

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών**  
**Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης**



**Ανίχνευση και Εξαγωγή του Οδικού Δικτύου με**  
**Αντικειμενοστραφή Ανάλυση Υπερφασματικών Εικόνων Hyperion**  
**και Πολυφασματικών Εικόνων Landsat TM και σύγκριση των**  
**αποτελεσμάτων**

**Ρέντζιος Βασίλειος**

**Διπλωματική Εργασία**

Επιβλέπων:

Δ. Αργιαλάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Δ. Αργιαλάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Β. Καραθανάση, Επίκ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

Κ. Αντωνίου, Επίκ. Καθηγητής ΕΜΠ

**Εργαστήριο**  
**Τηλεπισκόπησης**  
**Ε.Μ.Π.**

**Αθήνα, 2009**

## Πρόλογος

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων, μεταξύ υπερφασματικών εικόνων Hyperion και πολυφασματικών εικόνων Landsat TM, της ανίχνευσης και εξαγωγής του οδικού δικτύου με τη μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης. Επίσης από το Εργαστήριο παρελήφθη και το κατάλληλο υλικό, όπως εικόνες, προγράμματα και ό,τι άλλο ήταν απαραίτητο για την πραγματοποίηση της διπλωματικής εργασίας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κύριο Δημήτρη Αργιαλά για την ανάθεση της εργασίας και για την σημαντική καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Μηχ. Πολυχρόνη Κολοκούση, για τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε σε οποιαδήποτε προβλήματα προέκυψαν, για την παροχή του απαραίτητου υλικού και να αναφέρω πως δίχως τις χρήσιμες συμβουλές του η ολοκλήρωση της εργασίας θα ήταν ανέφικτη.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένειά μου, που με έχει στηρίξει σε όλα τα βήματα της ζωής μου.

<b>Περιεχόμενα</b>	
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<b>6</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<b>9</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>13</b>
<b>2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ</b> .....	<b>14</b>
2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ .....	14
2.1.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	14
2.1.2 Αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα αντικείμενα/ εμφανίσεις στην επιφάνεια της Γης.....	15
2.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	17
2.3 ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ .....	18
2.3.1 Δορυφορικό Τηλεπισκοπικό Πρόγραμμα <i>LANDSAT</i> .....	18
2.4 ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ.....	23
2.4.1 Υπερφασματικός Σαρωτής <i>Hyperion</i> .....	24
2.4.2 Υπερφασματικά Δεδομένα.....	25
2.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ .....	27
2.5.1 Μείωση της διάστασης του υπερφασματικού χώρου.....	28
2.5.2 Μέθοδοι επιλογής χαρακτηριστικών.....	28
2.5.2.1 Έλεγχος συσχέτισης.....	29
2.5.3 Μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών .....	29
2.5.3.1 Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA).....	29
2.5.3.2 Ο μετασχηματισμός MNF (Minimum Noise Fraction) .....	31
2.6 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ eCOGNITION .....	32
2.6.1 Κατάτμηση ( <i>Segmentation</i> ) .....	32
2.6.2 Ιεραρχικό Δίκτυο Αντικειμένων.....	35
2.6.3 Ιεραρχία κατηγοριών ( <i>class-hierarchy</i> ).....	36
2.6.4 Ασαφής Λογική και οι Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	39
2.6.5 Χαρακτηριστικά / Ιδιότητες ( <i>features</i> ) στο λογισμικό <i>eCognition</i> .....	41
<b>3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	<b>43</b>
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	43
3.1.1 Η απεικόνιση της Ελευσίνας ( <i>Landsat TM</i> ).....	43
3.1.2 Η απεικόνιση της Ελευσίνας ( <i>Hyperion</i> ).....	44
3.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ .....	44
3.2.1 Μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών .....	44
3.2.2 Μέθοδος επιλογής χαρακτηριστικών .....	46
3.2.2.1 Διαγράμματα συσχέτισης φασματικών κατηγοριών.....	46
3.2.3 Λόγοι – Πράξεις .....	52
3.2.4 Χαρακτηριστικά / Ιδιότητες ( <i>features</i> ) στο λογισμικό <i>eCognition</i> .....	53
3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ <i>LANDSAT TM</i> .....	54
3.3.1 Προσέγγιση I: Ταξινόμηση με χρήση του Εγγύτερου Γείτονα .....	55
3.3.1.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	55
3.3.1.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	58
3.3.1.3 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3.....	61
3.3.2 Προσέγγιση II: Χρήση των καναλιών του δέκτη με έμφαση στις φασματικές υπογραφές.....	64
3.3.2.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	64

3.3.2.2. Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	66
3.3.2.3. Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3.....	68
3.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ HYPERION .....	71
3.4.1 Προσέγγιση I: Ταξινόμηση με χρήση του “Εγγύτερου Γείτονα” στα κανάλια των Κυρίων Συνιστωσών .....	71
3.4.1.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	71
3.4.1.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	73
3.4.2 Προσέγγιση II: Ταξινόμηση στα κανάλια των Κυρίων Συνιστωσών με έμφαση στις φασματικές υπογραφές.....	77
3.4.2.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	77
3.4.2.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	78
3.4.2.3 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3.....	80
3.4.3 Προσέγγιση III: Ταξινόμηση με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα” στα κανάλια που προκύπτουν από τη Μέθοδο Επιλογής Χαρακτηριστικών .....	86
3.4.3.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	87
3.4.3.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	88
3.4.4 Προσέγγιση IV: Ταξινόμηση στα κανάλια που προκύπτουν από τη Μέθοδο Επιλογής Χαρακτηριστικών με έμφαση στις φασματικές υπογραφές.....	91
3.4.4.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	91
3.4.4.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	92
3.4.4.3 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3.....	95
3.4.4.4 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 4.....	97
3.4.5 Προσέγγιση V: Ταξινόμηση στα κανάλια που προκύπτουν από το μετασχηματισμό MNF με έμφαση στις φασματικές υπογραφές .....	101
3.4.5.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....	101
3.4.5.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....	104
<b>4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....</b>	<b>107</b>
4.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ECOGNITION.....	107
4.1.1 Μέθοδος βάσει αποτελέσματος της καλύτερης ταξινόμησης ( <i>best         classification result</i> ).....	107
4.1.2 Μέθοδος της σταθερότητας ταξινόμησης ( <i>classification stability</i> ).....	108
4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ .....	108
4.2.1 Αξιολόγηση των ταξινομήσεων στις απεικονίσεις Landsat TM.....	108
4.2.1.1 Προσέγγιση II: Χρήση των καναλιών του δέκτη με έμφαση στις φασματικές υπογραφές για το επίπεδο 2 .....	109
4.2.1.2 Προσέγγιση II: Χρήση των καναλιών του δέκτη με έμφαση στις φασματικές υπογραφές για το επίπεδο 3 .....	110
4.2.2 Αξιολόγηση των ταξινομήσεων στις απεικονίσεις Hyperion.....	110
4.2.2.1 Προσέγγιση II: Ταξινόμηση στα κανάλια των Κυρίων Συνιστωσών με έμφαση στις φασματικές υπογραφές για το επίπεδο 2 .....	111
4.2.2.2 Προσέγγιση II: Ταξινόμηση στα κανάλια των Κυρίων Συνιστωσών με έμφαση στις φασματικές υπογραφές για το επίπεδο 3 .....	112
4.2.2.3 Προσέγγιση IV: Ταξινόμηση στα κανάλια που προκύπτουν από τη Μέθοδο Επιλογής Χαρακτηριστικών με έμφαση στις φασματικές υπογραφές για το επίπεδο 3.....	113
4.2.2.4 Προσέγγιση V: Ταξινόμηση στα κανάλια που προκύπτουν από το μετασχηματισμό MNF με έμφαση στις φασματικές υπογραφές .....	114
4.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ARCGIS ...	115
4.3.1 Επεξεργασία στο λογισμικό eCognition.....	115
4.3.2 Επεξεργασία στο λογισμικό ArcGIS.....	116

4.3.2.1 Ακρίβειες των ταξινομήσεων.....	119
<b>5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>121</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>123</b>

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Οι περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας .....	15
Εικόνα 2:Σχηματική παράσταση της τροχιάς των δορυφόρων LANDSAT 4, 5 και 720	
Εικόνα 3:Χρειάζονται 16 ημέρες για πλήρη κάλυψη της γης από τους δορυφόρους LANDSAT 4, 5 και 7 .....	21
Εικόνα 4: Αρχή των υπερφασματικών σαρωτών (Αργιαλάς, 2000).....	23
Εικόνα 5: 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).....	24
Εικόνα 6: Ο υπερφασματικός κύβος (πηγή: <a href="http://aviris.jpl.nasa.gov/html/aviris.cube.html">http://aviris.jpl.nasa.gov/html/aviris.cube.html</a> ) .....	26
Εικόνα 7: Παράμετροι κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης.....	33
Εικόνα 8: Διάγραμμα ιεραρχικού δικτύου αντικειμένων .....	35
Εικόνα 9:Ιεραρχία επιπέδων ανάλυσης της εικόνας Hyperion με διαφορετικές παραμέτρους κατάτμησης.....	38
Εικόνα 10: Συνάρτηση συμμετοχής S και ο τρόπος λειτουργίας της. Στο αριστερό όριο τίθεται η μικρότερη ασαφής τιμή και στο δεξί όριο η μεγαλύτερη. Ο αλγόριθμος εδώ θα δώσει βαθμό συμμετοχής στην κατηγορία σ' όλα τα τμήματα που έχουν τιμές χαρακτηριστικού (Assymetry),μεγαλύτερες από 0,9. ....	40
Εικόνα 11:Κύριες μορφές συναρτήσεων συμμετοχής στο λογισμικό eCognition .....	40
Εικόνα 12: Αριστερά η εικόνα της Ελευσίνας σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο (R,G,B) και δεξιά η εικόνα της Ελευσίνας σε έγχρωμο σύνθετο (4,3,2). ....	43
Εικόνα 13: Αριστερά η εικόνα της Ελευσίνας σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο (R,G,B) και δεξιά η εικόνα της Ελευσίνας σε έγχρωμο σύνθετο (4,3,2). ....	44
Εικόνα 14: Έγχρωμο σύνθετο PC1,PC2,PC3 (R,G,B) των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών από την εφαρμογή της μεθόδου PCA. ....	45
Εικόνα 15: Έγχρωμο σύνθετο MNF5 ,MNF2 ,MNF1 (R,G,B).....	45
Εικόνα 16:Συσχέτιση Ασφάλτου 1 με τις υπόλοιπες κατηγορίες.....	47
Εικόνα 17:Συσχέτιση Ασφάλτου 2 με τις υπόλοιπες κατηγορίες.....	47
Εικόνα 18:Συσχέτιση Ασφάλτου 3 με τις υπόλοιπες κατηγορίες.....	47
Εικόνα 19:Συσχέτιση Ασφάλτου 4 με τις υπόλοιπες κατηγορίες.....	48
Εικόνα 20:Συσχέτιση Ασφάλτου 5 με τις υπόλοιπες κατηγορίες.....	48
Εικόνα 21:Συσχέτιση Αεροδιαδρόμου με τις υπόλοιπες κατηγορίες .....	48
Εικόνα 22:Συσχέτιση Χωματόδρομου 1 με τις υπόλοιπες κατηγορίες .....	49
Εικόνα 23:Συσχέτιση Χωματόδρομου 2 με τις υπόλοιπες κατηγορίες .....	49
Εικόνα 24:Συσχέτιση Χωματόδρομου 3 με τις υπόλοιπες κατηγορίες .....	49
Εικόνα 25:Συσχέτιση Χωματόδρομου 4 με τις υπόλοιπες κατηγορίες .....	50
Εικόνα 26:Συσχέτιση Δασικού 1 με τις υπόλοιπες κατηγορίες.....	50
Εικόνα 27:Συσχέτιση μέσης τιμής ασφάλτου με χωματόδρομους.....	51
Εικόνα 28:Διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης κάθε καναλιού.....	51
Εικόνα 29:Παράθυρο δημιουργίας κανόνων στο λογισμικό eCognition .....	53
Εικόνα 30: Παράθυρο δημιουργίας κανόνων στο λογισμικό eCognition .....	53
Εικόνα 31: Εικόνα του χαρακτηριστικού length/width (αριστερά), επιλογή των ορίων της συνάρτησης length/width (μέση), επιλογή αντικειμένων με βάση τα όρια της συνάρτησης (δεξιά).....	54
Εικόνα 32:Εικόνα που παρουσιάζει τα κανάλια του δέκτη και το βάρος που δίνεται στο καθένα. ....	55

Εικόνα 33:Τμήμα της απεικόνισης Landsat TM μετά την κατάτμηση σε έγχρωμο σύνθετο RGB:432 που η βλάστηση σημαίνεται με κόκκινο χρώμα.....	56
Εικόνα 34:Εικόνα του κανόνα water index (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά).....	57
Εικόνα 35:Εικόνα του κανόνα ndvi (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά).....	57
Εικόνα 36: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα.....	58
Εικόνα 37:Τμήμα της απεικόνισης Landsat TM μετά την κατάτμηση σε έγχρωμο σύνθετο RGB:432 που η βλάστηση σημαίνεται με κόκκινο χρώμα.....	59
Εικόνα 38: Δείγματα που ελήφθησαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 2- υπόμνημα .....	59
Εικόνα 39:Εικόνα του χαρακτηριστικού Length / width (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά).....	60
Εικόνα 40: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα.....	61
Εικόνα 41:Τμήμα της απεικόνισης Landsat TM μετά την κατάτμηση σε έγχρωμο σύνθετο RGB:432 που η βλάστηση σημαίνεται με κόκκινο χρώμα.....	62
Εικόνα 42: Δείγματα που ελήφθησαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα .....	62
Εικόνα 43: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα.....	63
Εικόνα 44: Ιεραρχία κατηγοριών .....	64
Εικόνα 45: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα.....	65
Εικόνα 46: Δείγματα που ελήφθησαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα .....	66
Εικόνα 47:Εικόνα του χαρακτηριστικού width (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά).....	67
Εικόνα 48: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα.....	68
Εικόνα 49: Δείγματα που ελήφθησαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα .....	69
Εικόνα 50: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα.....	70
Εικόνα 51: Ιεραρχία κατηγοριών .....	71
Εικόνα 52:Παράθυρο διαλόγου μίξης επιπέδων(Layer Mixing).....	72
Εικόνα 53: Εικόνα που παρουσιάζει τα κανάλια του δέκτη και το βάρος που δίνεται στο καθένα. ....	72
Εικόνα 54: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα.....	73
Εικόνα 55: Τμήμα της απεικόνισης Hyperion μετά την κατάτμηση σε έγχρωμο σύνθετο RGB:432 που η βλάστηση σημαίνεται με κόκκινο χρώμα.....	74
Εικόνα 56: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 2- υπόμνημα .....	74
Εικόνα 57: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα.....	75
Εικόνα 58: Ιεραρχία κατηγοριών .....	76
Εικόνα 59: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα.....	78
Εικόνα 60: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 2- υπόμνημα .....	79
Εικόνα 61: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα.....	80
Εικόνα 62: Τμήμα της απεικόνισης Hyperion μετά την κατάτμηση σε έγχρωμο σύνθετο RGB:432 που η βλάστηση σημαίνεται με κόκκινο χρώμα.....	81
Εικόνα 63: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 3- υπόμνημα .....	81
Εικόνα 64: Παράθυρα διαλόγων που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά και συναρτήσεις συμμετοχής .....	83
Εικόνα 65: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα.....	84

Εικόνα 66: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα.....	85
Εικόνα 67: Ιεραρχία κατηγοριών.....	86
Εικόνα 68 Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα.....	87
Εικόνα 69: Τμήμα της απεικόνισης Hyperion μετά την κατάτμηση σε έγχρωμο σύνθετο RGB:432 που η βλάστηση σημαίνεται με κόκκινο χρώμα.....	88
Εικόνα 70: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα .....	89
Εικόνα 71: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα.....	90
Εικόνα 72: Ιεραρχία κατηγοριών.....	91
Εικόνα 73: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα.....	92
Εικόνα 74: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα .....	93
Εικόνα 75:Παράθυρα διαλόγων που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά και συναρτήσεις συμμετοχής .....	94
Εικόνα 76: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα.....	95
Εικόνα 77: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα .....	96
Εικόνα 78: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα.....	97
Εικόνα 79: Ταξινόμηση στο επίπεδο 4-υπόμνημα.....	98
Εικόνα 80: Ιεραρχία κατηγοριών.....	99
Εικόνα 81: Αναλυτικός αλγόριθμος της ταξινόμησης των δεδομένων .....	100
Εικόνα 82: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα .....	102
Εικόνα 83: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα .....	102
Εικόνα 84: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα.....	103
Εικόνα 85: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα.....	105
Εικόνα 86: Ιεραρχία κατηγοριών.....	106
Εικόνα 87: Δυαδική εικόνα για την κατηγορία άσφαλτος (αριστερά) και παράθυρο διαλόγου στο eCognition (δεξιά) .....	115
Εικόνα 88: Αποτέλεσμα ψηφιοποίησης, όπου με κόκκινο χρώμα διακρίνεται η άσφαλτος και ο αεροδιάδρομος και με μαύρο οι χωματόδρομοι, για την εικόνα Hyperion (αριστερά) και για τη Landsat (δεξιά) .....	116
Εικόνα 89:Παράθυρο διαλόγου στο ArcGIS για τη ρύθμιση των παραμέτρων της διανυσματικοποίησης.....	117
Εικόνα 90: Ταύτιση ψηφιοποιημένου οδικού δικτύου (κίτρινο χρώμα) με το αντίστοιχο ταξινομημένο (μαύρο χρώμα) στην προσέγγιση II της απεικόνισης Landsat TM, για όλο το οδικό δίκτυο (αριστερά), για την άσφαλτο (κέντρο) και για τους χωματόδρομους (δεξιά) .....	117
Εικόνα 91: Ταύτιση ψηφιοποιημένου οδικού δικτύου (κίτρινο χρώμα) με το αντίστοιχο ταξινομημένο (μαύρο χρώμα) στην προσέγγιση II της απεικόνισης Hyperion, για όλο το οδικό δίκτυο (αριστερά), για την άσφαλτο (κέντρο) και για τους χωματόδρομους (δεξιά) .....	118
Εικόνα 92:Ταύτιση ψηφιοποιημένου οδικού δικτύου (κίτρινο χρώμα) με το αντίστοιχο ταξινομημένο (μαύρο χρώμα) στην προσέγγιση IV της απεικόνισης Hyperion , για όλο το οδικό δίκτυο (αριστερά), για την άσφαλτο (κέντρο) και για τους χωματόδρομους (δεξιά) .....	118
Εικόνα 93: Έγχρωμη σύνθετη απεικόνιση Hyperion RGB(432) που διακρίνονται με κόκκινο χρώμα οι χωματόδρομοι και η βλάστηση .....	121



## Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Τηλεπισκοπικοί δέκτες των δορυφόρων Landsat .....	18
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά των δορυφόρων LANDSAT 1-7 και των τηλεπισκοπικών δεκτών τους.....	19
Πίνακας 3: Φασματική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεκτών των δορυφόρων LANDSAT 1 έως 7.....	22
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Σαρωτή Hyperion .....	25
Πίνακας 5: Διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης σε τμήμα της απεικόνισης Landsat TM .....	34
Πίνακας 6: Κατάτμηση στο επίπεδο 1 .....	56
Πίνακας 7: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1 .....	56
Πίνακας 8: Κατάτμηση στο επίπεδο 2 .....	58
Πίνακας 9: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2 .....	60
Πίνακας 10: Κατάτμηση στο επίπεδο 3 .....	61
Πίνακας 11: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 3 .....	63
Πίνακας 12: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα επίπεδα .....	64
Πίνακας 13: Κατάτμηση στο επίπεδο 1 .....	65
Πίνακας 14: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1 .....	65
Πίνακας 15: Κατάτμηση στο επίπεδο 2 .....	66
Πίνακας 16: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2 .....	67
Πίνακας 17: Κατάτμηση στο επίπεδο 3 .....	68
Πίνακας 18: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 3 .....	69
Πίνακας 19: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα επίπεδα .....	70
Πίνακας 20: Κατάτμηση στο επίπεδο 1 .....	72
Πίνακας 21: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής για το επίπεδο 1 .....	73
Πίνακας 22: Κατάτμηση στο επίπεδο 2 .....	73
Πίνακας 23: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2 .....	75
Πίνακας 24: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα επίπεδα .....	76
Πίνακας 25: Κατάτμηση στο επίπεδο 1 .....	77
Πίνακας 26: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής για το επίπεδο 1 .....	77
Πίνακας 27: Κατάτμηση στο επίπεδο 2 .....	78
Πίνακας 28: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2 .....	79
Πίνακας 29: Κατάτμηση στο επίπεδο 3 .....	80
Πίνακας 30: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 3 .....	82
Πίνακας 31: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής για το επίπεδο 3 .....	84
Πίνακας 32: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα επίπεδα .....	85
Πίνακας 33: Κανάλια που προέκυψαν από την ανάλυση συσχέτισης και τα μήκη κύματος στα οποία αντιστοιχούν .....	86
Πίνακας 34: Κατάτμηση στο επίπεδο 1 .....	87
Πίνακας 35: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής για το επίπεδο 1 .....	87
Πίνακας 36: Κατάτμηση στο επίπεδο 2 .....	88

Πίνακας 37: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2 .....	89
Πίνακας 38: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα επίπεδα .....	90
Πίνακας 39: Κατάτμηση στο επίπεδο 1 .....	91
Πίνακας 40: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1 .....	91
Πίνακας 41: Κατάτμηση στο επίπεδο 2 .....	92
Πίνακας 42: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2 .....	93
Πίνακας 43: Κατάτμηση στο επίπεδο 3 .....	95
Πίνακας 44: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 3 .....	96
Πίνακας 45: Κατάτμηση στο επίπεδο 4 .....	97
Πίνακας 46: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 4 .....	98
Πίνακας 47: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα επίπεδα .....	98
Πίνακας 48: Κατάτμηση στο επίπεδο 1 .....	101
Πίνακας 49: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1 .....	103
Πίνακας 50: Κατάτμηση στο επίπεδο 2 .....	104
Πίνακας 51: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2 .....	104
Πίνακας 52: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής και για τα δύο επίπεδα .....	105
Πίνακας 53: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση II στο επίπεδο 2 .....	109
Πίνακας 54: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση II στο επίπεδο 3 .....	110
Πίνακας 55: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση II στο επίπεδο 2 .....	111
Πίνακας 56: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση II στο επίπεδο 3 .....	112
Πίνακας 57: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση IV .....	113
Πίνακας 58: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση V .....	114
Πίνακας 59: Σφάλματα παράλειψης και συμπερίληψης των καλύτερων προσεγγίσεων .....	119

## Περίληψη

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία σκοπός είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων, μεταξύ υπερφασματικών εικόνων Hyperion και πολυφασματικών εικόνων Landsat TM, της ανίχνευσης και εξαγωγής του οδικού δικτύου με τη μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης.

Αρχικά, παρατίθεται ένα κεφάλαιο το οποίο περιέχει μια ανασκόπηση βασικών εννοιών Τηλεπισκόπησης καθώς και τα κύρια χαρακτηριστικά του πολυφασματικού και του υπερφασματικού δέκτη. Στη συνέχεια αναφέρονται κάποιες μέθοδοι και τεχνικές της υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης οι οποίες πραγματοποιήθηκαν, και το κεφάλαιο κλείνει με την αναφορά στην αντικειμενοστραφή ανάλυση και στο λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε, στην προκειμένη περίπτωση το eCognition.

Έπειτα, λαμβάνει χώρα η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στο λογισμικό eCognition και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από κάθε επεξεργασία. Περιλαμβάνονται πολλές εικόνες και διαγράμματα για την ευκολότερη κατανόηση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται και για την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Επίσης δημιουργήθηκε και πίνακας εικόνων για τον εύκολο εντοπισμό τους.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Μετά το αποτέλεσμα που προέκυψε από τη μέθοδο της “σταθερότητας της ταξινόμησης” με το λογισμικό eCognition, αποφασίστηκε να διεξαχθεί και μια επιπλέον αξιολόγηση με πίνακα σύγχυσης και δείγματα. Έτσι, ψηφιοποιήθηκε το οδικό δίκτυο φωτοερμηνευτικά, και αφού έγινε ταύτιση με το αντίστοιχο ταξινομημένο, δημιουργήθηκε ο πίνακας σύγχυσης και εξήχθησαν οι ακρίβειες των ταξινομήσεων.

Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, με σημαντικότερα όλων, ότι οι υπερφασματικές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις υπερτερούν έναντι των αντίστοιχων πολυφασματικών, και ότι για την καλύτερη ανίχνευση και ανάδειξη του οδικού δικτύου είναι απαραίτητες απεικονίσεις υψηλότερης διακριτικής ικανότητας.

## **Abstract**

The main purpose of this theses was to compare the results between the hyperspectral images Hyperion and the Landsat TM images, detecting and extracting the road network by using object oriented image analysis methods.

Initially, there is a chapter, which includes a review of Remote Sensing and also the main features of Landsat TM and Hyperion sensors. Furthermore, there are some methods and techniques of hyperspectral Remote Sensing, which have been achieved. This chapter comes to an end reporting the object oriented analysis and the eCognition software.

The methodology follows, which had been implemented in the eCognition software and in the obtained results. Moreover, it includes many images and diagrams in order to better present the outcomes.

Evaluation of the classification accuracy took place both in eCognition using the “best classification stability method”, and in ArcGIS using a properly digitized ground truth map of roads with the Conclusion Matrix Method.

Finally, the conclusions are started. The most important of all is the hyperspectral Remote Sensing Imagery has advantaged. Increased spatial resolution would certainly help to achieve better accuracies.

## 1 Εισαγωγή

Οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις είναι καταγραφές της ανακλώμενης ή/ και της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, οι οποίες δίνουν την εντύπωση εικόνας. Προκειμένου, λοιπόν, να γίνει δυνατή η συλλογή χρήσιμης πληροφορίας, είναι απαραίτητη η ερμηνεία τους. Η ερμηνεία των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων (η οποία μπορεί να γίνει είτε οπτικά, είτε αυτόματα), απαιτεί ένα συνδυασμό των γενικών και ειδικών γνώσεων της επιστήμης και της τεχνικής, της εμπειρίας και της κρίσης του ανθρώπου-φωτοερμηνευτή.

Η ψηφιακή τηλεπισκόπηση μπορεί να βρει άμεση εφαρμογή σε πολλούς τομείς, όπως η σύνταξη ψηφιακών τοπογραφικών χαρτών, η παρακολούθηση και διαχείριση περιβάλλοντος και πόρων, οι χρήσεις γης και η ταξινόμηση εδαφών, η μελέτη και παρακολούθηση αλλαγών οδικού, υδρογραφικού και άλλων δικτύων, η διαχρονική παρακολούθηση αλλαγών χρήσεων γης και επιπτώσεων φυσικών καταστροφών αλλά και σε συστήματα πλοήγησης σε οδικό δίκτυο και τηλεπικοινωνίες.

Η ανάγκη για συνεχή καταγραφή και παρατήρηση του οδικού δικτύου λόγω της βαρύνουσας σημασίας του στον τομέα των μεταφορών και όχι μόνο, έκανε επιτακτική την παρουσία της Τηλεπισκόπησης, δηλαδή της επιστήμης που ασχολείται με τη συλλογή δεδομένων χωρίς φυσική επαφή και την περαιτέρω επεξεργασία αυτών. Η Τηλεπισκόπηση μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην ανίχνευση του οδικού δικτύου και των μεταβολών του και κατ' επέκταση στη λεπτομερή χαρτογράφηση του.

Οι βάσεις δεδομένων για πλοήγηση οχημάτων επί οδικού δικτύου παράγονται εδώ και καιρό, με την χρήση ιδιαίτερα ανομοιογενούς υλικού και με κύρια έμφαση στην κλίμακα, τα περιεχόμενα, τα συστήματα συντεταγμένων, την χωρική διακριτική ικανότητα και την ακρίβεια της απόδοσης και συμπληρώνονται από μετρήσεις πεδίου με GPS. Ωστόσο η πίεση από την αγορά για συστήματα πλοήγησης αυτοκινήτου μεταφράζεται σε μια απαίτηση για υψηλότερες ακρίβειες, αλλά και για βάσεις δεδομένων σε όσο πιο σύγχρονη δομή είναι δυνατόν. Σήμερα η χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων παρέχει την δυνατότητα εκπλήρωσης των περισσότερων από τις γεωμετρικής φύσης απαιτήσεις της βιομηχανίας σχεδιασμού των συστημάτων πλοήγησης σε οδικό δίκτυο και είναι κατάλληλη για την απόδοση σε χάρτη τόσο των κύριων, όσο και των συνδετήριων οδικών αξόνων.

Ο εντοπισμός του οδικού δικτύου σε τηλεπισκοπικές απεικονίσεις μικρής κλίμακας είναι αρκετά δύσκολο να γίνει, επειδή συχνά τα οδικά δίκτυα διέρχονται από περιοχές με έντονο αστικό περιβάλλον και τα υλικά κατασκευής του οδοστρώματος έχουν παρόμοια φασματική υπογραφή με αυτά των κτιρίων. Επίσης, συναντώνται και προβλήματα κάλυψης τμημάτων των οδικών δικτύων λόγω της βλάστησης ή και των σκιάσεων από διάφορα αντικείμενα. Παρ' όλες τις δυσκολίες όμως μερικά εξειδικευμένα πακέτα λογισμικού όπως το eCognition έχουν παρουσιάσει αξιόλογα αποτελέσματα στην ταξινόμηση των δορυφορικών απεικονίσεων.

Στη συγκεκριμένη μελέτη σκοπός είναι να αξιολογηθεί κατά πόσο οι υπερφασματικές απεικονίσεις μπορούν να συμβάλλουν στην αντιμετώπιση των προαναφερθέντων προβλημάτων, συγκρινόμενες με τηλεπισκοπικές απεικονίσεις πολυφασματικού σαρωτή με την ίδια διακριτική ικανότητα, χρησιμοποιώντας και στις δύο περιπτώσεις τη μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης.

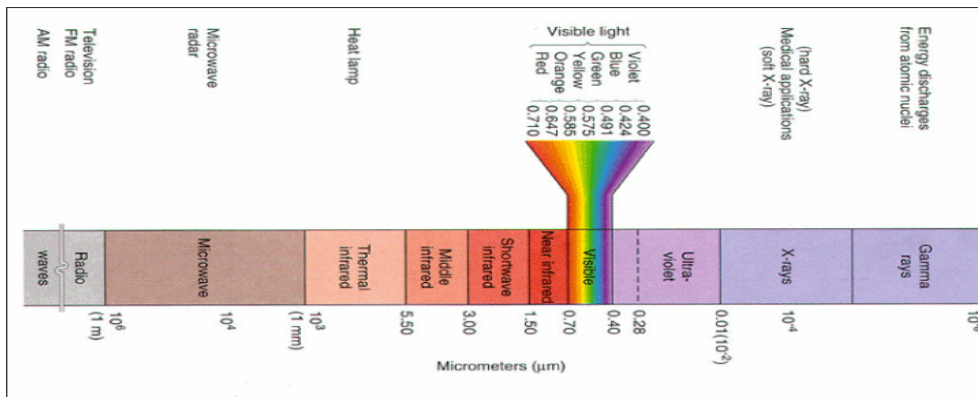
## 2 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

### 2.1 Βασικές Αρχές Τηλεπισκόπησης

Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και τεχνική που εξετάζει τις αρχές, μεθόδους, όργανα και συστήματα με τα οποία επιτυγχάνεται η εκ του μακρόθεν συλλογή, επεξεργασία, ανάλυση και ερμηνεία πληροφοριών που σχετίζονται με συγκεκριμένες ιδιότητες αντικειμένων ή φαινομένων. Η τηλεπισκόπηση έχει εφαρμοσθεί στη γεωργία, δασολογία, γεωλογία, γεωμορφολογία, τεχνική φωτογεωμορφολογία, ωκεανογραφία, κλιματολογία, γεωγραφία, περιφερειακή ανάπτυξη και στην καταγραφή και παρακολούθηση των φυσικών και ανθρωπίνων διαθεσίμων γενικότερα (Αργιολιάς 1977, Μπαντέκας 1984, Ρόκος 1988).

#### 2.1.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Κάθε τηλεπισκοπική απεικόνιση προκύπτει ουσιαστικά με την κατάλληλη καταγραφή ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών, οι οποίες μεταφέρονται μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μετά από την αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα και τα αντικείμενα/ εμφανίσεις στην επιφάνεια της γης. Η δυνατότητα λήψης δεδομένων σε μια μεγάλη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (από την κοσμική ακτινοβολία μέχρι τα μικροκύματα), σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπει ή ανακλά κάθε αντικείμενο/ εμφάνιση σε διάφορα μήκη κύματος είναι χαρακτηριστική της φυσικής κατάστασης και της χημικής του σύστασης, οδηγεί στην εξ αποστάσεως αναγνώριση και μελέτη του, δηλαδή σε εφαρμογή της τηλεπισκόπησης. Οι δέκτες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε δορυφόρους καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ή την ένταση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι κύριες ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, όπως και κάθε κύμα γενικότερα, είναι το μήκος κύματος ( $\lambda$ ), που ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ δύο κορυφών του κύματος, και η συχνότητά του ( $\nu$ ), δηλαδή ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από ένα σημείο σε ένα δευτερόλεπτο, η οποία μετριέται σε Hertz (Hz). Το σύνολο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με διαφορετικό μήκος κύματος αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συνίσταται από κύματα με μήκη κύματος από 0,1  $\mu\text{m}$  ( $1\text{m} = 1.000.000\mu\text{m}$ ) έως 100m και περιλαμβάνει: το πεδίο ακτινών  $\gamma$  ( $\gamma$ -rays), το πεδίο ακτινών x (x-rays), το πεδίο υπεριώδους ακτινοβολίας (ultraviolet), το πεδίο ορατού φωτός (visible light), το πεδίο υπέρυθρης ακτινοβολίας (infrared), το πεδίο μικροκυμάτων (microwaves) και το πεδίο ραδιοκυμάτων (radiowaves).



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

Από το συνολικό πεδίο του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η τηλεπισκόπηση αξιοποιεί την περιοχή εκείνη που έχει μήκος κύματος και περιλαμβάνει το υπεριώδες, το ορατό φως, το εγγύς και μέσο υπέρυθρο, το θερμικό υπέρυθρο και τα μικροκύματα. Κάθε αντικείμενο/ εμφάνιση έχει μια φασματική υπογραφή, όπως ονομάζεται, η οποία είναι το ποσό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται από το αντικείμενο/ εμφάνιση. Το ποσό αυτό καταγράφεται από τον δέκτη ως μια συγκεκριμένη τιμή για κάθε πεδίο του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ανάλογα με το εκάστοτε εξεταζόμενο πεδίο του φάσματος, για το ίδιο αντικείμενο/ εμφάνιση, μπορούμε να πάρουμε και διαφορετική πληροφορία. Έτσι, η φασματική υπογραφή μας επιτρέπει να διακρίνουμε το χιόνι από το νερό, τη βλάστηση από το χώμα, τους διάφορους τύπους πετρωμάτων μεταξύ τους, τις διάφορες ενώσεις στην ατμόσφαιρα.

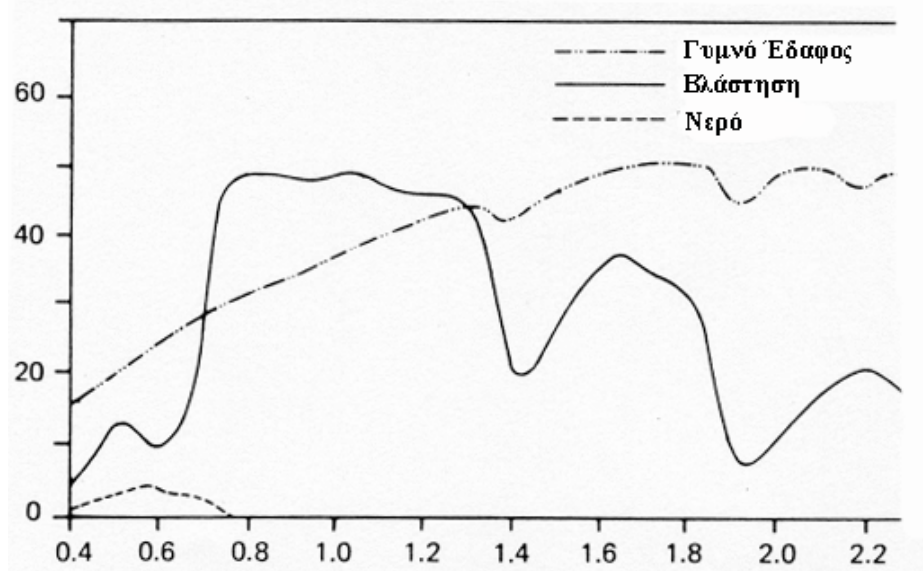
Το ορατό τμήμα του φάσματος είναι εξαιρετικά μικρό, αφού η φασματική ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού εκτείνεται μόνο από 0,4μm μέχρι περίπου 0,7μm. Το μπλε χρώμα απεικονίζεται στο εύρος από 0,4 έως 0,5μm περίπου. Το πράσινο από 0,5 έως 0,6μm και το κόκκινο από 0,6 έως 0,7μm περίπου. Η υπεριώδης (UV) 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 Αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα αντικείμενα/εμφάνσεις στην επιφάνεια της Γης

Κατά την αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με ένα αντικείμενο/εμφάνιση στην επιφάνεια της γης, το ποσό της ακτινοβολίας που ανακλάται, απορροφάται ή διαδίδεται από αυτό, εξαρτάται από τη σύσταση του συγκεκριμένου σώματος και από τις υπάρχουσες συνθήκες. Η ιδιότητα αυτή των αντικειμένων/εμφάνισων επιτρέπει τον εντοπισμό και τη διάκρισή τους σε μια τηλεπισκοπική απεικόνιση. Επιπλέον, για το ίδιο αντικείμενο/ εμφάνιση η αναλογία της

ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται, απορροφάται ή διαδίδεται, ποικίλει ανάλογα με το μήκος κύματος. Παραδείγματος χάριν, δύο αντικείμενα/ εμφανίσεις μπορεί να παρουσιάζονται εντελώς όμοια σε ένα συγκεκριμένο πεδίο του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αλλά στην πραγματικότητα να είναι εντελώς διαφορετικά και άρα διακριτά μεταξύ τους. Στο ορατό μέρος του φάσματος οι διαφορές αυτές μας δίνουν την αίσθηση του χρώματος, π.χ. θεωρούμε ότι κάποιο σώμα είναι μπλε, όταν έχει μεγάλη ανακλαστικότητα στο μπλε τμήμα του φάσματος, ή θεωρούμε ότι είναι πράσινο, όταν έχει μεγάλη ανακλαστικότητα στο πράσινο κ.ο.κ.

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει τον τρόπο που αλληλεπιδρά η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με τα αντικείμενα/ εμφανίσεις στην επιφάνεια της γης, είναι η επιφανειακή τραχύτητά τους η υφή τους. Αντικείμενα/ εμφανίσεις που είναι επίπεδα, λειτουργούν σαν κάτοπτρα όταν η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ενώ όσα έχουν τραχεία επιφάνεια, ανακλούν ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις διαχέοντας την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Συνήθως όμως, τα περισσότερα αντικείμενα/εμφανίσεις αλληλεπιδρούν με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατά έναν ενδιάμεσο τρόπο. Για παράδειγμα, στο πεδίο των ραδιοκυμάτων ένα βραχώδες έδαφος απεικονίζεται ομαλό, σχεδόν λείο, ενώ στο ορατό τμήμα του φάσματος ακόμη και η πολύ λεπτή άμμος παρουσιάζεται στην απεικόνιση σαν να έχει τραχεία υφή.



Εικόνα 2: Τυπικές καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για βλάστηση, νερό και έδαφος (Αργιαλάς, 2000)

Στο διάγραμμα της Εικόνας 2 φαίνονται οι καμπύλες ανακλαστικότητας τριών βασικών εμφανίσεων: υγιής πράσινη βλάστηση, έδαφος και υδάτινες μάζες. Παρατηρούμε ότι, καθώς προχωρούμε από το ορατό προς το εγγύς υπέρυθρο (0,7μm) η ανακλαστικότητα της βλάστησης αυξάνει δραματικά, αφού σε αυτό το τμήμα του φάσματος η απορρόφηση είναι ελάχιστη, ενώ για μήκη κύματος μεγαλύτερα του 1,4μm η ανακλαστικότητα μειώνεται, αφού η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε αυτά τα μήκη κύματος απορροφάται από την υγρασία που υπάρχει στο φύλλωμα. Η καμπύλη ανακλαστικότητας του εδάφους παρουσιάζει λιγότερες διακυμάνσεις, αφού οι παράγοντες που την επηρεάζουν περιορίζονται σε πιο συγκεκριμένα πεδία του φάσματος. Το νερό εξ' άλλου, τόσο όταν απαντάται με τη μορφή μεγάλων συγκεντρώσεων, όσο και όταν έχει τη μορφή υγρασίας στο φύλλωμα, παρουσιάζει τη



μεγαλύτερη απορροφητικότητα στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου και του υπέρυθρου. Γενικά, είναι φανερό ότι οι τρεις αυτές εμφανίσεις μπορούν να διαχωριστούν εύκολα μεταξύ τους, αρκεί κάθε φορά να χρησιμοποιούμε το κατάλληλο τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

## 2.2 Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων

Οι **μέθοδοι επεξεργασίας εικόνων** περιλαμβάνουν τις οποιεσδήποτε μετατροπές εικόνων, καθώς και την ερμηνεία τους με τη βοήθεια υπολογιστή. Αυτή η μορφή Τηλεπισκόπησης πραγματικά άρχισε γύρω στο 1960 με ένα περιορισμένο αριθμό ερευνητών που προσπάθησαν να αναλύσουν πολυφασματικά δεδομένα εικόνων που ελήφθησαν από αερομεταφερόμενους πολυφασματικούς σαρωτές και ψηφιοποιημένες αεροφωτογραφίες. Όμως, δεν ήταν μέχρι το 1972, με την εκτόξευση του δορυφόρου Landsat-1 που οι ψηφιακές εικόνες διαδόθηκαν ευρέως πλέον για εφαρμογές Τηλεπισκόπησης. Μέχρι τότε, θα μπορούσε κανείς να πει, ότι όχι μόνο η θεωρία, αλλά και η πρακτική των ψηφιακών επεξεργασιών εικόνων ήταν στη νηπιακή ηλικία. Ακόμα δε, το κόστος των υπολογιστών ήταν πολύ μεγάλο, και η υπολογιστική αποτελεσματικότητά τους ήταν πολύ μικρή με τα σημερινά δεδομένα. Σήμερα, τα πράγματα έχουν αλλάξει. Υπολογιστές με μεγάλη υπολογιστική ισχύ έχουν προσιτές τιμές. Κανείς μπορεί να βρει αρκετά εύκολα, λογισμικό για την επεξεργασία εικόνων, σε προσιτές τιμές. Υπάρχει μία αφθονία και μία ποικιλία ψηφιακών δεδομένων. Οι πηγές των ψηφιακών δεδομένων περιλαμβάνουν, όχι μόνο τη γνωστή σειρά των δορυφόρων παρατήρησης της γης, δηλαδή του Landsat και SPOT, αλλά ακόμα και τους μετεωρολογικούς δορυφόρους, τους αερομεταφερόμενους σαρωτές, και ακόμα βέβαια, τα δεδομένα που λαμβάνονται από σάρωση υπαρχόντων αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων, καθώς και τα δεδομένα υψηλής διακριτικής ικανότητας από βιντεοκάμερες.

Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνων είναι ένα αντικείμενο πολύ ευρύ, και συχνά περιλαμβάνει επεξεργασίες που μπορεί να θεωρηθούν περίπλοκες από πλευράς μαθηματικών.

Η κεντρική ιδέα της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων είναι αρκετά απλή. Η ψηφιακή εικόνα τροφοδοτείται σε έναν αλγόριθμο κατά ένα εικονοστοιχείο κάθε φορά. Ο αλγόριθμος εισάγει αυτά τα δεδομένα σε μία εξίσωση ή σε μία σειρά από εξισώσεις, και τότε, αφού υπολογίσει το αποτέλεσμα αυτών των εξισώσεων, το αποθηκεύει για το κάθε εικονοστοιχείο. Αυτά τα αποτελέσματα για το κάθε εικονοστοιχείο σχηματίζουν μία νέα ψηφιακή εικόνα που μπορεί να απεικονιστεί ή να εκτυπωθεί ή να τύχει περισσότερης και επιπρόσθετης επεξεργασίας. Οι δυναμικές μορφές επεξεργασίας εικόνων είναι πράγματι άπειρες. Παρόλα ταύτα, θα μπορούσαν να ταξινομηθούν σε μία από τις πέντε επόμενες γενικευμένες κατηγορίες επεξεργασιών. Διόρθωση εικόνων και αποκατάσταση, Ενίσχυση εικόνων, Ταξινόμηση εικόνων, Συνδυασμός δεδομένων και Βιοφυσικά μοντέλα.

**Ταξινόμηση εικόνων.** Ο σκοπός αυτών των επεξεργασιών είναι η αντικατάσταση της Φωτοερμηνείας των εικόνων με ποσοτικές τεχνικές για την αυτοματοποίηση της αναγνώρισης διάφορων χαρακτηριστικών (θεματικών κατηγοριών, αντικειμένων) σε μια εικόνα. Σε γενικό πλαίσιο, αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν την ανάλυση ,συνήθως πολυφασματικών εικόνων, και την εφαρμογή κανόνων απόφασης που βασίζονται στην στατιστική, για να προσδιορίσουν την κατηγορία χρήσης γης, που

ανήκει το κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας. Όταν αυτοί οι κανόνες απόφασης βασίζονται στα φασματικά χαρακτηριστικά των δεδομένων, τότε αναφερόμαστε σε αυτή τη διαδικασία ταξινόμησης, σαν **φασματική αναγνώριση προτύπων**. Σε αντίθεση, οι κανόνες απόφασης μπορεί να βασίζονται στα γεωμετρικά σχήματα, μεγέθη και πρότυπα που υπάρχουν σε μια εικόνα, και τότε αυτού του είδους η ταξινόμηση, αναφέρεται σαν τεχνική **χωρικής αναγνώρισης προτύπων**. Και στις δύο περιπτώσεις, ο σκοπός της ταξινόμησης είναι η κατηγοριοποίηση όλων των εικονοστοιχείων μίας ψηφιακής εικόνας σε μία από ένα σύνολο τάξεων χρήσεων γης, <<θεματικών κατηγοριών>> ή αντικειμένων. Αυτά τα ταξινομημένα δεδομένα μπορούν βέβαια να χρησιμοποιηθούν για να παραχθούν **θεματικοί χάρτες** της κάλυψης γης που αντιστοιχεί σε μια εικόνα, και / ή στο να παραχθούν **στατιστικά δεδομένα** που να αναφέρονται στις περιοχές της εικόνας που καλύπτονται από την κάθε κατηγορία εδαφοκάλυψης. (Αργιαλάς 1998).

### 2.3 Πολυφασματικές Τηλεπισκοπικές Απεικονίσεις

«Η πολυφασματική σάρωση παρέχει περισσότερες πληροφορίες από τα δεδομένα που συλλέγονται από ένα μόνο φασματικό κανάλι. Ο πολυφασματικός σαρωτής είναι ένας δέκτης που συλλέγει δεδομένα από πολλαπλά φασματικά κανάλια ταυτόχρονα. Όταν τα σήματα που καταγράφονται στα πολλαπλά κανάλια, αλληλοεξετάζονται και παράγονται περισσότερες πληροφορίες, απ' ό,τι αν χρησιμοποιούνταν ένα μόνο κανάλι, ή αν τα πολλαπλά κανάλια εξετάζονταν ξεχωριστά. Η πολυφασματική ανάλυση αποτελεί την <<καρδιά>> των περισσότερων εφαρμογών της Τηλεπισκόπησης που αφορούν στη διάκριση των ειδών των φυσικών διαθέσιμων και των συνθηκών τους.» (Αργιαλάς, 2000)

#### 2.3.1 Δορυφορικό Τηλεπισκοπικό Πρόγραμμα LANDSAT

Η αρχική ονομασία του Δορυφορικού Τηλεπισκοπικού Προγράμματος LANDSAT ήταν ERTS (Earth Resources Technology Satellites της NASA). Ο πρώτος δορυφόρος ERTS πήρε το όνομα LANDSAT-1 (LAND SATELLITE 1) και μέχρι σήμερα εκτοξεύθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος 7 δορυφόροι.

Οι τηλεπισκοπικοί δέκτες των δορυφόρων LANDSAT 1 έως LANDSAT 7 και συγκεκριμένα οι:

- Return Beam Vidicon (RBV), LANDSAT 1, 2 και 3
- Multi Spectral Scanner (MSS), LANDSAT 1, 2, 3, 4 και 5, και
- Thematic Mapper TM ή Enhanced TM (ETM) LANDSAT 4, 5, 6, και 7

#### Πίνακας 1: Τηλεπισκοπικοί δέκτες των δορυφόρων Landsat

έχουν τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στον πίνακα 6 και οι ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις τους στην περίοδο λειτουργίας τους καταγράφουν πολύτιμα στοιχεία για εξαγωγή απειρίας ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών για τη φυσική και την κοινωνικοοικονομική πραγματικότητα του πλανήτη μας, αλλά και

για τις πολυδιάστατες διαλεκτικές σχέσεις, αλληλεξαρτήσεις και αλληλεπιδράσεις τους και τις τάσεις μεταβολών τους δια μέσου του χρόνου.

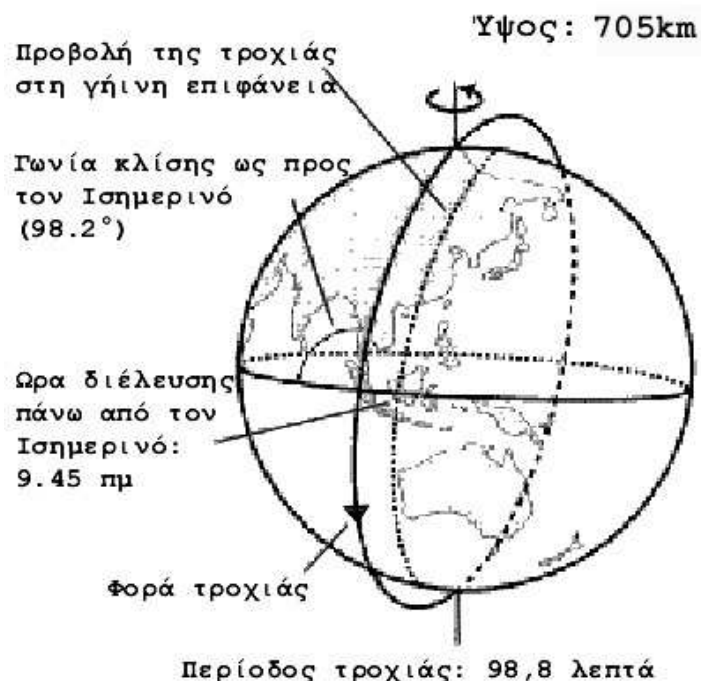
Έτσι, οι LANDSAT τηλεπισκοπικές απεικονίσεις αξιοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών όπως π.χ. η διερεύνηση, απογραφή, χαρτογράφηση και παρακολούθηση των φυσικών και ανθρωπίνων διαθεσίμων, των χρήσεων/καλύψεων γης, του χαρακτήρα, της κατάστασης και της ποιότητας του φυσικού Περιβάλλοντος κ.λπ.

Με τη βοήθεια των αναλογικών και των ψηφιακών μεθόδων και τεχνικών της Φωτοερμηνείας-Τηλεπισκόπησης και τους αντίστοιχους εξοπλισμούς, οι ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις LANDSAT παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες στα πεδία της Τοπογραφίας, Γεωγραφίας, Γεωλογίας, Υδρογεωλογίας, Δασολογίας, Γεωπονίας, Χωροταξίας, Πολεοδομίας, Προστασίας του Περιβάλλοντος κ.λπ. και υποστηρίζουν με αξιοπιστία και πληρότητα τους σχεδιασμούς, τις μελέτες και τα έργα Ανάπτυξης και Προστασίας του περιβάλλοντος σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.

Δορυφόρος	Εκτόξευση	Κανάλια RBV	Κανάλια MSS	Κανάλια TM ή ETM	Κύκλος τροχιάς	Ύψος
LANDSAT-1	23/7/ 1972	1,2,3	4,5,6,7		18 ημέρες	900km
LANDSAT-2	22/1/1975	1,2,3	4,5,6,7		18 ημέρες	900km
LANDSAT-3	5/3/1978	1	4,5,6,7,8		18 ημέρες	900km
LANDSAT-4	16/7/1982		1,2,3,4	1,2,3,4,5,6,7	16 ημέρες	705km
LANDSAT-5	1/3/1984		1,2,3,4	1,2,3,4,5,6,7	16 ημέρες	705km
LANDSAT-6	5-10-1993			1,2,3,4,5,6,7+Pan	16 ημέρες	705km
LANDSAT-7	15/4/1999			1,2,3,4,5,6,7+Pan	16 ημέρες	705km

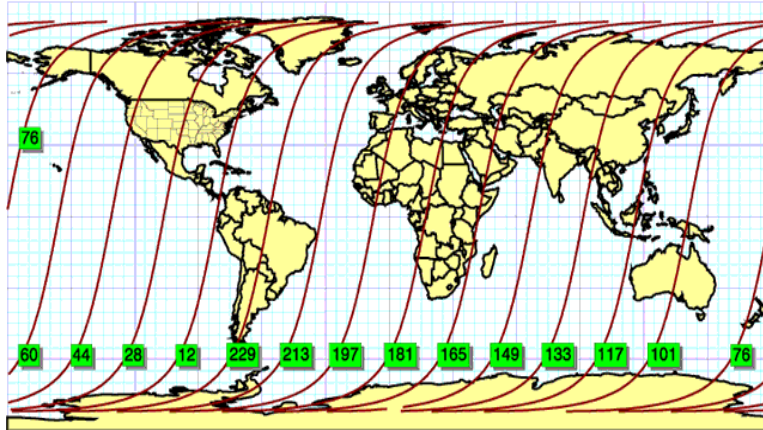
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά των δορυφόρων LANDSAT 1-7 και των τηλεπισκοπικών δεκτών τους

Οι δορυφόροι LANDSAT 1, 2 και 3 έπαψαν να στέλνουν ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις στη γη το 1978, το 1982 και το 1983 αντίστοιχα. Ο LANDSAT-6, μετά από αποτυχημένη εκτόξευση, δεν έγινε δυνατό να τεθεί σε τροχιά.



Εικόνα 2:Σχηματική παράσταση της τροχιάς των δορυφόρων LANDSAT 4, 5 και 7

Οι δορυφόροι LANDSAT 4, 5 και 7 έχουν παραπλήσιες ηλιοσύγχρονες, κυκλικές, σχεδόν πολικές (με κλίση 98,2° ως προς τον Ισημερινό) τροχιές. Η ελάττωση του ύψους από τα 900 km (LANDSAT-1, 2, 3) στα 705 km (LANDSAT 4, 5, 7) έγινε ώστε οι δορυφόροι, εφ' όσον χρειασθεί, να είναι προσβάσιμοι από το Space Shuttle για να είναι δυνατή τυχόν επισκευή τους. Οι δορυφόροι LANDSAT 4, 5 και 7 χρειάζονται 16 ημέρες για μία πλήρη κάλυψη της γης, (ήταν 18 ημέρες για τους LANDSAT-1, 2, 3) και συνεπώς μπορούμε με τον τηλεπισκοπικό δέκτη του ίδιου δορυφόρου να παρακολουθούμε συστηματικά ενδιαφέροντα φαινόμενα και χαρακτηριστικά τα οποία εξελίσσονται ή μεταβάλλονται δυναμικά δια μέσου του χρόνου στη φυσική γήινη επιφάνεια έως και 23 φορές μέσα στη διάρκεια ενός έτους και μάλιστα την ίδια ώρα σε κάθε συγκεκριμένη περιοχή. Οι τροχιές όμως των LANDSAT 4 και 5 έχουν διαφορά φάσης 8 ημερών, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επαναλαμβανόμενη κάλυψη από τους τηλεπισκοπικούς τους δέκτες της ίδιας περιοχής κάθε 8 ημέρες. Η πλευρική κατά πλάτος επικάλυψη των διαδοχικών λήψεων κάθε δορυφόρου στον ισημερινό είναι 7,3% και αυξάνει για μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, φτάνοντας σε μια μέγιστη τιμή 83,9% σε πλάτος 80°. Οι απεικονίσεις των δορυφόρων LANDSAT 4, 5 και 7 αρχειοθετούνται στο LANDSAT Worldwide Reference System (WRS) σε 233 paths και 248 rows.



Εικόνα 3:Χρειάζονται 16 ημέρες για πλήρη κάλυψη της γης από τους δορυφόρους LANDSAT 4, 5 και 7

Όλοι οι δορυφόροι LANDSAT είναι προγραμματισμένοι να διασχίζουν τον Ισημερινό στις 9:45π.μ., αφού αυτή την ώρα η ατμόσφαιρα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαύγεια, ενώ η ηλιοσύγχρονη τροχιά των δορυφόρων εξασφαλίζει ιδανικές συνθήκες φωτισμού.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 6 οι LANDSAT 1 και 2 μετέφεραν δύο τηλεπισκοπικούς δέκτες. Έναν δέκτη RBV (Return Beam Vidicon) με 3 κανάλια και ένα πολυφασματικό δέκτη MSS (Multi Spectral Scanner) με 4 κανάλια. Η χωρική Διαχωριστή Διακριτική Δυνατότητα Ικανότητα και των δύο δεκτών ήταν περίπου 80m. Στον LANDSAT 3 έγιναν δύο βασικές αλλαγές. Ο δέκτης RBV είχε ένα μόνο κανάλι με χωρική  $\Delta\Delta/\Delta I$  30m. Προστέθηκε επίσης ένα θερμικό κανάλι στον δέκτη MSS του δορυφόρου, το οποίο όμως για τεχνικούς λόγους δεν λειτούργησε.

Ο πολυφασματικός τηλεπισκοπικός σαρωτής MSS των δορυφόρων LANDSAT από το 1972 μέχρι σήμερα (πίνακας 7) με τις ψηφιακές τηλεπισκοπικές του απεικονίσεις καταγράφει πιστά την κατάσταση, την ποιότητα, τα χαρακτηριστικά και τις μεταβολές της φυσικής και της κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας με επαρκή ακρίβεια και σε κατάλληλη κλίμακα για την μελέτη, την έρευνα και την παρακολούθηση συγκεκριμένων εκτατικών φαινομένων ή εμφανίσεων (αποψίλωση και πυρκαϊές δασών, μεταβολές της βιομάζας, πλημμύρες κ.λπ.). Από τα τέσσερα κανάλια του MSS τα δύο είναι ευαίσθητα στο ορατό τμήμα του φάσματος της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας 0,5–0,6 $\mu\text{m}$  (πράσινο) και 0,6–0,7 $\mu\text{m}$  (κόκκινο) και τα άλλα δύο στο εγγύς υπέρυθρο (0,7–0,8 $\mu\text{m}$  και 0,8–1,1 $\mu\text{m}$ ). Τα κανάλια αυτά ονομάζονται 4, 5, 6 και 7 και το πλάτος σάρωσης και κάλυψης της φυσικής γήινης επιφανείας ήταν 185km.

Οι LANDSAT 4 και 5, είναι εφοδιασμένοι με δύο πολυφασματικούς τηλεπισκοπικούς δέκτες, τον πολυφασματικό σαρωτή MSS και τον Θεματικό Χαρτογράφο (Thematic Mapper ή TM). Ο MSS είναι όμοιος με εκείνον ο οποίος υπήρχε στους LANDSAT 1, 2 και 3. Τα τέσσερα κανάλια του MSS μετονομάστηκαν σε κανάλια 1, 2, 3, 4 και το πλάτος σάρωσης παρέμεινε 185 km. Ο πολυφασματικός δέκτης Thematic Mapper έχει 7 κανάλια. Τα τρία πρώτα είναι ευαίσθητα στο ορατό τμήμα του φάσματος της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας, 0,45-0,52 $\mu\text{m}$  (μπλε), 0,52-0,60 $\mu\text{m}$  (πράσινο) και 0,63-0,69 $\mu\text{m}$  (κόκκινο). Το κανάλι 4 είναι ευαίσθητο στο εγγύς υπέρυθρο (0,76-0,90 $\mu\text{m}$ ), τα κανάλια 5 και 7 είναι ευαίσθητα στο μέσο υπέρυθρο (1,55-1,75 $\mu\text{m}$  και

2,08-2,35 $\mu\text{m}$  αντίστοιχα) και τέλος, το κανάλι 6 είναι ευαίσθητο στην περιοχή του θερμικού υπερύθρου (10,4-12,5 $\mu\text{m}$ ). Η χωρική  $\Delta\Delta/\Delta\text{I}$  του Θεματικού Χαρτογράφου είναι 30m για όλα τα κανάλια πλην του θερμικού υπερύθρου, το οποίο έχει  $\Delta\Delta/\Delta\text{I}$  120m. Η μεγάλη χωρική και φασματική διακριτική ικανότητα του Θεματικού Χαρτογράφου τον καθιστά πολύτιμο τηλεπισκοπικό δέκτη για το μεγαλύτερο ποσοστό των σχετικών εφαρμογών.

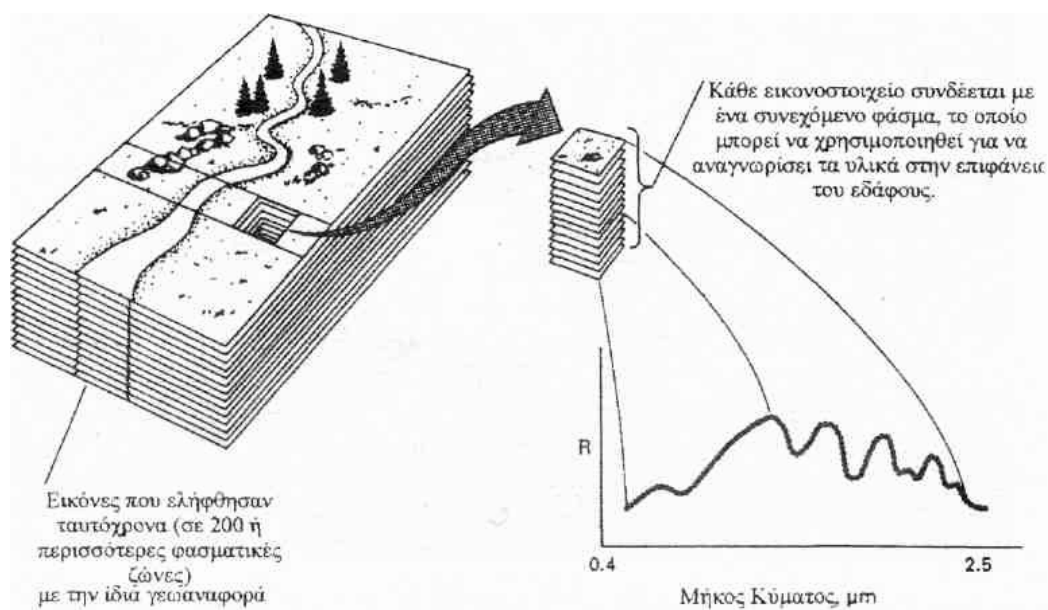
Στους δορυφόρους LANDSAT 6 και 7 τοποθετήθηκε μόνο ένας πολυφασματικός δέκτης, ο Θεματικός Χαρτογράφος με την προσθήκη ωστόσο ενός παγχρωματικού καναλιού (0,5–0,86 $\mu\text{m}$ ), με χωρική διακριτική ικανότητα 15m. Η έκδοση αυτή του Thematic Mapper ονομάστηκε Enhanced Thematic Mapper στον LANDSAT 6 και Enhanced Thematic Mapper Plus στον LANDSAT 7. Στον τελευταίο η  $\Delta\Delta/\Delta\text{I}$  του θερμικού καναλιού βελτιώθηκε και από τα 120 έφθασε στα 60m. Μία σημαντική λειτουργία των δύο αυτών δεκτών είναι η από το έδαφος ρύθμιση της ευαισθησίας (gain) τους ανάλογα με την φωτεινότητα της υπό απεικόνιση περιοχής. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγάλη βελτίωση της ποιότητας των απεικονίσεων.

<b>Δέκτης</b>	<b>Αποστολή</b>	<b>Φασματική Διακριτική Ικανότητα</b>	<b>Χωρική Διακριτική Ικανότητα</b>
<b>RBV</b>	LANDSAT 1, 2	0,475-0,575 $\mu\text{m}$	80m
		0,580-0,680 $\mu\text{m}$	80m
0,690-0,830 $\mu\text{m}$		80m	
	LANDSAT 3	0,505-0,750 $\mu\text{m}$	30m
<b>MSS</b>	LANDSAT 1 ως 5	0,5-0,6 $\mu\text{m}$	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		0,6-0,7 $\mu\text{m}$	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		0,7-0,8 $\mu\text{m}$	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		0,8-1,1 $\mu\text{m}$	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		10,4-12,6 $\mu\text{m}$	79m (82m στους LANDSAT-4,5) 240m (μόνο στον LANDSAT-3)
<b>TM</b>	LANDSAT 4, 5	0,45-0,52 $\mu\text{m}$	30m
		0,52-0,60 $\mu\text{m}$	30m
		0,63-0,69 $\mu\text{m}$	30m
		0,76-0,90 $\mu\text{m}$	30m
		1,55-1,75 $\mu\text{m}$	30m
		10,4-12,5 $\mu\text{m}$	120m
		2,08-2,35 $\mu\text{m}$	30m
<b>ETM &amp; ETM+</b>	LANDSAT 6, 7	0,52-0,90 $\mu\text{m}$	15m
		0,45-0,52 $\mu\text{m}$	30m
		0,52-0,60 $\mu\text{m}$	30m
		0,63-0,69 $\mu\text{m}$	30m
		0,75-0,90 $\mu\text{m}$	30m
		1,55-1,75 $\mu\text{m}$	30m
		10,4-12,5 $\mu\text{m}$	120m (ETM), 60m (ETM+)
		2,08-2,35 $\mu\text{m}$	30m

Πίνακας 3: Φασματική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεκτών των δορυφόρων LANDSAT 1 έως 7

## 2.4 Υπερφασματικές Τηλεπισκοπικές Απεικονίσεις

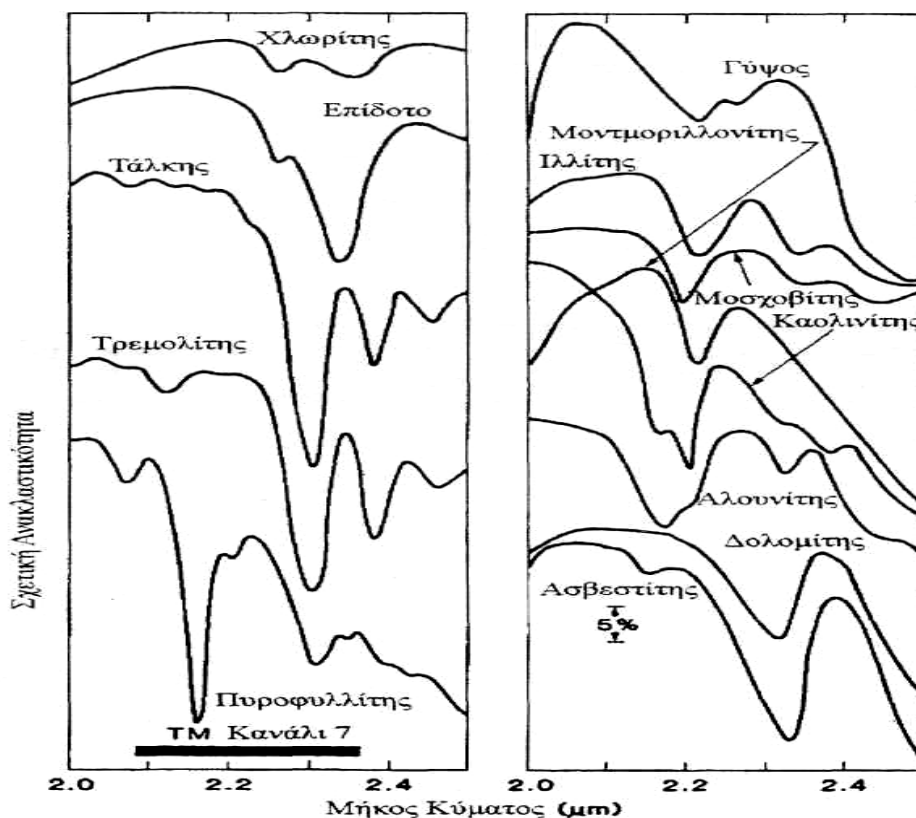
«Οι υπερφασματικές απεικονίσεις είναι πολυφασματικές εικόνες σε πολλά, μικρού εύρους, συνεχόμενα φασματικά κανάλια της ορατής, εγγύς υπέρυθρης, και μέσης υπέρυθρης φασματικής περιοχής. Οι υπερφασματικοί δέκτες συνήθως συλλέγουν, σε 200 ή και περισσότερα κανάλια, δεδομένα για το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, γεγονός το οποίο επιτρέπει την κατασκευή ενός αποτελεσματικού συνεχόμενου φάσματος ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο στην επιφάνεια κατόπτρευσης (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: 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 5, 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 $\mu\text{m}$ . 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  $\mu\text{m}$ , ένας υπερφασματικός σαρωτής λαμβάνει πολλές απεικονίσεις μέσα στο ίδιο εύρος, χρησιμοποιώντας κανάλια πλάτους της τάξης των 0.01 $\mu\text{m}$ . 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 5: 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).

#### 2.4.1 Υπερφασματικός Σαρωτής Hyperion

Ο Hyperion είναι ένας υπερφασματικός σαρωτής απεικόνισης υψηλού ψηφίσματος. Οι εικόνες Hyperion απεικονίζουν τη γήινη επιφάνεια σε 220 παρακείμενες φασματικές ζώνες με την υψηλή ραδιομετρική ακρίβεια, που καλύπτει την περιοχή από 400 νανόμετρα σε 2.5 μικρόμετρα, σε μια επίγεια ανάλυση 30 μέτρων. Μέσω αυτού του μεγάλου αριθμού φασματικών ζωνών, τα σύνθετα οικοσυστήματα εδάφους μπορούν να είναι ακριβώς ταξινομημένα. Το Hyperion είναι ένα όργανο «push broom». Έχει ενιαίο τηλεσκόπιο και δύο φασματόμετρα, ένα ορατό/ κοντά στο υπέρυθρο (VNIR) φασματόμετρο (με τη σειρά ανιχνευτών CCD) και ένα υπέρυθρο φασματόμετρο (SWIR) μικροκύματος (σειρά ανιχνευτών HgCdTe).



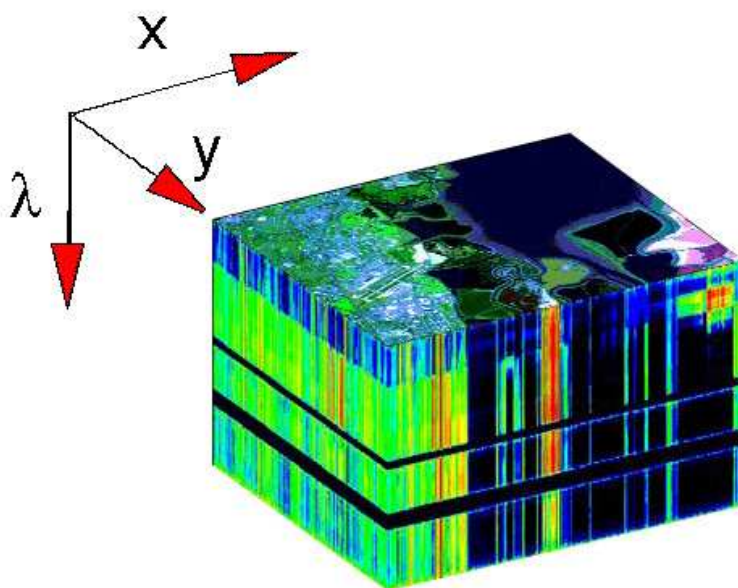
<b>Spatial Resolution</b>	30 m
<b>Swath Width</b>	7.75 km
<b>Spectral Channels</b>	220 unique channels. VNIR (70 channels, 356 nm - 1058 nm), SWIR (172 channels, 852 nm - 2577 nm)
<b>Spectral Bandwidth</b>	10 nm (nominal)
<b>Digitization</b>	12 bits
<b>Signal-to-Noise Ratio (SNR)</b>	161 (550 nm); 147 (700 nm); 110 (1125 nm); 40 (2125 nm)

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Σαρωτή Hyperion

Ο Hyperion παρέχει μια νέα κατηγορία στοιχείων γήινης παρατήρησης για το βελτιωμένο χαρακτηρισμό της γήινης επιφάνειας. Ο Hyperion παρέχει την ποιοτική βαθμολόγηση βασισμένη στην κληρονομιά από το όργανο απεικόνισης του LEWIS Hyperspectral (HSI). Οι ικανότητες του Hyperion παρέχουν το ψήφισμα των ιδιοτήτων επιφάνειας στις εκατοντάδες των φασματικών ζωνών εναντίον των δέκα πολυφασματικών ζωνών που πετούν στις παραδοσιακές αποστολές απεικόνισης Landsat. Οι υπερφασματικές απεικονίσεις έχουν εκτεταμένες εφαρμογές στη μεταλλεία, τη γεωλογία, τη δασονομία, τη γεωργία, και την περιβαλλοντική διαχείριση. Η λεπτομερής ταξινόμηση των προτερημάτων εδάφους μέσω του Hyperion θα επιτρέψει την ακριβέστερη μακρινή ορυκτή εξερεύνηση, τις καλύτερες προβλέψεις της παραγωγής και των αξιολογήσεων των συγκομιδών, και την καλύτερη χαρτογράφηση συγκράτησης.

#### 2.4.2 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 6). 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 ( $\lambda$ ). 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 6: 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 προσιτά 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 οδηγεί 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 προηγουμένα, 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.» (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.

### 2.5.3 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  $\Sigma$  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:

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

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  $\Sigma$  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  $\Sigma_N$  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  $\Sigma_N$  σε φθίνουσα σειρά, και

$U$  είναι ο ορθογώνιος πίνακας, ο οποίος συντίθεται από τα ιδιοδιανύσματα του πίνακα  $\Sigma_N$

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.

Η διαδικασία για τα MNF πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό ENVI . Από τα 222 κανάλια τελικά λόγω θορύβου επιλέξαμε τα 139. Επειδή όμως ο αλγόριθμος ήταν αδύνατο να τρέξει με τόσα κανάλια, επιλέξαμε κανάλι παρά κανάλι και τελικά από τα 139 χρησιμοποιήσαμε 64 κανάλια. Από τις ιδιοτιμές θορύβου κρατάμε περίπου 8 κανάλια.

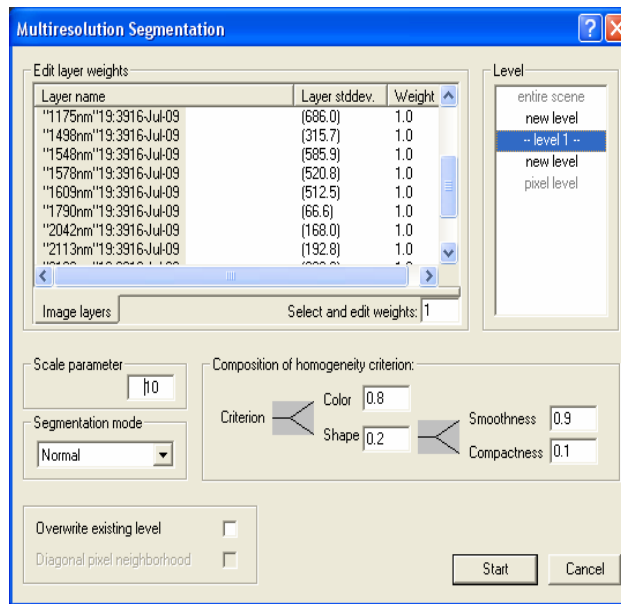
## 2.6 Αντικειμενοστραφής ανάλυση και eCognition

Το λογισμικό eCognition χρησιμοποιεί μια νέα καινοτομική μεθοδολογία που αφορά στον τομέα της κατάτμησης και ταξινόμησης εικόνας. Το λογισμικό αντικειμενοστραφούς ανάλυσης δημιουργήθηκε και διατίθεται από τη γερμανική εταιρία DEFiNiENS ImagingGmbH ([www.definiens.com](http://www.definiens.com)). Κύριο χαρακτηριστικό αυτής της προσέγγισης είναι η δημιουργία φωτοερμηνευτικής βάσης γνώσης με αντικειμενοστραφή προγραμματισμό σε πολλαπλά επίπεδα ανάλυσης και με χρήση ασαφούς λογικής. Η βασική προσέγγιση που την χαρακτηρίζει είναι ότι στην ανάλυση της εικόνας, η σημαντική πληροφορία για την φωτοερμηνεία, δεν βρίσκεται στο επίπεδο των μεμονωμένων εικονοστοιχείων αλλά στο επίπεδο νοηματικών αντικειμένων /τμημάτων της εικόνας και στις αλληλοσυσχετίσεις τους (DEFiNiENS 2000).

### 2.6.1 Κατάτμηση (Segmentation)

Χαρακτηριστικό στοιχείο αυτής της καινοτομικής προσέγγισης, είναι το στάδιο της κατάτμησης της εικόνας σε ομοιογενή τμήματα, γνωστής και ως κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης (multiresolution segmentation). Ο χρήστης είναι σε θέση να δηλώσει στον αλγόριθμο το μέγεθος τμημάτων /αντικειμένων, τη φασματική ομοιογένεια που θα παρουσιάζουν, καθώς και σε ποιο βαθμό τα τμήματα/ αντικείμενα αυτά θα έχουν σχήμα συμπαγή ή λείο, ανάλογα με τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Συνάμα η προσέγγιση αυτή προσφέρει τη δυνατότητα στον χρήστη να ελέγχει έμμεσα το μέγεθος των αντικειμένων που θα προκύψουν. Έτσι ο αλγόριθμος είναι σε θέση να χρησιμοποιεί τόσο κριτήρια τόνου και χρώματος της εικόνας όσο και κριτήρια σχήματος των αντικειμένων που είναι επιθυμητό να προκύψουν. Η επιλογή των καταλληλότερων επιπέδων κατάτμησης για την εκάστοτε εφαρμογή γίνεται φωτοερμηνευτικά με επαναληπτικές δοκιμές (εμπειρικά) και διευκολύνεται με χρήση των ορίων (polygons\_ create polygons) των αντικειμένων (segments). Ένας γενικός κανόνας για την επιλογή της καταλληλότερης κατάτμησης είναι ότι επιδιώκονται τα μεγαλύτερα δυνατά αντικείμενα, τα οποία ωστόσο αποδίδουν όλες τις λεπτομέρειες που επιβάλλεται να αποδοθούν στον τελικό χάρτη της ταξινόμησης. Για τη διεκπεραίωση της διαδικασίας της κατάτμησης, ρυθμίζονται οι παράμετροι που παρουσιάζονται στην Εικόνα 7 .





Εικόνα 7: Παράμετροι κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης





1.Παράμετρος κλίμακας: Η scale parameter είναι όρος που ρυθμίζει το επιθυμητό μέγεθος και την μέγιστη επιτρεπόμενη ετερογένεια των παραγόμενων αντικειμένων (segments). Το μέγεθος των τεμαχίων έχει εύρος τιμών από ολόκληρη την εικόνα έως το μεμονωμένο εικονοστοιχείο. Τα όρια του κάθε τεμαχίου που δημιουργείται από κάθε επίπεδο κατάτμησης, και αναπαρίστανται από διανυσματικά πολύγωνα, δεν πρέπει να έρχονται σε σύγκρουση με τα όρια προϋπαρχόντων πολυγώνων ανώτερου επιπέδου κατάτμησης. Ήτοι, πολύγωνα που δημιουργούνται από μικρότερο επίπεδο, και συνεπώς μικρότερο συντελεστή κλίμακας, αποτελούν τμήματα των πολυγώνων μεγαλύτερου επιπέδου. Για να αποφευχθεί οποιαδήποτε παραβίαση του κανόνα αυτού δημιουργούνται επίπεδα κατάτμησης με σειρά είτε από το επίπεδο με τον μεγαλύτερο συντελεστή κλίμακας σε αυτό με τον μικρότερο (top-down), είτε από το επίπεδο με τον μικρότερο συντελεστή κλίμακας σε αυτό με τον μεγαλύτερο (bottom-up). Η από πάνω προς τα κάτω (top-down)κατάτμηση οδηγεί σε διάσπαση των περιοχών που δεν πληρούν τα κριτήρια κατάτμησης, ενώ η από κάτω προς τα πάνω (bottom-up) διαιρεί ολόκληρη την εικόνα συγχωνεύοντας εικονοστοιχεία που βάσει των τιθέμενων κριτηρίων εμφανίζουν υψηλό βαθμό καταλληλότητας για συγχώνευση και συγκροτούν ενότητα.

2.Παράμετρος χρώματος: Η παράμετρος color criterion ρυθμίζει, κατά την ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων τα οποία θα συγκροτήσουν ένα αντικείμενο, τη βαρύτητα που θα δίνεται κατά την κατάτμηση στα φασματικά χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων που απαρτίζουν το παραγόμενο αντικείμενο.

3.Παράμετρος σχήματος: Η παράμετρος shape criterion ρυθμίζει, κατά την ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων τα οποία θα συγκροτήσουν ένα αντικείμενο, τη βαρύτητα που θα δίνεται κατά την κατάτμηση στο τελικό σχήμα του αντικειμένου των εικονοστοιχείων που απαρτίζουν το παραγόμενο αντικείμενο. Στην περίπτωση που δίνεται έμφαση στο σχήμα του εκάστοτε παραγόμενου αντικειμένου, δίνεται η επιλογή μεταξύ ομαλότερων ορίων στα αντικείμενα μέσω της παραμέτρου smoothness και κανονικότητας σχημάτων μέσω της παραμέτρου compactness που αποτελούν συμπληρωματικές παραμέτρους.

Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι ο βαθμός συμμετοχής της φασματικής πληροφορίας του κάθε καναλιού της προς μελέτη εικόνας προσδιορίζεται από το βάρος που θα του ανατεθεί ενώ υπάρχει και δυνατότητα αποκλεισμού καναλιών με ανάθεση μηδενικού βάρους.

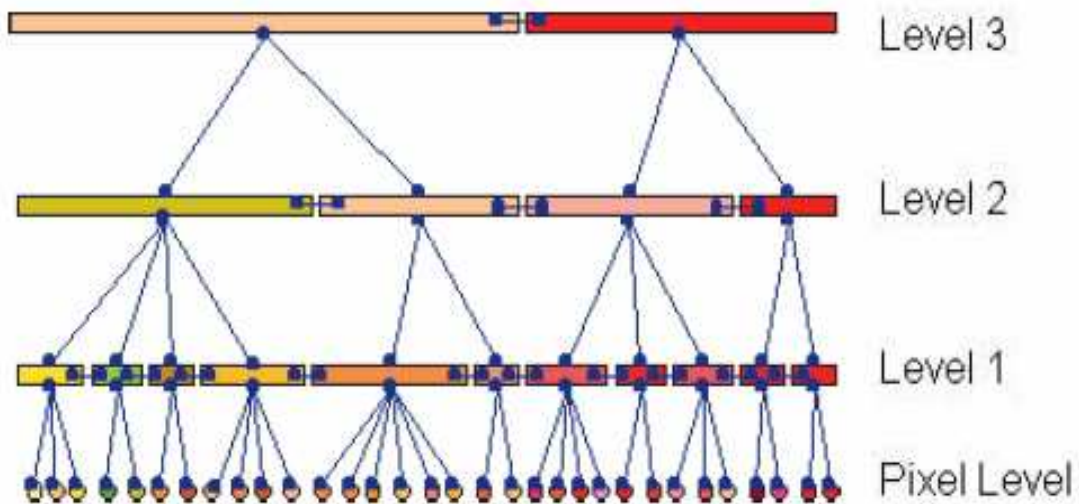
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η απεικόνιση Landsat σε διάφορα στάδια κατάτμησης, με διαφορετικές παραμέτρους κάθε φορά.

<p>Απεικόνιση Landsat πριν από την κατάτμηση σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο RGB (321)</p>	
<p>Απεικόνιση Landsat μετά από κατάτμηση με: Scale parameter: 3 Color: 0.8 Shape: 0.2 Smoothness: 0.9 Compactness: 0.1</p>	
<p>Απεικόνιση Landsat μετά από κατάτμηση με: Scale parameter: 5 Color: 0.6 Shape: 0.4 Smoothness: 0.7 Compactness: 0.3</p>	
<p>Απεικόνιση Landsat μετά από κατάτμηση με: Scale parameter: 10 Color: 0.3 Shape: 0.7 Smoothness: 0.5 Compactness: 0.5</p>	

Πίνακας 5: Διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης σε τμήμα της απεικόνισης Landsat TM

## 2.6.2 Ιεραρχικό Δίκτυο Αντικειμένων

Στο λογισμικό eCognition, οι διάφορες τεχνικές για την κατάτμηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν δίκτυο αντικειμένων της εικόνας που μελετάται, το οποίο αναπαριστά τις πληροφορίες που εξάγονται από αυτήν, σε διάφορες χωρικές αναλύσεις ταυτόχρονα. Για κάθε αντικείμενο του δικτύου είναι γνωστά τα υπέρ-αντικείμενα, τα υπό-αντικείμενα και τα γειτονικά του αντικείμενα, με αποτέλεσμα να καθορίζονται πλέον σχέσεις μεταξύ τους. Το εμβαδόν των υπέρ-αντικειμένων καθορίζεται από το άθροισμα των εμβαδών των υπό-αντικειμένων που περιέχουν, και όμοια για τα υπό-αντικείμενα, καθώς το δίκτυο είναι τοπολογικά ορισμένο. Πρακτικά αυτό το άθροισμα υλοποιείται εύκολα, αφού στο συγκεκριμένο λογισμικό όλες οι τεχνικές κατάτμησης είναι αλγόριθμοι συνένωσης περιοχών. Κάθε επίπεδο δομείται βάσει των απευθείας υπό-αντικειμένων του, δηλαδή τα υπό-αντικείμενα ενός επιπέδου ενώνονται σε μεγαλύτερα στο επόμενο επίπεδο. Η συνένωση περιορίζεται από τα όρια των υπέρ-αντικειμένων, διότι γειτονικά αντικείμενα δεν μπορούν να ενωθούν όταν τα υπό-αντικείμενα τους προέρχονται από διαφορετικά υπέρ-αντικείμενα, αν και το σχήμα των υπέρ-αντικειμένων δύναται να διορθωθεί αν ανακαταταχθούν τα υπό-αντικείμενα. Συνεπώς, διαφαίνεται ότι η αλληλουχία με την οποία κατατμούνται τα επίπεδα είναι σημαντική.



Εικόνα 8: Διάγραμμα ιεραρχικού δικτύου αντικειμένων

Οι διαδικασίες κατάτμησης, στο σύνολό τους, δρουν σε αυθαίρετα επίπεδα, και εφ' όσον το επίπεδο των εικονοστοιχείων και ολόκληρης της εικόνας υπάρχουν εξ' ορισμού, κάθε κατάτμηση επιπέδου συντάσσεται μεταξύ ενός κατώτερου και ενός ανώτερου επιπέδου. Για τη διασφάλιση της οριστικής ιεραρχίας στο χωρικό σχήμα όλων των αντικειμένων, κατά τις διαδικασίες κατάτμησης δεν παραβιάζεται η αρχή ότι τα όρια των αντικειμένων οφείλουν να ακολουθούν τα όρια των αντικειμένων στο αμέσως επόμενο κατώτερο επίπεδο και ότι η κατάτμηση περιορίζεται από το όριο του αντικειμένου στο αμέσως επόμενο ανώτερο επίπεδο. Ένεκα του ιεραρχικού δικτύου των αντικειμένων, παρέχεται η δυνατότητα οι δομές διαφορετικών κλιμάκων να αναπαρίστανται ταυτόχρονα και να ταξινομούνται λαμβάνοντας πληροφορία από όλες τις κλίμακες. Επιπλέον, διαφορετικά επίπεδα μπορούν να κατατμηθούν βάσει

διαφόρων ειδών δεδομένων, όπως θεματικών χαρτών, φασματικών, υψομετρικών και λοιπών δεδομένων.

Εκτός από την νέα αυτή μέθοδο κατάτμησης, το λογισμικό eCognition, προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας ιεραρχίας πολλαπλών επιπέδων από ομοιογενή ως προς το τόνο αντικείμενα της εικόνας, τα οποία κάθε στιγμή γνωρίζουν τόσο τους γείτονες τους στο ίδιο επίπεδο, αλλά και τα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω ή κάτω από αυτά. Ταυτόχρονα γίνεται υπολογισμός στατιστικών παραμέτρων που αφορούν στις τιμές χρώματος των αντικειμένων (μέσες τιμές τόνου, τυπικές αποκλίσεις, υφή κ.α.), αλλά και ιδιοτήτων που αφορούν στο σχήμα των αντικειμένων (προσανατολισμός, μήκος, πλάτος, επιμήκυνση, καμπυλότητα, συμπαγότητα κ.α.). Μέσω αυτών των στατιστικών μεγεθών, της ιεραρχίας κλάσεων που ορίζει ο χρήστης με βάση, τόσο τις εννοιολογικές όσο και τις φασματικές δομές που χρειάζεται να ταξινομήσει, αλλά και των χωρικών – φασματικών σχέσεων των κλάσεων μεταξύ τους, πραγματοποιείται η ταξινόμηση των αντικειμένων. Η ταξινόμηση στο eCognition πραγματοποιείται με ασαφή λογική. Η ασαφής λογική καθορίζει όχι μόνο την τιμή συμμετοχής ενός αντικειμένου σε μια κατηγορία αλλά και την τιμή συμμετοχής του αντικειμένου για όλες τις διαθέσιμες κατηγορίες. Η αναπαράσταση των κατηγοριών γίνεται είτε με μια ασαφή εκδοχή του αλγορίθμου του Εγγύτερου Γείτονα (Nearest Neighbour) είτε με ένα σύνολο ασαφών προσδιορισμών των ιδιοτήτων των αντικειμένων, που εκφράζονται από τις συναρτήσεις συμμετοχής. Η τιμή συμμετοχής υπολογίζεται κάθε φορά από τον αντίστοιχο ταξινομητή που χρησιμοποιείται. Οι ταξινομητές μπορούν να συνυπάρχουν κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης μέσω τελεστών της ασαφούς λογικής όπως οι AND, OR, MEAN κ.α. (eCognition User Guide 2001). Παρόλο που μέρος της μεθοδολογίας και η φιλοσοφία αυτού του λογισμικού υπήρχε εννοιολογικά ή και τμηματικά εφαρμοσμένη στον χώρο των εμπείρων συστημάτων και της ανάλυσης εικόνας (Argialas and Harlow 1990, Baatz and Schäpe 2000), ήταν η πρώτη φορά που έγινε υλοποίηση όλων αυτών των χαρακτηριστικών σε ένα ενιαίο λογισμικό. Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι στην ψηφιακή τηλεπισκόπηση δεν υπήρχε λογισμικό το οποίο να μπορεί να προσομοιώσει την ποιοτική διαδικασία εκείνη κατά την οποία ο φωτοερμηνευτής αξιολογεί αφ' ενός μεν τα σχήματα των αντικειμένων και αφ' ετέρου την γειννίαση των περιοχών μελέτης, και την γενικότερη σχέση τους με το περιβάλλον. Για πρώτη φορά έγινε εφικτή η ποσοτική αναπαράσταση σε σχέσεις γειννίασης μεταξύ αντικειμένων εικόνας αλλά και αναπαράστασης στατιστικών χρώματος και σχήματος των αντικειμένων ως προς το περιβάλλον τους (Αργιαλάς, Τζώτσος). Τέλος, τα αποτελέσματα της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης μπορούν να εξαχθούν υπό τη μορφή εικόνας raster, αλλά και υπό μορφή πολυγώνων, διευκολύνοντας τη συνεργασία με Συστήματα Πληροφοριών Γης (ΣΓΠ - GIS). Η όλη διαδικασία ανάλυσης μιας εικόνας μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα μικρού μεγέθους ψηφιακό πρωτόκολλο και να εφαρμοστεί σε άλλες παρόμοιες εικόνες, διατηρώντας σταθερές τις συνθήκες επεξεργασίας και αυτοματοποιώντας την.

### 2.6.3 Ιεραρχία κατηγοριών (class-hierarchy)

«Η ιεραρχία κατηγοριών ή αλλιώς class hierarchy αποτελεί το πλαίσιο που χρησιμοποιεί το λογισμικό για τη διατύπωση της γνωσιακής βάσης για την ταξινόμηση των αντικειμένων της εικόνας. Περιέχει όλες της κατηγορίες ενός σχεδιαγράμματος ταξινόμησης, δομημένο σε μορφή ιεραρχίας» (Baatz et al 2001).

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

τμημάτων 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 τμήμα και τα σπίτια από μικρά τμήματα δίπλα-δίπλα χωρίς να συγχωνεύονται σε κάποιο πρόσθετο αντικείμενο κατά την διαδικασία μιας θεματικής ταξινόμησης (Σταματάκης Ι. 2009).

Έτσι, αντικείμενα από διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης (χωρικής) και διαφορετικών θεματικών εννοιών πρέπει να συνδυαστούν στις περισσότερες εφαρμογές. Το σχήμα στην Εικόνα 9 παρουσιάζει το ιεραρχικό δίκτυο των επιπέδων κατάτμησης και τη δυνατότητα δημιουργίας ενός επιθυμητού αριθμού επιπέδων κατάτμησης με μεγέθη τμήματος που βελτιστοποιούνται με την καλύτερη αντιπροσώπευση των πραγματικών 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 υπό- ή υπέρ-κατηγορία και κατά συνέπεια να κληρονομήσει τις ιδιότητές από μια ή περισσότερες υποκατηγορίες (ή υπέρ-κατηγορίες). Λαμβάνοντας υπ' όψιν την συμπεριφορά των πολύ-επίπεδων προς ανίχνευση αντικειμένων, ένας αριθμός από μικρά αντικείμενα μπορούν να συναθροιστούν και να δημιουργήσουν μεγαλύτερα αντικείμενα κατασκευάζοντας έτσι μια σημασιολογική 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 et al 2003, Baatz et al 2001).

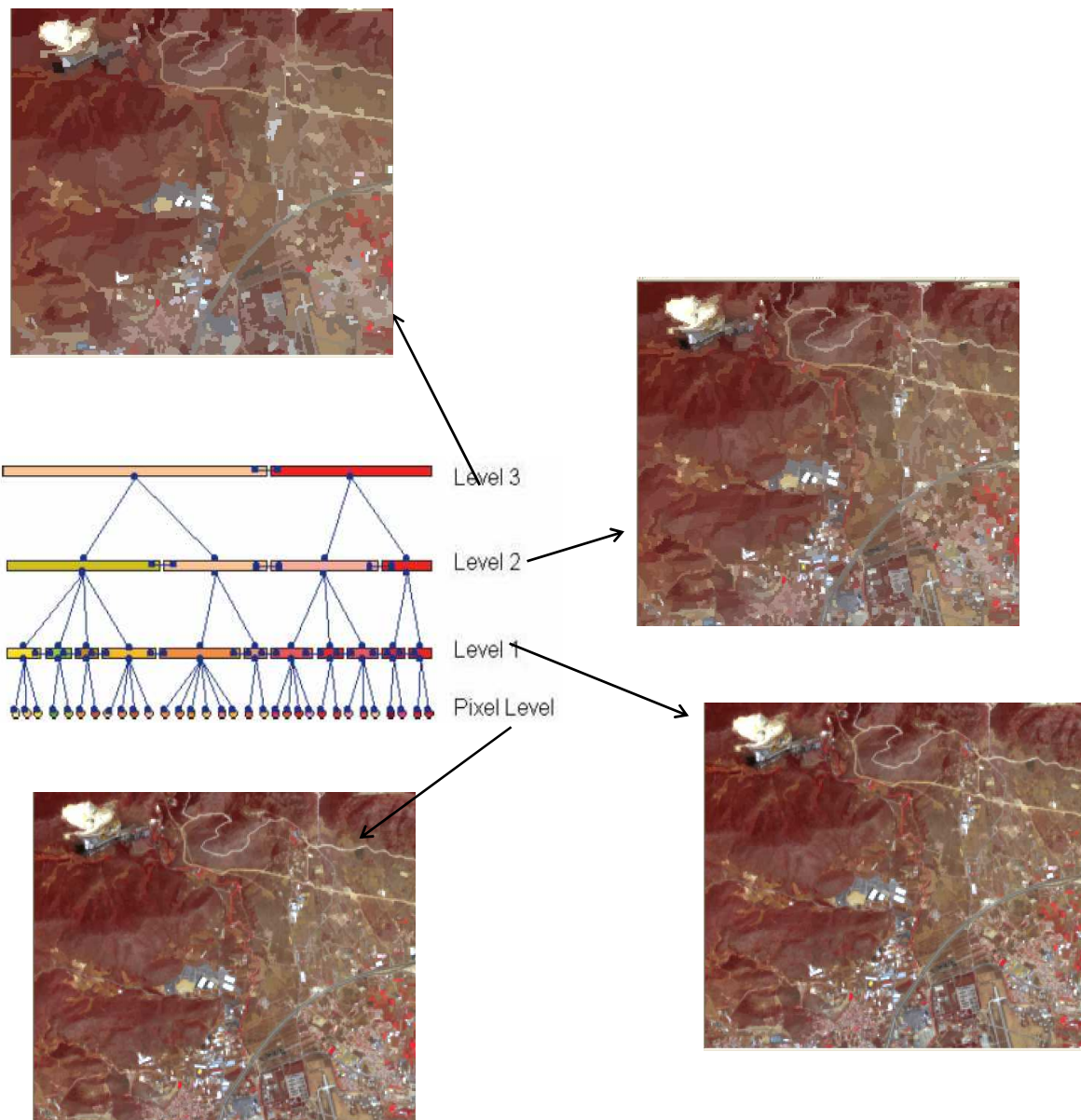
«Στο λογισμικό eCognition, και οι δύο προσεγγίσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- Δημιουργώντας ένα ιεραρχικό δίκτυο από αντικείμενα της εικόνας χρησιμοποιώντας την κατάτμηση. Τα τμήματα του πάνω επιπέδου της εικόνας αναπαριστούν μεγάλης κλίμακας αντικείμενα, ενώ των χαμηλότερων επιπέδων αντικείμενα αναπαριστούν μικρής 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 "κληρονομιάς" 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 υπό- 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 τμήματα μπορούν να εξαχθούν και να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον GIS. Οι σημασιολογικές ομάδες, μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω ανάλυση γειννίας.



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

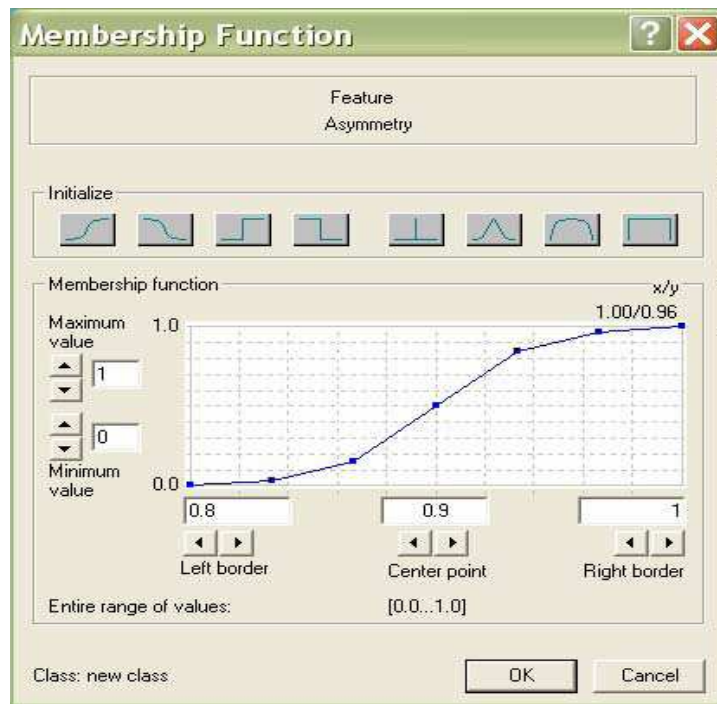
«Η βασισμένη στην ταξινόμηση διαδικασία βελτιστοποίησης διασφαλίζει επίσης μια πιο συγκρίσιμη και συνεπώς σταθερή κατάτμηση. Η βασική ιδέα πίσω από αυτήν την προσέγγιση είναι η επαναλαμβανόμενη βελτιστοποίηση της μορφής των αντικειμένων της εικόνας σύμφωνα με ένα σύνολο κανόνων που είναι ικανοί για τον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



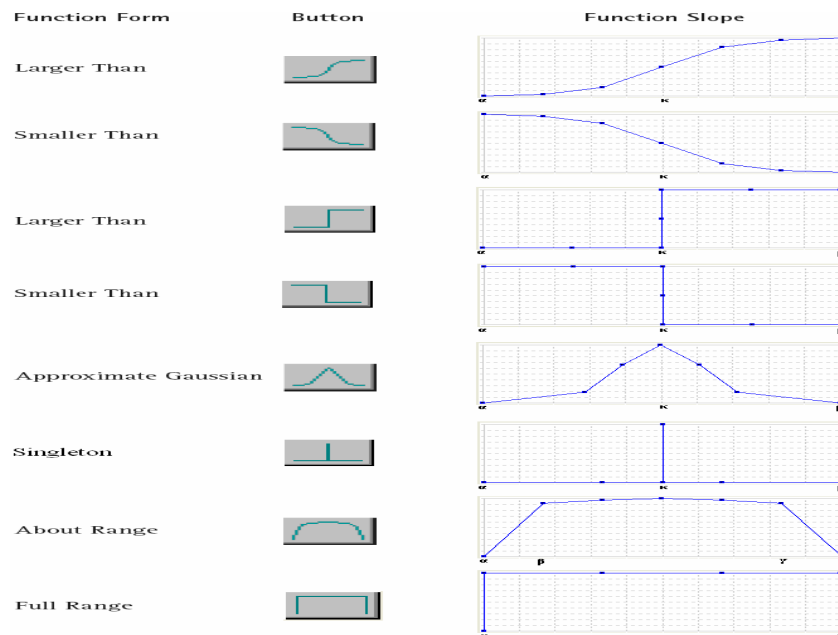
Εικόνα 9:Ιεραρχία επιπέδων ανάλυσης της εικόνας Hyperion με διαφορετικές παραμέτρους κατάτμησης

#### 2.6.4 Ασαφής Λογική και οι Συναρτήσεις Συμμετοχής

Η ασαφής λογική στο λογισμικό του eCognition, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των πρωτογενών αντικειμένων ,που προκύπτουν από την κατάτμηση της εικόνας, στις αντίστοιχες θεματικές/ εννοιολογικές κατηγορίες, που ορίζονται από τον χρήστη, με βάση ειδοποιείς ιδιότητες των αντικειμένων. Ως εκ τούτου, η ασαφής ταξινόμηση στο λογισμικό, υπολογίζει τις ιδιότητες που αφορούν τον τόνο, το σχήμα και τις σχέσεις γειτνίασης με τα υπόλοιπα αντικείμενα της εικόνας. Περαιτέρω, οι συναρτήσεις συμμετοχής των ιδιοτήτων του κάθε αντικειμένου ,μπορούν να συνδυαστούν με ασαφείς τελεστές or, and, mean. Έτσι, στο τέλος, σε κάθε αντικείμενο αντιστοιχίζεται μια ασαφής τιμή συμμετοχής στο διάστημα [0,1] για κάθε διαθέσιμη κατηγορία, μέσω των ασαφών συναρτήσεων συμμετοχής. Όπως γίνεται φανερό η μεγαλύτερη τιμή συμμετοχής ταξινομεί το αντικείμενο στην αντίστοιχη κατηγορία/ τάξη. Οι συναρτήσεις συμμετοχής (membership functions) είναι εύκολες στην δημιουργία τους και προσαρμόζονται εξίσου εύκολα και αποτελεσματικά για κάθε χαρακτηριστικό. Οι συναρτήσεις συμμετοχής προσφέρουν μια καταφανή σχέση μεταξύ των τιμών ενός χαρακτηριστικού και του βαθμού συμμετοχής που θα έχει αυτό, σε κάποια τάξη ή κατηγορία .Ως εκ τούτου λοιπόν, μια συνάρτηση συμμετοχής, καθορίζεται από το αριστερό και δεξί όριο τιμών, δηλαδή το εύρος τιμών ασάφειας ,σε συνδυασμό με τη κατάλληλη κάθε φορά συνάρτηση που ο χρήστης θα θέσει. Έτσι η συμμετοχή ενός χαρακτηριστικού, για την περιγραφή μιας κατηγορίας, δεν ορίζεται με ένα απόλυτο «ναι» ή «όχι». Στο αριστερό όριο, ο χρήστης δηλώνει τη μικρότερη τιμή ασάφειας, δηλαδή την τιμή στην οποία «πιστεύει» ότι ξεκινούν οι τιμές των χαρακτηριστικών των αντικειμένων μιας συγκεκριμένης κατηγορίας, ενώ στο δεξί όριο, μπαίνει η μεγαλύτερη τιμή, δηλαδή η τιμή στην οποία το χαρακτηριστικό των αντικειμένων της συγκεκριμένης κατηγορίας παύει να υφίσταται επαρκές για την περιγραφή της. Γίνεται φανερό ότι η τιμή ενός χαρακτηριστικού, μετατρέπεται σε βαθμό συμμετοχής σε κάποια κατηγορία, μέσω της συνάρτησης που εφαρμόζεται κάθε φορά. Όπως προαναφέρθηκε, στον άξονα των x μπαίνουν οι τιμές ασάφειας που ορίζουν ή δεν ορίζουν το χαρακτηριστικό σε κάποια κατηγορία ενώ στον άξονα των y φαίνεται ο βαθμός συμμετοχής που θα πάρει το χαρακτηριστικό για την συγκεκριμένη κατηγορία. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η διαδικασία ανάθεσης μιας συνάρτησης συμμετοχής για τις τιμές ενός χαρακτηριστικού που βρίσκεται διαθέσιμο μέσα στο λογισμικό και αφορά την ασυμμετρία (asymmetry). Στην περίπτωση αυτή ο χρήστης θέτει στο αριστερό όριο μια τιμή ίση με 0.8 και στο αριστερό την τιμή 1.Δηλαδή γίνεται η δήλωση στον αλγόριθμο, σε όσα αντικείμενα έχουν τιμή χαρακτηριστικού (ασυμμετρίας), μέσα στο εύρος τιμών από 0.8 έως1 να βρεθεί ο βαθμός συμμετοχής που θα έχουν στη συγκεκριμένη κατηγορία (π.χ δρόμοι).Γίνεται σαφές ότι τα όρια αυτά, καθορίζουν τις τιμές ασάφειας του αν ανήκει ή όχι το αντικείμενο στη κατηγορία και σε ποιο βαθμό θα συμμετέχει στην περιγραφή της. Μέσα στο λογισμικό υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διάκριση διαφόρων κατηγοριών όπως επίσης και αρκετές συναρτήσεις που θα εξηγηθούν περιληπτικά παρακάτω. Στην Εικόνα 10, παρουσιάζεται το παράθυρο διαλόγου η συνάρτηση συμμετοχής μορφής S, που αφορά τη περιγραφή του χαρακτηριστικού της ασυμμετρίας(Asymmetry).



Εικόνα 10: Συνάρτηση συμμετοχής S και ο τρόπος λειτουργίας της. Στο αριστερό όριο τίθεται η μικρότερη ασαφής τιμή και στο δεξί όριο η μεγαλύτερη. Ο αλγόριθμος εδώ θα δώσει βαθμό συμμετοχής στην κατηγορία σ' όλα τα τμήματα που έχουν τιμές χαρακτηριστικού (Assymetry),μεγαλύτερες από 0,9.



Εικόνα 11:Κύριες μορφές συναρτήσεων συμμετοχής στο λογισμικό eCognition



## 2.6.5 Χαρακτηριστικά / Ιδιότητες (features) στο λογισμικό eCognition

Στην διεθνή βιβλιογραφία τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να απαντηθούν και ως δείκτες, μέτρα ή περιγραφές (αντίστοιχα features, indices, measures, descriptions). Διαθέσιμα χαρακτηριστικά στο eCognition είναι για παράδειγμα το μέγεθος (area), το μήκος του ορίου e (border length), η ασυμμετρία (asymmetry), ο λόγος μήκους προς πλάτος  $\gamma$  (length/width), η πυκνότητα (density), που αποτελούν δείκτες σχήματος αλλά και άλλα όπως είναι οι μέσες τιμές των καναλιών της εικόνας (mean values), οι τυπικές αποκλίσεις των τιμών των καναλιών (standard deviation), καθώς και άλλα πολλά που μπορούν να ευρεθούν στο παράθυρο feature view στο κεντρικό μενού του λογισμικού. Η επιλογή των χαρακτηριστικών για την περιγραφή και ταξινόμηση των τάξεων γίνεται με βάση τις εκ των προτέρων γνωστές ιδιότητες των προς αναγνώριση αντικειμένων και με επισκόπηση των στατιστικών των ιδιοτήτων των αντικειμένων της εκάστοτε κατάτμησης/ ταξινόμησης σε κατάλληλα γραφικά εργαλεία του λογισμικού (feature view). Στο παράθυρο διαλόγου «feature view» ο χρήστης μπορεί να δει, οπτικά πλέον, ένα γενικό διαχωρισμό των αντικειμένων που έχουν δημιουργηθεί από το προηγούμενο στάδιο της κατάτμησης. Επιλέγοντας διαφορετικά «κλειδιά» (features), το κάθε αντικείμενο παρουσιάζεται με διάφορες διαβαθμίσεις του γκρι, ανάλογα με τη συμμετοχή του στο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό (feature) και ως εκ τούτου γίνεται σχετικά εύκολα ο διαχωρισμός των κλάσεων. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να προχωρήσει στη δημιουργία μιας βάσης γνώσης, με λεπτομερέστερες και πιο πολύπλοκες περιγραφές για εννοιολογικές (θεματικές) κατηγορίες εδαφοκάλυψης πέραν των φασματικών τους χαρακτηριστικών. Στη συνέχεια αναφέρονται τα features που χρησιμοποιήθηκαν.

- **Length:** Είναι το μήκος του αντικειμένου 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 ταξινομούσανταν λανθασμένα ως οροφές κτιρίων ή χωματόδρομοι καθώς οι οροφές είναι συμπαγή αντικείμενα ενώ οι χωματόδρομοι αντίστοιχα όχι
- **Asymmetry:** Η ασυμμετρία ενός αντικειμένου είναι ανάλογη του μήκους του. Κάθε αντικείμενο μιας εικόνας προσεγγίζεται από έλλειψη. Από το λόγο των μηκών της κύριας και δευτερεύουσας ακτίνας της έλλειψης υπολογίζεται η ασυμμετρία.

### 3 Μεθοδολογία

#### 3.1 Περιγραφή και φωτοερμηνεία των εικόνων

Η εξαγωγή του οδικού δικτύου με τη μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης πραγματοποιήθηκε σε δορυφορικές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις στην ευρύτερη περιοχή της Ελευσίνας. Πρόκειται για μια δορυφορική τηλεπισκοπική απεικόνιση Landsat TM και για μια υπερφασματική δορυφορική τηλεπισκοπική απεικόνιση Hyperion.

##### 3.1.1 Η απεικόνιση της Ελευσίνας (Landsat TM)



Εικόνα 12: Αριστερά η εικόνα της Ελευσίνας σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο (R,G,B) και δεξιά η εικόνα της Ελευσίνας σε έγχρωμο σύνθετο (4,3,2).

Όπως παρατηρούμε και στις παραπάνω τηλεπισκοπικές απεικονίσεις πρόκειται για μια σύνθετη περιοχή. Στο μεγαλύτερο μέρος της απεικόνισης κυριαρχεί η βλάστηση, σε άλλα σημεία περισσότερο πυκνή και σε άλλα πιο αραιή. Ένα κομμάτι στο κάτω μέρος της απεικόνισης είναι θάλασσα, ενώ διακρίνονται και μεγάλα τμήματα αστικής περιοχής. Στο πάνω τμήμα της απεικόνισης υπάρχουν κάποιες καλλιέργειες και στη μέση περίπου διακρίνονται κάποια λατομεία και ένα εργοτάξιο. Τέλος υπάρχουν και κάποια τμήματα γυμνού εδάφους, δρόμοι ασφαλτοστρωμένοι και χωματόδρομοι καθώς επίσης και ένα αεροδρόμιο, τα οποία διακρίνονται σχετικά εύκολα.

### 3.1.2 Η απεικόνιση της Ελευσίνας (Hyperion)



Εικόνα 13: Αριστερά η εικόνα της Ελευσίνας σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο (R,G,B) και δεξιά η εικόνα της Ελευσίνας σε έγχρωμο σύνθετο (4,3,2).

Όπως παρατηρούμε και στις παραπάνω τηλεπισκοπικές απεικονίσεις πρόκειται για την ίδια περιοχή περίπου, μόνο που στις συγκεκριμένες απεικονίσεις καλύπτεται μικρότερο τμήμα της ίδιας περιοχής σε σχέση με αυτό της απεικόνισης Landsat.

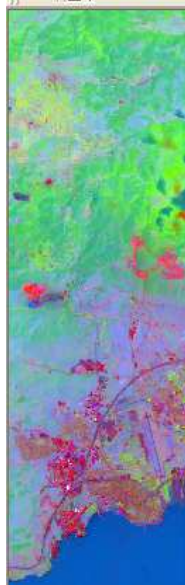
## 3.2 Επεξεργασίες απεικονίσεων

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

### 3.2.1 Μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών

Από τις μεθόδους εξαγωγής χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκαν η μέθοδος Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis – PCA) και η μέθοδος Minimum Noise Fraction (MNF).

Στη μέθοδο Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis – PCA) τελικά επιλέξαμε πέντε κανάλια και προέκυψε η παρακάτω απεικόνιση.



Εικόνα 14: Έγχρωμο σύνθετο PC1,PC2,PC3 (R,G,B) των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών από την εφαρμογή της μεθόδου PCA.

Στη μέθοδο Minimum Noise Fraction (MNF) τελικά από τις ιδιοτιμές του θορύβου επιλέξαμε οκτώ κανάλια όμως τα τρία από αυτά είχαν αρκετό θόρυβο και πιο συγκεκριμένα το κανάλι 3 το κανάλι 7 και το κανάλι 8. Έτσι προκύπτει η παρακάτω απεικόνιση.

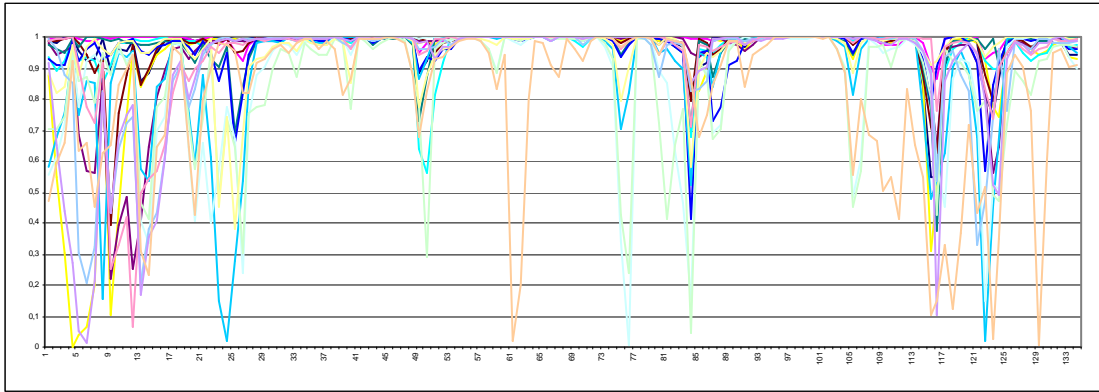


Εικόνα 15: Έγχρωμο σύνθετο MNF5 ,MNF2 ,MNF1 (R,G,B)

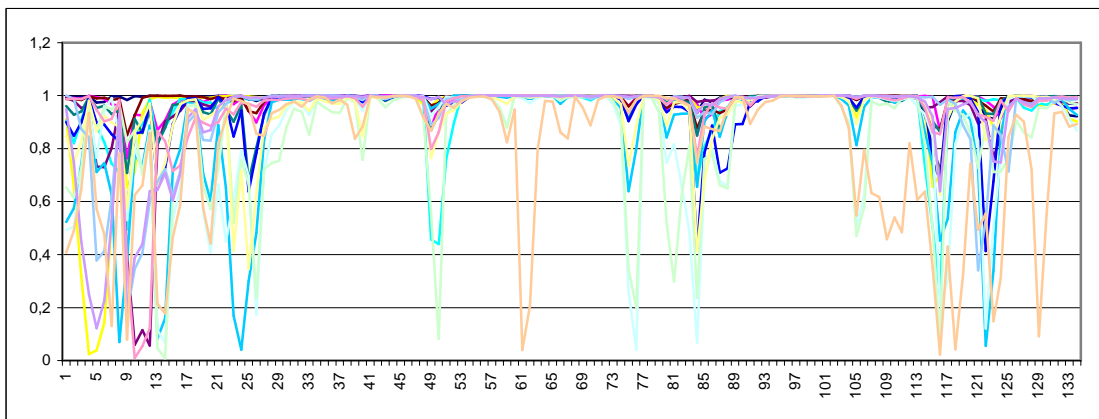
### 3.2.2 Μέθοδος επιλογής χαρακτηριστικών

Ο στόχος της μεθόδου επιλογής χαρακτηριστικών και πιο συγκεκριμένα επιλογής καναλιών, ήταν από τα 139 κανάλια που είχαμε, να επιλέξουμε εκείνα τα κανάλια στα οποία οι κατηγορίες που μας ενδιαφέρουν να εμφανίζουν μεγάλη φασματική διαφορά με τις υπόλοιπες κατηγορίες. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό ER Mapper όπου επιλέξαμε περιοχές εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία. Έτσι εξήχθησαν κάποια ενδιαφέροντα στατιστικά στοιχεία για τις περιοχές αυτές, όπως και οι ιδιοτιμές σε κάθε κανάλι. Έπειτα με τη βοήθεια του Excel πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος συσχέτισης για κάθε συνδυασμό περιοχών εκπαίδευσης δημιουργώντας τα αντίστοιχα διαγράμματα συσχέτισης. Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα που φαίνεται η συσχέτιση όλων των τύπων των δρόμων με τις άλλες κατηγορίες και τα κανάλια στα οποία παρουσιάζουν τη μικρότερη συσχέτιση.

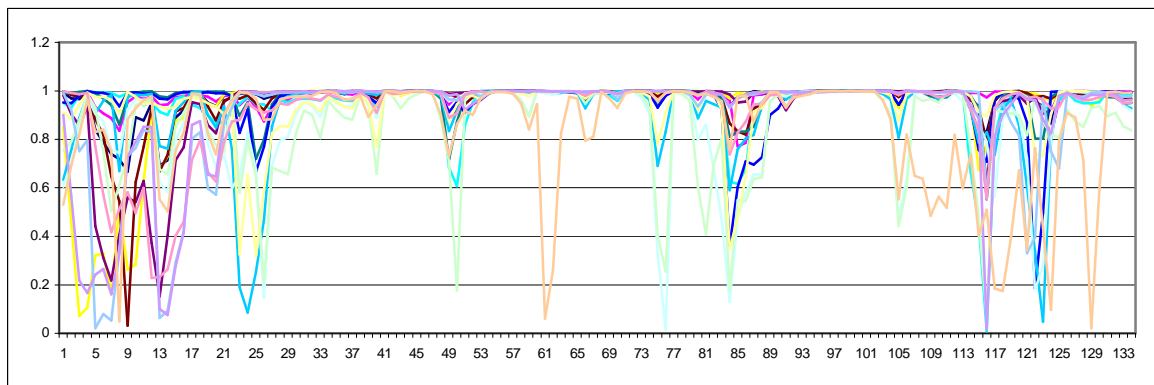
#### 3.2.2.1 Διαγράμματα συσχέτισης φασματικών κατηγοριών



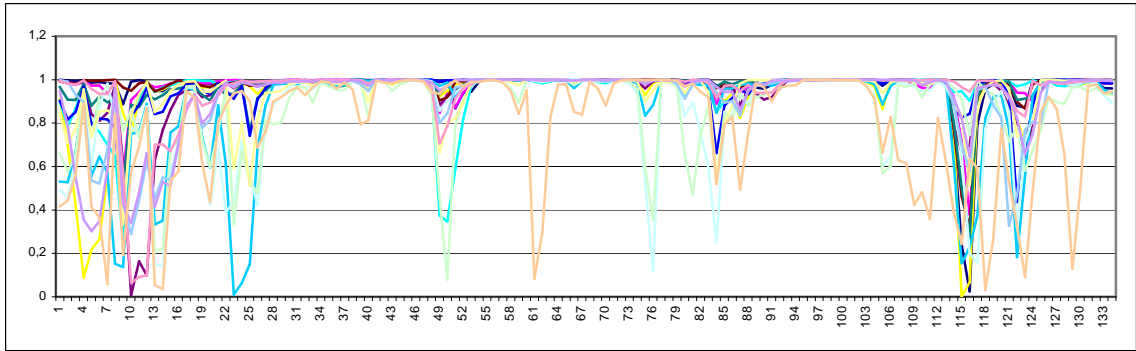
Εικόνα 16:Συσχέτιση Ασφάλτου 1 με τις υπόλοιπες κατηγορίες



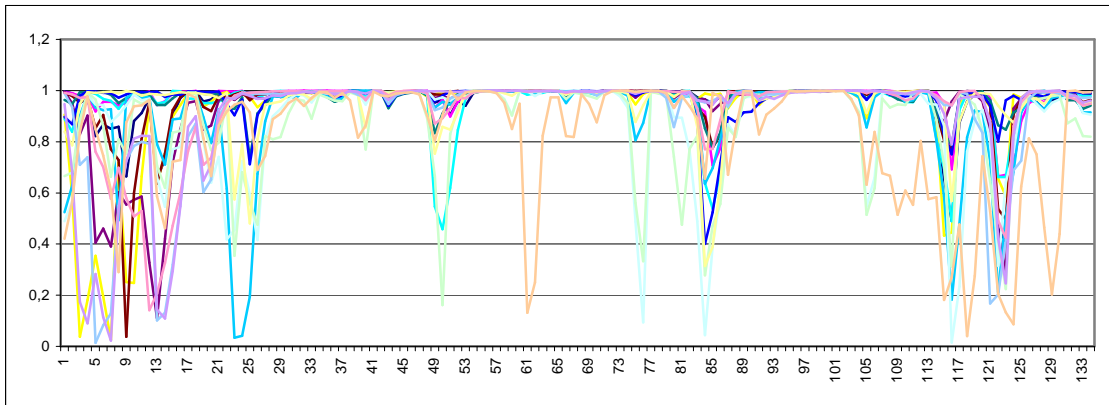
Εικόνα 17:Συσχέτιση Ασφάλτου 2 με τις υπόλοιπες κατηγορίες



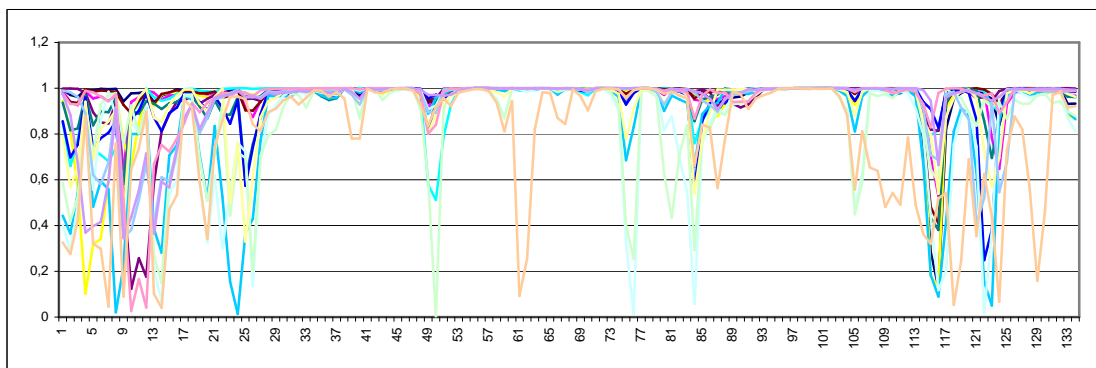
Εικόνα 18:Συσχέτιση Ασφάλτου 3 με τις υπόλοιπες κατηγορίες



Εικόνα 19:Συσχέτιση Ασφάλτου 4 με τις υπόλοιπες κατηγορίες

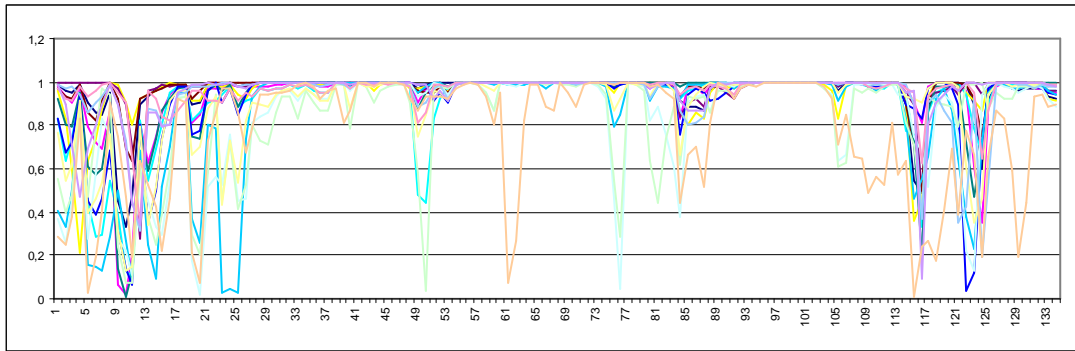


Εικόνα 20:Συσχέτιση Ασφάλτου 5 με τις υπόλοιπες κατηγορίες

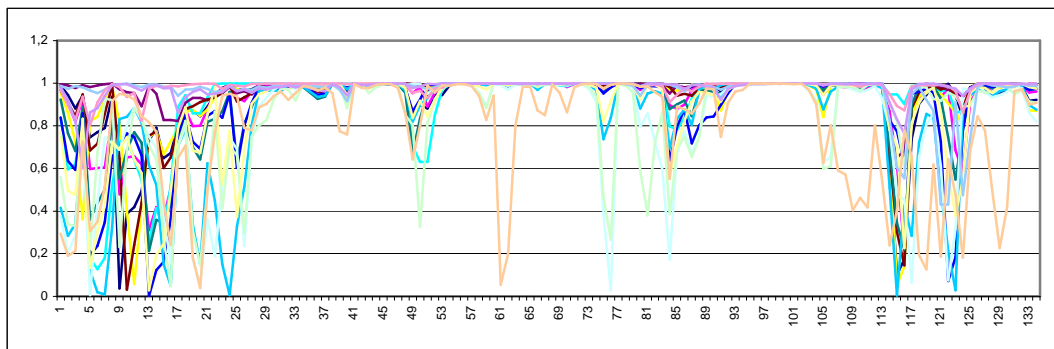


Εικόνα 21:Συσχέτιση Αεροδιαδρόμου με τις υπόλοιπες κατηγορίες

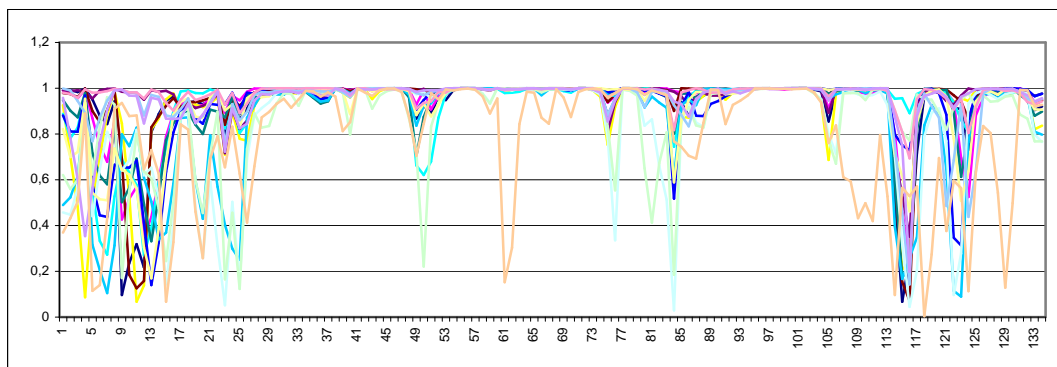




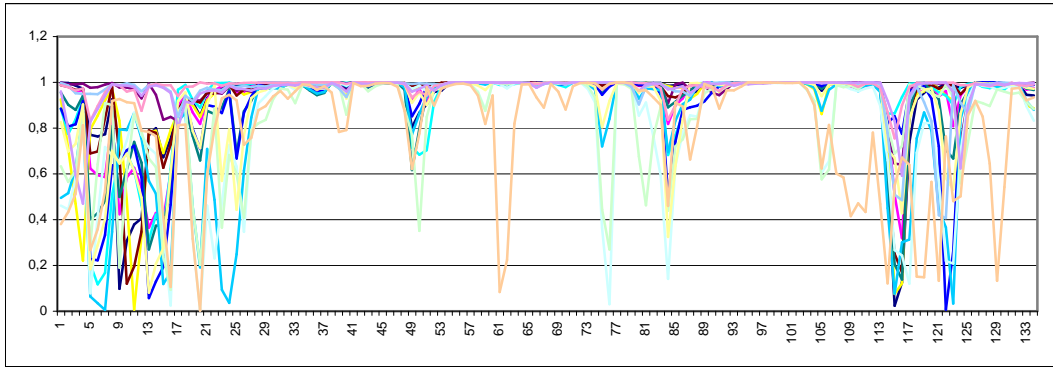
Εικόνα 22:Συσχέτιση Χωματόδρομου 1 με τις υπόλοιπες κατηγορίες



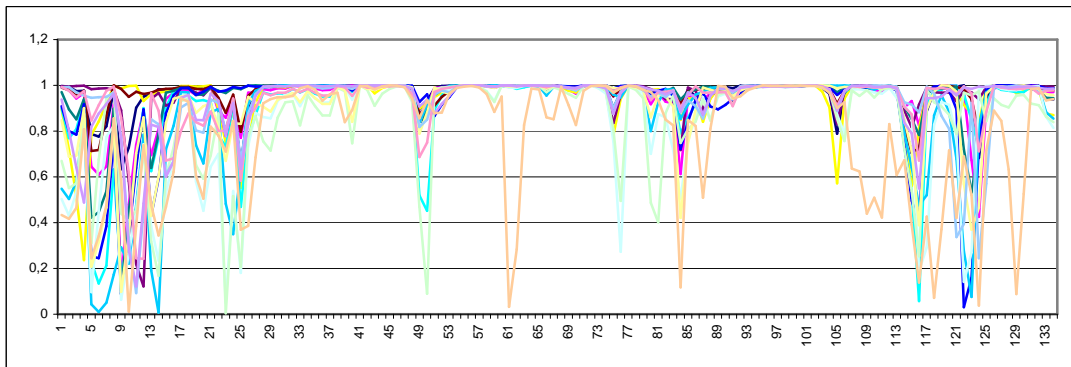
Εικόνα 23:Συσχέτιση Χωματόδρομου 2 με τις υπόλοιπες κατηγορίες



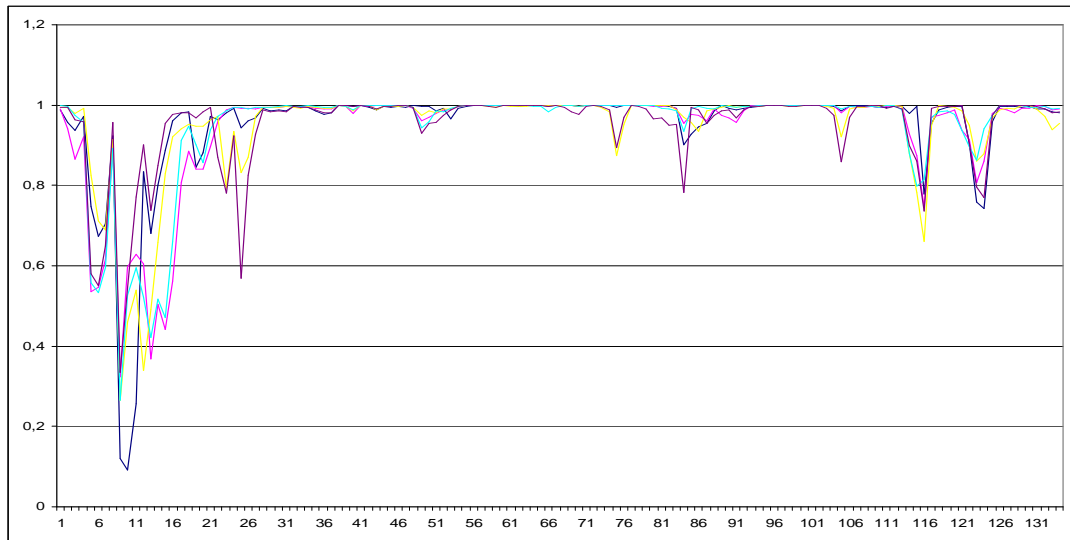
Εικόνα 24:Συσχέτιση Χωματόδρομου 3 με τις υπόλοιπες κατηγορίες



Εικόνα 25:Συσχέτιση Χωματόδρομου 4 με τις υπόλοιπες κατηγορίες

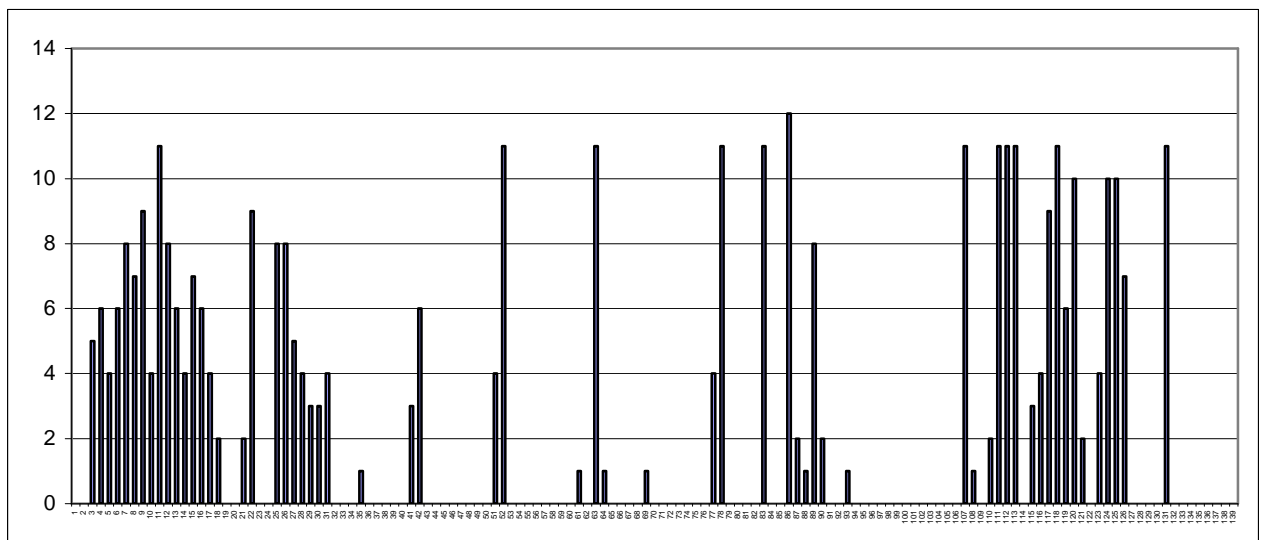


Εικόνα 26:Συσχέτιση Δασικού 1 με τις υπόλοιπες κατηγορίες



Εικόνα 27:Συσχέτιση μέσης τιμής ασφάλτου με χωματόδρομους

Στη συνέχεια με τη βοήθεια του Excel δημιουργήσαμε ένα γράφημα στο οποίο διακρίνονται τα κανάλια που εμφανίζονται περισσότερες φορές στα παραπάνω διαγράμματα. Έτσι καταλήξαμε στα τελικά κανάλια που επιλέξαμε.



Εικόνα 28:Διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης κάθε καναλιού

Τελικά επιλέξαμε τα εξής 17 κανάλια:

Το κανάλι 8  $\Rightarrow$  518nm  
Το κανάλι 12  $\Rightarrow$  559nm  
Το κανάλι 15  $\Rightarrow$  590nm  
Το κανάλι 22  $\Rightarrow$  661nm  
Το κανάλι 26  $\Rightarrow$  702nm  
Το κανάλι 52  $\Rightarrow$  1013nm  
Το κανάλι 63  $\Rightarrow$  1175nm  
Το κανάλι 78  $\Rightarrow$  1498nm  
Το κανάλι 83  $\Rightarrow$  1548nm  
Το κανάλι 86  $\Rightarrow$  1578nm  
Το κανάλι 89  $\Rightarrow$  1609nm  
Το κανάλι 107  $\Rightarrow$  1790nm  
Το κανάλι 112  $\Rightarrow$  2042nm  
Το κανάλι 118  $\Rightarrow$  2113nm  
Το κανάλι 120  $\Rightarrow$  2133nm  
Το κανάλι 125  $\Rightarrow$  2194nm  
Το κανάλι 131  $\Rightarrow$  2254nm

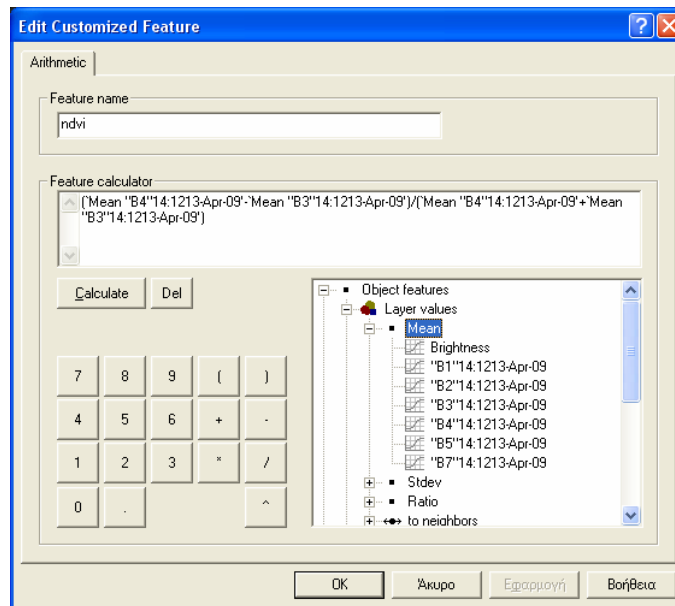
### 3.2.3 Λόγοι – Πράξεις

Κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας των δορυφορικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων χρησιμοποιήθηκαν κάποιοι λόγοι και πράξεις καναλιών, οι οποίοι αναδείκνυαν αρκετά ικανοποιητικά ορισμένες φασματικές κατηγορίες. Αυτοί ήταν οι εξής:

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

Ο συγκεκριμένος λόγος χρησιμοποιήθηκε για την ανάδειξη της βλάστησης (αραιής, πυκνής) στα αρχικά επίπεδα, ώστε να μη συγχέεται με άλλες κατηγορίες στα παραπάνω επίπεδα.

Στη συνέχεια παρατίθεται το παράθυρο διαλόγου για τη δημιουργία του κανόνα NDVI

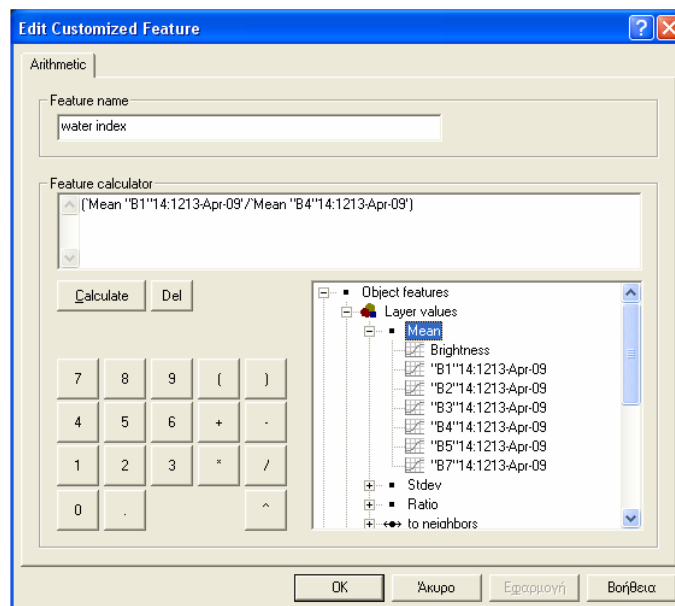


Εικόνα 29: Παράθυρο δημιουργίας κανόνων στο λογισμικό eCognition

Water index: Μπλε / Εγγύς υπέρυθρο

Ο συγκεκριμένος λόγος χρησιμοποιήθηκε για την ανάδειξη υδάτινων επιφανειών και συγκεκριμένα της θάλασσας.

Στη συνέχεια παρατίθεται το παράθυρο διαλόγου για τη δημιουργία του κανόνα Water index

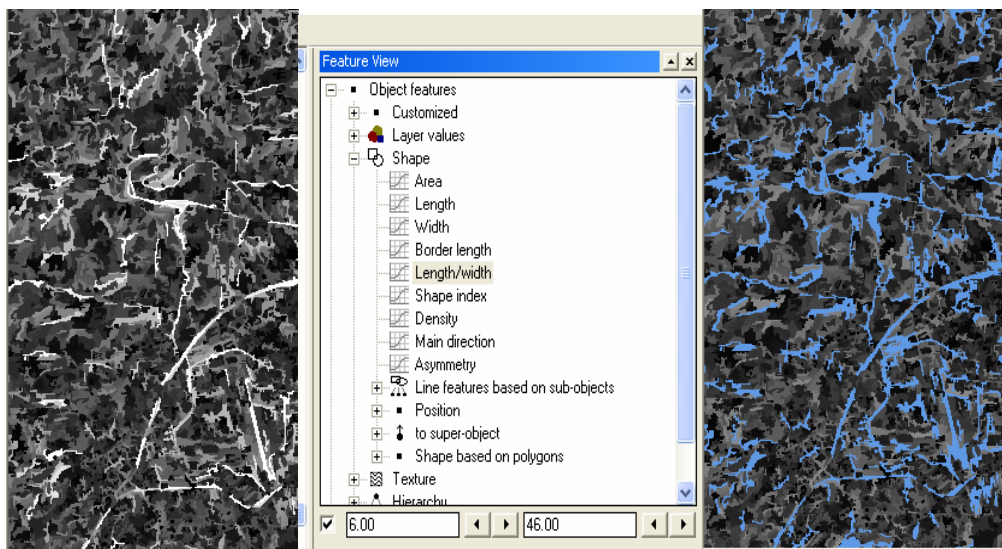


Εικόνα 30: Παράθυρο δημιουργίας κανόνων στο λογισμικό eCognition

### 3.2.4 Χαρακτηριστικά / Ιδιότητες (features) στο λογισμικό eCognition

Τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου αλλά και των άλλων κατηγοριών των δορυφορικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων αναφέρονται αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Για κάθε χαρακτηριστικό χρησιμοποιήθηκαν κάποιοι κανόνες και κάποιες συναρτήσεις

συμμετοχής από το feature view του λογισμικού του eCognition. Αρχικά εμφανίζεται μια εικόνα που απεικονίζονται φωτεινά τα αντικείμενα που έχουν τιμές όμοιες με αυτές που υποδηλώνει η συνάρτηση για κάθε χαρακτηριστικό. Για να υπολογίσουμε ακριβώς τα όρια της συνάρτησης, πειραματιζόμαστε, και τα αντικείμενα του χαρακτηριστικού που μας ενδιαφέρουν απεικονίζονται με μπλε χρώμα. Με τον ίδιο τρόπο επιλέχθηκαν τα όρια των συναρτήσεων για όλα τα χαρακτηριστικά καθώς και για τους λόγους NDVI και Water Index.



Εικόνα 31: Εικόνα του χαρακτηριστικού length/width (αριστερά), επιλογή των ορίων της συνάρτησης length/width (μέση), επιλογή αντικειμένων με βάση τα όρια της συνάρτησης (δεξιά)

### 3.3 Μεθοδολογία ανίχνευσης και εξαγωγής του οδικού δικτύου στην εικόνα Landsat TM

Στο πρώτο στάδιο εισάγονται στο λογισμικό eCognition οι δορυφορικές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις επιλέγοντας όλα τα κανάλια που χρειάζονται. Κάποια κανάλια τα οποία περιέχουν θόρυβο ή για άλλους λόγους δε μας χρησιμεύουν μπορούμε να τα αποκλείσουμε ή αλλιώς να τους δώσουμε μηδενικό βάρος στο επόμενο στάδιο της κατάτμησης. Έτσι έγινε με το κανάλι έξι του δορυφόρου Landsat TM το οποίο είναι θερμικό και δε μας χρειάζεται στις μετέπειτα διαδικασίες. Αφού δημιουργήσουμε στην οθόνη μας ένα φυσικό έγχρωμο σύνθετο (R,G,B) ή και διαφορετικά έγχρωμα σύνθετα τα οποία μας βοηθούν να βγάλουμε κάποια γρήγορα και χρήσιμα συμπεράσματα για την περιοχή, προχωράμε στα επόμενα στάδια, αρχίζοντας από αυτό της κατάτμησης.

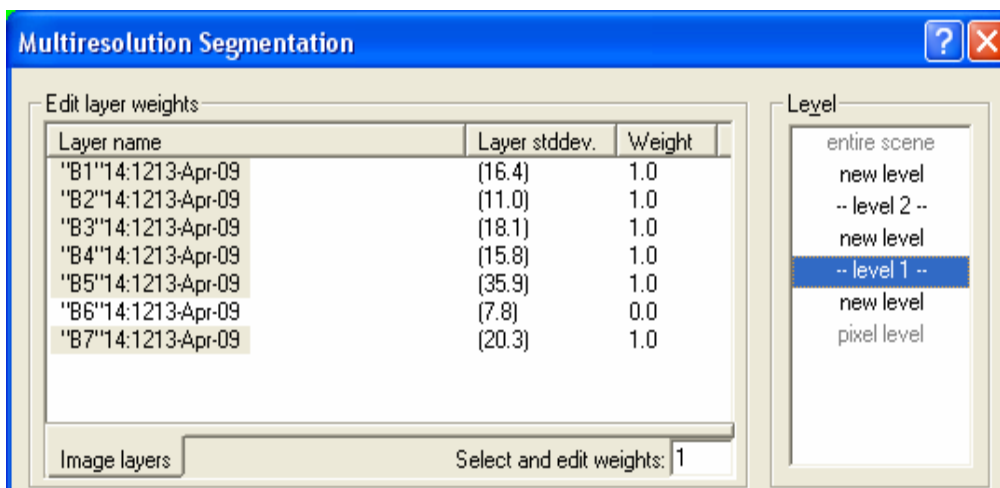
### 3.3.1 Προσέγγιση I: Ταξινόμηση με χρήση του Εγγύτερου Γείτονα

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω πρόκειται για μια τηλεπισκοπική απεικόνιση ιδιαίτερα σύνθετη και σε συνδυασμό με τη διακριτική της ανάλυση η εξαγωγή του οδικού δικτύου έχει κάποιες δυσκολίες.

#### 3.3.1.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Οι παράμετροι που καθορίζονται για την κατάτμηση των εικόνων είναι το βάρος με το οποίο θα συμμετέχει κάθε κανάλι, τα βάρη που θα δοθούν στα κριτήρια κατάτμησης (φασματικό και σχήματος) και η παράμετρος κλίμακας.

Αρχικά ο στόχος ήταν η ανάδειξη της βλάστησης, τόσο στις ορεινές περιοχές όσο και εντός της αστικής περιοχής, και των υδάτινων επιφανειών στο πρώτο επίπεδο ώστε να απαλλαγούμε από τις συγκεκριμένες κατηγορίες στα ανώτερα επίπεδα και να υπάρξει κίνδυνος σύγχυσης τους με άλλες κατηγορίες. Αυτό πραγματοποιήθηκε στην επεξεργασία όλων των απεικονίσεων. Η κατάτμηση πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κανάλια του δέκτη ισοβαρώς εκτός από το κανάλι έξι το οποίο είναι θερμικό και του δόθηκε βάρος μηδέν.



Εικόνα 32:Εικόνα που παρουσιάζει τα κανάλια του δέκτη και το βάρος που δίνεται στο καθένα.

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της κατάτμησης ελήφθη υπόψη ότι η βλάστηση στην αστική περιοχή εμφανίζεται κυρίως σε συγκεντρώσεις συμπαγείς (ακάλυπτοι, κήποι κ.λπ.), που διαφοροποιούνται φασματικά έντονα από το γύρω χώρο (δρόμους, κτίρια). Ύστερα από αρκετές δοκιμές τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσε ο συνδυασμός : φασματικό κριτήριο 0,7 και κριτήριο σχήματος 0,3. Το τελευταίο, μοιράστηκε με ίσο βάρος (0,5)στις δύο συνιστώσες του που αφορούν στο συμπαγές του σχήματος και το λείο της οριογραμμής, μια που έδωσε τη δυνατότητα να εντοπιστούν με πολύ μεγάλη ακρίβεια οι συγκεντρώσεις πρασίνου. Για την ανάδειξη της βλάστησης στις ορεινές περιοχές τα αποτελέσματα ήταν αντίστοιχα.

Η τελευταία παράμετρος που ορίστηκε για την κατάτμηση αφορούσε στην κλίμακα. Οι συγκεντρώσεις πρασίνου που απαντώνται σε αστικό χώρο είναι συνήθως κατακερματισμένες και μικρές σε έκταση σε σχέση με άλλα στοιχεία του αστικού

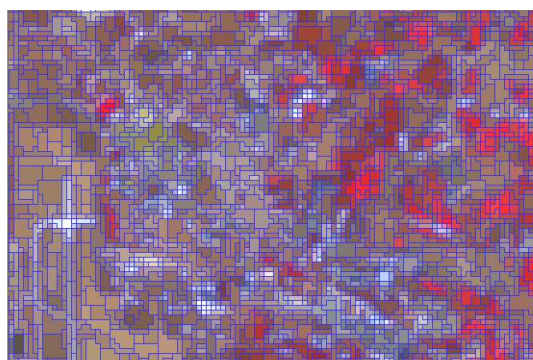
χώρου, όπως οι δρόμοι ή οι στέγες των κτιρίων. Επιλέχτηκε, συνεπώς, μία σχετικά μικρή τιμή παραμέτρου κλίμακας (2), ώστε τα τμήματα που προκύπτουν να είναι σχετικά μικρού μεγέθους.

Επίσης οι παράμετροι κρίθηκαν κατάλληλοι και για τον εντοπισμό της θάλασσας αφού έχει δοθεί μεγαλύτερο βάρος στο φασματικό κριτήριο.

Οι ρυθμίσεις που έγιναν είναι οι παρακάτω:




Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	2	0.7	0.3	0.5	0.5

Πίνακας 6: Κατάτμηση στο επίπεδο 1



Εικόνα 33: Τμήμα της απεικόνισης Landsat TM μετά την κατάτμηση σε έγχρωμο σύνθετο RGB:432 που η βλάστηση σημαίνεται με κόκκινο χρώμα

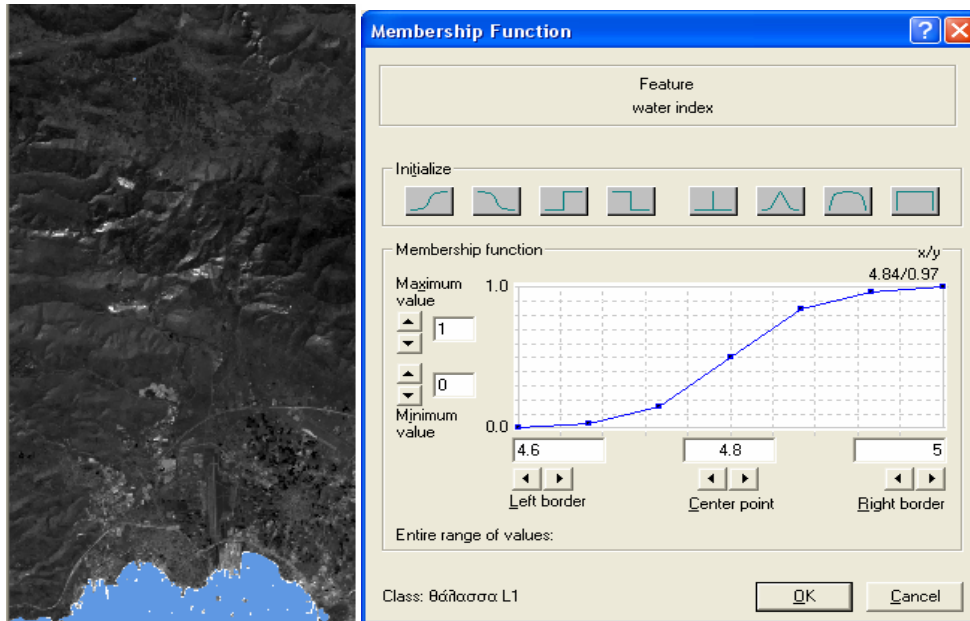
Για την ανάδειξη της βλάστησης και της θάλασσας χρησιμοποιούνται οι λόγοι NDVI και Water index αντίστοιχα.

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση αραιή	NDVI		0.04	0.13
Βλάστηση πυκνή	NDVI		0.13	0.15
Θάλασσα	Water index		4.6	5

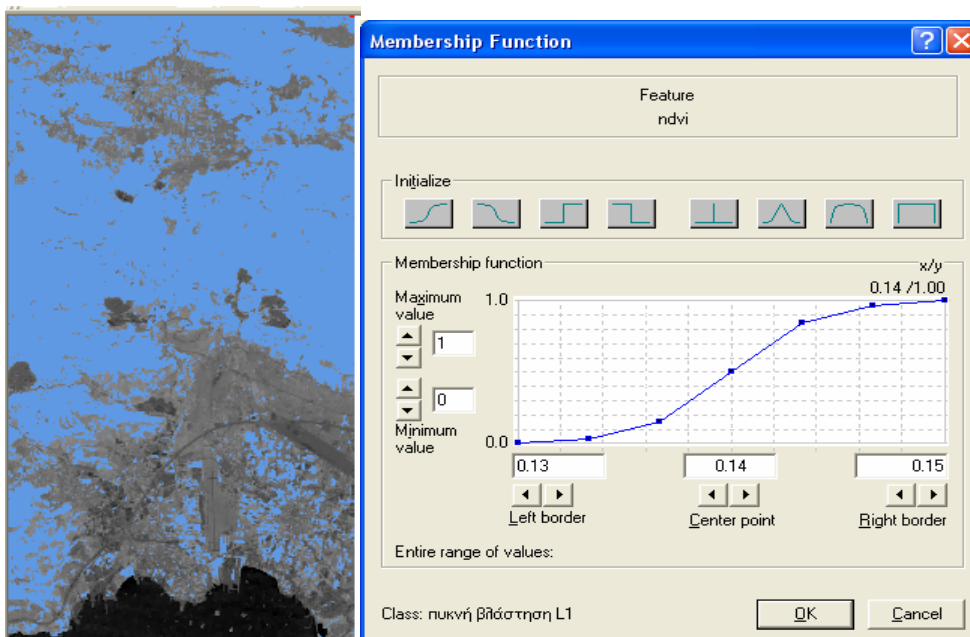
Πίνακας 7: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο επιλέχθηκαν τα τελικά όρια για τους κανόνες και τις συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν.



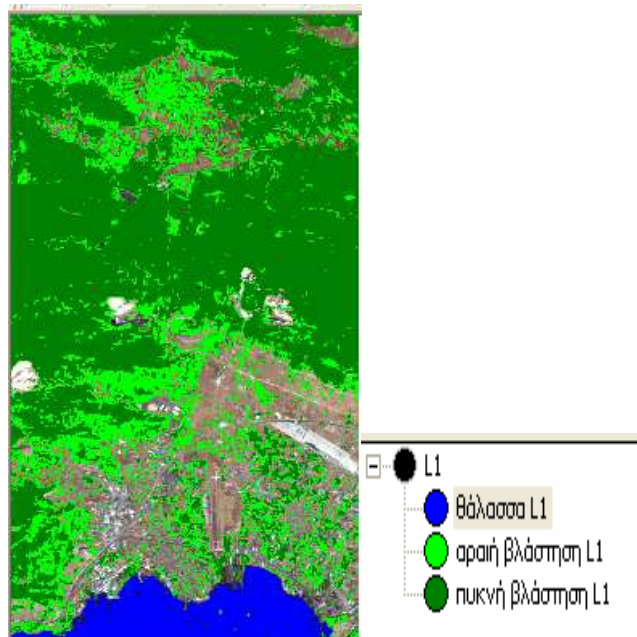


Εικόνα 34:Εικόνα του κανόνα water index (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά)



Εικόνα 35:Εικόνα του κανόνα ndvi (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά)

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου είναι το παρακάτω



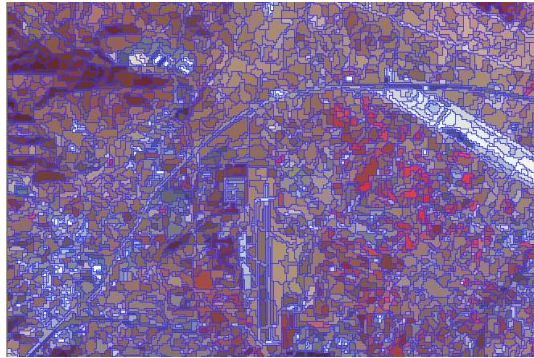
Εικόνα 36: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα

### 3.3.1.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Τα σχετικά μικρά και συμπαγή τμήματα που προκύπτουν από την παραπάνω ταξινόμηση δεν επιτρέπουν το σωστό διαχωρισμό των υπόλοιπων φασματικών κατηγοριών. Συνεπώς είναι σκόπιμο να δημιουργηθεί ένα δεύτερο επίπεδο κατάτμησης ώστε, με κατάλληλη επιλογή παραμέτρων να ταξινομηθούν όσο το δυνατόν καλύτερα και οι υπόλοιπες φασματικές κατηγορίες. Στο δεύτερο επίπεδο έπειτα από πολλές δοκιμές καταλήξαμε τελικά στις παραμέτρους της κατάτμησης και στη συνέχεια επιλέξαμε με μεγάλη προσοχή τα δείγματα εκπαίδευσης για κάθε φασματική κατηγορία. Επιλέξαμε τις παραμέτρους της κατάτμησης πολύ προσεκτικά έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατό καλύτερα τις κατηγορίες που πρόκειται να ταξινομηθούν στο συγκεκριμένο επίπεδο. Οι παράμετροι της κατάτμησης που επιλέχθηκαν είναι:

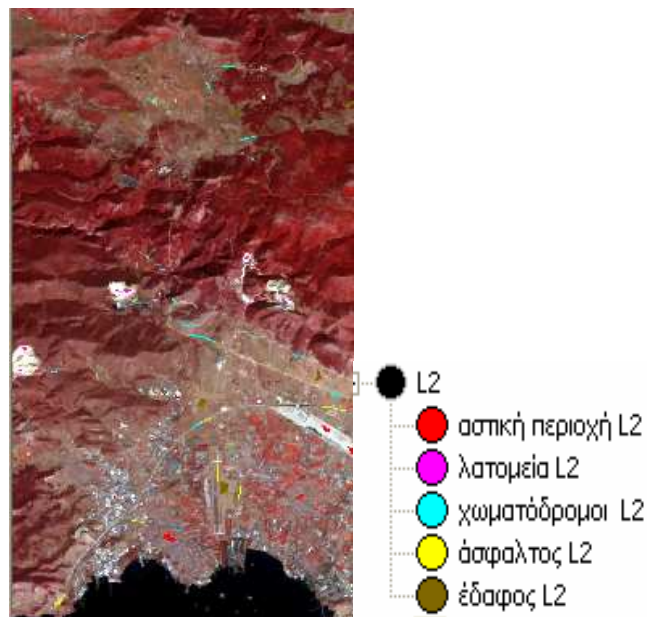
Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	5	0.7	0.3	0.7	0.3

Πίνακας 8: Κατάτμηση στο επίπεδο 2





Εικόνα 37: Τμήμα της απεικόνισης Landsat TM μετά την κατάτμηση σε έγχρωμο σύνθετο RGB:432 που η βλάστηση σημαίνεται με κόκκινο χρώμα

Οι κατηγορίες που επιλέχθηκαν είναι η αστική περιοχή, το έδαφος, τα λατομεία, οι χωματόδρομοι και οι ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι που αναφέρονται ως άσφαλτος. Η βλάστηση και η θάλασσα έχουν ταξινομηθεί στο προηγούμενο επίπεδο. Η ταξινόμηση έγινε με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα” αλλά χρησιμοποιήθηκαν και κάποιοι κανόνες. Παρακάτω παρατίθεται η εικόνα που παρουσιάζει τα δείγματα εκπαίδευσης που ελήφθησαν για την ταξινόμηση με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα”.

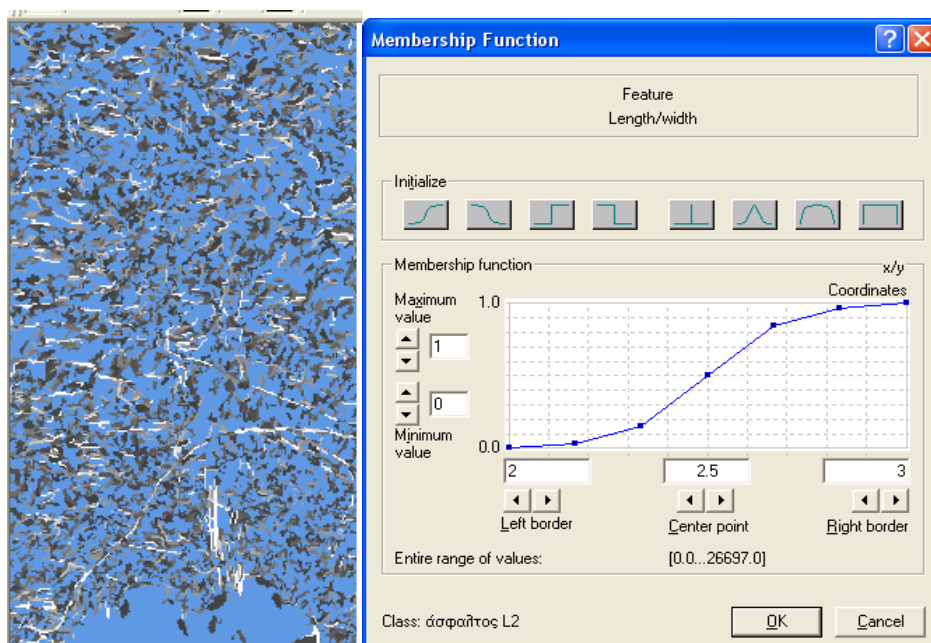


Εικόνα 38: Δείγματα που ελήφθησαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 2- υπόμνημα

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Αστική περιοχή		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Λατομεία		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Ασφαλτος	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length / width		2	3
Έδαφος		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Χωματόδρομοι	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length / width		2	3

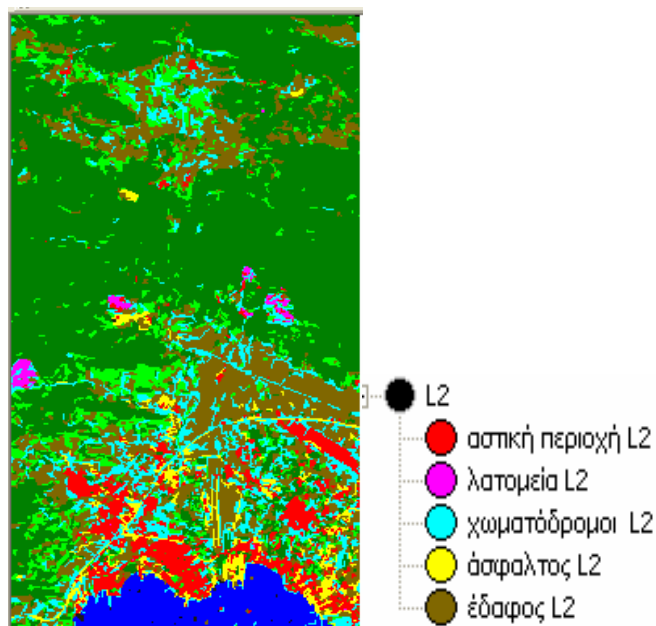
Πίνακας 9: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Στη συνέχεια παρατίθενται οι εικόνες που προκύπτουν από τη χρήση του χαρακτηριστικού Length / width.



Εικόνα 39: Εικόνα του χαρακτηριστικού Length / width (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά)

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι το εξής :



Εικόνα 40: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης δεν είναι ικανοποιητικό καθώς βλέπουμε ότι ορισμένες κατηγορίες, όπως το έδαφος με τους χωματόδρομους, και η αστική περιοχή με την άσφαλτο παρουσιάζουν μεγάλη σύγχυση μεταξύ τους, ενώ οι κανόνες δε βοήθησαν σημαντικά. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως για καλύτερη ταξινόμηση χρειάζεται η χρησιμοποίηση περισσότερων κανόνων και ίσως διαφορετικές παράμετροι στην κατάτμηση. Παρακάτω παρουσιάζεται μια παρόμοια προσπάθεια με βασική διαφορά την αλλαγή των παραμέτρων κατάτμησης.

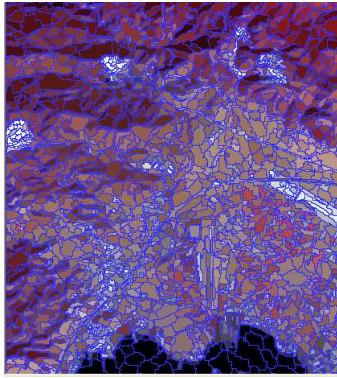
### 3.3.1.3 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Στο συγκεκριμένο επίπεδο σκοπός ήταν να πραγματοποιηθεί ταξινόμηση με μεγαλύτερο scale parameter για να διαπιστωθεί αν έχοντας μεγαλύτερα αντικείμενα βελτιώνεται ή όχι η ταξινόμηση. Οι παράμετροι της κατάτμησης που επιλέχθηκαν είναι:

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
3	10	0.7	0.3	0.6	0.4

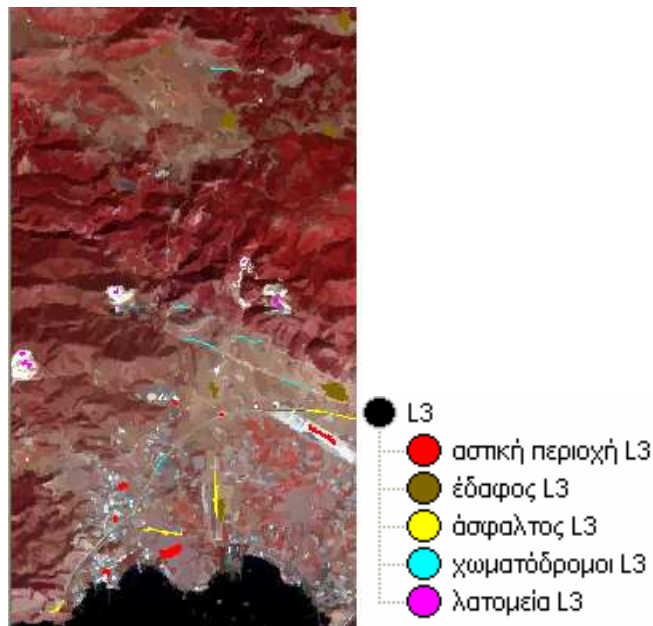
Πίνακας 10: Κατάτμηση στο επίπεδο 3







Εικόνα 41: Τμήμα της απεικόνισης Landsat TM μετά την κατάτμηση σε έγχρωμο σύνθετο RGB:432 που η βλάστηση σημαίνεται με κόκκινο χρώμα

Οι φασματικές κατηγορίες είναι οι ίδιες όπως και στο προηγούμενο επίπεδο, η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα” και επίσης χρησιμοποιήθηκαν και οι ίδιοι κανόνες. Στη συνέχεια παρατίθεται η εικόνα που παρουσιάζει τα δείγματα εκπαίδευσης που ελήφθησαν για την ταξινόμηση με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα”.

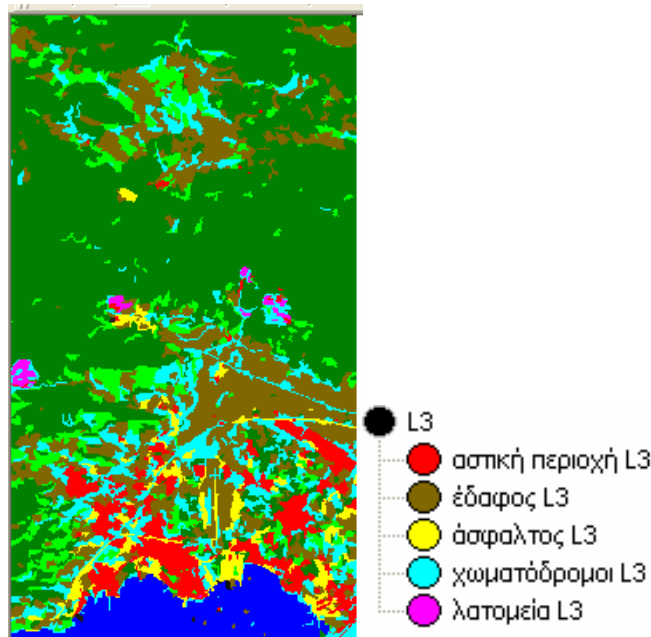


Εικόνα 42: Δείγματα που ελήφθησαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Αστική περιοχή		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Λατομεία		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Ασφαλτος	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length / width		6	7
Έδαφος		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Χωματόδρομοι	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length / width		6	7

Πίνακας 11: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι το εξής :



Εικόνα 43: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα

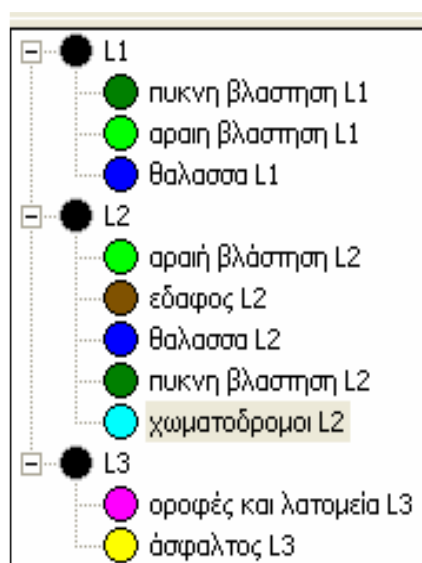
Η συγκεκριμένη ταξινόμηση δε μας έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς και εδώ οι κατηγορίες συγχέονται μεταξύ τους ενώ οι δρόμοι δεν ταξινομήθηκαν καθόλου ικανοποιητικά. Η ταξινόμηση του προηγούμενου επιπέδου έδωσε καλύτερα αποτελέσματα συγκρινόμενη με αυτή, καθώς όλες οι κατηγορίες και πιο συγκεκριμένα οι ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι και οι χωματόδρομοι, που μας ενδιαφέρουν περισσότερο, ταξινομήθηκαν καλύτερα.

Πολύ σημαντικό είναι να αναφερθούν και οι κανόνες που ισχύουν για τα τρία επίπεδα της ταξινόμησης. Η ιεραρχία των επιπέδων εκτός φυσικά από την ονομασία τους 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, το 2 και το 3 για το πρώτο, δεύτερο και τρίτο επίπεδο αντίστοιχα. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τους κανόνες και τις

συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα 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
3	Level		2	4

Πίνακας 12: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα επίπεδα



Εικόνα 44: Ιεραρχία κατηγοριών

### 3.3.2 Προσέγγιση II: Χρήση των καναλιών του δέκτη με έμφαση στις φασματικές υπογραφές

Σύμφωνα με τα όσα έχουν προαναφερθεί, για να προκύψει ικανοποιητικό αποτέλεσμα στην ταξινόμηση πρέπει να λάβουμε υπόψη μας, τόσο τα δείγματα των περιοχών εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία, όσο και κάποιους κανόνες που θα λειτουργήσουν επικουρικά. Άλλωστε πρόκειται για μια σύνθετη απεικόνιση χαμηλής διακριτικής ικανότητας.

#### 3.3.2.1. Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Στο πρώτο επίπεδο σκοπός ήταν η ανάδειξη της βλάστησης και της θάλασσας, όπως ακριβώς και στην προηγούμενη προσέγγιση.






Οι παράμετροι της κατάτμησης είναι:

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	2	0.7	0.3	0.5	0.5

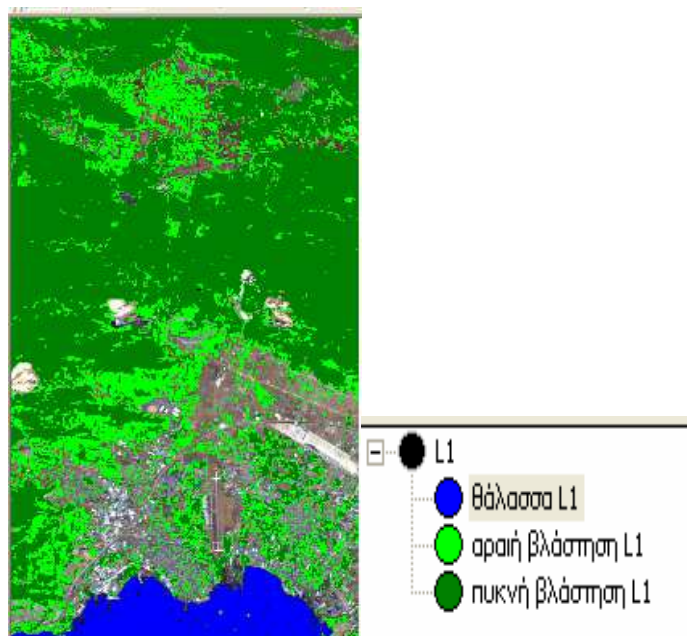
Πίνακας 13: Κατάτμηση στο επίπεδο 1

Για την ανάδειξη της βλάστησης και της θάλασσας χρησιμοποιούνται οι λόγοι NDVI και Water index αντίστοιχα.

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση αραιή	NDVI		0.04	0.13
Βλάστηση πυκνή	NDVI		0.13	0.15
Θάλασσα	Water index		4.6	5

Πίνακας 14: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου είναι:



Εικόνα 45: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα

### 3.3.2.2. Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Στο συγκεκριμένο επίπεδο προκειμένου να προκύψει ένα καλό αποτέλεσμα αρχικά έγιναν πολλές δοκιμές για να βρεθούν οι κατάλληλοι παράμετροι κατάτμησης οι οποίοι φαίνονται παρακάτω.










Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	5	0.7	0.3	0.5	0.5

Πίνακας 15: Κατάτμηση στο επίπεδο 2

Οι κατηγορίες που ταξινομήθηκαν σε αυτό το επίπεδο είναι οι χωματόδρομοι και το γυμνό έδαφος το οποίο αναφέρεται ως έδαφος. Η βλάστηση και η θάλασσα είναι ήδη ταξινομημένες από το προηγούμενο επίπεδο. Για την ταξινόμηση των κατηγοριών στο επίπεδο δύο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του “Εγγύτερου Γείτονα” και κάποιιοι κανόνες, οι οποίοι παρατίθενται στη συνέχεια.

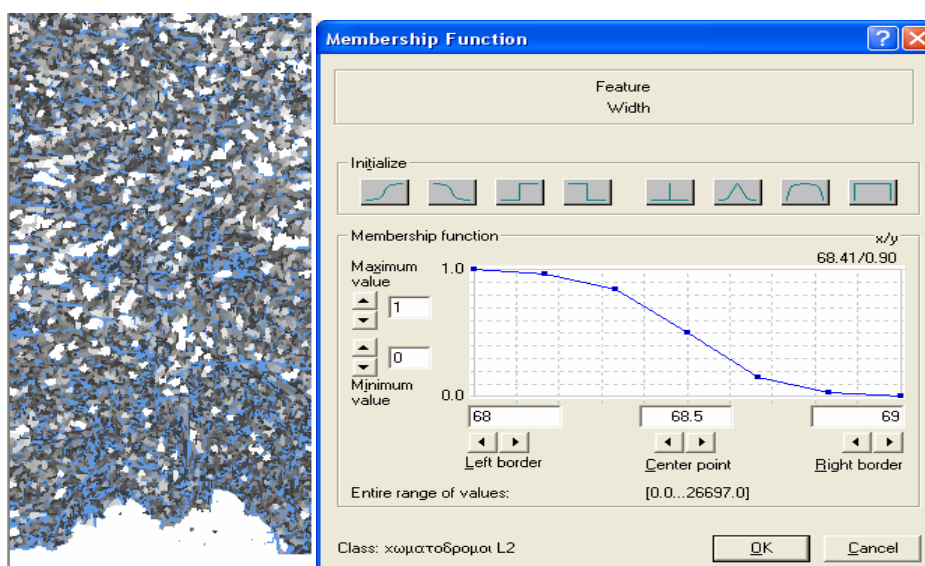


Εικόνα 46: Δείγματα που ελήφθησαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Θάλασσα	and	Rel. area of θάλασσα L1 sub-objects (1)		0.55	0.65
		Not χωματόδρομοι L2	-	-	-
Αραιή βλάστηση	and	Rel. area of αραιή βλάστηση L1 sub-objects (1)		0	1
		Not χωματόδρομοι L2	-	-	-
Χωματόδρομοι	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Existence of οροφές και λατομεία L3 super-objects(1)		0	1
		Length / width		3.5	4
		Mean diff. to neighbors "B2" 14:1213-Apr-09 (0)		2	3
		Width		68	69
Έδαφος	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Existence of οροφές και λατομεία L3 super-objects(1)		0	1
		Not χωματόδρομοι L2	-	-	-
		Mean "B5" 14:1213-Apr-09		105	109
Πυκνή βλάστηση	and	Rel. area of πυκνή βλάστηση L1 sub-objects (1)		0	1
		Not χωματόδρομοι L2	-	-	-

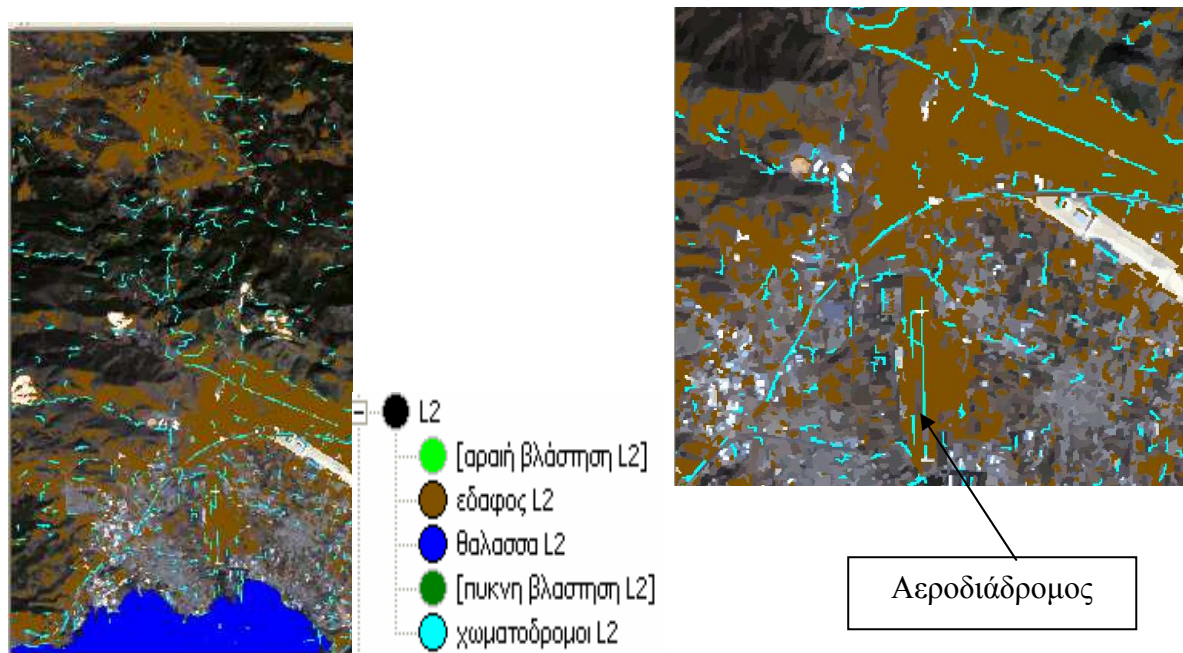
Πίνακας 16: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Στη συνέχεια παρατίθενται οι εικόνες που προκύπτουν από τη χρήση του χαρακτηριστικού width.



Εικόνα 47:Εικόνα του χαρακτηριστικού width (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά)

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι :



Εικόνα 48: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα

Στη συγκεκριμένη ταξινόμηση η κατηγορία έδαφος ταξινομήθηκε αρκετά καλά ενώ οι χωματοδρομοί μέτρια. Βέβαια πρόκειται για μια ιδιαίτερα δύσκολη και σύνθετη απεικόνιση κάτι στο οποίο οφείλεται η σύγκυση μεταξύ των φασματικών υπογραφών των υλικών που καλύπτουν το έδαφος. Κάποιες περιοχές όπως ο αεροδιάδρομος για παράδειγμα, έχουν ταξινομηθεί ως χωματοδρομοί παρόλο που δεν είναι. Σε ορισμένα σημεία όμως το υλικό που καλύπτει τον αεροδιάδρομο είναι ξεθωριασμένο για αυτό ταξινομείται ως χωματοδρομος. Οι κατηγορίες αραιή και πυκνή βλάστηση επιλέχθηκαν να είναι ανενεργές για να φαίνεται καλύτερα τι ταξινομήθηκε ως χωματοδρομος και τι ως έδαφος.

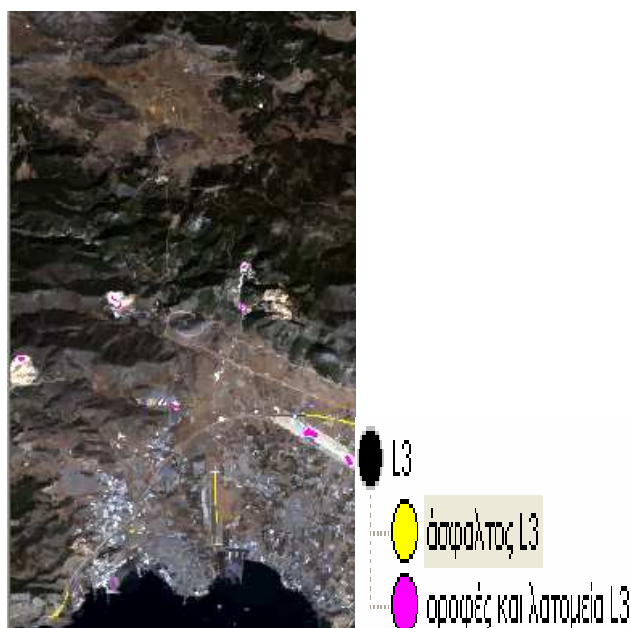
### 3.3.2.3. Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Στόχος μας στο συγκεκριμένο επίπεδο ήταν να ταξινομηθούν οι δρόμοι οι οποίοι καλύπτονται από άσφαλτο καθώς και οι οροφές των κτιρίων και οι περιοχές των λατομείων όπου μερικά τμήματά τους ταξινομήθηκαν είτε ως χωματοδρομοί είτε ως έδαφος στο προηγούμενο επίπεδο. Ύστερα από πειραματισμούς βρέθηκαν οι κατάλληλοι παράμετροι κατάτμησης που είναι οι εξής:

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
3	7	0.7	0.3	0.6	0.4

Πίνακας 17: Κατάτμηση στο επίπεδο 3

Για την ταξινόμηση των κατηγοριών σε αυτό το επίπεδο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του “Εγγύτερου Γείτονα” και κάποιοι κανόνες, οι οποίοι παρατίθενται στη συνέχεια.



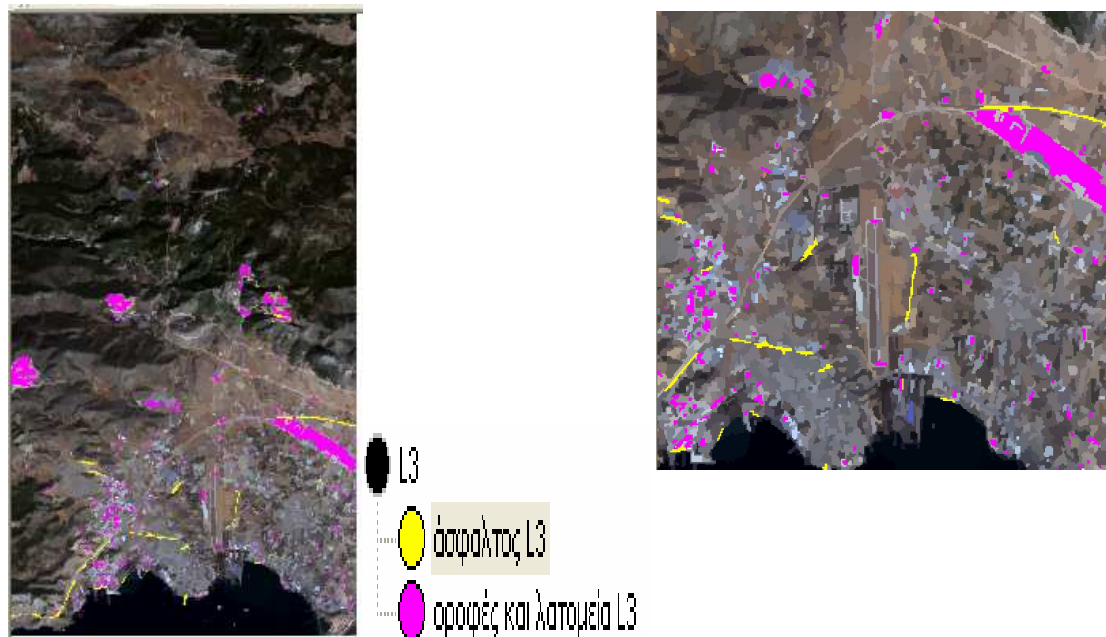
Εικόνα 49: Δείγματα που ελήφθησαν πριν την ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Άσφαλτος	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Existence of αραιή βλάστηση L2 sub-objects (1)		0	1
		Length / width		5	6
		Existence of πυκνή βλάστηση L2 sub-objects (1)		0	1
		Asymmetry		0.85	0.86
		Rel. area of χωματόδρομοι L2 sub-objects(1)		0.1	0.15
		Mean ‘‘B4’’ 14:1213-Apr-09 (0)		54	56
		Width		84	86
Οροφές και λατομεία	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Mean diff.to scene ‘‘B3’’ 14:1213-Apr-09		44	45

Πίνακας 18: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 3



Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι :



Εικόνα 50: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα

Το αποτέλεσμα που μας έδωσε η παραπάνω ταξινόμηση είναι αρκετά ικανοποιητικό, καθώς οι κατηγορίες που μας ενδιαφέρουν ταξινομήθηκαν αρκετά καλά. Πιο συγκεκριμένα οι δρόμοι οι οποίοι καλύπτονται από άσφαλτο ταξινομήθηκαν σε ικανοποιητικό βαθμό, όμως και κάποια τμήματα που ταξινομήθηκαν ως άσφαλτος είναι λανθασμένα. Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για να προκύψει το κατάλληλο αποτέλεσμα για την ταξινόμηση της κατηγορίας “άσφαλτος” χρησιμοποιήθηκαν πολλοί κανόνες ταυτόχρονα.

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

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχή	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level	1	0	2
2	Level	2	1	3
3	Level	3	2	4

Πίνακας 19: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα επίπεδα



Εικόνα 51: Ιεραρχία κατηγοριών

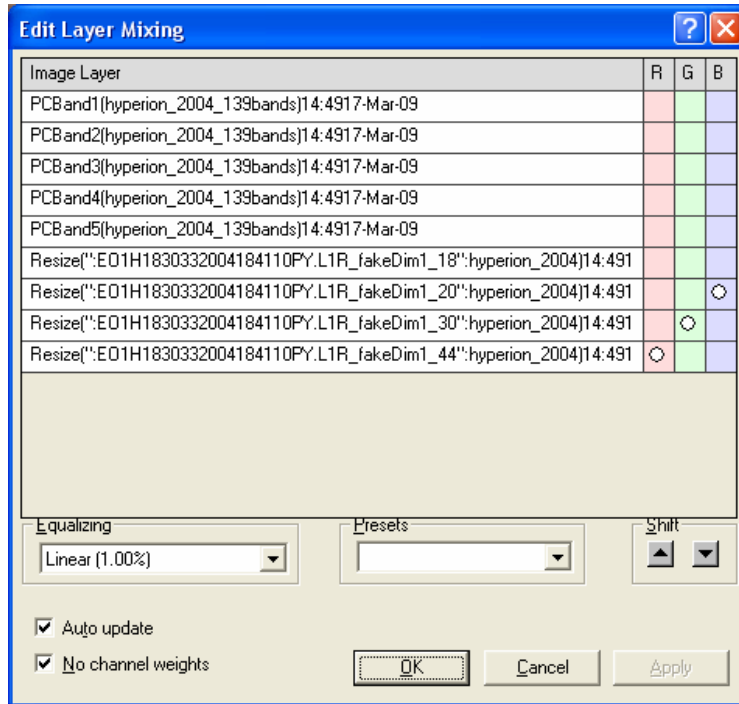
### 3.4 Μεθοδολογία ανίχνευσης και εξαγωγής του οδικού δικτύου στην εικόνα Hyperion

Η δορυφορική τηλεπισκοπική απεικόνιση Hyperion απεικονίζει την ίδια περιοχή όπως και η αντίστοιχη Landsat TM όμως τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων αναμένονται διαφορετικά λόγω της ψηφιακής επεξεργασίας των υπερφασματικών απεικονίσεων που έχει ως στόχο την ανάδειξη των βέλτιστων μεθόδων για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι η μέθοδος Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis – PCA), η μέθοδος Minimum Noise Fraction (MNF) και η μέθοδος επιλογής καναλιών. Επίσης πρέπει να αναφερθεί πως ένα τμήμα του δρόμου είναι υπό κατασκευή στην απεικόνιση Landsat TM και φαίνεται ως χωματόδρομος, ενώ στην αντίστοιχη Hyperion που έχει ληφθεί περίπου ένα χρόνο αργότερα, είναι άσφαλτος.

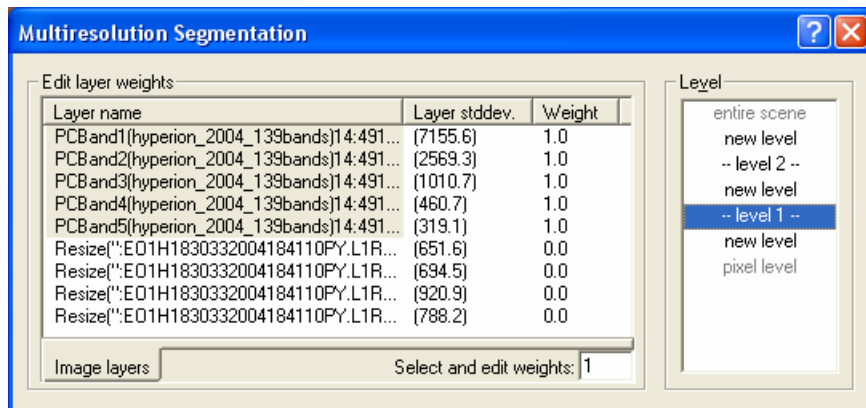
#### 3.4.1 Προσέγγιση I: Ταξινόμηση με χρήση του “Εγγύτερου Γείτονα” στα κανάλια των Κυρίων Συνιστωσών

##### 3.4.1.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Σε πρώτο στάδιο εισήχθησαν στο πρόγραμμα τα κανάλια που προέκυψαν από τη μέθοδο των κυρίων συνιστωσών και τέσσερα κανάλια ακόμα του δέκτη, ένα μπλε, ένα πράσινο, ένα κόκκινο και ένα υπέρυθρο. Στα πέντε κανάλια των κυρίων συνιστωσών δόθηκε βάρος 1.0, ενώ στα υπόλοιπα κανάλια δόθηκε βάρος μηδέν καθώς ο κύριος λόγος που εισήχθησαν ήταν για τη δημιουργία έγχρωμων σύνθετων απεικονίσεων για φωτοερμηνευτικούς λόγους.



Εικόνα 52: Παράθυρο διαλόγου μίξης επιπέδων (Layer Mixing)





Εικόνα 53: Εικόνα που παρουσιάζει τα κανάλια του δέκτη και το βάρος που δίνεται στο καθένα.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι πειραματισμοί για την εύρεση των κατάλληλων παραμέτρων της κατάτμησης και δημιουργήθηκε το πρώτο επίπεδο κατάτμησης για την ανάδειξη των κατηγοριών της βλάστησης και της θάλασσας. Παρακάτω παρατίθενται οι παράμετροι κατάτμησης και οι κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για το πρώτο επίπεδο.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	10	1.0	0	-	-

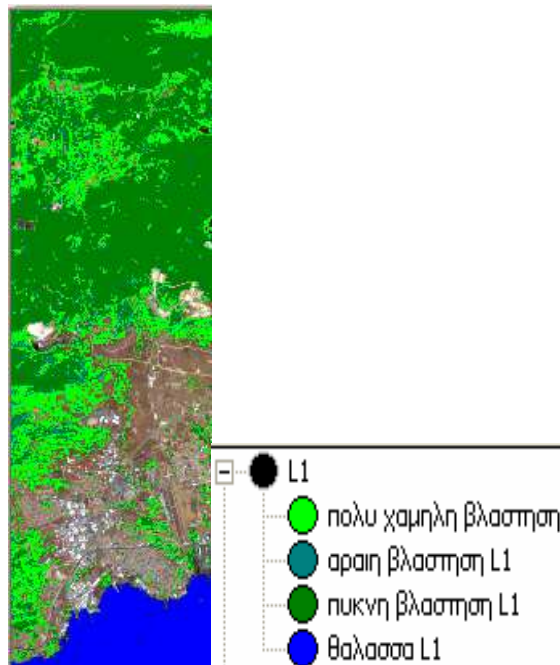
Πίνακας 20: Κατάτμηση στο επίπεδο 1



Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Θάλασσα	Water index		2.5	2.6
Πολύ χαμηλή βλάστηση	NDVI		0.01	0.04
Αραιή βλάστηση	NDVI		0.04	0.08
Πυκνή βλάστηση	NDVI		0.08	0.1

Πίνακας 21: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής για το επίπεδο 1

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι:



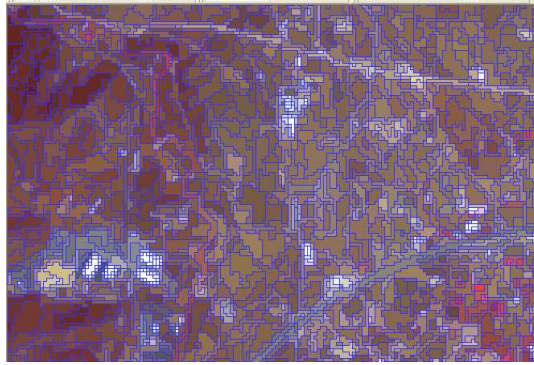
Εικόνα 54: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα

### 3.4.1.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Σε αυτό το επίπεδο λάβαμε υπόψη για την κατάτμηση μόνο τα κανάλια των κυρίων συνιστωσών, όπως και στο προηγούμενο. Έπειτα από πολλούς πειραματισμούς καταλήξαμε στις παραμέτρους της κατάτμησης που λειτουργούν καλύτερα για την ταξινόμηση που θέλουμε.

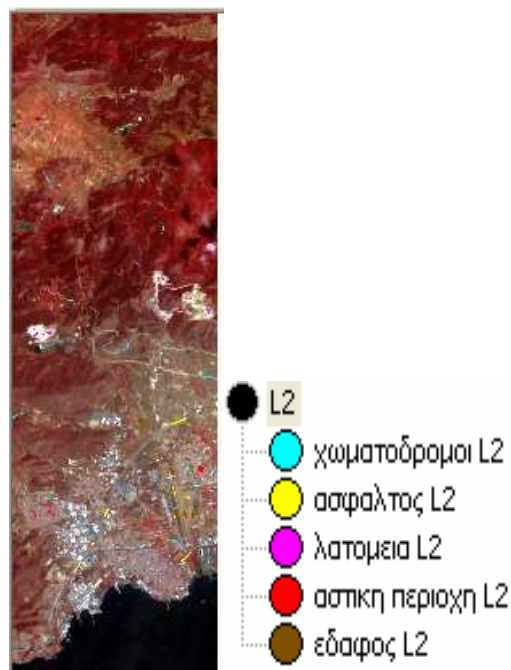
Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	20	0.3	0.7	0.5	0.5

Πίνακας 22: Κατάτμηση στο επίπεδο 2





Εικόνα 55: Τμήμα της απεικόνισης Hyperion μετά την κατάτμηση σε έγχρωμο σύνθετο RGB:432 που η βλάστηση σημαίνεται με κόκκινο χρώμα

Οι κατηγορίες που ταξινομήθηκαν είναι η αστική περιοχή, το έδαφος, τα λατομεία, οι χωματόδρομοι και οι δρόμοι που καλύπτονται από άσφαλτο και αναφέρονται ως “άσφαλτος”. Η ταξινόμηση σε αυτό το επίπεδο πραγματοποιήθηκε κυρίως με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα” όμως χρησιμοποιήθηκαν και επιπλέον κάποιοι κανόνες. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι παράμετροι της κατάτμησης και τα δείγματα εκπαίδευσης που ελήφθησαν για την ταξινόμηση με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα”.



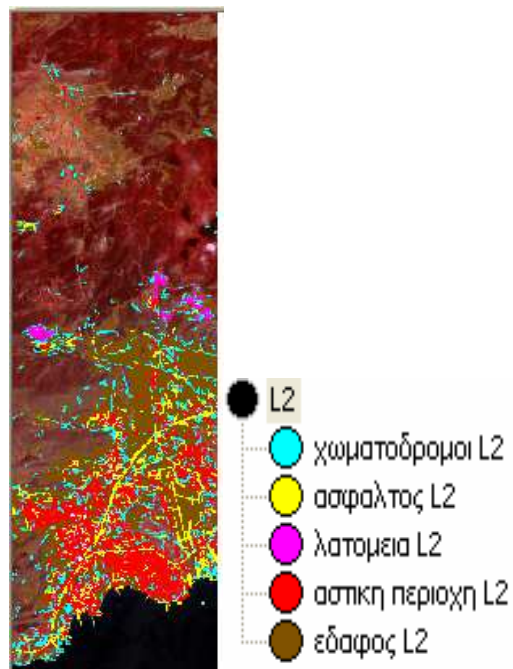
Εικόνα 56: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα

Έπειτα παρατίθενται οι κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση στο δεύτερο επίπεδο.

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Αστική περιοχή		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Χωματόδρομοι	and	Length / width		2	3
		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Άσφαλτος	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length / width		3	4
Λατομεία		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Έδαφος		Standard Nearest Neighbor	-	-	-







Πίνακας 23: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του δευτέρου επιπέδου είναι το παρακάτω.



Εικόνα 57: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα

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

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχές	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2
2	Level		1	3
	Rel. area of αραιή βλάστηση L1 Sub-objects (1)		0.3	0.4
	Rel. area of πολύ χαμηλή βλάστηση L1 Sub-objects (1)		0.4	0.5
	Rel. area of πυκνή βλάστηση L1 Sub-objects (1)		0.4	0.5
	Rel. area of θάλασσα L1 Sub-objects (1)		0	1

Πίνακας 24: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα επίπεδα



Εικόνα 58: Ιεραρχία κατηγοριών

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης που προέκυψε από την παραπάνω διαδικασία δεν είναι ικανοποιητικό σε μεγάλο βαθμό καθώς παρατηρείται σε ορισμένες περιπτώσεις σύγχυση των κατηγοριών. Στο πρώτο επίπεδο οι κατηγορίες “βλάστηση” και “θάλασσα” ταξινομήθηκαν αρκετά καλά. Όμως δε συνέβη το ίδιο και στο δεύτερο επίπεδο με τις υπόλοιπες κατηγορίες. Οι κατηγορίες των δρόμων που μας αφορούν άμεσα έχουν ταξινομηθεί μέτρια. Οι μεγάλοι δρόμοι που καλύπτονται από ασφαλτο και πιο συγκεκριμένα η εθνική οδός ταξινομήθηκε αρκετά καλά, ωστόσο υπάρχουν και περιοχές που ταξινομήθηκαν ως “άσφαλτος” παρόλο που δεν είναι. Οι χωματόδρομοι ταξινομήθηκαν χειρότερα από την “άσφαλτο” και παρουσιάζουν μεγαλύτερη σύγχυση με άλλες κατηγορίες, όπως το έδαφος και η βλάστηση. Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως για να προκύψουν τα επιθυμητά αποτελέσματα πρέπει να συνδυάσουμε ιδανικά τη χρήση περισσότερων κανόνων με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα”.

### 3.4.2 Προσέγγιση II: Ταξινόμηση στα κανάλια των Κυρίων Συνιστωσών με έμφαση στις φασματικές υπογραφές


Για να ξεκινήσει η διαδικασία της ταξινόμησης αρχικά εισήχθησαν στο λογισμικό eCognition τα πέντε κανάλια που προέκυψαν από τις Κύριες Συνιστώσες καθώς και τέσσερα κανάλια του δέκτη τα οποία αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο. Αφού δόθηκαν τα κατάλληλα βάρη σε κάθε κανάλι, και πιο συγκεκριμένα δόθηκε βάρος ίσο με τη μονάδα στα πέντε κανάλια των Κυρίων συνιστωσών και βάρος μηδέν στα υπόλοιπα, το επόμενο στάδιο ήταν αυτό της κατάτμησης.

#### 3.4.2.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Στο συγκεκριμένο επίπεδο έπειτα από πολλές δοκιμές καταλήξαμε στις τελικές παραμέτρους κατάτμησης οι οποίες είναι οι κατάλληλες για την ανάδειξη της βλάστησης και των υδάτινων επιφανειών. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας με τις παραμέτρους κατάτμησης και ο πίνακας με τους κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για το πρώτο επίπεδο.

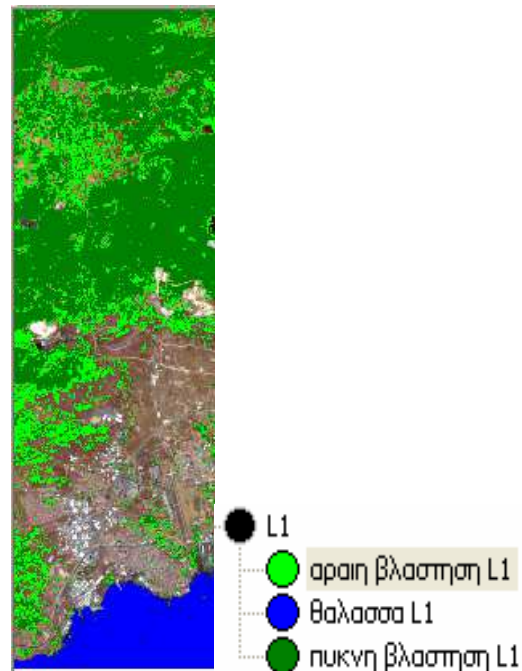
Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	10	0.7	0.3	0.5	0.5

Πίνακας 25: Κατάτμηση στο επίπεδο 1

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Θάλασσα	Water index		2.7	2.8
Αραιή βλάστηση	NDVI		0.03	0.08
Πυκνή βλάστηση	NDVI		0.08	0.1

Πίνακας 26: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής για το επίπεδο 1

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου είναι το παρακάτω.



Εικόνα 59: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα

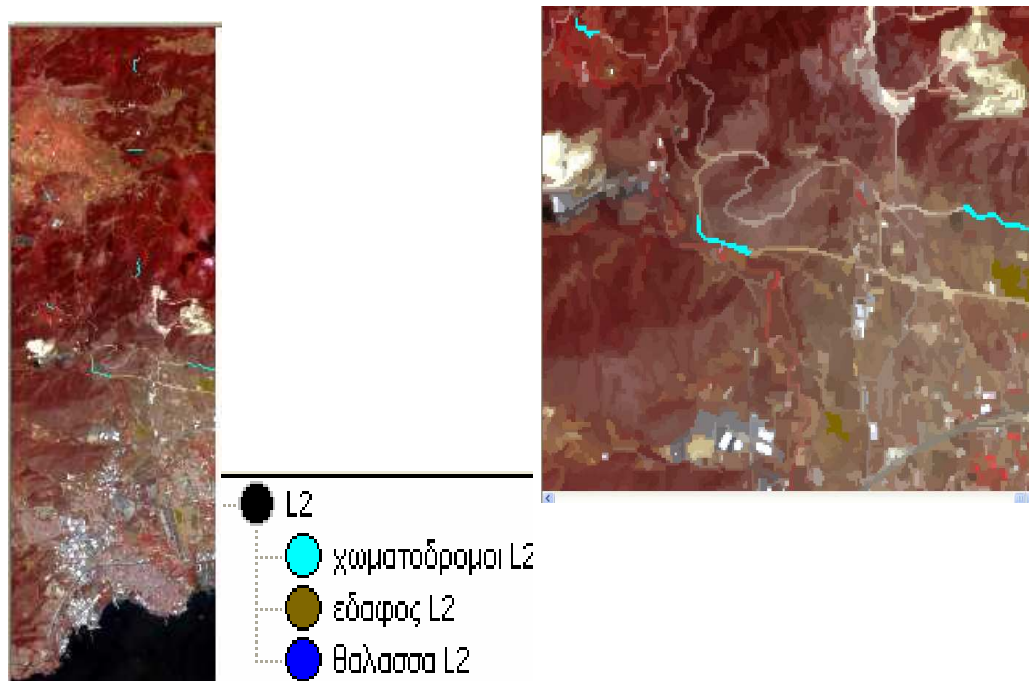
#### 3.4.2.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Σε αυτό το επίπεδο στόχος μας ήταν να επιλέξουμε αρχικά τις παραμέτρους εκείνες που αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν καλύτερα τα αντικείμενα που καλύπτουν το έδαφος αφού έχουμε ήδη απαλλαγεί από τη βλάστηση και τη θάλασσα στο προηγούμενο επίπεδο. Οι κατηγορίες που ταξινομήθηκαν στο δεύτερο επίπεδο είναι το έδαφος και οι χωματόδρομοι, ενώ έχει μεταφερθεί και η θάλασσα από το προηγούμενο επίπεδο. Η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα” όμως χρησιμοποιήθηκαν και επιπλέον κάποιοι κανόνες. Τελικά έπειτα από πολλές δοκιμές οι παράμετροι της κατάτμησης είναι οι εξής :

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	40	0.7	0.3	0.5	0.5

Πίνακας 27: Κατάτμηση στο επίπεδο 2

Παρακάτω παρατίθεται η απεικόνιση με τα δείγματα εκπαίδευσης που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση και ο πίνακας με τους κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για το δεύτερο επίπεδο.



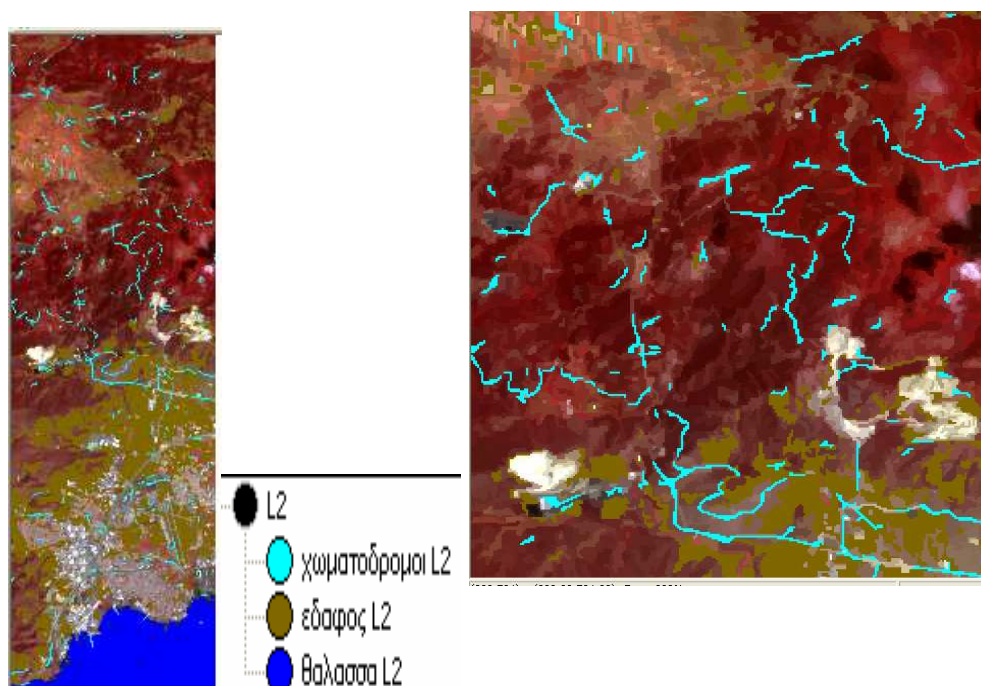
Εικόνα 60: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Θάλασσα		Rel. area of θάλασσα L1 Sub-objects (1)		0.55	0.65
Χωματόδρομοι	and	Length / width		3	4
		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Density		1.2	1.3
		Width		2.6	2.8
		Mean diff. to neighbors Resize (" : E01H183033200418411OPY.L1R_fakeDim1_18":hyperion_2004)14:4917-Mar-09 (0)		170	180
		Existence of αστική περιοχή και λατομεία L3 Super-objects (1)		0	1
		Existence of άσφαλτος L3 Super-objects (1)		0	1
Έδαφος	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Rel. area of αραιή βλάστηση L1 Sub-objects (1)		0.2	0.3
		Rel. area of πυκνή βλάστηση L1 Sub-objects (1)		0.55	0.65
		Rel. area of χωματόδρομοι L2 Neighbor-objects (0)		0.1	0.15
		Mean PCBand 2(hyperion_2004_139bands)14 :4917-Mar-09		-1640	-1630

Πίνακας 28: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2



Η ταξινόμηση του δευτέρου επιπέδου είναι:



Εικόνα 61: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα

Στην παραπάνω ταξινόμηση η κατηγορία έδαφος έχει ταξινομηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Η κατηγορία χωματόδρομοι ταξινομήθηκε μέτρια αφού σε ορισμένα σημεία συγγέεται με άλλες κατηγορίες. Ωστόσο κάποια τμήματα χωματόδρομων που καλύπτονται από βλάστηση έχουν ταξινομηθεί καλά, ενώ ένα κομμάτι του αεροδιαδρόμου ταξινομήθηκε ως χωματόδρομος. Αυτό συνέβη διότι οι φασματικές υπογραφές των δύο κατηγοριών είναι παρόμοιες λόγω του γεγονότος της παλαιότητας και της φθοράς της ασφάλτου στον αεροδιάδρομο.

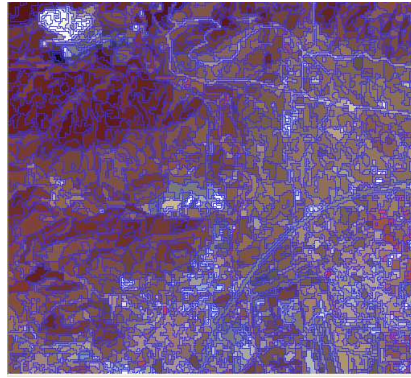
### 3.4.2.3 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Στο συγκεκριμένο επίπεδο, όπως αντίστοιχα και στις προηγούμενες επεξεργασίες, μετά από πειραματισμούς καταλήξαμε στις παρακάτω παραμέτρους κατάτμησης που είναι οι κατάλληλες για την ταξινόμηση των κατηγοριών που μας ενδιαφέρουν. Για την ταξινόμηση των δρόμων πάντα επιλέγουμε αντικείμενα όσο το δυνατόν περισσότερο επιμήκη ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά των συγκεκριμένων κατηγοριών.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
3	45	0.6	0.4	0.3	0.7

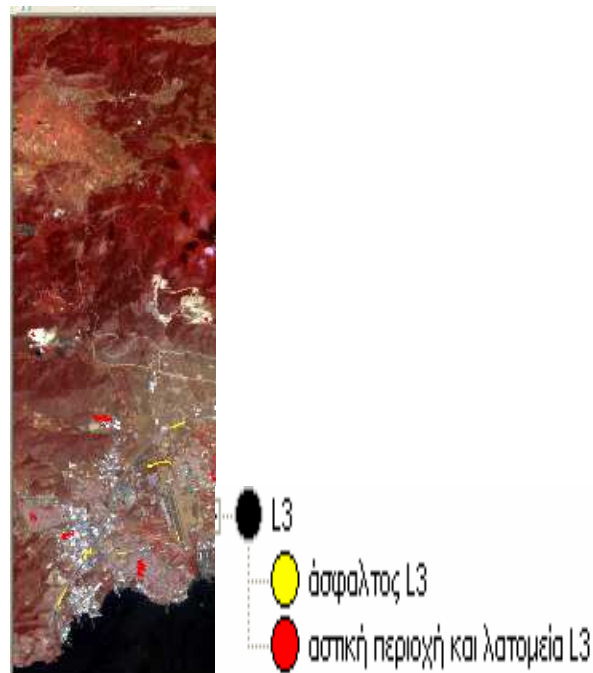
Πίνακας 29: Κατάτμηση στο επίπεδο 3














Εικόνα 62: Τμήμα της απεικόνισης Hyperion μετά την κατάτμηση σε έγχρωμο σύνθετο RGB:432 που η βλάστηση σημαίνεται με κόκκινο χρώμα

Η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα” όμως χρησιμοποιήθηκαν και επιπλέον κάποιους κανόνες. Οι κατηγορίες που ταξινομήθηκαν είναι οι δρόμοι που καλύπτονται από άσφαλτο και αναφέρονται ως “άσφαλτος” και μια κατηγορία που περιλαμβάνει την αστική περιοχή και τα λατομεία. Παρακάτω παρατίθεται η απεικόνιση με τα δείγματα εκπαίδευσης που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση και ο πίνακας με τους κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για το τρίτο επίπεδο.

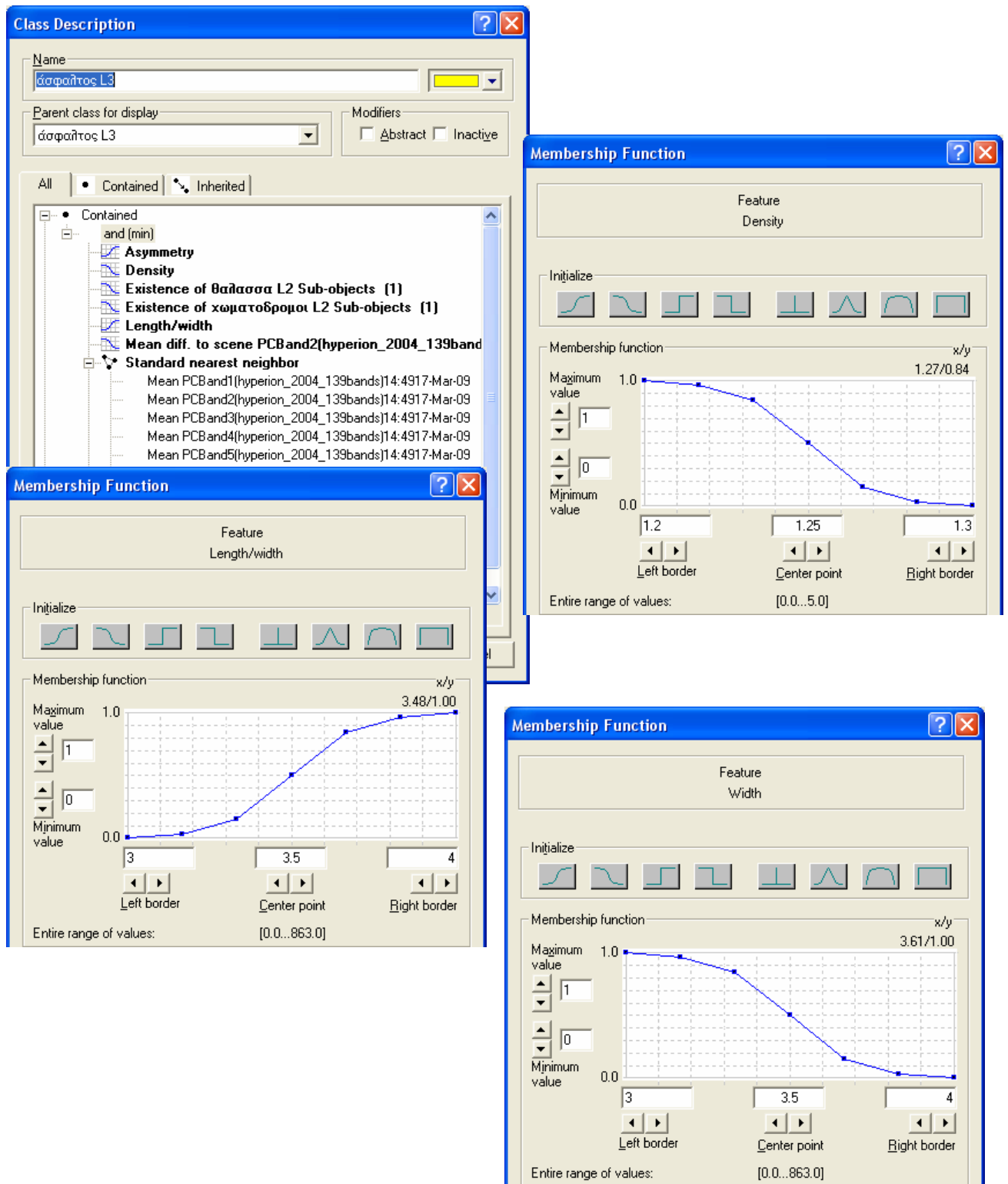


Εικόνα 63: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Άσφαλτος	and	Length / width		3	4
		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Density		1.2	1.3
		Width		3	4
		Asymmetry		0.8	0.82
		Existence of θάλασσα L2 Sub-objects (1)		0	1
		Existence of χωματόδρομοι L2 Sub-objects (1)		0	1
		Mean diff. to scene PCBand 2(hyperion_2004_139bands)14 :4917-Mar-09		-2190	-2180
Άστική περιοχή και λατομεία	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Existence of χωματόδρομοι L2 Sub-objects (1)		0	1
		Mean Resize (“ : E01H1830332004184110 PY.L1R_fakeDim1_18”:hyperion_2004)14:4917-Mar-09 (0)		3700	3720

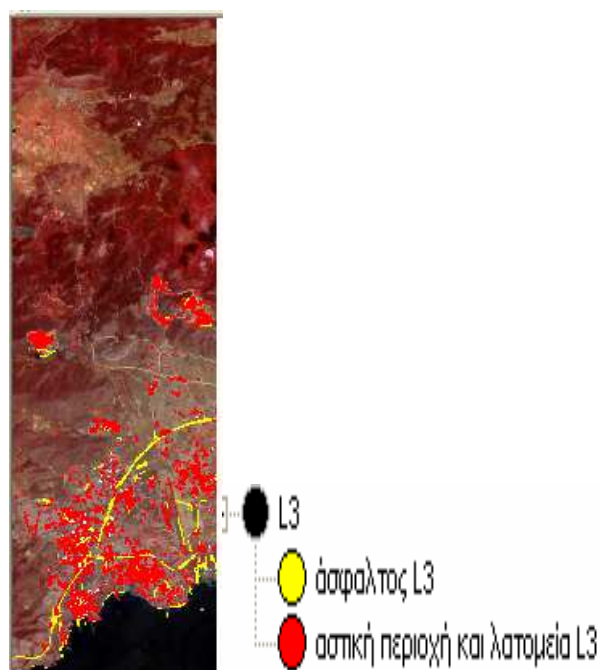
Πίνακας 30: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η περιγραφή μερικών χαρακτηριστικών που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση της κατηγορίας άσφαλτος




Εικόνα 64: Παράθυρα διαλόγων που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά και συναρτήσεις συμμετοχής

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του τρίτου επιπέδου φαίνεται παρακάτω.



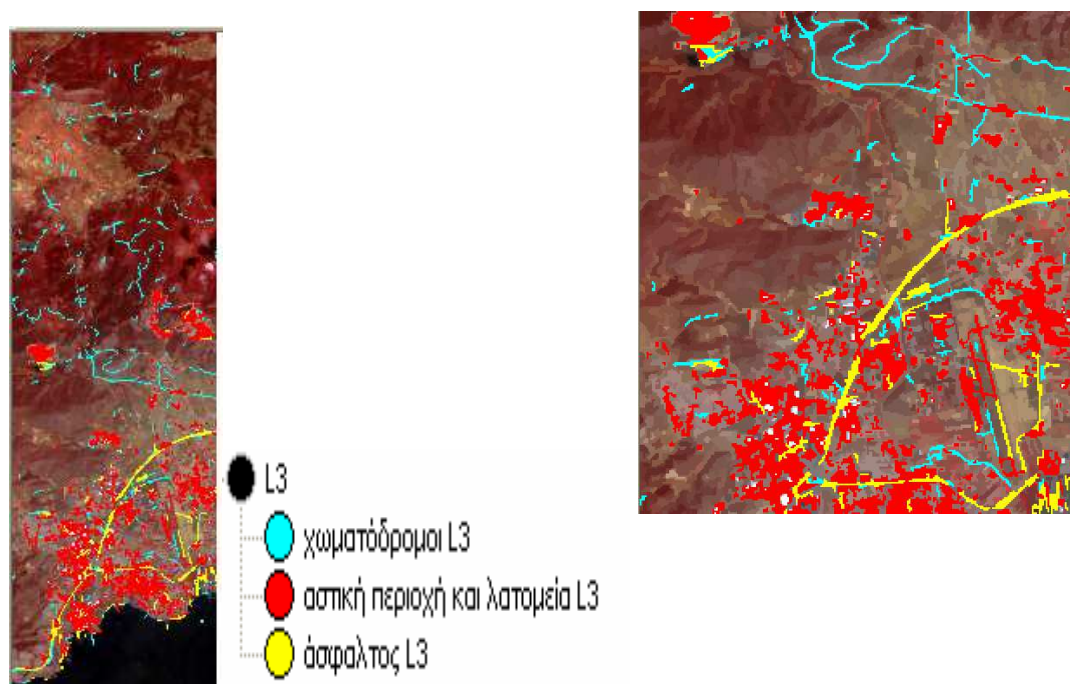
Εικόνα 65: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα

Για να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη άποψη της ταξινόμησης μεταφέραμε και την κατηγορία χωματόδρομοι από το επίπεδο δύο στο επίπεδο τρία με τον κανόνα που φαίνεται παρακάτω.

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Χωματόδρομοι	Rel. area of χωματόδρομοι L2 Sub - objects (1)		0.55	0.65

Πίνακας 31: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής για το επίπεδο 3

Το τελικό αποτέλεσμα είναι :



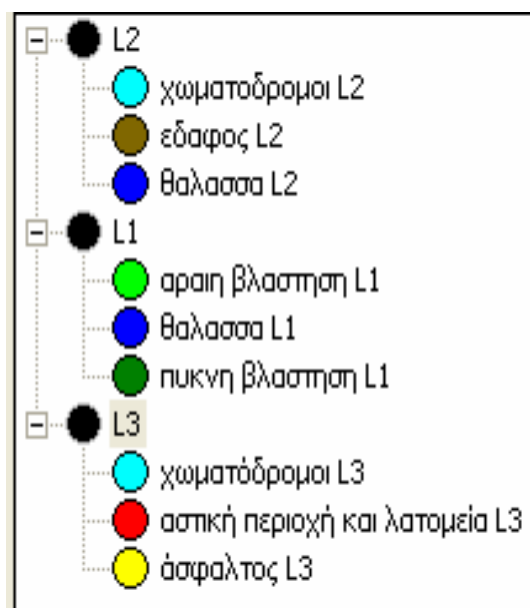
Εικόνα 66: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης όσον αφορά τους δρόμους είναι ικανοποιητικό γενικότερα, αν αναλογιστούμε και τις δυσκολίες της απεικόνισης, κυρίως τη διακριτική ικανότητα. Οι κύριοι οδικοί άξονες έχουν ταξινομηθεί καλά στο μεγαλύτερο μέρος τους, ενώ σε ορισμένους πιο μικρούς δρόμους υπάρχει σύγχυση μεταξύ των κατηγοριών. Η μεγαλύτερη σύγχυση παρουσιάζεται στο τμήμα του αεροδιαδρόμου, καθώς το υλικό κάλυψής του είναι παρόμοιο με αυτό της αστικής περιοχής, και επίσης λόγω της παλαιότητας και της φθοράς της ασφάλτου του αεροδιαδρόμου η φασματική του υπογραφή μοιάζει με την αντίστοιχη των χωματόδρομων.

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

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχή	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level	1	0	2
2	Level	2	1	3
3	Level	3	2	4

Πίνακας 32: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα επίπεδα



Εικόνα 67: Ιεραρχία κατηγοριών

3.4.3 Προσέγγιση III: Ταξινόμηση με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα” στα κανάλια που προκύπτουν από τη Μέθοδο Επιλογής Χαρακτηριστικών

Σύμφωνα με τα όσα έχουν αναφερθεί και σε προηγούμενη παράγραφο από τη μέθοδο επιλογής χαρακτηριστικών προέκυψαν τα εξής κανάλια:

Κανάλι	Μήκος κύματος (nm)
8	518
12	559
15	590
22	661
26	702
52	1013
63	1175
78	1498
83	1548
86	1578
89	1609
107	1790
112	2042
118	2113
120	2133
125	2194
131	2254

Πίνακας 33: Κανάλια που προέκυψαν από την ανάλυση συσχέτισης και τα μήκη κύματος στα οποία αντιστοιχούν





### 3.4.3.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Αρχικά εισήχθησαν τα προαναφερθέντα κανάλια στο λογισμικό eCognition και στη συνέχεια άρχισαν οι πειραματισμοί για την εύρεση των καταλλήλων παραμέτρων της κατάτμησης. Σε αυτό το επίπεδο στόχος ήταν να απαλλαγούμε από τη βλάστηση και τη θάλασσα για αυτό και δόθηκε περισσότερο βάρος στο χρώμα κατά τη διαδικασία της κατάτμησης. Οι παράμετροι της κατάτμησης φαίνονται παρακάτω.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	10	1.0	0	-	-

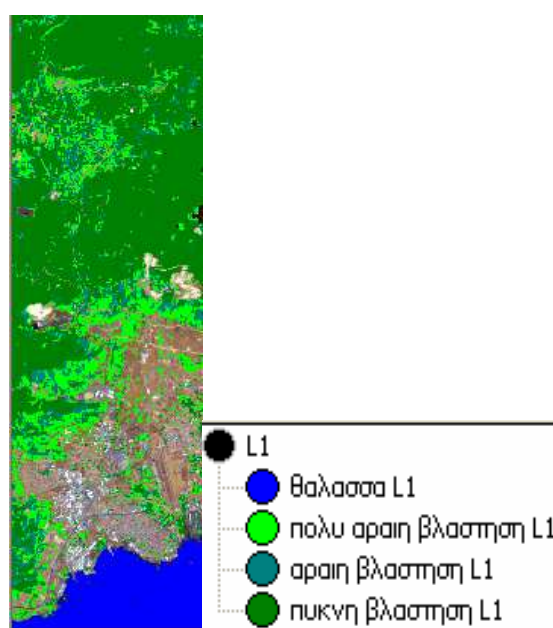
Πίνακας 34: Κατάτμηση στο επίπεδο 1

Οι κανόνες και οι συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάδειξη της βλάστησης και της θάλασσας είναι:

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Θάλασσα	Water index		2.2	2.3
Πολύ αραιή βλάστηση	NDVI		0.26	0.28
Αραιή βλάστηση	NDVI		0.28	0.31
Πυκνή βλάστηση	NDVI		0.31	0.33

Πίνακας 35: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής για το επίπεδο 1

Η ταξινόμηση του πρώτου επιπέδου είναι η παρακάτω.



Εικόνα 68 Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα



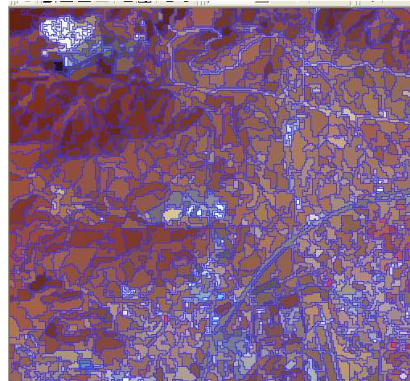
Όπως και στις προηγούμενες επεξεργασίες η βλάστηση και η θάλασσα ταξινομούνται αρκετά ικανοποιητικά στο πρώτο επίπεδο.

#### 3.4.3.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Στο συγκεκριμένο επίπεδο σκοπός ήταν να ταξινομηθούν οι κατηγορίες έδαφος, αστική περιοχή, λατομεία, χωματόδρομοι και οι δρόμοι που καλύπτονται από άσφαλτο. Για το λόγο λοιπόν αυτό κατά τη διαδικασία της κατάτμησης επιλέξαμε αντικείμενα που να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο αντιπροσωπευτικά των κατηγοριών που επρόκειτο να ταξινομηθούν. Έτσι καταλήξαμε στις εξής παραμέτρους κατάτμησης.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	20	0.3	0.7	0.5	0.5

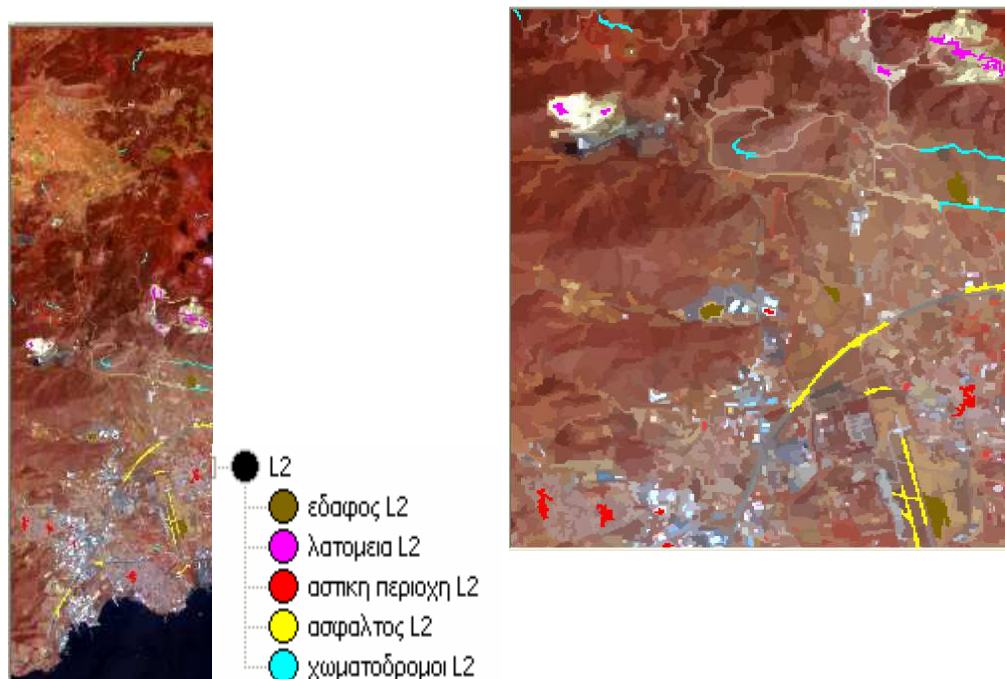
Πίνακας 36: Κατάτμηση στο επίπεδο 2



Εικόνα 69: Τμήμα της απεικόνισης Hyperion μετά την κατάτμηση σε έγχρωμο σύνθετο RGB:432 που η βλάστηση σημαίνεται με κόκκινο χρώμα

Η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε κατά βάση με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα”, όμως χρησιμοποιήθηκαν και επιπλέον κάποιοι κανόνες. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η απεικόνιση με τα δείγματα εκπαίδευσης που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση για τη λειτουργία του “Εγγύτερου Γείτονα” και ο πίνακας με τους κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για το δεύτερο επίπεδο.



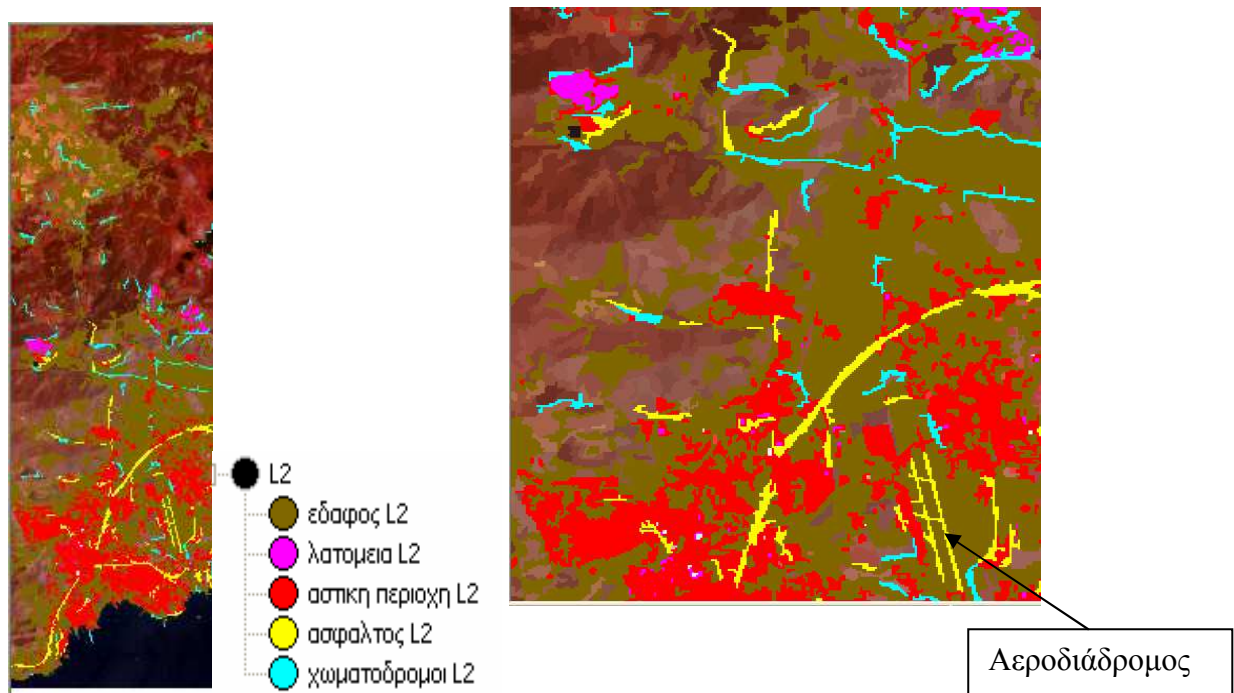


Εικόνα 70: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Αστική περιοχή		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Χωματόδρομοι	and	Length / width		6	7
		Width		3	4
		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Άσφαλτος	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Length / width		6	7
		Width		3	4
Λατομεία		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Έδαφος		Standard Nearest Neighbor	-	-	-

Πίνακας 37: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Η ταξινόμηση του δευτέρου επιπέδου είναι η παρακάτω.



Εικόνα 71: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα

Το αποτέλεσμα της παραπάνω ταξινόμησης κρίνεται μέτριο διότι σε ορισμένες περιπτώσεις οι φασματικές κατηγορίες παρουσιάζουν σύγχυση. Όσον αφορά τους δρόμους παρατηρούμε ότι οι χωματοδρομοι δεν έχουν ταξινομηθεί καλά, ενώ αντίθετα οι κύριοι οδικοί άξονες που καλύπτονται από ασφαλτο ταξινομήθηκαν αρκετά ικανοποιητικά. Επίσης, αξιοσημείωτο είναι ότι για πρώτη φορά το μεγαλύτερο τμήμα του αεροδιαδρόμου ταξινομήθηκε ως ασφαλτος κάτι το οποίο είναι επιθυμητό. Βέβαια κάποιοι μικροί δρόμοι εντός της αστικής περιοχής δεν ταξινομήθηκαν καθόλου.

Τέλος παρατίθεται ο πίνακας με τους κανόνες και τις συναρτήσεις συμμετοχής και για τα δύο 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
	Rel. area of αραιή βλάστηση L1 Sub-objects (1)		0.55	0.65
	Rel. area of πολύ αραιή βλάστηση L1 Sub-objects (1)		0.55	0.65
	Rel. area of πυκνή βλάστηση L1 Sub-objects (1)		0.55	0.65
	Rel. area of θάλασσα L1 Sub-objects (1)		0	1

Πίνακας 38: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα επίπεδα



Εικόνα 72: Ιεραρχία κατηγοριών

### 3.4.4 Προσέγγιση IV: Ταξινόμηση στα κανάλια που προκύπτουν από τη Μέθοδο Επιλογής Χαρακτηριστικών με έμφαση στις φασματικές υπογραφές

Ο στόχος μας στη συγκεκριμένη προσέγγιση είναι να επιτύχουμε ένα καλύτερο αποτέλεσμα ταξινόμησης, αποφεύγοντας τα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε στην προηγούμενη επεξεργασία. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητος ο κατάλληλος συνδυασμός της μεθόδου του “Εγγύτερου Γείτονα” και των κανόνων που διατίθενται από το λογισμικό.




#### 3.4.4.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Σε αυτό το επίπεδο σκοπός ήταν να ταξινομηθεί η βλάστηση ώστε να εξαιρεθεί από τα επόμενα επίπεδα. Έτσι λοιπόν προέκυψαν οι παρακάτω συντελεστές κατάτμησης.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	5	0.7	0.3	0.5	0.5

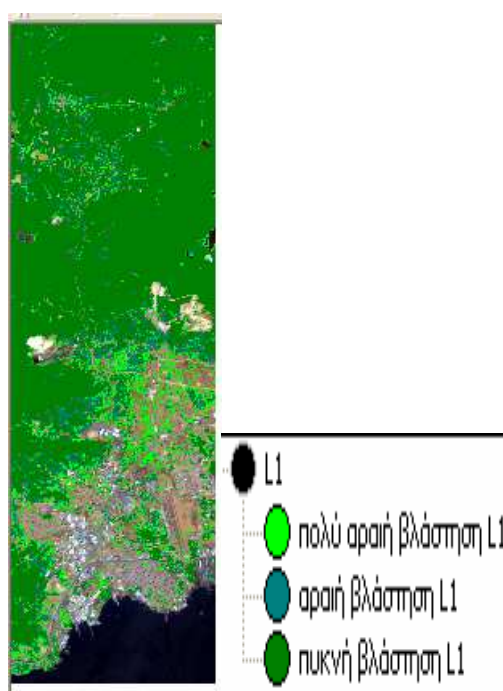
Πίνακας 39: Κατάτμηση στο επίπεδο 1

Για την ανάδειξη της βλάστησης χρησιμοποιήθηκε ο λόγος NDVI.

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση πολύ αραιή	NDVI		0.25	0.28
Βλάστηση αραιή	NDVI		0.275	0.3
Βλάστηση πυκνή	NDVI		0.295	0.32

Πίνακας 40: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Η ταξινόμηση που προέκυψε για το πρώτο επίπεδο παρουσιάζεται στη συνέχεια.



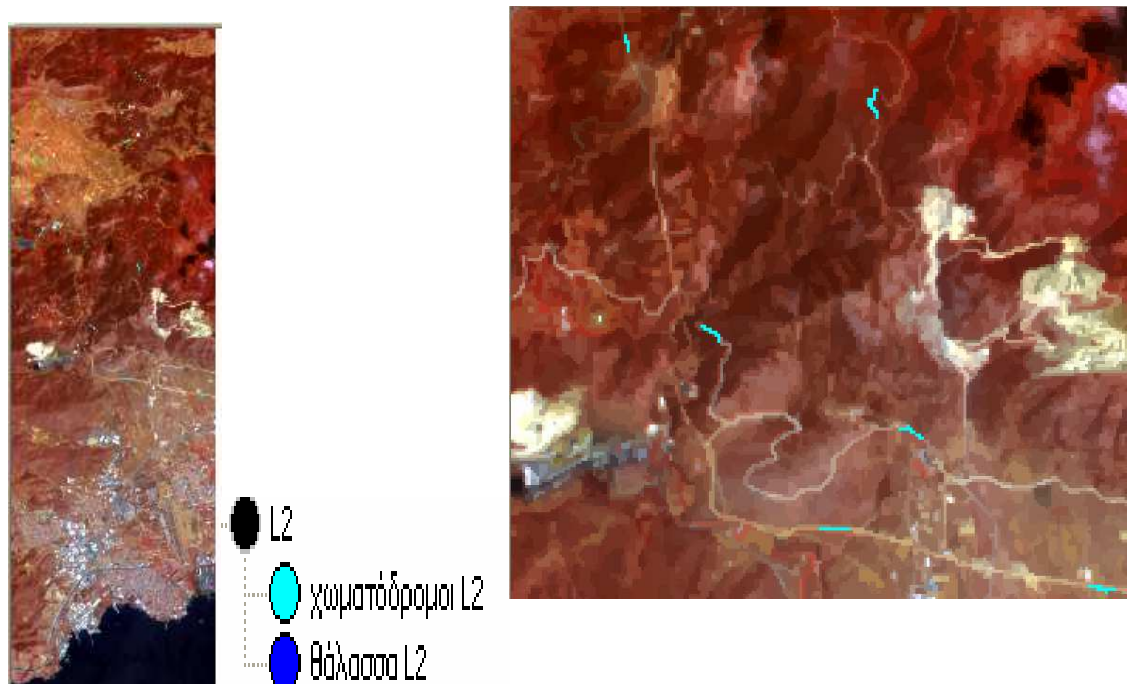
Εικόνα 73: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα

#### 3.4.4.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Αφού η βλάστηση ταξινομήθηκε πολύ καλά στο προηγούμενο επίπεδο, σειρά είχαν οι χωματόδρομοι. Έπειτα από αρκετές δοκιμές καταλήξαμε στις κατάλληλες παραμέτρους που θα χρησιμοποιηθούν για την κατάτμηση. Η ταξινόμηση έγινε με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα” και με τη χρήση κάποιων κανόνων. Επίσης επιλέχθηκε να ταξινομηθεί και η θάλασσα σε αυτό το επίπεδο, καθώς στο προηγούμενο τα αντικείμενα ήταν πολύ μικρά (scale parameter 5) και δεν γινόταν σωστή ταξινόμηση. Η θάλασσα ταξινομήθηκε με το λόγο Water Index όπως σε όλες τις προηγούμενες περιπτώσεις. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας με τις παραμέτρους κατάτμησης, η απεικόνιση με τα δείγματα εκπαίδευσης που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση για τη λειτουργία του “Εγγύτερου Γείτονα” και ο πίνακας με τους κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για το δεύτερο επίπεδο.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	10	0.3	0.7	0.5	0.5

Πίνακας 41: Κατάτμηση στο επίπεδο 2

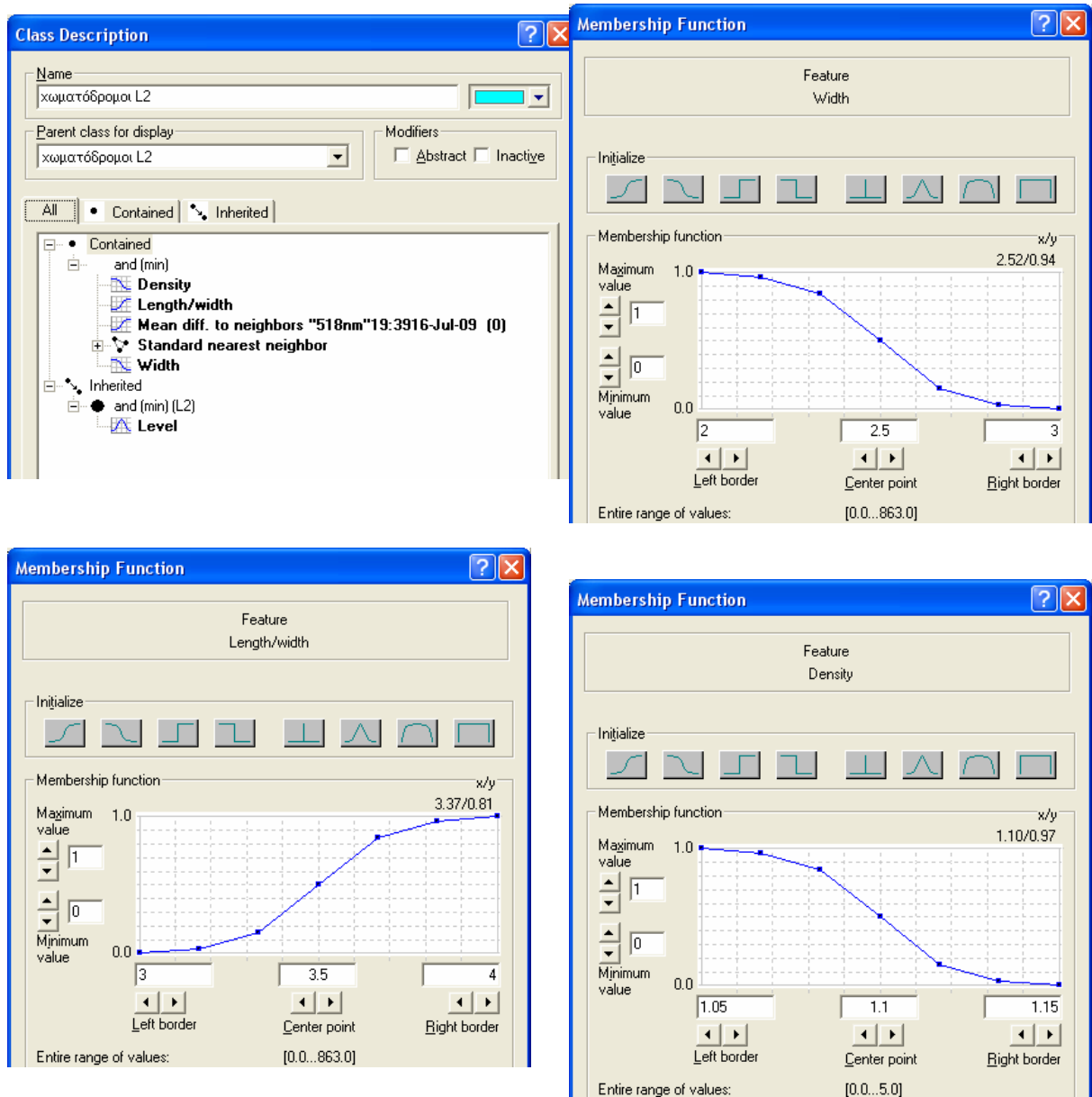


Εικόνα 74: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Θάλασσα		Water index		1.9	2.1
Χωματόδρομοι	and	Length / width		3	4
		Width		2	3
		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Mean diff. to neighbors "518nm"19:3616-Jul-09 (0)		100	110
		Density		1.05	1.15

Πίνακας 42: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2

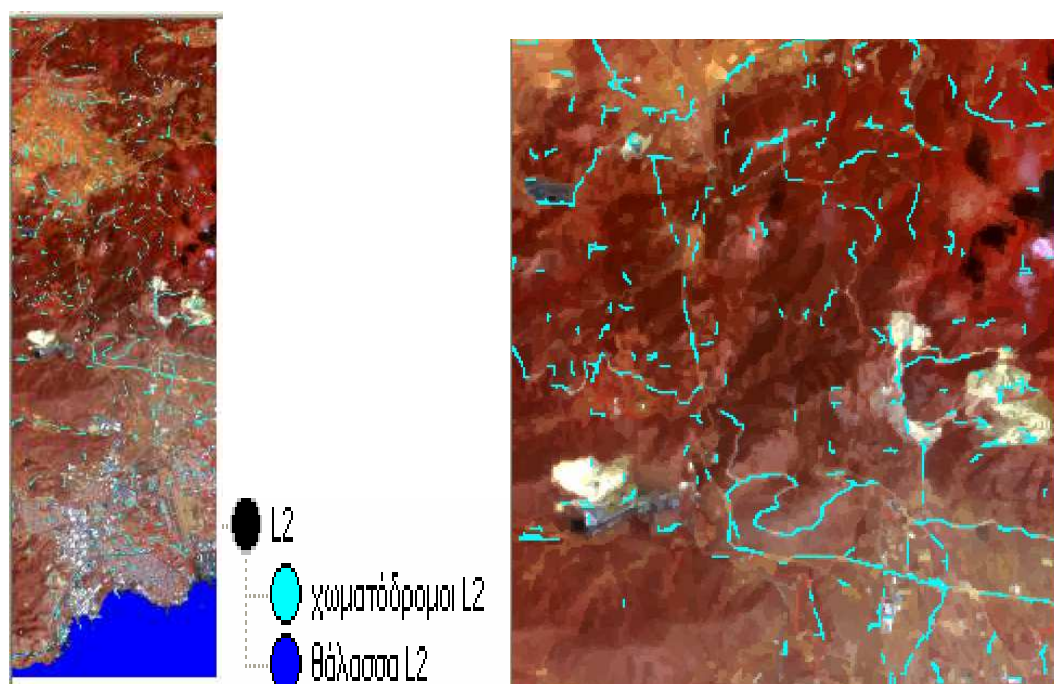
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η περιγραφή μερικών χαρακτηριστικών που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση της κατηγορίας χωματόδρομοι



Εικόνα 75: Παράθυρα διαλόγων που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά και συναρτήσεις συμμετοχής



Η ταξινόμηση του δευτέρου επιπέδου είναι η παρακάτω.



Εικόνα 76: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης θεωρείται καλό καθώς τόσο η θάλασσα όσο και οι χωματόδρομοι έχουν ταξινομηθεί καλά. Βέβαια υπάρχουν και κάποια μικρά τμήματα αστικής περιοχής που ταξινομήθηκαν ως χωματόδρομοι, όμως αυτά τα προβλήματα θα αντιμετωπιστούν στο επόμενο επίπεδο.

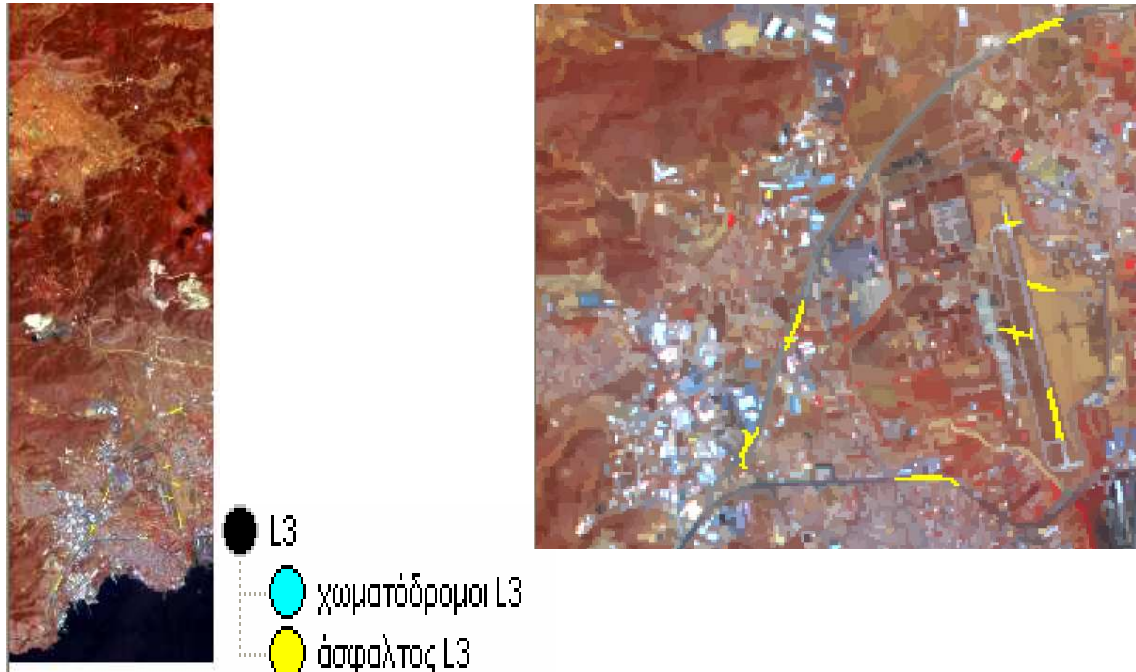
#### 3.4.4.3 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 3

Στο συγκεκριμένο επίπεδο, όπως έχει προαναφερθεί, μεταφέρθηκε η κατηγορία “χωματόδρομοι” και ταυτόχρονα ταξινομήθηκε και η κατηγορία “άσφαλτος”. Μετά από αρκετές δοκιμές, ώστε τα αντικείμενα που θα προκύψουν από την κατάτμηση να αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν καλύτερα την κατηγορία που μας ενδιαφέρει, καταλήξαμε στις εξής παραμέτρους κατάτμησης:

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
3	11	0.3	0.7	0.3	0.7

Πίνακας 43: Κατάτμηση στο επίπεδο 3

Η ταξινόμηση για την κατηγορία άσφαλτος πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα” και με τη συμβολή κάποιων κανόνων, ενώ για την άλλη κατηγορία με έναν κανόνα. Παρακάτω παρατίθενται, η απεικόνιση με τα δείγματα εκπαίδευσης που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση για τη λειτουργία του “Εγγύτερου Γείτονα” και ο πίνακας με τους κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για το τρίτο επίπεδο.



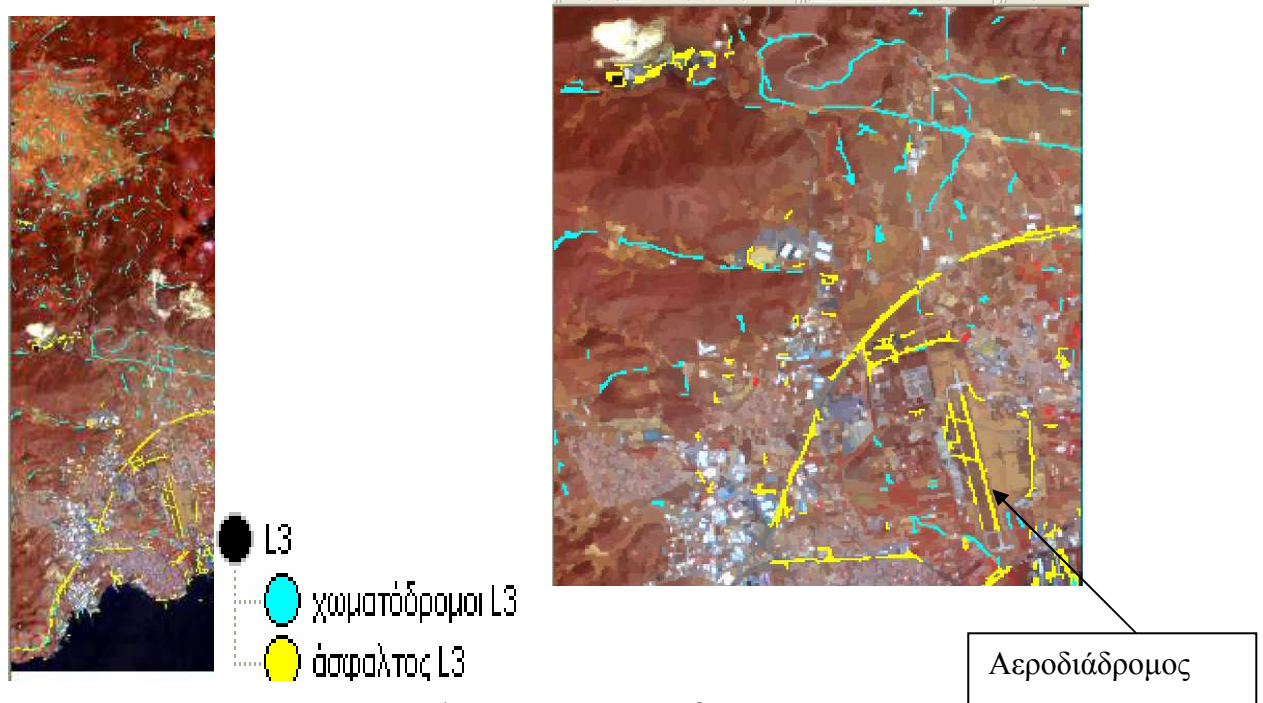
Εικόνα 77: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Χωματόδρομοι		Rel. area of χωματόδρομοι L2 Sub-objects (1)		0.3	0.4
Άσφαλτος	and	Length / width		3	4
		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Ratio "1175nm"19:3616-Jul-09 (0)		0.062	0.072
		Density		1.25	1.35
		Existence of θάλασσα L2 Sub-objects (1)		0	1

Πίνακας 44: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 3



Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης για το τρίτο επίπεδο φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 78: Ταξινόμηση στο επίπεδο 3-υπόμνημα

Το αποτέλεσμα της παραπάνω ταξινόμησης είναι ικανοποιητικό, αφού οι κύριοι οδικοί άξονες ταξινομήθηκαν αρκετά καλά. Υπάρχουν όμως και κάποια μικρά τμήματα τα οποία έχουν ταξινομηθεί λάθος, όπως ένα τμήμα του λιμανιού που ταξινομήθηκε ως άσφαλτος. Αυτό συμβαίνει γιατί το υλικό κάλυψης των δρόμων και του λιμανιού είναι το ίδιο, οπότε είναι ιδιαίτερα δύσκολος ο διαχωρισμός. Επίσης πρέπει να αναφερθεί πως για πρώτη φορά το μεγαλύτερο τμήμα του αεροδιαδρόμου ταξινομήθηκε ως άσφαλτος, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό.

#### 3.4.4.4 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 4

Τέλος, επιλέχθηκε ένα επίπεδο με μεγάλο scale parameter ώστε να ταξινομηθεί η αστική περιοχή και τα λατομεία, για να αφαιρεθούν στη συνέχεια από τις κατηγορίες που μας ενδιαφέρουν. Οι παράμετροι της κατάτμησης είναι:

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
4	50	0.6	0.4	0.3	0.7

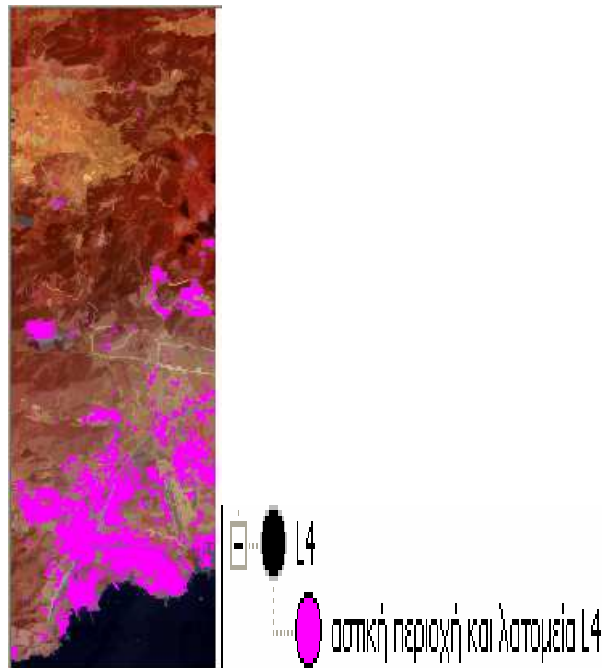
Πίνακας 45: Κατάτμηση στο επίπεδο 4

Οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση της κατηγορίας αστική περιοχή και λατομεία παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχών	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Αστική περιοχή και λατομεία	and	Length / width		9	10
		Mean diff. to scene''518nm''19:3616-Jul-09 (0)		660	680

Πίνακας 46: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 4

Η ταξινόμηση του τετάρτου επιπέδου είναι:

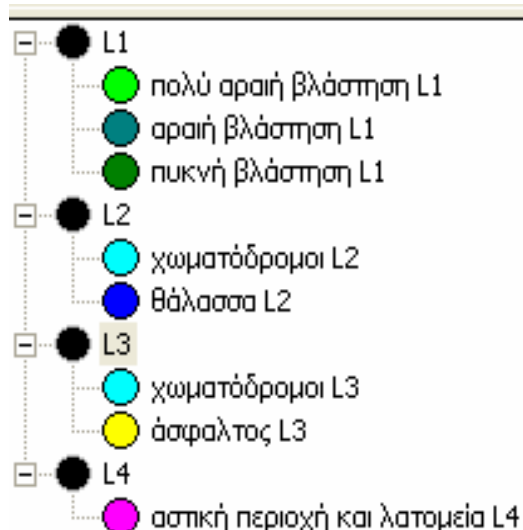


Εικόνα 79: Ταξινόμηση στο επίπεδο 4-υπόμνημα

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

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχών	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2
2	Level		1	3
3	Level		2	4
	Existence of αστική περιοχή και λατομεία L4 Super-objects (1)		0	1
4	Level		3	5

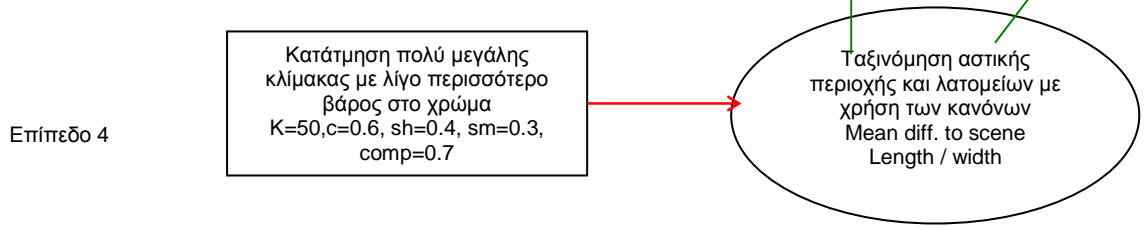
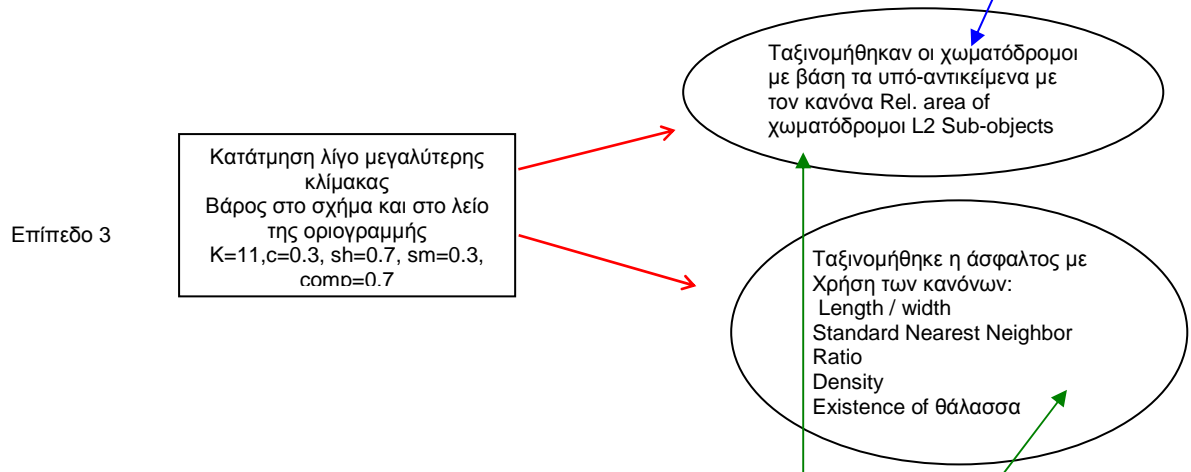
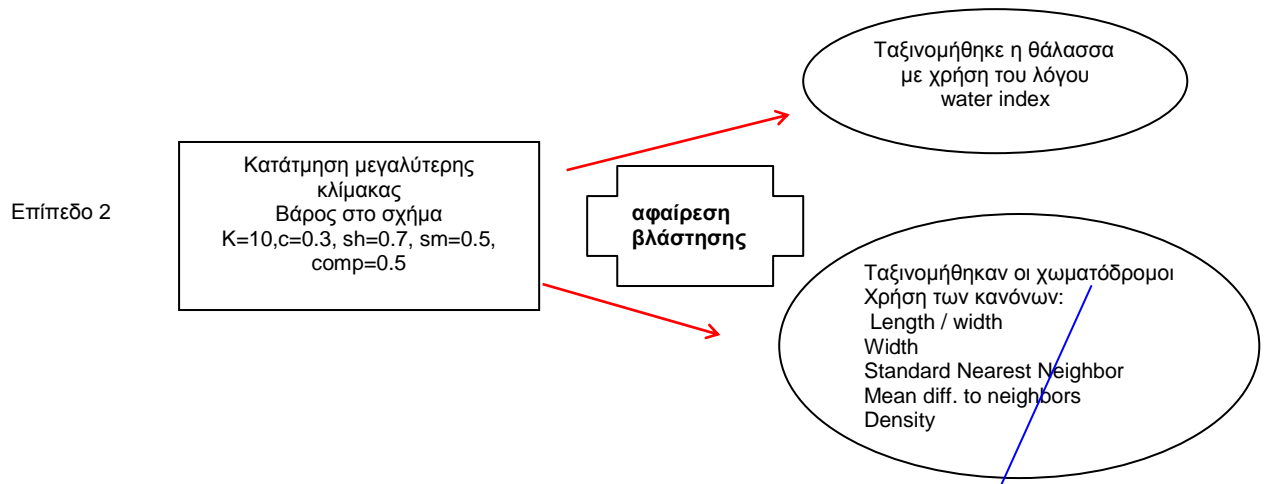
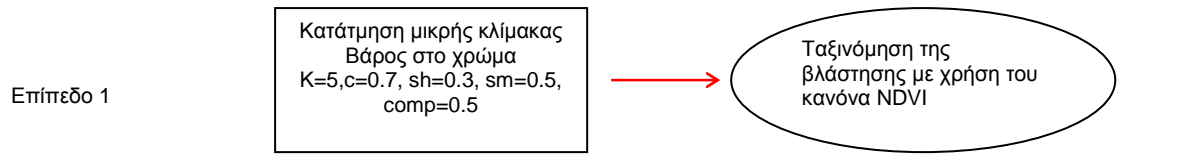
Πίνακας 47: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για όλα τα επίπεδα



Εικόνα 80: Ιεραρχία κατηγοριών

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα διάγραμμα στο οποίο φαίνεται η ιεραρχία των επιπέδων, η σειρά και ο τρόπος με τον οποίο ταξινομήθηκε κάθε κατηγορία. Αρχικά, δημιουργήθηκε ένα επίπεδο με μικρή κλίμακα και παραμέτρους κατάτμησης κατάλληλες για την ταξινόμηση της βλάστησης. Έπειτα, σε ένα επίπεδο με μεγαλύτερη κλίμακα, αφού αφαιρέθηκε η ήδη ταξινομημένη βλάστηση, ταξινομήθηκε η θάλασσα και οι χωματόδρομοι, και σε ένα λίγο μεγαλύτερο επίπεδο αλλά με διαφορετικές παραμέτρους κατάτμησης ταξινομήθηκε η άσφαλτος, ενώ ταξινομήθηκαν και οι χωματόδρομοι με βάση τα υπό-αντικείμενα του προηγούμενου επιπέδου. Τέλος, σε ένα επίπεδο με πολύ μεγάλη κλίμακα ταξινομήθηκαν η αστική περιοχή και τα λατομεία και εξαιρέθηκαν από το προηγούμενο επίπεδο ως υπέρ-αντικείμενα.

Αναλυτικός αλγόριθμος της ταξινόμησης των δεδομένων



Ταξινόμηση     
 μεταφορά ταξινόμησης από υπό-επίπεδο     
 μεταφορά ταξινόμησης από υπέρ-επίπεδο

Εικόνα 81: Αναλυτικός αλγόριθμος της ταξινόμησης των δεδομένων

### 3.4.5 Προσέγγιση V: Ταξινόμηση στα κανάλια που προκύπτουν από το μετασχηματισμό MNF με έμφαση στις φασματικές υπογραφές

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη παράγραφο, τελικά προέκυψαν οκτώ κανάλια από τη διαδικασία μετασχηματισμού MNF. Τα κανάλια αυτά περιείχαν μεγάλο ποσοστό θορύβου, κάτι που καθιστά την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου και των υπόλοιπων φασματικών κατηγοριών εξαιρετικά δύσκολη. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των απεικονίσεων των συγκεκριμένων καναλιών δεν ήταν καθόλου ικανοποιητικά και για αυτό το λόγο παρουσιάζεται στη συνέχεια μόνο η επεξεργασία που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα.

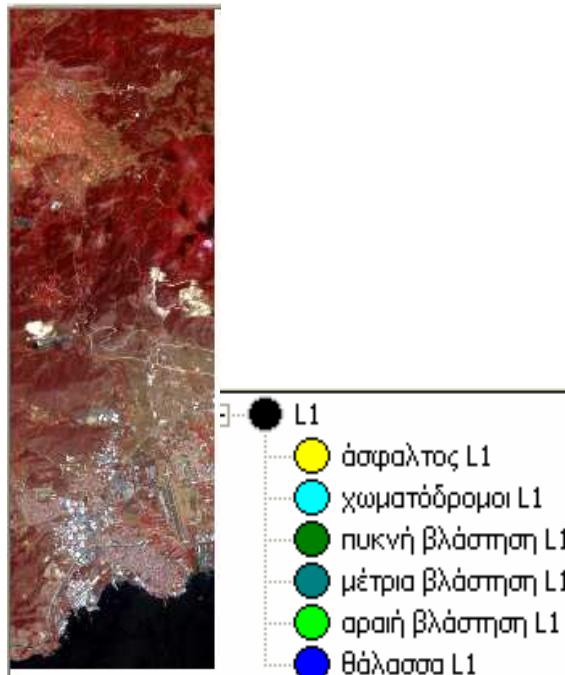
#### 3.4.5.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Σε πρώτο στάδιο εισήχθησαν στο λογισμικό eCognition τα οκτώ κανάλια που προέκυψαν από το μετασχηματισμό MNF και τέσσερα κανάλια του δέκτη κυρίως για φωτοερμηνευτικούς λόγους. Αυτά ήταν ένα κανάλι από την περιοχή των μπλε, ένα κόκκινο, ένα πράσινο, και ένα υπέρυθρο. Στη συνέχεια ξεκίνησε η διαδικασία της κατάτμησης όπου μετά από δοκιμές καταλήξαμε στις εξής παραμέτρους:

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	1	0.7	0.3	0.5	0.5

Πίνακας 48: Κατάτμηση στο επίπεδο 1

Ο συντελεστής scale parameter είναι πολύ μικρός, γιατί διαφορετικά τα αντικείμενα που προέκυπταν ήταν μεγάλα και καθόλου αντιπροσωπευτικά των κατηγοριών που θέλουμε να ταξινομηθούν. Σε αυτό το επίπεδο ταξινομήθηκε η βλάστηση, η θάλασσα, οι χωματόδρομοι και οι ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι. Η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του “Εγγύτερου Γείτονα” και με τη βοήθεια κάποιων κανόνων. Παρακάτω παρατίθενται, η απεικόνιση με τα δείγματα εκπαίδευσης που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση για τη λειτουργία του “Εγγύτερου Γείτονα” και ο πίνακας με τους κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για το πρώτο επίπεδο.



Εικόνα 82: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα

Τα δείγματα εκπαίδευσης στην παραπάνω εικόνα δεν είναι ευδιάκριτα, λόγω του μεγέθους τους που όπως έχει προαναφερθεί είναι πολύ μικρό. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα τμήμα της εικόνας σε μεγέθυνση που διακρίνονται κάποια δείγματα εκπαίδευσης που ελήφθησαν.

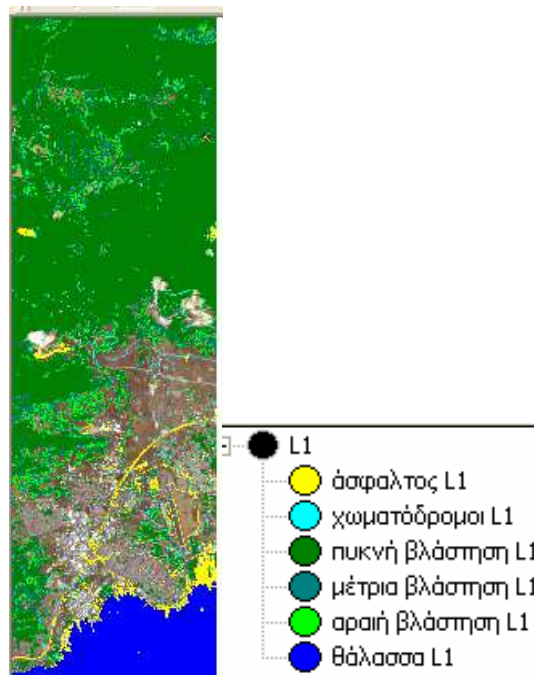


Εικόνα 83: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από την ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Θάλασσα		Water index		2.35	2.45
Χωματόδρομοι	and	Existence of άσφαλτος L1 Neighbor-objects (1)		0	1
		Existence of αστική περιοχή και λατομεία L2 Super-objects (1)		0	1
		Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Mean diff. to neighbors Resize (" : E01H183033200418411OPY.L 1R_fakeDim1_18'':hyperion_2004)14:4917-Mar-09 (0)		190	210
Άσφαλτος	and	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
		Existence of αστική περιοχή και λατομεία L2 Super-objects (1)		0	1
		Ratio Resize (" : E01H183033200418411OPY.L 1R_fakeDim1_44'':hyperion_2004)14:4917-Mar-09 (0)		0.2	0.22
Αραιή βλάστηση		NDVI		0.02	0.04
Μέτρια βλάστηση		NDVI		0.035	0.06
Πυκνή βλάστηση				0.055	0.08

Πίνακας 49: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Η ταξινόμηση που προκύπτει παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 84: Ταξινόμηση στο επίπεδο 1-υπόμνημα

Το αποτέλεσμα της παραπάνω ταξινόμησης θεωρείται μέτριο, αφού οι κατηγορίες που μας ενδιαφέρουν άμεσα, όπως είναι οι δρόμοι δεν έχουν ταξινομηθεί καθόλου καλά. Ως ασφαλτος ταξινομήθηκαν μεγάλα τμήματα της απεικόνισης παρόλο που δεν είναι και αρκετά τμήματα των χωματόδρομων δεν έχουν ταξινομηθεί καθόλου. Αντιθέτως, η βλάστηση και η θάλασσα ταξινομήθηκαν πολύ καλά.


#### 3.4.5.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Σε αυτό το επίπεδο σκοπός ήταν να ταξινομηθούν η αστική περιοχή και τα λατομεία ώστε να αφαιρεθούν στη συνέχεια από τις κατηγορίες των δρόμων και να μην υπάρχει σύγχυση μεταξύ τους. Έπειτα από τις δοκιμές που έγιναν καταλήξαμε στις παρακάτω παραμέτρους κατάτμησης:

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	2	0.6	0.4	0.7	0.3

Πίνακας 50: Κατάτμηση στο επίπεδο 2

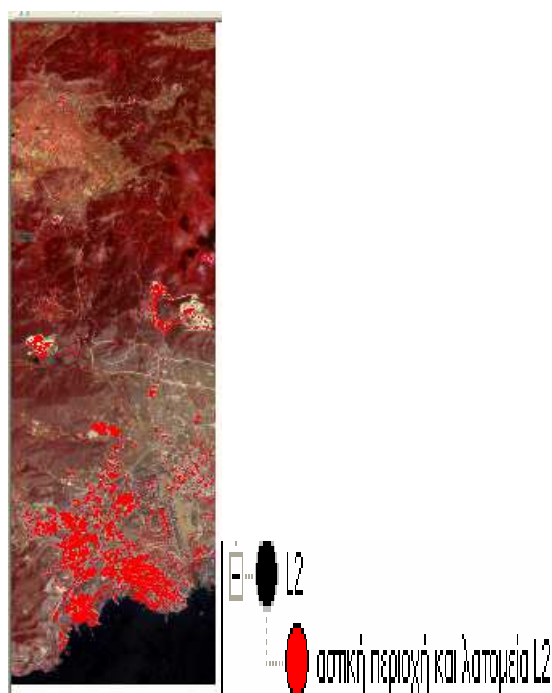
Η ταξινόμηση της κατηγορίας “αστική περιοχή και λατομεία” πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενός κανόνα ο οποίος φαίνεται παρακάτω.

Κατηγορία	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Αστική περιοχή και λατομεία	Mean Resize(MNFBand5(hyperion_2004_139bands.pix):hyperion_MNF)20:4213-Jul-09		3.5	4.5

Πίνακας 51: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση στο επίπεδο 2








Η ταξινόμηση του δευτέρου επιπέδου είναι:



Εικόνα 85: Ταξινόμηση στο επίπεδο 2-υπόμνημα

Και η συγκεκριμένη ταξινόμηση κρίνεται μέτρια, καθώς η φασματική κατηγορία που μας ενδιαφέρει δεν έχει ταξινομηθεί ικανοποιητικά.

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

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχή	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2
2	Level		1	3
	Existence of αραιή βλάστηση L1 Sub-objects (1)		0	1
	Existence of μέτρια βλάστηση L1 Sub-objects (1)		0	1
	Existence of πυκνή βλάστηση L1 Sub-objects (1)		0	1

Πίνακας 52: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής και για τα δύο επίπεδα



Εικόνα 86: Ιεραρχία κατηγοριών

## 4 Αξιολόγηση

Ένα άλλο αντικείμενο, το οποίο συνεχίζει να κεντρίζει την προσοχή των ειδικών σε θέματα Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης είναι η εκτίμηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων. Δυστυχώς, μέχρι σήμερα, η ικανότητα διεξαγωγής ψηφιακών ταξινομήσεων κάλυψης γης υπερβαίνει κατά πολύ την ικανότητα ποσοτικοποίησης της ακρίβειας. Μάλιστα, αυτό το πρόβλημα, μερικές φορές, εμποδίζει την εφαρμογή αυτοματοποιημένων τεχνικών ταξινόμησης κάλυψης γης, ακόμα και αν το κόστος τους είναι μικρότερο σε σύγκριση με το κόστος των πιο παραδοσιακών μέσων συλλογής δεδομένων. Η κεντρική ιδέα του όλου θέματος περικλείεται στη φράση: <<Μία ταξινόμηση δεν έχει ολοκληρωθεί, μέχρι να εκτιμηθεί η ακρίβειά της>>. (Αργιαλάς 1999).

### 4.1 Αξιολόγηση της ταξινόμησης στο λογισμικό eCognition

Με την ολοκλήρωση της ταξινόμησης των δεδομένων, επιβάλλεται η αξιολόγηση της ορθότητας των αποτελεσμάτων, πέραν της απλής εποπτείας από έμπειρο φωτοερμηνευτή, καθώς λόγω της ασαφούς λογικής που ακολουθήθηκε, το εκάστοτε αντικείμενο ενδέχεται να ανήκει σε πλείστες κατηγορίες με διάφορους βαθμούς συμμετοχής [0,1], ανάλογα με την επικάλυψη των πεδίων τιμών των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό κάθε κατηγορίας. Η εκτίμηση αξιοπιστίας των αντικειμένων και κατ' επέκταση της ταξινόμησης, εξαρτάται από την εκτίμηση σταθερότητας της εκάστοτε κατηγορίας, ήτοι από το πλήθος παραγωγής αμφιλεγόμενων αντικειμένων.

Μέσω πινάκων με στατιστικά στοιχεία για τους βαθμούς συμμετοχής των αντικειμένων για κάθε κατηγορία (ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή, τυπική απόκλιση), αξιολογείται αν υπάρχει αντιπροσωπευτική κατηγορία για το εκάστοτε αντικείμενο και ποια είναι αυτή με τα περισσότερα αμφιλεγόμενα αντικείμενα. Η κατηγορία με το μεγαλύτερο πλήθος αντικειμένων με υψηλούς βαθμούς συμμετοχής, κρίνεται ως η πιο σταθερή, άρα αξιόπιστη και με επιτυχή ορισμό. Το λογισμικό eCognition παρέχει σε κάθε επίπεδο κατάτμησης και ταξινόμησης εργαλεία που οπτικοποιούν τα στατιστικά αποτελέσματα και δύο μεθόδους υπολογισμού της εκτίμησης ακρίβειας, οι οποίες είναι:

#### 4.1.1 Μέθοδος βάσει αποτελέσματος της καλύτερης ταξινόμησης (best classification result)

Με την συγκεκριμένη μέθοδο αξιολογείται η ταξινόμηση μέσω της εκτίμησης του βαθμού συμμετοχής των αντικειμένων στην περιγραφική κατηγορία. Λόγω της ασαφούς λογικής της ταξινόμησης, το εκάστοτε αντικείμενο διαθέτει βαθμούς συμμετοχής σε πολλές κατηγορίες, αλλά καταχωρείται σε αυτήν για την οποία παρουσιάζει τον μέγιστο βαθμό συμμετοχής. Το αριθμητικό εξαγόμενο της αξιολόγησης είναι πίνακας με τιμές που προέκυψαν από στατιστικές συναρτήσεις για τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής με τους οποίους ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα στην εκάστοτε κατηγορία. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα αξιολόγησης του τρόπου με τον οποίον τα αντικείμενα της εκάστοτε κατηγορίας την περιγράφουν. Ο γραφικός τρόπος αναπαράστασης της αξιολόγησης οπτικοποιείται με έγχρωμη εικόνα, στην οποία η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί για το μη αμφιλεγόμενο

αντικείμενο (1.0) στο πράσινο και για το απόλυτα αμφιλεγόμενο αντικείμενο (0.0) στο κόκκινο.

#### 4.1.2 Μέθοδος της σταθερότητας ταξινόμησης (classification stability)

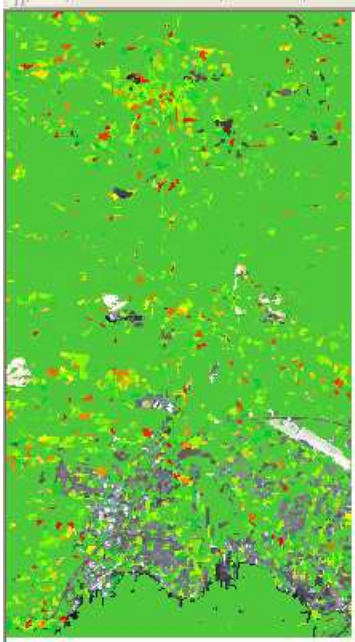

Η ταξινόμηση αξιολογείται μέσω του υπολογισμού της απόκλισης των δύο μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής του εκάστοτε αντικειμένου. Το αριθμητικό εξαγόμενο της αξιολόγησης είναι πίνακας με τιμές που προέκυψαν από στατιστικές συναρτήσεις για τις διαφορές των δύο μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής για κάθε κατηγορία. Ο γραφικός τρόπος αναπαράστασης της αξιολόγησης οπτικοποιείται με έγχρωμη εικόνα, στην οποία η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί για το μη αμφιλεγόμενο αντικείμενο (1.0) στο πράσινο και για το απόλυτα αμφιλεγόμενο αντικείμενο (0.0) στο κόκκινο.

### 4.2 Αξιολόγηση των ταξινομήσεων

Η αξιολόγηση στο λογισμικό eCognition πραγματοποιήθηκε μόνο στις καλύτερες ταξινομήσεις που προέκυψαν από τις εκάστοτε επεξεργασίες και στα επίπεδα που περιέχουν τις φασματικές κατηγορίες που μας ενδιαφέρουν άμεσα.

#### 4.2.1 Αξιολόγηση των ταξινομήσεων στις απεικονίσεις Landsat TM



4.2.1.1 Προσέγγιση II: Χρήση των καναλιών του δέκτη με έμφαση στις φασματικές υπογραφές για το επίπεδο 2

Classification stability						Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
χωματόδρομοι L2	471	0.642	0.284	0	1	χωματόδρομοι L2	471	0.754	0.206	0.101	1
πυκνή βλάστηση L2	5026	0.917	0.22	0	1	πυκνή βλάστηση L2	5026	0.957	0.122	0.102	1
θαλάσσια L2	36	0.953	0.183	0.104	1	θαλάσσια L2	36	0.953	0.183	0.104	1
εδάφος L2	1875	0.688	0.279	0	1	εδάφος L2	1875	0.791	0.2	0.106	1
αραιή βλάστηση L2	2397	0.582	0.357	0	1	αραιή βλάστηση L2	2397	0.786	0.269	0.1	1

Πίνακας 53: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση II στο επίπεδο 2

Η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με την δεύτερη καλύτερη κατηγορία για τους χωματόδρομους σύμφωνα με το classification stability είναι 64.2 %, ποσοστό που δείχνει ότι ο διαχωρισμός των χωματόδρομων έγινε με επιτυχία. Σύμφωνα με το εργαλείο best classification result η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής για την κατηγορία των χωματόδρομων είναι 75.4%, ποσοστό το οποίο είναι υψηλό. Από τις τιμές maximum και minimum φαίνεται ότι τουλάχιστον ένα αντικείμενο ταξινομήθηκε ως χωματόδρομος με βαθμό συμμετοχής 1, ενώ ο μικρότερος βαθμός συμμετοχής με τον οποίο ένα αντικείμενο ταξινομήθηκε ως χωματόδρομος ήταν 0.101.

4.2.1.2 Προσέγγιση II: Χρήση των καναλιών του δέκτη με έμφαση στις φασματικές υπογραφές για το επίπεδο 3

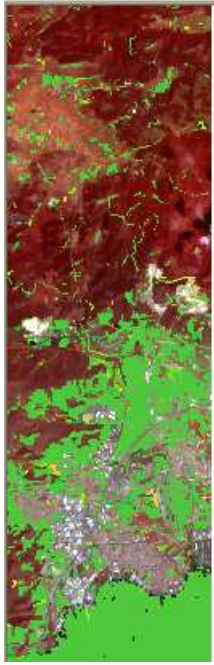
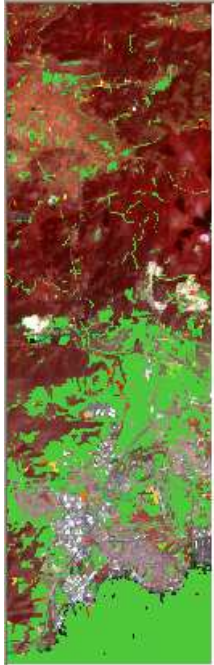
Classification stability						Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
άσφαλτος L3	30	0.8	0.238	0.111	1	άσφαλτος L3	30	0.8	0.238	0.111	1
οροφές και πλατομεία L3	295	0.658	0.222	0.102	1	οροφές και πλατομεία L3	295	0.658	0.222	0.102	1

Πίνακας 54: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση II στο επίπεδο 3

Σε αυτό το επίπεδο, όπως βλέπουμε από το classification stability η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με την δεύτερη καλύτερη κατηγορία για την άσφαλτο είναι 80% όπως επίσης και η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής για την ίδια κατηγορία.

4.2.2 Αξιολόγηση των ταξινομήσεων στις απεικονίσεις Hyperion

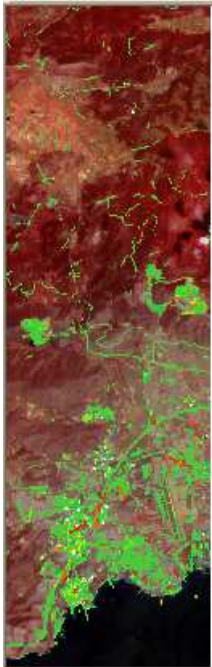
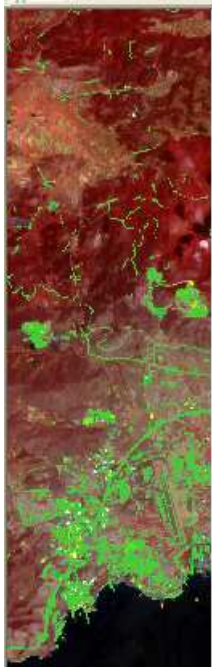
4.2.2.1 Προσέγγιση II: Ταξινόμηση στα κανάλια των Κυρίων Συνιστωσών με έμφαση στις φασματικές υπογραφές για το επίπεδο 2

Classification stability						Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
χωματόδρομοι L2	261	0.599	0.271	0.0101	1	χωματόδρομοι L2	261	0.664	0.239	0.105	1
εδωφος L2	1114	0.699	0.21	0.00157	1	εδωφος L2	1114	0.714	0.194	0.101	1
θαλάσσια L2	120	0.989	0.0814	0.253	1	θαλάσσια L2	120	0.989	0.0814	0.253	1

Πίνακας 55: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση II στο επίπεδο 2

Η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με την δεύτερη καλύτερη κατηγορία για τους χωματόδρομους σύμφωνα με το classification stability είναι 59.9%, ενώ η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής σύμφωνα με το best classification result είναι 66.4%.

4.2.2.2 Προσέγγιση II: Ταξινόμηση στα κανάλια των Κυρίων Συνιστωσών με έμφαση στις φασματικές υπογραφές για το επίπεδο 3

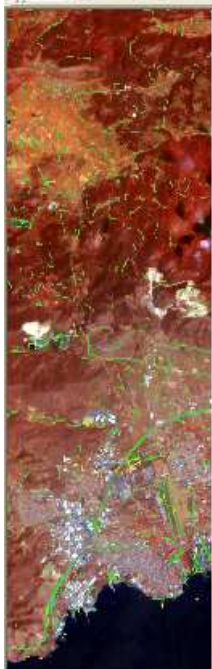
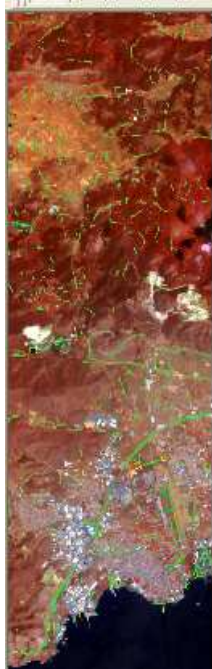
Classification stability						Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
άσφαλτος L3	128	0.639	0.318	0.00325	1	άσφαλτος L3	128	0.736	0.243	0.134	1
αστική περιοχή και πλατομεία L3	1207	0.602	0.276	0.00396	1	αστική περιοχή και πλατομεία L3	1207	0.633	0.264	0.102	1
χωματόδρομοι L3	238	1	0	1	1	χωματόδρομοι L3	238	1	0	1	1

Πίνακας 56: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση II στο επίπεδο 3

Στη συγκεκριμένη προσέγγιση σύμφωνα με το classification stability η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με την δεύτερη καλύτερη κατηγορία για την άσφαλο είναι 63.9% και η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής 73.6%.





4.2.2.3 Προσέγγιση IV: Ταξινόμηση στα κανάλια που προκύπτουν από τη Μέθοδο Επιλογής Χαρακτηριστικών με έμφαση στις φασματικές υπογραφές για το επίπεδο 3

Classification stability						Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
άσφαλτος L3	215	0.543	0.311	0.103	1	άσφαλτος L3	215	0.543	0.311	0.103	1
χωματόδρομοι L3	419	0.989	0.0895	0.027	1	χωματόδρομοι L3	419	0.992	0.0756	0.15	1

Πίνακας 57: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση IV

Στην παραπάνω προσέγγιση η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με την δεύτερη καλύτερη κατηγορία, σύμφωνα με το classification stability, για την άσφαλτο είναι 54.3% ενώ για τους χωματόδρομους 98.9%, ένα ιδιαίτερα μεγάλο ποσοστό. Όσον αφορά το εργαλείο best classification result η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής για την κατηγορία της ασφάλτου είναι 54.3%, ενώ για τους χωματόδρομους 99.2%.

4.2.2.4 Προσέγγιση V: Ταξινόμηση στα κανάλια που προκύπτουν από το μετασχηματισμό MNF με έμφαση στις φασματικές υπογραφές

Classification stability						Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
θάλασσα L1	18923	0.779	0.0518	0.131	1	θάλασσα L1	18923	1	0.00925	0.373	1
αραιή βλάστηση L1	10595	0.824	0.26	0.000221	1	αραιή βλάστηση L1	10595	0.887	0.195	0.1	1
μέτρια βλάστηση L1	13313	0.841	0.25	0.00139	1	μέτρια βλάστηση L1	13313	0.885	0.197	0.1	1
πυκνή βλάστηση L1	97109	0.961	0.15	0.0214	1	πυκνή βλάστηση L1	97109	0.965	0.144	0.1	1
χωματόδρομοι L1	3392	0.47	0.186	3.87e-006	1	χωματόδρομοι L1	3392	0.491	0.178	0.102	1
άσφαλτος L1	5718	0.549	0.237	0.000343	1	άσφαλτος L1	5718	0.552	0.235	0.1	1

Πίνακας 58: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση V

Στη συγκεκριμένη προσέγγιση παρατηρούνται τα μικρότερα ποσοστά όσον αφορά και τα δύο εργαλεία. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το classification stability, η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με την δεύτερη καλύτερη κατηγορία για την άσφαλτο είναι 54.9% και για τους χωματόδρομους 47%, ποσοστά που δηλώνουν χαμηλή ευστάθεια της ταξινόμησης αυτών των κατηγοριών. Επίσης, από τα αποτελέσματα του best classification result η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής για την άσφαλτο είναι 55.2% και για τους χωματόδρομους 49.1%. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι συγκεκριμένες φασματικές κατηγορίες διεκδικούνταν από άλλες κατηγορίες λόγω της παρόμοιας φασματικής τους υπογραφής.

Συμπερασματικά, σύμφωνα με τους παραπάνω ελέγχους οι χωματόδρομοι ταξινομήθηκαν καλύτερα στην προσέγγιση IV που είναι η επιλογή καναλιών, ενώ ακολουθεί η προσέγγιση II της απεικόνισης Landsat TM και στη συνέχεια η προσέγγιση II της απεικόνισης Hyperion που είναι η μέθοδος PCA. Η μέθοδος μετασχηματισμού MNF έδωσε τα χειρότερα αποτελέσματα για τους χωματόδρομους και για την άσφαλτο. Πολύ άσχημα αποτελέσματα για την άσφαλτο έδωσε και η

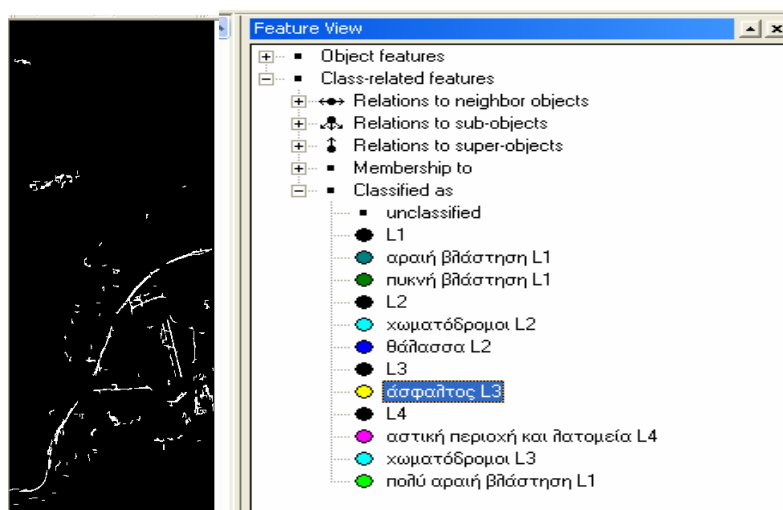
επιλογή καναλιών. Τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την ταξινόμηση της ασφάλτου προέκυψαν από την προσέγγιση II της απεικόνισης Landsat TM και στη συνέχεια από τη μέθοδο PCA. Πέραν αυτής της διαδικασίας, αποφασίστηκε να διεξαχθεί και μια επιπλέον αξιολόγηση με πίνακα σύγχυσης και δείγματα.

#### 4.3 Αξιολόγηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων στο λογισμικό ArcGIS

Σκοπός της συγκεκριμένης διαδικασίας ήταν να ελεγχθεί το ποσοστό του οδικού δικτύου το οποίο ταξινομήθηκε σωστά, συγκρινόμενο με το συνολικό οδικό δίκτυο της εκάστοτε εικόνας. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας προκύπτουν δύο σφάλματα τα οποία δηλώνουν την ακρίβεια με την οποία πραγματοποιήθηκε η κάθε ταξινόμηση. Αυτά είναι, το σφάλμα παράλειψης (omission error) το οποίο εκφράζει το ποσοστό του οδικού δικτύου που δεν ταξινομήθηκε καθόλου και το σφάλμα συμπερίληψης (commission error) το οποίο εκφράζει το ποσοστό των αντικειμένων που λανθασμένα ταξινομήθηκαν ως οδικό δίκτυο, διότι ανήκουν σε άλλες φασματικές κατηγορίες. Η αξιολόγηση αυτή πραγματοποιήθηκε μόνο για τις καλύτερες ταξινομήσεις και πιο συγκεκριμένα για την προσέγγιση II της απεικόνισης Landsat TM, για την προσέγγιση II της απεικόνισης Hyperion και για την προσέγγιση IV της απεικόνισης Hyperion. Κατά την προηγούμενη διαδικασία αξιολόγησης ελέγχθηκε και η προσέγγιση V του μετασχηματισμού MNF, όμως λόγω της χαμηλής της ακρίβειας δεν πραγματοποιήθηκε έλεγχος στο λογισμικό ArcGIS.

##### 4.3.1 Επεξεργασία στο λογισμικό eCognition

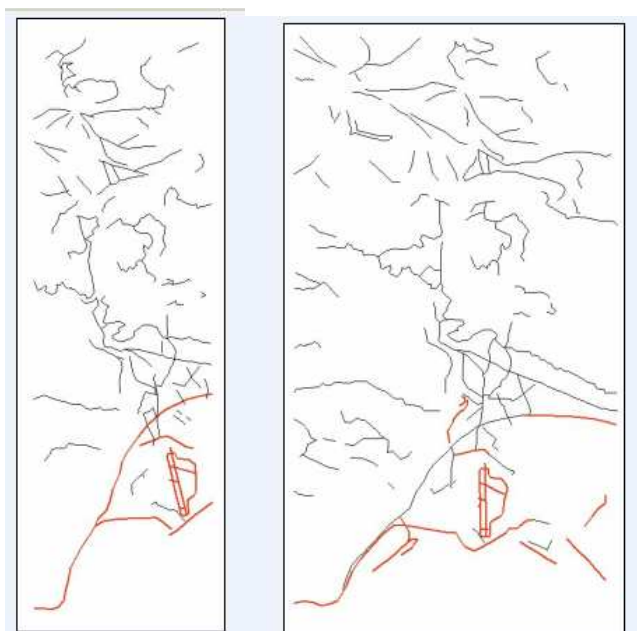
Αρχικά, για κάθε ταξινόμηση την οποία θα αξιολογήσουμε, δημιουργήσαμε μια δυαδική εικόνα (bitmap) με τη βοήθεια του λογισμικού eCognition. Σε κάθε τέτοια εικόνα παρουσιάζονται με άσπρο χρώμα τα αντικείμενα που έχουν ταξινομηθεί στη συγκεκριμένη κατηγορία που έχουμε επιλέξει, και όλη η υπόλοιπη περιοχή παρουσιάζεται με μαύρο χρώμα. Στη συνέχεια παρατίθεται ενδεικτικά μια τέτοια εικόνα και το παράθυρο διαλόγου για τη δημιουργία της στο λογισμικό.



Εικόνα 87: Δυαδική εικόνα για την κατηγορία άσφαλτος (αριστερά) και παράθυρο διαλόγου στο eCognition (δεξιά)

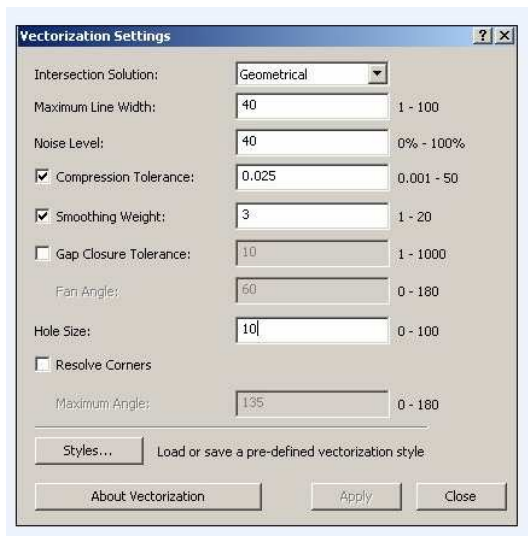
#### 4.3.2 Επεξεργασία στο λογισμικό ArcGIS

Σε πρώτο στάδιο, ψηφιοποιήθηκαν όλοι οι δρόμοι με τη βοήθεια του λογισμικού GIS φωτοερμηνευτικά. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε δύο φορές αφού είχαμε δύο διαφορετικές εικόνες. Κατά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης έγινε και διαχωρισμός του οδικού δικτύου σε δύο βασικές κατηγορίες: άσφαλτος και χωματόδρομοι. Βέβαια το ιδανικό θα ήταν να υπάρχουν περισσότερες κατηγορίες, όμως στις συγκεκριμένες εικόνες λόγω της χαμηλής τους διακριτικής ικανότητας αυτό δεν είναι εφικτό. Παρακάτω παρατίθενται οι ψηφιοποιημένες εικόνες που προέκυψαν με τη βοήθεια του λογισμικού GIS.



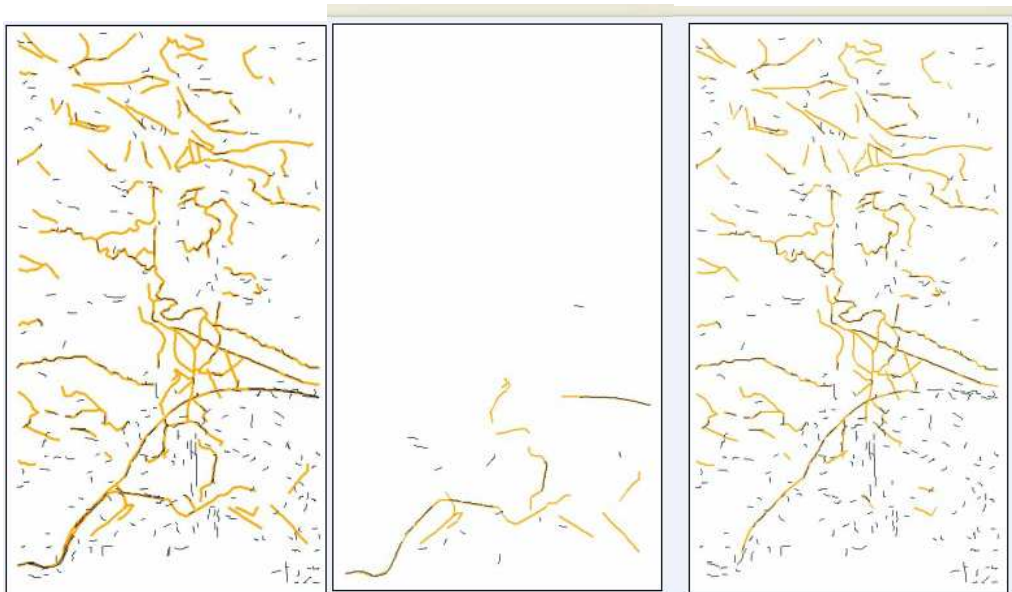
Εικόνα 88: Αποτέλεσμα ψηφιοποίησης, όπου με κόκκινο χρώμα διακρίνεται η άσφαλτος και ο αεροδιάδρομος και με μαύρο οι χωματόδρομοι, για την εικόνα Hyperion (αριστερά) και για τη Landsat (δεξιά)

Έπειτα, εισάγονται στο λογισμικό ArcGIS οι δυαδικές εικόνες που προέκυψαν από το λογισμικό eCognition και διανυσματικοποιούνται (vectorization). Το λογισμικό ανιχνεύει τα αντικείμενα στην εικόνα και με βάση παραμέτρους που ρυθμίζει ο χρήστης, όπως το μέγιστο πλάτος της γραμμής και το βαθμό λείανσης, τα αντικαθιστά από διανύσματα που διέρχονται από το κέντρο τους (centerlines).



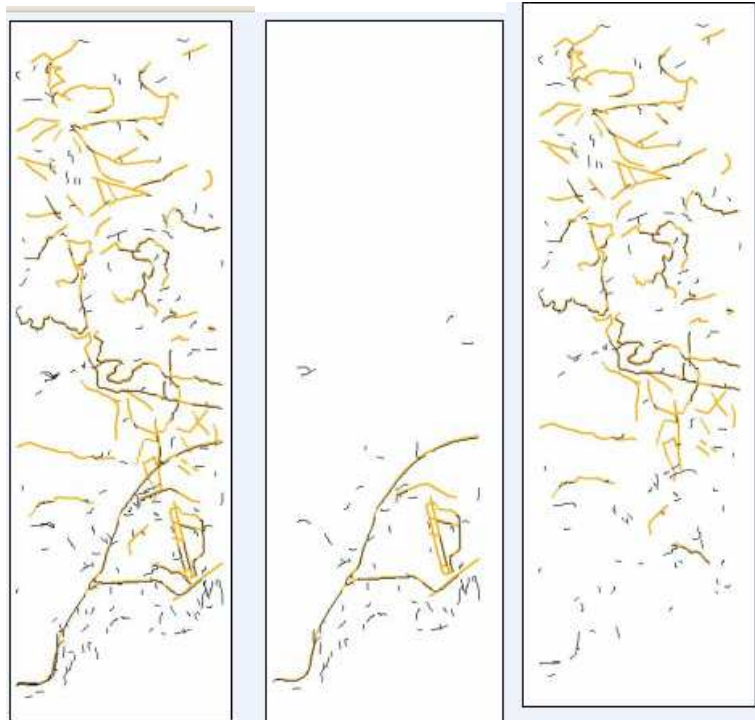
Εικόνα 89: Παράθυρο διαλόγου στο ArcGIS για τη ρύθμιση των παραμέτρων της διανυσματικοποίησης

Κατόπιν, πραγματοποιείται έλεγχος ταύτισης της ψηφιοποιημένης εικόνας με αυτή που προέκυψε από τη διανυσματικοποίηση. Το αποτέλεσμα που προέκυψε από αυτή τη διαδικασία φαίνεται παρακάτω.

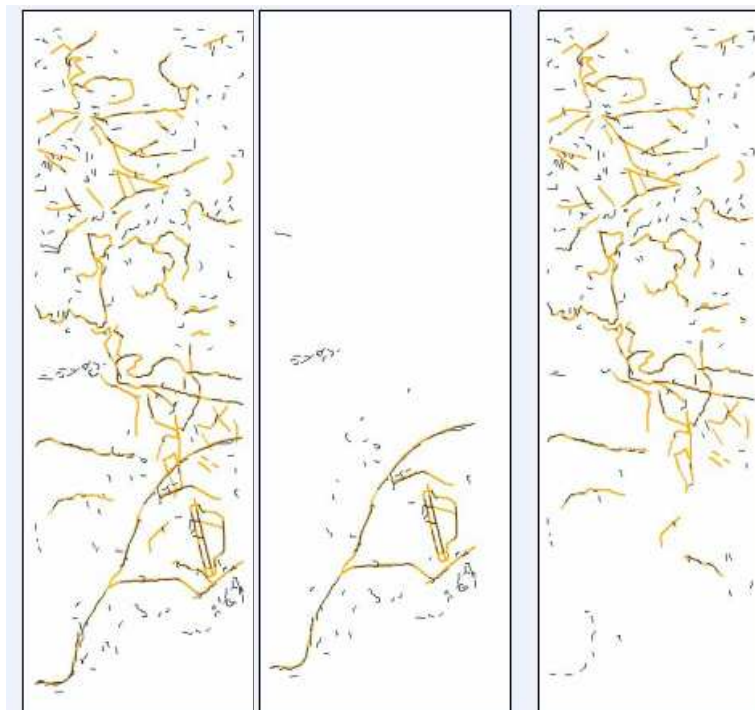


Εικόνα 90: Ταύτιση ψηφιοποιημένου οδικού δικτύου (κίτρινο χρώμα) με το αντίστοιχο ταξινομημένο (μαύρο χρώμα) στην προσέγγιση II της απεικόνισης Landsat TM, για όλο το οδικό δίκτυο (αριστερά), για την ασφαλτο (κέντρο) και για τους χωματόδρομους (δεξιά)





Εικόνα 91: Ταύτιση ψηφιοποιημένου οδικού δικτύου (κίτρινο χρώμα) με το αντίστοιχο ταξινομημένο (μαύρο χρώμα) στην προσέγγιση II της απεικόνισης Hyperion, για όλο το οδικό δίκτυο (αριστερά), για την άσφαλο (κέντρο) και για τους χωματόδρομους (δεξιά)



Εικόνα 92: Ταύτιση ψηφιοποιημένου οδικού δικτύου (κίτρινο χρώμα) με το αντίστοιχο ταξινομημένο (μαύρο χρώμα) στην προσέγγιση IV της απεικόνισης Hyperion, για όλο το οδικό δίκτυο (αριστερά), για την άσφαλο (κέντρο) και για τους χωματόδρομους (δεξιά)

Στο λογισμικό ArcGIS ψηφιοποιήθηκαν οι άξονες του οδικού δικτύου, ενώ το αποτέλεσμα της ταξινόμησης έχει συμπεριλάβει ως οδικό δίκτυο και ορισμένα τμήματα τα οποία βρίσκονται εκατέρωθεν του οδικού δικτύου σε μικρή απόσταση. Οπότε, είναι αδύνατο να υπάρξει απόλυτη ταύτιση των δύο εικόνων, και για αυτό το λόγο δόθηκε ένα όριο ανοχής (buffer), το οποίο έπειτα από αρκετές δοκιμές ορίστηκε στα 3 pixels εκατέρωθεν των αξόνων του οδικού δικτύου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εικόνες όπου με γαλάζιο χρώμα φαίνονται τα τμήματα του οδικού δικτύου που ταξινομήθηκαν σωστά και ταυτίζονται με το ψηφιοποιημένο οδικό δίκτυο.

#### 4.3.2.1 Ακρίβειες των ταξινομήσεων

Όπως έχει προαναφερθεί, η ακρίβεια των ταξινομήσεων υποδηλώνεται από το σφάλμα παράλειψης (omission error), που υπολογίζεται διαιρώντας το μήκος του οδικού δικτύου που δεν ταξινομήθηκε, προς το συνολικό μήκος του οδικού δικτύου που προέκυψε από την ψηφιοποίηση, και από το σφάλμα συμπερίληψης (commission error), που υπολογίζεται διαιρώντας το μήκος των λανθασμένα ταξινομημένων περιοχών ως οδικό δίκτυο προς το συνολικό μήκος του οδικού δικτύου που προέκυψε από την ψηφιοποίηση. Τα συγκεκριμένα σφάλματα υπολογίστηκαν για το συνολικό οδικό δίκτυο, αλλά και για κάθε κατηγορία ξεχωριστά. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι στην προσέγγιση II της απεικόνισης Landsat TM ο αεροδιάδρομος δεν ελήφθη υπόψη, γιατί ταξινομήθηκε ως χωματόδρομος κάτι το οποίο δεν ισχύει. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα των σφαλμάτων για κάθε προσέγγιση.

Προσέγγιση	Κατηγορία οδικού δικτύου	Σφάλμα παράλειψης	Σφάλμα συμπερίληψης
Landsat TM II	Συνολικό	66%	36%
	Άσφαλτος	67%	15%
	Χωματόδρομοι	69.5%	43%
Hyperion PCA II	Συνολικό	58%	34%
	Άσφαλτος	35%	67%
	Χωματόδρομοι	67%	29%
Hyperion 17 bands IV	Συνολικό	55%	34%
	Άσφαλτος	30%	58%
	Χωματόδρομοι	63%	29%

Πίνακας 59: Σφάλματα παράλειψης και συμπερίληψης των καλύτερων προσεγγίσεων

Όπως διαπιστώνουμε από τον παραπάνω πίνακα τα σφάλματα τα οποία προέκυψαν είναι μεγάλα. Το μεγάλο σφάλμα παράλειψης δηλώνει ότι αρκετά τμήματα του οδικού δικτύου δεν ταξινομήθηκαν καθόλου, και αυτό συνέβη σε μεγάλο ποσοστό στους χωματόδρομους, λόγω του γεγονότος της παρουσίας βλάστησης εκατέρωθεν αυτών, που σε συνδυασμό με τη χαμηλή διακριτική ικανότητα της εικόνας καθιστούν την ταξινόμηση ιδιαίτερα δύσκολη. Το σφάλμα συμπερίληψης είναι μεγαλύτερο στις υπερφασματικές εικόνες για την κατηγορία της ασφάλτου, κάτι που σημαίνει ότι αρκετά τμήματα ταξινομήθηκαν ως άσφαλτος παρόλο που δεν είναι. Αυτό οφείλεται στην παρόμοια φασματική υπογραφή των υλικών που συναντώνται στις αστικές περιοχές με την αντίστοιχη της ασφάλτου. Τα καλύτερα αποτελέσματα τα έδωσε η προσέγγιση IV, που είναι η μέθοδος επιλογής καναλιών, ενώ τα χειρότερα η πρώτη

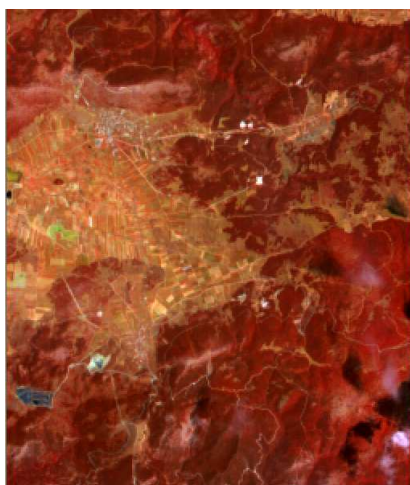
προσέγγιση, που αφορά την απεικόνιση Landsat TM. Όσον αφορά τους χωματόδρομους τα σφάλματα είναι μικρότερα στην προσέγγιση IV, και τα μεγαλύτερα συναντώνται στην πρώτη προσέγγιση. Για την κατηγορία της ασφάλτου το μικρότερο σφάλμα παράλειψης παρουσιάζεται στην προσέγγιση IV, ενώ στην πρώτη προσέγγιση έχουμε πολύ μικρό σφάλμα συμπερίληψης για την άσφαλο. Για να θεωρείται επιτυχημένη μια ταξινόμηση πρέπει τα σφάλματα να είναι όσο το δυνατό πιο μικρά και να έχουν παρεμφερείς τιμές. Για το λόγο αυτό λοιπόν πιο επιτυχημένη θεωρείται η ταξινόμηση που προέκυψε από τη μέθοδο επιλογής καναλιών.



## 5 Συμπεράσματα

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης σχετικά με το οδικό δίκτυο τόσο σε υπερφασματικές εικόνες Hyperion όσο και σε πολυφασματικές εικόνες Landsat. Τελικά, τα συμπεράσματα που προκύπτουν έπειτα από την επεξεργασία και την αξιολόγηση όλης αυτής της διαδικασίας, είναι ότι:

1. οι υπερφασματικές απεικονίσεις είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την ανάδειξη γραμμικών στοιχείων, όπως το οδικό δίκτυο, έναντι των πολυφασματικών απεικονίσεων, λόγω της δυνατότητας των επεξεργασιών που μπορούν να εφαρμοστούν, όπως η μέθοδος μετασχηματισμού MNF, η μέθοδος PCA και η μέθοδος επιλογής καναλιών
2. τα καλύτερα αποτελέσματα προέκυψαν από τη μέθοδο επιλογής καναλιών, αφού υπάρχει η δυνατότητα ούτως ώστε ο χρήστης να επιλέξει συγκεκριμένα κανάλια, που οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών που τον ενδιαφέρουν να διαφοροποιούνται σημαντικά
3. για την ταξινόμηση του οδικού δικτύου σημαντικό ρόλο παίζει η διακριτική ικανότητα των απεικονίσεων, με αποτέλεσμα όταν αυτή είναι χαμηλή (όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση) να μειώνεται αισθητά η ακρίβεια της ταξινόμησης
4. η μέθοδος μετασχηματισμού MNF δεν έδωσε καθόλου ικανοποιητικά αποτελέσματα, όπως συνέβη και σε προηγούμενη διπλωματική εργασία (Σταματάκης I.2009)
5. η αντικειμενοστραφής ανάλυση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη μέθοδος συγκριτικά με παλαιότερες μεθόδους ταξινόμησης και σημαντικό ρόλο για το αποτέλεσμα της ταξινόμησης διαδραματίζει το στάδιο της κατάτμησης
6. η ανίχνευση και εξαγωγή των χωματόδρομων είναι ιδιαίτερα δύσκολη, γιατί εκατέρωθεν αυτών υπάρχει βλάστηση και λόγω της χαμηλής διακριτικής ικανότητας των απεικονίσεων είναι σχεδόν αδύνατος ο διαχωρισμός των δύο αυτών φασματικών κατηγοριών. Σε μια έγχρωμη σύνθετη απεικόνιση Hyperion RGB(432) που παρουσιάζεται στη συνέχεια οι χωματόδρομοι απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα όπως και η βλάστηση



Εικόνα 93: Έγχρωμη σύνθετη απεικόνιση Hyperion RGB(432) που διακρίνονται με κόκκινο χρώμα οι χωματόδρομοι και η βλάστηση

7. για την ακριβέστερη και πιο λεπτομερή ταξινόμηση του οδικού δικτύου είναι απαραίτητες υπερφασματικές απεικονίσεις με μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από επεξεργασία υπερφασματικών απεικονίσεων διακριτικής ικανότητας τριών μέτρων (Σταματάκης Ι. 2009) είναι πολύ πιο ικανοποιητικά από τα αντίστοιχα των συγκεκριμένων επεξεργασιών.

Τέλος, αναφέρονται κάποιες σημαντικές προτάσεις που μπορούν να συμβάλλουν στην ανάχνευση και ανάδειξη του οδικού δικτύου.

1. η δημιουργία ενός νέου υπερφασματικού δέκτη με διακριτική ικανότητα ανάλογη του πολυφασματικού δέκτη IKONOS ή του QuickBird
2. η χρήση φίλτρων για την ενίσχυση των γραμμικών στοιχείων των απεικονίσεων ίσως βοηθήσει να επιλυθούν ορισμένα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε.

## Βιβλιογραφία

Αργιαλάς Δ. (2000), "Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση", Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Αργιαλάς Δ. (1998), "Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση", Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Argialas, D., and Harlow C., 1990. : Computational Image Interpretation Models: An Overview and a Perspective. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing

Argialas D, Derzekos P., 2004: Mapping Urban Green from IKONOS Data by an Object-Oriented Knowledge Base and Fuzzy Logic. D. P. Argialas, P. G. Derzekos, National Technical University of Athens, Department of Rural & Surveying Engineering, Laboratory of Remote Sensing

Baatz, M. and Schape A., 2000: Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000, Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag: 12–23.

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.

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

Definiens, 2000 and 2001: eCognition User Guide, Munchen

Κολοκούσης Θ. Π. (2008), "Ανάπτυξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Υπερφασματικών και Θερμικών Ψηφιακών Τηλεπισκοπικών Δεκτών για την Ανίχνευση Παρακτίων και Υποθαλασσιών 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, Commission 3, Vol. XXXV, part B3, ISSN 1682-1750.

Ρόκος Δ. (2005). "Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση", Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Σταματάκης Ι. (2009): "Ανίχνευση και Εξαγωγή του Οδικού Δικτύου με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση Υπερφασματικών Δεδομένων Αερομεταφερόμενου Σαρωτή". Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/eo1.htm>