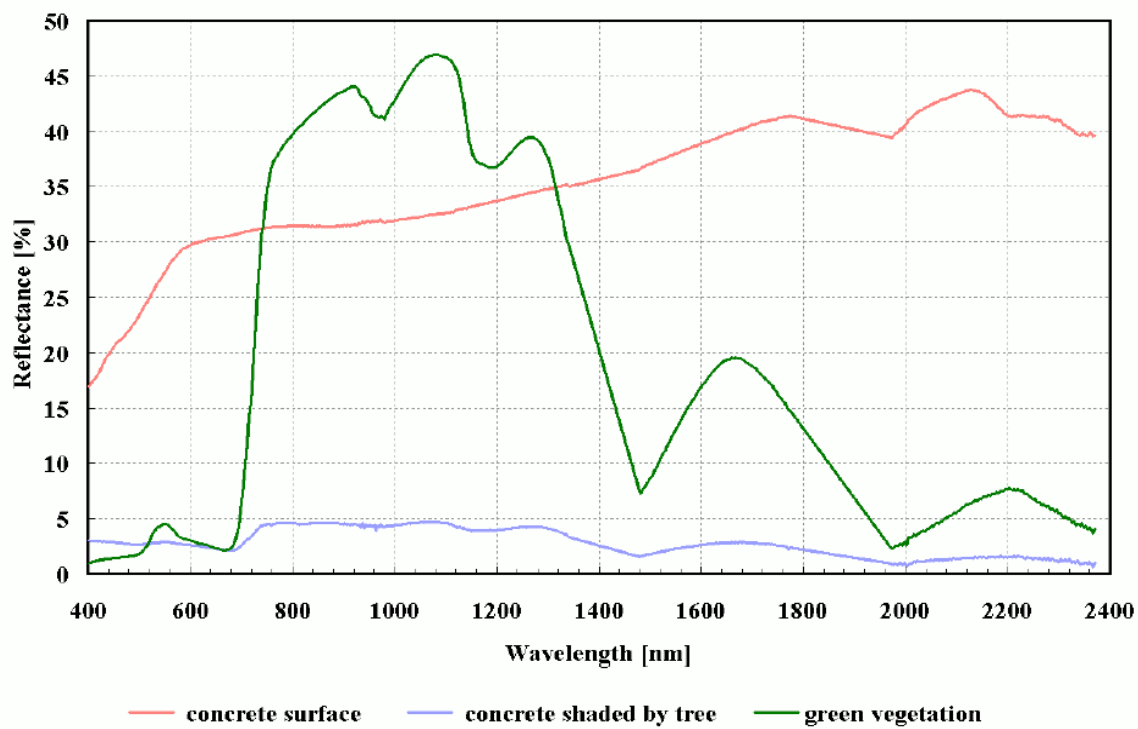
Όσον αφορά στις οροφές των κτιρίων, οι κόκκινες στέγες από κεραμίδι και οι ξύλινες παρουσιάζουν διαφορετικές φασματικές υπογραφές συγκρινόμενες με τα άλλα υλικά. Και οι δύο τύποι στεγών παρουσιάζουν μια σημαντική αύξηση ανακλαστικότητας στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (NIR) και του SWIR.

Η πίσσα, το γκρίζο κεραμίδι και τα συνθετικά υλικά από βότσαλο παρουσιάζουν τη χαμηλότερη ανακλαστικότητα σε ολόκληρο το φάσμα, με χαρακτηριστικά μικρής απορρόφησης στο SWIR. Έχουν φασματική υπογραφή παρόμοια με αυτήν των ασφαλοστρωμένων δρόμων, κυρίως λόγω της σύνθεσής τους από παρόμοια υλικά (Herold M., et al, 2003).

2.2.4. Φασματικά χαρακτηριστικά της βλάστησης και των υλικών οδοστρώματος με σκίαση

Η άλλη κύρια πηγή λαθών αφορά τη βλάστηση. Γενικά, η βλάστηση και οι δρόμοι έχουν αρκετά διαφορετικές φασματικές υπογραφές και αναμένεται η σύγχυση να είναι μικρή. Όμως, η κακή ταξινόμηση σχετίζεται με τη βλάστηση που καλύπτει την επιφάνεια του δρόμου πχ. μεγάλα δέντρα που δημιουργούν σκιές.

Το διάγραμμα στην Εικόνα 2-12, παρουσιάζει τα φασματικά χαρακτηριστικά της πράσινης βλάστησης, μιας σκυροποϊήτης επιφάνειας και μιας σκυροποϊήτης επιφάνειας πλήρως σκιασμένης από φύλλωμα δέντρων. Το φύλλωμα διασκορπίζεται και διαχέει το φως προς τα κάτω στη σκιερή επιφάνεια, αποκρύπτοντας τη φασματική υπογραφή της αστικής επιφάνειας, με αποτέλεσμα αυτή να παρουσιάζει χαμηλή ανακλαστικότητα, εμφανίζοντας τελικά τη φασματική υπογραφή της σκούρης βλάστησης, οδηγώντας σε μέτρια αποτελέσματα ταξινομήσεων.



Εικόνα 2-12: Φάσμα πράσινης βλάστησης, σκυροποίητης επιφάνειας και επιφάνειας με σκίαση

Πηγή: Herold M. et al., 2003

3. Σύγχρονα Δορυφορικά Συστήματα Μέσης και Υψηλής Χωρικής Ανάλυσης

Μετά την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου Landsat το 1972, που αρχικά ονομαζόταν ERTS, οι δορυφορικές εικόνες άρχισαν να είναι διαθέσιμες και για πολιτικές εφαρμογές. Οι δορυφόροι αυτού του τύπου είχαν σαν κύρια εφαρμογή την ταξινόμηση των απεικονιζόμενων αντικειμένων, γι' αυτό απαιτούνταν μια καλή φασματική ανάλυση και όχι μια υψηλή γεωμετρική ανάλυση. Το 1986 εκτοξεύτηκε ο SPOT-1, ο πρώτος δορυφόρος που σχεδιάστηκε καθαρά για χαρτογραφικούς σκοπούς. Η εκτόξευση του δορυφόρου IKONOS το Σεπτέμβριο του 1999 άλλαξε τα δεδομένα στις εμπορικά διαθέσιμες εικόνες υψηλής ανάλυσης επειδή μπορούσε να συλλέγει εικόνες με διακριτική ικανότητα 0,82 μέτρα. Η επανάσταση ήρθε με την εκτόξευση του δορυφόρου World_View-2 στις 8 Οκτωβρίου 2009, ο οποίος δίνει εικόνες χωρικής ανάλυσης 0,5m.

Τα πολυφασματικά δεδομένα που ελήφθησαν από τους δορυφορικούς αισθητήρες οδήγησαν σε μία βελτιωμένη κατανόηση θεμάτων για τις καλλιέργειες, τα πετρώματα, τα εδάφη, την αστικοποίηση και πολλά άλλα επιφανειακά χαρακτηριστικά και διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στη γήινη επιφάνεια.

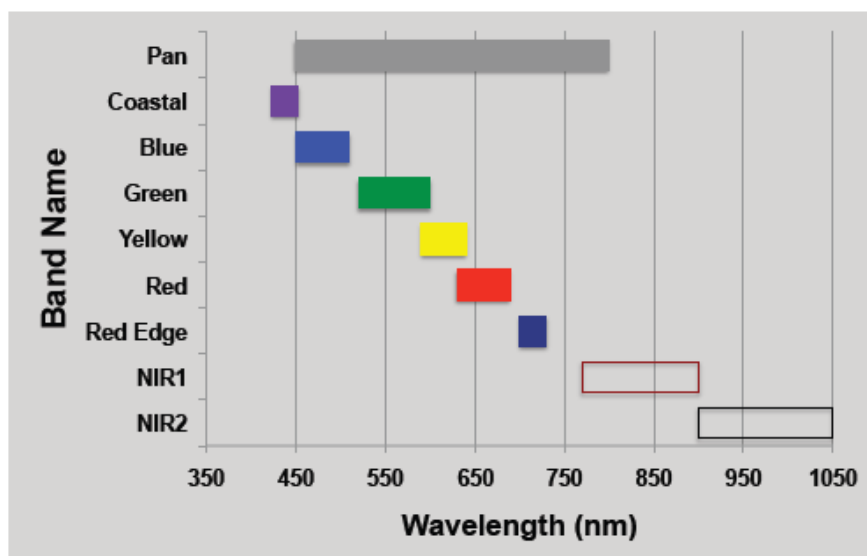
3.1. Ο Δορυφόρος World View-2

Ο δορυφόρος WorldView- 2 είναι εμπορικός, οπτικός δορυφόρος εικόνων πολύ υψηλής ευκρίνειας και ανήκει στην εταιρία DigitalGlobe. Εκτοξεύτηκε στις 8 Οκτωβρίου 2009 με πυραύλους Delta 7920 από την αεροπορική βάση Βάντενμπεργκ και έχει προγραμματιστεί να παραμείνει σε λειτουργία μέχρι το 2017.

Έχει τη δυνατότητα συλλογής μονοσκοπικών και στερεοσκοπικών εικόνων. Επίσης, διαθέτει πολύ μεγάλη ευελιξία με αποτέλεσμα να συλλέγει πολύ μεγάλες περιοχές κατά τη διάρκεια μιας διέλευσης (περίπου 1 εκατ. km² στη διάρκεια μιας μέρας). Εκτελεί τροχιά σύγχρονη ηλιακά σε ύψος 770 χιλιομέτρων και κατέρχεται πάνω από τον ισημερινό σε κάθε τροχιά στις 10:30 π.μ. . Έχει τροχιακή περίοδο 100 λεπτών και μεταφέρει αισθητήρα πολυφασματικής απεικόνισης. Οι δορυφορικές εικόνες WorldView-2 αποτελούνται από μια παγχρωματική εικόνα, με ανάλυση 50cm και μια πολυφασματική εικόνα οχτώ καναλιών με ανάλυση 1,84m.

Τα οχτώ φασματικά κανάλια (Παράκτιο, Μπλέ, Πράσινο, Κίτρινο, Κόκκινο, Red Edge, Εγγύς Υπέρυθρο -1 και Εγγύς Υπέρυθρο -

2), όπως απεικονίζονται στη Εικόνα 3-1, είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για εφαρμογές Τηλεπισκόπησης και κυρίως για βαθυμετρία, ανάλυση βλάστησης, παραγωγή χαρτών χρήσεως γης, χαρτογράφηση πολύ υψηλής ευκρίνειας, ανίχνευση αλλαγών και στερεοσκοπική τρισδιάστατη απεικόνιση.



Εικόνα 3-1: Τα φασματικά κανάλια του δορυφόρου World View-2

Πηγή: www.Digitalglobe.com

Για τον εντοπισμό κάποιων χαρακτηριστικών προτιμώνται οι κάτωθι συνδυασμοί, όπως αναγράφονται στον Πίνακα 3-1:

Χαρακτηριστικό	R	G	B
Βλάστηση	Εγγύς Υπέρυθρο -2	Κίτρινο	Παράκτιο
Σκιά	Εγγύς Υπέρυθρο -2	Red Edge	Κίτρινο
Τσιμέντο	Εγγύς Υπέρυθρο -2	Κίτρινο	Μπλέ
Απόθεση Ιζημάτων	Κόκκινο	Κίτρινο	Παράκτιο
Λάσπη	Red Edge	Κίτρινο	Παράκτιο
Κεραμοσκεπή	Κόκκινο	Κίτρινο	Πράσινο
Βάθος Νερού	Κίτρινο	Πράσινο	Παράκτιο

Πίνακας 3-1: Συνδυασμός Καναλιών για την ανίχνευση συγκεκριμένων χαρακτηριστών

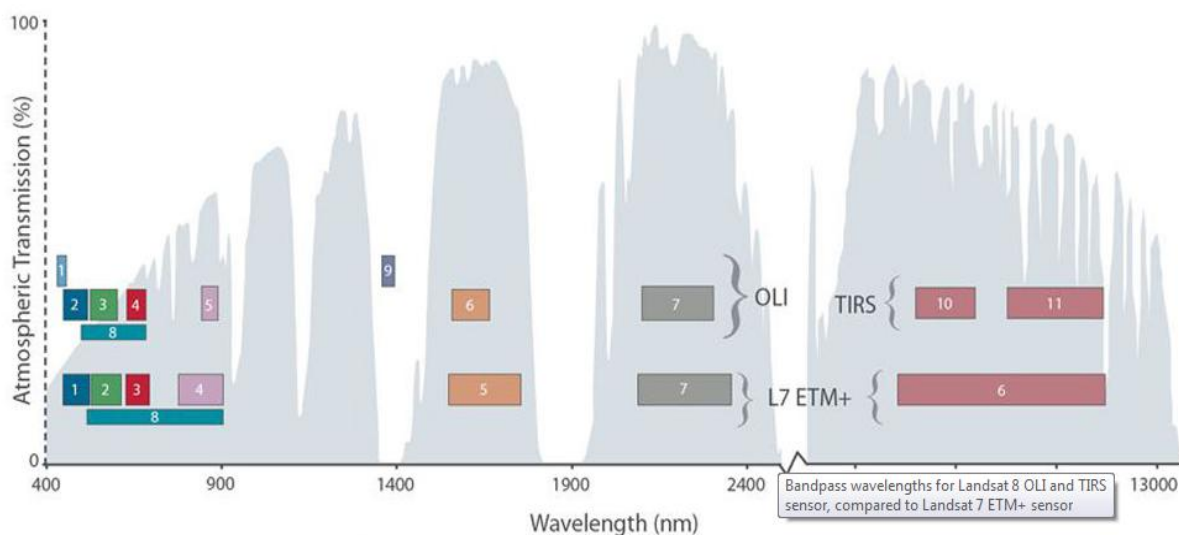
Πηγή: <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2/>

3.2. Ο Δορυφόρος Landsat-8

Ο δορυφόρος Landsat 8 εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013 από την αεροπορική βάση Vandenberg στην Καλιφόρνια, ο οποίος αναπτύχθηκε από τη NASA, σε συνεργασία με την γεωλογική υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS). Η NASA ανέλαβε το σχεδιασμό, την κατασκευή, την εκτόξευση και τα εν τροχιά στάδια βαθμονόμησης του δορυφόρου, περίοδο κατά την οποία ο δορυφόρος ονομαζόταν Landsat Data Continuity Mission (LDCM). Στις 30 Μαΐου του 2013 το USGS ανέλαβε τις διαδικασίες λειτουργίας του δορυφόρου και πλέον, οι διαδικασίες βαθμονόμησης, ο δορυφορικός χειρισμός, η παραγωγή και η αποθήκευση δεδομένων στο κέντρο Earth Resources Observation and Science (EROS) είναι αντικείμενο εργασίας του USGS.

Ο Landsat 8 μεταφέρει δύο όργανα καταγραφής: i) το Operational Land Imager (OLI) και ii) το Thermal Infrared Sensor (TIRS). Αυτοί οι δύο αισθητήρες παρέχουν εποχιακή κάλυψη της παγκόσμιας ξηράς σε χωρική ανάλυση 30 μέτρων για τα κανάλια που βρίσκονται στο ορατό, κοντινό υπέρυθρο και μικροκυματικό υπέρυθρο, 100 μέτρων για τα θερμικά κανάλια και 15 μέτρων για το παγχρωματικό κανάλι. Ο αισθητήρας OLI συλλέγει δεδομένα στο ορατό κοντινό υπέρυθρο, μικροκυματικό υπέρυθρο καθώς και στο παγχρωματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τέλος, ο αισθητήρας OLI παρέχει δύο νέες φασματικές ζώνες, μία προσαρμοσμένη ειδικά για την ανίχνευση νεφών (κανάλι 9) και μία για παρατηρήσεις της παράκτιας ζώνης (κανάλι 1). Όσον αφορά τον αισθητήρα TIRS συλλέγει δεδομένα σε 2 φασματικά κανάλια στο τμήμα του θερμικού υπέρυθρου, σε αντίθεση με τους προηγούμενους δορυφόρους του προγράμματος Landsat στους οποίους υπήρχε μόνο 1 φασματικό κανάλι στο συγκεκριμένο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Ο Landsat 8 αποστέλλει περίπου 400 λήψεις εικόνων ανά ημέρα στο αρχείο δεδομένων του USGS (150 παραπάνω από τον Landsat 7), αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα για λήψεις εικόνων χωρίς σύννεφα. Τα προϊόντα του είναι διαθέσιμα για το κοινό από το site της USGS Earth Resources Observation and Science και υπάρχει άμεση πρόσβαση σε περισσότερες από 22.000 εικόνες που έχουν συλλεχθεί από τις 12 Απριλίου 2013 μέχρι σήμερα.



Εικόνα 3-2: Γραφική απεικόνιση μεταξύ των φασματικών καναλιών των αισθητήρων OLI & TIRS Landsat 8 και Landsat 7

Πηγή : <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2013/07/24/band-combinations-for-landsat-8/>

Τα φασματικά κανάλια του δορυφόρου Landsat 8 είναι:

- Κανάλι 1: Ονομάζεται κανάλι coastal/aerosol, λόγω των δύο κύριων χρήσεων του: απεικόνιση ρηχών υδάτων και την παρακολούθηση των λεπτών σωματιδίων, όπως η σκόνη και ο καπνός.
 - Κανάλι 2: Κατάλληλο για χαρτογράφηση του βυθού και διαχωρισμό εδάφους και βλάστησης.
 - Κανάλι 3: Κατάλληλο για την ανίχνευση της καλύτερης κατάστασης των φυτών (υγιής βλάστηση).
 - Κανάλι 4: Χρησιμεύει για τη διάκριση της βλάστησης σε πλαγιές.
 - Κανάλι 5: Μετράει το κοντινό υπέρυθρο. Αυτό το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη μελέτη του περιεχομένου της βιομάζας και των ακτογραμμών.
 - Κανάλια 6, 7: καλύπτουν διαφορετικά τμήματα του μικροκυματικού υπέρυθρου. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τον διαχωρισμό υγρού και ξηρού εδάφους και για τη γεωλογία (πετρώματα και εδάφη που φαίνονται παρόμοια σε άλλα φασματικά κανάλια έχουν ισχυρές αντιθέσεις στο μικροκυματικό υπέρυθρο).
 - Κανάλι 8: Είναι το παγχρωματικό κανάλι, το πιο ευκρινές κανάλι, με 15 μέτρα χωρική διακριτική ικανότητα
 - Κανάλι 9: καταγράφει τη λιγότερη πληροφορία, αφού καλύπτει ένα πολύ μικρό κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ($1370 \pm 10\text{nm}$). Καταγράφει μόνο τα σύννεφα.

- Κανάλια 10,11: βρίσκονται στο θερμικό υπέρυθρο και καταγράφουν την θερμότητα. Αντί για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα, όπως οι μετεωρολογικοί σταθμοί, καταγράφεται η θερμοκρασία του εδάφους, το οποίο είναι συνήθως αρκετά θερμότερο. Έχουν 100 μέτρα χωρική διακριτική ικανότητα.

3.3. Ο Δορυφόρος Pleiades

Την Παρασκευή 17 Δεκεμβρίου 2011, εκτοξεύτηκε με επιτυχία από τη Γαλλική Γουινέα πύραυλος Soyuz με φορτίο 6 δορυφόρων. Η με αύξοντα αριθμό 1871 πτήση Soyuz και κωδικό VS02 ολοκλήρωσε την αποστολή και έτσι ο στόλος των δορυφόρων παρατήρησης της Γης υψηλής ανάλυσης (VHR) εμπλουτίστηκε από το Γαλλικό σύστημα Pleiades-1A.

Η Ευρώπη εισήλθε δυναμικά στην αγορά των εικόνων χωρικής ανάλυσης κάτω του μέτρου, καθώς ο βάρους 970 κιλών Pleiades-1A μπορεί να καταγράφει εικόνες στο παγχρωματικό του κανάλι (480-830nm) σε χωρική ανάλυση 0,5μ και 2,0μ στα τέσσερα πολυφασματικά κανάλια (Μπλε 430-550nm, Πράσινο 490-610nm, Κόκκινο 600-720nm & Εγγύς Υπέρυθρο 750-950nm).

Ο δορυφόρος βρίσκεται σε τροχιά μέσου ύψους 694 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της Γης με μέγιστη θεωρητική δυνατότητα σάρωσης 1.000.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων ανά 24 ώρες και πραγματική βέλτιστη δυνατότητα σάρωσης 300.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων ανά 24 ώρες, ενώ θα υπάρχει η δυνατότητα λήψης ζεύγους ή τριάδας στερεοσκοπικών εικόνων (stereo/tri-stereo). Σχεδιασμένο το σύστημα Pleiades με διπλό σκοπό, θα καλύπτει τις ανάγκες της Ευρώπης τόσο σε πολιτικό/εμπορικό επίπεδο, όσο και σε στρατιωτικό.

Στις 02 Δεκεμβρίου 2012 εκτοξεύτηκε και ο δίδυμος Pleiades-2, κάτι έδωσε τη δυνατότητα λήψης εικόνας για κάθε περιοχή του πλανήτη ανά 24 ώρες.

Παρακάτω ακολουθεί ο συγκριτικός Πίνακας 3-2 μεταξύ των δορυφόρων που παρουσιάστηκαν:

	LANDSAT-8	WORLD VIEW-2	PLEIADES
Εκτόξευση	11 Φεβρουαρίου 2013	8 Οκτωβρίου 2009	17 Δεκεμβρίου 2011
Είδος Τροχιάς	Ηλιοσύγχρονη	Ηλιοσύγχρονη	Ηλιοσύγχρονη
Ύψος τροχιάς	705km	770 km	694km
Επαναληψιμότητα		1,1 ημέρα	Ημερήσια
Χωρική Ανάλυση Παγχρωματικής	15 m	46 cm	50 cm
Χωρική Ανάλυση Πολυφασματικής	30m	1.84 m	2 m
Εύρος Φάσματος Παγχρωματικής	0,5-0,68 μm	0,45-0,80 μm	0,48-0,83 μm
Εύρος Φάσματος Πολυφασματικής	Coastal 0,433-0,435 μm Blue 0,45-0,515 μm Green 0,525-0,6 μm Red 0,63-0,68 μm NIR 0,845-0,885 μm SWIR1 1,56-1,66 μm SWIR2 2,1-2,3 μm LWIR1 10,3-11,3 μm LWIR2 11,5-12,5 μm	Coastal 0,4-0,45 μm Blue 0,45-0,51 μm Green 0,51-0,58 μm Yellow 0,58-0,625 μm Red 0,63-0,69 μm NIR1 0,77-0,895 μm NIR2 0,86-1,04 μm	Blue 0,43-0,55 μm Green 0,49-0,61 μm Red 0,6-0,72 μm NIR 0,75-0,95 μm

Πίνακας 3-2: Συγκριτικός Πίνακας μεταξύ των δορυφόρων Landsat8, WV2 και Pleiades

4. Ταξινόμηση Δορυφορικών Εικόνων Μεγάλων Διαστάσεων

Η διερεύνηση των δυνατοτήτων ανίχνευσης και εξαγωγής αδιαπέραστων επιφανειών με εφαρμογή διαφόρων τηλεπισκοπικών μεθόδων και τεχνικών έγινε σε δύο απεικονίσεις (Δορυφορική εικόνα World View-2, Δορυφορική εικόνα Pleiades) και αφορά την ευρύτερη περιοχή της Ραφήνας.

4.1. Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι ο Δήμος Ραφήνας – Πικερμίου. Το 1994 η Ραφήνα γίνεται δήμος, ενώ το 2011 στα πλαίσια του «Καλλικράτη» ενώθηκε με την κοινότητα Πικερμίου και σήμερα αποτελούν τον ενιαίο καλλικρατικό δήμο Ραφήνας-Πικερμίου. Βρίσκεται στην περιοχή των Μεσογείων (Περιφέρεια Αττικής, πρώην Νομαρχία Ανατολικής Αττικής) και βρέχεται από τον νότιο Ευβοϊκό κόλπο. Απέχει 27,5 χιλιόμετρα από την Αθήνα και 10 χιλιόμετρα από το αεροδρόμιο «Ελευθέριος Βενιζέλος», ενώ η έκτασή της μετά τη συνένωση έχει υπολογιστεί σε 41,84 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Ο πληθυσμός το 2011 ανέρχεται σε 20.266 κατοίκους (Ελληνική Στατιστική Αρχή) με πολλαπλάσιο αριθμό τις παραθεριστικές περιόδους. Συγκεκριμένα, στη Δημοτική Ενότητα Ραφήνας απογράφηκαν το έτος 2011 συνολικά 13.091 άτομα, από τα οποία οι 12.168 ζούσαν στη Ραφήνα και οι υπόλοιποι 923 στην Καλλιτεχνούπολη. Αντίστοιχα, στη Δημοτική Ενότητα Πικερμίου απογράφηκαν συνολικά 7.175 άτομα εκ των οποίων οι 2.009 κατοικούσαν στο Πικέρμι, οι 2.111 στη Διώνη και οι υπόλοιποι 3.055 ήταν μόνιμοι κάτοικοι στην περιοχή του Ντράφι.

Η Ραφήνα συνορεύει στα νότια με τον δήμο Σπάτων – Αρτέμιδος, στα δυτικά με τον δήμο Παλλήνης – Γέρακα, στα βόρειο-δυτικά με τον δήμο Πεντέλης - Μελισσίων και στα βόρεια με τον δήμο Μαραθώνα – Νέας Μάκρης. Εντός των χωρικών ορίων του δήμου βρίσκονται αρκετοί οικισμοί με σημαντικότερους εξ' αυτών τη Διώνη, το Ντράφι, την Καλλιτεχνούπολη, το Νέο Βουτζά, τη Διασταύρωση, το Μάτι και το Κόκκινο Λιμανάκι.



Εικόνα 4-1: Χάρτης απεικόνισης των όμορων δήμων της Ραφήνας

Πηγή : <http://el.wikipedia.org/wiki>

Οι βασικότερες οδικές αρτηρίες που διασχίζουν τη Ραφήνα και το Πικέρμι είναι οι εξής:

- Λεωφόρος Μαραθώνος: διασχίζει ολόκληρο τον καλλικρατικό δήμο Ραφήνας – Πικερμίου και εκτείνεται προς τα βόρεια μέχρι τη Νέα Μάκρη και τον Μαραθώνα, ενώ προς τα νότια εκτείνεται μέχρι τον Σταυρό της Αγίας Παρασκευής όπου και ξεκινάει η λεωφόρος Μεσογείων.
- Οδός Φλέμινγκ: ενώνει το κέντρο και το λιμάνι της Ραφήνας με τη λεωφόρο Μαραθώνος.
- Οδός Χρυσοστόμου Σμύρνης: εκτείνεται παράλληλα με την ακτογραμμή και ενώνει το κέντρο και το λιμάνι της Ραφήνας με την Αρτέμιδα (Λούτσα).
- Οδός Ιερολοχιτών: στην προέκτασή της μετονομάζεται σε οδό Μπούρτζου κι έπειτα σε οδό Πεντηκοστής και ενώνει τη Ραφήνα με τα Σπάτα.
- Οδός Αραφήνος: είναι ο δρόμος που οδηγεί στο λιμάνι της Ραφήνας και κινείται παράλληλα με την ακτογραμμή. Κατά μήκος της συγκεκριμένης οδού στεγάζονται οι εγκαταστάσεις της λιμενικής αρχής της Ραφήνας.

Τονίζεται ότι η περιοχή μελέτης έχει χαρακτηριστικά αστικού, ημιαστικού, ορεινού, ημιορεινού και θαλάσσιου περιβάλλοντος.

4.2. Γεωχωρικά Δεδομένα

Μια δορυφορική εικόνα μπορεί να είναι έγχρωμη ή σε αποχρώσεις του γκρι. Οι μεταβολές στη φωτεινότητα του γκρι και στις αποχρώσεις των χρωμάτων αποτελούν τη βάση για την ερμηνεία της εικόνας. Οι δορυφορικές εικόνες, ανάλογα με τον αριθμό των καναλιών τους χωρίζονται σε παγχρωματικές και πολυφασματικές.

Τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι δορυφορικές εικόνες από τα δορυφορικά συστήματα World View-2 και Pleiades. Η υψηλή διακριτική ικανότητα σε συνδυασμό με το υψηλό βάθος τόνου καθιστούν τα δεδομένα ικανά να καλύψουν πολλές εφαρμογές (αποτυπώσεις σε μεγάλη κλίμακα αστικών περιοχών, οδικού δικτύου κ.α.).

4.2.1. Δορυφορικές Εικόνες World View-2

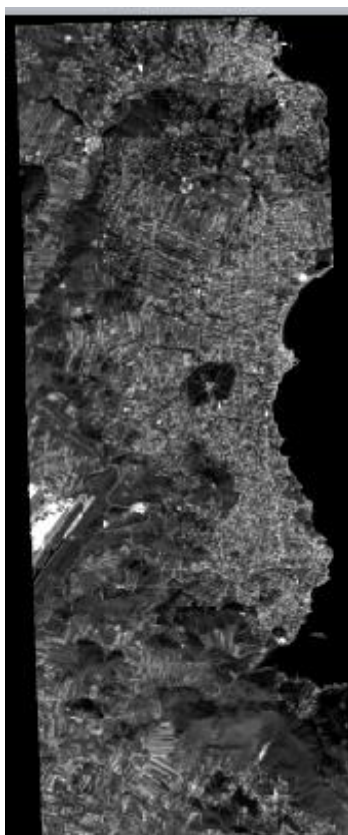
Οι δορυφορικές εικόνες World View-2 που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη έχουν ληφθεί την 23^η Απριλίου 2011. Δόθηκαν σε εγκάρσια μερκατορική προβολή (UTM, Zone 34), με ελλειψοειδές αναφοράς το WGS84. Στις εικόνες η νεφοκάλυψη είναι μηδενική.

Η παγχρωματική εικόνα αποτελείται από ένα μόνο κανάλι στην περιοχή του ορατού. Απεικονίζεται σε επίπεδα του γκρι, έτσι ώστε η φωτεινότητα του κάθε εικονοστοιχείου να είναι ανάλογη της ψηφιακής τιμής του στο αρχείο, η οποία σχετίζεται με την αντανακλαστικότητα της επιφάνειας που καταγράφει ο αισθητήρας. Τα παγχρωματικά δεδομένα στο δορυφόρο World View-2 έχουν διακριτική ικανότητα 0.5 μέτρα. Αναλυτικά, το περιεχόμενο της παγχρωματικής εικόνας παρουσιάζεται στον Πίνακα 4-1:

Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά άξονα Χ στο έδαφος (m)	0.5
Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά άξονα Υ στο έδαφος (m)	0.5
Αριθμός εικονοστοιχείων ανά γραμμή	37856
Αριθμός εικονοστοιχείων ανά στήλη	11928
Κανάλια που περιέχονται στην εικόνα (αριθμητικά)	1
Τύπος των ψηφιακών τιμών	Unsigned int 16- bit
Τύπος δεδομένων (vector, raster)	Raster
Μέγεθος ψηφιακού αρχείου	1147.11MB
Περιοχή που καλύπτει η εικόνα στο έδαφος (m ²)	$(0.5*37856)*(0.5*11928)$ =112.886.592

Πίνακας 4-1: Αναλυτική περιγραφή παγχρωματικής εικόνας WorldView-2

Η περιοχή που καλύπτεται επακριβώς φαίνεται στην Εικόνα 4-2.



Εικόνα 4-2: Παγχρωματική λήψη με τη χρήση δορυφόρου WorldView-2

Σε μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα καταγράφεται η ακτινοβολία που εκπέμπεται από μια περιοχή της γης σε διάφορα μήκη κύματος. Έτσι, η περιοχή αποτυπώνεται από τον αισθητήρα σε τόσες εικόνες όσες και οι αντίστοιχες φασματικές περιοχές (κανάλια) της ακτινοβολίας την οποία καταγράφει ο αισθητήρας. Η πολυφασματική εικόνα αποτελείται από περισσότερα του ενός κανάλια. Μπορεί να παρουσιαστεί είτε ξεχωριστά σε κάθε κανάλι ως ασπρόμαυρη εικόνα είτε συνδυάζοντας 3 κανάλια ταυτόχρονα σε μια χρωματική σύνθεση. Οι πολυφασματικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία δόθηκαν σαν οκτώ ξεχωριστά μεμονωμένα κανάλια (Παράκτιο, Μπλέ, Πράσινο, Κίτρινο, Κόκκινο, Red Edge , Εγγύς Υπέρυθρο -1 και Εγγύς Υπέρυθρο -2), με χωρική διακριτική ικανότητα 2 μέτρα. Αναλυτικά, το περιεχόμενο της πολυφασματικής εικόνας (Κανάλι 1) παρουσιάζεται στον Πίνακα 4-2:

Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά άξονα Χ στο έδαφος (m)	2
Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά άξονα Υ στο έδαφος (m)	2
Αριθμός εικονοστοιχείων ανά γραμμή	9464
Αριθμός εικονοστοιχείων ανά στήλη	2982
Κανάλια που περιέχονται στην εικόνα (αριθμητικά)	1
Τύπος των ψηφιακών τιμών	Unsigned int 16- bit
Τύπος δεδομένων (vector, raster)	Raster
Μέγεθος ψηφιακού αρχείου	72.68 MB
Περιοχή που καλύπτει η εικόνα στο έδαφος (m ²)	$(2*9464)*(2*2982)$ =112.886.592

Πίνακας 4-2: Αναλυτική περιγραφή πολυφασματικής εικόνας (Κανάλι 1) WorldView-2

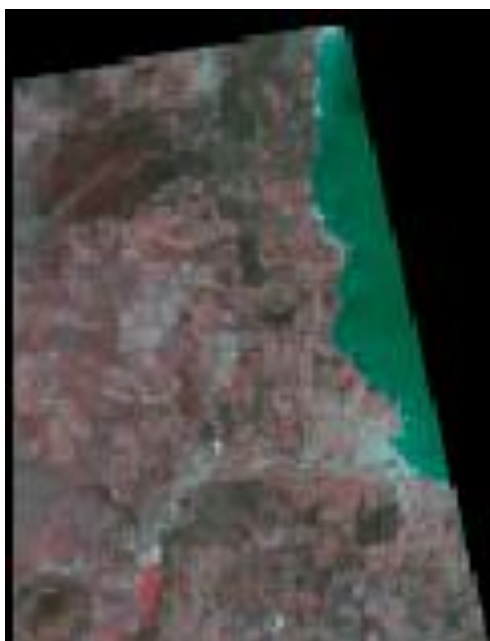
Στην Εικόνα 4-3 γίνεται μια οπτική σύγκριση της χωρικής διακριτικής ικανότητας της παγχρωματικής (0.5 m) με την πολυφασματική (2m) δορυφορική εικόνα WorldView-2.



Εικόνα 4-3: Σύγκριση χωρικής διακριτικής ικανότητας παγχρωματικής (0.5 m) και πολυφασματικής (2m) δορυφορικής εικόνας WorldView-2

4.2.2. Δορυφορικές Εικόνες Pleiades

Οι δορυφορικές εικόνες Pleiades που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη έχουν ληφθεί την 03^η Μαΐου 2011. Πρόκειται για τρεις πολυφασματικές εικόνες (R1C2, R2C2 και R3C2) με μηδενική νεφοκάλυψη. Έχουν χωρική διακριτική ικανότητα 0.5 μέτρα και 4 φασματικές ζώνες : μπλέ, πράσινο, κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο.



Εικόνα 4-4: Δορυφορική εικόνα Pleiades R1C2

Αναλυτικά, το περιεχόμενο της πολυφασματικής εικόνας R1C2 παρουσιάζεται στον Πίνακα 4-3, ενώ των εικόνων R2C2 και R3C2 στον Πίνακα 4-4.

Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά άξονα Χ στο έδαφος (m)	0.5
Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά άξονα Υ στο έδαφος (m)	0.5
Αριθμός εικονοστοιχείων ανά γραμμή	30000
Αριθμός εικονοστοιχείων ανά στήλη	30000
Κανάλια που περιέχονται στην εικόνα (αριθμητικά)	4
Τύπος των ψηφιακών τιμών	Unsigned int 16- bit
Τύπος δεδομένων (vector, raster)	Raster
Μέγεθος ψηφιακού αρχείου	1860.22 MB
Περιοχή που καλύπτει η εικόνα στο έδαφος (m ²)	$(0.5*30000)*(0.5*30000)=$ 225000000

Πίνακας 4-3: Αναλυτική περιγραφή πολυφασματικής εικόνας Pleiades R1C2



Εικόνα 4-5: Δορυφορικές εικόνες Pleiades R2C2 και R3C2

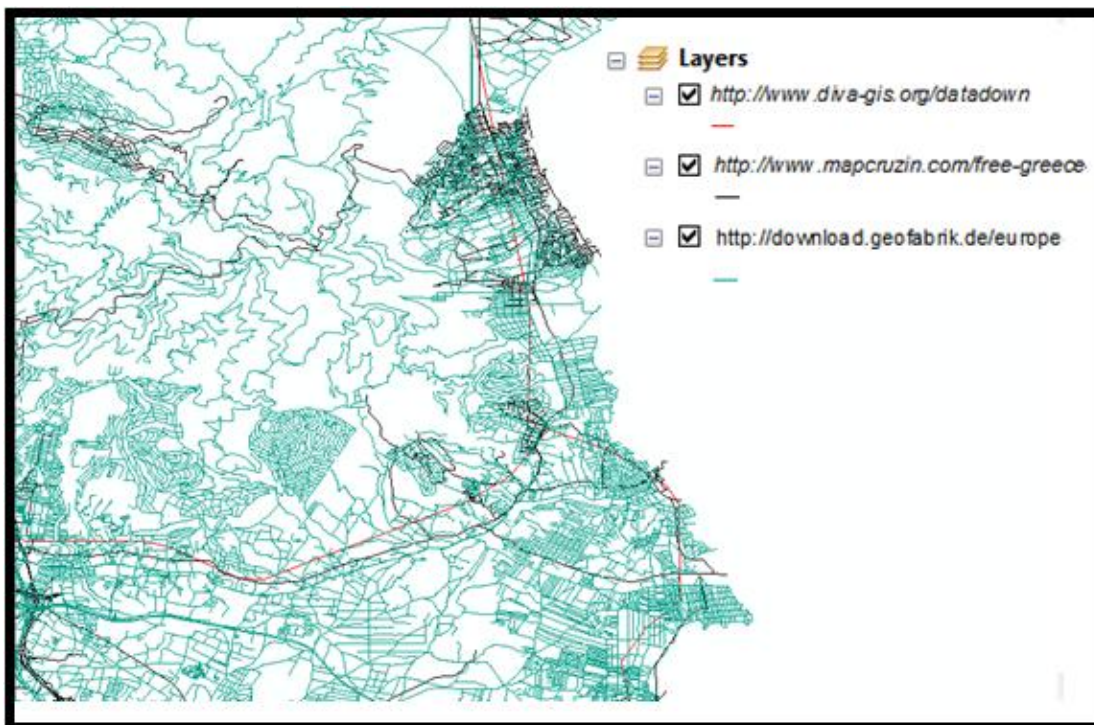
Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά άξονα X στο έδαφος (m)	0.5
Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά άξονα Y στο έδαφος (m)	0.5
Αριθμός εικονοστοιχείων ανά γραμμή	30000
Αριθμός εικονοστοιχείων ανά στήλη	30000
Κανάλια που περιέχονται στην εικόνα (αριθμητικά)	4
Τύπος των ψηφιακών τιμών	Μη προσημασμένοι Ακέραιοι Unsigned int 16- bit
Τύπος δεδομένων (vector, raster)	Raster
Μέγεθος ψηφιακού αρχείου	2290.95 MB
Περιοχή που καλύπτει η εικόνα στο έδαφος (m ²)	$(0.5*30000)*(0.5*30000)=$ 225000000

Πίνακας 4-4 : Αναλυτική περιγραφή πολυφασματικών εικόνων Pleiades R2C2 και R3C2

4.2.3. Οδικό Δίκτυο

Το οδικό δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία κρίθηκε απαραίτητο να είναι πλήρες, διότι από αυτό θα δημιουργηθούν τα δεδομένα επαλήθευσης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων των δορυφορικών εικόνων (ground truth data).

Έγινε αναζήτηση στο διαδίκτυο για οδικό δίκτυο σε μορφή shapefile, και βρέθηκε σε τρεις διαφορετικούς ιστότοπους (<http://www.diva-gis.org/datadown>, <http://www.mapcruzin.com/free-greece-arcgis-maps-shapefiles.htm>, <http://download.geofabrik.de/europe/greece.html>), με πληρέστερο αυτό του τρίτου ιστότοπου, το οποίο και επιλέχτηκε.



Εικόνα 4-6: Συγκριτική παράθεση των διαθέσιμων οδικών δικτύων

4.3. Προεπεξεργασίες

Τα στάδια της προεπεξεργασίας είναι πολύ σημαντικά, διότι δίνουν την δυνατότητα στο χρήστη να αξιοποιήσει στο έπακρο τα δεδομένα του και να τα φέρει στην επιθυμητή για χρήση μορφή.

4.3.1. Δημιουργία Πολυφασματικής Εικόνας World View-2

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να συνδυαστούν τα επιμέρους φασματικά κανάλια των δορυφορικών εικόνων World View-2 σε μια εικόνα είναι η κάτωθι :

Τρέχοντας την εντολή Layer Stack στο *Erdas Imagine 2014* χρησιμοποιήθηκαν για δεδομένα εισόδου με τη σειρά τα φασματικά κανάλια 1 έως 8, επιθέτοντας το ένα πάνω στο άλλο και λήφθηκε ως αποτέλεσμα (δεδομένο εξόδου) η πολυφασματική εικόνα και αποθηκεύτηκε ως τύπος αρχείου (.tif).



Εικόνα 4-7: Αποτέλεσμα δημιουργίας πολυφασματικής εικόνας World View-2

4.3.2. Συγχώνευση εικόνων WorldView-2 (Pansharpering)

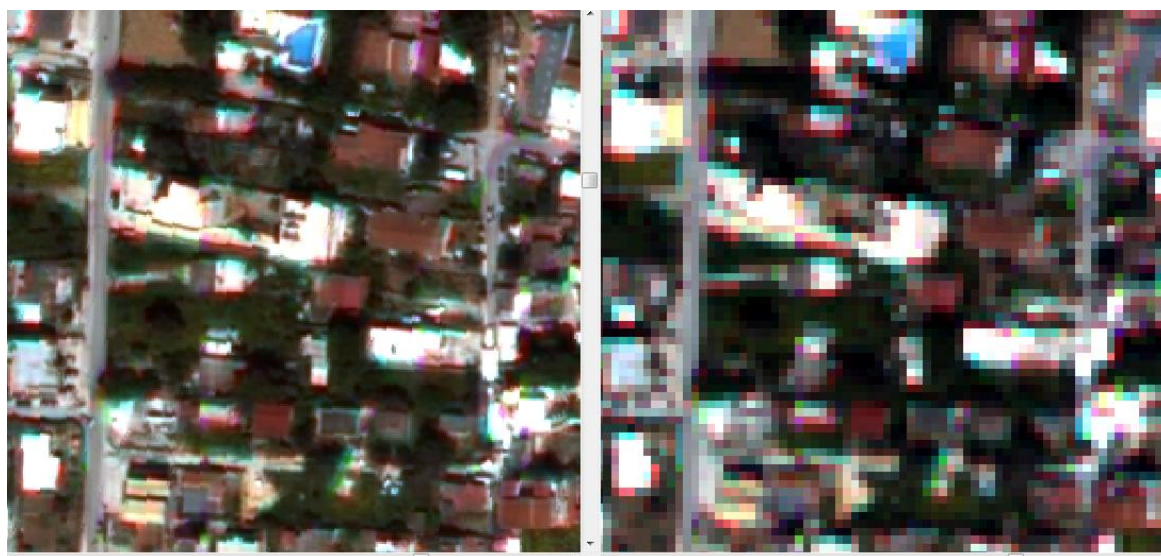
Για να διορθωθεί το μειονέκτημα των πολυφασματικών ψηφιακών εικόνων WorldView-2 (χαμηλή χωρική ανάλυση), θα αξιοποιηθεί η παγχρωματική με την υψηλή χωρική ανάλυση, η οποία σε συνδυασμό με την πολυφασματική θα δώσει μια νέα πολυφασματική εικόνα με διακριτική ικανότητα 0.5 μέτρα. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η κάτωθι :

Εφαρμόζοντας τη διαδικασία HCS Resolution Merge, η οποία λειτουργεί με οποιαδήποτε πολυφασματικά δεδομένα που περιέχουν 3 ή περισσότερα κανάλια, επιλέχθηκαν για δεδομένα εισόδου με τη σειρά η παγχρωματική εικόνα με το ένα φασματικό κανάλι και η πολυφασματική με τα οκτώ κανάλια. Για τεχνική αναδόμησης της εικόνας (Resampling), χρησιμοποιήθηκε αυτή του εγγύτερου γείτονα, όπως αναλύθηκε στο § 2.1.7.

Ως αποτέλεσμα (δεδομένο εξόδου) προέκυψε μια πολυφασματική εικόνα (Geotif) υψηλής διακριτικής ικανότητας (0.5 μέτρα) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλα προγράμματα επεξεργασίας εικόνας.



Εικόνα 4-8: Αποτέλεσμα δημιουργίας πολυφασματικής εικόνας World View-2 υψηλής χωρικής ανάλυσης



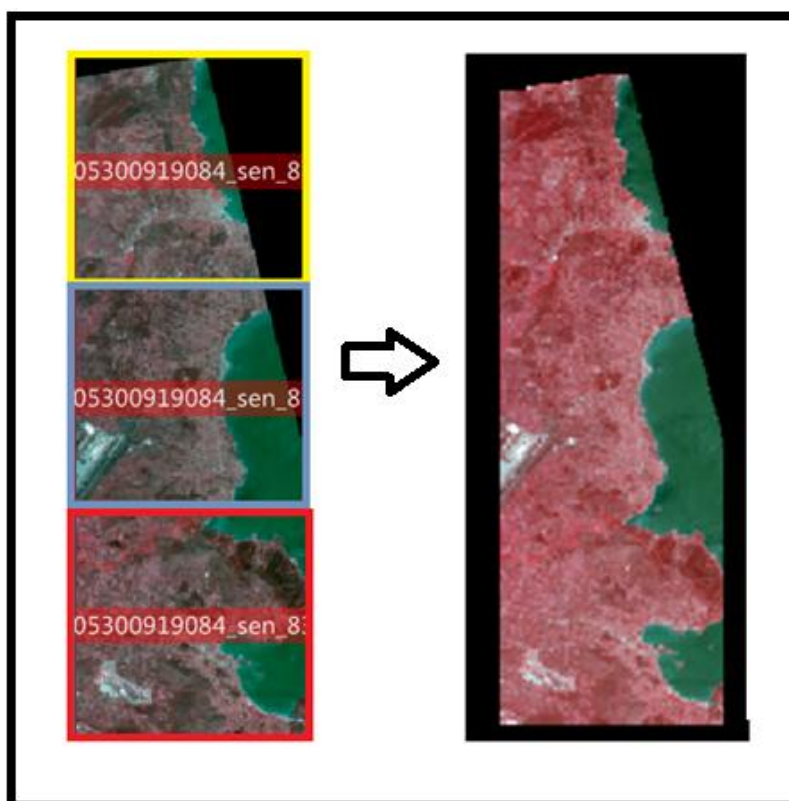
Εικόνα 4-9: Σύγκριση χωρικής διακριτικής ικανότητας συγχωνευμένης (0.5 m) και πολυφασματικής (2m) δορυφορικής εικόνας WorldView-2

4.3.3. Δημιουργία Μωσαικού από εικόνες Pleiades

Για να μπορέσουν να αξιοποιηθούν ταυτόχρονα οι πολυφασματικές εικόνες R1C2, R2C2 και R3C2, κρίθηκε σκόπιμη η δημιουργία ενός ενιαίου μωσαικού με την ίδια διακριτική ικανότητα των 0.5 μέτρων. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η κάτωθι :

Τρέχοντας την εντολή Mosaic στο *Erdas Imagine 2014* επιλέχθηκαν για δεδομένα εισόδου οι τρεις εικόνες και η συνένωση τους χρησιμοποιώντας και τα 4 διαθέσιμα κανάλια. Ως αποτέλεσμα (δεδομένο εξόδου) λήφθηκε πολυφασματική εικόνα (Geotif) υψηλής διακριτικής ικανότητας (0.5 μέτρα).

Order	Ref.	Vis.	Image Name	Area	Resample	RMS	Online
1	✓	✓	/img_phr1a_pms_201305300919084_sen_83301210	Entire	NN	0.0000	✓
2	✓	✓	/img_phr1a_pms_201305300919084_sen_83301210	Entire	NN	0.0000	✓
3	✓	✓	/img_phr1a_pms_201305300919084_sen_83301210	Entire	NN	0.0000	✓



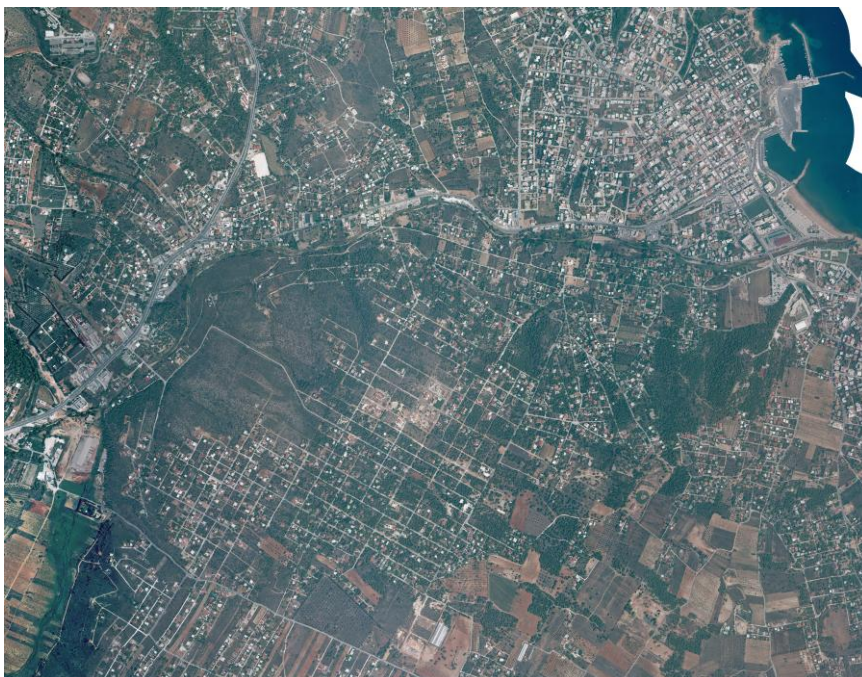
Εικόνα 4-10: Διαδικασία δημιουργίας μωσαικού εικόνας Pleiades

4.4. Ορθοαναγωγή – Αντιστοίχιση εικόνων

Το registration των εικόνων υλοποιήθηκε με το λογισμικό ArcGis10. Για την «σωστή» υλοποίηση της γεωαναφοράς απαιτήθηκε η εφαρμογή πολυωνύμου 2ου ή 3ου βαθμού. Με τον όρο σωστά, εννοούμε την μεγαλύτερη δυνατή ταύτιση των δύο εικόνων ή το δυνατόν στα 2 pixel (1m), έτσι ώστε να μπορέσει να πραγματοποιηθεί επιτυχημένη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης με τα groundtruth δεδομένα. Αυτό σημαίνει ότι έπρεπε να επιλεγούν τουλάχιστον 6 και 10 tie points αντίστοιχα (Στην πράξη χρησιμοποιήθηκαν πολύ περισσότερα). Στην αντίθετη περίπτωση, της εφαρμογής του αφινικού μετασχηματισμού (απαραίτητα κατ'ελάχιστον 3 σημεία), το αποτέλεσμα δεν ήταν το επιθυμητό.

Στην παρούσα εργασία σαν εικόνα βάσης χρησιμοποιήθηκε ορθοεικόνα του ΟΚΧΕ στο ΕΓΣΑ'87, με τα χαρακτηριστικά της να φαίνονται στον Πίνακα 4-5.

Τα σημεία ελέγχου που επιλέχθηκαν για την αντιστοίχιση είναι στέγες κτιρίων, προβλήτες και σταθερές χαρακτηριστικές κατασκευές, καθώς και γωνίες από σταυροδρόμια.



Εικόνα 4-11: Εικόνα βάσης (ορθοεικόνα του ΟΚΧΕ)

Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά άξονα Χ στο έδαφος (m)	0.5
Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά άξονα Υ στο έδαφος (m)	0.5
Αριθμός εικονοστοιχείων ανά γραμμή	6072
Αριθμός εικονοστοιχείων ανά στήλη	7789
Κανάλια που περιέχονται στην εικόνα (αριθμητικά)	3
Τύπος των ψηφιακών τιμών	Unsigned int 8- bit
Τύπος δεδομένων (vector, raster)	Raster
Μέγεθος ψηφιακού αρχείου	183.80 MB
Περιοχή που καλύπτει η εικόνα στο έδαφος (m ²)	$(0.5*6072)*(0.5*7789)=$ 11.823.702

Πίνακας 4-5: Αναλυτική περιγραφή εικόνας βάσης του ΟΚΧΕ

Για την αντιστοίχιση της δορυφορικής εικόνας WorldView-2 χρησιμοποιήθηκαν 48 σημεία ελέγχου με μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS 1.98. Τα σημεία απεικονίζονται στην Εικόνα 4-12 και τα σφάλματά τους στην Εικόνα 4-14.

Για την αντιστοίχιση της δορυφορικής εικόνας Pleiades χρησιμοποιήθηκαν 57 σημεία ελέγχου με μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS 1.83. Τα σημεία απεικονίζονται στην Εικόνα 4-13 και τα σφάλματά τους στην Εικόνα 4-15.



Εικόνα 4-12: Σημεία ελέγχου δορυφορικής εικόνας WorldView-2 και ορθοεικόνας ΟΚΧΕ



Εικόνα 4-13: Σημεία ελέγχου δορυφορικής εικόνας Pleiades και ορθοεικόνας ΟΚΧΕ

Link								
			Total RMS Error:		Forward: 1.98764			
Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual	
1	764361.917574	4212619.449183	764196.135229	4212317.023345	-0.0479374	0.280425	0.284493	
2	762847.494157	4211533.597311	762709.563674	4211239.767189	0.796706	-0.678337	1.04637	
3	762918.435779	4211500.238661	762779.082024	4211207.359884	-1.03413	-0.0689183	1.03642	
4	762915.747556	4211415.781245	762779.935110	4211124.030841	1.45281	0.704974	1.61482	
5	762891.146170	4211336.944108	762754.978527	4211044.398575	0.210033	-0.325302	0.387215	
6	760790.726128	4212980.874119	760660.842438	4212690.149694	-4.19559	-2.04092	4.66565	
7	760927.166386	4212973.888667	760803.560099	4212685.840255	2.92906	1.34352	3.22249	
8	760777.136656	4212953.864826	760649.173299	4212664.194873	-0.92924	-0.463421	1.03839	
9	760886.677061	4212932.919226	760759.561897	4212643.728352	1.22486	0.865071	1.49954	
10	760907.546859	4212907.751590	760778.826519	4212617.159638	0.834209	0.0245364	0.83457	
11	760781.893572	4212818.434867	760650.407306	4212527.438176	1.76747	0.828282	1.95193	
12	760800.132632	4212814.492475	760668.451322	4212522.917629	1.73019	0.372219	1.76978	
13	760893.900109	4212810.331642	760758.007927	4212517.752083	-2.2826	-0.291588	2.30115	
14	760945.329509	4210189.158809	760805.499329	4209904.609757	0.467102	1.13899	1.23105	
15	764584.667905	4210244.865456	764430.437605	4209946.704701	-1.69081	-0.704936	1.83188	
16	764528.796632	4210195.056974	764373.965563	4209896.343653	0.308092	-0.132879	0.335526	
17	764624.794231	4210187.472842	764468.599590	4209888.420006	-0.441487	-0.140235	0.463224	
18	764673.626743	4210193.441678	764517.644755	4209894.041843	-0.506795	-0.56686	0.760376	
19	764566.401945	4210135.293013	764410.029168	4209836.325355	2.34979	1.21305	2.64442	
20	762742.732121	4213046.666241	762594.467989	4212749.884865	-0.961637	-0.023826	0.961932	
21	762782.727994	4213057.043713	762633.080100	4212759.567449	-1.77366	-0.53387	1.85226	
22	762945.186565	4213060.013533	762797.450772	4212762.591829	3.12014	0.501802	3.16024	
23	762701.565334	4212990.479253	762556.270304	4212694.803037	2.11662	1.12164	2.39544	
24	762816.520662	4212994.861295	762666.402722	4212696.443422	-0.798328	-1.03595	1.30787	
25	762897.397271	4213007.927757	762748.705083	4212711.481756	1.88923	1.33951	2.31592	
26	762698.405688	4212894.679268	762545.821326	4212596.220869	-4.08895	-1.31191	4.29426	
27	762865.464055	4212894.970689	762713.414390	4212596.406892	-1.01597	-0.703337	1.23567	
28	762915.307238	4212922.949331	762763.887830	4212624.763918	0.205457	-0.136137	0.246467	
29	760926.739409	4211436.877186	760777.796613	4211140.158222	-2.83724	-0.536999	2.88761	
30	760837.306384	4211334.898948	760692.861718	4211040.104068	1.91213	0.649051	2.01929	
31	760869.602537	4211369.242094	760722.691034	4211072.400760	-0.672857	-1.13168	1.3166	
32	760827.041230	4211315.620436	760682.022570	4211020.058771	1.29851	-0.272345	1.32676	
33	760877.768664	4211308.363344	760730.110261	4211012.038151	-2.0936	-1.07779	2.35473	
34	763014.207655	4210244.298338	762867.719049	4209948.568291	-1.89136	-0.473975	1.94985	
35	762865.024193	4210130.090262	762716.658015	4209834.169148	-0.831303	0.37859	0.913453	
36	762908.598626	4210128.549823	762761.667697	4209835.339065	1.0184	3.25459	3.41021	
37	763031.559553	4210102.904538	762882.812707	4209805.811813	1.27413	0.151779	1.28314	
38	762242.677647	4210200.970460	762099.164914	4209904.956125	-2.48407	-2.67141	3.64788	
39	762409.728931	4210196.944741	762266.729524	4209901.066506	-0.920805	-1.86916	2.08366	
40	762310.552151	4210119.847463	762167.530675	4209827.140646	0.699376	1.51049	1.66454	
41	762443.885115	4210114.353677	762299.569979	4209819.007726	0.508944	-0.481989	0.700955	
42	762217.858916	4210080.009455	762073.694143	4209784.502410	0.18511	-1.42319	1.43518	
43	762388.446799	4210084.502131	762243.722909	4209789.668121	0.694039	0.0642393	0.697006	
44	761576.589417	4211208.719015	761440.059908	4210916.166295	1.51401	1.73722	2.30438	
45	761541.979105	4211147.119285	761404.442653	4210854.577100	0.17239	1.41005	1.42055	
46	761358.592709	4211083.202877	761221.635541	4210789.225878	1.49278	-0.368207	1.53752	
47	761471.884630	4211068.662863	761332.797929	4210775.087093	-1.57732	-0.0755349	1.57912	
48	761543.395628	4211092.175213	761407.069900	4210799.200649	0.913101	0.646297	1.11868	

Auto Adjust Transformation: 3rd Order Polynomial

Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown

Εικόνα 4-14: Σφάλματα Σημείων ελέγχου δορυφορικής εικόνας WorldView-2 και ορθοεικόνας OKXE

Link								
		Total RMS Error:			Forward: 1.83825			
Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	21735.672586	-11898.497628	499134.141440	4207011.202965	0.60778	1.40875	1.53427
<input checked="" type="checkbox"/>	2	21791.334694	-11954.178461	499162.961697	4206983.234687	1.36061	1.80056	2.25683
<input checked="" type="checkbox"/>	3	22065.867585	-11929.908389	499300.866409	4206994.560345	-0.115223	-0.737738	0.746682
<input checked="" type="checkbox"/>	4	21860.148065	-12021.826957	499197.170993	4206948.733218	0.86825	1.75073	1.95421
<input checked="" type="checkbox"/>	5	21950.113110	-12033.766595	499241.509575	4206942.728350	-0.408764	1.42805	1.4854
<input checked="" type="checkbox"/>	6	22028.870704	-12279.848137	499282.291852	4206817.720908	1.20596	2.6253	2.88903
<input checked="" type="checkbox"/>	7	18090.949938	-8760.595327	497284.398899	4208584.023303	0.488254	0.7154	0.866135
<input checked="" type="checkbox"/>	8	18274.733549	-8785.111900	497378.350265	4208573.875526	0.33224	0.522216	0.618945
<input checked="" type="checkbox"/>	9	18443.753366	-8816.628115	497462.829728	4208559.231524	-1.65868	-0.291282	1.68406
<input checked="" type="checkbox"/>	10	18051.379866	-9016.789448	497265.035114	4208455.451191	1.47918	2.29952	2.73419
<input checked="" type="checkbox"/>	11	18214.380361	-8901.057093	497347.105267	4208512.481918	-0.0109997	-1.51354	1.51358
<input checked="" type="checkbox"/>	12	18421.338265	-9039.107637	497451.788049	4208444.594045	-1.20097	-2.18796	2.4959
<input checked="" type="checkbox"/>	13	18043.506015	-9083.270995	497260.032476	4208420.106054	0.562742	0.782703	0.964003
<input checked="" type="checkbox"/>	14	18287.173418	-14818.097743	497400.038112	4205555.039709	0.367469	0.929014	0.99905
<input checked="" type="checkbox"/>	15	25238.968367	-14577.576740	500906.665923	4205658.886447	0.313468	1.27998	1.31781
<input checked="" type="checkbox"/>	16	25413.008688	-14561.268316	500995.760319	4205667.874069	0.812674	0.681374	1.06052
<input checked="" type="checkbox"/>	17	25613.005347	-14577.612776	501096.454807	4205659.666877	-0.330856	-0.831286	0.894708
<input checked="" type="checkbox"/>	18	25222.472218	-14646.679131	500898.314736	4205623.331344	0.373187	0.855106	0.932992
<input checked="" type="checkbox"/>	19	25406.825981	-14670.720435	500991.140253	4205611.578794	-0.642905	-0.125879	0.655112
<input checked="" type="checkbox"/>	20	25550.422015	-14667.939233	501065.181586	4205614.545584	0.275772	0.294133	0.403192
<input checked="" type="checkbox"/>	21	21666.941891	-8789.099897	499097.332651	4208581.113700	-0.190564	-0.0235464	0.192013
<input checked="" type="checkbox"/>	22	21899.469021	-8777.907435	499215.576973	4208588.235385	1.52014	3.55842	3.86952
<input checked="" type="checkbox"/>	23	22063.558992	-8771.478670	499298.028966	4208590.193342	1.83355	3.96697	4.37021
<input checked="" type="checkbox"/>	24	21743.101954	-8939.841079	499136.333691	4208504.571437	-0.468047	-2.31478	2.36162
<input checked="" type="checkbox"/>	25	21885.631822	-9042.689874	499208.454290	4208453.581880	-0.582385	-1.91303	1.99971
<input checked="" type="checkbox"/>	26	21979.215514	-8995.290370	499254.672846	4208477.355882	-1.01547	-0.665708	1.21423
<input checked="" type="checkbox"/>	27	21777.322280	-9126.931381	499153.427686	4208409.989700	-1.69701	-4.77536	5.06792
<input checked="" type="checkbox"/>	28	18051.166434	-11884.516114	497259.882119	4206992.184061	1.02101	2.28011	2.49827
<input checked="" type="checkbox"/>	29	18333.484439	-11947.832491	497402.423275	4206959.081457	-0.369829	-1.1528	1.21067
<input checked="" type="checkbox"/>	30	18441.061658	-11914.280114	497457.567335	4206976.902552	-0.0675254	-1.28074	1.28251
<input checked="" type="checkbox"/>	31	18049.007638	-12000.130826	497258.430337	4206933.541669	0.620318	2.16891	2.25587
<input checked="" type="checkbox"/>	32	18324.546251	-11995.467188	497396.846828	4206936.333413	-1.38596	0.337922	1.42656
<input checked="" type="checkbox"/>	33	18350.883719	-12024.903280	497411.372934	4206919.892133	-0.279466	-1.39091	1.41871
<input checked="" type="checkbox"/>	34	18021.919420	-12281.371015	497244.200807	4206788.832723	-0.141289	-0.492943	0.512791
<input checked="" type="checkbox"/>	35	18219.849898	-12291.311886	497344.802802	4206784.794191	-0.290546	-0.835832	0.884891
<input checked="" type="checkbox"/>	36	18471.062713	-12261.434288	497472.596920	4206799.980360	-0.314173	-2.41753	2.43785
<input checked="" type="checkbox"/>	37	25219.978136	-12029.984850	500895.012319	4206949.411318	-2.3234	-1.94155	3.02784
<input checked="" type="checkbox"/>	38	25420.988905	-12005.496721	500999.442703	4206965.618860	0.679232	2.13301	2.23854
<input checked="" type="checkbox"/>	39	25552.350148	-11920.316604	501065.196117	4207007.726777	0.406997	1.76195	1.80834
<input checked="" type="checkbox"/>	40	25400.213456	-12168.383626	500988.593431	4206880.641875	-0.0532602	-0.97299	0.974446
<input checked="" type="checkbox"/>	41	25545.195905	-12194.685761	501062.807586	4206869.516114	0.857566	1.16201	1.44419
<input checked="" type="checkbox"/>	42	25326.215707	-12262.551554	500950.982808	4206831.017089	-0.429906	-3.12377	3.15321
<input checked="" type="checkbox"/>	43	25494.185509	-12331.501944	501036.627560	4206799.916928	0.183608	0.446052	0.482364
<input checked="" type="checkbox"/>	44	25587.962514	-12320.676413	501084.476277	4206805.545740	0.642118	0.571831	0.859829
<input checked="" type="checkbox"/>	45	21888.924912	-14463.943665	499207.340261	4205701.706790	0.210855	-0.0601748	0.219274
<input checked="" type="checkbox"/>	46	21970.532028	-14482.445727	499247.243033	4205693.822685	-1.17857	1.2956	1.75146
<input checked="" type="checkbox"/>	47	21913.035653	-14615.212962	499219.774751	4205624.923951	0.0813564	-1.29682	1.29937
<input checked="" type="checkbox"/>	48	21937.136404	-14627.186834	499231.914701	4205618.433616	0.0115231	-1.8058	1.80584
<input checked="" type="checkbox"/>	49	24322.121225	-13002.905539	500442.205120	4206454.043016	-0.244625	-0.61442	0.661327
<input checked="" type="checkbox"/>	50	24411.264768	-12955.870029	500487.118429	4206477.792783	-0.634633	-1.31906	1.46379
<input checked="" type="checkbox"/>	51	24607.267066	-12940.217976	500587.281091	4206487.151969	0.0847136	-0.818597	0.822969
<input checked="" type="checkbox"/>	52	24221.972336	-13232.690534	500391.694162	4206335.670656	0.502486	-0.945396	1.07064
<input checked="" type="checkbox"/>	53	24494.044187	-13084.436049	500528.989648	4206414.124188	-0.548385	0.341999	0.646289
<input checked="" type="checkbox"/>	54	24625.734999	-13161.716910	500595.486305	4206373.660088	-0.757441	-1.27428	1.4824
<input checked="" type="checkbox"/>	55	24252.978863	-13381.135048	500406.437350	4206261.080205	-0.202548	0.24278	0.316177
<input checked="" type="checkbox"/>	56	24420.760755	-13344.401415	500492.037832	4206280.078533	0.147441	-0.439041	0.463137
<input checked="" type="checkbox"/>	57	24559.322517	-13265.624710	500562.062228	4206321.433342	-0.307078	-0.0776538	0.316745

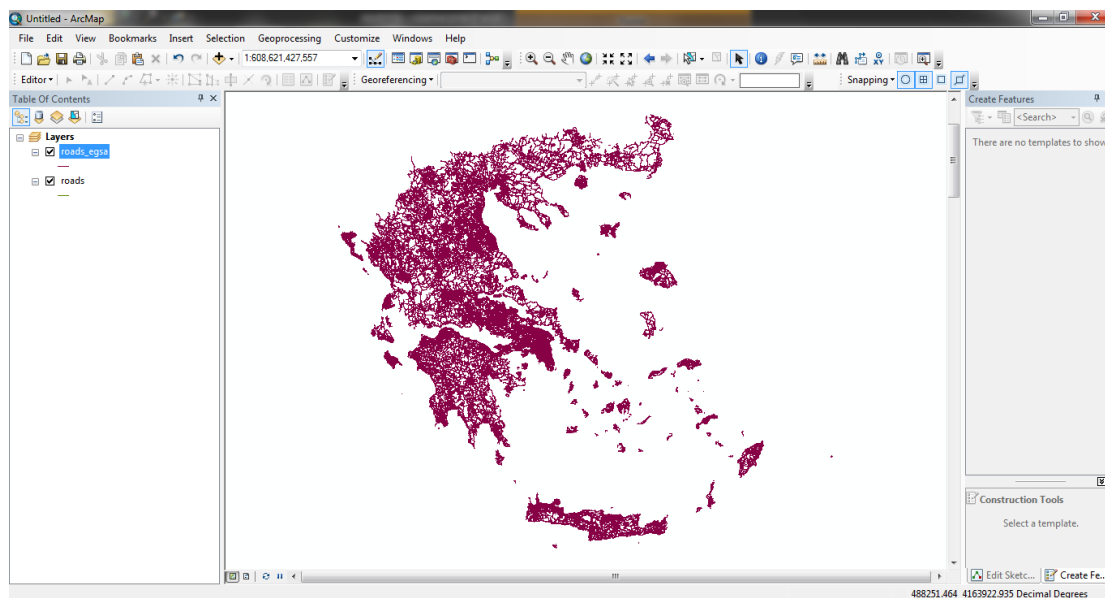
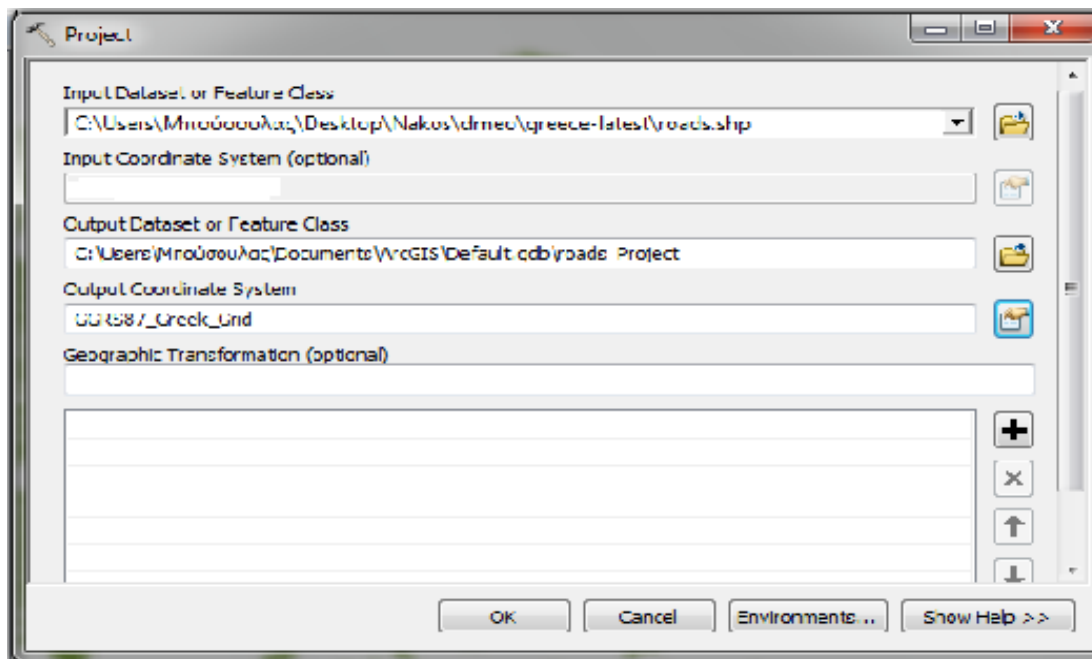
Auto Adjust Transformation: 3rd Order Polynomial

Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown

Εικόνα 4-15: Σφάλματα Σημείων ελέγχου δορυφορικής εικόνας Pleiades και ορθοεικόνας ΟΚΧΕ

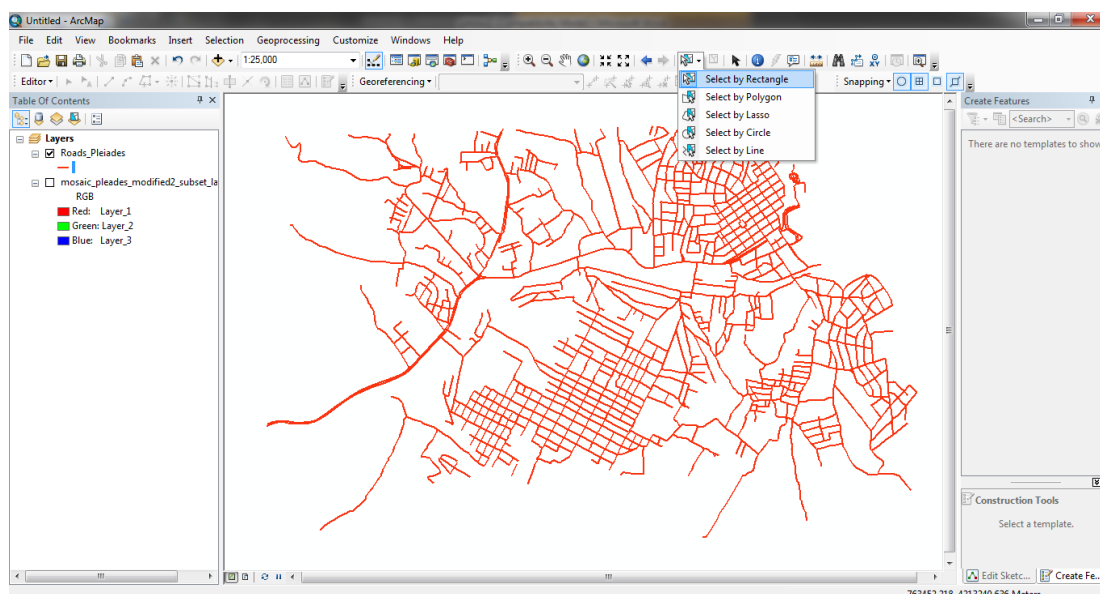
4.5. Επεξεργασία Διανυσματικών Δεδομένων Οδικού Δικτύου

Η αρχική επεξεργασία του οδικού δικτύου περιελάμβανε αλλαγή του προβολικού συστήματος σε ΕΓΣΑ 87', όπως φαίνεται στην κάτωθι Εικόνα 4-16.



Εικόνα 4-16: Αλλαγή προβολικού συστήματος του οδικού δικτύου

Κατόπιν, πραγματοποιήθηκε περικοπή του οδικού δικτύου στο μέγεθος που αφορά την περιοχή που απεικονίζουν οι δορυφορικές εικόνες.

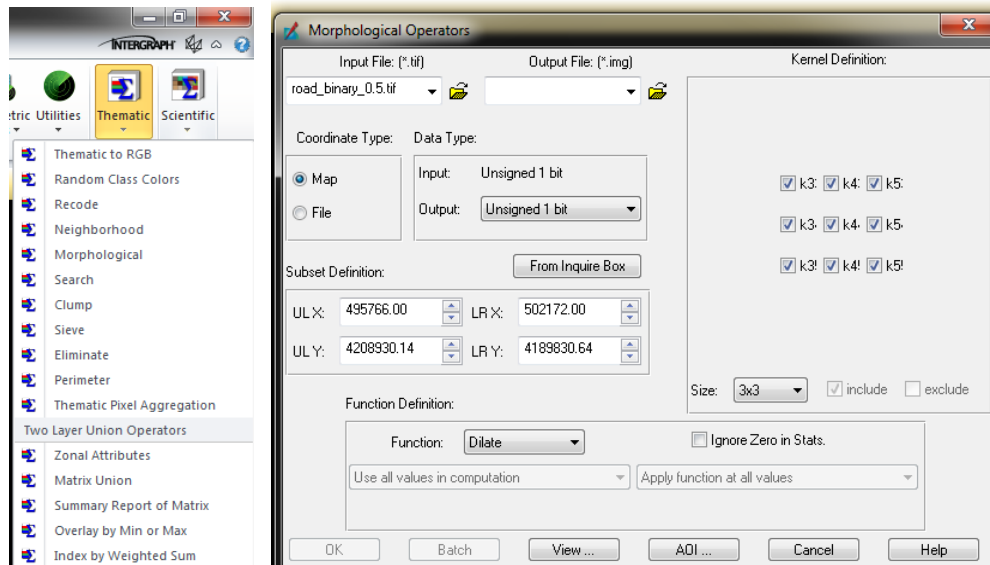


Ακολούθως, το vector shapefile του οδικού δικτύου (γραμμές) μετατράπηκε σε δυαδική εικόνα (raster binary) και το αποτέλεσμα απεικονίζεται μεγεθυμένο στην Εικόνα 4-17.



Εικόνα 4-17: Οδικό δίκτυο περιοχής μελέτης σε δυαδική μορφή (Σε Μεγέθυνση)

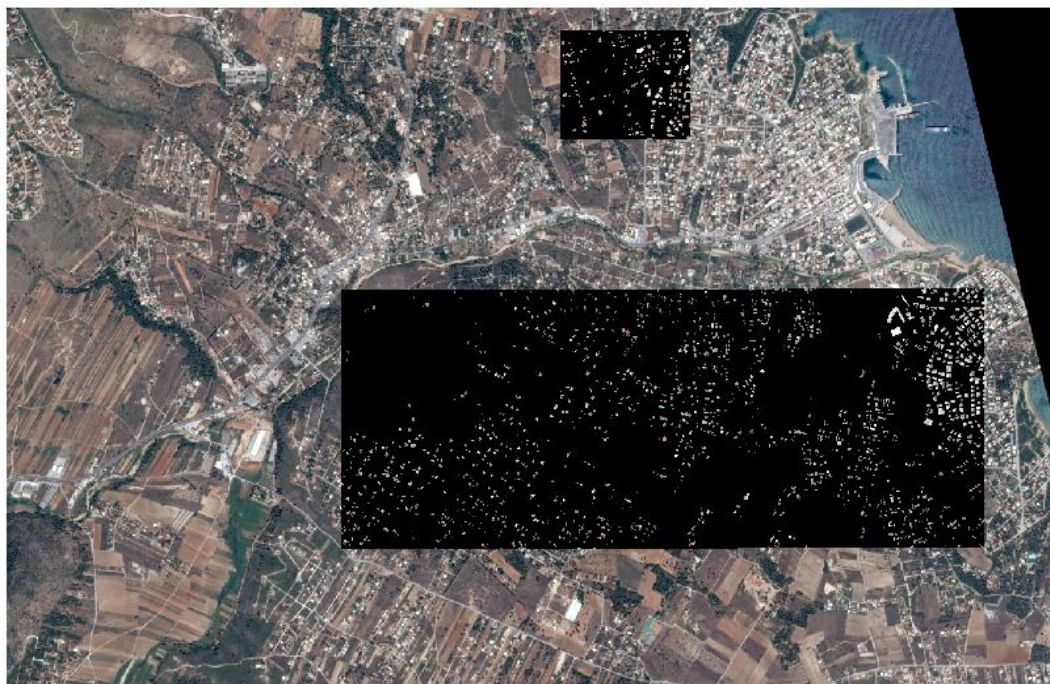
Στο τελικό στάδιο, για την αποφυγή τυχόν ασυνεχειών του γραμμικού οδικού δικτύου καθώς και αύξησης του πάχους των γραμμών (διότι το οδικό δίκτυο στη δορυφορική εικόνα έχει ορισμένα μέτρα πλάτους, ανάλογα της κατηγορίας του δρόμου) επιλέχτηκε η εφαρμογή του μορφολογικού φίλτρου Dilate (διαστολή). Η συγκεκριμένη λειτουργία ουσιαστικά επεκτείνει τα raster αντικείμενα. Εξετάζει όλα τα εικονοστοιχεία τα οποία βρίσκονται κοντά στο raster αντικείμενο και αν κάποιο εικονοστοιχείο του raster αντικειμένου είναι γειτονικό (οριζόντια, κατακόρυφα ή διαγώνια) με το υπό εξέταση εικονοστοιχείο, τότε αυτό προστίθεται στο raster αντικείμενο. Το τελικό προϊόν απεικονίζεται στην Εικόνα 4-18.



Εικόνα 4-18: Οδικό δίκτυο περιοχής μελέτης σε δυαδική μορφή με εφαρμογή διαστολής 3x3

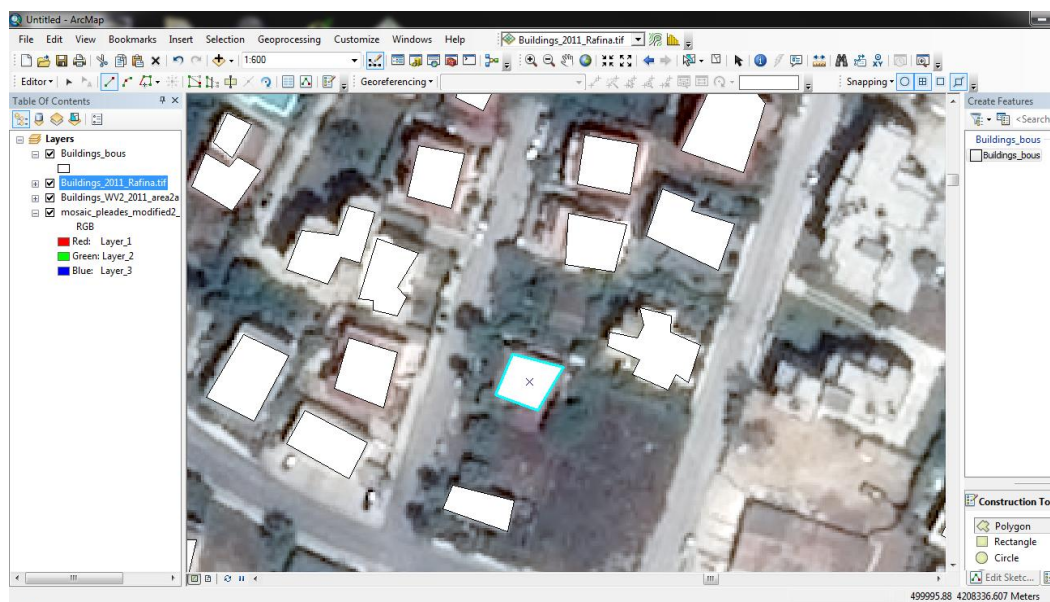
4.6. Επεξεργασία Διανυσματικών Δεδομένων Κτιρίων

Από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης διατέθηκαν δύο εικόνες αναφοράς(groundtruth) : η εικόνα Buildings_2011_Rafina.tif και η εικόνα Buildings_WV2_2011_area2a.tif. Αν τοποθετηθούν επάνω στην τελική περιοχή μελέτης, καλύπτουν ένα μικρό μέρος της, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-22.

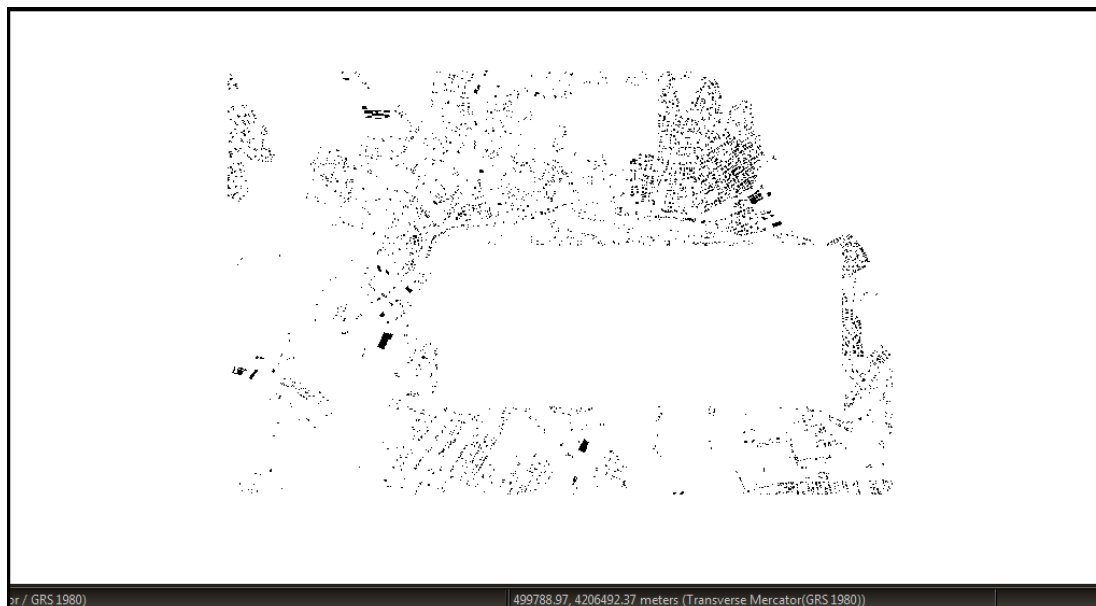


Εικόνα 4-19: Αρχικά δεδομένα αναφοράς κτιρίων

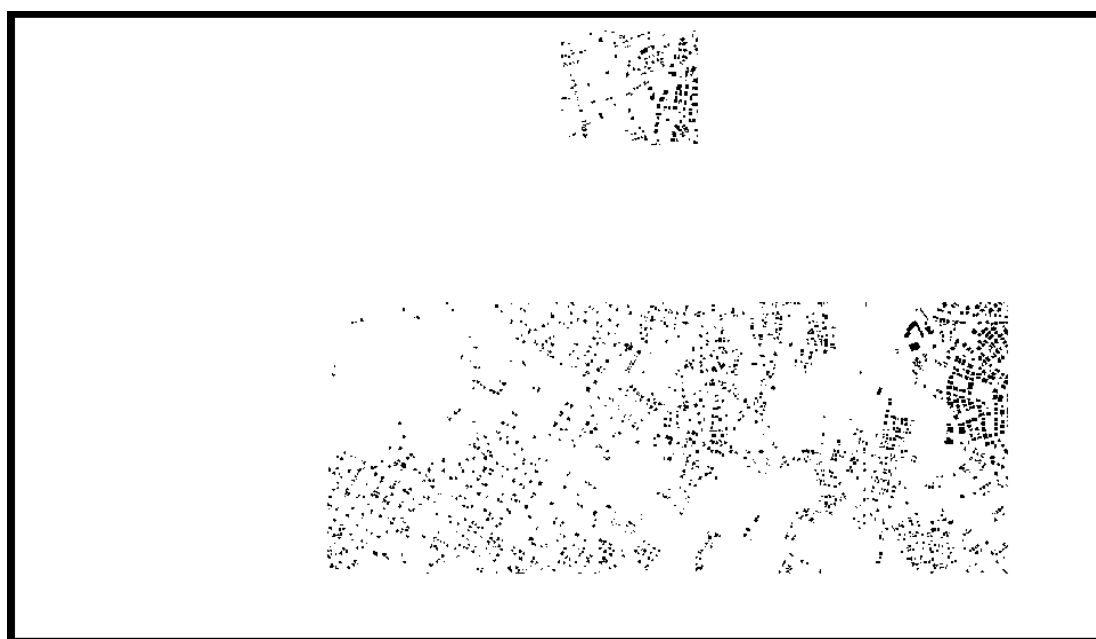
Τα υπόλοιπα κτίρια δημιουργήθηκαν με ψηφιοποίηση.



Το shapefile (διανυσματικό αρχείο πολυγώνων) με τα κτίρια που δημιουργήθηκαν μετατράπηκε σε δυαδική εικόνα (raster binary).



Έπειτα, οι εικόνες Buildings_2011_Rafina.tif και Buildings_WV2_2011_area2a.tif μετατράπηκαν και αυτές σε δυαδικές (binary).



Τέλος, αθροίζοντας πρώτα τις δυο αρχικές εικόνες δεδομένων αναφοράς μεταξύ τους και έπειτα το αποτέλεσμα τους με τη δυαδική εικόνα που προέκυψε από την ψηφιοποίηση, προκύπτουν τα τελικά δεδομένα αναφοράς που αφορούν τα κτίρια της τελικής περιοχής μελέτης (Εικόνα 4-20).



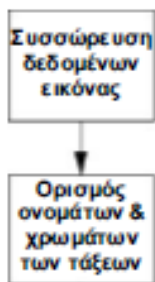
Εικόνα 4-20: Τελικά δεδομένα αναφοράς κτιρίων

4.7. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Στην παρούσα παράγραφο αναλύονται συνοπτικά τα βήματα της διαδικασίας της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης των εικόνων.

Για την αποφυγή της λανθασμένης συγχώνευσης εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος IsoData, ο οποίος αξιοποιεί το πλεονέκτημα καθορισμού κατωφλίων για τον ελάχιστο αριθμό εικονοστοιχείων κάθε κατηγορίας. Με την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, το πρόγραμμα ταξινόμησης αναζήτησε φυσικές ομαδοποιήσεις ή συσσωρεύσεις των φασματικών ιδιοτήτων των εικονοστοιχείων και εκχώρησε κάθε pixel σε μια τάξη βασιζόμενο στις αρχικές παραμέτρους συσσώρευσης.

Μετά την ολοκλήρωση της ταξινόμησης, εκχωρήθηκε κάθε “φασματική” τάξη σε μία θεματική πληροφορία και ανιχνεύτηκαν οι θεματικές τάξεις. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκτέλεση της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης έχει όπως παρακάτω:



Εκτέλεση του προγράμματος IsoData για να συσσωρευτούν τα δεδομένα εικόνας σε ένα συγκεκριμένο αριθμό φασματικών τάξεων οριζόμενο από το χρήστη.

Απεικόνιση της ταξινομημένης εικόνας εξόδου και εκχώρηση σε κάθε φασματική τάξη ενός ονόματος που αντιστοιχεί σε μία θεματική τάξη.

Δεν χρησιμοποιήθηκαν αυτούσιες εικόνες, αλλά τμήματα αυτών (*subset images*). Τα τμήματα των εικόνων που επεξεργάστηκαν είναι συνολικά 4, και τα ονόματά τους αναφέρονται είναι:

pleiades_test_subset3

wv2_test1_subset3

pleiades_test1_subset4

wv2_test1_subset4



Εικόνα 4-21: Υποτμήματα εικόνων που δημιουργήθηκαν

➤ Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην Pleiades_test_subset3

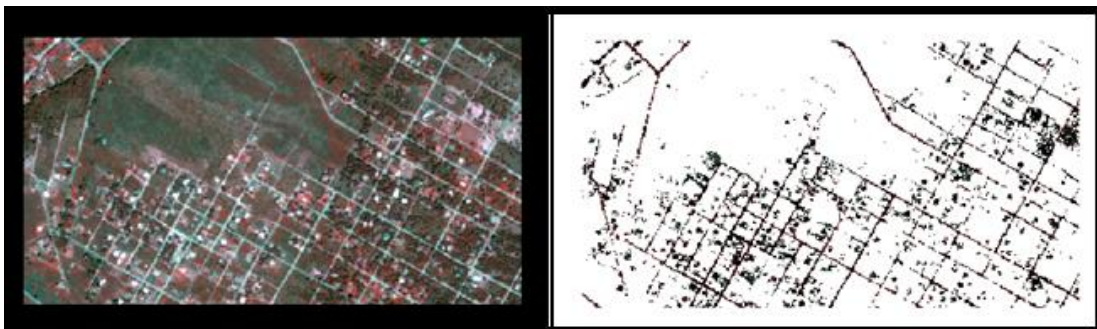
Το τμήμα της εικόνας που δημιουργήθηκε είναι το κάτωθι, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 4 -22. Το μέγεθος του εικονοστοιχείου της είναι 0.5m, περιλαμβάνει 2704 εικονοστοιχεία ανά γραμμή και 1444 ανά στήλη, έχει μέγεθος 86.93MB και η περιοχή που καλύπτει στο έδαφος είναι 976144 m².



Εικόνα 4-22: Δορυφορική Εικόνα *Pleiades_test_subset3*

Κατόπιν, εισάγονται οι αρχικές παράμετροι του αλγόριθμου IsoData, επιλέγοντας τη δημιουργία 40 τάξεων. Επίσης, επιλέγεται όριο σύγκλισης αυτό των 0.99, δηλαδή η επεξεργασία θα σταματήσει μόλις το 99% ή περισσότερα από τα εικονοστοιχεία παραμείνουν στην ίδια θεματική κατηγορία (1% ή λιγότερα pixels υφίστανται αλλαγή).

Τέλος, λαμβάνεται η απεικόνιση της ταξινομημένης εικόνας, συγχωνεύονται μεταξύ τους οι κοινές φασματικές τάξεις, ονομάζονται στις αντίστοιχες θεματικές τους και ανιχνεύονται οι αδιαπέραστες επιφάνειες.



Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο RGB και δεξιά η ταξινομημένη εικόνα *Pleiades_test_subset3*



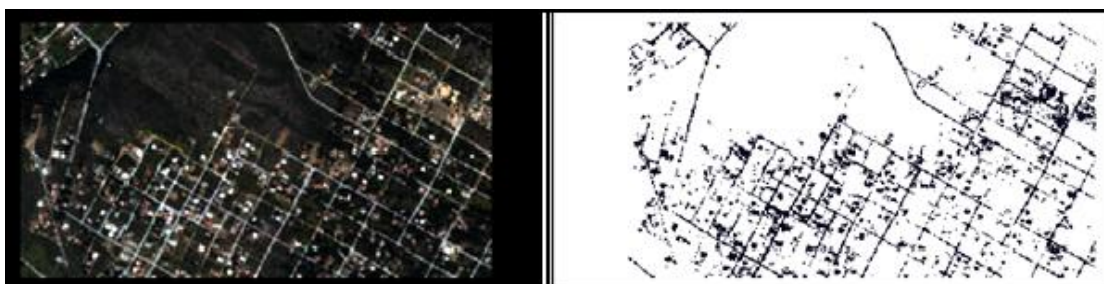
Εικόνα 4-23: Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην *Pleiades_test1_subset3*

➤ Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην *Wv2_test1_subset3*

Εισάγονται οι αρχικές παράμετροι του αλγόριθμου IsoData, επιλέγοντας και εδώ τη δημιουργία 40 τάξεων και όριο σύγκλισης 0.99 και λαμβάνεται η ταξινομημένη εικόνα.

Συγχωνεύονται μεταξύ τους οι κοινές φασματικές τάξεις, γίνεται εκχώρηση σε κάθε νέα φασματική τάξη ενός ονόματος και εντοπίζονται οι θεματικές τάξεις που αφορούν τις αδιαπέραστες επιφάνειες.

Το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης παρουσιάζεται στην Εικόνα4 -24 .



Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο *RGB* και δεξιά η ταξινομημένη εικόνα *Wv2_test1_subset3*



Εικόνα 4-24: Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην Wv2_test1_subset3

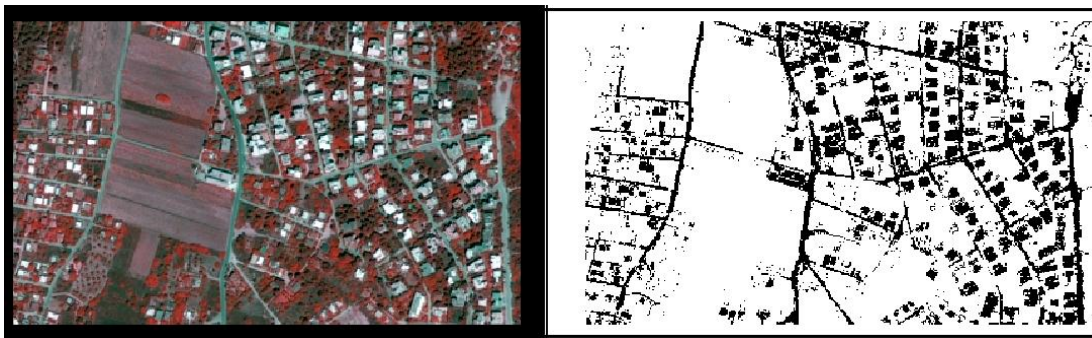
➤ Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην Pleiades test1_subset4

Το τμήμα της εικόνας που δημιουργήθηκε είναι το κάτωθι, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 4 -25. Το μέγεθος του εικονοστοιχείου της είναι 0.5m, περιλαμβάνει 1598 εικονοστοιχεία ανά γραμμή και 951 ανά στήλη, έχει μέγεθος 39.23MB και η περιοχή που καλύπτει στο έδαφος είναι 379924 m².



Εικόνα 4-25: Δορυφορική Εικόνα pleiades_test1_subset4

Κατόπιν, εισάγονται οι αρχικές παράμετροι του αλγόριθμου, επιλέγοντας τη δημιουργία 40 τάξεων και όριο σύγκλισης 0,99.



Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο RGB και δεξιά η ταξινομημένη εικόνα *Pleiades_test_subset4*

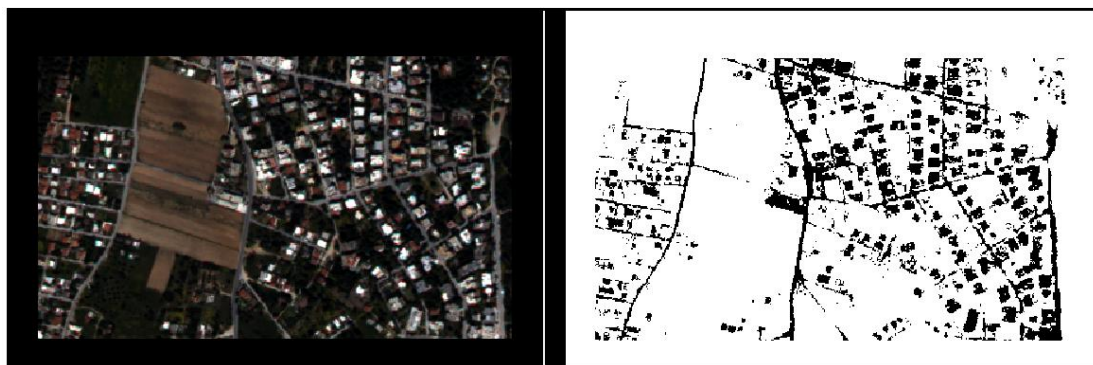
Το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης παρουσιάζεται στην Εικόνα 4 -26 .



Εικόνα 4-26: Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην *Pleiades_test1_subset4*

➤ Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην *wv2_test1_subset4*

Ομοίως, εφ' όσον οριστούν οι ίδιες παράμετροι λαμβάνεται το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης και παρουσιάζεται στην Εικόνα4- 27 .



Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο RGB και δεξιά η ταξινομημένη εικόνα *Wv2_test1_subset4*



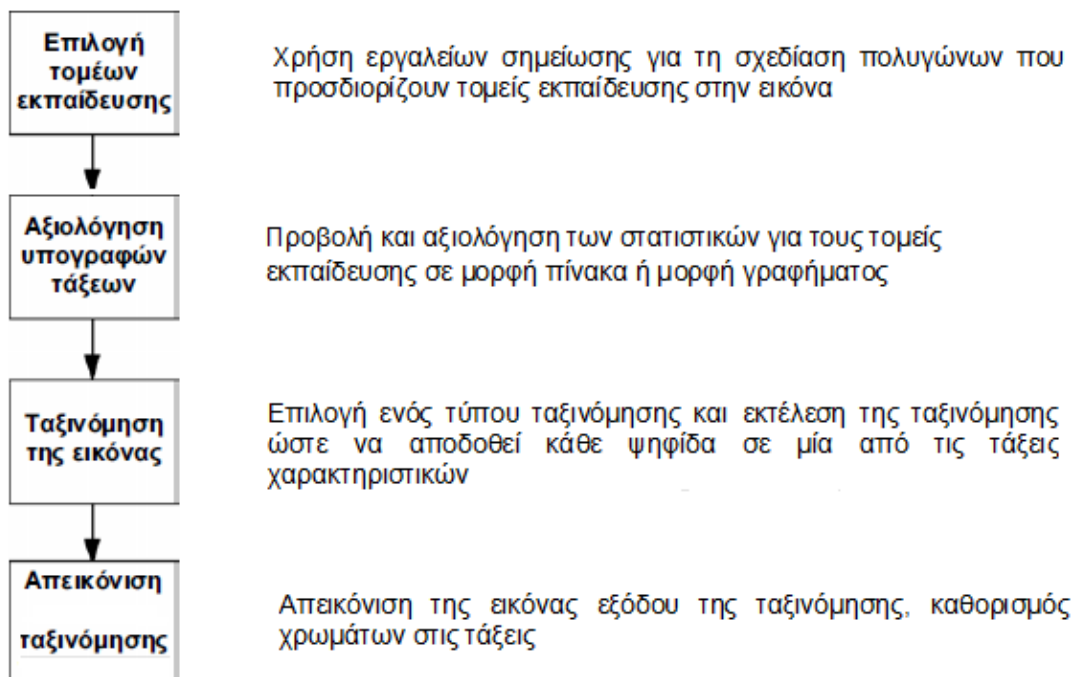
Εικόνα 4-27: Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην Wv2_test1_subset3

4.8. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Στην παρούσα παράγραφο αναλύονται συνοπτικά τα βήματα της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης των εικόνων.















Τονίζεται ότι, δεν χρησιμοποιήθηκαν αυτούσιες εικόνες, αλλά 4 τμήματα αυτών με τις ονομασίες: pleiades_test_subset3, wv2_test1_subset3, pleiades_test_subset4, wv2_test1_subset4.

Η διαδικασία εκτέλεσης της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι η κάτωθι :



➤ Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην pleiades_test_subset3

Επιλέχθηκαν συνολικά δεκαπέντε πεδία εκπαίδευσης τα οποία παρουσιάζονται στην Εικόνα 4 -28 :

Class #	>	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A
1	▶	Red_Roof		1.000	0.000	0.000	8	8	1294	1.000	✓	✓	✓	✓
2		White_Roof		1.000	1.000	1.000	4	12	501	1.000	✓	✓	✓	✓
3		Gray_Roof1		0.827	0.827	0.827	11	28	478	1.000	✓	✓	✓	✓
4		Gray_Roof2		0.827	0.827	0.827	1	29	385	1.000	✓	✓	✓	✓
5		Gray_Roof3		0.827	0.827	0.827	2	30	477	1.000	✓	✓	✓	✓
6		Shadow		0.000	0.000	0.000	7	34	57	1.000	✓	✓	✓	✓
7		Forest1		0.000	0.392	0.000	12	40	238	1.000	✓	✓	✓	✓
8		Forest2		0.498	1.000	0.000	13	46	188	1.000	✓	✓	✓	✓
9		Soil3		0.927	0.573	0.738	10	51	211	1.000	✓	✓	✓	✓
10		Soil2		1.000	0.843	0.000	15	53	82	1.000	✓	✓	✓	✓
11		Soil1		1.000	1.000	0.000	18	56	748	1.000	✓	✓	✓	✓
12		Road1		0.470	0.470	0.470	32	77	873	1.000	✓	✓	✓	✓
13		Road2		0.470	0.470	0.470	3	78	309	1.000	✓	✓	✓	✓
14		Road3		0.470	0.470	0.470	5	79	740	1.000	✓	✓	✓	✓
15		Soil4		0.824	0.706	0.549	17	84	53764	1.000	✓	✓	✓	✓

Εικόνα 4-28: Πεδία εκπαίδευσης για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Για να δημιουργηθούν, αρχικά απαιτείται ο σχεδιασμός μια περιοχής ενδιαφέροντος (Area of Interest). Επιλέγοντας το πολύγωνο ως τρόπο συλλογής, πραγματοποιήθηκε εστίαση στην περιοχή μελέτης και συλλέχθηκε το πρώτο δείγμα. Απαιτούνται τουλάχιστον τρία δείγματα για κάθε κατηγορία, έτσι ώστε να υπάρχει μια καλή αναπαράσταση του κάθε πεδίου.



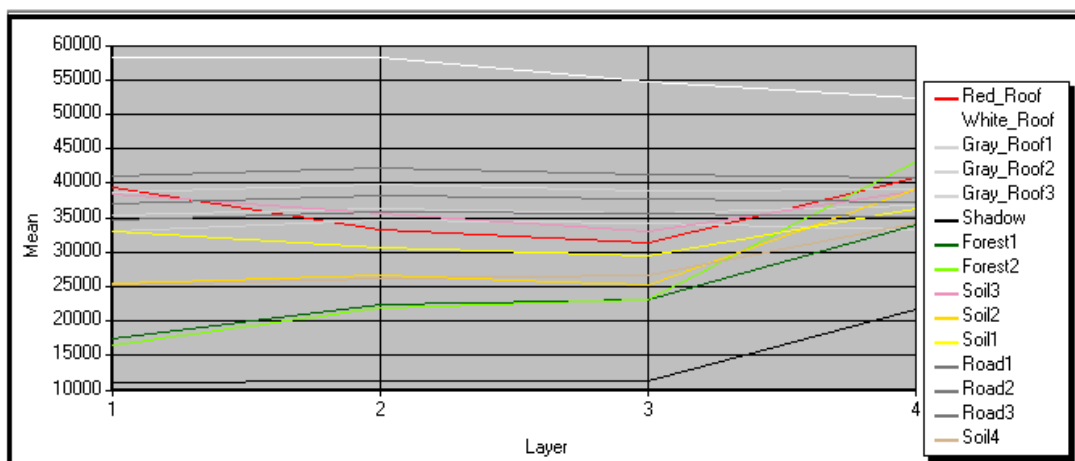
Σε αυτό το παράδειγμα, έχουν συλλεγεί επτά δείγματα κεραμοσκεπής, τα οποία συγχωνεύονται σε μια τάξη (κατηγορία), λαμβάνοντας υπόψη και τις επτά φασματικές ιδιότητες από τις περιοχές που συλλέχθηκαν.

Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A
1	Class 1		0.782	0.652	0.685	1	1	204	1.000	✓	✓	✓	✓
2	Class 2		0.817	0.673	0.713	2	2	178	1.000	✓	✓	✓	✓
3	Class 3		0.775	0.626	0.667	3	3	227	1.000	✓	✓	✓	✓
4	Class 4		0.808	0.649	0.702	4	4	262	1.000	✓	✓	✓	✓
5	Class 5		0.910	0.768	0.845	5	5	196	1.000	✓	✓	✓	✓
6	Class 6		0.837	0.664	0.707	6	6	116	1.000	✓	✓	✓	✓
7	Class 7		0.816	0.621	0.667	7	7	111	1.000	✓	✓	✓	✓
8	Red_Roof		0.818	0.666	0.714	8	8	1294	1.000	✓	✓	✓	✓

Εικόνα 4-29: Συγκώνευση Φασματικών υπογραφών κατηγορίας Κεραμοσκεπής

Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε για όλα τα πεδία εκπαίδευσης.

Μόλις ήταν έτοιμο το αρχείο των φασματικών υπογραφών με όλες τις περιοχές εκπαίδευσης που επιλέχθηκαν, αποθηκεύτηκε για να χρησιμοποιηθεί στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση.



Εικόνα 4-30: Φασματικές υπογραφές των πεδίων εκπαίδευσης

Όπως προκύπτει από την παρατήρηση των φασματικών υπογραφών των πεδίων εκπαίδευσης (Εικόνα 4-30), τις χαμηλότερες τιμές εμφανίζουν η κατηγορία σκιά, ενώ τις υψηλότερες η κατηγορία ανοιχτόχρωμες (λευκές) στέγες. Πολύ κοντά, χωρίς όμως να αναμειγνύονται, είναι οι τιμές των δρόμων και των γκρί στεγών, κυρίως λόγω της σύνθεσής τους από παρόμοια υλικά. Αυτό επιβεβαιώνεται και στον Πίνακα Σύγκρισης που ακολουθεί (Εικόνα 4-31), που φανερώνει την ποιότητα των περιοχών εκπαίδευσης.

ERROR MATRIX				

Reference Data				

Classified Data	Red_Roof	White_Roof	Gray_Roof1	Gray_Roof2

Red_Roof	1296	0	0	0
White_Roof	0	501	0	0
Gray_Roof1	0	0	374	1
Gray_Roof2	0	0	7	336
Gray_Roof3	0	0	5	39
Shadow	0	0	0	0
Forest1	0	0	0	0
Forest2	0	0	0	0
Soil3	0	0	0	0
Soil2	0	0	0	0
Soil1	0	0	0	0
Road1	0	0	42	2
Road2	0	0	0	7
Road3	0	0	50	0
Soil4	0	0	0	0
Column Total	1296	501	478	385
Reference Data				

Classified Data	Gray_Roof3	Shadow	Forest1	Forest2

Red_Roof	0	0	0	0
White_Roof	0	0	0	0
Gray_Roof1	24	0	0	0
Gray_Roof2	13	0	0	0
Gray_Roof3	396	0	0	0
Shadow	0	57	0	0
Forest1	0	0	238	0
Forest2	0	0	0	188
Soil3	0	0	0	0
Soil2	0	0	0	0
Soil1	9	0	0	0
Road1	12	0	0	0
Road2	14	0	0	0
Road3	6	0	0	0
Soil4	3	0	0	0
Column Total	477	57	238	188
Reference Data				

Classified Data	Soil3	Soil2	Soil1	Road1

Red_Roof	0	0	4	0
White_Roof	0	0	0	0
Gray_Roof1	0	0	0	91
Gray_Roof2	0	0	3	12
Gray_Roof3	0	0	0	76
Shadow	0	0	0	0
Forest1	0	0	0	0
Forest2	0	0	0	0
Soil3	211	0	0	0
Soil2	0	82	0	0
Soil1	0	0	713	0
Road1	0	0	0	525
Road2	0	0	0	134
Road3	0	0	0	30
Soil4	0	0	28	5
Column Total	211	82	748	873
Reference Data				

Classified Data	Road2	Road3	Soil4	Row Total

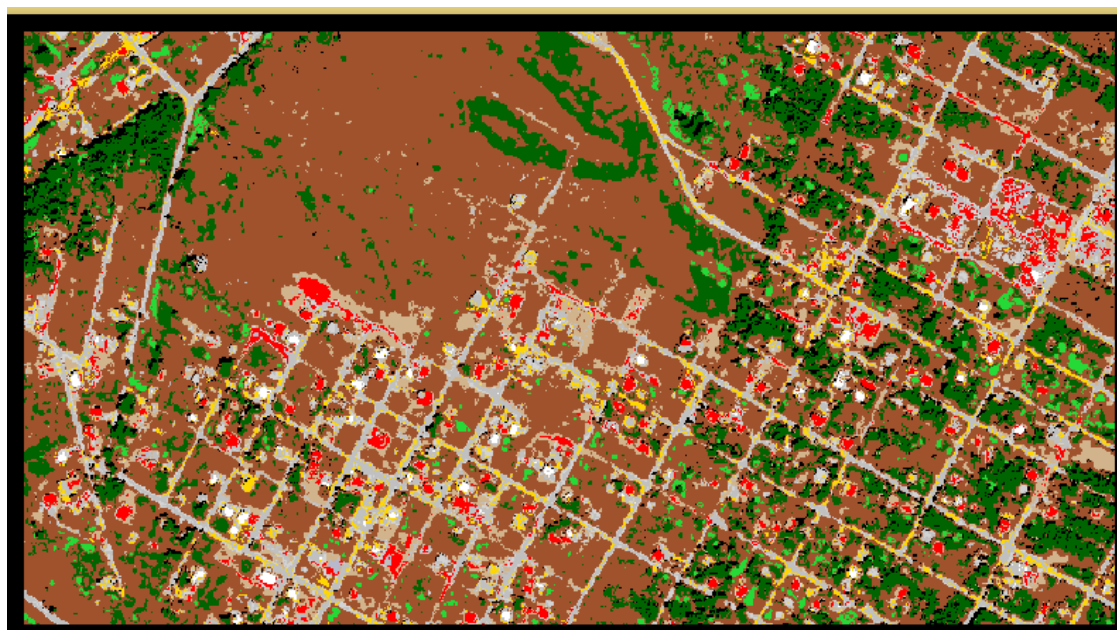
Red_Roof	0	15	0	1315
White_Roof	0	0	0	501
Gray_Roof1	0	61	0	551
Gray_Roof2	36	0	0	407
Gray_Roof3	34	0	2	552
Shadow	0	0	0	57
Forest1	0	0	508	746
Forest2	0	0	77	265
Soil3	0	0	0	211
Soil2	0	0	0	82
Soil1	0	0	690	1412
Road1	2	19	9	611
Road2	237	0	0	392
Road3	0	645	0	731
Soil4	0	0	52478	52514
Column Total	309	740	52764	60347

Εικόνα 4-31: Πίνακας σύγκρισης φασματικών υπογραφών των περιοχών εκπαίδευσης

Ακολουθως, πραγματοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη μέθοδο της μεγίστης πιθανοφάνειας και λήφθηκε το αποτέλεσμα της ταξινόμησης (Εικόνα 4-32), με τον αντίστοιχο χρωματισμό της κάθε τάξης (Εικόνα 4-33).



Αριστερά το έγχρωμο σύνθετο RGB και δεξιά η ταξινομημένη εικόνα



Εικόνα 4-32: Απεικόνιση της εικόνας εξόδου της ταξινόμησης

class1_pB.tif							
Row	Color	Red	Green	Blue	Histogram	Opacity	
1		0.827451	0.827451	0.827451	97869	1	Gray_Roof2
2		0.827451	0.827451	0.827451	38361	1	Gray_Roof3
3		0.752941	0.752941	0.752941	6929	1	Road2
4		1	1	1	17518	1	White_Roof
5		0.752941	0.752941	0.752941	196495	1	Road3
6		0	0	0	141979	1	Shadow
7		1	0	0	105777	1	Red_Roof
8		0.718	0.722	0.796	4345	1	Soil3
9		1	0.843137	0	103338	1	Gray_Roof1
10		0	0.392157	0	576119	1	Forest1
11		0.145239	0.854761	0.211905	68347	1	Forest2
12		1	0.843137	0	5113	1	Soil2
13		0.627451	0.321569	0.176471	2186768	1	Soil4
14		0.823529	0.705882	0.54902	269556	1	Soil1
15		0.752941	0.752941	0.752941	86062	1	Road1

Εικόνα 4-33: Καθορισμός χρωμάτων στις τάξεις

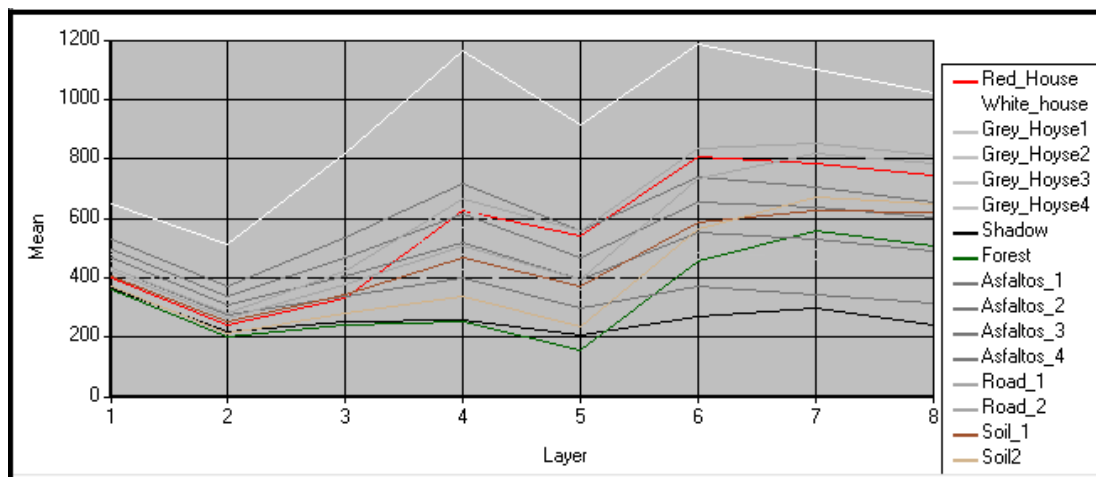
➤ Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην wv2_test1_subset3

Επιλέχθηκαν συνολικά δεκαέξι πεδία εκπαίδευσης τα οποία παρουσιάζονται στην Εικόνα 4-34 :

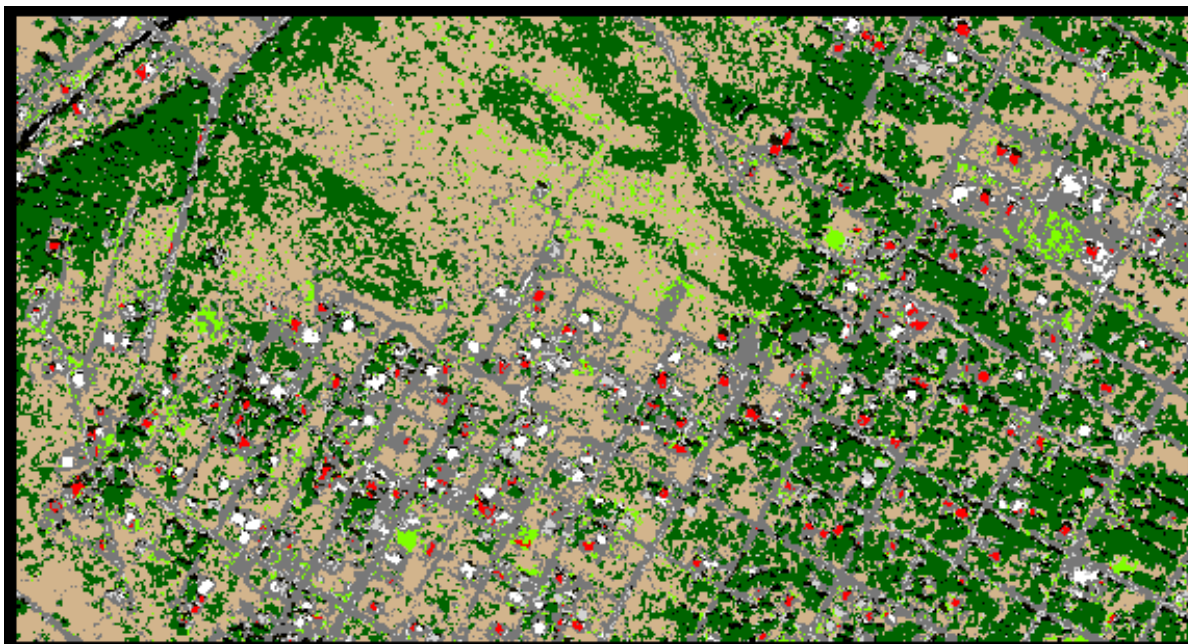
Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A
1	Red_House		1.000	0.000	0.000	7	7	1168	1.000	✓	✓	✓	✓
2	White_house		1.000	1.000	1.000	4	11	793	1.000	✓	✓	✓	✓
3	Grey_Hoyse1		0.753	0.753	0.753	19	28	1184	1.000	✓	✓	✓	✓
4	Grey_Hoyse2		0.753	0.753	0.753	9	29	388	1.000	✓	✓	✓	✓
5	Grey_Hoyse3		0.753	0.753	0.753	11	30	866	1.000	✓	✓	✓	✓
6	Grey_Hoyse4		0.753	0.753	0.753	1	31	1445	1.000	✓	✓	✓	✓
7	Shadow		0.000	0.000	0.000	15	68	131	1.000	✓	✓	✓	✓
8	Forest		0.000	0.392	0.000	16	73	421	1.000	✓	✓	✓	✓
9	Asfaltos_1		0.470	0.470	0.470	10	79	1388	1.000	✓	✓	✓	✓
10	Asfaltos_2		0.470	0.470	0.470	30	100	989	1.000	✓	✓	✓	✓
11	Asfaltos_3		0.470	0.470	0.470	8	101	1299	1.000	✓	✓	✓	✓
12	Asfaltos_4		0.470	0.470	0.470	5	102	1962	1.000	✓	✓	✓	✓
13	Road_1		0.653	0.653	0.653	17	109	294	1.000	✓	✓	✓	✓
14	Road_2		0.653	0.653	0.653	18	110	199	1.000	✓	✓	✓	✓
15	Soil_1		0.627	0.322	0.176	20	117	821	1.000	✓	✓	✓	✓
16	Soil2		0.824	0.706	0.549	12	122	2057	1.000	✓	✓	✓	✓

4-34: Πεδία εκπαίδευσης για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην wv2_test1_subset3

Μετά τον έλεγχο της διαχωρισιμότητας των φασματικών υπογραφών (Εικόνα 4- 35), ακολουθεί το αποτέλεσμα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.



4-35: Φασματικές υπογραφές των πεδίων εκπαίδευσης της wv2_test1_subset3



4-36: Αποτέλεσμα της ταξινόμησης της wv2_test1_subset3

Row	Color	Red	Green	Blue	Histogram	Opacity	
1		0.827451	0.827451	0.827451	7791	1	Grey_Hoyse4
2		1	1	1	53509	1	White_house
3		0.47	0.47	0.47	173625	1	Asfaltos_4
4		1	0	0	34455	1	Red_House
5		0.47	0.47	0.47	105758	1	Asfaltos_3
6		0.827451	0.827451	0.827451	5924	1	Grey_Hoyse2
7		0.47	0.47	0.47	1552	1	Asfaltos_1
8		0.827451	0.827451	0.827451	4358	1	Grey_Hoyse3
9		0.823529	0.705882	0.54902	1342906	1	Soil2
10		0.0939194	0.09159	0.00608063	68114	1	Shadow
11		0	0.392157	0	1117449	1	Forest
12		0.47	0.47	0.47	257974	1	Road_1
13		0.47	0.47	0.47	332738	1	Road_2
14		0.827451	0.827451	0.827451	112988	1	Grey_Hoyse1
15		0.47	0.47	0.47	50244	1	Asfaltos_2
16		0.490000	1	0	125027	1	Soil_1

4-37: Καθορισμός χρωμάτων στις τάξεις της wv2_test1_subset3

➤ Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση στην Pleiades_test1_subset4

Παρατηρήθηκε ότι στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση υπήρξε σύγχυση μεταξύ του χρώματος και των κεραμοσκεπών. Συνεπώς, αξιοποιήθηκε η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση ως οδηγός στην επιβλεπόμενη, δημιουργώντας μια νέα φασματική υπογραφή για την κατηγορία κεραμοσκεπή.

Class #	>	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order
38		Class 38		0.980	1.000	1.000	38	38
39		Class 39		1.000	1.000	1.000	39	39
40		Class 40		1.000	1.000	1.000	40	40
41		Class 41		0.646	0.517	0.551	41	41
42		Class 42		0.630	0.581	0.610	42	42
43		Class 43		0.714	0.536	0.566	43	43
44		Class 44		0.689	0.505	0.547	44	44
45	▶	Keramoskeph		0.670	0.528	0.563	45	45

Εικόνα 4-38: Δημιουργία νέας φασματικής υπογραφής για την κατηγορία κεραμοσκεπή



Εικόνα 4-39: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με οδηγό τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην Pleiades_test1_subset4

Στη συνέχεια, συλλέχθηκαν από την αρχή δείγματα για περιοχές εκπαίδευσης, ελέγχθηκε το διάγραμμα των φασματικών υπογραφών τους και εκτελείται επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Εικόνα 4-40).



Εικόνα 4-40: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην Pleiades_test1_subset4

➤ Επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην wv2_test1_subset4

Ομοίως, αξιοποιήθηκε η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση ως οδηγός στην επιβλεπόμενη, δημιουργώντας μια νέα φασματική υπογραφή για την κατηγορία κεραμοσκεπή.

Class #	>	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order
40		Class 40		1.000	1.000	1.000	40	40
41		Class 41		0.719	0.490	0.467	41	41
42		Class 42		0.699	0.495	0.483	42	42
43		Class 43		0.859	0.586	0.542	43	43
44		Class 44		0.533	0.433	0.428	44	44
45		Class 45		0.701	0.490	0.463	45	45
46		Class 46		0.643	0.447	0.422	46	46
47	▶	Keramoskeph		0.697	0.493	0.470	47	47



Εικόνα 4-41: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με οδηγό τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην *wv2_test1_subset4*

Ακολούθως, συλλέχθηκαν δείγματα περιοχών εκπαίδευσης και εκτελέστηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Εικόνα 4-42).



Εικόνα 4-42: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με οδηγό τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην *wv2_test1_subset4*

5. Πειραματικά Αποτελέσματα, Ποσοτική και Ποιοτική Αξιολόγηση

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί ο έλεγχος που έγινε για την αξιολόγηση των μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί, καθώς και τα αποτελέσματα που έδωσε, με βάση καθιερωμένους στην διεθνή βιβλιογραφία ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης. Οι πειραματικές εφαρμογές της μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκαν σε πολυφασματικές εικόνες μεγάλων διαστάσεων στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής. Συγκεκριμένα, το subset_3 καλύπτει 977 στρέμματα και το subset_4 καλύπτει 379 στρέμματα.

Οι βιβλιογραφικά καθιερωμένοι δείκτες ποιότητας οι οποίοι αξιοποιήθηκαν απαντούν σε δύο ερωτήματα: (α) πόσο ολοκληρωμένο είναι το εξαγόμενο αποτέλεσμα [*Completeness: δείκτης πληρότητας*] και (β) πόσο σωστό είναι το αποτέλεσμα [*Correctness: δείκτης ορθότητας*]

Οι δείκτες υπολογίζονται με βάση την έκταση των πολυγώνων, τα οποία χαρακτηρίζονται ως True Positives [*TP*] (έκταση των πολυγώνων που έχουν σωστά ανιχνευτεί), False Positives [*FP*] (έκταση των πολυγώνων που έχουν από λάθος του αλγορίθμου ανιχνευτεί) and False Negatives [*FN*] (έκταση των πολυγώνων που από λάθος του αλγορίθμου δεν έχουν ανιχνευτεί).

Με βάση τις παραπάνω μετρήσεις υπολογίζονται σύμφωνα με τις παρακάτω διατυπώσεις οι διεθνώς καθιερωμένοι δείκτες πληρότητας, ορθότητας, και ολικής ποιότητας του αλγορίθμου .

$$\text{Πληρότητα} = \frac{\text{Σωστά ταξινομημένα pixels (TP)}}{\text{Pixels Δεδομένων Ελέγχου (TP + FN)}}$$

$$\text{Ορθότητα} = \frac{\text{Σωστά ταξινομημένα pixels (TP)}}{\text{Σύνολο ταξινομημένων pixels (TP + FP)}}$$

$$\text{Ποιότητα} = \frac{TP}{TP + FP + FN}$$

Διατέθηκαν από το εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και εξελίχθηκαν αλγόριθμοι σε γλώσσα matlab, για τον υπολογισμό των δεικτών πληρότητας, ορθότητας, και ολικής ποιότητας των ταξινομήσεων.

```

function [Compl, Correct, Quality] = TwoDim_Eval(GT, Image)

warning off

Image = logical(Image);
GT = logical(GT);

TP = (GT+Image)==2;
FP = (GT-Image)==-1;
FN = (Image-GT)==-1;

|
TP = size(find(TP==1)); TP=TP(1);
FP = size(find(FP==1)); FP=FP(1);
FN = size(find(FN==1)); FN=FN(1);

Compl = TP/(TP+FN); Correct = TP/(TP+FP); Quality = TP/(TP+FP+FN);
disp('*****');
disp('*****Quality measures *****');
disp(['Completeness=' num2str(Compl)];disp(['Correctness = ' num2str(Correct)]);
disp(['Quality = ' num2str(Quality)]);
% disp(['TP=' num2str(TP)];disp(['FP=' num2str(FP)];disp(['FN=' num2str(FN)]);
disp('*****');

end

```

Εικόνα 5-1: Συνάρτηση Υπολογισμού δεικτών πληρότητας, ορθότητας, και ολικής ποιότητας

```

clear all; close all;
warning off; clc;

[scrsz] = get(0,'ScreenSize');

Classification = (imread('Classification Result.tif'));
figure('Position',[scrsz]),
imagesc(Classification),colormap(lines),title(['Classification']),axis image off, impixelinfo;

Impervious = (Classification==4 |Classification==5 |Classification==7...);
Impervious = logical(Impervious);

figure('Position',[scrsz]),
imagesc(Impervious),colormap(gray),title(['Impervious']),axis image off, impixelinfo;

GroundTruth1 = logical(imread('road_GT.tif'));|
GroundTruth2 = logical(imread('buildings_GT.tif'));

GroundTruth= logical(GroundTruth1 + GroundTruth2) ;

figure('Position',[scrsz]),
imagesc(GroundTruth),colormap(gray),title(['Ground Truth']),axis image off, impixelinfo;

TwoDim_Eval(GroundTruth, Impervious);

```

Εικόνα 5-2: Αλγόριθμος Υπολογισμού Αδιαπέραστων Επιφανειών (Impervious)

```

clear all; close all;
warning off; clc;

[scrsz] = get(0,'ScreenSize');

Classification = (imread('Classification_Result.tif'));
figure('Position',[scrsz]),
imagesc(Classification),colormap(lines),title(['Classification']),axis image off, impixelinfo;

Roads = (Classification==5 |Classification==10 |Classification==11.....);

Roads = logical(Roads);

figure('Position',[scrsz]),
imagesc(Roads),colormap(gray),title(['Roads']),axis image off, impixelinfo;

GroundTruth = logical(imread('road_GT.tif'));

figure('Position',[scrsz]),
imagesc(GroundTruth),colormap(gray),title(['Ground Truth']),axis image off, impixelinfo;

TwoDim_Eval(GroundTruth,Roads);

```

Εικόνα 5-3: Αλγόριθμος Υπολογισμού Οδικού Δικτύου

```

clear all; close all;
warning off; clc;

[scrsz] = get(0,'ScreenSize');

Classification = (imread('Classification_Result.tif'));
figure('Position',[scrsz]),
imagesc(Classification),colormap(lines),title(['Classification']),axis image off, impixelinfo;

Buildings = ( Classification==4 |Classification==7 | Classification==19..... );

Buildings = logical(Buildings);
figure('Position',[scrsz]),
imagesc(Buildings),colormap(gray),title(['Buildings']),axis image off, impixelinfo;

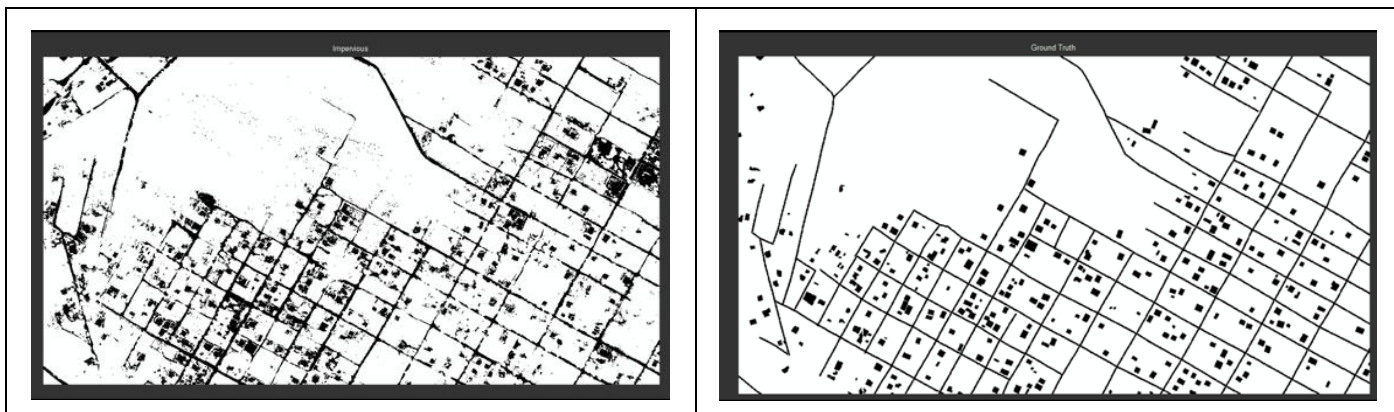
GroundTruth = logical(imread('buildings_wv2_subset4.tif'));
figure('Position',[scrsz]),
imagesc(GroundTruth),colormap(gray),title(['Ground Truth']),axis image off, impixelinfo;

TwoDim_Eval(GroundTruth,Buildings);

```

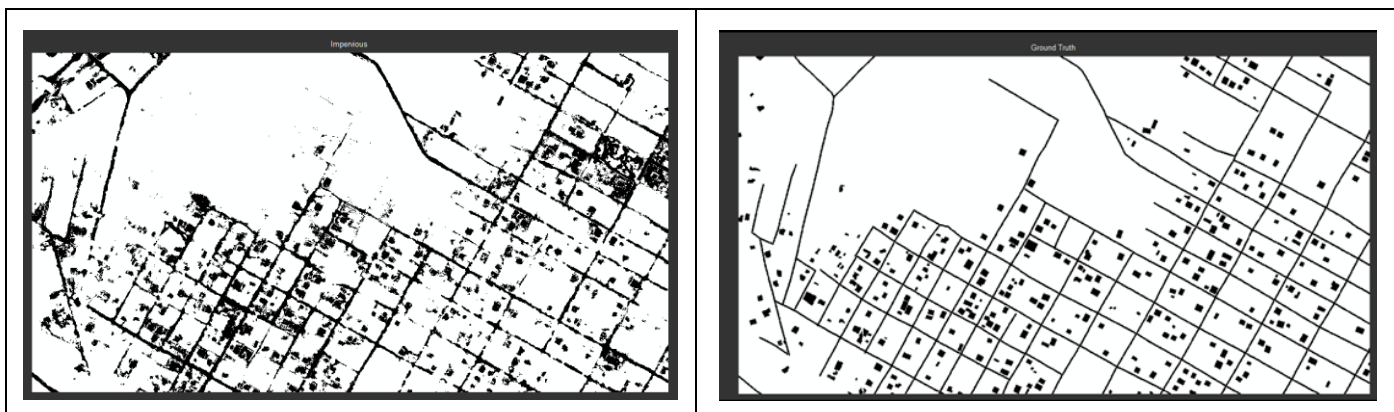
Εικόνα 5-4: Αλγόριθμος Υπολογισμού Κτιρίων

Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα και σχολιασμός από τις επιβλεπόμενες και μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις.



Αδιαπέραστες Επιφάνειες / Εικόνα pleiades_test_subset3
Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα69%)

Δεδομένα Αναφοράς Αδιαπέραστων Επιφανειών

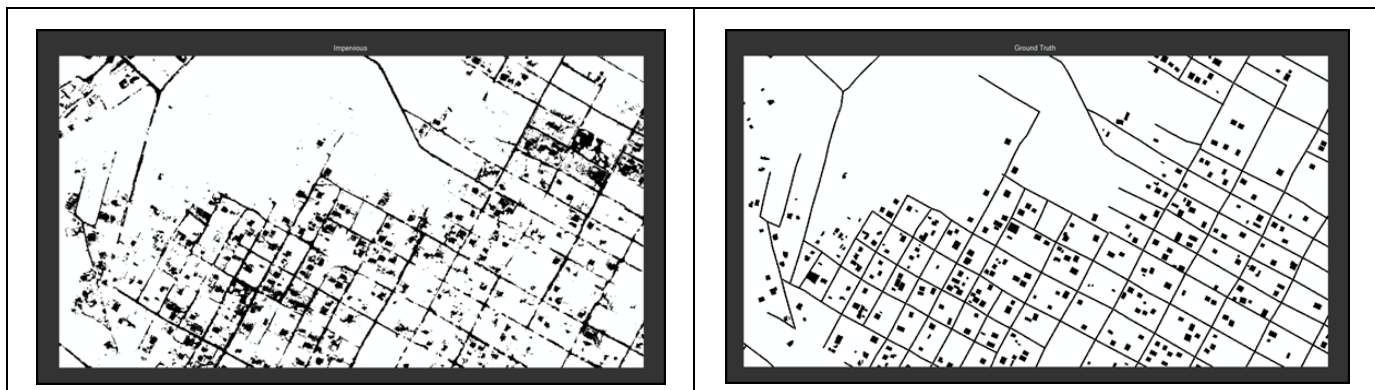


Αδιαπέραστες Επιφάνειες / Εικόνα pleiades_test_subset3
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα69%)

Δεδομένα Αναφοράς Αδιαπέραστων Επιφανειών

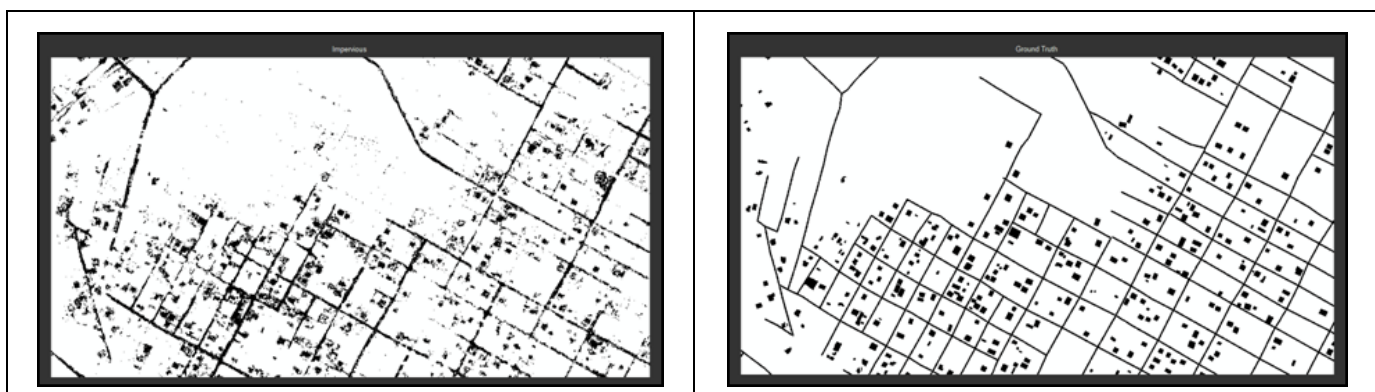
Εικόνα 5-5: Σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων ταξινομήσεων αδιαπέραστων επιφανειών της Pleiades_test_subset3 και δεδομένων αναφοράς

Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 5-5, η μη επιβλεπόμενη και η επιβλεπόμενη ταξινόμηση στη Δορυφορική Εικόνα pleiades_test_subset3 έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα στον εντοπισμό αδιαπέραστων επιφανειών. Και οι δύο τεχνικές φαίνεται να έχουν εντοπίσει τη συντριπτική πλειονότητα των αδιαπέραστων επιφανειών (Πληρότητα 69%), ενώ ελάχιστα καλύτερο αποτέλεσμα έδωσε η επιβλεπόμενη ταξινόμηση (ορθότητα 47% έναντι 44%). Σημαντικά λάθη, που μειώνουν των ποιότητα του τελικού αποτελέσματος, παρατηρήθηκαν στα δύο άκρα των εικόνων (επάνω δεξιά και αριστερά), όπου εμφανίστηκε πρόβλημα διάκρισης μεταξύ αδιαπέραστων περιοχών και αντικειμένων του εδάφους .



Αδιαπέραστες Επιφάνειες / Εικόνα wv2_test1_subset3
Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα61%)

Δεδομένα Αναφοράς Αδιαπέραστων Επιφανειών



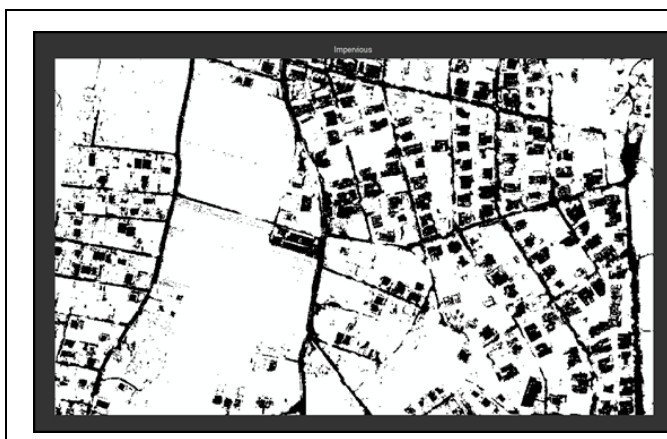
Αδιαπέραστες Επιφάνειες / Εικόνα wv2_test1_subset3
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα51%)

Δεδομένα Αναφοράς Αδιαπέραστων Επιφανειών

Εικόνα 5-6: Σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων ταξινομήσεων αδιαπέραστων επιφανειών της wv2_test1_subset3 και Δεδομένων Αναφοράς

Στις εικόνες ταξινόμησης (Εικόνα 5-6), φαίνεται να έχει εντοπιστεί το μεγαλύτερο μέρος των αδιαπέραστων επιφανειών. Ειδικότερα, στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα61%) έχουν ταξινομηθεί ως αδιαπέραστες επιφάνειες αντικείμενα που αντιστοιχούν σε άλλες κατηγορίες κυρίως στο πάνω δεξιά τμήμα της εικόνας. Το φαινόμενο αυτό εμφανίστηκε όπως έχει προαναφερθεί λόγω πολυπλοκότητας των φασματικών άρα και εννοιολογικών κατηγοριών.

Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα51%) παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο, αλλά σε μικρότερο βαθμό, καθώς η προσεκτική επιλογή των περιοχών εκπαίδευσης απέτρεψε σε σημαντικό βαθμό την ανάμειξη άλλων κατηγοριών στην ταξινόμηση.



Αδιαπέραστες Επιφάνειες / Εικόνα pleiades_test_subset4
Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα67%)



Δεδομένα Αναφοράς Αδιαπέραστων Επιφανειών



Αδιαπέραστες Επιφάνειες / Εικόνα pleiades_test_subset4
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση με οδηγό τη μη επιβλεπόμενη
(Πληρότητα67%)



Δεδομένα Αναφοράς Αδιαπέραστων Επιφανειών



Αδιαπέραστες Επιφάνειες / Εικόνα pleiades_test_subset4
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα79%)



Δεδομένα Αναφοράς Αδιαπέραστων Επιφανειών

Εικόνα 5-7: Σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων ταξινομήσεων αδιαπέραστων επιφανειών της Pleiades_test_subset4 και δεδομένων αναφοράς

Σε γενικές γραμμές η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση έδωσε θετικά ποιοτικά στοιχεία για το πόσο οι αδιαπέραστες επιφάνειες ξεχωρίζουν από τις άλλες κατηγορίες. (Πληρότητα 67%, Ορθότητα 63%). Κατά την παρατήρηση του αποτελέσματος, διαπιστώθηκε ότι υπήρξε σύγχυση μεταξύ του χώματος και των κεραμοσκεπών. Συνεπώς, αξιοποιήθηκε η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση ως οδηγός στην επιβλεπόμενη, δημιουργώντας μια νέα φασματική υπογραφή για την κατηγορία κεραμοσκεπή, με αποτέλεσμα την αύξηση, έστω και οριακά, των ποσοστών των δεικτών αξιολόγησης (Ορθότητα 66%). Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μεν αυξημένος ο δείκτης πληρότητας 79%, αλλά ο δείκτης ορθότητας είναι πολύ χαμηλός (45%). Αυτό συμβαίνει διότι ο αλγόριθμος αντιμετώπισε βασικό πρόβλημα διάκρισης μεταξύ αδιαπέραστων περιοχών και γυμνού εδάφους ή καλλιεργειών. Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα εμφανές στην αριστερή πλευρά της εικόνας, όπου εμφανίζονται αδιαπέραστες επιφάνειες μέσα σε καλλιέργειες, ενώ δεν ξεχωρίζει ικανοποιητικά το περίγραμμα των κτιρίων.



Αδιαπέραστες Επιφάνειες / Εικόνα wv2_test1_subset4
Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα62%)



Δεδομένα Αναφοράς Αδιαπέραστων Επιφανειών



Αδιαπέραστες Επιφάνειες / Εικόνα wv2_test1_subset4
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση με οδηγό τη μη επιβλεπόμενη
(Πληρότητα66%)



Δεδομένα Αναφοράς Αδιαπέραστων Επιφανειών



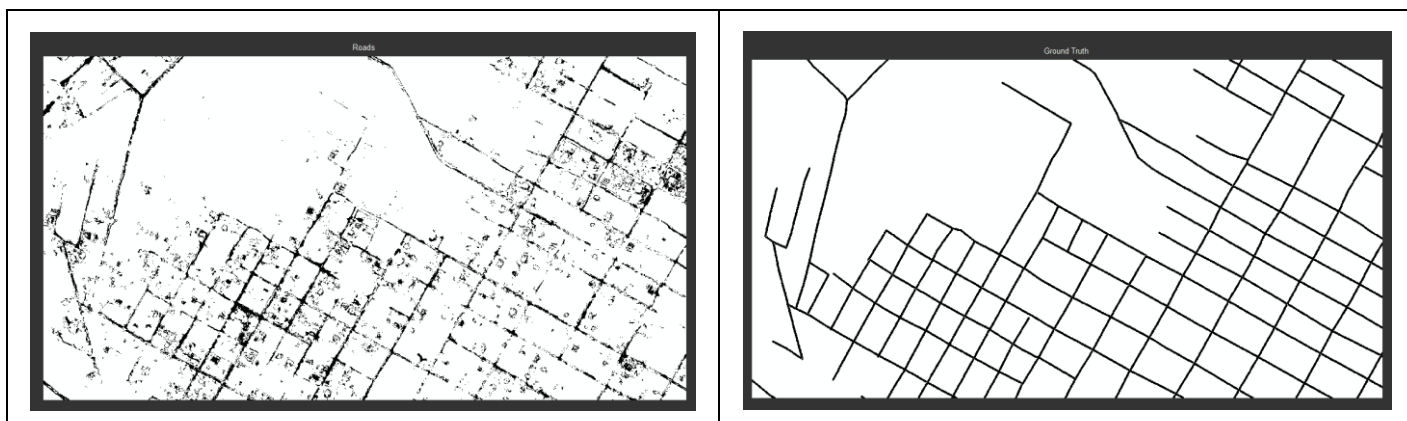
Αδιαπέραστες Επιφάνειες / Εικόνα wv2_test1_subset4
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα89%)



Δεδομένα Αναφοράς Αδιαπέραστων Επιφανειών

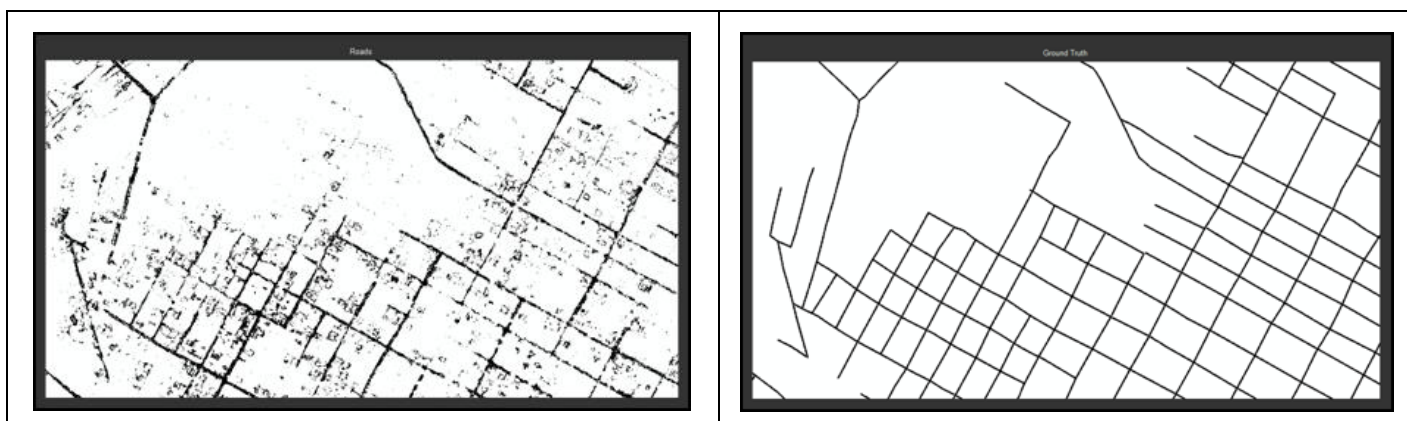
Εικόνα 5-8: Σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων ταξινομήσεων αδιαπέραστων επιφανειών της wv2_test1_subset4 και δεδομένων αναφοράς

Οι εικόνες ταξινόμησης, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5-8, φαίνεται να έχουν εντοπίσει τη συντριπτική πλειονότητα των αδιαπέραστων επιφανειών. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση έδωσε θετικά στοιχεία για το πόσο οι αδιαπέραστες επιφάνειες ξεχωρίζουν από τις άλλες κατηγορίες. (Πληρότητα 62%, Ορθότητα 64%). Κατά την παρατήρηση του αποτελέσματος, διαπιστώθηκε ότι υπήρξε σύγχυση μεταξύ του χώματος και των κεραμοσκεπών, οπότε αξιοποιήθηκε η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση ως οδηγός στην επιβλεπόμενη, με αποτέλεσμα την αύξηση των ποσοστών των δεικτών αξιολόγησης (Πληρότητα 66%, Ολική Ποιότητα 48%). Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μεν πολύ ικανοποιητικός ο δείκτης πληρότητας (89%), αλλά ο δείκτης ορθότητας είναι πολύ χαμηλός (45%). Αυτό συμβαίνει διότι ο αλγόριθμος αντιμετώπισε βασικό πρόβλημα διάκρισης μεταξύ αδιαπέραστων περιοχών και γυμνού εδάφους ή καλλιεργειών. Το πρόβλημα είναι εμφανές σε ολόκληρη την εικόνα, όπου η οπτική σύγκριση μεταξύ της ταξινομημένης εικόνας και της εικόνας αναφοράς δείχνει μεγαλύτερα περιγράμματα σε κτίρια και δρόμους, ενώ εμφανίζονται αδιαπέραστες επιφάνειες μέσα σε καλλιέργειες.



Οδικό Δίκτυο / Εικόνα pleiades_test_subset3
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα 41%)

Δεδομένα Αναφοράς Οδικού Δικτύου



Οδικό Δίκτυο / Εικόνα wv2_test1_subset3
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα 46%)

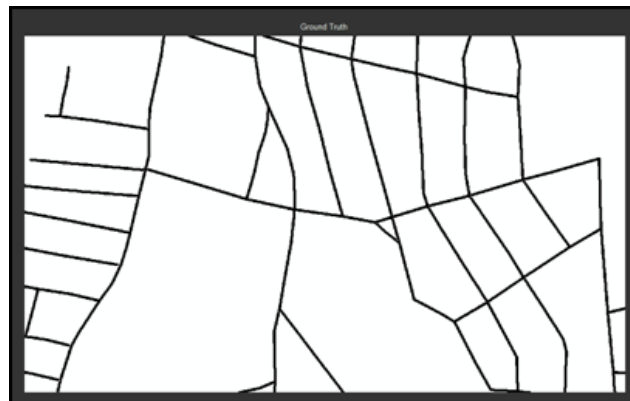
Δεδομένα Αναφοράς Οδικού Δικτύου

Εικόνα 5-9: Σύγκριση αποτελεσμάτων ταξινόμησης οδικού δικτύου των pleiades_test_subset3 και wv2_test1_subset3 μεταξύ τους και με τα δεδομένων αναφοράς

Όσον αφορά το οδικό δίκτυο, στις εικόνες ταξινόμησης (Εικόνα 5-9), φαίνεται να έχει εντοπιστεί ένα μέρος των κυρίων οδικών αξόνων. Ειδικότερα, στην εικόνα pleiades_test_subset3 παρουσιάστηκε Πληρότητα 41% και έχουν ταξινομηθεί ως δρόμοι αντικείμενα που αντιστοιχούν σε άλλες κατηγορίες (κτίρια, γυμνό έδαφος). Το φαινόμενο αυτό εμφανίστηκε όπως έχει προαναφερθεί λόγω κοινών υλικών κατασκευής και παραπλήσιων φασματικών υπογραφών. Στην εικόνα wv2_test1_subset3 (Πληρότητα 46%) παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο, αλλά σε μικρότερο βαθμό, ειδικά στην επάνω δεξιά πλευρά της εικόνας, όπου δίνει καλύτερο αποτέλεσμα.



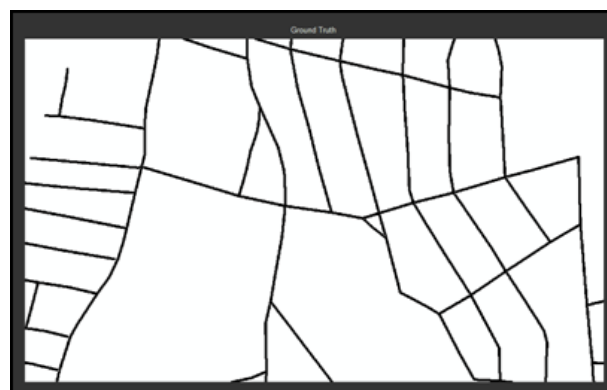
Οδικό Δίκτυο / Εικόνα pleiades_test_subset4
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα 59%)



Δεδομένα Αναφοράς Οδικού Δικτύου



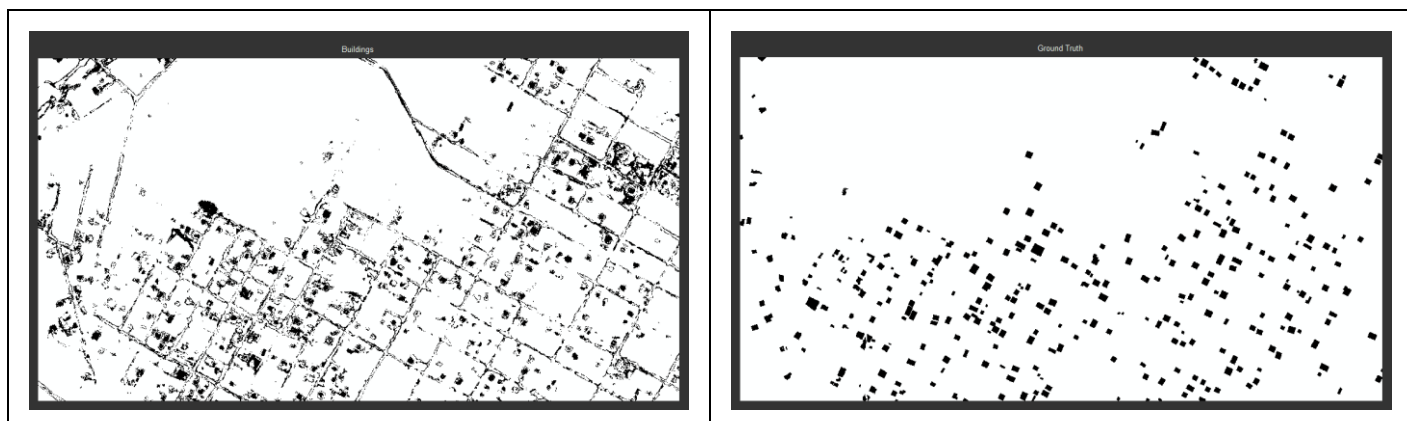
Οδικό Δίκτυο / Εικόνα wv2_test1_subset4
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα 41%)



Δεδομένα Αναφοράς Οδικού Δικτύου

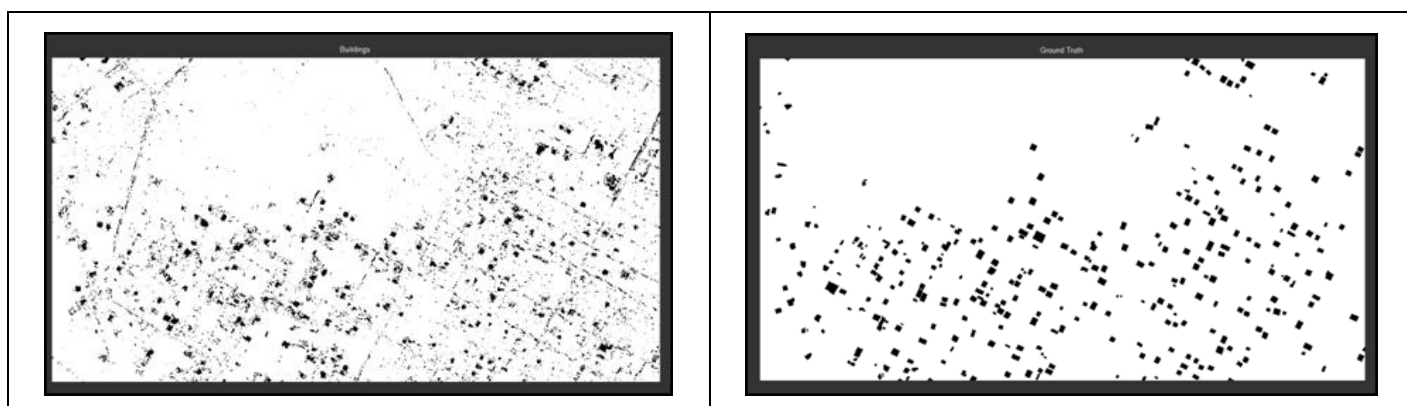
Εικόνα 5-10: Σύγκριση αποτελεσμάτων ταξινομήσεων οδικού δικτύου των pleiades_test_subset4 και wv2_test1_subset4 μεταξύ τους και με τα δεδομένων αναφοράς

Στις εικόνες ταξινόμησης, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5-10, με μια πρώτη ματιά φαίνεται ότι η επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην pleiades_test_subset4 έχει δώσει πιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα σε σχέση με την wv2_test1_subset4, διότι εντοπίστηκε το μεγαλύτερο μέρος των κυρίων οδικών αξόνων. Αυτό αποδεικνύεται και από τους δείκτες αξιολόγησης (Πληρότητα 59% έναντι 41%). Παρ' όλα αυτά, με μια προσεκτικότερη παρατήρηση του αποτελέσματος, διαπιστώθηκε ότι στην pleiades_test_subset4 υπήρξε μεγαλύτερη σύγχυση μεταξύ του οδικού δικτύου και άλλων κατηγοριών, οπότε έχουν ταξινομηθεί ως δρόμοι αντικείμενα που αντιστοιχούν σε άλλες κατηγορίες, με αποτέλεσμα οι δύο εικόνες να παρουσιάζουν παραπλήσια ποσοστά Ορθότητας (30%).



Κτίρια / Εικόνα pleiades_test_subset3
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα 50%)

Δεδομένα Αναφοράς Κτιρίων

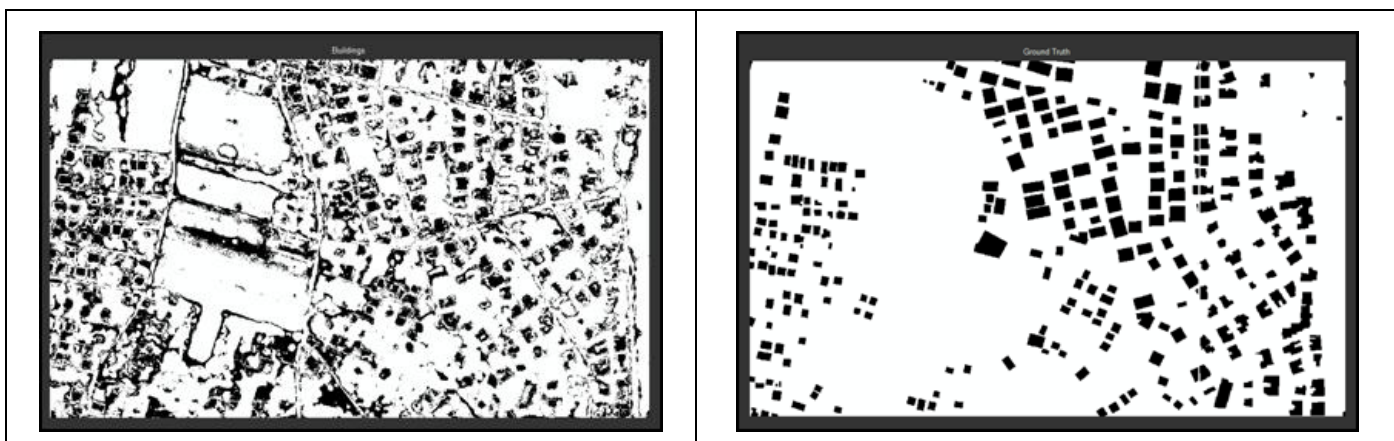


Κτίρια / Εικόνα wv2_test1_subset3
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα 48%)

Δεδομένα Αναφοράς Κτιρίων

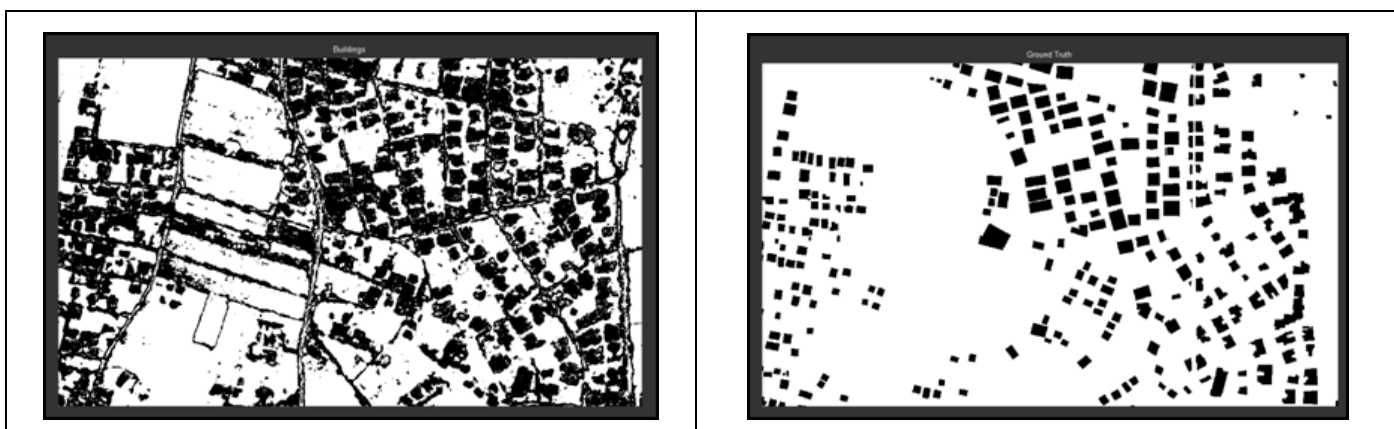
Εικόνα 5-11: Σύγκριση αποτελεσμάτων ταξινομήσεων κτιρίων των pleiades_test_subset3 και wv2_test1_subset3 μεταξύ τους και με τα δεδομένων αναφοράς

Όσον αφορά τα κτίρια, στις εικόνες ταξινόμησης (Εικόνα 5-11), η εικόνα pleiades_test_subset3 παρουσίασε Πληρότητα 50%. Παρατηρείται ότι έχουν ταξινομηθεί ως κτίρια αντικείμενα που αντιστοιχούν σε άλλες κατηγορίες (δρόμοι). Αντίθετα, η εικόνα wv2_test1_subset3 μπορεί να εμφανίζει Πληρότητα 46%, αλλά οπτικά έδωσε πιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα, πιο κοντά στην εικόνα αναφοράς. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το δείκτη Ορθότητας, όπου η wv2_test1_subset3 εμφανίζει ποσοστό 32 % έναντι 29%.



Κτίρια / Εικόνα pleiades_test_subset4
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα 58%)

Δεδομένα Αναφοράς Κτιρίων



Κτίρια / Εικόνα wv2_test1_subset4
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Πληρότητα 82 %)

Δεδομένα Αναφοράς Οδικού Δικτύου

Εικόνα 5-12: Σύγκριση αποτελεσμάτων ταξινομήσεων κτιρίων των pleiades_test_subset4 και wv2_test1_subset4 μεταξύ τους και με τα δεδομένων αναφοράς

Στις εικόνες ταξινόμησης, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5-12, το αποτέλεσμα της ταξινόμησης για τον εντοπισμό των κτιρίων δεν είναι ικανοποιητικό για καμιά από τις δύο εικόνες. Στην wv2_test1_subset4, παρ' ότι εντοπίστηκε το μεγαλύτερο μέρος των κτιρίων (Πληρότητα 82%), υπήρξε μεγαλύτερη σύγχυση μεταξύ των κτιρίων και άλλων κατηγοριών, οπότε έχουν ταξινομηθεί ως κτίρια αντικείμενα που αντιστοιχούν σε άλλες κατηγορίες (δρόμοι, γυμνό έδαφος, πετρώδες έδαφος, καλλιέργειες). Στην pleiades_test_subset4 παρουσιάστηκε Πληρότητα 58% και παρατηρήθηκαν κενά εντός των περιγραμμάτων των κτιρίων. Τέλος, οι δύο εικόνες να παρουσιάζουν πανομοιότυπα ποσοστά Ορθότητας (33%).

Τα ποσοτικά αποτελέσματα αξιολόγησης, ανά κατηγορία, και για τις τέσσερις δορυφορικές παρουσιάζονται στους παρακάτω Πίνακες.

Δορυφορικές Εικόνες	Είδος Ταξινόμησης	Είδος Επιφάνειας	Πληρότητα	Ορθότητα	Ολική Ποιότητα
Pleiades_test_subset3	Μη επιβλεπόμενη	Impervious	69%	44%	37%
Pleiades_test_subset3	Επιβλεπόμενη	Impervious	69%	47%	39%
Wv2_test1_Subset3	Μη επιβλεπόμενη	Impervious	61%	45%	35%
Wv2_test1_Subset3	Επιβλεπόμενη	Impervious	51%	46%	32%
Pleiades_test_Subset4	Μη επιβλεπόμενη	Impervious	67%	63%	48%
Pleiades_test_Subset4	Επιβλεπόμενη με οδηγό μη επιβλεπόμενη	Impervious	67%	66%	50%
Pleiades_test_Subset4	Επιβλεπόμενη	Impervious	79%	45%	41%
Wv2_test1_Subset4	Μη επιβλεπόμενη	Impervious	62%	64%	46%
Wv2_test1_Subset4	Επιβλεπόμενη με οδηγό μη επιβλεπόμενη	Impervious	66%	64%	48%
Wv2_test1_Subset4	Επιβλεπόμενη	Impervious	89%	45%	43%
		M.O.	68%	53%	42%

Πίνακας 5-1: Ποσοτική αξιολόγηση ταξινομήσεων των αδιαπέραστων επιφανειών

Παρατηρείται ότι στην Pleiades_test_Subset4 και στην Wv2_test1_Subset4 κατά την επιβλεπόμενη ταξινόμηση η πληρότητα αγγίζει το ικανοποιητικό ποσοστό των 79% και 89% αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται κυρίως στην απλότητα του εδάφους που απεικονίζεται στην εικόνα. Επιπλέον, το ποσοστό είναι μεγαλύτερο στην Wv2 σε σχέση με την Pleiades, λόγω της ύπαρξης οκτώ έναντι τεσσάρων φασματικών καναλιών. Η ποιότητα όμως του αλγορίθμου αξιολογείται ουσιαστικά με το κατά πόσο ορθοί είναι όλοι οι εντοπισμοί του. Για παράδειγμα, μπορεί να βρήκε το μεγαλύτερο ποσοστό των αδιαπέραστων επιφανειών (68%), αλλά ο αριθμός των σωστών εντοπισμών είναι μικρότερος, στο 53%.

Επίσης, κατά την επιβλεπόμενη ταξινόμηση με οδηγό τη μη επιβλεπόμενη αυξάνονται, έστω και λίγο, τα ποσοστά των δεικτών αξιολόγησης.

Δορυφορικές Εικόνες	Είδος Ταξινόμησης	Είδος Επιφάνειας	Πληρότητα	Ορθότητα	Ολική Ποιότητα
Pleiades_test_subset3	Επιβλεπόμενη	Δρόμοι	41%	40%	26%
Wv2_test1_Subset3	Επιβλεπόμενη	Δρόμοι	46%	32%	25%
Pleiades_test_Subset4	Επιβλεπόμενη	Δρόμοι	59%	28%	24%
Wv2_test1_Subset4	Επιβλεπόμενη	Δρόμοι	41%	31%	28%
		Μ.Ο.	47%	33%	26%

Πίνακας 5-2: Ποσοτική αξιολόγηση ταξινομήσεων του οδικού δικτύου

Στον Πίνακα 5-2 παρατηρείται ότι εντοπίστηκαν οι οδικοί άξονες κατά το ήμισυ (Πληρότητα 47%). Το μεγαλύτερο ποσοστό πληρότητας παρουσίασε η pleiades_test_subset4 (59%), αλλά υπήρξε μεγαλύτερη σύγχυση μεταξύ του οδικού δικτύου και άλλων κατηγοριών, οπότε έχουν ταξινομηθεί ως δρόμοι αντικείμενα που αντιστοιχούν σε άλλες κατηγορίες και το ποσοστό ορθότητας να πέφτει στο 28%. Τον καλύτερο συνδυασμό Πληρότητας-Ορθότητας έδωσε η εικόνα pleiades_test_subset3.

Δορυφορικές Εικόνες	Είδος Ταξινόμησης	Είδος Επιφάνειας	Πληρότητα	Ορθότητα	Ολική Ποιότητα
Pleiades_test_subset3	Επιβλεπόμενη	Κτίρια	50%	29%	27%
Wv2_test1_Subset3	Επιβλεπόμενη	Κτίρια	48%	34%	28%
Pleiades_test_Subset4	Επιβλεπόμενη	Κτίρια	58%	33%	27%
Wv2_test1_Subset4	Επιβλεπόμενη	Κτίρια	82%	33%	32%
		Μ.Ο.	60%	32%	29%

Πίνακας 5-3: Ποσοτική αξιολόγηση ταξινομήσεων των κτιρίων

Στον Πίνακα 5-3 παρατηρείται ότι εντοπίστηκαν τα κτίρια σε ικανοποιητικό ποσοστό (Πληρότητα 60%). Γενικά, είναι ευκολότερος ο εντοπισμός κτιρίων έναντι του οδικού δικτύου, προφανώς λόγω του όγκου που καταλαμβάνουν. Το μεγαλύτερο ποσοστό πληρότητας παρουσίασε η wv2_test1_subset4 (82%), αλλά υπήρξε μεγαλύτερη σύγχυση μεταξύ του μεταξύ των κτιρίων και άλλων κατηγοριών, οπότε έχουν ταξινομηθεί ως κτίρια αντικείμενα που αντιστοιχούν σε άλλες κατηγορίες (δρόμοι, γυμνό έδαφος, πετρώδες έδαφος, καλλιέργειες) και το ποσοστό ορθότητας

να πέφτει στο 33%. Τον καλύτερο συνδυασμό Πληρότητας-Ορθότητας έδωσε η εικόνα `wv2_test1_subset3`.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις. Ο αλγόριθμος εξάγει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα σε περιοχές της εικόνας οι οποίες δεν εμφανίζουν μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας. Στις περιπτώσεις ιδιαίτερα αυξημένης πολυπλοκότητας των εικόνων, δηλαδή μέσα στην ίδια εικόνα εμπεριέχονταν αρκετά αντικείμενα (βλάστηση, σκίαση, οδός και παρόδιες κατασκευές), τα αποτελέσματα ήταν σχεδόν απογοητευτικά. Οι Μ.Ο ανά κατηγορία δεικτών δεν ξεπερνάνε, στην ευνοϊκή περίπτωση το 68%, ενώ στην ρεαλιστικότερη υπόθεση υπολογισμού (ολική ποιότητα) πέφτουν στο επίπεδο του 26%. Τα ποσοστά προφανώς και είναι αρκετά μακριά από το φράγμα του 70%, το οποίο αποτελεί την ελάχιστη δυνατή απαίτηση από έναν αλγόριθμο εντοπισμού αντικειμένων που θεωρείται αξιόπιστος.

5.1. Προβλήματα κατά την αξιολόγηση

Κατά την πραγματοποίηση του ελέγχου αλλά και γενικότερα της επεξεργασίας των απεικονίσεων εντοπίστηκαν κάποια προβλήματα.




Κατά την δημιουργία των εικόνων αναφοράς έγινε, όπως έχει αναφερθεί, ψηφιοποίηση του μεγαλύτερου μέρους των κτιρίων και χρήση υφιστάμενου οδικού δικτύου σε μορφή `shapfile` από το διαδίκτυο. Όσον αφορά τους δρόμους, το οδικό δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε δεν ήταν πλήρες (παρατηρήθηκαν ελλείψεις σε χωματόδρομους και μικρές οδούς), ενώ η εικόνα αναφοράς που δημιουργήθηκε με διαστολή της γραμμής του `shapfile` δεν ανταποκρινόταν πάντα στο πραγματικό πλάτος του δρόμου (σε ορισμένες περιοχές το πλάτος στη δορυφορική εικόνα ήταν μικρότερο και δυσδιάκριτο εξαιτίας σκίασης και παρόδιας βλάστησης, ενώ σε άλλα σημεία ήταν μεγαλύτερο). Όσον αφορά τα κτίρια, ειδικά σε περιοχές έντονης βλάστησης ή έντονης αστικοποίησης, ορισμένα είτε δεν ψηφιοποιήθηκαν είτε ψηφιοποιήθηκαν λανθασμένα λόγω σκιάσεων και εκτροπής λόγω αναγλύφου.

Επιπλέον, ενώ το οδικό δίκτυο σε κάποιες ταξινομήσεις έχει ταξινομηθεί σωστά, ένα ποσοστό του ταξινομείται σε λανθασμένη κατηγορία ως βλάστηση λόγω παρόδιας βλάστησης. Παρόμοια προβλήματα δημιουργήθηκαν και εξ' αιτίας των σκιάσεων.

Τέλος, η αστική δόμηση με τις πολλές συγχεόμενες φασματικές υπογραφές δημιούργησε αρκετά προβλήματα στην ταξινόμηση.

Στον παρακάτω Πίνακα 5-4 παρουσιάζονται κάποια από τα παραπάνω προβλήματα.

Δρόμος καλυμμένος από βλάστηση	
Δρόμος καλυμμένος από σκιάσεις	
Πλάτος ψηφιοποίησης των δρόμων	

<p>Κτίρια που δε ψηφιοποιήθηκαν</p>	
<p>Λανθασμένη ψηφιοποίηση λόγω σκιάσεων και εκτροπής λόγω αναγλύφου</p>	
<p>Ελλείψεις σε χωματόδρομους και μικρές οδούς</p>	

Πίνακας 5-4: Προβλήματα κατά την αξιολόγηση

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από όλες τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Πέραν αυτών, αξίζει να αναφερθούν ορισμένες προτάσεις που προέκυψαν για την βελτίωση των αποτελεσμάτων και την διαχείριση των προβλημάτων που αντιμετωπίστηκαν κατά την ανίχνευση και τον εντοπισμό των αδιαπέραστων επιφανειών από τις συγκεκριμένες δορυφορικές εικόνες χωρικής ανάλυσης 0.5m.

6.1. Γενικά Συμπεράσματα

- Η ποιοτική και ποσοτική πληροφορία που λαμβάνουμε από μεθόδους παρατήρησης γης και τηλεπισκοπικούς αισθητήρες μπορεί να μην είναι προφανώς τόσο πυκνή και λεπτομερής αν συγκρίνει κανείς με τις κλασσικές τοπογραφικές μετρήσεις στο πεδίο, παρέχεται όμως η δυνατότητα για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση αντικειμένων (όπως αδιαπέραστων επιφανειών) χωρίς χρονοβόρες και κοστοβόρες διαδικασίες συλλογής δεδομένων.

- Δεδομένου του εύρους των φασματικών χαρακτηριστικών που υπάρχουν σε μία δορυφορική εικόνα, διαπιστώθηκε ότι είναι πολύ δύσκολο ο χρήστης να επεξεργαστεί και αξιολογήσει απ' ευθείας μία δορυφορική εικόνα σε όλη της την έκταση και χωρική ανάλυση. Αποδοτικός και αποτελεσματικός τρόπος σε μεγάλης έκτασης δεδομένα είναι η κατάλληλη επιλογή υπο-περιοχών που ενσωματώνουν όλες τις χωρικές και φασματικές διαφοροποιήσεις της εικόνας και η πιλοτική επεξεργασία και αξιολόγηση των αλγορίθμων σε αυτές τις υπο-περιοχές. Επίσης, ο χρήστης αποκτά το πλεονέκτημα της γρηγορότερης εύρεσης των σωστών παραμέτρων εισαγωγής για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος, και τη μετέπειτα εφαρμογή τους σε δεδομένα μεγάλων διαστάσεων.

- Τα εμπορικά λογισμικά για τις ταξινομήσεις υλοποιούν πάνω-κάτω τους ίδιους αλγορίθμους ταξινόμησης. Η χρήση ενός λογισμικού είτε για μεμονωμένες περιπτώσεις εξαγωγής χαρακτηριστικών είτε στην περίπτωση χρήσης του σε γραμμή παραγωγής απαιτεί ο χρήστης να είναι έμπειρος, έτσι ώστε να είναι ικανός να ανταποκριθεί στις δυσκολίες που προκύπτουν.

6.2. Ειδικότερα Συμπεράσματα

- Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Έγινε αντιληπτό ότι τα προβλήματα στην ταξινομήση παρόμοιων φασματικών χαρακτηριστικών (κτίρια και δρόμοι) αποτελούν μία σημαντική πηγή λαθών. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά μεταξύ κτισμάτων και δρόμων όσο και μεταξύ κεραμοσκεπών με το χώμα, με αποτέλεσμα να είναι αυξημένος ο αριθμός των εσφαλμένων ταξινομήσεων. Η πίσσα, το γκρίζο κεραμίδι και τα συνθετικά υλικά από βότσαλο παρουσιάζουν χαμηλή ανακλαστικότητα έχοντας φασματική υπογραφή παρόμοια με αυτήν των ασφαλοστρωμένων δρόμων, λόγω της σύνθεσής τους από παρόμοια υλικά (§ 2.2.3). Το φύλλωμα αποκρύπτει τη φασματική υπογραφή της αστικής επιφάνειας, με αποτέλεσμα αυτή να παρουσιάζει χαμηλή ανακλαστικότητα, οδηγώντας σε μέτρια αποτελέσματα ταξινομήσεων (§ 2.2.4).

- Για την ανίχνευση και εξαγωγή αδιαπέραστων επιφανειών σημαντικό ρόλο κατέχει η χωρική διακριτική ικανότητα των απεικονίσεων, με αποτέλεσμα όταν αυτή είναι χαμηλή να μην είναι πλήρως εφικτή η αξιοποίηση των δυνατοτήτων που παρέχουν τα πολυφασματικά δεδομένα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις πιο πυκνοδομημένες περιοχές όπου η μίξη των φασματικών υπογραφών δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στις ταξινομήσεις. Σε απεικονίσεις εκτός αστικών περιοχών, δεν θεωρείται απαραίτητο η χωρική διακριτική ικανότητα να φτάνει το 0.5m, πλην εργασιών που απαιτούνται πολύ υψηλές ακρίβειες.

- Λόγω των διαφορετικών φασματικών και χωρικών χαρακτηριστικών που έχει μία εικόνα δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί ένα μοναδικό συγκεκριμένο μοντέλο περιοχών εκπαίδευσης για μεγάλο αριθμό εικόνων.

- Τα υψηλά ποσοστά επιτυχίας (70%-90%) απαιτούν επέμβαση του ίδιου του χρήστη για τη βελτίωση του αποτελέσματος, με το χρονικό διάστημα να ποικίλλει ανάλογα με την εμπειρία του.

6.3. Προτάσεις

Παρακάτω αναφέρονται κάποιες προτάσεις που θα βοηθήσουν στην βελτιστοποίηση της μεθοδολογίας για τον εντοπισμό και εξαγωγή αδιαπέραστων επιφανειών :

- Προτείνεται η διερεύνηση για το εάν η αντικειμενοστραφής ανάλυση μπορεί να δώσει πλεονεκτήματα στον χρήστη σε σχέση με τις μεθόδους επιβλεπόμενης και μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Σημαντικό ρόλο μπορεί να διαδραματίσει στη διαδικασία η κατάτμηση της εικόνας (Tzotsos A., et al., 2014)
- Εφαρμογή προηγμένων αλγόριθμων μηχανικής μάθησης (machine learning), που είναι ικανοί να βελτιώνουν την απόδοσή τους αξιοποιώντας προγενέστερη γνώση και εμπειρία, με σκοπό την εξαγωγή καλύτερων αποτελεσμάτων, μέσω της επεξεργασίας δεδομένων τεράστιου όγκου.
- Είναι σημαντική η διερεύνηση της εφαρμογής φίλτρων στο αποτέλεσμα των ταξινομήσεων (post processing) για τη βελτίωσή τους.
- Η συνδυαστική χρήση υψομετρικών δεδομένων υψηλής διακριτικής ικανότητας (LiDAR-DTM) θα επέφερε βελτίωση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης.

6.4. Επίλογος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκαν, αναπτύχθηκαν και αξιολογήθηκαν μέθοδοι και τεχνικές εντοπισμού αδιαπέραστων επιφανειών (δρόμοι, κτίσματα) από δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης μεγάλων διαστάσεων.

Μέσα από ένα κατάλληλο πλαίσιο επεξεργασιών μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανίχνευση και ο εντοπισμός επιφανειών ακόμη και σε πολύ μεγάλες διαστάσεις και περιοχές, και να απαιτηθεί μικρή παρέμβαση του χρήστη για τον καθορισμό του αποτελέσματος και την ενημέρωση γεωχωρικών βάσεων δεδομένων.

Βέβαια, στο τέλος, όσα ερωτήματα και αν απαντώνται μέσα από τη διαδικασία της επεξεργασίας των εικόνων, άλλα τόσα γεννιούνται καθοδηγώντας το χρήστη στον επιθυμητό στόχο: τη διερεύνηση και τη μάθηση.

7. Βιβλιογραφία

Διεθνής Βιβλιογραφία

1. Batargias, K. (2007), **“Driver of development of postgraduate papers”**, Οδηγός Εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας
2. Bacher, U. and Mayer, H. (2005) **“Automatic Road Extraction From Multispectral High Resolution Satellite Images”**, Institute for Photogrammetry and Cartography Bundeswehr University Munich
3. Chengbin, D. and Changshan, W. (2013), **“A spatially adaptive spectral mixture analysis for mapping subpixel urban impervious surface distribution”**, Remote Sensing of Environment
4. **ERDAS IMAGINE Help Guide**, 2014
5. Gao J. and Wu L. , (2004), **“Automatic Extraction of Road Networks In Urban Areas From Ikonos Imagery Based On Spatial Reasoning”** , School of Geography and Environmental Science, University of Auckland, New Zealand
6. Herold M., Gardner M.E., Val Noronha and Roberts D.A. (2003), **“Spectrometry and Hyperspectral Remote Sensing of Urban Road Infrastructure”**, Online Journal of Space Communications
7. Karantzalos, K. and Argialas, D., (2009), **“A Region-Based Level Set Segmentation for Automatic Detection of Man-Made Objects from Aerial and Satellite Images”** , Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol.75, pp. 667-678
8. Karantzalos, K. and Paragios, N., (2009), **“Recognition-Driven 2D Competing Priors Towards Automatic And Accurate Building Detection”**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 47, issue 1, pp. 133-144
9. Lu, D. , Moran,E. and Hetrick, S., (2011), **“Detection of impervious surface change with multitemporal Landsat images in an urban–rural frontier”** , ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 66, pp. 298–306
10. Mayer, H. (2008), **“Object extraction in photogrammetric computer vision”**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing
11. Mountrakis, G. and Luo, L., (2011), **“Enhancing and replacing spectral information with intermediate structural inputs: A case study on**

- impervious surface detection***", Remote Sensing of Environment, vol. 115, pp.1162–1170
12. Trinder, J. and Wang, Y. (1998), "***Automatic road extraction from aerial images***", International Workshop on Image Analysis and Information Fusion
 13. Tzotsos, A., Karantzalos, K., Argialas, D. (2014), "***Multiscale Segmentation and Classification of Remote Sensing Imagery with Advanced Edge and Scale-Space Features***", Scale Issues in Remote Sensing (ed Q. Weng)
 14. Weng, Q.(2012), "***Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends***", Remote Sensing of Environment, vol. 117, pp. 34-49
 15. Zhang, H. , Zhang, Y. and Lin, H., (2012), "***A comparison study of impervious surfaces estimation using optical and SAR remote sensing images***" , International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation
 16. http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge770e_lab/k4_methodoi.swf, 2014
 17. <http://www.slideshare.net/kabiruddin/image-classification-land-cover-mapping>, 2014

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αργιαλάς, Δ. (1998), "***Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση***", Ε.Μ.Π., Αθήνα
2. Αργιαλάς, Δ. (2000), "***Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση***", Ε.Μ.Π., Αθήνα
3. Αστάρας, Θ. (2010), "***Τηλεπισκόπηση - Φωτοερμηνεία στις γεωεπιστήμες***", Εκδόσεις Γκιούρδας, Αθήνα
4. Ανδρέου, Χ. (2008), "***Δυνατότητες και Περιορισμοί της Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης στην Ανίχνευση Ποιοτικών Χαρακτηριστικών του Οδοστρώματος***", Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Ε.Μ.Π., Αθήνα
5. Βαϊόπουλος, Α. (2013), "***Διερεύνηση και αξιολόγηση μεθόδων συγχώνευσης πολυφασματικών και παγχρωματικών δορυφορικών δεδομένων***", Μεταπτυχιακή Εργασία στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα Γεωπληροφορική της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

6. Γκιούρου, Α. (2007), **“Εφαρμογή τηλεπισκόπησης στην καταγραφή της κατανάλωσης του αρδευτικού νερού στον Κάμπο του Ν.Χανίων”**, Αθήνα
7. Ιερωνυμίδα, Ε. (2009) **“Ανάπτυξη μεθόδων συγχώνευσης τηλεπισκοπικών δεδομένων και εφαρμογή στην παρατήρηση βλάστησης σε περιοχές με προηγούμενη μεταλλευτική δραστηριότητα”**, Διδακτορική Διατριβή
8. Κεράντζαλος, Κ. (2007), **“Αυτόματη εξαγωγή χαρακτηριστικών από εναέριες και δορυφορικές εικόνες με τεχνικές υπολογιστικής όρασης”**, Διδακτορική Διατριβή
9. Σταματάκης, Ι. (2009), **“Ανίχνευση και Εξαγωγή του Οδικού Δικτύου με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση Υπερφασματικών Δεδομένων Αερομεταφερόμενου Σαρωτή”**, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Ε.Μ.Π., Αθήνα
10. Τσιγγενόπουλος, Γ. (2009), **“Αυτόματη εξαγωγή χαρτογραφικών χαρακτηριστικών από δορυφορικές εικόνες”**, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Ε.Μ.Π., Αθήνα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1: Η εξαγωγή χαρακτηριστικών και η σχέση της με τα πεδία της Φωτογραμμετρίας, της Τηλεπισκόπησης και της Όρασης Υπολογιστών	15
Εικόνα 2-1: Το Ηλεκτομαγνητικό Φάσμα.....	19
Εικόνα 2-2: Τυπικές Καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για βλάστηση, νερό και έδαφος.....	21
Εικόνα 2-3: Πολυφασματική εικόνα που αποτελείται από πέντε κανάλια.....	25
Εικόνα 2-4: Αποτέλεσμα του Pansharpening	26
Εικόνα 2-5: Επίπεδα συγχώνευσης εικόνων.....	27
Εικόνα 2-6: Είδη Ραδιομετρικών διορθώσεων	29
Εικόνα 2-7: Εφαρμογή συστολής και διαστολής.....	33
Εικόνα 2-8: Γενική Διαδικασία Ταξινόμησης.....	35
Εικόνα 2-9: Παραδείγματα των προκλήσεων που αντιμετωπίζει η τηλεπισκόπηση στην χαρτογράφηση του οδικού δικτύου	42
Εικόνα 2-10: Τμήμα χάρτη κάλυψης γης με πολλούς τύπους δρόμων	44
Εικόνα 2-11: Διαγράμματα ανακλαστικότητας υλικών οδοστρώματος και στεγών ...	45
Εικόνα 2-12: Φάσμα πράσινης βλάστησης, σκουροποίησης επιφάνειας και επιφάνειας με σκίαση.....	47
Εικόνα 3-1: Τα φασματικά κανάλια του δορυφόρου World View- 2	50
Εικόνα 3-2: Γραφική απεικόνιση μεταξύ των φασματικών καναλιών των αισθητήρων OLI & TIRS Landsat 8 και Landsat 7	52
Εικόνα 4-1: Χάρτης απεικόνισης των όμορων δήμων της Ραφήνας	56
Εικόνα 4-2: Παγχρωματική λήψη με τη χρήση δορυφόρου WorldView-2	58
Εικόνα 4-3: Σύγκριση χωρικής διακριτικής ικανότητας παγχρωματικής (0.5 m) και πολυφασματικής (2m) δορυφορικής εικόνας WorldView-2.....	60
Εικόνα 4-4: Δορυφορική εικόνα Pleiades R1C2.....	60
Εικόνα 4-5: Δορυφορικές εικόνες Pleiades R2C2 και R3C2.....	61
Εικόνα 4-6: Συγκριτική παράθεση των διαθέσιμων οδικών δικτύων	63
Εικόνα 4-7: Αποτέλεσμα δημιουργίας πολυφασματικής εικόνας World View-2	64
Εικόνα 4-8: Αποτέλεσμα δημιουργίας πολυφασματικής εικόνας World View-2 υψηλής χωρικής ανάλυσης.....	65
Εικόνα 4-9: Σύγκριση χωρικής διακριτικής ικανότητας συγχωνευμένης (0.5 m) και πολυφασματικής (2m) δορυφορικής εικόνας WorldView-2.....	65
Εικόνα 4-10: Διαδικασία δημιουργίας μωσαικού εικόνας Pleiades	66
Εικόνα 4-11: Εικόνα βάσης (ορθοεικόνα του ΟΚΧΕ).....	67
Εικόνα 4-12: Σημεία ελέγχου δορυφορικής εικόνας WorldView-2 και ορθοεικόνας ΟΚΧΕ	69
Εικόνα 4-13: Σημεία ελέγχου δορυφορικής εικόνας Pleiades και ορθοεικόνας ΟΚΧΕ	69
Εικόνα 4-14: Σφάλματα Σημείων ελέγχου δορυφορικής εικόνας WorldView-2 και ορθοεικόνας ΟΚΧΕ.....	70
Εικόνα 4-15: Σφάλματα Σημείων ελέγχου δορυφορικής εικόνας Pleiades και ορθοεικόνας ΟΚΧΕ.....	71
Εικόνα 4-16: Αλλαγή προβολικού συστήματος του οδικού δικτύου	72
Εικόνα 4-17: Οδικό δίκτυο περιοχής μελέτης σε δυαδική μορφή (Σε Μεγέθυνση) ...	73

Εικόνα 4-18: Οδικό δίκτυο περιοχής μελέτης σε δυαδική μορφή με εφαρμογή διαστολής 3x3.....	74
Εικόνα 4-19: Αρχικά δεδομένα αναφοράς κτιρίων.....	75
Εικόνα 4-20: Τελικά δεδομένα αναφοράς κτιρίων	77
Εικόνα 4-21: Υποτιμήματα εικόνων που δημιουργήθηκαν	78
Εικόνα 4-22: Δορυφορική Εικόνα Pleiades_test_subset3	79
Εικόνα 4-23: Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην Pleiades_test1_subset3.....	80
Εικόνα 4-24: Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην Wv2_test1_subset3	81
Εικόνα 4-25: Δορυφορική Εικόνα pleiades_test1_subset4.....	81
Εικόνα 4-26:Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην Pleiades_test1_subset4.....	82
Εικόνα 4-27: Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην Wv2_test1_subset3	83
Εικόνα 4-28: Πεδία εκπαίδευσης για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση	84
Εικόνα 4-29: Συγχώνευση Φασματικών υπογραφών κατηγορίας Κεραμοσκεπής ...	85
Εικόνα 4-30: Φασματικές υπογραφές των πεδίων εκπαίδευσης	85
Εικόνα 4-31: Πίνακας σύγχυσης φασματικών υπογραφών των περιοχών εκπαίδευσης	86
Εικόνα 4-32: Απεικόνιση της εικόνας εξόδου της ταξινόμησης.....	87
Εικόνα 4-33:Καθορισμός χρωμάτων στις τάξεις.....	87
4-34: Πεδία εκπαίδευσης για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην wv2_test1_subset3	88
4-35: Φασματικές υπογραφές των πεδίων εκπαίδευσης της wv2_test1_subset3....	88
4-36: Αποτέλεσμα της ταξινόμησης της wv2_test1_subset3	89
4-37: Καθορισμός χρωμάτων στις τάξεις της wv2_test1_subset3	89
Εικόνα 4-38: Δημιουργία νέας φασματικής υπογραφής για την κατηγορία κεραμοσκεπή.....	90
Εικόνα 4-39: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με οδηγό τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην Pleiades_test1_subset4.....	90
Εικόνα 4-40: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην Pleiades_test1_subset4.....	91
Εικόνα 4-41: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με οδηγό τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην wv2_test1_subset4	92
Εικόνα 4-42:Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με οδηγό τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση στην wv2_test1_subset4.....	92
Εικόνα 5-1: Συνάρτηση Υπολογισμού δεικτών πληρότητας, ορθότητας, και ολικής ποιότητας	94
Εικόνα 5-2: Αλγόριθμος Υπολογισμού Αδιαπέραστων Επιφανειών (Impervious)...	94
Εικόνα 5-3: Αλγόριθμος Υπολογισμού Οδικού Δικτύου	95
Εικόνα 5-4: Αλγόριθμος Υπολογισμού Κτιρίων	95
Εικόνα 5-5: Σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων ταξινομήσεων αδιαπέραστων επιφανειών της Pleiades_test_subset3 και δεδομένων αναφοράς	96
Εικόνα 5-6: Σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων ταξινομήσεων αδιαπέραστων επιφανειών της wv2_test1_subset3 και Δεδομένων Αναφοράς.....	97
Εικόνα 5-7: Σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων ταξινομήσεων αδιαπέραστων επιφανειών της Pleiades_test_subset4 και δεδομένων αναφοράς	98

Εικόνα 5-8: Σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων ταξινομήσεων αδιαπέραστων επιφανειών της wv2_test1_subset4 και δεδομένων αναφοράς	100
Εικόνα 5-9: Σύγκριση αποτελεσμάτων ταξινομήσεων οδικού δικτύου των pleiades_test_subset3 και wv2_test1_subset3 μεταξύ τους και με τα δεδομένων αναφοράς	102
Εικόνα 5-10: Σύγκριση αποτελεσμάτων ταξινομήσεων οδικού δικτύου των pleiades_test_subset4 και wv2_test1_subset4 μεταξύ τους και με τα δεδομένων αναφοράς	103
Εικόνα 5-11: Σύγκριση αποτελεσμάτων ταξινομήσεων κτιρίων των pleiades_test_subset3 και wv2_test1_subset3 μεταξύ τους και με τα δεδομένων αναφοράς	104
Εικόνα 5-12: Σύγκριση αποτελεσμάτων ταξινομήσεων κτιρίων των pleiades_test_subset4 και wv2_test1_subset4 μεταξύ τους και με τα δεδομένων αναφοράς	105

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1: Αξιολόγηση τεσσάρων αλγορίθμων Pansharpening σε δορυφορική εικόνα WV-2	28
Πίνακας 3-1: Συνδυασμός Καναλιών για την ανίχνευση συγκεκριμένων χαρακτηριστών	50
Πίνακας 3-2: Συγκριτικός Πίνακας μεταξύ των δορυφόρων Landsat8, WV2 και Pleiades	54
Πίνακας 4-1: Αναλυτική περιγραφή παγχρωματικής εικόνας WorldView-2.....	58
Πίνακας 4-2: Αναλυτική περιγραφή πολυφασματικής εικόνας (Κανάλι 1) WorldView-2	59
Πίνακας 4-3: Αναλυτική περιγραφή πολυφασματικής εικόνας Pleiades R1C2.....	61
Πίνακας 4-4 : Αναλυτική περιγραφή πολυφασματικών εικόνων Pleiades R2C2 και R3C2	62
Πίνακας 4-5:Αναλυτική περιγραφή εικόνας βάσης του ΟΚΧΕ	68
Πίνακας 5-1: Ποσοτική αξιολόγηση ταξινομήσεων των αδιαπέραστων επιφανειών	106
Πίνακας 5-2: Ποσοτική αξιολόγηση ταξινομήσεων του οδικού δικτύου	107
Πίνακας 5-3: Ποσοτική αξιολόγηση ταξινομήσεων των κτιρίων	107
Πίνακας 5-4: Προβλήματα κατά την αξιολόγηση	110