



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

**Ανίχνευση και Εξαγωγή του Οδικού Δικτύου  
με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση  
Πολυφασματικών Απεικονίσεων Quickbird**

**Πατεράκης Ι. Περικλής**

**Διπλωματική Εργασία**

Επιβλέπων:

Δ. Αργιαλάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Δ. Αργιαλάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Γ. Ψαριανός, Καθηγητής ΕΜΠ

Β. Καραθανάση, Επίκ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

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

**Αθήνα, Φεβρουάριος 2010**



## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με σκοπό την ανίχνευση και την εξαγωγή του οδικού δικτύου αστικής περιοχής με την τεχνική της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης απεικονίσεων υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας.

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

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

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Δρ. Μηχ. Πολυχρόνη Κολοκούση, για τη συνεχή βοήθεια που μου προσέφερε σε όποια προβλήματα προέκυπταν, για την παροχή του απαραίτητου υλικού και να αναφέρω πως δίχως τη συνεχή του καθοδήγηση και τις χρήσιμες συμβουλές του η ολοκλήρωση της εργασίας δε θα ήταν εφικτή.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με στήριξαν σε όλο αυτό το όμορφο ταξίδι της φοιτητικής μου ζωής.

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

Περιεχόμενα	
<b>Περιεχόμενα</b> .....	<b>1</b>
<b>Πίνακας σχημάτων</b> .....	<b>6</b>
<b>Πίνακας πινάκων</b> .....	<b>8</b>
<b>Περίληψη</b> .....	<b>10</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b> .....
	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας</b> .....
	<b>14</b>
2.1	Αντικειμενοστραφής Ανάλυση .....
	14
2.1.1	Κατάτμηση (segmentation).....
	14
2.1.2	Ιεραρχικό δίκτυο Αντικειμένων.....
	17
2.1.3	Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση (object-oriented classification) .....
	18
2.1.4	Ιεραρχία κατηγοριών (class-hierarchy).....
	21
2.1.5	Χαρακτηριστικά γνωρίσματα στο eCognition.....
	23
<b>3</b>	<b>Μεθοδολογία</b> .....
	<b>26</b>
3.1	Περιοχή μελέτης - περιγραφή δεδομένων .....
	26
3.2	Εργαλεία-Χαρακτηριστικά στο ECognition .....
	27
3.3	Μεθοδολογία ανίχνευσης του οδικού δικτύου στην απεικόνιση του Αγίου Νικολάου.....
	28
3.3.1	Λόγοι και πράξεις .....
	29
3.3.2	Προσέγγιση 1: Ταξινόμηση με αποκλειστική χρήση του εγγύτερου γείτονα (Nearest Neighbor).....
	30
3.3.3	Προσέγγιση 2: Κατάτμηση μικρής κλίμακας και ταξινόμηση με έμφαση στα χαρακτηριστικά σχήματος .....
	32
3.3.3.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1.....
	32
3.3.3.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 3 .....
	33
3.3.3.3	Κατάτμηση και ταξινόμηση του επιπέδου 2.....
	35
3.3.4	Προσέγγιση 3 : Ταξινόμηση των αστικών δρόμων με έμφαση στα φασματικά τους χαρακτηριστικά.....
	37
3.3.4.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση του επιπέδου 1 .....
	37
3.3.4.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2.....
	38
3.3.5	Προσέγγιση 4: Ταξινόμηση με έμφαση στα χαρακτηριστικά σχήματος.....
	40
3.3.5.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 1 .....
	40
3.3.5.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 2 .....
	41
3.3.6	Προσέγγιση 5: Ταξινόμηση με έμφαση στα φασματικά χαρακτηριστικά, χρήση του δείκτη road index .....
	43
3.3.6.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 1 .....
	44
3.3.6.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση του επιπέδου 2.....
	45
3.3.7	Προσέγγιση 6 Ταξινόμηση του οδικού δικτύου με ταυτόχρονο διαχωρισμό των ασφαλτοστρωμένων δρόμων από τους χωματόδρομους .....
	47
3.3.7.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 1 .....
	48
3.3.7.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 2 .....
	49
3.3.7.3	Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 4 .....
	52
3.3.7.4	Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 3 .....
	54
3.3.8	Προσέγγιση 7: Διαχωρισμός του συνόλου του οδικού δικτύου σε τέσσερις κατηγορίες.....
	60
3.3.8.1	Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 5 .....
	60
3.3.8.2	Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 4.....
	62
<b>4</b>	<b>Αξιολόγηση</b> .....
	<b>64</b>
4.1	Αξιολόγηση της αξιοπιστίας της ταξινόμησης στο λογισμικό eCognition ....
	64

4.1.1	Προσέγγιση 1: Ταξινόμηση με αποκλειστική χρήση του εγγύτερου γείτονα (Nearest Neighbor).....	65
4.1.2	Προσέγγιση 2: Κατάτμηση μικρής κλίμακας και ταξινόμηση με έμφαση στα χαρακτηριστικά σχήματος .....	66
4.1.3	Προσέγγιση 3: Ταξινόμηση των αστικών δρόμων με έμφαση στα φασματικά τους χαρακτηριστικά.....	67
4.1.4	Προσέγγιση 4: Ταξινόμηση με έμφαση στα χαρακτηριστικά σχήματος.....	67
4.1.5	Προσέγγιση 5: Ταξινόμηση με έμφαση στα φασματικά χαρακτηριστικά, χρήση του δείκτη road index .....	68
4.1.6	Προσέγγιση 6: Ταξινόμηση του οδικού δικτύου με ταυτόχρονο διαχωρισμό των ασφαλτοστρωμένων δρόμων από όπως χωματόδρομους .....	69
4.1.7	Προσέγγιση 7: Διαχωρισμός του συνόλου του οδικού δικτύου σε τέσσερις κατηγορίες.....	70
4.2	Έλεγχος ακρίβειας ταξινομήσεων .....	70
4.2.1	Μέθοδος αξιολόγησης .....	70
4.2.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων ελέγχου ταύτισης .....	74
4.2.3	Σχολιασμός ελέγχου ταύτισης .....	74
4.3	Διερεύνηση αυτοματοποίησης της διαδικασίας.....	75
<b>5</b>	<b>Συμπεράσματα - Προτάσεις .....</b>	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>79</b>

## Πίνακας σχημάτων

Εικόνα 1: Παράθυρο καθορισμού των παραμέτρων κατάτμησης.....	16
Εικόνα 2: Διάγραμμα ιεραρχικού δικτύου αντικειμένων .....	18
Εικόνα 3: Δείγματα που καθορίζονται από το χρήστη για ταξινόμηση με χρήση του εγγύτερου γείτονα .....	20
Εικόνα 4: Ιστογράμματα δειγμάτων σε όλα τα κανάλια του δέκτη. Σύγκριση δύο θεματικών κατηγοριών (δρόμων και χωματόδρομων) .....	20
Εικόνα 5: Συναρτήσεις συμμετοχής ασαφούς λογικής. Ρύθμιση της μορφής και των ορίων στο λογισμικό eCognition.....	21
Εικόνα 6: Ιεραρχία των επιπέδων ανάλυσης της εικόνας του Αγίου Νικολάου με διαφορετική κλίμακα και παραμέτρους κατάτμησης .....	23
Εικόνα 7: Εικόνα του χαρακτηριστικού length (αριστερά) επιλογή των ορίων της συνάρτησης.....	24
Εικόνα 8: ταξινόμηση με χρήση υπό-αντικειμένων .....	25
Εικόνα 9: Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1(R,G,B) της περιοχής του Αγ. Νικολάου .....	26
Εικόνα 10: Παράθυρο διαλόγου μίξης επιπέδων (Layer Mixing).....	29
Εικόνα 11: Έγχρωμο σύνθετο 4,3,2(R,G,B) απεικόνισης Αγ. Νικολάου.....	29
Εικόνα 12: Δείγματα που ελήφθησαν πριν από τη ταξινόμηση .....	31
Εικόνα 13: Αποτέλεσμα ταξινόμησης με αποκλειστική χρήση του εγγύτερου γείτονα.....	32
Εικόνα 14: Αποτέλεσμα ταξινόμησης επιπέδου 1 .....	33
Εικόνα 15: Αποτέλεσμα ταξινόμησης επιπέδου 3 .....	34
Εικόνα 16: Αντικείμενα της κατάτμησης επιπέδου 2 .....	35
Εικόνα 17: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 2 .....	36
Εικόνα 18: Ιεραρχία κατηγοριών συνολικής εργασίας.....	37
Εικόνα 19: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 1 .....	38
Εικόνα 20: Αντικείμενα της κατάτμησης επιπέδου 2 .....	39
Εικόνα 21: Ιεραρχία κατηγοριών συνολικής εργασίας.....	39
Εικόνα 22: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 2 .....	40
Εικόνα 23: Αποτέλεσμα ταξινόμησης επιπέδου 1 .....	41
Εικόνα 24: Αντικείμενα της κατάτμησης επιπέδου 2 .....	42
Εικόνα 25: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 2 .....	43
Εικόνα 26: Ιεραρχία κατηγοριών συνολικής εργασίας.....	43
Εικόνα 27: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 1 .....	44
Εικόνα 28: Αντικείμενα της κατάτμησης επιπέδου 2 .....	45
Εικόνα 29 : Ιεραρχία κατηγοριών .....	47
Εικόνα 30: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 2 .....	47
Εικόνα 31: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 1 .....	48
Εικόνα 32 Εικόνα του κανόνα NDVI (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά) .....	49
Εικόνα 33: Εικόνα του κανόνα NDWI (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά) .....	49
Εικόνα 34: Αντικείμενα της κατάτμησης επιπέδου 2 .....	50
Εικόνα 35 Εικόνα του κανόνα asymmetry (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά) .....	51
Εικόνα 36 Εικόνα του κανόνα mean diff to scene nir (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά).....	51
Εικόνα 37: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 2 .....	52
Εικόνα 38 Παράθυρο διαλόγου customized feature για τη δημιουργία του κανόνα road index .....	53
Εικόνα 39 Εικόνα του κανόνα road index (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά) .....	53

Εικόνα 40: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 4 .....	54
Εικόνα 41: Ροή πληροφοριών ανάμεσα στα τρία επίπεδα.....	55
Εικόνα 42 Εικόνα του κανόνα near diff to scene red (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά).....	56
Εικόνα 43 Εικόνα του κανόνα length/width (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά).....	57
Εικόνα 44: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 3 .....	58
Εικόνα 45: Ιεραρχία κατηγοριών συνολικής εργασίας.....	58
Εικόνα 46 Αναλυτικός αλγόριθμος της ταξινόμησης των δεδομένων (προσέγγιση 2).....	60
Εικόνα 47: Αντικείμενα της κατάτμησης επιπέδου 2.....	61
Εικόνα 48: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 5 .....	62
Εικόνα 49: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 4 .....	63
Εικόνα 50: Ιεραρχία κατηγοριών συνολικής εργασίας.....	64
Εικόνα 51: Ψηφιοποίηση υφιστάμενου οδικού δικτύου.....	71
Εικόνα 52: Bitmap εικόνα της ταξινόμησης του οδικού δικτύου του Αγ. Νικολάου (προσέγγιση 7) .....	71
Εικόνα 53: Παράθυρο διαλόγου ArcGIS για τη ρύθμιση παραμέτρων διανυσματικοποίησης .....	72
Εικόνα 54: Αποτέλεσμα διανυσματικοποίησης του οδικού δικτύου (προσέγγιση 7) .....	72
Εικόνα 55: Επίθεση των διανυσμάτων τα οποία προέκυψαν από την ταξινόμηση του οδικού δικτύου πάνω στο ψηφιοποιημένο από το χρήστη υφιστάμενο οδικό δίκτυο. ....	73
Εικόνα 56: Με γαλάζιο χρώμα παρουσιάζεται το ορθά ταξινομημένο οδικό δίκτυο όπως προέκυψε από τον έλεγχο ταύτισης με το υφιστάμενο οδικό δίκτυο (προσέγγιση 7).....	73
Εικόνα 57: Έγχρωμο σύνθετο περιοχής Ηρακλείου.....	75
Εικόνα 58: Αποτέλεσμα ταξινόμησης επιπέδου 3 απεικόνισης Ηρακλείου.....	76

## Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1: Διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης στην απεικόνιση του Αγίου Νικολάου .....	17
Πίνακας 2: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 1.....	30
Πίνακας 3: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση.....	31
Πίνακας 4: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 1.....	33
Πίνακας 5: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής επιπέδου 1 .....	33
Πίνακας 6: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 3.....	34
Πίνακας 7: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 3 .....	34
Πίνακας 8: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής της ιεραρχίας των τριών επιπέδων.....	35
Πίνακας 9: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 2.....	35
Πίνακας 10: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 2 .....	36
Πίνακας 11: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 1.....	37
Πίνακας 12: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής επιπέδου 1 .....	38
Πίνακας 13: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 2.....	38
Πίνακας 14: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής της ιεραρχίας των δυο επιπέδων.....	39
Πίνακας 15: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 2 .....	39
Πίνακας 16: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 1.....	40
Πίνακας 17: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής επιπέδου 1 .....	41
Πίνακας 18: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 2.....	41
Πίνακας 19: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 2 .....	42
Πίνακας 20: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα δύο επίπεδα .....	43
Πίνακας 21: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 1.....	44
Πίνακας 22: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής επιπέδου 1 .....	44
Πίνακας 23: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 2.....	45
Πίνακας 24: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 2 .....	46
Πίνακας 25: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής της ιεραρχίας των δυο επιπέδων.....	46
Πίνακας 26: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 1.....	48
Πίνακας 27: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής επιπέδου .....	48
Πίνακας 28: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 2.....	50
Πίνακας 29: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 2 .....	51
Πίνακας 30: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 4.....	52
Πίνακας 31: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 4 .....	54
Πίνακας 32: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 3.....	56
Πίνακας 33: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής της ιεραρχίας των τριών επιπέδων.....	56
Πίνακας 34: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 3 .....	57
Πίνακας 35: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 5.....	60
Πίνακας 36: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα δύο επίπεδα .....	61
Πίνακας 37: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 4 .....	62
Πίνακας 38: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 4.....	62
Πίνακας 39: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 4 .....	63
Πίνακας 40: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 1 .....	65
Πίνακας 41: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 2 .....	66
Πίνακας 42: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 3 .....	67
Πίνακας 43: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 4 .....	68
Πίνακας 44: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 5 .....	69



Πίνακας 45: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 6 .....	69
Πίνακας 46: Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 7 .....	70
Πίνακας 47: Σφάλματα παράλειψης και συμπερίληψης για όλες τις ταξινομήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν.....	74

## Περίληψη

Στην παρούσα μελέτη σκοπός είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων που παρέχει η αντικειμενοστραφής ανάλυση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας στην ανίχνευση και στην εξαγωγή του οδικού δικτύου.

Αρχικά παρουσιάζεται μια σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση των μεθόδων αλλά και των τεχνικών που εφαρμόζονται κατά την Αντικειμενοστραφή Ανάλυση, και οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό να αναπτυχθεί η ιδανικότερη μεθοδολογία για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου

Το πλήθος των επιλογών που υπάρχουν κατά την αντικειμενοστραφή ανάλυση έδωσε την δυνατότητα να αναπτυχθούν διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις για την ανάλυση της απεικόνισης, ανάλογα με τις παραμέτρους, τον τρόπο ταξινόμησης, ή τα εισαγόμενα δεδομένα κατά την εκάστοτε προσέγγιση. Παρατίθενται επτά προσεγγίσεις ενώ αναλυτικότερα όλων αναλύεται η έκτη προσέγγιση που έδωσε και τα καλύτερα αποτελέσματα. Για την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων καθώς και για την ευκολότερη κατανόηση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται περιλαμβάνονται αρκετές εικόνες και πίνακες.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Αξιολογήθηκε η ευστάθεια της ταξινόμησης μέσω του λογισμικού eCognition ενώ εφαρμόστηκε και μια μέθοδος σύγκρισης των ταξινομήσεων με το υφιστάμενο οδικό δίκτυο για να εξαχθούν τα σφάλματα παράλειψης και συμπερίληψης τους. Διερευνήθηκε επίσης η δυνατότητα εφαρμογής των αποτελεσμάτων της καλύτερης ταξινόμησης και σε άλλη τηλεπισκοπική απεικόνιση αντίστοιχης ραδιομετρικής και χωρικής διακριτικής ικανότητας.

Τέλος παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παρούσα διπλωματική εργασία.

## **Abstract**

The purpose of this study was to explore the possibilities offered by object-oriented analysis of high spatial resolution remote sensing images for the detection and extraction of roads.

Initially, a short literature review of methods and techniques applicable to the Object Based Image Analysis was presented, which are used to develop the ideal methodology for the detection and extraction of road network.

The number of options that exist in object-oriented analysis provided an opportunity to develop different methodological approaches to the analysis of images, depending on configuration, the assignments, or inputs on each approach. Out of seven approaches the sixth approach, which gave the best results is discussed in greater detail. For better presentation of results and an easier understanding of the methodology used, several images and tables are included.

The next chapter presents the evaluation of the results. The stability of the classification was assessed using the software eCognition and a method of comparing classifications with the existing road network to extract the omission and the commission errors was applied. Furthermore, the best classification approach was applied to other remote sensing images with similar radiometric and spatial resolution capability.

Finally the conclusions drawn from this study are given.

# 1 Εισαγωγή

Η ανάγκη για ακριβείς, επίκαιρες και λεπτομερείς πληροφορίες για το οδικό δίκτυο αυξάνονται ραγδαία. Αυτές χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές που κυμαίνονται από την παροχή τους ως βασική τοπογραφική υποδομή, έως στον προγραμματισμό των μεταφορών και στη διαχείριση της κυκλοφορίας, στα συστήματα πλοήγησης των αυτοκινήτων, στο τουρισμό και στις υπηρεσίες τις βασισμένες στο διαδίκτυο.

Οι πληροφορίες για το οδικό δίκτυο όχι μόνο παίζουν κεντρικό ρόλο σε όλες τις παραπάνω εφαρμογές αλλά αποτελούν και ένα σημαντικό επίθεμα πληροφοριών στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS). Μπορεί οι παραδοσιακές μέθοδοι χαρτογράφησης να παρέχουν ακριβέστερα αποτελέσματα αλλά το κόστος τους σε χρόνο και χρήμα είναι πολύ υψηλό. Οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις είναι μια εύκολα προσβάσιμη πηγή που παρέχουν μια πιο ευρεία ποικιλία και μεγαλύτερη ποσότητα πληροφοριών σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους. (Song and Cincio 2004).

Κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας, έχουν εξεταστεί νέες μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούν τηλεπισκοπικά δεδομένα για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων μεταφορών, για ενημερώσεις χαρτογραφικών προϊόντων και βάσεων δεδομένων. Με τις πρόσφατες βελτιώσεις της χωρικής ανάλυσης των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, η εξαγωγή χαρακτηριστικών γνωρισμάτων αποτελεί ακόμα περισσότερο μια πρόκληση. Η αποκόμιση του μέγιστου οφέλους από αυτά τα νέα δεδομένα θα απαιτήσει την έρευνα που περιλαμβάνει όχι μόνο βελτιωμένες προσεγγίσεις ανάλυσής τους, αλλά και την ανάπτυξη νέων εργαλείων για το χειρισμό τους. Η πλήρης αυτοματοποίηση για την εξαγωγή τοπογραφικών αντικειμένων από τηλεπισκοπικές απεικονίσεις είναι προς το παρόν πρακτικά αδύνατη, σχεδόν για όλες τις εφαρμογές κι έτσι η ανθρώπινη αλληλεπίδραση είναι απαραίτητη. Ένας σημαντικός παράγοντας που δυσκολεύει την πρακτική χρήση των αυτοματοποιημένων διαδικασιών είναι η έλλειψη αξιόπιστων μέτρων που να προσδιορίζουν την ποιότητα και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Λαμβάνοντας υπόψη τη τρισδιάστατη δομή της φυσικής πραγματικότητας η τηλεπισκόπηση του οδικού δικτύου αντιμετωπίζει αρκετές δυσκολίες μια και πρόκειται για το «κατώτερο επίπεδο» το οποίο μπορεί να καλυφθεί ή να σκιαστεί από διάφορες υπερκείμενες δομές όπως τα κτήρια τα δέντρα ή τα αυτοκίνητα.

Μέχρι πρόσφατα η ανίχνευση των διαφόρων κατηγοριών χρήσεων γης που ενυπάρχουν σε μια τηλεπισκοπική απεικόνιση βασίζονταν σε επιβλεπόμενες και μη επιβλεπόμενες τεχνικές ταξινόμησης που είχαν σα μεθοδολογικό πυρήνα τη φασματική ομοιότητα και μόνο. Το τελευταίο διάστημα όμως η διάθεση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων με διαρκώς αυξανόμενη χωρική ανάλυση από τη μια επέτρεψαν την λεπτομερέστερη και ακριβέστερη ανίχνευση των θεματικών οντοτήτων της φυσικής πραγματικότητας αλλά από την άλλη εξαιτίας της μεγάλης φασματικής ετερογένειας που παρατηρείται σε αυτές ανέδειξαν με τον πιο έντονο τρόπο τους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων ταξινόμησης. Τη λύση ήρθε να δώσει μια καινοτόμα προσέγγιση στο τομέα της ανάλυσης απεικονίσεων, η αντικειμενοστραφής ανάλυση (object oriented analysis). Σε αυτή την προσέγγιση δημιουργούνται αντικείμενα από κάποια διαδικασία κατάτμησης τα οποία αναπαριστούν σημαντικές εννοιολογικές πληροφορίες. «Όσο περισσότερα γεωμετρικά, φασματικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά γνωρίζουμε για κάποια αντικείμενα, τόσο πιο ρεαλιστική τείνει να γίνει η ταξινόμηση. Η εξαγωγή πρωτογενών αντικειμένων, βασισμένη στην κατάτμηση έχει επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα στην ταξινόμηση υψηλής ανάλυσης εικόνων. Τα άγνωστα φασματικά πρότυπα, καθώς επίσης και η υψηλή ετερογένεια του αστικού περιβάλλοντος, απαιτούν το συνδυασμό μεταξύ φασματικών και εννοιολογικών στοιχείων αντικειμένου για αποτελεσματική ταξινόμηση της κάλυψη τους εδάφους και των χρήσεων γης (Hoffman

2001). Η βασική ιδέα είναι να εξάγονται πρωτογενή αντικείμενα από τις εικόνες και να χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες τους για να συντεθούν μέθοδοι που βελτιώνουν τη διαδικασία της ταξινόμησης. Αυτή η έρευνα εκθέτει τις μεθόδους αντικειμενοστραφούς ανάλυσης (object-oriented analysis) που υπάρχει η δυνατότητα να εφαρμοστούν για την οδική ανίχνευση και ταξινόμηση» (Nobrega et al 2006).

Σε αυτή τη μελέτη σκοπός ήταν να διερευνηθούν οι δυνατότητες και οι περιορισμοί της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης στην ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου, μέσα σε ένα πολύπλοκο αστικό περιβάλλον και στις δυνατότητες αυτοματοποίησης που αυτή παρέχει.

## 2 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

### 2.1 Αντικειμενοστραφής Ανάλυση

Μέχρι πρόσφατα οι αλγόριθμοι ταξινόμησης λειτουργούσαν σχεδόν αποκλειστικά με στοιχειώδη μονάδα το εικονοστοιχείο το οποίο με βάση τις ιδιότητες του εντάσσονταν σε κάποια κατηγορία φυσικής σημασίας. Αυτές οι κατά εικονοστοιχείο ταξινομήσεις δεν ευνοούν την δημιουργία οντοτήτων με ουσιαστικό, φυσικό νόημα, που είναι τελικά και το ζητούμενο κατά την ανάλυση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Ένα άλλο σημαντικό τους μειονέκτημα είναι η έντονη ύπαρξη του φαινομένου θορύβου «αλατοπίπερου» (salt and pepper effect), όπου δηλαδή οι ταξινομήσεις χαρακτηρίζονται από διάσπαρτες μεμονωμένες ανακρίβειες.

Σε αυτά τα ζητήματα ήρθε να απαντήσει μια καινοτόμα προσέγγιση στο χώρο της ταξινόμησης εικόνων, η αντικειμενοστραφής ανάλυση (object-oriented analysis). Σε αυτή την προσέγγιση η στοιχειώδη μονάδα είναι ομαδοποιημένα εικονοστοιχεία που συνιστούν αντικείμενα, τα οποία έχουν προκύψει από μια διαδικασία κατάτμησης της εικόνας. Συνεπώς οι σημαντικές εννοιολογικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την φωτοερμηνεία της εικόνας δεν αναπαρίστανται από μεμονωμένα εικονοστοιχεία, αλλά από σημαντικά εννοιολογικά αντικείμενα αυτής και τις αλληλοσυσχετίσεις τους. Αυτή η λογική προσεγγίζει αρκετά τον τρόπο με τον οποίο επεξεργάζεται ο ανθρώπινος εγκέφαλος τις πληροφορίες από τις εικόνες με βάση την φωτοερμηνευτική πείρα.

#### 2.1.1 Κατάτμηση (segmentation)

«Ως κατάτμηση ορίζεται η υποδιαίρεση μιας εικόνας σε διαχωρισμένες περιοχές. Ο βασικός στόχος των αλγορίθμων κατάτμησης είναι η τμηματοποίηση των στοιχείων της εικόνας, βασισμένη σε ρυθμίσιμα κριτήρια ομοιογένειας ή διαφοροποίησης σε σχέση με γειτονικές περιοχές (ετερογένεια), αντίστοιχα. Σκοπός της ουσιαστικά είναι να δημιουργήσει αντικείμενα με σημαντική υπόσταση. Αυτό σημαίνει ότι η μορφή κάθε αντικειμένου, θα πρέπει ιδανικά να αντιστοιχεί σε κάποιο αντικείμενο της εικόνας» (Baatz et al 2000).

Η κατάτμηση δεν είναι αυτοσκοπός. Ο στόχος της ανάλυσης εικόνων είναι η διάκριση των χρήσεων γης ή η εξαγωγή αντικειμένων που μας ενδιαφέρουν (στην προκειμένη περίπτωση οι δρόμοι). Στο λογισμικό eCognition η κατάτμηση λογίζεται ως ένα στάδιο παραγωγής πρωτογενών δεδομένων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω επεξεργασία ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός στόχος. Με αυτή την έννοια το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης είναι αυτό που παρέχει τις βέλτιστες πληροφορίες για περαιτέρω επεξεργασία. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο δημιουργήθηκε η πολλαπλής ανάλυσης κατάτμηση, μια νέα, πατενταρισμένη διαδικασία κατάτμησης.

Προκειμένου να λάβουμε τα βέλτιστα ακατέργαστα υλικά για αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνας διατυπώνονται παρακάτω οι απαιτήσεις που ορίστηκαν στο ξεκίνημα της διαδικασίας ανάπτυξης της πολλαπλής ανάλυσης κατάτμησης εικόνας (Baatz et al 2001).

- Η διαδικασία κατάτμησης πρέπει να παράγει υψηλής ομοιογένειας αντικείμενα-τεμάχια για τον καλύτερο διαχωρισμό και αναπαράσταση περιοχών της εικόνας
- Το μέσο μέγεθος των αντικειμένων της εικόνας να προσαρμόζεται στη κλίμακα που απαιτείται για κάθε εφαρμογή, εφόσον το πρόβλημα κάθε ανάλυσης εικόνας ασχολείται με δομές συγκεκριμένης χωρικής ανάλυσης και βασίζεται σε συγκεκριμένου μεγέθους αντικείμενα.

- Τα αντικείμενα-τεμάχια που προκύπτουν από την κατάτμηση να είναι παρόμοιου μεγέθους καθώς σχεδόν όλες οι ιδιότητες των αντικειμένων εξαρτώνται από την κλίμακα και επιπλέον μόνο οι δομές σε παρόμοιες κλίμακες είναι συγκρίσιμες ποιοτικά και ως προς τις ιδιότητές τους.
- Η διαδικασία της κατάτμησης θα πρέπει να είναι παγκόσμια και εφαρμόσιμη σε πλήθος προβλημάτων
- Το αποτέλεσμα της κατάτμησης θα πρέπει να είναι δυνατόν να αναπαραχθεί αξιόπιστα
- Η κατάτμηση να ακολουθεί μια λογική αναλογία ακρίβειας αποτελέσματος-χρόνου επεξεργασίας, ακόμα και σε εικόνες μεγάλου μεγέθους

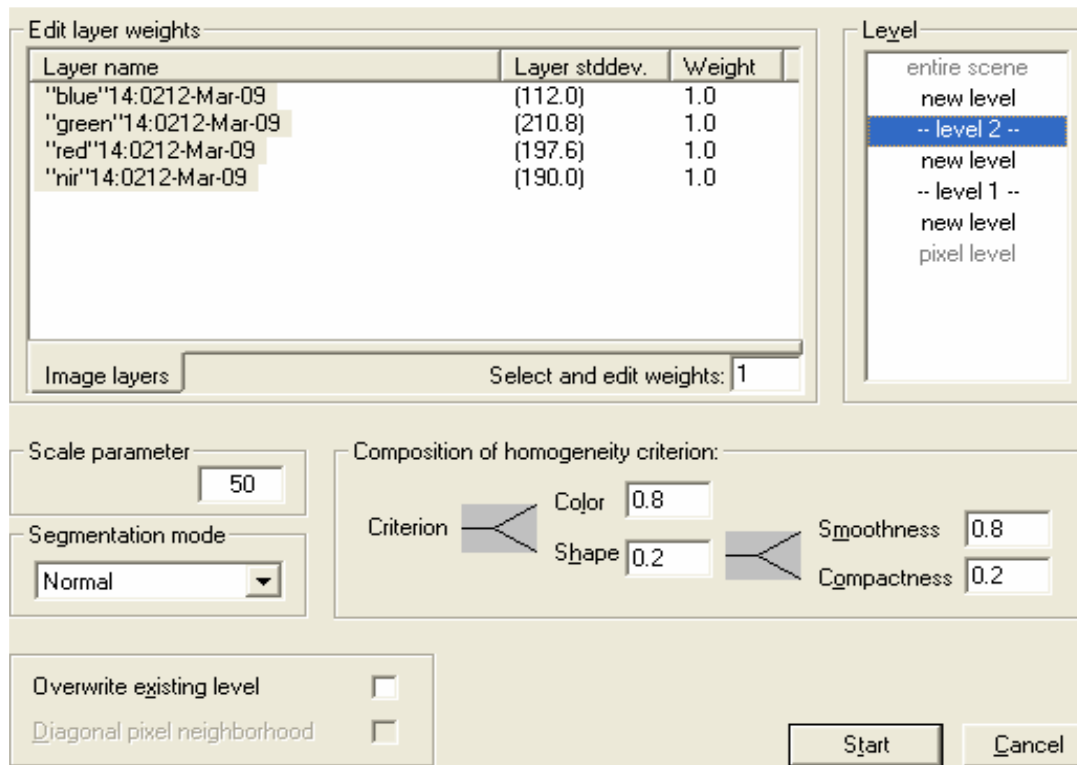
Η πολλαπλής ανάλυσης κατάτμηση είναι μια από κάτω προς τα πάνω τεχνική ενοποίησης πρωτογενών αντικειμένων ανά δυο, τα οποία στην αρχική προσέγγιση είναι εικονοστοιχεία. Η ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων έχει ως αφητηρία κάποια κεντρικά σημεία από τα οποία με μια τεχνική επέκτασης (region growing) δημιουργούνται υψηλής ομοιογένειας τεμάχια (segments) που αναπαριστούν με το βέλτιστο δυνατό τρόπο πραγματικά αντικείμενα-θεματικές κατηγορίες. Τα προκύπτοντα λοιπόν αυτά τεμάχια αντιπροσωπεύουν καλύτερα τα χωρικά και επομένως τα φασματικά και τα της υφής χαρακτηριστικά των πραγματικών κατασκευών. Επιπλέον, παρέχονται οι διάφορες μορφολογικές ή τοπολογικές ιδιότητες.

Το λογισμικό eCognition κατά την κατάτμηση δίνει τη δυνατότητα να καθοριστούν τρεις βασικοί παράμετροι:

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

Οι παράμετροι χρώμα και σχήμα είναι συμπληρωματικοί με άθροισμα 1 συνεπώς για color=0.6 πχ θα έχουμε shape=0.4 ενώ το ίδιο ισχύει και για τους παραμέτρους ομαλότητα και σύμπαγες. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι το λογισμικό δεν επιτρέπει να δοθεί όλο το βάρος στο σχήμα (shape=1) έτσι το μικρότερο βάρος που μπορεί να δοθεί στο χρώμα είναι 0.1. Το λογισμικό δίνει επίσης τη δυνατότητα εναλλαγής των βαρών των καναλιών που θα λάβουν μέρος στη διαδικασία της κατάτμησης. Έτσι αν για κάποιο λόγο δε θέλουμε να συμπεριληφθεί κάποιο κανάλι (θεωρώντας πχ ότι δε συμβάλει στην ανάδειξη της επιθυμητής κατηγορίας) μπορούμε να μηδενίσουμε το αντίστοιχο βάρος. Ενώ αν αντίστοιχα κάποιο κανάλι είναι για κάποιο λόγο περισσότερο σημαντικό από κάποια άλλα, μας δίνεται η δυνατότητα να του δώσουμε μεγαλύτερο βάρος.

Ο τρόπος με τον οποίο ρυθμίζονται οι παραπάνω παράμετροι φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1)







**Εικόνα 1: Παράθυρο καθορισμού των παραμέτρων κατάτμησης**

Ο χρήστης ρυθμίζοντας τις παραπάνω παραμέτρους υποδεικνύει έμμεσα στον αλγόριθμο κατάτμησης το μέγεθος των τεμαχίων που θα προκύψουν. Μετά το τέλος της διαδικασίας λοιπόν ο χρήστης δεν έχει να διαχειριστεί ένα τεράστιο σύνολο μεμονωμένων εικονοστοιχείων αλλά ένα πεπερασμένο σύνολο ομοιογενών τμημάτων.

Η επιλογή των κατάλληλων επιπέδων κατάτμησης για την εκάστοτε εφαρμογή γίνεται φωτοερμηνευτικά με επαναληπτικές διαδικασίες (εμπειρικά) έως ότου προκύψουν αντικείμενα που θεωρούνται ικανοποιητικά για το σκοπό της. 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.

Παρακάτω (Πίνακας 1) φαίνονται διαφορετικοί τύποι κατάτμησης όπου αλλάζονται οι παράμετροι χρώματος/σχήματος και ομαλότητα/συμπαγούς διατηρώντας σταθερή την παράμετρο της κλίμακας.



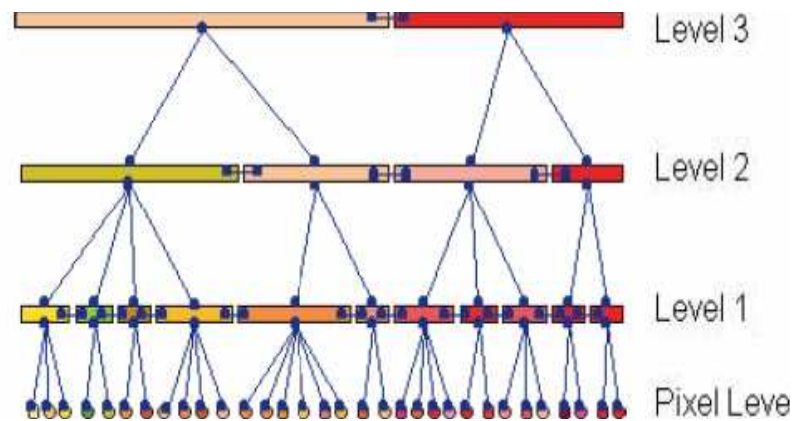
<p>Απεικόνιση Αγίου Νικολάου πριν από την κατάτμηση</p>	
<p>Απεικόνιση Αγίου Νικολάου μετά από κατάτμηση με: Scale parameter: 60 Color: 1.0 Shape: 0</p>	
<p>Απεικόνιση Αγίου Νικολάου μετά από κατάτμηση με: Scale parameter: 60 Color: 0.1 Shape: 0.9 Smoothness: 1 Compactness: 0</p>	
<p>Απεικόνιση Αγίου Νικολάου μετά από κατάτμηση με: Scale parameter: 30 Color: 0.1 Shape: 0.9 Smoothness: 0 Compactness: 1</p>	

**Πίνακας 1:** Διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης στην απεικόνιση του Αγίου Νικολάου

### 2.1.2 Ιεραρχικό δίκτυο Αντικειμένων

Στο λογισμικό eCognition οι διαφορετικές τεχνικές κατάτμησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός ιεραρχικού δικτύου των αντικειμένων της εικόνα, το οποίο αναπαριστά πληροφορίες, που ταυτόχρονα εξάγονται από αυτή, σε διαφορετικά επίπεδα χωρικής ανάλυσης. Τα αντικείμενα αυτά είναι δικτυωμένα με τέτοιο τρόπο ώστε το κάθε ένα από αυτά «γνωρίζει» το πλαίσιο του (γειτονικά αντικείμενα), τα υπό-αντικείμενα του καθώς και τα υπέρ-αντικείμενα του με αποτέλεσμα να καθορίζονται πλέον σχέσεις μεταξύ τους. Το δίκτυο είναι τοπολογικά ορισμένο, έτσι το όρια ενός υπέρ-αντικειμένου είναι συνεπή με τα όρια των υπό-αντικειμένων του. Το εμβαδόν που αναπαριστάται από ένα υπέρ-αντικείμενο ορίζεται ως το άθροισμα του εμβαδού των υπό-αντικειμένων του. Πρακτικά αυτό

υλοποιείται σχετικά εύκολα στο συγκεκριμένο λογισμικό αφού όλες οι τεχνικές κατάτμησης που χρησιμοποιούνται είναι αλγόριθμοι συνένωσης περιοχών. Κάθε επίπεδο δομείται βάση 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, γιατί γειτονικά αντικείμενα δε 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 (Baatz 2001).



**Εικόνα 2:** Διάγραμμα ιεραρχικού δικτύου αντικειμένων

Οι διαδικασίες κατάτμησης, στο σύνολο τους δρουν σε αυθαίρετα επίπεδα και εφόσον 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 μιας σαφώς καθορισμένης ιεραρχίας πέραν της χωρικής μορφής όλων των αντικειμένων, οι διαδικασίες κατάτμησης ακολουθούν δυο κανόνες:

- Τα όρια των αντικειμένων οφείλουν να ακολουθούν τα όρια των αντικειμένων του αμέσως κατώτερου επιπέδου
- Η κατάτμηση περιορίζεται από τα όρια των αντικειμένων του αμέσως ανώτερου επιπέδου

Ένεκα του ιεραρχικού δικτύου των αντικειμένων, παρέχεται η δυνατότητα οι δομές διαφορετικών κλιμάκων να αναπαρίστανται ταυτόχρονα και να ταξινομούνται λαμβάνοντας πληροφορίες από όλες τις κλίμακες. Επιπλέον, διαφορετικά επίπεδα μπορούν να κατατμηθούν βάσει διαφόρων ειδών δεδομένων, όπως θεματικών χαρτών, φασματικών, υψομετρικών και λοιπών δεδομένων.

### 2.1.3 Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση (object-oriented classification)

Σκοπός της διαδικασίας της ταξινόμησης είναι η αυτόματη κατηγοριοποίηση όλων των εικονοστοιχείων μιας εικόνας σε διάφορες τάξεις κάλυψης γης ή αντικείμενα (Αργιαλάς 1999).

«Οι επιβλεπόμενες και οι μη επιβλεπόμενες μέθοδοι ταξινόμησης χρησιμοποιούνται για την αυτόματη παραγωγή θεματικών χαρτών στους οποίους αναδεικνύεται η χωρική κατανομή γνωστών και άγνωστων φασματικών στόχων αντίστοιχα. Η διαδικασία της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης είναι βασισμένη σε κανόνες ασαφούς λογικής, για να επιτρέψει την ολοκλήρωση μιας ποικιλίας από διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως οι

φασματικές τιμές, η μορφή ή η υφή για την ταξινόμηση. Χρησιμοποιώντας όχι μόνο τις ιδιότητες των αντικειμένων μιας εικόνας, αλλά επιπλέον και τη σχέση μεταξύ των δικτυωμένων αντικειμένων, έχουμε ως αποτέλεσμα την ενσωμάτωση του τοπολογικού πλαισίου στην ταξινόμηση» (Baatz et al 2001).

Στο λογισμικό eCognition ταξινόμηση νοείται η διαδικασία σύνδεσης των κατηγοριών μιας ιεραρχίας τάξεων (class-hierarchy) με τα αντικείμενα της εικόνας που έχουν προκύψει από την κατάτμηση. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της ταξινόμησης κάθε αντικείμενο, ανάλογα με την πιθανότητα να πληροί τα τιθέμενα κριτήρια που περιγράφουν κάθε κατηγορία, είτε καταχωρείται σε κάποια συγκεκριμένη, είτε ως αταξινομήτο. Οι σχέσεις που ορίζουν τη ταξινόμηση αυτή μεταφέρονται σε αυτό το αντικείμενο και κατά συνέπεια συνδέεται με την ιεραρχία τάξεων. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι ένας θεματικός χάρτης με αντικείμενα στα οποία έχουν αποδοθεί τα στοιχεία της κατηγορίας στην οποία εντάχθηκαν. Αν η ταξινόμηση αξιολογηθεί ως επιτυχής τότε στα αντικείμενα έχουν αποδοθεί οι πραγματικές φασματικές και εννοιολογικές ιδιότητες καθώς και οι αλληλοσυσχετίσεις με άλλα αντικείμενα ή κατηγορίες της ιεραρχίας τάξεων.

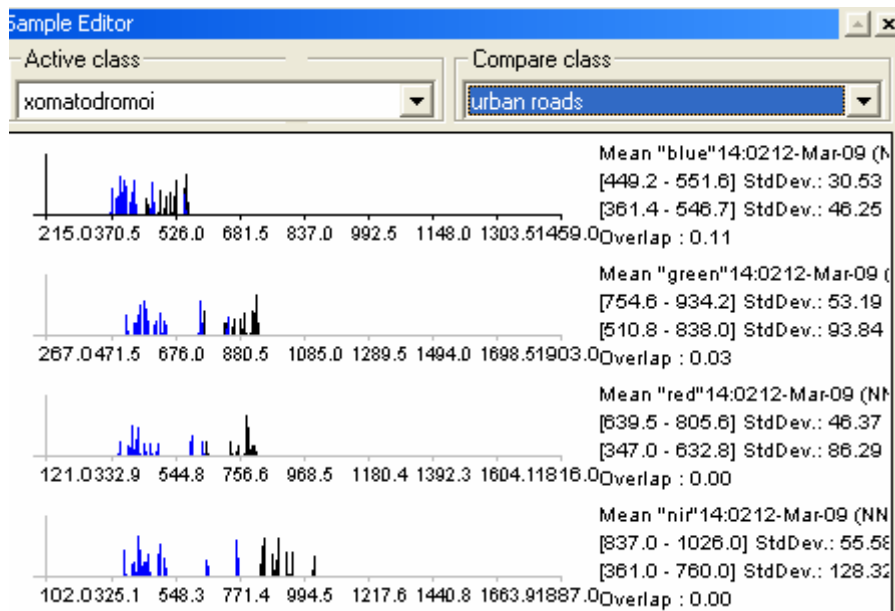
Οι κλασικοί ταξινομητές στην τηλεπισκόπηση (μέγιστης πιθανοφάνειας, ελάχιστης απόστασης, ή παραλληλεπιπέδου) ορίζουν μια τιμή 1 ή 0 για κάθε αντικείμενο εκφράζοντας με απόλυτο τρόπο αν αυτό ανήκει στην υπό εξέταση κατηγορία ή όχι, αντίστοιχα. Αυτοί οι ταξινομητές συνήθως αποκαλούνται απόλυτοι, καθώς εκφράζουν την ανάθεση η όχι ενός αντικειμένου σε κάποια συγκεκριμένη τάξη με έναν δυαδικό τρόπο, ναι-όχι. Επειδή όμως όπως συμβαίνει και στην πραγματικότητα τα αντικείμενα δεν έχουν αυστηρώς καθορισμένα όρια και ενδέχεται να ανήκουν μερικώς σε παραπάνω από μια κατηγορίες χρησιμοποιούνται οι ασαφείς ταξινομητές. Η εμπλοκή του κάθε αντικειμένου σε κάθε κατηγορία εκφράζεται από ένα βαθμό συμμετοχής που λαμβάνει τιμές στο συνεχές πεδίο τιμών [0,1]. Όπως γίνεται αντιληπτό όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή συμμετοχής τόσο περισσότερο τείνει το αντικείμενο να ορίζεται από τις ιδιότητες που περιγράφουν την εξεταζόμενη κατηγορία και συνεπώς τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα να ανατεθεί σε αυτή, με το 0 να εκφράζει πλήρης μη ανάθεση και το 1 πλήρης ανάθεση. Ένα σημαντικό συνεπώς πλεονέκτημα αυτών των ασαφών ταξινομητών είναι η δυνατότητα τους να εκφράσουν αβεβαιότητες όσον αφορά την περιγραφή κάποιας κατηγορίας. Καθιστούν επίσης δυνατόν το να εκφραστεί η συμμετοχή κάθε ενός αντικειμένου σε περισσότερες από μία κατηγορίες ή η πιθανότητα να ανήκει σε άλλες κατηγορίες αλλά με διαφορετικό βαθμό συμμετοχής ή πιθανότητας. «Όσον αφορά την κατανόηση εικόνας αυτοί οι ταξινομητές είναι πιο ικανοί να εκφράσουν την αβεβαιότητα της ανθρώπινης γνώσης για τον κόσμο και κατά συνέπεια οδηγούν σε αποτελέσματα ταξινόμησης που είναι πιο κοντά στην ανθρώπινη γλώσσα, τρόπο σκέψης και μυαλό» (Baatz et al 2001).

Η ταξινόμηση στο eCognition είναι επιβλεπόμενη και το λογισμικό παρέχει δυο βασικούς μηχανισμούς ταξινόμησης των εικόνων. Τον μηχανισμό του Εγγύτερου Γείτονα (Nearest Neighbor) και τις συναρτήσεις ασαφούς λογικής (fuzzy membership functions). Ενώ ο ταξινομητής του “Εγγύτερου Γείτονα” περιγράφει τις υπό ανίχνευση κατηγορίες μέσω δειγμάτων που καθορίζει ο χρήστης για κάθε κατηγορία (Εικόνα 3), οι συναρτήσεις ασαφούς λογικής περιγράφουν τις αποστάσεις των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων για τις οποίες τα αντικείμενα ανήκουν σε μια ορισμένη κατηγορία ή όχι.



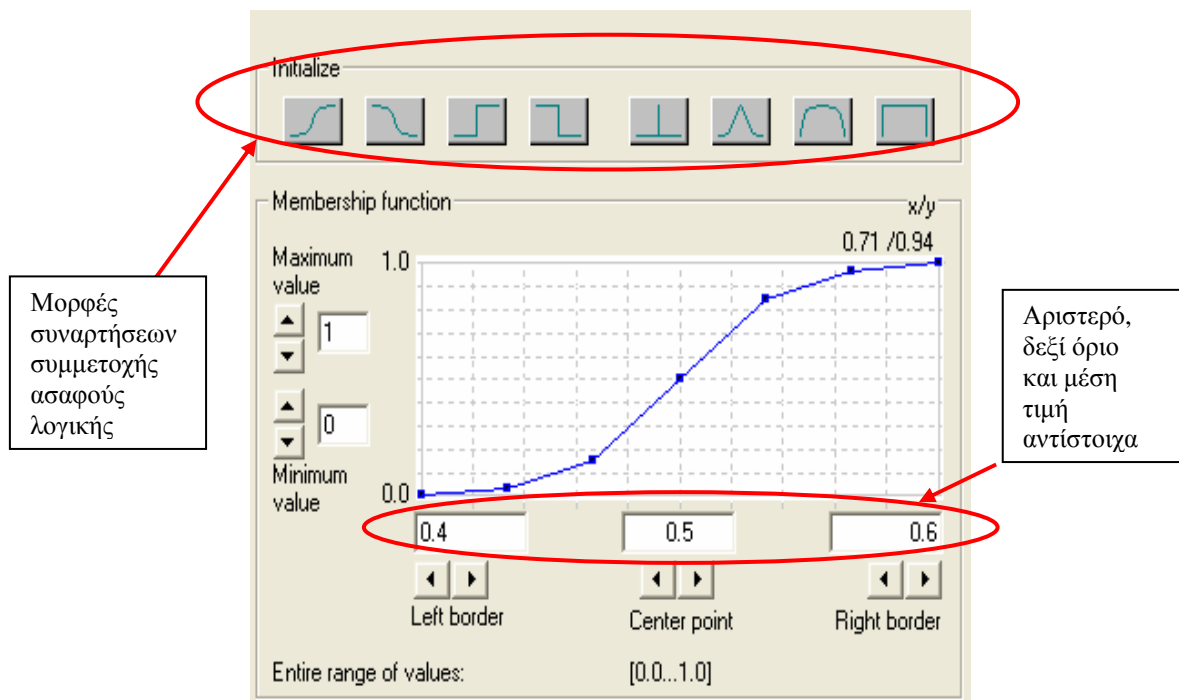
**Εικόνα 3:** Δείγματα που καθορίζονται από το χρήστη για ταξινόμηση με χρήση του εγγύτερου γείτονα

Όταν ο χρήστης επιλέγει κάποιο αντικείμενο ως δείγμα, τότε η μέση τιμή του αντικειμένου που επιλέγεται για όλα τα κανάλια της απεικόνισης καταγράφεται από το λογισμικό και παρουσιάζεται στο ιστόγραμμα των δειγμάτων (Εικόνα 4). Αυτό δίνει μια γενική εντύπωση της φασματικής συμπεριφοράς των δειγμάτων που έχουν οριστεί και κατ' επέκταση της θεματικής κατηγορίας την οποία αντιπροσωπεύουν. Μέσω του λογισμικού δίνεται επίσης η δυνατότητα σύγκρισης της ανακλαστικότητας των δειγμάτων δύο κατηγοριών με διαφορετικό χρώμα.



**Εικόνα 4:** Ιστογράμματα δειγμάτων σε όλα τα κανάλια του δέκτη. Σύγκριση δύο θεματικών κατηγοριών (δρόμων και χωματόδρομων)

Στο λογισμικό eCognition οι συναρτήσεις συμμετοχής ασαφούς λογικής ρυθμίζονται επιλέγοντας την μορφή της συνάρτησης που είναι κατάλληλη για τον εν λόγω κανόνα (χαρακτηριστικό γνώρισμα) και έπειτα ορίζοντας τις ακραίες τιμές (όρια) που θα λαμβάνει (Εικόνα 5).



**Εικόνα 5:** Συναρτήσεις συμμετοχής ασαφούς λογικής. Ρύθμιση της μορφής και των ορίων στο λογισμικό eCognition

Σε κάθε συνάρτηση ο άξονας των X δείχνει το εύρος τιμών ενός χαρακτηριστικού γνώρισματος που περιγράφει μια κατηγορία και στο οποίο πρέπει να ανήκει το εκάστοτε αντικείμενο για να καταχωρηθεί σε αυτή, ενώ ο άξονας των Y δείχνει το βαθμό συμμετοχής του κάθε αντικείμενου στο χαρακτηριστικό που περιγράφεται με εύρος τιμών  $[0,1]$ . Με βάση την παραπάνω συνάρτηση λοιπόν αντικείμενο που έχει τιμή για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό από 0.6 και πάνω θα ταξινομηθεί σίγουρα στην κατηγορία που περιγράφεται από το παραπάνω χαρακτηριστικό, ενώ για τιμή από 0.4 και κάτω σίγουρα δε θα ταξινομηθεί στη συγκεκριμένη κατηγορία. Για τις ενδιάμεσες τιμές ο αλγόριθμος θα υπολογίσει την πιθανότητα να ανήκει το αντικείμενο στη συγκεκριμένη κατηγορία και σε ανάλογα θα ανατεθεί η όχι σε αυτή.

Κάθε χαρακτηριστικό-γνώρισμα που παρέχεται από το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κανόνας ταξινόμησης των αντικειμένων σε μια κατηγορία με βάση τις αρχές της ασαφούς λογικής που περιγράψαμε. Κάθε κατηγορία μπορεί να χρησιμοποιήσει ως κανόνα ταξινόμησης παραπάνω του ενός χαρακτηριστικού γνώρισματος, τον ταξινομητή του εγγύτερου γείτονα, ή συνδυασμό τους.

#### 2.1.4 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 2009).

Έτσι, αντικείμενα από διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης (χωρικής) και διαφορετικών θεματικών εννοιών πρέπει να συνδυαστούν στις περισσότερες εφαρμογές. Το σχήμα στην Εικόνα 1 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.

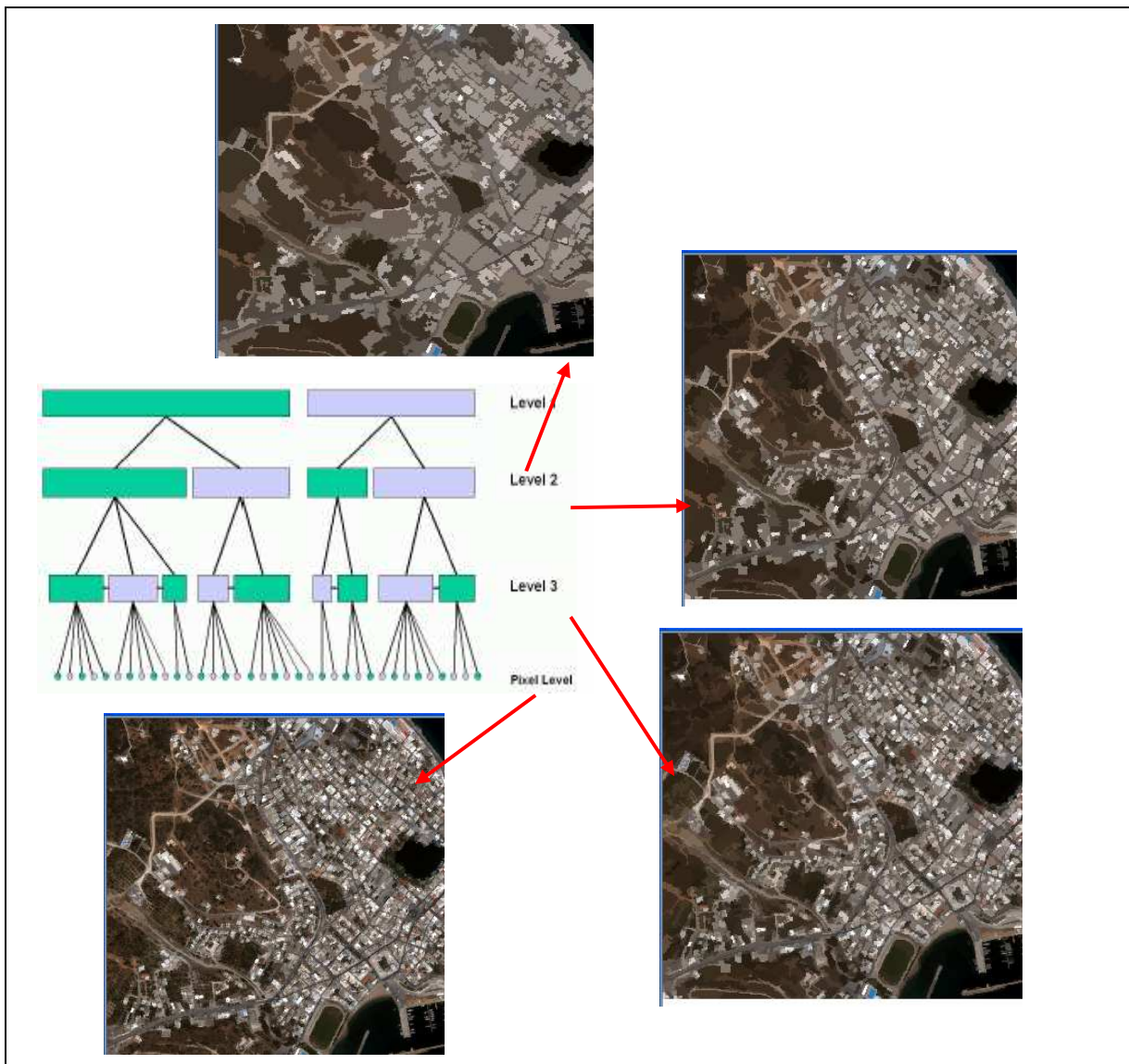
«Η μορφή αυτή, σε συνδυασμό με τις περαιτέρω παράγωγες ιδιότητες του χρώματος και της σύστασης του αντικειμένου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση της εικόνας, ταξινομώντας αρχικά τα παράγωγα αντικείμενα της εικόνας. Με αυτόν τον τρόπο, οι κατηγορίες οργανώνονται σε μία ιεραρχία κατηγοριών. 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-επιπέδων 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. Το 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 γειννίαςης.

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

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



**Εικόνα 6:** Ιεραρχία των επιπέδων ανάλυσης της εικόνας του Αγίου Νικολάου με διαφορετική κλίμακα και παραμέτρους κατάτμησης

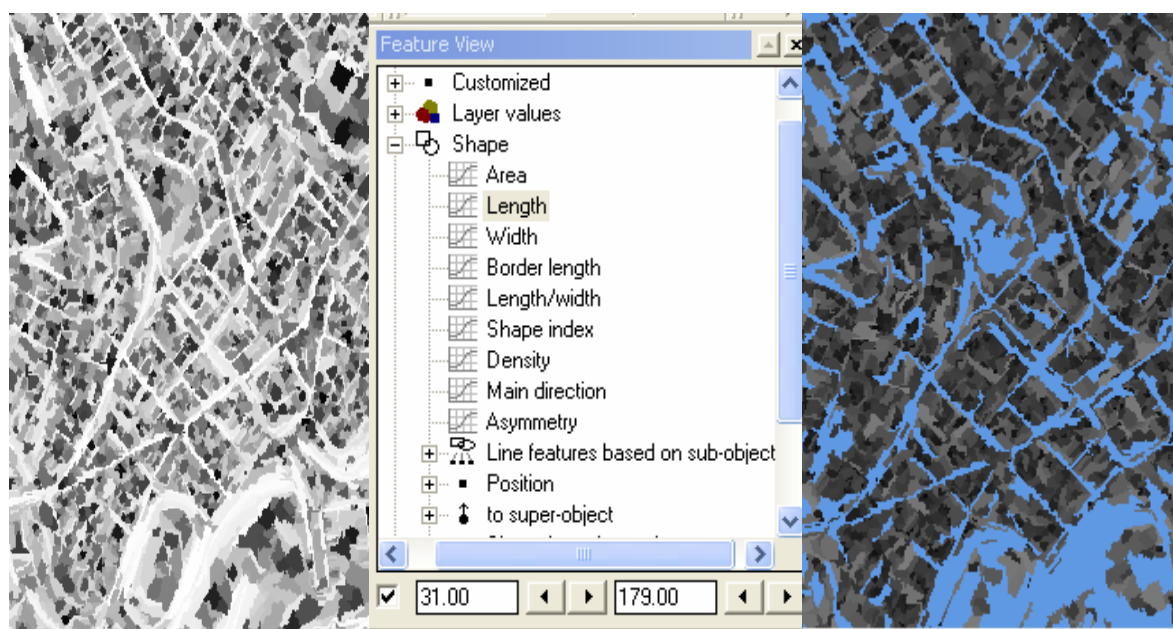
### 2.1.5 Χαρακτηριστικά στο eCognition

Το λογισμικό παρέχει μια σειρά από χαρακτηριστικά τα οποία με τη βοήθεια της ασαφούς λογικής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν περιγραφές τάξεων. Αυτά χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες, τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα αντικειμένων (object feature) και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που σχετίζονται με τις κλάσεις (class related feature). «Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των αντικειμένων εφαρμόζονται αξιολογώντας τις ιδιότητες αυτών καθαυτών των αντικειμένων (όπως το σχήμα και τα φασματικά χαρακτηριστικά) καθώς και την ενσωμάτωσή τους στην εικόνα, ενώ τα χαρακτηριστικά σχετιζόμενα με τις τάξεις αναφέρονται στις ταξινομήσεις άλλων αντικειμένων της εικόνας οι

οποίες λαμβάνονται υπόψη για την ταξινόμηση του υπό εξέταση αντικειμένου» (Baatz et al 2001).

Η επιλογή των χαρακτηριστικών που θα χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή και την ταξινόμηση των τάξεων γίνεται με βάση τις εκ των προτέρων γνωστές ιδιότητες των υπό αναγνώριση αντικειμένων και με επισκόπηση των στατιστικών, των ιδιοτήτων των αντικειμένων της εκάστοτε κατάτμησης / ταξινόμησης. Σε κατάλληλο γραφικό εργαλείο που παρέχει το λογισμικό (feature view) παρουσιάζεται η εικόνα του κάθε χαρακτηριστικού, όπου όσο πιο φωτεινό παρουσιάζεται το κάθε αντικείμενο τόσο μεγαλύτερη τιμή λαμβάνει η συνάρτηση για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Ακολουθεί πειραματισμός για τα όρια της συνάρτησης. Αναλόγως με τα όρια τα οποία τίθενται τα αντικείμενα που περιλαμβάνονται στη συνάρτηση παρουσιάζονται με μπλε χρώμα. Έτσι ο πειραματισμός ολοκληρώνεται όταν απεικονιστούν με μπλε χρώμα τα αντικείμενα που θα πρέπει να συγκεντρωθούν για τον συγκεκριμένο κανόνα (Εικόνα 7).

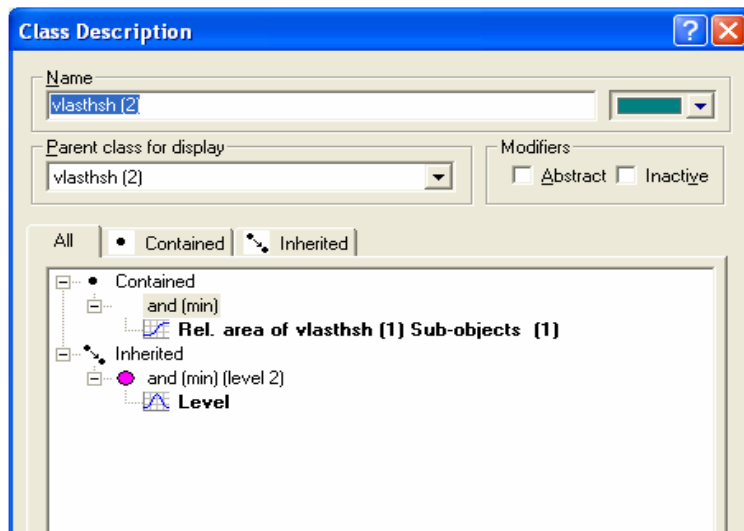
Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να προχωρήσει στη δημιουργία μιας βάσης γνώσης, με λεπτομερέστερες και πιο πολύπλοκες περιγραφές για εννοιολογικές (θεματικές) κατηγορίες εδαφοκάλυψης πέραν των φασματικών τους χαρακτηριστικών.



**Εικόνα 7:** Εικόνα του χαρακτηριστικού length (αριστερά) επιλογή των ορίων της συνάρτησης Length (κέντρο), επιλογή αντικειμένων με βάση τα όρια (δεξιά)

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στη δυνατότητα συνδυασμού διαφορετικών επιπέδων κατάτμησης και ταξινόμησης. Ένα επίπεδο μπορεί να ταξινομηθεί λαμβάνοντας υπόψη την ταξινόμηση ενός ανώτερου ή κατώτερου ιεραρχικά επιπέδου, δηλαδή με πιο λεπτή ή χοντρή κατάτμηση αντίστοιχα (μέσω των αρχικών χειρισμών της κλίμακας - scale parameter), επιτρέποντας τη διαμόρφωση "σχέσεων μέρους - όλου". Επιπλέον, αν κάποιες κατηγορίες ταξινομούνται καλύτερα σε ένα κατώτερο ιεραρχικά επίπεδο, δηλαδή με λεπτότερη κατάτμηση, ενώ άλλες σε ένα ανώτερο, τα δύο αυτά επίπεδα κατάτμησης και ταξινόμησης μπορούν να συνδυαστούν. Πιο συγκεκριμένα, οι κατηγορίες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον στο κατώτερο επίπεδο μπορούν να "προβληθούν" στο ανώτερο και με τον τρόπο αυτό να διατηρηθούν οι καλύτερες –όσον αφορά στα αποτελέσματα- κατηγορίες από κάθε επίπεδο. Τα αντικείμενα που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις περιπτώσεις ταξινόμησης θα ονομάζονται υπό-αντικείμενα (sub-objects) και ή υπέρ-αντικείμενα (super-objects).





Εικόνα 8: ταξινόμηση με χρήση υπό-αντικειμένων

### 3 Μεθοδολογία

#### 3.1 Περιοχή μελέτης - περιγραφή δεδομένων

Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής είναι η πόλη του Αγίου Νικολάου στην Κρήτη. Ο Άγιος Νικόλαος είναι η πρωτεύουσα του νομού Λασιθίου και βρίσκεται στη βόρεια ακτογραμμή της Κρήτης στη Δυτική πλευρά του κόλπου του Μεραμβέλλου. Είναι μια τυπική μικρή επαρχιακή πόλη που αριθμός των κατοίκων της δε ξεπερνά τους 12000.

Για την ανίχνευση και την εξαγωγή του οδικού δικτύου χρησιμοποιήθηκε μια τηλεσκοπική απεικόνιση QuickBird πολύ υψηλής διακριτικής ικανότητας η οποία είχε υποστεί διαδικασία συγχώνευσης (fusion) των δεδομένων του παγχρωματικού καναλιού (0.7 m χωρική διακριτική ικανότητα) και των πολυφασματικών καναλιών του δορυφόρου (2.4 m χωρικής διακριτικής ικανότητας). Η απεικόνιση που χρησιμοποιήθηκε αποτελούνταν από τέσσερα φασματικά κανάλια: μπλε (0.49-0.52 nm) πράσινο (0.52-0.60 nm) κόκκινο (0.63-0.69 nm) και εγγύς υπέρυθρο (0.76-0.90m τα οποία μετά τη συγχώνευση με το παγχρωματικό κανάλι είχαν τελικά χωρική διακριτική ικανότητα 0.7 m.

Η απεικόνιση καλύπτει μια έκταση μεγέθους 35 km<sup>2</sup> της περιοχής μελέτης, λόγω όμως του περιορισμού της δοκιμαστικής έκδοσης του λογισμικού eCognition που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής στο μέγεθος των εικόνων που μπορεί να επεξεργαστεί, χρησιμοποιήθηκε ένα τμήμα της μεγέθους 1002 X 1002 pixel δηλαδή 703 X 703 m.



**Εικόνα 9:** Έγχρωμο σύνθετο 3,2,1(R,G,B) της περιοχής του Αγ. Νικολάου

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 9 η περιοχή κατόπτευσης είναι μια σύνθετη περιοχή, το μεγαλύτερο μέρος της καταλαμβάνεται από μια πυκνοδομημένη αστική περιοχή, διακρίνεται η χαρακτηριστική λιμνοθάλασσα στο μέσο-αριστερό τμήμα της απεικόνισης καθώς και τμήματα της θάλασσας στο πάνω και στο κάτω δεξί τμήμα. Πέραν της αστικής περιοχής, έντονη είναι και η παρουσία αραιής κυρίως βλάστησης στο αριστερό τμήμα της απεικόνισης. Όσον αφορά το οδικό δίκτυο αυτό φαίνεται αρκετά πολύπλοκο. Υπάρχουν διαφορετικών

τύπων δρόμοι με διαφορετικά φασματικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Διακρίνεται άμεσα η κύρια οδική αρτηρία (περιφερειακή οδός Αγ. Νικολάου) στο μέσο της απεικόνισης καθώς και κάποιοι μεγάλοι χωματόδρομοι στο πάνω μέρος. Κάποιοι πιο κεντρικοί δρόμοι εντός του αστικού ιστού διακρίνονται με σχετική ευκολία ενώ οι μικρότεροι δρόμοι (οδοί) που αποτελούν και την πλειοψηφία δε διακρίνονται ιδιαίτερα εύκολα σε όλες τις περιπτώσεις.

### 3.2 Εργαλεία-Χαρακτηριστικά στο ECognition

Πριν από την ανάπτυξη των μεθοδολογιών που εφαρμόστηκαν για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου στην απεικόνιση της περιοχής του Αγίου Νικολάου παρουσιάζονται τα «εργαλεία» που χρησιμοποιήθηκαν και παρέχονται από το λογισμικό ως χαρακτηριστικά γνώρισμα.

- **Ratio:** Το Ratio είναι ένα φασματικό χαρακτηριστικό η τιμή του οποίου υπολογίζεται ως ο λόγος της μέσης τιμής ενός αντικειμένου σε ένα συγκεκριμένο κανάλι με το άθροισμα των μέσων φασματικών τιμών όλων των καναλιών. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το χαρακτηριστικό ratio-blue για τα την ανάδειξη του ασφαλτοστρωμένου οδικού δικτύου.
- **Mean difference to scene:** Είναι η διαφορά της μέσης τιμής ενός αντικειμένου της εικόνας με τη μέση τιμή του συνόλου της εικόνας. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι επίσης φασματικό, και υπολογιζόμενο στο κόκκινο κανάλι παρατηρήθηκε ότι συμβάλει στην καλύτερη ανίχνευση των χωματόδρομων. Αυτό συμβαίνει γιατί η μέση τιμή των αντικειμένων που τους απαρτίζουν, στο κόκκινο κανάλι είναι αρκετά υψηλότερη από τη μέση τιμή ολόκληρης της εικόνας στο κανάλι αυτό έτσι εμφανίζονται πιο φωτεινοί από την υπόλοιπη εικόνα. Υπολογιζόμενο στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι συμβάλει στην ανίχνευση του ασφαλτοστρωμένου οδικού δικτύου μιας και η ανακλαστικότητα τους σε αυτό το κανάλι είναι χαμηλότερη από τα υπόλοιπα αντικείμενα της εικόνας συνεπώς εμφανίζονται με σκοτεινότερους τόνους.
- **Length:** Είναι ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα σχήματος, σχετίζεται με το μήκος του αντικειμένου και ορίζεται ως διαφορά των συντεταγμένων των ακραίων σημείων του. Η χρήση του ως κανόνας βοηθάει ιδιαίτερα στην ανίχνευση των δρόμων μιας και αυτοί συνήθως απαρτίζονται από επιμήκη αντικείμενα.
- **Length / Width:** Ένα άλλο ιδιαίτερα χρήσιμο χαρακτηριστικό σχήματος που χρησιμοποιείται είναι το μήκος προς πλάτος του αντικειμένου. 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. Το χαρακτηριστικό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αντίστροφα ώστε να αποφευχθεί η ταξινόμηση άλλων περιοχών ως δρόμοι.
- **Asymmetry:** Το χαρακτηριστικό αυτό δείχνει την ασυμμετρία ενός αντικειμένου η οποία είναι αντίστοιχη του μήκους του. Κάθε αντικείμενο της εικόνας προσεγγίζεται από μια έλλειψη, οπότε η ασυμμετρία υπολογίζεται από το λόγο των μηκών της κύριας και της δευτερεύουσας ακτίνας της έλλειψης αυτής. Αυτό το χαρακτηριστικό σχήματος σε αντιστοιχία με τα προηγούμενα δυο αναδεικνύει αρκετά ικανοποιητικά στενόμακρα αντικείμενα όπως είναι οι δρόμοι.
- **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 ιδανική μορφή συμπαγές ενός αντικειμένου είναι το τετράγωνο, όσο πιο τετραγωνισμένο είναι το μεγαλύτερη η τιμή του density που έχει.

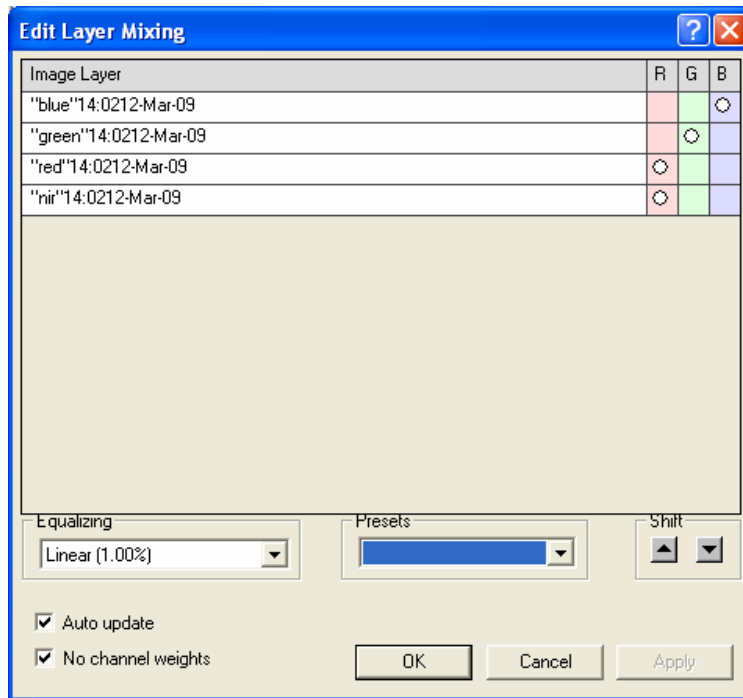
- **Shape index:** Ο δείκτης σχήματος ορίζεται ως το μήκος των συνόρων ενός αντικειμένου διαιρεμένου προς τέσσερις φορές τη τετραγωνική ρίζα του εμβαδού του. Ουσιαστικά το χαρακτηριστικό αυτό δείχνει την ομαλότητα των συνόρων των αντικειμένων, έτσι όσο πιο ομαλά είναι αυτά τόσο μεγαλύτερη τιμή παίρνει ο δείκτης σχήματος. Το χαρακτηριστικό αυτό χρησιμοποιήθηκε επίσης για την ανάδειξη του οδικού δικτύου.
- **Main direction:** Η κύρια κατεύθυνση ενός αντικειμένου της εικόνας ορίζεται ως η κατεύθυνση της μεγαλύτερης ακτίνας της έλλειψης που περιγράφει το αντικείμενο. Το χαρακτηριστικό αυτό χρησιμοποιήθηκε στη τελευταία προσέγγιση ώστε να συμβάλει στο διαχωρισμό της κύριας οδικής αρτηρίας της εικόνας από το υπόλοιπο οδικό δίκτυο.

Ο τρόπος με τον οποίο έγινε η επιλογή των συναρτήσεων συμμετοχής για τους κανόνες που χρησιμοποιούν τα παραπάνω χαρακτηριστικά έγινε μέσω της διαδικασίας feature view του λογισμικού του eCognition όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

### 3.3 Μεθοδολογία ανίχνευσης του οδικού δικτύου στην απεικόνιση του Αγίου Νικολάου

Για την επίτευξη του επιθυμητού κάθε φορά στόχου από την ανάλυση μιας εικόνας (στην προκειμένη περίπτωση η εξαγωγή του οδικού δικτύου) ο χρήστης εφαρμόζει μια διαδοχική αλληλουχία αποφάσεων που έχουν να κάνουν με ποικίλα ζητήματα όπως η παραμετροποίηση της κατάτμησης, η επιλογή των κατηγοριών που θα ταξινομηθούν επικουρικά, οι κανόνες ταξινόμησης, οι συναρτήσεις συμμετοχής τους και τα όρια τους κλπ. Στο πλαίσιο εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εφαρμόστηκε μια σειρά προσεγγίσεων για την ανίχνευση και την εξαγωγή του οδικού δικτύου οι καλύτερες εκ των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω.

Αρχικά η απεικόνιση εισάγεται στο λογισμικό eCognition με το κάθε κανάλι της να εισάγεται ως επίπεδο (layer) και δημιουργείται μια νέα «εργασία» (project). Εισάγοντας την εικόνα υπάρχει η δυνατότητα έσω του Layer Mixing (Εικόνα 10) με βάση το φυσικό έγχρωμο σύνθετο (3,2,1,RGB) ή κάποιο άλλο έγχρωμο σύνθετο να αποκτηθεί μια πρώτη εικόνα για την περιοχή μελέτης και να βγουν κάποια πρώτα συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά της (Εικόνα 11) . Στην συνέχεια αρχίζουν οι πειραματισμοί για την κατάτμηση της εικόνας.



**Εικόνα 10:** Παράθυρο διαλόγου μίξης επιπέδων (Layer Mixing)



**Εικόνα 11:** Έγχρωμο σύνθετο 4,3,2(R,G,B) απεικόνισης Αγ. Νικολάου

### 3.3.1 Λόγοι και πράξεις

Κατά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας ανίχνευσης του οδικού δικτύου χρησιμοποιήθηκαν λόγοι μεταξύ των καναλιών του πολυφασματικού δέκτη που συνέβαλαν στον εντοπισμό και στην ανάδειξη με μεγάλη ακρίβεια δευτερευουσών κατηγοριών κάλυψης γης. Σε αυτό το σημείο ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στη δυνατότητα που παρέχει το λογισμικό για συνδυασμό διαφορετικών επιπέδων κατάτμησης και ταξινόμησης. Ένα επίπεδο μπορεί να

ταξινομηθεί λαμβάνοντας υπόψη την ταξινόμηση ενός ανώτερου ή κατώτερου ιεραρχικά επιπέδου, δηλαδή με πιο λεπτή ή χοντρή κατάτμηση αντίστοιχα, επιτρέποντας τη διαμόρφωση "σχέσεων μέρους - όλου". Συνεπώς ταξινομώντας κάποιες κατηγορίες όπως το νερό και η βλάστηση σε ένα λεπτό επίπεδο κατάτμησης επιτύχαμε την πλήρη απομόνωσή τους από τη συνέχεια της διαδικασίας επαυξάνοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μας. Οι λόγοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση των προαναφερθέντων κατηγοριών προέκυψαν από τη βιβλιογραφία, εφαρμόστηκαν χάρη στη δυνατότητα που παρέχει το λογισμικό για δημιουργία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων (customized features) πέρα των υπάρχοντων και παρουσιάζονται παρακάτω.

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

Ο λόγος αυτός χρησιμοποιήθηκε για να αναδείξει τη βλάστηση σε ένα χαμηλό επίπεδο κατάτμησης στο οποίο είχε δοθεί όλο το βάρος στο χρώμα (color parameter =1) ώστε να ταξινομηθεί με ακρίβεια η βλάστηση και να είναι δυνατός ο αποκλεισμός της από τα παραπάνω επίπεδα ανάλυσης έτσι ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα κάποια περιοχή βλάστησης να ταξινομηθεί ως κάποια άλλη θεματική κατηγορία όπως για παράδειγμα χωματόδρομος .

- NDWI: (πράσινο-εγγύς υπέρυθρο)/ (πράσινο + εγγύς υπέρυθρο)

Ο λόγος NDWI (Normal Difference Water Index) δημιουργήθηκε για τον εντοπισμό των υδάτινων επιφανειών και τη διάκριση τους από άλλες φασματικές κατηγορίες (Mc Feeters 1996). Οι επιφάνειες που καλύπτονται από νερό συχνά παρουσιάζουν παρόμοιες φασματικές υπόγραφες με ανθρωπογενείς κατασκευές (όπως οροφές κτηρίων και ασφαλτοστρωμένους δρόμους) σε κάποια κανάλια όπως το μπλε, συνεπώς ο ακριβής εντοπισμός τους είναι μεγάλης σημασίας.

### 3.3.2 Προσέγγιση 1: Ταξινόμηση με αποκλειστική χρήση του εγγύτερου γείτονα (Nearest Neighbor)

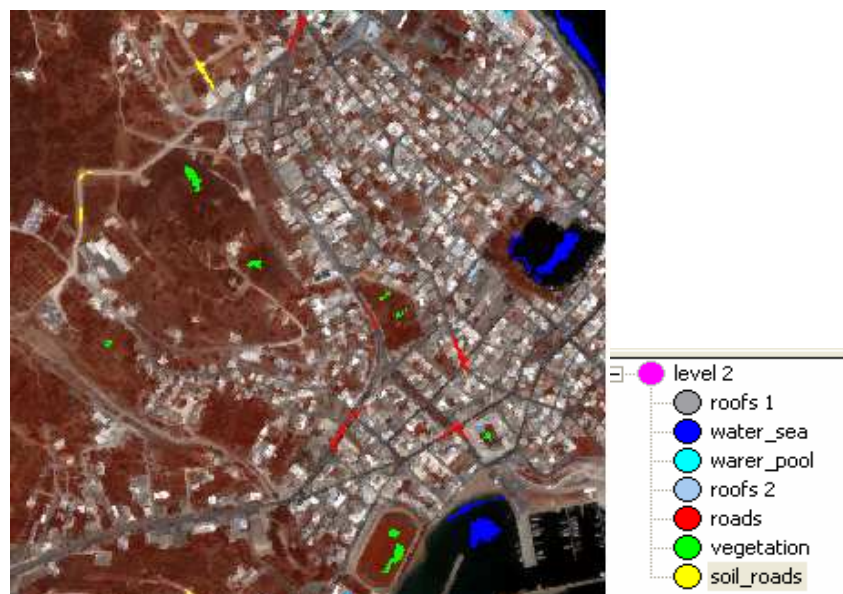
Σε αυτή την προσέγγιση γίνεται ουσιαστικά μια απόπειρα να εξεταστεί το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα που μπορεί να επιτευχθεί με την απλούστερη δυνατή μέθοδο ταξινόμησης που παρέχει το λογισμικό eCognition, δηλαδή με την αποκλειστική χρήση του εγγύτερου γείτονα (Nearest Neighbor). Συνεπώς δημιουργείται ένα μόνο επίπεδο κατάτμησης οι παράμετροι του οποίου επιλέγονται έτσι ώστε να δημιουργηθούν τέτοια αντικείμενα που θα ευνοούν την ταξινόμηση όλων των κύριων κατηγοριών που ενυπάρχουν στην απεικόνιση και φυσικά του οδικού δικτύου. Για την κατάτμηση αυτή χρησιμοποιήθηκαν και τα τέσσερα κανάλια με ίσο βάρος ενώ οι παράμετροι που επιλέχθηκαν μετά από αρκετές δοκιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2).

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	25	0.8	0.2	1	-

Πίνακας 2: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 1

Μετά από την φωτοερμηνεία της εικόνας παρατηρήθηκαν επτά κύριες θεματικές κατηγορίες εδαφοκάλυψης για τις οποίες και ελήφθησαν δείγματα ώστε να ταξινομηθούν. Αυτές ήταν η θάλασσα, η βλάστηση, οι πισίνες, οι δρόμοι, οι χωματόδρομοι και δυο κατηγορίες οροφών. Δεν ταξινομήθηκε ξεχωριστή κατηγορία για το γυμνό έδαφος γιατί όπως αποδείχθηκε δε μπορούσε να επιτευχθεί η διάκριση του από τους χωματόδρομους με τη χρήση του εγγύτερου γείτονα καθώς οι φασματικές υπογραφές των δυο αυτών κατηγοριών είναι σχεδόν ταυτόσημες. Παρακάτω παρατίθεται η εικόνα στην οποία φαίνονται τα δείγματα

εκπαίδευσης (samples) που λήφθηκαν για τη λειτουργία του εγγύτερου γείτονα (Εικόνα 12) καθώς και ο Πίνακας 3 στον οποίο φαίνονται οι κανόνες ταξινόμησης και οι τιμές τους για κάθε κατηγορία (στην προκειμένη προσέγγιση ως κανόνες ταξινόμησης για όλες τις κατηγορίες χρησιμοποιήθηκε ο εγγύτερος γείτονας)

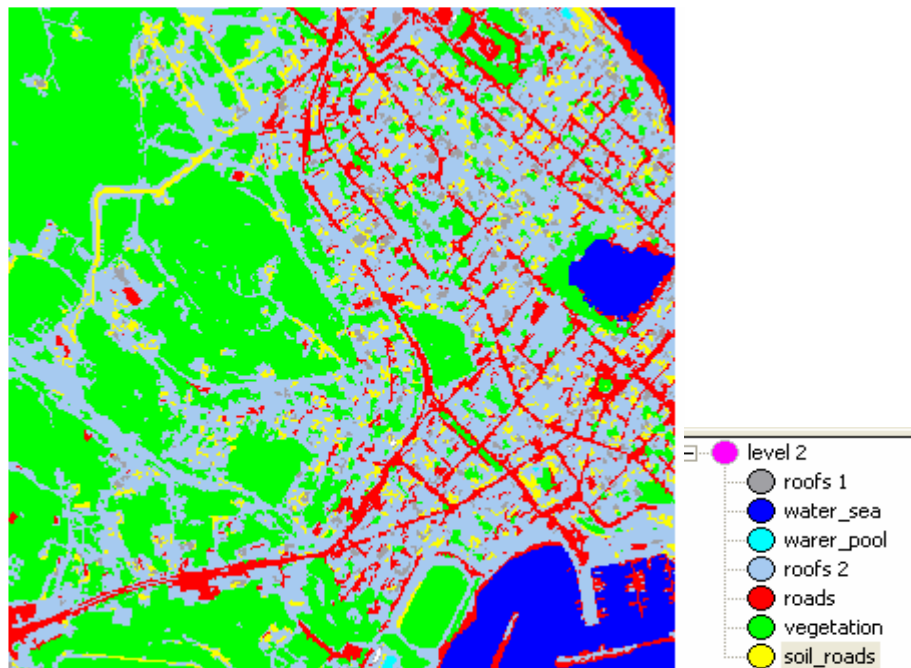


**Εικόνα 12:** Δείγματα που ελήφθησαν πριν από τη ταξινόμηση

κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Θάλασσα	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Πισίνες	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Οροφές 1	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Οροφές 2	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Δρόμοι	Standard Nearest Neighbor	-	-	-
Χωματόδρομοι	Standard Nearest Neighbor	-	-	-

**Πίνακας 3:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για την ταξινόμηση

Μετά τον ορισμό των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στην Εικόνα 13.



**Εικόνα 13:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης με αποκλειστική χρήση του εγγύτερου γείτονα

Όπως φαίνεται ένα ικανοποιητικό ποσοστό του ασφαλτοστρωμένου οδικού δικτύου έχει ταξινομηθεί σωστά όπως επίσης και αρκετοί ευδιάκριτοι χωματόδρομοι. Υπάρχουν ωστόσο πολλά διάσπαρτα αντικείμενα τα οποία έχουν ταξινομηθεί λανθασμένα ως ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι και ακόμα περισσότερα ως χωματόδρομοι. Η ταξινόμηση της βλάστησης, των πισίνων και της θαλάσσιας επιφάνειας κρίνεται ιδιαίτερα ικανοποιητική σε αντίθεση με τη ταξινόμηση των δυο τύπων οροφής. Η προσέγγιση αυτή καταδεικνύει την ανάγκη για συνδυαστική χρήση των εννοιολογικών και των φασματικών ιδιοτήτων των αντικειμένων για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος.

### 3.3.3 Προσέγγιση 2: Κατάτμηση μικρής κλίμακας και ταξινόμηση με έμφαση στα χαρακτηριστικά σχήματος

#### 3.3.3.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 1

Όπως έχει αναφερθεί, για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της κατάτμησης απαιτούνται αρκετές και επαναλαμβανόμενες δοκιμές έως ότου προκύψουν αντικείμενα που θα είναι αντιπροσωπευτικά των θεματικών κατηγοριών που θέλουμε να ανιχνεύσουμε και να ταξινομήσουμε κάθε φορά. Όπως γίνεται αντιληπτό η βέλτιστη κατάτμηση για την ταξινόμηση κάποιας θεματική κατηγορία δε θα είναι αντιπροσωπευτική για κάποια άλλη, για αυτό και σε όλες τις προσεγγίσεις από εδώ και πέρα δημιουργούνται διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης που να εξυπηρετούν την εκάστοτε στρατηγική για την επίτευξη του τελικού στόχου που είναι και η ανίχνευση και η εξαγωγή του οδικού δικτύου. Σε αυτή την προσέγγιση δημιουργήθηκαν τρία επίπεδα ανάλυσης

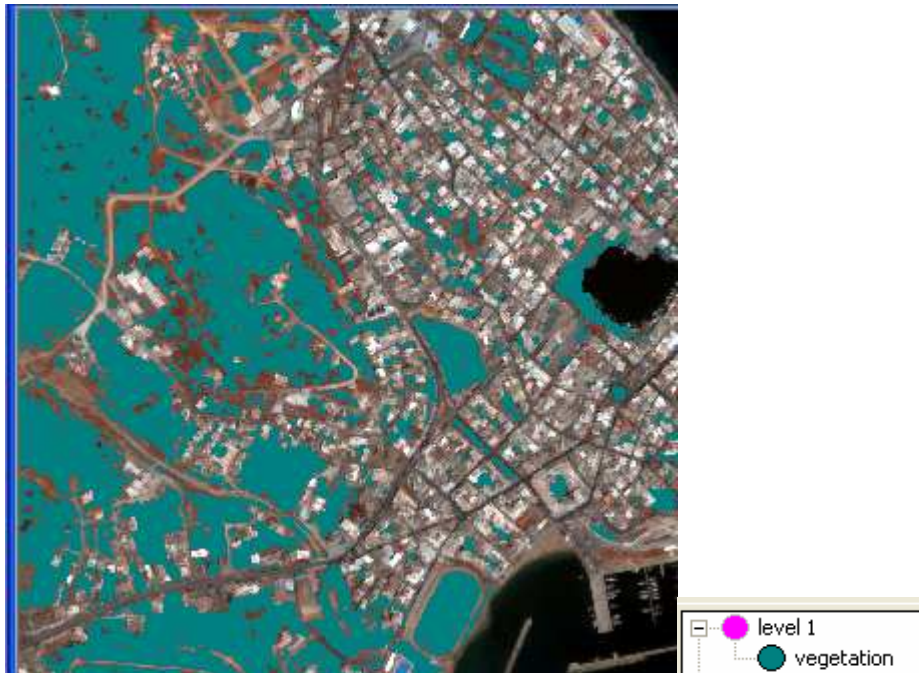
Σε πρώτη φάση δημιουργήθηκε ένα λεπτόκοκκο επίπεδο ανάλυσης στο οποίο δόθηκε έμφαση στο χρώμα και σκοπό είχε να ταξινομηθεί σε αυτό η βλάστηση. Σκοπός είναι να προβληθεί στο παραπάνω επίπεδο κατάτμησης, όπου και θα ταξινομηθούν οι δρόμοι, και έτσι να διασφαλιστεί ότι δε θα υπάρξει κάποια σύγχυση μεταξύ των δύο κατηγοριών. Οι παράμετροι κατάτμησης που τελικά επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4).




Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	8	0.8	0.2	0.9	0.1

**Πίνακας 4:** Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 1

Η ανίχνευση και ταξινόμηση της βλάστησης έγινε με τη βοήθεια του λόγου NDVI ο οποίος και έχει αναφερθεί παραπάνω ενώ το αποτέλεσμα της ταξινόμησης (Εικόνα 14) καθώς και η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια της (Πίνακας 5) παρουσιάζονται παρακάτω.



**Εικόνα 14:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης επιπέδου 1

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση	NDVI		0.21	0.25

**Πίνακας 5:** Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής επιπέδου 1

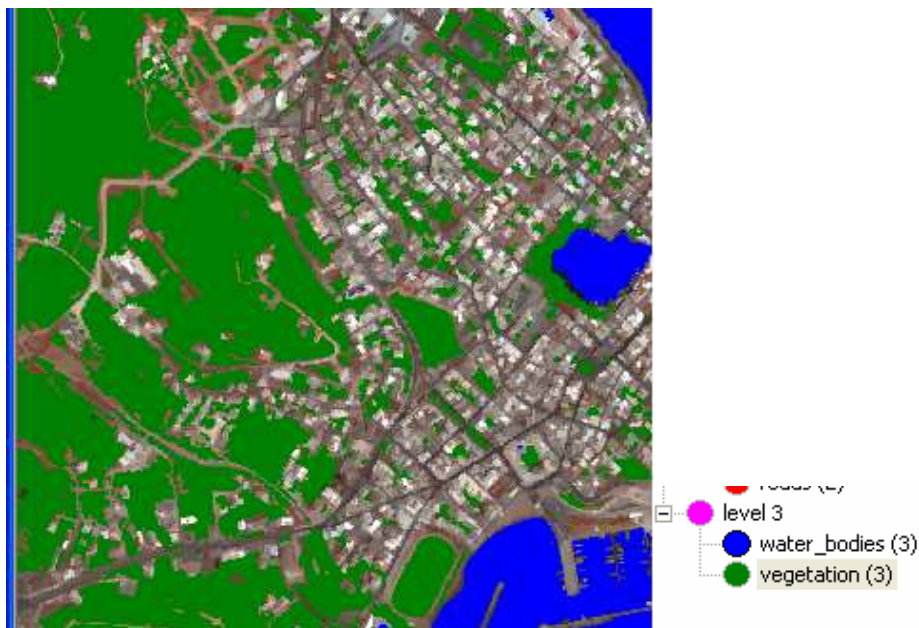
### 3.3.3.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 3

Σε αντιστοιχία με τη δημιουργία του επιπέδου 1 για την ανίχνευση της βλάστησης δημιουργήθηκε ένα σχετικά χοντρόκοκκο επίπεδο κατάτμησης με σκοπό την ταξινόμηση των υδάτινων επιφανειών ώστε να προβληθούν στο παρακάτω τους επίπεδο και να αποκλειστεί η πιθανότητα σύγχυσης τους με το οδικό δίκτυο. Σε αυτό το επίπεδο συνεπώς δημιουργήθηκαν σχετικά μεγάλα αντικείμενα με έμφαση στο χρώμα. Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για τη συγκεκριμένη κατάτμηση παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6).

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	30	1	0	-	-

**Πίνακας 6:** Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 3

Για την ανίχνευση των υδάτινων επιφανειών χρησιμοποιήθηκε ο λόγος  $water\_index$  ο οποίος δημιουργήθηκε ως εξής:  $water\_index = 1/ratio\ nir$ . Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τους λόγους, μετά από διερεύνηση βάσει ραδιομετρίας της συγκεκριμένης εικόνας, προέκυψαν για τον δείκτη του νερού πάνω από 0.47 και για τον NDVI πάνω από 0.23. Παρακάτω παρουσιάζεται η ταξινόμηση του τρίτου επιπέδου (Εικόνα 15) καθώς και οι συναρτήσεις συμμετοχής (Πίνακας 7). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, οι υδάτινες επιφάνειες έχουν ταξινομηθεί με μεγάλη ακρίβεια, ενώ έχει ταξινομηθεί και η βλάστηση με πράσινο χρώμα.



**Εικόνα 15:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης επιπέδου 3

Κατηγορία	Κανόνας	Συν Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση	Rel. area of vegetation (2) sub-objects		0.43	0.47
Υδάτινες επιφάνειες	Water index		4.65	4.75

**Πίνακας 7:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 3

Εδώ θεωρείται σκόπιμο να αναφερθούν και οι κανόνες που ισχύουν για τα τρία επίπεδα της ταξινόμησης. Η ιεραρχία των επιπέδων πέρα από την ονομασία των επιπέδων καθορίζεται και με το χαρακτηριστικό (feature) Level. Η συνάρτηση συμμετοχής είναι αυτή που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8) έτσι ώστε να ισχύει για μία μόνο τιμή. Έτσι οι τιμές αυτές είναι το 1 το 2 και το 3 για το πρώτο το δεύτερο και το τρίτο επίπεδο αντίστοιχα. Με αυτό το χαρακτηριστικό διασφαλίζουμε ότι κάθε ταξινόμηση θα διενεργείται στο επιλεγμένο επίπεδο (level) και θα ταξινομούνται μόνο εκείνες οι κατηγορίες που συμμετέχουν στην ιεραρχία του.

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

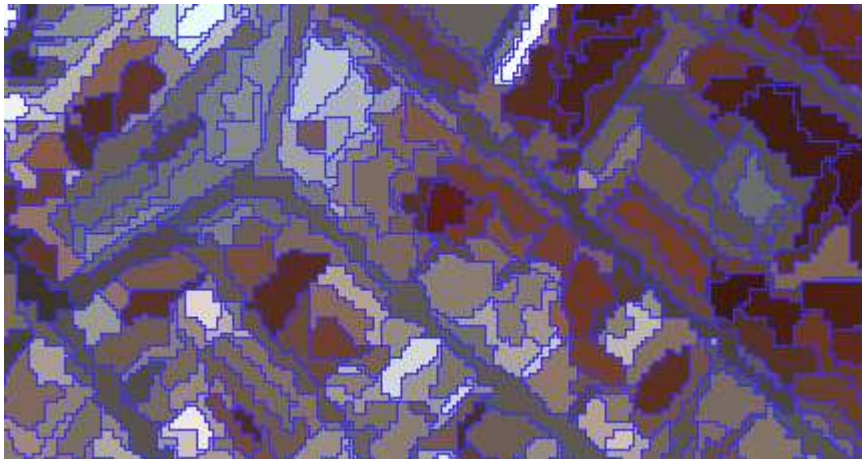
**Πίνακας 8:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής της ιεραρχίας των τριών επιπέδων

### 3.3.3.3 Κατάτμηση και ταξινόμηση του επιπέδου 2

Σε αυτή την προσέγγιση στόχος ήταν οι αξιοποίηση των χαρακτηριστικών σχήματος των δρόμων για την ταξινόμηση τους. Μετά από αρκετές δοκιμές καταλήξαμε σε μια κατάτμηση όπου δίνεται έμφαση στη μορφή ( $shape=0.9$ ) ώστε να δημιουργηθούν αντικείμενα που ακολουθούν κατά το δυνατόν τη μορφή των δρόμων. Όπως μπορούμε να δούμε στην εικόνα (Εικόνα 16) ολόκληρα τμήματα δρόμων αποδίδονται σε μεγάλο βαθμό από τα αντικείμενα που δημιουργήθηκαν από την κατάτμηση.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	13	0.1	0.9	1	-






**Πίνακας 9:** Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 2



**Εικόνα 16:** Αντικείμενα της κατάτμησης επιπέδου 2

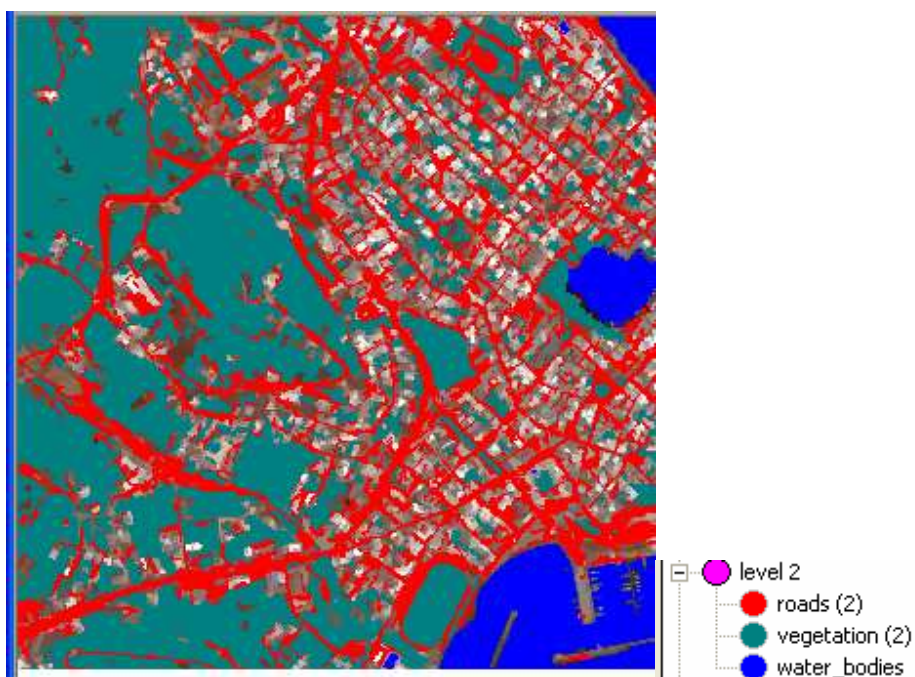
Εφόσον επιτεύχθηκε μια ικανοποιητική κατάτμηση της εικόνας (αν και αυτό είναι κάτι που μπορεί να ειπωθεί μετά από τα αποτελέσματα της ταξινόμησης), επόμενο βήμα ήταν ο πειραματισμός στους κανόνες που θα περιγράψουν την κατηγορία του ενδιαφέροντος μας. Είναι σκόπιμο, κάθε φορά που δοκιμάζεται κάτι καινούριο να εκτελείται μια προσωρινή ταξινόμηση για να ελέγχεται πως επηρεάζει η κάθε αλλαγή το αποτέλεσμα. Μετά λοιπόν από επαναληπτικές δοκιμές διαφόρων χαρακτηριστικών σχήματος ( $shape$  features) που παρέχει το eCognition και των τιμών τους αποφασίστηκε η χρήση των χαρακτηριστικών  $asymmetry$  και  $mean\ diff\ to\ scene\ nir$  για τη ταξινόμηση του οδικού δικτύου. Το χαρακτηριστικό  $rel.\ border\ to\ water\_bodies\ neighbor$  χρησιμοποιήθηκε ώστε να αποφευχθεί η λανθασμένη ταξινόμηση ως δρόμων κάποιων αντικειμένων που ήταν σε άμεση επαφή με το νερό (όπως πχ ο κυματοθραύστης). Στο επίπεδο αυτό ταξινομήθηκαν επίσης η βλάστηση και οι υδάτινες επιφάνειες με βάση τις ταξινομήσεις τους στα επίπεδα 1 και 3 αντίστοιχα. Αυτό έγινε με τη χρήση των χαρακτηριστικών  $relative\ area\ of\ sub\ objects$  και του  $existence$

of αντίστοιχα. Όλοι οι κανόνες και οι αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής τους παρατίθενται παρακάτω (Πίνακας 10)

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
Δρόμοι	and or	not vegetation			
		rel. border to water bodies neighbor		0.009	0.011
		asymmetry		0.8	0.9
		mean diff to scene nir		-70	-310
Βλάστηση		rel. area of vegetation sub objects		0.4	0.5
Υδάτινες επιφ.		existence of water bodies super objects		0.48	0..52

**Πίνακας 10:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 2

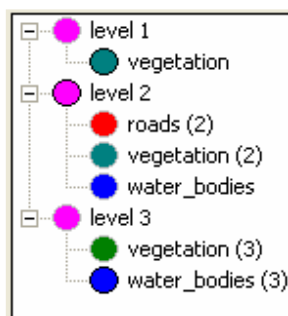
Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης όπως προέκυψε με τη χρήση των προαναφερθέντων κανόνων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 17)



**Εικόνα 17:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 2

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό. Ταξινομήθηκε μεν σωστά ένα μεγάλο ποσοστό του οδικού δικτύου αλλά από την προσέγγιση αυτή προέκυψε κάπως «υπερβολικό» αποτέλεσμα αφού οι δρόμοι διαχέονται παραπάνω από το επιθυμητό σε παρόδιες χρήσεις γης ενώ υπάρχουν και κάποιες ασυνέχειες στον κεντρικό οδικό άξονα της εικόνας.

Η ιεραρχία των κατηγοριών αυτής της εργασίας φαίνεται στην Εικόνα 18.



**Εικόνα 18:** Ιεραρχία κατηγοριών συνολικής εργασίας

### 3.3.4 Προσέγγιση 3 : Ταξινόμηση των αστικών δρόμων με έμφαση στα φασματικά τους χαρακτηριστικά

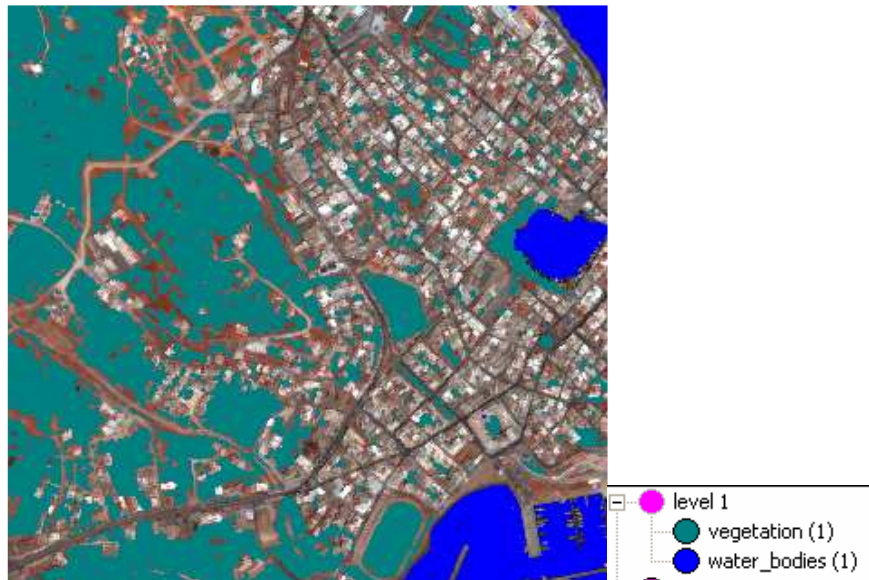
#### 3.3.4.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση του επιπέδου 1

Αρχικά δημιουργείται και πάλι ένα λεπτόκοκκο επίπεδο ανάλυσης με σκοπό την ταξινόμηση της βλάστησης και των υδάτινων επιφανειών. Στην προηγούμενη προσέγγιση είχε δημιουργηθεί ένα ανώτερο επίπεδο κατάτμησης με μεγάλα μεγέθους αντικείμενα για την ταξινόμηση των υδάτινων επιφανειών αλλά διαπιστώθηκε ότι αυτή ήταν μια περιττή ενέργεια, μιας και αυτές ανιχνεύονται πολύ ικανοποιητικά στο ίδιο επίπεδο που ανιχνεύεται και η βλάστηση. Για την ανίχνευση της βλάστησης χρησιμοποιήθηκε και πάλι ο δείκτης NDVI ενώ για την ανίχνευση του νερού ο δείκτης NDWI ο οποίος έχει αναλυθεί παραπάνω. Οι παράμετροι της κατάτμησης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11).

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	9	0.8	0.2	0.8	0.2

**Πίνακας 11:** Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 1

Παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 19) το αποτέλεσμα της ταξινόμησης όπου με μπλε χρώμα εμφανίζονται οι θαλάσσιες επιφάνειες ενώ με πράσινο οι περιοχές βλάστησης. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης δε διαφέρει από αυτό της προηγούμενης προσέγγισης μιας και οι δυο αυτές κατηγορίες μπορούν να ανιχνευτούν με μεγάλη ακρίβεια με τους λόγους που έχουν χρησιμοποιηθεί. Παρουσιάζονται επίσης οι κανόνες και οι συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν για την τέλεση της ταξινόμησης (Πίνακας 12).



**Εικόνα 19:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 1

Κατηγορία	Κανόνας	Συν συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση	NDVI		0.20	0.24
Υδάτινα Σώματα	NDWI		0.24	0.26

**Πίνακας 12:** Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής επιπέδου 1

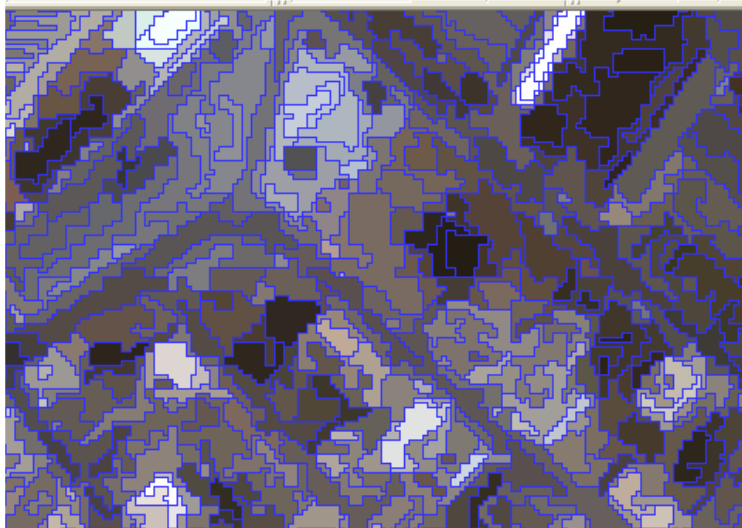
### 3.3.4.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 2

Όπως και στην προηγούμενη προσέγγιση έτσι και εδώ αυτό είναι το κύριο επίπεδο κατάτμησης στο οποίο και θα ταξινομηθούν οι δρόμοι. Σε αυτή την προσέγγιση μελετήθηκαν κυρίως τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που παρέχει το λογισμικό και έχουν να κάνουν με τα φασματικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων. Συνεπώς σκοπός της κατάτμησης είναι να δημιουργηθούν αντικείμενα με έμφαση στη φασματική ομοιογένεια τα οποία και θα χρησιμοποιηθούν πιο αποδοτικά στις περαιτέρω διαδικασίες ταξινόμησης. Σε αυτό το πλαίσιο δόθηκε ιδιαίτερο βάρος στην παράμετρο χρώμα ( $color=0.8$ ). Παρακάτω παρουσιάζονται οι παράμετροι της κατάτμησης που τελικά επιλέχθηκαν μετά από την διαδικασία των επαναλαμβανόμενων δοκιμών (Πίνακας 13).

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

**Πίνακας 13:** Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 2

Στην Εικόνα 20 διακρίνονται τα αντικείμενα που προέκυψαν από την κατάτμηση και μπορεί να παρατηρηθεί ότι ενώ το scale parameter είναι μεγαλύτερο από αυτό του αντίστοιχου επιπέδου της προηγούμενης προσέγγισης έχουν δημιουργηθεί αντικείμενα μικρότερου μεγέθους. Το γεγονός αυτό δείχνει και τη φασματική ετερογένεια της εικόνας εντός του αστικού ιστού.



**Εικόνα 20:** Αντικείμενα της κατάτμησης επιπέδου 2

Ο κανόνας που χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση των αστικών δρόμων ήταν ο λόγος ratio blue η λειτουργία του οποίου έχει αναλυθεί παραπάνω. Στη συνέχεια παρατίθενται, οι κανόνες που ρυθμίζουν την ιεραρχία των δυο επιπέδων (Πίνακας 14), ο Πίνακας 15 που περιέχει της πληροφορίες για τον τρόπο που έγινε η ταξινόμηση, η ιεραρχία των κατηγοριών (Εικόνα 21) στο σύνολο της εργασίας καθώς το αποτέλεσμα της ταξινόμησης (Εικόνα 22).

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

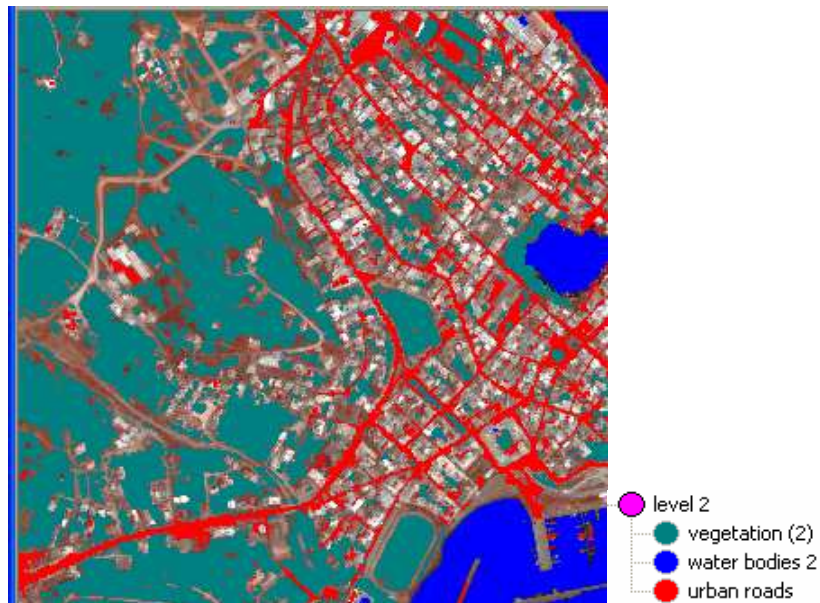
**Πίνακας 14:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής της ιεραρχίας των δυο επιπέδων

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
Αστικοί δρόμοι	and	ratio blue		0.195	0.205
		rel border to water bodies neighbor		0.01	0.03
Βλάστηση		rel. area of vegetation sub objects		0.58	0.62
Υδάτινα σώματα		rel. area of water body sub objects		0.08	0.10

**Πίνακας 15:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 2



**Εικόνα 21:** Ιεραρχία κατηγοριών συνολικής εργασίας



**Εικόνα 22:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 2

Η ταξινόμηση αυτή έδωσε καλύτερο αποτέλεσμα από ότι αυτή της προηγούμενης προσέγγισης. Η πλειοψηφία των δρόμων έχει ταξινομηθεί σωστά ενώ και τα όρια τους φαίνεται να ανταποκρίνονται περισσότερο στην πραγματικότητα (δεν υπάρχει τόσο έντονα το φαινόμενο της διάχυσης που παρατηρήθηκε προηγουμένως). Ένα μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι η μη ταξινόμηση του αγροτικού οδικού δικτύου (χωματόδρομοι) γεγονός όμως αναμενόμενο αφού αυτή ακριβώς τη φασματική διαφοροποίηση των ασφαλτοστρωμένων δρόμων από όλες τις άλλες κατηγορίες είναι που εκμεταλλευτήκαμε σε αυτή την προσέγγιση .

### 3.3.5 Προσέγγιση 4: Ταξινόμηση με έμφαση στα χαρακτηριστικά σχήματος

#### 3.3.5.1 *Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 1*

Όπως και στην προηγούμενη προσέγγιση δημιουργείται ένα λεπτόκοκκο επίπεδο κατάτμηση με το περισσότερο βάρος να δίνεται στο χρώμα. Στόχος αυτού του επιπέδου όπως προαναφέρθηκε είναι η ανάδειξη των υδάτινων επιφανειών και της βλάστησης. Σε αντίθεση με τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν στις προηγούμενες προσεγγίσεις, σε αυτή την προσέγγιση οι δυο αυτές κατηγορίες δε θα προβληθούν στο πάνω επίπεδο αλλά θα χρησιμοποιηθούν κανόνες ώστε να αποκλειστούν από τις περαιτέρω διαδικασίες ταξινόμησης. Οι παράμετροι κατάτμησης που επιλέχθηκαν (Πίνακας 16) για το επίπεδο 1 τα αποτελέσματα της ταξινόμησης (Εικόνα 23) καθώς και οι κανόνες ταξινόμησης(Πίνακας 17) φαίνονται παρακάτω.



Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	9	0.8	0.2	0.8	0.2

**Πίνακας 16:** Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 1





**Εικόνα 23:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης επιπέδου 1

Κατηγορία	Κανόνας	Συν συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση	NDVI		0.22	0.24
Υδάτινα Σώματα	NDWI		0.21	0.23

**Πίνακας 17:** Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής επιπέδου 1

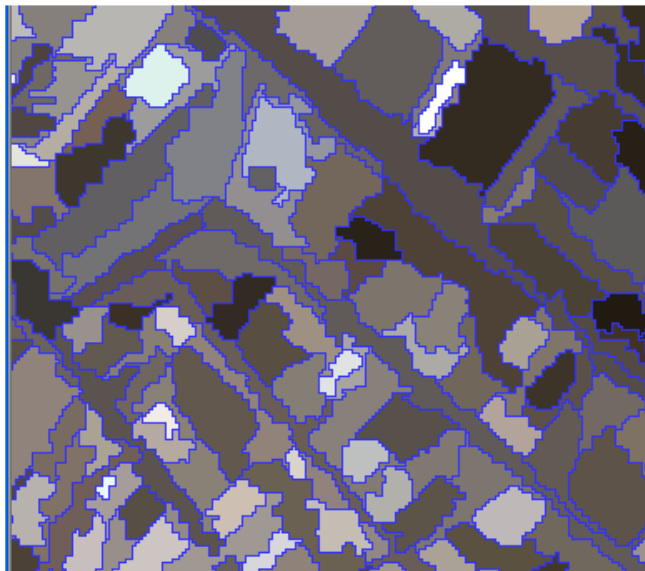
Η βλάστηση ταξινομήθηκε και πάλι με τη βοήθεια του δείκτη NDVI καθώς και οι υδάτινες επιφάνειες με τη χρήση του NDWI. Τα όρια που επιλέχθηκαν για τις συναρτήσεις συμμετοχής είναι ελαφρώς διαφοροποιημένα εξαιτίας των ελαφρώς διαφοροποιημένων παραμέτρων κατάτμησης αλλά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης δε φαίνεται να διαφέρει από τις προηγούμενες προσεγγίσεις. Όπως φαίνεται η βλάστηση έχει ταξινομηθεί με πράσινο χρώμα και οι υδάτινες επιφάνειες με μπλε ενώ οι άλλες θεματικές κατηγορίες που ενυπάρχουν στην εικόνα δεν έχουν ταξινομηθεί και εμφανίζονται με τα φυσικά τους χρώματα.

### 3.3.5.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 2

Στο πλαίσιο αυτής της προσέγγισης διερευνήθηκαν και πάλι, όπως και στη δεύτερη, τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα σχήματος που παρέχει το λογισμικό. Έτσι αναζητήθηκε μια κατάτμηση τέτοια ώστε τα αντικείμενα που θα δημιουργηθούν να περιγράφουν ικανοποιητικά τη μορφή των δρόμων. Οι παράμετροι της κατάτμησης του δεύτερου επιπέδου που τελικά προκρίθηκε φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 18) . Επίσης παρουσιάζεται και η εικόνα όπου φαίνονται τα αντικείμενα που δημιουργήθηκαν (Εικόνα 24).



Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	25	0.1	0.9	1	-

**Πίνακας 18:** Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 2




**Εικόνα 24:** Αντικείμενα της κατάτμησης επιπέδου 2




Όπως μπορεί να παρατηρηθεί τα αντικείμενα που δημιουργήθηκαν είναι μεγαλύτερα από αυτά που αντίστοιχα δημιουργήθηκαν στη δεύτερη προσέγγιση γεγονός που οφείλεται στο μεγαλύτερο scale parameter. Όπως έχει τονιστεί και προηγουμένως η διαδικασία επιλογής κατάτμησης, κανόνων ταξινόμησης και συναρτήσεων συμμετοχής είναι άμεσα αλληλένδετη. Στην προκειμένη περίπτωση για την επίτευξη της ανίχνευσης του οδικού δικτύου χρησιμοποιήθηκαν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα shape index σε συνδυασμό με το χαρακτηριστικό Length / width τα οποία και έχουν αναλυθεί παραπάνω. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συναρτήσεις συμμετοχής των προαναφερθέντων κανόνων καθώς και οι τιμές τους (Πίνακας 19).

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
δρόμοι	and	length/width		12	14
		shape index		2.6	2.8

**Πίνακας 19:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 2

Στις έως τώρα προσεγγίσεις είχε γίνει αναφορά στην ιεραρχία μεταξύ των επιπέδων και πως αυτή καθορίζεται από το χαρακτηριστικό (feature) Level. Σε αυτή την προσέγγιση όμως εκτός από το χαρακτηριστικό αυτό χρησιμοποιούνται επιπλέον άλλοι δυο κανόνες για τον αποκλεισμό των περιοχών που έχουν ταξινομηθεί ως βλάστηση και νερό από τις περαιτέρω διαδικασίες ταξινόμησης. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται οι κανόνες: existence of water (sub-objects) και Related area of vegetation (sub-objects). Ο πρώτος κανόνας αποβάλλει από την ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου απευθείας όποιο αντικείμενο περιλαμβάνει υπό-αντικείμενο που έχει ταξινομηθεί στο πρώτο επίπεδο ως νερό, ενώ ο δεύτερος κανόνας εξετάζει το ποσοστό της περιοχής που έχει ταξινομηθεί ως βλάστηση. Και οι δύο κανόνες βέβαια λειτουργούν με βάση τις συναρτήσεις συμμετοχής που έχουν οριστεί και τα όριά τους (Πίνακας 20).

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2

2	Level		1	3
	Existence off water (sub-objects)		0.09	0.13
	Related area off vegetation (sub-objects)		0.49	0.51

**Πίνακας 20:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα δύο επίπεδα

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 25 ) όπου φαίνεται καθαρά ότι έχει ταξινομηθεί μόνο το οδικό δίκτυο ενώ όλες οι άλλες κατηγορίες εμφανίζονται με τα φυσικά τους χρώματα.



**Εικόνα 25:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 2

Όπως φαίνεται το οδικό δίκτυο έχει ταξινομηθεί ιδιαίτερα ικανοποιητικά, οι κύρια οδική αρτηρία καθώς και οι δευτερεύουσες είναι ευδιάκριτες και χωρίς ασυνέχειες ενώ δε φαίνεται να διαχέονται οι δρόμοι καταλαμβάνοντας άλλες κατηγορίες (όπως κτίρια ), φαινόμενο που ήταν έντονο στη δεύτερη προσέγγιση. Από την άλλη μεριά δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ ασφαλτοστρωμένων και χωμάτινων δρόμων (πράγμα αναμενόμενο) ενώ δεν έχουν ταξινομηθεί κάποιοι μικρότεροι δρόμοι εντός του αστικού ιστού οι οποίοι είχαν ανιχνευτεί στην προηγούμενη προσέγγιση με τη αξιοποίηση των φασματικών τους χαρακτηριστικών.



**Εικόνα 26:** Ιεραρχία κατηγοριών συνολικής εργασίας

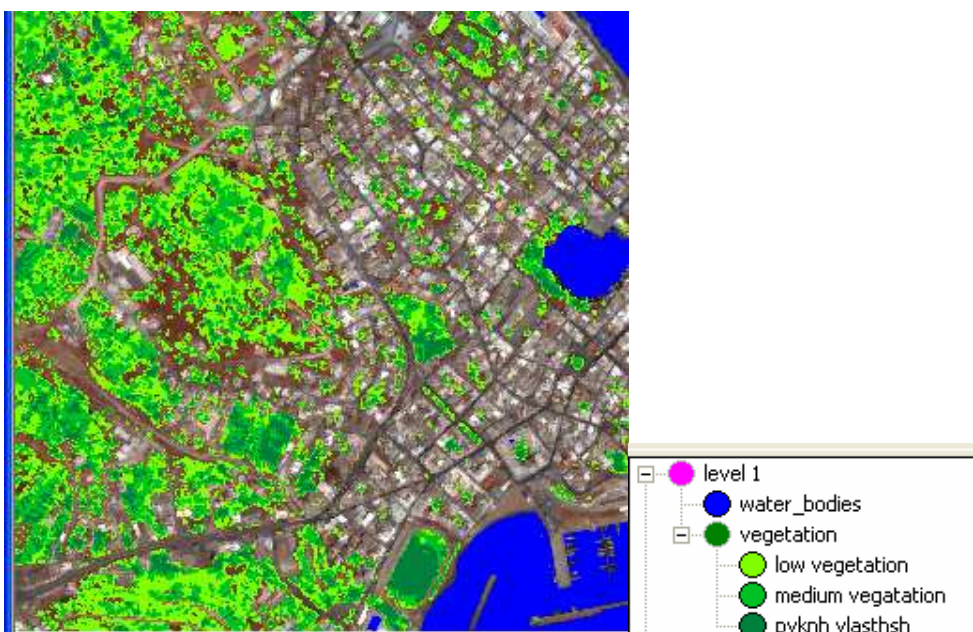
### 3.3.6 Προσέγγιση 5: Ταξινόμηση με έμφαση στα φασματικά χαρακτηριστικά, χρήση του δείκτη road index

### 3.3.6.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 1

Με όμοιο τρόπο όπως και στις προηγούμενες προσεγγίσεις δημιουργείται ένα λεπτόκοκκο επίπεδο ανάλυσης για τον εντοπισμό της βλάστησης και των υδάτινων επιφανειών. Η μόνη διαφορά είναι ότι σε αυτή την προσέγγιση η βλάστηση δεν ταξινομήθηκε ως μια ενιαία κατηγορία, αλλά δημιουργήθηκαν τρεις υποκατηγορίες, με βάση τη διαβάθμιση της πυκνότητας και της υγείας της. Η διάκριση των δυο κατηγοριών γίνεται και πάλι με τη χρήση των δεικτών NDVI και NDWI αντίστοιχα. Οι παράμετροι της κατάτμησης (Πίνακας 21), το αποτέλεσμα της ταξινόμησης (Εικόνα 27) καθώς και οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τη τέλεση της (Πίνακας 22) παρατίθενται παρακάτω.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	7	1	0	-	-

Πίνακας 21: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 1



Εικόνα 27: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 1

Όπως φαίνεται η βλάστηση απεικονίζεται με τρεις διαφορετικές αποχρώσεις του πράσινου για τις τρεις διαβαθμίσεις πυκνότητας και υγείας της που προσδιορίστηκαν ενώ οι υδάτινες επιφάνειες απεικονίζονται με μπλε χρώμα

Κατηγορία	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Νερό	NDWI		0.24	0.26
Βλάστηση αραιή	NDVI		0.235	0.325
Βλάστηση μέτρια	NDVI		0.320	0.425
Βλάστηση πυκνή	NDVI		0.41	0.43

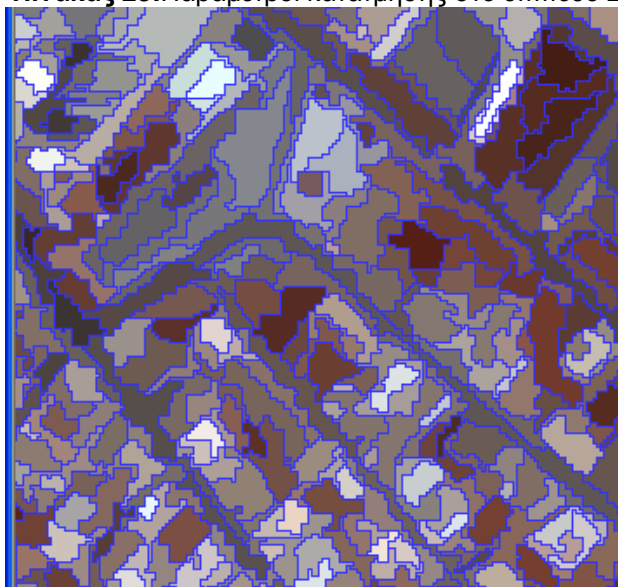
Πίνακας 22: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής επιπέδου 1

### 3.3.6.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση του επιπέδου 2

Για την ανάλυση του δεύτερου επιπέδου δημιουργήθηκε ένα επίπεδο κατάτμησης με έμφαση στο σχήμα, οι παράμετροι του οποίου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 23).

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	18	0.2	0.8	1	0








Πίνακας 23:Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 2



Εικόνα 28:Αντικείμενα της κατάτμησης επιπέδου 2



Λαμβάνοντας υπόψη το αρκετά ικανοποιητικό αποτέλεσμα που προέκυψε αξιοποιώντας τα φασματικά χαρακτηριστικά των ασφαλτοστρωμένων δρόμων στην προσέγγιση 3, πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές κάνοντας πράξεις καναλιών και δημιουργήθηκε, με τη βοήθεια του παραθύρου διαλόγου customized feature του eCognition, ένας δείκτης ο οποίος όπως αποδείχτηκε ήταν αρκετά χρήσιμος για την ανίχνευση και την ταξινόμηση του αστικού δικτύου. Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως εξής  $road\ index = (blue-nir) * (blue+nir)$ . Ο δείκτης αυτός διαιρέθηκε με το 100 ώστε να προκύψουν πιο εύχρηστες τιμές των ορίων των συναρτήσεων συμμετοχής.

Για την ανάδειξη του οδικού δικτύου εκτός από τη χρήση του road index ο οποίος έχει να κάνει με τα φασματικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων, μετά από αρκετούς πειραματισμούς με τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα σχήματος που παρέχει το λογισμικό, διαπιστώθηκε ότι η ταξινόμηση βελτιώνεται με τη χρήση του χαρακτηριστικού asymmetry. Οι κανόνες και οι συναρτήσεις συμμετοχής της ταξινόμησης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 24):

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
Αστικοί δρόμοι	and	road index		-2000	-1980
		asymmetry		0.69	0.71
		rel border to water bodies neighbour		0.04	0.06
Αραιή βλάστηση		rel. area of low vegetation sub objects		0.40	0.42
Μέτρια βλάστηση		rel. area of medium vegetation sub objects		0.40	0.42
Πυκνή βλάστηση		rel. area of high vegetation sub objects		0.40	0.42
Υδάτινα σώματα		rel. area of water body sub objects		0.09	0.011

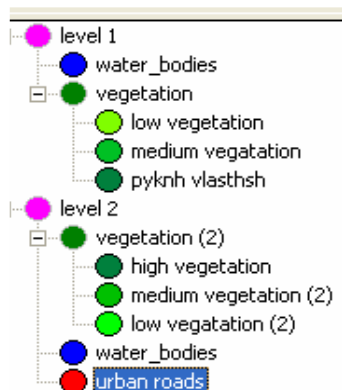
**Πίνακας 24:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 2

Σε αυτή την προσέγγιση ταξινομήθηκαν στο επίπεδο 2 και οι κατηγορίες βλάστησης και υδάτινων επιφανειών σε αντίθεση με την προηγούμενη προσέγγιση. Αυτό βασικά συνέβη για να χρησιμοποιηθεί το χαρακτηριστικό relative border to water bodies neighbor που όπως έχει φανεί βελτιώνει την ταξινόμηση των δρόμων αφού αποτρέπει να ταξινομηθούν ως τέτοιοι λανθασμένα αντικείμενα που είναι σε άμεση επαφή με το νερό και έχουν παρεμφερή φασματικά χαρακτηριστικά αλλά και σχήματος με τα αντικείμενα που ανήκουν στους δρόμους. Συνεπώς για τα δυο επίπεδα χρησιμοποιήθηκε μόνο ο κανόνας που ρυθμίζει την ιεραρχία τους (Πίνακας 25) όπως στις προσεγγίσεις 2 και 3.

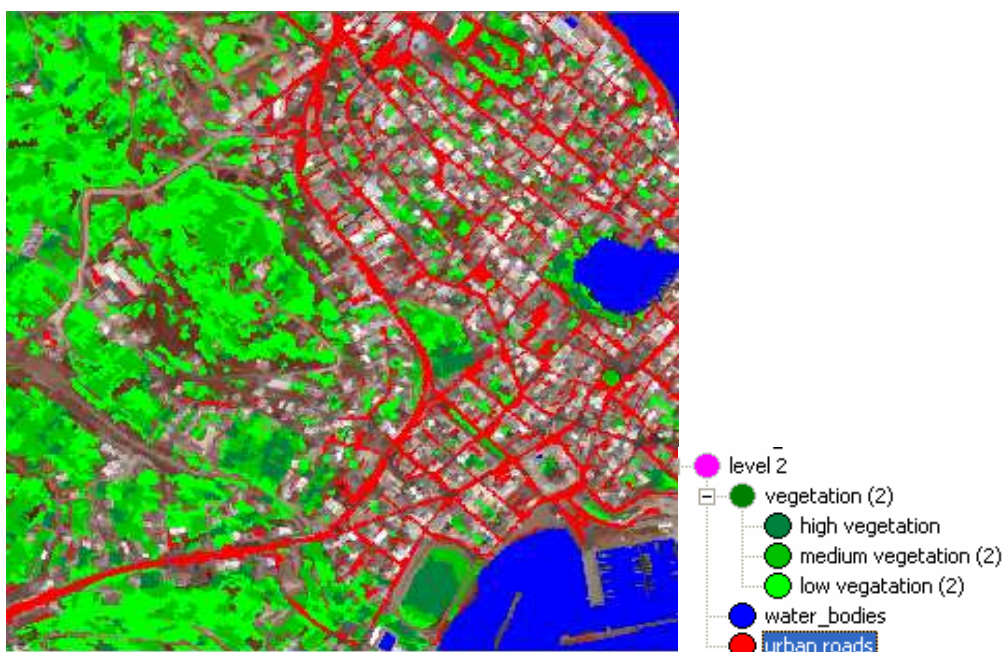
Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2
2	Level		1	3

**Πίνακας 25:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής της ιεραρχίας των δυο επιπέδων

Παρακάτω παρατίθεται η ιεραρχία των επιπέδων στο σύνολο της εικόνας (Εικόνα 29) καθώς και το αποτέλεσμα της ταξινόμησης (Εικόνα 30) όπου διακρίνεται το αστικό οδικό δίκτυο με κόκκινο χρώμα καθώς και οι διαβαθμίσεις της βλάστησης με αποχρώσεις του πράσινου και οι υδάτινες επιφάνειες με μπλε.



**Εικόνα 29 :** Ιεραρχία κατηγοριών



**Εικόνα 30:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 2

Όπως φαίνεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό. Η πλειοψηφία του ασφαλτοστρωμένων δρόμων έχει ταξινομηθεί σωστά (ακόμα και οι μικρότερου μεγέθους δρόμοι) και εμφανίζονται ως ενιαία συνεχή και συμπαγή αντικείμενα που είναι και το επιθυμητό. Όπως ήταν και πάλι αναμενόμενο δεν έχουν ταξινομηθεί οι χωματινοί δρόμοι.

### 3.3.7 Προσέγγιση 6 Ταξινόμηση του οδικού δικτύου με ταυτόχρονο διαχωρισμό των ασφαλτοστρωμένων δρόμων από τους χωματόδρομους

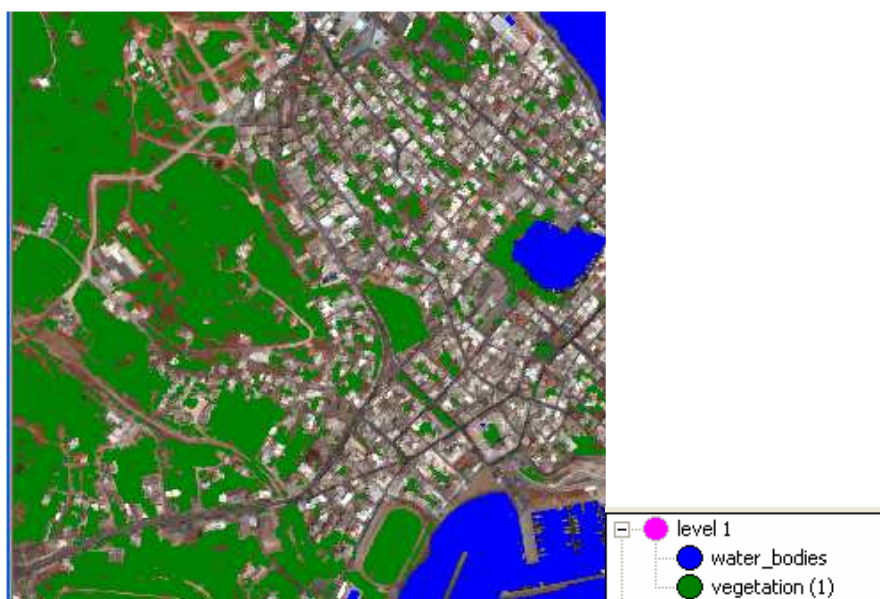
Σε αυτή την προσέγγιση αξιοποιήθηκαν τα συμπεράσματα που βγήκαν από τις προηγούμενες προσεγγίσεις και έγινε η απόπειρα να εκμεταλλευτούμε τα πλεονεκτήματα της κάθε μιας σε μία ενιαία εργασία . Πριν τη διαδικασία της ταξινόμησης προηγήθηκε προεργασία όπου θεωρητικά επιλέχθηκε η στρατηγική που θα ακολουθούνταν για την επίτευξη του τελικού στόχου. Η σειρά λοιπόν των επιπέδων που δημιουργήθηκαν είναι και αυτή με την οποία ταξινομήθηκαν και παρουσιάζονται πρακάτω: 1,2,4,3 Σκοπός ήταν ο καλύτερος δυνατός διαχωρισμός των αστικών δρόμων από τους χωματόδρομους.

### 3.3.7.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 1

Σε αυτό το επίπεδο στόχος είναι η ταξινόμηση της βλάστησης και των υδάτινων επιφανειών ώστε να προβληθούν στα επόμενα επίπεδα ανάλυσης και να αποκλειστεί η σύγχυση τους με το οδικό δίκτυο. Λόγω του ότι οι συγκεντρώσεις πρασίνου που υπάρχουν στον αστικό χώρο είναι συνήθως κατακερματισμένες και μικρής έκτασης επιλέχθηκε μικρή παράμετρος κλίμακας για το συγκεκριμένο επίπεδο (scale parameter 7) ώστε τα αντικείμενα που θα προκύψουν να είναι μικρού μεγέθους. Επίσης λαμβάνοντας υπόψιν ότι η βλάστηση αλλά και οι υδάτινες επιφάνειες διαφοροποιούνται φασματικά έντονα από το γύρω χώρο τους αποφασίστηκε να δοθεί απόλυτο βάρος στο φασματικό κριτήριο (color=1 - Πίνακας 26).

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	7	1	0	-	-

Πίνακας 26: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 1



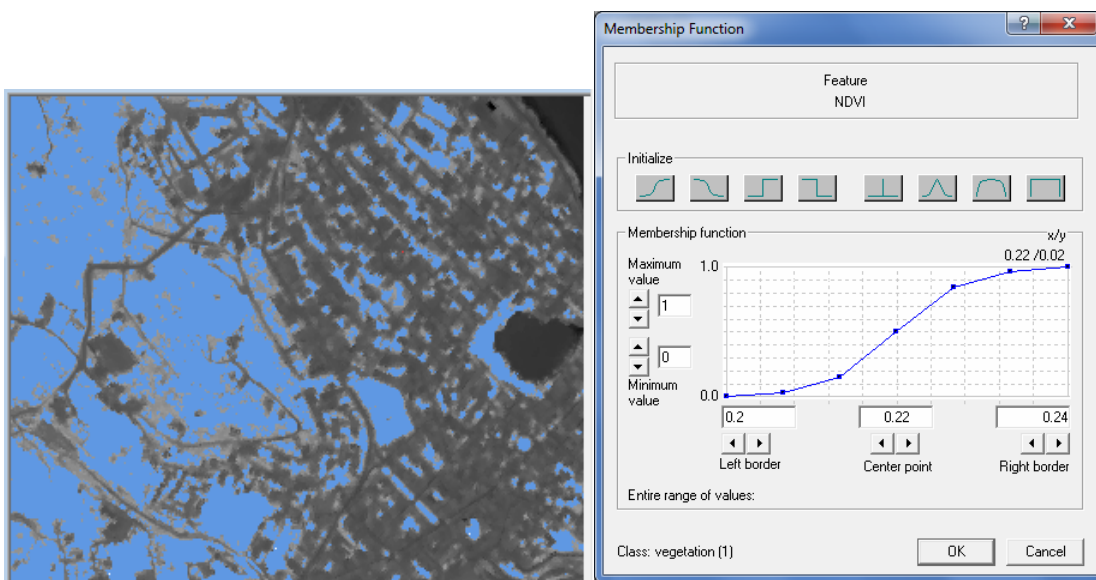
Εικόνα 31: Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 1

Κατηγορία	Κανόνας	Συν συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
Βλάστηση	NDVI		0.20	0.24
Υδάτινα Σώματα	NDWI		0.24	0.26

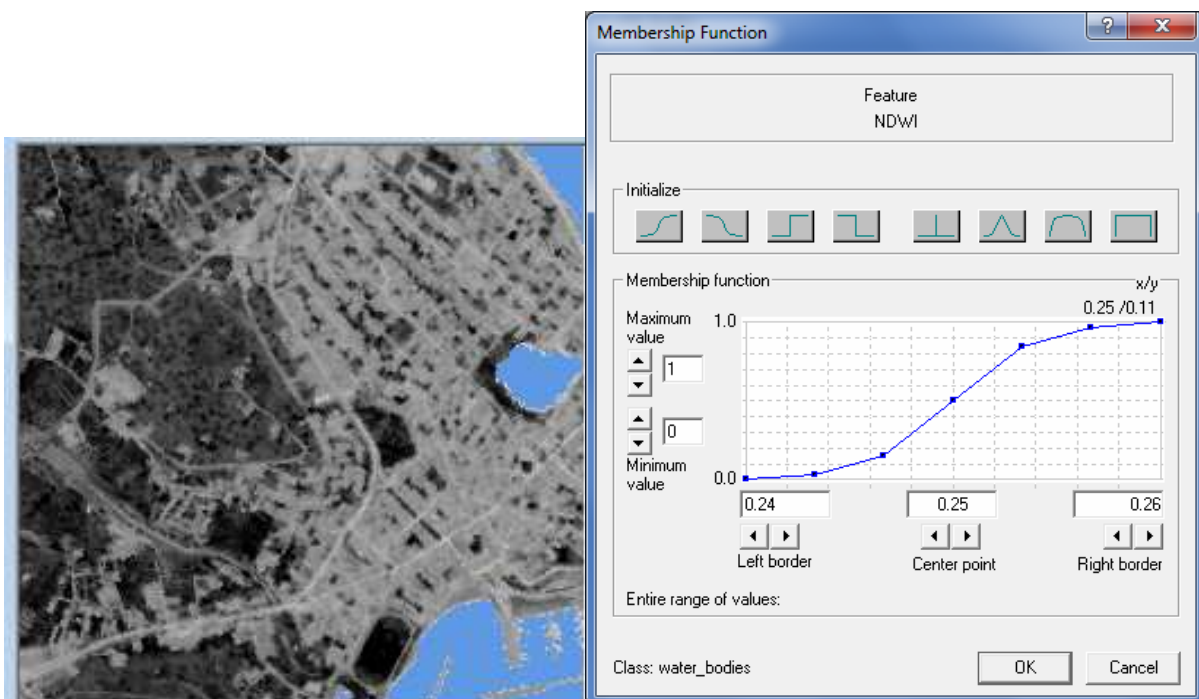
Πίνακας 27: Πίνακας κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής επιπέδου

Η βλάστηση ταξινομήθηκε με τη χρήση του NDVI και οι υδάτινες επιφάνειες με τη χρήση του NDWI. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο επιλέχθηκαν τα όρια των συναρτήσεων συμμετοχής των κανόνων που επιλέχθηκαν.





**Εικόνα 32** Εικόνα του κανόνα NDVI (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά)



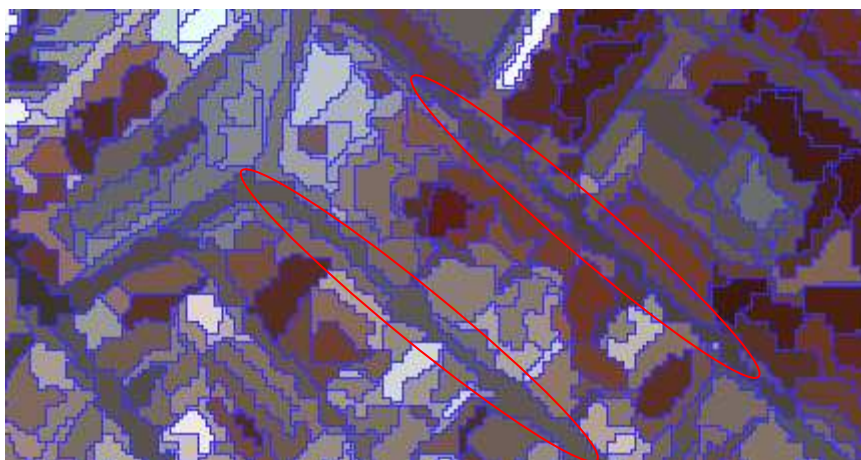
**Εικόνα 33:** Εικόνα του κανόνα NDWI (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά)

### 3.3.7.2 Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 2

Σε αυτό το επίπεδο στόχος είναι να ταξινομηθεί το σύνολο του οδικού δικτύου ώστε να χρησιμοποιηθεί ως υποαντικείμενα στο τρίτο επίπεδο κατάτμησης όπου θα γίνει και ο διαχωρισμός του σε κατηγορίες. Λόγω της φασματικής ετερογένειας της εικόνας παρατηρήθηκε πως όταν δίνονταν μεγαλύτερο βάρος στο χρώμα δημιουργούνταν πολύ μικρά αντικείμενα ακανόνιστου σχήματος που δεν απέδιδαν τους δρόμους γεγονός που δεν ευνοούσε την εκμετάλευση των χαρακτηριστικών σχήματος που παρέχει το λογισμικό. Για το σκοπό αυτό δημιουργείται ένα επίπεδο ανάλυσης με μεγάλο βάρος στο σχήμα ( $shape = 0.9$ ). Με το μικρό βάρος που δόθηκε στην παράμετρο που καθορίζει το συμπαγές ( $compactness = 0$ ) των τμημάτων επίσης διασφαλίστηκε η δημιουργία επιμηκών αντικειμένων.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
2	13	0.1	0.9	1	-

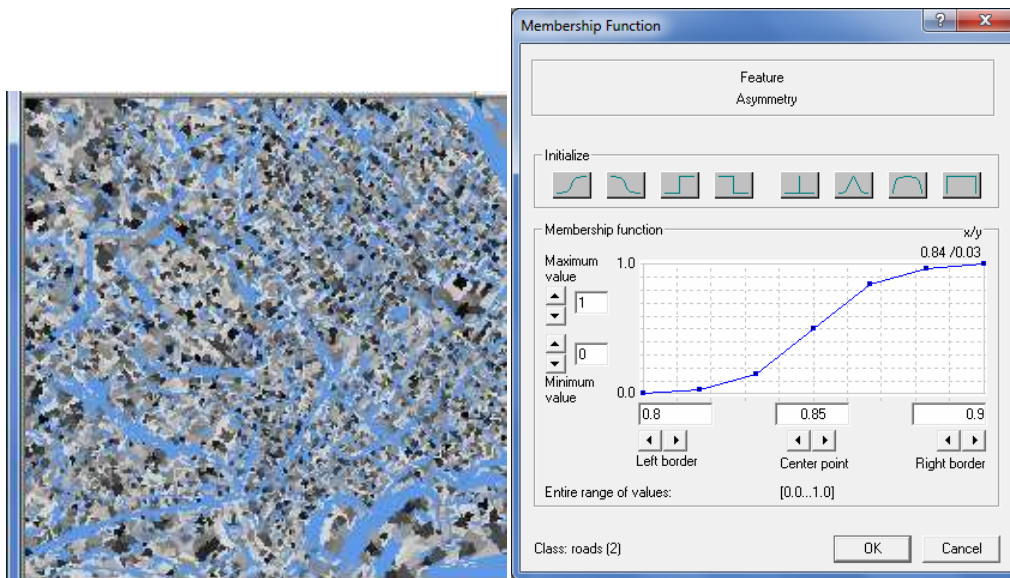
Πίνακας 28: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 2



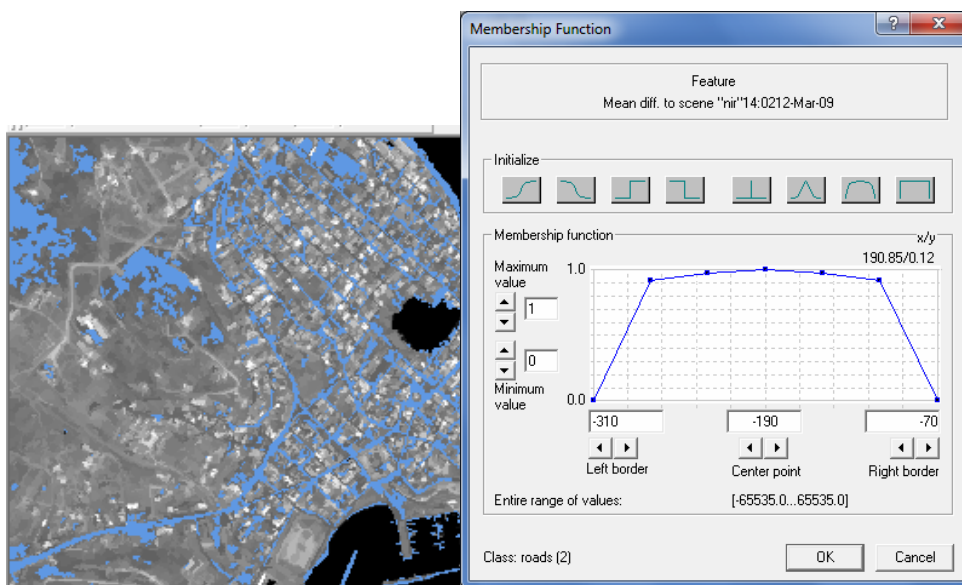
Εικόνα 34: Αντικείμενα της κατάτμησης επιπέδου 2

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 34) έχουν δημιουργηθεί αντικείμενα με μέγεθος και σχήμα που αποδίδουν σε μεγάλο βαθμό αντικείμενα του οδικού δικτύου.

Εφόσον επιτεύχθηκε μια ικανοποιητική κατάτμηση της εικόνας (αν και αυτό είναι κάτι που μπορεί να ειπωθεί μετά από τα αποτελέσματα της ταξινόμησης), επόμενο βήμα ήταν ο πειραματισμός στους κανόνες που θα περιγράψουν την κατηγορία του ενδιαφέροντος μας. Είναι σκόπιμο, κάθε φορά που δοκιμάζεται κάτι καινούριο να εκτελείται μια προσωρινή ταξινόμηση για να ελέγχεται πως επηρεάζει η κάθε αλλαγή το αποτέλεσμα. Στο συγκεκριμένο επίπεδο για να εκμεταλευτούμε τις ιδιότητες σχήματος των αντικειμένων που προέκυψαν δοκιμάστηκαν τα διάφορα χαρακτηριστικά σχήματος που παρέχει το λογισμικό. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι δρόμοι αποδίδονται κατα βάση από ασύμμετρα αντικείμενα χρησιμοποιήθηκε το χαρακτηριστικό *asymmetry* (Εικόνα 35). Επίσης χρησιμοποιήθηκε το χαρακτηριστικό *mean diff to scene nir*. Το χαρακτηριστικό *rel. border to water\_bodies neighbor* χρησιμοποιήθηκε ώστε να αποφευχθεί η λανθασμένη ταξινόμηση ως δρόμων κάποιων αντικειμένων που ήταν σε άμεση επαφή με το νερό (όπως πχ ο κυματοθραύστης). Στο επίπεδο αυτό ταξινομήθηκαν επίσης η βλάστηση και οι υδάτινες επιφάνειες με βάση τη ταξινόμηση τους στο επίπεδο 1. Αυτό έγινε με τη χρήση του χαρακτηριστικού *relative area of sub objects* και του *existence of* αντίστοιχα. Όλοι οι κανόνες και οι αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής τους παρατίθενται παρακάτω (Πίνακας 29).



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



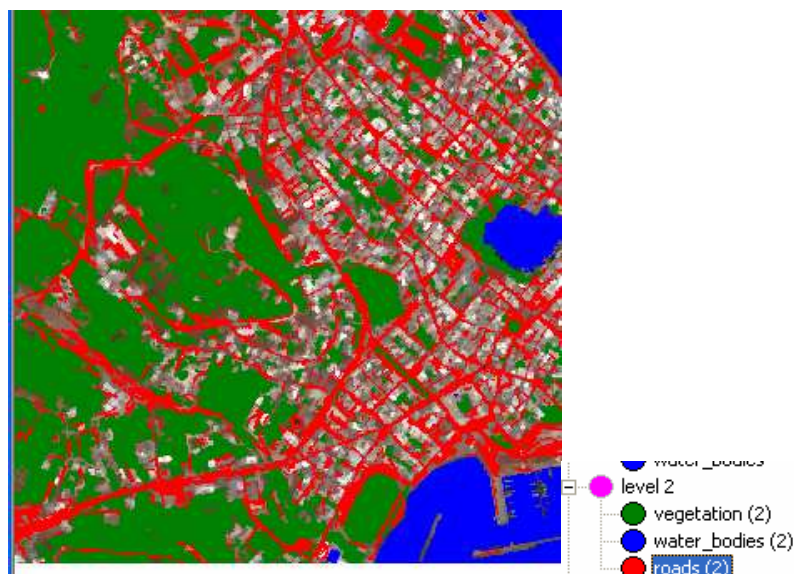
Εικόνα 36 Εικόνα του κανόνα mean diff to scene nir (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά)

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
Δρόμοι	and	not vegetation	-	-	-
		rel. border to water bodies neighbour		0.009	0.011
	or	asymmetry		0.8	0.9
		mean diff to scene nir		-70	-310
Βλάστηση		rel. area of vegetation sub objects		0.4	0.5
Υδάτινες επιφάνειες		existence of water bodies super objects		0.48	0.52

Πίνακας 29: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 2

Παρακάτω φαίνεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης (Εικόνα 37) Το αποτέλεσμα της ταξινόμησηςσε αυτό το επίπεδο δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό. Ταξινομήθηκε μεν σωστά

ένα μεγάλο ποσοστό του οδικού δικτύου αλλά από την προσέγγιση αυτή προέκυψε κάπως «υπερβολικό» αποτέλεσμα αφού οι δρόμοι διαχέονται παραπάνω από το επιθυμητό σε παράδειες χρήσεις γης ενώ υπάρχουν και κάποιες ασυνέχειες στον κεντρικό οδικό άξονα της εικόνας.



**Εικόνα 37:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 2

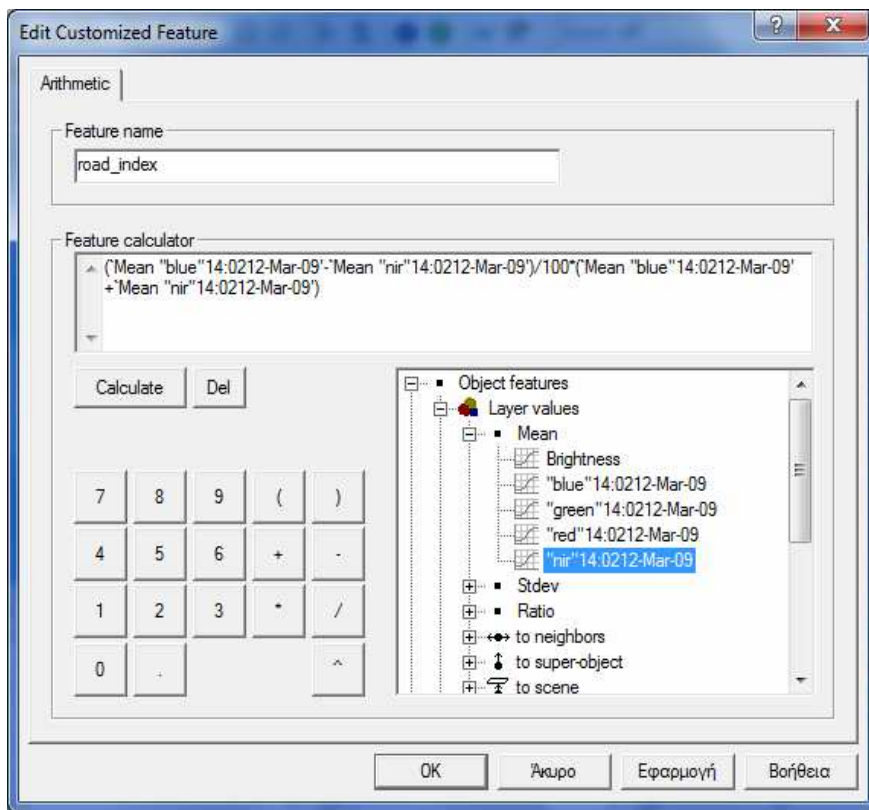
### 3.3.7.3 Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 4

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το τέταρτο επίπεδο ανάλυσης. Σκοπός αυτού του επιπέδου ήταν να ταξινομηθεί το αστικό οδικό δίκτυο ώστε προβληθεί στο τρίτο επίπεδο ανάλυσης το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω και στο οποίο γίνεται ο τελικός διαχωρισμός του οδικού δικτύου σε κατηγορίες. Παράμετροι της κατάτμησης επιλέγονται όπως και προηγουμένως με μεγαλύτερη κλίμακα προφανώς (scale=18) αφού πρόκειται για υπερεπίπεδο. Οι παράμετροι κατάτμησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 30).

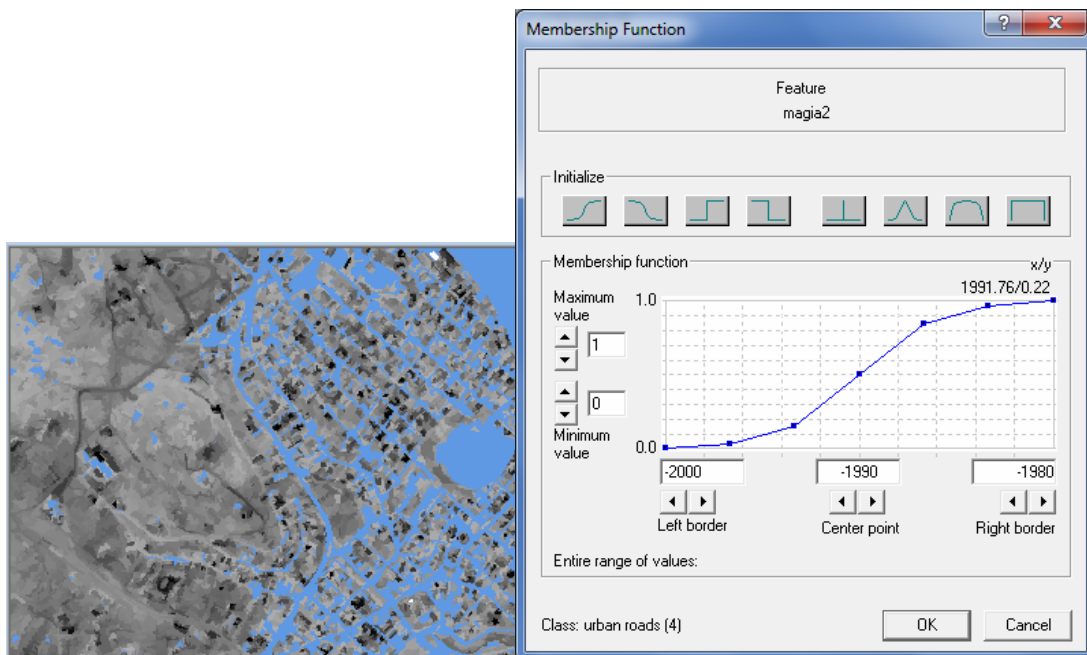
Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
4	18	0.2	0.8	1	0

**Πίνακας 30:** Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 4

Σε αυτό το επίπεδο έγινε η προσπάθεια να αξιοποιηθούν τα φασματικά χαρακτηριστικά του ασφαλτοστρωμένου οδικού δικτύου. Έχοντας παρατηρήσει ότι το χαρακτηριστικό ratio blue είχε δώσει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα στην προσέγγιση 5 (γενικά το μπλε κανάλι συμβάλει στη διάκριση ανθρωπογενών κατασκευών) έγιναν αρκετές δοκιμές από το χρήστη για τη δημιουργία ενός φασματικού χαρακτηριστικού μέσω της δυνατότητας που παρέχει το λογισμικό eCognition (customized feature). Μετά από αρκετούς πειραματισμούς και λαμβάνοντας υπόψιν και τη χαμηλή ανακλαστικότητα των ασφαλτοστρωμένων δρόμων στο εγγυς υπέρυθρο δημιουργήθηκε το χαρακτηριστικό  $road\_index = (blue - nir) * (blue + nir)$ . Ο δείκτης αυτός διαιρέθηκε με το 100 ώστε να προκύψουν πιο εύχρηστες τιμές των ορίων των συναρτήσεων συμμετοχής. Όπως φαίνεται ο κανόνας αυτός αναδουκνύει και τις υδάτινες επιφάνειες αλλά δεν υπάρχει κίνδυνος σύγχυσης μιας και αυτές ταξινομούνται με βάση την προβολή της ταξινόμησης τους από τα προηγούμενα επίπεδα.








Εικόνα 38 Παράθυρο διαλόγου customized feature για τη δημιουργία του κανόνα road index

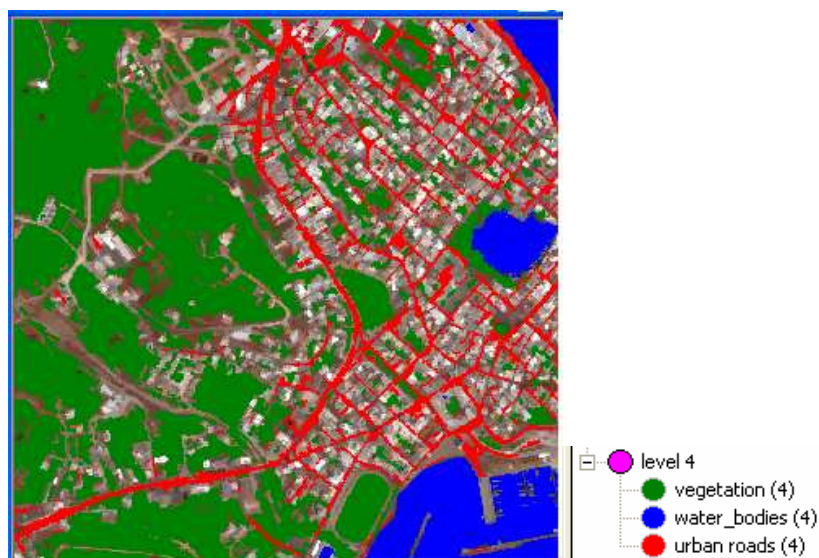


Εικόνα 39 Εικόνα του κανόνα road index (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά)

Για την παρούσα ταξινόμηση αξιοποιήθηκαν επίσης οι κανόνες *asymmetry* και *rel border to water bodies neighbor* που αναλύθηκαν στο προηγούμενο επίπεδο καθώς διαπιστώθηκε ότι βελτίωναν το αποτέλεσμα της ταξινόμησης. Οι κανόνες ταξινόμησης, οι συναρτήσεις συμμετοχή καθώς και τα όρια τους παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 31). Επίσης παρουσιάζεται και το αποτέλεσμα της ταξινόμησης (Εικόνα 40)

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
Αστικοί δρόμοι	and	road index		-2000	-1980
		asymmetry		0.69	0.71
		rel. border to water bodies neighbour		0.04	0.06
βλάστηση		rel. area of vegetation sub objects		0.48	0.52
Υδάτινα σώματα		rel. area of water bodies (3) sub-objects		0.09	0.11

**Πίνακας 31:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 4

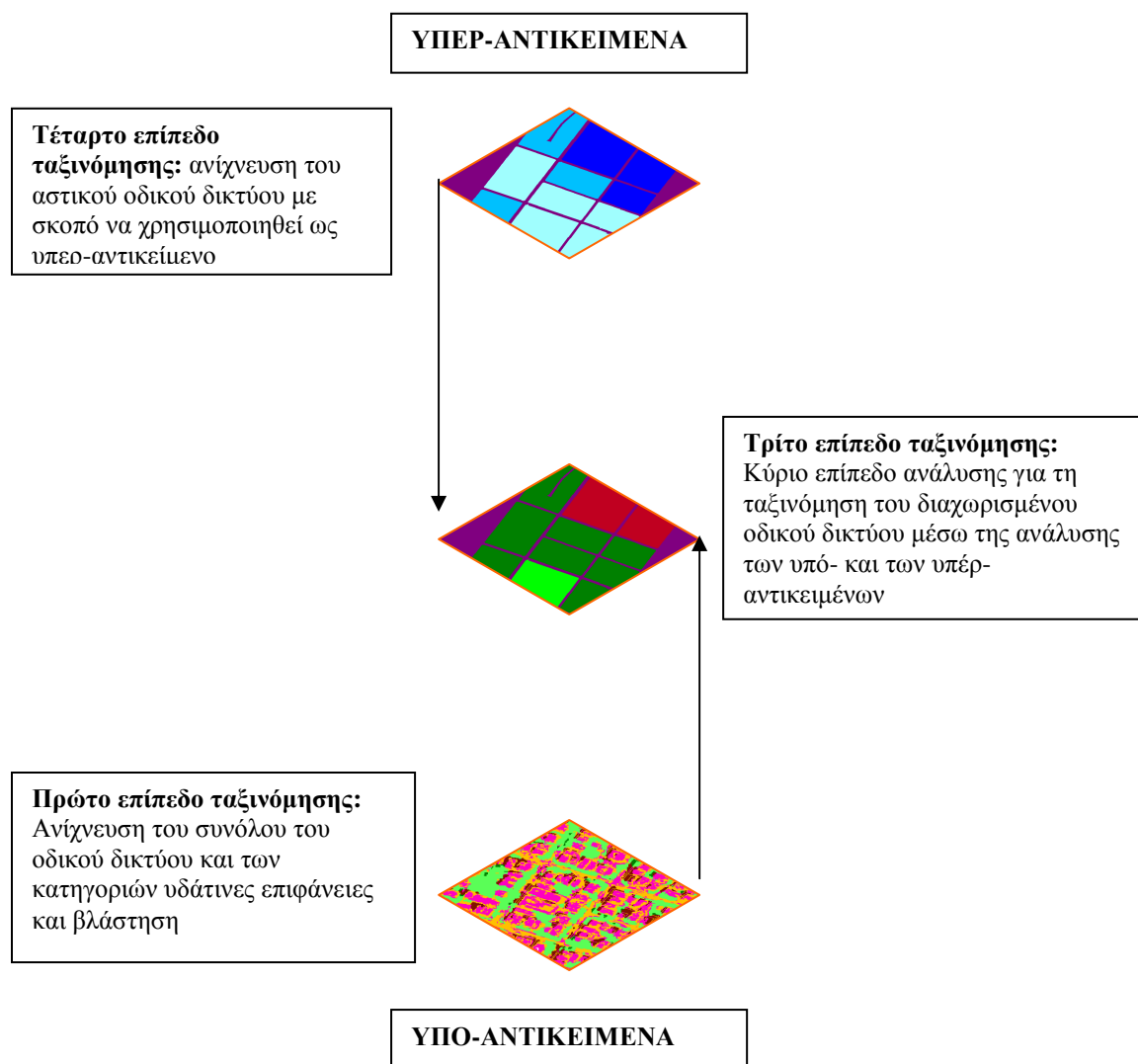


**Εικόνα 40:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 4

Όπως φαίνεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό. Η πλειοψηφία του ασφαλτοστρωμένων δρόμων έχει ταξινομηθεί σωστά (ακόμα και οι μικρότερου μεγέθους δρόμοι) και εμφανίζονται ως ενιαία συνεχή και συμπαγή αντικείμενα που είναι και το επιθυμητό. Όπως ήταν και πάλι αναμενόμενο δεν έχουν ταξινομηθεί σε αυτό το επίπεδο οι χωμάτινοι δρόμοι.

#### 3.3.7.4 Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 3

Το τρίτο είναι και το κύριο επίπεδο ανάλυσης όπου προσδιορίστηκε το διαχωρισμένο σε δυο κατηγορίες οδικό δίκτυο. Για αυτό το σκοπό αναζητήθηκε ένα επίπεδο κατάτμησης που θα τοποθετούνταν ανάμεσα στα επίπεδα 4 και 2 ώστε να αντληθούν οι απαραίτητες πληροφορίες και από τα δυο. Αυτό φαίνεται παραστατικά στην Εικόνα 41.







**Εικόνα 41:** Ροή πληροφοριών ανάμεσα στα τρία επίπεδα

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι το λογισμικό αυτόματα κατατάσσει τα επίπεδα στην ιεραρχία των επιπέδων ανάλογα με το scale parameter, συνεπώς όπως γίνεται κατανοητό δημιουργήθηκε ένα επίπεδο κατάτμησης που θα ιεραρχούνταν ανάμεσα στα επίπεδα 2 και 4. Οι παράμετροι του παραμένουν οι ίδιοι που προσδιορίστηκαν στα προηγούμενα επίπεδα εκτός φυσικά από την κλίμακα που επιλέχτηκε να είναι ενδιάμεση των δυο επιπέδων (Πίνακας 32).

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
3	16	0.2	0.8	1	-

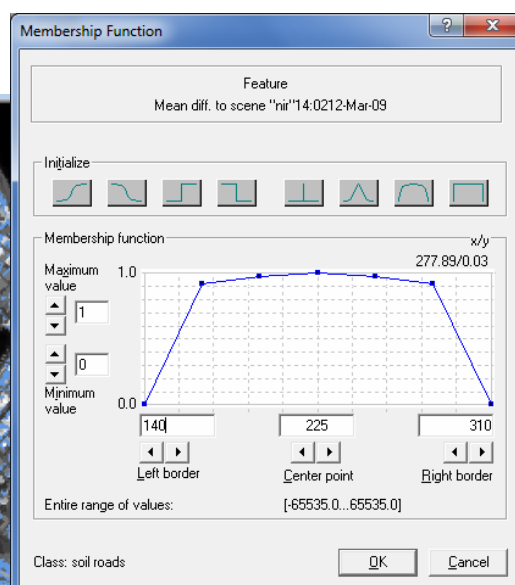
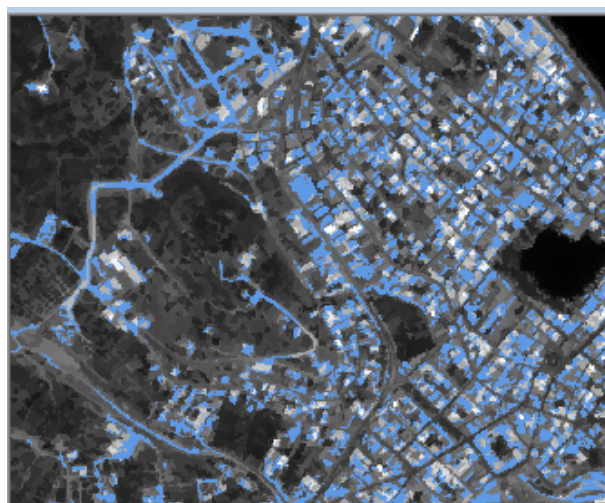
Πίνακας 32: Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 3

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζονται και οι κανόνες που καθορίζουν την ιεραρχία των τεσσάρων επιπέδων (Πίνακας 33)

Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
1	Level		0	2
2	Level		1	3
3	Level		2	4
4	Level		4	5

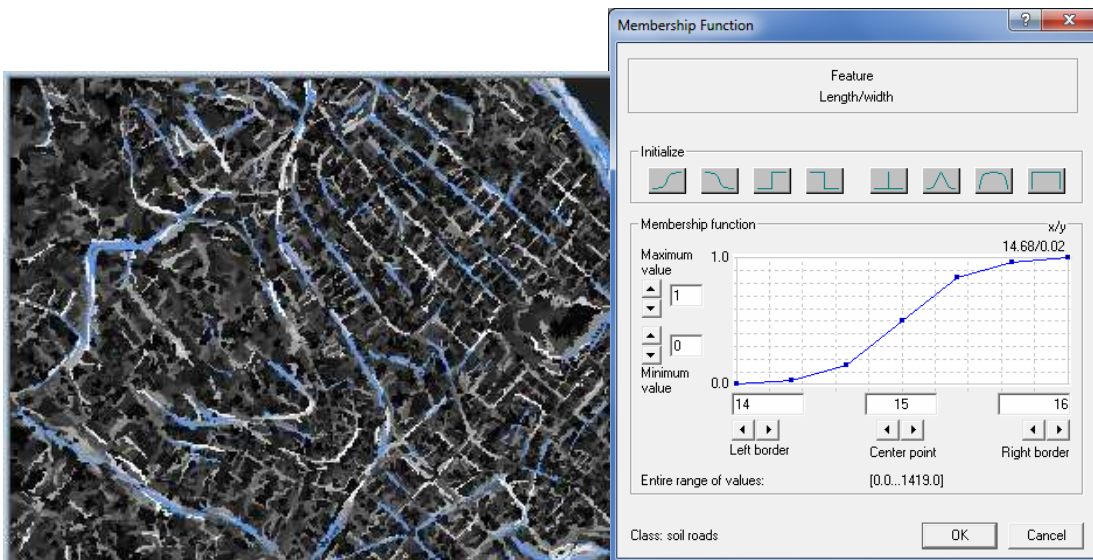
Πίνακας 33: Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής της ιεραρχίας των τριών επιπέδων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε αυτό το επίπεδο θα γίνει ο διαχωρισμός μεταξύ των ασφαλτοστρωμένων δρόμων και των χωματόδρομων και έτσι ορίστηκαν οι δυο κατηγορίες urban roads και soil roads αντίστοιχα. Ως αστικοί δρόμοι ταξινομήθηκαν (με τη χρήση του χαρακτηριστικού existence of super objects), όσοι είχαν ταξινομηθεί ως urban roads στο επίπεδο 4. Για την ανίχνευση των χωματόδρομων η λογική ήταν να αντληθούν πληροφορίες για το σύνολο του οδικού δικτύου από το επίπεδο 2 (με τη χρήση του χαρακτηριστικού relative area of sub objects) και στη συνέχεια αυτό το συνολικό οδικό δίκτυο να διαχωριστεί με βάση, τόσο φασματικά όσο και κριτήρια μορφής, και να ταξινομηθούν ως χωματόδρομοι τα αντικείμενα που πληρούν το σύνολο των τιθέμενων προϋποθέσεων. Έτσι αξιοποιήθηκε το γεγονός ότι οι χωματόδρομοι θα αποδίδονται από στενόμακρα αντικείμενα (length/width) όπως και το ότι η μέση τιμή των αντικειμένων που τους απαρτίζουν, στο κόκκινο κανάλι είναι αρκετά υψηλότερη από τη μέση τιμή ολόκληρης της εικόνας στο κανάλι αυτό έτσι εμφανίζονται πιο φωτεινοί από την υπόλοιπη εικόνα με τη χρήση του χαρακτηριστικού mean diff to scene red. Ο κανόνας rel area of sub objects roads διασφάλιζε ότι για να ταξινομηθεί κάποιο αντικείμενο ως χωματόδρομος σε αυτό το επίπεδο θα πρέπει να έχει ήδη ταξινομηθεί ως δρόμος στο επίπεδο 2.



Εικόνα 42 Εικόνα του κανόνα near diff to scene red (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά)





**Εικόνα 43** Εικόνα του κανόνα length/width (αριστερά) και επιλογή των ορίων της συνάρτησης (δεξιά)

Το σύνολο των κανόνων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι συναρτήσεις συμμετοχής τους και τα όρια τους παρατίθενται παρακάτω (Πίνακας 34).

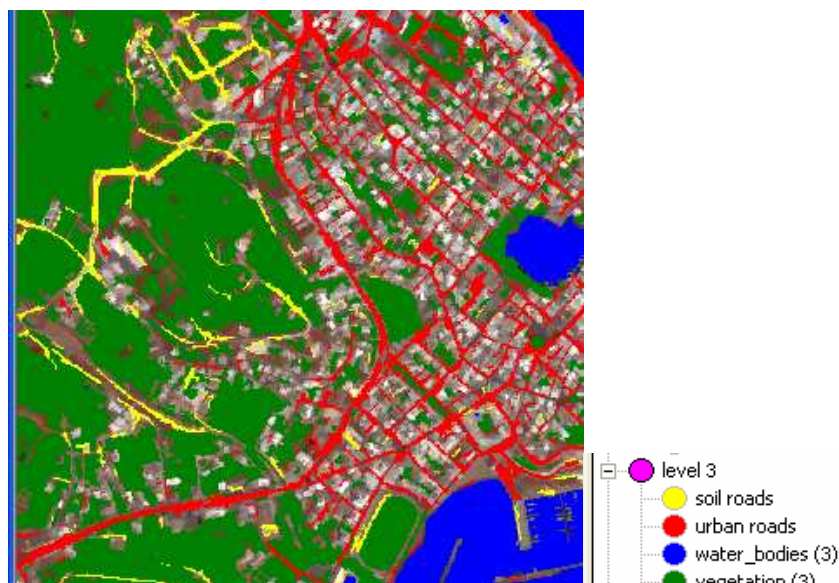
Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
Χωματόδρομοι	and	length / width		14	16
		mean diff to scene red		140	310
		rel. area of roads sub objects		0.49	0.51
		area		80	90
		rel. border to urban roads neighbours		0.03	0.05
Αστικοί δρόμοι		existence of urban roads super objects		0.08	0.12
Υδάτινα σώματα		rel. area of water bodies (3) sub-objects		0.09	0.11
Βλάστηση		rel. area of vegetation sub objects		0.48	0.52

**Πίνακας 34:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 3

Όπως φαίνεται στο επίπεδο 3 ταξινομούνται επίσης κατά τα γνωστά η βλάστηση και τα υδάτινα σώματα. Κατά τις δοκιμές που έγιναν για τη ταξινόμηση παρατηρήθηκε ότι αρκετά παρόδια αντικείμενα των αστικών δρόμων ταξινομούνταν λανθασμένα ως χωματόδρομοι. Το γεγονός αυτό οφείλονταν στο ότι τα αντικείμενα αυτά είχαν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτούς ( μακρόστενα με παρεμφερή φασματική υπογραφή). Για να αποτραπεί αυτό το δυσμενές φαινόμενο χρησιμοποιήθηκε το χαρακτηριστικό γνώρισμα relative border to urban roads neighbour. Έτσι με τη χρήση αυτού του χαρακτηριστικού εξετάζονταν τα κοινά σύνορα μεταξύ των υποψήφιων αντικειμένων να ταξινομηθούν ως χωματόδρομοι και αυτών που έχουν ταξινομηθεί ως αστικοί δρόμοι και αν αυτά

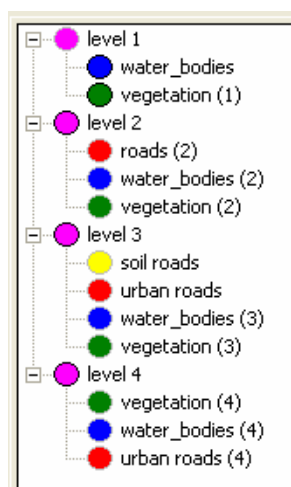
ξεπερνούσαν κάποιο όριο ορίστηκε να μη ταξινομούνται ως χωματόδρομοι. Επίσης λανθασμένα ως χωματόδρομοι ταξινομούνταν κάποια μικρά διάσπαρτα αντικείμενα για αυτό χρησιμοποιήθηκε ο κανόνας area που εξετάζει το μέγεθος των αντικειμένων ώστε να αποτραπεί αυτή η λανθασμένη ταξινόμηση τους.

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης φαίνονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 44 ).



**Εικόνα 44:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 3

Όπως φαίνεται η βλάστηση και οι υδάτινες επιφάνειες έχουν ταξινομηθεί με πράσινο και μπλε αντίστοιχα κατά τα γνωστά, το αστικό οδικό δίκτυο με κόκκινο ενώ οι χωματόδρομοι με κίτρινο. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι πολύ ικανοποιητικό, η πλειοψηφία του ασφαλτοστρωμένων δρόμων έχουν ταξινομηθεί σωστά (ακόμα και οι μικρότερου μεγέθους δρόμοι) και εμφανίζονται ως ενιαία συνεχή και συμπαγή αντικείμενα ενώ και οι κύριοι χωματόδρομοι έχουν ταξινομηθεί αρκετά καλά. Κάποιοι δευτερεύοντες χωματόδρομοι δεν ανιχνευτεί επαρκώς ενώ έχουν ταξινομηθεί λανθασμένα ως χωματόδρομοι κάποια αντικείμενα όπως ένα τμήμα του στίβου (πράγμα βέβαια απόλυτο φυσιολογικό αφού στην ουσία πρόκειται για κάποιο είδος «χωματόδρομου») και κάποια μικρά σκόρπια τμήματα εντός του αστικού ιστού. Σε γενικές γραμμές όμως ο τιθέμενος στόχος επετεύχθη αρκετά ικανοποιητικά.



**Εικόνα 45:** Ιεραρχία κατηγοριών συνολικής εργασίας

επίπεδο 1

κατάτμηση μικρής κλίμακας  
βάρος στο χρώμα  
 $\kappa=7$   $c=1$   $s=0$



Ταξινόμηση της βλάστησης  
με το λόγο NDVI και των  
υδάτινων επιφανειών με τη  
χρήση του water index

επίπεδο 2

Κατάτμηση μεγαλύτερης  
κλίμακας, βάρος στο σχήμα  
 $K=13$   $c=0.1$   $s=0.9$   $sm=1$   $com=0$



Ταξινόμηση βλάστησης  
και υδάτινων επιφανειών  
με τη χρήση του κανόνα  
rel area of



Ταξινόμηση του συνολικού  
οδικού δικτύου με τη χρήση  
των κανόνων rel. border to  
water bodies neighbour,  
,assymetry , mean dif f to  
scene

επίπεδο 3

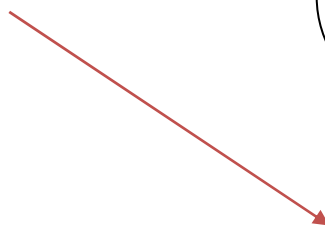
Κατάτμηση ακόμα  
μεγαλύτερης κλίμακας, βάρος  
στο σχήμα  
 $K=16$   $c=0.2$   $s=0.8$   $sm=1$   $com=0$



Ταξινόμηση βλάστησης  
και υδάτινων επιφανειών  
με τη χρήση του κανόνα  
rel area of



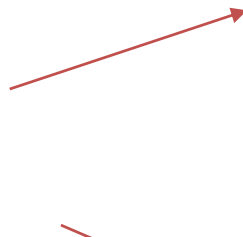
Ταξινόμηση χωματόδρομων  
με τη χρήση των κανόνων  
length/width, area, mean dif  
to scene red, rel area of roads  
sub object, rel area of  
neighbor urban roads



Ταξινόμηση αστικών  
δρόμων με τη χρήση του  
κανόνα existence of  
urban roads super objects

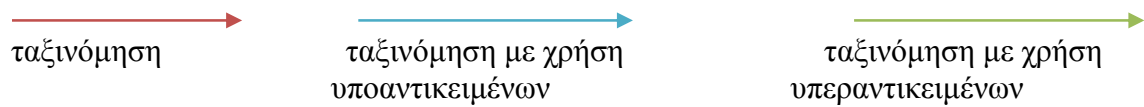
επίπεδο 4

Κατάτμηση ακόμα μεγαλύτερης κλίμακας, βάρος στο σχήμα  
 $K=18$   $c=0.2$   $s=0.8$   $sm=1$   $com=0$



Ταξινόμηση αστικών δρόμων με τη χρήση των κανόνων road index, asymmetry, rel border to water body neighbor. area

Ταξινόμηση βλάστησης και υδάτινων επιφανειών με τη ψρήση του κανόνα rel area of



**Εικόνα 46** Αναλυτικός αλγόριθμος της ταξινόμησης των δεδομένων (προσέγγιση 2)

**3.3.8 Προσέγγιση 7: Διαχωρισμός του συνόλου του οδικού δικτύου σε τέσσερις κατηγορίες**

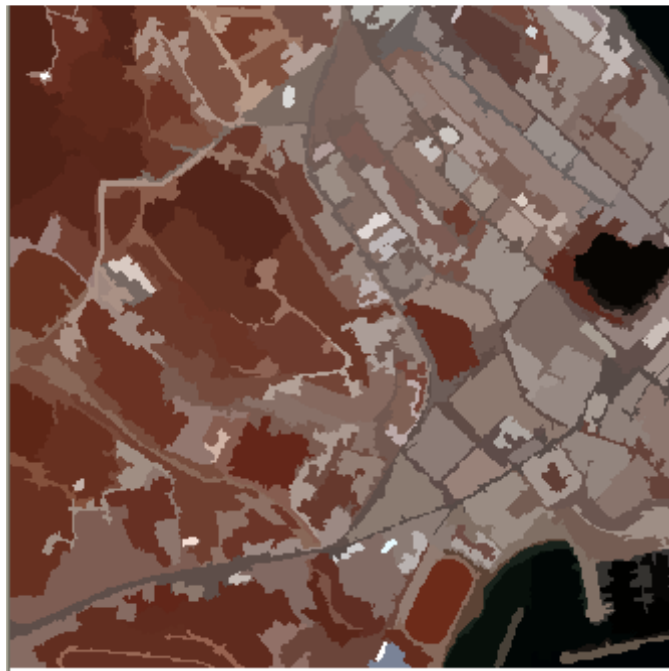
Σε αυτή την προσέγγιση έγινε προσπάθεια να διαχωριστεί το αστικό οδικό δίκτυο που προέκυψε από την προηγούμενη προσέγγιση σε τρεις υποκατηγορίες. Οι υποκατηγορίες αυτές είναι κύριος δρόμος (περιφερειακή οδός Αγ. Νικολάου), δευτερεύοντες δρόμοι και οδοί. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα επιπλέον επίπεδο κατάτμησης. Οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω ενώ δεν παρουσιάζονται τα τρία πρώτα επίπεδα κατάτμησης και οι ταξινομήσεις τους καθώς είναι ταυτόσημα με αυτά της προηγούμενης προσέγγισης.

**3.3.8.1 Κατάτμηση και ταξινόμηση επιπέδου 5**

Αναζητήθηκε ένα επίπεδο κατάτμησης στο οποίο θα σχηματίζονταν μεγάλοι μεγέθους ενιαία αντικείμενα τα οποία θα ήταν αντιπροσωπευτικά των κατηγοριών κύριος και δευτερεύοντες δρόμοι. Σκοπός ήταν να διαχωρισμός τους από το σύνολο του αστικού οδικού δικτύου. Οι παράμετροι της κατάτμησης που επιλέχθηκε (Πίνακας 35) καθώς και τα αντικείμενα που προέκυψαν (Εικόνα 47) φαίνονται παρακάτω.

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
5	140	0.2	0.8	1	-




**Πίνακας 35:** Παράμετροι κατάτμησης στο επίπεδο 5



**Εικόνα 47:** Αντικείμενα της κατάτμησης επιπέδου 2




Όπως φαίνεται έχουν δημιουργηθεί αρκετά μεγάλου μεγέθους αντικείμενα αντιπροσωπευτικά του κύριου και των δευτερευόντων δρόμων ενώ το υπόλοιπο οδικό δίκτυο δε διακρίνεται, γεγονός επιδιωκόμενο σε αυτό το επίπεδο κατάτμησης. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι η διάκριση των δρόμων σε κατηγορίες έγινε αυθαίρετα από το χρήστη με βάση το μέγεθος τους στην εικόνα με σκοπό να αναζητηθεί η δυνατότητα ενός τέτοιου διαχωρισμού με τις μεθόδους της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης. Ουσιαστικά λοιπόν ο χρήστης όρισε εκ προοιμίου ποιον δρόμο θεωρεί κύριο και ποιους δευτερεύοντες και αναζητήθηκε η μέθοδος για τον αυτόματο διαχωρισμό τους.

Για την ταξινόμηση των δυο αυτών κατηγοριών του οδικού δικτύου χρησιμοποιήθηκαν κανόνες που είχαν να κάνουν με το σχήμα των αντικειμένων. Για τον κύριο δρόμο χρησιμοποιήθηκαν τα χαρακτηριστικά length και main direction ενώ για τους δευτερεύοντες δρόμους το χαρακτηριστικό shape index. Επίσης σε αυτό το επίπεδο επιλέχθηκε να μη ταξινομηθεί τίποτα που έχει ταξινομηθεί ως βλάστηση ή υδάτινο σώμα στο επίπεδο 4 (Πίνακας 36).

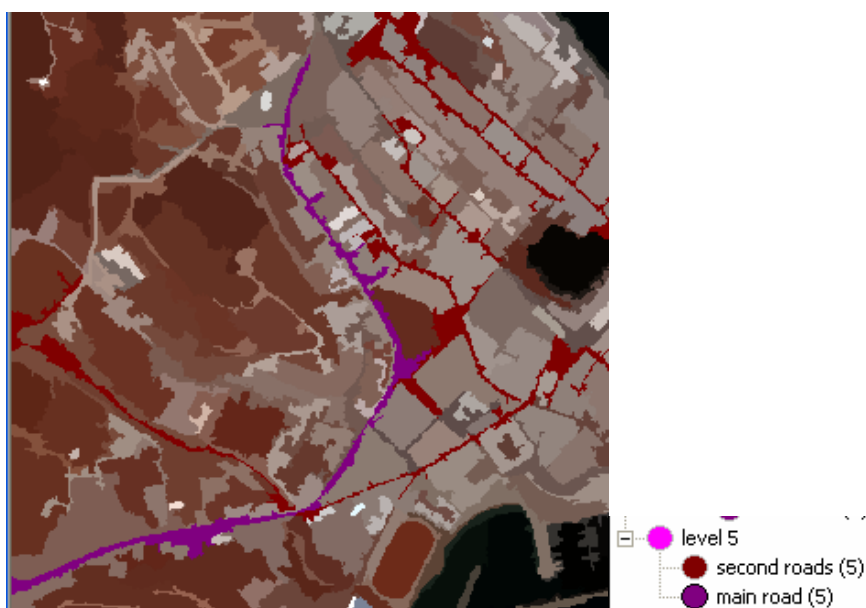
Επίπεδο	Κανόνας	Συν. Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
5	Level		4	7
	Existence off water (sub-objects)		0.4	0.6
	Related area off vegetation (sub-objects)		0.4	0.6

**Πίνακας 36:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής για τα δύο επίπεδα

Παρακάτω παρατίθενται οι κανόνες και οι συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε κατηγορία (Πίνακας 37) καθώς και το αποτέλεσμα της ταξινόμησης (Εικόνα 48).

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
main road	and	length		608	614
		main direction		65	67
second roads		not main road	-	-	-
		shape index		6.18	6.22

**Πίνακας 37:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 4



**Εικόνα 48:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 5










### 3.3.8.2 Κατάμηση και ταξινόμηση στο επίπεδο 4

Το τέταρτο επίπεδο είναι και το κύριο επίπεδο ανάλυσης όπου προσδιορίστηκε το διαχωρισμένο σε κατηγορίες οδικό δίκτυο. Οι παράμετροι κατάμησης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 38) και είναι ίδιοι με το αντίστοιχο επίπεδο της προηγούμενης προσέγγισης (προσέγγιση 7)

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
4	18	0.2	0.8	1	0

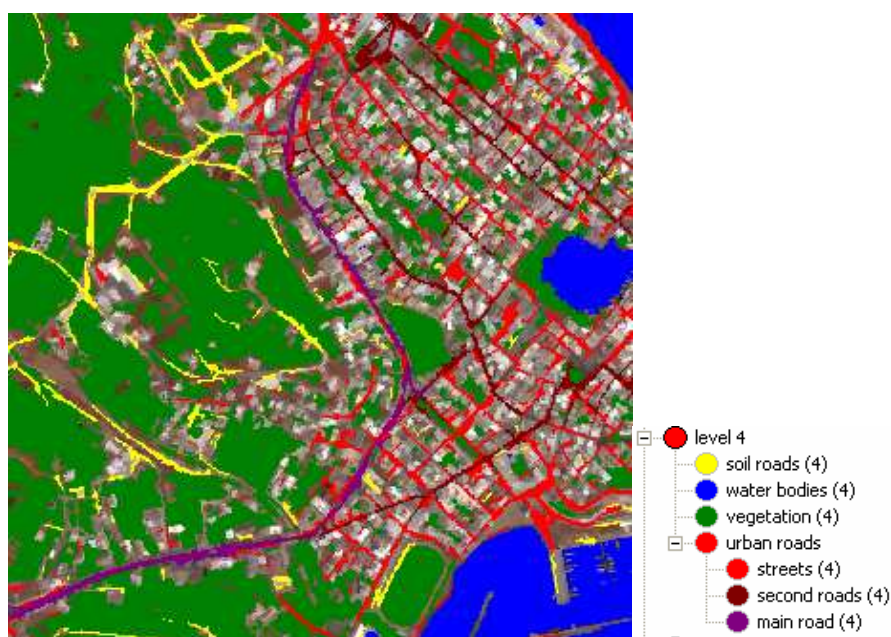
**Πίνακας 38:** Παράμετροι κατάμησης στο επίπεδο 4

Σε αυτό το επίπεδο αντλούνται πληροφορίες από το πάνω επίπεδο (επίπεδο 5) για τον κύριο και τους δευτερεύοντες δρόμους ενώ από το κάτω επίπεδο (επίπεδο 3) αντλούνται πληροφορίες για τους χωματόδρομους την βλάστηση και τα υδάτινα σώματα. Οι κανόνες ταξινόμησης καθώς και οι συναρτήσεις συμμετοχής τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 39).

Κατηγορία		Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
Αστικοί δρόμοι	and	road index		-2000	-1980
		asymmetry		0.69	0.71
		rel. border to water bodies neighbor		0.04	0.06
		area		70	80
κύριος δρόμος		existence of main road super objects		0.3	0.4
Δευτερεύοντες δρόμοι		existence of main road super objects		0.3	0.4
Οδοί		not main roads	-	-	-
		not second roads	-	-	-
Χωματόδρομοι		rel. area of soil roads sub objects		0.5	0.7
Βλάστηση		rel. area of low vegetation sub objects		0.48	0.52
Υδάτινα σώματα		rel. area of water bodies (3) sub-objects		0.09	0.11

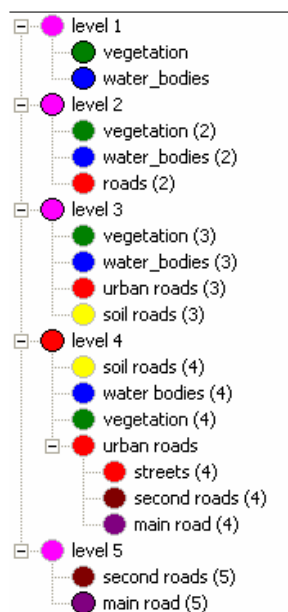
**Πίνακας 39:** Κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής επιπέδου 4

Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι οι κατηγορίες κύριος δρόμος δευτερεύοντες δρόμοι και οδοί είναι υποκατηγορίες της κατηγορίας αστικοί δρόμοι οπότε και έχουν κληρονομήσει τις ιδιότητες της. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι για να ταξινομηθεί κάποιο αντικείμενο σε κάποια από αυτές τις δυο κατηγορίες θα πρέπει να είχε ταξινομηθεί ως αστικός δρόμος στην προηγούμενη προσέγγιση. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στην Εικόνα 49.



**Εικόνα 49:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης στο επίπεδο 4

Όπως φαίνεται ο διαχωρισμός του οδικού δικτύου σε κατηγορίες κρίνεται ιδιαίτερα ικανοποιητικός.



Εικόνα 50: Ιεραρχία κατηγοριών συνολικής εργασίας

## 4 Αξιολόγηση

«Μια ταξινόμηση δεν έχει ολοκληρωθεί, μέχρι να εκτιμηθεί η ακρίβεια της» (Αργιαλάς 1999)

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν οι έλεγχοι που έγιναν για την αξιολόγηση των μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί, καθώς και τα αποτελέσματα που αυτοί έδωσαν. Μετά από αυτή τη διαδικασία θα γίνει η επιλογή της πιο αποδοτικής μεθόδου. Η αξιολόγηση συνίσταται σε δυο διαφορετικούς ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν: α) έλεγχο που πραγματοποιείται στο λογισμικό eCognition και αφορά στην ευστάθεια και αξιοπιστία των ταξινομήσεων με χρήση των εργαλείων classification stability και best classification result και β) έλεγχο της ακρίβειας του τελικού χάρτη της εκάστοτε ταξινόμησης ο οποίος πραγματοποιείται συγκρίνοντάς τον με χάρτη αναφοράς.

### 4.1 Αξιολόγηση της αξιοπιστίας της ταξινόμησης στο λογισμικό eCognition

- Classification Stability: Λόγω της λειτουργίας του eCognition μέσω της ασαφούς λογικής, ένα αντικείμενο έχει κάποιο βαθμό συμμετοχής σε περισσότερες από μία κατηγορίες ενώ ταξινομείται σε αυτή στην οποία έχει το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Ένα μέτρο αξιολόγησης της ταξινόμησης είναι η διερεύνηση της διαφοράς ανάμεσα στους βαθμούς συμμετοχής της καλύτερης και της δεύτερης καλύτερης κατηγορίας ενός αντικειμένου η οποία αναδεικνύει τη σύγχυση μεταξύ των κατηγοριών που ορίστηκαν και συνεπώς την ευστάθεια της ταξινόμησης. Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα γραφικής απεικόνισης της ευστάθειας μιας ταξινόμησης μέσω ενός έγχρωμου σύνθετου όπου κάθε αντικείμενο σημαίνεται με διαφορετικό χρώμα ανάλογα με την ευστάθεια της ταξινόμησης του, δηλαδή ανάλογα με τη διαφορά του πρώτου και του δεύτερου μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής. Η χρωματική αυτή διαβάθμιση κυμαίνεται από σκούρο πράσινο (πλήρης

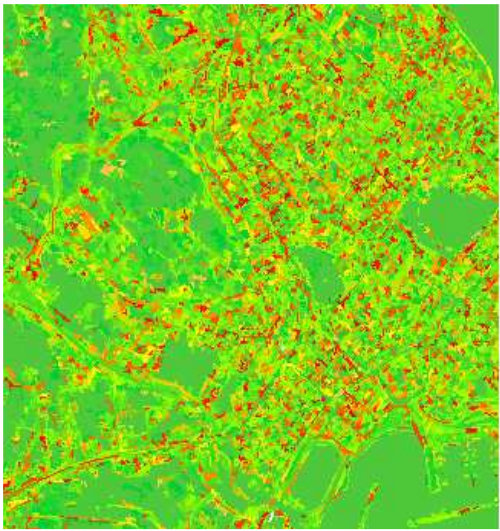



ευστάθεια) έως σκούρο κόκκινο (πλήρης αστάθεια). Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης αυτής εξάγονται εκτός από τη γραφική απεικόνιση και με μορφή στατιστικού πίνακα. Η σύγκριση μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής επιτρέπει στο χρήστη να διακρίνει με πόση βεβαιότητα ανατέθηκε ένα τμήμα της εικόνας στην πρώτη κατηγορία και κατά πόσο διεκδικείται από τη δεύτερη.

- **Best Classification Result:** Ένα εργαλείο το οποίο παρουσιάζεται τόσο σε γραφική μορφή όσο και σε μορφή στατιστικού πίνακα. Όπως έχει προαναφερθεί ένα αντικείμενο μπορεί να έχει διαφορετικό βαθμό συμμετοχής σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το πόσο τα χαρακτηριστικά του πλησιάζουν τις περιγραφές των τάξεων αυτών. Ως καλύτερη βαθμολογείται η ταξινόμηση η οποία πραγματοποιείται με την υψηλότερη τιμή συνάρτησης συμμετοχής. Η υψηλότερη τιμή συμμετοχής αναπαριστάται για κάθε αντικείμενο σε ένα εύρος από σκούρο πράσινο (1.0, μέγιστος βαθμός συμμετοχής) έως κόκκινο (0.0, μηδενική συμμετοχή).

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

#### 4.1.1 Προσέγγιση 1: Ταξινόμηση με αποκλειστική χρήση του εγγύτερου γείτονα (Nearest Neighbor)

Classification Stability		Best Classification Result																																																																																																					
																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Objects</th> <th>Mean</th> <th>StdDev</th> <th>Minimum</th> <th>Maximum</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>level 2</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>roofs 1</td> <td>659</td> <td>0.353</td> <td>0.318</td> <td>7.65e-005</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>water_sea</td> <td>193</td> <td>0.641</td> <td>0.282</td> <td>0.0178</td> <td>0.999</td> </tr> <tr> <td>roofs 2</td> <td>6868</td> <td>0.201</td> <td>0.118</td> <td>1.27e-005</td> <td>0.475</td> </tr> <tr> <td>roads</td> <td>1385</td> <td>0.232</td> <td>0.174</td> <td>0.000194</td> <td>0.648</td> </tr> <tr> <td>vegetation</td> <td>3355</td> <td>0.471</td> <td>0.23</td> <td>7.02e-005</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>soil_roads</td> <td>992</td> <td>0.0968</td> <td>0.0766</td> <td>0.000279</td> <td>0.445</td> </tr> <tr> <td>warer_pool</td> <td>8</td> <td>0.671</td> <td>0.168</td> <td>0.412</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	level 2	0					roofs 1	659	0.353	0.318	7.65e-005	1	water_sea	193	0.641	0.282	0.0178	0.999	roofs 2	6868	0.201	0.118	1.27e-005	0.475	roads	1385	0.232	0.174	0.000194	0.648	vegetation	3355	0.471	0.23	7.02e-005	1	soil_roads	992	0.0968	0.0766	0.000279	0.445	warer_pool	8	0.671	0.168	0.412	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Objects</th> <th>Mean</th> <th>StdDev</th> <th>Minimum</th> <th>Maximum</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>roofs 1</td> <td>659</td> <td>0.916</td> <td>0.101</td> <td>0.167</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>water_sea</td> <td>193</td> <td>0.926</td> <td>0.0937</td> <td>0.537</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>roofs 2</td> <td>6868</td> <td>0.884</td> <td>0.105</td> <td>0.327</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>roads</td> <td>1385</td> <td>0.934</td> <td>0.0712</td> <td>0.606</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>vegetation</td> <td>3355</td> <td>0.893</td> <td>0.111</td> <td>0.309</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>soil_roads</td> <td>992</td> <td>0.892</td> <td>0.0887</td> <td>0.228</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>warer_pool</td> <td>8</td> <td>0.908</td> <td>0.0869</td> <td>0.776</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	roofs 1	659	0.916	0.101	0.167	1	water_sea	193	0.926	0.0937	0.537	1	roofs 2	6868	0.884	0.105	0.327	1	roads	1385	0.934	0.0712	0.606	1	vegetation	3355	0.893	0.111	0.309	1	soil_roads	992	0.892	0.0887	0.228	1	warer_pool	8	0.908	0.0869	0.776	1
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum																																																																																																		
level 2	0																																																																																																						
roofs 1	659	0.353	0.318	7.65e-005	1																																																																																																		
water_sea	193	0.641	0.282	0.0178	0.999																																																																																																		
roofs 2	6868	0.201	0.118	1.27e-005	0.475																																																																																																		
roads	1385	0.232	0.174	0.000194	0.648																																																																																																		
vegetation	3355	0.471	0.23	7.02e-005	1																																																																																																		
soil_roads	992	0.0968	0.0766	0.000279	0.445																																																																																																		
warer_pool	8	0.671	0.168	0.412	1																																																																																																		
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum																																																																																																		
roofs 1	659	0.916	0.101	0.167	1																																																																																																		
water_sea	193	0.926	0.0937	0.537	1																																																																																																		
roofs 2	6868	0.884	0.105	0.327	1																																																																																																		
roads	1385	0.934	0.0712	0.606	1																																																																																																		
vegetation	3355	0.893	0.111	0.309	1																																																																																																		
soil_roads	992	0.892	0.0887	0.228	1																																																																																																		
warer_pool	8	0.908	0.0869	0.776	1																																																																																																		

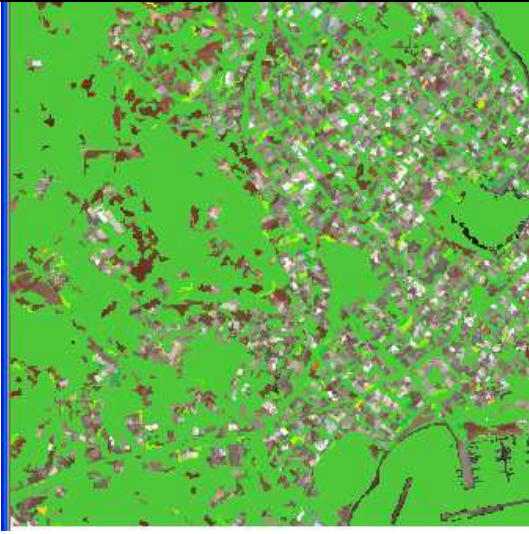
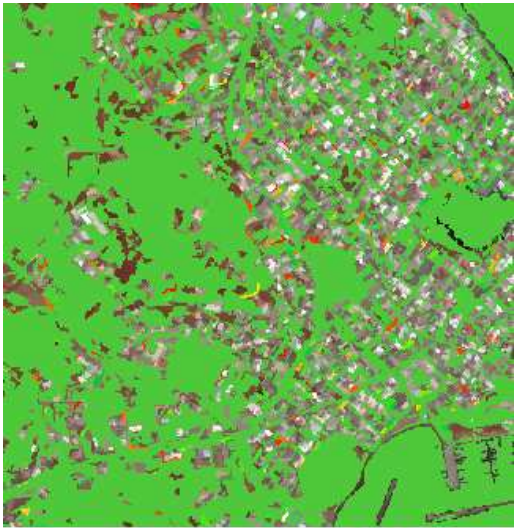
**Πίνακας 40:** Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 1

Η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με τη δεύτερη καλύτερη κατηγορία για τους δρόμους σύμφωνα με το classification stability είναι 23.32% ένα αρκετά χαμηλό ποσοστό που δείχνει τη χαμηλή ευστάθεια της ταξινόμησης της συγκεκριμένης κατηγορίας. Το γεγονός αυτό φαίνεται και από τις τιμές maximum και minimum. Η τιμή maximum 0.648 υποδηλώνει ότι η μεγαλύτερη διαφορά που είχε ένα αντικείμενο που ταξινομήθηκε ως δρόμος από τη δεύτερη καλύτερη κατηγορία που το διεκδικούσε ήταν 64.8% ποσοστό όχι ιδιαίτερα υψηλό. Η τιμή minimum 0.000194 δείχνει ότι τουλάχιστον ένα αντικείμενο πληροί τα κριτήρια και κάποιος άλλης κατηγορίας εξίσου με τη κατηγορία δρόμοι όπου και ταξινομήθηκε.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της αξιολόγησης με το εργαλείο best classification result φαίνεται ότι η μέση τιμή των μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής των αντικειμένων είναι αρκετά υψηλή για όλες τις κατηγορίες(για τους δρόμους 93.4%) . Από τις τιμές maximum και minimum φαίνεται αντίστοιχα ότι τουλάχιστον ένα αντικείμενο ταξινομήθηκε ως δόμος με βαθμό συμμετοχής 1 (δηλαδή πλήρως) ενώ ο μικρότερος βαθμός συμμετοχής με τον οποίον ένα αντικείμενο ταξινομήθηκε ως δρόμος ήταν 0.606.

Από τα παραπάνω συνάγεται τελικά το συμπέρασμα ότι ως δρόμοι ταξινομήθηκαν στη συντριπτική τους πλειοψηφία αντικείμενα που πληρούσαν σε μεγάλο βαθμό τα φασματικά κριτήρια που καθορίστηκαν με τη λήψη των δειγμάτων αλλά ταυτόχρονα αυτά τα αντικείμενα διεκδικούνταν σε μεγάλο βαθμό και από άλλες κατηγορίες. Αυτό δείχνει την παρεμφερή τους φασματική υπογραφή με άλλες κατηγορίες που ενυπάρχουν στην εικόνα και αναδεικνύουν την αστάθεια της ταξινόμησης που το γεγονός αυτό προκαλεί.

#### 4.1.2 Προσέγγιση 2: Κατάτμηση μικρής κλίμακας και ταξινόμηση με έμφαση στα χαρακτηριστικά σχήματος

Classification Stability		Best Classification Result																																															
																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Objects</th> <th>Mean</th> <th>StdDev</th> <th>Minimum</th> <th>Maximum</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>roads (2)</td> <td>2128</td> <td>0.845</td> <td>0.262</td> <td>0.0724</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>water_bodies (2)</td> <td>245</td> <td>0.996</td> <td>0.0606</td> <td>0.0488</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>vegetation (2)</td> <td>2496</td> <td>0.986</td> <td>0.0922</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	roads (2)	2128	0.845	0.262	0.0724	1	water_bodies (2)	245	0.996	0.0606	0.0488	1	vegetation (2)	2496	0.986	0.0922	0	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Objects</th> <th>Mean</th> <th>StdDev</th> <th>Minimum</th> <th>Maximum</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>roads (2)</td> <td>2128</td> <td>0.847</td> <td>0.26</td> <td>0.1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>water_bodies (2)</td> <td>245</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>vegetation (2)</td> <td>2496</td> <td>0.987</td> <td>0.0824</td> <td>0.105</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	roads (2)	2128	0.847	0.26	0.1	1	water_bodies (2)	245	1	0	1	1	vegetation (2)	2496	0.987	0.0824	0.105	1
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum																																												
roads (2)	2128	0.845	0.262	0.0724	1																																												
water_bodies (2)	245	0.996	0.0606	0.0488	1																																												
vegetation (2)	2496	0.986	0.0922	0	1																																												
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum																																												
roads (2)	2128	0.847	0.26	0.1	1																																												
water_bodies (2)	245	1	0	1	1																																												
vegetation (2)	2496	0.987	0.0824	0.105	1																																												



**Πίνακας 41:** Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 2

Σε αυτή την προσέγγιση ο διαχωρισμός των δρόμων από τις υπόλοιπες κατηγορίες έγινε με επιτυχία καθώς η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με τη δεύτερη καλύτερη κατηγορία είναι 84.5% όπως φαίνεται από το στατιστικό πίνακα του classification stability.

Αρκετά υψηλή είναι και η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής των αντικειμένων που ταξινομήθηκαν ως δρόμοι ( 84.7%)



#### 4.1.3 Προσέγγιση 3: Ταξινόμηση των αστικών δρόμων με έμφαση στα φασματικά τους χαρακτηριστικά

Η ευστάθεια της ταξινόμησης του οδικού δικτύου σε αυτή την προσέγγιση είναι μικρότερη από την προηγούμενη καθώς η μέση τιμή του classification stability είναι 77.1% αλλά η ταξινόμηση χαρακτηρίζεται αρκετά ευσταθής . Επίσης και η μέση τιμή των μέγιστων βαθμών συμμετοχής τους όπως φαίνεται από το στατιστικό πίνακα του best classification result είναι χαμηλότερος της προηγούμενης προσέγγισης αλλά το αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό. Μια εξήγηση που μπορεί αν δοθεί για την υστέρηση αυτής της ταξινόμησης έχει να κάνει με το ότι χρησιμοποιήθηκαν φασματικά κριτήρια που δημιουργούν μεγαλύτερη σύγχυση μεταξύ των κατηγοριών σε σχέση με τα κριτήρια σχήματος.

Classification Stability							Best Classification Result						
													
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum		Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	
water bodies 2	262	0.993	0.0634	0.25	1		water bodies 2	262	0.993	0.0634	0.25	1	
urban roads	2121	0.771	0.315	0	1		urban roads	2121	0.783	0.304	0.1	1	
vegetation (2)	5325	0.989	0.0856	0.000876	1		vegetation (2)	5325	0.996	0.0513	0.106	1	

**Πίνακας 42:** Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 3



#### 4.1.4 Προσέγγιση 4: Ταξινόμηση με έμφαση στα χαρακτηριστικά σχήματος

Classification Stability						Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
roads	195	0.93	0.18	0.103	1	roads	195	0.93	0.18	0.103	1

**Πίνακας 43:** Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 4

Όπως φαίνεται και από το στατιστικό πίνακα των δυο αυτών εργαλείων αξιολόγησης η ταξινόμηση του οδικού δικτύου κρίνεται ιδιαίτερα ικανοποιητική από τις μεγάλες μέσες τιμές της διαφοράς της καλύτερης από τη δεύτερη καλύτερη κατηγορία ( 93%) και από το μέγιστο βαθμό συμμετοχής των αντικειμένων που ταξινομήθηκαν ως οδικό δίκτυο (93%).

#### 4.1.5 Προσέγγιση 5: Ταξινόμηση με έμφαση στα φασματικά χαρακτηριστικά, χρήση του δείκτη road index

Classification Stability		Best Classification Result	
			

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
low vegetation (2)	1114	0.865	0.334	0	1
medium vegetation (2)	716	0.875	0.321	0	1
high vegetation (2)	160	0.971	0.147	0.0113	1
water_bodies (2)	188	0.997	0.0364	0.5	1
urban roads	783	0.99	0.0743	0.104	1

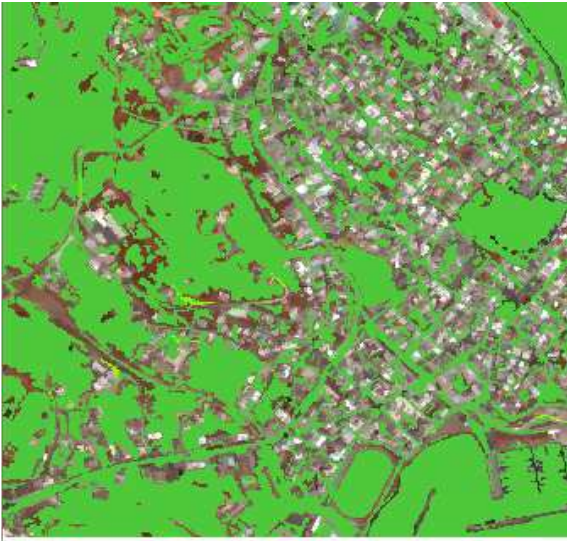
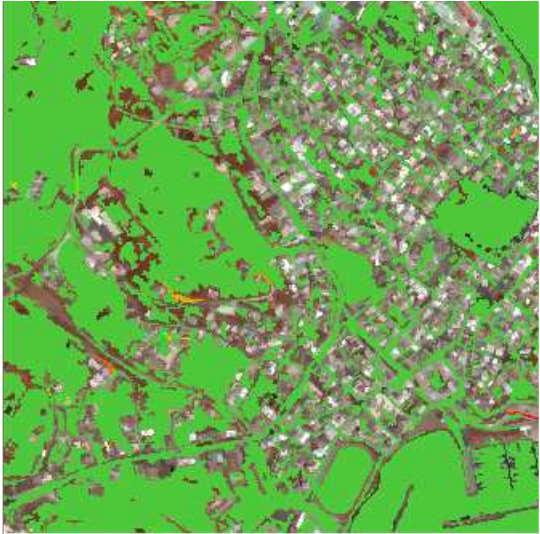
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
low vegetation (2)	1114	0.99	0.0816	0.119	1
medium vegetation (2)	716	0.997	0.0441	0.135	1
high vegetation (2)	160	0.999	0.00736	0.909	1
water_bodies (2)	188	0.997	0.0364	0.5	1
urban roads	783	0.99	0.0743	0.104	1

**Πίνακας 44:** Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 5

Ιδιαίτερα θετική η αξιολόγηση της ταξινόμησης του οδικού δικτύου και σε αυτή την προσέγγιση με βάση τα εργαλεία αξιολόγησης του λογισμικού classification stability και best classification result όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 46)

#### 4.1.6 Προσέγγιση 6: Ταξινόμηση του οδικού δικτύου με ταυτόχρονο διαχωρισμό των ασφαλτοστρωμένων δρόμων από όπως χωματόδρομους

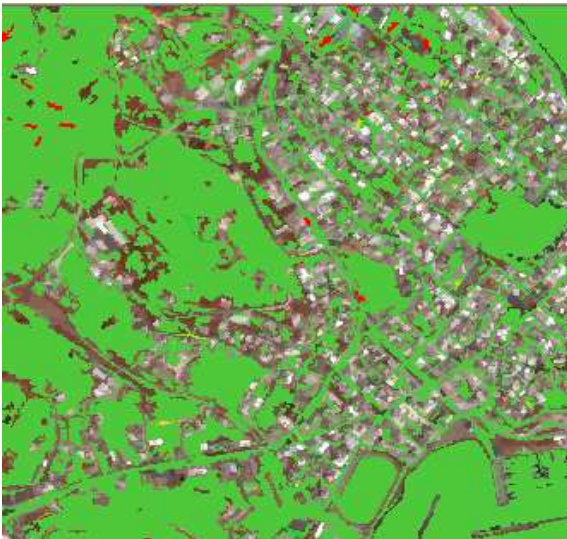
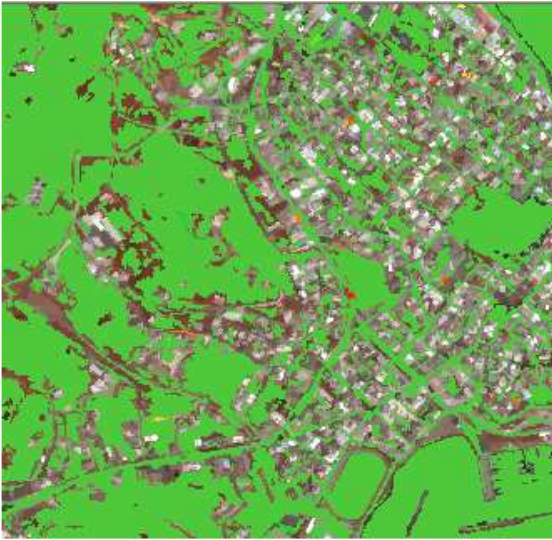
Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα η ευστάθεια της ταξινόμησης των ασφαλτοστρωμένων δρόμων είναι απόλυτη καθώς δεν υπάρχει καθόλου σύγχυση με καμία άλλη κατηγορία. Για τους χωματόδρομους όπως φαίνεται υπάρχει μεγαλύτερη αστάθεια.

Classification Stability						Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
vegetation (3)	2624	1	0.0159	0.184	1	vegetation (3)	2624	1	0.0159	0.184	1
water_bodies (3)	210	1	0	1	1	water_bodies (3)	210	1	0	1	1
urban roads (3)	810	1	0	1	1	urban roads (3)	810	1	0	1	1
soil roads	214	0.843	0.256	0.102	1	soil roads	214	0.843	0.256	0.102	1

**Πίνακας 45:** Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 6

#### 4.1.7 Προσέγγιση 7: Διαχωρισμός του συνόλου του οδικού δικτύου σε τέσσερις κατηγορίες

Όπως φαίνεται όλες οι κατηγορίες του οδικού δικτύου έχουν διαχωριστεί σχεδόν απόλυτα και η ταξινόμηση τους φαίνεται ιδιαίτερα ευσταθής. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί εδώ είναι ότι υπάρχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο που έχει ταξινομηθεί ως κύριος δρόμος και διεκδικείται σε αρκετά μεγάλο ποσοστό (92.5%) και από κάποια άλλη κατηγορία.

Classification Stability		Best Classification Result																																																																																			
																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Objects</th> <th>Mean</th> <th>StdDev</th> <th>Minimum</th> <th>Maximum</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>vegetation (4)</td> <td>2293</td> <td>0.991</td> <td>0.0916</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>water bodies (4)</td> <td>192</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>soil roads (4)</td> <td>196</td> <td>0.981</td> <td>0.12</td> <td>0.124</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>second roads (4)</td> <td>127</td> <td>0.963</td> <td>0.179</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>main road (4)</td> <td>60</td> <td>0.998</td> <td>0.0129</td> <td>0.925</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>streets (4)</td> <td>543</td> <td>0.972</td> <td>0.137</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	vegetation (4)	2293	0.991	0.0916	0	1	water bodies (4)	192	1	0	1	1	soil roads (4)	196	0.981	0.12	0.124	1	second roads (4)	127	0.963	0.179	0	1	main road (4)	60	0.998	0.0129	0.925	1	streets (4)	543	0.972	0.137	0	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Objects</th> <th>Mean</th> <th>StdDev</th> <th>Minimum</th> <th>Maximum</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>vegetation (4)</td> <td>2293</td> <td>1</td> <td>0.0104</td> <td>0.5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>water bodies (4)</td> <td>192</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>soil roads (4)</td> <td>196</td> <td>0.981</td> <td>0.12</td> <td>0.124</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>second roads (4)</td> <td>127</td> <td>0.976</td> <td>0.123</td> <td>0.143</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>main road (4)</td> <td>60</td> <td>0.998</td> <td>0.0129</td> <td>0.925</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>streets (4)</td> <td>543</td> <td>0.973</td> <td>0.134</td> <td>0.1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	vegetation (4)	2293	1	0.0104	0.5	1	water bodies (4)	192	1	0	1	1	soil roads (4)	196	0.981	0.12	0.124	1	second roads (4)	127	0.976	0.123	0.143	1	main road (4)	60	0.998	0.0129	0.925	1	streets (4)	543	0.973	0.134	0.1	1
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum																																																																																
vegetation (4)	2293	0.991	0.0916	0	1																																																																																
water bodies (4)	192	1	0	1	1																																																																																
soil roads (4)	196	0.981	0.12	0.124	1																																																																																
second roads (4)	127	0.963	0.179	0	1																																																																																
main road (4)	60	0.998	0.0129	0.925	1																																																																																
streets (4)	543	0.972	0.137	0	1																																																																																
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum																																																																																
vegetation (4)	2293	1	0.0104	0.5	1																																																																																
water bodies (4)	192	1	0	1	1																																																																																
soil roads (4)	196	0.981	0.12	0.124	1																																																																																
second roads (4)	127	0.976	0.123	0.143	1																																																																																
main road (4)	60	0.998	0.0129	0.925	1																																																																																
streets (4)	543	0.973	0.134	0.1	1																																																																																

**Πίνακας 46:** Εικόνες και στατιστικά στοιχεία για το Classification Stability και Best Classification Result για την προσέγγιση 7

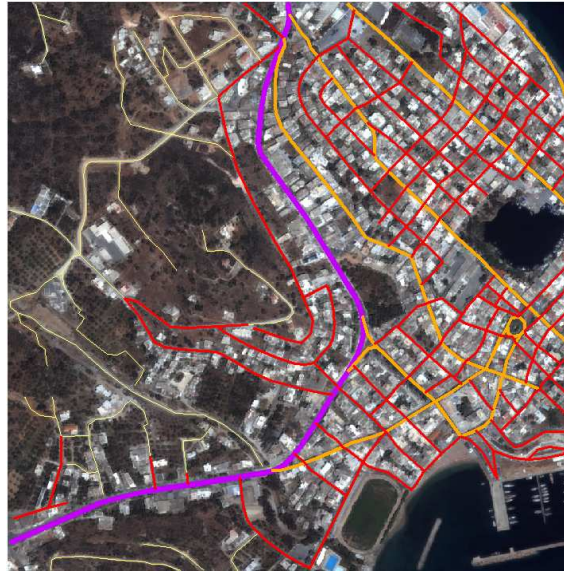
## 4.2 Έλεγχος ακρίβειας ταξινομήσεων

Η κεντρική ιδέα για τον έλεγχο της ακρίβειας των ταξινομήσεων είναι να διαπιστωθεί το κατά πόσο το οδικό δίκτυο που προέκυψε στις προσεγγίσεις που περιγράφηκαν παραπάνω ταυτίζεται με το υφιστάμενο οδικό δίκτυο του πεδίου κατόπτευσης. Για το σκοπό αυτό παρουσιάζονται δυο ποσοστά σφάλματος που δείχνουν αυτήν ακριβώς την ταύτιση και ουσιαστικά εκφράζουν την ορθότητα της ταξινόμησης. Το ένα θα είναι το σφάλμα παράλειψης (omission error) και το άλλο το σφάλμα συμπερίληψης (commission error). Το σφάλμα παράλειψης δείχνει το ποσοστό του υφιστάμενου οδικού δικτύου που δε ταξινομήθηκε ενώ το σφάλμα συμπερίληψης δείχνει το ποσοστό των αντικειμένων που λανθασμένα ταξινομήθηκαν ως οδικό δίκτυο ενώ δεν ήταν.

### 4.2.1 Μέθοδος αξιολόγησης

Σε πρώτη φάση ψηφιοποιήθηκε με φωτοερμηνεία της εικόνας του Αγίου Νικολάου από το χρήστη σε περιβάλλον GIS το οδικό δίκτυο. Κατά την ψηφιοποίηση έγινε και η διάκριση

ανάμεσα στις κατηγορίες: κύριος δρόμος (επαρχιακή οδός), δευτερεύοντες δρόμοι, οδοί και χωματόδρομοι (Εικόνα 51).



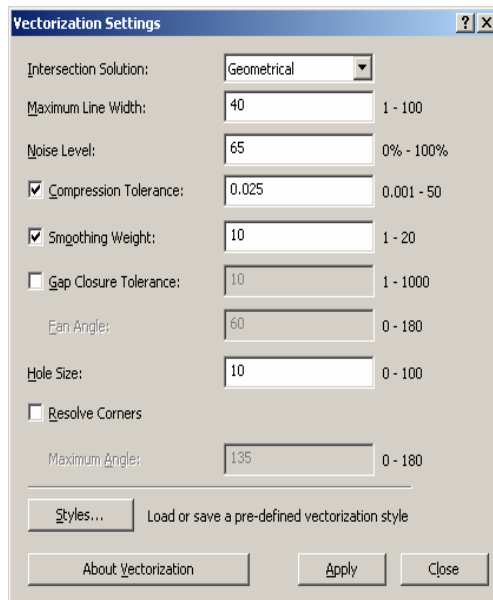
**Εικόνα 51:** Ψηφιοποίηση υφιστάμενου οδικού δικτύου

Στη συνέχεια το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του οδικού δικτύου εισάγεται στο λογισμικό ArcGIS ως δυαδική εικόνα (bitmap), στην οποία ότι έχει ταξινομηθεί ως οδικό δίκτυο εμφανίζεται με λευκό χρώμα ενώ όλη η υπόλοιπη εικόνα παρουσιάζεται με μαύρο χρώμα (Εικόνα 52).



**Εικόνα 52:** Bitmap εικόνα της ταξινόμησης του οδικού δικτύου του Αγ. Νικολάου (προσέγγιση 7)

Το λογισμικό ArcGIS δίνει τη δυνατότητα της διανυσματικοποίησης (vectorization) της bitmap εικόνας. Ουσιαστικά το λογισμικό ανιχνεύει τα αντικείμενα στην εικόνα και με βάση παραμέτρους που ρυθμίζει ο χρήστης (Εικόνα 53), όπως το μέγιστο πλάτος της γραμμής και το βαθμό λείανσης, τα αντικαθιστά από διανύσματα που διέρχονται από το κέντρο τους (centerlines). Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας φαίνεται στην Εικόνα 54.



**Εικόνα 53:** Παράθυρο διαλόγου ArcGIS για τη ρύθμιση παραμέτρων διανυσματικοποίησης



**Εικόνα 54:** Αποτέλεσμα διανυσματικοποίησης του οδικού δικτύου (προσέγγιση 7)

Στη συνέχεια γίνεται επίθεση και έλεγχος ταύτισης του αποτελέσματος της διανυσματικοποίησης της ταξινόμησης του οδικού δικτύου με το ψηφιοποιημένο από το χρήστη οδικό δίκτυο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 55.





**Εικόνα 55:** Επίθεση των διανυσμάτων τα οποία προέκυψαν από την ταξινομήση του οδικού δικτύου πάνω στο ψηφιοποιημένο από το χρήστη υφιστάμενο οδικό δίκτυο.

Με πορτοκαλί χρώμα φαίνεται το ψηφιοποιημένο υφιστάμενο οδικό δίκτυο ενώ με μαύρο το οδικό δίκτυο όπως αυτό προέκυψε από τη διανυσματικοποίηση του ταξινομημένου οδικού δικτύου. Λόγω του ότι από το χρήστη ψηφιοποιήθηκαν οι άξονες του οδικού δικτύου και είναι αδύνατο να συμπέσουν αυτοί απόλυτα με τα διανύσματα που αναπαριστούν το ταξινομημένο οδικό δίκτυο, έχει δοθεί ένα όριο ανοχής (buffer) για τον έλεγχο της ταύτισης. Αυτό, μετά από επαναληπτικές διαδικασίες πειραματισμού από το χρήστη ώστε να επιτευχθεί η κατά το δυνατόν πιο αξιόπιστη αξιολόγηση, τέθηκε σε 7 μέτρα εκατέρωθεν του άξονα του δρόμου. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το αποτέλεσμα του ελέγχου ταύτισης όπου με γαλάζιο χρώμα εμφανίζεται το σωστά ταξινομημένο οδικό δίκτυο, αυτό δηλαδή που ταυτίζεται με το ψηφιοποιημένο οδικό δίκτυο μετά από τον έλεγχο που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ArcGIS (Εικόνα 56).



**Εικόνα 56:** Με γαλάζιο χρώμα παρουσιάζεται το ορθά ταξινομημένο οδικό δίκτυο όπως προέκυψε από τον έλεγχο ταύτισης με το υφιστάμενο οδικό δίκτυο (προσέγγιση 7)

#### 4.2.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ελέγχου ταύτισης

Το σφάλμα παράλειψης υπολογίστηκε διαιρώντας το μήκος του πραγματικού οδικού δικτύου που δεν ανιχνεύθηκε προς το συνολικό μήκος του υφιστάμενου οδικού δικτύου. Το σφάλμα συμπερίληψης υπολογίστηκε διαιρώντας το μήκος του λανθασμένα ταξινομημένου ως οδικό δίκτυο προς το συνολικό μήκος του υφιστάμενου οδικού δικτύου (τα παραπάνω μήκη υπολογίζονται αυτόματα από το λογισμικό ArcGIS). Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 47) εμφανίζονται τα ποσοστά σφάλματος για όλες τις προσεγγίσεις που έχουν παρουσιαστεί.

Προσέγγιση	Κατηγορία οδικού δικτύου	Σφάλμα παράλειψης (omission error)	Σφάλμα Συμπερίληψης (commission error)
1	ασφαλτοστρωμένο	34.3%	42.5%
2	συνολικό	4.7%	73.0%
3	ασφαλτοστρωμένο	24.5%	30.4%
4	συνολικό	40.0%	15.6%
5	ασφαλτοστρωμένο	25.4%	26.4%
6	συνολικό	30.9%	24.9%
	ασφαλτοστρωμένο	29.7%	19.5%
	χωματόδρομοι	41.6%	49.0%
7	συνολικό	30.7%	26.4%
	κύριο	12.9%	10.0%
	δευτερεύον	12.1%	18.0%
	οδοί	30.5%	27.8%
	χωματόδρομοι	47.5%	50.8%

**Πίνακας 47:** Σφάλματα παράλειψης και συμπερίληψης για όλες τις ταξινομήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν

#### 4.2.3 Σχολιασμός ελέγχου ταύτισης

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του οδικού δικτύου σχεδόν στο σύνολο των προσεγγίσεων κρίνεται ιδιαίτερα ικανοποιητικό και συνάδει απόλυτα με το οπτικό αποτέλεσμα που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3.3 όπου παρουσιάστηκαν οι προσεγγίσεις. Όπως ήταν αναμενόμενο το ασφαλτοστρωμένο οδικό δίκτυο ταξινομήθηκε αρκετά καλύτερα από τους χωματόδρομους καθώς ήταν ευνοϊκότερες οι συνθήκες για τη χρήση τόσο των φασματικών ιδιοτήτων του όσο και των ιδιοτήτων σχήματος για την ανίχνευση και την εξαγωγή του. Ως χειρότερη χαρακτηρίζεται η προσέγγιση 2 η οποία έγινε με χρήση αποκλειστικά των ιδιοτήτων σχήματος των

αντικειμένων. Η προσέγγιση αυτή έδωσε εξαιρετικά μικρό σφάλμα παράλειψης γεγονός που καταδεικνύει ότι το σύνολο του οδικού δικτύου ταξινομήθηκε σωστά. Από την άλλη όμως το σφάλμα συμπερίληψης της συγκεκριμένης ταξινόμησης κρίνεται εξαιρετικά υψηλό, γεγονός που καταδεικνύει ότι έχει γίνει υπερεκτίμηση του συνόλου του οδικού δικτύου κατά 73%. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι σε μια ταξινόμηση πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ των δυο σφαλμάτων για να χαρακτηριστεί επιτυχής. Το να ταξινομηθεί ένα μεγάλο ποσοστό αντικειμένων λανθασμένα ως οδικό δίκτυο είναι εξίσου δυσμενές με το να μην ανιχνευθεί πλήρως το υφιστάμενο οδικό δίκτυο. Όπως παρατηρείται στις υπόλοιπες προσεγγίσεις υπάρχει αυτή η επιθυμητή ισορροπία. Ιδιαίτερα ικανοποιητική εμφανίζεται και η διάκριση του οδικού δικτύου σε κατηγορίες η οποία επιχειρήθηκε στην προσέγγιση 7. Συνολικά καλύτερες προσεγγίσεις είναι οι 6 και 7 γεγονός αναμενόμενο καθώς είναι το αποτέλεσμα της γνώσης που αποκτήθηκε από το χρήστη κατά τη διάρκεια της ενασχόλησης του με την αντικειμενοστραφή ανάλυση στο λογισμικό eCognition.

### 4.3 Διερεύνηση αυτοματοποίησης της διαδικασίας

Πέραν των προαναφερθέντων ελέγχων ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον ζήτημα ήταν να διερευνηθεί το κατά πόσο οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν προηγουμένως για την ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου θα μπορούσαν να εφαρμοστούν γενικευμένα σε απεικονίσεις αντίστοιχης ραδιομετρικής και χωρικής διακριτικής ικανότητας. Το λογισμικό eCognition παρέχει τη δυνατότητα της αποθήκευσης του συνόλου των διεργασιών που γίνονται για τη ταξινόμηση μιας εικόνας ώστε αυτές στη συνέχεια να εφαρμοστούν σε οποιαδήποτε άλλη εικόνα. Πιο συγκεκριμένα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να σώσει την ιεραρχία των κατηγοριών και ταυτόχρονα τους κανόνες ταξινόμησης τις συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια τους.

Στο πλαίσιο αυτό αναζητήθηκε μια απεικόνιση η οποία να είναι αντίστοιχη της απεικόνισης του Αγίου Νικολάου ως προς τη χωρική και τη ραδιομετρική της ικανότητα. Ταυτόχρονα αυτή η απεικόνιση θα πρέπει να είναι όμοια ως προς τις δομές που ενυπάρχουν σε αυτή με αυτή του Αγίου Νικολάου ώστε οι συνθήκες να είναι παρεμφερείς. Σε αυτό το πλαίσιο επιλέχθηκε μια απεικόνιση από την πόλη του Ηρακλείου όπως φαίνεται στην Εικόνα 57.



**Εικόνα 57:** Έγχρωμο σύνθετο περιοχής Ηρακλείου

Η διαδικασία που ακολουθείται για την αυτόματη ταξινόμηση της εικόνας είναι αρκετά απλή. Αρχικά σώζεται η ιεραρχία των κατηγοριών από την προσέγγιση που έχει δώσει το καλύτερο

αποτέλεσμα (στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται η προσέγγιση 6). Στη συνέχεια η απεικόνιση εισάγεται στο λογισμικό όπως και προηγουμένως με το κάθε ένα της από τα τέσσερα κανάλια να εισάγεται ως επίπεδο (layer) και δημιουργείται μια νέα εργασία (project). Δημιουργούνται τέσσερα επίπεδα κατάτμησης με τις ίδιες παραμέτρους με τα αντίστοιχα της προσέγγισης 6 και φορτώνεται η ιεραρχία των κατηγοριών που είχε σωθεί προηγουμένως. Στη συνέχεια με το πάτημα ενός κουμπιού γίνεται άμεσα η ταξινόμηση του κάθε επιπέδου. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στο κύριο επίπεδο κατάτμησης όπου εμφανίζεται και το οδικό δίκτυο παρουσιάζεται στην Εικόνα 58.



**Εικόνα 58:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης επιπέδου 3 απεικόνισης Ηρακλείου

Όπως και προηγουμένως με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται οι ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι, με κίτρινο οι χωματόδρομοι και με πράσινο η βλάστηση. Όπως γίνεται αντιληπτό η ταξινόμηση της απεικόνισης έγινε με ελάχιστο κόστος σε κόπο και χρόνο αφού δεν πραγματοποιήθηκε κανένας πειραματισμός για τους παραμέτρους κατάτμησης αλλά και για τους κατάλληλους κανόνες ταξινόμησης, συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους. Το αποτέλεσμα συνυπολογίζοντας και την αυτοματοποίηση της όλης διαδικασίας κρίνεται αρκετά ικανοποιητικό αφού η πλειοψηφία του οδικού δικτύου έχει ταξινομηθεί σωστά εκτός από μεμονωμένες ανακρίβειες που είναι αναμενόμενες.

## 5 Συμπεράσματα - Προτάσεις

Τις τελευταίες δεκαετίες η διαρκώς αυξανόμενη συγκέντρωση πληθυσμού στα αστικά κέντρα και ο κατ' επέκτασιν αυξανόμενος όγκος των μεταφορών που αυτή προκαλεί, δημιουργούν την ανάγκη για διαρκώς επικαιροποιημένες βάσεις δεδομένων που θα συμβάλλουν στην παρακολούθηση και στη διαχείριση των συνεχών τροποποιήσεων και επεκτάσεων του οδικού δικτύου. Το γεγονός αυτό καθιστά εξαιρετικά ενδιαφέρουσα τη διερεύνηση νέων καινοτόμων μεθοδολογιών για την ανίχνευση και την εξαγωγή του. Σε αυτό το πλαίσιο, στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκαν οι δυνατότητες και οι περιορισμοί μιας νέας και καινοτόμας προσέγγισης στην ανάλυση εικόνας, της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε μια απεικόνιση της περιοχής του Αγίου Νικολάου στην Κρήτη. Η συγκεκριμένη απεικόνιση αποτελεί μια τυπική αστική περιοχή του ελληνικού τοπίου η οποία χαρακτηρίζεται από πολυπλοκότητα έντονες εναλλαγές καθώς και ποικιλία στο οδικό δίκτυο γεγονός που αποτελούσε πρόκληση και την καθιστούσε κατάλληλη την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας.

Για την επίτευξη του βέλτιστου δυνατού αποτελέσματος έγιναν πλείστες προσεγγίσεις απο τις οποίες παρουσιάστηκαν επτά. Σε κάθε προσέγγιση τίθονταν και διαφορετικοί επιμέρους στόχοι όπως η ανίχνευση ξεχωριστά σε κάθε μια από αυτές διαφόρων τμημάτων του οδικού δικτύου (χωμάτινο οδικό δίκτυο, ασφαλτοστρωμένο οδικό δίκτυο κλπ) ενώ η γνώση που συσσωρεύτηκε αξιοποιήθηκε στην τελευταία προσέγγιση όπου παρουσιάζεται το καλύτερο αποτέλεσμα με την ανίχνευση και την εξαγωγή του συνόλου του οδικού δικτύου της εικόνας και το διαχωρισμός του σε επιμέρους κατηγορίες. Οι προσεγγίσεις αξιολογήθηκαν μέσω ελέγχου ευστάθειας που παρέχει το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε καθώς και μέσω ενός ελέγχου σύμπτωσης. Από το σύνολο της εργασίας καθώς και από την αξιολόγηση των διαφόρων προσεγγίσεων που έγιναν συνήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

- Οι αντικειμενοστραφείς τεχνικές ανάλυσης είναι οι πλέον κατάλληλες να διαχειριστούν προβλήματα ανάλυσης εικόνας και εξαγωγής χαρακτηριστικών όπως το οδικό δίκτυο σε ένα απόλυτα ετερογενή χώρο όπως η αστική περιοχή που αποτέλεσε την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας
- Σημαντικό ρόλο στην ανίχνευση και στην εξαγωγή του οδικού δικτύου κατέχει η χωρική διακριτική ικανότητα των απεικονίσεων με αποτέλεσμα όταν αυτή είναι υψηλή (όπως στην προκειμένη περίπτωση) το αποτέλεσμα της ταξινόμησης να είναι αρκετά ικανοποιητικό.
- Τα καλύτερα αποτελέσματα για τους ασφαλτοστρωμένους δρόμους προέκυψαν αξιοποιώντας κατά κύριο λόγο τα φασματικά χαρακτηριστικά τους κάτι που δε κατέστη αντίστοιχα δυνατό για τους χωματόδρομους
- Η συνδυαστική αξιοποίηση των φασματικών χαρακτηριστικών και των χαρακτηριστικών σχήματος βελτιώνει το αποτέλεσμα της ταξινόμησης
- Οι τοπικές συνθήκες μιας απεικόνισης μπορεί να ευνοούν τη χρήση κάποιων κανόνων για την ανίχνευση της επιθυμητής κατηγορίας (main direction στην προσέγγιση 7 για την ανάδειξη του κύριου δρόμου) οι οποίοι όμως θα είναι δύσκολο να βρουν εφαρμογή σε διαφορετικές συνθήκες.
- Σε αντίθεση με τεχνικές που επικεντρώνονται στο εικονοστοιχείο ως βάση ανάλυσης και επεξεργασίας οι αντικειμενοστραφείς τεχνικές διαθέτουν την ευελιξία της πολλαπλής ανάλυσης κάτι που αξιοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία για το διαχωρισμό του οδικού δικτύου σε κατηγορίες

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

- Η χρήση υπερφασματικών δεδομένων υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας θα μπορούσε να δώσει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα στη ταξινόμηση του οδικού δικτύου
- Η συνδυαστική χρήση υψομετρικών δεδομένων υψηλής διακριτικής ικανότητας (LiDAR) θα επέφερε δραματική βελτίωση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης καθώς υπάρχει πλήρης δυνατότητα αξιοποίησης των δεδομένων αυτών στις αντικειμενοστραφείς ταξινομήσεις (Ρηγόπουλος Γ., 2008).
- Περαιτέρω διερεύνηση της αυτοματοποίησης της διαδικασίας ταξινόμησης της με την εφαρμογή της και σε άλλες απεικονίσεις.

## 6 Βιβλιογραφία

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

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

Argialas D. and P. Derzekos (2002), "Mapping Urban Green from IKONOS Data by an Object-Oriented Knowledge-base and Fuzzy Logic", in Proceedings of SPIE International Conference on Remote Sensing, 22-27 September, Aghia Pelagia, Crete, σελ. 11 (υπό έκδοση).

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.

Nobrega R. A., O' Hara C.G., Quintanilha J.A. (2006), "Detecting Roads in Informal Settlements Surrounding Sao Paulo City By Using Object-Based Classification", 1st International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006) Volume No. XXXVI – 4/C42, ISSN 1682-1777.

Mc Feeters S.K. (1996), "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features "

Baatz M & Schäpe A. (2000), "Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. Angewandte geographische Informationsverarbeitung XII: Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000, pp.12-23.

Song Mingjun and Civco Daniel (2004), "Road extraction using SVM and image segmentation", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 70, No. 12, December 2004, pp. 1365–1371.

Usher J. M., Truax D. D., (2001), "Exploration of Remote Sensing Applicability Within Transportation", Remote Sensing Technology Center (RSTC) Mississippi State University.

Repaka S., Truax D., Kolstad E., O'Hara C. (2004), "Comparing Spectral and Object Based Approaches for Classification and Transportation Feature Extraction from High Resolution Multispectral Imagery", ASPRS Annual Conference Proceedings, May 2004, Denver, Colorado

Ρηγόπουλος Γ. (2008), "Αξιολόγηση Χαρακτηριστικών Ποιότητας του Αστικού Τοπίου με Χρήση Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης", Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Jensen J.R. & Cowen D.C. (1999). "Remote Sensing of Urban/Suburban Infrastructure and Socio- Economic Attributes", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol.65: 5, pp.611-622.

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

