



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

**Ανίχνευση και Εξαγωγή του Οδικού Δικτύου
με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση
Υπερφασματικών Δεδομένων
Αερομεταφερόμενου Σαρωτή**

Σταματάκης Ε. Ιωάννης

Διπλωματική Εργασία

Επιβλέπων:

Δ. Αργιαλάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Δ. Αργιαλάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Β. Καραθανάση, Επίκ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

Π. Βυθούλκας, Επίκ. Καθηγητής ΕΜΠ

**Εργαστήριο
Τηλεπισκόπησης
Ε.Μ.Π.**

Αθήνα, Μάρτιος 2009

.....
Σταματάκης Ε. Ιωάννης

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Σταματάκης Ε. Ιωάννης, 2009

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.

Πρόλογος

Στις μέρες μας, οι λεπτομερείς και ακριβείς πληροφορίες για το οδικό δίκτυο είναι η βάση για την σωστή διαχείριση και τον προγραμματισμό της υποδομής και των προτερημάτων των μεταφορών. Η ανεξέλεγκτη συσσώρευση πληθυσμού που εμφανίζεται στα μεγάλα αστικά κέντρα των αναπτυσσόμενων χωρών, απαιτεί εντατικές προσπάθειες χαρτογράφησης με σκοπό να ενημερωθούν οι βάσεις δεδομένων του δικτύου των μεταφορών και ειδικότερα του οδικού δικτύου. Η τηλεπισκόπηση έχει τη δυνατότητα να παρέχει λεπτομερή οδική χαρτογράφηση και μπορεί να προσφέρει περισσότερο ενημερωμένες και οικονομικές μεθόδους για τις παραπάνω εφαρμογές.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με σκοπό την διερεύνηση των δυνατοτήτων της Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης σε Υπερφασματικές Απεικονίσεις από αερομεταφερόμενο σαρωτή στην ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου.

Πριν την παρουσίαση της εργασίας θεωρώ απαραίτητο να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους βοήθησαν για την ολοκλήρωσή της.

Θερμότερες ευχαριστίες οφείλω στον επιβλέποντα Καθηγητή κύριο Δημήτρη Αργιαλά για την ανάθεση της εργασίας και τις γνωστικές βάσεις που έθεσε κατά την διάρκεια αλλά και πριν την εκπόνηση της εργασίας.

Ευχαριστώ ολόψυχα τον Δρ. Μηχ. Πολυχρόνη Κολοκούση, χωρίς την αμέριστη και συνεχή συμπαράσταση αλλά και ουσιαστική καθοδήγηση του οποίου δεν θα ήταν δυνατή η υλοποίηση αυτής της εργασίας καθώς και για την παροχή του υλικού που ήταν απαραίτητο για την εκπόνηση της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους μου και τη Λουίζα, που ήταν δίπλα μου όλο αυτό το διάστημα.

Τέλος, τις περισσότερες ευχαριστίες οφείλω στους γονείς μου, που μου έχουν συμπαρασταθεί σε όλα τα βήματα της ζωής μου μέχρι σήμερα.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	15
2	Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας.....	17
2.1	Βασικές Αρχές Τηλεπισκόπησης.....	17
2.1.1	Πηγές ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και αρχές ακτινοβολίας.....	17
2.1.2	Αλληλεπιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και της ατμόσφαιρας.....	18
2.1.3	Η αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και της γήινης επιφάνειας.....	18
2.1.4	Φασματική ανακλαστικότητα.....	20
2.2	Τηλεπισκόπηση Οδικού Δικτύου.....	22
2.2.1	Αστικά Χαρακτηριστικά.....	23
2.2.2	Φυσικά Χαρακτηριστικά.....	23
2.2.3	Φασματικά χαρακτηριστικά των υλικών οδοστρώματος και οροφών κτιρίων.....	24
2.2.4	Παράγοντες οι οποίοι Επηρεάζουν την Απεικόνιση του Οδικού Δικτύου.....	26
2.2.4.1	Επιρροή της κλίμακας.....	26
2.2.4.2	Επιρροή αστικού περιβάλλοντος.....	26
2.3	Υπερφασματικές Τηλεπισκοπικές Απεικονίσεις.....	26
2.3.1	Αερομεταφερόμενοι Υπερφασματικοί σαρωτές.....	28
2.4	Υπερφασματικά Δεδομένα.....	29
2.5	Μέθοδοι και τεχνικές της Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης.....	30
2.5.1	Μείωση της διάστασης του υπερφασματικού χώρου.....	31
2.5.2	Μέθοδοι επιλογής χαρακτηριστικών.....	31
2.5.2.1	Έλεγχος συσχέτισης.....	32
2.5.2.2	Έλεγχος εντροπίας.....	32
2.5.3	Μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών.....	32
2.5.3.1	Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA).....	32
2.5.3.2	Ο μετασχηματισμός MNF (Minimum Noise Fraction).....	33
2.6	Αντικειμενοστραφής Ανάλυση.....	34
2.6.1	Κατάτμηση (Segmentation).....	34
2.6.2	Αντικειμενοστραφής Ταξινόμηση (Object-oriented classification).....	37
2.6.3	Ιεραρχία Κατηγοριών (Class Hierarchy).....	39
3	Αρθρογραφία.....	41
4	Μεθοδολογία.....	45
4.1	Περιοχές εφαρμογής και περιγραφή των δεδομένων.....	45
4.1.1	Περιγραφή των εικόνων.....	46
4.1.1.1	Η απεικόνιση του Calgary - Καναδάς.....	46
4.1.1.2	Η απεικόνιση της Χαλκίδας (1).....	47
4.1.1.3	Η απεικόνιση της Χαλκίδας (2).....	47
4.1.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά του υπερφασματικού δέκτη.....	47
4.1.3	Η γεωμετρία της λήψης.....	48
4.2	Προεπεξεργασίες υπερφασματικών απεικονίσεων.....	49
4.2.1	Ραδιομετρική διόρθωση απεικονίσεων.....	49
4.2.2	Γεωμετρική διόρθωση απεικονίσεων.....	50
4.3	Επεξεργασίες απεικονίσεων.....	51

4.3.1	Έλεγχος συσχέτισης.....	51
4.3.2	Εντροπία	52
4.3.3	Λόγοι – Πράξεις.....	53
4.3.4	Μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών	54
4.4	Εργαλεία – χαρακτηριστικά στο eCognition (features).....	56
4.5	Μεθοδολογία ανίχνευσης και εξαγωγής του οδικού δικτύου στην εικόνα του Calgary	58
4.5.1	Προσέγγιση I: Χρήση των καναλιών του δέκτη και των Κύριων Συνιστωσών	59
4.5.1.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	59
4.5.1.2	Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής κατά την ταξινόμηση στο επίπεδο 2	62
4.5.2	Προσέγγιση II: Χρήση των καναλιών που προκύπτουν από τις Μεθόδους Επιλογής Χαρακτηριστικών.....	64
4.5.2.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	64
4.5.2.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	66
4.5.3	Προσέγγιση III: Ταξινόμηση με χρήση του “Εγγύτερου Γείτονα” στα κανάλια των Κύριων Συνιστωσών	68
4.5.3.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	68
4.5.3.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	69
4.5.4	Προσέγγιση IV: Κατάτμηση μικρής κλίμακας και ταξινόμηση με έμφαση στο φασματικά χαρακτηριστικά.....	72
4.5.4.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	72
4.5.4.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	73
4.5.4.3	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3.....	75
4.6	Μεθοδολογία ανίχνευσης και εξαγωγής του οδικού δικτύου στην εικόνα της Χαλκίδας.....	77
4.6.1	Προσέγγιση I: Χρήση των καναλιών του δέκτη με έμφαση στις φασματικές υπογραφές	77
4.6.1.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	77
4.6.1.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	78
4.6.1.3	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3.....	80
4.6.2	Προσέγγιση II: Κατάτμηση μικρής κλίμακας και ταξινόμηση με έμφαση στα φασματικά χαρακτηριστικά.....	82
4.6.2.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	82
4.6.2.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	83
4.6.2.3	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3.....	85
4.6.2.4	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 4.....	86
4.6.3	Προσέγγιση III: Χρήση καναλιών ομαλοποιημένης εικόνας με εφαρμογή φίλτρου για την ενίσχυση της σημειακής και γραμμικής πληροφορίας	87
4.6.3.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	88
4.6.3.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	89
4.6.3.3	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3.....	91
4.6.4	Προσέγγιση IV: Χρήση καναλιού της εικόνας με εφαρμογή φίλτρου για την ενίσχυση της σημειακής και γραμμικής πληροφορίας σε απεικόνιση με χωρική διακριτική ικανότητα 1m και φασματική διακριτική ικανότητα 16 επιλεγμένα κανάλια	92
4.6.4.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	93
4.6.4.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	94
4.6.4.3	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3.....	97
5	Αξιολόγηση	98
5.1	Έλεγχος σύμπτωσης	98
5.1.1	Προβλήματα κατά την αξιολόγηση.....	99
5.2	Έλεγχος στο λογισμικό eCognition	100
5.3	Αξιολόγηση για την απεικόνιση του Calgary.....	101
5.3.1	Προσέγγιση I: Χρήση των καναλιών του δέκτη και των Κύριων Συνιστωσών	101
5.3.2	Προσέγγιση II: Χρήση των καναλιών που προκύπτουν από τις Μεθόδους Επιλογής Χαρακτηριστικών.....	102

5.3.3	Προσέγγιση III: Ταξινόμηση με χρήση του “Εγγύτερου Γείτονα” στα κανάλια των Κύριων Συνιστωσών	104
5.3.4	Προσέγγιση IV: Κατάτμηση μικρής κλίμακας και ταξινόμηση με έμφαση στα φασματικά χαρακτηριστικά.....	105
5.4	Έλεγχος για την απεικόνιση της Χαλκίδας.....	107
5.4.1	Προσέγγιση I: Χρήση των καναλιών του δέκτη με έμφαση στις φασματικές υπογραφές	107
5.4.2	Προσέγγιση II: Κατάτμηση μικρής κλίμακας και ταξινόμηση με έμφαση στα φασματικά χαρακτηριστικά.....	109
5.4.3	Προσέγγιση III: Χρήση καναλιών ομαλοποιημένης εικόνας με εφαρμογή φίλτρου για την ενίσχυση της σημειακής και γραμμικής πληροφορίας	110
5.4.4	Προσέγγιση IV: Χρήση καναλιού της εικόνας με εφαρμογή φίλτρου για την ενίσχυση της σημειακής και γραμμικής πληροφορίας σε απεικόνιση με χωρική διακριτική ικανότητα 1m και φασματική διακριτική ικανότητα 16 επιλεγμένα κανάλια	111
6	Συμπεράσματα.....	114

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Οι περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (πηγή: light.physics.auth.gr/enc/radiation.html)	17
Εικόνα 2: Κύριες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και ενός στοιχείου της γήινης επιφάνειας (Αργιαλάς, 2000).....	19
Εικόνα 3: Τυπικές καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για βλάστηση, νερό και έδαφος (Αργιαλάς, 2000)	20
Εικόνα 4: Διευκρινισμένα παραδείγματα των προκλήσεων που αντιμετωπίζει η τηλεπισκόπηση για την χαρτογράφηση του οδικού δικτύου (πηγή: Herold M. et al., 2003)	23
Εικόνα 5: Διαγράμματα ανακλαστικότητας για τους τύπους οδοστρώματος (αριστερά) και τους τύπους οροφών κτιρίων (δεξιά) από την φασματική βιβλιοθήκη της Santa Barbara	25
Εικόνα 6: Αρχή των υπερφασματικών σαρωτών (Αργιαλάς, 2000).....	27
Εικόνα 7: Επιλεγμένα εργαστηριακά φάσματα ορυκτών που παρουσιάζουν διαγνωστικά χαρακτηριστικά συντελεστών απορρόφησης και ανακλαστικότητας. Οι φασματικές ανακλαστικότητες έχουν μετατοπιστεί κατακόρυφα για να αποφευχθούν τυχόν επικαλύψεις. Παρουσιάζεται επίσης και το εύρος του καναλιού 7 του Θεματικού Χαρτογράφου (TM) του δορυφόρου Landsat (Αργιαλάς, 2000).	28
Εικόνα 8: Ο υπερφασματικός κύβος (πηγή: http://aviris.jpl.nasa.gov/html/aviris.cube.html)	29
Εικόνα 9: Παράθυρο ρυθμίσεων κατάτμησης του eCognition	35
Εικόνα 10: Δείγματα που καθορίζονται από το χρήστη για τη λειτουργία του “Εγγύτερου Γείτονα”	37
Εικόνα 11: Ιστογράμματα δειγμάτων σε όλα τα κανάλια του δέκτη (εδώ παρουσιάζονται τα τρία πρώτα κανάλια). Σύγκριση της θεματικής κατηγορίας των δρόμων και αυτής των οροφών των κτιρίων	38
Εικόνα 12: Συναρτήσεις ασαφούς λογικής. Ρύθμιση της μορφής και	38
Εικόνα 13: Ιεραρχία των επιπέδων ανάλυσης της εικόνας του Calgary με διαφορετική κλίμακα και παραμέτρους κατάτμησης	40
Εικόνα 14: Ανακλαστικότητα του οδικού δικτύου στα κανάλια του VIS και SWIR.....	42
Εικόνα 15: Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης μέσω του eCognition (κάτω), συγκρινόμενο με το ψευδέγχρωμο σύνθετο του IKONOS (πάνω αριστερά) και ψηφιακά δεδομένα που αναπαριστούν τα σπίτια και το οδικό δίκτυο με υπόβαθρο τον λόγο NDVI (πάνω δεξιά)	43
Εικόνα 16: α) εικόνα AVIRIS , β) ταξινόμηση των οδικών επιφανειών (περιλαμβάνονται κάποιες οροφές), γ) εφαρμογή γραμμικού φίλτρου, αφαίρεση κενών, διανυσματοποίηση και εξομάλυνση των αξόνων, δ) χάρτης αναφοράς των αξόνων	43
Εικόνα 17: Βελτίωση της ακρίβειας ταξινόμησης για διαφορετικές ραδιομετρικές ρυθμίσεις συγκρινόμενες με την ταξινόμηση σε IKONOS	44
Εικόνα 18: Αριστερά η εικόνα του Calgary (Καναδάς) και δεξιά η εικόνα της Χαλκίδας σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο (R,G,B).....	45
Εικόνα 19: Εικόνα της Χαλκίδας με χωρική διακριτική ικανότητα 1m και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα 16 υπερφασματικά κανάλια	46
Εικόνα 20: Οι επιμέρους συσκευές των δεκτών CASI-550 και TABI-320	48
Εικόνα 21: Η γεωμετρία της λήψης.....	49
Εικόνα 22: Μη ραδιομετρικά διορθωμένη απεικόνιση.....	50
Εικόνα 23: Ραδιομετρικά διορθωμένη απεικόνιση	50
Εικόνα 24: Οι τιμές συσχέτισης μεταξύ δρόμου και βλάστησης (η συσχέτιση παρουσιάζει χαμηλές τιμές σε πολλά κανάλια κυρίως από το 23 έως το 28)	51
Εικόνα 25: Οι τιμές συσχέτισης μεταξύ δρόμου και οροφής (μηδενική συσχέτιση των δύο κατηγοριών στο κανάλι 24 του CASI)	52
Εικόνα 26: Οι τιμές εντροπίας υπολογισμένες με χρήση των τιμών ανακλαστικότητας για το σύνολο των οριοθετημένων περιοχών.....	52
Εικόνα 27: Διάγραμμα ανακλαστικότητας για την εικόνα του Καναδά	53

Εικόνα 28: Έγχρωμο σύνθετο PC3,PC2,PC1 (R,G,B) των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών από την εφαρμογή της μεθόδου PCA στα ορατά κανάλια που καταγράφηκαν με τον δέκτη CASI (περιοχή: Calgary Καναδάς).....	55
Εικόνα 29: Έγχρωμο σύνθετο PC1,PC2,PC3 (R,G,B) των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών από την εφαρμογή της μεθόδου PCA στα ορατά κανάλια που καταγράφηκαν με τον δέκτη CASI (περιοχή: Χαλκίδα).....	55
Εικόνα 30: Έγχρωμο σύνθετο MNF1,MNF2,MNF3 (R,G,B) (περιοχή: Calgary Καναδάς).....	56
Εικόνα 31: Έγχρωμο σύνθετο MNF3,MNF4,MNF5 (R,G,B) (περιοχή: Χαλκίδα).....	56
Εικόνα 32: Εικόνα του χαρακτηριστικού length/width (αριστερά),επιλογή των ορίων της συνάρτησης length/width (μέση),επιλογή αντικειμένων με βάση τα όρια της συνάρτησης (δεξιά)	58
Εικόνα 33: Ταξινόμηση της εικόνας του Calgary στο επίπεδο 1	60
Εικόνα 34: Εικόνα του Calgary στο Level 2 μετά την κατάτμηση	61
Εικόνα 35: Εικόνα του Calgary στο Level 2 μετά την κατάτμηση σε μεγέθυνση.....	62
Εικόνα 36: Δείγματα που λήφθηκαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	62
Εικόνα 37: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2	63
Εικόνα 38: Ιεραρχία κατηγοριών για το σύνολο της εργασίας.....	64
Εικόνα 39: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1	65
Εικόνα 40: Δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση - υπόμνημα	66
Εικόνα 41: Ταξινόμηση της εικόνας του Calgary και ιεραρχία των κατηγοριών ταξινόμησης.....	68
Εικόνα 42: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1	69
Εικόνα 43: Δείγματα που λήφθηκαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	70
Εικόνα 44: Ταξινόμηση και ιεραρχία κατηγοριών στο επίπεδο 2.....	71
Εικόνα 45: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 2 και ομαδοποίηση των δρόμων και των οροφών των κτιρίων αντίστοιχα.....	71
Εικόνα 46: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1	73
Εικόνα 47: Δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 2	73
Εικόνα 48: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2	74
Εικόνα 49: Κατάτμηση με βάση την ταξινόμηση στο επίπεδο 3.....	75
Εικόνα 50: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3 και η ιεραρχία κατηγοριών.....	76
Εικόνα 51: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1	78
Εικόνα 52: Δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 2	79
Εικόνα 53: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2	80
Εικόνα 54: Απεικόνιση της κατάτμησης στο επίπεδο 3.....	81
Εικόνα 55: ταξινόμηση στο επίπεδο 3	81
Εικόνα 56: Ιεραρχία κατηγοριών.....	82
Εικόνα 57: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1	83
Εικόνα 58: Δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 2	84
Εικόνα 59: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2	85
Εικόνα 60: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 3.....	85
Εικόνα 61: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3	86
Εικόνα 62: Ταξινόμηση της περιοχής της θάλασσας	87
Εικόνα 63: Εφαρμογή φίλτρων στην εικόνα της Χαλκίδας	88
Εικόνα 64: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1	89
Εικόνα 65: Δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση.....	90
Εικόνα 66: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2	91
Εικόνα 67: Απεικόνιση της Χαλκίδας με χωρική διακριτική ικανότητα 1m	92
Εικόνα 68: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1	93
Εικόνα 69: Δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση.....	94
Εικόνα 70: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2	96
Εικόνα 71: Ιεραρχία Κατηγοριών	97
Εικόνα 72: Ψηφιοποίηση υφιστάμενου οδικού δικτύου (εικόνα αναφοράς).....	98
Εικόνα 73: Εικόνα με τα αντικείμενα που έχουν ταξινομηθεί ως δρόμοι.....	99
Εικόνα 74: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση I.....	101
Εικόνα 75: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση II.....	103
Εικόνα 76: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση III.....	104

Εικόνα 77: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση IV	105
Εικόνα 78: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση I.....	107
Εικόνα 79: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση II.....	109
Εικόνα 80: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση II.....	110
Εικόνα 81: Ταξινόμηση στην προσέγγιση IV	111

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Διαφορετικοί τύποι κατάτμησης στην απεικόνιση του Calgary (Καναδάς)	36
Πίνακας 2: Ακρίβειες ταξινόμησης κατηγοριών των δρόμων.....	41
Πίνακας 3: Κατάτμηση στο επίπεδο 1	59
Πίνακας 4: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής για το επίπεδο 1	60
Πίνακας 5: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα δύο επίπεδα.....	60
Πίνακας 6: Κατάτμηση στο επίπεδο 2	61
Πίνακας 7: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για της ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	63
Πίνακας 8: Κανάλια του CASI που προέκυψαν από την ανάλυση συσχέτισης και τα μήκη κύματος στα οποία αντιστοιχούν	64
Πίνακας 9: Κατάτμηση στο επίπεδο 1	65
Πίνακας 10: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1	65
Πίνακας 11: Κατάτμηση στο επίπεδο 2.....	66
Πίνακας 12: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα δύο επίπεδα.....	66
Πίνακας 13: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	67
Πίνακας 14: Κατάτμηση στο επίπεδο 1.....	69
Πίνακας 15: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1	69
Πίνακας 16: Κατάτμηση στο επίπεδο 2.....	69
Πίνακας 17: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	70
Πίνακας 18: Κατάτμηση στο επίπεδο 1.....	72
Πίνακας 19: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1	72
Πίνακας 20: Κατάτμηση στο επίπεδο 2.....	73
Πίνακας 21: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2	74
Πίνακας 22: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 3.....	76
Πίνακας 23: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα τρία επίπεδα	77
Πίνακας 24: Κατάτμηση στο επίπεδο 1.....	77
Πίνακας 25: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1	78
Πίνακας 26: Κατάτμηση στο επίπεδο 2.....	78
Πίνακας 27: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	79
Πίνακας 28: Κατάτμηση στο επίπεδο 3.....	81
Πίνακας 29: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα τρία επίπεδα	82
Πίνακας 30: Κατάτμηση στο επίπεδο 1.....	82
Πίνακας 31: Κανόνας και συνάρτηση συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1	83
Πίνακας 32: Κατάτμηση στο επίπεδο 2.....	83
Πίνακας 33: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2	84
Πίνακας 34: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα τέσσερα επίπεδα.....	87
Πίνακας 35: Κατάτμηση στο επίπεδο 1.....	88
Πίνακας 36: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1	89
Πίνακας 37: Κατάτμηση στο επίπεδο 2.....	89
Πίνακας 38: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	90
Πίνακας 39: Κατάτμηση στο επίπεδο 3.....	91
Πίνακας 40: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα τρία επίπεδα	92
Πίνακας 41: Κατάτμηση στο επίπεδο 1.....	93
Πίνακας 42: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1	93
Πίνακας 43: Κατάτμηση στο επίπεδο 2.....	94
Πίνακας 44: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2	95
Πίνακας 45: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τις υποκατηγορίες του γυμνού εδάφους..	95
Πίνακας 46: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τις υποκατηγορίες των σκιάσεων.....	95
Πίνακας 47: Κατάτμηση στο επίπεδο 3.....	97
Πίνακας 48: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα τρία επίπεδα	97
Πίνακας 49: Προβλήματα κατά την αξιολόγηση	100
Πίνακας 50: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση I	102

Πίνακας 51: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση II	103
Πίνακας 52: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση III	105
Πίνακας 53: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση IV	106
Πίνακας 54: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση I	108
Πίνακας 55: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση II	109
Πίνακας 56: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση III	111

Περίληψη

Στην Υπερφασματική Τηλεπισκόπηση μελετώνται δεδομένα μεγάλης διανυσματικής διάστασης με σκοπό να επιτευχθεί η διάκριση μεταξύ των διάφορων καταγεγραμμένων χαρακτηριστικών, τα οποία παρουσιάζουν διαγνωστικά αναγνωριστικά στοιχεία απορρόφησης και ανάκλασης σε πολύ στενά εύρη μήκους κύματος, κάτι το οποίο είναι αδύνατο να γίνει στα σχετικά μεγάλα εύρη μηκών κύματος των φασματικών καναλιών των πολυφασματικών σαρωτών. Στην παρούσα εργασία σκοπός ήταν η ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου σε Υπερφασματικές Τηλεπισκοπικές Απεικονίσεις αερομεταφερόμενου δέκτη με μεθόδους Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης.

Αρχικά, παρουσιάζεται μια σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση για τη γενική ανάλυση των μεθόδων επεξεργασίας της Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης αλλά και των τεχνικών που εφαρμόζονται κατά την Αντικειμενοστραφή Ανάλυση, των οποίων έγινε μελέτη και χρήση με σκοπό να αναπτυχθεί η ιδανικότερη μεθοδολογία για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου.

Η λήψη των απεικονίσεων που μελετήθηκαν είχε γίνει κατά την εκπόνηση διδακτορικής διατριβής του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του ΕΜΠ. Η λήψη έγινε με χρήση του αερομεταφερόμενου δέκτη CASI 550 που σχεδιάστηκε από την Καναδική εταιρία ITRES. Οι απεικονίσεις λήφθηκαν στην περιοχή του Calgary στον Καναδά, αλλά και στην ευρύτερη περιοχή της Χαλκίδας με χωρική διακριτική ικανότητα 3-4 m. Επίσης μελετήθηκε και μια δεύτερη απεικόνιση από την περιοχή της Χαλκίδας με 16 υπερφασματικά κανάλια και με χωρική διακριτική ικανότητα 1-2 m. Όσον αφορά στην προεπεξεργασία των εικόνων, πραγματοποιήθηκε γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση και έπειτα εφαρμόστηκαν μέθοδοι Επιλογής Χαρακτηριστικών, όπως η ανάλυση Συσχέτισης και ο υπολογισμός της Εντροπίας μετά την επιλογή δειγμάτων από τις εικόνες. Επιπλέον εφαρμόστηκαν η μέθοδος Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (PCA) και ο Μετασχηματισμός Ελαχιστοποίησης του Θορύβου (MNF), για τη μείωση της διάστασης του υπερφασματικού χώρου.

Κατά την επεξεργασία των εικόνων χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι αντικειμενοστραφούς ανάλυσης με χρήση του λογισμικού eCognition. Το πλήθος των επιλογών που υπάρχουν κατά την Αντικειμενοστραφή Ανάλυση σε συνδυασμό με την μεγάλη διάσταση των υπερφασματικών δεδομένων έδωσε την δυνατότητα να αναπτυχθούν διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις για την ανάλυση των απεικονίσεων, ανάλογα με τις παραμέτρους, τον τρόπο ταξινόμησης, ή τα εισαγόμενα δεδομένα κατά την εκάστοτε προσέγγιση. Έπειτα εφαρμόστηκε μια μέθοδος σύγκρισης των ταξινομήσεων με το υφιστάμενο οδικό δίκτυο για τον έλεγχο και την αξιολόγησή των αποτελεσμάτων.

Συμπερασματικά, η μεγάλη διανυσματική διάσταση των υπερφασματικών δεδομένων όταν αυτά χρησιμοποιούνται για εφαρμογές αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης συντελεί στην καλύτερη ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου, δημιουργώντας παράλληλα τις προοπτικές για περαιτέρω μελλοντική έρευνα, η οποία θα εξασφαλίζει περισσότερο ακριβή και εύχρηστα αποτελέσματα.

Abstract

Hyperspectral Remote Sensing utilizes high dimensionality image data in order to achieve discrimination between imaged features, which present diagnostic identification elements of absorption and reflectance in very narrow bandwidth, that is not possible to discriminate in the rough bandwidth of the multispectral data. The main purpose of this study was to detect and extract the road network utilizing Hyperspectral Remote Sensing Imagery acquired by an airborne hyperspectral sensor using object oriented image analysis methods.

At first, a short review is presented concerning the typical analysis of the hyperspectral remote sensing imagery as well as the object-oriented analysis techniques, which have been studied and used for developing a methodology for the detection and extraction of the road network.

The hyperspectral images that were used, had been acquired during a relative research of the Remote Sensing Laboratory of the NTUA, using the airborne sensor CASI 550, constructed by the Canadian company ITRES. The images had been acquired at the area of Calgary (Canada) and Halkis (Greece) at a spatial resolution of approximately 4 m. A second 16-band imagery of Halkis at a spatial resolution of 1 m was also analysed. Regarding the preprocessing of the images, both geometric and radiometric corrections took place. Methods of feature selection, such as correlation and entropy analysis based on image samples were applied. Furthermore, methods of feature extraction like Principal Components Analysis (PCA) and Minimum Noise Fraction (MNF) were applied, in order to decrease the dimensionality of the hyperspectral data.

For the processing of the images, object-oriented analysis methods were applied using eCognition software. The wide variance of potentials provided by object-oriented image analysis, in combination with the high dimensionality of the hyperspectral data, enabled the use of different methodological approaches to be developed for processing the images, depending on the parameters, the classification method or the data used for each approach. Finally, a method for the comparison of the classification results with the actual road network was applied in order to examine and evaluate the results.

As a conclusion, the use of high dimensionality hyperspectral data in combination with object-oriented analysis methods, helped in the development of a better detection and extraction method of the road network and is very promising for future research, which will ensure more accurate and useful results.

1 Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν τηλεπισκοπικά δεδομένα για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων μεταφορών έχουν εξεταστεί για την εφαρμογή στις ενημερώσεις χαρτογραφικών προϊόντων και βάσεων δεδομένων. Οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις αποτελούν μια προσιτή πηγή που παρέχει την ευρύτερη ποικιλία και τη μεγαλύτερη ποσότητα πληροφορίας σχετικά με τα παραδοσιακά στοιχεία χαρτογράφησης. Έχει ιδιαίτερη χρησιμότητα για εφαρμογές των μεταφορών όπως η ανίχνευση χρήσης γης και αλλαγής κάλυψης εδάφους, η διαχείριση υποδομής των μεταφορών, η εκτίμηση της περιβαλλοντικής επίδρασης και η δημιουργία των υψηλής ακρίβειας χαρτών-βάσεων για ευφυή προγραμματισμό μεταφορών. Με τις πρόσφατες αυξήσεις στη χωρική ανάλυση, η εξαγωγή χαρακτηριστικών γνωρισμάτων αποτελεί ακόμα περισσότερο μια πρόκληση. Η αποκόμιση του μέγιστου οφέλους από αυτή την πηγή πληροφορίας θα απαιτήσει την έρευνα που περιλαμβάνει όχι μόνο τις βελτιωμένες προσεγγίσεις ανάλυσης δεδομένων, αλλά και την ανάπτυξη των εργαλείων για το χειρισμό τους.

Σήμερα, οι λεπτομερείς και ακριβείς πληροφορίες για το οδικό δίκτυο είναι η βάση για την σωστή διαχείριση και τον προγραμματισμό της υποδομής και των προτερημάτων των μεταφορών. Τα ποιοτικά πρότυπα για τα απαραίτητα στοιχεία έχουν εξελιχθεί αρκετά τις τελευταίες δεκαετίες καθώς η κυκλοφορία και οι εφαρμογές της έχουν γίνει πιο απαιτητικές, και περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα μεταβλητών όπως οι άξονες των δρόμων, η γεωμετρία, ο τύπος των πεζοδρομίων και η κατάσταση της οδικής επιφάνειας. Η τηλεπισκόπηση έχει τη δυνατότητα να παρέχει λεπτομερή οδική χαρτογράφηση και μπορεί να προσφέρει περισσότερο ενημερωμένες και οικονομικές μεθόδους για να βελτιώσει τις κοινής εφαρμογής παρατηρήσεις των δικτύων των μεταφορών (Jensen και Cowen 1999).

Παρά το πλήθος των εναέριων στοιχείων και τα περισσότερα πρόσφατα στοιχεία δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης που έχουν χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη χαρτογράφηση, υπάρχει ανάγκη για πιο ακριβείς, ταχύτερες και χαμηλότερου κόστους διαδικασίες. «Η ερμηνεία της εικόνας και η κατανόηση, περιλαμβάνουν πάντα τους στόχους ανάλυσης και αναγνώρισης των αντικειμένων. Προς το παρόν, η αναγνώριση του αντικειμένου έχει προσεγγιστεί από επιβλεπόμενες και μη, τεχνικές ταξινόμησης, με τη φασματική ομοιότητα ως μεθοδολογικό πυρήνα τους. Αυτή η βασισμένη στα φασματικά χαρακτηριστικά προσέγγιση, δηλώνει τις προσπάθειες των χρηστών για την αναγνώριση των αντικειμένων της εικόνας είτε πριν από τον αλγόριθμο (κατά την επιλογή των περιοχών εκπαίδευσης στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση), είτε μετά από τον αλγόριθμο (για την επικύρωση των αποτελεσμάτων), που σημαίνει ότι ο χρήστης καθοδηγεί βάσει λογικής τη διαδικασία της ταξινόμησης. Η πρόκληση είναι να φθάσει κανείς στο σύνολο των φασματικών στοιχείων που μεγιστοποιεί την ποιότητα της χαρτογράφησης στα πρότυπα του εννοιολογικού και γνωστικού επιπέδου.» (Repaka S., et al., 2004)

Έτσι, η αυξανόμενη επιτυχία της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης έχει υποκινήσει τις έρευνες για τη δημιουργία νέων μεθοδολογιών οι οποίες θα παρέχουν την απαραίτητη ανανέωση των γεωγραφικών πληροφοριών (geoinformation). «Όσο περισσότερα γεωμετρικά, φασματικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά γνωρίζουμε για κάποια αντικείμενα, τόσο πιο ρεαλιστική τείνει να γίνει η ταξινόμηση. Η εξαγωγή πρωτογενών αντικειμένων, βασισμένη στην κατάτμηση έχει επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα στην ταξινόμηση υψηλής ανάλυσης εικόνων. Τα άγνωστα φασματικά πρότυπα, καθώς επίσης και η υψηλή ετερογένεια του αστικού περιβάλλοντος, απαιτούν το συνδυασμό μεταξύ pixel και πληροφοριών αντικειμένου για την αποτελεσματική ταξινόμηση της κάλυψης τους εδάφους και των χρήσεων γης (Hoffman 2001). Η βασική ιδέα είναι να εξαγονται πρωτογενή αντικείμενα από τις εικόνες και να χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες τους για να συνθέσουν τις μεθόδους που βελτιώνουν τη διαδικασία της ταξινόμησης. Αυτή η έρευνα εκθέτει τις μεθόδους αντικειμενοστραφούς ανάλυσης (object-oriented analysis) που υπάρχει η δυνατότητα να εφαρμοστούν για την οδική ανίχνευση και ταξινόμηση.» (Nobrega R. A., et al., 2006)

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των μεταφορών είναι ιστορικά δύσκολο να προσδιοριστούν επακριβώς και οι προγενέστερες αναλύσεις έχουν καταδείξει τα προβλήματα κατά τον εντοπισμό των μικρότερης κλίμακας χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Τα οδοστρώματα στο αστικό περιβάλλον συχνά κρύβονται εν μέρει λόγω της εγγύτητας στην κάλυψη του εδάφους. Εκτός όμως από την επιρροή της κλίμακας η τηλεπισκόπηση καλείται να αντιμετωπίσει και προβλήματα που προκαλούνται από την επιρροή του αστικού περιβάλλοντος. Εντούτοις, η φυσική και κοινωνικοοικονομική πραγματικότητα γίνεται ολοένα και πιο περίπλοκη, με τα οδικά δίκτυα να διέρχονται από περιοχές με μεγάλη ποικιλία θεματικών οντοτήτων όπως κτίρια, βλάστηση, οχήματα, σκιάσεις και διάφορα άλλα αντικείμενα. Παρόλο που το δομημένο περιβάλλον καθιστά δύσκολη την ανίχνευση οδικού δικτύου, αυτή είναι περισσότερο εφικτή στις υπερφασματικές απεικονίσεις λόγω των διαφορετικών φασματικών υπογραφών των υλικών κατασκευής του που είναι δυνατόν να ανιχνευθούν. Πρόσφατες έρευνες έχουν εστιάσει στις αντικειμενοστραφείς μεθόδους για την ταξινόμηση και το κλειδί σε αυτή την προσέγγιση είναι οι διαφορετικές τεχνικές κατάτμησης. Τα πακέτα λογισμικού όπως το eCognition έχουν παρουσιάσει ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε ποικίλες κλίμακες στην ταξινόμηση των εναέριων και δορυφορικών απεικονίσεων.

Σε αυτήν την μελέτη, σκοπός είναι να αξιολογηθεί κατά πόσο είναι ικανός ο συνδυασμός της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης και των υπερφασματικών δεδομένων να ξεπεράσει τις παραπάνω προκλήσεις καθώς και η αυτοματοποίηση εν μέρει των διαδικασιών που απαιτούνται για αυτό τον σκοπό σε απεικονίσεις παρόμοιων ραδιομετρικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών.

2 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1 Βασικές Αρχές Τηλεπισκόπησης

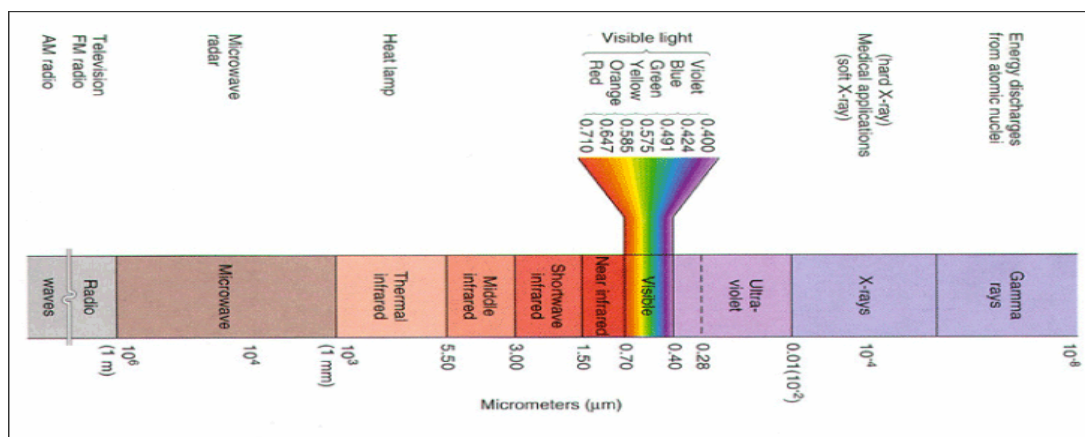
Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing), είναι η επιστήμη και τεχνική, που ασχολείται με τις αρχές, τις αναλογικές και ψηφιακές μεθόδους και τα όργανα, με τα οποία επιτυγχάνεται από μακριά, η συλλογή, επεξεργασία, και ανάλυση, πλήθους ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών για τη γη, τους ωκεανούς, την ατμόσφαιρα και το φυσικό και το κοινωνικοοικονομικό περιβάλλον γενικότερα, (αλλά και για τις σχέσεις, τις αλληλεξαρτήσεις και τις αλληλεπιδράσεις τους και τις τάσεις μεταβολής τους δια μέσου του χρόνου), καθώς επίσης και για οποιοδήποτε αντικείμενο, φαινόμενο, γεγονός και συμβάν, ή και για οποιαδήποτε διαδικασία μεταβολής τους. Η Τηλεπισκόπηση αξιοποιεί "απεικονίσεις" της πραγματικότητας στις περιοχές του ορατού φώτος, του υπεριώθρου και των μικροκυμάτων, του φάσματος της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας.

Τηλεπισκοπικές απεικονίσεις είναι οι διαφόρων τύπων και μορφών καταγραφές της φυσικής και κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας και του περιβάλλοντος, όπως αυτές προκύπτουν σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή απ' τους αντίστοιχους αναλογικούς και ψηφιακούς τηλεπισκοπικούς δέκτες. (Ρόκος, 2003)

2.1.1 Πηγές ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και αρχές ακτινοβολίας

Το σύνολο της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας η οποία ακτινοβολείται στη γη από τον ήλιο συνιστά το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. 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 (Εικόνα 1). Η πιο καθιερωμένη μονάδα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του μήκους κύματος κατά μήκος του φάσματος είναι το *μικρόμετρο* (μm). Ένα μικρόμετρο ισούται με $1 \cdot 10^{-6}\text{m}$.

Τα ονόματα των περιοχών του φάσματος αποδίδουν περισσότερο τις διάφορες μεθόδους ανίχνευσης της ακτινοβολίας παρά τις εσωτερικές διαφορές των χαρακτηριστικών της ενέργειας στα διάφορα μήκη κύματος (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Οι περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
(πηγή: light.physics.auth.gr/enc/radiation.html)

Το ορατό τμήμα του φάσματος είναι εξαιρετικά μικρό, αφού η φασματική ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού εκτείνεται μόνο από 0,4 μm μέχρι περίπου 0,7 μm . Το μπλε χρώμα απεικονίζεται στο εύρος από 0,4 έως 0,5 μm περίπου. Το πράσινο από 0,5 έως 0,6 μm και το

κόκκινο από 0,6 έως 0,7μm περίπου. Η υπεριώδης (UV) ενέργεια συνορεύει με το τέλος του μπλε στην ορατή περιοχή του φάσματος. 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 περιοχή του θερμικού υπέρυθρου σχετίζεται άμεσα με τη θερμική ενέργεια. Η μικροκυματική περιοχή του φάσματος βρίσκεται μεταξύ του 1mm και του 1m. (Αργιαλάς, 2000)

2.1.2 Αλληλεπιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και της ατμόσφαιρας

«Ανεξαρτήτως της πηγής της, όλη η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία ανιχνεύεται από τους τηλεπισκοπικούς δέκτες, διασχίζει κάποια απόσταση, το λεγόμενο οπτικό πάχος της ατμόσφαιρας. Το οπτικό πάχος της ατμόσφαιρας ποικίλει. Για παράδειγμα, η διαστημική φωτογραφία προκύπτει όταν το ηλιακό φως περνά μέσα από την ατμόσφαιρα δύο φορές κατά το ταξίδι του από την πηγή στο δέκτη, και συνεπώς το οπτικό πάχος είναι το διπλάσιο της ατμόσφαιρας. Από την άλλη μεριά, οι αερομεταφερόμενοι θερμικοί σαρωτές ανιχνεύουν την εκπεμπόμενη ενέργεια απευθείας από τα αντικείμενα της γης, και συνεπώς, το οπτικό πάχος της ατμόσφαιρας είναι ίσο με την απόσταση αεροπλάνου - γήινης επιφάνειας. Έτσι, οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας ποικίλουν ανάλογα με αυτές τις διαφορές του οπτικού πάχους της ατμόσφαιρας, το μέγεθος του προς ανίχνευση σήματος, τις εκάστοτε ατμοσφαιρικές συνθήκες και το μήκος κύματος της ανιχνευόμενης ενέργειας, άρα και από το σύστημα ανίχνευσης.

Η ατμόσφαιρα μπορεί να έχει μία βαθιά επίδραση, μεταξύ των άλλων, πάνω στην ένταση ακτινοβολίας και στη φασματική σύνθεση της διαθέσιμης ακτινοβολίας για κάθε σύστημα δεκτών. Αυτές οι επιδράσεις προκαλούνται κυρίως διαμέσου των μηχανισμών της ατμοσφαιρικής σκέδασης και απορρόφησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.» (Αργιαλάς, 2000)

2.1.3 Η αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και της γήινης επιφάνειας

«Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπίπτει σε ένα οποιοδήποτε δεδομένο χαρακτηριστικό της γήινης επιφάνειας, είναι δυνατή η ύπαρξη τριών θεμελιωδών αλληλεπιδράσεων ενέργειας. Αυτό το φαινόμενο απεικονίζεται στην Εικόνα 2 για ένα στοιχείο μιας υδάτινης μάζας. Διάφορα τμήματα της προσπίπτουσας στο στοιχείο ενέργειας, ανακλώνται, απορροφούνται, και / ή μεταφέρονται. Εφαρμόζοντας αυτή την αρχή διατήρησης της ενέργειας, μπορούμε να ορίσουμε την αλληλοσυσχέτιση μεταξύ των τριών αυτών ενεργειακών αλληλεπιδράσεων ως:

$$E_i(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

όπου:

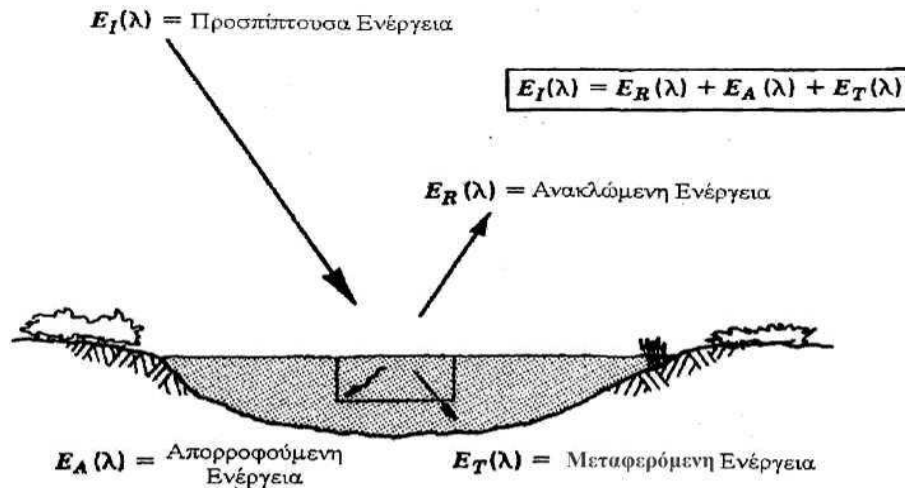
$E_i(\lambda)$ = η προσπίπτουσα ενέργεια

$E_R(\lambda)$ = η ανακλώμενη ενέργεια

$E_A(\lambda)$ = η απορροφόμενη ενέργεια, και

$E_T(\lambda)$ = η μεταφερόμενη ενέργεια, με όλες τις συνιστώσες ενέργειας να είναι συνάρτηση του μήκους κύματος λ .

Η παραπάνω εξίσωση είναι μια εξίσωση ενεργειακής ισορροπίας, η οποία εκφράζει την αλληλοσυσχέτιση μεταξύ των μηχανισμών της ανάκλασης, της απορρόφησης και της μεταφοράς.



Εικόνα 2: Κύριες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και ενός στοιχείου της γήινης επιφάνειας (Αργιαλάς, 2000)

Θα πρέπει να σημειωθούν δύο σημεία, τα οποία άπτονται αυτής της σχέσης. Το πρώτο είναι ότι, οι αναλογίες της ανακλώμενης, απορροφούμενης και μεταφερόμενης ενέργειας θα είναι διαφορετικές για διαφορετικά γήινα χαρακτηριστικά, και θα εξαρτώνται από το είδος του υλικού και τις συνθήκες του. Αυτές οι διαφορές μας επιτρέπουν να διαχωρίσουμε τα διάφορα χαρακτηριστικά σε μία εικόνα. Δεύτερον, η εξάρτηση από το μήκος κύματος μας δηλώνει ότι, ακόμη και για ένα δεδομένο τύπο χαρακτηριστικού, τα στοιχεία της ανακλώμενης απορροφούμενης και μεταφερόμενης ενέργειας, θα διαφέρουν σε διαφορετικά μήκη κύματος. Έτσι, δύο χαρακτηριστικά μπορεί να μην είναι διαχωρίσιμα σε ένα φασματικό εύρος, ενώ μπορεί να είναι τελείως διαφορετικά σε μία άλλη περιοχή του φάσματος. Μέσα στο ορατό τμήμα του φάσματος, αυτές οι φασματικές παραλλαγές διαμορφώνουν ένα οπτικό φαινόμενο, το οποίο καλείται χρώμα. Για παράδειγμα, ονομάζουμε τα αντικείμενα ως «μπλε», όταν αυτά ανακλούν σε μεγάλο βαθμό στο μπλε τμήμα του φάσματος, «πράσινα», όταν ανακλούν σε μεγάλο βαθμό στην πράσινη φασματική περιοχή, κλπ. Έτσι, το μάτι χρησιμοποιεί τις φασματικές διαφορές στο μέγεθος της ανακλώμενης ενέργειας για να διακρίνει διάφορα αντικείμενα.

Επειδή πολλά τηλεπισκοπικά συστήματα λειτουργούν σε φασματικές περιοχές, στις οποίες κυριαρχεί η ανακλώμενη ενέργεια, οι ιδιότητες της ανακλαστικότητας των γήινων χαρακτηριστικών είναι πολύ σημαντικές. Έτσι, είναι συχνά χρήσιμο να σκεφτούμε την σχέση ενεργειακού ισοζυγίου, η οποία δίνεται από την εξίσωση:

$$E_R(\lambda) = E_I(\lambda) - [E_A(\lambda) + E_T(\lambda)]$$

Αυτό σημαίνει ότι, η ανακλώμενη ενέργεια είναι ίση με την ενέργεια που προσπίπτει σε ένα δεδομένο χαρακτηριστικό, μειωμένη κατά το ποσό της ενέργειας που απορροφάται ή/και μεταφέρεται από το χαρακτηριστικό αυτό.

Ο γεωμετρικός τρόπος, με τον οποίο ένα αντικείμενο ανακλά ενέργεια, είναι επίσης μία σημαντική παράμετρος. Ο γεωμετρικός τρόπος ανάκλασης εξαρτάται από την επιφανειακή τραχύτητα των αντικειμένων. Οι κανονικοί (κατοπτρικοί) ανακλαστήρες είναι επίπεδες επιφάνειες που συμπεριφέρονται ως επίπεδα κάτοπτρα, όπου η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης. Οι διαχέοντες (ή Λαμπερτιανοί) ανακλαστήρες είναι τραχείες επιφάνειες που ανακλούν ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις. Οι περισσότερες επιφάνειες δεν είναι ούτε τελείως κανονικοί, ούτε τελείως διαχέοντες ανακλαστήρες αλλά συμπεριφέρονται κάπου μεταξύ ενός κανονικού και ενός ανακλαστήρα διάχυσης.

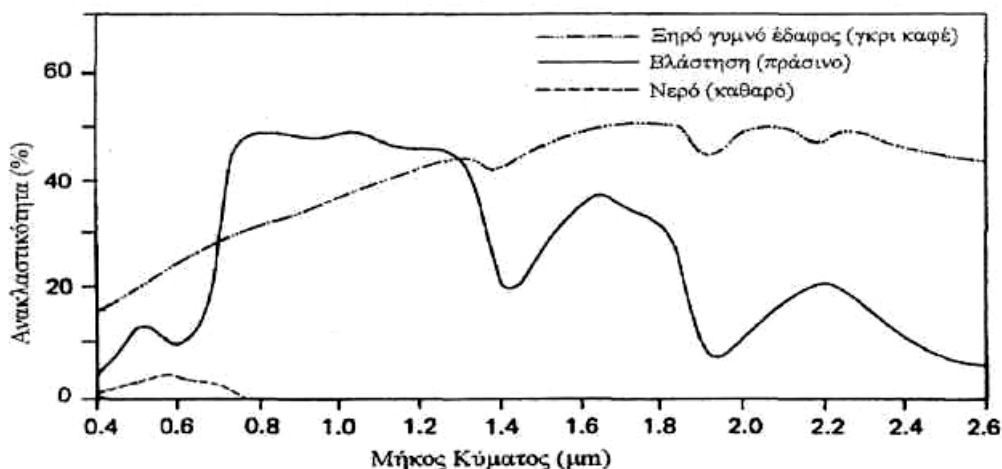
«Η εμπειρία μας έχει δείξει ότι, πολλά χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας μπορούν να διακριθούν, να χαρτογραφηθούν και να μελετηθούν με βάση τα φασματικά τους χαρακτηριστικά. Η εμπειρία επίσης μας έχει δείξει ότι ορισμένα γήινα χαρακτηριστικά δεν

μπορούν να αναλυθούν φασματικά. Έτσι για να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα της Τηλεπισκόπησης αποτελεσματικά, πρέπει ο καθένας να γνωρίζει και να αντιληφθεί τα φασματικά χαρακτηριστικά των επιμέρους γήινων χαρακτηριστικών που ερευνώνται σε μία δεδομένη εφαρμογή. Παρομοίως, ο καθένας πρέπει να γνωρίζει ποιοι παράγοντες επιδρούν σε αυτά τα χαρακτηριστικά.» (Αργιαλάς, 2000)

2.1.4 Φασματική ανακλαστικότητα

«Το διάγραμμα στην Εικόνα 3 παρουσιάζει τις τυπικές καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για τρία βασικά είδη γήινων χαρακτηριστικών: πράσινη υγιής βλάστηση, ξηρό και γυμνό έδαφος (γκρι-καφέ πηλώδες 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 0.67 μm . 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).



Εικόνα 3: Τυπικές καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για βλάστηση, νερό και έδαφος (Αργιαλάς, 2000)

Καθώς το μήκος κύματος αυξάνεται από το ορατό προς το εγγύς υπέρυθρο μέρος του φάσματος, γύρω στα 0.7 μm , η ανακλαστικότητα της υγιούς βλάστησης αυξάνεται σημαντικά. Στην περιοχή από 0.7 μέχρι 1.3 μm , το φύλλωμα των φυτών τυπικώς ανακλά το 40-50% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Επειδή η απορρόφηση σ' αυτήν την φασματική περιοχή είναι πολύ μικρή (λιγότερο από 5%), το μεγαλύτερο μέρος της υπόλοιπης ακτινοβολίας διέρχεται από το φύλλωμα. Η ανακλαστικότητα της βλάστησης στο εύρος 0.7-1.3 μm , είναι αποτέλεσμα της εσωτερικής δομής των φύλλων των φυτών. Επειδή η δομή αυτή ποικίλει σημαντικά μεταξύ των ειδών της βλάστησης, η μέτρηση της ανακλαστικότητας στο φάσμα αυτό, συχνά μας επιτρέπει το διαχωρισμό των ειδών της βλάστησης, ακόμα και αν αυτά φαίνονται όμοια στο ορατό φως.

Παρομοίως, πολλοί παράγοντες προκαλούν ασθενική κατάσταση της βλάστησης στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα, και συνεπώς, οι δέκτες που λειτουργούν σε αυτό το εύρος του φάσματος, χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ασθενειών της βλάστησης. Ας σημειωθεί ότι, η ύπαρξη πολλαπλών επιπέδων στο φύλλωμα της βλάστησης συντελεί σε πολλαπλές μεταδόσεις της ακτινοβολίας, έτσι ώστε να παρατηρείται σημαντική αύξηση της ανακλαστικότητας της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το μέγιστο συνήθως παρατηρείται όταν υπάρχουν οκτώ επίπεδα φυλλώματος.

Πέρα από τα 1.3μm, η προσπίπτουσα στη βλάστηση ακτινοβολία, απορροφάται ουσιαστικά, ή ανακλάται, χωρίς να διαπερνά το φύλλωμα. Οι κοιλότητες της καμπύλης ανακλαστικότητας που βρίσκονται στα 1.4, 1.9 και 2.7μm, οφείλονται στο ότι, το νερό των φύλλων απορροφά ολοκληρωτικά την υπέρυθρη ακτινοβολία σ' αυτά τα μήκη κύματος. Συνεπώς, αυτά τα μήκη κύματος συχνά αναφέρονται ως ζώνες υδατοαπορρόφησης. Η ανακλαστικότητα εμφανίζει κορυφές γύρω στα 1.6 και 2.2μm μεταξύ των ζωνών απορρόφησης του νερού. Πέρα από τα 1.3μm, η ανακλαστικότητα είναι κατά προσέγγιση αντιστρόφως ανάλογη του ολικού περιεχομένου των φύλλων σε νερό. Το ολικό υδάτινο περιεχόμενο των φύλλων είναι συνάρτηση της περιεχόμενης υγρασίας και του πάχους των φύλλων.

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 (ποσοστό σε άμμο, ιλύ και άργιλο), 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 ανακλαστικότητά του. Όπως και στη βλάστηση, η επίδραση αυτή είναι μέγιστη στις ζώνες υδατοαπορρόφησης που βρίσκονται περίπου στα 1.4, 1.9 και 2.7μm. (Τα αργιλικά εδάφη παρουσιάζουν επιπρόσθετες ζώνες απορρόφησης υδροξυλίου περίπου από 1.4 - 2.2μm). 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. Ας σημειωθεί, ότι η ανακλαστικότητα των εδαφών ανταποκρίνεται με συνέπεια στα περιγραφόμενα πρότυπα, μόνο σε συγκεκριμένο εύρος συνθηκών τους. Δυο άλλοι παράγοντες που ελαττώνουν την ανακλαστικότητα του εδάφους είναι η επιφανειακή τραχύτητα και η περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό. Η παρουσία των οξειδίων του σιδήρου στο έδαφος μειώνει σημαντικά την ανακλαστικότητά του, τουλάχιστον στο ορατό φάσμα.

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 τη υπέρυθρη ακτινοβολία είτε ως λίμνη, θάλασσα ή ποτάμι, είτε ως συστατικό της βλάστησης ή του εδάφους. Λόγω αυτής της ιδιότητας του νερού να απορροφά την υπέρυθρη ακτινοβολία, 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 καθ'αυτού του νερού, αλλά και των υλικών που βρίσκονται σ' αυτό.

Το καθαρό νερό απορροφά σχετικά ελάχιστη ενέργεια σε μήκη κύματος μικρότερα των 0.6μm. Αντίθετα, αυτά τα μήκη κύματος χαρακτηρίζονται από ένα υψηλό συντελεστή μετάδοσης της ενέργειας, παρουσιάζοντας μέγιστο στο μπλε - πράσινο τμήμα του φάσματος. Όταν η θολερότητα του νερού μεταβάλλεται λόγω των φερτών οργανικών και ανόργανων υλικών (ιζημάτων), ο συντελεστής εκπομπής, συνεπώς, η ανακλαστικότητα, μεταβάλλεται σημαντικά. Για παράδειγμα, υδάτινες μάζες που περιέχουν μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων ιζημάτων λόγω της διάβρωσης του εδάφους, έχουν κατά κανόνα πολύ υψηλότερη ανακλαστικότητα από τις καθαρές υδάτινες μάζες στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Παρομοίως, η ανακλαστικότητα του νερού μεταβάλλεται ανάλογα με τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης. Η αύξηση στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της ανακλαστικότητας του νερού στο μπλε μήκος κύματος και την αύξηση στο πράσινο μήκος κύματος. Αυτές οι μεταβολές έχουν χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση, την ανίχνευση, και την εκτίμηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης. Η ανακλαστικότητα έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της παρουσίας ή απουσίας της τανίνης που προέρχεται από ελώδη βλάστηση σε πεδινές περιοχές, και για την ανίχνευση πολλών παραγόντων ρύπανσης, όπως πετρελαιοκηλίδων και ορισμένων βιομηχανικών απόβλητων.

Πολλά σημαντικά υδάτινα χαρακτηριστικά, όπως η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, pH, και η συγκέντρωση αλάτων, δεν μπορούν να παρατηρηθούν κατευθείαν μέσω των αλλαγών της ανακλαστικότητας. Εν τούτοις, τέτοιες παράμετροι, μερικές φορές, συσχετίζονται με την παρατηρούμενη ανακλαστικότητα. Υπάρχουν πολλές σύνθετες σχέσεις αλληλοσυσχέτισης ανάμεσα στη φασματική ανακλαστικότητα του νερού και των ιδιαίτερων υδάτινων χαρακτηριστικών. Πρέπει κάποιος να χρησιμοποιήσει κατάλληλη συμπληρωματική πληροφορία για να ερμηνεύσει σωστά μετρήσεις ανακλαστικότητας που έχουν διεξαχθεί πάνω από το νερό.» (Αργιαλάς, 2000)

2.2 Τηλεπισκόπηση Οδικού Δικτύου

«Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται ραγδαία αύξηση του πληθυσμού των αστικών περιοχών με αποτέλεσμα την επέκταση των οδικών δικτύων τα οποία στις περισσότερες χώρες δεν επαρκούν για την κάλυψη των μετακινήσεων του πληθυσμού. Ως αποτέλεσμα, η τηλεπισκόπηση της υποδομής των δρόμων αντιμετωπίζει διάφορες προκλήσεις. Λαμβάνοντας υπόψη την τρισδιάστατη δομή της επιφάνεια του εδάφους, οι δρόμοι είναι το "κατώτατο στρώμα" που μπορεί να καλυφθεί ή να σκιαστεί από περιβάλλουσες επιφάνειες όπως τα δέντρα, τα κτίρια, ή τα αυτοκίνητα (σχήμα 1). Η δομή του δρόμου και η γεωμετρία συνδυάζονται και οδηγούν ραδιομετρικά σε έναν δυσδιάκριτο μίγμα με υψηλή χωρική μεταβλητότητα. Μέσα στις αστικές περιοχές, όπου το οδικό δίκτυο είναι ιδιαίτερα πυκνό, αυτοί οι παράγοντες γίνονται ακόμα πιο σύνθετοι. Η αφθονία και η τρισδιάστατη δομή των τεχνικών υλικών όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των οροφών, των επιφανειών οδοστρώματος, αλλά και η βλάστηση, το γυμνό έδαφος και άλλοι τύποι κάλυψης του εδάφους έχουν ως αποτέλεσμα μια χωρική και φασματική ετερογένεια που υπερβαίνει κατά πολύ τα φυσικά ή εν μέρει φυσικά περιβάλλοντα (Εικόνα 4), καθιστώντας την ανάλυση της εικόνας σε αστικές περιοχές μια μεγάλη πρόκληση. Στην πραγματικότητα, η διάκριση και η χαρτογράφηση των οδικών επιφανειών πρέπει να ξεετάζει πλήρως τα σύνθετα φασματικά χαρακτηριστικά των αστικών υλικών και των διαφόρων τύπων κάλυψης του εδάφους.» (Herold M., et al)

1) Ετερογενής δρόμος, καλυμμένος και σκιασμένος από κτίρια, παρόδια βλάστηση και αυτοκίνητα



3) Κατοικημένη αστική περιοχή, όπου φαίνεται ο πολύπλοκος φασματικός συνδυασμός των διαφόρων τύπων κάλυψης του εδάφους και των τεχνικών υλικών



2) Υπεραστική οδός

Εικόνα 4: Διευκρινισμένα παραδείγματα των προκλήσεων που αντιμετωπίζει η τηλεπισκόπηση για την χαρτογράφηση του οδικού δικτύου (πηγή: Herold M. et al., 2003)

2.2.1 Αστικά Χαρακτηριστικά

«Οι δρόμοι είναι τεχνικά έργα από συνθετικά και φυσικά υλικά. Τα τμήματα του οδικού δικτύου όπως εμφανίζονται στις τηλεπισκοπικές απεικονίσεις αποτελούνται από σημεία, γραμμές και πολύγωνα συσχετιζόμενα μεταξύ τους σχηματίζοντας δομημένα σύνολα. Οι δρόμοι δεν είναι μόνο αστικά αντικείμενα καθώς συναντώνται σε όλα τα είδη περιβάλλοντος: αστικό, αγροτικό, περίχωρα κ.λ.π. Υπάρχουν διάφορα ουσιαστικά κριτήρια σχετικά με την Τηλεπισκόπηση του αστικού περιβάλλοντος και των αστικών αντικειμένων. Σε ένα αστικό περιβάλλον δύο σημαντικά στοιχεία μπορούν να ανιχνευτούν τηλεπισκοπικά: τα φυσικά αντικείμενα-στόχοι και τα τεχνητά αντικείμενα-στόχοι. Οι Jensen και Cowen (1999) θεωρούν πως εκτός από την ικανοποιητική φασματική αντίθεση μεταξύ του αντικειμένου ενδιαφέροντος και του υπόβαθρου είναι σημαντικότερη η ύπαρξη υψηλής χωρικής ανάλυσης παρά φασματικής ανάλυσης για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικών με τον αστικό χώρο.» (Ανδρέου Χ., Διπλωματική Εργασία, 2008)

2.2.2 Φυσικά Χαρακτηριστικά

«Οι δρόμοι είναι γραμμικά, γεωμετρικά χαρακτηριστικά τα οποία 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. Γενικά, τα γραμμικά στοιχεία παρουσιάζουν πολυπλοκότητα καθώς τα φασματικά και τα χωρικά χαρακτηριστικά τους ποικίλουν κατά μήκος της διαδρομής τους. Για παράδειγμα, η αντίθεση κατά μήκος ενός γραμμικού χαρακτηριστικού με το περιβάλλοντα χώρο ποικίλει από περιοχή σε περιοχή.»

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην Τηλεπισκόπηση των οδικών δικτύων βασίζονται σε “μοντέλα δρόμων” (road models) στα οποία οι δρόμοι περιγράφονται με ένα γενικό πλαίσιο στο οποίο εντάσσονται η τοπολογία, τα φασματικά χαρακτηριστικά, η γεωμετρία τους. Ωστόσο, τα “μοντέλα δρόμων” δεν καλύπτουν τη μεγάλη ποικιλία των χαρακτηριστικών των δρόμων η οποία είναι αποτέλεσμα διαφορετικών υλικών κατασκευής, διαφορετικής λειτουργίας ανάλογα με την περιοχή και διαφορετικού περιβάλλοντα χώρου. Σε αρκετές αναλύονται τα “μοντέλα δρόμων” με τις ακόλουθες υποθέσεις και γενικεύσεις για τα φυσικά χαρακτηριστικά τους:

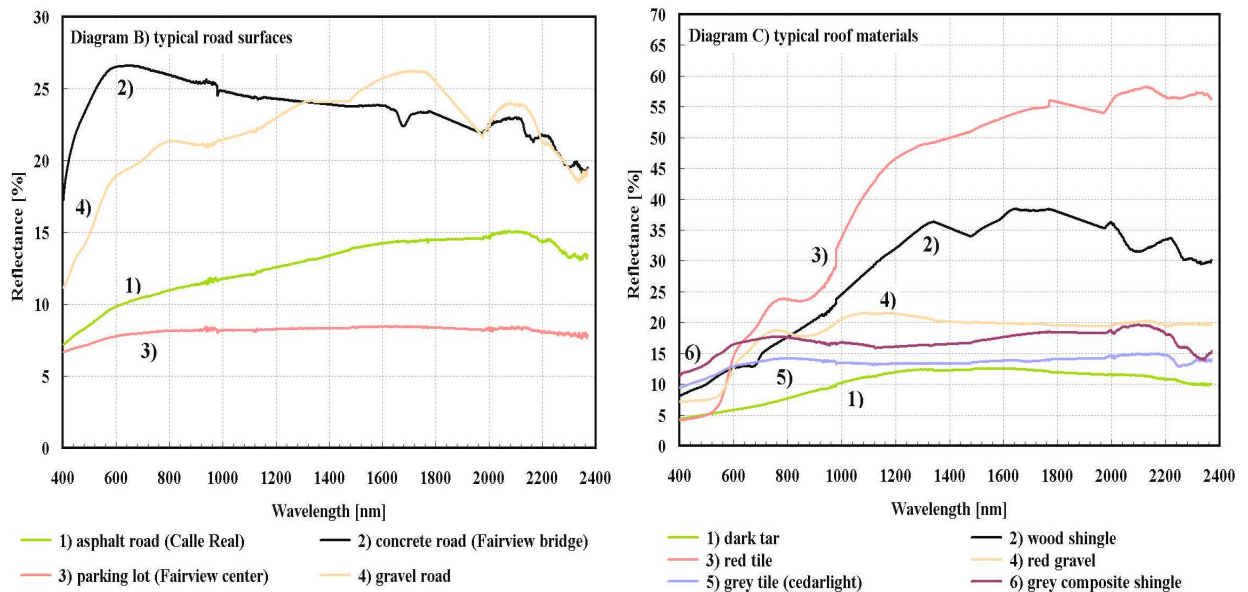
Οι δρόμοι συνήθως παρουσιάζονται ως συνεχείς, στενές γραμμές / επιφάνειες υψηλότερων τιμών φωτεινότητας από τα γειτονικά εικονοστοιχεία. Οι τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων οι οποίες περιέχουν το δρόμο παραμένουν σταθερές σε μια σύντομη απόσταση και για ορισμένο υλικό ενώ η εναλλαγή μεταξύ εικονοστοιχείων δρόμου και αστικού περιβάλλοντος, λόγω των διαφορετικών υλικών κατασκευής προκαλεί μεταβολές στη φωτεινότητα. Πρέπει να σημειωθεί πως πολλές φορές οι δρόμοι δεν εμφανίζονται συστηματικά φωτεινότεροι ή σκοτεινότεροι από το περιβάλλον τους, δηλαδή το υπόβαθρο της απεικόνισης. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, τα σφάλματα των αισθητήρων, η γωνία του ήλιου και η δομή υπόβαθρου μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην ένταση των οπτικών τιμών του οδικού δικτύου στην απεικόνιση.

- Οι δρόμοι είναι γραμμικά χαρακτηριστικά αποτελούμενα από επιμήκη, συνεχή, οριζόντια τμήματα με ομαλές καμπύλες και ευθείες γραμμές. Τα γειτονικά οδικά τμήματα συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας διαδρομές μεταξύ των κόμβων.
- Γενικά, οι δρόμοι είναι ευθείς τοπικά αλλά όχι συνολικά. Έχουν ομαλή κυρτότητα και η τοπική αλλαγή της κατεύθυνσης είναι περιορισμένη και βαθμιαία. Εξαρτάται δε από το είδος του δρόμου (εθνικός, αστικός, επαρχιακός κ.λ.π.) και από το φυσικό ανάγλυφο της περιοχής.
- Σχετικά με το πλάτος του δρόμου, και αυτό μπορεί να αλλάζει βαθμιαία ανάλογα με το είδος του οδικού δικτύου (εθνικό, αστικό, επαρχιακό κ.λ.π.)

Τα φυσικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής (ανάγλυφο, υψόμετρο, έδαφος κ.λ.π.) επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά των δρόμων (καμπυλότητα, υλικά κατασκευής, πλάτος δρόμου κ.ά.) τα οποία μελετάει η Τηλεπισκόπηση για την αναγνώριση του οδικού δικτύου. Μερικοί ερευνητές επικρίνουν το γεγονός περιγραφής των δρόμων μόνο με βάση τις γεωμετρικές ιδιότητές τους καθώς υπάρχει πιθανότητα σύγχυσής τους με άλλα γραμμικά αντικείμενα (ποταμοί, σιδηρόδρομοι κ.ά.). Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να λαμβάνεται επίσης υπ' όψιν η τοπολογία, το φυσικό ανάγλυφο αλλά και η κλίμακα των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, η οποία υπαγορεύει και το βαθμό φασματικής ανάλυσης του οδικού δικτύου.» (Ανδρέου Χ., Διπλωματική Εργασία, 2008)

2.2.3 Φασματικά χαρακτηριστικά των υλικών οδοστρώματος και οροφών κτιρίων

Μετά την παρουσίαση της φασματικής ανακλαστικότητας για τρεις βασικές καλύψεις γης, της βλάστησης, του νερού και του εδάφους, θεωρήθηκε σκόπιμο να αναλυθεί η φασματική ανακλαστικότητα κάποιων βασικών υλικών για την κατασκευή των δρόμων (της επιφάνειας του οδοστρώματος) αλλά και των οροφών των κτιρίων. Έτσι περιγράφονται τα δύο διαγράμματα ανακλαστικότητας που παρουσιάζονται παρακάτω:



Εικόνα 5: Διαγράμματα ανακλαστικότητας για τους τύπους οδοστρώματος (αριστερά) και τους τύπους οροφών κτιρίων (δεξιά) από την φασματική βιβλιοθήκη της Santa Barbara

(πηγή: Herold M. et al., 2003)

«Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν μια γενική μορφή αύξησης της ανακλαστικότητας για τα πιο μεγάλα μήκη κύματος με μια κορυφή του συντελεστή ανάκλασης στο μικροκυματικό υπέρυθρο (SWIR: Shortwave Infrared). Τα οδοστρώματα που έχουν κατασκευαστεί από σκυρόδεμα ή αμμοχάλικο έχουν την μεγαλύτερη ανακλαστικότητα ενώ οι χώροι στάθμευσης έχουν τη χαμηλότερη σε ολόκληρο το φασματικό εύρος. Τα οδικά υλικά έχουν απορροφητικά χαρακτηριστικά στο μικροκυματικό υπέρυθρο που μπορούν να συσχετισθούν με τα ορυκτά συστατικά τους.

Όσο αφορά στις οροφές των κτιρίων, οι κόκκινες στέγες από κεραμίδι αλλά 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: Near Infrared) και SWIR. Η φασματική υπογραφή του ξύλου περιέχει το χαρακτηριστικό γνώρισμα απορρόφησης της ληγνο-κυτταρίνης στο SWIR που είναι κοινό για όλες τις μη-φωτοσυνθετικές επιφάνειες βλάστησης. Η στέγη από αμμοχάλικο έχει φασματική υπογραφή παρόμοια με αυτήν του δρόμου από αμμοχάλικο, με τον αυξανόμενο συντελεστή ανάκλασης προς τα μεγαλύτερα μήκη κύματος και μια βύθιση στην NIR περιοχή. Πίσσα, γκρίζο κεραμίδι και τα συνθετικά υλικά από βότσαλο παρουσιάζουν χαμηλότερη ανακλαστικότητα με χαρακτηριστικά μικρής απορρόφησης στο SWIR, και έχουν φασματική υπογραφή παρόμοια με αυτήν των ασφαλτοστρωμένων δρόμων. Οι μικρής κλίμακας διακυμάνσεις κοντά στα 950 nm έχουν προκληθεί από το ραδιόμετρο πεδίου και αναπαριστούν την περιοχή μεταβολών των υλικών που καταγράφηκαν στον αισθητήρα. Άλλος αισθητήρας κατέγραψε φασματικές διακυμάνσεις συσχετιζόμενες με το θόρυβο στην φασματική περιοχή επάνω από τα 2300 nm. Αυτά υπάρχουν σε όλο το φάσμα και ειδικά εμφανίζονται στους στόχους χαμηλής ανακλαστικότητας.» (Herold M., et al, 2003).

2.2.4 Παράγοντες οι οποίοι Επηρεάζουν την Απεικόνιση του Οδικού Δικτύου

2.2.4.1 *Επιρροή της κλίμακας*

«Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η απεικόνιση του οδικού δικτύου εξαρτάται από την κλίμακα η οποία σχετίζεται από τη χωρική ανάλυση της ψηφιακής εικόνας. Στην χαμηλή ανάλυση, οι δρόμοι απεικονίζονται ως ομαλές γραμμές αποτελούμενες από ένα έως δύο εικονοστοιχεία. Συνήθως έχουν υψηλότερη ένταση από το περιβάλλον τους αν και λόγω διαφορετικότητας των υλικών κατασκευής οι τιμές φωτεινότητας τους ποικίλουν. Στη μεσαία ανάλυση, οι δρόμοι απεικονίζονται ως ομοιογενείς εκτάσεις οι οποίες στα όρια τους έχουν δύο παράλληλες γραμμές και η επιφάνειά τους είναι μετρήσιμη. Στην υψηλή ανάλυση, οι δρόμοι απεικονίζονται ως επιμήκη, ορθογώνια αντικείμενα τα οποία αποτελούνται από αρκετά εικονοστοιχεία. Οι άκρες μεταξύ του δρόμου και των γειτονικών εικονοστοιχείων είναι αρκετά διακριτές με αποτέλεσμα να είναι σχετικά εύκολο να εντοπιστεί εικονοστοιχείο οδικής κατηγορίας.

Γενικά, οι εικόνες υψηλής ανάλυσης χρησιμοποιούνται για παρατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης και για εντοπισμό τυχόν αλλαγών σε μεγάλη κλίμακα, ενώ οι εικόνες χαμηλής και μεσαίας ανάλυσης για ανίχνευση γενικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των δρόμων και αλλαγών σε μικρή κλίμακα. Πρέπει να σημειωθεί πως κάθε κλίμακα έχει πλεονεκτήματα τα οποία ανταποκρίνονται στα μειονεκτήματα της άλλης. Για παράδειγμα, στις εικόνες χαμηλής ανάλυσης οι σκιάσεις παρακείμενων κτιρίων και αυτοκινήτων στο δρόμο πιθανόν να μη είναι διακριτές. Στις εικόνες υψηλής ανάλυσης η γεωμετρική ακρίβεια είναι πολύ καλύτερη γεγονός που δίνει τη δυνατότητα ακριβέστερου εντοπισμού οδικού δικτύου. Όπως είναι φυσικό, υπάρχουν διαφορετικοί αλγόριθμοι ανίχνευσης δρόμων για κάθε ανάλυση λόγω της διαφορετικής απεικόνισης του οδικού δικτύου στις διαφορετικές κλίμακες.» (Ανδρέου Χ., Διπλωματική εργασία, 2008)

2.2.4.2 *Επιρροή αστικού περιβάλλοντος*

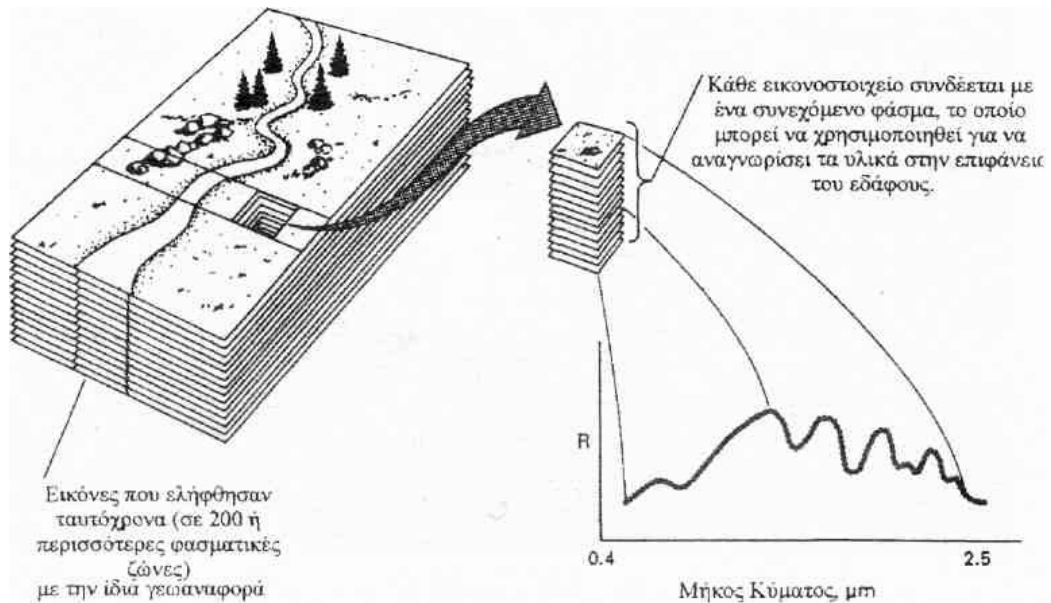
«Ένας άλλος παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται η απεικόνιση του οδικού δικτύου είναι το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Για να είναι αποδεκτό το αποτέλεσμα της διαδικασίας ανίχνευσης οδικού δικτύου θα πρέπει να υπάρχει σημαντική αντίθεση μεταξύ του δρόμου και του περιβάλλοντός του. Ωστόσο, τα υλικά κατασκευής των δρόμων έχουν όμοια ανακλαστικότητα με άλλα αντικείμενα όπως με τις στέγες των σπιτιών. Επίσης, λόγω της γεωμετρίας των δρόμων (επιμήκεις γραμμές αποτελούμενες από λίγα εικονοστοιχεία) είναι πιθανό να πάρουν λανθασμένες τιμές ανακλαστικότητας επηρεασμένες από ένα έντονα αντίθετο παρακείμενο περιβάλλον.

Ως κατώτατο στρώμα της τρισδιάστατης γήινης επιφάνειας, οι δρόμοι καλύπτονται από σκιάσεις παρακείμενων επιφανειών όπως κτιρίων, οχημάτων, δέντρων κ.ά. (Herold M., et al, 2003). Κάποιο από τα προαναφερθέντα αντικείμενα μπορεί να καλύψει εντελώς ένα τμήμα του δρόμου με αποτέλεσμα να υπάρχει δυσδιάκριτη φασματική ανάλυση και ταυτόχρονα υψηλό ποσό χωρικής μεταβλητότητας. Με αυτόν τον τρόπο αναδεικνύεται το πρόβλημα μικτού εικονοστοιχείου (mixed pixel problem). Πιο συγκεκριμένα, η τιμή ενός εικονοστοιχείου που περιέχει δρόμο απεικονίζεται και αναμιγνύεται ανακριβώς με την περιβάλλουσα κάλυψη του εδάφους. Η φασματική συνοχή του δρόμου διακόπτεται και η αντίθεση μεταξύ του δρόμου και του περιβάλλοντός του ελαττώνεται.» (Ανδρέου Χ., Διπλωματική εργασία, 2008)

2.3 **Υπερφασματικές Τηλεπισκοπικές Απεικονίσεις**

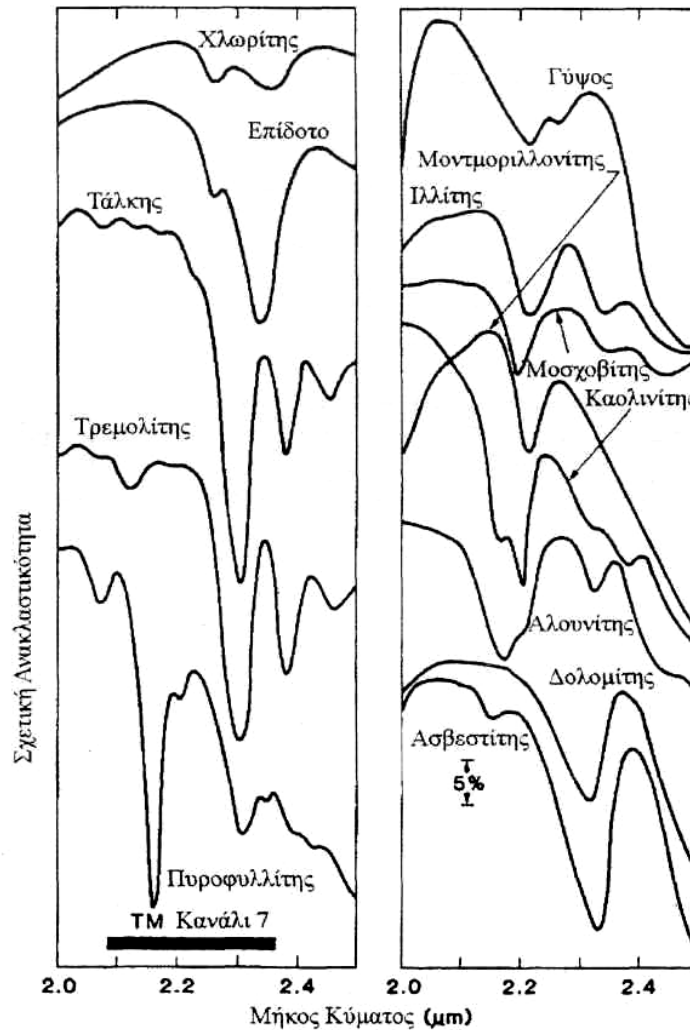
«Οι υπερφασματικές απεικονίσεις είναι πολυφασματικές εικόνες σε πολλά, μικρού εύρους, συνεχόμενα φασματικά κανάλια της ορατής, εγγύς υπέρυθρης, και μέσης υπέρυθρης φασματικής περιοχής. Οι υπερφασματικοί δέκτες συνήθως συλλέγουν, σε 200 ή και περισσότερα κανάλια, δεδομένα για το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, γεγονός το οποίο επιτρέπει την κατασκευή

ενός αποτελεσματικού συνεχόμενου φάσματος ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο στην επιφάνεια κατόπτρευσης (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Αρχή των υπερφασματικών σαρωτών (Αργιαλάς, 2000)

Ο σκοπός των υπερφασματικών τηλεπισκοπικών σαρωτών είναι να επιτρέψουν τη διάκριση μεταξύ των διάφορων καταγεγραμμένων χαρακτηριστικών, τα οποία παρουσιάζουν διαγνωστικά αναγνωριστικά στοιχεία απορρόφησης και ανάκλασης σε πολύ στενά εύρη μήκους κύματος, γεγονός που καθιστά αδύνατο τον διαχωρισμό τους στα σχετικά μεγάλα εύρη μηκών κύματος των φασματικών καναλιών των πολυφασματικών σαρωτών. Αυτή η συλλογιστική παρουσιάζεται στην Εικόνα 7, η οποία δείχνει τις φασματικές ανακλαστικότητες, οι οποίες έχουν μετρηθεί εργαστηριακά για έναν αριθμό κοινών ορυκτών σε ένα εύρος μήκους κύματος από 2.0 ως 2.5 μm . Παρουσιάζονται εδώ τα διαγνωστικά στοιχεία της απορρόφησης για τους διάφορους τύπους υλικών σε αυτό το φασματικό εύρος. Παρουσιάζεται επίσης, και το εύρος ζώνης του καναλιού 7 του Θεματικού Χαρτογράφου του Landsat. Ενώ αυτός ο τελευταίος δέκτης λαμβάνει μόνο μία απεικόνιση, η οποία αντιστοιχεί στην ολοκληρωμένη απόκριση μιας φασματικής ζώνης πλάτους 0.27 μm , ένας υπερφασματικός σαρωτής λαμβάνει πολλές απεικονίσεις μέσα στο ίδιο εύρος, χρησιμοποιώντας κανάλια πλάτους της τάξης των 0.01 μm . Για αυτό το λόγο, ο υπερφασματικός τηλεπισκοπικός σαρωτής μπορεί να παρέχει δεδομένα επαρκούς φασματικής διακριτικής ικανότητας για την απευθείας αναγνώριση των υλικών, τη στιγμή που η ευρύτερη ζώνη του συστήματος του Θεματικού Χαρτογράφου του δορυφόρου Landsat δεν μπορεί να διακρίνει αυτές τις φασματικές διαφορές. Για το λόγο αυτό, ενώ ένα ευρείας ζώνης σύστημα μπορεί να διαχωρίσει μόνο τις γενικές διαφορές μεταξύ των τύπων των υλικών, ένας υπερφασματικός σαρωτής επιτυγχάνει λεπτομερή αναγνώριση των υλικών και ποσοτικοποίηση της ποικιλίας τους.» (Αργιαλάς, 2000)



Εικόνα 7: Επιλεγμένα εργαστηριακά φάσματα ορυκτών που παρουσιάζουν διαγνωστικά χαρακτηριστικά συντελεστών απορρόφησης και ανακλαστικότητας. Οι φασματικές ανακλαστικότητες έχουν μετατοπιστεί κατακόρυφα για να αποφευχθούν τυχόν επικαλύψεις. Παρουσιάζεται επίσης και το εύρος του καναλιού 7 του Θεματικού Χαρτογράφου (TM) του δορυφόρου Landsat (Αργιολάς, 2000).

2.3.1 Αερομεταφερόμενοι Υπερφασματικοί σαρωτές

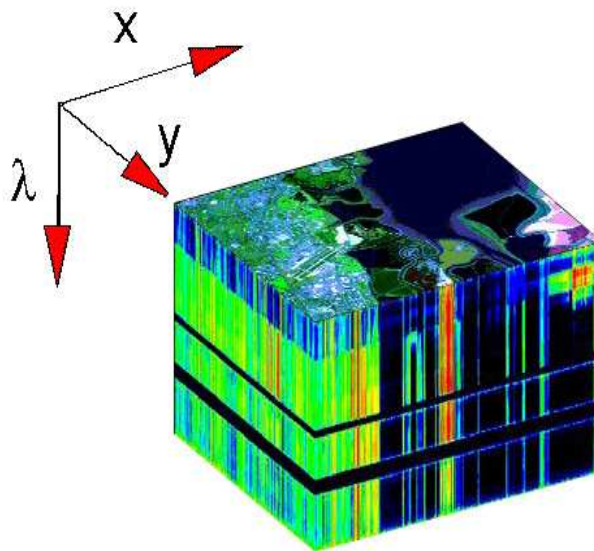
- Ο πρώτος, διαθέσιμος για εμπορικούς σκοπούς, προγραμματιζόμενος αερομεταφερόμενος υπερφασματικός σαρωτής ήταν το CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager). Το σύστημα αυτό, χρησιμοποιεί επιμήκη σάρωση για τη συλλογή δεδομένων μέχρι και σε 288 κανάλια μεταξύ 0.4 και 0.9µm, ανά 1.8nm. Ο ακριβής αριθμός των καναλιών, η θέση τους, και τα εύρη των καναλιών, μπορούν να προγραμματιστούν κατά την πτήση. Έτσι, μπορούν να επιλεγούν και διαφορετικές διατάξεις συλλογής δεδομένων για διάφορα είδη κάλυψης σε μια και μόνο αποστολή. Το στιγμιαίο οπτικό πεδίο των ανιχνευτών του συστήματος ήταν 1.2 mrad. Το σύστημα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα αδρανειακό/GPS όργανο ώστε να είναι δυνατή τόσο η γεωγραφική αναφορά όσο και η διόρθωση των παραμορφώσεων των καταγραφόμενων απεικονίσεων με βάση την ακριβή θέση του αεροσκάφους στο χώρο κατά τη διάρκεια της λήψης.
- Ένας από τους αερομεταφερόμενους υπερφασματικούς σαρωτές δεύτερης γενιάς είναι και το σύστημα AVIRIS (Airborne Visible-Infrared Imaging Spectrometer), το οποίο συλλέγει

δεδομένα σε 224 κανάλια, που έχουν πλάτος περίπου 9.6nm το καθένα, σε συνεχόμενες ζώνες μεταξύ των 0.4 και 2.45μm. Το σύστημα AVIRIS χρησιμοποιήθηκε μέσω του ερευνητικού αεροσκάφους της NASA, ER-2, σε ένα ύψος 20km, με αποτέλεσμα να σαρωθεί ένα πλάτος ζώνης περίπου 10 km με επίγεια διακριτική ικανότητα 20m. Οι ψηφιακές εικόνες που προκύπτουν από οποιοδήποτε από τα 224 φασματικά κανάλια μπορούν να παραχθούν, ως έγχρωμα σύνθετα οποιωνδήποτε τριών καναλιών. Με αυτόν τον τρόπο, το λεπτομερές φάσμα ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο στην εικόνα μπορεί να απεικονιστεί.

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετοί επιπλέον αερομεταφερόμενοι και δορυφορικοί υπερφασματικοί σαρωτές ενώ η έρευνα συνεχίζεται σε αυτή την επιστημονική περιοχή. (Κολοκούσης Θ. Π., Διδακτορική Διατριβή, 2008)

2.4 Υπερφασματικά Δεδομένα

«Όταν ένας τηλεπισκοπικός δέκτης καταγράφει τη φυσική και κοινωνικοοικονομική πραγματικότητα χρησιμοποιώντας εκατοντάδες στενά και συνεχόμενα φασματικά κανάλια, τότε η τηλεπισκοπική απεικόνιση η οποία προκύπτει ονομάζεται υπερφασματική και συχνά αναπαριστάται ως ένας υπερφασματικός κύβος (Εικόνα 8). Σε αυτόν τον κύβο οι άξονες X και Y έχουν να κάνουν με την έκταση της απεικόνισης ενώ ο άξονας Z παρουσιάζει τα κανάλια των υπερφασματικών δεδομένων στα διάφορα μήκη κύματος (λ). Μία σχεδόν συνεχής καταγραφή της φασματικής ανακλαστικότητας μπορεί να παραχθεί για κάθε εικονοστοιχείο και για το λόγο αυτό η λήψη υπερφασματικών απεικονίσεων αποκαλείται και απεικονιστική φασματομετρία (imaging spectroscopy).



Εικόνα 8: Ο υπερφασματικός κύβος (πηγή: <http://aviris.jpl.nasa.gov/html/aviris.cube.html>)

Η καταγραφή από έναν υπερφασματικό τηλεπισκοπικό δέκτη λεπτομερούς φασματικής απόκρισης για κάθε εικονοστοιχείο της απεικόνισης δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής πολύ πιο ακριβούς και ορθής πληροφορίας σε σχέση με αυτήν που παρέχει ένας πολυφασματικός τηλεπισκοπικός δέκτης.

Από την άλλη η επεξεργασία των υπερφασματικών τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι μία πρόκληση καθώς διαφέρει πολύ από την αντίστοιχη των πολυφασματικών δεδομένων. Απαιτούνται επεξεργασίες, οι οποίες πρέπει να είναι κατάλληλες για την παράλληλη επεξεργασία του μεγάλου πλήθους των καναλιών με ραδιομετρική διακριτική ικανότητα 12 και 16bit, οι οποίες θα πρέπει να είναι εξειδικευμένες, υπολογιστικά εφικτές και οικονομικές. Η συνολική διαδικασία επεξεργασίας των υπερφασματικών απεικονίσεων μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικά βήματα: την προεπεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων.

Η προεπεξεργασία περιλαμβάνει τη φασματική βαθμονόμηση (τη μετατροπή των καταγραφόμενων ψηφιακών τιμών σε τιμές ανακλαστικότητας), τη γεωμετρική βαθμονόμηση και διόρθωση, την αποθορυβοποίηση κλπ. και συνήθως πραγματοποιείται με προγράμματα εξειδικευμένα για κάθε δέκτη τα οποία παρέχει η κατασκευάστρια εταιρεία. Επιπλέον πολλά ατμοσφαιρικά μοντέλα και διορθώσεις έχουν προταθεί και εφαρμόζονται για την εξάλειψη της επιρροής της ατμόσφαιρας από τα υπερφασματικά δεδομένα.

Ένα από τα σημαντικά προβλήματα στη χρήση των υπερφασματικών δεδομένων είναι τα χαμηλά επίπεδα σήματος προς θόρυβο. Έχει διαπιστωθεί ότι τα επίπεδα θορύβου στα υπερφασματικά δεδομένα είναι υψηλά καθώς οι πολύ «στενές» φασματικές ζώνες (της τάξης των 10nm) καταγράφουν πολύ μικρό ποσό ενέργειας το οποίο επηρεάζεται σημαντικά από το θόρυβο του ίδιου του δέκτη. Επιπλέον οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας και του φωτισμού χειροτερεύουν την κατάσταση και μειώνουν την ακρίβεια της φασματικής καταγραφής. Τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί πολλές γραμμικές και μη τεχνικές για την αφαίρεση του θορύβου από υπερφασματικά δεδομένα. Το βασικό μειονέκτημα κάθε μεθόδου, είναι η (σε κάθε περίπτωση) απώλεια χρήσιμης πληροφορίας μέσω των θεωρήσεων στις οποίες βασίζεται ο εκάστοτε αλγόριθμος, δεδομένου ότι ο θόρυβος χαρακτηρίζεται από μη κανονική διασπορά και τυχαιότητα.

Η ανάλυση των δεδομένων έχει σκοπό την εξαγωγή της σημαντικής για την εκάστοτε εφαρμογή πληροφορίας. Πολλοί αλγόριθμοι έχουν δημιουργηθεί για την εκτίμηση της πληροφορίας, η οποία περιέχεται στα υπερφασματικά δεδομένα, για διάφορες εφαρμογές όπως η γεωλογική χαρτογράφηση, ο εντοπισμός στρατιωτικών στόχων, η ταξινόμηση καλύψεων γης σε επίπεδο εικονοστοιχείου (pixel classification) ή και υπο-εικονοστοιχείου (sub-pixel ή mixed-pixel classification) κλπ. Πολλοί από αυτούς τους αλγόριθμους βασίζονται σε τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία πολυφασματικών δεδομένων και γι' αυτό τον λόγο είναι αρκετά περιορισμένοι. Άλλες πάλι τεχνικές έχουν αναπτυχθεί ειδικά για τα υπερφασματικά δεδομένα και σήμερα υπάρχει οργασμός παραγωγής τέτοιων αλγορίθμων καθώς τα υπερφασματικά δεδομένα είναι πιο πολλά και προσita στους ερευνητές.» (Κολοκούσης Θ. Π., Διδακτορική Διατριβή, 2008)

2.5 Μέθοδοι και τεχνικές της Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης

«Τα υπερφασματικά τηλεπισκοπικά δεδομένα είναι δεδομένα μεγάλης διανυσματικής διάστασης, κατά την ανάλυση των οποίων, ο χρόνος επεξεργασίας αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό. Ένα επιπλέον σημαντικό πρόβλημα στην επεξεργασία των υπερφασματικών δεδομένων είναι η επίδραση των περιορισμένων (σε σχέση με τη διανυσματική διάσταση των δεδομένων) δειγμάτων εκπαίδευσης κατά τη διαδικασία των επιβλεπόμενων ταξινομήσεων. Καθώς ο λόγος του αριθμού των δειγμάτων εκπαίδευσης προς τη διανυσματική διάσταση των δεδομένων είναι μικρός, η εκτίμηση παραμέτρων είναι ευμετάβλητη με αποτέλεσμα να μειώνεται η ακρίβεια των ταξινομήσεων. Όπως απέδειξε ο Hughes, όταν ο αριθμός των δεδομένων εκπαίδευσης είναι περιορισμένος τότε η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου ταξινόμησης βελτιώνεται μέχρι ενός ορισμένου σημείου με την αύξηση του αριθμού των καναλιών που συμμετέχουν στην ταξινόμηση και μετά μειώνεται καθώς αυξάνεται η διάσταση του χώρου όπου γίνεται η ταξινόμηση. Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε φαινόμενο Hughes.

Καθώς ο αριθμός των φασματικών καναλιών των τηλεπισκοπικών δεδομένων αυξάνεται, είναι αναμενόμενο να βελτιωθεί και η ικανότητα να ανιχνεύουμε περισσότερες τάξεις, πράγμα που θα οδηγήσει σε αύξηση της ακρίβειας της ταξινόμησης. Συχνά ο αριθμός των δεδομένων εκπαίδευσης που χρησιμοποιούνται στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση των υπερφασματικών τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι περιορισμένος με αποτέλεσμα να περιορίζεται και η ακρίβεια με την οποία μπορούν να εκτιμηθούν τα χαρακτηριστικά μίας τάξης. Καθώς ο αριθμός των φασματικών καναλιών αυξάνεται, οι περιορισμοί που τίθενται στην αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου

ταξινόμησης εξαιτίας του περιορισμένου αριθμού δειγμάτων εκπαίδευσης γίνονται ολοένα και πιο σοβαροί.

Υπάρχουν δύο κύριοι λόγοι για τους οποίους η διάσταση των υπερφασματικών τηλεπισκοπικών δεδομένων πρέπει να μειωθεί όσο το δυνατό περισσότερο: ο πρώτος αφορά στο χρόνο επεξεργασίας και ο δεύτερος, ο πιο σημαντικός, αφορά στην ακρίβεια των επεξεργασιών. Ένα περιορισμένο συμπαγές σύνολο δεδομένων απλοποιεί τη διαδικασία τόσο της στατιστικής αναγνώρισης προτύπων όσο και των ταξινομήσεων. Επιπλέον, όπως έχει αναφερθεί προηγούμενα, ένας περιορισμένος αριθμός χαρακτηριστικών (φασματικών καναλιών) θα έχει ως αποτέλεσμα να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο του Hughes στην περίπτωση που έχουμε ένα περιορισμένο αριθμό δειγμάτων εκπαίδευσης. Ωστόσο μία δραματική μείωση της διάστασης του χώρου θα έχει ως αποτέλεσμα την έλλειψη διαχωριστικότητας ανάμεσα στις τάξεις και πιθανώς να οδηγήσει σε χαμηλότερα επίπεδα ακρίβειας του αποτελέσματος του συστήματος αναγνώρισης. Το θεώρημα του Watanabe (“ugly duckling theorem”) αναφέρει ότι είναι απαραίτητη μία προσεκτική επιλογή των χαρακτηριστικών, καθώς είναι πιθανό δύο τυχαία πρότυπα να φανούν παρόμοια εάν αναγνωριστούν από ένα αρκετά μεγάλο αριθμό περιττών χαρακτηριστικών .

2.5.1 Μείωση της διάστασης του υπερφασματικού χώρου

Για να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω προβλήματα έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφορες προσεγγίσεις μείωσης της διάστασης των υπερφασματικών τηλεπισκοπικών δεδομένων χωρίς να χάνεται χρήσιμη πληροφορία. Για τη μείωση του υπερφασματικού χώρου εφαρμόζονται δύο προσεγγίσεις: αυτή της *επιλογής χαρακτηριστικών* (Feature Selection) και αυτή της *εξαγωγής χαρακτηριστικών* (Feature extraction).

2.5.2 Μέθοδοι επιλογής χαρακτηριστικών

Κατά την προσέγγιση *επιλογής χαρακτηριστικών*, βασικός σκοπός είναι να εντοπιστούν και απορριφθούν εκείνα τα φασματικά κανάλια τα οποία παρέχουν περιττή φασματική πληροφορία. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η διανυσματική διάσταση των δεδομένων αφού τα περιττά κανάλια δεν συμμετέχουν στις περαιτέρω διαδικασίες. Η επιλογή χαρακτηριστικών περιλαμβάνει μεθόδους οι οποίες αναφέρονται είτε στο σύνολο των δεδομένων του κάθε καναλιού (μη επιβλεπόμενες μέθοδοι) ή στη γραφική και στατιστική ανάλυση προκειμένου να καθοριστεί ο βαθμός της διαχωριστικότητας μεταξύ των τάξεων από δεδομένα εκπαίδευσης (επιβλεπόμενες μέθοδοι).

Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στη φασματική ανακλαστικότητα των στόχων που πρόκειται να μελετηθούν για την εκπόνηση της εκάστοτε εργασίας και βάσει των ανάλογων μετρήσεων και επεξεργασιών είμαστε σε θέση να επιλέξουμε τα φασματικά κανάλια που ενδείκνυνται για τις πληροφορίες που αναζητούμε ή αντίστοιχα να απορρίψουμε αυτά τα οποία δεν προσφέρονται για την ανάδειξη των στόχων ενδιαφέροντος ή τον μεταξύ τους διαχωρισμό.

Στους αερομεταφερόμενους υπερφασματικούς σαρωτές υπάρχει ένα ανώτατο όριο όγκου δεδομένων το οποίο είναι δυνατό να καταγράφεται στη μονάδα του χρόνου, πέρα από το οποίο η αύξηση του όγκου καταγραφής προκαλεί μείωση της διακριτικής ικανότητας των παραγόμενων εικόνων. Έτσι, αυτές οι μέθοδοι, όταν εφαρμόζονται σε δεδομένα που έχουν ληφθεί από επίγειες υπερφασματικές μετρήσεις με ραδιόμετρο χειρός (πριν την λήψη), αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την μείωση των καναλιών στα οποία θα καταγράψει ο σαρωτής και κατ' επέκταση για την αύξηση της διακριτικής ικανότητας της εικόνας, καθώς οι περισσότεροι αερομεταφερόμενοι υπερφασματικοί σαρωτές είναι προγραμματιζόμενοι. Όμως η παραπάνω διαδικασία, δεν ήταν δυνατόν να εφαρμοστεί κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας καθότι είχε ήδη γίνει η λήψη των απεικονίσεων που χρησιμοποιήσαμε.» (Κολοκούσης Θ. Π., Διδακτορική Διατριβή, 2008)

2.5.2.1 Έλεγχος συσχέτισης

Η μέθοδος που εφαρμόστηκε κατά την επεξεργασία των υπερφασματικών εικόνων είναι ο έλεγχος συσχέτισης, ο οποίος αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες και έγκυρες μεθόδους επιλογής χαρακτηριστικών και είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί ανά δύο υπερφασματικές καταγραφές. Το μαθηματικό υπόβαθρο της μεθόδου αυτής περιγράφεται ως εξής. Εάν X και Y τα διανύσματα των δύο καταγραφών ανακλαστικότητας στο σύνολο n των καναλιών της απεικόνισης, τότε η συσχέτιση (correlation) μεταξύ των δύο διανυσμάτων, σε ένα παράθυρο n καναλιών, είναι:

$$\text{Correlation}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Συνήθως χρησιμοποιείται ένα παράθυρο 3 έως 9 καναλιών (κατά προτίμηση σε μονό αριθμό) ώστε η τιμή της συσχέτισης που προκύπτει να αντιστοιχισθεί στο μεσαίο (από τα n κανάλια) κανάλι του σαρωτή.

Έτσι, υπολογίζεται η τιμή συσχέτισης μεταξύ των δύο στόχων σε όλα τα διαθέσιμα κανάλια, λαμβάνοντας τιμές μεταξύ -1 και 1, (αρνητική και θετική συσχέτιση αντίστοιχα). Η επιλογή γίνεται εξετάζοντας σε ποια κανάλια ο βαθμός συσχέτισης είναι πολύ μεγάλος (κοντά στο 1) και τα οποία είναι απορριπτέα καθώς δεν βοηθούν στην διάκριση μεταξύ των δύο στόχων και σε ποια είναι χαμηλός (κοντά στο 0), αποδεκτά. Οι υπολογισμοί παρουσιάζονται μέσω των διαγραμμάτων συσχέτισης. Επειδή το πλήθος των δεδομένων είναι μεγάλο και η επιλογή των χρήσιμων καναλιών δυσχεραίνεται, στην ουσία, καταλήγουμε να επιλέγουμε τα κανάλια εκείνα τα οποία έχουν εξαιρετικά χαμηλές τιμές.

2.5.2.2 Έλεγχος εντροπίας

Η εντροπία είναι ένα κριτήριο το οποίο εκφράζει το μέγεθος της αταξίας στο σύνολο του πλήθους των καταγραφών και υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Entropy} = \sum_{i=0}^N -p_i \cdot \log_2(p_i)$$

όπου:

p_i : είναι η πιθανότητα ύπαρξης της τιμής i (και ισούται με τη συχνότητα εμφάνισης της τιμής μέσα στο δείγμα προς το σύνολο του δείγματος) και

N : είναι η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα του δείγματος (δηλ. $N=255$ για 8bit, $N=2047$ για 11bit και $N=65535$ για 16bit).

2.5.3 Μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών

Η προσέγγιση της *εξαγωγής χαρακτηριστικών* αναφέρεται στις μεθόδους εκείνες οι οποίες δημιουργούν νέα (αρκετά λιγότερα από τα αρχικά) χαρακτηριστικά (κανάλια) βασισμένες σε μετασχηματισμούς ή συνδυασμούς του αρχικού συνόλου δεδομένων. Αυτές διακρίνονται σε μεθόδους που βασίζονται σε γραμμικούς μετασχηματισμούς και αυτές που βασίζονται σε μη γραμμικούς.

2.5.3.1 Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA)

Η ανάλυση κυρίων συνιστωσών αποτελεί μία από τις σημαντικότερες τεχνικές για την επεξεργασία πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων, αφού συμπιέζει την περιεχόμενη στην αρχική εικόνα πληροφορία, σε λιγότερες συνιστώσες (κανάλια), αποβάλλοντας έτσι τον πλεονασμό που χαρακτηρίζει τα υπερφασματικά δεδομένα. Οι παραγόμενες συνιστώσες ταξινομούνται με

φθίνουσα σειρά περιεχόμενης πληροφορίας. Έτσι οι πρώτες εμπεριέχουν συνήθως το μεγαλύτερο ποσοστό της πληροφορίας της εικόνας, ενώ η κάθε μία περιλαμβάνει ένα μειωμένο ποσοστό σε σχέση με την προηγούμενη. Κατά συνέπεια, μπορούμε να περιορίσουμε τον απαιτούμενο χρόνο για την επεξεργασία και το μέγεθος των δεδομένων.

Η μέθοδος της ανάλυσης κύριων συνιστωσών μετασχηματίζει ένα αρχικό συσχετισμένο n -διάστατο σύνολο δεδομένων σε ένα άλλο ασυσχέτιστο μειώνοντας τη διανυσματική διάσταση των δεδομένων. Αρχικά υπολογίζεται ο $n \times n$ πίνακας συμμεταβλητότητας Σ των φασματικών χαρακτηριστικών (καναλιών) της τηλεπισκοπικής απεικόνισης (αν οι υπολογισμοί πραγματοποιηθούν με τον πίνακα συσχέτισης των φασματικών χαρακτηριστικών τότε θα έχουμε μία τυποποιημένη ανάλυση κύριων συνιστωσών). Ο μετασχηματισμός της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών είναι ένας γραμμικός μετασχηματισμός του τύπου:

$$\mathbf{PC} = \mathbf{E} \times \mathbf{K} \quad \text{ήτοι:} \quad \begin{pmatrix} \text{PC1} \\ \text{PC2} \\ \dots \\ \text{PCn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{1,1} & E_{1,2} & \dots & E_{1,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{n,1} & \dots & \dots & E_{n,n} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mathbf{K1} \\ \mathbf{K2} \\ \dots \\ \mathbf{Kn} \end{pmatrix} \quad , \text{όπου:}$$

PC: είναι το διάνυσμα των κυρίων συνιστωσών που παράγονται,

K: των διάνυσμα των αρχικών καναλιών της τηλεπισκοπικής απεικόνισης, και

E: ο πίνακας μετασχηματισμού της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών.

Ο πίνακας E του μετασχηματισμού της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών είναι ο πίνακας των ιδιοδιανυσμάτων ο οποίος διαγωνιοποιεί τον πίνακα συμμεταβλητότητας Σ των αρχικών καναλιών ώστε να προκύπτει ο διαγώνιος πίνακας των ιδιοτιμών D (αφού προαπαιτούμενο είναι οι κύριες συνιστώσες οι οποίες προκύπτουν να έχουν μηδενική συσχέτιση μεταξύ τους):

$$\mathbf{E}^T \times \mathbf{\Sigma} \times \mathbf{E} = \mathbf{D}$$

όπου: $\mathbf{D} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{pmatrix}$ ο πίνακας των ιδιοτιμών του πίνακα συμμεταβλητότητας.

Οι πίνακες E των ιδιοδιανυσμάτων και D των ιδιοτιμών του πίνακα συμμεταβλητότητας αναδιατάσσονται έτσι ώστε οι ιδιοτιμές να είναι σε φθίνουσα σειρά και από τις υπολογισμένες ιδιοτιμές μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσοστό της διακύμανσης των δεδομένων για κάθε συνιστώσα x από τη σχέση:

$$\text{variance} (\%) = \frac{\lambda_x}{\sum_{i=1}^n (\lambda_i)} \times 100$$

Αν και η ανάλυση κυρίων συνιστωσών δίνει γενικά πολύ καλά αποτελέσματα έχει παρατηρηθεί πολλές φορές, κατά την εφαρμογή της μεθόδου σε υπερφασματικά δεδομένα, οι τελευταίες συνιστώσες να περιέχουν περισσότερη πληροφορία από κάποιες προηγούμενες. Αυτή η αδυναμία της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών στην ταξινόμηση με βάση την περιεχόμενη πληροφορία σε συνδυασμό με όσα αναφέρθηκαν ανωτέρω για τα υψηλά ποσοστά θορύβου στις υπερφασματικές εικόνες οδήγησε στην δημιουργία μίας άλλης μεθόδου που ονομάστηκε MNF (Minimum Noise Fraction).

2.5.3.2 Ο μετασχηματισμός MNF (Minimum Noise Fraction)

Ο μετασχηματισμός MNF εφαρμόζεται για το διαχωρισμό του θορύβου από την πληροφορία και για τη μείωση των υπολογιστικών απαιτήσεων για τις επόμενες επεξεργασίες που ακολουθούν. Λειτουργεί βάσει παρόμοιας λογικής με αυτόν της ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών. Η διαφορά είναι πως ταξινομεί τις συνιστώσες με βάση τον λόγο σήμα προς θόρυβο κατά φθίνουσα σειρά. Οι

πρώτες συνιστώσες παρουσιάζουν μεγάλο λόγο σήματος προς θόρυβο, ενώ ο λόγος αυτός μειώνεται στις επόμενες συνιστώσες. Έτσι οι πρώτες συνιστώσες περιέχουν πολύ πληροφορία και λίγο θόρυβο ενώ οι τελευταίες περικλείουν πολύ θόρυβο.

Ο μετασχηματισμός MNF πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι μία διαδικασία η οποία ονομάζεται λεύκανση θορύβου (noise whitening), η οποία μετατρέπει το θόρυβο της εικόνας σε "λευκό θόρυβο" με μηδενική μέση τιμή και μοναδιαία τυπική απόκλιση. Μαθηματικά η επίτευξη της ανάδειξης του θορύβου επιτυγχάνεται με τον καθορισμό ενός πίνακα μετασχηματισμού ο οποίος μετατρέπει τον πίνακα συμμεταβλητότητας του θορύβου σε μοναδιαίο.

Έστω Σ_N ο πίνακας συμμεταβλητότητας του θορύβου, ο οποίος είναι θετικά ορισμένος, ο οποίος διαγωνιοποιείται με χρήση της τεχνικής Singular Value Decomposition (SVD):

$$D_N = U^T \cdot \Sigma_N \cdot U$$

όπου:

D_N είναι ο διαγώνιος πίνακας, ο οποίος συντίθεται από τις ιδιοτιμές του πίνακα Σ_N σε φθίνουσα σειρά, και

U είναι ο ορθογώνιος πίνακας, ο οποίος συντίθεται από τα ιδιοδιανύσματα του πίνακα Σ_N

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί περαιτέρω να αναπτυχθεί ως εξής:

$$D_N^{-\frac{1}{2}} \cdot D_N^{-\frac{1}{2}} = U^T \cdot \Sigma_N \cdot U \Rightarrow I = D_N^{-\frac{1}{2}} \cdot U^T \cdot \Sigma_N \cdot U \cdot D_N^{-\frac{1}{2}} = (U \cdot D_N^{-\frac{1}{2}})^T \cdot \Sigma_N \cdot (U \cdot D_N^{-\frac{1}{2}}) = P^T \cdot \Sigma_N \cdot P$$

όπου:

I : είναι ένας μοναδιαίος πίνακας, και

P : είναι ο πίνακας μετασχηματισμού ο οποίος μετατρέπει τον πίνακα συμμεταβλητότητας του

θορύβου σε μοναδιαίο, με $P = U \cdot D_N^{-\frac{1}{2}}$

Συνεπώς, εφαρμόζοντας τον πίνακα P σε μία φασματική υπογραφή x , αυτή θα προβληθεί σε ένα νέο χώρο Y ($Y = Px$) στον οποίο ο θόρυβος είναι λευκός με μέση τιμή το μηδέν και διασπορά ίση με τη μονάδα.

Το δεύτερο στάδιο του μετασχηματισμού MNF είναι μία τυπική ανάλυση κυρίων συνιστωσών η οποία εφαρμόζεται στις απεικονίσεις στις οποίες έχει πραγματοποιηθεί η λεύκανση του θορύβου. Στο δεύτερο στάδιο, εφαρμόζεται ο μαθηματικός μετασχηματισμός PCA στην πληροφορία του λευκού θορύβου. Με αυτόν τον τρόπο οι φασματικές υπογραφές προβάλλονται σε ένα νέο χώρο, τον οποίο ορίζουν τα ιδιοδιανύσματα του πίνακα συνδιασποράς και στον οποίο τα κανάλια διατάσσονται σε φθίνουσα σειρά με βάση την αναλογία σήματος προς θόρυβο (signal-to-noise ratio, SNR). Τελικά, τα πρώτα κανάλια με το μεγαλύτερο SNR περιέχουν το υψηλότερο επίπεδο πληροφορίας ενώ τα κανάλια με μικρότερο SNR αποκλείονται με αποτέλεσμα τη μείωση της πληροφορίας.

2.6 Αντικειμενοστραφής Ανάλυση

2.6.1 Κατάτμηση (Segmentation)

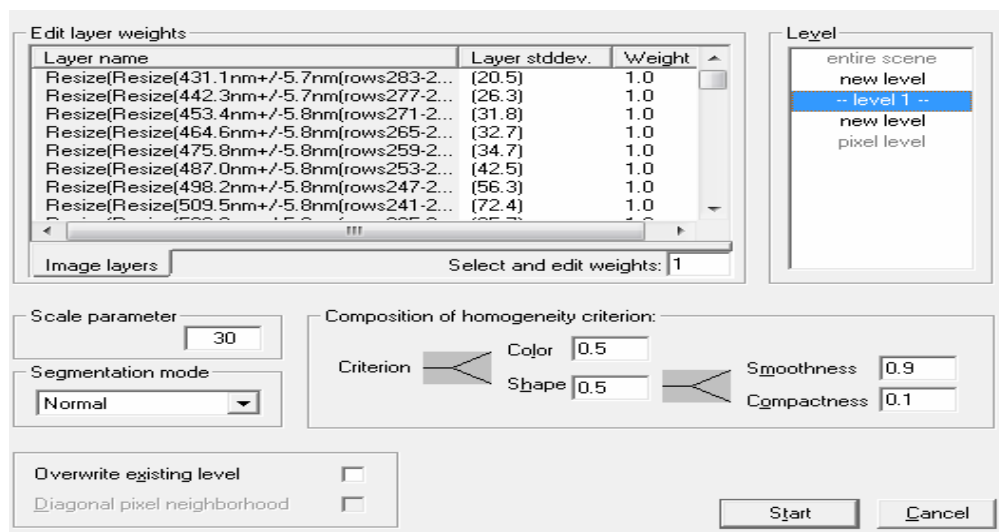
Μετά από την προεπεξεργασία των αρχικών εικόνων για την ραδιομετρική και γεωμετρική διόρθωση, την αφετηρία για την αντικειμενοστραφή ανάλυση και ταξινόμηση αποτελεί η κατάτμηση, βασισμένη σε χαρακτηριστικά του χρώματος ή του σχήματος. «Ως κατάτμηση ορίζεται η υποδιαίρεση μιας εικόνας σε διαχωρισμένες περιοχές. Ο βασικός στόχος των αλγορίθμων κατάτμησης είναι η τμηματοποίηση των στοιχείων της εικόνας, βασισμένη σε ρυθμίσιμα κριτήρια ομοιογένειας ή διαφοροποίησης σε σχέση με γειτονικές περιοχές (ετερογένεια), αντίστοιχα. Σκοπός της ουσιαστικά είναι να δημιουργήσει αντικείμενα με σημαντική υπόσταση. Αυτό σημαίνει ότι η μορφή κάθε αντικείμενου, θα πρέπει ιδανικά να αντιστοιχεί σε κάποιο αντικείμενο της εικόνας.» (Baatz M. et al., 2000)

Απομονωμένα εικονοστοιχεία δεν αντιπροσωπεύουν σημαντικές σημασιολογικές πληροφορίες απαραίτητες για την ερμηνεία μιας εικόνας, όπως συμβαίνει με τα σημαντικά αντικείμενα της εικόνας που δημιουργούνται και τις αμοιβαίες σχέσεις τους. Τα προκύπτοντα τμήματα αντιπροσωπεύουν καλύτερα τα χωρικά και επομένως τα φασματικά και τα της υψής χαρακτηριστικά των πραγματικών κατασκευών. Επιπλέον, παρέχονται οι διάφορες μορφολογικές ή τοπολογικές ιδιότητες.

Το λογισμικό eCognition (Baatz M. et al, 2001) κατά την κατάτμηση δίνει την δυνατότητα να καθοριστούν τρεις βασικές παράμετροι:

- **Παράμετρος κλίμακας (scale parameter):** αυτή η παράμετρος επηρεάζει έμμεσα το μέσο μέγεθος των αντικειμένων. Στην ουσία καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ετερογένεια των αντικειμένων. Όσο μεγαλύτερη τιμή λαμβάνει η παράμετρος, τόσο μεγαλύτερα αντικείμενα προκύπτουν.
- **Χρώμα / σχήμα (Color / shape):** με αυτές τις παραμέτρους μπορεί να ρυθμιστεί, η επιρροή της ομογένειας του χρώματος έναντι αυτής του σχήματος. Όσο υψηλότερη τιμή λαμβάνει ο δείκτης του σχήματος, τόσο λιγότερο επηρεάζει την παραγωγή αντικειμένων η φασματική ομογένεια.
- **Ομαλότητα / συμπαγές του αντικειμένου: (Smoothness / compactness):** όταν ο δείκτης του σχήματος είναι μεγαλύτερος του μηδενός, ο χρήστης μπορεί να καθορίσει εάν τα αντικείμενα πρόκειται να δημιουργηθούν περισσότερο συμπαγή ή απαλά.

Ο τρόπος με τον οποίο μπορούμε να ρυθμίσουμε αυτές τις παραμέτρους φαίνεται στην Εικόνα 9.

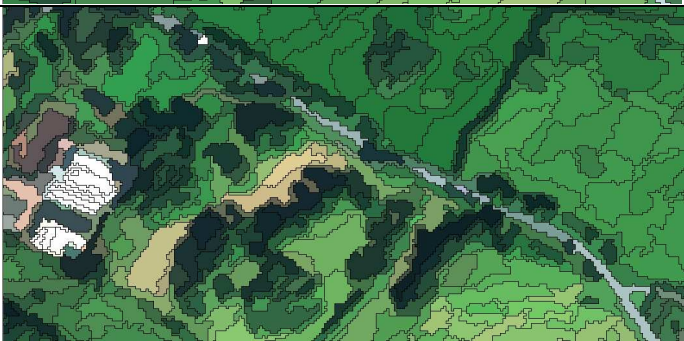


Εικόνα 9: Παράθυρο ρυθμίσεων κατάτμησης του eCognition

«Η ομοιογένεια των υπό δημιουργία τμημάτων εξετάζεται ως προς δύο βασικά χαρακτηριστικά, το χρώμα και την μορφή, δίνοντας σε αυτά το κατάλληλο κάθε φορά βάρος. Για παράδειγμα, με την εφαρμογή ενός βάρους 0,9 για το χρώμα και 0,1 για τη μορφή, η εικόνα θα τμηθεί σε πάρα πολλές μικρές περιοχές επειδή ο αλγόριθμος είναι πολύ ευαίσθητος στις μικρές φασματικές διαφορές. Αφ' ετέρου, με τον ορισμό ενός μέγιστου βάρους στη μορφή και ελάχιστο στο χρώμα, λαμβάνουμε λίγα μεγάλα συμπαγή τμήματα. Το βέλτιστο αποτέλεσμα σε γενικές γραμμές προκύπτει από έναν ίσο βάρος για τη μορφή και το χρώμα, όμως αυτό εξαρτάται άμεσα από τον σκοπό της εκάστοτε εργασίας. Μια εφαρμογή των παραπάνω φαίνεται για την απεικόνιση Calgary (Καναδάς), στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1). Πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν εκτός από τον καθορισμό των ανωτέρω, και την κλίμακα (scale parameter). Η παράμετρος της κλίμακας στην διαδικασία της κατάτμησης έχει πολύ μεγάλη σημασία και επηρεάζει άμεσα το αποτέλεσμά της και κατ' επέκταση και αυτό της επικείμενης ταξινόμησης. Δεν υπάρχει μια ιδανική κλίμακα αντικειμένου. Είναι

σημαντικό να πειραματιστεί κανείς μέχρι τον οριστικό καθορισμό των παραμέτρων που δίνουν το καλύτερο αποτέλεσμα για την εικόνα εναλλάσσοντας τα αντίστοιχα βάρη για το χρώμα και τη μορφή, αφού ο σωστός συνδυασμός όλων είναι που οδηγεί στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Επιπλέον είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την κατάτμηση της εικόνας σε διαφορετικά επίπεδα.» (Taubenböck H. et al., 2006)

Τέλος το eCognition δίνει την δυνατότητα να εναλλάσσονται τα βάρη για τα κανάλια (layers) που θα λάβουν μέρος στην διαδικασία της κατάτμησης. Έτσι αν για κάποιο λόγο, κάποιο κανάλι πρέπει να μη ληφθεί υπ' όψιν (για παράδειγμα περιέχει πολύ θόρυβο), μπορούμε να μηδενίσουμε το αντίστοιχο βάρος. Αντίστοιχα αν κάποιο κανάλι είναι για κάποιο λόγο περισσότερο σημαντικό από κάποια άλλα, μας δίνεται η δυνατότητα να του δώσουμε μεγαλύτερο βάρος.

<p>a) Απεικόνιση Calgary (Καναδάς) πριν από την κατάτμηση</p>	
<p>b) Απεικόνιση Calgary (Καναδάς) μετά από κατάτμηση με: <i>Scale parameter: 30</i> <i>Color: 1.0</i> <i>Shape: 0</i></p>	
<p>c) Απεικόνιση Calgary (Καναδάς) μετά από κατάτμηση με: <i>Scale parameter: 30</i> <i>Color: 0.1</i> <i>Shape: 0.9</i> <i>Smoothness: 0.9</i> <i>Compactness: 0.1</i></p>	
<p>d) Απεικόνιση Calgary (Καναδάς) μετά από κατάτμηση με: <i>Scale parameter: 30</i> <i>Color: 0.5</i> <i>Shape: 0.5</i> <i>Smoothness: 0.9</i> <i>Compactness: 0.1</i></p>	

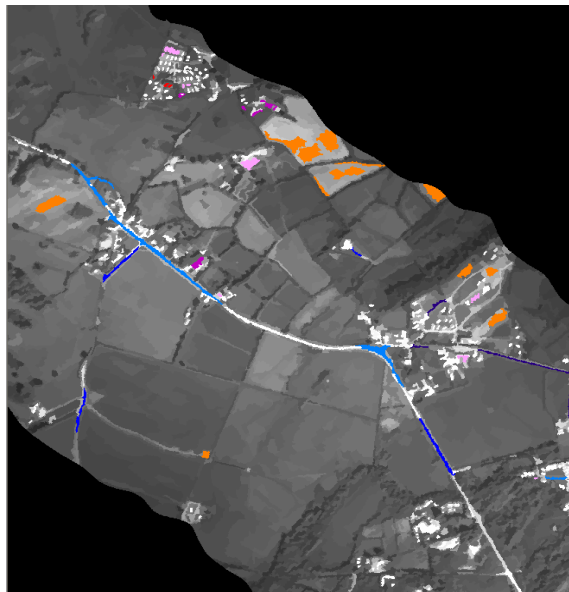
Πίνακας 1: Διαφορετικοί τύποι κατάτμησης στην απεικόνιση του Calgary (Καναδάς)

Στις εικόνες του Πίνακα 1, παρατηρείται ότι δημιουργήθηκαν στην: b) μικρά αντικείμενα με πολύ μικρές φασματικές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους, c) μεγάλα και απαλά αντικείμενα με ομογενοποιημένα φασματικά χαρακτηριστικά, d) μετρίου μεγέθους αντικείμενα (θεωρητικά η ιδανική λύση, αυτό εξαρτάται όμως άμεσα από τον σκοπό της κατάτμησης)

2.6.2 Αντικειμενοστραφής Ταξινόμηση (Object-oriented classification)

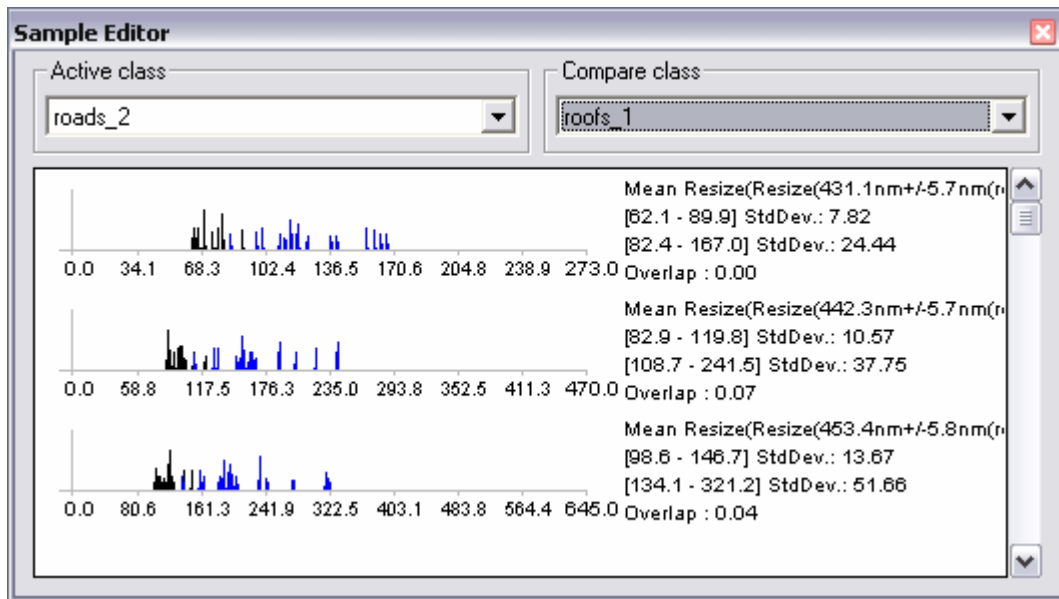
«Οι επιβλεπόμενες και οι μη επιβλεπόμενες μέθοδοι ταξινόμησης χρησιμοποιούνται για την αυτόματη παραγωγή θεματικών χαρτών στους οποίους αναδεικνύεται η χωρική κατανομή γνωστών και άγνωστων φασματικών στόχων αντίστοιχα. Η διαδικασία της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης είναι βασισμένη σε κανόνες ασαφούς λογικής, για να επιτρέψει την ολοκλήρωση μιας ποικιλίας από διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως οι φασματικές τιμές, η μορφή ή η υφή για την ταξινόμηση. Χρησιμοποιώντας όχι μόνο τις ιδιότητες των αντικειμένων μιας εικόνας, αλλά επιπλέον και τις σχέσεις μεταξύ των δικτυωμένων αντικειμένων, προκύπτει ως αποτέλεσμα την ενσωμάτωση του τοπολογικού πλαισίου στην ταξινόμηση.» (Baatz M. et al., 2000).

Η διαδικασία της κατάτμησης ακολουθείται από την ταξινόμηση των εικόνων. Το λογισμικό eCognition προσφέρει δύο βασικούς μηχανισμούς ταξινόμησης. Τον μηχανισμό του Εγγύτερου Γείτονα (Nearest Neighbor) και τις συναρτήσεις ασαφούς λογικής (fuzzy membership functions). Ενώ ο ταξινομητής του “Εγγύτερου Γείτονα” περιγράφει τις υπό ανίχνευση κατηγορίες μέσω δειγμάτων που καθορίζει ο χρήστης για κάθε κατηγορία (Εικόνα 10), οι συναρτήσεις ασαφούς λογικής περιγράφουν τις αποστάσεις των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων για τις οποίες τα αντικείμενα ανήκουν σε μια ορισμένη κατηγορία ή όχι.



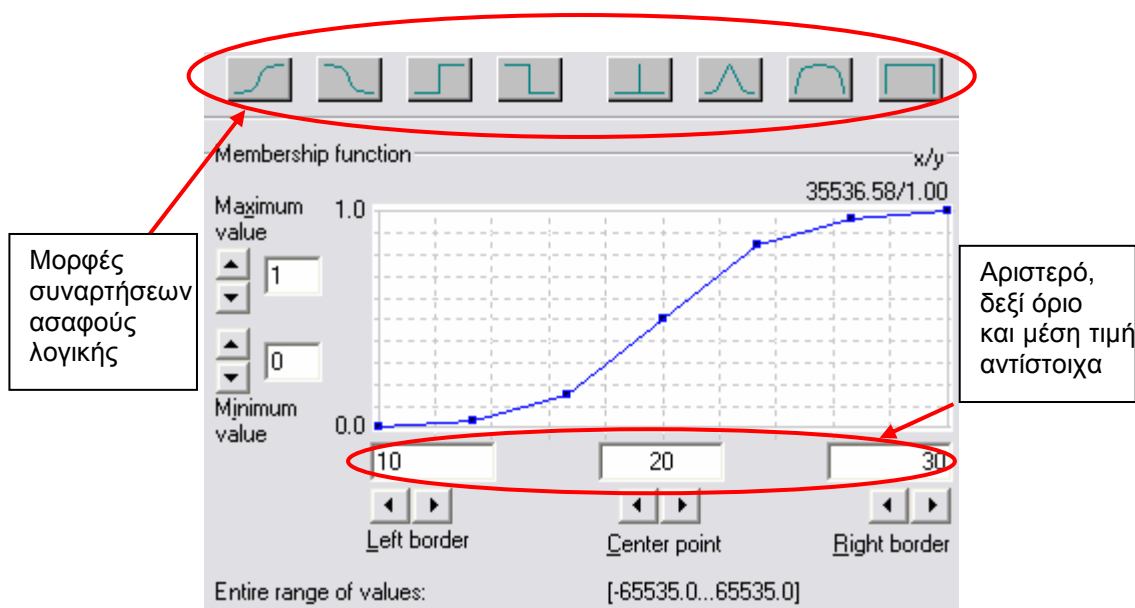
Εικόνα 10: Δείγματα που καθορίζονται από το χρήστη για τη λειτουργία του “Εγγύτερου Γείτονα”

Όταν ο χρήστης επιλέγει κάποιο αντικείμενο ως δείγμα, τότε η μέση τιμή του αντικειμένου που επιλέγεται για όλα τα κανάλια της απεικόνισης καταγράφεται από το λογισμικό και παρουσιάζεται στο ιστόγραμμα των δειγμάτων (Εικόνα 11). Αυτό δίνει μια γενική εντύπωση της φασματικής συμπεριφοράς των δειγμάτων που έχουν οριστεί και κατ’ επέκταση της θεματικής κατηγορίας την οποία αντιπροσωπεύουν. Μέσω του λογισμικού δίνεται επίσης η δυνατότητα σύγκρισης της ανακλαστικότητας των δειγμάτων δύο κατηγοριών με διαφορετικό χρώμα.



Εικόνα 11: Ιστογράμματα δειγμάτων σε όλα τα κανάλια του δέκτη (εδώ παρουσιάζονται τα τρία πρώτα κανάλια). Σύγκριση της θεματικής κατηγορίας των δρόμων και αυτής των οροφών των κτιρίων

Στο λογισμικό eCognition οι συναρτήσεις ασαφούς λογικής ορίζονται επιλέγοντας την μορφή της συνάρτησης που είναι κατάλληλη για τον εν λόγω κανόνα και έπειτα ορίζοντας τις ακραίες τιμές (όρια) που θα λαμβάνει (Εικόνα 12).



Εικόνα 12: Συναρτήσεις ασαφούς λογικής. Ρύθμιση της μορφής και των ορίων στο λογισμικό eCognition

Επιπλέον, κάθε χαρακτηριστικό-γνώρισμα που παρέχεται από το eCognition, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για να περιγράψει τις λειτουργίες της ασαφούς λογικής είτε για να καθορίσει την απόσταση για τον ταξινομητή του “Εγγύτερου Γείτονα”. Πλέον μία κατηγορία περιγράφεται συνδυάζοντας μια ή περισσότερες περιγραφές με κανόνες ασαφούς λογικής ή κανόνες κληρονομιάς ή με έναν συνδυασμό των δύο.

Καθώς η ιεραρχία των κατηγοριών θα έπρεπε να αντικατοπτρίζει το περιεχόμενο της εικόνας λαμβάνοντας υπ’ όψιν την κλίμακα, η δημιουργία των επιπέδων είναι πολύ χρήσιμη. Αυτές οι

κατηγορίες αναπαριστούν τα γενικευμένα επίπεδα που παράγονται από την κατάτμηση της εικόνας και περιγράφονται απλώς από την κατηγοριοποίηση τους σε κάποιο επίπεδο. Οι κατηγορίες οι οποίες εμφανίζονται σε αυτά τα επίπεδα, κληρονομούν αυτή την ιδιότητα από τις κατηγορίες “επίπεδα”. Η τεχνική αυτή συνήθως βοηθάει στη δόμηση της ιεραρχίας των κατηγοριών.

2.6.3 Ιεραρχία Κατηγοριών (Class Hierarchy)

Η υψηλή μεταβλητότητα των σχημάτων στις αστικές περιοχές από τις μικρές δομές όπως τα σπίτια μέχρι τις μεγάλες των ενδοαστικών ανοιχτών χώρων απαιτεί έναν μεγάλο αριθμό, ρυθμισμένων με ακρίβεια, επιπέδων κατάτμησης. Η απεικόνιση των αντικειμένων που ταιριάζουν με τις πραγματικές κατασκευές σε ένα επίπεδο, θα ήταν συμφέρουσα για μια βέλτιστη χρησιμοποίησή τους κατά την διαδικασία της ταξινόμησης. Η βέλτιστη κατάτμηση των τμημάτων σε ένα επίπεδο θα είχε ως αποτέλεσμα να αναπαραχθούν τα μεγάλα τμήματα που αντιπροσωπεύουν παραδείγματος χάριν τις περιοχές βλάστησης από ένα μεγάλο αντικείμενο και τα σπίτια από μικρά αντικείμενα δίπλα-δίπλα χωρίς να συγχωνεύονται σε κάποιο πρόσθετο αντικείμενο κατά την διαδικασία μιας θεματικής ταξινόμησης.

Έτσι, αντικείμενα από διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης (χωρικής) και διαφορετικών θεματικών εννοιών πρέπει να συνδυαστούν στις περισσότερες εφαρμογές. Το σχήμα στην Εικόνα 13 παρουσιάζει το ιεραρχικό δίκτυο των επιπέδων κατάτμησης και του πλεονεκτημάτος του να επιβάλει τη δυνατότητα δημιουργίας ενός αυθαίρετου αριθμού επιπέδων κατάτμησης με μεγέθη αντικειμένων που βελτιστοποιούνται με την καλύτερη αντιπροσώπηση των υφιστάμενων κατασκευών.

«Η μορφή αυτή, σε συνδυασμό με τις περαιτέρω παράγωγες ιδιότητες του χρώματος και της σύστασης του αντικειμένου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση της εικόνας, ταξινομώντας αρχικά τα παράγωγα αντικείμενα της εικόνας. Με αυτόν τον τρόπο, οι κατηγορίες οργανώνονται σε μία ιεραρχία κατηγοριών. Κάθε κατηγορία μπορεί να έχει μια υπο- ή υπέρ-κατηγορία και κατά συνέπεια να κληρονομήσει τις ιδιότητές από μια ή περισσότερες υποκατηγορίες (ή υπερκατηγορίες). Λαμβάνοντας υπ’ όψιν την συμπεριφορά των πολυεπίπεδων προς ανίχνευση αντικειμένων, ένας αριθμός από μικρά αντικείμενα μπορούν να συναθροιστούν και να δημιουργήσουν μεγαλύτερα αντικείμενα κατασκευάζοντας έτσι μια εννοιολογική ιεραρχία. Επιπλέον, ένα μεγάλο αντικείμενο μπορεί να χωριστεί σε μικρότερα. Έτσι οδηγούμαστε σε δύο βασικές προσεγγίσεις της ανάλυσης εικόνων. Μια από πάνω προς τα κάτω και μια από κάτω προς τα πάνω προσέγγιση» (Benz U., et al., 2003 και Baatz M. et al. 2001).

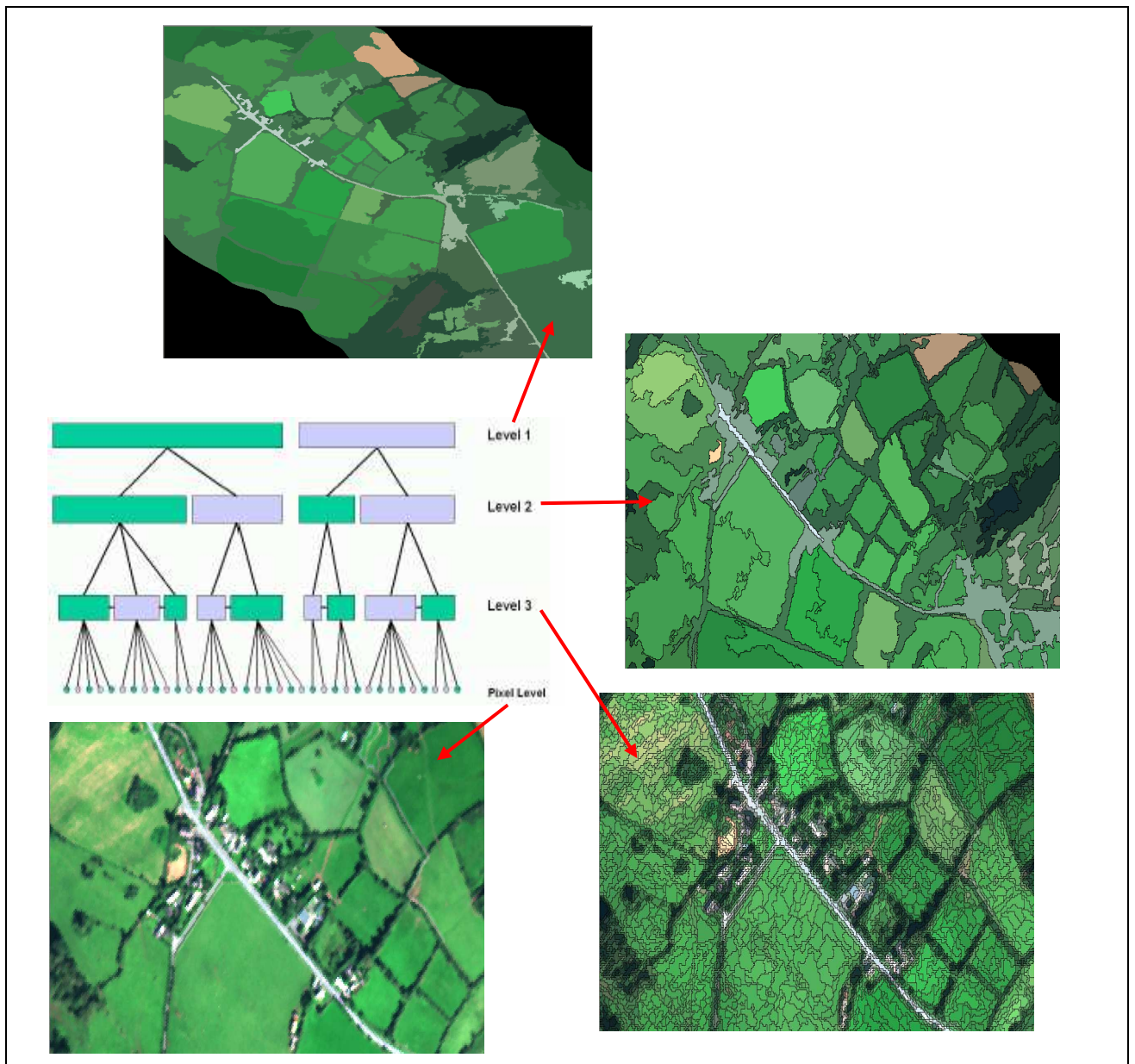
«Στο λογισμικό e-Cognition, και οι δύο προσεγγίσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- *Δημιουργώντας ένα ιεραρχικό δίκτυο από αντικείμενα της εικόνας χρησιμοποιώντας την κατάτμηση.* Το τμήματα του κάτω επιπέδου της εικόνας αναπαριστούν μικρής κλίμακας αντικείμενα, ενώ των άνω επιπέδων αντικείμενα αναπαριστούν μεγάλης κλίμακας αντικείμενα.
- *Ταξινομώντας τα παράγωγα αντικείμενα βάσει των φυσικών τους ιδιοτήτων.* Αυτό επίσης σημαίνει πως τα ονόματα των κατηγοριών και της ιεραρχίας τους είναι αντιπροσωπευτικά στο χαρτογραφημένο πραγματικό πεδίο και στις φυσικά μετρήσιμες ιδιότητες των αντικειμένων. Χρησιμοποιώντας μηχανισμούς “κληρονομικότητας” επιταχύνεται ο στόχος της ταξινόμησης ενώ ταυτόχρονα γίνεται πιο ακριβής.
- *Περιγράφοντας τις σημασιολογικές σχέσεις των αντικειμένων του δικτύου σύμφωνα με τις σχέσεις γειτονίας ή τις σχέσεις των υπο- και υπέρ-αντικειμένων.* Αυτό συνήθως οδηγεί σε μια βελτίωση του αποτελέσματος της ταξινόμησης.
- *Συναθροίζοντας τα ταξινομημένα αντικείμενα σε σημασιολογικές ομάδες (semantic groups), οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω σε μια “βασισμένη στην ταξινόμηση” κατάτμηση (classification-based segmentation).* Τότε, τα παράγωγα παρακείμενα αντικείμενα

μπορούν να εξαχθούν και να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον GIS. Οι σημασιολογικές ομάδες, μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω ανάλυση γειννίαςης.

Τα παραπάνω βήματα περιγράφουν τη συνήθη διαδικασία που ακολουθείται στο eCognition. Ενώ τα δύο πρώτα βήματα είναι υποχρεωτικά, τα δύο τελευταία ενδείκνυνται ανάλογα με τον στόχο της εργασίας και του περιεχομένου της εικόνας.

Η βασισμένη στην ταξινόμηση διαδικασία βελτιστοποίησης διασφαλίζει επίσης μια πιο συγκρίσιμη και συνεπώς σταθερή κατάτμηση. Η βασική ιδέα πίσω από αυτήν την προσέγγιση είναι η επαναλαμβανόμενη βελτιστοποίηση της μορφής των αντικειμένων της εικόνας σύμφωνα με ένα σύνολο κανόνων που είναι ικανοί για τον προσδιορισμό των σημαντικών μεμονωμένων θεματικών κατηγοριών.» (Marangoz A. M., et al., 2004)



Εικόνα 13: Ιεραρχία των επιπέδων ανάλυσης της εικόνας του Calgary με διαφορετική κλίμακα και παραμέτρους κατάτμησης

3 Αρθρογραφία

Spectrometry and Hyperspectral Remote Sensing for Road Centerline Extraction and Evaluation of Pavement Condition

(M. Herold, Marg. Gardner, Val Noronha, Dar Roberts, University of California)

Μεταφρασμένος τίτλος: “Ραδιομετρία και Υπερφασματική Τηλεπισκόπηση για την ανίχνευση οδικού δικτύου και αξιολόγησης της ποιότητάς του”

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε επίσης από το τμήμα Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας, στη Santa Barbara και είχε ως στόχο να προσφέρει μία γρήγορη και οικονομική μέθοδο ανίχνευσης οδικών αξόνων και συλλογής πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση (ποιοτική) στην οποία βρίσκονται. Επιχειρεί την εξαγωγή διάφορων κατηγοριών οδικού δικτύου και συγκρίνει τις φασματικές υπογραφές οι οποίες σχετίζονται με διαφορετικής ποιότητας οδικά δίκτυα. Η περιοχή μελέτης είναι η αστική περιοχή της Santa Barbara και Goleta στην Καλιφόρνια, η οποία χαρακτηρίζεται από ποικίλες χρήσεις γης και διάφορες κατηγορίες δρόμου. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό ο αισθητήρας AVIRIS (224 κανάλια), χωρικής ανάλυσης 4m και 6.000 φασματικές υπογραφές οι οποίες ανήκουν σε 147 διαφορετικές/ά επιφάνειες/αντικείμενα. και έχουν συλλεχθεί με ραδιόμετρο χειρός στο πεδίο με εύρος φάσματος 350nm-2400nm και τρεις ανιχνευτές, στο ορατό, εγγύς υπέρυθρο (Visible and Near Infrared, VNIR) και στο μέσο infrared (SWIR1 και SWIR2). Η “αστική” βιβλιοθήκη φασματικών υπογραφών αναπτύχθηκε με δύο τρόπους: 1) χρησιμοποιώντας ραδιόμετρο χειρός στο πεδίο (Analytical Spectral Device, ASD), 2) αντλώντας πληροφορία από τις υπερφασματικές απεικονίσεις του AVIRIS (AVIRIS library).

Η επεξεργασία των απεικονίσεων του AVIRIS έγινε με το λογισμικό “MultiSpec”, το οποίο σχεδιάστηκε για την επεξεργασία και ανάλυση των υπερφασματικών δεδομένων (Landgrebe και Biehl, 2001). Η πρώτη μέθοδος η οποία εφαρμόστηκε είναι η Bhattacharyya distance για την επιλογή των κατάλληλων καναλιών στα οποία διαχωρίζονται καλύτερα οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών. Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα και των δύο βιβλιοθηκών (ASD library, AVIRIS library) και τελικά, επιλέχθηκαν 14 κανάλια στα οποία διακρίθηκε η μεγαλύτερη διαχωριστικότητα των φασματικών υπογραφών των στόχων.

Στην υπερφασματική απεικόνιση AVIRIS έγινε ταξινόμηση με τη μέθοδο Maximum Likelihood Classification και η παραγόμενη απεικόνιση περιέχει αρκετές κατηγορίες δρόμων, όπως δρόμους με άσφαλο, τσιμέντο, αμμοχάλικο και χώρους στάθμευσης.

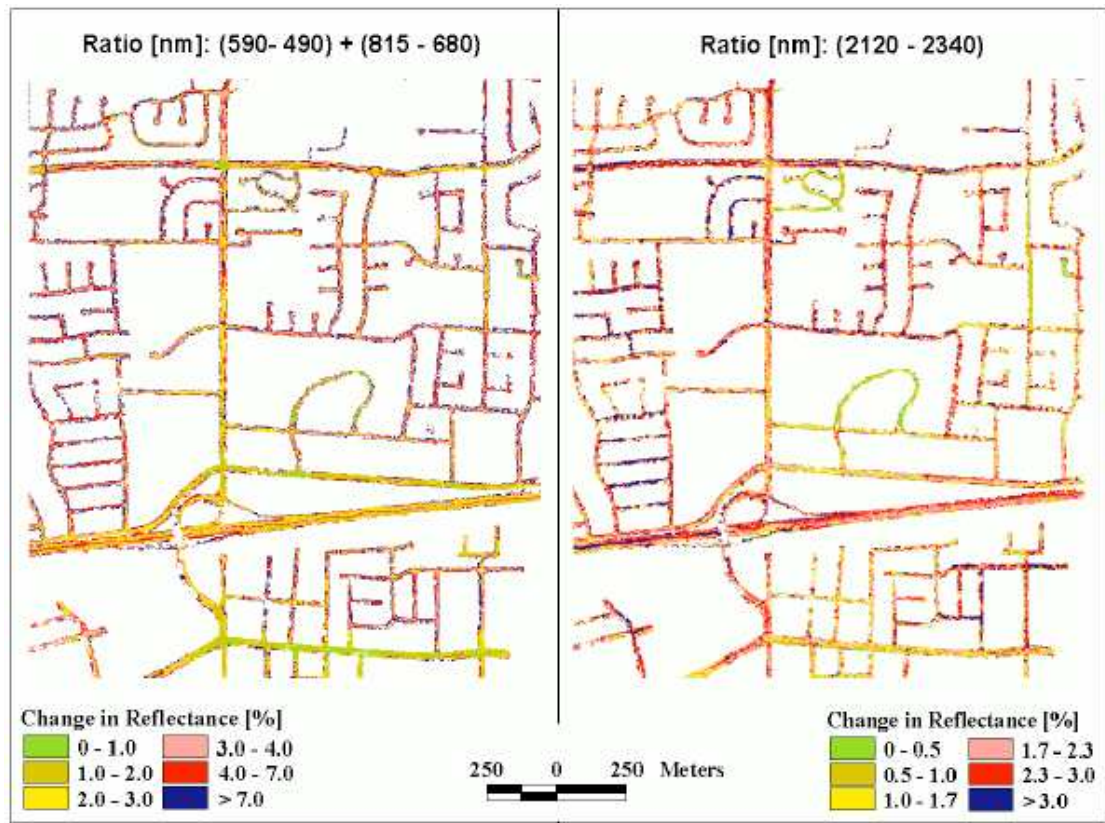
Ακολουθεί πίνακας στον οποίο φαίνονται οι ακρίβειες ταξινόμησης:

Road type	Producer accuracy	User accuracy
Light asphalt (new)	89 %	64 %
Dark asphalt (old)	55 %	85 %
Concrete	71 %	95 %
Gravel	83 %	100 %

Πίνακας 2: Ακρίβειες ταξινόμησης κατηγοριών των δρόμων

Σύμφωνα με αυτή την έρευνα, η πληροφορία η οποία αποκτάται με τις μεθόδους Τηλεπισκόπησης δεν είναι τόσο λεπτομερής όσο εκείνη η οποία αποκτάται από μετρήσεις στο πεδίο. Ωστόσο, παρατηρήθηκε πως σε ορισμένα κανάλια του ορατού υπέρυθρου (VIS) και του μέσου υπέρυθρου

(SWIR) διακρίνονται κάποιες διαφορές στην ανακλαστικότητα λόγω “ηλικίας” και ποιότητας. Το αποτέλεσμα των φασματικών ανακλαστικότητων των στόχων σε αυτά τα κανάλια παρουσιάζεται στην Εικόνα 14:

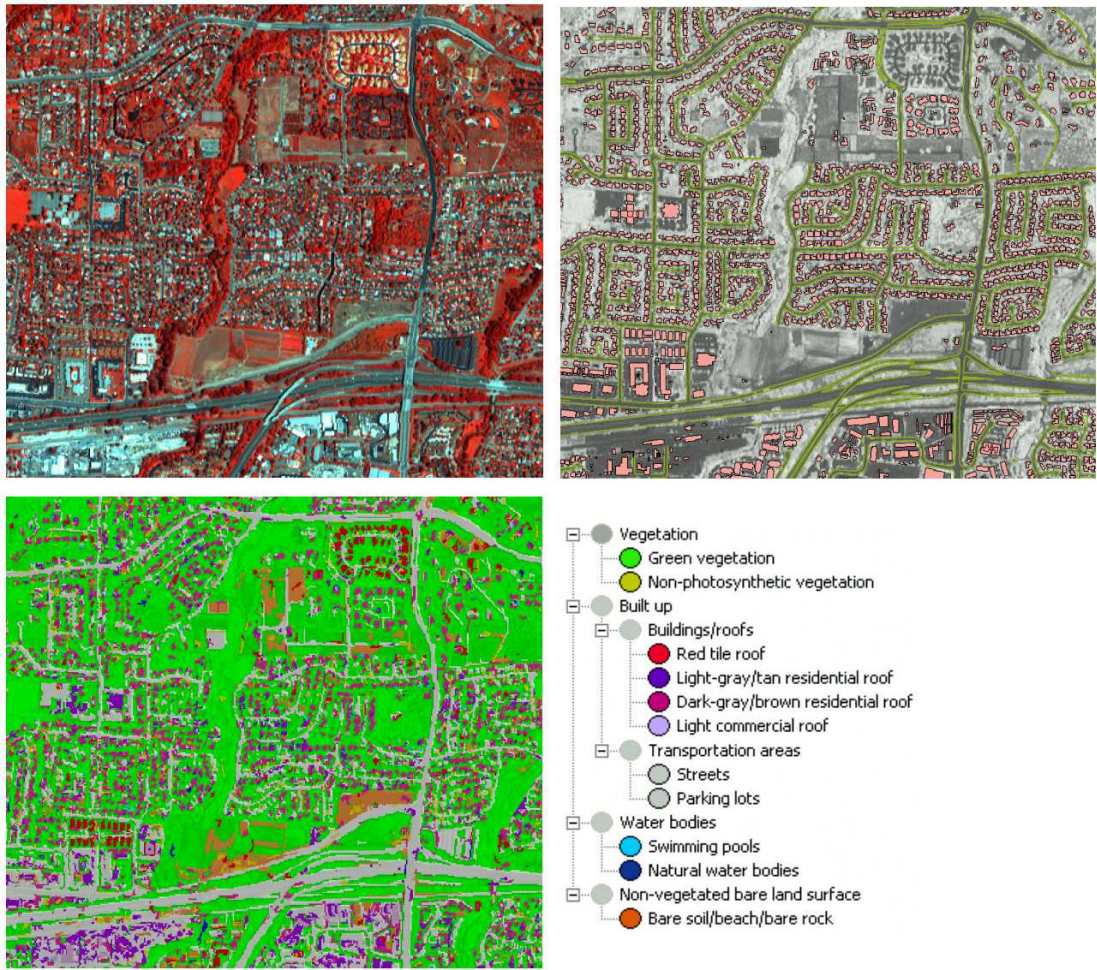


Εικόνα 14: Ανακλαστικότητα του οδικού δικτύου στα κανάλια του VIS και SWIR

Παρατηρώντας την εικόνα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

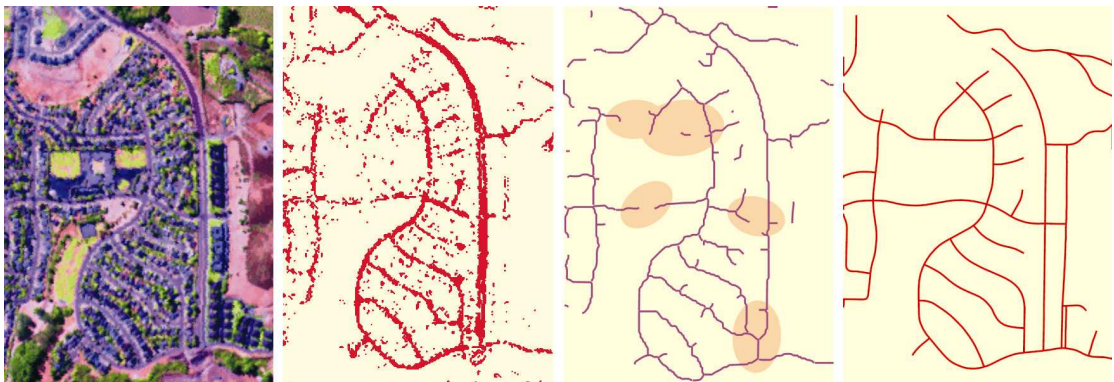
- Οι πρόσφατα επιστρωμένοι δρόμοι εμφανίζουν χαμηλή ανακλαστικότητα (πράσινο, κίτρινο χρώμα)
- Η ανακλαστικότητα αυξάνεται όσο αυξάνεται η “ηλικία” των δρόμων
- Οι περισσότεροι δρόμοι της περιοχής χαρακτηρίζονται παλαιοί και μέτριας ποιότητας

Η μελέτη αυτή επίσης διερεύνησε τις δυνατότητες και τους περιορισμούς των υπάρχοντων δορυφορικών πολυφασματικών δεκτών μελετώντας δεδομένα IKONOS (4m) με χρήση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης σε μια προσπάθεια υπερκέρρασης των μειονεκτημάτων των πολυφασματικών δεδομένων λόγω της μικρής ραδιομετρικής τους ικανότητας. Η ανάλυση εφαρμόστηκε σε ένα μωσαϊκό επτά εικόνων IKONOS που καλύπτουν όλη της περιοχή της Santa Barbara. Η ακρίβεια που επιτεύχθηκε ήταν 64% και θεωρείται καλή αν κανείς αναλογιστεί τον μειωμένο αριθμό καναλιών του δέκτη.



Εικόνα 15: Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης μέσω του eCognition (κάτω), συγκρινόμενο με το ψευδέγχρωμο σύνθετο του IKONOS (πάνω αριστερά) και ψηφιακά δεδομένα που αναπαριστούν τα σπίτια και το οδικό δίκτυο με υπόβαθρο τον λόγο NDVI (πάνω δεξιά)

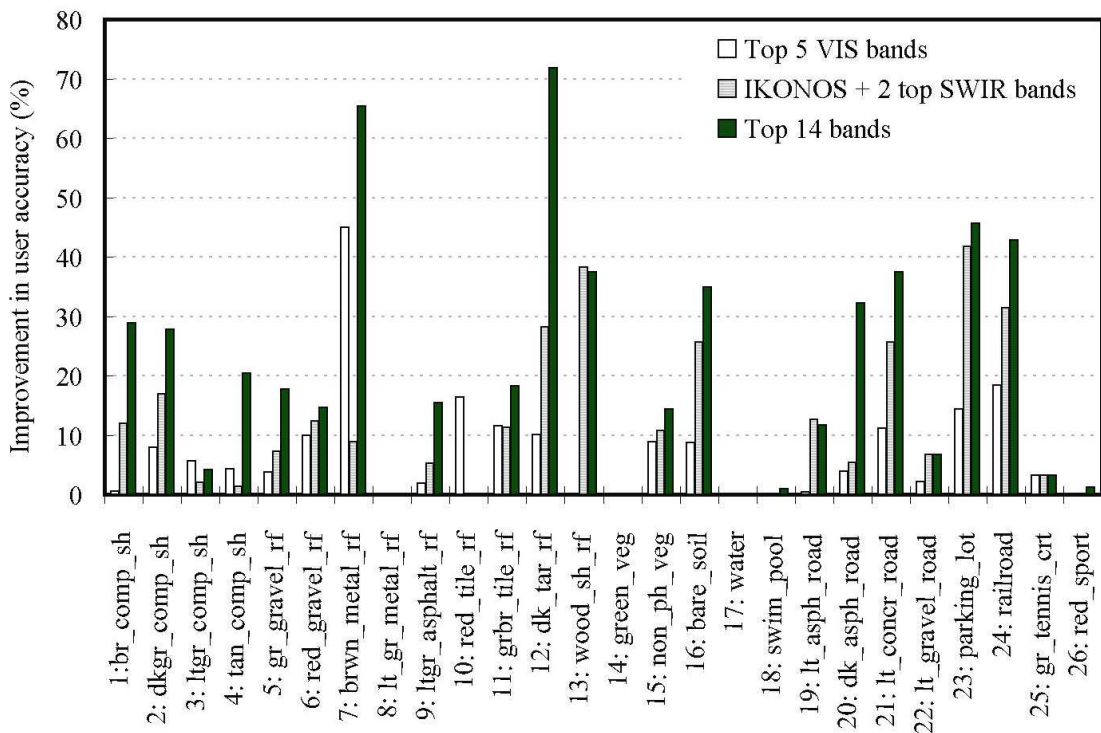
Μετά από την ταξινόμηση του οδικού δικτύου, ο παραγόμενος χάρτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή των αξόνων των δρόμων κατά την οποία θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν οι ανακρίβειες της ταξινόμησης και η χωρική ανάλυση των δεδομένων.



Εικόνα 16: α) εικόνα AVIRIS , β) ταξινόμηση των οδικών επιφανειών (περιλαμβάνονται κάποιες οροφές), γ) εφαρμογή γραμμικού φίλτρου, αφαίρεση κενών, διανυσματοποίηση και εξομάλυνση των αξόνων, δ) χάρτης αναφοράς των αξόνων

Έπειτα πραγματοποιήθηκε μια σύγκριση ταξινομήσεων μεταξύ δεδομένων από δέκτες διαφορετικών ραδιομετρικών χαρακτηριστικών (Εικόνα 17). Συγκρίθηκαν τρεις τύποι δεδομένων. Ο

Top 5 VIS, ο οποίος περιελάμβανε 4 κανάλια μικρού εύρους (10 nm) στην ορατή και εγγύς υπέρυθρη περιοχή του φάσματος, αντί για τα 5 πολυφασματικά κανάλια του IKONOS. Ο δεύτερος τύπος εικόνας περιλαμβάνει τα κανάλια του IKONOS και επιπρόσθετα 2 περισσότερο κατάλληλα κανάλια από την εγγύς υπέρυθρη περιοχή. Τέλος ο τρίτος τύπος περιλαμβάνει τα 14 πιο κατάλληλα κανάλια από τα 224 του AVIRIS, τα οποία παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη διαχωριστικότητα όσον αφορά στις αστικές θεματικές κατηγορίες κάλυψης του εδάφους. Από την σύγκριση αυτή, παρατηρείται ότι ένα δέκτης με τα 14 κατάλληλα κανάλια επιτυγχάνει μεγαλύτερη ακρίβεια κατά την ταξινόμηση όλων σχεδόν των θεματικών κατηγοριών σε σχέση με τους δύο πρώτους δέκτες, ενώ όπου δεν υπερτερεί οι διαφορές στην ακρίβεια είναι ελάχιστες.



Εικόνα 17: Βελτίωση της ακρίβειας ταξινόμησης για διαφορετικές ραδιομετρικές ρυθμίσεις συγκρινόμενες με την ταξινόμηση σε IKONOS

Όσον αφορά στην εξαγωγή των αξόνων του οδικού δικτύου, τα δεδομένα AVIRIS εξήγαγαν επιτυχή αποτελέσματα, όχι όμως και τέλεια σε αστικές περιοχές. Υπάρχει η δυνατότητα βελτίωσης των αποτελεσμάτων με χρήση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης, βασισμένη στη γεωμετρία, τοπολογία και εγγύτητα αλλά και σε συνδυασμό με υψομετρικά δεδομένα όπως LiDAR.

Στην έρευνα αυτή επιτεύχθηκε ο διαχωρισμός των διαφορετικών τύπων οδοστρώματος αλλά και διερεύνησης της ηλικίας τους, κάτι το οποίο αποτελεί πολύ χρήσιμη πληροφορία για την ποιότητα του οδοστρώματος. Όμως τέτοιου είδους έρευνα δεν είναι εφικτή με υπερφασματικά δεδομένα αυτής της χωρικής ανάλυσης (4m).

Οι παραπάνω μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων AVIRIS, μπορούν να χαρακτηριστούν ως πολύπλοκες και μεγάλου κόστους διαδικασίες. Με βάση την έρευνα αυτή, το πρόβλημα ανάγεται στο πολυφασματικό επίπεδο, αφήνοντας το πρόβλημα της διάκρισης μεταξύ των αστικών υλικών στο υπερφασματικό επίπεδο των 224 καναλιών του AVIRIS. Έτσι ο ρόλος του AVIRIS θα ήταν να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό κάποιου πολυφασματικού σαρωτή εξειδικευμένου στη χαρτογράφηση του αστικού περιβάλλοντος, ο οποίος έπειτα λόγω της χαμηλής ραδιομετρικής του ικανότητας, θα ήταν περισσότερο ανεκτός οικονομικά και κατ' επέκταση θα τύγχανε ευρείας χρήσης.

4 Μεθοδολογία

4.1 Περιοχές εφαρμογής και περιγραφή των δεδομένων

Η διερεύνηση των δυνατοτήτων ανίχνευσης και εξαγωγής οδικών χαρακτηριστικών με εφαρμογή διαφόρων τηλεπισκοπικών μεθόδων και τεχνικών έγινε σε τρεις υπερφασματικές απεικονίσεις, η λήψη των οποίων πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Calgary του Καναδά και στην ευρύτερη περιοχή της Χαλκίδας κατά την εκπόνηση της διδακτορικής έρευνας του Δρ. Αγρονόμου Τοπογράφου Μηχανικού Πολυχρόνη Κολοκούση. Οι τρεις απεικονίσεις φαίνονται παρακάτω στις Εικόνα 18, Εικόνα 19.

Οι δέκτες οι οποίοι επιλέχθηκαν για το αερομεταφερόμενο σύστημα λήψης θερμικών και υπερφασματικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, το οποίο αναπτύχθηκε (Κολοκούσης, 2007), ήταν ο θερμικός δέκτης TABI-320 και ο υπερφασματικός δέκτης CASI-550 της канаδικής εταιρίας ITRES. Στην παρούσα εργασία δεν χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον θερμικό δέκτη, οπότε και δεν θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε αυτόν. Ο δέκτης CASI στην κατάσταση λειτουργίας Hyperspectral καταγράφει συνεχόμενα φασματικά κανάλια τα οποία καλύπτουν όλο το εύρος από 420-965nm.



Εικόνα 18: Αριστερά η εικόνα του Calgary (Καναδάς) και δεξιά η εικόνα της Χαλκίδας σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο (R,G,B)



Εικόνα 19: Εικόνα της Χαλκίδας με χωρική διακριτική ικανότητα 1m και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα 16 υπερφασματικά κανάλια

4.1.1 Περιγραφή των εικόνων

Η απεικόνιση του Calgary στον Καναδά αποτελεί μια πολύ καλής ποιότητας υπερφασματική εικόνα. Η λήψη της έγινε κατά την εκπαίδευση του Πολυχρόνη Κολοκούση για την χρήση του υπερφασματικού δέκτη CASI-550 από την κατασκευάστρια εταιρία ITRES στον Καναδά, όπου εδράζεται. Ο δέκτης κατέγραφε σε 48 κανάλια και ήταν συνδεδεμένος με αδρανειακό σύστημα GPS της ίδιας εταιρίας μέσα στο αεροσκάφος, το οποίο πετούσε σε σχετικά χαμηλό υψόμετρο. Ως αποτέλεσμα έχουμε μια υπερφασματική απεικόνιση χωρικής διακριτικής ικανότητας 3-4 m με πολύ καλή γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση.

4.1.1.1 *Η απεικόνιση του Calgary - Καναδάς*

Η περιοχή κατόπτρευσης είναι κατά κύριο λόγο αγροτική με δύο μικρούς οικισμούς. Περιλαμβάνει μεγάλη έκταση βλάστησης, καλλιεργούμενης και μη γης. Επίσης παρατηρούνται κάποιες περιοχές γυμνού εδάφους. Όσον αφορά το οδικό δίκτυο, παρατηρείται μια κύρια οδική αρτηρία κατά μήκος της σάρωσης του δέκτη με κάποιες μικρότερες συνδετήριες οδούς, που οδηγούν είτε προς τους οικισμούς είτε προς ανάμεσα από τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Επιπλέον, υπάρχουν δρόμοι εντός των οικισμών, αλλά και κάποιοι χωματόδρομοι. Σε γενικές γραμμές μπορεί να ειπωθεί πως το οδικό δίκτυο της περιοχής είναι σε αρκετά μεγάλο βαθμό ευδιάκριτο και αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της μεγάλης διακριτικής ικανότητας της εικόνας. Φασματικά διακρίνονται εκ πρώτης όψεως δύο με τρεις διαφορετικοί τύποι δρόμων, ενώ παρατηρούνται κάποια από τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζουμε κατά την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου, όπως οι σκιάσεις και η σύγχυση των δρόμων με άλλες κατασκευές όπως τα κτίρια. Πρέπει να σημειωθεί επίσης, ότι μια πρόκληση που αντιμετωπίστηκε κατά την επεξεργασία αυτής της απεικόνισης ήταν ο διαχωρισμός των του οδικού δικτύου από του φράχτες που χωρίζουν τα κτήματα μεταξύ τους.

4.1.1.2 Η απεικόνιση της Χαλκίδας (1)

Για την εικόνα της Χαλκίδας αυτό που μπορεί κανείς να πει με μια πρώτη ματιά είναι πως πρόκειται σαφέστατα μια πιο “δύσκολη” από πολλές απόψεις εικόνα. Είναι μια εικόνα χωρικής ανάλυσης και πάλι 3-4 m, παρουσιάζει όμως σε κάποια σημεία προβλήματα που προέρχονται από την γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση, κάτι το οποίο δυσχεραίνει ιδιαίτερα την ανάλυσή της. Αφαιρέτου, το πλεονέκτημα της ως προς αυτή του Καναδά είναι το μεγαλύτερο πλήθος καναλιών του δέκτη που χρησιμοποιήθηκε κατά την σάρωση. Ενώ στον Καναδά χρησιμοποιήθηκαν 48 κανάλια στην Χαλκίδα ο δέκτης κατέγραφε σε 85. Αυτό όμως εκ των υστέρων δεν αποδείχθηκε σημαντικό βοήθημα για την επίτευξη του στόχου της μελέτης αυτής.

Η περιοχή που απεικονίζεται είναι μια σύνθετη περιοχή. Περιλαμβάνει μέρος της πόλης της Χαλκίδας που εκτείνεται τόσο παραλιακά όσο και προς τους πρώτους ορεινούς όγκους γύρω από την πόλη. Το αστικό περιβάλλον είναι ιδιαίτερο πυκνό και φασματικά περίπλοκο, με πολλές φασματικές υπογραφές που συγχέονται μεταξύ τους. Δρόμοι, κτίρια, χώροι στάθμευσης, πλατείες και αλάνες είναι σε πολλές περιπτώσεις δύσκολα διαχωρίσιμες. Ένα μεγάλο μέρος της εικόνας καταλαμβάνεται από θάλασσα, όπου υπάρχουν και εκεί προβλήματα, καθώς τα νερά κοντά στην ακτή είναι αβαθή και αναδεικνύονται η άμμος και άλλα αργιλικά υλικά του βυθού. Υπάρχει και εδώ μεγάλη έκταση βλάστησης και περιοχές γυμνού εδάφους. Πολλά είναι επίσης και τα προβλήματα λόγω σκιάσεων που προκαλούνται από την πυκνή δόμηση.

Η ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου σε αυτή την εικόνα αποτελεί μια πρόκληση καθώς τα προβλήματα είναι αρκετά. Φαίνεται να υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι δρόμων με διαφορετικά γεωμετρικά και φασματικά χαρακτηριστικά. Αυτοί είναι όμως και οι λόγοι για τους οποίους έγινε η επιλογή για τη μελέτη μιας τέτοιας εικόνας, ώστε να ερευνηθούν οι δυνατότητες της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στην περίπτωση που η απεικόνιση παρουσιάζει προβλήματα όπως τα παραπάνω.

4.1.1.3 Η απεικόνιση της Χαλκίδας (2)

Η δεύτερη απεικόνιση της περιοχής της Χαλκίδας περιλαμβάνει ένα τμήμα της πρώτης απεικόνισης σε μεγαλύτερη κλίμακα. Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα της απεικόνισης περιορίζεται στα 16 υπερφασματικά κανάλια τα οποία είχαν επιλεγεί για τους σκοπούς της διδακτορικής έρευνας για την οποία είχαν γίνει οι λήψεις με αποτέλεσμα να μην είναι τα κατάλληλα κανάλια για την ανίχνευση του οδικού δικτύου. Όμως το γεγονός ότι η χωρική διακριτική ικανότητα της απεικόνισης αυτής φθάνει το 1m, δίνει την δυνατότητα διερεύνησης για το κατά πόσο σημαντική είναι η μεγάλη χωρική διακριτική ικανότητα έναντι της μεγάλης διανυσματικής διάστασης των υπερφασματικών δεδομένων.

4.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του υπερφασματικού δέκτη

«Το αερομεταφερόμενο σύστημα λήψης υπερφασματικών απεικονίσεων το οποίο αναπτύχθηκε αποτελείται από:

1. τον υπερφασματικό δέκτη CASI-550 (κατασκευή ITRES)
2. το αδρανειακό/GPS (IMU/GPS) σύστημα εντοπισμού και συνεχούς καταγραφής της ακριβούς θέσης του αεροσκάφους, CMIGITS III (κατασκευή BEI Systron Donner)

Ο δέκτης CASI-550 έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Υψηλή χωρική και φασματική ανάλυση
Δέκτης CCD με 550 εικονοστοιχεία πλάτος

Χωρική διακριτική ικανότητα μεταξύ 0.5m και 10m ανάλογα με το ύψος πτήσης και την ταχύτητα του αεροπλάνου.

Φασματικό εύρος 545nm στο διάστημα 420 έως 965nm και ταυτόχρονη καταγραφή έως 288 φασματικών καναλιών.

Δυνατότητα φασματικού προγραμματισμού.

Συνεργασία με INS/GPS συστήματα για γεωμετρική διόρθωση υψηλής ακριβείας.

Άμεση γεωμετρική διόρθωση των απεικονίσεων και παραγωγή φωτομωσαϊκών.

Μεγάλη διάρκεια λήψης.

Υψηλός λόγος σήματος προς θόρυβο.

Πλήρως βαθμονομημένος και καταγράφει δεδομένα σε τιμές ανακλαστικότητας.

Καταγράφει ταυτόχρονα την προσπίπτουσα ακτινοβολία για υλοποίηση ατμοσφαιρικών διορθώσεων.

Δουλεύει σε δύο καταστάσεις λειτουργίας: Spatial Mode (με υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα) και Hyperspectral Mode (με υψηλή φασματική διακριτική ικανότητα).

Ο δέκτης αποτελείται από τρεις συσκευές (Εικόνα 20):

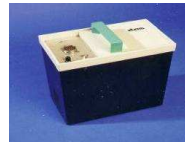
το δέκτη (Sensor Head Unit - SHU)

τον υπολογιστή ελέγχου (Instrument Control Unit - ICU)

και την οθόνη (Video Display Unit - VDU)



Video Display Unit (VDU)



Sensor Head Unit (SHU)



Integrated IMU/GPS system
(CMIGITS-III)



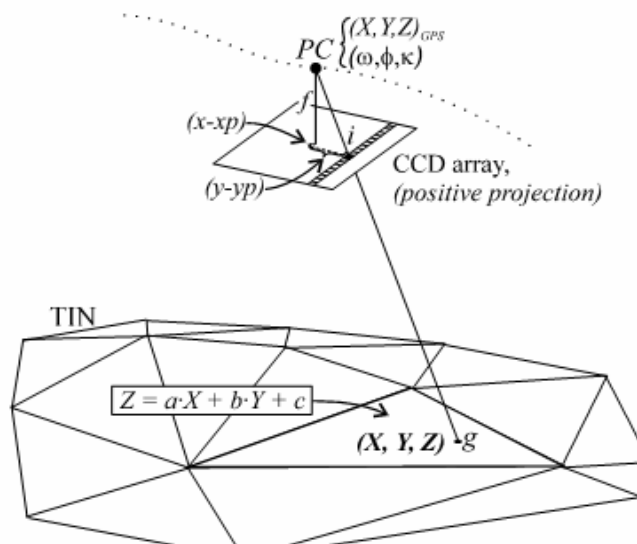
Instrument Control Unit (ICU)

Εικόνα 20: Οι επιμέρους συσκευές των δεκτών CASI-550 και TABI-320

Το C-MIGITS III αποτελείται από ένα αδρανειακό αισθητήρα (solid-state Digital Quartz Inertial Measurement Unit, DQI) της BEI Systron Donner Inertial Division και τον GPS δέκτη Jupiter LP με 12 κανάλια και δυνατότητα μετρήσεων κώδικα C/A (Coarse/Acquisition). Το CMIGITS III καταγράφει πλήρη επίλυση θέσης ανά 0.1" (MSG 3501) και γωνίες roll, pitch, heading και επιταχύνσεις x,y,z ανά 0.01" (MSG3512) με το αδρανειακό του σύστημα. Το διάλυμα κατάστασης του φίλτρου Kalman που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της βέλτιστης λύσης πλοήγησης αποτελείται από 28 παραμέτρους που αφορούν στη θέση, ταχύτητα, σφάλματα, κ.α. του C-MIGITS III.» (Κολοκούσης Θ. Π., Διδακτορική Διατριβή, 2008)

4.1.3 Η γεωμετρία της λήψης

«Οι δέκτες λειτουργούν ο καθένας ανεξάρτητα και λαμβάνουν απεικονίσεις σαρώνοντας γραμμή-γραμμή (pushbroom). Αυτό σημαίνει ότι κάθε γραμμή της εικόνας θα πρέπει να διορθώνεται για τις παραμορφώσεις που προκύπτουν εξαιτίας της κίνησης και των στροφών του αεροσκάφους (Εικόνα 21). Για το σκοπό αυτό απαιτείται η συνεχής καταγραφή της ακριβούς θέσης του αεροσκάφους με πολύ υψηλή ακρίβεια και με πολύ υψηλή συχνότητα της τάξης των 0.01 sec.



Εικόνα 21: Η γεωμετρία της λήψης

Με τη χρήση λοιπόν ενός αδρανειακού/GPS συστήματος όπως το CMIGITS III είναι δυνατή η εκ των υστέρων γεωμετρική διόρθωση των απεικονίσεων ώστε αυτές να απεικονίζουν πιστά τη φυσική γήινη επιφάνεια.» (Κολοκούσης Θ. Π., Διδακτορική Διατριβή, 2008)

4.2 Προεπεξεργασίες υπερφασματικών απεικονίσεων

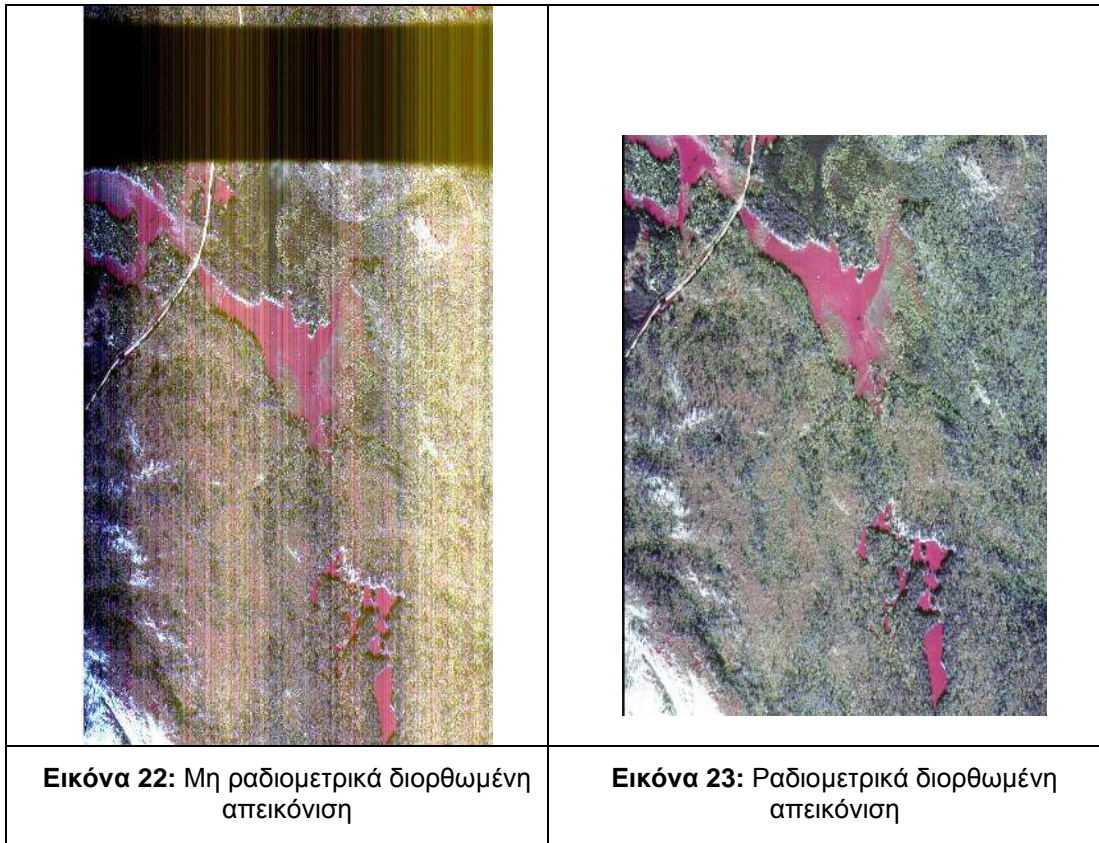
«Τα στάδια της προεπεξεργασίας θα μπορούσαν να χωριστούν σε δύο βασικά βήματα:

1. Ραδιομετρική διόρθωση των υπερφασματικών δεδομένων
2. Συγχρονισμός δεδομένων θέσης-πλοήγησης (attitude-navigation data) με τα υπερφασματικά δεδομένα και γεωμετρική διόρθωση των υπερφασματικών απεικονίσεων.

Οι προεπεξεργασίες πραγματοποιούνται με προγράμματα τα οποία έχουν αναπτυχθεί από την εταιρία ITRES ειδικά για τους δέκτες που κατασκευάζει.» (Κολοκούσης Θ. Π., Διδακτορική Διατριβή, 2008)

4.2.1 Ραδιομετρική διόρθωση απεικονίσεων

«Η ραδιομετρική διόρθωση αποσκοπεί στην αποκατάσταση των ανωμαλιών που παρουσιάζονται εξαιτίας της διαφορετικής ευαισθησίας κάθε στοιχείου του CCD του δέκτη αλλά και άλλων παραγόντων. Με βάση τη διαδικασία βαθμονόμησης του δέκτη, η οποία συνιστάται να επαναλαμβάνεται κάθε χρόνο από την εταιρεία, δημιουργούνται τα αρχεία βαθμονόμησης. Το πρόγραμμα radcorr διαβάζει την αρχική (RAW) απεικόνιση καθώς και το κατάλληλο αρχείο βαθμονόμησης και παράγει την ραδιομετρικά διορθωμένη απεικόνιση. Το παραγόμενο αρχείο έχει πλέον τιμές ανακλαστικότητας σε $\mu W/(cm^2 \cdot sr \cdot nm)$ για τον δέκτη CASI.



Απαιτείται μεγάλη προσοχή στον καθορισμό των πολλών παραμέτρων του προγράμματος *radcorr* ανάλογα με τις παραμέτρους που είχαν οριστεί για τη λήψη των απεικονίσεων κατά την πτήση.» (Κολοκούσης Θ. Π., Διδακτορική Διατριβή, 2008)

4.2.2 Γεωμετρική διόρθωση απεικονίσεων

«Κάθε ραδιομετρικά διορθωμένη απεικόνιση διορθώνεται γεωμετρικά ενώ υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας ψηφιακών φωτομωσαϊκών εάν αυτό είναι επιθυμητό. Την γεωμετρική διόρθωση πραγματοποιεί το πρόγραμμα *geosog* αφού πρώτα για κάθε εικονοστοιχείο της εκάστοτε απεικόνισης υπολογιστούν επακριβώς τα δεδομένα θέσης-πλοήγησης. Με τα στοιχεία αυτά κάθε εικονοστοιχείο τοποθετείται στη σωστή του γεωγραφική θέση με χρήση της συνθήκης συγγραμμικότητας όπως αυτή ισχύει για τους *rushbroom* δέκτες. Εάν υπάρχει διαθέσιμο ψηφιακό μοντέλο εδάφους τότε γίνεται ορθοαναγωγή της απεικόνισης και παραγωγή ορθοαπεικόνισης.

Για να επιτευχθεί όσο το δυνατόν πιο ακριβή γεωμετρική διόρθωση, θα πρέπει μετά από κάθε νέα εγκατάσταση των δέκτων στο αεροσκάφος να γίνεται μία λήψη γεωμετρικής βαθμονόμησης πάνω από γνωστή περιοχή με μετρημένα πολλά φωτοσταθερά σημεία. Η περιοχή προτείνεται από την εταιρεία να έχει έκταση 1x3km και να γίνεται σε αυτή λήψη 6 λωρίδων με επικάλυψη 60% και 3 λωρίδων κάθετες στις πρώτες πάλι με επικάλυψη 60% μεταξύ τους και με χωρική διακριτική ικανότητα των απεικονίσεων 1 μέτρο.

Με χρήση του προγράμματος *rbsbund* και των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σημείων γίνεται υπολογισμός του εσωτερικού προσανατολισμού του δέκτη για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση. Η διαδικασία αυτή πρέπει να έχει προηγηθεί από τη γεωμετρική διόρθωση των απεικονίσεων οι οποίες θα ληφθούν.» (Κολοκούσης Θ. Π., Διδακτορική Διατριβή, 2008)

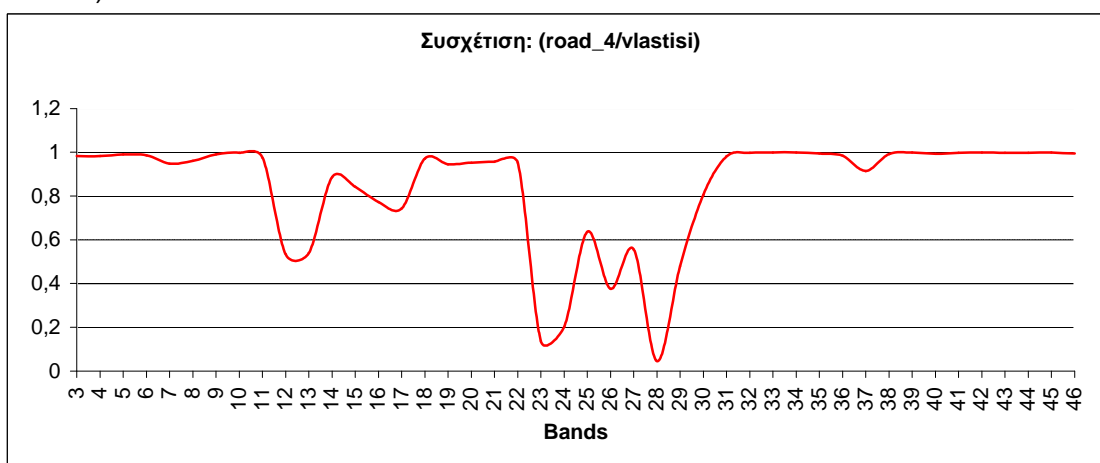
4.3 Επεξεργασίες απεικονίσεων

Η ψηφιακή επεξεργασία των υπερφασματικών απεικονίσεων περιλάμβανε σχεδόν όλα τα είδη επεξεργασίας που έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφική ανασκόπηση και είχε ως στόχο την ανάδειξη των βέλτιστων μεθόδων για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου.

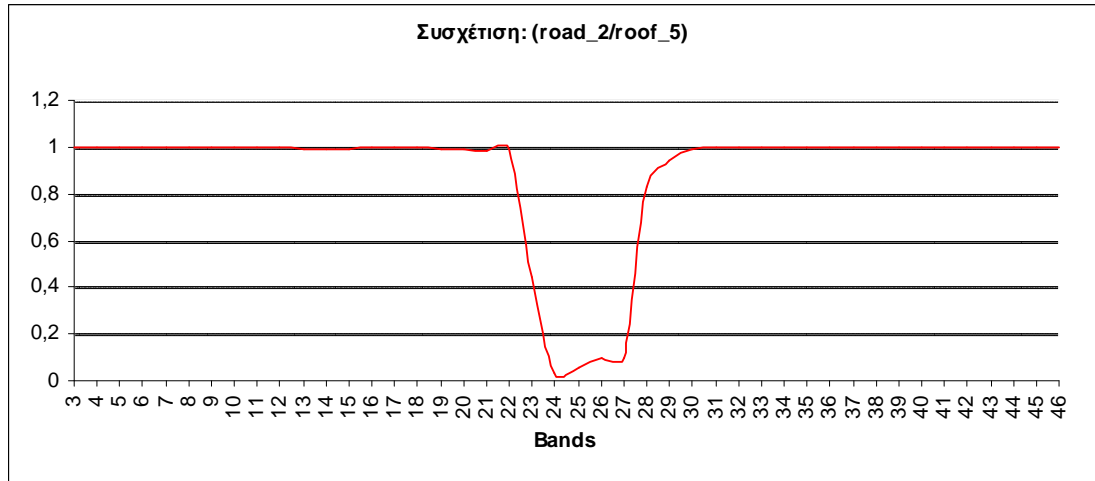
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, από τις μεθόδους επιλογής χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν ο έλεγχος συσχέτισης και ο έλεγχος εντροπίας. Στην παρούσα μελέτη αυτό έγινε μεταξύ των ιδιοτιμών των καναλιών του δέκτη για την κάθε ταξινόμηση ώστε να υπάρξει σύγκλιση σε κάποια κανάλια, πολύ λιγότερα από τα αρχικά, τα οποία εμπεριέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό πληροφορίας και μπορούν να μας οδηγήσουν στον καλύτερο διαχωρισμό των φασματικών μας στόχων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, σκοπός ήταν να διαχωριστούν κατά το δυνατόν οι δρόμοι από τις υπόλοιπες καλύψεις γης και κατασκευές, με τις οποίες έχουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές, όπως οροφές κτιρίων και διάφορους τύπους γυμνού εδάφους, αποφεύγοντας τα προβλήματα που προκαλεί η περίσσεια των επικαλυπτόμενων δεδομένων.

4.3.1 Έλεγχος συσχέτισης

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Μέσω του λογισμικού ER Mapper, οριοθετήθηκαν κάποια πολύγωνα – περιοχές εκπαίδευσης, οι οποίες αντιστοιχούσαν στις συγχεόμενες μεταξύ τους χρήσεις γης. Οριοθετήθηκαν λοιπόν στη εικόνα του Καναδά, περιοχές για πέντε διαφορετικούς τύπους δρόμων, τρεις διαφορετικούς τύπους οροφών κτιρίων, δύο τύπους γυμνού εδάφους, καθώς και μία περιοχή βλάστησης και μία υδάτινης επιφάνειας. Έτσι εξήχθησαν κάποια ενδιαφέροντα στατιστικά στοιχεία για τις περιοχές αυτές, όπως και τις ιδιοτιμές σε κάθε κανάλι. Στην συνέχεια σε περιβάλλον Excel πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος συσχέτισης για κάθε συνδυασμό χρήσεων γης από τους παραπάνω, δημιουργώντας τα αντίστοιχα διαγράμματα συσχέτισης, με τα οποία είναι πιο εύκολο οπτικά ο έλεγχος. Η συσχέτιση μεταξύ κάποιων κατηγοριών γης είναι χαμηλή σε πολλά τμήματα του φάσματος και αυτό συμβαίνει ότι οι δύο αυτές κατηγορίες δεν έχουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές, όπως οι δρόμοι και η βλάστηση. Αντίθετα στην περίπτωση μεταξύ ενός δρόμου και ενός τύπου οροφής το διάγραμμα συσχέτισης πλησιάζει στο μηδέν ίσως και σε ένα μόνο κανάλι. Δύο τέτοια παραδείγματα παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 24, Εικόνα 25).



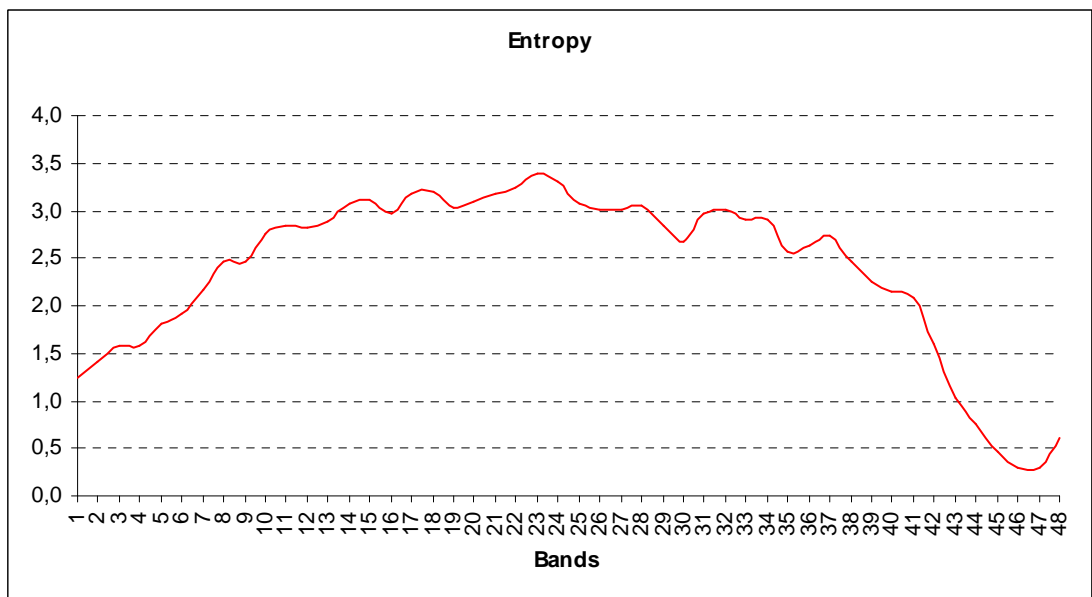
Εικόνα 24: Οι τιμές συσχέτισης μεταξύ δρόμου και βλάστησης (η συσχέτιση παρουσιάζει χαμηλές τιμές σε πολλά κανάλια κυρίως από το 23 έως το 28)



Εικόνα 25: Οι τιμές συσχέτισης μεταξύ δρόμου και οροφής (μηδενική συσχέτιση των δύο κατηγοριών στο κανάλι 24 του CASI)

4.3.2 Εντροπία

Έπειτα και πάλι σε περιβάλλον Excel, υπολογίστηκε η εντροπία για το σύνολο των δεδομένων ανά κανάλι του σαρωτή. Έτσι για κάθε μήκος κύματος έχουμε ένα μέγεθος εντροπίας (Εικόνα 26). Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα μήκη κύματος με τις υψηλότερες τιμές εντροπίας, καθώς αυτές συνεπάγονται μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις των τιμών ανακλαστικότητας στα συγκεκριμένα μήκη κύματος.

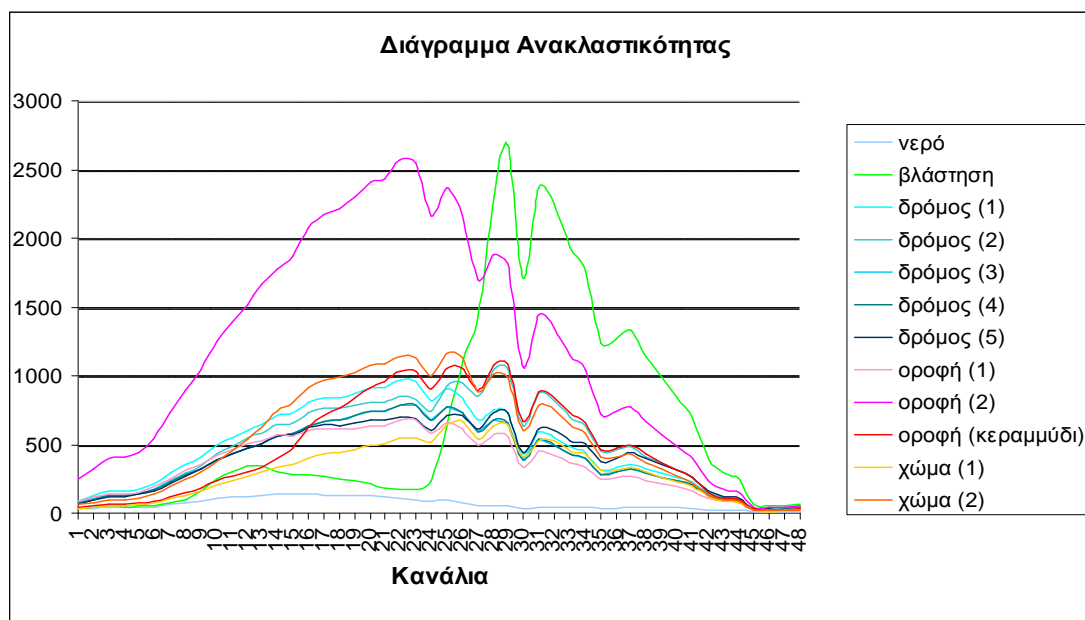


Εικόνα 26: Οι τιμές εντροπίας υπολογισμένες με χρήση των τιμών ανακλαστικότητας για το σύνολο των οριοθετημένων περιοχών

Η εντροπία δεν είναι εύκολο από μόνη της να οδηγήσει στην επιλογή των κατάλληλων καναλιών, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί επικουρικά για την απόρριψη μερικών από τα ήδη επιλεγμένα (με βάση το κριτήριο της συσχέτισης) κανάλια.

Έτσι, μετά από τις παραπάνω επεξεργασίες αποφασίστηκαν έντεκα κανάλια τα οποία θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμα για την εκπόνηση της εργασίας μας. Αυτά ήταν τα κανάλια 12, 15, 18, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 και 37 του CASI.

Μια γενική εικόνα για τις φασματικές υπογραφές των υπό μελέτη φασματικών στόχων για την απεικόνιση του Καναδά, μπορεί να δώσει το διάγραμμα ανακλαστικότητας (Εικόνα 27), στο οποίο εύκολα κανείς μπορεί να διακρίνει ποιες κατηγορίες χρήσεων γης συσχετίζονται και σε ποια περιοχή του φάσματος.



Εικόνα 27: Διάγραμμα ανακλαστικότητας για την εικόνα του Καναδά

4.3.3 Λόγοι – Πράξεις

Πραγματοποιήθηκε διερεύνηση και ανάδειξη κάποιων δευτερευόντων τύπων κάλυψης του εδάφους με την χρήση λόγων και πράξεων μεταξύ των καναλιών των υπερφασματικών απεικονίσεων, είτε από αυτούς που αναφέρονται στη βιβλιογραφία ή άλλων οι οποίοι διαπιστώθηκαν κατά την επεξεργασία και φάνηκαν χρήσιμοι. Οι δευτερεύοντες τύποι κάλυψης του εδάφους, όπως το νερό ή οι σκιάσεις είναι αυτοί που σε πολλές περιπτώσεις συγχέονται με τους δρόμους ή που η πλήρης αποκοπή τους από την συνέχεια της όλης διαδικασίας είναι απαραίτητη για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Συνεπώς ο εντοπισμός και η ανάδειξή τους παίζει σημαντικό ρόλο κατά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας για την ανίχνευση και εξαγωγή των δρόμων. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν οι εξής λόγοι καναλιών:

- NDVI: (εγγύς υπέρυθρο - κόκκινο) / (εγγύς υπέρυθρο + κόκκινο)

Ο λόγος αυτός χρησιμοποιήθηκε κατά την ταξινόμηση στο κατώτερο επίπεδο κατάτμησης με scale parameter 5 και δίνοντας όλο το βάρος της κατάτμησης στο χρώμα. Αυτό έγινε ώστε να είναι δυνατή η ταξινόμηση της βλάστησης και έπειτα ο αποκλεισμός της από τα παραπάνω επίπεδα ώστε να αποφευχθεί η περίπτωση κάποια περιοχή που περιέχει βλάστηση να ταξινομηθεί ως κάποια άλλη θεματική κατηγορία, για παράδειγμα γυμνό έδαφος.

- Water index: Μπλε / Εγγύς υπέρυθρο

Ο λόγος αυτός χρησιμοποιήθηκε για την ανάδειξη περιοχών σωμάτων νερού. Οι περιοχές που καλύπτονται με νερό πολύ συχνά δίνουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές σε κάποια κανάλια με κάποιες κατασκευές ακόμα και με κάποιους τύπους δρόμων.

- Shadow index: Difference to scene (σε υπέρυθρο κανάλι)

Η αφαίρεση που χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση των περιοχών της εικόνας που καλύπτονται από σκιάσεις προέκυψε από τα χαρακτηριστικά γνώρισμα που διαθέτει το eCognition. Οι σκιές είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την ταξινόμηση των δρόμων, διακόπτοντας πολλές φορές την συνεχή γεωμετρία τους. Το χαρακτηριστικό Difference to scene όταν χρησιμοποιείται στα υπέρυθρα κανάλια αναδεικνύει εύκολα και με μεγάλη ακρίβεια τις σκιές που παρουσιάζονται στην εικόνα και δίνει την δυνατότητα να ταξινομηθούν ως ξεχωριστή κατηγορία με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία τους ή απόκλισή τους από την ταξινόμηση τους ως άλλη κατηγορία. Για την μετέπειτα επεξεργασία της κατηγορίας 'σκιές' θα γίνει αναφορά με περισσότερες λεπτομέρειες παρακάτω.

4.3.4 Μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών

Από τις μεθόδους εξαγωγής χαρακτηριστικών, όπως έχει προαναφερθεί, πραγματοποιήθηκαν η μέθοδος Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis - PCA) και ο Μετασχηματισμός Ελαχιστοποίησης του θορύβου (Minimum Noise Fraction - MNF).

Από τις δύο παραπάνω μεθόδους, η μέθοδος των PCA έδωσε αρκετά ενδιαφέροντα αποτελέσματα, τα οποία τεκμηριώνουν την ικανότητα της μεθόδου για την καλύτερη επεξεργασία των υπερφασματικών απεικονίσεων και εν προκειμένω για την ανίχνευση και εξαγωγή των οδικών χαρακτηριστικών. Οι απεικονίσεις που προκύπτουν περιέχουν σημαντικά μειωμένο θόρυβο σε σχέση με τις αρχικές απεικονίσεις του δέκτη CASI (το μεγαλύτερο μέρος του θορύβου συγκεντρώνεται στα τελευταία κανάλια των μετασχηματισμών αυτών τα οποία δε χρησιμοποιούνται στις περαιτέρω αναλύσεις και επεξεργασίες).

Σε αντίθεση με την μέθοδο PCA τα αποτελέσματα της εφαρμογής MNF στα συγκεκριμένα δεδομένα ήταν λιγότερο χρήσιμη. Η φιλοσοφία των δύο μεθόδων είναι παραπλήσια και σε γενικές γραμμές η μέθοδος MNF φέρεται να δίνει καλύτερα αποτελέσματα στα υπερφασματικά δεδομένα. Στην εικόνας αυτές δεν διαπιστώθηκε κάτι τέτοιο και επομένως δεν έγινε χρήση των αποτελεσμάτων της μεθόδου MNF στην μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων.

Ανεξάρτητα από την μεταξύ τους σύγκριση, κοινό μειονέκτημα και των δύο μεθόδων αποτελεί το γεγονός ότι ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής τους (με συμμετοχή όλων ή όχι των καναλιών της απεικόνισης) αλλά και την αρχική απεικόνιση καθεαυτή, οι δύο αυτές μέθοδοι δεν παρουσιάζουν σταθερότητα ως προς τα αποτελέσματα και συνεπώς δε θα ήταν δυνατό να εξαχθούν γενικοί κανόνες συσχέτισης των αποτελεσμάτων τους με τους στόχους της παρούσας μελέτης και τυποποίηση της μεθοδολογίας. Οι συσχετίσεις αυτές θα πρέπει να διερευνώνται εκ νέου σε κάθε περιοχή μελέτης και σε κάθε νέα λήψη.

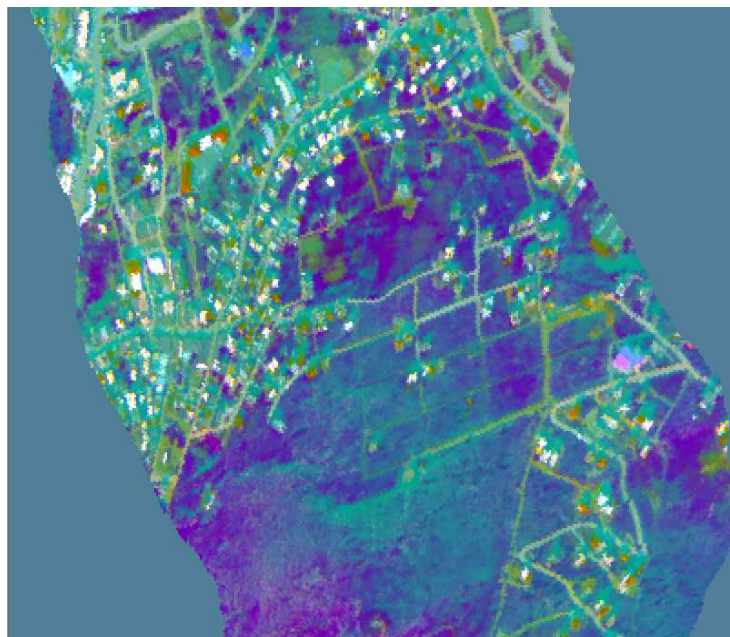
⇒ Εφαρμογή Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA)

Η μέθοδος της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών εφαρμόζεται ευρύτατα στην ψηφιακή τηλεπισκόπηση. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η συγκεκριμένη μέθοδος όταν εφαρμόζεται σε δεδομένα μεγάλης χωρικής διάστασης, όπως οι υπερφασματικές απεικονίσεις, δε λειτουργεί πάντα σωστά με αποτέλεσμα η πληροφορία να μη συγκεντρώνεται απαραίτητα στα πρώτα κανάλια των κυρίων συνιστωσών. Το γεγονός αυτό δεν διαπιστώθηκε στις απεικονίσεις μας και παρακάτω

παρατίθενται τα αποτελέσματα στις δύο υπο επεξεργασία εικόνες του Καναδά και της Χαλκίδας σε έγχρωμα σύνθετα, όπου χρησιμοποιήθηκαν όλα τα κανάλια των εικόνων ενώ μετά από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψαν έντεκα. Από αυτά τα έντεκα τα πέντε πρώτα χρησιμοποιήθηκαν καθώς τα υπόλοιπα περιείχαν αρκετά μεγάλο ποσοστό θορύβου.



Εικόνα 28: Έγχρωμο σύνθετο PC3,PC2,PC1 (R,G,B) των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών από την εφαρμογή της μεθόδου PCA στα ορατά κανάλια που καταγράφηκαν με τον δέκτη CASI (περιοχή: Calgary Καναδάς)

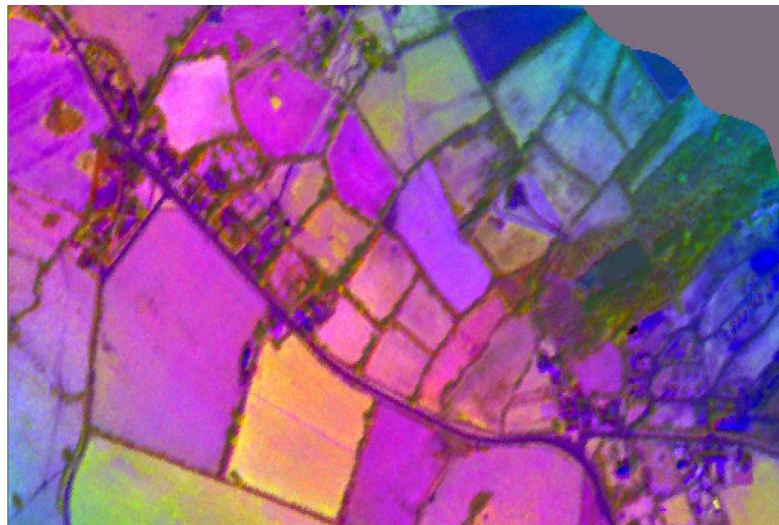


Εικόνα 29: Έγχρωμο σύνθετο PC1,PC2,PC3 (R,G,B) των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών από την εφαρμογή της μεθόδου PCA στα ορατά κανάλια που καταγράφηκαν με τον δέκτη CASI (περιοχή: Χαλκίδα)

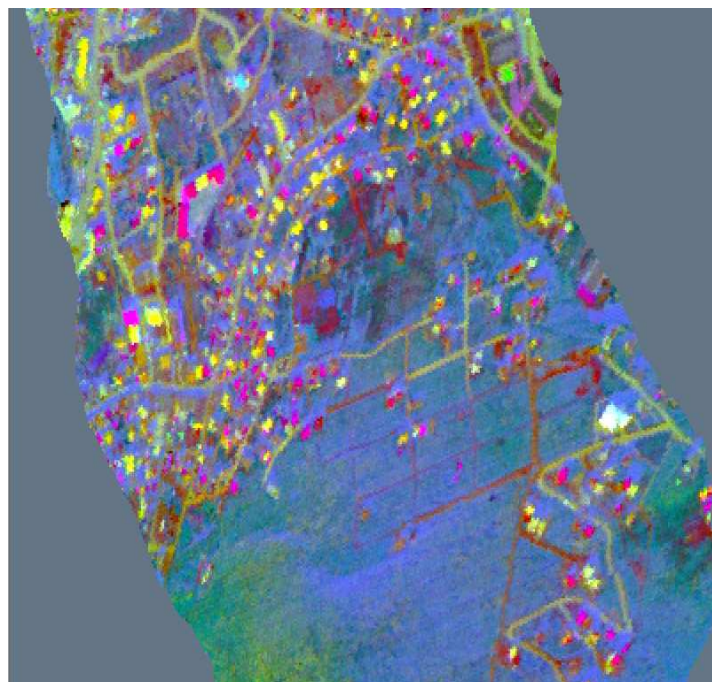
⇒ Εφαρμογή μεθόδου Minimum Noise Fraction (MNF)

Για την μέθοδο Ελαχιστοποίησης του Θορύβου (MNF), παρ' ότι δεν έδωσε τόσο αξιόλογα αποτελέσματα, παρατίθενται οι παραγόμενες εικόνες. Από τις δέκα τελικές συνιστώσες οι οποίες προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου με συμμετοχή όλων των καναλιών μόνο οι τρεις πρώτες είχαν κάποιο ενδιαφέρον για την εικόνα του Calgary και οι 3, 4 και 5 για την εικόνα της

Χαλκίδα. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται συνδυασμοί εγχρώμων συνθέτων για την περιοχή του Καναδά και της Χαλκίδας.



Εικόνα 30: Έγχρωμο σύνθετο MNF1,MNF2,MNF3 (R,G,B) (περιοχή: Calgary Καναδάς)



Εικόνα 31: Έγχρωμο σύνθετο MNF3,MNF4,MNF5 (R,G,B) (περιοχή: Χαλκίδα)

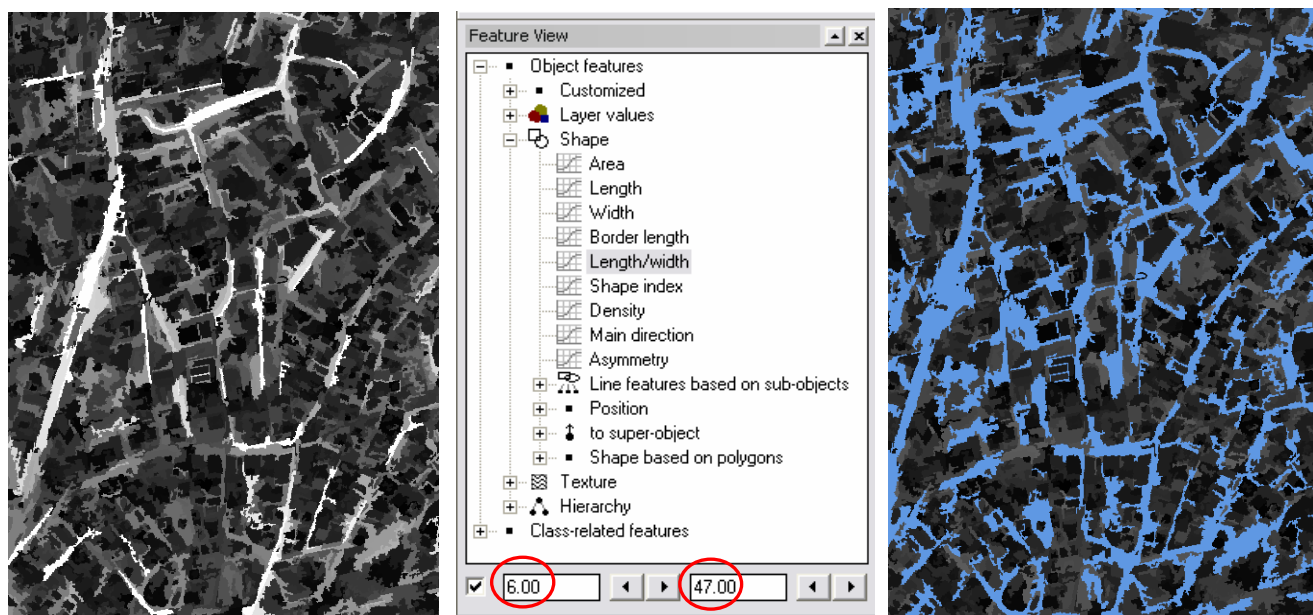
4.4 Εργαλεία – χαρακτηριστικά στο eCognition (features)

Πριν αναπτυχθούν οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν στις δύο απεικονίσεις για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου αναφέρονται κάποια εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τις μεθόδους αυτές που παρέχονται ως χαρακτηριστικά στο λογισμικό του eCognition (features).

- **Length:** Είναι το μήκος του αντικείμενου και ορίζεται ως η διαφορά των συντεταγμένων των ακραίων σημείων του. Χρησιμοποιείται πολλές φορές σαν κανόνας ανάλογα με το πόσο μεγάλο μήκος πρέπει να έχουν τα προς ανίχνευση αντικείμενα. Για παράδειγμα τα αντικείμενα των οροφών των κτιρίων συνήθως έχουν μικρότερο μήκος από αυτά του δρόμου

- **Border Length:** Το μήκος της πλευράς ενός αντικειμένου της εικόνας ορίζεται ως το άθροισμα των αποστάσεων μεταξύ των άκρων του αντικειμένου που συνορεύουν με άλλα αντικείμενα ή βρίσκονται στην άκρη της εικόνας. Η διαφορά με το χαρακτηριστικό “μήκος” είναι ότι δεν υπολογίζεται το μέγιστο μήκος του αντικειμένου αλλά το άθροισμα των πλευρών που συνορεύουν με άλλα αντικείμενα. Χρησιμοποιείται και αυτό κατά τον ίδιο τρόπο
- **Length / Width:** Ένα άλλο χρήσιμο χαρακτηριστικό είναι το μήκος προς πλάτος του πολυγώνου. Το πρόγραμμα υπολογίζει το μέγιστο μήκος και πλάτος του αντικειμένου και έπειτα τον λόγο μήκος προς πλάτος. Όπως είναι φυσικό ο λόγος αυτός αναδεικνύει τα μακρόστενα αντικείμενα και άρα είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο κατά τον εντοπισμό των δρόμων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ενός αντικειμένου τόσο πιο μακρόστενο είναι. Επιπλέον ο λόγος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αντίστροφα ώστε να αποφευχθεί η ταξινόμηση άλλων περιοχών ως δρόμοι
- **Absolute Mean Difference to Neighbors:** Είναι η μέση τιμή των διαφορών της μέσης τιμής ενός αντικειμένου από τις μέσες τιμές των γειτονικών πολυγώνων στο συγκεκριμένο κανάλι, δίνοντας βάρος στην κάθε μία διαφορά ανάλογο με το μήκος του συνόρου με το κάθε γειτονικό αντικείμενο. Αυτή η διαφορά στις φασματικές τιμές χρησιμεύει ιδιαίτερα στην ανίχνευση των κτιρίων γιατί συνήθως έχουν μεγάλες διαφορές στις τιμές με τα γύρω αντικείμενα και έτσι με την εφαρμογή αυτού του χαρακτηριστικού αναπαριστώνται με πολύ φωτεινούς τόνους
- **Mean Difference to Super-objects (ή Sub-objects):** Είναι η διαφορά της μέσης τιμής ενός αντικειμένου της εικόνας σε ένα επίπεδο και της μέσης τιμής του υπερ-αντικειμένου του (ή υπο-αντικειμένου). Με τη χρήση αυτού του χαρακτηριστικού ανιχνεύονται πιο εύκολα σε κάποιες περιπτώσεις οι οροφές των κτιρίων. Αυτό συμβαίνει διότι κάποιοι τύποι οροφών έχουν μεγάλη τιμή ανακλαστικότητας σε σχέση με τις γύρω θεματικές κατηγορίες. Η χρήση αυτού του χαρακτηριστικού δίνει καλύτερα αποτελέσματα όταν δημιουργηθεί ένα ανώτερο επίπεδο με πολύ μεγαλύτερη κλίμακα έτσι ώστε να ομογενοποιηθούν τα φασματικά χαρακτηριστικά της περιοχής και να υπολογιστεί η διαφορά της μέσης τιμής των οροφών από τη μέση τιμή αυτής της νέας μεγάλης περιοχής
- **Mean Difference to Scene:** Είναι η διαφορά της μέσης τιμής ενός αντικειμένου της εικόνας με την μέση τιμή του συνόλου της εικόνας. Όταν υπολογίζεται σε ένα υπέρυθρο κανάλι συμβάλει στην καλύτερη ανίχνευση και ταξινόμηση των περιοχών σκίασης. Αυτό συμβαίνει διότι στο υπέρυθρο αλλά και στο σύνολο της εικόνας οι σκιές έχουν πολύ μικρή ανακλαστικότητα με αποτέλεσμα η διαφορά των μέσων τιμών να είναι και πάλι μικρή και να απεικονίζονται μαύρες
- **Density:** Υπολογίζεται από την περιοχή της εικόνας που καλύπτεται από το αντικείμενο διαιρούμενη με την ακτίνα του και εκφράζει το πόσο συμπαγές είναι ένα αντικείμενο. Η χρήση του έγινε με σκοπό να μειωθούν τα αντικείμενα που βρίσκονταν στα πλάγια των δρόμων και ταξινομήνταν λανθασμένα ως οροφές κτιρίων ή χωματόδρομοι καθώς οι οροφές είναι συμπαγή αντικείμενα ενώ οι χωματόδρομοι αντίστοιχα όχι

Ο τρόπος με τον οποίο έγινε η επιλογή των συναρτήσεων συμμετοχής για τους κανόνες που χρησιμοποιούσαν τα παραπάνω χαρακτηριστικά έγινε μέσω της διαδικασίας feature view του λογισμικού του eCognition. Αρχικά παρουσιάζεται η εικόνα του κάθε χαρακτηριστικού, όπου όσο πιο φωτεινό παρουσιάζεται το κάθε αντικείμενο τόσο μεγαλύτερη τιμή λαμβάνει η συνάρτηση για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Ακολουθεί πειραματισμός για τα όρια της συνάρτησης. Αναλόγως τα όρια τα οποία τίθενται τα αντικείμενα που περιλαμβάνονται στη συνάρτηση παρουσιάζονται με μπλε χρώμα. Έτσι ο πειραματισμός ολοκληρώνεται όταν απεικονιστούν με μπλε χρώμα τα αντικείμενα που θα πρέπει να συγκεντρωθούν για τον συγκεκριμένο κανόνα.



Εικόνα 32: Εικόνα του χαρακτηριστικού length/width (αριστερά), επιλογή των ορίων της συνάρτησης length/width (μέση), επιλογή αντικειμένων με βάση τα όρια της συνάρτησης (δεξιά)

Κατά τον ίδιο τρόπο επιλέχθηκαν τα όρια των συναρτήσεων συμμετοχής για όλα τα χαρακτηριστικά που συμπεριλήφθηκαν στους κανόνες ταξινόμησης όπως και για τους λόγους NDVI και Water Index.

4.5 Μεθοδολογία ανίχνευσης και εξαγωγής του οδικού δικτύου στην εικόνα του Calgary

Αρχικά εισάγονται στο λογισμικό eCognition οι απεικονίσεις επιλέγοντας όλα τα κανάλια (layers) της απεικόνισης που χρειάζονται. Σε αυτό το στάδιο, υπάρχει η δυνατότητα απαλλαγής από τα κανάλια που για κάποιο λόγο περιέχουν μεγάλο ποσοστό θορύβου είτε λόγω προβλημάτων του δέκτη κατά την σάρωση είτε για άλλους λόγους. Ωστόσο μπορεί κανείς να εισάγει όλα τα κανάλια και απλώς να μην συμπεριλάβει στις μετέπειτα διαδικασίες όσα παρουσιάζουν προβλήματα. Επίσης μπορούν να εισαχθούν δεδομένα από περισσότερες από μια απεικονίσεις. Για παράδειγμα να εισαχθούν τα αρχικά κανάλια της απεικόνισης μαζί με τα κανάλια τα οποία προέκυψαν από την εφαρμογή της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών, ώστε να διευκολυνθούν κάποιες διαδικασίες που θα λάβουν χώρα αργότερα.

Εισάγοντας την εικόνα υπάρχει η δυνατότητα με βάση το φυσικό έγχρωμο σύνθετο (R,G,B) ή και άλλα έγχρωμα σύνθετα να αποκτηθεί μια πρώτη εικόνα για την περιοχή μελέτης, τα πρώτα στοιχεία που διακρίνονται και κάποια απλά συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά της περιοχής, ενώ το επόμενο βήμα είναι να αρχίσουν οι πρώτοι πειραματισμοί όσον αφορά την κατάρτιση της εικόνας.

4.5.1 Προσέγγιση I: Χρήση των καναλιών του δέκτη και των Κύριων Συνιστωσών

4.5.1.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Για την διερεύνηση αυτής της μεθόδου μελετήθηκαν και επεξεργάστηκαν τόσο τα δεδομένα που προκύπτουν από τα κανάλια του δέκτη CASI, για την απεικόνιση του Calgary, όσο και από τις κύριες συνιστώσες που είχαμε ήδη δημιουργήσει. Έτσι υπήρξε η δυνατότητα να ληφθούν υπ' όψιν ταυτόχρονα περισσότερα δεδομένα και να γίνει χρήση των όποιων χρειαζόντουσαν κάθε φορά για την εκάστοτε επεξεργασία.

Όπως έχει αναφερθεί ήδη, ο προσδιορισμός των παραμέτρων της κατάτμησης δεν είναι μια απλή διαδικασία. Απαιτούνται πολλές και επαναλαμβανόμενες δοκιμές έως ότου να προκύψουν οι πιο κατάλληλες κατατμήσεις για την συγκεκριμένη απεικόνιση και ανάλογα πάντα με τον σκοπό της εργασίας. Κατά τη διαδικασία μίας αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης συνήθως δημιουργούνται περισσότερα από ένα επίπεδα κατάτμησης με διαφορετικές παραμέτρους το κάθε ένα. Παρά το γεγονός ότι η συγκεκριμένη απεικόνιση δεν περιλαμβάνει μεγάλο ποσοστό θορύβου, κρίθηκε σκόπιμο και εν τέλει έδωσε καλύτερα αποτελέσματα, να πραγματοποιηθεί η κατάτμηση της εικόνας με τις κύριες συνιστώσες και όχι τα κανάλια του δέκτη. Πιο συγκεκριμένα δόθηκε μεγαλύτερο βάρος (2.0) στις τρεις πρώτες συνιστώσες, οι οποίες περιλαμβάνουν και το μεγαλύτερο ποσοστό πληροφορίας και το μισό βάρος (1.0), στην τέταρτη και την πέμπτη. Ωστόσο δεν συμπεριλήφθηκαν καθόλου οι κύριες συνιστώσες πέραν της πέμπτης διότι το ποσοστό πληροφορίας που περιείχαν ήταν πολύ μικρό ενώ ο θόρυβος περισσότερος.

Στόχος σε πρώτη φάση, για την ανίχνευση και την εξαγωγή του οδικού δικτύου είναι να δημιουργηθεί κάποιο επίπεδο κατάτμησης στο οποίο τα αντικείμενα που δημιουργούνται να είναι αντιπροσωπευτικά κάποιων κύριων κατηγοριών γης όπως η βλάστηση ή η θάλασσα ώστε να είναι δυνατόν να απαλλαχθούν από αυτές τα επόμενα στάδια της επεξεργασίας. Για αυτόν τον λόγο, δημιουργήθηκε αρχικά ένα κατώτερο επίπεδο κατάτμησης, με scale parameter 5 και με έμφαση στα χρώμα (1.0), ώστε να διαχωριστούν έπειτα με την βοήθεια των λόγων NDVI και Water Index (οι οποίοι έχουν αναφερθεί παραπάνω), οι περιοχές βλάστησης και οι περιοχές που καλύπτονται από νερό. Αφού ταξινομηθούν αυτές οι δύο κατηγορίες κάλυψης του εδάφους ακολουθεί η επεξεργασία της εικόνας αποβάλλοντάς αυτές από τα παραπάνω επίπεδα, με τον κανόνα να μην ταξινομηθεί τίποτα που έχει ταξινομηθεί ως βλάστηση ή νερό στο κάτω επίπεδο. Έτσι στην Εικόνα 33, παρουσιάζεται η ταξινόμηση της απεικόνισης του Calgary στο πρώτο επίπεδο. Η βλάστηση απεικονίζεται με τρεις διαφορετικές αποχρώσεις του πράσινου για τρεις διαβαθμίσεις πυκνότητας και υγείας της, ενώ με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται η περιοχή υδατοκάλυψης πάνω από τον οικισμό που βρίσκεται στο δεξί μέρος της εικόνας. Όπως είναι φανερό, τίποτα άλλο δεν έχει ταξινομηθεί σε αυτό το επίπεδο, οπότε οι δρόμοι τα κτίρια και οι λοιπές χρήσεις γης φαίνονται με τα φυσικά τους χρώματα.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	5	1.0	-	-	-

Πίνακας 3: Κατάτμηση στο επίπεδο 1

- NDVI: $(L_{829.6} - L_{668.5}) / (L_{829.6} + L_{668.5})$
- Water Index: $L_{498.2} / L_{748.8}$

και οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τους λόγους μετά από διερεύνηση βάσει ραδιομετρίας της συγκεκριμένης εικόνας προέκυψαν για τον δείκτη του νερού πάνω από 0.71 και για τον NDVI από 0.09 έως 1, ενώ οι συγκεκριμένες τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε διαβάθμιση της βλάστησης καθώς και οι αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 4).



Εικόνα 33: Ταξινόμηση της εικόνας του Calgary στο επίπεδο 1

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Νερό	Water index		0.69	0.73
Βλάστηση αραιή	NDVI		0.09	0.45
Βλάστηση μέτρια	NDVI		0.4	0.75
Βλάστηση πυκνή	NDVI		0.7	0.8

Πίνακας 4: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής για το επίπεδο 1

Εδώ θεωρείται σκόπιμο να αναφερθούν και οι κανόνες που ισχύουν για τα δύο επίπεδα της ταξινόμησης. Η ιεραρχία των επιπέδων πέρα από την ονομασία των επιπέδων καθορίζεται και με το χαρακτηριστικό (feature) Level. Η συνάρτηση συμμετοχής είναι αυτή που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα έτσι ώστε να ισχύει για μία μόνο τιμή. Έτσι οι τιμές αυτές είναι το 1 και το 2 για το πρώτο και δεύτερο επίπεδο αντίστοιχα. Στο δεύτερο επίπεδο όμως εκτός από αυτό ορίζονται και δύο επιπλέον κανόνες για τον αποκλεισμό των περιοχών που έχουν ταξινομηθεί ως βλάστηση και νερό για τις περαιτέρω διαδικασίες. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται οι κανόνες: Not existence of water (sub-objects) και Related area of vegetation (sub-objects). Ο πρώτος κανόνας αποβάλλει από την ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου απευθείας όποιο αντικείμενο περιλαμβάνει υποαντικείμενο που έχει ταξινομηθεί στο πρώτο επίπεδο ως νερό, ενώ ο δεύτερος κανόνας εξετάζει το ποσοστό της περιοχής που έχει ταξινομηθεί ως βλάστηση. Και οι δύο κανόνες βέβαια λειτουργούν με βάση τις συναρτήσεις συμμετοχής που έχουν οριστεί και τα όριά τους.

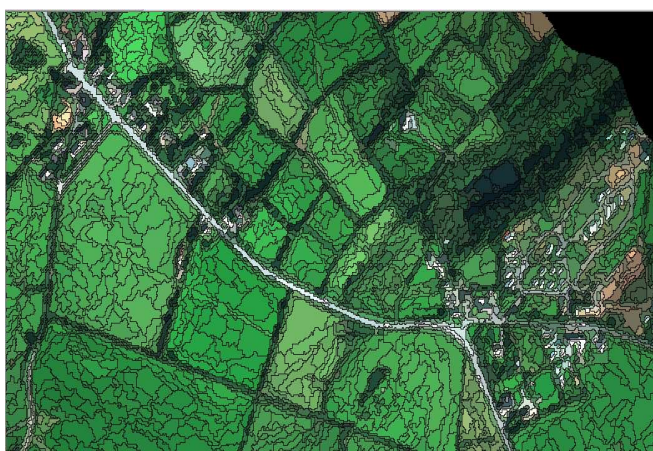
Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2
2	Level		1	3
	Not existence of water (subobjects)		0.1	0.2
	Related area of vegetation (subobjects)		0.5	0.7

Πίνακας 5: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα δύο επίπεδα

Έπειτα άρχισε η αναζήτηση ενός επιπέδου που θα περιέχει μεγαλύτερης κλίμακας αντικείμενα ώστε να μπορούν τμήματα των δρόμων της εικόνας να αντιπροσωπεύονται καλύτερα από αυτά. Οι δρόμοι αν και αποτελούν το κύριο μέλημα σε αυτή την εργασία δε είναι και οι μόνοι που θα πρέπει να αποδοθούν καλά σε αυτό το επίπεδο. Επειδή πρόκειται για το κύριο επίπεδο κατάτμησης στο οποίο επρόκειτο να γίνουν οι περισσότερες διαδικασίες όπως και η ταξινόμηση στόχος ήταν οι κυριότερες κατηγορίες κάλυψης του εδάφους, όπως τα κτίρια και άλλες να αποδοθούν και αυτές σε μεγάλο βαθμό μέσα από τα αντικείμενα της εικόνας που θα προέκυπταν. Συνεπώς ο καθορισμός των παραμέτρων της κατάτμησης σε αυτό το επίπεδο έγινε ακόμα πιο σύνθετος και έπρεπε να βρεθεί η χρυσή τομή μεταξύ των παραμέτρων του χρώματος, της μορφής και των υπολοίπων που θα έδινε το πιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα συνολικά. Έπειτα από αρκετές δοκιμαστικές κατατμήσεις καταλήξαμε σε αυτήν με scale parameter: 20, color: 0.2, shape: 0.8, smoothness: 0.9 και compactness: 0.1. Η κατατετμημένη εικόνα παρουσιάζεται παρακάτω. Στην Εικόνα 34, φαίνεται μια γενική άποψη της κατατετμημένης εικόνας όπου παρατηρούμε πως τα αντικείμενα στις περιοχές βλάστησης δεν είναι αντιπροσωπευτικά, αλλά πολύ μικρότερα και αυτό γιατί οι παράμετροι ρυθμίστηκαν προκειμένου να αποδίδουν σωστά τους δρόμους και τις υπόλοιπες κατηγορίες και όχι την βλάστηση. Αυτό γίνεται κατανοητό στην Εικόνα 35, όπου η κατατετμημένη εικόνα φαίνεται σε μεγέθυνση και μπορούμε να δούμε πως ολόκληρα τμήματα των δρόμων αλλά και άλλες κατηγορίες χρήσεων γης όπως τα κτίρια ή το γυμνό έδαφος αποδίδονται σε μεγάλο βαθμό καλά από τα δημιουργημένα αντικείμενα.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	20	0.2	0.8	0.9	0.1

Πίνακας 6: Κατάτμηση στο επίπεδο 2



Εικόνα 34: Εικόνα του Calgary στο Level 2 μετά την κατάτμηση



Εικόνα 35: Εικόνα του Calgary στο Level 2 μετά την κατάτμηση σε μεγέθυνση

Εφόσον επιτεύχθηκε μια ικανοποιητική κατάτμηση της εικόνας (αν και αυτό είναι κάτι που μπορεί να ειπωθεί μετά από τα αποτελέσματα της ταξινόμησης), επόμενο βήμα ήταν ο πειραματισμός στους κανόνες που θα περιέγραφαν κάθε κατηγορία της ταξινόμησης. Είναι σκόπιμο, κάθε φορά που δοκιμάζεται κάτι καινούριο να εκτελείται μια προσωρινή ταξινόμηση για να ελέγχεται πως επηρεάζει η κάθε αλλαγή το αποτέλεσμα. Οι παράμετροι και τα χαρακτηριστικά που προσφέρει για επεξεργασία το eCognition σε συνδυασμό με τον πολυδιάστατο χαρακτήρα των υπερφασματικών δεδομένων δίνουν την αντίληψη πως οι συνδυασμοί που μπορούν να γίνουν είναι άπειροι. Γι' αυτό είναι πολύ δύσκολο να αποφασιστεί η κατάλληλη σειρά κανόνων και παραμέτρων της ταξινόμησης. Επιπλέον είναι αναγκαία η μελέτη και παρατήρηση των διάφορων χαρακτηριστικών και των τιμών που λαμβάνουν ένα προς ένα. Παρακάτω αναφέρουμε τους κανόνες και τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής οι οποίες ορίστηκαν για την συγκεκριμένη μέθοδο. Πρώτα όμως θεωρείται σωστό να αναφερθούν κάποια πράγματα για τα βασικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις κατηγορίες της ταξινόμησης.

4.5.1.2 Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής κατά την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Έτσι λοιπόν, έπειτα από μεγάλο αριθμό πειραματισμών με τα παραπάνω, αποφασίστηκαν οι παρακάτω κανόνες και τιμές για την κάθε κατηγορία (Πίνακας 7) ενώ πριν από τον πίνακα των κανόνων της ταξινόμησης παρατίθεται η εικόνα με τα δείγματα εκπαίδευσης (samples) που λήφθηκαν για την λειτουργία του “Εγγύτερου Γείτονα” (Εικόνα 36):



Εικόνα 36: Δείγματα που λήφθηκαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Δρόμοι	or	Length/width		4	6
		Not bare soil Not Water		14	28
		Mean Diff. To neighbors (abs band: 431.1 nm)		30	40
Οροφές (1)	and	Border length		0.09	0.45
Οροφές (2)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Οροφές (Κεραμίδι)	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length/width		2	3
Γυμνό έδαφος (1)	and	Length/width		2	4
		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Not road Not roofs 1		1.1	2
Γυμνό έδαφος (2)	and	Density		5.9	61
		Length		20	22
		Standard Nearest Neighbor	-	-	-

Πίνακας 7: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για της ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαφορετικοί τύποι οροφών και γυμνού εδάφους έγινε διότι χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί κανόνες για την ταξινόμησή τους. Η ταξινόμηση είναι αυτή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

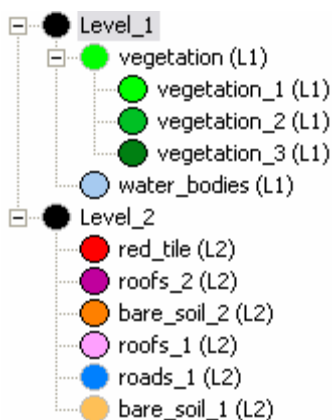


Εικόνα 37: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Η ταξινόμηση που επιτεύχθηκε θεωρείται αρκετά ικανοποιητική. Ταξινομήθηκε σωστά το μεγαλύτερο μέρος της κύρια οδικής αρτηρίας αλλά και γενικότερα του οδικού δικτύου. Δεν ταξινομήθηκαν σωστά κάποιοι μικροί δρόμοι εντός των οικισμών και ένα χωματόδρομος ενώ

παρατηρήθηκαν και κάποια προβλήματα κατά την ανίχνευση των δρόμων λόγω της παρόδιας βλάστησης τα οποία θα αναλυθούν και στην συνέχεια.

Η ιεραρχία των κατηγοριών αυτής της εργασίας φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 38:



Εικόνα 38: Ιεραρχία κατηγοριών για το σύνολο της εργασίας

4.5.2 Προσέγγιση II: Χρήση των καναλιών που προκύπτουν από τις Μεθόδους Επιλογής Χαρακτηριστικών

4.5.2.1 Κατάμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Κατά την ανάπτυξη αυτής της μεθοδολογίας έγινε χρήση μόνο των καναλιών που προέκυψαν από τις Μεθόδους Επιλογής Χαρακτηριστικών και ορισμένων άλλων που χρησιμεύουν για συγκεκριμένους σκοπούς, όπως για παράδειγμα η δημιουργία των λόγων. Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω τα κανάλια που προέκυψαν από την ανάλυση συσχέτισης είναι τα κανάλια 12, 15, 18, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 και 37 του CASI. Ο πίνακας παρακάτω (Πίνακας 8) δείχνει τα μήκη κύματος του φάσματος στα οποία αντιστοιχούν τα κανάλια αυτά.

Κανάλι	Μήκος κύματος (nm)
6	487.0
12	554.6
15	588.7
18	622.8
22	668.5
23	679.9
24	691.4
25	702.9
26	714.4
27	725.8
28	737.3
37	841.1

Πίνακας 8: Κανάλια του CASI που προέκυψαν από την ανάλυση συσχέτισης και τα μήκη κύματος στα οποία αντιστοιχούν

Όπως και στην προηγούμενη μέθοδο που αναπτύχθηκε για την εικόνα του Calgary το πρώτο επίπεδο κατάμησης έγινε με τις ίδιες ακριβώς παραμέτρους (scale parameter:5, color:1), με την μόνη διαφορά ότι εδώ δεν υπάρχουν τα κανάλια που προέκυψαν από την Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών και έτσι συμπεριλήφθηκαν σε αυτήν την διαδικασία όλα τα προαναφερθέντα κανάλια

ισοβαρώς. Ίδια είναι η διαδικασία και για την δημιουργία κατηγοριών και την ταξινόμηση σε αυτό το επίπεδο. Και πάλι με χρήση των λόγων NDVI και Water Index εντοπίστηκαν σε αυτό το πρώτο επίπεδο οι περιοχές που καταλαμβάνονται από βλάστηση και νερό και εξαιρέθηκαν από τις μετέπειτα επεξεργασίες.

- NDVI: $(L_{841.1} - L_{668.5}) / (L_{841.1} + L_{668.5})$
- Water Index: $L_{487.0} / L_{737.3}$

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	5	1.0	-	-	-

Πίνακας 9: Κατάτμηση στο επίπεδο 1

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης σε αυτό το επίπεδο φαίνεται στην Εικόνα 39 και όπως είναι αναμενόμενο δεν διαφέρει σε τίποτα από αυτό της προηγούμενης μεθόδου. Επιπλέον παρατίθεται και ο πίνακας με τις παραμέτρους της ταξινόμησης (Πίνακας 10).



Εικόνα 39: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Νερό	Water index		0.30	0.36
Βλάστηση αραιή	NDVI		0.15	0.45
Βλάστηση μέτρια	NDVI		0.4	0.75
Βλάστηση πυκνή	NDVI		0.7	0.8

Πίνακας 10: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1

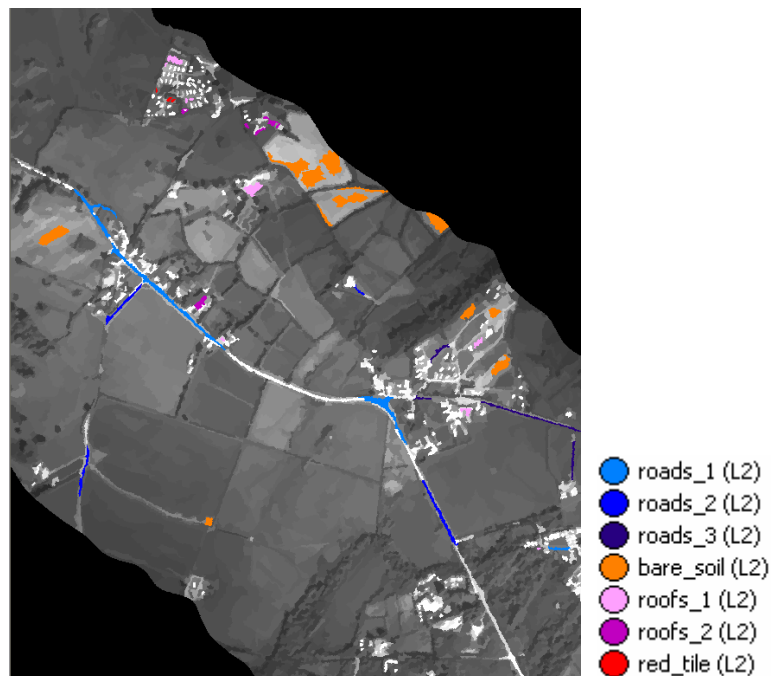
Οι κάποιες διαφορές που υπάρχουν στα όρια των συναρτήσεων συμμετοχής σε σχέση με την προηγούμενη εργασία οφείλονται στο γεγονός ότι δεν χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια ακριβώς κανάλια κατά την δημιουργία των λόγων στο eCognition. Αυτό συνέβη διότι εδώ έγινε χρήση περιορισμένου αριθμού καναλιών του δέκτη και δεν υπήρχαν αυτά που εκπέμπουν στο ίδιο ακριβώς μήκος κύματος με αυτά της προηγούμενης εργασίας.

4.5.2.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Στο δεύτερο επίπεδο αυτής της εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν και πάλι οι ίδιες παράμετροι κατάτμησης με την προηγούμενη εργασία στον αντίστοιχο επίπεδο, οι οποίες είναι scale parameter: 20, color: 0.2, shape: 0.8, smoothness: 0.9, compactness: 0.1, δίνοντας ιδιαίτερο βάρος στο σχήμα και όχι στο χρώμα. Η διαφορά με την πρώτη εργασία είναι στον τρόπο με τον οποίο έγινε η ταξινόμηση. Αυτή τη φορά δεν έγινε χρήση μόνο κανόνων αλλά λήφθηκαν δείγματα (samples) για την κάθε κατηγορία και η ταξινόμηση έγινε με χρήση του “Εγγύτερου Γείτονα” (Nearest Neighbor). Επίσης έγιναν κάποιες αλλαγές στην δημιουργία των κατηγοριών διότι έτσι διευκολύνθηκε η λήψη των δειγμάτων. Τα δείγματα που λήφθηκαν όπως και οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	20	0.2	0.8	0.9	0.1

Πίνακας 11: Κατάτμηση στο επίπεδο 2




Εικόνα 40: Δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση - υπόμνημα

Πριν ακολουθήσει η ανάλυση της ταξινόμησης του επιπέδου 2, παρατίθεται ο πίνακας με τα χαρακτηριστικά των δύο επιπέδων.

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2
2	Level		1	3
	Related area of water (subobjects)		0.3	0.4
	Related area of vegetation (subobjects)		0.45	0.5

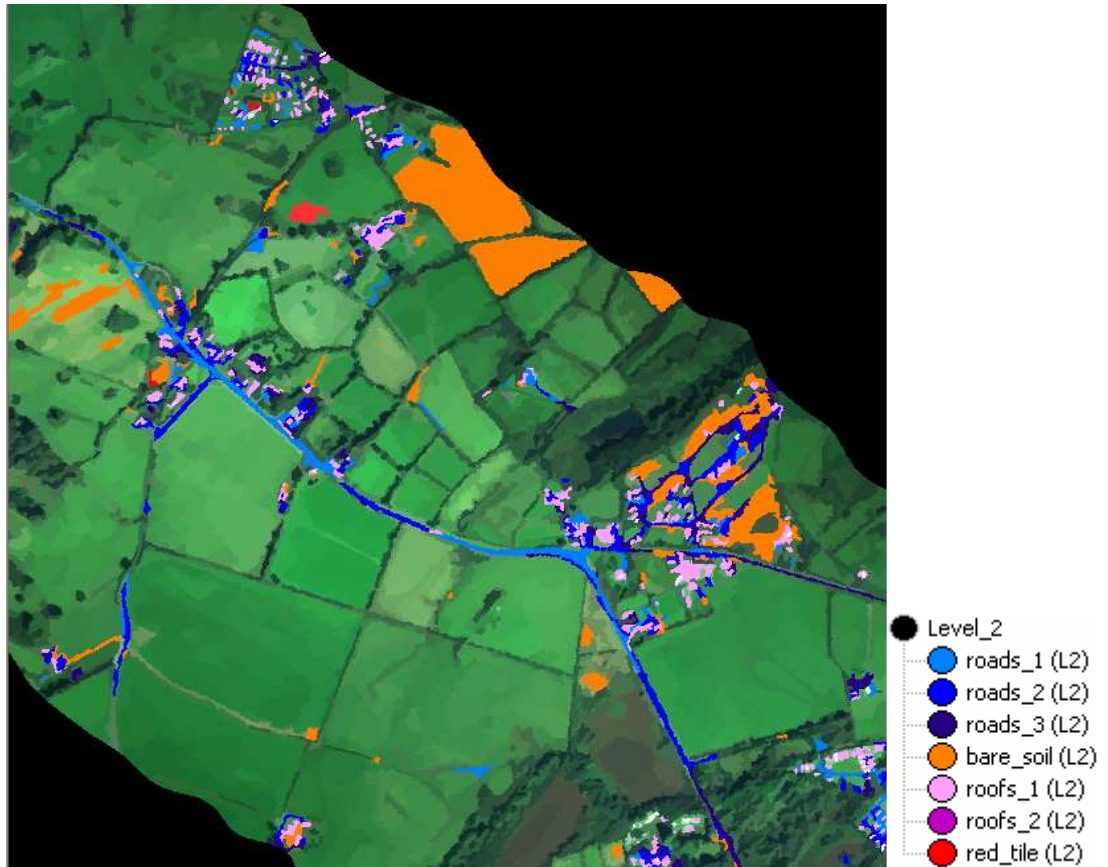
Πίνακας 12: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα δύο επίπεδα

Έτσι παρακάτω παρατίθεται ένα πίνακας που περιέχει τις πληροφορίες για το τρόπο που έγινε η ταξινόμηση. Οι λόγοι για τους οποίους δημιουργήθηκαν περισσότεροι από έναν τύποι δρόμων είναι λόγοι πειραματισμού αλλά και μιας προσπάθειας κατηγοριοποίησής τους. Ο κάθε τύπος δρόμου έχει διαφορετική φασματική υπογραφή και ερευνήθηκε το πως συμπεριφέρεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης για τον κάθε ένα. Στην πραγματικότητα ο τρόπος με τον οποίο καταχωρίζονται τα δείγματα εκπαίδευσης στο eCognition δείχνει ότι δεν θα υπήρχε καμία διαφορά είτε αυτά τα δείγματα ανήκαν σε μία κατηγορία είτε σε περισσότερες. Το ίδιο ισχύει και για τις οροφές των κτιρίων και γενικότερα για όλες μεθοδολογίες που ακολουθούν. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε ο κανόνας του μήκους συνόρου του αντικειμένου (border length) για την κατηγορία Οροφές (2) είναι ότι οι οροφές αυτού του τύπου έχουν ιδιαίτερα παρόμοιες φασματικές υπογραφές με τους δρόμους και με αυτόν τον τρόπο περιορίστηκε η πιθανότητα κάποιοι δρόμοι να ταξινομηθούν ως οροφές. Παρ' όλα αυτά σε κάποιες περιπτώσεις αυτό δεν ήταν δυνατόν να αποφευχθεί.

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Δρόμοι (1)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Δρόμοι (2)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Δρόμοι (3)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Οροφές (1)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Οροφές (2)	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Border Length		2	4
Οροφές (Κεραμίδι)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Γυμνό έδαφος		Standard Nearest Neighbor	-	-	-

Πίνακας 13: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Έπειτα, παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης και του επιπέδου 2 καθώς και η ιεραρχία των κατηγοριών ταξινόμησης που χρησιμεύει και ως υπόμνημα της ταξινόμησης (Εικόνα 41).



Εικόνα 41: Ταξινόμηση της εικόνας του Calgary και ιεραρχία των κατηγοριών ταξινόμησης

Η ταξινόμηση θεωρείται και πάλι ότι έδωσε αρκετά καλό αποτέλεσμα και εν γένει όλες οι προσεγγίσεις που αναπτύχθηκαν για την απεικόνιση του Calgary κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Παρέμειναν τα προβλήματα εντός των οικισμών και της παρόδιας βλάστησης, ενώ η προσπάθεια κατηγοριοποίησης των δρόμων δεν απέδωσε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Παρόλα αυτά, εξήχθησαν κάποια συμπεράσματα για την φασματική συμπεριφορά κάθε τύπου δρόμου και το πως επηρεάζει την ανάλυση και την ταξινόμηση.

4.5.3 Προσέγγιση III: Ταξινόμηση με χρήση του “Εγγύτερου Γείτονα” στα κανάλια των Κύριων Συνιστωσών

Σε αυτήν την μέθοδο έγινε ταξινόμηση της εικόνας με χρήση του ταξινομητή του “Εγγύτερου Γείτονα”, στα δεδομένα που προκύπτουν από την Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών της εικόνας. Στο λογισμικό εισήχθησαν τα κανάλια του δέκτη CASI που ήταν χρήσιμα για κάποιες εργασίες και αυτά των PCA.

4.5.3.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Η κατάτμηση και η ταξινόμηση στο επίπεδο 1 δεν διαφέρουν και πάλι με αυτές που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες εργασίες. Έτσι απλά παρατίθενται οι απαραίτητες πληροφορίες για αυτές και το αποτέλεσμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την κατάτμηση του πρώτου επιπέδου χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα κανάλια του CASI, σε αντίθεση όπως θα δούμε με το τι έγινε στην κατάτμηση του δεύτερου επιπέδου.

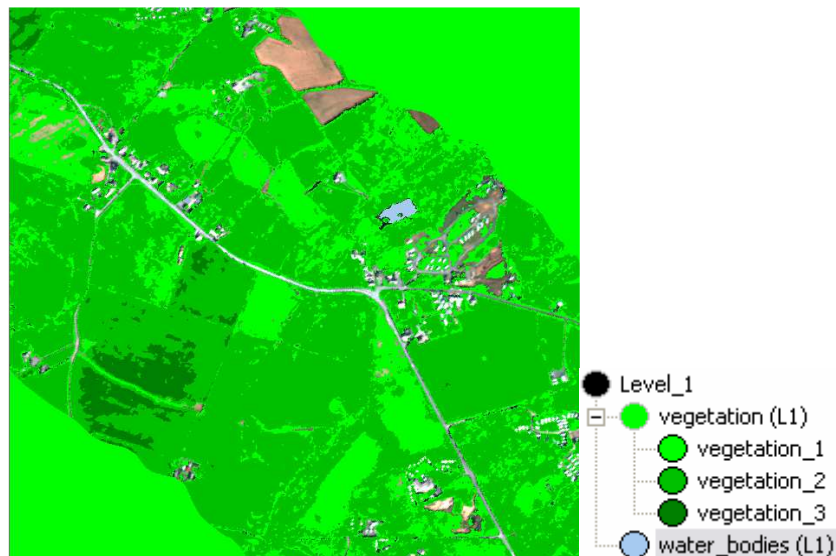
Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	5	1.0	-	-	-

Πίνακας 14: Κατάτμηση στο επίπεδο 1

- NDVI: $(L_{829.6} - L_{657.0}) / (L_{829.6} + L_{657.0})$
- Water Index: $L_{498.2} / L_{748.8}$
-

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Νερό	Water index		0.69	0.73
Βλάστηση αραιή	NDVI		0.09	0.45
Βλάστηση μέτρια	NDVI		0.4	0.75
Βλάστηση πυκνή	NDVI		0.7	0.8

Πίνακας 15: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1



Εικόνα 42: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1

4.5.3.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Η κατάτμηση του δεύτερου επιπέδου παραμένει και αυτή ίδια με τις προηγούμενες εργασίες με scale parameter: 20, color: 0.2, shape: 0.8, smoothness: 0.9 και compactness: 0.1, αφού έχει αποδειχθεί ότι λειτουργεί πολύ καλά έως τώρα. Αυτή τη φορά, η χρήση των καναλιών κατά την κατάτμηση ήταν όπως στην πρώτη εργασία και όχι όπως την δεύτερη. Δηλαδή δεν λήφθηκαν υπ' όψιν τα κανάλια του δέκτη αλλά μόνο αυτά των PCA και μάλιστα στα τρία πρώτα δόθηκε διπλάσιο βάρος από ότι στο τέταρτο και το πέμπτο. Πέραν του πέμπτου δεν χρησιμοποιήθηκαν γιατί όπως έχει αναφερθεί και πρωτύτερα περικλείουν μεγάλο ποσοστό θορύβου. Ο λόγος που απορρίφθηκαν από αυτή την διαδικασία τα κανάλια του CASI είναι ότι κατά την ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου, όπως έχει προαναφερθεί, θα γίνει χρήση των καναλιών των Κύριων Συνιστωσών. Υπάρχει δηλαδή μια διαφοροποίηση στα δεδομένα με τα οποία έγινε η κατάτμηση των δύο επιπέδων, κάτι που δεν είχε γίνει στην πρώτη μέθοδο που αναπτύχθηκε. Στην συνέχεια παρατίθενται τα δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση, υπενθυμίζοντας πως αυτή τη φορά τα δείγματα περιλάμβαναν τα δεδομένα των PCA και όχι των καναλιών του CASI (Εικόνα 43).

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	20	0.2	0.8	0.9	0.1

Πίνακας 16: Κατάτμηση στο επίπεδο 2



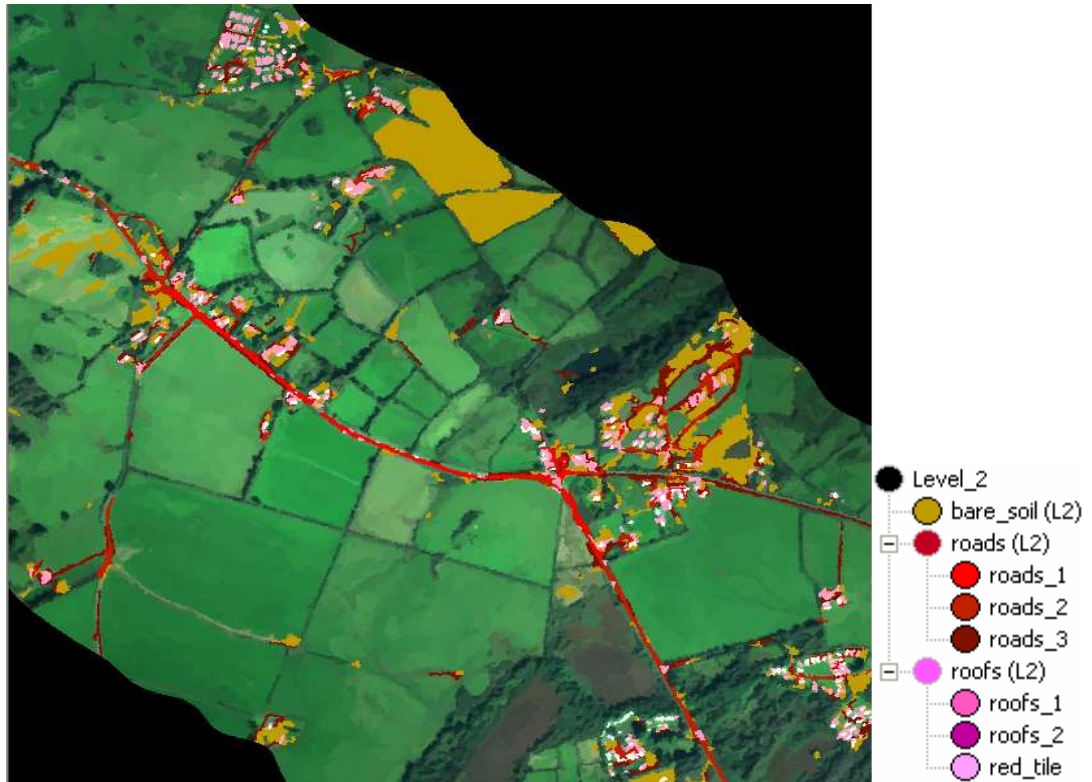
Εικόνα 43: Δείγματα που λήφθηκαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Πρέπει να σχολιάσουμε το γεγονός ότι στην παραπάνω εικόνα φαίνεται να έχουν ληφθεί ως δείγματα μεγάλα τμήματα των δρόμων, κάτι που δεν είναι ιδιαίτερα σκόπιμο αφού το θεμιτό θα ήταν με όσο το δυνατόν λιγότερα δείγματα να έχουμε το καλύτερο αποτέλεσμα ταξινόμησης. Όμως ο λόγος που έγινε κάτι τέτοιο είναι ότι προέκυψαν τέτοια αντικείμενα από την κατάτμηση με διαφορετικές ωστόσο φασματικές υπογραφές. Επομένως δεν γινόταν να αγνοηθούν. Έπειτα, παρατίθεται ο πίνακας με τις παραμέτρους τις ταξινόμησης (Πίνακας 17). Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι ο “Εγγύτερος Γείτονας” εφαρμόστηκε μόνο για τις πέντε πρώτες Κύριες Συνιστώσες.

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Δρόμοι (1)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length / width		3	5
Δρόμοι (2)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length / width		3	5
Δρόμοι (3)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length / width		3	5
Οροφές (1)	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length		2	4
Οροφές (2)	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length		2	4
Οροφές (Κεραμίδι)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Γυμνό έδαφος		Standard Nearest Neighbor	-	-	-

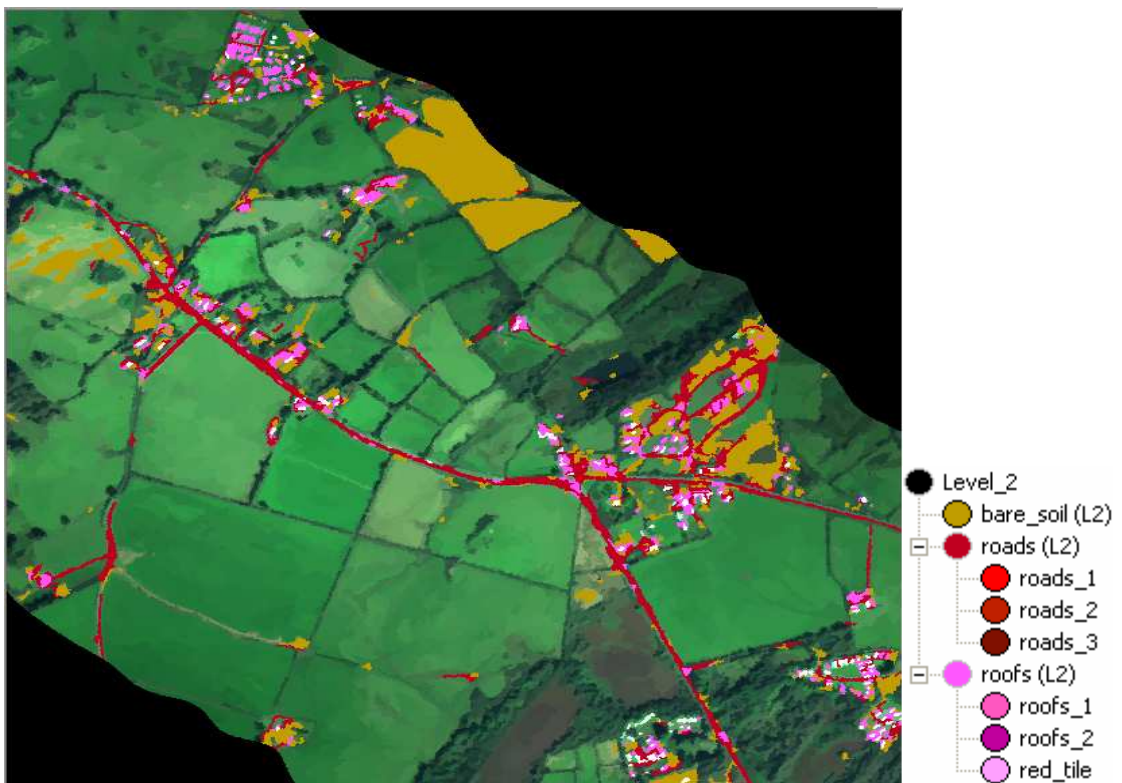
Πίνακας 17: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Εδώ παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου καθώς και η ιεραρχία των κατηγοριών ταξινόμησης που χρησιμεύει και ως υπόμνημα της ταξινόμησης (Εικόνα 44).



Εικόνα 44: Ταξινόμηση και ιεραρχία κατηγοριών στο επίπεδο 2

Για καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα αν συμπύξουμε σε ομάδες όλους τους τύπους δρόμων και όλους τους τύπους οροφών κτιρίων αντίστοιχα, θα έχουμε:



Εικόνα 45: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 2 και ομαδοποίηση των δρόμων και των οροφών των κτιρίων αντίστοιχα

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης αυτής είναι εφάμιλλο με τα προηγούμενα. Τα προβλήματα που έχουν αναφερθεί παραμένουν, απλά ταξινομήθηκαν καλύτερα κάποιοι μικροί αγροτικοί δρόμοι.

4.5.4 Προσέγγιση IV: Κατάτμηση μικρής κλίμακας και ταξινόμηση με έμφαση στο φασματικά χαρακτηριστικά

Σε αυτή την εργασία, δεν ήταν κύριος σκοπός η επίτευξη μιας κατάτμησης που να αντιπροσωπεύει σε μεγάλο βαθμό τα αντικείμενα της φυσικής και ανθρωπογενούς πραγματικότητας, αλλά η δημιουργία μιας κατάτμησης που να παράγει σχετικά μικρά αντικείμενα. Αυτό συνέβη γιατί η προοπτική αυτής της εργασίας ήταν η κατάτμηση του κύριου επιπέδου να γίνει με βάση την ταξινόμηση του κάτω επιπέδου (classification-based segmentation).

4.5.4.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1



Όπως και στις προηγούμενες εργασίες η φιλοσοφία και το αποτέλεσμα για την κατάτμηση και ταξινόμηση του επιπέδου 1 παραμένει η ίδια. Απλά παρατίθενται οι απαραίτητες πληροφορίες. Κατά την κατάτμηση έλαβαν μέρος όλα τα κανάλια του δέκτη CASI και επειδή σε όλη την εργασία δόθηκε ιδιαίτερο βάρος στα φασματικά χαρακτηριστικά της απεικόνισης και όχι στην αντικειμενοστραφή ανάλυση, κατά την κατάτμηση δόθηκε βάρος στο χρώμα (color: 1), ενώ το scale parameter ήταν και πάλι 5.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	5	1.0	-	-	-

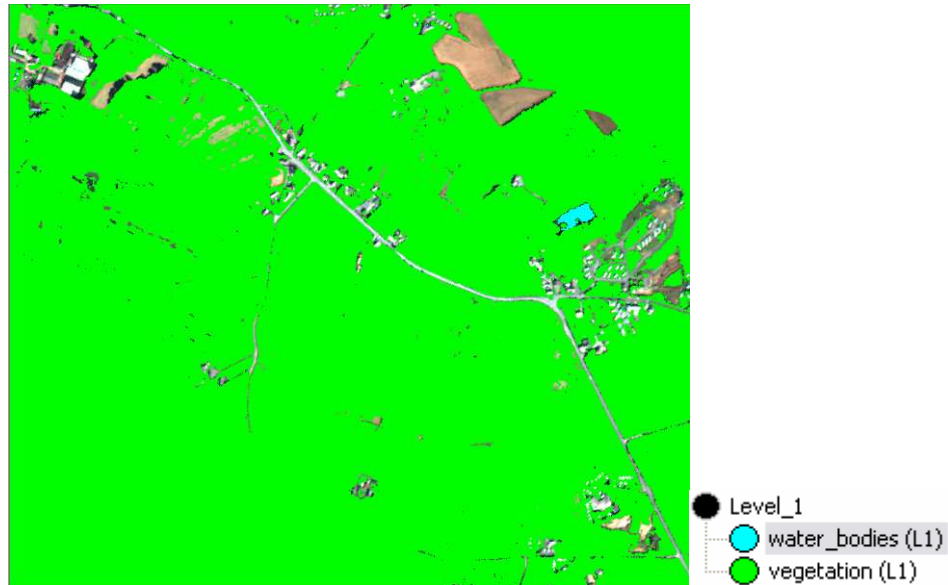
Πίνακας 18: Κατάτμηση στο επίπεδο 1

Οι λόγοι NDVI και Water Index για την ανάδειξη της βλάστησης και του νερού αντίστοιχα, δημιουργήθηκαν ως εξής:

- NDVI: $(L_{818.0} - L_{657.0}) / (L_{818.0} + L_{657.0})$
- Water Index: $L_{498.2} / L_{748.8}$

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Νερό	Water index		0.69	0.71
Βλάστηση	NDVI		0.07	0.11

Πίνακας 19: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1



Εικόνα 46: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1

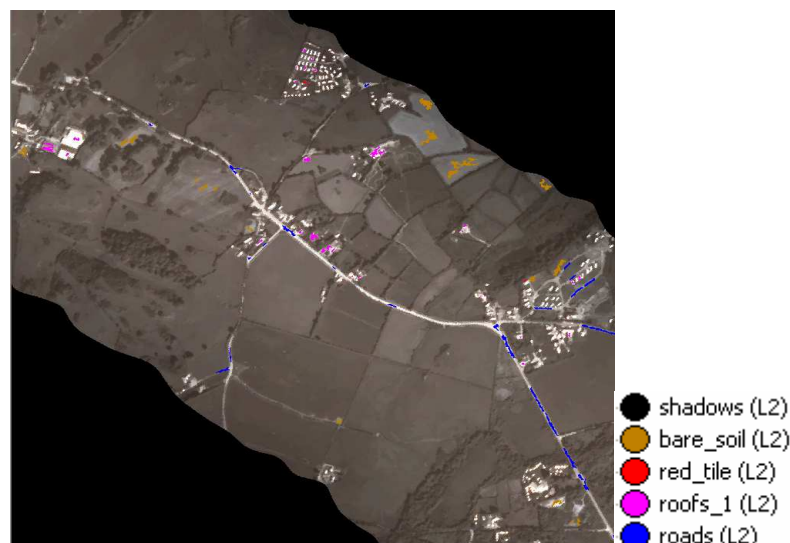
4.5.4.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Σε αυτήν την εργασία, όπως έχει ειπωθεί δόθηκε βάρος στα φασματικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων της απεικόνισης. Η κατάτμηση έγινε και πάλι χρησιμοποιώντας το σύνολο των καναλιών του δέκτη CASI, όπως και στο επίπεδο 1 και δόθηκε βάρος 1.0 στο χρώμα. Η διαφορά είναι πως έγινε σε μεγαλύτερη κλίμακα με scale parameter: 15. Όμως δεν έγινε σε μεγαλύτερη ακόμα κλίμακα όπως στις άλλες εργασίες με scale parameter: 20 καθώς η φιλοσοφία ήταν να δημιουργηθούν μικρά σχετικά αντικείμενα και να ακολουθήσει κατάτμηση με βάση την ταξινόμηση.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	15	1.0	-	-	-


Πίνακας 20: Κατάτμηση στο επίπεδο 2

Η ταξινόμηση έγινε με χρήση του “Εγγύτερου Γείτονα” και συμμετείχαν όλα τα κανάλια του δέκτη CASI. Έτσι λήφθηκαν δείγματα εκπαίδευσης (samples) τα οποία φαίνονται στην Εικόνα 47.



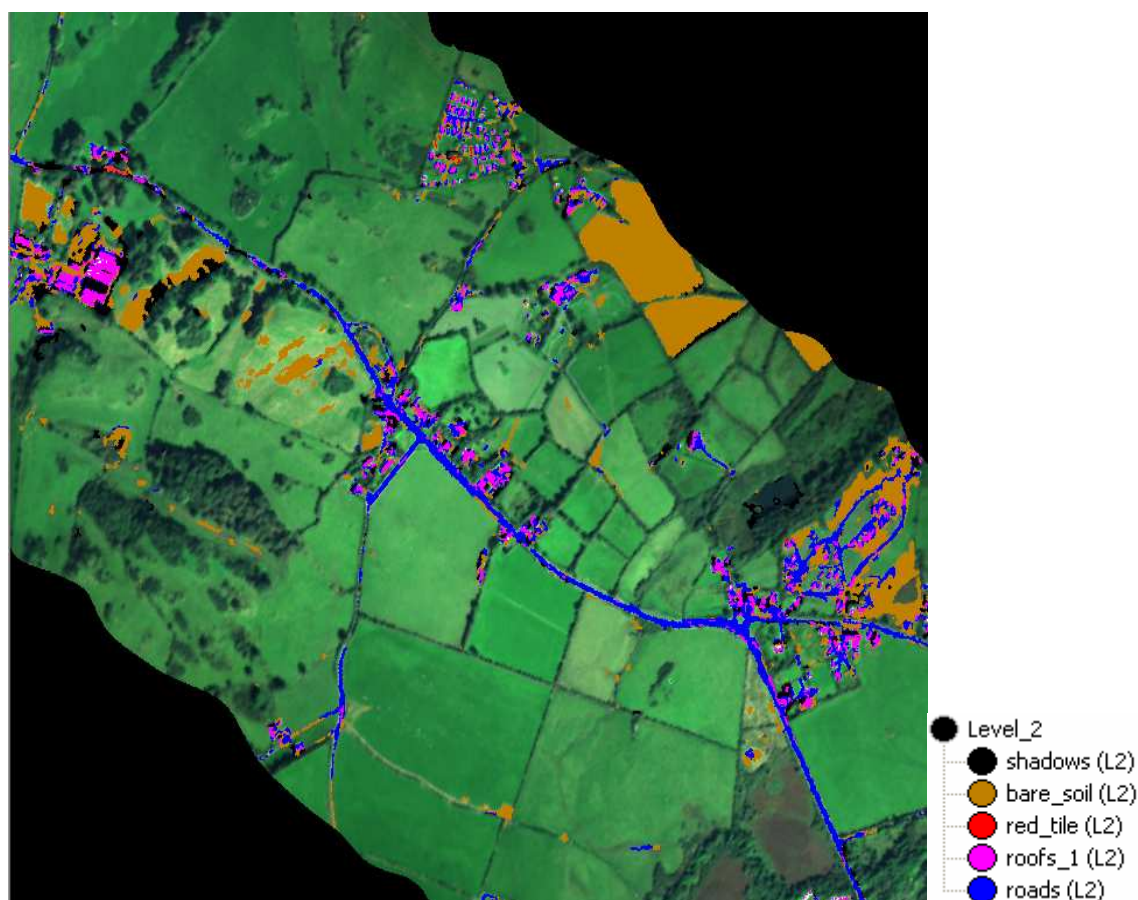
Εικόνα 47: Δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Πέρα από αυτές τις κατηγορίες, δημιουργήθηκε ακόμα μία για την ταξινόμηση των σκιάσεων. Τα αντικείμενα που ταξινομήθηκαν ως σκιές, δεν προέκυψαν με βάση τον “Εγγύτερο Γείτονα” αλλά με βάση ενός άλλου εργαλείου που έχει αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο (4.3.3 Λόγοι – Πράξεις), το mean difference to scene σε κάποιο υπέρυθρο κανάλι που στην συγκεκριμένη περίπτωση ήταν το κανάλι 737.3 nm. Περισσότερες πληροφορίες για τις σκιές αλλά και τις υπόλοιπες κατηγορίες της ταξινόμησης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Δρόμοι (1)	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Οροφές (1)	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Οροφές (Κεραμίδι)	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Γυμνό έδαφος	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Σκιάσεις	Mean difference to scene Band: 737.3 nm		-1000	-200

Πίνακας 21: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Σε αυτό το επίπεδο η ταξινόμηση των αντικειμένων είναι η εξής:



Εικόνα 48: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2

4.5.4.3 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Στην συνέχεια δημιουργήθηκε ένα τρίτο επίπεδο στο οποίο η κατάτμηση έγινε με βάση την ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου (classification-based segmentation). Αυτή την φορά τα κριτήρια δεν ήταν φασματικά. Με αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε η ένωση όλων των μικρών γειτονικών τμημάτων που έχουν ταξινομηθεί στην ίδια κατηγορία (create new level merging image objects in selected level). Για παράδειγμα, όλα τα μικρά αντικείμενα του δεύτερου επιπέδου που έχουν ταξινομηθεί ως δρόμος και είναι γειτονικά θα ενωθούν και θα αποτελέσουν μεγάλα τμήματα του οδικού δικτύου της απεικόνισης.

Για να γίνει η κατάτμηση με βάση την ταξινόμηση θα έπρεπε να δημιουργηθούν κάποιες νέες ομάδες δομών (new structure groups). Αυτές είναι ουσιαστικά οι κατηγορίες της ταξινόμησης του κάτω επιπέδου με βάση τις οποίες επρόκειτο να γίνει η νέα κατάτμηση. Στην περίπτωση αυτή, σκοπός ήταν η νέα κατάτμηση να δημιουργηθεί με βάση τις κατηγορίες δρόμοι, οροφές, και γυμνό έδαφος. Έτσι αυτές θα ήταν οι τρεις νέες δομές. Στο λογισμικό eCognition για να λάβουν χώρα τα παραπάνω, θα πρέπει να επιλεγεί η classification-based segmentation και έπειτα η επιλογή για δημιουργία νέου επιπέδου ομαδοποιώντας τα αντικείμενα της εικόνας στο επιλεγμένο επίπεδο, το οποίο είναι το επίπεδο 2 (create new level merging image objects in selected level). Έτσι η κατάτμηση του επιπέδου 3 είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα παρακάτω.







Εικόνα 49: Κατάτμηση με βάση την ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Στην εικόνα της κατάτμησης του τρίτου επιπέδου, παρατηρείται ότι τα αντικείμενα που ανήκουν στις νέες δομές που δημιουργήσαμε, δηλαδή οι δρόμοι, οι οροφές των κτιρίων και το γυμνό έδαφος, εμφανίζονται ως ενιαία μεγάλα αντικείμενα. Αντίθετα άλλες κατηγορίες γης όπως η βλάστηση με πολύ μικρότερα αντικείμενα, οπότε και η κατάτμηση θεωρείται επιτυχής.

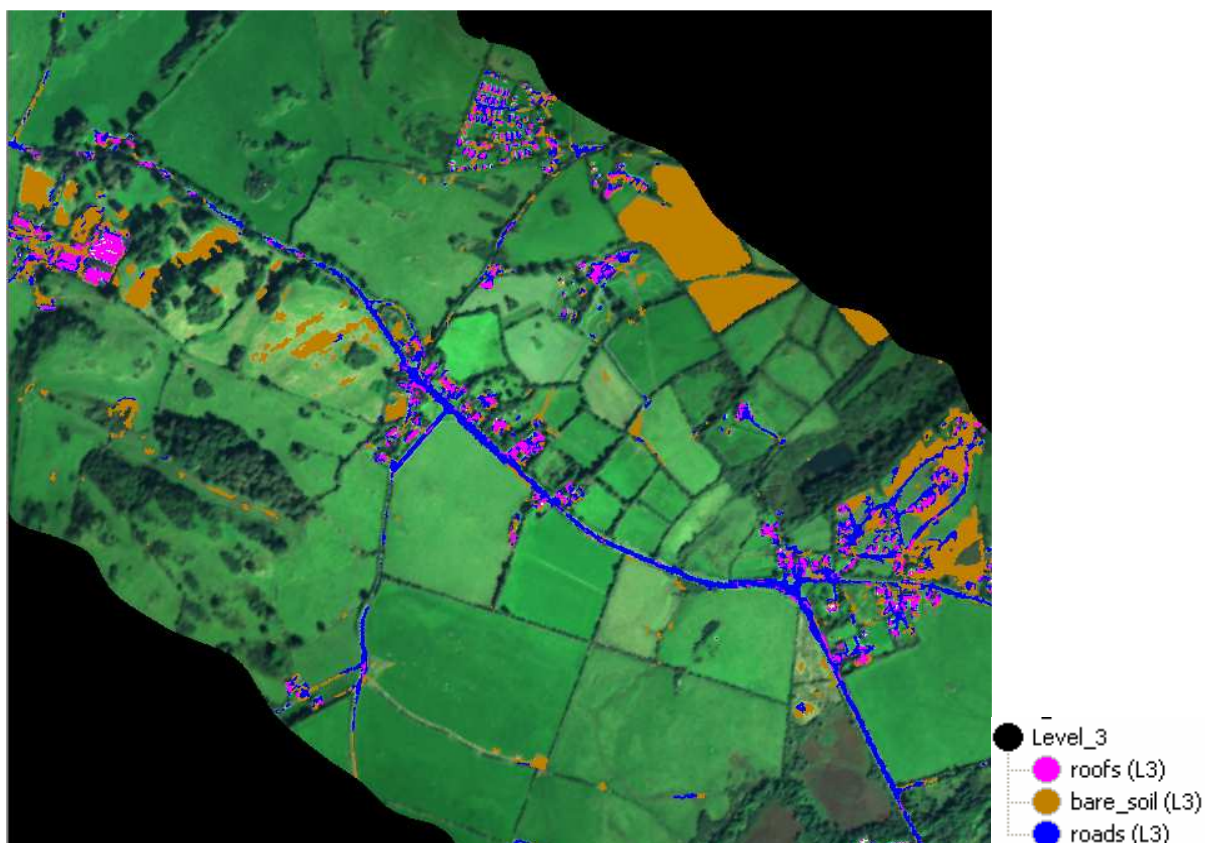
Για να γίνει η ταξινόμηση των αντικειμένων που δημιουργήθηκαν με αυτήν την κατάτμηση έπρεπε όπως σε όλες τις ταξινομήσεις να οριστούν κάποιοι κανόνες ταξινόμησης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα κριτήρια δεν ήταν φασματικά, αλλά επίκεντρο ήταν η σχέση που είχαν τα νέα αντικείμενα με τα υπο-αντικείμενα του επιπέδου 2. Πιο συγκεκριμένα εξετάζεται το ποσοστό της έκτασης του κάθε υπο-αντικειμένου στο αντικείμενο προς ταξινόμηση (related area of sub-objects). Η φιλοσοφία είναι η εξής: αν το ποσοστό της έκτασης των υπο-αντικειμένων που έχουν ταξινομηθεί ως δρόμοι είναι μεγαλύτερο από κάποιο όριο (το οποίο καθορίζεται από την συνάρτηση συμμετοχής), τότε και το νέο αντικείμενο είναι δρόμος. Το ίδιο συμβαίνει και για τις κατηγορίες

οροφή και γυμνό έδαφος. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι κανόνες και οι συναρτήσεις συμμετοχής για αυτή την ταξινόμηση.

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Δρόμοι		Related area of 'roads' sub-objects		0.25	0.35
Οροφή	or	Related area of 'roofs' sub-objects		0.2	0.3
		Related area of 'red_tile' sub-objects		0.2	0.3
Γυμνό έδαφος		Related area of 'bare_soil' sub-objects		0.2	0.3

Πίνακας 22: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 3






Έτσι το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στο επίπεδο 3 είναι:



Εικόνα 50: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3 και η ιεραρχία κατηγοριών

Στην προσέγγιση αυτή, διέφερε η φιλοσοφία της ανάλυσης της εικόνας σε σχέση με τις προηγούμενες. Αν και το αποτέλεσμα της ταξινόμησης φαίνεται να είναι εξίσου ικανοποιητικό, παρατηρείται θόρυβος στην εικόνα της ταξινόμησης που προέκυψε από την συνένωση των μικρών αντικειμένων του δεύτερου επιπέδου στο τρίτο και κύριο επίπεδο. Έτσι παρουσιάζονται παραδείγματος χάριν εντός του οδικού δικτύου μικρά αντικείμενα ταξινομημένα ως στίπια. Παρά το πρόβλημα αυτό, ανιχνεύθηκαν και ταξινομήθηκαν περισσότερο μικροί δρόμοι εντός των οικισμών, ενώ τα προβλήματα της παρόδια βλάστησης δεν αντιμετωπίστηκαν.

Τέλος, θα πρέπει όπως έγινε και με τις προηγούμενες εργασίες να αναφερθούν και οι κανόνες για τα τρία επίπεδα.

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2
2	Level		1	3
	Related area of water (sub-objects)		0.5	0.7
	Related area of vegetation (sub-objects)		0.5	0.7
3	Level		2	4

Πίνακας 23: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα τρία επίπεδα

4.6 Μεθοδολογία ανίχνευσης και εξαγωγής του οδικού δικτύου στην εικόνα της Χαλκίδας

4.6.1 Προσέγγιση I: Χρήση των καναλιών του δέκτη με έμφαση στις φασματικές υπογραφές

Όπως έχει γίνει αντιληπτό από την περιγραφή των εικόνων σε προηγούμενη παράγραφο, η απεικόνιση της Χαλκίδας είναι αρκετά σύνθετη και μπορεί να χαρακτηριστεί ως “δύσκολη”, αφού αναδεικνύει τα περισσότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει κανείς κατά την ταξινόμηση του οδικού δικτύου. Σε αυτό συντελεί σίγουρα η όχι ιδιαίτερα καλή χωρική ανάλυση της εικόνας αλλά και η πολυσύνθετη και άναρχη αστική δόμηση της περιοχής.

4.6.1.1 Κατάμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Στο πρώτο επίπεδο σκοπός ήταν, όπως και στις εργασίες του Calgary, η ανάδειξη της βλάστησης. Το νερό δεν συμπεριλήφθηκε σε αυτή την διαδικασία καθώς πέρα από την θάλασσα δεν υπάρχει κάποια άλλη περιοχή υδατοκάλυψης, ενώ είναι δύσκολη η ταξινόμησή της καθώς τα παράκτια νερά είναι αρκετά αβαθή και αποκαλύπτουν τα υλικά του βυθού. Για την ταξινόμηση της θάλασσας υπάρχει αναφορά παρακάτω.


Η κατάμηση έγινε λαμβάνοντας υπ’ όψιν όλα τα κανάλια του δέκτη CASI ισοβαρώς, μέχρι το κανάλι 743.1 nm , καθώς τα υπόλοιπα υπέρυθρα κανάλια του δέκτη σε αυτή την απεικόνιση περικλείουν μεγάλο ποσοστό θορύβου που δυσχεραίνει την κατάμηση. Οι ρυθμίσεις ήταν οι εξής: scale parameter: 5 και color: 1.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	5	1.0	-	-	-

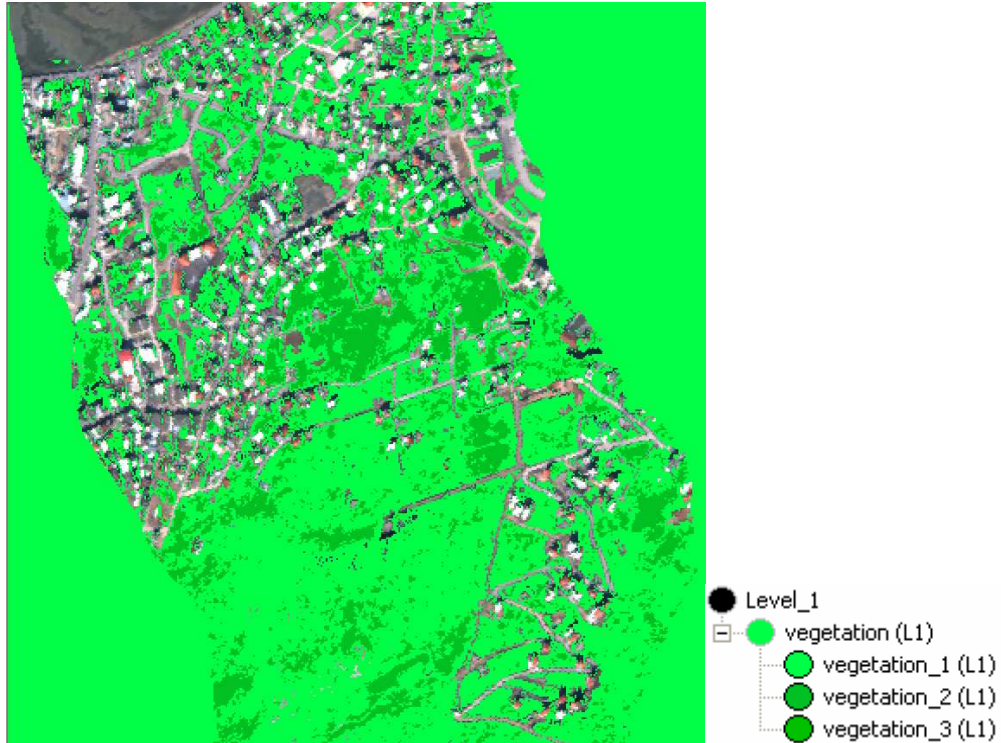
Πίνακας 24: Κατάμηση στο επίπεδο 1

Για την ανίχνευση της βλάστησης χρησιμοποιείται και πάλι ο λόγος NDVI και η διαδικασία δεν διαφέρει από τις προηγούμενες, ίσως μόνο λίγο οι τιμές που λαμβάνει ο NDVI λόγω της διαφορετικής ραδιομετρίας της απεικόνισης. Τα κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του NDVI είναι:

$$NDVI: (L_{829.4} - L_{657.7}) / (L_{829.4} + L_{657.7})$$

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση αραιή	NDVI		0.05	0.45
Βλάστηση μέτρια	NDVI		0.4	0.75
Βλάστηση πυκνή	NDVI		0.7	0.8

Πίνακας 25: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1



Εικόνα 51: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1

4.6.1.2 Κατάμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

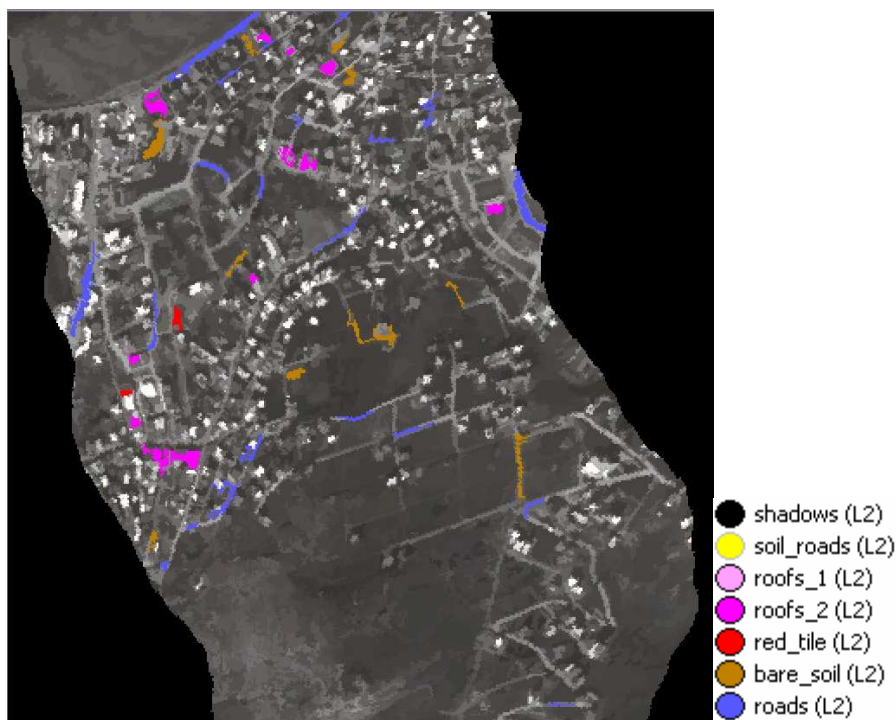
Λόγω της πολυπλοκότητας και των δυσκολιών της απεικόνισης αυτής χρειάστηκε να γίνει μεγαλύτερη προσπάθεια για να επιτευχθεί ένα καλό αποτέλεσμα κατάμησης και στην συνέχεια ταξινόμησης του οδικού δικτύου. Και πάλι συμπεριλήφθηκαν τα ίδια κανάλια του δέκτη CASI αλλά σε αυτό το επίπεδο το scale parameter είναι 35 ενώ μεταξύ σχήματος και χρώματος επιλέχθηκε μετά από πολλούς πειραματισμούς η αναλογία shape: 0.7 και color: 0.3 ενώ είναι smoothness: 0.2 και compactness: 0.8. Θεωρήθηκε μετά από τις δοκιμές που έγιναν ότι αυτές οι παράμετροι δίνουν το καλύτερο αποτέλεσμα κατάμησης που αντιπροσωπεύει με καλύτερα τις δομές που μας ενδιαφέρουν όπως οι δρόμοι, τα κτίρια και το γυμνό έδαφος.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	35	0.3	0.7	0.2	0.8






Πίνακας 26: Κατάμηση στο επίπεδο 2

Οι κατηγορίες είναι οι ίδιες απλά έχει προστεθεί ακόμα η κατηγορία των χωματόδρομων. Η ταξινόμηση έγινε κατά κύριο λόγο με χρήση του “Εγγύτερου Γείτονα”, αλλά έχουν προστεθεί και κάποιοι επιπλέον κανόνες. Αρχικά παρατίθεται η εικόνα που παρουσιάζει τα δείγματα εκπαίδευσης που λήφθηκαν για την λειτουργία του “Εγγύτερου Γείτονα” και στην συνέχεια ο πίνακας με το σύνολο των κανόνων και των συναρτήσεων συμμετοχής για την κάθε κατηγορία της ταξινόμησης. Όπως θα αναφερθεί στην επόμενη παράγραφο, έγινε η ταξινόμηση της περιοχής που καλύπτεται

από τη θάλασσα. Δεν θα αναφερθεί κάτι παραπάνω τώρα απλά το γεγονός ότι από την ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου έχει αποκλειστεί ότι ταξινομήθηκε ως θάλασσα.

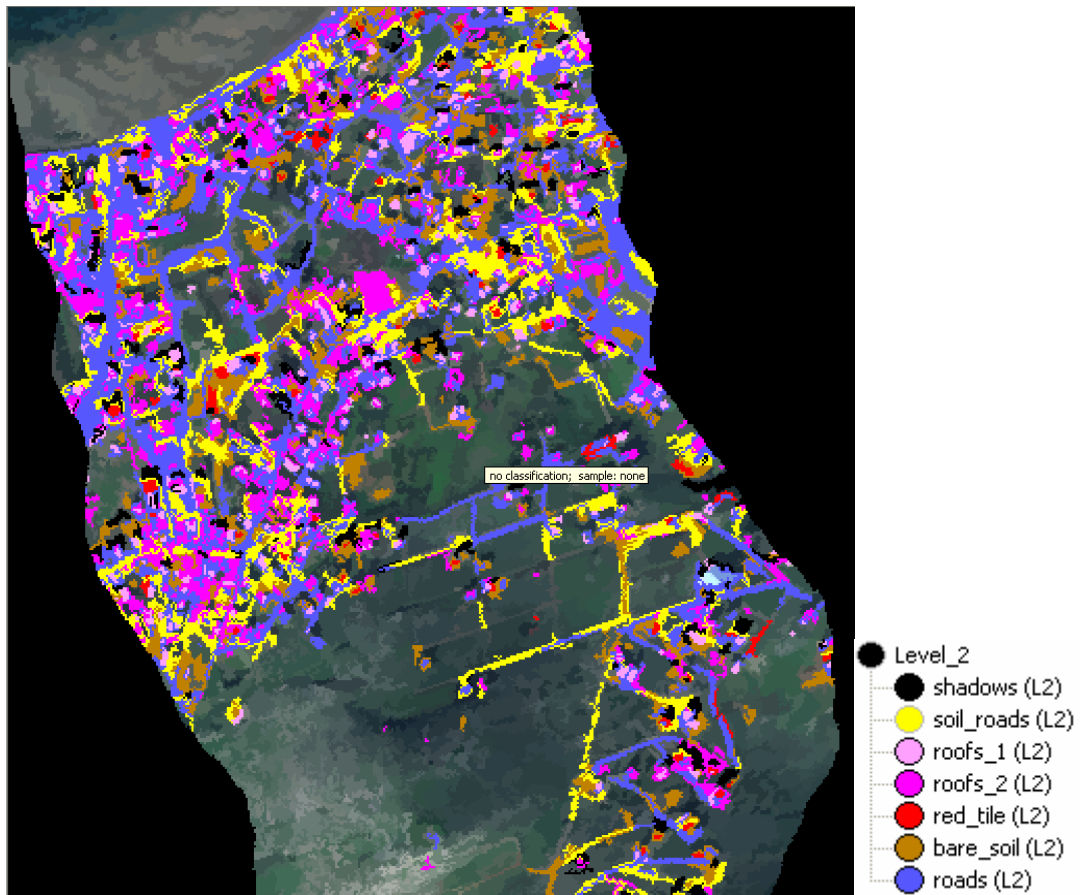


Εικόνα 52: Δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Δρόμοι (1)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Οροφές (1)		Mean difference to super-objects Band: 449.8 nm		1799	1801
Οροφές (2)	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length / width		3	4
Οροφές (Κεραμίδι)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Γυμνό έδαφος		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Χωματό-δρομοι	and	Classified as "γυμνό έδαφος"		0	1
		Length / width		3	5
Σκιάσεις		Mean difference to scene Band: 444.2 nm		-65535	65535

Πίνακας 27: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι το παρακάτω:



Εικόνα 53: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης της απεικόνισης της Χαλκίδας δείχνει έμπρακτα τη μεγάλη δυσκολία της απεικόνισης αυτής. Οι μεγάλοι δρόμοι της περιοχής ταξινομήθηκαν αρκετά καλά, δεν θα μπορούσε όμως να ειπωθεί το ίδιο και για τους μικρότερους δρόμους εντός της αστικής περιοχής. Παρατηρείται λοιπόν η μεγάλη σύγχυση μεταξύ των φασματικών υπογραφών των διαφόρων υλικών και τύπων κάλυψης του εδάφους. Επιπλέον, η προσπάθεια που έγινε για την ταξινόμηση των χωματόδρομων δεν απέδωσε τα επιθυμητά αποτελέσματα προσθέτοντας επιπλέον θόρυβο στην εικόνα της Ταξινόμησης.

4.6.1.3 Κατάμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Σε αυτό το επίπεδο σκοπός ήταν να ταξινομηθεί η αστική περιοχή και η περιοχή που καταλαμβάνεται από τη θάλασσα. Η μεν θάλασσα έπρεπε να αποκλειστεί από τις ταξινομήσεις των κάτω επιπέδων, η δε ταξινόμηση της αστικής περιοχής βοήθησε στην χρήση της διαφοράς των φασματικών τιμών από τα υπερ-αντικείμενα που χρησιμοποιήθηκε στην ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου.

Από τα παραπάνω συμπεραίνει κανείς πως η κατάμηση που έγινε, έπρεπε να δημιουργήσει ως ενιαία μεγάλα αντικείμενα της αστικής περιοχής και της θάλασσας. Η ταξινόμηση της θάλασσας έγινε με χρήση του "Εγγύτερου Γείτονα" μετά τη λήψη δειγμάτων ενώ όσον αφορά στην αστική περιοχή, η ταξινόμησή της έγινε εύκολα με αφαίρεση από την αρχική εικόνα των περιοχών θάλασσας και βλάστησης.

Για αυτούς τους λόγους καταρχήν έγινε κατάτμηση της εικόνας σε πολύ μεγάλη κλίμακα και με έμφαση μόνο στο χρώμα (scale parameter: 500, color: 1.0), ενώ χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια κανάλια του CASI με αυτά των προηγούμενων κατατμήσεων. Έτσι δημιουργήθηκαν αντικείμενα ιδιαίτερα μεγάλα που κάλυπταν μεγάλο ποσοστό των δύο περιοχών. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης φαίνεται στην Εικόνα 54.

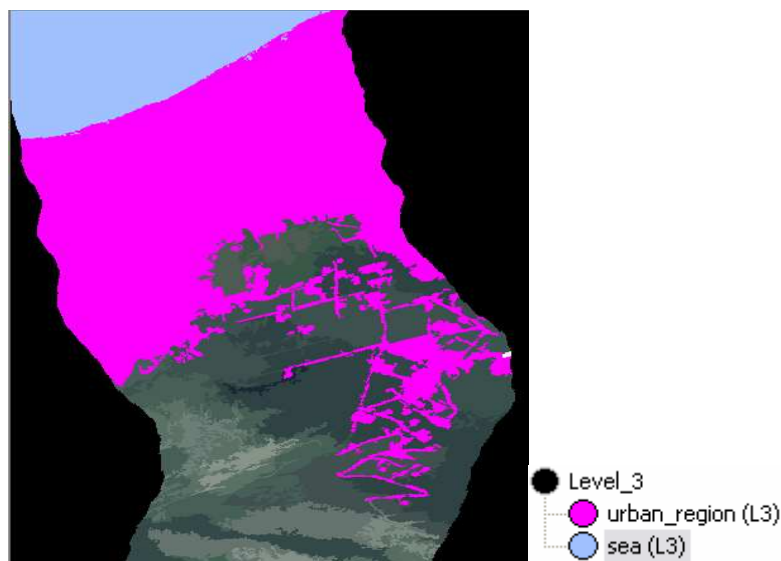
Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
3	500	1.0	-	-	-

Πίνακας 28: Κατάτμηση στο επίπεδο 3



Εικόνα 54: Απεικόνιση της κατάτμησης στο επίπεδο 3

Έτσι στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η ταξινόμηση, όπου με γαλάζιο χρώμα αναπαριστάται η θάλασσα και με μοβ χρώμα η αστική περιοχή.

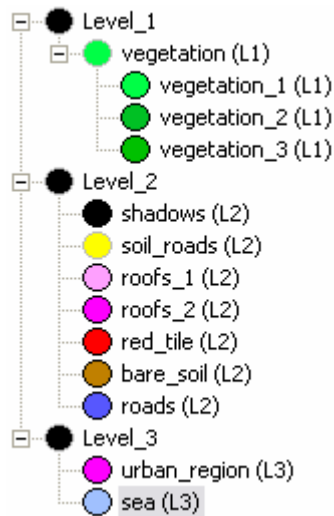


Εικόνα 55: ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Τέλος παρατίθεται ο πίνακας με τους κανόνες και τις συναρτήσεις συμμετοχής για τα τρία επίπεδα της εργασίας αλλά και την συνολική ιεραρχία των κατηγοριών της ταξινόμησης.

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2
2	Level		1	3
	Existence of 'θάλασσα' super-objects		0.05	0.1
	Related area of 'vegetation' sub-objects		0.5	0.7
3	Level		2	4

Πίνακας 29: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα τρία επίπεδα



Εικόνα 56: Ιεραρχία κατηγοριών

4.6.2 Προσέγγιση II: Κατάτμηση μικρής κλίμακας και ταξινόμηση με έμφαση στα φασματικά χαρακτηριστικά

Αυτή η εργασία είναι ανάλογη με την τέταρτη μέθοδο για την απεικόνιση του Calgary, όπου γίνεται χρήση ενός τύπου κατάτμησης με σχετικά μικρό scale parameter στο βασικό επίπεδο με σκοπό να ακολουθήσει μια classification-based segmentation.

4.6.2.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Οι διεργασίες που έλαβαν χώρα για το πρώτο επίπεδο είναι οι γνωστές, απλά παρατίθενται οι απαραίτητες πληροφορίες. Κατά την κατάτμηση έλαβαν μέρος όλα τα κανάλια του δέκτη CASI από τα 466.6 nm έως τα 748.8 nm ισοβαρώς, διότι τα υπόλοιπα περιείχαν μεγάλο ποσοστό θορύβου. Στο χρώμα δόθηκε βάρος 1.0, ενώ το scale parameter ήταν 5.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	5	1.0	-	-	-

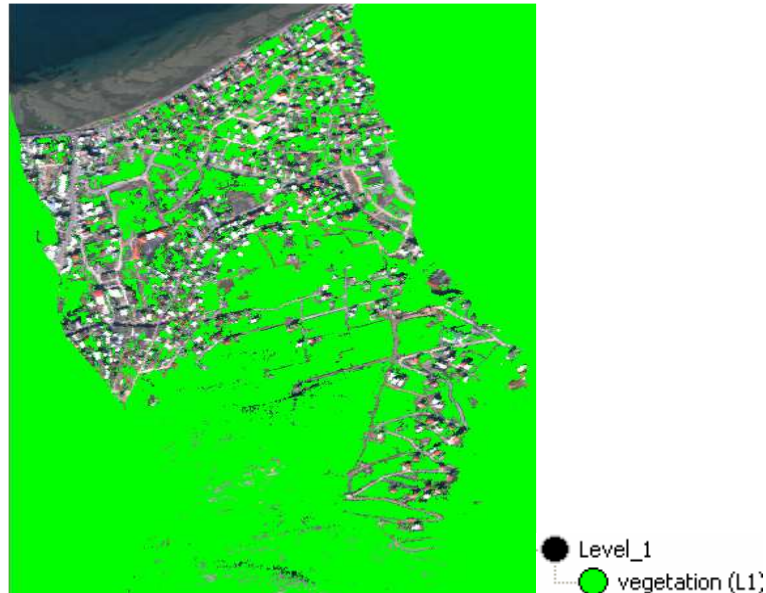
Πίνακας 30: Κατάτμηση στο επίπεδο 1

Ο λόγος NDVI για την ανάδειξη της βλάστησης δημιουργήθηκε με τα παρακάτω κανάλια του δέκτη:

- NDVI: $(L_{839.4} - L_{663.4}) / (L_{839.4} + L_{663.4})$

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση	NDVI		0.09	0.11

Πίνακας 31: Κανόνας και συνάρτηση συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1



Εικόνα 57: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1

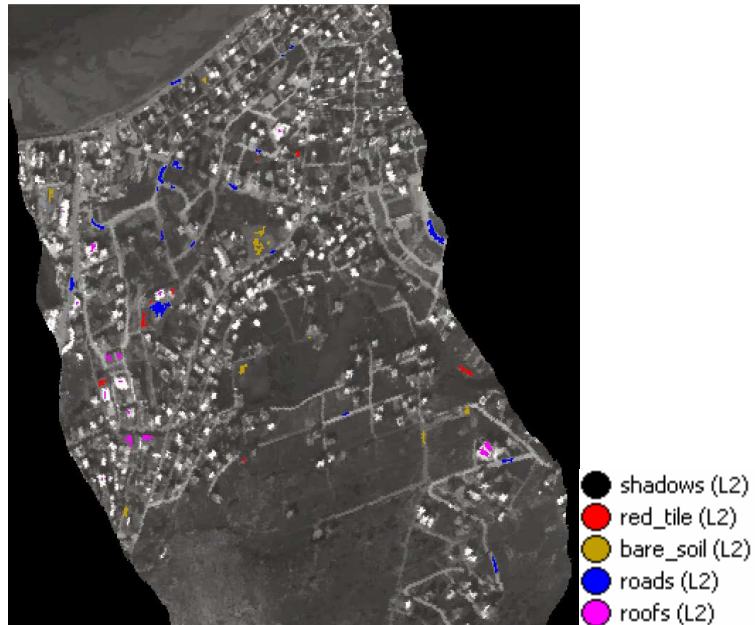
4.6.2.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Σε αυτήν την εργασία, όπως έχει ειπωθεί δόθηκε βάρος στα φασματικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων της απεικόνισης. Η κατάτμηση έγινε χρησιμοποιώντας τα ίδια κανάλια του δέκτη CASI όπως και στο επίπεδο 1 και οι υπόλοιπες παράμετροι έλαβαν τιμές: scale parameter: 20, color: 0.1, shape: 0.9, smoothness: 0.1, compactness: 0.1.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	20	0.1	0.9	0.1	0.9


Πίνακας 32: Κατάτμηση στο επίπεδο 2

Η ταξινόμηση έγινε με χρήση του “Εγγύτερου Γείτονα” για τα κανάλια που έχουν αναφερθεί και κάποιους κανόνες. Έτσι λήφθηκαν δείγματα εκπαίδευσης (samples) τα οποία φαίνονται στην Εικόνα 58.



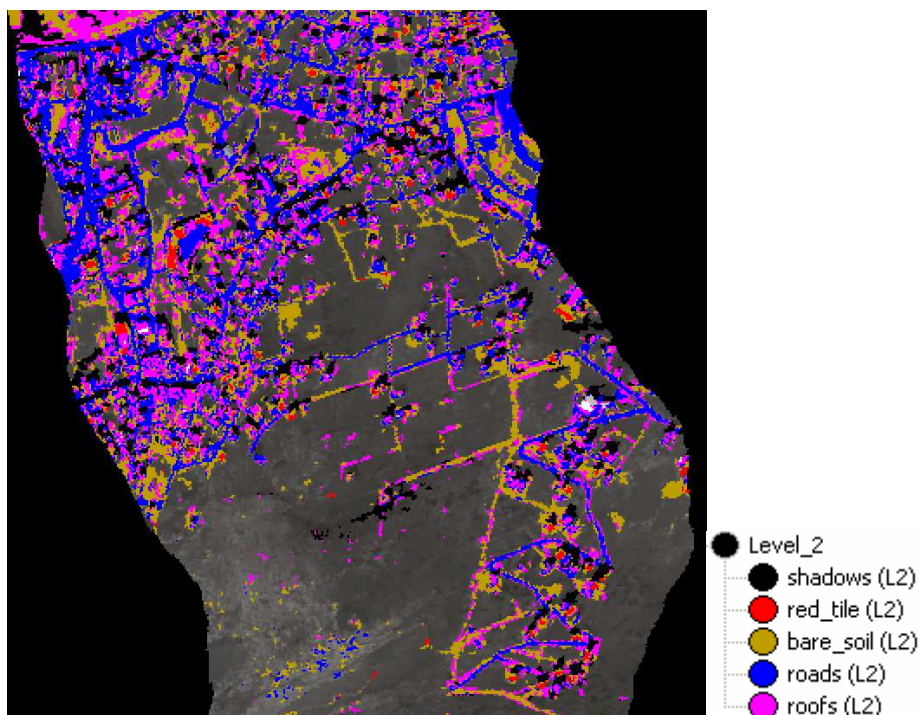
Εικόνα 58: Δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Δημιουργήθηκε επιπλέον η κατηγορία των σκιάσεων για την οποία δεν λήφθηκαν δείγματα εκπαίδευσης καθώς οι σκιασμένες περιοχές προέκυψαν με κάποιον άλλον κανόνα και όχι τον “Εγγύτερο Γείτονα”.

Κατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Δρόμοι (1)	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Οροφές (1)	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Οροφές (Κεραμίδι)	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Γυμνό έδαφος	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Σκιάσεις	Mean difference to scene Band: 720.3 nm		-1	0

Πίνακας 33: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Σε αυτό το επίπεδο η ταξινόμηση των αντικειμένων είναι η εξής:







Εικόνα 59: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2

4.6.2.3 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3


Στην συνέχεια δημιουργήθηκε ένα τρίτο επίπεδο στο οποίο η κατάτμηση έγινε με βάση την ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου (classification-based segmentation). Οι ομάδες δομών που λήφθηκαν υπ' όψιν κατά την κατάτμηση αυτή είναι οι δρόμοι, οι οροφές, οι οροφές από κεραμίδι, και το γυμνό έδαφος.

Μετά από την κατάτμηση ακολούθησε η ταξινόμηση του τρίτου επιπέδου βάσει κανόνων που ελέγχουν την σχέση των αντικειμένων του επιπέδου αυτού με τα υπο-αντικείμενά τους. Ο τρόπος που λειτουργούν αυτοί οι κανόνες έχει αναλυθεί πρωτίτερα, οπότε εδώ απλά παρατίθεται ο πίνακας με τις πληροφορίες για την ταξινόμηση.

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Δρόμοι		Related area of roads sub-objects		0.1	0.3
Οροφή	or	Related area of roofs sub-objects		0.1	0.3
		Related area of red_tile sub-objects		0.1	0.3
Γυμνό έδαφος		Related area of bare_soil sub-objects		0.1	0.3

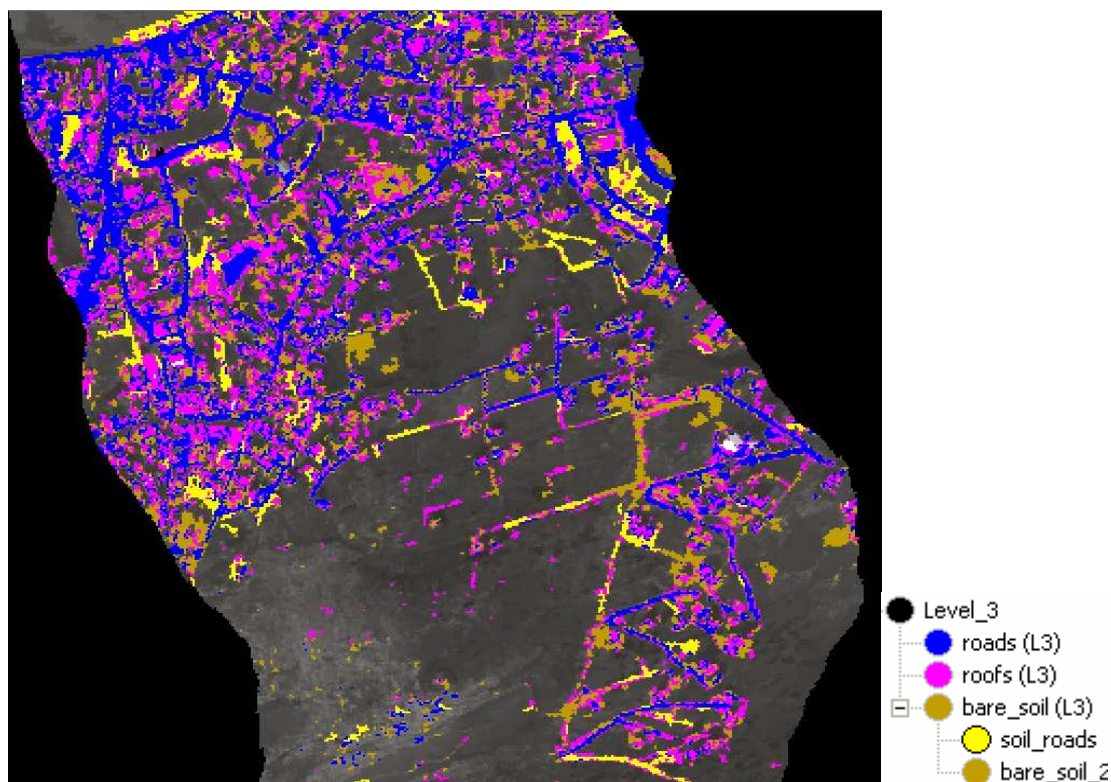
Εικόνα 60: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Πιο συγκεκριμένα για την κατηγορία Γυμνό έδαφος έγινε μια τροποποίηση ώστε να είναι εφικτή ως κάποιο βαθμό η ταξινόμηση των χωματόδρομων. Οπότε για την κατηγορία χρώμα έχουμε επιπλέον:

Κατηγορία	Υποκατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Γυμνό έδαφος	Χωματόδρομοι	Length / width		3.5	4
	Γυμνό έδαφος	Not soil_roads	-	-	-

Με αυτόν τον τρόπο, όσα από τα αντικείμενα έχουν ταξινομηθεί ως γυμνό έδαφος και έχουν λόγο μήκος προς πλάτος μεγαλύτερο από 3.75 κατατάσσονται πλέον ως χωματόδρομοι, ενώ τα υπόλοιπα παραμένουν ως γυμνό έδαφος.

Έτσι το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στο επίπεδο 3 είναι:

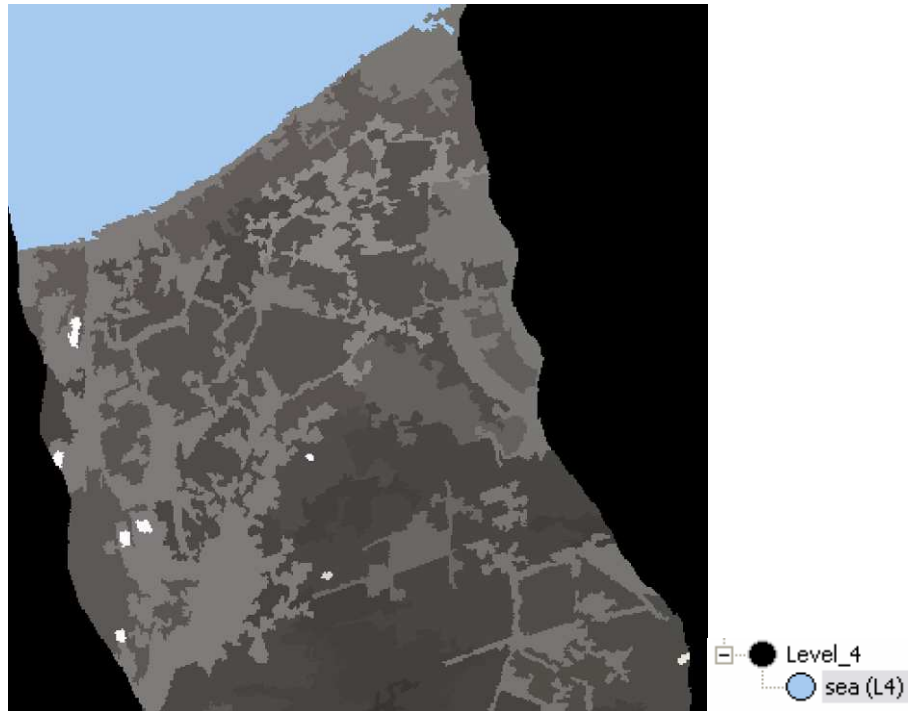


Εικόνα 61: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Σε αυτή την ταξινόμηση και πάλι οι χωματόδρομοι δεν ταξινομήθηκαν επιθυμητά αν και οι εικόνα που παρουσιάζουν είναι πολύ καλύτερη από την πρώτη προσέγγιση. Ωστόσο, υπάρχει και πάλι αρκετός θόρυβος στην εικόνα της ταξινόμησης ο οποίος προέρχεται από την συνένωση των μικρότερων αντικειμένων στο κύριο επίπεδο της ανάλυσης.

4.6.2.4 Κατάμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 4

Επιπλέον, σε αυτή την μέθοδο δημιουργήθηκε και ένα τέταρτο επίπεδο το οποίο είχε σκοπό την ταξινόμηση της περιοχής που καταλαμβάνεται από τη θάλασσα, όπως έγινε και στην προηγούμενη μέθοδο που αναπτύχθηκε για την απεικόνιση της Χαλκίδας. Απλώς τώρα δεν ταξινομήθηκε η αστική περιοχή αφού δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιος κανόνας για τον οποίο θα ήταν χρήσιμη. Έτσι, με την ίδια διαδικασία που έχει περιγραφεί έχουμε:



Εικόνα 62: Ταξινόμηση της περιοχής της θάλασσας

Στο τέλος, παρατίθεται ο πίνακας για τους κανόνες των τεσσάρων επιπέδων.

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2
2	Level		1	3
	Not existence of 'θάλασσα' Super-objects		0	0.1
	Related area of vegetation Sub-objects		0.5	0.7
3	Level		2	4
	Not existence of 'θάλασσα' Super-objects		0	0.1
4	Level		3	5

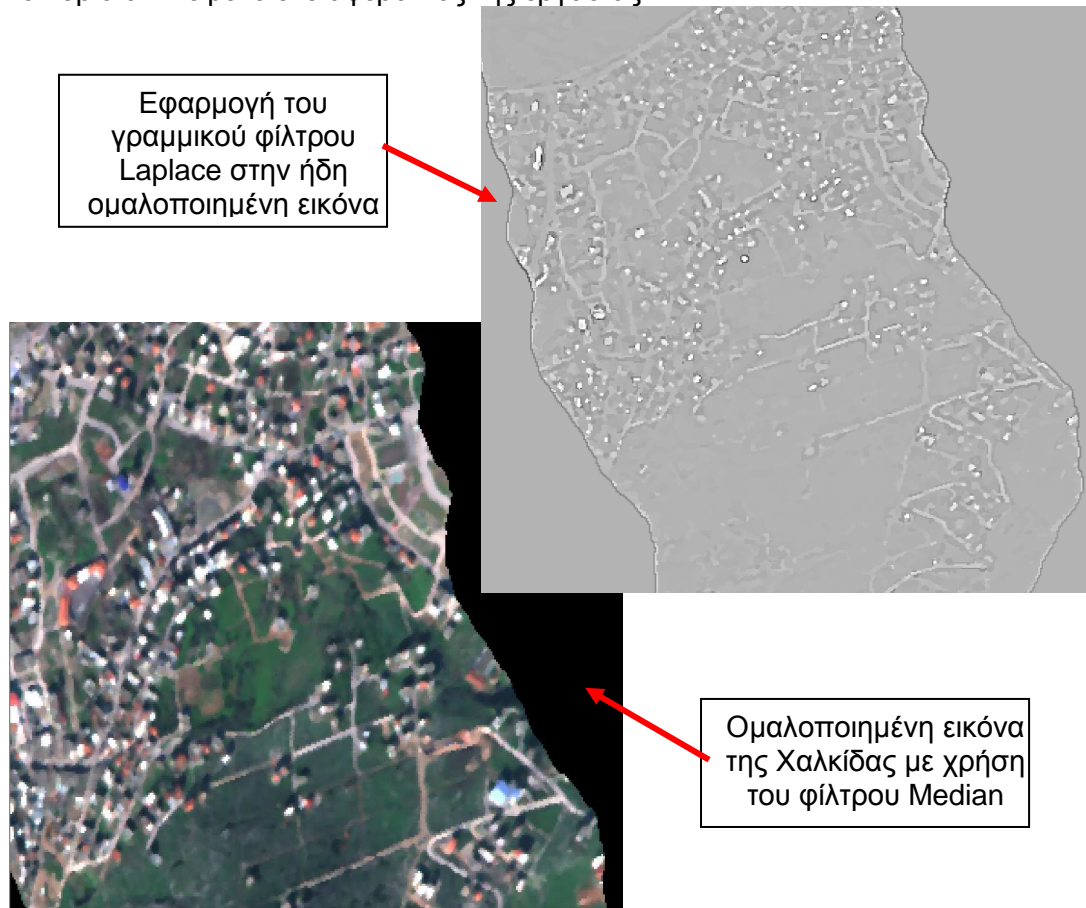
Πίνακας 34: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα τέσσερα επίπεδα

4.6.3 Προσέγγιση III: Χρήση καναλιών ομαλοποιημένης εικόνας με εφαρμογή φίλτρου για την ενίσχυση της σημειακής και γραμμικής πληροφορίας

Σε αυτή την μέθοδο έγιναν παρόμοιες διαδικασίες με αυτές των προηγούμενων μεθόδων, με εφαρμογή τους όμως σε μια απεικόνιση ομαλοποιημένη με χρήση των φίλτρων "Median" και "Laplace" στα κανάλια που έχουν προκύψει από την ανάλυση συσχέτισης που έχει προηγηθεί. Το αποτέλεσμα ήταν η ομαλοποιημένη εικόνα της Χαλκίδας (Εικόνα 63). Ως ένα επιπλέον κανάλι προστέθηκε η εικόνα στην οποία έχει εφαρμοστεί ένα φίλτρο Laplace για την ενίσχυση της

σημειακής και γραμμικής πληροφορίας. Επιλέχθηκε να εφαρμοστεί το φίλτρο Laplace στην ήδη ομαλοποιημένη εικόνα καθώς σε διαφορετική περίπτωση θα αναδείκνυε τον θόρυβο της εικόνας.

Με τις παραπάνω διαδικασίες, έγινε μια προσπάθεια να βελτιωθούν οι συνθήκες επεξεργασίας αυτής της “δύσκολης” εικόνας, που περιλαμβάνει μεγάλο ποσοστό θορύβου και απεικονίζει μια ούτως ή άλλως σύνθετη αστική περιοχή. Έτσι ομαλοποιήθηκε φασματικά η πυκνή και άναρχη δόμηση ενώ με τη χρήση του φίλτρου Laplace αναδείχθηκαν περισσότερο οι δρόμοι που είναι και το κύριο αντικείμενο ενδιαφέροντος της εργασίας.



Εικόνα 63: Εφαρμογή φίλτρων στην εικόνα της Χαλκίδας

4.6.3.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Όσον αφορά στην κατάτμηση και ταξινόμηση του πρώτου επιπέδου η διαδικασία είναι η γνωστή με τη μόνη διαφορά ότι εφαρμόστηκε ισοβαρώς στα συγκεκριμένα ομαλοποιημένα κανάλια που έχουν αναφερθεί, οπότε οι παράμετροι είναι οι: scale parameter: 5, Color: 1.0, ενώ η ταξινόμηση της βλάστησης έγινε ως εξής:

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	5	1.0	-	-	-

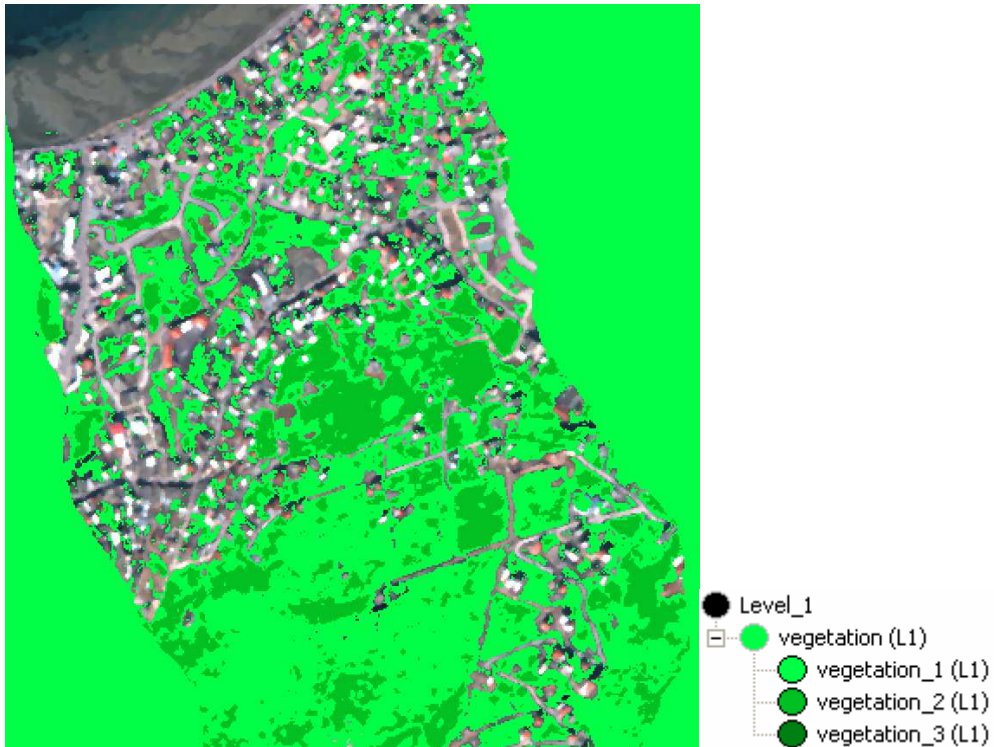
Πίνακας 35: Κατάτμηση στο επίπεδο 1

$$NDVI: (L_{841.0} - L_{668.0}) / (L_{841.0} + L_{668.0})$$

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση αραιή	NDVI		0.1	0.45
Βλάστηση μέτρια	NDVI		0.4	0.75
Βλάστηση πυκνή	NDVI		0.7	0.8

Πίνακας 36: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Το αποτέλεσμα είναι αυτό που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 64: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1

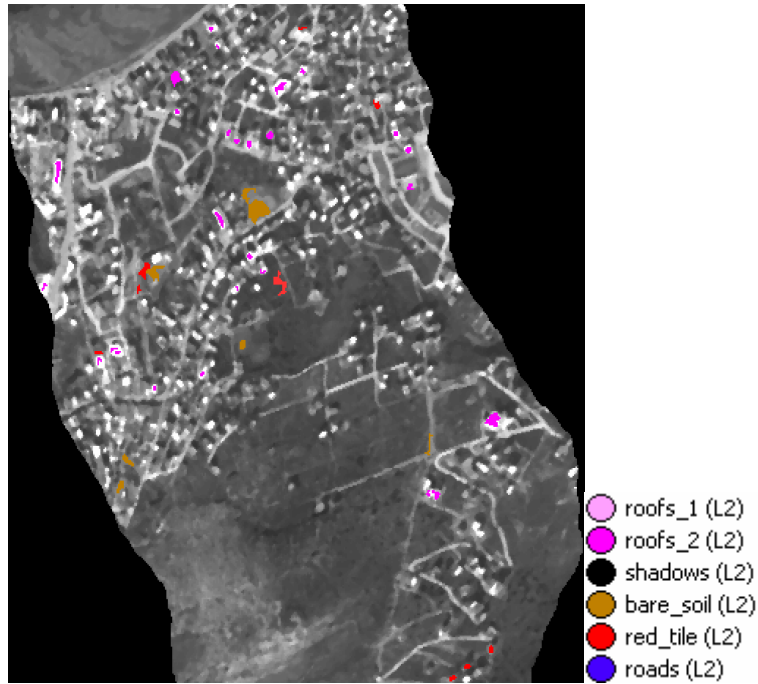
4.6.3.2 Κατάμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Στο δεύτερο επίπεδο, η κατάμηση έγινε με χρήση των ίδιων καναλιών με αυτή του πρώτου επιπέδου και με τις παραμέτρους του επόμενου πίνακα:

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	25	0.3	0.7	0.2	0.8

Πίνακας 37: Κατάμηση στο επίπεδο 2

Η ταξινόμηση έγινε για τις συνηθισμένες κατηγορίες, με χρήση του “Εγγύτερου Γείτονα” αλλά και κάποιων κανόνων οι οποίοι κυρίως αφορούσαν στην εικόνα του φίλτρου Laplace, όπου αυτό κρίθηκε σκόπιμο (για τους δρόμους και τις οροφές των κτιρίων). Μάλιστα για τον κανόνα που χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση κάποιων οροφών κτιρίων ήταν αναγκαίο να γίνει κατάμηση και σε ένα τρίτο επίπεδο, κάτι που θα αναλυθεί στην επόμενη παράγραφο. Πιο συγκεκριμένα τα δείγματα που λήφθηκαν (Εικόνα 65) και οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν με τις συναρτήσεις συμμετοχής φαίνονται παρακάτω:



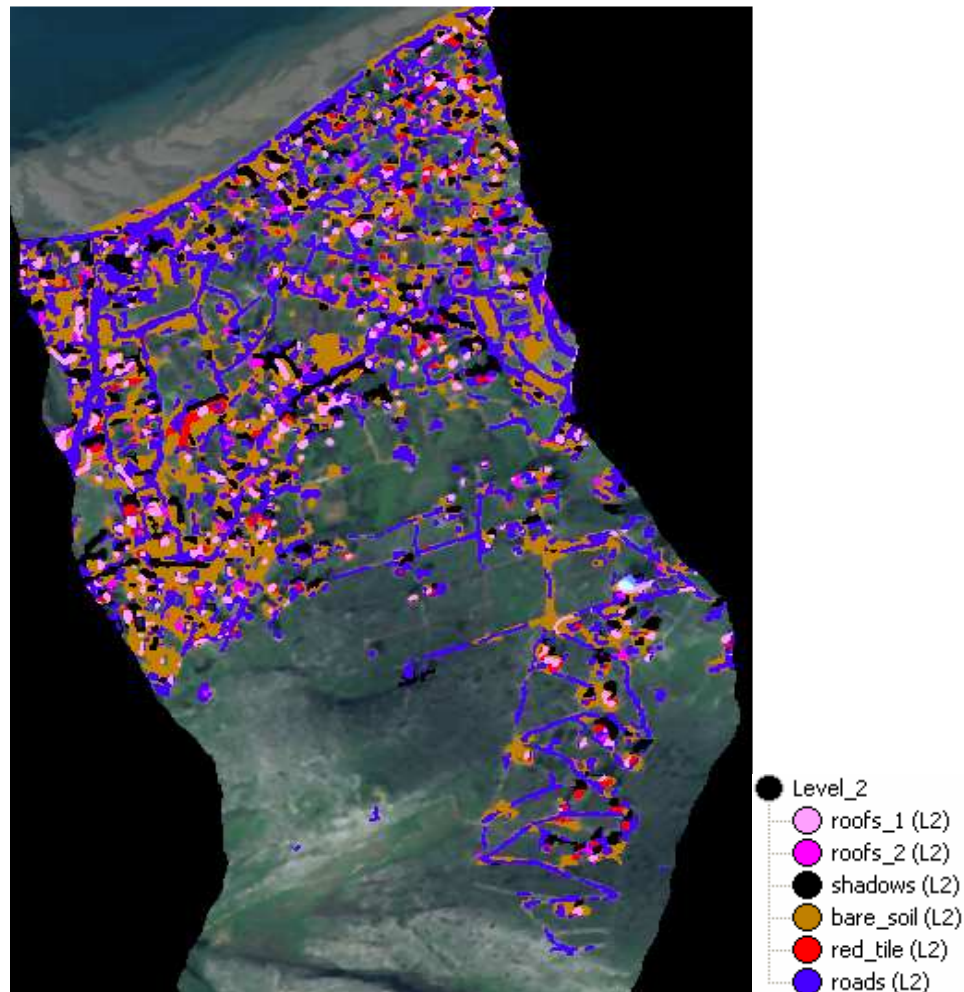
Εικόνα 65: Δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Δρόμοι		Mean Band: Laplace		9200	13000
Οροφή (1)	or	Mean Band: Laplace		13000	13020
		Mean difference to super-objects Band: 490.0 nm		2499	2501
Οροφή (2)	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length / width		2	4
Οροφή (Κεραμίδι)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Γυμνό έδαφος		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Σκιάσεις		Mean difference to scene Band: 841.0 nm		-32767.5	32767.5

Πίνακας 38: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Εδώ θα πρέπει να σχολιαστεί ότι μετά από διερεύνηση των τιμών στο κανάλι Laplace παρατηρήθηκε ότι στην τιμή 13000 είναι το όριο μεταξύ των γραμμικών και το σημειακών στοιχείων που έχουν ενισχυθεί από το φίλτρο. Κάτω από την τιμή αυτή υπάρχουν τα γραμμικά στοιχεία (δρόμοι) και πάνω από αυτήν τα σημειακά (κτίρια). Όμως όσον αφορά στο κάτω όριο της συνάρτησης συμμετοχής για την κατηγορία των δρόμων, αυτό δεν ήταν ιδιαίτερα σαφές, καθώς

μικρή αλλαγή του ορίου οδηγούσε σε λανθασμένη ταξινόμηση πολλών αντικειμένων ως δρόμους. Μετά από κάποιους πειραματισμούς καταλήξαμε ότι το ιδανικότερο όριο για την συγκεκριμένη εικόνα και το φίλτρο το οποίο εφαρμόσαμε είναι η τιμή 9200.



Εικόνα 66: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης δείχνει ότι απαλείφθηκε εν μέρει το μεγάλο ποσοστό θορύβου που υπήρχε στις προηγούμενες προσεγγίσεις. Παρατηρείται μια σύγχυση μεταξύ των θεματικών κατηγοριών των οροφών και του γυμνού εδάφους, ωστόσο η ταξινόμηση του οδικού δικτύου παρουσιάζεται περισσότερο ικανοποιητική από τις προηγούμενες.






4.6.3.3 Κατάμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Η δημιουργία του τρίτου επιπέδου είχε και εδώ σκοπό να την ταξινόμηση χειροκίνητα της θάλασσας αλλά και να κατατμηθεί η εικόνα σε μεγάλη κλίμακα ώστε να μπορεί να λειτουργήσει ο κανόνας Mean difference to super-objects που έχει χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση της κατηγορίας Οροφές (2) στο δεύτερο επίπεδο. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η ταξινόμηση της θάλασσας έχει αναλυθεί νωρίτερα και το αποτέλεσμα είναι ακριβώς το ίδιο. Απλά αναφέρονται οι παράμετροι της κατάτμησης: scale parameter: 800, color: 1.0.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
3	800	1.0	-	-	-

Πίνακας 39: Κατάτμηση στο επίπεδο 3

Τέλος παρατίθεται ο πίνακας με τις απαραίτητες πληροφορίες για τα τρία επίπεδα της εργασίας.

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2
2	Level		1	3
	Existence of 'θάλασσα' Super-objects		0.1	0.4
	Related area of vegetation Sub-objects		0.5	0.6
3	Level		2	4

Πίνακας 40: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα τρία επίπεδα

4.6.4 Προσέγγιση IV: Χρήση καναλιού της εικόνας με εφαρμογή φίλτρου για την ενίσχυση της σημειακής και γραμμικής πληροφορίας σε απεικόνιση με χωρική διακριτική ικανότητα 1m και φασματική διακριτική ικανότητα 16 επιλεγμένα κανάλια

Στα πλαίσια της προσπάθειας για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου στη δύσκολη απεικόνιση της Χαλκίδας, έγινε μια ακόμα προσπάθεια σε μια εικόνα καλύτερης διακριτικής ικανότητας από την προηγούμενη (περίπου 1m) αλλά με μόλις 16 επιλεγμένα υπερφασματικά κανάλια. Η νέα αυτή εικόνα περιλαμβάνει μέρος της αστικής περιοχής της εικόνας της Χαλκίδας που έχει αναλυθεί στις προηγούμενες προσεγγίσεις (Εικόνα 67).



Εικόνα 67: Απεικόνιση της Χαλκίδας με χωρική διακριτική ικανότητα 1m

Η εικόνα του καναλιού $L_{561.8}$ της φασματική περιοχής του πράσινου, ομαλοποιήθηκε με χρήση του φίλτρου Median και έπειτα εφαρμόστηκε στην ήδη ομαλοποιημένη εικόνα το φίλτρο Laplace για την ενίσχυση της γραμμικής και σημειακής πληροφορίας. Η νέα εικόνα εισήχθη ως ένα επιπλέον

κανάλι για την αντικειμενοστραφή ανάλυση. Η διαφορά είναι ότι στην τρίτη προσέγγιση είχαν φιλτραριστεί όλα τα κανάλια που είχαν προκύψει από τις μεθόδους επιλογής χαρακτηριστικών, ενώ εδώ μόλις ένα. Η επεξεργασία που ακολούθησε ήταν παρόμοια με αυτή της προσέγγισης III, όμως ήταν απαραίτητες κάποιες τροποποιήσεις κατά την ταξινόμηση λόγω της διαφοράς της κλίμακας της εικόνας. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι για τον ίδιο λόγο ήταν δυνατός ο εντοπισμός των αυτοκινήτων, τα οποία σε κάποιες περιπτώσεις δημιούργησαν πρόβλημα στην σωστή ταξινόμηση των δρόμων, κάτι το οποίο δεν ήταν εφικτό με να αποφευχθεί με κάποια περαιτέρω διαδικασία.


4.6.4.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Όσον αφορά στην κατάτμηση και ταξινόμηση του πρώτου επιπέδου η διαδικασία δεν διαφέρει από τις προηγούμενες. Χρησιμοποιήθηκαν ισοβαρώς όλα κανάλια του δέκτη και όχι το κανάλι που είχε εφαρμοστεί το φίλτρο Laplace με βάρος μόνο στο χρώμα, καθώς εφαρμόστηκε ο λόγος NDVI που για την ταξινόμηση της βλάστησης και όχι κάποιος άλλος κανόνας για το σχήμα. Λόγω της μεγαλύτερης κλίμακας της απεικόνισης άλλαξε και η κλίμακα της κατάτμησης. Οι παράμετροι είναι οι: scale parameter: 5, Color: 1.0, ενώ η ταξινόμηση της βλάστησης έγινε ως εξής:

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	15	1.0	-	-	-

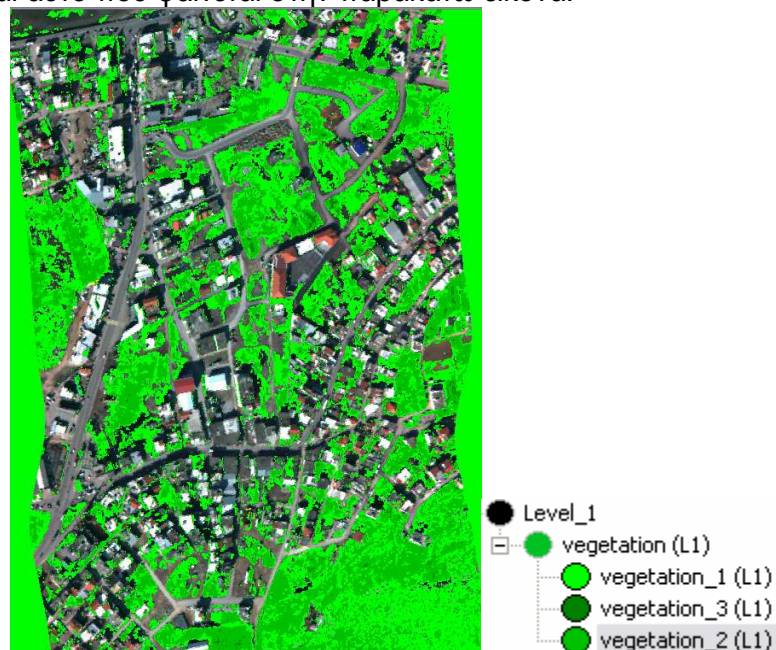
Πίνακας 41: Κατάτμηση στο επίπεδο 1

$$NDVI: (L_{769.8} - L_{676.6}) / (L_{769.8} + L_{676.6})$$

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση αραιή	NDVI		0.05	0.45
Βλάστηση μέτρια	NDVI		0.4	0.75
Βλάστηση πυκνή	NDVI		0.7	0.8

Πίνακας 42: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Το αποτέλεσμα είναι αυτό που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 68: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1

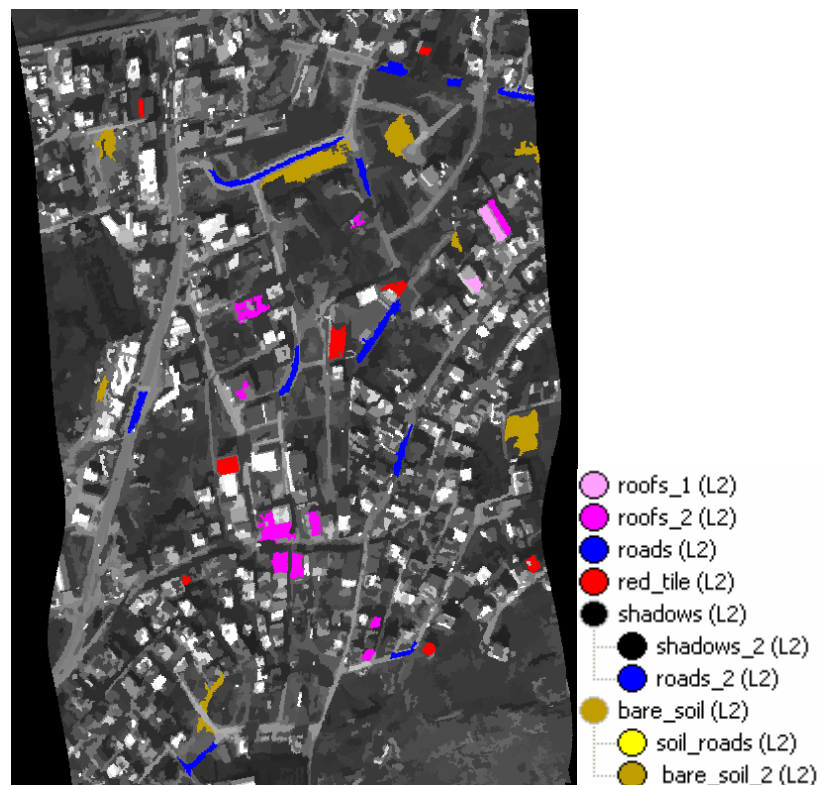
4.6.4.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Στο δεύτερο επίπεδο, η κατάτμηση έγινε με χρήση των τεσσάρων πρώτων καναλιών των Κύριων Συνιστωσών αλλά και με το κανάλι του φίλτρου Laplace, στο οποίο δόθηκε τριπλάσια βάρος από ότι σε αυτά των PCA. Λόγω της μεγαλύτερης κλίμακας της εικόνας η κλίμακα της κατάτμησης (70) ήταν διαφορετική από αυτή του δεύτερου επιπέδου στις προηγούμενες προσεγγίσεις (25). Δόθηκε περισσότερο βάρος στο σχήμα έναντι του χρώματος και περισσότερο βάρος στο συμπαγές του αντικειμένου σε σχέση με την απαλότητα.





Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	70	0.3	0.7	0.2	0.8

Πίνακας 43: Κατάτμηση στο επίπεδο 2





Η ταξινόμηση έγινε για τις συνηθισμένες κατηγορίες, με χρήση του “Εγγύτερου Γείτονα” αλλά και κάποιων κανόνων οι οποίοι αφορούσαν στο σχήμα των αντικειμένων, όπου αυτό κρίθηκε σκόπιμο. Για την λειτουργία του “Εγγύτερου Γείτονα” λήφθηκαν υπ’ όψιν μόνο τα κανάλια των τεσσάρων πρώτων Κύριων Συνιστωσών και αυτό του φίλτρου Laplace. Επίσης σημαντικό ρόλο είχε το χαρακτηριστικό Density (πυκνότητα) καθώς η χρήση του αποδείχτηκε περισσότερο ωφέλιμη σε σχέση με τις προηγούμενες προσεγγίσεις λόγω της κλίμακας της εικόνας. Πιο συγκεκριμένα τα δείγματα που λήφθηκαν (Εικόνα 69) και οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν με τις συναρτήσεις συμμετοχής φαίνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 44, Πίνακας 45, Πίνακας 46):




Εικόνα 69: Δείγματα που λήφθηκαν πριν την ταξινόμηση

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Δρόμοι		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Οροφή (1)	and	Mean difference to super-objects (abs) Band: 494.5 nm		1580	1600
		Density		1.3	1.5
Οροφή (2)	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Density		1.3	1.5
Οροφή (Κεραμίδι)		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Γυμνό έδαφος		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Σκιάσεις		Mean difference to scene Band: 769.8 nm		-1201	-1199

Πίνακας 44: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Κατηγορία	Υποκατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Γυμνό έδαφος	Χωματόδρομοι	Length / width		3	5
		Density		1.2	1.25
		Relat. Border to roads		0.2	0.4
		Relat. Border to roads2		0.2	0.4
	Γυμνό έδαφος	Not “χωματόδρομοι”	-	-	-

Πίνακας 45: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τις υποκατηγορίες του γυμνού εδάφους

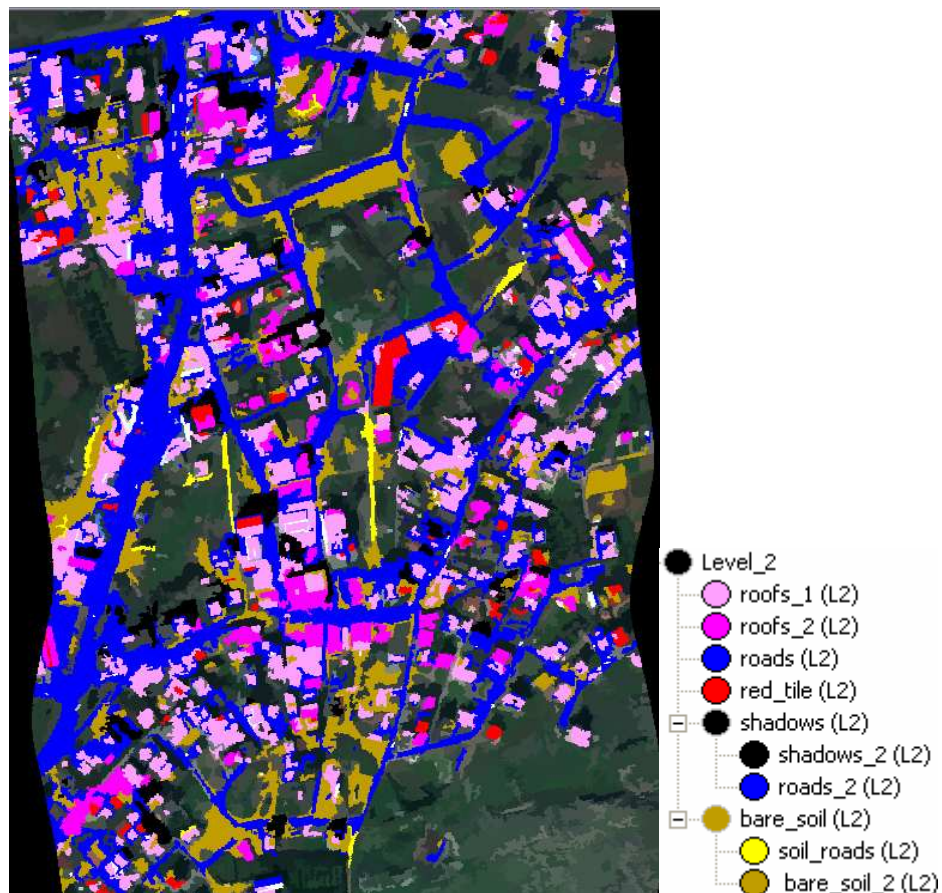
Κατηγορία	Υποκατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Σκιάσεις	Δρόμοι 2	Length / width		3	5
	Σκιάσεις	Not “δρόμοι 2”	-	-	-

Πίνακας 46: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τις υποκατηγορίες των σκιάσεων

Εδώ θα πρέπει να γίνει η επισήμανση ότι λόγω της κλίμακας της απεικόνισης, το κανάλι του φίλτρου Laplace δεν ενισχύει του δρόμους ή τα κτίρια όπως συνέβαινε στην προσέγγιση III, αλλά τα όρια τους. Ως εκ τούτου, δεν χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του ως ξεχωριστός κανόνας ταξινόμησης των δρόμων και των οροφών, απλά συμμετείχε κατά τη λειτουργία του “Εγγύτερου Γείτονα”.

Έπειτα, θα πρέπει να σχολιαστεί ότι το χαρακτηριστικό Density (πυκνότητα) το οποίο είναι ένα μέτρο έκφρασης για το συμπαγές του αντικειμένου χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση του οροφών που προέκυψαν από τον ταξινομητή του “Εγγύτερου Γείτονα”, με τη λογική ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τα κτίρια είναι συμπαγή αντικείμενα. Έτσι αποφεύχθηκε η περίπτωση κάποια αντικείμενα επί των δρόμων ή παρόδια να ταξινομηθούν λανθασμένα λόγω των συγχεόμενων φασματικών υπογραφών ως οροφές κτιρίων. Επίσης ο κανόνας αυτός χρησιμοποιήθηκε και για την θεματική κατηγορία των χωματόδρομων. Αυτό έγινε ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα σε κάποιες περιοχές γυμνού εδάφους τα μικρά αντικείμενα που συνθέτουν την συνολική περιοχή του γυμνού εδάφους να ταξινομηθούν ως χωματόδρομοι. Επιπλέον επειδή σε πολλές περιπτώσεις παρόδια των δρόμων υπάρχει χωμάτινο έρεισμα και αυτό λόγω της γεωμετρίας του δρόμου είναι μακρόστενο, προστέθηκε ο κανόνας Relation border to roads, έτσι ώστε τα αντικείμενα που ανήκουν στην κατηγορία γυμνό έδαφος και συνορεύουν πάνω από 30% με δρόμο, να μην ταξινομούνται ως χωματόδρομοι ακόμα και όταν είναι μακρόστενα.

Όσον αφορά στις σκιάσεις, παρατηρήθηκε ότι ως επί των πλείστων, όταν τα αντικείμενα που έχουν ταξινομηθεί ως σκιές είναι μακρόστενα, είναι σκιές κτιρίων που βρίσκονται παρόδια και καλύπτουν τον δρόμο. Έτσι, χρησιμοποιώντας το χαρακτηριστικό Length/width, έγινε μια προσπάθεια ανίχνευσης των περιπτώσεων αυτών και εν τέλει της ταξινόμησης των αντικειμένων αυτών ως δρόμοι. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου φαίνεται στην Εικόνα 70.



Εικόνα 70: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Η ταξινόμησης της απεικόνισης αυτής που έχει καλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα από τις προηγούμενες, δείχνει μια εμφανώς καλύτερη ταξινόμηση του οδικού δικτύου, όπου πλέον οι δρόμοι παρουσιάζονται ως επί των πλείστων ως ενιαία συνεχή και συμπαγή αντικείμενα, κάτι που είναι και το επιθυμητό. Επιπλέον σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμός φαίνεται να είναι και η ταξινόμηση των υπόλοιπων θεματικών κατηγοριών ενώ σωστά ταξινομήθηκαν και οι κυριότεροι

χωματόδρομοι της περιοχής. Κάποια προβλήματα από την κάλυψη του δρόμου από διερχόμενα αυτοκίνητα τη στιγμή της λήψης δεν ήταν εφικτό να αντιμετωπιστούν.






4.6.4.3 Κατάμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Η δημιουργία του τρίτου επιπέδου είχε και εδώ σκοπό την ταξινόμηση της θάλασσας με τη λήψη δειγμάτων και χρήση του Εγγύτερου Γείτονα. Απλά αναφέρονται οι παράμετροι της κατάμησης: scale parameter: 2000, color: 1.0.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
3	2000	1.0	-	-	-

Πίνακας 47: Κατάμηση στο επίπεδο 3

Τέλος παρατίθεται ο παρακάτω Πίνακας 40 με τις απαραίτητες πληροφορίες για τα τρία επίπεδα της εργασίας και η ιεραρχία κατηγοριών στο σύνολο της προσέγγισης (Εικόνα 71).

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2
2	Level		1	3
	Existence of 'θάλασσα' Super-objects		0	0.5
	Related area of vegetation Sub-objects		0.1	0.2
3	Level		2	4

Πίνακας 48: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα τρία επίπεδα



Εικόνα 71: Ιεραρχία Κατηγοριών

5 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. Μετά από αυτή τη διαδικασία θα γίνει η επιλογή της πιο αποδοτικής μεθόδου.

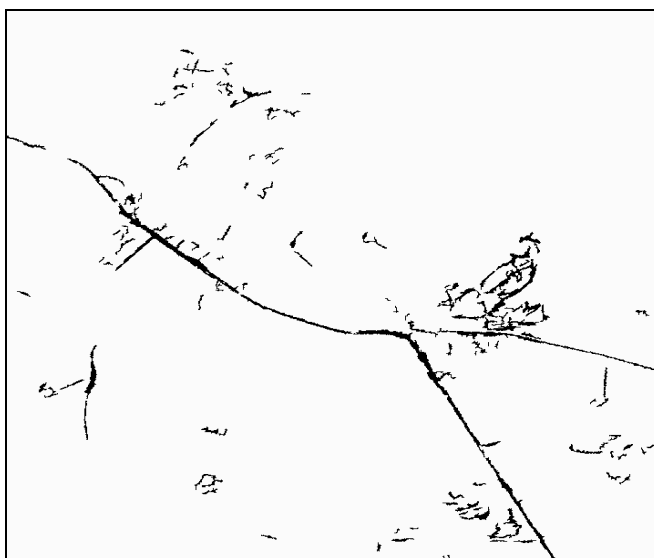
5.1 Έλεγχος σύμπτωσης

Η διαδικασία που θα ακολουθηθεί για την αξιολόγηση των μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί είναι ένας έλεγχος που πραγματοποιήθηκε για κάθε προσέγγιση ξεχωριστά. Η κεντρική ιδέα του ελέγχου είναι να συγκριθούν οι υφιστάμενοι δρόμοι του πεδίου κατόπτευσης των δύο απεικονίσεων με αυτούς που ανιχνεύθηκαν και ταξινομήθηκαν με την εφαρμογή των μεθόδων και να υπολογιστεί το ποσοστό σύμπτωσης μεταξύ των δύο.

Σε πρώτη φάση ψηφιοποιήθηκαν το υφιστάμενο οδικό δίκτυο σε περιβάλλον GIS δημιουργώντας έπειτα ένα raster αρχείο ψηφιοποίησης, το οποίο αποτελεί την εικόνα αναφοράς (Εικόνα 72). Έπειτα δημιουργείται ένα δεύτερο raster αρχείο το οποίο περιλαμβάνει μόνο τα αντικείμενα της εικόνας τα οποία έχουν ταξινομηθεί ως δρόμοι (Εικόνα 73). Οι δύο αυτές εικόνες που δημιουργήθηκαν εισήχθησαν στο λογισμικό ER Mapper, όπου συγκρίθηκαν και παράχθηκε ο πίνακας σύγκρισης (correlation matrix) μεταξύ των δρόμων των δύο εικόνων.



Εικόνα 72: Ψηφιοποίηση υφιστάμενου οδικού δικτύου (εικόνα αναφοράς)








Εικόνα 73: Εικόνα με τα αντικείμενα που έχουν ταξινομηθεί ως δρόμοι

5.1.1 Προβλήματα κατά την αξιολόγηση

Κατά την πραγματοποίηση του ελέγχου αλλά και γενικότερα της επεξεργασίας των απεικονίσεων εντοπίστηκαν κάποια προβλήματα. Κατά την δημιουργία της εικόνας αναφοράς έγινε, όπως έχει αναφερθεί, ψηφιοποίηση του υφιστάμενου οδικού δικτύου. Για τους δρόμους που ψηφιοποιήθηκαν το πλάτος το οποίο ορίστηκε δεν ανταποκρινόταν πάντα στο πραγματικό πλάτος του δρόμου καθώς αυτό ήταν δυσδιάκριτο εξαιτίας της χαμηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας των απεικονίσεων που χρησιμοποιήθηκαν.

Επιπλέον, ενώ κάποιες σε κάποιες ταξινομήσεις έχει ταξινομηθεί σωστά ένα μεγάλο ποσοστό του οδικού δικτύου κάποιοι δρόμοι δεν ήταν δυνατόν να ταξινομηθούν καθώς περιλάμβαναν μεγάλο ποσοστό χλόης ή πλούσια παρόδια βλάστηση με αποτέλεσμα να ανιχνεύονται από τον NDVI και να ταξινομούνται ως βλάστηση. Παρόμοια προβλήματα δημιουργήθηκαν και εξ' αιτίας των σκιάσεων ή κατά την προσπάθεια ανίχνευσης των χωματόδρομων παρά τα κριτήρια που εφαρμόστηκαν, όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενες παραγράφους, για την εξάλειψη αυτών των προβλημάτων.

Ωστόσο προβλήματα που είχαν αναφερθεί και κατά την περιγραφή των δύο απεικονίσεων συνετέλεσαν στην μείωση της ακρίβειας των ταξινομήσεων. Ειδικά στην απεικόνιση της Χαλκίδας (1), η σύνθετη αστική δόμηση με τις πολλές συγχεόμενες φασματικές υπογραφές σε συνδυασμό με την χωρική ανάλυση της εικόνας δημιούργησε αρκετά προβλήματα στην ταξινόμηση. Επιπλέον στο πάνω δεξιά τμήμα της εικόνας παρατηρείται και ένα πρόβλημα στη γεωμετρική διόρθωση το οποίο δυσχέρανε κατά το μέγιστο την διαδικασία σε αυτή την περιοχή της εικόνας. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποια από τα παραπάνω προβλήματα.

<p>Δρόμος καλυμμένος από βλάστηση (μεγάλη τιμή του NDVI)</p>			
<p>Χωματόδρομος καλυμμένος με χλόη (μεγάλη τιμή του NDVI)</p>			
<p>Δρόμος καλυμμένος από σκιάσεις</p>			
<p>Πρόβλημα γεωμετρικής διόρθωσης (στο πάνω δεξιά τμήμα της απεικόνισης της Χαλκίδας 1)</p>			
<p>Πλάτος ψηφιοποίησης των δρόμων</p>			

Πίνακας 49: Προβλήματα κατά την αξιολόγηση

5.2 Έλεγχος στο λογισμικό eCognition

Ως αποτέλεσμα όλων των παραπάνω, παρά το γεγονός ότι ιδιαίτερα στην απεικόνιση του Calgary η ταξινόμηση οπτικά φαίνεται σε μεγάλο βαθμό ακριβής, ο έλεγχος που εφαρμόστηκε δεν έδωσε ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στην πραγματικότητα όμως οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν είναι πολύ καλύτερες από αυτές που αναφέρονται παρακάτω. Αυτό διαπιστώνεται τόσο οπτικά όσο και μέσω ενός δεύτερου ελέγχου που πραγματοποιείται στο λογισμικό eCognition με τα εργαλεία Classification Stability και Best Classification Result.

- **Classification Stability:** Λόγω της λειτουργίας του eCognition μέσω της ασαφούς λογικής, ένα αντικείμενο έχει κάποιο βαθμό συμμετοχής σε περισσότερες από μία κατηγορίες. Με αυτό το εργαλείο, μπορεί κανείς να διερευνήσει τις διαφορές των βαθμών συμμετοχής μεταξύ της καλύτερης και της δεύτερης καλύτερης κατηγορίας στην οποία ανήκει το κάθε αντικείμενο, κάτι το οποίο μπορεί να προσδώσει ένα στοιχείο για την ασάφεια της ταξινόμησης του αντικειμένου. Στη γραφική παρουσίαση του αποτελέσματος τα αντικείμενα παρουσιάζονται με χρώματα από

σκούρο πράσινο (1.0, καθόλου ασάφεια) έως βαθύ κόκκινο (0.0, πλήρης ασάφεια), ενώ παρατίθεται και στατιστικός πίνακας.

- Best Classification Result: Ένα εργαλείο το οποίο παρουσιάζεται τόσο σε γραφική μορφή όσο και σε μορφή στατιστικού πίνακα. Ως καλύτερη βαθμολογείται η ταξινόμηση η οποία πραγματοποιείται με την υψηλότερη τιμή συνάρτησης συμμετοχής. Η υψηλότερη τιμή συμμετοχής αναπαριστάται για κάθε αντικείμενο σε ένα εύρος από σκούρο πράσινο (1.0, μέγιστος βαθμός συμμετοχής) έως κόκκινο (0.0, μηδενική συμμετοχή).

Επομένως ως κριτήρια για την αποτελεσματικότητα των ταξινομήσεων θα είναι για το Classification Stability να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη η μέση τιμή της διαφοράς μεταξύ της καλύτερης και δεύτερης καλύτερης κατηγορίας και για το Best Classification Result να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής για τα αντικείμενα της κάθε κατηγορίας. Αυτό που έχει περισσότερη σημασία είναι οι τιμές αυτές για την κατηγορία των δρόμων.

5.3 Αξιολόγηση για την απεικόνιση του Calgary

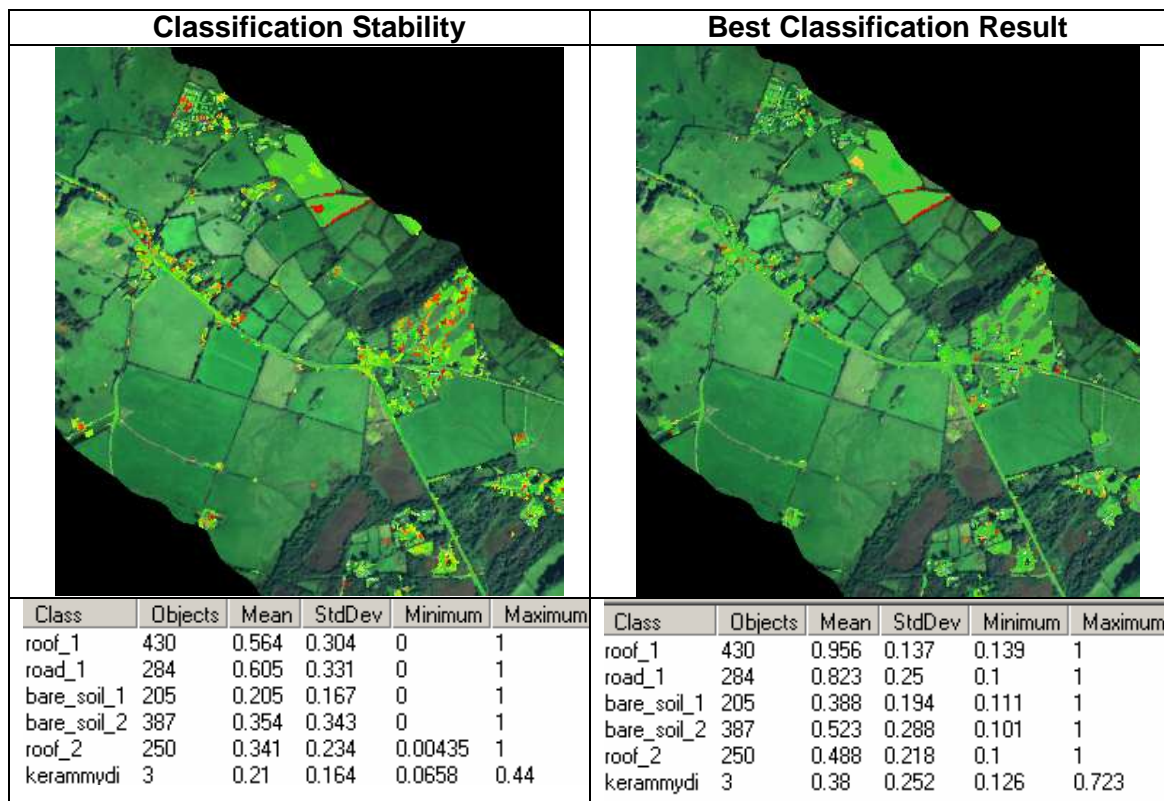
5.3.1 Προσέγγιση I: Χρήση των καναλιών του δέκτη και των Κύριων Συνιστωσών

Αρχικά παρουσιάζεται η εικόνα, όπου πάνω από το ψηφιοποιημένο οδικό δίκτυο (κόκκινο χρώμα) φαίνεται η ταξινόμηση των δρόμων (κίτρινο χρώμα).



Εικόνα 74: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση I

Ο έλεγχος σύμπτωσης μέσω του ER Mapper για αυτή την προσέγγιση δίνει ακρίβεια 41% ενώ παρατηρείται οπτικά μια πολύ καλύτερη ακρίβεια. Οι δρόμοι που φαίνονται ως μη ταξινομημένοι παρουσιάζουν τα προβλήματα μεγάλου ποσοστού βλάστησης, που έχουν αναφερθεί, οπότε δε θα μπορούσαν να ταξινομηθούν με βάση τους συνήθεις κανόνες ταξινόμησης που εφαρμόστηκαν.



Πίνακας 50: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση I

Η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με την δεύτερη καλύτερη κατηγορία για τους δρόμους σύμφωνα με το Classification Stability είναι 60.5 %, ποσοστό που δείχνει ότι ο διαχωρισμός των δρόμων έγινε με επιτυχία. Το ίδιο αποδεικνύει και το σχετικά υψηλό ποσοστό της μέσης τιμής του βαθμού συμμετοχής για την κατηγορία των δρόμων που φτάνει το 82%.

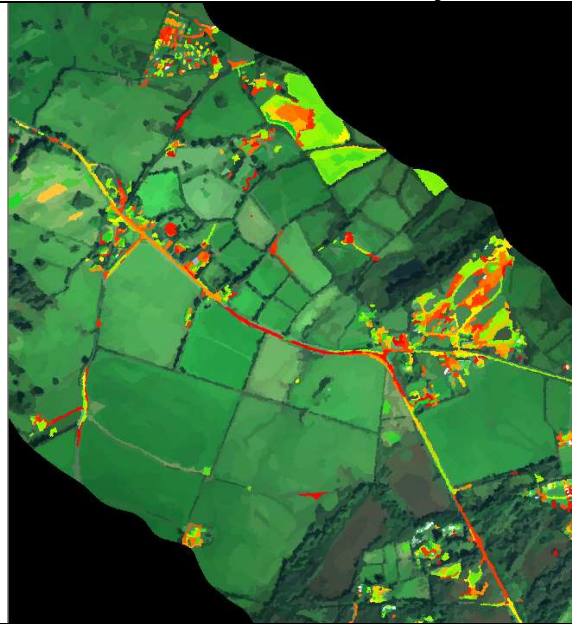
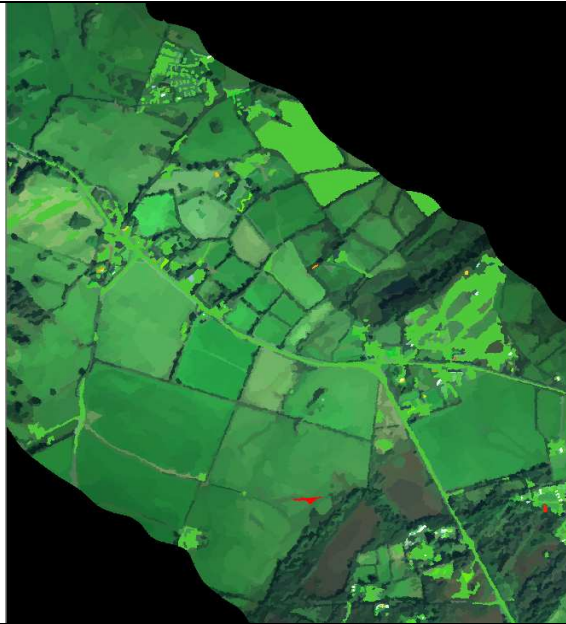
5.3.2 Προσέγγιση II: Χρήση των καναλιών που προκύπτουν από τις Μεθόδους Επιλογής Χαρακτηριστικών

Στην Εικόνα 75 έγινε ο έλεγχος. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με την πρώτη προσέγγιση, όμως με την εφαρμογή αυτής της μεθόδου επιτεύχθηκε η μεγαλύτερη ακρίβεια για την απεικόνιση αυτή, με βάση τον έλεγχο, που ήταν 48%.



Εικόνα 75: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση II

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα Best Classification Result και Classification Stability:

Classification Stability						Best Classification Result					
											
Class	O...	Mean	StdD...	Minim...	Ma...	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
road_1 (L2)	78	0.0688	0.0552	0	0.185	nero (L1)	0				
road_2 (L2)	111	0.0604	0.0437	0	0.181	kerammydi (L2)	4	0.941	0.103	0.762	1
road_3 (L2)	70	0.0832	0.0543	0	0.204	roof_1 (L2)	253	0.683	0.247	0.111	1
xoma (L2)	161	0.161	0.13	0	0.588	xoma (L2)	161	0.923	0.105	0.172	1
roof_1 (L2)	253	0.279	0.232	0	1	road_3 (L2)	70	0.936	0.0585	0.609	1
roof_2 (L2)	0					road_2 (L2)	111	0.932	0.111	0.116	1
kerammydi (L2)	4	0.157	0.12	0.00709	0.278	road_1 (L2)	78	0.842	0.212	0.101	1

Πίνακας 51: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση II

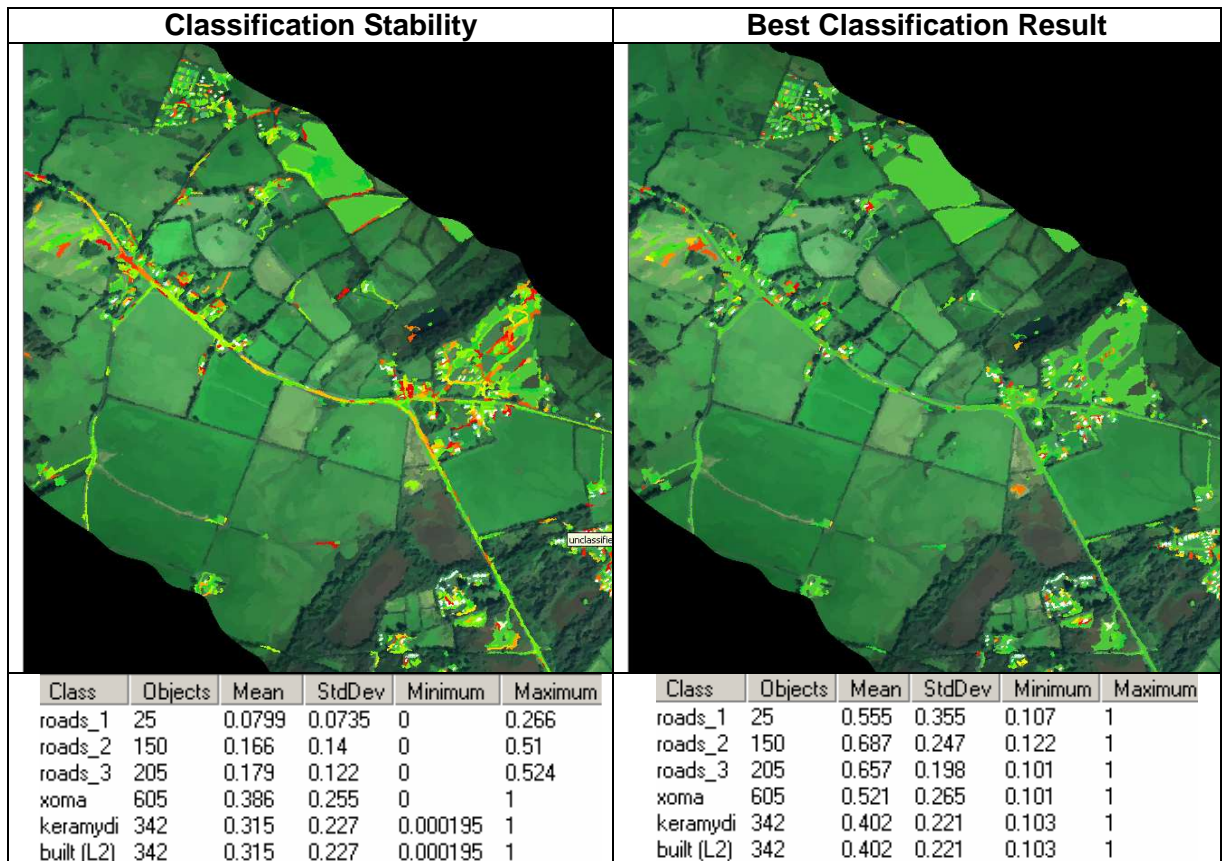
Παρατηρείται ότι ο βαθμός συμμετοχής μεταξύ των τριών κατηγοριών των δρόμων είναι πολύ υψηλός και για αυτό το λόγο η μέσες τιμές των διαφορών στο Classification Stability είναι μικρές (6% - 8%). Αυτό όμως συμβαίνει λόγω των παρόμοιων φασματικών υπογραφών των τριών τύπων των δρόμων και δεν επηρεάζει τη συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης. Για τις υπόλοιπες κατηγορίες η μέση τιμή είναι αρκετά μεγαλύτερη φτάνοντας ακόμα και το 28% για την κατηγορία Οροφές (1). Επίσης παρατηρείται ότι η μέσες τιμές των βαθμών συμμετοχής για την κάθε κατηγορία στο Best Classification Result πλησιάζουν την μονάδα.

5.3.3 Προσέγγιση III: Ταξινόμηση με χρήση του “Εγγύτερου Γείτονα” στα κανάλια των Κύριων Συνιστωσών



Εικόνα 76: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση III

Ο έλεγχος σύμπτωσης για αυτή την προσέγγιση έδωσε ποσοστό σύμπτωσης 44%. Όπως φαίνεται και από τον έλεγχο στο eCognition παρακάτω, παρουσιάζεται το ίδιο φαινόμενο με την προηγούμενη προσέγγιση και με όλες σε όσες έχουν δημιουργηθεί περισσότερες από μια κατηγορίες για τους δρόμους. Οι μέσες τιμές των διαφορών των κατηγοριών των δρόμων από τις δεύτερες επικρατέστερες κατηγορίες (οι οποίες είναι οι άλλες κατηγορίες των δρόμων) είναι σχετικά μικρές (από 8% έως 17%), αυτό όμως δεν επηρεάζει την ακρίβεια της ταξινόμησης συνολικά. Επιπλέον, στην συγκεκριμένη προσέγγιση σχετικά μικρές είναι οι μέσες τιμές των βαθμών συμμετοχής για τις τρεις κατηγορίες δρόμων, 56%, 69% και 66% αντίστοιχα.



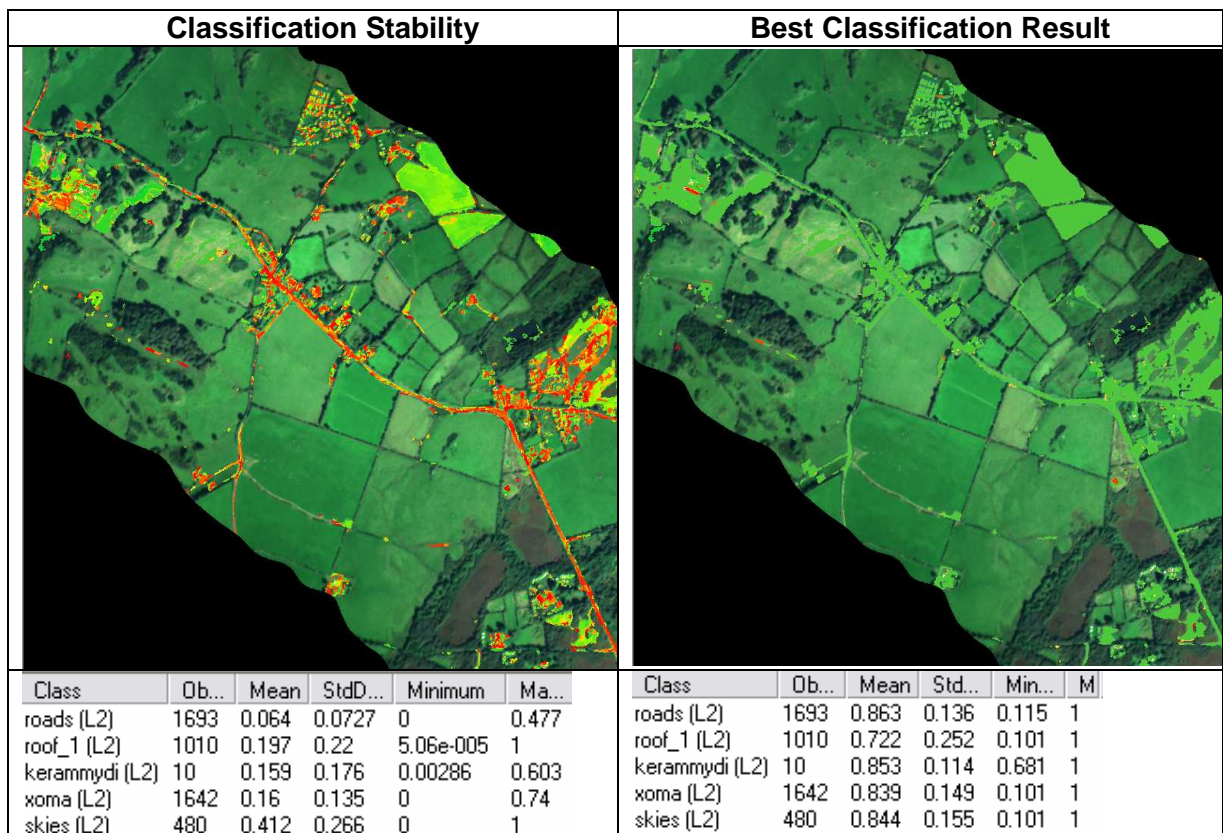
Πίνακας 52: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση III

5.3.4 Προσέγγιση IV: Κατάτμηση μικρής κλίμακας και ταξινόμηση με έμφαση στο φασματικά χαρακτηριστικά



Εικόνα 77: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση IV

Στην τέταρτη προσέγγιση το ποσοστό σύμπτωση που έδωσε ο έλεγχος είναι μόλις 39% και πράγματι από την παραπάνω εικόνα φαίνεται σε σχέση με τις αντίστοιχες εικόνες των άλλων προσεγγίσεων ότι αυτή η ταξινόμηση υστερεί. Ωστόσο το ποσοστό αυτό και πάλι δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.



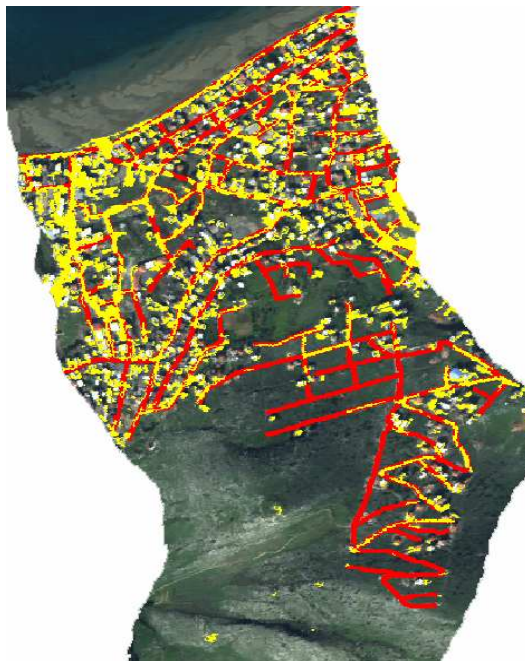
Πίνακας 53: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση IV

Παρ' ότι η μέση τιμή της διαφοράς για τους δρόμους είναι μόλις 6.4% αυτό το ποσοστό είναι ικανό για να διαχωρίσει σε μεγάλο βαθμό την κατηγορία των δρόμων από τις δεύτερες επικρατέστερες. Επίσης ο βαθμός συμμετοχής για την κατηγορία των δρόμων φτάνει το 86.3 % που είναι αρκετά υψηλό σε σχέση και με τους βαθμούς συμμετοχής των άλλων κατηγοριών αυτής της προσέγγισης.

5.4 Έλεγχος για την απεικόνιση της Χαλκίδας

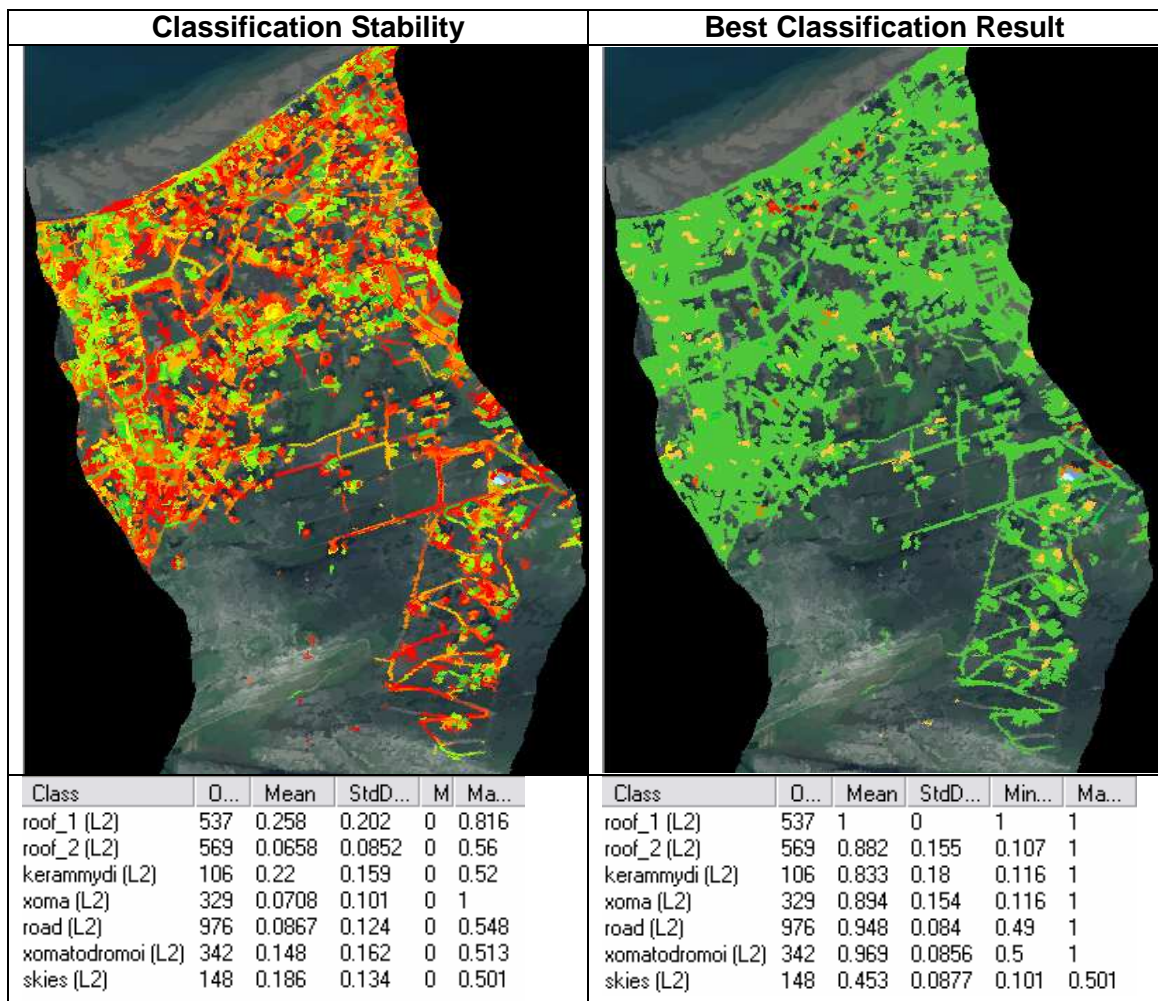
Η ίδια διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για την απεικόνιση του Calgary, θα ακολουθήσει για τις τρεις προσεγγίσεις που αναπτύχθηκαν για την απεικόνιση της Χαλκίδας.

5.4.1 Προσέγγιση I: Χρήση των καναλιών του δέκτη με έμφαση στις φασματικές υπογραφές



Εικόνα 78: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση I

Ο έλεγχος σύμπτωσης για αυτή την προσέγγιση για τη απεικόνιση της Χαλκίδας έδωσε ποσοστό σύμπτωσης 45%. Οπτικά παρατηρείται ότι μεγάλο ποσοστό των δρόμων της περιοχής δεν έχει ταξινομηθεί. Οι δρόμοι αυτοί είναι κυρίως χωματόδρομοι και παρά το γεγονός ότι έγιναν προσπάθειες να ταξινομηθούν ως ξεχωριστή κατηγορία αυτό δεν ήταν εφικτό στον επιθυμητό βαθμό.

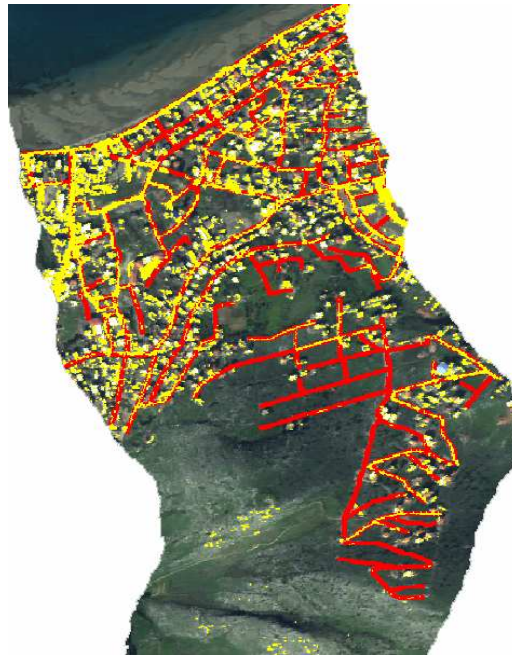


Πίνακας 54: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση I

Η εικόνα του Classification Stability αναδεικνύει τον βαθμό δυσκολίας της απεικόνισης της Χαλκίδας, αφού το μεγάλο πλήθος των αντικειμένων που αναπαριστώνται με κόκκινο χρώμα αποδεικνύει ότι ο βαθμός συμμετοχής της καλύτερης και δεύτερης καλύτερης κατηγορίας είναι πολύ κοντά. Στην ουσία αυτό σημαίνει πως τα αντικείμενα έχουν παρόμοιες και δυσδιάκριτες φασματικές υπογραφές και αυτό φαίνεται για όλες τις προσεγγίσεις που αναπτύχθηκαν για την απεικόνιση της Χαλκίδας, ενώ το φαινόμενο αυτό δεν ήταν τόσο έντονο στις προσεγγίσεις για το Calgary.

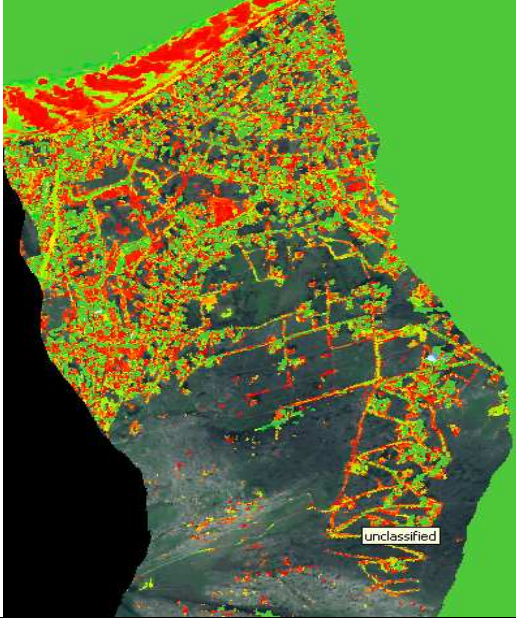
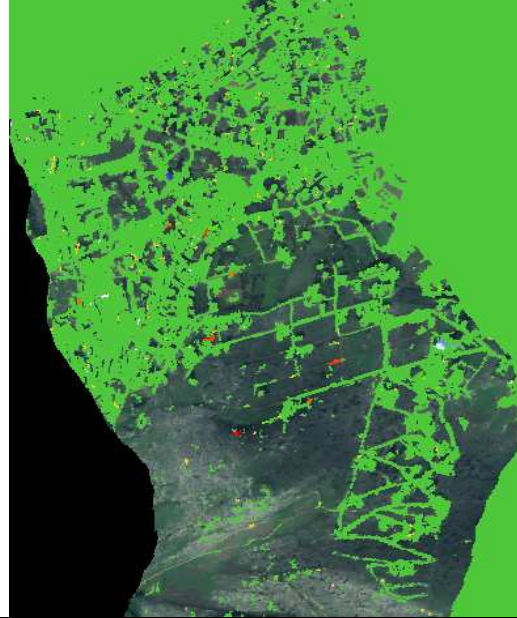
Παρά τα προβλήματα, η μέση τιμή της διαφοράς μεταξύ των επικρατέστερων κατηγοριών και των δρόμων είναι 8.7%, ποσοστό που όπως έχει αναφερθεί και πρωτίτερα είναι ικανό να ταξινομήσει σωστά τα αντικείμενα και επίσης ο βαθμός συμμετοχής για την κατηγορία των δρόμων κοντά στη μονάδα (94.8%).

5.4.2 Προσέγγιση II: Κατάτμηση μικρής κλίμακας και ταξινόμηση με έμφαση στα φασματικά χαρακτηριστικά



Εικόνα 79: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση II

Από οπτικής άποψης για την αξιολόγηση ισχύουν τα ίδια με την προηγούμενη προσέγγιση ενώ το ποσοστό σύμπτωσης που προέκυψε ήταν 44%.

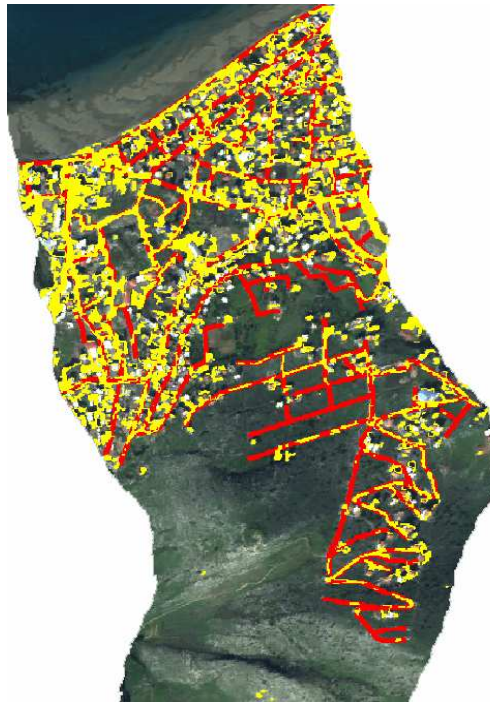
Classification Stability						Best Classification Result					
											
Class	Ob...	Mean	Std...	M	Ma...	Class	Ob...	Mean	StdD...	Min...	M
roof (L2)	7039	0.207	0.323	0	1	roof (L2)	7039	0.89	0.155	0.104	1
roads (L2)	9195	0.228	0.223	0	0.801	roads (L2)	9195	0.93	0.0936	0.245	1
xoma (L2)	6785	0.0591	0.053	0	0.301	xoma (L2)	6785	0.936	0.0579	0.237	1
kerammydi (L2)	889	0.307	0.23	0	1	kerammydi (L2)	889	0.883	0.15	0.132	1
skies (L2)	3212	0.432	0.243	0	1	skies (L2)	3212	0.992	0.0669	0.101	1

Πίνακας 55: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση II

Σε αυτή την προσέγγιση παρατηρείται μία από τις μεγαλύτερες μέσες τιμές για τη διαφορά της κατηγορίας των δρόμων και των άλλων επικρατέστερων κατηγοριών που φτάνει στο 22.8% και επίσης ο βαθμός συμμετοχής είναι 92%.

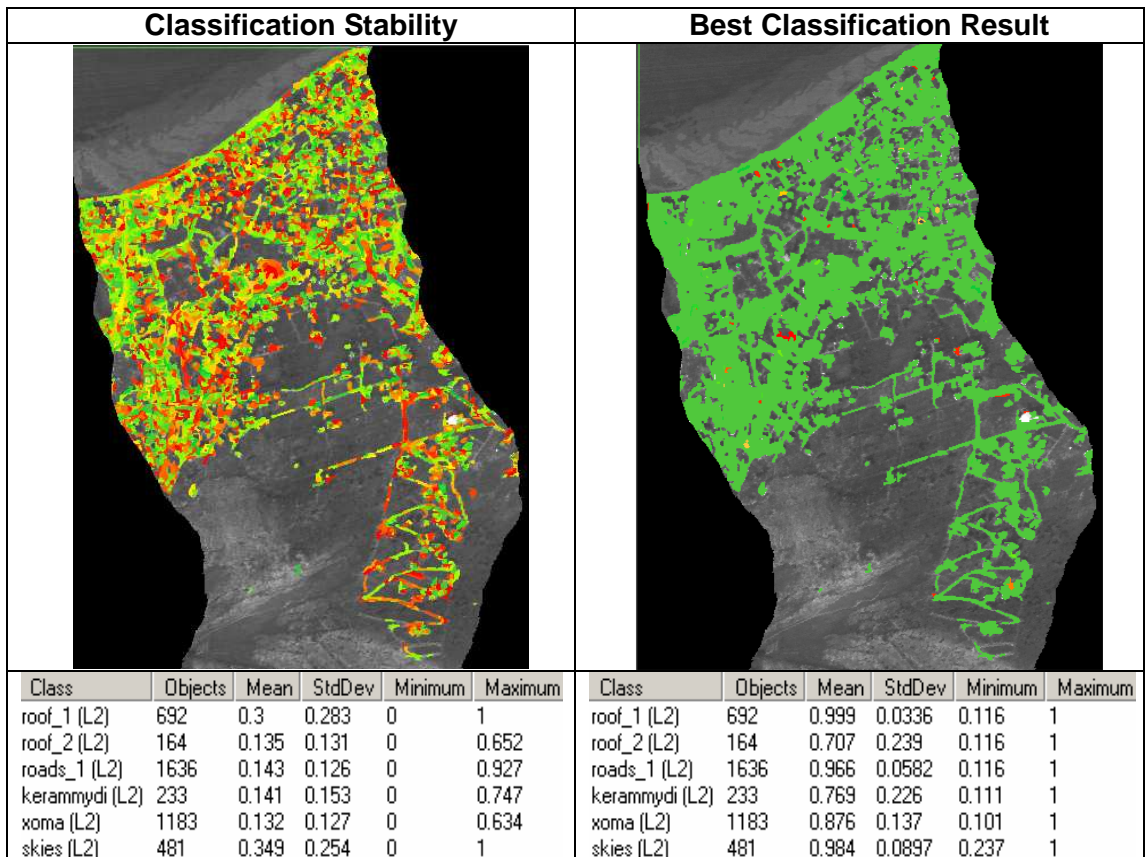
5.4.3 Προσέγγιση III: Χρήση καναλιών ομαλοποιημένης εικόνας με εφαρμογή φίλτρου για την ενίσχυση της σημειακής και γραμμικής πληροφορίας

Σε αυτή την τρίτη προσέγγιση παρατηρείται οπτικά μια καλύτερη ταξινόμηση των χωματόδρομων και γενικά κάπως πιο κανονικά σχήματα στα τμήματα των ψηφιοποιημένων δρόμων. Το ποσοστό σύμπτωσης και πάλι όμως είναι σχετικά χαμηλό στο 46% με βάση τον έλεγχο σύμπτωσης.



Εικόνα 80: Ψηφιοποιημένο και υφιστάμενο οδικό δίκτυο για την προσέγγιση II

Από τον έλεγχο με βάση το Classification Stability και Best Classification Result, παρατηρείται ότι η κατηγορία των δρόμων έχει 14.3% διαφορά σε σχέση με τη δεύτερη επικρατέστερη κατηγορία, όμως έχει υψηλή μέση τιμή βαθμού συμμετοχής 96.6% αντίστοιχα.



Πίνακας 56: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση III



5.4.4 Προσέγγιση IV: Χρήση καναλιού της εικόνας με εφαρμογή φίλτρου για την ενίσχυση της σημειακής και γραμμικής πληροφορίας σε απεικόνιση με χωρική διακριτική ικανότητα 1m και φασματική διακριτική ικανότητα 16 επιλεγμένα κανάλια



Εικόνα 81: Ταξινόμηση στην προσέγγιση IV

Σε αυτή την προσέγγιση δεν θεωρήθηκε σκόπιμο να εφαρμοστεί ο έλεγχος σύμπτωσης καθώς λόγω της μεγαλύτερης κλίμακας της απεικόνισης θα ήταν σαφώς πιο δύσκολη η σωστή ψηφιοποίηση του υφιστάμενου οδικού δικτύου, την στιγμή που έχει αποδειχτεί από τις προηγούμενες προσεγγίσεις ότι ο έλεγχος σύμπτωσης δεν δίνει ιδιαίτερα αξιόπιστα αποτελέσματα. Όμως από την οπτική παρατήρηση της ταξινόμησης που πραγματοποιήθηκε (Εικόνα 81), φαίνεται ότι το αποτέλεσμα είναι σαφώς βελτιωμένο. Το οδικό δίκτυο έχει ταξινομηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό και μάλιστα στις περισσότερες περιπτώσεις τα αντικείμενα από τα οποία αποτελείται είναι μεγάλα, ενιαία και συνεχή. Επιπλέον, ταξινομήθηκαν περισσότεροι μικροί δρόμοι εντός της αστικής περιοχής αλλά και οι χωματόδρομοι, ενώ επιτεύχθηκε εν μέρει η ταξινόμηση κάποιων δρόμων που ήταν καλυμμένοι από σκιάσεις.

Από τον έλεγχο με βάση το Classification Stability και Best Classification Result, παρατηρείται ότι οι δύο κατηγορίες των δρόμων που ταξινομήθηκαν έχουν 18.9% και 15.1% διαφορά σε σχέση με τη δεύτερη επικρατέστερη κατηγορία αντίστοιχα, ενώ οι μέσες τιμές των βαθμών συμμετοχής 73.3% και 98.4% αντίστοιχα.

Classification Stability							Best Classification Result						
													
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maxi		Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maxi	
roads (L2)	760	0.189	0.124	0	1		roads (L2)	760	0.733	0.274	0.101	1	
roof_1 (L2)	578	0.322	0.324	0	1		roof_1 (L2)	578	0.944	0.154	0.112	1	
red_tile (L2)	118	0.399	0.32	0	1		red_tile (L2)	118	0.81	0.212	0.107	1	
shadows (L2)	0						shadows (L2)	0					
bare_soil (L2)	0						bare_soil (L2)	0					
roof_2 (L2)	94	0.147	0.301	0	1		roof_2 (L2)	94	0.935	0.116	0.356	1	
roads_2 (L2)	64	0.151	0.137	0	0.74		roads_2 (L2)	64	0.984	0.0396	0.771	1	
shadows_2 (L2)	83	0.198	0.258	0	1		shadows_2 (L2)	83	0.975	0.058	0.685	1	
soil_roads (L2)	18	0.159	0.141	0.00117	0.479		soil_roads (L2)	18	0.864	0.101	0.567	0.964	
bare_soil_2 (L2)	255	0.0916	0.103	0	0.581		bare_soil_2 (L2)	255	0.768	0.251	0.109	1	

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η προσέγγιση αυτή έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα για την ανίχνευση και ταξινόμηση του οδικού δικτύου στην περιοχή της Χαλκίδας η οποία όπως έχει αναφερθεί είναι μια αρκετά δύσκολη για ανάλυση απεικόνιση. Επομένως θεωρείται ότι η χωρική διακριτική ικανότητα της απεικόνισης ειδικά σε περιπτώσεις που απεικονίζει

μια πυκνοδομημένη αστική περιοχή παίζει σημαντικό ρόλο και είναι σκόπιμο για αυτού του είδους τις επεξεργασίες να μελετώνται εικόνες αυτής της διακριτική ικανότητας (1m).

6 Συμπεράσματα

Η διπλωματική εργασία είχε ως στόχο να διερευνήσει τις αντικειμενικές δυνατότητες και τους περιορισμούς της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας με χρήση υπερφασματικών δεδομένων αερομεταφερόμενου δέκτη για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου και να αξιοποιήσει αποτελεσματικές μεθόδους αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης για το σκοπό αυτό. Η επιστήμη της Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης συνεχώς εξελίσσεται με την πρόοδο της τεχνολογίας καθώς δημιουργούνται συνεχώς νέοι υπερφασματικοί σαρωτές με περισσότερες δυνατότητες. Έτσι ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι δυνατότητες καινοτόμων και πληρέστερων δεδομένων για τον σκοπό αυτό, καθώς η ανάγκη για ενημέρωση των βάσεων δεδομένων του οδικού δικτύου είναι μεγάλη, ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες που η συγκέντρωση του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα αυξάνεται ραγδαία με αποτέλεσμα την διαρκή αύξηση του όγκου των μεταφορών και τη συνεχή τροποποίηση και επέκταση του οδικού δικτύου.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν τρεις απεικονίσεις, μία στο Calgary του Καναδά και δύο στην ευρύτερη περιοχή της Χαλκίδας. Η πρώτη απεικόνιση της Χαλκίδας επιλέχθηκε σε μία περιοχή ιδιαίτερα χαρακτηριστική για το Ελληνικό αστικό τοπίο με ιδιαίτερη πολυπλοκότητα και έντονες εναλλαγές και αποτέλεσε μια πρόκληση καθώς παρουσίαζε πολλά προβλήματα όσον αφορά στη διαδικασία των ταξινομήσεων. Η επεξεργασία για τη δεύτερη απεικόνιση της Χαλκίδας ήταν κατάλληλη για την διερεύνηση της σημασίας της χωρικής διακριτικής ικανότητας έναντι της μεγάλης διανυσματικής διάστασης των υπερφασματικών δεδομένων κατά την ανίχνευση του οδικού δικτύου. Συνολικά μελετήθηκαν τέσσερις προσεγγίσεις αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης στο λογισμικό eCognition για την εικόνα του Calgary και τέσσερις για την Χαλκίδα. Οι προσεγγίσεις αξιολογήθηκαν μέσω ενός ελέγχου σύμπτωσης καθώς και μέσω ελέγχου σταθερότητας που παρέχει το λογισμικό και οι προσεγγίσεις που δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα είναι οι:

- προσέγγιση II: με χρήση επιλεγμένων καναλιών τα οποία προέκυψαν από την ανάλυση συσχέτισης για την εικόνα του Calgary και
- προσέγγιση IV: Χρήση καναλιού της εικόνας με εφαρμογή φίλτρου για την ενίσχυση της σημειακής και γραμμικής πληροφορίας σε απεικόνιση με χωρική διακριτική ικανότητα 1m και φασματική διακριτική ικανότητα 16 επιλεγμένα κανάλια

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το σύνολο της εργασίας αλλά και από το γεγονός ότι οι δύο παραπάνω προσεγγίσεις έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα είναι ότι:

- Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο ρόλος των υπερφασματικών δεδομένων η μεγάλη διανυσματική διάσταση των οποίων δίνει τη δυνατότητα μέσω της ανάλυσης συσχέτισης των δεδομένων να επιλεχθούν τα καλύτερα κανάλια για τον συγκεκριμένο σκοπό αλλά και γενικότερα να διακριθούν χαρακτηριστικά γνωρίσματα που με άλλους δέκτες δε θα υπήρχε αυτή η δυνατότητα.
- Η αντικειμενοστραφής ανάλυση παρέχει πολλά πλεονεκτήματα στον χρήστη σε σχέση με παλαιότερες μεθόδους ταξινόμησης ενώ σημαντικότερο ρόλο κατέχει στην όλη διαδικασία η κατάτμηση της εικόνας.
- Η εφαρμογή της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (PCA) έχει ως αποτέλεσμα την απαλοιφή μεγαλύτερου ποσοστού του θορύβου της εικόνας σε σύγκριση με την εφαρμογή του μετασχηματισμού ελαχιστοποίησης του θορύβου (MNF) και βοηθούν στην καλύτερη ταξινόμηση της εικόνας, παρά το γεγονός ότι οι ταξινομήσεις με χρήση των κυρίων συνιστωσών δεν έδωσαν τα βέλτιστα αποτελέσματα στις συγκεκριμένες απεικονίσεις.
- Για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου 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 υπερφασματικά 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 1m, καθώς δεν υπάρχει το πλήθος και το είδος των αστικών υλικών και των τύπων κάλυψης του εδάφους που μπορεί να δημιουργήσει μεγάλη σύγχυση μεταξύ των φασματικών υπογραφών. Ως εκ τούτου, η ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου σε τέτοιες περιοχές αποτελεί μια ευκολότερη διαδικασία αν και η αντικειμενοστραφής ανάλυση των δεδομένων παίζει σαφέστατα σημαντικότερο ρόλο και σε αυτές τις περιπτώσεις.
- Η χρήση φίλτρων για την ενίσχυση των γραμμικών στοιχείων της εικόνας αποδείχτηκε πολύ χρήσιμη για εικόνες περιορισμένης χωρικής διακριτικής ικανότητας σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα της απεικονιζόμενης περιοχής, καθώς βοηθάει στην ταξινόμηση τμημάτων του οδικού δικτύου τα οποία λόγω των παραπάνω προβλημάτων είναι δύσκολο να ταξινομηθούν.
- Οι αντικειμενοστραφείς ταξινομήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν έδωσαν αρκετά καλά αποτελέσματα παρά το γεγονός ότι η στατιστική ακρίβεια η οποία υπολογίστηκε από τον έλεγχο σύμπτωσης δεν ήταν υψηλή, γεγονός το οποίο οφείλεται στη μη επαρκή υλοποίηση του συγκεκριμένου ελέγχου.

Παρακάτω αναφέρονται κάποιες προτάσεις για μελέτη μελλοντικών εργασιών που θα βοηθήσουν στην βελτιστοποίηση της μεθοδολογίας για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου:

- Είναι σκόπιμο όταν πρόκειται για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου να γίνονται λήψεις με καλύτερη χωρική ανάλυση (διάσταση εικονοστοιχείου στο έδαφος μικρότερη από 3m)
- Η δυνατότητα καταγραφής υπερφασματικών δεδομένων και στην περιοχή του μικροκυματικού υπέρυθρου, πέραν των περιοχών του ορατού και εγγύς υπέρυθρου στις οποίες καταγράφει ο δέκτης CASI 550, θα επέφερε σαφέστατη βελτίωση των αποτελεσμάτων.
- Η συνδυαστική χρήση υψομετρικών δεδομένων υψηλής διακριτικής ικανότητας (LiDAR) θα επέφερε δραματική βελτίωση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης καθώς υπάρχει πλήρης δυνατότητα αξιοποίησης των δεδομένων αυτών στις αντικειμενοστραφείς ταξινομήσεις (Ρηγόπουλος Γ., 2008).
- Είναι σημαντική η διερεύνηση της εφαρμογής φίλτρων ειδικών για την ανάδειξη γραμμικών στοιχείων, καθώς με χρήση ενός απλού φίλτρου όπως το Laplace σε συνδυασμό με τη μεγάλη διανυσματική διάσταση των δεδομένων εξήχθησαν σχετικά καλά αποτελέσματα.
- Τέλος, θα πρέπει να υλοποιηθεί ένας πιο αξιόπιστος τρόπος αξιολόγησης των αποτελεσμάτων κατά τον οποίο, αφού εξαχθούν οι άξονες των δρόμων από τα αντικείμενα της ταξινόμησης, με διαδικασίες λέπτυνσης και προσαρμογή καμπυλών με χρήση MET, να πραγματοποιείται σύγκριση με τους ψηφιοποιημένους άξονες του υφιστάμενου οδικού δικτύου (φυσικά με χρήση κάποιου εύλογου εύρους ανοχής - buffer).

Βιβλιογραφία

- Αργιαλάς Δ. (2000), "Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση", Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Αργιαλάς Δ. (1998), "Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση", Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Ανδρέου Χ. (2008), "Δυνατότητες και Περιορισμοί της Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης στην Ανίχνευση Ποιοτικών Χαρακτηριστικών του Οδοστρώματος", Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Baatz M., Benz U., Dehghani S., Heynen M., Höltje A., Hofmann P., Lingenfelder I., Mimler M., Sohlbach M., Weber M., Willhauck G. (2001). "Definiens Imaging eCognition User Guide", München, Germany.
- Baatz M & Schäpe A. (2000), "Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. Angewandte geographische Informationsverarbeitung XII: Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000, pp.12-23.
- Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. and Heynen, M. (2004), "Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 58, pp. 239-258.
- Herold M., Gardner M.E., Val Noronha and Roberts D.A. (2003), "Spectrometry and Hyperspectral Remote Sensing of urban road infrastacture", Online Journal of Space Communications, <http://satjournal.tcom.ohiou.edu/issue03/applications.html>
- Hofmann, P. (2001), "Detecting Informal Settlements from IKONOS Image Data Using Methods of Object Oriented Image Analysis – An Example from Cape Town, South Africa". In: Jürgens, C. (ed.), Remote Sensing of Urban Areas, Regensburger Geographische Schriften, Vol. 35, pp. 107-118.
- Jensen J.R. & Cowen D.C. (1999). "Remote Sensing of Urban/Suburban Infrastructure and Socio-Economic Attributes", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol.65: 5, pp.611-622.
- Κολοκούσης Θ. Π. (2008), "Ανάπτυξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Υπερφασματικών και Θερμικών Ψηφιακών Τηλεπισκοπικών Δεκτών για την Ανίχνευση Παρακτίων και Υποθαλασσίων Πηγών Νερού", Διδακτορική Διατριβή, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Marangoz A. M., Oruc M., Buyuksalih G. (2004), "Object-oriented image analysis and semantic network for extracting the roads and buildings from Ikonos pan-sharpened images", ISPRS Congress Istanbul 2004, Comission 3, Vol. XXXV, part B3, ISSN 1682-1750.
- Nobrega R. A., O' Hara C.G., Quintanilha J.A. (2006), Detecting Roads in Informal Settlements Surrounding Sao Paulo City By Using Object-Based Classification, 1st International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006) Volume No. XXXVI – 4/C42, ISSN 1682-1777.
- Repaka S., Truax D., Kolstad E., O'Hara C. (2004), "Comparing Spectral and Object Based Approaches for Classification and Transportation Feature Extraction from High Resolution Multispectral Imagery", ASPRS Annual Conference Proceedings, May 2004, Denver, Colorado.
- Ρηγόπουλος Γ. (2008), "Αξιολόγηση Χαρακτηριστικών Ποιότητας του Αστικού Τοπίου με Χρήση Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης", Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Ρόκος Δ. (2003). "Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση", Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Taubenböck H., Esch T., Roth A. (2006), "An urban classification approach based on an object-oriented analysis of high resolution satellite imagery for a spatial structuring within urban areas", 1st EARSeL Workshop of the SIG Urban Remote Sensing, EARSeL, Berlin.

Wessel B., Wiedemann C. (2003), "Analysis of automatic road extraction results from airborne SAR imagery, ISPRS Archives, Vol. XXXIV, Part 3/W8, Munich.