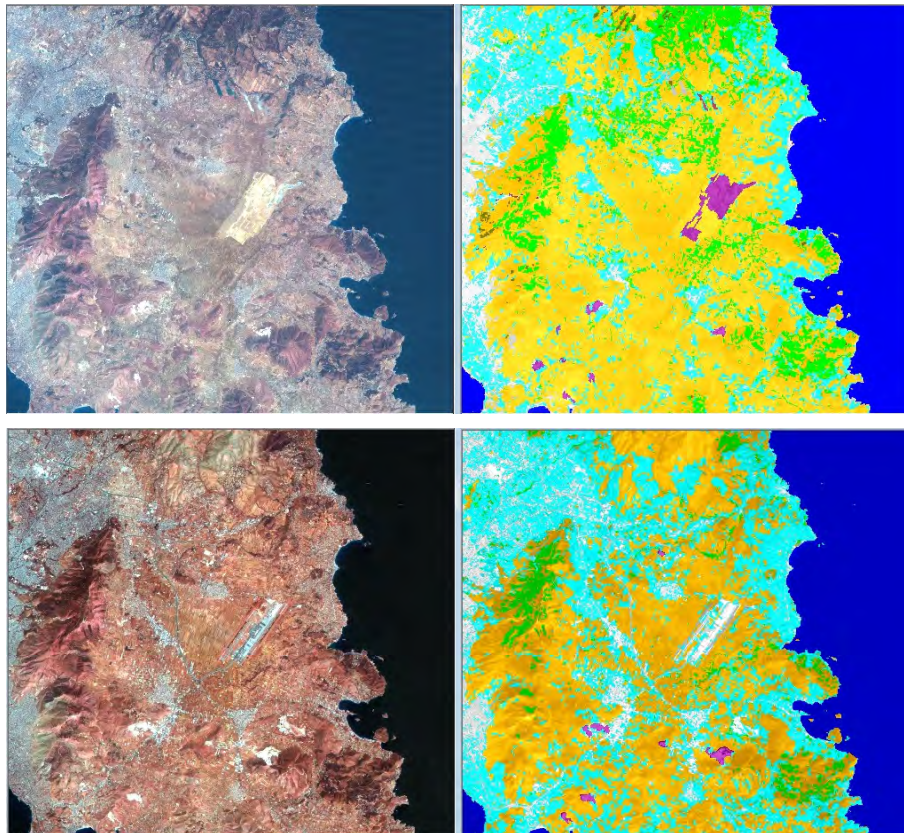


ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ
ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”**



ΣΙΩΡΑ ΕΜΜΑΝΟΥΕΛΑ
ΑΓΡΟΝΟΜΟΣ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΑΡΓΙΑΛΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2011

.....
ΣΙΩΡΑ ΕΜΜΑΝΟΥΕΛΑ

Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Σιώρα Ε. Εμμανουέλα, 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει έντονο ενδιαφέρον εκτίμησης της διαχρονικής εξέλιξης των αστικών περιοχών ανά τον κόσμο. Γενικά οι αστικές περιοχές θεωρούνται πολύπλοκα, πολυδιάστατα και συνεχώς εξελισσόμενα συστήματα, καθώς επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες. Η κατανόηση του τρόπου ανάπτυξης μιας περιοχής είναι υψίστης σημασίας, όχι μόνο για τους συγκοινωνιολόγους και για τους μελετητές σχεδιασμού πόλεων, αλλά και για πολλούς μελετητές κοινωνικοοικονομικών φαινομένων. Η Τηλεπισκόπηση έχει συμβάλλει καταλυτικά στην πορεία τέτοιων ερευνών με τις σύγχρονες μεθόδους επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και μέσω των οποίων μπορεί να εκτιμηθεί η αλλαγή χρήσης/κάλυψης γης σε μια περιοχή.

Στο πλαίσιο εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών της 'Γεωπληροφορικής', μου ανατέθηκε από το Εργαστήριο της Τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με το εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών η διερεύνηση της εξέλιξης χρήσεων γης μέσω ταξινομήσεων δορυφορικών απεικονίσεων και πώς μπορούν να εφαρμοστούν στις ταξινομημένες εικόνες απλά οικονομικά πρότυπα. Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε ήταν η Αττική, η οποία στο ανατολικό της κυρίως τμήμα εμφανίζει σημαντικές πληθυσμιακές μεταβολές. Πρόκειται για μια πολυδιάστατη μελέτη που για την εκπόνησή της ήταν απαραίτητο να γίνουν κατανοητές δύσκολες έννοιες τόσο στο αντικείμενο της Τηλεπισκόπησης όσο και στο αντικείμενο των Μεταφορών. Για την ολοκλήρωση της εργασίας, η βοήθεια ορισμένων ανθρώπων ήταν ουσιαστική και πολύτιμη. Για το λόγο αυτό, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όσους στάθηκαν αρωγοί στην προσπάθειά μου.

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. Δ. Αργιαλά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την περάτωση του δύσκολου αυτού εγχειρήματος, καθώς και για την καθοδήγηση και τις συμβουλές του σε όλο το διάστημα εκπόνησης της εργασίας.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Κ. Αντωνίου για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθειά του στην κατανόηση και υλοποίηση των οικονομετρικών προτύπων.

Ευχαριστώ επίσης την Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Β. Καραθανάση για την βοήθειά της σε ζητήματα τηλεπισκόπισης κρίσιμα για την πορεία της εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Διδάκτορα κ. Π. Κολοκούση του εργαστηρίου της Τηλεπισκόπησης, για την βοήθεια εύρεσης δορυφορικών δεδομένων, αλλά και για την γενικότερη βοήθειά του στην επίλυση του τηλεπισκοπικού ζητήματος. Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Χ. Ιωσιφίδη του εργαστηρίου της Τηλεπισκόπησης, επίσης για την βοήθειά του κατά την εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης εικόνας. Ευχαριστώ επίσης τον υποψήφιο Διδάκτορα στο εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής κ. Δ. Ευθυμίου για την συνεργασία συλλογής δημογραφικών δεδομένων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένειά μου και τους φίλους μου, που ήταν πάντα δίπλα μου σε αυτό το στάδιο της ζωής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	17
ABSTRACT	18
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	19
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	22
2.1. ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	22
2.2. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ	26
2.3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΒΑΣΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΟ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΟ	34
2.3.1. Γενικές εφαρμογές.....	34
2.3.2. Εφαρμογές στην περιοχή μελέτης.....	47
2.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΜΟΣΤΡΑΦΕΙΣ ΚΑΙ ΆΛΛΕΣ ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ	53
2.5. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΟ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΟ	70
2.5.1. Τεχνικές ενίσχυσης εικόνων	70
2.5.2. Λόγοι καναλιών.....	71
2.5.3. Δείκτες υφής.....	73
2.5.4. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση	76
2.5.4.1. Ψηφιοποίηση ομοιογενών περιοχών - Υπολογισμός στατιστικών στοιχείων	80
2.5.4.2. Εκτίμηση ακρίβειας της ταξινόμησης	81
2.5.5. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	85
2.6. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	87
2.6.1. Κατάτμηση (Segmentation)	88
2.6.2. Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση (Object-Oriented Classification).....	90
2.6.3. Ιεραρχικό δίκτυο αντικειμένων - Ιεραρχία κατηγοριών (Class Hierarchy)	91
2.6.4. Χαρακτηριστικά λογισμικού Definiens 5	93
2.7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΟΔΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ.....	100
2.7.1. Ανάλυση με χρήση οικονομετρικών προτύπων	100
2.7.2. Ανάλυση με χρήση ολοκληρωμένων προτύπων.....	109
2.7.3. Ανάλυση της εξέλιξης με Μαρκοβιανές αλυσίδες (Markov chains).....	112
3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	116
3.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΙΚΟΝΩΝ	116
3.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ LANDSAT 4, 5, 7.....	117
3.3. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	119
3.4. ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ.....	130
3.5. ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	131
3.6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΥΦΗΣ	143
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ	150
4.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΜΕ ΒΑΣΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΟ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΟ	150
4.1.1. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	150
4.1.1.1. Εκτέλεση μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 2010	150
4.1.1.2. Εκτέλεση μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 2003	160
4.1.1.3. Εκτέλεση μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 2000	162
4.1.1.4. Εκτέλεση μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 1991	165
4.1.1.5. Εκτέλεση μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 1984	167
4.1.2. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση	178
4.1.2.1. Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 2010	178
4.1.2.2. Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 2003	209
4.1.2.3. Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 2000	215
4.1.2.4. Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 1991	221
4.1.2.5. Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 1984	227
4.1.2.6. Εμβαδομέτρηση κατηγοριών ταξινομήσεων με τη μέγιστη πιθανοφάνεια	235
4.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....	241
4.2.1. Επίπεδα κατάτμησης.....	242
4.2.2. Ταξινόμηση επιπέδων για την απεικόνιση του 2010	248
4.2.2.1. Ταξινόμηση 1 ^{ου} επιπέδου	249
4.2.2.2. Ταξινόμηση 4 ^{ου} επιπέδου	258
4.2.2.3. Ταξινόμηση 3 ^{ου} επιπέδου	263
4.2.2.4. Ταξινόμηση 5 ^{ου} επιπέδου	270

4.2.2.5.	Ταξινόμηση 2 ^{ου} επιπέδου.....	275
4.2.3.	Κανόνες κατηγοριών ανά επίπεδο για τις απεικονίσεις 2003, 2000, 1991 και 1984.....	290
4.2.4.	Παρουσίαση ταξινομήσεων για τις υπόλοιπες απεικονίσεις.....	313
4.2.4.1.	Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση απεικόνισης 2003 (Level 2).....	313
4.2.4.2.	Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση απεικόνισης 2000 (Level 2).....	315
4.2.4.3.	Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση απεικόνισης 1991 (Level 2).....	317
4.2.4.4.	Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση απεικόνισης 1984 (Level 2).....	319
4.2.5.	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	321
4.2.5.1.	Αξιολόγηση ταξινομήσεων της απεικόνισης του 2010 ως προς την ευστάθεια και την αξιοπιστία.....	322
4.2.5.2.	Αξιολόγηση ταξινόμησης της απεικόνισης του 2010 με δημιουργία Πίνακα Σύγκυσης... 331	
4.2.5.3.	Αξιολόγηση ταξινόμησης της απεικόνισης του 2003 με δημιουργία Πίνακα Σύγκυσης... 334	
4.2.5.4.	Αξιολόγηση ταξινόμησης της απεικόνισης του 2000 με δημιουργία Πίνακα Σύγκυσης... 335	
4.2.5.5.	Αξιολόγηση ταξινόμησης της απεικόνισης του 1991 με δημιουργία Πίνακα Σύγκυσης... 337	
4.2.5.6.	Αξιολόγηση ταξινόμησης της απεικόνισης του 1984 με δημιουργία Πίνακα Σύγκυσης... 338	
4.2.5.7.	Εμβαδομετρήσεις κατηγοριών ταξινόμησης απεικονίσεων.....	341
5.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΟΔΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ.....	346
5.1.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ.....	346
5.1.1.	Πρότυπα δυαδικής απόκρισης και λογιστική ανάλυση παλινδρόμησης.....	346
5.1.2.	Εκτίμηση πολωνυμικών προτύπων τύπου ‘logit’.....	353
5.1.3.	Γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση.....	355
5.1.4.	Πρότυπα Μαρκοβιανών αλυσίδων (Markov chains).....	355
5.2.	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ.....	356
5.2.1.	Μετασχηματισμός διανυσματικών δεδομένων στο UTM 34N.....	357
5.2.2.	Μετατροπή αποτελεσμάτων ταξινόμησης σε δεδομένα εισόδου.....	359
5.2.3.	Υπολογισμός Ευκλείδειων Αποστάσεων.....	362
5.2.4.	Δημογραφικά δεδομένα.....	366
5.2.5.	Ορισμός υπό-περιοχής.....	374
5.2.6.	Δημιουργία πινάκων συνάφειας.....	375
5.2.6.1.	Πίνακες Συνάφειας αντικειμενοστραφούς μεθόδου.....	375
5.2.6.2.	Πίνακες Συνάφειας μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.....	378
5.2.6.3.	Πίνακες Συνάφειας επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Μέγιστη Πιθανοφάνεια).....	380
5.3.	ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΟΔΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ.....	382
5.3.1.	Εφαρμογή σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης.....	384
5.3.2.	Εφαρμογή προτύπων στην υπό-περιοχή μελέτης.....	389
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	398
7.	ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	401
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	403

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Φασματικός κανόνας και το αποτέλεσμα για την εξαγωγή της κύριας κατηγορίας (α), (γ) βλάστηση 7. ‘Vegetation_SpectralRule’, (β), (δ) νερό ή σκιά 4. ‘WaterOrShadowSpectralRule’	66
Εικόνα 2.2: Επέκταση του ιστογράμματος της εικόνας με αποκοπή στα άκρα 1% (α) Κανάλι 1 πριν την ενίσχυση, (β) Κανάλι 1 μετά την ενίσχυση, (γ) Ιστόγραμμα πριν την ενίσχυση, (δ) Διάφανο ιστόγραμμα ενισχυμένης εικόνας.....	71
Εικόνα 2.3: Παράδειγμα συνάρτησης συμμετοχής για τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI, για όρια ασαφούς ζώνης μεταξύ 0.15 – 0.17.....	91
Εικόνα 2.4: Εργαλειοθήκη ‘Feature View’ για το λογισμικό Definiens 5.	93
Εικόνα 2.5: Δείκτες υψής κατά Haralick στην εργαλειοθήκη ‘Feature View’ στο λογισμικό Definiens 5.	95
Εικόνα 2.6: Δημιουργία πίνακα GLCM στο λογισμικό Definiens 5.	97
Εικόνα 3.1: Επίθεση διανυσματικών δεδομένων ορισμένων στην εικόνα του 2010 (α), στις εικόνες (β) 2003, (γ) 2000, (δ) 1991 και (ε) 1984 (I).....	125
Εικόνα 3.2: Επίθεση διανυσματικών δεδομένων ορισμένων στην εικόνα του 2010 (α), στις εικόνες (β) 2003, (γ) 2000, (δ) 1991 και (ε) 1984 (II).	126
Εικόνα 3.3: Επίθεση διανυσματικών δεδομένων ορισμένων στην εικόνα του 2010 (α), στις εικόνες (β) 2003, (γ) 2000, (δ) 1991 και (ε) 1984 (III).	126
Εικόνα 3.4: Έλεγχος γεωμετρικής ταύτισης με υπέρθεση καναλιών στο λογισμικό ER Mapper.	127
Εικόνα 3.5: Ενδεικτικό παράδειγμα υπέρθεσης μπλε και κόκκινου καναλιού από διαφορετικές εικόνες σε περιοχή της Ανατολικής Αττικής: (α) 1984-1991, (β) 1984-2000.	127
Εικόνα 3.6: Ενδεικτικό παράδειγμα υπέρθεσης μπλε και κόκκινου καναλιού από διαφορετικές εικόνες σε περιοχή της Ανατολικής Αττικής: (γ) 2003-1991, (δ) 2003-2000, (ε) 2010-1984, (στ) 2010-1991, (ζ) 2010-2003.....	128
Εικόνα 3.7: Επιλογή περιοχής μελέτης.	130
Εικόνα 3.8: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα (α) συνεχούς, (β) μη συνεχούς αστικής δόμησης.	132
Εικόνα 3.9: (α), (β) Φωτοερμηνευτικά πρότυπα κύριου οδικού δικτύου και βιομηχανικών περιοχών.....	133
Εικόνα 3.10: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα (α) λιμένος, (β) αεροδρομίου.....	133
Εικόνα 3.11: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα (α) ορυχείων, (β) χώρων οικοδόμησης.....	134
Εικόνα 3.12: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα (α) περιοχής αστικού πρασίνου, (β) εγκαταστάσεων αθλητισμού.....	134
Εικόνα 3.13: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα μόνιμα αρδευόμενης γης (μαύρη έλλειψη) και μη αρδευσιμής αρόσιμης γης (μπλε έλλειψη).	135
Εικόνα 3.14: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από αμπελώνες και καλλιέργειες.....	135
Εικόνα 3.15: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από σύνθετα συστήματα καλλιέργειών.	136
Εικόνα 3.16: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα γεωργικής γης με εκτάσεις φυσικής βλάστησης (μαύρη έλλειψη) και σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (μπλε έλλειψη).....	137
Εικόνα 3.17: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα (α) δάσους πλατυφύλλων (έντονο κόκκινο στο έγχρωμο σύνθετο 432), (β) πλατύφυλλης βλάστησης πλησίον ποταμών.....	137
Εικόνα 3.18: (α), (β), (γ) Φωτοερμηνευτικό πρότυπο δάσους κωνοφόρων (λιγότερο έντονο κόκκινο στο έγχρωμο σύνθετο 432).	138
Εικόνα 3.19: (α), (β), (γ) Φωτοερμηνευτικά πρότυπα σκληροφυλλικής βλάστησης (λιγότερο έντονο κόκκινο στο έγχρωμο σύνθετο 432).	139
Εικόνα 3.20: (α), (β), (γ) Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις.	140
Εικόνα 3.21: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο από παραλία.....	140
Εικόνα 3.22: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από απογυμνωμένους βράχους σε ορισμένα σημεία τους.	141
Εικόνα 3.23: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από απογυμνωμένους βράχους λόγω πυρκαγιάς (αποτεφρωμένες εκτάσεις).	141
Εικόνα 3.24: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο θάλασσας.	142
Εικόνα 3.25: Προβληματικές περιοχές ανίχνευσης περιοχών διακεκομμένης αστικής δόμησης.....	143
Εικόνα 3.26: Διαδικασία μείωσης της ραδιομετρίας της εικόνας.	144
Εικόνα 3.27: (α) Αποτέλεσμα εικόνας με μειωμένη ραδιομετρία, (β) μορφή ιστογράμματος εικόνας.	145
Εικόνα 3.28: Αποτέλεσμα του δείκτη ‘Εύρους τιμών’ της περιοχής της πρώτης εικόνας για παράθρα διαστάσεων (β) 9x9, (γ) 5x5, (δ) 3x3.....	146

Εικόνα 3.29: (α), (γ) Χαρακτηριστικές περιοχές μη συνεχούς αστικής δόμησης, (β), (δ) Αποτέλεσμα εφαρμογής δείκτη υφής ‘Αντίθεση’ για παράθυρο διαστάσεων 9x9.	147
Εικόνα 3.30: (α) Χαρακτηριστικές περιοχές μη συνεχούς αστικής δόμησης και αποτέλεσμα του δείκτη ‘Εύρους τιμών’ της περιοχής της πρώτης εικόνας για παράθυρα διαστάσεων (β) 9x9, (γ) 5x5, (δ) 3x3.	148
Εικόνα 3.31: Αποτέλεσμα εφαρμογής δείκτη υφής ‘Αντίθεση’ για παράθυρο διαστάσεων 9x9 στην ευρύτερη περιοχή του Γέρακα.	149
Εικόνα 4.1: (α) Αντιστοίχιση συσσωρεύσεων με πραγματικές θεματικές κατηγορίες και αρχική χρωματική παλέτα, (β) Τελική χρωματική παλέτα ταξινόμησης μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 2010.	152
Εικόνα 4.2: (α) Έγχρωμο σύνθετο RGB Ανατολικής Αττικής για το 2010, Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 2010 και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων (β) με την αρχική παλέτα χρωμάτων, (γ) με την τελική παλέτα χρωμάτων.	153
Εικόνα 4.3: (1α -1γ) Εικόνες της Ανατολικής Αττικής το 2010 σε μεγέθυνση (RGB), (2α -2γ) Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης 15 κατηγοριών και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων.	154
Εικόνα 4.4: (1ε -1η) Εικόνες της Ανατολικής Αττικής το 2010 σε μεγέθυνση (RGB), (2ε -2η) Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης 15 κατηγοριών και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων.	155
Εικόνα 4.5: (α) Αλγόριθμος συνένωσης κατηγοριών, (β) Νέα χρωματική παλέτα.	157
Εικόνα 4.6: Απεικόνιση ενοποιημένων κατηγοριών μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον 2010.	158
Εικόνα 4.7: Ανάδειξη αστικών περιοχών για την απεικόνιση του 2010 στο κανάλι 1.	158
Εικόνα 4.8: (α) Ενοποιημένες κατηγορίες μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον 2010, (β) Έγχρωμο σύνθετο 532, (γ) Έγχρωμο σύνθετο 432, (δ) Έγχρωμο σύνθετο 743.	159
Εικόνα 4.9: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 2003 σε RGB, (β) Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων.	160
Εικόνα 4.10: (α) Αντιστοίχιση συσσωρεύσεων με πραγματικές θεματικές κατηγορίες και η χρωματική παλέτα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 2003.	160
Εικόνα 4.11: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 2003 στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Ενοποιημένες κατηγορίες μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον 2003.	161
Εικόνα 4.12: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 2000 σε RGB, (β) Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων.	162
Εικόνα 4.13: (α) Αντιστοίχιση συσσωρεύσεων με πραγματικές θεματικές κατηγορίες και η χρωματική παλέτα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 2000.	163
Εικόνα 4.14: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 2000 στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Ενοποιημένες κατηγορίες μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον 2000.	164
Εικόνα 4.15: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 1991 σε RGB, (β) Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων.	165
Εικόνα 4.16: (α) Αντιστοίχιση συσσωρεύσεων με πραγματικές θεματικές κατηγορίες και η χρωματική παλέτα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 1991.	165
Εικόνα 4.17: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 1991 στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Ενοποιημένες κατηγορίες μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον 1991.	166
Εικόνα 4.18: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 1984 σε RGB, (β) Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων.	167
Εικόνα 4.19: (α) Αντιστοίχιση συσσωρεύσεων με πραγματικές θεματικές κατηγορίες και η χρωματική παλέτα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 1984.	168
Εικόνα 4.20: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 1984 στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Ενοποιημένες κατηγορίες μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον 1984.	169
Εικόνα 4.21: Συγκριτικά αποτελέσματα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις επιλεγμένες χρονολογίες σε διάφορες περιοχές της Ανατολικής Αττικής (I).	175
Εικόνα 4.22: Συγκριτικά αποτελέσματα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις επιλεγμένες χρονολογίες σε διάφορες περιοχές της Ανατολικής Αττικής (II).	176
Εικόνα 4.23: Συγκριτικά αποτελέσματα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις επιλεγμένες χρονολογίες σε διάφορες περιοχές της Ανατολικής Αττικής (III).	177
Εικόνα 4.24: Θεματικές κατηγορίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης εικόνας 2010 και η αντίστοιχη χρωματική παλέτα.	178
Εικόνα 4.25: Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 2010.	179
Εικόνα 4.26: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής μελέτης το 2010.	189

Εικόνα 4.27: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.	190
Εικόνα 4.28: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.....	190
Εικόνα 4.29: Δείγματα ελέγχου για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.	196
Εικόνα 4.30: Αληθής εικόνα για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.....	196
Εικόνα 4.31: Αλγόριθμος αντιστοίχισης δεδομένων ελέγχου με τις θεματικές κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.	197
Εικόνα 4.32: Σύγκριση επιβλεπόμενης ταξινόμησης ύστερα από συνένωση κατηγοριών (α), (γ), (ε) και από συνένωση πολυγώνων εκπαίδευσης (β), (δ), (ζ).....	202
Εικόνα 4.33: (α) Πολύγωνα εκπαίδευσης γενικευμένων κατηγοριών, (β) Πολύγωνα ελέγχου γενικευμένων κατηγοριών.....	203
Εικόνα 4.34: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης ελάχιστης απόστασης για τις γενικευμένες κατηγορίες το 2010.	204
Εικόνα 4.35: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις γενικευμένες κατηγορίες το 2010.	204
Εικόνα 4.36: Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 2003.	209
Εικόνα 4.37: Πολύγωνα εκπαίδευσης γενικευμένων θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 2003.	209
Εικόνα 4.38: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 321, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2003.	210
Εικόνα 4.39: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2003.	211
Εικόνα 4.40: (α) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 14 κατηγορίες, (β) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες, (γ) Αληθής εικόνα 14 κατηγοριών, (δ) Αληθής εικόνα 5 κατηγοριών για την απεικόνιση του 2003.	212
Εικόνα 4.41: Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 2000.	215
Εικόνα 4.42: Πολύγωνα εκπαίδευσης γενικευμένων θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 2000.	215
Εικόνα 4.43: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 321, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2000.	216
Εικόνα 4.44: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2000.	217
Εικόνα 4.45: (α) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 14 κατηγορίες, (β) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες, (γ) Αληθής εικόνα 14 κατηγοριών, (δ) Αληθής εικόνα 5 κατηγοριών για την απεικόνιση του 2000.	218
Εικόνα 4.46: Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 1991.	221
Εικόνα 4.47: Πολύγωνα εκπαίδευσης γενικευμένων θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 1991.	221
Εικόνα 4.48: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 321, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 1991.	222
Εικόνα 4.49: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 1991.	223
Εικόνα 4.50 : (α) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 14 κατηγορίες, (β) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες, (γ) Αληθής εικόνα 14 κατηγοριών, (δ) Αληθής εικόνα 5 κατηγοριών για την απεικόνιση του 1991.	224
Εικόνα 4.51: Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 1984.	227
Εικόνα 4.52: Πολύγωνα εκπαίδευσης γενικευμένων θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 1984.	227
Εικόνα 4.53: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 321, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 1984.	228

Εικόνα 4.54: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 1984.	229
Εικόνα 4.55: (α) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 14 κατηγορίες, (β) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες, (γ) Αληθής εικόνα 14 κατηγοριών, (δ) Αληθής εικόνα 5 κατηγοριών για την απεικόνιση του 1984.	230
Εικόνα 4.56: (α) Δημιουργία ‘Project’ και ορισμός αλληλουχίας των καναλιών, (β) Ορισμός υποπεριοχής με τη βοήθεια συντεταγμένων στο ΣΑ των εικόνων.....	242
Εικόνα 4.57: Αντικείμενα κατάτμησης στην περιοχή του Κορωπίου (α) στο Level 3, (β) στο Level 4 και (γ) στο Level 5.	244
Εικόνα 4.58: Επίπεδα κατάτμησης, (α) τμήμα εικόνας στην περιοχή του Κορωπίου, μεγέθυνση εικόνας και απεικόνιση αντικειμένων στο (β) Level 1, (γ) Level 2, (δ) Level 3, (ε) Level 4, (ζ) Level 5.	245
Εικόνα 4.59: Ιεραρχία επιπέδων.....	248
Εικόνα 4.60: (α) Επιλογή χαρακτηριστικού ιεραρχίας για την περιγραφή κάθε επιπέδου, (β) Ορισμός συνάρτησης συμμετοχής της απόλυτης ταύτισης κάθε επιπέδου με αριθμό.	248
Εικόνα 4.61: Ιεραρχία πρώτου επιπέδου της απεικόνισης του 2010.	249
Εικόνα 4.62: (α) Επιλογή κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI ως κανόνα ταξινόμησης I της βλάστησης, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του δείκτη.	250
Εικόνα 4.63: (α) Επιλογή λόγου 4/1 ως χαρακτηριστικό ταξινόμησης των υδάτινων επιφανειών, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του λόγου.....	250
Εικόνα 4.64: (α), (γ) Αριστερό και δεξιά όριο ασαφούς ζώνης στον δείκτη NDVI, (β) Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5.....	251
Εικόνα 4.65: (α), (γ) Αριστερό και δεξιά όριο ασαφούς ζώνης στον λόγο 4/1, (β) Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5.	252
Εικόνα 4.66: (α) Επιλογή δείκτη NDBSI ως χαρακτηριστικό ταξινόμησης γυμνού εδάφους, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του δείκτη.	253
Εικόνα 4.67: (α) Επιλογή δείκτη NDBBBI ως χαρακτηριστικό ταξινόμησης δομημένων περιοχών, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του δείκτη.	253
Εικόνα 4.68: (α), (β) και (γ) Αντιστοίχιση γυμνού εδάφους με την πράσινη και μπλε απεικόνιση.	254
Εικόνα 4.69: (α), (γ) Αριστερό και δεξιά όριο ασαφούς ζώνης στον δείκτη NDBBBI, (β) Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5.	255
Εικόνα 4.70: Περιγραφή των υπολειπόμενων κατηγοριών για το πρώτο επίπεδο (Level_1).....	256
Εικόνα 4.71: (α) Αποτέλεσμα ταξινόμησης με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το πρώτο επίπεδο (Level_1) στην απεικόνιση του 2010.	256
Εικόνα 4.72: (α)-(δ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το πρώτο επίπεδο (Level_1) στην απεικόνιση του 2010.	257
Εικόνα 4.73: Ιεραρχία τέταρτου επιπέδου της απεικόνισης του 2010.	258
Εικόνα 4.74: (α) Επιλογή του χαρακτηριστικού της Ομοιογένειας κατά Haralick για την ανάδειξη αστικών περιοχών, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.....	259
Εικόνα 4.75: (α), (β) Αριστερό και δεξιά όριο ασαφούς ζώνης στον δείκτη Ομοιογένειας κατά Haralick.	260
Εικόνα 4.76: Αποτέλεσμα ταξινόμησης αστικών περιοχών τέταρτου επιπέδου (Level_4) με τη χρήση του δείκτη Ομοιογένειας κατά Haralick στην απεικόνιση του 2010.....	260
Εικόνα 4.77: (α), (γ) Αριστερό και δεξιά όριο ασαφούς ζώνης στον δείκτη Ομοιογένειας κατά Haralick στην περιοχή της Παιανίας, (β) Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5.....	261
Εικόνα 4.78: (α), (β), (γ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης αστικών περιοχών τέταρτου επιπέδου (Level_4) σε μεγέθυνση με τη χρήση του δείκτη ομοιογένειας κατά Haralick στη απεικόνιση του 2010.	262
Εικόνα 4.79: Ιεραρχία τρίτου επιπέδου της απεικόνισης του 2010.	263
Εικόνα 4.80: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘vegetation’ από ένα επίπεδο σε ανώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.....	264
Εικόνα 4.81: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘water_bodies’ από ένα επίπεδο σε ανώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.....	265
Εικόνα 4.82: (α) Χαρακτηριστικά κατηγορίας αυτοκινητοδρόμων στο τρίτο επίπεδο (Level_3), (β)-(η) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης για κάθε χαρακτηριστικό.....	266

Εικόνα 4.83: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για τα χαρακτηριστικά (α) λόγος 4/2, (β) ‘Density’, (γ) ‘Asymmetry’, (δ) ‘Border to water bodies’ της κατηγορίας ‘Highway_(L3)’ (I).....	267
Εικόνα 4.84: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για τα χαρακτηριστικά (ε) ‘Mean DEM’, (στ) ‘Length/Width’, (ζ) ‘Mean Slope’ της κατηγορίας ‘Highway_(L3)’ (II).	268
Εικόνα 4.85: Αποτέλεσμα ταξινόμησης αυτοκινητοδρόμων στο τρίτο επίπεδο (Level_3) στην απεικόνιση του 2010.	269
Εικόνα 4.86: Ιεραρχία πέμπτου επιπέδου της απεικόνισης του 2010.	270
Εικόνα 4.87: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘urban_con’ από ένα επίπεδο σε ανώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.	271
Εικόνα 4.88: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό της σχετικής επιφάνειας των υπό-αντικειμένων της κατηγορίας ‘urban_con_(L5)’.....	271
Εικόνα 4.89: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘water_bodies’ από ένα επίπεδο σε ανώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.....	272
Εικόνα 4.90: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό της σχετικής επιφάνειας των υπό-αντικειμένων της κατηγορίας ‘water_bodies_(L5)’.....	272
Εικόνα 4.91: (α) Χαρακτηριστικά κατηγορίας ορυχείων (χώρων εξορύξεων) στο πέμπτο επίπεδο (Level_5), (β)-(δ) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης για κάθε χαρακτηριστικό.....	273
Εικόνα 4.92: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για τα χαρακτηριστικά (α) ‘Band_3, (β) ‘Rel.border to urban_con_(L5), (γ) ‘Rel.border to water_bodies_(L5)’ της κατηγορίας ‘mines_(L5)’.....	274
Εικόνα 4.93: Αποτέλεσμα ταξινόμησης ορυχείων και χώρων εξορύξεων στο πέμπτο επίπεδο (Level_5) στην απεικόνιση του 2010.....	275
Εικόνα 4.94: Ιεραρχία δεύτερου επιπέδου της απεικόνισης του 2010.	276
Εικόνα 4.95: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘vegetation’ από ένα επίπεδο σε ανώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.	278
Εικόνα 4.96: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό της σχετικής επιφάνειας των υπό-αντικειμένων της κατηγορίας ‘vegetation_(L2)’.....	278
Εικόνα 4.97: (α) Επιλογή λόγου 4/1 ως χαρακτηριστικό ταξινόμησης των υδάτινων επιφανειών, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του λόγου.....	279
Εικόνα 4.98: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό του λόγου 4/1 της κατηγορίας ‘water_bodies_(L2)’.....	279
Εικόνα 4.99: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘mines’ από ένα επίπεδο σε κατώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.....	280
Εικόνα 4.100: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό της σχετικής επιφάνειας των υπέρ-αντικειμένων της κατηγορίας ‘mines_(L2)’.....	280
Εικόνα 4.101: Περιγραφή των λοιπών κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2).	281
Εικόνα 4.102: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘bare_soil’ από ένα επίπεδο σε ανώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.	281
Εικόνα 4.103: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό της σχετικής επιφάνειας των υπό-αντικειμένων της κατηγορίας ‘bare_soil_(L2)’.....	281
Εικόνα 4.104: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘highway’ από ένα επίπεδο σε κατώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.....	282
Εικόνα 4.105: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό της σχετικής επιφάνειας των υπέρ-αντικειμένων της κατηγορίας ‘highway_(L2)’.....	282
Εικόνα 4.106: (α) Χαρακτηριστικά κατηγορίας συνεχούς αστικής δόμησης στο δεύτερο επίπεδο (Level_2), (β), (γ) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης για κάθε χαρακτηριστικό.....	283
Εικόνα 4.107: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για τα χαρακτηριστικά (α) ‘Band_1, (β) ‘Slope’ της κατηγορίας ‘urban_con_(L2)’.....	283

Εικόνα 4.108: (α) Χαρακτηριστικά κατηγορίας μη συνεχούς αστικής δόμησης στο δεύτερο επίπεδο (Level_2), (β)-(δ) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης για κάθε χαρακτηριστικό.	284
Εικόνα 4.109: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για τα χαρακτηριστικά (α) ‘GLCM_Homogeneity, (β) ‘DEM’, (γ) ‘Slope’ της κατηγορίας ‘urban_disc_(L2)’.	285
Εικόνα 4.110: Περιγραφή των υπολειπόμενων κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2).	286
Εικόνα 4.111: Αποτέλεσμα ταξινόμησης με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2010.	286
Εικόνα 4.112: (α)-(β) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2010 (I).	287
Εικόνα 4.113: (γ)-(δ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2010 (II).	288
Εικόνα 4.114: (α)-(β) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2003 (I).	313
Εικόνα 4.115: (γ)-(δ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2003 (II).	314
Εικόνα 4.116: Αποτέλεσμα ταξινόμησης με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2003.	314
Εικόνα 4.117: Αποτέλεσμα ταξινόμησης με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2000.	315
Εικόνα 4.118: (α)-(β) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2000 (I).	315
Εικόνα 4.119: (γ)-(δ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2000 (II).	316
Εικόνα 4.120: Αποτέλεσμα ταξινόμησης με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 1991.	317
Εικόνα 4.121: (α)-(β) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 1991 (I).	317
Εικόνα 4.122: (γ)-(δ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 1991 (II).	318
Εικόνα 4.123: Αποτέλεσμα ταξινόμησης με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 1984.	319
Εικόνα 4.124: (α)-(β) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 1984 (I).	319
Εικόνα 4.125: (γ)-(δ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 1984 (II).	320
Εικόνα 4.126: Γραφική αξιολόγηση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης για το πρώτο επίπεδο (Level_1).	323
Εικόνα 4.127: Γραφική αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το πρώτο επίπεδο (Level_1).	325
Εικόνα 4.128: Γραφική αξιολόγηση (α) ως προς την ευστάθεια, (β) ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το δεύτερο επίπεδο (Level_2).	327
Εικόνα 4.129: Γραφική αξιολόγηση (α) ως προς την ευστάθεια, (β) ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το τρίτο επίπεδο (Level_3).	329
Εικόνα 4.130: Γραφική αξιολόγηση (α) ως προς την ευστάθεια, (β) ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το τέταρτο επίπεδο (Level_4).	330
Εικόνα 4.131: Γραφική αξιολόγηση (α) ως προς την ευστάθεια, (β) ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το πέμπτο επίπεδο (Level_5).	331
Εικόνα 4.132: Δημιουργία ‘Μάσκας’ για τα δεδομένα ελέγχου στην απεικόνιση του 2010.	332

Εικόνα 4.133: Επιλογή δημιουργίας Πίνακα Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2010.	332
Εικόνα 4.134: Δημιουργία ‘Μάσκας’ για τα δεδομένα ελέγχου στην απεικόνιση του 2003.....	334
Εικόνα 4.135: Επιλογή δημιουργίας Πίνακα Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2003.	334
Εικόνα 4.136: Δημιουργία ‘Μάσκας’ για τα δεδομένα ελέγχου στην απεικόνιση του 2000.....	335
Εικόνα 4.137: Επιλογή δημιουργίας Πίνακα Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2000.	336
Εικόνα 4.138: Δημιουργία ‘Μάσκας’ για τα δεδομένα ελέγχου στην απεικόνιση του 1991.....	337
Εικόνα 4.139: Επιλογή δημιουργίας Πίνακα Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 1991.	337
Εικόνα 4.140: Δημιουργία ‘Μάσκας’ για τα δεδομένα ελέγχου στην απεικόνιση του 1984.....	338
Εικόνα 4.141: Επιλογή δημιουργίας Πίνακα Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 1984.	339
Εικόνα 5.1: Μετατροπή τοπικού προβολικού συστήματος στο UTM (Ζώνη 34N).	358
Εικόνα 5.2: Όρια μερικών εκ των Δήμων στην Ανατολική Αττική κατά ‘Καποδίστρια’.	358
Εικόνα 5.3: (α) Διανυσματικά δεδομένα για αυτοκινητοδρόμους το 1984, (β) Ευκλείδειες Αποστάσεις από αυτοκινητοδρόμους το 1984.	362
Εικόνα 5.4: (α) Διανυσματικά δεδομένα για αυτοκινητοδρόμους το 2010, (β) Ευκλείδειες Αποστάσεις από αυτοκινητοδρόμους το 2010.	363
Εικόνα 5.5: (α) Σημειακά δεδομένα για τραπεζικά καταστήματα, (β) Ευκλείδειες Αποστάσεις από τραπεζικά καταστήματα.....	363
Εικόνα 5.6: (α) Σημειακά δεδομένα για το κέντρο εμπορικής δραστηριότητας κάθε περιοχής, (β) Ευκλείδειες Αποστάσεις από τα κέντρα εμπορικής δραστηριότητας.	364
Εικόνα 5.7: (α) Σημειακά δεδομένα για τα διοικητικά κτήρια, (β) Ευκλείδειες Αποστάσεις από τα διοικητικά κτήρια.....	364
Εικόνα 5.8: (α) Σημειακά δεδομένα για τα σχολεία, (β) Ευκλείδειες Αποστάσεις από τα σχολεία.	365
Εικόνα 5.9: Δημιουργία κανάβου διαστάσεων 1353x1426 για άντληση της τιμής Ευκλείδειας Απόστασης ανά εικονοστοιχείο.	365
Εικόνα 5.10: Πίνακας περιγραφικών χαρακτηριστικών σημείων κανάβου της εικόνας για τις Ευκλείδειες Αποστάσεις των εικονοστοιχείων από τους Αυτοκινητοδρόμους, 2010.	366
Εικόνα 5.11: Πληθυσμιακή μεταβολή ανά Δήμο της περιοχής μελέτης από το 1981 έως το 2001.	369
Εικόνα 5.12: Πληθυσμιακή μεταβολή ανά Δήμο της περιοχής μελέτης από το 1981 έως το 1991.	370
Εικόνα 5.13: Πληθυσμιακή μεταβολή ανά Δήμο της περιοχής μελέτης από το 1991 έως το 2001.	371
Εικόνα 5.14: Μορφή δεδομένων εισόδου για τον πληθυσμό.	373
Εικόνα 5.15: Όρια υπό-περιοχής.	374
Εικόνα 5.16: Δημιουργία νέου πίνακα υπό-περιοχής.	374
Εικόνα 5.17: Δημιουργία μεταβλητών και ομάδας μεταβλητών προς επεξεργασία (data.frame) στο λογισμικό R.....	383
Εικόνα 5.18: Δημιουργία επιπλέον μεταβλητών και δημιουργία προτύπου δυαδικής απόκρισης.	384
Εικόνα 5.19: Δημιουργία προτύπου δυαδικής απόκρισης με τον παράγοντα ‘CODE’ ανά Δήμο.	387

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Ιεραρχία κατηγοριών κάλυψης γης που εφαρμόστηκε στην εργασία των μελετητών. Φασματικές κατηγορίες Kernel όπως ορίζονται από τη προτεινόμενη μέθοδο φασματικής γνωσιακής βάσης συσχετιζόμενες είτε ένα προς ένα είτε ένα προς πολλά με τις θεματικές κατηγορίες κάλυψης γης.	62
Σχήμα 2.2: Η στρατηγική ταξινόμησης της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους [Αργιαλάς, 1999].	77
Σχήμα 2.3: Η στρατηγική ταξινόμησης με τον κανόνα του παραλληλεπίπεδου [Αργιαλάς, 1999].	78
Σχήμα 2.4: Κλειστές καμπύλες ίσων πιθανοτήτων που καθορίζονται από τον ταξινομητή της μέγιστης πιθανοφάνειας [Αργιαλάς, 1999].	79
Σχήμα 4.1: Συνεχής και Διακεκομμένη Δόμηση σε Km ² ανά έτος απεικόνισης.	171
Σχήμα 4.2: Βλάστηση σε km ² ανά έτος απεικόνισης.	173
Σχήμα 4.3: Δισδιάστατο ιστόγραμμα φασματικών προτύπων έντεκα κατηγοριών.	184
Σχήμα 4.4: Δισδιάστατο ιστόγραμμα φασματικών προτύπων δεκατριών κατηγοριών.	185
Σχήμα 4.5: Δισδιάστατο ιστόγραμμα φασματικών προτύπων δεκατεσσάρων κατηγοριών-τελικές κατηγορίες.	185
Σχήμα 4.6: Δισδιάστατο ιστόγραμμα φασματικών προτύπων όλων των κατηγοριών-απόρριψη κατηγορίας.	186
Σχήμα 4.7: (α) Δισδιάστατο ιστόγραμμα προτύπων για τις πέντε ενοποιημένες κατηγορίες της επιβλεπόμενης ταξινόμησης του 2010, (β) Χρωματική παλέτα κατηγοριών.	201
Σχήμα 4.8: Συνεχής δόμηση σε km ² ανά έτος απεικόνισης.	237
Σχήμα 4.9: Πυκνή βλάστηση σε km ² ανά έτος απεικόνισης.	238
Σχήμα 4.10: Έκταση μη συνεχούς δόμησης σε km ² ανά έτος απεικόνισης.	238
Σχήμα 4.11: Έκταση συνεχούς και μη συνεχούς δόμησης σε Km ² ανά έτος απεικόνισης.	240
Σχήμα 4.12: Διάγραμμα ιεραρχίας επιπέδων κατάτμησης.	247
Σχήμα 4.13: Προβολή κατηγοριών στο κύριο επίπεδο ταξινόμησης (level_2) για την εικόνα 2010. ...	289
Σχήμα 4.14: Αναλυτικός αλγόριθμος ταξινόμησης της εικόνας Landsat 2010 με πρόσθετα υψομετρικά δεδομένα και δεδομένα κλίσεων.	290
Σχήμα 4.15: Γραφική προσέγγιση ευστάθειας.	323
Σχήμα 4.16: Γραφική προσέγγιση αξιοπιστίας.	324
Σχήμα 4.17: Μεταβολή δομημένων εκτάσεων με αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνων.	344
Σχήμα 4.18: Μεταβολή μη συνεχούς δόμησης με αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνων.	344
Σχήμα 4.19: Μεταβολή βλάστησης με αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνων.	344
Σχήμα 4.20: Μεταβολή εκτάσεων αυτοκινητοδρόμων με αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνων.	345

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Λόγοι καναλιών εντός του λογισμικού αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας- ανάδειξη θεματικών κατηγοριών.	72
Πίνακας 3.1: Φασματικά κανάλια και εφαρμογές για τον Landsat TM και Landsat ETM+.	118
Πίνακας 3.2: Μεταδεδομένα εικόνων 1984, 1991, 2003 και 2010.	122
Πίνακας 3.3: Μεταδεδομένα εικόνας 2000.	123
Πίνακας 3.4: Συντεταγμένες περιοχής μελέτης.	129
Πίνακας 3.5: Γενικά στατιστικά στοιχεία εικόνας Landsat 2010.	143
Πίνακας 3.6: Στατιστικά στοιχεία της περιοχής ‘Δασαμάρι’ στο κανάλι 5.	144
Πίνακας 4.1: Παράμετροι μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ανά δορυφορική εικόνα.	150
Πίνακας 4.2: Σύσχέτιση κατηγοριών μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης 2010 και θεματικών κατηγοριών CORINE Land Cover τρίτου επιπέδου.	152
Πίνακας 4.3: Συγχώνευση δεκαπέντε κατηγοριών μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε πέντε γενικότερες κατηγορίες για το 2010.	157
Πίνακας 4.4: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών για το 2010.	157
Πίνακας 4.5: Συγχώνευση δεκαπέντε κατηγοριών σε πέντε γενικότερες κατηγορίες για το 2003.	161
Πίνακας 4.6: Συγχώνευση δεκαπέντε κατηγοριών σε πέντε γενικότερες κατηγορίες για το 2000.	163
Πίνακας 4.7: Συγχώνευση δεκαοκτώ κατηγοριών σε πέντε γενικότερες κατηγορίες για το 1991.	166
Πίνακας 4.8: Συγχώνευση δεκαέξι κατηγοριών σε πέντε γενικότερες κατηγορίες για το 1984.	168
Πίνακας 4.9: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών για το 1984.	170
Πίνακας 4.10: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών για το 1991.	170
Πίνακας 4.11: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών για το 2000.	170
Πίνακας 4.12: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών για το 2003.	171
Πίνακας 4.13: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών για το 2010.	171
Πίνακας 4.14: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών βλάστησης σε εκτάρια και σε km ² για το 1984 και 1991.	172
Πίνακας 4.15: Θεματικές κατηγορίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης εικόνας 2010 και η αντίστοιχη τους με τις θεματικές κατηγορίες του CORINE Land Cover.	179
Πίνακας 4.16: Επιλογή πολυγώνων εκπαίδευσης (I).	180
Πίνακας 4.17: Επιλογή πολυγώνων εκπαίδευσης (II).	181
Πίνακας 4.18: Επιλογή πολυγώνων εκπαίδευσης (III).	182
Πίνακας 4.19: Επιλογή πολυγώνων εκπαίδευσης (IV).	183
Πίνακας 4.20: Κύρια στατιστικά στοιχεία δεδομένων εκπαίδευσης της απεικόνισης του 2010.	187
Πίνακας 4.21: Σύγκριση μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010 (I).	191
Πίνακας 4.22: Σύγκριση μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010 (II).	192
Πίνακας 4.23: Σύγκριση μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010 (III).	193
Πίνακας 4.24: Σύγκριση μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010 (IV).	194
Πίνακας 4.25: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών σε εκτάρια ανά μέθοδο επιβλεπόμενης ταξινόμησης, της απεικόνισης του 2010.	195
Πίνακας 4.26: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.	198
Πίνακας 4.27: Πίνακας σύγκρισης ελάχιστης απόστασης για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.	200
Πίνακας 4.28: Συγχώνευση δεκατεσσάρων κατηγοριών σε πέντε γενικότερες κατηγορίες για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση το 2010.	201
Πίνακας 4.29: Σύγκριση μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010 (I).	205
Πίνακας 4.30: Σύγκριση μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010 (II).	206
Πίνακας 4.31: Εμβαδομέτρηση γενικευμένων κατηγοριών σε εκτάρια ανά μέθοδο επιβλεπόμενης ταξινόμησης.	207

Πίνακας 4.32: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.	207
Πίνακας 4.33: Πίνακας σύγκρισης ελάχιστης απόστασης για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.	208
Πίνακας 4.34: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2003.	213
Πίνακας 4.35: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2003.	214
Πίνακας 4.36: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2000.	219
Πίνακας 4.37: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2000.	220
Πίνακας 4.38: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 1991.	225
Πίνακας 4.39: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 1991.	226
Πίνακας 4.40: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 1984.	231
Πίνακας 4.41: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 1984.	232
Πίνακας 4.42: Εμβαδομέτρηση 14 κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 1984.	235
Πίνακας 4.43: Εμβαδομέτρηση 14 κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 1991.	235
Πίνακας 4.44: Εμβαδομέτρηση 14 κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 2000.	236
Πίνακας 4.45: Εμβαδομέτρηση 14 κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 2003.	236
Πίνακας 4.46: Εμβαδομέτρηση 14 κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 2010.	237
Πίνακας 4.47: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 1984.	239
Πίνακας 4.48: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 1991.	239
Πίνακας 4.49: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 2000.	239
Πίνακας 4.50: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 2003.	240
Πίνακας 4.51: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 2010.	240
Πίνακας 4.52: Παράμετροι κατάτμησης ανά επίπεδο.	244
Πίνακας 4.53: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πρώτο επίπεδο (Level_1) της απεικόνισης του 2010.	249
Πίνακας 4.54: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τέταρτο επίπεδο (Level_4) της απεικόνισης του 2010.	259
Πίνακας 4.55: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τέταρτο επίπεδο (Level_4) της απεικόνισης του 2010.	263
Πίνακας 4.56: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πέμπτο επίπεδο (Level_5) της απεικόνισης του 2010.	270
Πίνακας 4.57: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 2010.	277
Πίνακας 4.58: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πρώτο επίπεδο (Level_1) της απεικόνισης του 2003.	291
Πίνακας 4.59: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 2003 (I).	292
Πίνακας 4.60: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 2003 (II).	293
Πίνακας 4.61: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τρίτο επίπεδο (Level_3) της απεικόνισης του 2003.	294
Πίνακας 4.62: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τέταρτο και πέμπτο επίπεδο (Level_4 και Level_5) της απεικόνισης του 2003.	295

Πίνακας 4.63: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πρώτο επίπεδο (Level_1) της απεικόνισης του 2000.	296
Πίνακας 4.64: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 2000 (I).....	297
Πίνακας 4.65: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 2000 (II).	298
Πίνακας 4.66: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τρίτο επίπεδο (Level_3) της απεικόνισης του 2000..	299
Πίνακας 4.67: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τέταρτο και πέμπτο επίπεδο (Level_4 και Level_5) της απεικόνισης του 2000.	300
Πίνακας 4.68: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πρώτο επίπεδο (Level_1) της απεικόνισης του 1991.	301
Πίνακας 4.69: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 1991 (I).....	302
Πίνακας 4.70: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 1991 (II).	303
Πίνακας 4.71: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τρίτο επίπεδο (Level_3) της απεικόνισης του 1991..	304
Πίνακας 4.72: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τέταρτο και πέμπτο επίπεδο (Level_4 και Level_5) της απεικόνισης του 1991.	305
Πίνακας 4.73: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πρώτο επίπεδο (Level_1) της απεικόνισης του 1984.	306
Πίνακας 4.74: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 1984 (I).....	307
Πίνακας 4.75: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 1984 (II).	308
Πίνακας 4.76: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 1984 (III).....	309
Πίνακας 4.77: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τρίτο επίπεδο (Level_3) της απεικόνισης του 1984..	310
Πίνακας 4.78: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τέταρτο επίπεδο (Level_4) της απεικόνισης του 1984.	311
Πίνακας 4.79: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πέμπτο επίπεδο (Level_5) της απεικόνισης του 1984.	312
Πίνακας 4.80: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης για το πρώτο επίπεδο (Level_1).....	322
Πίνακας 4.81: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το πρώτο επίπεδο (Level_1).....	324
Πίνακας 4.82: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης για το δεύτερο επίπεδο (Level_2).....	326
Πίνακας 4.83: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το δεύτερο επίπεδο (Level_2).....	326
Πίνακας 4.84: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης για το τρίτο επίπεδο (Level_3).....	328
Πίνακας 4.85: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για τρίτο επίπεδο (Level_3).....	328
Πίνακας 4.86: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης για το τέταρτο επίπεδο (Level_4).....	329
Πίνακας 4.87: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το τέταρτο επίπεδο (Level_4).....	329
Πίνακας 4.88: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης για το πέμπτο επίπεδο (Level_5).....	330
Πίνακας 4.89: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για πέμπτο επίπεδο (Level_5).....	330
Πίνακας 4.90: Πίνακας Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2010 και ακρίβειες παραγωγού και χρήστη.	333
Πίνακας 4.91: Πίνακας Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2003 και ακρίβειες παραγωγού και χρήστη.	335
Πίνακας 4.92: Πίνακας Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2000 και ακρίβειες παραγωγού και χρήστη.	336
Πίνακας 4.93: Πίνακας Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 1991 και ακρίβειες παραγωγού και χρήστη.	338

Πίνακας 4.94: Πίνακας Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 1984 και ακρίβειες παραγωγού και χρήστη.	339
Πίνακας 4.95: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών κύριου επιπέδου ταξινόμησης της απεικόνισης του 1984.	341
Πίνακας 4.96: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών κύριου επιπέδου ταξινόμησης της απεικόνισης του 1991.	341
Πίνακας 4.97: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών κύριου επιπέδου ταξινόμησης της απεικόνισης του 2000.	342
Πίνακας 4.98: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών κύριου επιπέδου ταξινόμησης της απεικόνισης του 2003.	342
Πίνακας 4.99: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών κύριου επιπέδου ταξινόμησης της απεικόνισης του 2010.	343
Πίνακας 5.1: Αντιστοίχιση αριθμού με θεματική κατηγορία για την επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	359
Πίνακας 5.2: Διατεταγμένη αντιστοίχιση αριθμού με θεματική κατηγορία για την επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	360
Πίνακας 5.3: Διατεταγμένη αντιστοίχιση αριθμού με θεματική κατηγορία για την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση.....	360
Πίνακας 5.4: Πίνακας πραγματικού πληθυσμού για τα έτη 2001, 1991 και 1981 της περιοχής μελέτης ανά Δήμο και Κοινότητα (πηγή ΕΣΥΕ).	368
Πίνακας 5.5: Πίνακας Συνάφειας αντικειμενοστραφούς μεθόδου με 5 κατηγορίες.....	375
Πίνακας 5.6: Πίνακας Συνάφειας αντικειμενοστραφούς μεθόδου με 5 κατηγορίες στην υπό-περιοχή.	377
Πίνακας 5.7: Πίνακας Συνάφειας αντικειμενοστραφούς μεθόδου με 2 κατηγορίες.....	377
Πίνακας 5.8: Πίνακας Συνάφειας αντικειμενοστραφούς μεθόδου με 2 κατηγορίες στην υπό-περιοχή.....	378
Πίνακας 5.9: Πίνακας Συνάφειας μη επιβλεπόμενης μεθόδου με 5 κατηγορίες.	378
Πίνακας 5.10: Πίνακας Συνάφειας μη επιβλεπόμενης μεθόδου με 5 κατηγορίες στην υπό-περιοχή.	378
Πίνακας 5.11: Πίνακας Συνάφειας μη επιβλεπόμενης μεθόδου με 2 κατηγορίες.	379
Πίνακας 5.12: Πίνακας Συνάφειας μη επιβλεπόμενης μεθόδου με 2 κατηγορίες στην υπό-περιοχή...	379
Πίνακας 5.13: Πίνακας Συνάφειας επιβλεπόμενης μεθόδου με 5 κατηγορίες.	380
Πίνακας 5.14: Πίνακας Συνάφειας επιβλεπόμενης μεθόδου με 5 κατηγορίες στην υπό-περιοχή.....	380
Πίνακας 5.15: Πίνακας Συνάφειας επιβλεπόμενης μεθόδου με 2 κατηγορίες.	380
Πίνακας 5.16: Πίνακας Συνάφειας επιβλεπόμενης μεθόδου με 2 κατηγορίες στην υπό-περιοχή.....	381
Πίνακας 5.17: Στατιστικά αποτελέσματα προτύπου δυαδικής απόκρισης για όλη την εικόνα (object).	385
Πίνακας 5.18: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές προτύπου δυαδικής απόκρισης για όλη την εικόνα (object).	386
Πίνακας 5.19 : Στατιστικά αποτελέσματα προτύπου δυαδικής απόκρισης για όλη την εικόνα (unsupervised).	388
Πίνακας 5.20: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές προτύπου δυαδικής απόκρισης για όλη την εικόνα (unsupervised).	388
Πίνακας 5.21: Στατιστικά αποτελέσματα προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (object).	389
Πίνακας 5.22: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (object).	389
Πίνακας 5.23: Στατιστικά αποτελέσματα προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (object) – παράγοντας ‘CODE’	391
Πίνακας 5.24: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (object) – παράγοντας ‘CODE’	392
Πίνακας 5.25: Στατιστικά αποτελέσματα προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (unsupervised).	393
Πίνακας 5.26: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (unsupervised).....	393
Πίνακας 5.27: Στατιστικά αποτελέσματα προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (unsupervised) – παράγοντας ‘CODE’	395
Πίνακας 5.28: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (unsupervised) – παράγοντας ‘CODE’	396

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη διερευνάται η διαχρονική εξέλιξη των κύριων κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης της περιοχής της Ανατολικής Αττικής (Μεσόγεια) τις τελευταίες δεκαετίες με τη βοήθεια τηλεπισκοπικών εικόνων και γίνεται προσπάθεια προτυποποίησης της αλλαγής με οικονομετρικά πρότυπα.

Στο πλαίσιο εφαρμογής της τηλεπισκοπικής μεθοδολογίας, στο χρονικό διάστημα από το 1984 μέχρι και το 2010, επιλέγονται πέντε δορυφορικές απεικονίσεις των δορυφόρων Landsat 4, 5 και 7 και ταξινομούνται ανεξάρτητα η μια με την άλλη με τρεις εναλλακτικές μεθοδολογίες. Αρχικά, στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση αν και ο αλγόριθμος διαχωρίζει την εικόνα αρχικά σε πολλές φασματικές κατηγορίες, οι θεματικές κατηγορίες στη μέθοδο αυτή γενικεύονται στις εξής πέντε: θάλασσα, βλάστηση, αστική δόμηση, γυμνό έδαφος-καλλιέργειες και χώροι εξορύξεων, σύμφωνα και με τις επίσημες γενικευμένες κατηγορίες του CORINE Land Cover για την περιοχή. Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση επιλέγεται ο αλγόριθμος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας ως ο βέλτιστος ταξινομητής και παρουσιάζονται δύο αποτελέσματα για κάθε εικόνα. Ο ένας θεματικός χάρτης αποτελείται από δεκατέσσερις κατηγορίες ενώ ο δεύτερος από πέντε κατηγορίες, όμοιες με εκείνες που υπαγόρευε η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Στην τρίτη μέθοδο, όπου η χωρική μονάδα ανάλυσης είναι το αντικείμενο και όχι το εικονοστοιχείο, για κάθε εικόνα δημιουργούνται πολλαπλά επίπεδα κατάτμησης με βασικό επίπεδο εξαγωγής της ταξινόμησης το δεύτερο. Στην μέθοδο αυτή είναι δυνατή η διάκριση της διακεκομμένης αστικής δόμησης από τη συνεχή, εκμεταλλευόμενοι τον δείκτη της Ομοιογένειας κατά Haralick. Επίσης, δεν χρησιμοποιούνται δείγματα εκπαίδευσης και μπόρεσαν να διακριθούν περισσότερες από πέντε κατηγορίες. Για το αποτέλεσμα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης και για το αποτέλεσμα του δεύτερου επιπέδου της αντικειμενοστραφούς μεθόδου δημιουργήθηκε, σε κάθε απεικόνιση, ο Πίνακας Σύγχυσης, ύστερα από την επιλογή δεδομένων ελέγχου μέσω φωτοερμηνείας. Ο δείκτης k για την αντικειμενοστραφή μέθοδο, παρά τις περισσότερες κατηγορίες ανάλυσης, έδωσε καλύτερα αποτελέσματα με εύρος τιμών από 0.851 έως 0.897, ενώ για την επιβλεπόμενη από 0.761 έως 0.835.

Η κατανόηση του τρόπου ανάπτυξης μιας περιοχής είναι υψίστης σημασίας για τους συγκοινωνιολόγους και για τους μελετητές σχεδιασμού πόλεων. Για το λόγο αυτό η διαχρονική εξέλιξη χρήσης/κάλυψης γης μελετήθηκε με την ανάπτυξη απλοποιημένων οικονομετρικών προτύπων, για δύο από τις παραπάνω τηλεπισκοπικές μεθόδους όπου, εκτός από τις χρήσεις γης, λάμβαναν υπόψη και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα η κατασκευή της Αττικής Οδού με τη βοήθεια Ευκλείδειων Αποστάσεων. Συγκεντρώθηκαν ακόμα πολλές πληροφορίες που μπορούν μελλοντικά να θεωρηθούν ως μεταβλητές στην κατασκευή πιο σύνθετων προτύπων εξέλιξης και προτύπων πρόβλεψης που θα λαμβάνουν υπόψη, τη χωρική αυτοσυσχέτιση των χρήσεων γης, την διαφορά στα χρονικά διάκενα μεταξύ των εικόνων αλλά και περαιτέρω δημογραφικά δεδομένα. Με τη χρήση προτύπων δυαδικής απόκρισης, αποδείχθηκε πως οι πρόσθετες μεταβλητές που εισήχθησαν στο πρότυπο ερμηνεύουν σημαντική μεταβλητότητα της αλλαγής χρήσης γης κυρίως στην μεταβολή ενδιαφέροντος, δηλαδή από μη αστικό σε αστικό.

Λέξεις κλειδιά: Ανίχνευση Αλλαγών, Χρήσεις γης, Επιβλεπόμενη ταξινόμηση, Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, Αντικειμενοστραφής ανάλυση, Οικονομετρικά πρότυπα, Ευκλείδειες αποστάσεις, Δημογραφικά δεδομένα, Ανατολική Αττική, Μεσόγεια.

ABSTRACT

This study concerns investigation of the main land use/land cover changes and about methods of basic econometric models at the eastern part of Attica (Messoghia plain) over the last decades using remotely sensed images.

Five (Landsat 4, 5 and 7) images were selected from 1984 to 2010. These images were classified individually using three alternative methodologies. Firstly, the method of unsupervised classification was carried out for each image. Although the algorithm was able to recognize many spectral categories, the thematic (semantic) categories were finally generalized into five: sea, vegetation, urban, bare soil-cultivation and mines, based on the official CORINE Land Cover generalized categories for this area. Secondly, the method of supervised classification was conducted using the Maximum Likelihood classifier as the most efficient one, creating two types of thematic maps, one with fourteen different classes and one with the same generalized categories indicated by the unsupervised classification. Thirdly, object-oriented image analysis was performed, creating for each image a multiresolution segmentation. In this method, the second level was the level of the main classification. An important asset of this method was the ability of extracting the discontinuous urban areas, using the Haralick texture feature of Homogeneity, and to discriminate them from the continuous ones. More importantly, through this method no training data were used at all and the categories detected were more than five. For both the supervised and the object-based classification, a confusion matrix was created for each image using test data. The K index showed that the object-based method outperformed with values ranging from 0.851 to 0.897, versus the supervised method ranging from 0.761 to 0.835.

Understanding the manner in which urban areas change over time and space is an issue of great importance for transportation researchers and planners. For this reason the evolution of land use/land cover change was performed through the development of basic econometric models for the two of the methods mentioned above. Despite using only land use information, socio-economic parameters were taken into consideration such as the construction of road infrastructure called ‘Attiki Odos’ through Euclidean Distance. Useful information was collected which could help for future research in order more complex models to be developed, and prediction models as well, taking into account the spatial correlation of land use, the phenomenon of time lagged variables and further demographic information. In this study, it was proved that using binary logit models, the variables included in the models were able to interpret an important part of the variability of change from not urban to urban areas, which is the case of more interest.

Keywords: Change detection, Land use, Supervised classification, Unsupervised classification, Object-based image analysis, Econometric models, Euclidian distance, Demographics, Messoghia.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γεγονός πως η συνεχώς παρατηρούμενη εξέλιξη των πόλεων αποτελεί την αιτία ώστε να αναπτυχθεί και να εξεταστεί η προτυποποίηση τους, τόσο θεωρητικά όσο και εμπειρικά. Γενικά, οι αστικές περιοχές θεωρούνται πολύπλοκα, πολυδιάστατα και συνεχώς εξελισσόμενα συστήματα, καθώς επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες. Ο τρόπος και η αιτία που εξελίσσονται τα συστήματα είναι δύο ιδιαίτερα δύσκολα ζητήματα, όμως το όφελος που θα προέκυπτε από την εύρεση της δυναμικής των πόλεων είναι μεγάλο. Επίσης, κάτι που κεντρίζει το ενδιαφέρον των συγκοινωνιολόγων και λοιπών επιστημόνων που ασχολούνται με το σχεδιασμό χρήσεων γης, με την οικονομία, τους ιστορικούς, τους νομοθέτες και γενικά το κοινό, είναι να γίνουν κατανοητοί οι τρόποι με τους οποίους αλληλεπιδρούν οι γεωγραφικοί, οι οικονομικοί, οι δημογραφικοί και άλλοι παράγοντες. Πρότυπα τα οποία ακολουθούν αξιόπιστα αυτές τις αλληλεπιδράσεις δια φωτίζουν το πώς οι πολιτικές που ακολουθούνται επιδρούν στις χρήσεις γης, στα μοντέλα των μεταφορών, στην ευημερία, στη συμμόρφωση της κυκλοφορίας, στην ατμοσφαιρική ποιότητα και σε άλλα φαινόμενα.

Από τις πρώτες μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν πάνω στα χωρικά πρότυπα αστικών περιοχών ήταν εκείνες που βασίζονταν σε δεδομένα οργανωμένα σε κানাβο (panel data) προερχόμενα κυρίως από δορυφορικές εικόνες. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στις χωρικές σχέσεις μεταξύ των διαφόρων γεωγραφικών μεταβλητών, των μεταβλητών χρήσεων γης καθώς και των δημογραφικών χαρακτηριστικών. Τα πρότυπα συνηθίζεται να προκύπτουν ύστερα από τον συνδυασμό δεδομένων χρήσης γης/κάλυψης εδάφους, χαρτών αλλά και δεδομένων απογραφής πληθυσμού. Σε πολλές περιπτώσεις πέραν της δημιουργίας προτύπων χρήσεων γης, αναπτύσσονται και δημογραφικά μοντέλα.

Από το 1954 μέχρι σήμερα έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την κατανόηση της εξέλιξης των αστικών συστημάτων. Τα πρώτα πρότυπα εφαρμόστηκαν τόσο σε πραγματικά πρότυπα πόλεων όσο και σε θεωρητικά με μερική επιτυχία [Frazier and Kockelman, 2004]. Το 2003 ο Parker μαζί με μια ομάδα ερευνητών ασχολήθηκαν με πιο πρόσφατα ανεπτυγμένα πρότυπα αλλαγών χρήσεων/κάλυψης γης (LUCC). Οι ερευνητές αυτοί κατέληξαν ότι λόγω της πολυπλοκότητας των συστημάτων που περιλαμβάνουν χρήση/κάλυψη γης, κανένα από τα υπάρχοντα πρότυπα δεν πρέπει να χρησιμοποιείται περισσότερο ως καλύτερο. Συνεπώς, ερευνάται τόσο σε θεωρητικό επίπεδο όσο και σε πρακτικό ένα μεγάλο εύρος προτύπων. Συνήθως, στις διάφορες μελέτες αναπτύσσονται πρότυπα που προσομοιώνουν κατά το δυνατόν τα χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Στη συνέχεια αυτά παραλληλίζονται με μερικά πρόσφατα πρότυπα τα οποία αναπτύχθηκαν για χρήση από οργανισμούς σχεδιασμού, για τη χάραξη πολιτικών και προβλέψεων για μία περιοχή. Μερικά τέτοια χωρικά πρότυπα που έχουν εφαρμοστεί ιδιαίτερα στις ΗΠΑ είναι το UrbanSim [Waddel, 2002], και το What if? [Klosterman, 1999]. Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα των παραπάνω προτύπων είναι ότι απέτυχαν να ενσωματώσουν και να ενοποιήσουν τις χωρικές και χρονικές συσχετίσεις που υπάρχουν στα αστικά συστήματα.

Τα δορυφορικά δεδομένα που εισήχθησαν από το 1970 παρέχουν εξαιρετικές δυνατότητες ενώ παράλληλα κρύβουν σημαντικές προκλήσεις. Ένα συχνό πρόβλημα που προκύπτει κατά την προτυποποίηση αστικών συστημάτων είναι η έλλειψη

δεδομένων ίδιας μονάδας μεγέθους ανά συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Όμως η τηλεπισκόπηση και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών συντελούν στη δημιουργία αξιόπιστων και προσιτών χαρτών κάλυψης γης από λεπτομερή και ανά τακτά χρονικά διαστήματα δορυφορικά δεδομένα. Συνήθως για ανάλογες εφαρμογές χρησιμοποιούνται Landsat εικόνες. Από το 1984 παρέχονται δωρεάν τηλεπισκοπικά δεδομένα για μέτριας ανάλυσης δεδομένα, και ο οργανισμός USGS που παρέχει τα δεδομένα αυτά, χαρακτηριστικά αναφέρει πως η δυνατότητα δωρεάν διάθεσης του αρχείου εικόνων προερχόμενο από τους δορυφόρους Landsat μέσω του διαδικτύου, μπορεί να παραλληλιστεί με την διάθεση κάρτας σε όλους τους ανθρώπους προς την καλύτερη παγκόσμια βιβλιοθήκη συνθηκών που επικρατούν στη Γη.

Στις μελέτες που επικεντρώνονται στην ανάπτυξη χωρικών προτύπων μιας περιοχής έχει προηγηθεί η διαδικασία ταξινόμησης εικόνων της περιοχής σε αρκετές χρονικές στιγμές. Στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στην Αττική, δεν έχει ερευνηθεί εκτενώς το πρόβλημα αυτό και, συνεπώς, δεν υπάρχουν δεδομένα εισόδου για τον σχηματισμό προτύπων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση εξέλιξης κύριων χρήσεων γης στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής τις τελευταίες δεκαετίες για την ανάπτυξη απλών οικονομετρικών προτύπων που προσομοιώνουν με τον βέλτιστο τρόπο την κοινωνικοοικονομική εξέλιξη της περιοχής.

Επιλέχθηκαν πέντε δορυφορικές εικόνες σε χρονικό διάστημα 26 χρόνων και συγκεκριμένα τις χρονιές 1984, 1991, 2000, 2003 και 2010, μέτριας χωρικής ανάλυσης (30 m) των δεκτών Landsat 4, 5 και 7, προερχόμενες από τον οργανισμό USGS. Η επιλογή των χρονολογιών και των εικόνων έγινε αφενός ανάμεσα στις εικόνες που είναι διαθέσιμες από τον οργανισμό, αφετέρου έτσι ώστε να αντιστοιχούν όσο το δυνατόν στην ίδια εποχή για να μην εμφανιστούν εσφαλμένες διαφορές λόγω εποχικής βλάστησης. Η ακριβής χρονολογία λήψης των εικόνων ήταν 4 Αυγούστου 1984, 17 Σεπτεμβρίου 1991, 20 Μαΐου 2000, 12 Οκτωβρίου 2003 και 12 Αυγούστου 2010. Η περιοχή μελέτης έχει διαστάσεις 1353x1426 εικονοστοιχεία και συνεπώς αντιστοιχεί στην πραγματικότητα σε επιφάνεια διαστάσεων 40.59 km x 43.78 km.

Στο πλαίσιο της τηλεπισκόπησης, ο στόχος ήταν να ερευνηθούν τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων με χωρική μονάδα ανάλυσης το εικονοστοιχείο αλλά και το αντικείμενο, να εντοπιστούν και να αιτιολογηθούν οι διαφορές των αποτελεσμάτων και να τεκμηριωθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου. Γενικά, για την ανίχνευση αλλαγών οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις των συγκοινωνιακών προτύπων, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, βασίζονται στο αποτέλεσμα των μεμονωμένων εικόνων, γεγονός που συνεπάγεται αυτόματα την επιλογή της μεθόδου των ανεξάρτητων ταξινομήσεων των εικόνων. Η διαδικασία αυτή δεν προϋποθέτει την υλοποίηση ραδιομετρικής διόρθωσης των εικόνων. Η γεωμετρική διόρθωση των εικόνων αποδείχθηκε πως δεν ήταν απαραίτητη αφενός επειδή όλες οι εικόνες είχαν προέλθει από τον οργανισμό USGS, αφετέρου επειδή πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι επίθεσης διανυσματικών δεδομένων αλλά και καναλιών μεταξύ των εικόνων που το επιβεβαιώνουν.

Αντικειμενοστραφής προσέγγιση για το συγκεκριμένο ζήτημα δεν έχει ξαναεφαρμοστεί, οπότε το γεγονός αυτό αποτελούσε μια πρόκληση. Στις

περισσότερες ανάλογες μελέτες είχαν προηγηθεί είτε μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις είτε επιβλεπόμενες χωρίς ποσοτικό έλεγχο των αποτελεσμάτων παρά μόνο ποιοτικό.

Ως προς τα οικονομετρικά πρότυπα, το πρόβλημα είναι αρκετά σύνθετο και πρακτικά μη εφικτό να αναλυθεί διεξοδικά στο πλαίσιο μια διπλωματικής εργασίας όταν δεν έχει προηγηθεί τηλεπισκοπική ανάλυση των εικόνων. Τα προβλήματα που είχε να αντιμετωπίσει ο χρήστης ήταν τα εξής. Αρχικά, οι εικόνες δεν ισαπέχουν χρονικά, οπότε απαιτείται μια χρονική αναγωγή. Οι μεταβλητές δεν είναι συνεχείς οπότε δεν είναι εφικτό να εφαρμοστούν γραμμικά πρότυπα ανάλυσης. Η βιβλιογραφία επίσης έχει παρουσιάσει αμφιλεγόμενα αποτελέσματα ως προς την εφαρμογή Markov Chain μεθόδων και κυρίως εφαρμογών Monte Carlo για την πρόβλεψη μελλοντικών χρήσεων γης. Τα παραπάνω όμως δεν εμπόδισαν από την συγκέντρωση εκείνων των μεταβλητών που θεωρούνται κρίσιμες και απαραίτητες για την εξαγωγή πιο σύνθετων οικονομετρικών προτύπων.

Στόχος επίσης της εργασίας είναι η σύνθεση απλών οικονομετρικών προτύπων τα οποία να δίνουν μια πρώτη εκτίμηση των αποτελεσμάτων λαμβάνοντας υπόψη, εκτός από την παράμετρο της αλλαγής της χρήσης/κάλυψης γης, και απλές παραμέτρους, όπως οι Ευκλείδειες Αποστάσεις από κομβικές θέσεις και χαρακτηριστικά. Τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τα κατάλληλα συμπληρωματικά δεδομένα πχ. πληθυσμιακά δεδομένα, εισόδημα κλπ, μπορούν να βοηθήσουν περαιτέρω στην ερμηνεία της μεταβλητότητας των προτύπων αλλαγής και να βοηθήσουν σημαντικά τους ερευνητές. Η εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων ταξινόμησης λοιπόν, αποτελεί την αρχή για μελλοντική διεξοδική διερεύνηση του ζητήματος της αστικοποίησης της Ανατολικής Αττικής.

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, αξίζει να τονιστεί η σημαντικότητα της επιστήμης της τηλεπισκόπησης όχι μόνο στην εκτίμηση των αλλαγών κάλυψης γης, αλλά και στην καταγραφή φυσικών πόρων, αστικού σχεδιασμού, τη χάραξη πολιτικής, και στην εκπαιδευτική και κοινωνική ενημερότητα.

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Κοινωνικοοικονομική Εξέλιξη Ευρύτερης Περιοχής Μελέτης

Στην παρούσα έρευνα γίνεται μια προσπάθεια παρακολούθησης των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης που έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια στην Αττική και πιο συγκεκριμένα στην Ανατολική Αττική, η οποία παρουσιάζει την μεγαλύτερη μεταβολή πληθυσμού.

Η αστικοποίηση συχνά θεωρείται ως ένα σημάδι ζωτικότητας των τοπικών οικονομιών, αλλά πολύ σπάνια σχεδιάζεται με προσοχή, γεγονός που προκαλεί ανησυχίες για την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και του πλανήτη. Η παρακολούθηση των αλλαγών σε σχέση με την αστικοποίηση των περιοχών είναι υψίστης σημασίας για αυτούς που μελετούν την δυναμικότητα των αστικών περιοχών και για αυτούς που πρέπει να διαχειριστούν φυσικούς πόρους. Η τηλεπισκόπηση αποτελεί μια οικονομική και τεχνολογικά ορθή τεχνική για τον χαρακτηρισμό αστικών περιοχών, αλλά και για την επίβλεψη αστικών επεκτάσεων. Πριν διερευνηθεί το θέμα τηλεπισκοπικά, κρίνεται απαραίτητη μια μικρή αναδρομή στην πορεία της περιοχής μελέτης τα τελευταία χρόνια σε κοινωνικοοικονομική διάσταση.

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, οι πόλεις της Νότιας Ευρώπης, σε χώρες όπως η Ισπανία, η Πορτογαλία και η Ελλάδα εμφανίζουν ταχεία αστικοποίηση στην μεταπολεμική περίοδο. Παρά τη διάκριση διαφορών στον τρόπο ανάπτυξης σε εθνικό και τοπικό επίπεδο, έχουν προκύψει λειτουργικές και μορφολογικές ομοιότητες, διαχωρίζοντας την μορφή της αστικής εξέλιξης της Νότιας Ευρώπης από το ιδανικό τυπικό αστικό μοντέλο της Βόρειας Ευρώπης και αυτό οφείλεται στην άναρχη δόμηση που εμφανίζεται κυρίως στις χώρες τις Νότιας Ευρώπης. Στην Αθήνα, στην μεταπολεμική περίοδο, η ταχεία αστικοποίηση έγινε ταυτόχρονα με την ανάπτυξη των αστικών κέντρων. Σήμερα στην Αθήνα έχει προκληθεί ένα νέο κύμα αστικής εξάπλωσης με ήδη εμφανείς τις κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτό συνεπάγεται με τη σειρά του σε αλλαγές στις αρχές του χωρικού σχεδιασμού ώστε να προάγεται η ανταγωνιστικότητα της τοπικής οικονομίας.

Η αστική ανταγωνιστικότητα ουσιαστικά αναφέρεται στην ικανότητα επενδυτικής έλξης μιας πόλης, ενσωματώνοντας κοινωνικοοικονομικές εφαρμογές και ανακατεύθυνση των στόχων σχεδιασμού. Πρόκειται για τα συγκριτικά πλεονεκτήματα που προσελκύουν τους επενδυτές και δημιουργούν τοπικές επιχειρηματικές ευκαιρίες. Ο όρος της μητροπολιτικής διακυβέρνησης από την άλλη, αναφέρεται στην εκ νέου χωρική διάρθρωση των τοπικών ρυθμιστικών κλιμάκων ως αποτέλεσμα των ισχυρών προσπαθειών αύξησης της ανταγωνιστικότητας.

Η αστική επέκταση είναι ένα επίσης σημαντικό ζήτημα στην περιοχή. Πρόκειται για φαινόμενο που παρατηρείται κυρίως σε πόλεις με μέτρια στο σύνολο πληθυσμιακή αύξηση, αλλά σημαντική πληθυσμιακή ανακατανομή στον αστικό χώρο. Σύμφωνα με την έρευνα των Chorianoopoulos et al. [2009], στην Αττική, συμπεραίνεται ότι η πόλη δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν να βρίσκεται σε απομόνωση, διότι χωρίς την απλή κατανόηση του ευρύτερου περιβάλλοντος χώρου που διαμορφώνει την αστική

ανάπτυξη και τα χαρακτηριστικά της, μπορούν να οδηγήσουν σε ανεπαρκείς ερμηνείες της άναρχης δόμησης και των επιδράσεών της. Η αλληλεπίδραση μεταξύ της ανταγωνιστικότητας και του προτύπου ανάπτυξης, που ερευνήθηκε έδειξε πως ως έναν βαθμό, υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ των στόχων που όριζε ο σχεδιασμός και των τάσεων ανάπτυξης υπογραμμίζοντας τη σχέση μεταξύ ανταγωνιστικότητας και άναρχης εξάπλωσης.

Γενικά, υπάρχουν διάφορες μορφές οικιστικής εξάπλωσης, όπως:

- η ‘προαστιακή’ ανάπτυξη, ή συνεχόμενη επέκταση της υφιστάμενης ανάπτυξης μακριά από τον αστικό πυρήνα
- η ανάπτυξη σε ‘σειρά’, όπου αναφέρεται στην παρατηρούμενη ανάπτυξη κατά μήκος ενός κύριου οδικού άξονα
- η ‘διάσπαρτη’, ή ασυνεχής ανάπτυξη με χωροθέτηση εκτός των κεντρικών περιοχών μιας πόλης
- η ‘ασυνεχής’ ανάπτυξη όπου χωροθετείται εκτός της μονοκεντρικής πόλης.

Το ζήτημα της βιώσιμης ανάπτυξης στην περίπτωση της επέκτασης αστικών περιοχών, λαμβάνει την σημασία της ‘έξυπνης ανάπτυξης’. Η στρατηγική αυτή αποτελείται από ελέγχους στη χρήση γης ικανούς να ανιχνεύσουν την ποικιλία των οικισμών, την συμφόρηση της κυκλοφορίας και την περιβαλλοντική υποβάθμιση. Η ικανότητα του σχεδιασμού των χρήσεων γης στην επιρροή της αστικής επέκτασης μέσω έξυπνων πολιτικών ανάπτυξης, ωστόσο, προϋποθέτει ότι οι στόχοι των πολιτικών που ακολουθούνται αντικατοπτρίζουν τις βασικές θεωρήσεις περί ελέγχου ανάπτυξης.

Η Αθήνα, όπως προαναφέρθηκε, παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με πόλεις από Ισπανία και Πορτογαλία, η δομή όμως της οικονομίας στην μεταπολεμική περίοδο βασιζόταν στην εκβιομηχάνιση και όχι στον κατασκευαστικό τομέα. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που παρατηρήθηκε στην Αθήνα ήταν η άναρχη δομή της επέκτασης της. Η ιστορία της Αθήνας ως προς την πορεία ανάπτυξης επιβεβαιώνει αυτόν τον ισχυρισμό και αναφέρεται πως η ανάπτυξη της βασίζεται σε κατάλληλα αυτοχρηματοδοτούμενα συστήματα ανάπτυξης, με περιορισμένες τις δημόσιες δαπάνες για αστική υποδομή.

Σύμφωνα με των Chorianoopoulos et al [2009], στην μεταπολεμική περίοδο μέχρι και το 1970 ο πληθυσμός της Αθήνας αυξήθηκε από 1.378.000 (1951) σε 3.038.000 (1981) κυρίως εξαιτίας εσωτερικής μετανάστευσης για την ανεύρεση εργασίας. Από το 1980 μέχρι και σήμερα, ο πληθυσμός της Αθήνας αυξήθηκε κατά 0.37%. Παρατηρήθηκαν εσωτερικές μετακινήσεις κυρίως προς τις λιγότερο συνωστισμένες περιοχές, κυρίως προς το βόρειο και ανατολικό τμήμα της πόλης. Επίσης, η ομαδοποίηση των σπιτιών και οι ζώνες οικονομικής δραστηριότητας δημιούργησαν έναν τύπο επέκτασης κατά μήκος των παραθαλάσσιων πόλεων και εναλλακτικά των βόρειων οικισμών.

Το 1985 είχε θεσπιστεί το Ρυθμιστικό Σχέδιο της Αθήνας, με έμφαση στην περιβαλλοντική προστασία και στην ελεγχόμενη περιαστική ανάπτυξη και είχε ως στόχο την αντιμετώπιση των διαρθρωτικών προβλημάτων του πολεοδομικού συγκροτήματος όσο γίνεται πιο ολοκληρωμένα. Ο κεντρικός κυβερνητικός οργανισμός ‘ΟΡΕΡΑ’ επέβλεπε τις εφαρμογές του και λειτουργούσε υπό την

εποπτεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος χωρίς να καταφέρει όμως να αποδώσει τους λόγους που δεν εφαρμόστηκε το σχέδιο ανά τις δεκαετίες. Πολλοί συγγραφείς θεωρούν πως η μη ελέγξιμη ανάπτυξη αποτελεί ένα παράδειγμα σιωπηρής βραχυπρόθεσμης προσπάθειας ενίσχυσης της οικονομικής ανάπτυξης. Στην πορεία, και συγκεκριμένα την τελευταία δεκαετία, λόγω της επικείμενης διεξαγωγής των Ολυμπιακών Αγώνων και της επιδιωκόμενης αύξησης της ανταγωνιστικότητας, έγινε αναπροσδιορισμός των επιδιωκόμενων στόχων.

Συγκεντρώνοντας περίπου το ένα τρίτο του συνολικού πληθυσμού της χώρας και με συμβολή πάνω από το ένα τρίτο των συνολικών εσόδων της, η Αθήνα, ως Μητροπολιτική Περιοχή, κυριαρχεί του ελληνικού αστικού συστήματος. Παρά την μέχρι τότε έλλειψη ανταγωνιστικότητας της Αθήνας σε ευρωπαϊκή κλίμακα, οι Ολυμπιακοί Αγώνες θεωρήθηκαν ως μια ευκαιρία δημιουργίας μιας νέας πόλης ‘νικητή’ με υποσχόμενο μέλλον μιας και ορίστηκαν από την κυβέρνηση σημαντικές χρηματοδοτήσεις για την υλοποίησή τους. Η ιεράρχηση που αντιπροσωπεύει τις κατηγορίες του προγράμματος αναφέρονται στην συνέχεια.

Πρώτα από όλα ήταν ο στόχος παροχής υποδομών μεταφορών και τηλεπικοινωνιών, όπως για παράδειγμα η κατασκευή υπόγειου σιδηροδρόμου, ο διεθνής αερολιμένας, η Αττική Οδός, ο προαστιακός σιδηρόδρομος και η κατασκευή γραμμών τραμ, ώστε να συνδέεται το κέντρο της πόλης με τις δυτικές παραθαλάσσιες περιοχές του λεκανοπεδίου. Δεύτερος στόχος ήταν η επίτευξη πιο μεγάλης ανταγωνιστικότητας της περιοχής, ως αστική περιοχή ώστε η πόλη να λειτουργεί ως ένας διεθνής προορισμός για τουρισμό όλο το χρόνο. Τέτοια παραδείγματα είναι η ενοποίηση του ιστορικού κέντρου της πόλης, η αναγέννηση των δυτικών παραθαλάσσιων ακτών, και η μετατροπή των ολυμπιακών εγκαταστάσεων σε επιχειρήσεις ή χώρους αναψυχής. Στη χρηματοδότηση συνέβαλε το 3^ο Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης, αλλά σε έργα όπως η Αττική Οδός και ο Διεθνής Αερολιμένας έγινε σύμπραξη ιδιωτικού και δημόσιου τομέα. Συνεπώς, οι Ολυμπιακοί Αγώνες είχαν καταλυτικό ρόλο στην ανακατεύθυνση της πολιτικής του χώρου σχετικά με την προώθηση της αστικής ανταγωνιστικότητας. Οι οικονομικές απολαβές όμως από τα έργα αυτά και η γενικά μακροπρόθεσμη συνεισφορά τους είναι κάτι αμφιλεγόμενο. Οι υποδομές μεταφορών δημιούργησαν νέους συνδετήριους κόμβους σε μέχρι πρότινος περιοχές με πρόβλημα σύνδεσης, επεκτείνοντας με αυτό τον τρόπο τα αστικά όρια και μετασχηματίζοντας γεωγραφικά τη Μητρόπολη. Οι μεγάλες επενδύσεις γενικά σε υποδομές επέφεραν την αλλαγή στις αξίες ακινήτων ιδιαίτερα στην περιοχή των Μεσογείων, δηλαδή ανατολικά της πρωτεύουσας και η οποία αποτελεί την κύρια περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τα Μεσόγεια υπάγονται στο Ρυθμιστικό Σχέδιο της πόλης. Το μέγεθός του είναι εφάμιλλο με την περιοχή της πρωτεύουσας, ενώ παρουσιάζει χαμηλότερα επίπεδα ανάπτυξης. Η περιοχή των Μεσογείων, σύμφωνα με επίσημα έγγραφα σχεδιασμού, χαρακτηρίζεται ως εδαφική περιοχή με πολλά πλεονεκτήματα. Με το Ρυθμιστικό Σχέδιο του 1985, στην περιοχή προτείνεται η ενίσχυση του πρωτογενούς τομέα δραστηριοτήτων, με σημαντική έμφαση στην ανάγκη υιοθέτησης μέτρων για την στήριξη του αγροτικού χαρακτήρα της περιοχής. Ο Υμηττός που επεκτείνεται στα δυτικά, αποτελεί το φυσικό χώρισμα με την πρωτεύουσα. Η περιοχή διατήρησε τον αγροτικό της χαρακτήρα μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '80, μέχρι που ξεκίνησε η σημαντική αύξηση του πληθυσμού. Όμως η περιοχή εξακολουθεί να υστερεί από σημαντικό κέντρο οικονομικής ανάπτυξης. Το οικιστικό πρότυπο αποτελείται από

διάφορες μικρές πόλεις διασκορπισμένες στην περιοχή, αλλά και από μερικά παραθαλάσσια θέρετρα στα ανατολικά, τα οποία συνήθως αναπτύχθηκαν λειτουργώντας ως η δεύτερη κατοικία των Αθηναίων. Διοικητικά, τα Μεσόγεια υποδιαιρούνται σε δεκατρείς δήμους και κοινότητες. Η αλλαγή των Μεσόγειων ξεκίνησε από όταν λήφθηκε η απόφαση κατασκευής του νέου Διεθνούς Αερολιμένα στην περιοχή. Μόνο και μόνο αυτή η απόφαση αναιρούσε τις αρχικές κατευθύνσεις του σχεδιασμού. Η κατασκευή ενός αεροδρομίου στην περιοχή συνεπάγεται αυτόματα περαιτέρω επενδύσεις σε υποδομές, οι οποίες υλοποιήθηκαν άμεσα με την χρηματοδότηση των Ολυμπιακών Αγώνων. Η προσβασιμότητα της περιοχής είναι κάτι που άλλαξε ριζικά εξαιτίας του νέου οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου. Η εικόνα ολοκληρώθηκε με την κατασκευή των δύο μεγάλων ολυμπιακών εγκαταστάσεων (το Κέντρο Ιππασίας και το Κέντρο Σκοποβολής, και τα δύο κοντά στην πόλη του Μαρκόπουλου) αντικαθιστώντας παλαιότερες αγροτικές εκτάσεις γης.

Αναγνωρίζοντας την κοινωνικοοικονομική επίδραση προερχόμενη από τέτοια επενδυτική δραστηριότητα, προτάθηκε μια ολοκληρωμένη χωροταξική μελέτη σχεδιασμού για τα Μεσόγεια (OPERA 1997). Ο οργανισμός προτείνει νέους κανονισμούς σχετικά με τις χρήσεις γης της περιοχής, τις υποδιαιρέσεις της και τα κτήρια. Οι κανονισμοί ίσχυαν μέχρι και τα τέλη του 2003, ένα χρόνο πριν τους Ολυμπιακούς Αγώνες και σχεδόν δύο δεκαετίες από την οριοθέτηση του Ρυθμιστικού Πλάνου της Αθήνας. Στην διάρκεια αυτής της περιόδου, κανένας μηχανισμός δεν έλεγχε την εκτός σχεδίου ανάπτυξη. Για την αξιολόγηση σε ποιο βαθμό η περιοχή μελέτης των Μεσογείων αστικοποιήθηκε έπρεπε να εντοπιστεί και να ποσοτικοποιηθεί η διαφορά των χρήσεων γης, η οποία με τη σειρά της παρέχει πληροφορία για το κατά πόσο οι ρυθμίσεις σχεδιασμού ως προς τη χρήση γης καθοδηγούν πράγματι την διαδικασία ανάπτυξης μιας περιοχής.

Συνοψίζοντας, οι αστικές περιοχές ανήκουν στα πιο δυναμικά συστήματα του πλανήτη. Είναι γεγονός πως σε αυτά κατοικεί περίπου ο μισός πληθυσμός της γης. Η κατανόηση της εξέλιξης τέτοιων περιοχών εξαιτίας της αστικοποίησης είναι σημαντική για τον αστικό σχεδιασμό, για τις περιβαλλοντικές μελέτες και για τη διαχείριση των πόρων. Η χρήση δορυφορικών διαχρονικών και πολυφασματικών απεικονίσεων (κυρίως εικόνων Landsat) είναι αρκετά διευρυμένη για την προτυποποίηση της αύξησης του πληθυσμού στις πόλεις. Το ενδιαφέρον εστιάζεται σε δυο σημεία, αρχικά στην ανίχνευση των αλλαγών στην κάλυψη γης και στην ανάπτυξη προτύπων χρήσεων γης αλλά και πρόβλεψης πληθυσμού σχετιζόμενα με την αστική επέκταση. Λόγω των παραπάνω αλλαγών που έχουν συμβεί τα τελευταία χρόνια στα Μεσόγεια, η μελέτη αλλαγών στις χρήσεις γης, μέσω τηλεπισκοπικών απεικονίσεων για αρκετές χρονιές στην περιοχή αυτή, και η προσπάθεια εξαγωγής προτύπων αποτελούν από μόνα τους μια πρόκληση.

2.2. Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι Εξαγωγής Αλλαγών Χρήσεων Γης

Στην παρούσα εργασία από το σύνολο των μεταβολών που μπορούν να ανιχνευτούν, ενδιαφέρουν οι μεθοδολογίες ανίχνευσης γενικά των αλλαγών χρήσεων γης-κάλυψης γης (LULC change) και της αλλαγής των αστικών περιοχών (urban change). Στο παρακάτω εδάφιο αναλύονται τα γενικά στοιχεία ορισμένων από τις μεθόδους ανίχνευσης.

Μια πολύ σημαντική διευκρίνιση που πρέπει να γίνει στην αρχή της εργασίας είναι η διάκριση μεταξύ ‘χρήσης γης’ και ‘κάλυψης γης’. Ο ορθότερος όρος που πρέπει να χρησιμοποιείται όταν έχει πραγματοποιηθεί ταξινόμηση αποκλειστικά με την άντληση φασματικής πληροφορίας είναι ο δεύτερος όρος και όχι ο πρώτος, που είναι ο επικρατέστερος. Ο όρος της ‘κάλυψης εδάφους’ είναι αυτός που ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα κυρίως επειδή τα δεδομένα προέρχονται από οπτικές/φασματικές ιδιότητες της γης, παρά από πληροφορίες οργανωμένες για το πώς πραγματικά οι άνθρωποι ‘χρησιμοποιούν’ την γη. Και οι δυο όροι όμως είναι αποδεκτοί και χρησιμοποιούνται με την ίδια σημασία στην παρούσα εργασία.

Γενικά, η ανίχνευση μεταβολών περιλαμβάνει τη χρήση διαχρονικών δεδομένων, ώστε να διαχωριστούν περιοχές κάλυψης γης, οι οποίες μεταβάλλονται μεταξύ των ημερομηνιών λήψης των εικόνων [Αργιαλάς, 1999]. Ένας ακόμη γενικός ορισμός χαρακτηρίζει την ανίχνευση αλλαγών ως τη διαδικασία αναγνώρισης διαφορών στην κατάσταση ενός αντικειμένου ή ενός φαινομένου κατά την παρατήρησή του σε διαφορετικές χρονικές στιγμές [Singh, 1989]. Ο έγκαιρος και ακριβής εντοπισμός των αλλαγών στη γήινη επιφάνεια είναι πολύ σημαντικός ώστε να γίνουν κατανοητές οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ανθρώπων και των φυσικών φαινομένων και να ληφθούν συνειδητές αποφάσεις για την διαχείριση πιθανών άσχημων συνθηκών [Lu D. et al., 2004]. Το είδος των αλλαγών που ενδιαφέρουν ανά περίπτωση σχετίζεται είτε με φαινόμενα μικρής διάρκειας, όπως είναι οι πλημμύρες και η χιονοκάλυψη, η εκδήλωση μιας πυρκαγιάς, είτε με πιο μακροχρόνια φαινόμενα, όπως είναι η ανάπτυξη στα όρια των οικισμών αλλά και η ερημοποίηση περιοχών. Για παράδειγμα, ένας ορισμός της αλλαγής στην βλάστηση σε ένα οικοσύστημα θεωρείται η μεταβολή στη σύσταση του εδάφους ως προς την κάλυψη της βλάστησης ή ως η φασματική και χωρική μεταβολή της βλάστησης ως οντότητα στο χρόνο.

Οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις αποτελούν τις βασικές πηγές που χρησιμοποιούνται εκτενώς για ανίχνευση αλλαγών χρήσεων γης, προερχόμενες κυρίως τα τελευταία χρόνια από δορυφόρους όπως οι Landsat, SPOT, AVHRR, IKONOS, Quickbird κλπ. Στις περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές συνθηκών, όπως πχ. σε αυτή των Lu D. et al. [2004], αναγράφεται ότι το ιδανικό είναι τα δεδομένα προς ανίχνευση μεταβολών να έχουν προέλθει από τον ίδιο ή παρόμοιο δέκτη με τα ίδια φασματικά κανάλια και να καταγράφουν τα δεδομένα με την ίδια χωρική διακριτική ικανότητα. Επίσης, οι γεωμετρικές συνθήκες γεωπαρατήρησης πρέπει να είναι όσο το δυνατό οι ίδιες, όπως και ο χρόνος λήψης. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται επετειακές ημερομηνίες ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι εποχιακές διαφορές αλλά και η γωνία λήψης του ηλίου. Για την αποτελεσματική ανίχνευση των μεταβολών απαιτείται, ακόμα, ακριβής χωρική εγγραφή των εικόνων, ή, με άλλα λόγια να υπάρχει κοινή και ακριβής γεωαναφορά σε όλες τις εικόνες. Η ακρίβεια της γεωμετρικής εγγραφής που συνήθως απαιτείται είναι περίπου στο 0.25 με 0.5 του εικονοστοιχείου ή μέχρι και

ένα εικονοστοιχείο. Όταν το σφάλμα της γεωμετρικής ακρίστρωσης είναι μεγαλύτερο από ένα εικονοστοιχείο, τότε είναι φυσικό να προκύψουν πολλά σφάλματα κατά τη σύγκριση των εικόνων.

Οι περισσότερες από τις μεθόδους ανίχνευσης αλλαγών που καταγράφονται μέχρι και το 1989 βασίζονται σε φασματικούς κανόνες και ουσιαστικά γίνεται η εκτίμηση ότι οι αλλαγές στο έδαφος συνεπάγονται και σημαντικές αλλαγές στην τιμή των εικονοστοιχείων της εικόνας. Θεωρείται επίσης πως οι φασματικές αλλαγές στην πλειοψηφία τους οφείλονται στη διαφορά ανακλαστικότητας του εδάφους και όχι σε παρεμβολές από την ατμόσφαιρα ή άλλους παράγοντες [Singh, 1989]. Γενικά, η ανίχνευση αλλαγής ως η χωρική, φασματική και διαχρονική ανάλυση των χαρακτηριστικών των τηλεπισκοπικών δεδομένων πρέπει να αποτελεί μια διαδικασία που να παράγονται στατιστικά που θα υποδείξουν την παρουσία ή την απουσία αλλαγών. Η βασική υπόθεση για την ύπαρξη αλλαγής είναι η διαφορά στην φασματική απόκριση για το ίδιο εικονοστοιχείο σε δύο χρονικές στιγμές με την προϋπόθεση γεωμετρικής διόρθωσης και στις περισσότερες περιπτώσεις της ραδιομετρικής κανονικοποίησης των εικόνων.

Γενικά, μέχρι πριν μερικά χρόνια υπήρχαν τρεις βασικές ομάδες μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών βασιζόμενες την άλγεβρα, στην άμεση ταξινόμηση των εικόνων από διάφορες ημερομηνίες και τέλος της εκ των υστέρων σύγκρισης των μεμονωμένων εικόνων σύγκρισης κάθε ημερομηνίας. Στη δεύτερη περίπτωση υπάγονται οι διαχρονικές μέθοδοι ‘multi-date PCA’, διαδικασία η οποία είναι πολύ χρονοβόρα επειδή χρειάζονται δεδομένα εκπαίδευσης και για τις δυο εικόνες, ονοματολογίες συσσωρεύσεις και διαρκείς έλεγχοι κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης. Η σύγκριση μετά την ταξινόμηση, όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια, είναι μια πιο άμεση μέθοδος, και αν και έχει κατηγορηθεί από πολλούς ερευνητές, αποτελεί την πιο αποτελεσματική μέθοδο στη διαχείριση δεδομένων που έχουν ληφθεί από διαφορετικές συνθήκες, τόσο ατμοσφαιρικές αλλά και ως προς την υγρασία του εδάφους και τη φαινόμενη βλάστηση.

Σύμφωνα πάλι με τους Zhang et al. [2002], η διάκριση των αστικών περιοχών μόνο με φασματικές μεθόδους εμφανίζει σημαντικά μειονεκτήματα, διότι η κάλυψη γης στις αστικές περιοχές εμφανίζει μεγάλη ετερογένεια. Για παράδειγμα, σε αστική περιοχή μπορεί κάποιος να συναντήσει άσφαλτο, τσιμέντο, δέντρα, γρασίδι, υδάτινες επιφάνειες πολλά είδη υλικών σε σκεπές κλπ, με αποτέλεσμα να επικρατεί και φασματική ετερογένεια και να μην είναι δυνατόν να περιγραφεί ως μια ομογενή κατηγορία η ‘αστική περιοχή’. Σημαντικός περιοριστικός παράγοντας είναι οι παρόμοιες φασματικές υπογραφές για αστικές και μη αστικές περιοχές. Οι μεγάλες φασματικές διαφορές μεταξύ των δυο εικόνων, σύμφωνα με τα παραπάνω, δεν συνεπάγονται πάντα πραγματική μετάβαση από μη αστική σε αστική περιοχή. Φυσικά μπορεί να ισχύει και το αντίθετο. Για το λόγο αυτό, εδώ και δύο δεκαετίες γίνεται προσπάθεια εκμετάλλευσης της υψής αλλά και της συναφούς (σχετιζόμενης) χωρικής πληροφορίας κάθε εικονοστοιχείου.

Συχνά, οι αλλαγές αναφέρονται ως τροποποιήσεις και όχι ως πλήρεις μετατροπές της κάλυψης γης. Επίσης, όταν ο χρήστης ενδιαφέρεται να εξάγει τις αλλαγές που παρατηρούνται σε συγκεκριμένες μόνο κατηγορίες μπορεί να απομονώσει περιοχές που δεν σχετίζονται με αυτές (πχ. θάλασσα, σύννεφα). Ανάλογα επίσης με την εποχή που έχουν επιλεγεί οι εικόνες, ορισμένες αλλαγές να μην είναι πραγματικές και να οφείλονται στις εποχικές διακυμάνσεις (πχ. βλάστηση μέσα στο έτος).

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι διάκρισης των μεταβολών, σύμφωνα με πιο πρόσφατη βιβλιογραφία, [Lu D. et al., 2004], όπως είναι η σύγκριση των εικόνων μετά την ταξινόμηση, ο σχηματισμός διαφοράς εικόνων, ο σχηματισμός κύριων συνιστωσών, κ.α. αλλά και πιο σύγχρονων, όπως η ανάλυση φασματικής σύνθεσης, τα νευρωνικά δίκτυα, τα ασαφή σύνολα και η ενσωμάτωση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών ή επιπρόσθετων τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Στην ίδια βιβλιογραφική πηγή καθώς και σε πολλές ακόμα πηγές αναφέρεται πως κάθε αλγόριθμος έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και καμία μέθοδος δεν είναι η βέλτιστη για όλες τις εφαρμογές. Συνήθως, για κάθε περίπτωση αντιστοιχεί και διαφορετικός αλγόριθμος που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Το ποιά μέθοδος τελικά θα επιλεγεί εξαρτάται από τις γνώσεις του χρήστη στις τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών και στην ικανότητά του να χειρίζεται τηλεπισκοπικά δεδομένα, από τα ίδια τα δεδομένα και από τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Μια ακόμα αναφορά πρέπει να γίνει σχετικά με το εξαγόμενο αποτέλεσμα της κάθε μεθόδου. Ανάλογα με την τεχνική που θα εφαρμοστεί, τα αποτελέσματα αλλαγής μπορεί αν είναι δυαδικής μορφής (αλλαγή-μη αλλαγή) ή αναλυτικής μορφής αλλαγών ‘από-προς’. Για την πρώτη περίπτωση, μερικές τέτοιες τεχνικές είναι των διαφορών, των λόγων καναλιών, του δείκτη βλάστησης (πχ. NDVI) και των κύριων συνιστωσών, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η σύγκριση μετά την ταξινόμηση, η τεχνική ανάλυσης διανυσματικών μεταβολών (CVA) και η υβριδική μέθοδος.

Η έρευνα πάνω στους αλγορίθμους αλλαγής χρήσεων γης αποτελεί ένα ανοιχτό θέμα το οποίο συνεχώς παρουσιάζει εξέλιξη και προστίθενται συνεχώς νέες τεχνικές. Στις μέρες μας, οι μέθοδοι γενικά κατανέμονται σε επτά κατηγορίες οι οποίες είναι: η άλγεβρα, ο μετασχηματισμός, η ταξινόμηση, τα πιο προηγμένα μοντέλα, τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, οι οπτικές μέθοδοι και τέλος, άλλες μέθοδοι όπως για παράδειγμα η χρήση βάσης γνώσης. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τέσσερις από τις πιο γνωστές μεθόδους, βασιζόμενοι σε συνδυασμό βιβλιογραφικών αναφορών.

Περιγραφή 1^{ης} μεθόδου

Ο πρώτος τρόπος διάκρισης των μεταβολών μεταξύ δυο εικόνων δύο διαφορετικών ημερομηνιών έγκειται στη διαδικασία της σύγκρισης μετά την διαδικασία της ταξινόμησης και υπάγεται στην ομώνυμη κατηγορία. Οι εικόνες σε αυτή τη μεθοδολογία ταξινομούνται ανεξάρτητα η με την άλλη και στη συνέχεια ταυτίζονται γεωμετρικά ή μπορεί πρώτα να γίνει η γεωμετρική διόρθωση και να ακολουθήσει η ταξινόμηση. Ακόμα, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ένας αλγόριθμος, ώστε να καθορίσει εκείνα τα εικονοστοιχεία, τα οποία έχουν αλλαγές στην ταξινόμησή τους, μεταξύ των δύο ημερομηνιών. Οι μεταβολές μπορούν να εκφραστούν είτε με εξαγωγή στατιστικών στοιχείων είτε με χάρτες μεταβολών. Είναι αυτονόητο ότι η ακρίβεια της μεθόδου έγκειται στην ακρίβεια της κάθε ταξινόμησης και τα όποια σφάλματα στις αρχικές ταξινομήσεις, επαυξάνονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανίχνευσης μεταβολών. Από τη μεθοδολογία αυτή είναι δυνατόν να παραχθεί ένας πλήρης πίνακας αλλαγών, αναδεικνύοντας τη φύση των αλλαγών. Σε πολλές εφαρμογές, αυτή η μεθοδολογία έχει κριθεί ως η πιο ακριβής. Επίσης, το τελικό αποτέλεσμα δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις, τις περιβαλλοντικές διαφορές αλλά και τις διαφορές των αισθητήρων μεταξύ των διαχρονικών εικόνων. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι είναι αρκετά χρονοβόρα και απαιτεί αρκετή εμπειρία από το χρήστη καθώς και ακριβή

δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου. Η τελική ακρίβεια προφανώς σχετίζεται με την ποιότητα του αποτελέσματος κάθε εικόνας [Lu D. et al., 2004]. Η ακρίβεια από την εκ των υστέρων σύγκριση των ταξινομημένων εικόνων πλησιάζει το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού των ακριβειών για κάθε μεμονωμένη ταξινόμηση και μπορεί άρα να λάβει χαμηλή τιμή [Corpin P. et al, 2004].

Η σύγκριση των εικόνων μετά την ταξινόμηση συχνά αναφέρεται και ως ‘delta ταξινόμηση’ [Corpin P. et al, 2004]. Σε αυτή εμπλέκονται θεματικοί χάρτες (αποτελέσματα ταξινόμησης) τα οποία έχουν παραχθεί ανεξάρτητα. Στην συνέχεια ακολουθεί σύγκριση εικονοστοιχείο προς εικονοστοιχείο ή αντικείμενο προς αντικείμενο για ανίχνευση αλλαγής κάλυψης γης. Μέσω επαρκούς κωδικοποίησης των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης, μπορεί να παραχθεί ένας συνολικός πίνακας αλλαγών και οι αλλαγές στις τάξεις μπορούν να γίνουν αντιληπτές από τον χρήστη. Μπορούν επίσης να υπολογιστούν οι ρυθμοί μετάβασης μεταξύ των κλάσεων. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται κυρίως για απότομες αλλαγές και λιγότερο για προοδευτικές τροποποιήσεις. Επίσης, σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, η μέθοδος αυτή είναι καταλληλότερη για ανίχνευση φαινομένων μη ετήσιας μεταβλητότητας.

Περιγραφή 2^{ης} μεθόδου

Ένας άλλος τρόπος ανίχνευσης μεταβολών με χρήση φασματικής αναγνώρισης προτύπων είναι η ταυτόχρονη ταξινόμηση διαχρονικών δεδομένων. Πρόκειται για μια εναλλακτική προσέγγιση όπου, εκτελείται μόνο μια ταξινόμηση (επιβλεπόμενη ή μη επιβλεπόμενη) σε μια σύνθετη εικόνα για δύο ημερομηνίες και υπάγεται επίσης στην κατηγορία της ταξινόμησης. Η επιτυχία της συγκεκριμένης μεθοδολογίας έγκειται στη φασματική διαφοροποίηση των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης που παρατηρούνται μεταβολές με εκείνες που δεν παρατηρούνται μεταβολές. Μειονέκτημα της μεθόδου θεωρείται πως όταν συμμετέχουν όλα τα κανάλια κάθε εικόνας, τότε στη σύνθετη εικόνα που δημιουργείται, υπάρχει αρκετή πλεονάζουσα πληροφορία. Άλλες μέθοδοι που υπάγονται στην κατηγορία της ταξινόμησης είναι η υβριδική μέθοδος η οποία συνδυάζει τα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή ορίων κατωφλίων και της ταξινόμησης, ο αλγόριθμος ‘Expectation-Maximization’, ο αλγόριθμος μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και ο αλγόριθμος ‘ANN’.

Περιγραφή 3^{ης} μεθόδου

Μια διαφορετική προσέγγιση για την ανίχνευση μεταβολών είναι η διαχρονική διαφορά εικόνων. Σε αυτή τη μεθοδολογία, οι ψηφιακές τιμές φωτεινότητας της μιας ημερομηνίας απλώς αφαιρούνται από τις αντίστοιχες τιμές της άλλης ημερομηνίας. Όταν οι διαφορές στις περιοχές θα είναι μικρές (κοντά στο μηδέν) συνεπάγεται πως δεν υπάρχει μεταβολή, ενώ όταν η διαφορά επιστρέφει μεγάλες αρνητικές ή θετικές τιμές, τότε υπάρχει μεταβολή. Προφανώς για να είναι αξιόπιστη η παραπάνω μεθοδολογία πρέπει οι εικόνες να είναι ραδιομετρικά διορθωμένες. Η τεχνική αυτή υπάγεται στις αλγεβρικές μεθοδολογίες ανίχνευσης αλλαγών. Μια εννοιολογική προέκταση της μεθόδου αυτής είναι η ανάλυση διανύσματος των φασματικών μεταβολών (CVA) και είναι η μοναδική από τις αλγεβρικές μεθόδους που μπορούν να δώσουν πίνακα πληροφοριών για τις αλλαγές χρήσεων γης. Αναφέρεται επίσης πως όλες οι αλγεβρικές μέθοδοι απαιτούν εφαρμογή κατάλληλων οριακών τιμών ανίχνευσης (κατωφλίων), δηλαδή τιμές που να διαφοροποιούν την αλλαγή από την μη αλλαγή κάλυψης γης ενός εικονοστοιχείου. Για την βελτίωση της υποκειμενικότητας των τιμών των κατωφλίων εισήχθηκε στην πορεία η έννοια της ασαφούς ζώνης και των συναρτήσεων συμμετοχής.

Περιγραφή 4^{ης} μεθόδου

Η μέθοδος των διαχρονικών εικόνων-λόγων, η οποία περιλαμβάνει τον υπολογισμό λόγων μεταξύ των καναλιών των δύο ημερομηνιών αποτελεί την τέταρτη μέθοδο που αναφέρεται αναλυτικά. Όταν δεν υπάρχουν μεταβολές σε μια περιοχή, ο λόγος τείνει στη μονάδα, ενώ σε περιοχές με σημαντικές αλλαγές, θα υπάρχουν πολύ υψηλότερες ή πολύ μικρότερες τιμές. Ένα βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής, είναι ότι τείνει να κανονικοποιήσει τα δεδομένα για μεταβολές που οφείλονται σε εξωγενείς παράγοντες, όπως η γωνία ύψους του ηλίου, οι σκιές κλπ. Με άλλα λόγια, αν ακολουθηθεί αυτή η διαδικασία, οι επιδράσεις των μη ραδιομετρικά διορθωμένων εικόνων τείνουν να μειωθούν. Σε αυτό το σημείο, αξίζει να αναφερθεί πως ο δείκτης βλάστησης NDVI, ο οποίος αποτελεί ουσιαστικά ένα λόγο διαφοράς καναλιών, αποδείχθηκε ο καλύτερος δείκτης ανάδειξης διαφοράς στη βλάστηση ανάμεσα σε επτά άλλους δείκτες βλάστησης που εφαρμόστηκαν σε τρεις διαφορετικές ημερομηνίες πολυφασματικής απεικόνισης [Lyon et al., 1998].

Για τις δύο τελευταίες μεθόδους, πρέπει οπωσδήποτε ο χρήστης να βρει ποιο είναι το κρίσιμο κατώφλι αλλαγής-μη αλλαγής για τα δεδομένα της περιοχής μελέτης. Συνήθως η επιλογή κατωφλίου γίνεται μέσω ιστογραμμάτων και επιλογής κατάλληλης διασποράς από το μέσο της κατανομής.

Όπως προαναφέρθηκε, για τις μεθόδους διάκρισης μεταβολής πλην της πρώτης, είναι συχνά επιθυμητό να μην χρησιμοποιηθούν τα πρωτογενή ψηφιακά δεδομένα, αλλά να προηγηθεί μια διόρθωση λόγω επιδράσεων φωτισμού της ατμόσφαιρας, καθώς επίσης και να μετασχηματιστούν τα δεδομένα των εικόνων σε χρήσιμες φυσικές ποσότητες, όπως είναι η ακτινοβολία ή η ανακλαστικότητα. Επίσης, αντί να χρησιμοποιηθούν όλα τα κανάλια, είναι δυνατόν να παραχθούν εικόνες με τη χρήση χωρικών φίλτρων ή πολυφασματικών μετασχηματισμών, όπως είναι η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (PCA) ή ο μετασχηματισμός X^2 [Lu D. et al., 2004], περιορίζοντας τα πλεονασματικά δεδομένα.

Επίσης, είναι σύνηθες, για τη σύγκριση εικόνων δύο ημερομηνιών, να χρησιμοποιούνται μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης. Σε αυτή την προσέγγιση, εφαρμόζεται ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης ώστε να προβλέπονται τα δεδομένα της δεύτερης ημερομηνίας με βάση εκείνα της πρώτης ημερομηνίας. Είναι προφανές ότι και σε αυτήν την περίπτωση πρέπει ο χρήστης να ορίσει ένα κατώφλι για την ανίχνευση των μεταβολών που έχουν νόημα για τις κατηγορίες κάλυψης γης μεταξύ των εικόνων των δύο ημερομηνιών [Αργιαλάς, 1999]. Πολύ συχνά επίσης, για τη βελτίωση της ακρίβειας εφαρμόζονται συνδυασμοί τεχνικών ανίχνευσης αλλαγής (πχ. διαφορών μεταξύ των αντίστοιχων καναλιών δύο εικόνων, στη συνέχεια δημιουργία PCA και τέλος εφαρμογή κανόνων ασαφούς λογικής για να συνδυαστούν οι πληροφορίες κάθε εικόνας PCA σε μια μοναδική εικόνα).

Αν και είναι προτιμότερο η συγχώνευση των δεδομένων να γίνεται σε εικόνες προερχόμενες από ίδιους δέκτες ή από δέκτες με παρόμοια χαρακτηριστικά, η διαδικασία συγχώνευσης εικόνων από πολλαπλούς δέκτες συχνά έχει ως αποτέλεσμα ένα έγχρωμο σύνθετο προϊόν, το οποίο προσφέρει μεγαλύτερη δυνατότητα για ερμηνεία από ένα προϊόν προερχόμενο από έναν μόνο δέκτη [Coppin P. et al, 2004]. Ένα παράδειγμα πάνω σε αυτό είναι η ενσωμάτωση ψηφιακής ορθοφωτογραφίας υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας στα δεδομένα. Πολύ συχνός είναι επίσης ο συνδυασμός πολυφασματικών δεδομένων και εικόνων ραντάρ. Τέτοιοι συνδυασμοί

λαμβάνουν υπόψη τους τα πλεονεκτήματα της φασματικής διακριτικής ικανότητας των πολυφασματικών σαρωτών που λειτουργούν στα οπτικά μήκη κύματος αλλά και της ραδιομετρικής ικανότητας και των χαρακτηριστικών των εικόνων ραντάρ.

Πολύ συχνό είναι επίσης το φαινόμενο συγχώνευσης δεδομένων εικόνων με βοηθητικά δεδομένα όπως είναι τα υψομετρικά δεδομένα, αξίες γης ή ακόμα και εδαφικές κατηγορίες και αεροφωτογραφίες, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι αυτά τα πρόσθετα δεδομένα να έχουν ακριβή γεωαναφορά ώστε να μπορούν να συσχετιστούν ορθώς με τα δεδομένα των εικόνων σε μια κοινή γεωγραφική βάση. Η συγχώνευση μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο στο πλαίσιο ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών, όσο και σε λειτουργικό πρόγραμμα Τηλεπισκόπησης όπως έγινε και στην παρούσα εργασία κατά την ενσωμάτωση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. Η συγχώνευση της τοπογραφικής πληροφορίας είναι πολύ σημαντική στη διάκριση κατηγοριών με παρόμοιες φασματικές υπογραφές, όπου, με την αξιοποίηση ορισμένων τοπογραφικών ιδιοτήτων, όπως είναι τα υψομετρικά εύρη, οι κλίσεις και οι προσανατολισμοί, επιτυγχάνεται ορθότερη ταξινόμηση των δεδομένων. Λειτουργώντας άρα ως ένα επιπρόσθετο κανάλι δεδομένων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε επίπεδο μετά-ταξινόμησης για περαιτέρω διαχωρισμό φασματικά όμοιων τάξεων σε μία εικόνα. Ωστόσο, οι διαφορετικές πηγές δεδομένων συνήθως σχετίζονται με διαφορετικές ακρίβειες δεδομένων και συχνά επηρεάζεται το αποτέλεσμα της ανίχνευσης της αλλαγής.

Οι τεχνικές αξιολόγησης έγιναν μέσω της παραγωγής Πίνακα Σύγκυσης για κάθε μεμονωμένη δορυφορική απεικόνιση. Αν και αναπτύσσεται για κάθε εικόνα ξεχωριστά, είναι χρήσιμος και για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ανίχνευσης αλλαγής. Έχουν αναπτυχθεί κι άλλες μέθοδοι ανάλυσης της ακρίβειας ανίχνευσης αλλαγών, όπως για παράδειγμα ‘οι καμπύλες αξιολόγησης της ακρίβειας’ από τους Morissette και Khorram [2000], αλλά και τον Lowell [2001], ο οποίος δημιούργησε μια μεθοδολογία αξιολόγησης αλλαγής στους χάρτες βασιζόμενη στο εμβადόν. Τέλος, οι Binging et al. [1999] επικεντρώθηκαν στους παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια ανίχνευσης αλλαγών κάλυψης γης και παρουσιάζουν έναν τρόπο επιλογής δειγμάτων για την αποτελεσματική εκτίμηση των στοιχείων του πίνακα καθώς επίσης κάνουν συστάσεις για την αξιολόγηση της ακρίβειας της ανίχνευσης αλλαγών. Η επιλογή δειγμάτων εκεί έγινε με γεωγραφική επιλογή σε πολλαπλά επίπεδα τυχαίων δειγμάτων μεγέθους 3x3 εικονοστοιχεία. Γενικά, οι αλληλοσυσχετίσεις της χωρικής ανάλυσης του δέκτη, της χωρικής δομής, του περιβάλλοντος που μελετάται και της φύσης της πληροφορίας που ερευνάται σε κάθε διαδικασία επεξεργασίας εικόνων αποτελούν συντελεστές υψηλής σημασίας. Αυτοί οι τρεις συντελεστές, καθώς και οι συγκεκριμένες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να εξάγουν πληροφορίες από ψηφιακές απεικονίσεις, αλληλεπιδρούν σταθερά μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη, όταν επιλέγεται η κατάλληλη χωρική διακριτική ικανότητα και οι τεχνικές ανάλυσης για κάθε δεδομένη περίπτωση και εφαρμογή.

Συμπερασματικά, από τηλεπισκοπική άποψη, οι τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών χρήσεων γης πρέπει να παρέχουν τις εξής πληροφορίες [Lu D. et al., 2004]: (1) περιοχή της αλλαγής και ρυθμό αλλαγής, (2) χωρική κατανομή των αλλαγών, (3) την πορεία της αλλαγής των τύπων κάλυψης γης, (4) αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Για την εφαρμογή μιας μεθοδολογίας αλλαγής χρήσεων γης τρία είναι τα βασικά βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν: (1) προετοιμασία των εικόνων

που περιλαμβάνει γεωμετρική διόρθωση, ραδιομετρική-ατμοσφαιρική διόρθωση (και τοπογραφική διόρθωση αν η περιοχή είναι ορεινή), (2) επιλογή των κατάλληλων τεχνικών για την εφαρμογή της ανάλυσης αλλαγών, και (3) αξιολόγηση της ακρίβειας. Η αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων αλλαγής χρήσεων γης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ακριβής γεωμετρική διόρθωση σε όλες τις εικόνες, η βαθμονόμηση και η κανονικοποίηση των εικόνων, η διαθεσιμότητα ποιοτικών δεδομένων ελέγχου, η πολυπλοκότητα της περιοχής μελέτης, η επιλεγμένη μέθοδος ανίχνευσης αλλαγών, η εμπειρία του χρήστη, η εξοικείωση με την περιοχή μελέτης, και τέλος, οι περιορισμοί σε χρόνο και κόστος.

Αξίζει να αναφερθεί ότι και η τοπογραφική διόρθωση βοηθάει σημαντικά στο αποτέλεσμα μιας ταξινόμησης διότι απομακρύνεται ο διαφορικός φωτισμός λόγω αναγλύφου που προκαλεί σημαντική διαφοροποίηση στις φασματικές αποκρίσεις των εκλαμβανομένων ως ομογενών ειδών κάλυψης γης [Civco, 1989]. Η ραδιομετρική κανονικοποίηση είναι αυτή που στη συνέχεια απομακρύνει τις ραδιομετρικές διαφορές μεταξύ των διαχρονικών εικόνων οι οποίες δεν οφείλονται σε παράγοντες του εδάφους. Η συνηθέστερη μέθοδος ραδιομετρικής διόρθωσης είναι η γραμμική παλινδρόμηση, κανάλι προς κανάλι, χρησιμοποιώντας μη μεταβλητούς στο χρόνο στόχους για αναφορά. Τα δείγματα, που είναι ένα εικονοστοχείο κάθε φορά, πρέπει να ακολουθούν και στατιστικά κριτήρια απόφασης για το μέγεθος του δείγματος και για την επιλογή κατάλληλων καναλιών για τον εντοπισμό τους [Heo και Fitzhuch, 2000].

Συνεπώς, πρέπει οι αλλαγές της ψηφιακής τιμής φωτεινότητας ή της τοπικής υψής κατά τη σύγκριση χωρικής αναπαράστασης δύο σημείων να διαχωρίζονται από τις αλλαγές που προήλθαν εξαιτίας των ατμοσφαιρικών συνθηκών, τις γωνίες φωτισμού και της υγρασίας του εδάφους [Deer, 1995.]. Σύμφωνα πάλι με τη βιβλιογραφία, η πληροφορία που αντλείται μέσω της υψής πρέπει να χρησιμοποιείται πάντα σε συνδυασμό με φασματική πληροφορία. Το αποτέλεσμα της χρήσης και των δύο πληροφοριών είναι καλύτερο μιας και λειτουργούν συμπληρωματικά [He και Wang, 1990].

Η ψηφιακή ανίχνευση αλλαγών συμπεριλαμβάνει την ποσοτικοποίηση των εποχιακών φαινομένων από διαχρονικές εικόνες οι οποίες είναι ως επί το πλείστον δορυφορικές πολυφασματικές απεικονίσεις. Γενικά, η επιστημονική βιβλιογραφία δείχνει πως η ψηφιακή ανίχνευση αλλαγών είναι ένα δύσκολο πρόβλημα προς επίλυση [Corrin P. et al., 2004], και η φωτοερμηνεία αεροφωτογραφιών μπορεί να οδηγήσει σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, αλλά η υποκειμενικότητα οδηγεί σε διαφορετικά αποτελέσματα. Ένα άλλο βασικό μειονέκτημα της φωτοερμηνείας είναι η μη εκμετάλλευση του δυναμικού εύρους της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μιας δορυφορικής εικόνας. Οι ερευνητές επίσης δεν ενδιαφέρονται μόνο για τις αλλαγές σε ένα ζεύγος εικόνων, αλλά συχνά για την πορεία εξέλιξης μιας περιοχής μέσω πολλών εικόνων, όπου αναζητούνται κατευθύνσεις αλλαγών. Η τελευταία περίπτωση αποτελεί αναζήτηση διαχρονικής πορείας της μεταβολής και απαιτεί τη σύγκριση διαχρονικών καμπυλών που έχουν σχηματιστεί (τροχιές σε σχέση με το χρόνο ή πιο απλά προφίλ χρόνου) για διάφορους δείκτες σε διαδοχή εποχών ή και χρόνων. Όταν η τροχιά αποκλίνει από το κανονικό για κάποιο χρονικό διάστημα, τότε υφίσταται αλλαγή η οποία μπορεί να είναι είτε εποχική είτε όχι, ανάλογα με το μεσοδιάστημα που υπάρχει μεταξύ των απεικονίσεων.

Σε ότι έχει να κάνει με την απευθείας ψηφιακή ανίχνευση αλλαγών, σύμφωνα με τους Coppin P. et al. [2004], πρέπει να συνδυαστεί τόσο αλγόριθμος εξαγωγής (δηλαδή αλγόριθμος ανίχνευσης) και αλγόριθμος διαχωρισμού και ονοματολογίας (ρουτίνες αλλαγής των ταξινομήσεων). Οι στατιστικοί ή και οι χωρικοί κανόνες απόφασης που προέρχονται από ευρετική κατανόηση μιας αλλαγής συχνά αποτελούν τη βασική εξάσκηση διαχωρισμού και ονοματολογίας. Αυτοί οι κανόνες μπορούν να εφαρμοστούν ανεξάρτητα από τους αλγόριθμους που παράγουν τα δεδομένα που εμφανίζουν μεταβολή. Οι αλγόριθμοι ανίχνευσης μεταβολής χωρίζονται σε δυο κατηγορίες οι οποίες διαφέρουν σε πολυπλοκότητα. Ο πρώτος αναγνωρίζει τις κατηγορίες με (στρωματοποιημένες) μεθόδους μέτρησης αλλαγών και ο δεύτερος με τη βοήθεια προσεγγίσεων ταξινόμησης. Ο πρώτος τρόπος έγινε προσπάθεια να απλοποιηθεί μέσω τεχνικών ενίσχυσης που ενσωματώνουν μαθηματικούς συνδυασμούς διαχρονικών εικόνων, οι οποίες όταν απεικονίζονται ως μια σύνθετη εικόνα, οι αλλαγές αναπαριστώνται με μοναδικά χρώματα.

Ένας τρόπος απεικόνισης του αποτελέσματος όταν σχετίζονται περισσότερες από δύο διαχρονικές εικόνες παρουσιάστηκε από τους Cohen et al. [1998] μέσω σύγκρισης δύο μεθόδων, της ένωσης και της ταυτόχρονης διαφοράς των εικόνων. Η πρώτη μέθοδος βασίστηκε σε μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, η οποία πραγματοποιήθηκε πέντε φορές, με πέντε διαδοχικά ζεύγη Landsat εικόνων μεταξύ του 1972 και του 1993 και έπειτα συνενώθηκαν τα αποτελέσματα των πέντε ενδιάμεσων χρονικών διαστημάτων σε έναν ενιαίο χάρτη αλλαγών. Η δεύτερη μέθοδος περιλάμβανε μια και μόνο μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση από ένα σύνολο διαφορών των εικόνων. Και οι δύο μέθοδοι έδωσαν συγκρίσιμα αποτελέσματα, με τη δεύτερη όμως να είναι αισθητά πιο αποδοτική για εφαρμογή.

Ως προς τις προοπτικές εξέλιξης των παραπάνω μεθοδολογιών, έγκειται να υλοποιηθούν μέσω εφαρμογής τεχνητής νοημοσύνης ή μέσω έμπειρων συστημάτων βασιζόμενα σε βάση γνώσης. Εν συντομία, μπορούν να παρέχουν τρόπους ενσωμάτωσης επιπρόσθετων χαρακτηριστικών που θα έχουν ως αποτέλεσμα να ξεπεραστούν σημαντικές δυσκολίες των παραδοσιακών ταξινομητών [Coppin P. et al., 2004]. Συνήθως οι νέες αυτές μέθοδοι εκμεταλλεύονται την υπάρχουσα γνώση κάποιων χαρακτηριστικών και στην πορεία ενισχύουν και καθοδηγούν την ταξινόμηση με εφαρμογή κυρίως χωρικής ανάλυσης. Τα τελευταία χρόνια τα νευρωνικά δίκτυα και οι ταξινομητές με δενδρική δομή κερδίζουν έδαφος ως μια εναλλακτική της κλασσικής ταξινόμησης με τη μέγιστη πιθανοφάνεια ως αλγόριθμο.

Η ανάλυση της βιβλιογραφίας παρέχει επαρκείς αποδείξεις ώστε να υποστηρίξει το συμπέρασμα ότι οι διαχρονικές δορυφορικές απεικονίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς για την ανίχνευση αλλαγών στα οικοσυστήματα και γενικότερα στην γήινη επιφάνεια. Οι ερευνητικές ομάδες τηλεπισκόπησης βρίσκονται μπροστά στην πρόκληση ανάπτυξης προηγμένων μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών οι οποίες θα εστιάζουν στο πώς μπορούν να συνδυαστούν εφαρμογές και τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών, όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι Collins και Woodcock το 1996.

Στην παρούσα εργασία, ως προς τηλεπισκοπικό κομμάτι, στόχος είναι η παρακολούθηση αλλαγών για όσο των δυνατών περισσότερων χρήσεων/καλύψεων γης, όμως με βασικότερη κατηγορία αυτή των αστικών περιοχών. Για το λόγο αυτό, η επιλογή, ως δεδομένα προς επεξεργασία, πέντε δορυφορικών εικόνων από το 1984

μέχρι και το 2010, θεωρείται επαρκής. Η μέθοδος ανίχνευσης των μεταβολών επιλέγεται να είναι η πρώτη, ώστε να περιοριστούν οι επιδράσεις της ραδιομετρίας κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Αν βασικός στόχος ήταν η ερμηνεία των γεωργικών καλλιεργειών, τότε θα ήταν απαραίτητο να γίνει συγχώνευση διαχρονικών δεδομένων. Δηλαδή αφενός μεν, να υπάρχουν εικόνες από την αρχή και το τέλος της περιόδου ανάπτυξης εντός ενός έτους, και αφετέρου να γίνει ο συνδυασμός κατάλληλων καναλιών για την παραγωγή έγχρωμων σύνθετων από τις δύο ημερομηνίες για καλύτερη φωτοερμηνεία και ταξινόμηση.

2.3. Εφαρμογές με Βασική Μονάδα Χωρικής Ανάλυσης το Εικονοστοιχείο

Στο εδάφιο αυτό θα γίνει αναφορά σε ορισμένες έρευνες που εφαρμόστηκε ανίχνευση μεταβολών με βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο και θα παρουσιαστεί συνοπτικά η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε περίπτωση. Μερικές από τις έρευνες αυτές επηρέασαν και τις διαδικασίες που ακολουθούνται στην παρούσα έρευνα σε ότι έχει να κάνει με τις εφαρμογές ανάλυσης ανά εικονοστοιχείο.

2.3.1. Γενικές εφαρμογές

Η διερεύνηση της ανίχνευσης αλλαγών στις χρήσεις γης ξεκίνησε πριν από αρκετά χρόνια. Το 1977 αναπτύχθηκαν από τους Angelici et.al. οι πρώτες τεχνικές για την ανίχνευση αλλαγών χρήσεων γης με τη χρήση εικόνων Landsat, όπου οδήγησαν στην αποκάλυψη της φύσης της αλλαγής αλλά και σε αριθμητικά αποτελέσματα εκτάσεων χρήσης γης. Οι έρευνες, εκείνα τα χρόνια στράφηκαν κυρίως για την εύρεση αλλαγών στη βλάστηση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι των Allum και Dreisinger, το 1987, οι οποίοι χρησιμοποίησαν εικόνες Landsat από το 1973 και το 1983 και δημιούργησαν χάρτες μεταβολής της βλάστησης με μεθοδολογία που ενδείκνυται για την ανάδειξη απότομων και όχι σταδιακών αλλαγών.

Πολλές είναι οι περιπτώσεις όπου για το καλύτερο αποτέλεσμα ανίχνευσης, έχουν συνδυαστεί μερικές μέθοδοι. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι Li και Yeh το 1998, για την ανάδειξη αλλαγής αστικών περιοχών, εφάρμοσαν συνδυαστική μεθοδολογία. Αρχικά σχημάτισαν κύριες συνιστώσες διαχρονικών δεδομένων και στη συνέχεια επιβλεπόμενες ταξινομήσεις με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Σύμφωνα με τον Foody [2000], οι τεχνικές της σύγκρισης μετά την ταξινόμηση συχνά υποτιμούν τις περιοχές όπου έχει γίνει αλλαγή κάλυψης γης, αλλά όταν ανιχνεύεται το μέγεθος της αλλαγής είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό. Οι Yang και Lo το 2002 χρησιμοποίησαν την προσέγγιση της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, ενώ στη συνέχεια πραγματοποίησαν αναταξινόμηση βασισμένη σε δεδομένα Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και έπειτα σύγκριση της ταξινόμησης με επίθεση δεδομένων σε περιβάλλον ΣΓΠ, ώστε να καταγραφεί η δυναμική εξέλιξη των αστικών περιοχών στην Atlanta της Πολιτείας Georgia. Η εφαρμογή Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών λαμβάνει χώρα σε πολλές περιπτώσεις ανίχνευσης αλλαγών κυρίως σε αστικές περιοχές. Ίσως αυτό συμβαίνει επειδή οι παραδοσιακές μέθοδοι παρουσιάζουν δυσκολία ανίχνευσης αλλαγών εξαιτίας της πολυπλοκότητας μιας εικόνας στις περιοχές αυτές, ενώ αντίθετα τα Συστήματα Γεωγραφικών

Πληροφοριών είναι εφοδιασμένα με εργαλεία και συναρτήσεις κατάλληλες για το συνδυασμό δεδομένων από διαφορετικές πηγές. Μια από τις πρώτες μελέτες για τη χρήση και εφαρμογή βάσης γνώσης στην ανίχνευση αλλαγών κάλυψης γης σε αστικές περιοχές έγινε από τον Wang το 1993.

Ένα ακόμη παράδειγμα είναι ο συνδυασμός φασματικής πληροφορίας από τα κανάλια του Landsat εικόνων του 1984 και του 1997, στην περιοχή της Κίνας, με την πυκνότητα των δρόμων [Zhang et al., 2002]. Η πυκνότητα των δρόμων ορίζεται ως η οικιστική πληροφορία, και για κάθε εικόνα υπολογίζεται με την ανάλυση του προφίλ των κατευθύνσεων των κλίσεων (GDPA) και στη συνέχεια ενσωματώνεται στη φασματική πληροφορία ως επιπλέον κανάλι. Δημιουργήθηκε στη συνέχεια η φασματική-οικιστική ταξινόμηση κάθε εικόνας και η εικόνα διαφοράς τους συγκρίθηκε με την ανίχνευση αλλαγών με χρήση μόνο φασματικής πληροφορίας. Επίσης, οι δύο εικόνες που προήλθαν από τη φασματική και δομική μεμονωμένη ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας συγκρίθηκαν εκ τω υστέρων και χωρίς το σχηματισμό διαφοράς. Με τη χρήση και της επιπλέον πληροφορίας στην ταξινόμηση βελτιώθηκε το αποτέλεσμα κάθε μεμονωμένης ταξινόμησης και κατά συνέπεια το αποτέλεσμα της ανίχνευσης αλλαγών.

Όταν στη διαφορά των εικόνων ήταν ενσωματωμένη η οδική πληροφορία, ανιχνεύτηκαν αλλαγές που δεν ήταν δυνατό να γίνουν αντιληπτές με εκμετάλλευση μόνο των φασματικών χαρακτηριστικών των εικόνων. Πριν τις συγκρίσεις σε κάθε εικόνα έγινε ομαδοποίηση των κατηγοριών που κατέληξε στο γενικό διαχωρισμό - αστικό – μη αστικό και η αποδεκτή αλλαγή ήταν μόνο η μετάβαση από το μη αστικό στο αστικό. Επειδή η ανάλυση των εικόνων δεν επιτρέπει την αμιγή ανίχνευση δρόμων, έγινε αναδόμηση των τιμών φωτεινότητας με νέα ανάλυση στα 15 m, αλλά το αποτέλεσμα της διαδικασίας μετατράπηκε πάλι σε εικόνα ανάλυσης 30 m. Αναφέρεται ότι η ταξινόμηση και η σύγκριση των εικόνων έγινε αφού είχε προηγηθεί γεωμετρική διόρθωση των εικόνων με πολυώνυμο μετασχηματισμού τρίτου βαθμού και σχετική ραδιομετρική κανονικοποίηση εξαιτίας της έλλειψης πληροφορίας των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Η αξιολόγηση των ταξινομήσεων και των αποτελεσμάτων ανίχνευσης αλλαγών έγινε ποσοτικά ύστερα από τη συλλογή δεδομένων ελέγχου και το σχηματισμό πινάκων σύγχυσης και σε όλες τις περιπτώσεις τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα με τη συμμετοχή του επιπλέον μη φασματικού καναλιού. Συγκριτικά με τις δύο μεθόδους, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μετά την ταξινόμηση σύγκριση των εικόνων είναι πιο αξιόπιστη.

Υπάρχουν και μεθοδολογίες ανίχνευσης αποκλειστικά χρησιμοποιώντας μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όπου γίνονται συσσωρεύσεις σε δύο φάσεις [Hame et al., 1998]. Σε πρώτο επίπεδο γίνεται η μη επιβλεπόμενη για κάθε εικόνα χωριστά και στη συνέχεια, στις υπάρχουσες κλάσεις της πρώτης εικόνας, γίνεται εκ νέου ταξινόμηση της δεύτερης εικόνας δημιουργώντας νέες συσσωρεύσεις. Το μέγεθος και οι τύποι της αλλαγής αποκτώνται συγκρίνοντας τις συσσωρεύσεις της πρώτης εικόνας με τις συσσωρεύσεις της δεύτερης. Η εφαρμογή που έγινε σε εικόνες Landsat έδειξε ότι μπορούσε να γίνει η ανίχνευσης αλλαγών κυρίως στη βλάστηση.

Μια ακόμα σχετική έρευνα ήταν του Zhao, [2004], στην οποία, μέσα από ένα σύνολο πειραματικών δεδομένων, παράγονται οι θεματικοί χάρτες κάλυψης γης για να διαχωριστούν οι περιοχές σε τρεις βασικές κατηγορίες (βλάστηση, αδιαπέρατες επιφάνειες, έδαφος) και στη συνέχεια γίνεται συσχετισμός και ενσωμάτωση δημογραφικών δεδομένων με τηλεπισκοπικά δεδομένα σε επίπεδο αστικού

σχεδιασμού. Γενικά, ως αδιαπέρατη θεωρείται μια επιφάνεια καλυμμένη από ανθρωπογενή υλικά τα οποία δεν επιτρέπουν την διείσδυση νερού και σχετίζονται με ανθρωπογενείς δραστηριότητες μέσω κατασκευής κτηρίων και οδικών υποδομών [Stonecker, 2001]. Η σύνδεση των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, ώστε να μοντελοποιηθεί η πληθυσμιακή ανάπτυξη από το 1996 έως το 2001 για την πόλη Mississauga στο Ontario. Τα βασικά ευρήματα της έρευνας έδειξαν ότι προστέθηκαν 81.6 km² αστικής περιοχής στην πόλη ενδιαφέροντος από το 1985 έως το 2002, περιοχή που αντιστοιχεί σε 25.5% επέκταση. Το διάστημα από το 1999 μέχρι το 2002, η αύξηση ήταν 6.5%, γεγονός που οδηγεί σε ένα μέσο ρυθμό ανάπτυξης 7km² ανά χρόνο. Τα προηγούμενα δεκατέσσερα χρόνια (1985-1999) δείχνουν αύξηση της τάξης του 19%, που αντιστοιχεί σε μέσο ρυθμό ανάπτυξης 4.3km² ανά χρόνο. Η έρευνα επίσης έδειξε πως υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ του πληθυσμού και της αστικής περιοχής ως έκταση.

Στην έρευνα των Yeh και Li [2001], όπου έγινε προσπάθεια να προσδιοριστεί και να μετρηθεί η οικιστική εξάπλωση σε περιοχή με υψηλό ρυθμό ανάπτυξης πληθυσμού, χρησιμοποιήθηκε ο όρος της εντροπίας. Ο υπολογισμός των αλλαγών είναι ιδιαίτερα κρίσιμος για τις εκάστοτε κυβερνήσεις και για τους μελετητές όπου επιθυμούν έντονα την όσο το δυνατόν πιο ενημερωμένη πληροφορία λόγους τόσο σχεδιασμού όσο και διαχείρισης. Στην παρούσα εφαρμογή η εντροπία εφαρμόστηκε σε τηλεπισκοπικά δεδομένα σε συνεργασία με Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Το πλεονέκτημα της εντροπίας είναι η ευκολία ενσωμάτωσής της στα ΣΓΠ. Ο υπολογισμός της εντροπίας βασίζεται σε δύο γεωγραφικούς παράγοντες, τις αποστάσεις από τα κέντρα των πόλεων και από τους δρόμους ώστε να καταγραφούν και να φανερωθούν φασματικά πρότυπα αστικής εξάπλωσης. Η εντροπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να διαφοροποιήσει πολλά είδη προτύπων αστικής ανάπτυξης. Η εφαρμογή της μεθόδου σε περιοχή της Κίνας με έντονα αυξανόμενο πληθυσμό, επέδειξε ότι η εντροπία αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για ποσοτικούς υπολογισμούς τέτοιων αλλαγών, καθώς αναγνωρίζει τις χωρικές διαφοροποιήσεις και τις χρονικές αλλαγές των προτύπων οικιστικής εξάπλωσης.

Οι ερευνητές Frazier και Kockelman [2004,2005], στο πλαίσιο δημιουργίας οικονομετρικών προτύπων με τη βοήθεια τηλεπισκοπικών δεδομένων, χρησιμοποίησαν τέσσερις δορυφορικές εικόνες προερχόμενες από τους δορυφόρους Landsat 4, 5 και 7 στην περιοχή Austin του Texas, οι οποίες ελήφθησαν το 1983, το 1991 το 1997 και το 2000. Το τμήμα της εικόνας που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις είναι διαστάσεων 48.5 km x 55.8 km με ανάλυση στα 30 m x 30 m. Συνεπώς κάθε τμήμα περιλαμβάνει περίπου τρία εκατομμύρια εικονοστοιχεία ως δεδομένα.

Ο χάρτης κάλυψης γης κάθε εικόνας δημιουργήθηκε με τη βοήθεια της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Χρησιμοποιώντας ως οδηγούς τοπογραφικούς χάρτες (πηγή: USGS) και ορθοφωτογραφίες, δημιουργήθηκαν δεδομένα εκπαίδευσης, τα οποία θεωρητικά αποτελούνται από δεδομένα περιοχών με γνωστή κάλυψη γης. Αυτά χρησιμοποιήθηκαν για να παράγουν ένα σύνολο κανόνων αποφάσεων με τους οποίους επρόκειτο να ταξινομηθεί το υπόλοιπο της εικόνας. Επίσης, εφαρμόστηκαν χωρικά φίλτρα ώστε να απομακρυνθεί ο υπολειπόμενος θόρυβος από τον χάρτη. Κάθε εικονοστοιχείο ταξινομήθηκε σε μια από τις 9 κατηγορίες: νερό, άγονη γη, δασική γη, θαμνώδης έκταση, ποώδης/χορτώδης φυσική έκταση ή ημι-φυσική, ποώδης/χορτώδης φυτεμένη ή καλλιεργημένη γη, χέρσα γη, ανεπτυγμένη οικιστική περιοχή και τέλος ανεπτυγμένη βιομηχανική/εμπορική περιοχή ή περιοχή μεταφορών.

Η ταξινόμηση της περιοχής στις εννέα κατηγορίες πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ERDAS Imagine’s ISODATA. Σε δεύτερο επίπεδο επεξεργασίας δημιουργήθηκαν νέοι χάρτες κάλυψης γης συνδυάζοντας διαφορετικές κατηγορίες σε ενιαίες περιγραφές κάλυψης γης όπως π.χ. ανεπτυγμένη οικιστική περιοχή, ανεπτυγμένη βιομηχανική-εμπορική περιοχή ή περιοχή μεταφορών και ως τρίτη κατηγορία, οι μη ανεπτυγμένες περιοχές.

Όπως στις περιπτώσεις με μεγάλο αριθμό δεδομένων, τα λάθη στις μετρήσεις και την επεξεργασία είναι σύνθετες φαινόμενα, ιδιαίτερα κατά τη μετατροπή των ανακλώμενων τιμών φωτεινότητας σε κατηγορίες χρήσεων γης, κάτι που συνέβη και στην εφαρμογή των ερευνητών. Χαρακτηριστικά, οι Frazier και Kockelman [2004,2005] αναφέρουν πως υπάρχουν πολλά βήματα που απαιτούνται απλώς για να είναι μια εικόνα σε χρησιμοποιήσιμη μορφή, αλλά είναι ακόμα περισσότερα τα απαραίτητα βήματα για την ανάλυση και τον καθαρισμό της εικόνας με τη χρήση φίλτρων. Χρειάζεται όμως ιδιαίτερη προσοχή, καθώς κάθε βήμα είναι δυνατό να υποβαθμίσει την ποιότητα της αρχικής εικόνας όπως επίσης και του τελικού προϊόντος.

Τα σφάλματα τα οποία προέρχονται από αυτές τις αδυναμίες μπορούν να αναλυθούν, εν μέρει, μέσω σύγκρισης του χάρτη κάλυψης γης που προέκυψε, με πραγματικές φωτογραφίες (π.χ. ορθοφωτογραφίες) ή άλλες επαληθευμένες πληροφορίες για χρήσεις γης. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να γίνει βαθμονόμηση των μοντέλων ταξινόμησης τα οποία αναπτύχθηκαν από φασματικές πληροφορίες. Αξίζει να αναφερθεί ότι στις ταξινομήσεις δεν πραγματοποιήθηκε ποσοτικός έλεγχος για την αξιολόγηση κάθε αποτελέσματος. Οι ερευνητές αρκέστηκαν σε ποιοτικές συγκρίσεις του αποτελέσματος της κάλυψης γης με αεροφωτογραφίες. Μπορεί η ποιοτική και ευρείας κλίμακας ανάλυση του χάρτη του Austin να εισάγει ακρίβεια, όμως, σύμφωνα και με τους ίδιους τους ερευνητές, είναι προτιμότερη μια πιο αυστηρή ποσοτική ανάλυση.

Στην εργασία αυτή αναφέρεται πως στο πλαίσιο της προεπεξεργασίας των εικόνων υπάγεται η γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση. Γενικά οι μέθοδοι της αναγωγής (γεωμετρική διόρθωση) μιας Landsat εικόνας αποτελούν και οι ίδιες διαστρεφές και δεν εγγυούνται ακριβή αποτελέσματα για δεδομένη προβολή όταν εισάγονται σε λογισμικό GIS ή άλλο λογισμικό διαχείρισης εικόνων. Αναφέρεται πως η διαστρέψη της κάθε εικόνας αποδίδεται μερικώς στην κίνηση του δορυφόρου κατά τη διάρκεια της σάρωσης, στο ότι η σάρωση πραγματοποιείται ανά σημείο και όχι ανά σειρά (strip), καθώς και στην επικάλυψη μεμονωμένων σαρώσεων. Για τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την εφαρμογή, η κάθε εικόνα έπρεπε να μην έχει αποκλίσεις με την ψηφιακή ορθοφωτογραφία (Digital Ortho Quarter Quadrangles, DOQQ’s). Γενικά, οι ορθοφωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν από τους ερευνητές, είναι αεροφωτογραφίες γεωμετρικά διορθωμένες από τον οργανισμό USGS.

Τέλος, σύμφωνα με τους ερευνητές Frazier και Kockelman [2004,2005], σφάλματα εισάγονται επίσης συγκρίνοντας εικονοστοιχεία της ίδιας εικόνας ή διαφορετικών εικόνων εξαιτίας κάλυψης από σύννεφα ή εξαιτίας της ώρας της ημέρας και της θέσης του ήλιου. Τα τελευταία σφάλματα επιδρούν στην ραδιομετρία της εικόνας και για να εξαλειφθούν είναι απαραίτητη η ραδιομετρική διόρθωση.

Μια ιδιαίτερα σημαντική έρευνα για την αναγνώριση αστικών περιοχών και των μεταβολών τους είναι αυτή των Yang και Liu [2005]. Ο χαρακτηρισμός των αστικών περιοχών έγινε με τη βοήθεια ενός δείκτη διαπερατότητας, ο οποίος εκτιμήθηκε με το συνδυασμό χρήσης πολυφασματικών εικόνων μεσαίας διακριτικής ικανότητας και ορθοφωτογραφιών υψηλής ανάλυσης ύστερα από στατιστική ανάλυση. Το

αδιαπέρατο μιας επιφάνειας συνδέθηκε με το βασικό τρίπτυχο κάλυψης γης VIS, δηλαδή της βλάστησης (Vegetation), της μη διαπερατής επιφάνειας (Impervious) και του εδάφους (Soil) που αναλύεται σε πολλές περιπτώσεις ανίχνευσης χρήσης/κάλυψης γης. Το διάστημα υπολογισμού του δείκτη ήταν αντίστοιχο με το διάστημα της τότε επιλογής εικόνων Landsat, δηλαδή από το 1989 μέχρι και το 2002. Την δεκαετία από το 1990 μέχρι το 2000 η αύξηση του πληθυσμού στην περιοχή αγγίζει το 20%. Η ακρίβεια του παραγόμενου χάρτη έγινε μέσω υψηλής ανάλυσης ορθοφωτογραφίες ως δεδομένα αναφοράς και η εκτίμηση του ολικού λάθους ήταν στο 10% περίπου. Οι εικόνες διορθώθηκαν και γεωμετρικά και ραδιομετρικά πριν την δημιουργία χαρτών. Κατά την ανάλυση της χωροχρονικής τάσης εξέλιξης του δείκτη δίνεται έμφαση σε συγκεκριμένες περιοχές έντονου ενδιαφέροντος. Οι ερευνητές κατέληξαν ότι τα αποτελέσματα των τάσεων εξέλιξης ήταν απόλυτα συμβατά με τις αλλαγές χρήσης/κάλυψης γης που παρατηρήθηκαν με απλή φωτοερμηνεία και θεώρησαν ότι ο δείκτης αποτελεί μια ιδανική και ανεκτίμητη εναλλακτική για γρήγορη και αντικειμενική αξιολόγηση αστικής επέκτασης, κυρίως σε ευρείες περιοχές.

Αναφέρεται συνοπτικά ότι προηγήθηκε μια μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση σε ορθοφωτογραφία ανάλυσης 1 m του 1999 σε πέντε γενικές κατηγορίες όπως το νερό, οι περιοχές βλάστησης, το γυμνό έδαφος, οι αδιαπέρατες επιφάνειες και οι σκιές, ενώ στη συνέχεια δημιουργήθηκε δυαδικός χάρτης 0-1 για αστικές και μη αστικές περιοχές. Εκμεταλλευόμενοι οι ερευνητές την μεγάλη ανάλυση, ήταν δυνατό σε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας Landsat να αντιστοιχούν 30 εικονοστοιχεία της ορθοφωτογραφίας (ως υπό-αντικείμενα) και να εκτιμηθεί ένα ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας ανά εικονοστοιχείο της Landsat με ορισμένες παραδοχές λόγω της χρονικής απόκλισης της ορθοφωτογραφίας με την εικόνα του 2002.

Ο δείκτης αδιαπερατότητας υπολογίστηκε χωριστά για κάθε εικόνα και αποτελεί σε κάθε περίπτωση μια γραμμική σχέση, αποτέλεσμα γραμμικής παλινδρόμησης από 12.224 τυχαία επιλεγμένα εικονοστοιχεία, με εξαρτημένες μεταβλητές τη φωτεινότητα και το πράσινο κανάλι, τα οποία αποδείχθηκαν ότι επεξηγούν, περισσότερο από άλλες, την εξαρτημένη μεταβλητή και τα οποία υπολογίστηκαν με μετασχηματισμό ‘Tasseled-Cap’. Και στις δυο περιπτώσεις, ο συντελεστής συσχέτισης ήταν υψηλός και το τυπικό σφάλμα μικρό. Από κάθε μια εξίσωση παράχθηκε και ο δείκτης αδιαπερατότητας κάθε εικόνας και η αξιολόγησή τους έγινε μέσω και οπτικής επισκόπησης αλλά και με στατιστική ανάλυση χρησιμοποιώντας τις ανηγμένες εικόνες του 1989 και του 2002 ως αναφορά. Ανάλογα με το ποσοστό αδιαπερατότητας μπορούσε να αποδοθεί διαφορετικό χρώμα. Η έρευνα καταλήγει σε σημαντική αστικοποίηση σε περιοχές που έχει προηγηθεί η κατασκευή αυτοκινητοδρόμων με εντονότερη την παρουσία εμπορικών και βιομηχανικών ζωνών. Μια μικρή σύγκυση υπήρχε μεταξύ των φασματικών υπογραφών των άγονων περιοχών και ορισμένων αστικών περιοχών όπως οι χώροι στάθμευσης.

Η εικόνα του 2002 ETM+ ανάχθηκε χρησιμοποιώντας ορθοφωτογραφία 1:24.000 και στη συνέχεια γεωαναφέρθηκε σε UTM προβολή στη ζώνη 16, datum NAD83 και GRS84 ελλειψοειδές αναφοράς. Η νέα εικόνα αποτέλεσε βάση για αναγωγή της εικόνας του 1989.

Γενικά, ανάμεσα στις πιο αξιολογες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί η αδιαπερατότητα των αστικών περιοχών είναι τα μοντέλα φασματικής ανάμειξης, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και οι ταξινομήσεις δένδρικής απόφασης. Η εργασία των ερευνητών αν και δεν περιέχει κάποιον ιδιαίτερα πολύπλοκο αλγόριθμο, προσφέρει συγκρίσιμα αποτελέσματα ακρίβειας στους χάρτες.

Η ανίχνευση αλλαγών χρήσεων γης με χρήση διάφορων αλγορίθμων ανίχνευσης έγινε και από τον ερευνητή Gupta στο Dehradun της Ινδίας με χωρική μονάδα ανάλυσης το εικονοστοιχείο. Σε αυτή την έρευνα εφαρμόστηκαν οκτώ τεχνικές σε δεδομένα δύο χρονικών περιόδων. Αυτές ήταν η αφαίρεση, οι λόγοι, η παλινδρόμηση μεταξύ των εικόνων, η ανάλυση αλλαγής σε διανυσματικά δεδομένα, η διαφορά σε δείκτες βλάστησης, οι κύριες συνιστώσες, η μετά την ταξινόμηση τεχνική και τέλος με χειροκίνητη ψηφιοποίηση των αλλαγών σε εικόνες υψηλής διακριτικής ικανότητας. Σε όλες τις τεχνικές, πλην εκείνης των ανεξάρτητων ταξινομήσεων, απαιτείται ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων, ενώ σε όλες απαιτείται η κοινή γεωαναφορά.

Στην πρώτη περίπτωση δημιουργείται η εικόνα των διαφορών των τιμών και ορίζονται τιμές-κατώφλια για τον ορισμό των αλλαγών. Στους λόγους για κάθε κανάλι, όταν δεν παρατηρείται αλλαγή η τιμή τείνει στο 1. Για την παλινδρόμηση εφαρμόστηκε γραμμική εξίσωση μεταβολής από την μια εικόνα στην άλλη. Η τέταρτη μέθοδος υπολογίζει τη διαφορά των δυο εικόνων σε όλα τα κανάλια ως ένα διάνυσμα για κάθε εικονοστοιχείο και μπορεί να υπολογιστεί το μέγεθος και η διεύθυνση των αλλαγών. Στις κύριες συνιστώσες, οι βασικές συνιστώσες της ενιαίας εικόνας των δυο περιόδων περιέχουν πληροφορίες ανακλαστικότητας και ραδιομετρικές διαφορές, ενώ οι λιγότερο σημαντικές συνιστώσες υποδεικνύουν τις τοπικές αλλαγές. Στην μετά την ταξινόμηση σύγκριση των εικόνων εξάγονται οι αλλαγές που παρατηρούνται. Οι τεχνικές ταξινόμησης μπορεί να είναι είτε επιβλεπόμενες είτε μη επιβλεπόμενες, ενώ όπως προαναφέρθηκε, σε αυτή τη μέθοδο σύγκρισης ελαχιστοποιείται το πρόβλημα της κανονικοποίησης των ατμοσφαιρικών διαφορών και των διαφορών στους αισθητήρες των δυο εικόνων. Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση με την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας κατά την αξιολόγησή της ταξινόμησης εμφανίζει μειονεκτήματα, όπως η συλλογή δεδομένων ελέγχου και η υπόθεση της κανονικής κατανομής για κάθε κατηγορία ως πιθανότητα κατανομής.

Εκτός από τα παραπάνω εφαρμόστηκε και μη επιβλεπόμενη κατάτμηση πολλαπλών επιπέδων με βάση την υφή όπου συνδυάστηκαν νευρωνικά δίκτυα και ειδικοί κυματοειδείς μετασχηματισμοί. Με την μέθοδο αυτή ξεπεράστηκαν ορισμένες δυσκολίες των προηγούμενων διαδικασιών, όπως η ανάγκη εύρεσης δεδομένων εκπαίδευσης.

Στην έρευνα των Ridd και Liu [1998], εξετάζονται τέσσερις μέθοδοι ανίχνευσης αλλαγών σε αστικό περιβάλλον δυο διαχρονικών εικόνων Landsat TM (1986 και 1990). Οι δύο πρώτες μέθοδοι είναι η διαφορά εικόνων και η παρεμβολή, από τις οποίες παράγονται 12 εικόνες διαφορών. Το θερμικό κανάλι δεν συμμετέχει στη διαδικασία. Οι άλλες δυο μέθοδοι είναι ο μετασχηματισμός ‘Tassled Cap’, ο οποίος και δημιουργεί τρεις εικόνες αλλαγών (αλλαγή στη φωτεινότητα, στο πράσινο και στην υγρότητα) και η μέθοδος μετασχηματισμού X^2 , από την οποία προκύπτει μια μόνο εικόνα αλλαγής. Ο διαχωρισμός αλλαγής – μη αλλαγής στα εικονοστοιχεία γίνεται με επιβολή οριακών τιμών (κατώφλια). Το δείγμα ελέγχου ήταν στα 585 εικονοστοιχεία επιλεγμένα με τυχαία δειγματοληψία και συστηματική διαδικασία επιλογής. Η πληροφορία των δεδομένων ελέγχου αντλήθηκε από την ερμηνεία αεροφωτογραφιών στις δυο ημερομηνίες αντίστοιχα. Η ακριβέστερη μέθοδος για το συγκεκριμένο πρόβλημα αποδείχθηκε η παλινδρόμηση στο κόκκινο κανάλι, ενώ η διαφορά στο τέταρτο κανάλι, η χειρότερη. Οι δείκτες αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η ολική ακρίβεια, ο δείκτης \hat{k} και ένας παρεμφερής δείκτης με τον τελευταίο. Τα κανάλια στα οποία είναι εφικτό να γίνει διάκριση του είδους της αλλαγής ως προς το οικιστικό περιβάλλον είναι το ορατό φάσμα και τα μέσα

υπέρυθρα κανάλια. Εν κατακλείδι, κανένας από τους αλγόριθμους δεν μπορεί να χαρακτηριστεί απόλυτα ανώτερος από τους άλλους και γενικά η επιλογή εξαρτάται από περιβαλλοντικούς παράγοντες και από τους στόχους της εφαρμογής.

Για τις αστικές περιοχές, απλώς η σύγκριση δύο ταξινομημένων εικόνων Landsat δεν εξασφαλίζει την ανίχνευσή των διαφορών τους. Ενδείκνυται συνεπώς η εφαρμογή ορισμένων ενισχύσεων, όπως για παράδειγμα η χρήση λόγων καναλιών, η υπέρθεση ενός καναλιού ή ακόμα και η χρήση του δείκτη βλάστησης στη συνδυασμένη εικόνα δύο χρονικών περιόδων για μια περιοχή. Μπορεί οι λόγοι να ενδείκνυται για ανάδειξη σημαντικών αλλαγών, ο δείκτης βλάστησης όμως αποδείχθηκε ο πιο ισχυρός διότι εκτός από τα οικιστικά όρια μπορεί να αναδείξει και το οδικό δίκτυο [Howarth and Boasson, 1982].

Υπό την ανίχνευση πάλι αλλαγών στις αστικές περιοχές, είναι εύλογη η ταυτόχρονη απώλεια δασικών εκτάσεων και καλλιιεργειών. Στην έρευνα του Alrik DiGirolamo [2006], χρησιμοποιήθηκαν δυο εικόνες Landsat (TM για το 1991 και ETM+ για το 2000) ακριβώς την ίδια μέρα του Σεπτεμβρίου, σε περιοχή πλησίον της Atlanta (Gwinnett) στη Georgia, και οι διαφορές εντοπίστηκαν με τρεις μεθόδους, πρώτα με την υλοποίηση εικόνας διαφοράς του δείκτη NDVI, έπειτα με την ανάπτυξη κύριων συνιστωσών και τρίτον με ειδικά μετασχηματισμένες εικόνες (Tasseled Cap), διαδικασία που έχει ομοιότητες με τη δημιουργία κύριων συνιστωσών αλλά βασίζεται στις ιδιότητες των αισθητήρων και όχι των εικόνων. Η λήψη επετειακών εικόνων, όπως έγινε και στην μελέτη (ίδια μέρα του Σεπτεμβρίου), έχει ως αποτέλεσμα η περιοχή και στις δυο περιόδους να διαθέτει όλη την κάλυψη από βλάστηση, πριν δηλαδή τη πτώση των φύλλων. Ύστερα από αξιολόγηση με χρήση δεδομένων ελέγχου προκύπτει ότι οι καλύτερες μέθοδοι είναι η πρώτη και η τρίτη. Αν και η αλλαγή της βλάστησης δεν συνεπάγεται πάντα μια αλλαγή χρήσης γης, προέκυψε ότι σημαντική έκταση βλάστησης (κυρίως δασικών περιοχών) μετατράπηκε σε αστική περιοχή με άναρχη δόμηση. Η επεξεργασία των εικόνων (υποσύνολο των εικόνων Landsat) πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό ERDAS imagine v.8.6. Στην ίδια έρευνα αναφέρεται πως μια εικόνα Landsat δεν αρκεί να έχει υποστεί αναγωγή, δηλαδή να έχει απομακρυνθεί η εκτροπή λόγω αναγλύφου, είναι επίσης σημαντικό το ζευγάρι εικόνων να έχει συσχετιστεί καλά όχι μόνο μεταξύ του, αλλά και σε σχέση με τα δεδομένα αναφοράς που θα χρησιμοποιηθούν για τη λήψη δεδομένων ελέγχου στην αξιολόγηση της ταξινόμησης. Συνήθως σε ένα ζευγάρι, σχετίζεται η μια εικόνα με το σύστημα προβολής όπως ορίζεται από τον οργανισμό United States Geological Survey με χρήση ορθοφωτογραφίας, και η δεύτερη σχετίζεται στη συνέχεια με την πρώτη. Η γεωμετρική διόρθωση έγινε χρησιμοποιώντας ορθοφωτογραφίες υψηλής ανάλυσης. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την επιλογή χαρακτηριστικών ως προς τα οποία θα γίνει η ραδιομετρική κανονικοποίηση αλλά και για την επιλογή δεδομένων ελέγχου. Για τη γεωμετρική διόρθωση που έγινε, προέκυψε RMSE μικρότερο του εικονοστοιχείου.

Οι δύο εικόνες Landsat κανονικοποιήθηκαν ραδιομετρικά με σχετική διόρθωση ύστερα από εφαρμογή γραμμικής παλινδρόμησης κανάλι προς κανάλι. Μιας και οι ημερομηνίες επιλογής των εικόνων ήταν επετειακές, η γωνία του ηλίου ήταν η ίδια και οι μικρές διαφορές ελαχιστοποιήθηκαν με την εφαρμογή της σχετικής ραδιομετρικής διόρθωσης.

Μετά την εφαρμογή των τριών μεθοδολογιών ανίχνευσης αλλαγών πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της ακρίβειας με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών αλλά κυρίως ορθοφωτογραφιών γεωαναφερμένων στο ίδιο σύστημα αναφοράς με τις

εικόνες. Συνολικά επιλέχθηκαν 300 τυχαία επιλεγμένα σημεία ελέγχου, γεγονός όμως που έδειξε μια ανισοκατανομή των εικονοστοιχείων στις κατηγορίες. Τελικά επιλέχθηκαν 100 εικονοστοιχεία ανά κατηγορία (Unchanged, Decreased, Increased). Από τα δεδομένα ελέγχου δημιουργήθηκαν πίνακες σύγκυσης για κάθε μέθοδο και υπολογίζονται οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη, η ολική ακρίβεια και ο δείκτης \hat{k} με τα καλύτερα αποτελέσματα για τον δείκτη NDVI. Επειδή η διαφορά στη βλάστηση δεν αντιστοιχεί πάντα στις ορατές αλλαγές στη χρήση/κάλυψη γης, συνίσταται η χρήση συμπληρωματικών δεδομένων όπως αεροφωτογραφιών και ορθοφωτογραφιών μεγαλύτερης κλίμακας. Συνήθως, η μείωση των δασικών εκτάσεων οφείλεται σε αποψίλωση και αστικοποίηση, ενώ περιοχές με αυξημένη βλάστηση σημαίνει πως έχει αυξηθεί η πυκνότητα των καλλιεργειών. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι η περιοχή υπόκειται σε γρήγορη αστικοποίηση την περίοδο από το 1991 μέχρι το 2000. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα δημογραφικά δεδομένα για το διάστημα αυτό.

Στην έρευνα του Mas [1998], από τις έξι τεχνικές ανίχνευσης μεταβολών που εφαρμόστηκαν σε εικόνες Landsat MSS σε περιοχή του Μεξικό, δηλαδή της διαφοράς εικόνων, της διαφοράς δείκτη βλάστησης, των επιλεγμένων κύριων συνιστωσών, της αυτόματης διαχρονικής μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, της εκ των υστέρων σύγκρισης των ταξινομήσεων και τέλος του συνδυασμού ενισχυμένων εικόνων και εκ των υστέρων σύγκρισης ταξινομήσεων, η εκ των υστέρων σύγκριση βρέθηκε να είναι η πιο ακριβής προσέγγιση με ικανότητα μάλιστα να παρουσιάζει και τη φύση της αλλαγής. Σε αυτήν έγινε επιβλεπόμενη ταξινόμηση με ταξινομητή τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων που επιτεύχθηκε με κάθε τεχνική εκτιμήθηκε σε σύγκριση με αεροφωτογραφίες, μέσω του δείκτη \hat{k} με τυχαίο δείγμα 180 σημείων, εκ των οποίων επιλέχθηκαν τα 106 λόγω περιπτώσεων που αυτά βρίσκονταν πάνω σε σύννεφα, σε θάλασσα, ή σε εικονοστοιχεία με μικτή χρήση. Η φύση της αλλαγής των αντικειμένων έγινε με τη βοήθεια σύγκρισης αεροφωτογραφιών μεγάλης κλίμακας, αντίστοιχων χρονολογιών με τις δορυφορικές εικόνες, χαρτών βλάστησης και έγχρωμων σύνθετων των δυο εικόνων.

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση έγινε χρησιμοποιώντας οκτώ συνολικά κανάλια διαχρονικών δεδομένων και η σύνθετη εικόνα ταξινομήθηκε σε 35 κατηγορίες, στις οποίες θα μπορούσαν να ανιχνευτούν οι αλλαγές, ενώ στη συνέχεια έγιναν συνενώσεις των συσσωρεύσεων στις παρόμοιες φασματικά κατηγορίες.

Με την μετά τις ταξινομήσεις σύγκριση, στις δέκα κατηγορίες κάθε εικόνας, οι μισές αφορούσαν τα είδη βλάστησης. Μερικές κατηγορίες ενοποιήθηκαν όπως υπέδειξε το αποτέλεσμα της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Στη συνέχεια οι εικόνες του 1974 και του 1992 ήρθαν σε υπέρθεση και παράχθηκε η εικόνα των αλλαγών και να προσδιοριστεί η ακρίβεια. Σε επίπεδο ανίχνευσης αλλαγής/μη αλλαγής ο δείκτης \hat{k} σε αυτή την περίπτωση ήταν υψηλός, ενώ σε επίπεδο από-προς ακόμα υψηλότερος.

Στην έρευνα των Smits et al. [1997], πάνω στη αξιολόγηση της ποιότητας σε ένα αποτέλεσμα ταξινόμησης, αποδείχθηκε ότι η δημιουργία πίνακα σύγκυσης και η ανάλυση του δείκτη \hat{k} αποτελεί την πιο κατάλληλη τεχνική αν κάποιος ενδιαφέρεται για τη σύγκριση ταξινομητών, δηλαδή για εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την συμπερίληψη και την παράλειψη. Γενικά όμως η έρευνα αναφέρει πως το θέμα της ακρίβειας σχετίζεται άμεσα με τον στόχο και το επιθυμητό κόστος. Το κόστος σχετίζεται κυρίως με τη συλλογή αξιόπιστων δεδομένων ελέγχου, με μετατροπές

δεδομένων από διανυσματικής σε ψηφιδωτής μορφής και αντίστροφα, γεωμετρικές, ραδιομετρικές, τοπογραφικές διορθώσεις κ.α. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα είναι εκείνο της υποκειμενικότητας σε θέματα όπως η επιλογή των κατηγοριών ταξινόμησης (όσο το δυνατό λιγότερο φασματικά επικαλυπτόμενες κατηγορίες και με περιορισμένο θόρυβο), τα δεδομένα εκπαίδευσης σε περίπτωση επιβλεπόμενης ταξινόμησης, αλλά και η μέθοδος και η επιλογή των δεδομένων ελέγχου. Μεγάλο ρόλο επίσης παίζει ποιος θα είναι ο τελικός χρήστης και ποιες είναι οι απαιτήσεις ως προς το αποτέλεσμα ταξινόμησης. Ανάλογα με αυτά, παρέχεται η κατάλληλη πληροφορία και τεχνολογία. Στον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης δεν υπάρχουν αταξινόμητα εικονοστοιχεία ενώ δεν λαμβάνει υπόψη την μεταβλητότητα της κάθε τάξης. Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας λαμβάνει υπόψη την μεταβλητότητα των κατηγοριών αλλά θεωρείται ακριβή υπολογιστικά μέθοδος και υποθέτει την κανονική κατανομή των στοιχείων και συνήθως υπερταξινομεί τις υπογραφές με υψηλές τιμές στον πίνακα σύγχυσης.

Οι ερευνητές Yuan et al. [2005], επέλεξαν οκτώ εικόνες Landsat, δύο ανά χρονιά για το 1986, το 1991, το 1998 και το 2002 σε περιοχή στη Minnesota, εκ των οποίων οι έξι ήταν TM ενώ οι εικόνες για το 2002 ETM+. Κάθε χρονιά συνδύαζε εικόνες μια από περίοδο μετά την άνοιξη και μια σε περίοδο καλοκαιριού. Για τη δεδομένη περιοχή και με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν εκεί, ο συνδυασμός εικόνων από τις δύο αυτές περιόδους μεγιστοποιεί τη διαχωριστικότητα ορισμένων κατηγοριών. Οι εικόνες γεωαναφέρθηκαν στο σύστημα αναφοράς UTM στη ζώνη 15 για το ελλειψοειδές αναφοράς GRS 1980 και NAD 83, χρησιμοποιώντας τουλάχιστον 35 καλά κατανομημένα σημεία ελέγχου και αναδόμηση τιμών φωτεινότητας με εγγύτερο γείτονα. Το μέσο σφάλμα ήταν στα 0.25 pixel, δηλαδή στα 7.5 m για κάθε μια από τις οκτώ εικόνες. Η διαδικασία της γεωαναφοράς πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα ERDAS. Οι κατηγορίες που επιλέχθηκαν είναι επτά γενικές κατηγορίες, εκ των οποίων οι τέσσερις αναφέρονται σε εδαφοκάλυψη με δάση ή βλάστηση, η πέμπτη αναφέρεται στις υδάτινες επιφάνειες, η έκτη σε περιοχές γυμνού εδάφους ή εξορύξεων, και η τελευταία σε αστικές περιοχές συμπεριλαμβανομένου κατοικιών, εμπορικών συνοικιών, βιομηχανιών, υποδομών μεταφορών, μικτών αστικών περιοχών κ.α..

Η ταξινόμηση έγινε με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για κάθε μια εικόνα και τα δεδομένα ελέγχου για την αξιολόγηση επιλέχθηκαν με ανεξάρτητη τυχαία δειγματοληψία πολυγώνων σταθερού αριθμού εικονοστοιχείων. Οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη κάθε χρονιάς ήταν υψηλές και κατά μέσο όρο περίπου στο 90%. Στη συνέχεια έγινε εκ των υστέρων έλεγχος και δημιουργήθηκαν τέσσερα μεσοδιαστήματα. Οι τρεις περιπτώσεις ήταν οι διαδοχικές χρονιές και η τελευταία περίπτωση ήταν μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας χρονιάς.

Η μετά την ταξινόμηση σύγκριση παρέχει το προνόμιο της από – προς πληροφορίας κάθε εικονοστοιχείου. Σύμφωνα με την έρευνα αυτή, η απλούστερη μέθοδος για την αξιολόγηση χαρτών αλλαγής είναι ο πολλαπλασιασμός των μεμονωμένων ακριβειών στους χάρτες ταξινόμησης και να εκτιμηθεί με αυτόν τον τρόπο η αναμενόμενη ακρίβεια του χάρτη αλλαγών. Μια εναλλακτική και πιο αυστηρή λύση είναι η τυχαία δειγματοληψία περιοχών που άλλαξαν ή δεν άλλαξαν χρήση γης και να εξεταστεί αν έχουν ταξινομηθεί σωστά. Για κάθε χρονιά εκφράζεται η κάθε κατηγορία με την έκτασή της σε εκτάρια αλλά και με το ποσοστό της επί του συνόλου της εικόνας και υπολογίζεται η σχετική αλλαγή μεταξύ του 1986 και του 2002.

Σχηματίστηκε επίσης ένας πίνακας ανά δύο χρονιές όπου στην κύρια διαγώνιο σημειώνονται τα εικονοστοιχεία που δεν άλλαξαν και στα μη διαγώνια στοιχεία

καταγράφονται τα εικονοστοιχεία που άλλαξαν κάλυψη γης, δίνοντας στο χρήστη την πληροφορία ‘από-προς’. Τα στατιστικά αποτελέσματα της μεθόδου κρίθηκαν αποτελεσματικά για το στόχο της εργασίας. Η μεθοδολογία επίσης ποσοτικοποιεί την αλλαγή και εντέλει αποτελεί έναν αποδοτικό και οικονομικό τρόπο ανίχνευσης αλλαγών στην κάλυψη γης. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου για εργασίες διαχείρισης γης αλλά και για τη λήψη αποφάσεων πολιτικής.

Στις δορυφορικές τηλεπισκοπικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης, σε αντίθεση με της μεσαίας ανάλυσης (Landsat), είναι δυνατόν να αναγνωριστούν οι βιομηχανικές περιοχές και οι περιοχές που κυριαρχούνται από εμπορική δραστηριότητα. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται ως περιοχές προέλευσης-προορισμού και από αυτές εξαρτώνται κρίσιμες μεταβλητές στον συγκοινωνιακό σχεδιασμό, όπως οι αποστάσεις ταξιδιού και η προσβασιμότητά σε αυτές. Οι ερευνητές Wang και Trauth [2006], πραγματοποίησαν μια σχετική έρευνα όπου οι βιομηχανικές και εμπορικές περιοχές ξεχώριζαν αρχικά μέσω του χαρακτηρισμού ‘αδιαπέρατη επιφάνεια’ ύστερα από ταξινόμηση των εικόνων. Λόγω πάλι της μεγάλης χωρικής ανάλυσης τέτοιων εικόνων, οι αδιαπέρατες επιφάνειες ποσοτικοποιούνται μέσω τριών παραμέτρων που υποδεικνύουν το ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας σε ένα οικοδομικό τετράγωνο και στα γειτονικά του. Αυτές οι παράμετροι είναι η ένταση στο κόκκινο, στο πράσινο και το μπλε κανάλι. Ο κατάλληλος συνδυασμός των τριών παραμέτρων, δηλαδή της έντασης των τριών καναλιών, έχει την ιδιότητα να αναγνωρίσει τις βιομηχανικές και τις εμπορικές περιοχές. Οι ταξινομήσεις έγιναν με δεδομένα εκπαίδευσης σε επίπεδο διαχωρισμού βιομηχανικών-εμπορικών περιοχών και μη. Η αξιολόγηση της ακρίβειας έγινε συγκρίνοντας το αποτέλεσμα της ταξινόμησης με πραγματικά δεδομένα χρήσης γης. Αναφέρεται πως και σε αυτήν την περίπτωση, υιοθετείται η αρχική διάκριση μιας εικόνας στις τρεις γενικές κατηγορίες (Vegetation-Impervious Surface-Soil).

Η έρευνα των Petit et al. [2000], εστιάζει στην ποσοτικοποίηση των αλλαγών χρήσεων γης χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικές μεθόδους. Στην περιοχή μελέτης, η οποία χαρακτηρίζεται από έντονους ρυθμούς αλλαγών, εφαρμόστηκαν ακόμα ‘Markov chain’ πρότυπα για να παραχθούν βραχυπρόθεσμες προβλέψεις αλλαγών χρήσεων γης. Η μελέτη κυρίως εστιάζει στην υποβάθμιση του οικοσυστήματος και όχι στην ανίχνευση αλλαγών στους οικισμούς.

Στην έρευνα χρησιμοποιήθηκαν τρεις πολυφασματικές εικόνες SPOT (1986, 1992, 1997), όλες σε ξηρή περίοδο. Οι αλλαγές της κάλυψης γης εκτιμήθηκαν είτε ύστερα από συνδυασμό των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων είτε με τεχνικές διαφορών. Τα αποτελέσματα των τεχνικών ανίχνευσης εξάχθηκαν ως ποσοστά κατηγοριών κάλυψης γης, ως τροχιές αλλαγών και χωροχρονικά πρότυπα αλλαγών. Πιο συγκεκριμένα, οι τεχνικές τηλεπισκόπησης βοήθησαν στην ποσοτικοποίηση των αλλαγών εκφραζόμενη ως ποσοστό της περιοχής μελέτης αλλά και στον προσδιορισμό των ρυθμών αλλαγής, στον ποιοτικό προσδιορισμό της φύσης της αλλαγής και στη δημιουργία χάρτη χωρικών προτύπων αλλαγής στην κάλυψη γης. Εκτιμήθηκε πως στην περιοχή μελέτης (Zambia) από το 1986 μέχρι το 1997, το 44% της περιοχής έχει υποστεί τουλάχιστον μια μεταβολή, και ο μέρος ετήσιος ρυθμός είναι στο 4%.

Πριν την επεξεργασία τους οι εικόνες διορθώθηκαν γεωμετρικά μεταξύ τους χρησιμοποιώντας 100 σημεία ως δεδομένα ελέγχου, ένα πολώνυμο δευτέρου βαθμού για τον μετασχηματισμό με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 0.2 pixel, και αναδόμηση τιμών φωτεινότητας με εγγύτερο γείτονα. Επίσης εφαρμόστηκαν και ραδιομετρικές διορθώσεις. Δεδομένα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν από αεροφωτογραφίες των 1980 και 1991, σε κλίμακα 1:30.000, ύστερα από φωτοερμηνεία.

Οι ταξινομήσεις των τριών εικόνων πραγματοποιήθηκαν ανεξάρτητα και ήταν επιβλεπόμενες, με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, και με έντεκα κατηγορίες ενδιαφέροντος με τις περισσότερες κατηγορίες να είναι τύποι βλάστησης και καλλιέργειας. Η ακρίβεια των ταξινομήσεων εκτιμήθηκε μέσω τυχαίας δειγματοληψίας 599 σημείων πάνω στις αεροφωτογραφίες με περίπου ίδιο μέγεθος δείγματος για κάθε κατηγορία. Η σύγκριση μετά την ταξινόμηση των παραγόμενων θεματικών χαρτών έχει το μειονέκτημα ότι η τελική ακρίβεια πρακτικά ισούται με τον πολλαπλασιασμό των μεμονωμένων ακριβειών και οι ερευνητές συνιστούν τη διαφορά των τιμών μεταξύ των εικόνων ως την πιο αποτελεσματική τεχνική. Η διαφορά υπολογίστηκε μεταξύ των κόκκινων καναλιών (επιλογή κατάλληλη για την ανίχνευση ξερών περιοχών) της πρώτης και δεύτερης ημερομηνίας και στη συνέχεια ορίστηκαν τα κατάλληλα κατώφλια αλλαγής και μη αλλαγής (ορισμός ύστερα από φωτοερμηνεία ή και από επίσκεψη στο πεδίο). Οι επικρατέστερες αλλαγές έδειξαν αύξηση της ανακλαστικότητας στο κόκκινο κανάλι κάτι που συνεπάγεται μείωση στην βλάστηση. Το τελικό αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι ο σχηματισμός ενός χάρτη δυαδικού περιεχομένου ‘αλλαγής’ και ‘μη αλλαγής’.

Ο δείκτης \hat{k} της ταξινόμησης του 1992 υπολογίστηκε στο 80% λόγω των παρόμοιων φασματικών υπογραφών ορισμένων κατηγοριών αλλά και λόγω της διαφορετικής περιόδου μέσα στο χρόνο που λήφθηκαν τα δεδομένα ελέγχου μέσω της αεροφωτογραφίας του 1991, αλλά και της διαφοράς των δορυφορικών εικόνων και των αεροφωτογραφιών ως προς τη χωρική ανάλυση.

Η αξιολόγηση των ταξινομήσεων τις περισσότερες φορές γίνεται με τεχνικές βασιζόμενες στον Πίνακα Σύγκρισης του οποίου η σωστή εφαρμογή-επίδοση και ερμηνεία απαιτεί να ικανοποιούνται αβάσιμες υποθέσεις (πχ. τέλεια γεωμετρική ταύτιση των δεδομένων) και την παροχή σπάνια μεταφερόμενης αξιόπιστης

πληροφορίας (πχ. σχεδιασμός δειγματοληψίας για την απόκτηση αντιπροσωπευτικών δεδομένων ελέγχου αλλά και σπάνια ακριβή αναπαράσταση των πραγματικών συνθηκών εδάφους από τα δεδομένα ελέγχου). Τα συμπεράσματα από έρευνα του Floody, 2001, είναι πως οι επιπτώσεις των παραπάνω προβλημάτων δείχνουν πως δεν είναι δυνατόν να βρεθεί μια και μοναδική ιδανική μέθοδος αξιολόγησης της ακρίβειας. Στην ίδια έρευνα αναφέρεται πως προβλήματα στη δημιουργία πίνακα σύγκυσης επιφέρει και η ίδια η διαδικασία καθορισμού των κατηγοριών ταξινόμησης καθώς και η ύπαρξη εικονοστοιχείων μικτών κατηγοριών. Ωστόσο, ο πίνακας σύγκυσης παραμένει ένα βασικό εργαλείο αξιολόγησης όπου η ερμηνεία του και οι μετρήσεις ακρίβειας πρέπει να γίνονται με προσοχή. Η μελλοντική κατεύθυνση των ερευνών στρέφεται προς την εύρεση ορίων ανοχής του λάθους στις ταξινομήσεις, αλλά και στον τρόπο της δειγματοληψίας των δεδομένων ελέγχου καθώς επίσης στην αξιοπιστία των επίγειων δεδομένων και στη γενεαλογία των δεδομένων.

Ο χάρτης μετάβασης από-προς μια κατηγορία έγινε συνδυάζοντας τον θεματικό χάρτη των πρώτων δεδομένων με τον ενισχυμένο χάρτη των δεύτερων δεδομένων. Με το συνδυασμό της σύγκρισης μετά την ταξινόμηση και της τεχνικής των διαφορών ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα συμπερίληψης που συχνά εμφανίζονταν την πρώτη τεχνική. Τα υψηλά σφάλματα αποκλεισμού στην πρώτη τεχνική σε σχέση με τη δεύτερη, υποδεικνύουν λάθος επιλογή καταωφλίου. Αν η τιμή τους είναι υπερβολικά χαμηλή και οδηγεί σε υπερεκτίμηση των αλλαγών ή υποδηλώνει την ύπαρξη τροποποιήσεων (μεταβάσεις συνθηκών μέσα σε μια κατηγορία κάλυψης γης) και όχι αλλαγών (από τη μια κατηγορία στην άλλη).

Οι τροποποιήσεις δεν ανιχνεύονται με την τεχνική των εκ των υστέρων συγκρίσεων εκτός και αν υπάγονται στις κατηγορίες προς ταξινόμηση. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν οι πίνακες αλλαγής – μη αλλαγής για τις περιόδους 1986-92, 1992-97 και 1986-1997. Σε αυτούς τους πίνακες το στοιχείο στη θέση (i,j) δείχνει τον αριθμό των εικονοστοιχείων της τάξης i από την πρώτη εικόνα (αρχική ημερομηνία) και της κλάσης j από τη δεύτερη εικόνα (πιο πρόσφατη ημερομηνία). Το ποσοστό της κάλυψης γης μιας κατηγορίας i της πρώτης εικόνας ονομάζεται σχετική οριακή συχνότητα n_i' και ισούται με:

$$n_i' = \frac{n_i}{n} = \sum_{j=1}^q \frac{n_{ij}}{n} \quad (1),$$

όπου :

n_i : η οριακή συχνότητα της κλάσης i,

n_{ij} : ο αριθμός των εικονοστοιχείων της i κατηγορίας της πρώτης εικόνας που μετατράπηκαν στην κατηγορία j στη δεύτερη εικόνα, και n ο συνολικός αριθμός εικονοστοιχείων στην εικόνα.

Ο προσδιορισμός της τροχιάς των αλλαγών πραγματοποιήθηκε με χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, βασιζόμενος σε χάρτες αλλαγής κάλυψης γης (ακολουθία των κατηγοριών κάλυψης για κάθε ημερομηνία παρατήρησης). Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των κλάσεων, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο αριθμός των τροχιών αλλαγής. Η σχέση που τις καθορίζει είναι:

$$m_t = m_c^d \quad (2),$$

όπου:

m_t : ο αριθμός των τροχιών πορειών,

m_c : ο αριθμός των κατηγοριών και d είναι ο αριθμός των εικόνων στις χρονικές σειρές.

Με τρεις εικόνες και 10 κατηγορίες ανά εικόνα, ο πιθανός συνδυασμός είναι 1000. Ο αριθμός μπορεί να μειωθεί με συνένωση κατηγοριών. Η περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων περιγράφεται στο εδάφιο της παρουσίασης οικονομετρικών προτύπων.

2.3.2. Εφαρμογές στην περιοχή μελέτης

1^η Εφαρμογή

Στην Αττική έχει πραγματοποιηθεί στο παρελθόν μελέτη ανίχνευσης αστικών περιοχών από τους ερευνητές Καραθανάση, Ιωσιφίδη και Ρόκο [V. Karathanassi et al., 2000]. Στη μελέτη αυτή εξετάζεται η μεταβολή χρήσεων γης προς αστική περιοχή, η αυθαίρετη δόμηση και η επέκταση των αστικών περιοχών. Τα παραπάνω προκύπτουν από την εκμετάλλευση ποσοτικής πληροφορίας σχετικά με την πυκνότητα της δόμησης, δηλαδή η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε κατηγοριοποιεί τις αστικές περιοχές ανάλογα με την πυκνότητά τους σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη είναι η υψηλή (κάλυψη οικισμών πάνω από το 70%), η μέτρια (κάλυψη μεταξύ 30% και 70%) και τέλος η αραιή (κάλυψη λιγότερο από το 30% του εικονοστοιχείου).

Στη μελέτη έγινε χρήση παγχρωματικών δορυφορικών δεδομένων SPOT (1989) και εφαρμόστηκαν στατιστικές μέθοδοι ανίχνευσης υψής. Συνολικά, αναπτύχθηκαν, εφαρμόστηκαν και αξιολογήθηκαν τρεις αλγόριθμοι είτε σχετικά με τη συχνότητα εμφάνισης, είτε αναπτύσσοντας πίνακες χωρικής συσχέτισης τόνων του γκριζου σε δυαδικά δεδομένα. Οι αλγόριθμοι έδιναν καλύτερα αποτελέσματα όταν για παράθυρα μεγαλύτερα από 31x31 εικονοστοιχεία, με συνολική ακρίβεια στην ταξινόμηση να κυμαίνεται από 83.40% έως 89.61%. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν καλύτερα από το 79.70% που επετεύχθη χρησιμοποιώντας τον ταξινομητή της μέγιστης πιθανοφάνειας. Ο δείκτης \hat{k} επίσης βελτιώθηκε κατά 0.61 μονάδες και τέλος η ακρίβεια της ταξινόμησης για κάθε τάξη αστικής περιοχής βελτιώθηκε κατά 50-60%.

Οι SPOT εικόνες έχουν χωρική διακριτική ικανότητα στα 10 m. Στην έρευνα αυτή αναφέρεται ότι οι δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης δεν ενδείκνυνται για την μελέτη τέτοιων φαινομένων, εκτός εάν χρησιμοποιηθούν αντικειμενοστραφείς μέθοδοι ανάλυσης εικόνας. Το οικιστικό τμήμα της Αθήνας ξεπερνά τα 45 000 ha (πυκνή και πιο αραιή δόμηση) Στις αστικές περιοχές τα οικοδομικά τετράγωνα δεν ξεπερνούν τα 350 m², και πολλά ούτε καν τα 200 m². Μπορεί το αστικό τμήμα κάθε οικοδομικού τετραγώνου να είναι συνήθως παραπάνω από το 70%, αλλά συχνά οι πλευρές των κτιρίων είναι μικρότερες από 10 m. Στις υπεραστικές περιοχές το ποσοστό είναι περίπου μεταξύ 30%-70%. Η ανίχνευση παράνομης οικιστικής δραστηριότητας στις μη αστικές περιοχές μπορεί να ανιχνευτεί όταν αρχικά η πυκνότητα των κτηρίων είναι μικρή ενώ με το πέρασμα των χρόνων αυξάνει. Το φαινόμενο αυτό έχει κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις και τέλος, οι περιοχές αυτές νομιμοποιούνται ως εντός σχεδίου πόλης οικισμοί. Παρά το μέγεθος του εικονοστοιχείου της εικόνας, οι διαφορετικές τιμές υψής στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση οικιστικών περιοχών διαφορετικής πυκνότητας.

Ανάμεσα στις διάφορες στατιστικές μεθόδους ανάδειξης υψής όπως η Galloway, η μέθοδος Fourier και η Haralick, εφαρμόζεται η τελευταία ως εκείνη με τους λιγότερους περιορισμούς.

Πρώτα υπολογίζονται οι Πίνακες Χωρικής Συσχέτισης Τόνων του Γκριζου (Grey Level Co-Occurrence Matrices) και στη συνέχεια υπολογίστηκαν διάφορες ιδιότητες της υψής, όπως είναι η ομοιογένεια, η τραχύτητα και η περιοδικότητα. Για τον

περιορισμό της υπολογιστικής πολυπλοκότητας, δεν υπολογίστηκαν και οι δεκατέσσερις συνολικά ιδιότητες κατά Haralick. Τα βέλτιστα αποτελέσματα σχετικά με την απόσταση εφαρμογής, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, προέκυπταν για απόσταση ενός εικονοστοιχείου. Η μείωση της ραδιομετρίας δεν είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο σε περίπτωση που η περιοχή μελέτης ήταν μεγάλη. Για τον λόγο αυτό αλλά και για υπολογιστικούς λόγους, η εφαρμογή έγινε σε μικρές περιοχές και αντί για 256x256, οι Πίνακες Χωρικής Συσχέτισης είχαν διάσταση 2x2. Η χρήση δυαδικών δεδομένων μειώνει την επίδραση της έντασης του υποβάθρου και η χωρική πληροφορία που υπάρχει στους πίνακες πια μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί στην ταξινόμηση μετά τον υπολογισμό στατιστικών μεγεθών όπως η μέση τιμή και η μέση απόκλιση. Οι Πίνακες άρα χρησιμοποιούνται χωρίς ουσιαστική μεταγενέστερη επεξεργασία. Τα πρωτογενή δεδομένα της υψής που προκύπτουν έχουν προφανώς τιμή ίση με τη μονάδα, ενώ το υπόβαθρο μηδενική.

Στην παρούσα έρευνα εφαρμόστηκαν συνολικά τρεις αλγόριθμοι. Ο πρώτος είναι ο αλγόριθμος συχνότητας εμφάνισης και οι δύο άλλοι είναι αλγόριθμοι με πίνακες χωρικής συσχέτισης. Και στις τρεις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται δυαδικά δεδομένα, χωρική απόσταση ενός εικονοστοιχείου και επτά μεγέθη παραθύρου εφαρμογής 5x5, 7x7, 11x11, 15x15, 19x19, 31x31 και 51x51.

Ο αλγόριθμος συχνότητας σε δυαδικά δεδομένα, υπολογίζει πόσες φορές εμφανίζεται η μονάδα, μέσα σε στο παράθυρο εφαρμογής και το αποτέλεσμα τοποθετείται στο κεντρικό εικονοστοιχείο. Για τα εικονοστοιχεία στα άκρα της εικόνας, ο αλγόριθμος τους ορίζει μηδενική τιμή και απαγορεύει περαιτέρω ανάλυση. Ο αλγόριθμος για κάθε παράθυρο υπολόγισε τέσσερις συνολικά πίνακες συχνότητας εμφάνισης, μια για κάθε διεύθυνση. Τέλος, από τις τέσσερις τιμές κάθε εικονοστοιχείου, υπολογίζεται η μέση τιμή και η μέση απόκλιση και αποθηκεύονται ως δυο νέες εικόνες. Υψηλές τιμές στον πίνακα μέσων τιμών υποδηλώνουν υψηλή πυκνότητα των πρωταρχικών δεδομένων στο παράθυρο εφαρμογής, ενώ υψηλές τιμές απόκλισης υποδηλώνουν μια τάση των δεδομένων του παραθύρου προς μια συγκεκριμένη διεύθυνση.

Ο δεύτερος αλγόριθμος υπολογίζει, για κάθε μια από τις τέσσερις γωνίες, τον Πίνακα Χωρικής Συσχέτισης τόνων του γκρι. Στο κεντρικό εικονοστοιχείο κάθε πίνακα τοποθετείται πόσες φορές εμφανίζεται ο συνδυασμός 0-1 ή 1-0. Συμπληρώνονται τέσσερις πίνακες, ένας για κάθε διεύθυνση. Υπολογίζεται επίσης η μέση τιμή και η μέση απόκλιση για κάθε εικονοστοιχείο. Υπολογίζεται ακόμα και η εικόνα με την μέγιστη τιμή από τους τέσσερις πίνακες κάθε εικονοστοιχείου.

Ο τρίτος αλγόριθμος καλύπτει τις αδυναμίες του δεύτερου. Όταν το παράθυρο εφαρμογής είναι μεγαλύτερων διαστάσεων από 3x3, τότε στον δεύτερο αλγόριθμο ορισμένα εικονοστοιχεία δεν συμμετείχαν στους υπολογισμούς. Ορίστηκε συνεπώς ένα υποπαράθυρο εφαρμογής διαστάσεων 2x2 το οποίο κινείται μέσα στο παράθυρο εφαρμογής και ο Πίνακας Συσχετίσεων υπολογίζεται για κάθε θέση μέσα στο υποπαράθυρο. Η υπόλοιπη διαδικασία μένει η ίδια και υπολογίζονται οι δύο εικόνες.

Οι τρεις κατηγορίες πυκνότητας δόμησης προέκυψαν ως εξής. Αρχικά πραγματοποιήθηκε ενίσχυση της εικόνας με χρήση φίλτρου ενίσχυσης ακμών (Laplacian), για την ανάδειξη αστικών περιοχών. Ακολούθησε μελέτη των ιστογραμμάτων αστικών περιοχών και προσπάθεια προσδιορισμού του κατωφλίου για την ανίχνευση αστικών περιοχών στην Αττική. Το κατάλληλο όριο προέκυψε

ύστερα από τυχαία δειγματοληψία (εκτός θάλασσας). Για τα εικονοστοιχεία των οποίων η κάλυψη γης δεν ήταν δυνατό να φωτοερμηνευτεί άμεσα, χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες.

Στη συνέχεια απομονώθηκαν οι καλλιέργειες και οι μη καλλιεργημένες περιοχές συγκεκριμένης υγρασίας εδάφους. Ο βασικός διαχωρισμός των αστικών περιοχών από τις άλλες κατηγορίες είναι μέσω της επιφάνειας που καταλαμβάνουν (εμβαδόν μικρότερο από 800 m^2 , δηλαδή 8 από τα 9 εικονοστοιχεία ενός πίνακα 3×3). Το όριο αυτό προέκυψε ύστερα από συστηματική παρατήρηση της περιοχής και δεν αποτελεί γενίκευση. Οι εναπομένουσες περιοχές στη συνέχεια αξιολογήθηκαν και προέκυψε πως πραγματοποιήθηκε βελτίωση της ανίχνευσής τους από το προηγούμενο στάδιο του ορισμού του κατωφλίου.

Έπειτα εφαρμόστηκαν οι τρεις αλγόριθμοι για τα οκτώ παράθυρα εφαρμογής ο κάθε ένας. Τέλος, ακολούθησε η επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Δεδομένα εκπαίδευσης ορίστηκαν και από τις τρεις κατηγορίες πυκνότητας, όπως και δεδομένα ελέγχου χωρίς να είναι επικαλυπτόμενα. Αναπτύχθηκε ένας ακόμη αλγόριθμος όπου για κάθε τάξη έγινε διαίρεση των τιμών που αντιστοιχούν στα εικονοστοιχεία τους με το σύνολο των εικονοστοιχείων και δημιουργήθηκαν νέα κατώφλια, με βάση τα οποία προέκυψαν τα αποτελέσματα διάκρισης των τριών κατηγοριών πυκνότητας δόμησης.

Για λόγους σύγκρισης του αποτελέσματος, έγινε επιπλέον ταξινόμηση με μέγιστη πιθανοφάνεια εικόνας Landsat, ανάλυσης 30m. Η εικόνα επιλέχθηκε ώστε μην απέχει πολύ χρονικά από την εικόνα SPOT. Η χωρική ανάλυση της εικόνας Landsat προφανώς επιτρέπει τη χρήση του όρου μικτών κατηγοριών ανά εικονοστοιχείο. Εκτός από τα δεδομένα εκπαίδευσης των αστικών περιοχών, που ήταν τα ίδια, ορίστηκαν και για τις μη αστικές περιοχές (θάλασσα, καλλιέργειες, δασικές περιοχές, χαμόκλαδα (brush land), άγονη γη, καμένη δασική περιοχή, σύννεφα, σκιά από σύννεφα). Το αποτέλεσμα χωρίστηκε εκ νέου σε αστικές (τρεις κατηγορίες), μη αστικές περιοχές. Η ολική ακρίβεια που επετεύχθη ήταν 79.7% ενώ ο δείκτης \hat{k} ήταν πολύ μικρός. Μικρές επίσης ήταν και οι ακρίβειες για κάθε αστική κατηγορία.

Για τη μέθοδο με τις υφές, υπολογίστηκε για κάθε ταξινομημένη εικόνα η συνολική ακρίβεια και ο δείκτης \hat{k} . Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ολική ακρίβεια και ο δείκτης \hat{k} προκύπτουν μεγαλύτεροι για παράθυρα μεγαλύτερα ή ίσα 31×31 και μάλιστα για τον τρίτο αλγόριθμο αν και ο πιο χρονοβόρος. Αυτό σημαίνει ότι οι κατοικημένες περιοχές μελετώνται καλύτερα ως περιοχές που έχουν εμβαδόν 30 φορές μεγαλύτερη από το εικονοστοιχείο. Ο \hat{k} δείκτης αναμενόταν μεγαλύτερος (max τιμή 48.07), αλλά υπήρχαν συστηματικά λάθη εξαιτίας του παραθύρου εφαρμογής.

Συμπερασματικά, η μέθοδος με την εκμετάλλευση της υφής μιας εικόνας απέδωσε καλύτερη συνολικά ακρίβεια και δείκτη \hat{k} από την επιβλεπόμενη με χρήση της μέγιστης πιθανοφάνειας της εικόνας Landsat. Πιο συγκεκριμένα επιτεύχθηκε κατά 9.91% μεγαλύτερη ολική ακρίβεια, κατά 0.16 μεγαλύτερος δείκτης \hat{k} και κατά 50%-60% καλύτερο αποτέλεσμα για κάθε οικιστική κατηγορία.

2^η Εφαρμογή

Η περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής έχει μελετηθεί και πιο πρόσφατα, από τους ερευνητές Chorianoopoulos et al. [2009], ως προς τον σχεδιασμό την ανταγωνιστικότητα και την αστική εξάπλωση που παρουσιάζει. Η Αθήνα, που φιλοξένησε επιτυχημένα τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004, εξετάζεται σε επίπεδο αλλαγής ανάπτυξης και γενικότερα εξέλιξης, χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες σε συνδυασμό με Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Η υποδομή που κατασκευάστηκε με αφορμή την διεξαγωγή των Ολυμπιακών Αγώνων στην Αθήνα ήταν σημαντική. Ενδεικτικά παραδείγματα αποτελούν ο νέος Διεθνής Αερολιμένας καθώς και η Αττική Οδός. Οι απαιτήσεις υποδομών συχνά παρέβλεπαν τις μέχρι τότε στρατηγικές σχεδιασμού ως προς την μητροπολιτική ανάπτυξη. Το αποτέλεσμα της έρευνας έδειξε πως στα αστικά περίχωρα επικρατεί η τάση της αλλαγής χρήσεων γης, η οποία μάλιστα λαμβάνει τη μορφή άναρχης επέκτασης. Το γενικό συμπέρασμα της έρευνας αυτής ήταν πως στο βωμό της ανταγωνιστικότητας της πόλης επιδεινώθηκαν οι μη βιώσιμες αναπτυξιακές τάσεις, θέτοντας σε κίνδυνο τις μελλοντικές προοπτικές ανάπτυξης της περιοχής.

Η εξέλιξη των αστικών περιοχών ερευνάται στην περιοχή των Μεσογείων λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στις χρήσεις γης. Η ανίχνευση γίνεται με χρήση δορυφορικών εικόνων και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών βασιζόμενοι αρχικά στις αλλαγές κάλυψης γης. Η ποσοτικοποίηση των αλλαγών έδειξε την ασυμφωνία μεταξύ των στόχων που όριζε ο σχεδιασμός και των τάσεων ανάπτυξης υπογραμμίζοντας τη σχέση μεταξύ ανταγωνιστικότητας και άναρχης δόμησης (εξάπλωσης).

Η ανίχνευση αλλαγών χρήσεων γης στα Μεσόγεια έγινε χρησιμοποιώντας την τεχνική της σύγκρισης μετά την ταξινόμηση, ώστε να ξεπεραστούν τα προβλήματα στη σύγκριση εικόνων από διαφορετικές χρονικές περιόδους στο χρόνο και λόγω της πιθανής διαφοράς αισθητήρων. Παρόλα αυτά χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην ταξινόμηση κάθε εικόνας μεμονωμένα και ειδικά στην αξιολόγηση της ακρίβειας της κάλυψης γης ως βάση ιστορικών δεδομένων. Επειδή στην μελέτη ενδιαφέρει κυρίως η αστικοποίηση των περιοχών, η ανίχνευση υλοποιείται ύστερα από σύγκριση εικόνων διαφορετικών ημερομηνιών εικόνων Landsat 5 (Ιούνιος 1987 και Μάιος 2003), όταν έχει γίνει γενική ταξινόμηση των εικόνων με δυαδικό τρόπο (αστικό, μη αστικό). Η φασματική ανάλυση των δορυφόρων είναι στα 7 κανάλια, και η ονομαστική χωρική ανάλυση στα 30m.

Πραγματοποιήθηκε γεωμετρική διόρθωση των εικόνων, με πολυώνυμο δευτέρου βαθμού και αλγόριθμο εγγύτερου γείτονα για αναδόμηση, με RMS μικρότερο από ένα εικονοστοιχείο. Η γεωαναφορά έγινε σύμφωνα με το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987, ενώ η ταξινόμηση έγινε με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας με τυχαία επιλεγμένο δείγμα για κάθε κατηγορία κάλυψης γης (με τη βοήθεια χαρτών κάλυψης γης). Αρχικά επιλέχθηκαν επτά κατηγορίες από το σύστημα ταξινόμησης CORINE, ώστε να υπάρχει διαλειτουργικότητα με άλλα προϊόντα ταξινόμησης. Ακολούθησε ενοποίηση κατηγοριών ώστε τελικά να διαχωριστούν στις γενικές κατηγορίες αστικό-μη αστικό. Οι αρχικές κατηγορίες ήταν οι αστικές χρήσεις (συμπεριλαμβανομένου και της ασυνεχούς αστικής δόμησης, τις βιομηχανικές και εμπορικές μονάδες, τα αεροδρόμια, τους χώρους εξόρυξης ορυκτών, τα εργοτάξια), διάφορες καλλιέργειες (σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, γη καλυπτόμενη κυρίως

από γεωργία με σημαντική έκταση φυσικής βλάστησης κ.α.), ελαιώνες, αμπελώνες, χαμηλή βλάστηση (γρασίδι, σκληροφυλλική βλάστηση, μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις), δάση και τέλος υδάτινες επιφάνειες.

Από δύο εικόνες μόνο, η ανίχνευση αλλαγών δεν είναι πάντα τόσο αξιόπιστη ως προς το αποτέλεσμα επειδή συχνά παρατηρείται σύγχυση μεταξύ τάξεων με παρόμοιες φασματικές υπογραφές. Γι αυτό τον λόγο είθισται να χρησιμοποιούνται είτε διαχρονικές εικόνες (σε διάφορες εποχές), ή εικόνες διάφορων αισθητήρων ή πιο προηγμένες τεχνικές ταξινόμησης (πχ. με κανόνες), ή με μεθόδους ανίχνευσης πραγματικών αλλαγών και διαχωρισμός τους από τις τυχαίες. Η ακρίβεια κάθε ταξινόμησης έγινε με τον Πίνακα Σύγχυσης, με ολική ακρίβεια 93% και 94% στις εικόνες του 1987 και 2003 αντίστοιχα, ενώ ο χάρτης αλλαγών στο 86%. Σύμφωνα με το χάρτη στις αστικές περιοχές προστέθηκε ένα 12% της έκτασης.

Στην μελέτη αυτή συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα κάθε χρονιάς με τα αποτελέσματα στο σύστημα ζωνών χρήσης γης που έχουν προταθεί από τον οργανισμό UDCA για τα Μεσόγεια με αποκλίσεις. Ως γενικό συμπέρασμα, η αστική ανάπτυξη της περιοχής μπορεί να χαρακτηριστεί ότι αποκλίνει σημαντικά από τους στόχους σχεδιασμού. Σημαντικές απώλειες παρουσιάζουν οι αγροτικές περιοχές. Η περιοχή εμφανίζει μη προγραμματισμένη αστική εξάπλωση και συνεπώς χαρακτηρίζεται ως περιοχή με άναρχη δόμηση. Οι λόγοι που κρύβονται πίσω από τον ανεπαρκή χωροταξικό σχεδιασμό είναι τα μη επαρκή χαρακτηριστικά των εργαλείων διαχείρισης γης. Ο δημοτικός κατακερματισμός της περιοχής σε δήμους έγινε ώστε να διαχειριστεί η ανάπτυξη της περιοχής, αλλά δεν υπάρχει οργανισμός λήψης αποφάσεων που να επιβλέπει τις εξελίξεις. Η έγκριση διεξαγωγής των Ολυμπιακών Αγώνων κατέστησε το αρχικό σχέδιο του 1984 απαρχαιωμένο πριν καν εφαρμοστεί.

Η προώθηση ανταγωνιστικών χωρικών πολιτικών είναι ένα διεθνές φαινόμενο που στην περιοχή της Αθήνας έφερε στο προσκήνιο συγκεκριμένο γεωγραφικά και πολλά υποσχόμενο τμήμα της μητροπολιτικής περιοχής. Οι υπηρεσίες που είχαν αναλάβει την περαίωση των έργων για τους Ολυμπιακούς Αγώνες είχαν ως μοναδικό στόχο την έγκαιρη παράδοση και την βραχυπρόθεσμη αποτελεσματικότητα. Επίσημες δομές σχεδιασμού δεν εφαρμόστηκαν σε αυτή την προσπάθεια εξέλιξης και η έννοια της ανταγωνιστικότητας ποτέ δεν συνδέθηκε με μια συνεκτική χωροταξική πολιτική συνυφασμένη με την αειφόρο ανάπτυξη των μητροπόλεων. Ως αποτέλεσμα, η χωρική αναδιάρθρωση των παρεμβάσεων στην περιοχή των Μεσογείων κατέληξε να θεωρείται ως ‘άναρχη εξάπλωση’. Η διαφοροποίηση στον τρόπο ανάπτυξης μιας περιοχής έγκειται στην τροποποίηση προσφοράς και ζήτησης. Στην περίπτωση της Αθήνας, ενέργειες παροχής σχετιζόμενες με τη δημιουργία μητροπολιτικών κυβερνητικών δομών, δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένες. Τέτοιες ενέργειες εκτός του ότι θα βελτίωναν το συντονισμό των φορέων προωθώντας τους στόχους ανάπτυξης, θα επέτρεπαν και την διαχείριση των πιέσεων στην περιοχή.

Οι τοπικές αρχές εκείνη την εποχή ήταν απόντες από διεργασίες που επηρεάζουν την ανάπτυξη, αφήνοντας το περιαστικό χώρο ανεξέλεγκτο. Ως συνέπεια αυτού έρχεται ο κίνδυνος της μη βιώσιμης ανάπτυξης της περιοχής. Τον Μάρτιο του 2009 σε δημόσια διαβούλευση, το αναθεωρημένο Σχέδιο προτείνει μια σειρά από ενέργειες και μέτρα με στόχο την ενίσχυση του ρόλου της Αθήνας ως ένας ‘κόμβος δικτύωσης για την νότια και ανατολική ζώνη της ΕΕ’. Η περιοχή θεωρήθηκε ως ικανή να προσελκύσει επενδύσεις σε καινοτόμους τομείς, δημιουργώντας πορείες ανάπτυξης

ικανές να πυροδοτήσουν ανάπτυξη στο υπόλοιπο της χώρας. Οι παραπάνω στόχοι έχουν ήδη ενσωματωθεί στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα (2007-2013) της περιφέρειας της Αττικής.

Τα Μεσόγεια θεωρούνται πια ως ένας πόλος ανάπτυξης, ενώ η προοπτική επενδύσεων κυρίως στην οδική υποδομή αναμένεται να ενισχύσει ακόμα περισσότερο τις τοπικές προοπτικές ανάπτυξης. Η ανταγωνιστικότητα πια αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα διαμόρφωσης πολιτικής, αλλά το θεσμικό πλαίσιο για την καθοδήγηση της αστικής ανάπτυξης εκλείπει, με αποτέλεσμα η ανταγωνιστικότητα να οδηγεί στην άναρχη επέκταση των αστικών περιοχών στα Μεσόγεια.

2.4. Εφαρμογές με Αντικειμοστραφείς και Άλλες Προηγμένες Μεθόδους

Στο εδάφιο αυτό πρόκειται να γίνει αναφορά σε ορισμένες μελέτες που σχετίζονται με ανίχνευση αλλαγών σε διαχρονικά δεδομένα με τη μέθοδο αντικειμενοστραφούς ανάλυσης των εικόνων. Μερικές από τις έρευνες αυτές επηρέασαν τη μεθοδολογία αντικειμενοστραφούς λογικής που αναπτύχθηκε στην εργασία αυτή.

Η εργασία των Hongtao και Yifang [2008], πάνω στην ανίχνευση αλλαγών χρήσεων γης σε αστικές περιοχές έγινε με δεδομένα από τον δορυφόρο υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας RADARSAT/SAR (με δυνατότητα λήψης και το βράδυ και γενικά σε όλες της καιρικές συνθήκες) χρησιμοποιώντας νευρωνικά δίκτυα και ταξινομητές βάσης γνώσης. Επιλέχθηκαν πέντε εικόνες με χρονική απόσταση περίπου ενός μήνα (Μάιος – Αύγουστος 2002) στην περιοχή Toronto. Επιπρόσθετα χρησιμοποιήθηκε και μια εικόνα Landsat TM του 1988 για την ανίχνευση αλλαγών. Λόγω της υψηλής χωρικής ανάλυσης (10m), ήταν δυνατό να διακριθούν οι κατηγορίες υψηλής πυκνότητας δόμησης, χαμηλής πυκνότητας δόμησης, δρόμοι, δάση, πάρκα, γήπεδα γκολφ, υδάτινες επιφάνειες και τέσσερις τύποι καλλιεργειών.

Η προτεινόμενη προσέγγιση ανίχνευσης των εικόνων SAR ήταν αρχικά η κατάτμηση (λογισμικό eCognition), έπειτα η ταξινόμηση με επιλογή ορισμένων χαρακτηριστικών και ανάπτυξη αντικειμενοστραφών νευρωνικών δικτύων και τρίτον, η ανάπτυξη συνόλου κανόνων για την βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης. Η ανίχνευση αλλαγών έγινε ύστερα από την ταξινόμηση των παραπάνω εικόνων αλλά και της εικόνας Landsat που έγινε με εφαρμογή μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης με χρήση του αλγορίθμου ISODATA και του k-μέσων με λιγότερες κατηγορίες λόγω της μικρότερης διακριτικής ικανότητας εικόνας. Η ολική ακρίβεια προέκυψε 87.9% και ο δείκτης \hat{k} : 0.867. Η τεχνική αυτή ήταν δυνατό να ανιχνεύσει περιοχές σημαντικής αλλαγής, όπως για παράδειγμα τα νέα κτήρια παρόλο που η ολική ακρίβεια δεν είναι τόσο μεγάλη.

Για τη γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων συλλέχθηκαν επιπρόσθετα δεδομένα όπως πχ. επίγεια σημεία ελέγχου, ορθοφωτογραφίες, συνθήκες υγρασίας, Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας 30m, Εικόνες Landsat ETM+ (2002) και άλλα. Επίσης οι αρχικές εικόνες SAR συμπίεστηκαν από 16 bit σε 8, για πιο εύκολη διαχείριση τους.

Η ταξινόμηση στο eCognition πραγματοποιήθηκε με χρήση 68 χαρακτηριστικών εκ των οποίων μερικά ήταν φασματικά και άλλα σχηματικά. Πολύ σημαντικό ήταν ότι χρησιμοποιήθηκαν και δείκτες υφής (GLCM) όπως η ομοιογένεια, η αντίθεση και άλλοι. Από το σύνολό τους έγινε επιλογή εκείνων των χαρακτηριστικών ώστε να μειωθεί ο υπολογιστικός χρόνος και ο θόρυβος, αλλά και να αυξηθεί η ακρίβεια της ταξινόμησης. Μέσω της διαδικασίας (minimum redundancy-maximum-relevance) επιλέχθηκαν 16 από αυτά τα χαρακτηριστικά ως ο καλύτερος συνδυασμός. Στη συνέχεια ακολουθεί η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση με νευρωνικά δίκτυα που προσομοιάζουν τη λογική του ανθρώπινου εγκεφάλου. Χρησιμοποιήθηκε μη παραμετρική προσέγγιση χωρίς να ενσωματωθεί κάποια κατανομή. Τα νευρωνικά δίκτυα ξεπερνούν τους περιορισμούς των κλασσικών ταξινομητών, όπως ο ταξινομητής της μέγιστης πιθανοφάνειας, οποίος στηρίζεται σε αβάσιμες υποθέσεις όπως η κανονική κατανομή των δεδομένων.

Αρχικά ορίστηκαν τα δεδομένα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία καθώς και τα δεδομένα ελέγχου. Τα δεδομένα εκπαίδευσης μαζί με τα 16 χαρακτηριστικά εξάχθηκαν από το λογισμικό eCognition και εισήχθησαν στο πρόγραμμα PCI Geomatica για την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου. Στη συνέχεια, όλα τα αντικείμενα της κατάτμησης ταξινομήθηκαν σύμφωνα με τα 16 χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας εκπαιδευμένα επίπεδα νευρωνικών δικτύων. Η βελτίωση των λανθασμένα ταξινομημένων αντικειμένων έγινε με επιπρόσθετα χαρακτηριστικά (κανόνες) όπως γειννίασης, σχήματος κ.α.. Μετά την εφαρμογή τους αυξήθηκε τόσο ο δείκτης \hat{k} όσο και η ολική ακρίβεια.

Για τη σύγκριση της εικόνας Landsat και των SAR εικόνων, κάποιες κατηγορίες από το δεύτερο δορυφόρο συγχωνεύτηκαν ώστε να υπάρχει αντιστοίχιση με τις κατηγορίες προερχόμενες από τον Landsat. Η ανίχνευση αλλαγών έγινε με χρήση τεχνικών διαφοράς τιμών των εικόνων. Προφανώς, η ακρίβεια της διαδικασίας ανίχνευσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια της ταξινόμησης της μεμονωμένης εικόνας. Ωστόσο, με τη μέθοδο αυτή ήταν εφικτό να αναγνωρίζονται οι περιοχές με σημαντικές αλλαγές.

Στην έρευνα των Cincio et al. [2002], παρουσιάζεται μια σύγκριση, ποιοτική και ποσοτική, μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης. Οι τέσσερις μέθοδοι που συγκρίνονται είναι η παραδοσιακή μετά την ταξινόμηση πινακοποίηση, η ανάλυση με ετεροσυσχέτιση, τα νευρωνικά δίκτυα και η ταξινόμηση με αντικειμενοστραφείς μεθόδους ύστερα από κατάτμηση. Οι υποπεριοχές μελέτης ήταν δύο σε μια ευρύτερη περιοχή στο New Jersey και επιλέχθηκαν 9 κατηγορίες προς ανάλυση. Συνολικά λήφθηκαν τέσσερις εικόνες Landsat, δύο το 1989 (Μάρτης και Σεπτέμβρης), μία το 2000 (Μάιος) και μια το 1999 (Σεπτέμβρης). Το πρώτο ζεύγος αποτελεί της συνθήκες για το διάστημα T1 και το δεύτερο για το T2. Ο λόγος που λήφθηκαν δύο εικόνες σε κάθε χρονιά είναι για να διαχωριστούν οι εποχικές από τις πραγματικές αλλαγές. Αποδείχθηκε πως αν και κάθε μια από αυτές έχει τα δικά της πλεονεκτήματα, καμία από τις παραπάνω δεν μπορεί μεμονωμένα να λύσει το πρόβλημα της ανίχνευσης αλλαγών.

Από τις 9 κατηγορίες, που βρέθηκαν και στα δύο ζεύγη, τέθηκε ο περιορισμός στο ποιες από τις μεταβάσεις χρήσεων γης είναι πιθανές και αληθοφανείς. Στην πρώτη μέθοδο σχηματίστηκε για τη χρονιά 1989 μια σύνθεση από τα δεκατέσσερα κανάλια και των δύο εικόνων και εφαρμόστηκε μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με χρήση του αλγορίθμου ISODATA και οι αρχικές συσσωρεύσεις αντιστοιχήθηκαν στις εννέα κατηγορίες. Αντίστοιχη διαδικασία έγινε και στο δεύτερο ζεύγος.

Η μέθοδος της ετεροσυσχέτισης ξεπερνά πολλούς από τους περιορισμούς των συμβατικών μεθόδων και μετράει τις διαφορές μεταξύ μιας υπάρχουσας ταξινομημένης εικόνας με μια πρόσφατη πολυφασματική εικόνα. Η τεχνική αυτή περιορίζει τα προβλήματα στη ραδιομετρία και της φαινομενικές διαφορές που συχνά παρατηρούνται σε περιπτώσεις ανίχνευσης. Από την πρώτη εικόνα αντλούνται στατιστικά στοιχεία τα οποία εφαρμόζονται στην πιο πρόσφατη εικόνα, όπου για κάθε εικονοστοιχείο συγκρίνεται η τιμή που έχει πραγματικά με την αναμενόμενη φασματική απόκριση της κλάσης που αντιστοιχεί στην εικόνα κάλυψης γης.

Στα νευρωνικά δίκτυα αναπτύχθηκαν δύο αλγόριθμοι. Ο πρώτος αποτελείται από εργαλεία για την εκτέλεση επιλογής επιβλεπόμενων δειγμάτων, εργαλεία εκτέλεσης ταξινόμησης με χρήση επαναδιάδοσης νευρωνικών δικτύων, αλγόριθμους μέγιστης πιθανοφάνειας, δείκτες υφής κατά Haralick και άλλα. Ο δεύτερος είναι ένα ολοκληρωμένο εργαλείο για τη δημιουργία νευρωνικών δικτύων πρόβλεψης.

Η αντικειμενοστραφής μεθοδολογία υλοποιήθηκε στο λογισμικό eCognition με όλες τις γνωστές παραμέτρους και δυνατότητες στην κατάτμηση, στην ιεραρχία επιπέδων και στην ανάπτυξη βάσης γνώσης με τη χρήση Ασαφούς Λογικής. Η κατάτμηση κάθε εικόνας έγινε στο σύνολο των δεδομένων κάθε χρονιάς και δημιουργήθηκαν τέσσερα επίπεδα ανάλυσης σε κάθε χρονιά και ακόμα εισήχθηκαν και ορισμένοι δείκτες. Ύστερα από την κατάτμηση και ταξινόμηση κάθε συνδυασμένης εικόνας (πχ. T1 περίοδος), τα αποτελέσματα ενοποιήθηκαν σε εικόνα αλλαγής από T1 προς T2 χρησιμοποιώντας διαδικασίες ταξινόμησης του λογισμικού ERDAS, επίσης βασιζόμενο σε βάση γνώσης.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι δύο πρώτες τεχνικές έχουν συγκρίσιμα αποτελέσματα. Για τα νευρωνικά δίκτυα, αν και έλαβαν υψηλή ακρίβεια, παρουσιάστηκαν περιοχές με σημαντική συμπερίληψη και παράλειψη. Το πρόβλημα δεν έγκειται στην μέθοδο αυτή κάθε αυτή, αλλά ο τύπος που τα αποτελέσματα των εκπαιδευμένων δικτύων μετατρέπονται σε χαρτογραφημένη πληροφορία. Η αντικειμενοστραφής μέθοδος είναι ίσως η περισσότερα υποσχόμενη περίπτωση ανίχνευσης. Με ξεχωριστή ταξινόμηση των περιπτώσεων T1 και T2 διαμορφώθηκε ένα σύνολο κανόνων (βάση γνώσης) για τον καθορισμό των αντικειμένων που έχουν αλλάξει κάλυψη γης. Ως ένα βαθμό είναι ανάλογη διαδικασία με την παραδοσιακή αλλά σε αντικείμενα και όχι σε εικονοστοιχεία μειώνοντας αισθητά το φαινόμενο του ‘αλατοπίπερου’.

Η ακρίβεια των μεθόδων εξαρτάται από την ακρίβεια που έχει επιτευχθεί σε κάθε μια από τις ταξινομημένες εικόνες και συχνά είναι αρκετά μικρότερη από αυτές. Σε περιπτώσεις ομαδοποιήσεων, διαφοράς εικόνων, δημιουργίας δεικτών κ.α. δεν υπάρχει ανάγκη για εκ των προτέρων γνώση, αλλά απαιτείται ουσιαστική εκ των υστέρων ερμηνεία. Το πιο σημαντικό συμπέρασμα αυτής της έρευνας είναι ότι μια μέθοδος βασιζόμενη στην αντικειμενοστραφή ταξινόμηση αποτελεί μια βελτιωμένη τεχνική ανίχνευσης η οποία θα μπορούσε ίσως να βελτιωθεί αν ενσωματώσει τεχνικές νευρωνικών δικτύων και μαζί να λειτουργούν πια ως μια ενιαία προσέγγιση του προβλήματος.

Ένα ακόμα παράδειγμα στο οποίο εφαρμόστηκε αντικειμενοστραφής μέθοδος ανίχνευσης αλλαγής χρήσης/κάλυψης γης σε εικόνες Landsat είναι των ερευνητών Owojori και Xie σε περιοχή στο Texas ύστερα από την εφαρμογή προηγμένων μεθόδων ατμοσφαιρικής διόρθωσης.

Η συγκεκριμένη περιοχή παρουσιάζει σημαντική αύξηση πληθυσμού τις τελευταίες δεκαετίες θέτοντας σε κίνδυνο ορισμένους φυσικούς πόρους. Χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες Landsat TM (Οκτώβρης 1985 και Οκτώβρης 2003). Πριν την εφαρμογή της μεθόδου έγινε η ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων με τη μέθοδο Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASHTM). Το πρόγραμμα αυτό είναι ενσωματωμένο στο λογισμικό ENVI και συνυπολογίζει το υψόμετρο, την υγρασία της ατμόσφαιρας και τον αέρα.

Η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας eCognition. Δημιουργήθηκαν τέσσερις ευρείες κατηγορίες, οι καλλιέργειες, τα δάση, οι υδάτινες επιφάνειες και οι αδιαπέρατες επιφάνειες (κτήρια, δρόμοι, χώροι στάθμευσης κ.α.) και ταξινομήθηκαν αρχικά, ύστερα από την επιλογή αρκετών δειγμάτων εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία, με τον αλγόριθμο του Εγγύτερου Γείτονα, ενώ στη συνέχεια εφαρμόστηκαν επιπλέον σχέσεις σχήματος, γεινιάσης και άλλες χωρικές σχέσεις.

Στη συνέχεια ακολούθησε ο υπολογισμός της ακρίβειας και η ανίχνευση αλλαγών. Δημιουργήθηκαν πίνακες σύγχυσης, ένας για κάθε εικόνα, ύστερα από τον

προσδιορισμό δεδομένων ελέγχου. Η ολική ακρίβεια που επετεύχθη και στις δυο εικόνες ήταν μεγάλη (86% για την εικόνα του 1985 και 88% για του 2003). Οι ταξινομημένες εικόνες εισήχθησαν στο λογισμικό ENVI ώστε να εξαχθούν στατιστικά αλλαγής.

Το αποτέλεσμα της έρευνας έδειξε την αύξηση της αδιαπέρατης επιφάνειας κατά 33% στο διάστημα αυτό. Η έκταση αυτή προέρχεται από μείωση της δασική έκτασης, μείωση όμως που είναι ορατή με το μάτι, αλλά δεν αντικατοπτρίζεται στην ολική πληροφορία αλλαγής μιας και υπάρχει σύγχυση στην ταξινόμηση των δασικών εκτάσεων και των καλλιεργειών και σε αυτό ευθύνεται η επιλογή ορισμένων λανθασμένων δειγμάτων εκπαίδευσης από φωτοερμηνεία. Και σε αυτή τη μέθοδο παρατηρείται υποκειμενικότητα σε ορισμένους παράγοντες όπως για παράδειγμα η επιλογή επιπέδων κατάτμησης, η κλίμακα, η επιλογή βάρους στο σχήμα και η επιλογή αντικειμένων εκπαίδευσης, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν και σε λανθασμένα ταξινομημένα αντικείμενα.

Ενδιαφέρουσα είναι και η αντιμετώπιση περιπτώσεων ανίχνευσης μεταβολών στην κάλυψη γης και κυρίως των αστικών περιοχών, ύστερα από σεισμικές δραστηριότητες [Bitelli et al., 2004]. Η ανίχνευση έγινε με τη βοήθεια δορυφορικών απεικονίσεων πριν και μετά το συμβάν, στις οποίες έγινε γεωαναφορά και εφαρμόστηκαν σε αυτές διάφορες τεχνικές ώστε να γίνει η εκ των υστέρων επίβλεψη και αξιολόγηση των καταστροφών. Για την εργασία χρησιμοποιήθηκαν εικόνες μεσαίας και υψηλής ανάλυσης και οι μέθοδοι ανίχνευσης ήταν και με βάση το εικονοστοιχείο αλλά και αντικειμενοστραφής. Η τελευταία μέθοδος κρίθηκε πιο χρήσιμη καθώς αντιμετωπίζεται σε ένα βαθμό το πρόβλημα της μη ικανοποιητικής γεωμετρικής διόρθωσης (μη διαθέσιμα DEM, ορθοφωτογραφίες, χάρτες) που πραγματοποιήθηκε στις εικόνες και μπορεί να ανιχνεύσει πιο αποτελεσματικά τις μεταβολές. Προβλήματα επίσης προέκυψαν και στη ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων. Το βασικό συμπέρασμα της έρευνας είναι ότι στο μέλλον πρέπει η κλασσική επίβλεψη των καταστροφών να συνοδεύεται από ημιαυτόνομες μεθόδους αντικειμενοστραφούς ερμηνείας των αντικειμένων.

Για την ημιαυτόματη ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε βάση γνώσης που προσομοιώνει τον ανθρώπινο εγκέφαλο, αφού προηγήθηκε κατάτμηση στην εικόνα μετά το συμβάν ώστε να δημιουργηθούν τα αντικείμενα σύμφωνα με τις νέες συνθήκες. Δημιουργήθηκαν διάφορα επίπεδα κατάτμησης και εκμεταλλεύτηκαν οι ιδιότητες υψής για τον διαχωρισμό των αστικών περιοχών και του δείκτη NDVI για τη βλάστηση αλλά και των σκιών.

Η ανάλυση ανά εικονοστοιχείο έγινε στο λογισμικό ERDAS, υπολογίζοντας διαφορές φωτεινότητας στα αντίστοιχα εικονοστοιχεία. Το αποτέλεσμα βελτιώνεται χρησιμοποιώντας επιπρόσθετα δέντρα απόφασης με άλλες μεταβλητές (όπως ο αλγόριθμος μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA και ο δείκτης NDVI) για να διαχωριστούν αυτόματα οι περιοχές ενδιαφέροντος. Παρά τα 2494 σημεία ελέγχου, η γεωαναφορά δεν είναι καλή και το αποτέλεσμα δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστο. Αντίθετα, η αντικειμενοστραφής μέθοδος αναγνωρίζει τις σημαντικές αλλαγές ακόμη και όταν δεν είναι διορθωμένες γεωμετρικά, και το αποτέλεσμα βελτιώνεται ακόμα περισσότερο όταν χρησιμοποιηθούν όλα τα σημεία ελέγχου. Οι πιο εύκολα ανιχνεύσιμες περιπτώσεις ήταν όταν η διαβάθμιση της καταστροφής χαρακτηριζόταν μεσαία και μεγάλη.

Η ανίχνευση αλλαγών σε μη διαπερατές επιφάνειες με τη χρήση διαχρονικών Landsat εικόνων σε σύνθετες αστικές και ημιαστικές περιοχές μελετήθηκε και από τους ερευνητές Lu et al. [2010] στην περιοχή της Βραζιλίας. Λόγω της μέτριας χωρικής ανάλυσης των εικόνων, συχνά εμφανίζεται το πρόβλημα του μικτού εικονοστοιχείου και γενικά η φασματική σύγχυση μεταξύ αδιαπέρατων επιφανειών και άλλων καλύψεων γης εκτός της βλάστησης. Η εκτίμηση των αδιαπέρατων επιφανειών, για καλύτερα αποτελέσματα, έγινε με ενσωμάτωση πληροφοριών από εικόνες της περιοχής μεγαλύτερης χωρικής διακριτικής ικανότητας (QuickBird) ύστερα από ορισμένες απαιτούμενες διεργασίες γεωμετρικής και ραδιομετρικής διόρθωσης. Αρχικά έπρεπε να γίνει μια βαθμονόμηση (καλιμπράρισμα) των αδιαπέρατων επιφανειών της Landsat εικόνας αναφοράς μέσω ενός υπάρχοντος μοντέλου παλινδρόμησης για τις αδιαπέρατες επιφάνειες εικόνας QuickBird της ίδιας χρονιάς και στη συνέχεια έπρεπε να γίνει κανονικοποίηση μεταξύ του βαθμονομημένου έτους αναφοράς με τις άλλες ημερομηνίες.

Με τη μεθοδολογία διεξαγωγής μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στις εικόνες Landsat και με τη βοήθεια υβριδικών μεθόδων ανάλυσης των διαχρονικών εικόνων QuickBird μπορεί να περιοριστεί η υπερεκτίμηση των αδιαπέρατων επιφανειών με τις παραδοσιακές ανά εικονοστοιχείο ταξινομήσεις όπως της μέγιστης πιθανοφάνειας και η υποτίμηση των αγροτικών-μη αστικών περιοχών. Στη συνέχεια είναι εφικτός ο κλασματικός υπολογισμός βαθμού αδιαπερατότητας κάθε εικονοστοιχείου Landsat, σύμφωνα με την ύπαρξη αδιαπέρατων εικονοστοιχείων της εικόνας QuickBird.

Σε έρευνα των Han et al. [2007], χρησιμοποιήθηκαν πέντε εικόνες από τους θεματικούς χαρτογράφους Landsat TM και ETM+ τις χρονιές 1985, 1986, 1993, 1994 και 2001 σε περιοχή της Κίνας, για να ποσοτικοποιηθεί η αλλαγή στη χρήση και στη κάλυψη γης. Η τεχνική ταξινόμησης των εικόνων ήταν ένας συνδυασμός σταδιακής (στρωματοποιημένης) μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και οπτικής ερμηνείας. Στο πρώτο στάδιο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ‘Anderson’ όπου η ταξινόμηση διαχωρίζεται σε τρία επίπεδα ανάλυσης κατηγοριών, ενώ οι αστικές περιοχές στο διάστημα αυτό τετραπλασιάστηκαν. Η περίοδος αυτή χωρίστηκε σε υποπερίόδους λόγω των διαφορετικών ρυθμών ανάπτυξης από το 1985 μέχρι το 1993 και από το 1993 μέχρι το 2001. Σε αυτό συνέβαλαν διαφορετικοί κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες όπως το ακαθάριστο εθνικό προϊόν, ο συνολικός πληθυσμός, οι οικονομικές δαπάνες, οι οποίοι ήταν υψηλά συσχετισμένοι με την επέκταση των αστικών περιοχών. Με βάση το βαθμό αστικής εξάπλωσης και των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων, οι πόλεις και οι οικισμοί χωρίστηκαν περαιτέρω σε έξι υποκατηγορίες που μπορούν να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων για τις περιοχές. Στις εικόνες προηγήθηκε κοινή γεωαναφορά, γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση. Η αξιολόγηση έγινε μέσω τυχαίας δειγματοληψίας σημείων ως δεδομένα ελέγχου τα οποία τεκμηριώθηκαν από τους εγγενείς (native) αγρότες με ολική ακρίβεια των εικόνων περίπου στο 90% για τις κατηγορίες πρώτου επιπέδου και περίπου στο 85% στο τρίτο επίπεδο. Για τη στατιστική μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν 26 κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές από την στατιστική υπηρεσία της χώρας στην ανάλυση των κύριων συνιστωσών και κατά την ανάλυση συσχετισμού. Έγινε ακόμα ομαδοποιημένη ανάλυση για τις χρονιές του 1985, του 1993 και του 2001. Για την στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SAS.

Οι ερευνητές Ward et al. [2000], μελέτησαν τη γρήγορη ανάπτυξη σε περιοχή της Αυστραλίας χρησιμοποιώντας διαχρονικές δορυφορικές εικόνες Landsat TM για το 1988 και το 1995. Στην έρευνα αυτή έγινε προσπάθεια ανάδειξης των αστικών περιοχών και αυτές διακρίθηκαν σε δυο κατηγορίες, τις απόλυτα αδιαπέραστες επιφάνειες και όλα τα υπόλοιπα στάδια αστικοποίησης, τα οποία και ενοποιήθηκαν στην άλλη κατηγορία. Αρχικά πραγματοποιήθηκε μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση και διαχωρισμός ύστερα από κατάτμηση της εικόνας σε γενικές κατηγορίες με τη βοήθεια του δείκτη NDVI και των καναλιών 3 και 5. Ιδιαίτερος ήταν ο προβληματισμός σχετικά με το έδαφος, διότι σε ορισμένες περιπτώσεις επρόκειτο για αγροτική περιοχή ενώ σε άλλες για νέους αστικούς σχηματισμούς. Ο διαχωρισμός των φασματικά παρόμοιων κατηγοριών ιδανικά μπορεί να γίνει με εκμετάλλευση χωρικών ιδιοτήτων και χρήση ταξινομητών ασαφούς λογικής, αλλά όταν επιλέγονται φασματικοί κανόνες τότε ο διαχωρισμός γίνεται με εκμετάλλευση των ιδιοτήτων του αστικού εδάφους λόγω της έλλειψης της οργανικής ύλης και η διάκρισή τους μπορεί να γίνει με χρήση ειδικών λόγων καναλιών. Μετά τις ταξινομήσεις ακολούθησε εκ των υστέρων ανίχνευση αλλαγών στην οικιστική ανάπτυξη εικονοστοιχείο ανά εικονοστοιχείο. Έτσι ήταν δυνατή η παραγωγή χάρτη ‘από – προς’ ποια κατηγορία έγινε η μεταβολή.

Στο πλαίσιο εφαρμογής αντικειμενοστραφούς μεθόδου για την ανίχνευση αλλαγών υπάρχουν ακόμα αρκετές μελέτες εφαρμογής. Για την ανίχνευση αλλαγών στις δασικές εκτάσεις επί παραδείγματι, πραγματοποιήθηκε κατάτμηση σε πολλές κλίμακες καθώς και μεταγενέστερη κατάτμηση [Yashon O. et al., 2007]. Ο χρήστης εκεί ενδιαφέρεται για την εξαγωγή ποιοτικών αλλά και ποσοτικών δεδομένων. Οι επιβλεπόμενες ταξινομήσεις τηλεπισκοπικών απεικονίσεων δεν αποτελούν την πιο ενδεδειγμένη μέθοδο μιας και δεν υπάρχουν πάντα δεδομένα ελέγχου. Στην έρευνα αυτή, τα πρώτα αποτελέσματα αλλαγής/μη αλλαγής βασίστηκαν σε εφαρμογή μη επιβλεπόμενου μετασχηματισμού της εικόνας. Η τεχνική συνδυάζει κατευθυντικό κυματοειδή μετασχηματισμό της υψής και πολυφασματικά δεδομένα σε έναν ανισοτροπικό αλγόριθμο διάχυσης συνάθροισης ή κατάτμησης. Ο αλγόριθμος της κατάτμησης εφαρμόστηκε σε χάρτη νευρωνικών δικτύων προερχόμενο από μη επιβλεπόμενη εξαγωγή χαρακτηριστικών. Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε μια εικόνα Landsat TM (1986) και μια εικόνα Landsat ETM+ (2001) και η ολική ακρίβεια και ο δείκτης \hat{k} που προέκυψαν είχαν πολύ υψηλές τιμές. Η μεθοδολογία έχει την ικανότητα να προβλέπει την πληροφορία των αλλαγών εκ των υστέρων σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους που απαιτούν εκ των προτέρων τις κατηγορίες κάλυψης γης για την ανίχνευση αλλαγών. Το πιο σημαντικό είναι ότι η παραπάνω μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει την ύπαρξη, τη θέση και την έκταση των διαταραχών εντός των νευρωνικών περιβαλλοντικών συστημάτων.

Η ανά εικονοστοιχείο ανάλυση δεν αναπαριστά την έμφυτη ή την πραγματική φύση των χαρακτηριστικών στη γήινη επιφάνεια τα οποία διαφέρουν ως προς το χρώμα, το σχήμα, την υφή και ως προς το συμπαγές του σχήματός τους [Yashon O. et al., 2007]. Στην μεθοδολογία των ερευνητών αυτών συνδυάζονται οι χαμηλού επιπέδου τεχνικές όπως αυτή της κατάτμησης σε πολλαπλά επίπεδα ανάλυσης και υψηλού επιπέδου, όπως η τεχνητή νοημοσύνη (έμπειρα συστήματα βάσης γνώσης και συστήματα ασαφούς λογικής) όπως επίσης και μεθόδους αναγνώρισης προτύπων. Κατά των Benz et al. [2004], οι χαμηλού επιπέδου τεχνικές δημιουργούν τα πρωτογενή αντικείμενα και με τις ανωτέρου επιπέδου τεχνικές αυτά μετατρέπονται σε αντικείμενα με σημασιολογία. Επιπροσθέτως, τα αντικείμενα είναι πιο έξυπνες ως οντότητες μιας και

μπορούν να οριστούν τα γειτονικά τους αντικείμενα καθώς και οι χωρικές και φασματικές σχέσεις μέσα και γύρω από αυτά.

Η κατάτμηση θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί στο λογισμικό Definiens [2005 edition]. Ο στόχος εντοπισμού των αλλαγών στα δάση όμως, είναι αρκετά περίπλοκος. Διάφορες προσπάθειες έχουν γίνει με κατεύθυνση μη επιβλεπόμενης πολλαπλής ανάλυσης μεθόδου ανίχνευσης αλλαγών. Αλλά η μη επιβλεπόμενη τεχνική καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη για τα δάση όταν ενδιαφέρει η χωρική έκταση της αλλαγής και το είδος της αλλαγής. Η λογική της ανίχνευσης είναι η εξής. Αρχικά για κάθε μια εικόνα προσδιορίζεται η περιοχή που καλύπτεται από δάσος, μετά η περιοχή που δεν καλύπτεται από δάσος και στη γίνεται η σύγκριση. Η μέθοδος της ανίχνευσης χωρίζεται σε τρία βήματα.

Το πρώτο είναι η αποσύνθεση των καναλιών που έχουν επιλεγεί για την πολυδιάστατη και πολυεπίπεδη εξαγωγή υψής μέσω δισδιάστατου κυματοειδούς μετασχηματισμού (DWT). Η διαδικασία αυτή βοηθά στη δημιουργία ομαλών ορίων ομοιογενών περιοχών που χρειάζεται στη συνέχεια. Το δεύτερο επίπεδο είναι η κατάτμηση με βάση την υφή και τη φασματική πληροφορία μέσω ανισοτροπικής διάχυσης και τέλος το βήμα της ανίχνευσης που πραγματοποιείται μέσω της ταξινόμησης της κάθε μιας κατετμημένης εικόνας μέσω της σύγκρισής τους. Βασική προϋπόθεση είναι να έχει προηγηθεί γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων. Η γεωμετρική διόρθωση έγινε για την μια εικόνα χρησιμοποιώντας σημεία επίγειου ελέγχου μετρημένα με διαφορικό εντοπισμό και εντάχθηκε στην Μερκατορική προβολή με RMS 0.2 pixel. Η δεύτερη εικόνα συσχετίστηκε με την πρώτη με μικρό επίσης RMS. Και για τις δύο έγινε ψηφιακή αναδόμηση των τιμών φωτεινότητας με χρήση του εγγύτερου γείτονα με μέγεθος εικονοψηφίδας τα 30 m και με χρήση πολωνύμου πρώτου βαθμού. Η ραδιομετρική διόρθωση ήταν απαραίτητη εξαιτίας των διαφορετικών αισθητήρων και διαφορετικών ημερομηνιών και πραγματοποιήθηκε με αλγόριθμους κανονικοποίησης. Ο προσανατολισμός της υψής των στοιχείων και η συχνότητα εμφάνισης όμοιων στοιχείων αποτελούν σημαντικά στοιχεία για τον προσδιορισμό συγκεκριμένων χαρακτηριστικών. Με την διακύμανση της υψής μπορούν να εντοπιστούν έντονες μεταβολές μέσα στην εικόνα. Η κατάτμηση με βάση την υφή στοχεύει στην παραγωγή ομοιογενών αντικειμένων, η υφή εντός των οποίων να είναι σχετικά ασήμαντη.

Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη ανθρωπογενών κατασκευών και δραστηριότητες που υπάγονται στην ανάπτυξη μιας πόλης και κατά συνέπεια η δασική περιοχή αποψιλώθηκε σημαντικά. Η χρήση επιβλεπόμενης ταξινόμησης και της εκ των υστέρων σύγκρισης των εικόνων απορρίφθηκε λόγω της απαραίτητης εκ των προτέρων γνώσης δεδομένων ελέγχου. Στην περιοχή ορίστηκαν πέντε είδη δασικής έκτασης και τρεις κατηγορίες μη δασικών εκτάσεων. Τα κατάλληλα κανάλια επιλέχθηκαν ύστερα από τη προβολή δειγμάτων των κατηγοριών σε δισδιάστατα ιστογράμματα. Για λόγους απλοποίησης, στο ιστόγραμμα προβλήθηκαν ενοποιημένες οι ελλείψεις των πέντε κατηγοριών δασών σε μια και αντίστοιχα ενοποιημένες και οι υπόλοιπες. Στα κανάλια που επιλέχθηκαν (3, 4 και 5) επετεύχθη ο διαχωρισμός των δυο βασικών κατηγοριών (δάσος, μη δάσος). Στα κανάλια αυτά εμφανίζεται η μεγαλύτερη διακύμανση και συνεπώς και υφή. Τα κανάλια αυτά αποτελούν τα κανάλια εισόδου για το επόμενο βήμα της διαδικασίας (κατάτμηση).

Πριν τη κατάτμηση (πολυφασματική ανισοτροπική διάχυση) πραγματοποιείται η κυματική επεξεργασία διαχωρισμού υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων καθώς και η εφαρμογή φίλτρων (κυρίως ομαλοποίησης) για την απομάκρυνση του θορύβου στην εικόνα. Η κατάτμηση εδώ αποτελεί μια επαναληπτική διαδικασία όπου ο χρήστης

καθορίζει ορισμένες τιμές-κατώφλια. Πρόκειται για την ενσωμάτωση της πληροφορίας της υψής με τα πολυφασματικά δεδομένα σε ένα μη επιβλεπόμενο αυτόνομο νευρωνικό δίκτυο εξαγωγής χαρακτηριστικών με μορφή χάρτη. Η υλοποίηση της μεθόδου ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αλλά υπάρχει διαθέσιμη στο πλήρες κείμενο του άρθρου.

Επισημαίνεται πως στην εργασία αυτή δεν παράγεται χάρτης για κάθε μια εικόνα αλλά μόνο ο χάρτης των αλλαγών. Η ολική ακρίβεια, ο δείκτης \hat{k} και οι μεμονωμένες ακρίβειες παραγωγού και χρήστη υπολογίστηκαν από το τελικό αποτέλεσμα σε σύγκριση με δεδομένα ελέγχου που προέκυψαν και με τη βοήθεια μεγαλύτερης κλίμακας αεροφωτογραφιών και χαρτών και έλαβαν πολύ υψηλές τιμές (ολική ακρίβεια=88.4%, $\hat{k}=0.8265$).

Γενικά η μεθοδολογία μπορεί να κριθεί ως ικανοποιητική. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων βέβαια εξαρτάται από παράγοντες όπως η επιλογή των κατάλληλων καναλιών, του βέλτιστου επιπέδου ανάλυσης, των τιμών-κατωφλίων. Επίσης, η χρήση της τεχνική της κατάτμησης σε πολλά επίπεδα με αυτή τη μέθοδο θεωρείται μια τεχνική μιας μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης μιας και δεν απαιτούνται δεδομένα εκπαίδευσης. Οι ερευνητές, τέλος, προσπαθούν να βελτιώσουν περαιτέρω τη μεθοδολογία εισάγοντας συμπληρωματικά δεδομένα στην επεξεργασία, όπως πχ. η πιθανότητα κάλυψης γης μέσω της ενσωμάτωσής τους στα προγραμματιστικά τους πακέτα.

Το σημαντικό μειονέκτημα της επιλογής των κατωφλίων στην εικόνα της διαφοράς των ταξινομήσεων με εμπειρικές μεθόδους δοκιμής και λανθασμένου αποτελέσματος έχει γίνει προσπάθεια να αντιμετωπιστεί από τους ερευνητές Bruzzone et al. [2000]. Οι ερευνητές κατέληξαν σε δύο μεθόδους επιλογής κατωφλίων. Ο πρώτος ήταν η επιλογή του ορίου εκείνου που ελαχιστοποιεί την ολική πιθανότητα σφάλματος ανίχνευσης αλλαγής υπό την προϋπόθεση ότι τα εικονοστοιχεία στις δύο εικόνες είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Ο δεύτερος τρόπος επεξεργάζεται την εικόνα των διαφορών λαμβάνοντας υπόψη το χωρικό πλαίσιο, δηλαδή τα γειτονικά εικονοστοιχεία ενός εικονοστοιχείου εκμεταλλευόμενοι την ενδεχόμενη χωρική αλληλοσυσχέτιση μεταξύ κατηγοριών. Ο πρώτος τρόπος αναλύθηκε περαιτέρω από τους ερευνητές για τις ειδικές περιπτώσεις ελαχιστοποίησης της παράλειψης αλλαγών.

Η ενσωμάτωση στρατηγικών ασαφούς λογικής για τη διαχείριση των κατωφλίων υπόδειξης αλλαγής ή μη αλλαγής στα δεδομένα μεταξύ των διαχρονικών δεδομένων έχει γίνει και σε άλλες έρευνες όπως αυτή του Metternicht [1999]. Μετά τη δημιουργία εικόνας αλλαγών, η οποία έχει προέλθει από τεχνικές χωρίς να προηγηθεί ταξινόμηση, εφαρμόζονται συναρτήσεις συμμετοχής Στο πλαίσιο της εφαρμογής της ασαφούς λογικής, οι περιοχές μπορούν να χαρακτηριστούν ανάλογα με την πιθανότητα να έχουν υποστεί αλλαγή κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Σε τέτοιου τύπου εφαρμογές δεν είναι φυσικά εφικτή η διάκριση αλλαγών ως προς τα χαρακτηριστικά τους πχ. μετάβαση από οικιστική χρήση σε εμπορική μιας περιοχής, εκτός εάν εμφανιστούν σημαντικές χωρικές αλλαγές. Η μέθοδος όταν εφαρμόζεται σε εικόνες μεσαίας χωρικής ανάλυσης, όπως οι Landsat, δείχνει μια γενική επισκόπηση των αλλαγών, εντοπίζοντας τις κρίσιμες περιοχές εκείνες για τις οποίες χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν δεδομένα υψηλότερης ανάλυσης για λεπτομερέστερη ανίχνευση αλλαγών.

Μια γενική και πιο σύγχρονη μεθοδολογία ανίχνευσης αλλαγών χρήσεων γης έγινε από τους Baraldi A. et al. το 2006. Πρόκειται για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας εξαγωγής προκαταρκτικών χαρτών γεωμετρικά διορθωμένων εικόνων Landsat TM και ETM+Images χρησιμοποιώντας φασματικούς κανόνες. Η μεθοδολογία αυτή κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική και έγινε προσπάθεια εφαρμογής της στην παρούσα εργασία με ορισμένα όμως προβλήματα που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Στόχος της εφαρμογής ήταν να συγκεντρωθεί και να χρησιμοποιηθεί όλη η διατιθέμενη γνώση από την υπάρχουσα βιβλιογραφία τηλεπισκόπησης πάνω στους φασματικούς κανόνες των κατηγοριών και να δημιουργηθεί ένας ταξινομητής βασιζόμενος σε ασαφείς φασματικούς κανόνες ανά εικονοστοιχείο. Με αυτή τη μεθοδολογία δεν απαιτούνται δεδομένα εκπαίδευσης και ο προτεινόμενος ταξινομητής θα είναι ο καταλληλότερος για μια πρωτογενή ταξινόμηση εικόνων Landsat (Landsat 5 TM και Landsat 7 ETM+) οι οποίες θα είναι γεωμετρικά και ραδιομετρικά διορθωμένες (ανακλαστικότητα albedo και σχετικά με την θερμοκρασία του δορυφόρου).

Ως ‘albedo’ θεωρείται ένας συντελεστής ανάκλασης. Εκφράζει την διάχυση της ανακλαστικότητας ή αλλιώς την δυνατότητα ανάκλασης του εδάφους και ορίζεται ως ο λόγος της ανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας προς την προσπίπτουσα σε αυτό και είναι καθαρός αριθμός. Μπορεί να εκφραστεί και ως ποσοστό, όπου λαμβάνει μηδενική τιμή σε απόλυτα μαύρες επιφάνειες και την μέγιστη τιμή σε περίπτωση λευκής επιφάνειας με πλήρη ανακλαστικότητα.

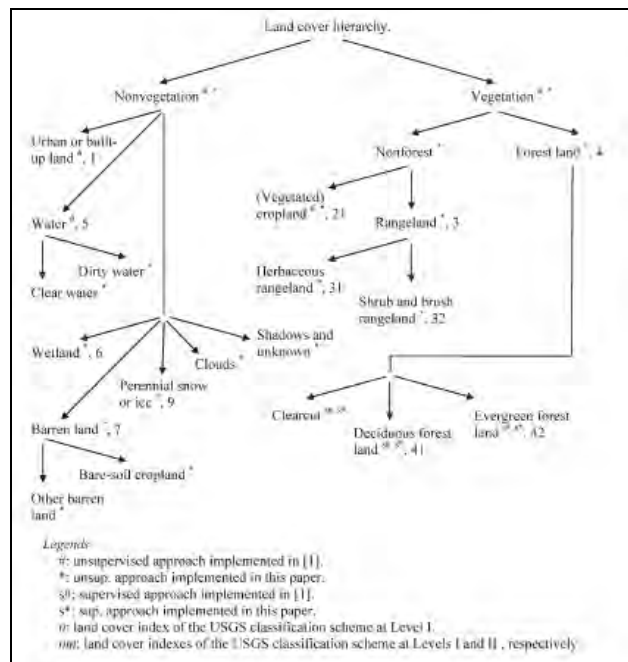
Το συγκεκριμένο σύστημα ταξινόμησης αποτελείται από μια σπονδυλωτή και ιεραρχημένη δομή η οποία προσαρμόζεται σε κάθε εικόνα, είναι υπολογιστικά αποδοτική και το σημαντικότερο, είναι εύκολο να τροποποιηθεί και να προσαρμοστεί για άλλους αισθητήρες δορυφόρων όπως Aster και SPOT. Ως δεδομένα εξόδου η προτεινόμενη μεθοδολογία εξάγει μια ομάδα από αξιόπιστα και με σημασιολογική έννοια φασματικά επίπεδα (strata), τα οποία μάλιστα είναι συνεπή με τις κατηγορίες κάλυψης γης πρώτου και δεύτερου επιπέδου του οργανισμού USGS ορίζοντας σχέσεις ένα προς ένα ή και ένα προς πολλά.

Αν και οι φασματικές κατηγορίες κατά Kernel (πχ. πυκνή βλάστηση) είναι δυνατόν να ανιχνευτούν χωρίς να απαιτούνται δεδομένα αναφοράς, η συμβολική τους σημασία (δηλαδή ως μερικώς αφηρημένες έννοιες) είναι ενδιάμεση μεταξύ εκείνων των ομαδοποιήσεων και των τμημάτων (χαμηλή) και εκείνων των κατηγοριών κάλυψης γης (υψηλή) πχ. δάσος. Αυτός σημαίνει ότι το πλαίσιο εφαρμογής των φασματικών επιπέδων Kernel δεν είναι εναλλακτικό της ομαδοποίησης, της κατάτμησης και της ταξινόμησης σε κατηγορίες κάλυψης γης των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Αντίθετα, η διαδικασία της εκ των προτέρων γνώσης βασιζόμενης στις φασματικές κατηγορίες Kernel είναι η κατάλληλη για κατευθυνόμενες εφαρμογές, όπως ταξινόμηση, συσσώρευση, κατάτμηση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, οι οποίες θα μπορούν να ενσωματώσουν επίβλεψη. Άρα οι διαδικασίες αυτές μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά. Η απόδοση της μεθοδολογίας εξετάστηκε από τους ερευνητές σε δύο τηλεπισκοπικές εικόνες ύστερα από την ταξινόμησή τους.

Η εξαγωγή των Kernel επιπέδων πληροφορίας της εικόνας προκύπτουν από εκ των προτέρων γνώση η οποία μπορεί να είναι φασματική (φασματικές αποκρίσεις

κατηγοριών), σημασιολογική, γεωμετρική κ.α. αλλά και μέσω μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και κατά συνέπεια δεν απαιτούν την ύπαρξη δεδομένων εκπαίδευσης. Ο βασιζόμενος σε φασματική γνώση ταξινομητής είναι ικανός να ανιχνεύσει ένα σύνολο από επίπεδα Kernel (strata ή κατηγορίες). Οι φασματικοί κανόνες Kernel σχεδιάζονται έτσι ώστε να μιμούνται όσο το δυνατόν καλύτερα τις φασματικές υπογραφές εκείνων των κατηγοριών κάλυψης γης που ενδιαφέρουν αντλώντας γνώση από βιβλιογραφία. Η διαδικασία προσδιορισμού των Kernel επιπέδων, ως προς τις απαιτήσεις επίβλεψης από τον χρήστη, ως ένα βαθμό, πλησιάζει τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση ενώ είναι πολύ πιο περιορισμένες από τις απαιτήσεις για επιβλεπόμενη. Ένας χάρτης με το αποτέλεσμα των φασματικών κατηγοριών Kernel μπορεί να διευκολύνει σημαντικά τον φωτοερμηνευτή στη διαδικασία της επίβλεψης. Η διαδικασία χωρίζεται σε δυο τμήματα, Στο πρώτο όπου αναπτύσσεται η προτεινόμενη βάση γνώσης και στο δεύτερο που ενισχύει, ομαδοποιεί, κατατάσσει και ταξινομεί τα δεδομένα. Προφανώς το πρώτο στάδιο εξυπηρετεί το δεύτερο.

Η αναγνώριση προτύπων βασίζεται αποκλειστικά σε γνωστές φασματικές υπογραφές των κατηγοριών-στόχων και αυτές ενσωματώνονται με τη βοήθεια ασαφούς ζώνης. Το σύστημα ταξινόμησης έχει ως κύρια μονάδα ανάλυσης το εικονοστοιχείο και αντλεί μόνο φασματικές πληροφορίες (δεν δημιουργούνται αντικείμενα και δεν συνυπολογίζονται το σχήμα, το μέγεθος, και το πλαίσιο ενός αντικειμένου). Κάθε εικονοστοιχείο μέσω της μεθοδολογίας θα ταξινομηθεί σε μια από τις φασματικές κατηγορίες Kernel. Στον προσδιορισμό των κατηγοριών συνδυάζονται κανόνες ασαφούς λογικής. Οι κατηγορίες Kernel είναι ξεχωριστές η μια από την άλλη και καλύπτουν μεγάλο φάσμα κατηγοριών κάλυψης γης. Η ιεραρχία ακολουθεί τα πρότυπα του οργανισμού USGS, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1 που ακολουθεί. Στο πρώτο στάδιο για παράδειγμα είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι βασικές κατηγορίες, (πχ. βλάστηση), ενώ με έναν επιπλέον ταξινομητή, σε δεύτερο στάδιο μπορεί η βλάστηση να χωριστεί σε περαιτέρω κατηγορίες.



Σχήμα 2.1: Ιεραρχία κατηγοριών κάλυψης γης που εφαρμόστηκε στην εργασία των μελετητών. Φασματικές κατηγορίες Kernel όπως ορίζονται από τη προτεινόμενη μέθοδο φασματικής βάσης γνώσης συσχετιζόμενες είτε ένα προς ένα είτε ένα προς πολλά με τις θεματικές κατηγορίες κάλυψης γης.

Στο πρώτο στάδιο ο υπολογισμός των Kernel κατηγοριών περιλαμβάνει ασαφείς φασματικούς κανόνες Kernel που ορίστηκαν από τις καμπύλες φασματικών υπογραφών. Οι τελευταίες προέρχονται από βιβλιογραφία τηλεπισκόπησης, όπως έχει προαναφερθεί. Κάθε κανόνας αντιστοιχεί σε διαφορετικό τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ενώ οι κανόνες σε μια κατηγορία μπορούν να συνδυαστούν με λογικούς τελεστές και πράξεις. Ως μεταβλητές θεωρούνται τα έξι κανάλια του δορυφόρου Landsat πλην του θερμικού. Στο πρώτο επίπεδο οι κανόνες απλά συντάσσονται και προσδιορίζεται η ασαφής τους ζώνη, ενώ στο δεύτερο επίπεδο είναι εκεί που συνδυάζονται. Συχνά, για απλούστευση των υπολογισμών εφαρμόζεται αντί για ασαφή ζώνη, δυαδική συνάρτηση συμμετοχής.

Η μεθοδολογία αυτή έγινε προσπάθεια να εφαρμοστεί στην παρούσα εργασία, αλλά εμφανίστηκαν ορισμένα δυσεπίλυτα προβλήματα. Καταρχάς, για την ανίχνευση αλλαγών χρήσεων γης σε εικόνες βασική προϋπόθεση εκτός από τη γεωμετρική διόρθωση που έχει ήδη γίνει, είναι η ραδιομετρική διόρθωση, ώστε οι ασαφείς ζώνες να έχουν κοινό πεδίο ανά κατηγορία. Η ραδιομετρία, ακόμα και για κάθε μεμονωμένη εικόνα στην παρούσα μεθοδολογία είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς μέσα από πράξεις μεταξύ των καναλιών ορίζονται οι κατηγορίες ενδιαφέροντος. Εν συντομία θα παρουσιαστεί τί εφαρμόστηκε και με ποια αποτελέσματα καθώς και ποια βάση γνώσης αντλήθηκε επιτυχημένα μέσα από το άρθρο αυτό.

Αρχικά, ως δεδομένα εισόδου θεωρήθηκαν τα φασματικά κανάλια. Η κάθε κατηγορία προκύπτει είτε ως γραμμικός συνδυασμός των δεδομένων εισόδου, είτε ως λόγος ή προφανώς ως ο συνδυασμός τους. Επειδή μερικά κανάλια είναι ισχυρά συσχετισμένα, μερικοί συνδυασμοί δεν είναι αποδοτικοί.

Το χαρακτηριστικό ‘Brightness’, δηλαδή η φωτεινότητα, που αποτελεί γραμμικό συνδυασμό των καναλιών πλην του θερμικού, δεν βοήθησε την ανάδειξη αστικών περιοχών, ομοίως και ο γραμμικός συνδυασμός του ορατού τμήματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ‘Visible’. Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), ο οποίος βοηθά στην ανάδειξη της βλάστησης, χρησιμοποιήθηκε τόσο στην παρούσα εφαρμογή, όσο και στην αντικειμενοστραφή μεθοδολογία, ως ο πιο εύχρηστος και αποδοτικός δείκτης προσδιορισμού της υπάρχουσας βλάστησης σε μια εικόνα. Ο δείκτης αυτός δεν έχει τη δυνατότητα να διαχωρίσει τα είδη της βλάστησης, το οποίο μπορεί να γίνει μεταγενέστερα με δειγματοληψία. Επί της ουσίας, εκμεταλλεύεται τις διαφορές ανακλαστικότητας που παρουσιάζει η υγιής βλάστηση σε σχέση με τις φασματικές υπογραφές άλλων αντικειμένων μέσω λόγου διαφορών φασματικών αποκρίσεων σε συγκεκριμένο τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ο δείκτης ‘NDVI’ ορίζεται ως:

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3 + 0.001}, \quad \text{όπου } NDVI \in [-1,1] \quad (3),$$

με το κανάλι 4 είναι το κατεξοχήν κανάλι ανάδειξης βλάστησης. Όταν από τις τιμές του αφαιρούνται οι τιμές από το ερυθρό κανάλι, που απορροφά την ακτινοβολία προερχόμενη από την υγιή βλάστηση, το αποτέλεσμα είναι πιο ευδιάκριτο. Ο μικρός σταθερός όρος στον παρονομαστή προστίθεται ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να μηδενιστεί ο παρονομαστής. Η διαφορά του ‘NDVI’ και του απλού λόγου $TM4/TM3$, είναι ότι ο πρώτος ανιχνεύει ακόμα και την υπό σκιά βλάστηση.

Ο κανονικοποιημένος δείκτης διαφορών για το γυμνό έδαφος NDBSI (Normalized Difference Bare Soil Index) στοχεύει στην ανάδειξη περιοχών γυμνού εδάφους, περιοχών αγρανάπαυσης, και πολύ αραιής βλάστησης, όπου υπερισχύει η φασματική απόκριση του εδάφους. Ο δείκτης αυτός βοηθά και την ανάδειξη της υγρασίας του εδάφους αλλά και της ποσότητας της οργανικής ύλης που περιέχεται σε αυτό. Αντίστοιχα με τον δείκτη ‘NDVI’, ο δείκτης ‘NDBSI’ προκύπτει από τον συνδυασμό των καναλιών 4 και 5, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$NDBSI = \frac{TM5 - TM4}{TM5 + TM4 + 0.001}, \quad \text{όπου } NDBSI \in [-1,1] \quad (4)$$

Ο παραπάνω δείκτης προέρχεται από τον επίσημο δείκτη κανονικοποιημένης διαφοράς γυμνού εδάφους ‘BIO’, ο οποίος ορίζεται ως:

$$BIO = \frac{(TM5 + TM3) - (TM4 + TM1)}{(TM5 + TM3) + (TM4 + TM1)}, \quad \text{όπου } BIO \in [-1,1] \quad (5)$$

Ύστερα από έλεγχο συσχέτισης των δεικτών προέκυψε ότι οι δείκτες ‘NDBSI’ και ‘NDVI’ είναι πρακτικά αντίθετοι αλλά λιγότερο συσχετισμένοι από τους δείκτες ‘BIO’ και ‘NDVI’. Οι δύο δείκτες ‘NDBSI’ και ‘NDVI’ μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά για τον διαχωρισμό της κατηγορίας της βλάστησης κατά Kernel, από τη μη βλάστηση. Η βάση γνώσης όταν είναι επιθυμητό να διαχωριστεί η βλάστηση εκφράζεται ως:

$$\text{if}[(NDVI \text{ is high}) \text{ and } (NDBSI \text{ is low})] \quad (6)$$

Η σχέση αυτή εφαρμόστηκε στην αντικειμενοστραφή μεθοδολογία, όπου χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο λόγοι ως συναρτήσεις συμμετοχής στις κατηγορίες της βλάστησης και του γυμνού εδάφους.

Στο πρώτο στάδιο ανίχνευσης των Kernel φασματικών κατηγοριών ανήκει και η μεθοδολογία απομόνωσης περιοχών όπως τα σύννεφα και το χιόνι. Η μεθοδολογία απομόνωσης για τα σύννεφα ήταν η ακόλουθη. Γενικά, τα σύννεφα τείνουν να είναι ψυχρότερα και να εμφανίζουν υψηλότερη ανακλαστικότητα σε μήκος κύματος περίπου στα 1700nm, δηλαδή περίπου στο κανάλι 5 του δορυφόρου Landsat. Για να διαχωριστούν τα σύννεφα συχνά χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός του καναλιού 5 και του θερμικού και εκφράζεται ως:

$$MITRIR = (1 - TM5) \cdot TM6 \quad MITRIR \geq 0 \quad (7)$$

Ο κατάλληλος δείκτης για την ανάδειξη περιοχών με δόμηση, είναι ο κανονικοποιημένος δείκτης διαφορών ανάμεσα στο κανάλι μπλε (TM1), που αποτελεί το κατεξοχήν κανάλι ανάδειξης αστικής περιοχής, και του καναλιού ανάδειξης γυμνού εδάφους ως ‘barren land’ (TM5). Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως:

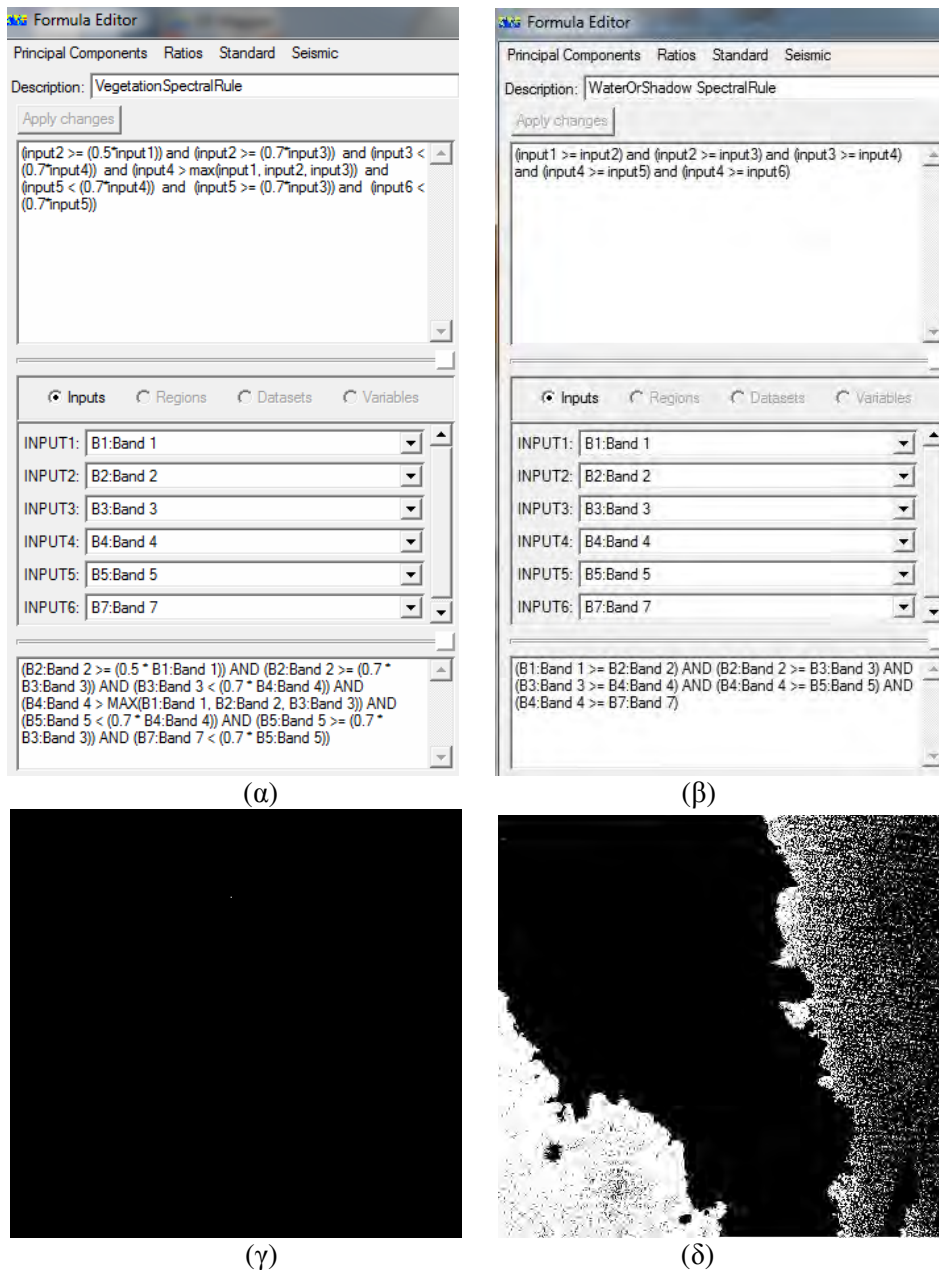
$$NDBBBI = \frac{TM1 - TM5}{TM1 + TM5 + 0.001}, \quad \text{όπου } NDBBBI \in [-1,1] \quad (8)$$

Αναφέρεται πως ενώ οι παραπάνω δείκτες μπορούν να υπολογιστούν και σε εικόνες δορυφόρων ASTER και SPOT-5 HGR, ορισμένοι δείκτες δεν μπορούν να υπολογιστούν σε εικόνες δορυφόρων πολύ υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας, όπως Quickbird και Ikonos, μιας και δεν αντιστοιχούν κανάλια στο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από το εγγύς υπέρυθρο και μετά.

Το πρώτο βήμα για τον προσδιορισμό των φασματικών κατηγοριών Kernel, είναι η δημιουργία ενός φασματικού πλέγματος με τη βοήθεια λεκτικών μεταβλητών που θα περιγράφουν κάθε κανάλι αλλά και κάθε δείκτη. Οι λεκτικές μεταβλητές κάθε χαρακτηριστικού, πχ. ενός δείκτη ήταν τρεις, χαμηλός, μεσαίος και υψηλός. Πρακτικά τίθεται το όριο κάτω από το οποίο το χαρακτηριστικό καταλογίζεται ως ‘χαμηλό’, και το όριο πάνω από το οποίο το χαρακτηριστικό καταλογίζεται ως ‘υψηλό’. Το μεσοδιάστημα αποδίδεται στην ενδιάμεση λεκτική μεταβλητή ‘μεσαίο’. Τα όρια της ασαφούς ζώνης κατά την εφαρμογή των ερευνητών ανάχθηκαν σε δυαδική αντιστοίχιση (εφαρμογή δυαδικής συνάρτησης συμμετοχής) για λόγους υπολογιστικής απλοποίησης.

Το επόμενο βήμα για την εξαγωγή των βασικών φασματικών Kernel κατηγοριών είναι οι λογικές εκφράσεις που για κάθε κατηγορία συνδυάζουν επιμέρους χαρακτηριστικά, τα οποία εδώ αποτελούν τα κανάλια της εικόνας. Με άλλα λόγια, κάθε φασματικός κανόνας Kernel ορίζεται ως μια λογική έκφραση από αριθμητικές μεταβλητές συνδυαζόμενες με σχεσιακούς (πχ. >) και λογικούς (πχ. AND) τελεστές. Οι σχεσιακοί τελεστές μεταξύ των καναλιών χρησιμοποιούνται ώστε να μιμηθούν τους ασαφείς φασματικούς κανόνες. Στη συνέχεια περιγράφονται δύο κανόνες οι οποίοι εφαρμόστηκαν στην εικόνα του 2010, χωρίς όμως ικανοποιητικά αποτελέσματα, όπως φαίνονται στην Εικόνα 2.1. Η σχέση που περιγράφει κάθε μια από τις δεκατέσσερις κατηγορίες σχηματίστηκε στο λογισμικό ER Mapper ως κώδικας, ο οποίος όταν εφαρμοζόταν επέστρεφε άσπρα και μαύρα εικονοστοιχεία. Δηλαδή το αποτέλεσμα ήταν της δυαδικής μορφής ναι – όχι, με τα άσπρα εικονοστοιχεία να αντιστοιχούν στην κατηγορία ενδιαφέροντος. Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο κώδικας και το αποτέλεσμα για την εξαγωγή της κύριας κατηγορίας της βλάστησης μέσω του φασματικού κανόνα βλάστησης 7. ‘Vegetation_SpectralRule’ και της κατηγορίας για το νερό ή τη σκιά μέσω του φασματικού κανόνα 4. WaterOrShadowSpectralRule. Οι υπόλοιπες δώδεκα κατηγορίες για τις οποίες σχηματίστηκαν αντίστοιχοι κανόνες ήταν:

1. ThickCloudSpectralRule, 2. ThinCloudSpectralRule, 3. SnowOrIceSpectralRule,
5. PitbogOrGreenhouseSpectralRule, 6. DominantBluesSpectralRule,
8. Rangeland SpectralRule, 9. BarrenLandOrBuiltUpOrCloudSpectralRule,
10. FlatResponseBarrenLandOrBuiltUpSpectralRule,
11. ShadowWithBarrenLandSpectralRule, 12. ShadowWithVegetationSpectralRule,
13. ShadowCloudOrSnowSpectralRule, 14. WetLandSpectralRule.



Εικόνα 2.1: Φασματικός κανόνας και το αποτέλεσμα για την εξαγωγή της κύριας κατηγορίας (α), (γ) βλάστηση ‘Vegetation_SpectralRule’, (β), (δ) νερό ή σκιά ‘WaterOrShadowSpectralRule’.

Στο δεύτερο επίπεδο εξαγωγής των Kernel φασματικών (ασαφών) κανόνων, ως δεδομένα εισόδου λαμβάνονται τα δεδομένα εξόδου από το πρώτο επίπεδο ανάλυσης, δηλαδή οι δεκατέσσερις κατηγορίες και το αποτέλεσμα θα είναι η εξαγωγή μιας αναλυτικής ιεραρχίας φασματικών κατηγοριών kernel (67 συμπεριλαμβανόμενης μια ακόμα που αναφέρεται στα μη γνωστής κατηγορίας εικονοστοιχεία). Από τις κατηγορίες αυτές, οι 46 αποτελούν θυγατρικές των βασικών κατηγοριών (hierarchical sublevels) οι οποίες είναι αμοιβαία αποκλειόμενες και πολύ λεπτομερείς. Για παράδειγμα η κατηγορία 4 αναλύεται σε ‘DeepClearWaterAndShadowAreas’ και σε ‘ShallowClearWaterAnd ShadowAreas’.

Κάθε θυγατρική κατηγορία εκφράζεται από τον συνδυασμό φασματικών κανόνων, όπως προέρχονται από τη μητρική κατηγορία και από ένα ή περισσότερα όρια της ασαφούς ζώνης πχ. ‘low’. Το αποτέλεσμα του προκαταρκτικού αυτού χάρτη μπορεί να συγκριθεί με τεχνικές όπως η συσσώρευση, ή ταξινόμησης με τεχνικές κατάτμησης αλγορίθμων δεύτερου επιπέδου και να διερευνηθεί κατά πόσο τα πρωτογενή αυτά δεδομένα βοηθούν την απόδοση στις διαδικασίες αυτές. Η φωτοερμηνεία του πρωτογενούς χάρτη μπορεί να δείξει μια συσχέτιση ένα προς ένα ή ένα προς πολλά με των Kernel φασματικών κατηγοριών και των τύπων κάλυψης γης, με δυνατότητα δημιουργίας масκών. Συνήθως οι μάσκες δημιουργούνται στις κατηγορίες του πρώτου επιπέδου ώστε να ληφθούν δεδομένα αναφοράς από αυτά για την εκπαίδευση και εξαγωγή των κατηγοριών του δεύτερου επιπέδου με αλγόριθμους ταξινόμησης. Ο χρήστης μπορεί επίσης να αναθεωρήσει κάποιο όριο ασαφούς περιοχής και να περιορίσει την κατηγορία των άγνωστων εικονοστοιχείων.

Στην ίδια έρευνα των Baraldi A. et al. [2006], για την ανίχνευση περιοχών που καλύπτονται από σύννεφα έχει αναπτυχθεί η μεθοδολογία ‘Automatic Cloud Cover Assessment’. Η μεθοδολογία επίσης προϋποθέτει βαθμονόμηση της αρχικής εικόνας, αλλά και χωρίς ραδιομετρική διόρθωση αρκεί από τους κανόνες εφαρμόστηκε επιτυχώς. Στην μεθοδολογία ανίχνευσης η εικόνα ελέγχεται δύο φορές. Την πρώτη φορά ανιχνεύονται αυστηρά μόνο τα σύννεφα επιτρέποντας σφάλματα παράλειψης και όχι συμπερίληψης και ορίζονται τρεις κατηγορίες, τα σύννεφα, οι περιοχές χωρίς σύννεφα και οι περιοχές με πιθανή κάλυψη από σύννεφα. Για να γίνει αυτό εφαρμόστηκαν έξι φίλτρα.

Φίλτρο 1: Κανάλι TM3, το οποίο αντιπροσωπεύει ουσιαστικά την φωτεινότητα. Όταν ένα εικονοστοιχείο εμφανίζει τιμή μεγαλύτερη από μια οριακή τιμή, τότε περνάει στο δεύτερο φίλτρο.

Φίλτρο 2: Δείκτης ‘NDSI’, ο οποίος είναι δείκτης για ανάδειξη περιοχών καλυπτόμενων από χιόνι, και ο οποίος προφανώς παρακάμφθηκε.

Φίλτρο 3: Κανάλι TM6, όπου η τιμή η οποία ορίζεται ως όριο αποτελεί την τιμή που θεωρητικά είναι η μέγιστη που εμφανίζει ένα σύννεφο (σε Kelvin). Τα εικονοστοιχεία που έχουν τιμή κάτω από το όριο περνούν στο επόμενο φίλτρο.

Φίλτρο 4: Λόγος TM5/TM6. Εικονοστοιχεία κάτω από την τιμή που τίθεται ως όριο περνούν στην επόμενη φάση, ενώ αυτά που εμφανίζουν μεγαλύτερη τιμή επανεξετάζονται.

Φίλτρο 5: Λόγος TM4/TM3. Ο λόγος αυτός αναδεικνύει τη βλάστηση και έτσι αποκλείονται περιοχές λανθασμένης συμπερίληψης. Εικονοστοιχεία κάτω από την τιμή που τίθεται ως όριο περνούν στην επόμενη φάση, ενώ αυτά που εμφανίζουν μεγαλύτερη τιμή επανεξετάζονται. Η αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου φίλτρου δεν είναι πάντα αξιόπιστη.

Φίλτρο 6: Λόγος TM4/TM5. Ο λόγος αυτός σχετίζεται αντίστροφα με τον δείκτη ‘NDBSI’, και χρησιμοποιείται επειδή τα σύννεφα εμφανίζουν μεγαλύτερη ανακλαστικότητα στο κανάλι 4 από το 5, αντίθετα με το έδαφος. Εικονοστοιχεία πάνω από την τιμή που τίθεται ως όριο αποτελούν την κατηγορία ‘σύννεφα’, ενώ αυτά που εμφανίζουν μικρότερη τιμή επανεξετάζονται. Η αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου φίλτρου δεν είναι πάντα αξιόπιστη.

Το άρθρο προτείνει συγκεκριμένα κατώφλια για κάθε κανόνα. Στην εφαρμογή τους όμως στην δορυφορική απεικόνιση του 1984, στο πλαίσιο της αντικειμενοστραφούς μεθοδολογίας, όπου το κάθε φίλτρο αποτελεί και ένα χαρακτηριστικό της κατηγορίας, τα όρια της ασαφούς ζώνης δεν ταυτίζονται. Αυτό ερμηνεύεται από τη διαφορετική

ραδιομετρία της εικόνας. Τέλος, αναφέρεται ότι ο τύπος της συνάρτησης συμμετοχής σε κάθε περίπτωση, είναι αντίστοιχος με το αν για να περάσει ένα εικονοστοιχείο στην επόμενη φάση απαιτείται να είναι η τιμή του πάνω ή κάτω από το όριο. Ο συνδυασμός των κανόνων γίνεται χρησιμοποιώντας τον τελεστή ‘AND’, ώστε να απαιτείται να τηρούνται όλοι μαζί οι κανόνες.

Ως προς την κατάτμηση, πιο αξιόπιστοι και αποδοτικοί αλγόριθμοι είναι εκείνοι που βασίζονται σε κατηγορίες, δηλαδή εκείνοι που ενσωματώνουν τις φασματικές και τις χωρικές γνώσεις της κατηγορίας ενδιαφέροντος, πχ. δρόμους, παρά τις τεχνικές κατάτμησης γενικού στόχου όταν συνήθως δεν υπάρχει γνώση της τάξης ενδιαφέροντος ή όταν δεν υπάρχουν γνώσεις στις σχέσεις και συσχετίσεις ορισμένων τάξεων. Αν εφαρμοστεί πρώτα η μεθοδολογία εξαγωγής των τάξεων κατά Kernel του πρώτου επιπέδου, μπορεί να ακολουθήσει κατάτμηση χωρίς φασματική και χωρική γνώση. Συνεπώς, ο γενικός αλγόριθμος μπορεί να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένα πια δεδομένα και όχι σε όλη την εικόνα.

Γενικά αν συγκριθεί η προτεινόμενη μεθοδολογία ασαφούς βάσης γνώσης με διάφορους άλλους ταξινομητές με χρήση κανόνων μπορούν να εξαχθούν συνοπτικά τα εξής συμπεράσματα. Σε ότι έχει να κάνει με τους κανόνες ανά εικονοστοιχείο και τους κανόνες σε αντικειμενοστραφείς μεθοδολογίες, η βασική διαφορά είναι ότι στη δεύτερη περίπτωση οι κανόνες εφαρμόζονται σε ομογενή πρωτογενή δεδομένα. Το πλεονέκτημα της μεθοδολογίας των κατά Kernel κατηγοριών είναι ότι λόγω των συναρτήσεων ασαφούς λογικής δεν εμφανίζεται το φαινόμενο του ‘αλατοπίπερου’. Άρα διατηρούνται τα αντικείμενα μικρά και μειώνονται κατά πολύ οι περαιτέρω παράμετροι που απαιτούνται για μια κατάτμηση με ασαφείς κανόνες.

Κατά την αξιολόγηση, εκτός από την ολική ακρίβεια υπολογίζεται και ένας συμπληρωματικός όρος, ο οποίος έχει ως όρο την πιθανότητα της ολικής ακρίβειας, έναν όρο που σχετίζεται με το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης και τον αριθμό των κατηγοριών στην κατανομή X^2 , και τέλος έναν όρο που σχετίζεται με τον ίδιο τον αριθμό των κατηγοριών. Ο τελευταίος όρος εκφράζει το γεγονός ότι τα δεδομένα αναφοράς ενδέχεται να μην είναι ανεξάρτητα και κατανομημένα ομοιόμορφα λόγω της χωρικής αυτοσυσχέτισης μεταξύ των γειτονικών εικονοστοιχείων.

Σε μια απλή εφαρμογή της μεθοδολογίας για τον απλό διαχωρισμό της εικόνας σε περιοχές βλάστησης και μη βλάστησης (διπλός διαχωρισμός), επιλέχθηκε μια εικόνα στην περιοχή της Ιταλίας, η οποία λήφθηκε από τον δορυφόρο Landsat ETM+MS το 2001. Η βλάστηση στη συνέχεια μπορεί να διαχωριστεί περαιτέρω πχ. σε δάσος κλπ. Η εικόνα ήταν γεωμετρικά διορθωμένη, ενώ η ραδιομετρική διόρθωση έγινε με βάση την πλανητική ανάκλαση, ενώ για το κανάλι 6 ακολουθήθηκε ειδική μεθοδολογία. Το αποτέλεσμα έδειξε πως η περιοχή, αν και ανομοιογενής, δεν εμφάνισε το φαινόμενο του ‘αλατοπίπερου’, γεγονός που αποτελεί πλεονέκτημα της μεθόδου σε σχέση με την παραδοσιακή ανάλυση ανά εικονοστοιχείο.

Για την ποσοτική αξιολόγηση επιλέχθηκαν δεδομένα ελέγχου, τα οποία αρχικά εντοπίστηκαν με φωτοερμηνεία από ορθοφωτογραφίες με μικρή χρονολογική απόκλιση από της δορυφορικής εικόνας και ανάλυσης 1m με φωτοερμηνεία. Στη συνέχεια τα δεδομένα μεταφέρθηκαν στην εικόνα Landsat 7 ανάλυσης 28.5m. Η ολική ακρίβεια ήταν μεγάλη (98.2%), η ανοχή μηδενική και ο δείκτης \hat{k} είχε τιμή 0.94. Με τη μεθοδολογία αυτή το αποτέλεσμα μπορεί να εισαχθεί σε μεταγενέστερο

στάδιο ανίχνευσης πχ. μόνο δασών από το τμήμα της βλάστησης, και άρα πολύ μεγάλο μέρος της εικόνας δεν θα χρειαστεί καμία επίβλεψη.

Σε ιδιαίτερα ετερογενείς περιοχές μπορεί να εφαρμοστεί η μεθοδολογία αυτή και να ακολουθήσει επιβλεπόμενη ταξινόμηση μέγιστης πιθανοφάνειας. Πολλές φορές εφαρμόστηκε και σε διαχρονικές εικόνες. Επιλέχθηκαν δύο εικόνες της ίδιας περιοχής (άνοιξη – φθινόπωρο) από το δορυφόρο Landsat 5 TM για κάθε χρονιά 1987 μέχρι τι 2000. Δεδομένα αναφοράς προέκυψαν από ορθοφωτογραφία του Μαΐου του 1987. Η σύγκριση μεταξύ των θεματικών χαρτών που προέρχονται από τις διάφορες χρονιές γίνεται μεταγενέστερα.

Πραγματοποιήθηκε αρχικά μια πρώτη ταξινόμηση με δειγματοληψία από μη έμπειρους φωτοερμηνευτές και βρέθηκαν τέσσερις αρχικές κατηγορίες στόχοι. Για τις δύο εικόνες του 1987 η ολική ακρίβεια ήταν μεγάλη (93.6%), η ανοχή 0.5% και ο δείκτης \hat{k} είχε τιμή 0.87 για τα δεδομένα εκπαίδευσης, ενώ για τα ελέγχου η ολική ακρίβεια ήταν μεγάλη (86.5%), η ανοχή 1% και ο δείκτης \hat{k} τιμή 0.72. Αν και οι ακρίβειες είναι υψηλές, η ανάκτηση δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου δεν συμφέρει. Αν εφαρμοστούν οι Kernel φασματικοί κανόνες τότε ο παραγόμενος χάρτης μια εικόνας αποτελεί αξιόπιστη πηγή για άντληση δεδομένων ελέγχου. Μια χρονολογία μπορεί να εμφανίσει μια επιπλέον κατηγορία και ο ταξινομητής πρέπει να ενημερωθεί ως προς τα δεδομένα έλεγχου και εκπαίδευσης. Στις παραπάνω περιπτώσεις εφαρμόστηκε συνδυασμός προγενέστερης βάσης γνώσης μαζί με επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Ωστόσο αυτή η μεθοδολογία δεν βελτιώνει πάντα το αποτέλεσμα διότι ενδέχεται τα νέα αποτελέσματα να επικαλύπτονται φασματικά με το αποτέλεσμα άλλων κατηγοριών. Κατά συνέπεια, οι στατιστικοί δείκτες ενδέχεται να μειώνονται.

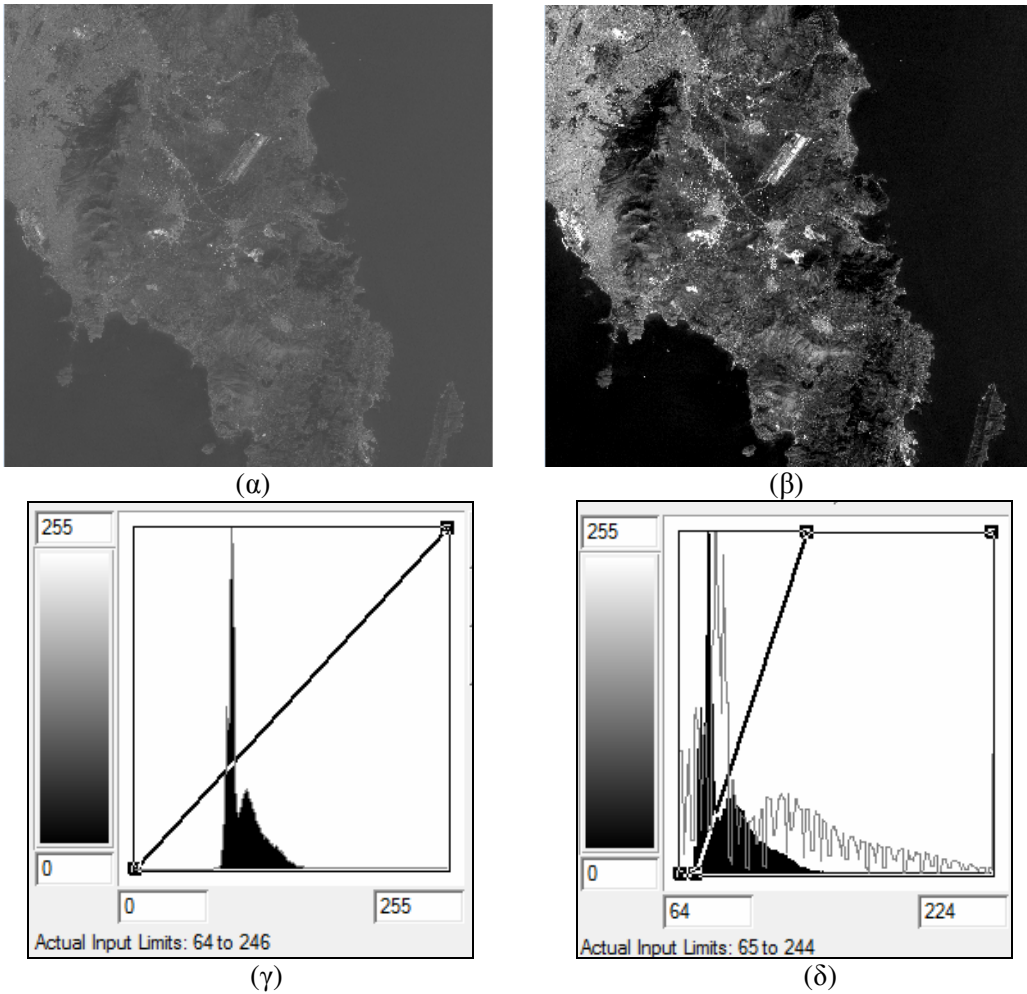
2.5. Προσέγγιση Ταξινομήσεων με Βασική Μονάδα Χωρικής Ανάλυσης το Εικονοστοιχείο

2.5.1. Τεχνικές ενίσχυσης εικόνων

Στο λογισμικό ER Mapper 7.0, τόσο στις απεικονίσεις των μεμονωμένων καναλιών όσο και στα έγχρωμα σύνθετα, εφαρμόστηκε οπτική βελτίωση με την τεχνική της επέκτασης του ιστογράμματος με αποκοπή στα άκρα (0.5% αριστερά και 0.5% δεξιά). Οι τεχνικές ενίσχυσης της αντίθεσης των τόνων δεν είναι παρά διαδικασίες που βοηθούν ιδιαίτερα στη φωτοερμηνεία των εικονοστοιχείων, καθώς ο ανθρώπινος οφθαλμός του χρήστη δεν έχει πάντοτε τη δυνατότητα να διακρίνει τις μικρές ραδιομετρικές ή φασματικές διαφορές που μπορεί να χαρακτηρίζουν τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας [Αργιαλάς, 1999]. Αυτό επιτυγχάνεται διότι το εύρος τιμών φωτεινότητας της εικόνας εισόδου συνήθως δεν εκμεταλλεύεται όλο το δυναμικό εύρος των τόνων του γκρι του συστήματος απεικόνισης (0-255), ενώ μετά την επέκταση του ιστογράμματος η εικόνα εξόδου έχει 256 τόνους του γκρι και οι ανοιχτόχρωμες περιοχές της εικόνας θα εμφανίζονται ακόμα πιο ανοιχτόχρωμες και οι σκούρες ακόμα σκουρότερες.

Η γραμμική επέκταση του ιστογράμματος, στην προκειμένη περίπτωση συνοδεύεται και με αποκοπή στα άκρα, γεγονός που σημαίνει ότι το 0.5% με τους πιο υψηλούς τόνους (Εικόνα 2.2 (δ)) λαμβάνει την ψηφιακή τιμή φωτεινότητας 255, το 0.5% με τους πιο χαμηλούς τόνους (Εικόνα 2.2 (γ)) λαμβάνει την τιμή 0, ενώ το υπόλοιπο 99% του αρχικού ιστογράμματος εκτείνεται πια σε όλο το δυναμικό εύρος (0-255). Με τον τρόπο αυτό ξεπερνιέται και ένα βασικό μειονέκτημα της γραμμικής μεθόδου, διότι οι γραμμικές μέθοδοι ενίσχυσης χωρίς αποκοπή αποδίδουν τα ίδια επίπεδα απεικόνισης τόσο για τις σπάνιες τιμές του γκρι όσο και για τις τιμές που εμφανίζονται στην εικόνα με μεγάλη συχνότητα.

Μια άλλη μέθοδος ενίσχυσης με πολύ καλά αποτελέσματα είναι η επέκταση με την ισοδυναμοποίηση του ιστογράμματος. Σε αυτή τη διαδικασία, οι ψηφιακές τιμές αποδίδονται σε τιμές απεικόνισης με βάση τη συχνότητα εμφάνισής τους. Πιο συγκεκριμένα, το τμήμα του ιστογράμματος με τις μεγαλύτερες τιμές συχνότητας θα λάβει περισσότερες τιμές απεικόνισης και άρα θα βελτιωθεί πραγματικά η αντίθεση.



Εικόνα 2.2: Επέκταση του ιστογράμματος της εικόνας με αποκοπή στα άκρα 1% (α) Κανάλι 1 πριν την ενίσχυση, (β) Κανάλι 1 μετά την ενίσχυση, (γ) Ιστόγραμμα πριν την ενίσχυση, (δ) Διάφανο ιστόγραμμα ενισχυμένης εικόνας.

Παρατηρήθηκε ότι η ενίσχυση με αποκοπή στα άκρα και η μέθοδος της ισοδυναμοποίησης έδιναν πολύ καλύτερα δεδομένα εξόδου από τη λογαριθμική, την εκθετική και τις υπόλοιπες συναρτήσεις επέκτασης του ιστογράμματος που διαθέτει το συγκεκριμένο λογισμικό.

2.5.2. Λόγοι καναλιών

Οι εικόνες-λόγοι καναλιών είναι ενισχύσεις και προκύπτουν από τη διαίρεση των ψηφιακών τιμών σε ένα φασματικό κανάλι με τις αντίστοιχες τιμές σ' ένα άλλο κανάλι και χρησιμεύουν στη διάκριση μικρών φασματικών διαφορών μίας περιοχής. Οι κατάλληλοι λόγοι που βοηθούν στο να διαχωριστούν θεματικές κατηγορίες προκύπτουν από το διάγραμμα ανακλαστικότητας. Ο διαχωρισμός δύο κατηγοριών που οι φασματικές τους καμπύλες βρίσκονται πολύ κοντά ή μπορεί και να ταυτίζονται σε κάποια κανάλια επιτυγχάνεται εντοπίζοντας σε ποιο κανάλι υπάρχει η μέγιστη διαφορά (B_i) και σε ποιο η ελάχιστη (B_j) και εφαρμόζεται ο λόγος B_i/B_j ή ο αντίστροφος. Όταν επιλεγούν τα κατάλληλα κανάλια, τότε ο λόγος είτε ενισχύει την αντίθεση των επιφανειακών υλικών είτε μειώνει σε ένα βαθμό την επίδραση του ανάγλυφου και των σκιάσεων (ατμοσφαιρική διάχυση) στις προσπίπτουσες εικόνες.

Οι εικόνες που προκύπτουν έχουν προέλθει από την πράξη της διαίρεσης των ψηφιακών τιμών φωτεινότητας και συνεπώς αποθηκεύτηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να μη χάνεται η επιπλέον πληροφορία.

Οι εικόνες λόγιοι, εναλλακτικά, μπορούν να δημιουργηθούν εντός του λογισμικού. Αναφέρεται ότι χρήση των λόγων έγινε μόνο στο λογισμικό αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας Definiens 5. Οι λόγοι καναλιών που χρησιμοποιήθηκαν και η διάκριση θεματικής κατηγορίας που επιτυγχάνεται από την ενίσχυση αναγράφονται στον Πίνακα 2.1.

Λόγος	Χρήση
4/1	Ανάδειξη υδάτων. Το εγγύς υπέρυθρο κατεξοχήν χρησιμοποιείται για τη διάκριση μεταξύ ξηράς και θάλασσας. Όταν διαιρείται με τις τιμές του μπλε καναλιού, τότε η διάκριση είναι ακόμα πιο εμφανής, διότι είναι εκείνο που ανακλά τις υδάτινες μάζες.
4/2	Ανάδειξη αδιαπέρατων επιφανειών για συγκεκριμένο εύρος τιμών όπου διακρίνονται οι οικιστικές περιοχές και το κύριο οδικό δίκτυο της περιοχής.
1/6	Γενικά, στο μπλε κανάλι εμφανίζονται με ανοιχτούς τόνους οι αστικές περιοχές. Η διαίρεση με τις ψηφιακές τιμές φωτεινότητας του έκτου καναλιού γίνεται κυρίως για την κανονικοποίηση των τιμών.

Πίνακας 2.1: Λόγιοι καναλιών εντός του λογισμικού αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας-ανάδειξη θεματικών κατηγοριών.

Οι παραπάνω λόγοι σχηματίστηκαν πριν την εφαρμογή της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης ώστε να αντληθεί φασματική πληροφορία κατά την είσοδο τέτοιων εικόνων στο λογισμικό Definiens 5.

Άλλες τεχνικές που δεν χρησιμοποιήθηκαν είναι εκείνη της δημιουργίας κύριων συνιστωσών και του σχηματισμού φίλτρων. Για την πρώτη περίπτωση, είναι γνωστό πως τα επτά κανάλια του δορυφόρου Landsat είναι συσχετισμένα. Με άλλα λόγια οι φασματικές πληροφορίες που παρέχουν είναι πλεονασματικές και δύναται να αντιπροσωπευτούν από λιγότερα κανάλια τα οποία θα είναι ασυσχέτιστα. Η αντιμετώπιση του προβλήματος συσχετισμού μεταξύ των καναλιών εξαλείφοντας τους πλεονασμούς στα πολυφασματικά δεδομένα συμπιέζοντας τη φασματική πληροφορία με τη δημιουργία των κύριων συνιστωσών βοηθά στην ταξινόμηση της εικόνας, κυρίως όταν συνοδεύεται από τη δημιουργία κατάλληλων έγχρωμων σύνθετων. Όμως κρίθηκε πως στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, η διαδικασία αυτή δεν θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στο αποτέλεσμα της ταξινόμησης και για το λόγο αυτό δεν πραγματοποιήθηκε. Για τη δεύτερη περίπτωση, ανάλογα με την εφαρμογή φίλτρων χαμηλών, υψηλών συχνοτήτων ή ανίχνευσης ακμών στην αρχική εικόνα, επιτυγχάνεται είτε εξομάλυνση εικόνας, είτε ενίσχυση-όξυνση των γραμμικών στοιχείων και συνεπώς καθαρότερη εικόνα, είτε έντονες ακμές που περιβάλλουν τα αντικείμενα αντίστοιχα. Αν και εφαρμόστηκαν αρκετοί τύποι φίλτρων, κανένας από τους παραπάνω δεν βοήθησαν επαρκώς στην ταξινόμηση. Σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις τα φίλτρα υψηλών συχνοτήτων συνέβαλλαν στη

φωτοερμηνεία των εικόνων. Συνεπώς, δεν έγινε εισαγωγή τέτοιων ενισχυμένων εικόνων στο λογισμικό Definiens 5.

2.5.3. Δείκτες υφής

Η υφή είναι η συχνότητα μεταβολής των τόνων μιας εικόνας. Εναλλακτικά, η υφή ορίζεται ως η περιοδική μεταβολή του τόνου σε μικρή επιφάνεια ή ως η ιδιότητα της χωρικής ομοιογένειας/ανομοιογένειας του τόνου [Καραθανάση, σημειώσεις 2011]. Η υφή σε μια περιοχή μιας εικόνας μπορεί να είναι μαλακή, τραχιά, μέτρια, γραμμική ή τυχαία, ανάλογα με την εναλλαγή των τόνων του γκρι. Για παράδειγμα, η τραχιά υφή παρουσιάζει μεγάλη διαφορά μεταξύ της μικρότερης και της μεγαλύτερης τιμής τόνου του γκρι σε μικρή απόσταση [Mryka Hall-Beyer, 2007], η οποία, στο πλαίσιο μιας ψηφιακής εικόνας, αναφέρεται συνήθως σε ένα εικονοστοιχείο. Έχει αποδειχθεί πως οι πιο απλοί υπολογισμοί υφής είναι συνήθως πιο χρήσιμοι για τη βελτίωση της ακρίβειας μιας ταξινόμησης [Mryka Hall-Beyer, 2007].

Για την ανάδειξη της υφής χρησιμοποιούνται στατιστικές τεχνικές, τεχνικές δομικής επεξεργασίας της εικόνας και τέλος φασματικές τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας.

Οι στατιστικές μέθοδοι ψηφιακής επεξεργασίας της εικόνας διακρίνονται σε:

- Πρώτης τάξης: εφαρμογή απλών στατιστικών δεικτών χωρίς χωρικές σχέσεις μεταξύ των τόνων (χρήση αρχικών δεδομένων μιας εικόνας).
- Δεύτερης τάξης: πρόκειται για στατιστική επεξεργασία με σχέσεις μεταξύ δύο τόνων, συνήθως γειτονικών εικονοστοιχείων της αρχικής εικόνας.
- Τρίτης και υψηλότερης τάξης: πρόκειται για στατιστική επεξεργασία με σχέσεις μεταξύ των τόνων τριών ή περισσότερων εικονοστοιχείων. (πρόκειται για υπολογιστικά απαιτητικούς δείκτες).

Οι τεχνικές δομικής επεξεργασίας διακρίνονται σε:

- Ανίχνευση δομικού στοιχείου/προτύπου
- Γραμματική αναγνώριση δομικού στοιχείου/προτύπου

Τέλος, η φασματική ψηφιακή επεξεργασία περιλαμβάνει τοπική ανάλυση του φάσματος των συχνοτήτων.

Ως προς τους στατιστικούς δείκτες πρώτου βαθμού, οι πιο γνωστοί είναι ο δείκτης ‘Εύρος Τιμών = MAX-MIN’ και η ‘Διασπορά = Τυπική Απόκλιση²’. Η δεύτερης ή μεγαλύτερης τάξης στατιστική επεξεργασία γίνεται με τους Πίνακες Χωρικής Συσχέτισης Τόνων του Γκρίζου (Grey Level Co-Occurrence Matrices). Μερικοί τέτοιοι δείκτες είναι η ‘Αντίθεση’, η ‘Ανομοιομορφία’, η ‘Ομοιογένεια’, ο δείκτης ‘ASM’, η ‘Ενέργεια’, η ‘Μέγιστη Πιθανότητα’, η ‘Εντροπία’, ο ‘Μέσος Όρος’, η ‘Διασπορά’, η ‘Συσχέτιση’ κ.α..

Την ιδέα του προσδιορισμού της υφής με τη χρήση πινάκων προήλθε από τον Haralick ο οποίος πρότεινε 14 διαφορετικούς τύπους υπολογισμού που έχουν ενσωματωθεί σε πολλά λογισμικά.

Οι πίνακες χωρικής συσχέτισης για τη δεύτερη τάξη είναι τετραγωνικοί πίνακες διαστάσεων NxN, όπου N είναι το πλήθος των τόνων στην εικόνα. Πρόκειται για έναν πίνακα που αναγράφεται πόσο συχνά συμβαίνουν σε μια εικόνα διάφοροι

συνδυασμοί ψηφιακών τιμών φωτεινότητας στα εικονοστοιχεία [Mryka Hall-Beyer, 2007]. Το στοιχείο i, j στον πίνακα είναι το πλήθος των χωρικών συσχετίσεων του τόνου i (εικονοστοιχείο αναφοράς) με τον τόνο j (γειτονικό εικονοστοιχείο). Η κανονικοποιημένη μορφή του πίνακα δίνεται όταν κάθε στοιχείο του πίνακα διαιρείται με το συνολικό πλήθος. Η κανονικοποιημένη μορφή είναι προτιμότερη διότι δίνεται απευθείας η πιθανότητα ενός συνδυασμού. Η πιθανότητα εδώ ορίζεται ως ο αριθμός που προκύπτει ένας συνδυασμός, διαιρούμενος με τον συνολικό αριθμό πιθανών αποτελεσμάτων (αμφίδρομα).

Τη συσχέτιση καθορίζει τόσο η διεύθυνση όσο και η απόσταση μεταξύ των εικονοστοιχείων. Συνήθως η απόσταση που εφαρμόζεται είναι ανά ένα εικονοστοιχείο, καθώς ορίζεται ως το μέσο δομικό στοιχείο υψής. Οι διευθύνσεις που εφαρμόζονται είναι οι $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ και 135° . Για κάθε διεύθυνση σχηματίζεται και διαφορετικός πίνακας. Είναι προφανές ότι, σε κάθε περίπτωση, ο πίνακας θα είναι συμμετρικός μιας και η σχέση των εικονοστοιχείων είναι αμφίδρομη, δηλαδή αν υπολογιστούν πόσες φορές εμφανίζεται η αλληλουχία 0 και 1 τόνων του γκρι, ο ίδιος αριθμός αντιστοιχεί και στην περίπτωση αλληλουχίας 1 με 0 (αλλαγή κελιών αναφοράς και προορισμού). Για το λόγο αυτό άλλωστε υπολογίζονται μόνο οι τέσσερις παραπάνω διευθύνσεις. Οι αμφίδρομες διευθύνσεις με τις παραπάνω διαφέρουν κατά 180° . Συχνά, πιο χρήσιμος για μια ταξινόμηση είναι ο συνδυασμός των τεσσάρων διευθύνσεων, δηλαδή ο μέσος όρος τους [Mryka Hall-Beyer, 2007].

Για μια εικόνα 8 bit, η ραδιομετρία περιλαμβάνει 256 πιθανούς τόνους του γκρι. Άρα για κάθε εικονοστοιχείο δημιουργείται ένας τετραγωνικός πίνακας διαστάσεων 256×256 με 65.536 εικονοστοιχεία. Σε πολλά λογισμικά, όπως το ER Mapper, ενδείκνυται η μείωση της ραδιομετρίας τόσο για υπολογιστικούς λόγους όσο και για την βελτίωση ως προς την ευστάθεια του πίνακα, καθώς ο νέος πίνακας θα έχει λιγότερες μηδενικές τιμές.

Εκτός από τη μείωση της ραδιομετρίας, ορίζεται και το μέγεθος του παραθύρου εφαρμογής διαστάσεων $N \times N$, όπου ο N είναι αριθμός. Το αποτέλεσμα κάθε υπολογισμού (πχ. πολλαπλασιασμός του πίνακα με βάρη και υπολογισμός αθροίσματος) είναι ένας αριθμός που αντιπροσωπεύει το παράθυρο. Ο αριθμός αυτός τοποθετείται στη θέση του κεντρικού εικονοστοιχείου του παραθύρου. Στη συνέχεια το παράθυρο μετακινείται κατά ένα εικονοστοιχείο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται υπολογίζοντας έναν νέο πίνακα GLCM. Με αυτό τον τρόπο υπολογίζεται η υφή για όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας πλην μιας λωρίδας πλάτους $(N-1)/2$ εικονοστοιχείων, όπου N η διάσταση του παραθύρου εφαρμογής [Mryka Hall-Beyer, 2007]. Συνήθως, στα κενά κελιά τοποθετούνται τιμές από τους εγγύτερους υπολογισμούς υψής. Πρόβλημα υπάρχει μόνο στην περίπτωση που η αρχική εικόνα έχει μικρές διαστάσεις.

Οι δείκτες της ‘Ομοιογένειας’, της ‘Εντροπίας’, της ‘Μέγιστης Πιθανότητας’, της ‘Αντίθεσης’, και της ‘Συσχέτισης’ αποτελούν μερικούς από τους δείκτες υψής κατά Haralick. Υπάρχουν και οι δείκτες υψής σε ομάδες, όπως πχ. η ‘Αντίθεση’ όπου γίνονται μετρήσεις της απόστασης από την κύρια διαγώνιο του Πίνακα, η ‘Συμμετρική Ομοιογένεια’ όπου εξετάζεται η κανονική κατανομή τιμών στον Πίνακα και τέλος η ‘Στατιστική Επεξεργασία’ στα στοιχεία του Πίνακα.

Σχετικά με τον δείκτη της ‘Αντίθεσης’, αναφέρεται ότι, όσο η πιθανότητα των διαγώνιων στοιχείων είναι μεγαλύτερη, δηλαδή όσο τα εικονοστοιχεία εμφανίζουν ίδιες τιμές με τα γειτονικά, τόσο μειώνεται η αντίθεση και αυξάνεται η ομοιομορφία. Αντίθετα, όταν οι πιθανότητες σε απομακρυσμένα κελιά από τη διαγώνιο είναι μεγάλες, τότε η ‘Αντίθεση’ είναι μεγάλη. Συνεπώς, για τον προσδιορισμό της ‘Αντίθεσης’ χρησιμοποιούνται βάρη σχετιζόμενα με την απόσταση από της κύρια διαγώνιο του Πίνακα GLCM και μάλιστα τα βάρη αυξάνονται εκθετικά με την απόσταση. Η ‘Αντίθεση’ ονομάζεται επίσης και ‘άθροισμα των τετραγώνων μεταβλητότητας’. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή όταν το αποτέλεσμα θα αποθηκευτεί ως μια νέα εικόνα. Για να μην χαθεί η δεκαδική πληροφορία πρέπει η εικόνα να αποθηκευτεί μια βαθμίδα ανώτερη από την αρχική.

Στην ‘Ανομοιομορφία’, τα βάρη δεν αυξάνονται εκθετικά, αλλά γραμμικά, και συνεπώς ανάγεται σε τεχνική πρώτου βαθμού.

Η ‘Ομοιογένεια’ συχνά αναφέρεται και ως ‘Αντίστροφη Διαφορά’. Η ‘Ομοιογένεια’ έχει ως βάρη τα αντίστροφα βάρη της ‘Αντίθεσης’. Άρα λοιπόν, αυτά μειώνονται εκθετικά με την απόσταση από τη διαγώνιο.

Στους δείκτες ‘ASM’ και ‘Energy’ = $(ASM)^{1/2}$, χρησιμοποιούνται βάρη ανάλογα με το πόσο μεθοδικές είναι οι διαδοχές των τόνων σε ένα παράθυρο. Η ‘Μέγιστη Πιθανότητα’ απλά αποδίδει στο κεντρικό εικονοστοιχείο κάθε παραθύρου τη μέγιστη πιθανότητα που υπάρχει σε αυτό. Η ‘Έντροπία’, που πρακτικά συγκαταλέγεται στις τεχνικές πρώτου βαθμού, είναι ο αντίθετος δείκτης της ‘Ενέργειας’. Ο ορισμός της είναι δύσκολος, μιας και προέρχεται από μεθοδολογίες της θεμοδυναμικής. Σε αυτήν ορίζεται ως η ποσότητα ενέργειας που χάνεται όταν πραγματοποιείται ένας φυσικός μετασχηματισμός. Εδώ χρησιμοποιείται σε μη τεχνική γλώσσα για να περιγράψει την μη μεθοδικότητα στις τιμές ενός παραθύρου.

Οι τρίτου βαθμού επεξεργασίες για την ανάδειξη υφής αποτελούνται από στατιστικά προερχόμενα από τον GLCM Πίνακα. Τέτοιες περιπτώσεις είναι ο μέσος, η μεταβλητότητα ή η τυπική απόκλιση και τέλος η συσχέτιση. Τα στατιστικά αυτά δεν προέρχονται από την αρχική εικόνα αλλά από τον GLCM Πίνακα.

Αναφέρεται τέλος ότι οι υφές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας μόνο ένα κανάλι μιας δορυφορικής απεικόνισης κάθε φορά και ότι για κάθε κανάλι είναι δυνατόν να γίνουν πολλές διαφορετικές μετρήσεις υφής. Το παραγόμενο αποτέλεσμα κάθε δείκτη είναι μια εικόνα υφής με μια τιμή υφής για κάθε εικονοστοιχείο. Οι νέες εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά με άλλα δεδομένα, ώστε να ορίσουν φασματικές υπογραφές σε επιβλεπόμενη ή μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Το μέγεθος του παραθύρου καθορίζει την χρησιμότητα των μετρήσεων υφής στην ταξινόμηση. Συνήθως ένα παράθυρο πρέπει να είναι μικρότερο από τα αντικείμενα ενδιαφέροντος αλλά και τόσο μεγάλο ώστε να περιλαμβάνει την ποικιλομορφία που χαρακτηρίζει το αντικείμενο.

Αν αναλογιστεί κανείς όλους τους πιθανούς συνδυασμούς, από τη επιλογή παραθύρου, καναλιού, απόστασης γειτονικών εικονοστοιχείων, διεύθυνσης και δείκτη τότε ο χρήστης ενδέχεται να μην γνωρίζει ποιος συνδυασμός θα τον οδηγήσει στο βέλτιστο αποτέλεσμα για την ανίχνευση ενός φαινομένου. Αξίζει όμως να επισημανθεί ότι μερικά χαρακτηριστικά ανιχνεύονται ευκολότερα σε συγκεκριμένα

κανάλια. Ακόμα, πολλοί από τους δείκτες είναι συσχετισμένοι λόγω του τρόπου παρασκευής των εξισώσεών τους. Ουσιαστικά μόνο τέσσερις ή πέντε είναι οι ασυσχέτιστοι. Για παράδειγμα η ‘Ομοιογένεια’ είναι συσχετισμένη με την ‘Αντίθεση’ κατά 80% και μάλιστα με αρνητικό πρόσημο. Αντίστοιχα η Ομοιογένεια’ είναι αρνητικά συσχετισμένη με την ‘Ανομοιομορφία’ κατά 95% κ.ο.κ.. Συνήθως επιλέγεται ένας αλγόριθμος από κάθε κατηγορία και εξετάζεται αρχικά το αποτέλεσμα του κάθε ενός.

2.5.4. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Γενικά, ο σκοπός της διαδικασίας της ταξινόμησης εικόνων είναι η αυτόματη κατηγοριοποίηση όλων των εικονοστοιχείων μιας εικόνας σε διάφορες τάξεις κάλυψης γης ή αντικείμενα [Αργιαλάς, 1999]. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή θα ταξινομηθούν πολυφασματικά δεδομένα. Ως ψηφιακή βάση της κατηγοριοποίησης κάθε εικονοστοιχείου χρησιμοποιούνται τα φασματικά πρότυπα που ενυπάρχουν στα δεδομένα κάθε εικονοστοιχείου. Οι διάφορες κατηγορίες εκφράζονται από διαφορετικούς συνδυασμούς ψηφιακών τιμών φωτεινότητας στα κανάλια μιας πολυφασματικής εικόνας, ανάλογα με τις ενγενείς ιδιότητες της φασματικής ανακλαστικότητας και εκπομπής. Για κάθε εικονοστοιχείο συνεπώς, ορίζεται ένα φασματικό πρότυπο που δεν είναι παρά ο συνδυασμός μετρήσεων έντασης ακτινοβολίας, οι οποίες λαμβάνονται από τα φασματικά κανάλια του δέκτη. Οι τεχνικές ταξινόμησης οι οποίες χρησιμοποιούν ως βάση αυτήν τη φασματική πληροφορία ανά εικονοστοιχείο, αναφέρονται ως τεχνικές ταξινόμησης με φασματική αναγνώριση προτύπων.

Εκτός από τη φασματική αναγνώριση προτύπων, υπάρχει η χωρική αναγνώριση, η διαχρονική αναγνώριση προτύπων και άλλες. Οι χωρικοί αλγόριθμοι ταξινόμησης κατηγοριοποιούν τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας με βάση τις φασματικές σχέσεις τους με τα στοιχεία που τα περιβάλλουν και λαμβάνουν υπόψη τους παράγοντες όπως η υφή, η εγγύτητα των εικονοστοιχείων, το σχήμα και το μέγεθος διαφόρων αντικειμένων, τη διεύθυνση τους, την επαναληπτικότητά τους, το πρότυπό τους και άλλα. Η διαχρονική αναγνώριση προτύπων αναφέρεται στην περίπτωση φασματικών και χωρικών μεταβολών αντικειμένων στο πέρασμα του χρόνου. Τέτοιες περιπτώσεις είναι επί παραδείγματι οι εκτάσεις αγροτικών καλλιεργειών.

Στο παρόν εδάφιο, η ταξινόμηση με μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο θα πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Με τη μη επιβλεπόμενη και την επιβλεπόμενη με τη χρήση αλγορίθμων. Οι δύο αυτές τεχνικές ταξινόμησης έχουν μια ουσιαστική διαφορά. Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, πριν το στάδιο της ταξινόμησης πρέπει να έχει προηγηθεί το στάδιο της επίβλεψης, δηλαδή το στάδιο του ορισμού των δεδομένων εκπαίδευσης των θεματικών κατηγοριών της περιοχής. Αντίθετα, στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεν ορίζονται δεδομένα εκπαίδευσης και τα δεδομένα συναθροίζονται αυτόματα σε φυσικές ομάδες ή συσσωρεύσεις με βάση τις φασματικές τους ιδιότητες. Στη συνέχεια, ο χρήστης είναι αυτός που ορίζει σε ποια θεματική κατηγορία κάλυψης γης υπάγεται κάθε συσσωρευση. Η απόφαση λαμβάνεται ύστερα από τη σύγκριση των δεδομένων ομαδοποίησης με επίγεια δεδομένα αναφοράς ή από χάρτες και αεροφωτογραφίες.

Ως προϊόντα εξόδου και στις δύο περιπτώσεις λαμβάνονται θεματικοί χάρτες ψηφιδωτής μορφής της κάλυψης γης. Επίσης μπορούν να ληφθούν στατιστικοί

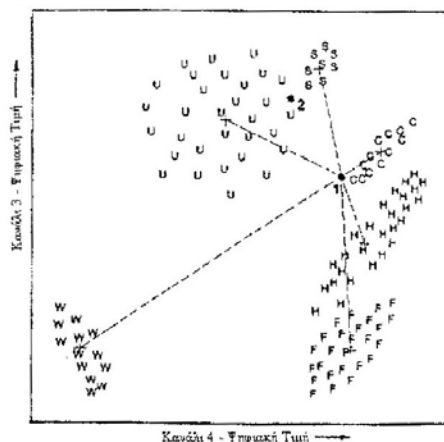
πίνακες αλλά και ψηφιακά αρχεία της ταξινόμησης που μπορούν να εισαχθούν σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιεί δεδομένα εκπαίδευσης για να εξάγει τις κύριες φασματικές τάξεις που εμφανίζονται σε μια δορυφορική εικόνα. Στη συνέχεια, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση αποβλέπει στην αναγνώριση των πραγματικών τάξεων αντικειμένων της γήινης επιφάνειας με τη χρήση των φασματικών υπογραφών τους. Εκτός από τα δεδομένα εκπαίδευσης, για να υλοποιηθεί η επιβλεπόμενη ταξινόμηση απαιτείται η εφαρμογή ενός αλγορίθμου ταξινόμησης της εικόνας. Οι στρατηγικές ταξινόμησης που θα αναφερθούν στη συνέχεια χρησιμοποιούν τις περιγραφές των δεδομένων εκπαίδευσης της κάθε θεματικής κατηγορίας ως φωτοερμηνευτικά κλειδιά, βάσει των οποίων, εικονοστοιχεία αγνώστου κατηγορίας κάλυψης γης, θα μπορέσουν να ταξινομηθούν στις κατάλληλες θεματικές κατηγορίες.

Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι οι εξής:

- Αλγόριθμος ταξινόμησης ελάχιστης απόστασης από τους μέσους

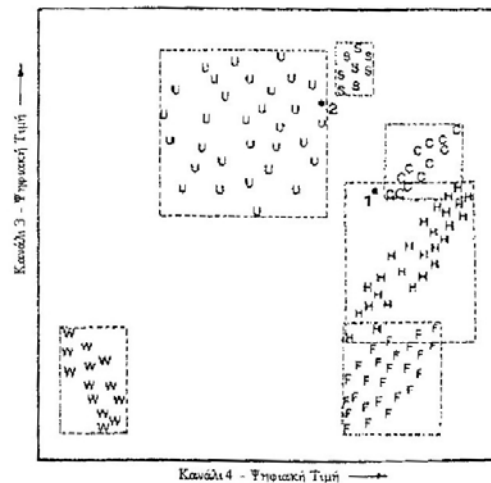
Πρόκειται για τον απλούστερο από τους τρεις αλγορίθμους. Αρχικά, υπολογίζονται οι μέσες τιμές των περιοχών εκπαίδευσης για κάθε φασματικό κανάλι. Αυτές οι τιμές συνθέτουν το μέσο διάνυσμα κάθε περιοχής εκπαίδευσης που αντιστοιχεί σε μία κατηγορία. Κάθε εικονοστοιχείο ταξινομείται σε μια τάξη με βάση την απόσταση μεταξύ της τιμής του άγνωστου εικονοστοιχείου του και του μέσου διανύσματος της κάθε κατηγορίας. Μετά τον υπολογισμό της απόστασης από κάθε κατηγορία, το άγνωστο εικονοστοιχείο αποδίδεται στην εγγύτερη κατηγορία. Για λόγους άμεσης αντίληψης της μεθοδολογίας αυτής, η στρατηγική ταξινόμησης της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους απεικονίζεται σε δισδιάστατο χώρο προτύπων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2. Στο δισδιάστατο χώρο προτύπων η απόσταση αυτή αντιστοιχεί στην απόσταση της προβολής του διανύσματος από το φασματικό χώρο προτύπων στο δισδιάστατο. Είναι μια απλή διαδικασία από την οποία δεν προκύπτουν αταξινόμητα εικονοστοιχεία, εκτός εάν το εικονοστοιχείο βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από αυτήν που έχει ορίσει ο χρήστης ως μέγιστη δυνατή. Ως θετικό του συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι η υπολογιστική του ταχύτητα λόγω της μαθηματικής απλότητάς του, ενώ το βασικό του μειονέκτημα είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη τη διασπορά των φασματικών προτύπων απόκρισης των θεματικών κατηγοριών, δημιουργώντας πρόβλημα σε φασματικές κατηγορίες οι οποίες βρίσκονται κοντά η μια στην άλλη στον πολυφασματικό χώρο προτύπων και εμφανίζουν μεγάλη διασπορά [Αργιαλάς, 1999].



Σχήμα 2.2: Η στρατηγική ταξινόμησης της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους [Αργιαλάς, 1999].

- Αλγόριθμος του παραλληλεπιπέδου

Λαμβάνεται υπόψη εκτός από το μέσο όρο και η διασπορά της κάθε τάξης με έμμεσο τρόπο. Ως διασπορά θεωρείται το εύρος των ψηφιακών τιμών φωτεινότητας της κάθε κατηγορίας από τα δεδομένα εκπαίδευσης σε κάθε φασματικό κανάλι, δηλαδή ένα διάστημα τιμών (min-max) στο οποίο πρέπει να κυμαίνεται το διάνυσμα τιμών ενός εικονοστοιχείου για να ενταχθεί σε μια τάξη. Η απεικόνιση των (min-max) τιμών είναι ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο σε ένα δισδιάστατο χώρο προτύπων, ενώ παλυδιάστατα έχουν τη μορφή παραλληλεπιπέδου. Τα προβλήματα της μεθόδου είναι ότι ενδέχεται να υπάρχει επικάλυψη των παραλληλεπιπέδων των περιοχών εκπαίδευσης (μεγάλη συνδιασπορά) και ότι προκύπτουν αταξινόμητα εικονοστοιχεία όταν το άγνωστο εικονοστοιχείο βρίσκεται έξω από όλα τα παραλληλόγραμμα που αντιστοιχούν στις περιοχές εκπαίδευσης. Η επικάλυψη οφείλεται κυρίως, στο ότι η κατανομή τάξεων, οι οποίες παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση, ή υψηλή συμμεταβλητότητα, δεν απεικονίζεται επαρκώς με τα όρια απόφασης που χαρακτηρίζουν τον αλγόριθμο του παραλληλεπιπέδου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3 που ακολουθεί. Κοινώς, ο αλγόριθμος δεν είναι ευαίσθητος ως προς τη συμμεταβλητότητα των δεδομένων. Η υψηλή συμμεταβλητότητα απεικονίζεται στο δισδιάστατο χώρο προτύπων με τη μορφή μακρόστενων και διαγώνιων ελλείψεων των περιοχών εκπαίδευσης. Άμεση απόρροια της υψηλής συμμεταβλητότητας είναι η δημιουργία επικαλυπτόμενων παραλληλογράμων με αποτέλεσμα να υπάρχει πρόβλημα στην ταξινόμηση των εικονοστοιχείων με το συγκεκριμένο αλγόριθμο. Μια λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η δημιουργία παραλληλογράμων με κλιμακωτά όρια που προσεγγίζουν καλύτερα την έλλειψη. Αν και υπολογιστικά ο αλγόριθμος είναι ταχύς, δεν είναι πάντα αξιόπιστος, λόγω των επικαλύψεων όπως προαναφέρθηκε. Η επικάλυψη ήταν μεγάλη και στην παρούσα εργασία και το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου αλγορίθμου δεν θα παρουσιαστούν.

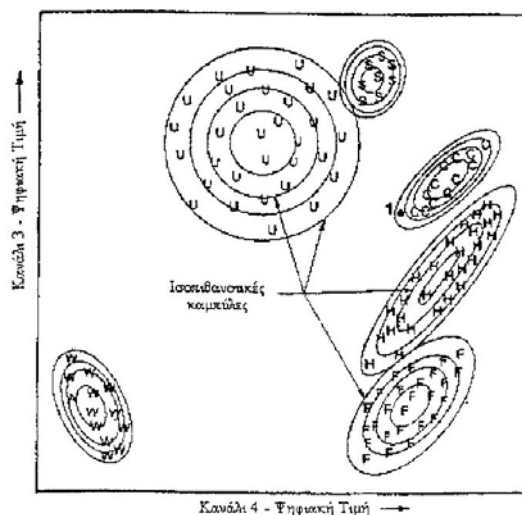


Σχήμα 2.3: Η στρατηγική ταξινόμησης με τον κανόνα του παραλληλεπιπέδου [Αργιαλάς, 1999].

- Αλγόριθμος ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας

Κατά την ταξινόμηση ενός εικονοστοιχείου λαμβάνεται υπόψη η μεταβλητότητα και η συμμεταβλητότητα των προτύπων φασματικής απόκρισης των διαφόρων κατηγοριών. Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή του αλγορίθμου είναι ότι η κατανομή του νέφους των σημείων εκπαίδευσης κάθε κατηγορίας, δηλαδή του διανύσματος των τιμών των εικονοστοιχείων εκπαίδευσης ανά κατηγορία, πρέπει να είναι κανονική. Κάτω από αυτή την προϋπόθεση, η κατανομή του φασματικού προτύπου απόκρισης κάθε κατηγορίας περιγράφεται πλήρως από ένα μέσο διάνυσμα και τον πίνακα συμμεταβλητότητας (συνδιασποράς) και στη συνέχεια είναι δυνατόν να υπολογιστεί η στατιστική πιθανότητα να ανήκει ένα εικονοστοιχείο σε μια κατηγορία κάλυψης γης.

Η υπόθεση της κανονικότητας των δεδομένων είναι γενικώς αποδεκτή για τις πιο συνηθισμένες κατανομές φασματικών αποκρίσεων. Η γραφική απεικόνιση της πιθανότητας ενός εικονοστοιχείου να ταξινομηθεί σε μια κατηγορία εκφράζεται από τον κατακόρυφο άξονα της τρισδιάστατης επιφάνειας της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για την φασματική-θεματική κατηγορία αυτή. Σε δισδιάστατο επίπεδο, οι συναρτήσεις προβάλλονται και οριοθετούνται ως ελλειψοειδής ισοπίθανες καμπύλες στο διάγραμμα διασποράς (Σχήμα 2.4). Στον αλγόριθμο αυτό, το κάθε εικονοστοιχείο θα αποδοθεί στην πλέον πιθανή κατηγορία με την υψηλότερη τιμή πιθανότητας ή θα χαρακτηριστεί ως ‘άγνωστο’, εάν η πιθανότητά του είναι κάτω από ένα όριο που ορίζει ο χρήστης. Το βασικό μειονέκτημα του αλγορίθμου είναι ο μεγάλος όγκος υπολογισμών για την ταξινόμηση κάθε εικονοστοιχείου. Ο χρόνος εκτέλεσης αυξάνεται περαιτέρω όσο περισσότερα είναι τα φασματικά κανάλια που χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση και όσο περισσότερες είναι οι κατηγορίες. Πολλές φορές το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται, ακολουθώντας διαδικασίες μείωσης των αρχικών φασματικών δεδομένων, μέσω πχ. του σχηματισμού κύριων συνιστωσών.



Σχήμα 2.4: Κλειστές καμπύλες ίσων πιθανοτήτων που καθορίζονται από τον ταξινομητή της μέγιστης πιθανοφάνειας [Αργιαλάς, 1999].

2.5.4.1 Ψηφιοποίηση ομοιογενών περιοχών - Υπολογισμός στατιστικών στοιχείων

Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όπως προαναφέρθηκε, είναι απαραίτητος ο ορισμός δεδομένων εκπαίδευσης, στα οποία βασίζεται και ο αλγόριθμος που θα επιλεγεί κατά την εκτέλεση. Ουσιαστικά ο χρήστης-φωτοερμηνευτής, ‘επιβλέπει’ τη διαδικασία κατηγοριοποίησης των εικονοστοιχείων, ορίζοντας στον αλγόριθμο αριθμητικές περιγραφές των διαφόρων θεματικών κατηγοριών κάλυψης γης οι οποίες εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης [Αργιαλάς 1999]. Τα δεδομένα εκπαίδευσης άρα λειτουργούν ως ένα αριθμητικό ‘φωτοερμηνευτικό κλειδί’ το οποίο θα περιγράψει τις φασματικές ιδιότητες του κάθε αντικειμένου που ενδιαφέρει το χρήστη να μελετήσει. Το κάθε εικονοστοιχείο αποδίδεται, δηλαδή ταξινομείται, σε εκείνη την κατηγορία με την οποία, ύστερα από σύγκριση των αριθμητικών χαρακτηριστικών του με τα αριθμητικά χαρακτηριστικά των ‘φωτοερμηνευτικών κλειδιών’, έχει τις περισσότερες ομοιότητες.

Ο πολυφασματικός σαρωτής έχει μετρήσει την ένταση της ακτινοβολίας και την έχει καταγράψει ως ψηφιακή τιμή φωτεινότητας του εικονοστοιχείου στα επτά φασματικά κανάλια και έχει σχηματίσει το πρότυπο της φασματικής απόκρισής του. Εάν τα φασματικά πρότυπα είναι μοναδικά για τον κάθε τύπο κάλυψης γης, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως η βάση της ταξινόμησης της εικόνας. Η γραφική απεικόνιση ενός φασματικού προτύπου προς διευκόλυνση γίνεται σε δισδιάστατο ‘χώρο προτύπων’ και όχι σε επτά διαστάσεις. Οι δισδιάστατες ψηφιακές τιμές πλέον κάθε εικονοστοιχείου ορίζουν και ένα διάνυσμα προτύπου και άρα κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να απεικονιστεί γραφικά σε ένα δισδιάστατο ιστόγραμμα όπου ο άξονας x αντιστοιχεί στις ψηφιακές τιμές φωτεινότητας του ενός καναλιού και ο άξονας y στις τιμές του άλλου καναλιού.

Επειδή όμως τα δεδομένα εκπαίδευσης είναι πολύγωνα, το φασματικό πρότυπο κάθε κατηγορίας χαρακτηρίζεται από το σύνολο των εικονοστοιχείων του ψηφιοποιημένου πολυγώνου. Άρα κάθε πολύγωνο εκπαίδευσης αναπαρίσταται στο δισδιάστατο χώρο προτύπων ως ένα νέφος από σημεία. Τα νέφη που προκύπτουν από όλες τις θεματικές κατηγορίες αποτελούν τα ‘φωτοερμηνευτικά κλειδιά’, βάσει των οποίων, τα εικονοστοιχεία αγνώστου κατηγορίας κάλυψης γης, θα μπορέσουν να ταξινομηθούν στις κατάλληλες θεματικές κατηγορίες ανάλογα βέβαια με τη στρατηγική ταξινόμησης που θα χρησιμοποιηθεί. Στο λογισμικό ERMapper το νέφος κάθε κατηγορίας έχει τη μορφή έλλειψης. Άρα λοιπόν, τα δισδιάστατα ιστογράμματα (Scattergrams) εμφανίζουν τις μέσες τιμές των τάξεων και τις διασπορές με μορφή ελλείψεων, με βάση τις οποίες θα γίνει ο έλεγχος των φασματικών υπογραφών των προς ταξινόμηση εικονοστοιχείων. Το μέγεθος κάθε έλλειψης εκφράζει την πιθανότητα ένα άγνωστο εικονοστοιχείο (pixel) να ανήκει στην κατηγορία που η έλλειψη αντιπροσωπεύει, στο διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Ο καλύτερος συνδυασμός καναλιών είναι εκείνος που επιτυγχάνει το μέγιστο φασματικό διαχωρισμό των κατηγοριών μέσω των σχετικών αντιστροφών των φασματικών αποκρίσεων. Όταν επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός μέσω των ελλείψεων, συνεπάγεται τον αδύνατο διαχωρισμό των κατηγοριών από μόνο ένα κανάλι πολυφασματικής εικόνας. Σε όλες τις ταξινομήσεις που έγιναν, χρησιμοποιήθηκαν και τα επτά κανάλια διότι και χωρίς τη συμμετοχή του θερμικού καναλιού ο αλγόριθμος της ταξινόμησης δεν έδινε αποτελέσματα με σημαντικές αποκλίσεις.

2.5.4.2 Εκτίμηση ακρίβειας της ταξινόμησης

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι μια ταξινόμηση θεωρείται ολοκληρωμένη μόνο όταν εκτιμηθεί η ακρίβειά της. Η αξιολόγηση της ταξινόμησης έγινε μέσω του πίνακα σύγχυσης ή αλλιώς πίνακα σύμπτωσης. Πρόκειται για πίνακες σφαιμάτων που συγκρίνουν τη σχέση μεταξύ γνωστών επίγειων δεδομένων αναφοράς (αληθινών δεδομένων) και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων μιας αυτόματης διαδικασίας ταξινόμησης, κατηγορία προς κατηγορία. Οι πίνακες αυτοί είναι τετραγωνικοί, με συμμετρικά ίδιες κατηγορίες ανά γραμμή και στήλη. Η ακρίβεια της ταξινόμησης μπορεί να εκφραστεί είτε συνολικά για όλη την ταξινόμηση είτε για κάθε κατηγορία μεμονωμένα. Τα δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου, από τα οποία εξαρτάται το αποτέλεσμα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, δεν είναι σίγουρο ότι θα ταξινομηθούν στην κατηγορία κάλυψης γης που θεωρήθηκε πως ανήκουν διότι υπάρχει η πιθανότητα να διεκδικούνται και από άλλες κατηγορίες, κάτι που συσχετίζεται άμεσα με τη μέθοδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης που επιλέγεται. Η καταχώρηση των δεδομένων ελέγχου στις κατηγορίες ελέγχεται κατά στήλη, ενώ τα εικονοστοιχεία που πραγματικά ταξινομήθηκαν σε κάθε κατηγορία κάλυψης γης από τον αλγόριθμο ταξινόμησης καταχωρούνται στις γραμμές του πίνακα.

Είναι προφανές ότι τα δεδομένα ελέγχου πρέπει να είναι διαφορετικά και σχετικά πλέον εκτεταμένα από τα δεδομένα εκπαίδευσης. Τα δεδομένα ελέγχου στην παρούσα εργασία, μιας και τα μόνα συμπληρωματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το αποτέλεσμα της φωτοερμηνείας από τις δορυφορικές απεικονίσεις του Google Earth και το CORINE Landcover για το 2000, αποτελούν ουσιαστικά περαιτέρω δεδομένα εκπαίδευσης και η διαδικασία αξιολόγησης απλά εκφράζει το πόσο καλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα εξαγόμενα στατιστικά στοιχεία από αυτές τις περιοχές στην κατηγοριοποίηση των ίδιων περιοχών [Αργιαλάς 1999]. Αν τα αποτελέσματα είναι καλά, αυτό σημαίνει ότι οι περιοχές εκπαίδευσης είναι ομοιογενείς, οι τάξεις των δεδομένων εκπαίδευσης είναι φασματικά διακριτές και η τεχνική της ταξινόμησης που ακολουθήθηκε είναι αποτελεσματική για αυτές τις νέες περιοχές εκπαίδευσης. Θα μπορούσε να ισχυριστεί ότι μια τέτοια διαδικασία βοηθά περισσότερο στη διαδικασία βελτιστοποίησης των δεδομένων εκπαίδευσης, αλλά δηλώνει λίγα πράγματα σχετικά με την απόδοση του αλγορίθμου ταξινόμησης σε οποιαδήποτε άλλη περιοχή και για τον λόγο αυτό δεν θα έπρεπε να χρησιμοποιείται ως ένδειξη της συνολικής ακρίβειας της ταξινόμησης.

Παρόλα αυτά, επειδή οι περιοχές ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή επιλέχθηκαν πολύ προσεκτικά και αντιπροσωπεύοντας ομοιόμορφη κάλυψη γης, και επειδή ο αριθμός των δειγμάτων είναι αρκετά μεγαλύτερος από τα δεδομένα εκπαίδευσης του αλγορίθμου μπορούν να θεωρηθούν ως δεδομένα ελέγχου και όχι νέα δεδομένα εκπαίδευσης. Οι περιοχές ελέγχου εντοπίστηκαν συγχρόνως με το στάδιο εκπαίδευσης της επιβλεπόμενης ταξινόμησης και επιλέχθηκε να συμπεριληφθούν στα δεδομένα ελέγχου διότι για τα δεδομένα εκπαίδευσης είχε ήδη εκφραστεί μεγάλο μέρος της συνολικής μεταβλητότητας των κατηγοριών εκφραζόμενη στα στατιστικά στοιχεία της ταξινόμησης. Οι ακρίβειες που λαμβάνονται στις περιοχές ελέγχου, αντιπροσωπεύουν κατ' ελάχιστον μια πρώτη προσέγγιση της ακρίβειας της ταξινόμησης στην περιοχή μελέτης. Ένα μειονέκτημα που ενδέχεται να προκύψει από την παρούσα διαδικασία είναι ότι οι ομοιογενείς περιοχές που έχουν επιλεγεί ως δεδομένα ελέγχου ενδέχεται να μην παράσχουν μια ορθή ένδειξη της ακρίβειας της ταξινόμησης στο επίπεδο ενός μεμονωμένου εικονοστοιχείου όπου η μεταβλητότητα της κάλυψης γης είναι μεγαλύτερη. Ως

μονάδα δείγματος των δεδομένων ελέγχου επιλέχθηκε πάλι το πολύγωνο. Τέλος, ο αριθμός των δειγμάτων για κάθε κατηγορία προσαρμόστηκε ανάλογα με τη σχετική σημασία της κάθε κατηγορίας για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, δηλαδή, στη συγκεκριμένη περίπτωση, για τις οικιστικά ανεπτυγμένες περιοχές, αλλά και σύμφωνα με τη μεταβλητότητα κάθε κατηγορίας, δηλαδή, περισσότερα δείγματα λήφθηκαν για κατηγορίες με μεγαλύτερη μεταβλητότητα.

Γενικά τα δεδομένα εκπαίδευσης δεν πρέπει να λαμβάνονται από εκείνες τις κατηγορίες που έχουν μικρή πιθανότητα εμφάνισης στην περιοχή μελέτης. Πολλές φορές, όπως συνέβη και στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε πρώτα μια ταξινόμηση λεπτομερών θεματικών κατηγοριών, μερικές από τις οποίες στη συνέχεια συνενώθηκαν σε πιο γενικές κατηγορίες. Η συγχώνευση αυτή αναμένεται να αυξήσει την ακρίβεια της ταξινόμησης. Είναι αυτονόητο ότι, επειδή η αξιολόγηση της ταξινόμησης εξαρτάται εξολοκλήρου από την ακρίβεια των δεδομένων αναφοράς, η επιλογή τους είναι καθοριστικής σημασίας.

Ο Πίνακας Σύγκρισης προϋποθέτει τη δημιουργία της αληθούς εικόνας. Η αληθής εικόνα έχει προέλθει από τα γνωστά επίγεια δεδομένα κάθε κατηγορίας. Ο Πίνακας Σύγκρισης συγκρίνει τη σχέση μεταξύ γνωστών στοιχείων επίγειων δεδομένων (αληθινών δεδομένων) και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων της αυτόματης διαδικασίας ταξινόμησης. Ο πίνακας αυτός έχει διαστάσεις, όπως προαναφέρθηκε, όσος και ο αριθμός των κατηγοριών. Οι στήλες του πίνακα αναφέρονται στη ταξινόμηση των εικονοστοιχείων ελέγχου ενώ οι γραμμές στα εικονοστοιχεία που πραγματικά ταξινομήθηκαν σε κάθε κατηγορία κάλυψης γης.

Από τον πίνακα σύγκρισης προκύπτουν αρκετά στοιχεία σχετικά με την επίδοση της ταξινόμησης. Από αυτά, δύο είναι τα είδη των σφαλμάτων που συντελούν στην αποτελεσματικότερη αξιολόγηση της ταξινόμησης, και είναι τα σφάλματα παράλειψης (αποκλεισμού) και συμπερίληψης. Τα εικονοστοιχεία ελέγχου τα οποία ταξινομήθηκαν στις σωστές κατηγορίες κάλυψης γης, σύμφωνα με τα δεδομένα εκπαίδευσης, βρίσκονται πάνω στη κύρια διαγώνιο του πίνακα σφαλμάτων (πάνω αριστερά προς κάτω δεξιά). Τα μη διαγώνια στοιχεία αποτελούν τα σφάλματα αποκλεισμού και συμπερίληψης. Πιο συγκεκριμένα, τα σφάλματα αποκλεισμού αντιστοιχούν στα μη διαγώνια στοιχεία των στηλών του πίνακα, ενώ τα σφάλματα συμπερίληψης αντιπροσωπεύονται από τα μη διαγώνια στοιχεία των γραμμών του πίνακα.

Από τον πίνακα σύγκρισης είναι ακόμα δυνατός ο προσδιορισμός ορισμένων δεικτών ακρίβειας της ταξινόμησης. Μερικοί από αυτούς τους δείκτες είναι οι εξής:

- Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης: υπολογίζεται διαιρώντας τον συνολικό αριθμό των ορθά ταξινομημένων εικονοστοιχείων (στοιχεία της κύριας διαγώνιου), με τον συνολικό αριθμό εικονοστοιχείων αναφοράς. Η συνολική ακρίβεια όμως δεν αντιπροσωπεύει τη σύγκριση των ταξινομήσεων. Δίνει καλό αποτέλεσμα μόνο όταν όλες οι κατηγορίες έχουν τον ίδιο αριθμό εικονοστοιχείων, κάτι που συνήθως δεν συμβαίνει. Παρόλα αυτά δίνει μια πρώτη εκτίμηση των αποτελεσμάτων.
- Οι ακρίβειες μεμονωμένων κατηγοριών (ακρίβεια παραγωγού και χρήστη): υπολογίζονται διαιρώντας τον αριθμό των ορθά ταξινομημένων εικονοστοιχείων κάθε κατηγορίας με το συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων της αντίστοιχης στήλης ή γραμμής.

- Η ακρίβεια του παραγωγού: ο λόγος των ορθά ταξινομημένων εικονοστοιχείων κάθε κατηγορίας (στοιχείο της διαγωνίου) προς τον αριθμό των εικονοστοιχείων ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για αυτή την κατηγορία (σύνολο στήλης). Ο λόγος αυτός εκφράζει το πόσο καλά ταξινομούνται τα εικονοστοιχεία ελέγχου της συγκεκριμένης κατηγορίας κάλυψης γης σύμφωνα με τα δεδομένα εκπαίδευσης.
- Η ακρίβεια του χρήστη: ο λόγος των ορθά ταξινομημένων εικονοστοιχείων κάθε κατηγορίας (στοιχείο της διαγωνίου) προς το συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν στη κατηγορία αυτή (σύνολο γραμμής). Ο λόγος αυτός αποτελεί ένα μέτρο του σφάλματος συμπερίληψης και αποτελεί ένδειξη της πιθανότητας ότι ένα εικονοστοιχείο που ταξινομήθηκε σε μια συγκεκριμένη τάξη πράγματι αντιπροσωπεύει αυτή την τάξη στο πεδίο κατά τον έλεγχο.

Η στατιστική τιμή \hat{k} (KHAT): πρόκειται για έναν δείκτη που εκφράζει ένα μέτρο της διαφοράς μεταξύ της πραγματικής συμφωνίας μεταξύ των επίγειων δεδομένων αναφοράς και ενός αυτόματου αλγορίθμου ταξινόμησης και της τυχαίας συμφωνίας μεταξύ των επίγειων δεδομένων αναφοράς και ενός αυτόματου αλγορίθμου ταξινόμησης. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ακόμα και μια απόλυτα τυχαία καταχώρηση εικονοστοιχείων σε τάξεις θα δημιουργήσει κάποιες ποσοστιαίες ορθές τιμές στον πίνακα σφαλμάτων και κάτι τέτοιο ίσως οδηγήσει σε εικονικά καλό αποτέλεσμα ταξινόμησης. Ο δείκτης αυτός, σε αντίθεση με το δείκτη της συνολικής ακρίβειας διαγωνίου, εξετάζει στατιστικά και τα εικονοστοιχεία απόρριψης και συμπερίληψης και περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\hat{k} = \frac{\text{παρατηρηθε ίσα ακρ ίβεια} - \text{τυχα ία συμφων ία}}{1 - \text{τυχα ία συμφων ία}} = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (9),$$

όπου:

r =ο αριθμός των γραμμών του πίνακα,

x_{ii} =τα στοιχεία της κύριας διαγωνίου (πορτοκαλί στοιχεία),

x_{i+} =το άθροισμα της κάθε γραμμής,

x_{+i} =το άθροισμα της κάθε στήλης,

N = ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων που περιλαμβάνονται στον πίνακα.

Το εύρος τιμών του δείκτη είναι μεταξύ 0 και 1. Η ιδανική περίπτωση συμβαίνει όταν η παρατηρηθείσα συμφωνία, δηλαδή η αληθής συμφωνία τείνει στη μονάδα και η τυχαία στο μηδέν, και άρα ο δείκτης τείνει επίσης στη μονάδα. Δεν αποκλείεται επίσης ο δείκτης να λάβει αρνητικές τιμές όταν η επιβλεπόμενη ταξινόμηση έχει πολύ άσχημο αποτέλεσμα.

Συνήθως ο δείκτης \hat{k} λαμβάνει λίγο μικρότερη τιμή από τον δείκτη συνολικής ακρίβειας, αλλά επειδή έχουν προέλθει από διαφορετικά δεδομένα και ο κάθε ένας περιλαμβάνει διαφορετικές μορφές πληροφορίας για τον πίνακα σφαλμάτων, είναι επιθυμητός ο υπολογισμός και η ανάλυση και των δύο μεγεθών. Ο δείκτης \hat{k} όμως πλεονεκτεί, καθώς είναι δυνατή η χρήση αυτής της τιμής για τον προσδιορισμό της στατιστικής σημασίας ενός συγκεκριμένου πίνακα σύγχυσης ή των διαφορών μεταξύ πινάκων σύγχυσης. Τέτοιες περιπτώσεις, είναι η σύγκριση

πινάκων σύγκυσης που προέρχονται από διαφορετικές χρονικές στιγμές, ή από διαφορετικές τεχνικές ταξινόμησης ή ακόμα και από διαφορετικά άτομα που μπορεί να εξάγουν την ταξινόμηση. Η σύγκριση επιτυγχάνεται αν υπολογιστεί η μεταβλητότητα του δείκτη και στη συνέχεια χρησιμοποιηθεί η κανονική κατανομή για να προσδιοριστεί εάν ένας συγκεκριμένος πίνακας διαφέρει σημαντικά από ένα τυχαίο αποτέλεσμα και εάν οι τιμές του δείκτη από δύο διαφορετικούς πίνακες παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

Για την αντικειμενοστραφή μεθοδολογία αναφέρεται πως δεν λήφθηκαν δεδομένα εκπαίδευσης, ενώ για τα δεδομένα ελέγχου ακολούθησε αντιστοίχιση των πολύγωνων των δεδομένων ελέγχου από το λογισμικό ER Mapper, σε αντικείμενα στις ίδιες περιοχές. Επειδή η επιλογή των δεδομένων ελέγχου στην αντικειμενοστραφή μέθοδο, ήταν πολύ πιο εύκολη, λόγω της άμεσης επιλογής αντικειμένων από τη διαδικασία της κατάτμησης, λήφθηκαν και επιπλέον δεδομένα ελέγχου. Αναφέρεται τέλος, ότι το επίπεδο κατάτμησης που επιλέχθηκε για τη λήψη δεδομένων ελέγχου ήταν ενδιάμεσης κλίμακας, ώστε να αποφευχθεί τόσο η λήψη πολλών αντικειμένων για μια οντότητα (μικρή κλίμακα-μικρά αντικείμενα), όσο και η γενικευμένη λήψη που θα είχε σαν αποτέλεσμα η επιλογή επιπέδου μεγάλης κλίμακας (μεγάλα αντικείμενα).

Σχετικά με τα δείγματα, στην αξιολόγηση πολύ σημαντικό είναι να έχει επιλεγεί σωστό μέγεθος δείγματος. Κάθε σημείο που συλλέγεται κοστίζει όταν προέρχεται από επίγειο έλεγχο. Από την άλλη, το δείγμα δεν πρέπει να είναι περιορισμένο ώστε να μπορεί να αποδώσει στατιστική αξιοπιστία. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι υπολογισμού του ιδανικού δείγματος. Στην περίπτωση του Πίνακα Σύγκυσης όμως δεν αρκεί μόνο αυτό. Τα δείγματα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντιπροσωπεύεται η μεταβλητότητα της εικόνας (σύγκυση). Ο αριθμός των δειγμάτων πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα με την σχετική σημασία της κατηγορίας στο αποτέλεσμα της ταξινόμησης (κατηγορίες ενδιαφέροντος). Η αυτόματη τυχαία δειγματοληψία συχνά υποτιμά μικρές αλλά συχνά σημαντικές περιοχές και δεν ενδείκνυται η χρήση της παρά μόνο όταν επιθυμείται μικρή συλλογή δείγματος από κάθε κατηγορία και εκτός αυτού απαιτεί την επίβλεψη των δειγμάτων συχνά σε μη προσβάσιμες περιοχές. Ίσως ο συνδυασμός αυτόματης και συστηματικής δειγματοληψίας θα μπορούσε να επιφέρει την βέλτιστη ισορροπία μεταξύ στατιστικής αξιοπιστίας και πρακτικής εφαρμογής.

2.5.5. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση αποτελεί μια μέθοδο της ψηφιακής τηλεπισκόπησης η οποία ομαδοποιεί τα άγνωστα εικονοστοιχεία σε ένα προεπιλεγμένο αριθμό κατηγοριών με συγκεκριμένες παραμέτρους χωρίς να χρησιμοποιούνται δεδομένα εκπαίδευσης. Η κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων πραγματοποιείται με βάση τις φυσικές ομαδοποιήσεις ή συσσωρεύσεις των ψηφιακών τιμών της εικόνας και για το λόγο αυτό χρησιμεύει ως οδηγός για την εκτέλεση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Άρα, σε πρώτο επίπεδο η εικόνα διαχωρίζεται σε φασματικές κατηγορίες.

Η βασική αρχή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι ότι οι τιμές που προέρχονται από μια συγκεκριμένη κατηγορία κάλυψης γης, βρίσκονται εγγύς η μια της άλλης στο φασματικό χώρο προτύπων, ενώ οι τιμές από διαφορετικές κατηγορίες χρήσεων γης θα πρέπει να είναι συγκριτικώς καλά διαχωρισμένες [Αργιαλάς, 1999]. Συχνά, η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιείται όταν υπάρχει έλλειψη σε επίγεια δεδομένα ελέγχου ή όταν τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της εικόνας δεν είναι τόσο ευδιάκριτα. Η διαδικασία όπου για την εύρεση κάλυψης γης είθισται να ακολουθείται μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση και στη συνέχεια επιβλεπόμενη (συνήθως με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας) αποτελούσε από παλιά την πιο αποτελεσματική μέθοδο ως προς τη διάκριση των κατηγοριών [Milne και O'Neill, 1990].

Το πρώτο βήμα της διαδικασίας είναι η εξαγωγή των κύριων φασματικών τάξεων της αρχικής ψηφιακής εικόνας. Η νέα εικόνα που παράγεται διαχωρίζεται σε όσες κατηγορίες έχει ορίσει ο χρήστης, ενώ η συνένωση ή ο διαχωρισμός των τάξεων εξαρτάται και από περιοριστικές παραμέτρους που επιλέγει. Στη συνέχεια ορίζονται οι πραγματικές τάξεις βάσει των θεματικών κατηγοριών καλύψεως γης που υφίστανται. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης πρέπει να συγκρίνει το αποτέλεσμα της ταξινόμησης με κάποια μορφή δεδομένων αναφοράς, όπως αεροφωτογραφίες ή υπάρχοντες χάρτες, ώστε να προσδιορίσει την ταυτότητα και την θεματική κατηγορία κάθε φασματικής τάξης. Η ιδανική αντιστοίχιση είναι προφανώς η ένα προς ένα, δηλαδή, κάθε φασματική κατηγορία να συσχετίζεται μοναδικά με μια θεματική κατηγορία και αυτό επιτυγχάνεται όταν υπάρχει πλήρης φασματικός διαχωρισμός μεταξύ των θεματικών κατηγοριών. Φυσικά, τις περισσότερες φορές προκύπτει το φαινόμενο, αρκετές φασματικές κατηγορίες να αντιστοιχούν σε μια θεματική κατηγορία όπως πχ. είναι η περίπτωση κωνοφόρων δασών σε σκιά ή μη αντίστοιχα. Η περίπτωση αυτή αντιμετωπίζεται με συνένωση-συνάθροιση μετά την ταξινόμηση σε ευρύτερα σύνολα κατηγοριών, κατά τον χρήστη. Προβληματική θεωρείται η περίπτωση όπου αρκετές φασματικές κατηγορίες να αντιστοιχούν σε περισσότερες από μια θεματικές κατηγορίες, γεγονός που σημαίνει πως οι θεματικές κατηγορίες είναι φασματικά όμοιες και δεν είναι δυνατόν να διαχωριστούν στην εικόνα αυτή.

Η διαδικασία αυτή, όπως αντίστοιχα και η διαδικασία βελτιστοποίησης των δεδομένων εκπαίδευσης της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι αρκετά δύσκολη. Η αξιολόγηση της ακρίβειας της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης πραγματοποιείται με φωτοερμηνεία.

Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, όπως ο αλγόριθμος των K κέντρων, όπου ορίζεται ο αριθμός των τάξεων (κέντρα συσσωρεύσεων στο πολυδιάστατο φασματικό χώρο) και ο αλγόριθμος πρέπει να συγκλίνει στο συγκεκριμένο αριθμό διαχωρισμένων φασματικών τάξεων, ύστερα από την εκτέλεση

επαναλήψεων. Στη συνέχεια μπορεί να ακολουθήσει συγχώνευση κατηγοριών και να προσδιοριστεί η φασματική διαχωριστικότητα και η κανονικότητα των δεδομένων. Άλλοι αλγόριθμοι συμπεριλαμβάνουν στην ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων και παραμέτρους υψής, όπως επί παραδείγματι η διασπορά, η οποία παρατηρείται σε ένα μετακινούμενο παράθυρο συγκεκριμένων διαστάσεων, ενώ ορίζεται πάλι και ο αριθμός των κέντρων των συσσωρεύσεων από το χρήστη. Στους αλγόριθμους τέτοιου τύπου, ο χρήστης επίσης ορίζει την στατιστική φασματική απόσταση μεταξύ των κέντρων συσσωρεύσεων. Σε περίπτωση που η απόστασή τους είναι μικρότερη από αυτό το όριο, επέρχεται συγχώνευση κατηγοριών και στατιστικών δεδομένων.

Γενικά, η συγχώνευση φασματικών τάξεων συνεπάγεται και γενίκευση-συγχώνευση και των θεματικών τάξεων. Το αποτέλεσμα της μη επιβλεπόμενης μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην επιλογή δεδομένων εκπαίδευσης της επιβλεπόμενης, ώστε να μην υπάρχει και φασματικός διαχωρισμός, αλλά να υπάρχει επίσης και καλή αντιστοίχιση σε θεματικές κατηγορίες. Μερικές φορές είναι δυνατόν στο αποτέλεσμα της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης να είναι έντονη η εμφάνιση ‘αλατοπίπερου’. γεγονός που αντιμετωπίζεται σε επίπεδο μεταταξινόμησης, χρησιμοποιώντας μεθόδους ομαλοποίησης των ταξινομημένων δεδομένων με τεχνικές όπως τα φίλτρα και τεχνικές χωρικής αναγνώρισης προτύπων πχ. με εκμετάλλευση της υψής.

Για να είναι το αποτέλεσμα της ταξινόμησης το βέλτιστο δυνατό πρέπει να έχουν γίνει κατανοητές οι παράμετροι του αλγορίθμου, αλλά να είναι γνωστές και οι θεματικές κατηγορίες κάλυψης γης της περιοχής. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος ISOCLASS (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), ο οποίος είναι ενσωματωμένος στο λογισμικό ER Mapper. Πρόκειται επίσης για έναν αλγόριθμο, ο οποίος ομαδοποιεί τα εικονοστοιχεία με παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά, βασιζόμενος σε στατιστικά κριτήρια [ER Mapper manual]. Ο αλγόριθμος αυτός ψάχνει αυτόματα για φυσικές συσσωρεύσεις των φασματικών ιδιοτήτων των εικονοστοιχείων και αποδίδει κάθε εικονοστοιχείο με βάση τις αρχικές παραμέτρους που ορίζονται από τον χρήστη.

Αρχικά εισάγεται το αρχείο της εικόνας προς ταξινόμηση, και το όνομα εξόδου στο οποίο θα αποθηκευτεί το αποτέλεσμα της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Εκτός από τον επιθυμητό μέγιστο αριθμό κατηγοριών, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει το ελάχιστο ποσοστό εικονοστοιχείων από το σύνολο της εικόνας που επιτρέπεται να έχει μια κατηγορία. Όσο περισσότερες είναι οι κατηγορίες, τόσο πιο μικρό μπορεί να είναι το ποσοστό αυτό. Επίσης, ο χρήστης ορίζει τη μέγιστη τυπική απόκλιση που επιτρέπει να έχει κάθε κατηγορία, αλλά και την ελάχιστη επιτρεπτή φασματική απόσταση μεταξύ δύο κατηγοριών για να είναι διακριτές. Η τυπική απόκλιση ουσιαστικά αποτελεί έναν επιτρεπόμενο δείκτη υψής ανά κατηγορία στην ταξινόμηση. Ακόμα, ο χρήστης καθορίζει το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων, που συνήθως τίθεται μεγάλος αριθμός. Τέλος ορίζεται το ποσοστό σύγκλισης, δηλαδή πάνω από ποιο ποσοστό αμετάβλητων συσσωρεύσεων θα σταματήσει ο αλγόριθμος. Με άλλα λόγια, ο αλγόριθμος σταματάει όταν το συγκεκριμένο ποσοστό των εικονοστοιχείων που ανήκουν σε κάθε κατηγορία σε μια επανάληψη δεν μεταβάλλεται σε σχέση με την προηγούμενη.

Μετά το πέρας της παραπάνω διαδικασίας, το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα χρωματικής και ονοματολογικής αντιστοίχισης των φασματικών κατηγοριών με θεματικές κατηγορίες. Υπάρχει δυνατότητα συνένωσης τους ώστε να επιτευχθεί

αντιστοίχιση με πραγματικές κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης που ενδιαφέρουν το χρήστη. Το ποιες τάξεις θα συνενωθούν εξαρτάται από το ποιες θα δώσουν γενικευμένες αλλά και σημασιολογικά σωστές θεματικές τάξεις, οι οποίες θα αποδοθούν στο τέλος με τις κατάλληλες αποχρώσεις.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως η ειδοποιός διαφορά μεταξύ επιβλεπόμενης και μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι ότι στην πρώτη μέθοδο ορίζονται σε πρώτο επίπεδο οι θεματικές κατηγορίες που ενδιαφέρουν το χρήστη και έπειτα εξετάζεται αν είναι δυνατόν να διαχωριστούν φασματικά, ενώ αντίθετα στη δεύτερη μέθοδο αρχικά διαχωρίζονται οι φασματικές κατηγορίες και έπειτα γίνεται αντιστοίχιση στη θεματική κατηγορία που υπάγεται η κάθε μια φασματική κατηγορία. Βασικό πλεονέκτημα της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι η δυνατότητα εντοπισμού διακριτών φασματικών τάξεων που δεν είχαν ληφθεί υπόψη κατά την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, αλλά παρόλα αυτά ενυπάρχουν στα δεδομένα. Όμως, χρειάζεται προσοχή διότι δεν είναι εύκολος ο ορισμός δειγμάτων εκπαίδευσης για όλες τις κατηγορίες που διαχωρίζονται φασματικά. Επίσης, η μη επιβλεπόμενη υπερτερεί και στο μικρότερο αριθμό δεδομένων εισόδου που απαιτούνται για την εκτέλεσή της και συνεπώς θεωρείται μια πολύ ικανοποιητική μέθοδος πρώτης εκτίμησης των φασματικών ιδιοτήτων των εικονοστοιχείων.

2.6. Προσέγγιση Ταξινόμησεων με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση Εικόνας

Η αντικειμενοστραφής ανάλυση των απεικονίσεων, η ανάπτυξη της οποίας ξεκίνησε πρόσφατα, και συγκεκριμένα το 2001, πλεονεκτεί σε σχέση με την ανάλυση της εικόνας με στοιχειώδη χωρική μονάδα το εικονοστοιχείο, διότι στην πρώτη μέθοδο δημιουργούνται αντικείμενα, μέσω της διαδικασίας της κατάτμησης της εικόνας, τα οποία μεταγενέστερα αναπαριστούν οντότητες με εννοιολογική σημασία. Τα αντικείμενα συνεπώς δεν είναι παρά ομαδοποιημένα εικονοστοιχεία. Η ομαδοποίησή τους όμως δε είναι τυχαία. Η λογική της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης προσεγγίζει ουσιαστικά τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Όσο μεγαλώνει η χωρική ανάλυση μιας απεικόνισης, τόσο οι σημαντικές εννοιολογικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την φωτοερμηνεία και η ταξινόμηση της εικόνας δεν αναπαρίστανται από μεμονωμένα εικονοστοιχεία, αλλά από σημαντικά εννοιολογικά αντικείμενα και τις αλληλοσυσχετίσεις τους.

Γενικός στόχος της μεθόδου είναι να δημιουργηθεί ένας θεματικός χάρτης που να εξυπηρετεί τους στόχους της ταξινόμησης. Με την αντικειμενοστραφή ανάλυση μειώνεται αισθητά το φαινόμενο του επονομαζόμενου ‘αλατοπίπερου’ που εμφανίζεται στις μεθόδους ανάλυσης εικόνας με βάση το εικονοστοιχείο. Επίσης, μια πολύ σημαντική διαφοροποίηση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με την ταξινόμηση με αντικειμενοστραφείς μεθόδους αποτελεί το γεγονός ότι στην πρώτη περίπτωση ο τρόπος συμμετοχής του εικονοστοιχείου σε μια κατηγορία είναι δυαδικός (δηλαδή ναι-όχι), ενώ στην δεύτερη περίπτωση το κάθε αντικείμενο διεκδικείται κατά ένα ποσοστό από κάθε κατηγορία και στο τέλος ταξινομείται σε εκείνο με τη μεγαλύτερη πιθανότητα.

Στην παρούσα εφαρμογή, σκοπός είναι να διερευνηθεί αν η χρήση της αντικειμενοστραφούς μεθόδου βελτιώνει την ανίχνευση των αστικών και ημιαστικών περιοχών ανά εικόνα. Εφόσον η ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση είναι καλύτερη από τις μεθόδους ανάλυσης εικόνας ανά εικονοστοιχείο, τότε τα οικονομετρικά πρότυπα εξέλιξης της περιοχής από το 1984 μέχρι το 2010, βασιζόμενα στην αλλαγή των χρήσεων γης και επιπρόσθετων παραμέτρων, θα είναι περισσότερο αξιόπιστα. Και για τις πέντε δορυφορικές απεικονίσεις, η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Definiens 5.

Σήμερα, εξειδικευμένα λογισμικά τηλεπισκοπικά πακέτα ταξινομήσεων έχουν ειδικές ενσωματωμένες λειτουργίες για την ανίχνευση μεταβολών, όπως για παράδειγμα η έκδοση 8 του λογισμικού Definiens. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα εφαρμόζει αντικειμενοστραφείς μεθόδους ταξινόμησης εικόνας και σύμφωνα με αυτό οι στρατηγικές ταξινόμησης μπορούν να βασιστούν είτε στη μεταβολή των χαρακτηριστικών τιμών των αντικειμένων, είτε στη σύγκριση των ταξινομήσεων ή στη μεταβολή που παρατηρείται όταν συγκρίνεται μια ταξινόμηση με ένα θεματικό επίπεδο. Βέβαια, για την ανίχνευση μεταβολών βασιζόμενη στις μεταβολές των χαρακτηριστικών τιμών των αντικειμένων, το πρόγραμμα δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για κατηγορίες που περιγράφονται μόνο από ένα χαρακτηριστικό, όπως παραδείγματος χάριν η βλάστηση από τον δείκτη NDVI. Αν και για τη συγκεκριμένη κατηγορία τις περισσότερες φορές ίσχυε κάτι τέτοιο, πολλές από τις κατηγορίες περιγράφονταν από περισσότερα χαρακτηριστικά και συνεπώς η μέθοδος δεν μπορούσε να εφαρμοστεί.

2.6.1. Κατάτμηση (Segmentation)

Η αρχική κατάτμηση είναι μια διαδικασία ιδιαίτερα καθοριστική για την μετέπειτα ποιότητα της ταξινόμησης, καθώς το αποτέλεσμα κρίνεται από το σχήμα των αντικειμένων και στη συνέχεια από την εκμετάλλευση των φασματικών, γεωμετρικών και τοπογραφικών χαρακτηριστικών τους. Επίσης, είναι δυνατόν στη συνέχεια να προστεθεί σημασιολογική πληροφορία και να βελτιωθεί η ταξινόμηση. Τέλος, είναι δυνατόν να ενοποιηθούν μικρότερα γειτνιάζοντα αντικείμενα της ίδιας κατηγορίας ή εκείνων των κατηγοριών που ορίζει ο χρήστης, σε αντικείμενα μιας ενιαίας κατηγορίας (Classification-Based Segmentation).

Στόχος της κατάτμησης είναι να δημιουργηθούν αντικείμενα όσο το δυνατόν μεγαλύτερα, αλλά ταυτόχρονα όσο μικρότερα απαιτείται, ώστε να μπορεί να αποδοθεί στον τελικό θεματικό χάρτη η επιθυμητή πληροφορία [Manual eCognition (2001)]. Με άλλα λόγια στόχος είναι να δημιουργηθούν, μέσω της κατάτμησης, αντικείμενα με σημαντική σημασιολογική υπόσταση. Συνεπώς, η μορφή κάθε αντικειμένου θα πρέπει ιδανικά να αντιστοιχεί σε κάποιο αντικείμενο της εικόνας. Παράγονται δηλαδή τα πρωτογενή εκείνα δεδομένα, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω επεξεργασία, ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός στόχος. Τα αντικείμενα αυτά πρέπει να διακρίνονται από σημαντική ομοιογένεια.

Η κατάτμηση που μπορεί να υλοποιηθεί από το λογισμικό ορίζεται ως πολλαπλής ανάλυσης με την οποία χρησιμοποιείται η τεχνική επέκτασης (region growing). Με τον όρο πολλαπλής ανάλυσης εννοείται πως είναι δυνατή η δημιουργία αντικειμένων σε οποιαδήποτε επιθυμητή ανάλυση. Τα όρια των αντικειμένων, τα πολύγωνα, είναι

δυνατόν να απεικονιστούν στο λογισμικό και να αντληθούν οι τιμές των χαρακτηριστικών για κάθε αντικείμενο (μέσες τιμές).

Γενικά ενδείκνυται να δημιουργείται πρώτα το επίπεδο στο οποίο θα γίνει η κύρια ταξινόμηση και μετά τα επίπεδα εκείνα τα οποία θα λειτουργήσουν συμπληρωματικά και θα βοηθήσουν για το καλύτερο αποτέλεσμα της βασικής ταξινόμησης. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται ο κίνδυνος αρνητικής επιρροής των αντικειμένων του κύριου επιπέδου από τα υπέρ και υπό αντικείμενα [eCognition, user guide].

Το λογισμικό eCognition όπως και η συνέχεια του (Definiens 5) κατά την κατάτμηση δίνει τη δυνατότητα να καθοριστούν τρεις βασικές παράμετροι:

Παράμετρος κλίμακας (scale parameter): αυτή η παράμετρος επηρεάζει το μέσο μέγεθος των αντικειμένων και πρακτικά καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ετερογένεια των αντικειμένων ορίζοντας πότε δύο αντικείμενα συνενώνονται μεταξύ τους. Όσο μεγαλύτερη τιμή λαμβάνει η παράμετρος, τόσο μεγαλύτερα αντικείμενα προκύπτουν. Η κλίμακα διαφέρει από την χωρική ανάλυση που είναι το μικρότερου μεγέθους χαρακτηριστικό που ανιχνεύεται σε μια εικόνα.

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. Το χρώμα και το σχήμα λαμβάνουν πάντα συμπληρωματικές τιμές με άθροισμα τη μονάδα, ενώ το λογισμικό δεν επιτρέπει να απορριφθεί τελείως η συμμετοχή της φασματικής υπογραφής στη δημιουργία των αντικειμένων.

Ομαλότητα/συμπαγές του αντικειμένου (Smoothness/Compactness): όταν ο δείκτης του σχήματος είναι μεγαλύτερος του μηδενός, ο χρήστης μπορεί να καθορίσει εάν τα τμήματα πρόκειται να δημιουργηθούν περισσότερο συμπαγή ή ομαλά (με επίσης συμπληρωματικές τιμές με άθροισμα τη μονάδα). Για εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης η ομαλότητα του σχήματος βοηθάει στη δημιουργία αντικειμένων βελτιστοποιώντας το λείο της οριογραμμής (πχ. για ανάδειξη οδικού δικτύου). Το συμπαγές του σχήματος ως κριτήριο χρησιμοποιείται για να βελτιστοποιήσει τα όρια των αντικειμένων ως προς την κανονικότητά τους. Χρησιμοποιείται όταν στην εικόνα υπάρχουν και αντικείμενα που είναι τυπικά συμπαγή και αντικείμενα που δεν είναι. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν οι αστικές περιοχές, όπου οι οροφές των κτηρίων, οι επικείμενοι δρόμοι και άλλοι σχηματισμοί έχουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές αλλά διαφέρουν σημαντικά στο σχήμα.

Το λογισμικό δίνει επίσης τη δυνατότητα εναλλαγής των βαρών των καναλιών που θα λάβουν μέρος στη διαδικασία της κατάτμησης ανάλογα με τη σημαντικότητά τους για κάθε εφαρμογή. Το θερμικό κανάλι είναι εκείνο που συνήθως εξαιρείται από τη διαδικασία της κατάτμησης λόγω μειωμένης χωρικής ανάλυσης, αλλά, ύστερα από πειραματικές διεργασίες, το αποτέλεσμα της κατάτμησης στην παρούσα εφαρμογή δεν διέφερε σημαντικά, είτε συμμετείχε είτε όχι στη διαδικασία της κατάτμησης.

Το βέλτιστο αποτέλεσμα της κατάτμησης των επιπέδων μεγαλύτερης κλίμακας για τις εικόνες Landsat επέρχεται ύστερα από εναλλαγή παραμέτρων, ώστε να προκύψουν τα επιθυμητά αντικείμενα για τον τελικό στόχο ταξινόμησης κάθε επιπέδου.

2.6.2. Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση (Object-Oriented Classification)

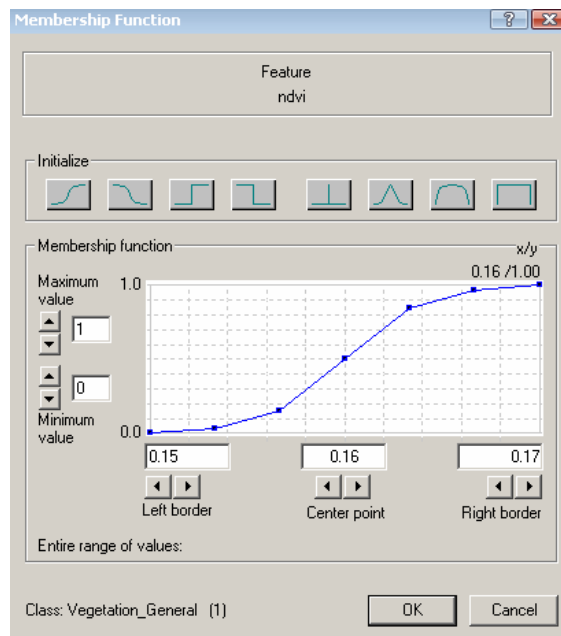
Στην αντικειμενοστραφή ταξινόμηση χρησιμοποιείται η Λογική της Ασάφειας, όπου τα αντικείμενα δεν έχουν αυστηρώς καθορισμένα όρια και ενδέχεται να ανήκουν μερικώς σε παραπάνω από μια κατηγορίες. Ο βαθμός συμμετοχής κάθε αντικειμένου σε κάθε κατηγορία κυμαίνεται μεταξύ των τιμών [0, 1]. Πρόκειται ουσιαστικά για την πιθανότητα του αντικειμένου να ανήκει σε μια κατηγορία, με τη μονάδα να αντιστοιχεί στην πλήρη συμμετοχή. 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 καταταγεί σε αυτή. Αντίθετα, στη μέθοδο ανάλυσης ανά εικονοστοιχείο, ένα εικονοστοιχείο ή ανήκει ή δεν ανήκει σε μια κατηγορία.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση μπορεί να γίνει με χρήση του αλγορίθμου του Εγγύτερου Γείτονα (Nearest Neighbor) ή με τη χρήση μιας ή περισσοτέρων Συναρτήσεων Ασαφούς Λογικής (Fuzzy Membership Functions) ή με συνδυασμό των παραπάνω. Ο Εγγύτερος Γείτονας μπορεί να αντιμετωπίσει ίσως πιο αποτελεσματικά περιπτώσεις περιοχών μεγάλης ετερογένειας.

Για την υλοποίηση του αλγορίθμου του Εγγύτερου Γείτονα είναι απαραίτητο να ληφθούν δεδομένα εκπαίδευσης. Η στρατηγική δημιουργίας του μέσου διανύσματος είναι διαφορετική από ότι έχει αναλυθεί στον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση του λογισμικού ER Mapper. Στην τελευταία περίπτωση αν μια κατηγορία περιγράφεται από πολλά πολύγωνα εκπαίδευσης, τότε για κάθε κατηγορία δημιουργείται το διάνυσμα των μέσων τιμών των πολυγώνων (συγχώνευση ελλείψεων). Στο λογισμικό Definiens 5 και στο eCognition, το κάθε αντικείμενο που αποτελεί δείγμα έχει τη δική του έλλειψη και δεν συγχωνεύεται με τα αντικείμενα που έχουν επιλεγεί επίσης ως δεδομένα εκπαίδευσης για την ίδια κατηγορία.

Ο Εγγύτερος Γείτονας ορίζεται συνήθως από τις μέσες τιμές των καναλιών του δορυφόρου. Το κάθε δείγμα μιας κατηγορίας αποτελεί μια στήλη και αναπαριστά την τιμή στο χαρακτηριστικό (μέση τιμή ενός καναλιού). Κατά συνέπεια είναι δυνατόν να ταξινομηθούν ορθώς στην ίδια κατηγορία, διαφορετικά είδη της ίδιας θεματικής κατηγορίας, όπως παραδείγματος χάριν οι οικίες με σκεπές και οι οικίες με επικάλυψη τσιμέντου. Ενδείκνυται η επιλογή όσο το δυνατόν λιγότερων δειγμάτων που να περιγράφουν μια κατηγορία για την αποφυγή αλληλοεπικαλύψεων. Τα παραπάνω ισχύουν και για τα δεδομένα ελέγχου. Στην μεθοδολογία ταξινόμησης με τον Εγγύτερο Γείτονα πρέπει να οριστεί η απόσταση διαχωρισμού των χαρακτηριστικών για κάθε κατηγορία, ενώ για την τυπική μορφή του Εγγύτερου Γείτονα αρκεί η εισαγωγή μιας μόνο τιμής για όλες τις κατηγορίες. Υψηλές τιμές συμμετοχής μετά την εφαρμογή του Εγγύτερου Γείτονα υποδεικνύουν μικρή απόσταση σε ένα από τα δείγματα για μια κατηγορία. Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι ο ταξινομητής του Εγγύτερου Γείτονα στα συγκεκριμένα λογισμικά αντικειμενοστραφούς ανάλυσης, παρουσιάζει ομοιότητες με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση στα κοινά πακέτα λογισμικού ανάλυσης εικόνας, όπου οι περιοχές εκπαίδευσης αντιστοιχούν σε αντικείμενα.

Οι συναρτήσεις ασαφούς λογικής αποτελούν συναρτήσεις που εφαρμόζονται στα ασαφή διαστήματα όπου δεν είναι βέβαιο αν τα αντικείμενα ανήκουν σε μια κατηγορία ή όχι. Υπάρχουν διάφορες μορφές συναρτήσεων (καμπύλη S, τραπεζοειδής, απόλυτης ταύτισης κ.α.) και ο χρήστης επιλέγει εκείνη που θεωρεί πως εκφράζει με το βέλτιστο τρόπο την μεταβολή της πιθανότητας ενός αντικειμένου να ανήκει σε μια κατηγορία στο διάστημα της ασαφούς ζώνης. Στην Εικόνα 2.3 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα συνάρτησης συμμετοχής τύπου ‘S’ που εφαρμόστηκε στον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI. Ο κάθετος άξονας εκφράζει την πιθανότητα ενός αντικειμένου να ανήκει στην κατηγορία ανάλογα με τα όρια της ασαφούς ζώνης. Τα όρια αυτά ορίστηκαν από τον χρήστη να είναι μεταξύ 0.15 και 0.17, και μέση τιμή στο 0.16. Όταν η τιμή ενός αντικειμένου είναι μεγαλύτερη από 0.17 τότε σίγουρα ανήκει στη βλάστηση και λαμβάνει για την κατηγορία αυτή τιμή συμμετοχής 1. Μεταξύ των τιμών 0.15 και 0.17, τα αντικείμενα λαμβάνουν συμμετοχή σύμφωνα με τη μορφή της συνάρτησης συμμετοχής, ενώ για τιμές μικρότερες από 0.15 τα αντικείμενα δεν διεκδικούνται καθόλου από την κατηγορία της βλάστησης (τιμή συμμετοχής 0).



Εικόνα 2.3: Παράδειγμα συνάρτησης συμμετοχής για τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI, για όρια ασαφούς ζώνης μεταξύ 0.15 – 0.17.

Το λογισμικό επίσης δίνει τη δυνατότητα συνδυασμού κανόνων συναρτήσεων συμμετοχής χρησιμοποιώντας λογικούς τελεστές ‘AND’ (min), ‘OR’ (max) ή ‘MEAN’ (arithm), ώστε για μια κατηγορία να αντιστοιχεί πια ένα ανώτερο αποτέλεσμα ασαφούς λογικής, πάλι επιστρέφοντας ως τιμή συνάρτησης συμμετοχής μεταξύ 0 και 1.

2.6.3. Ιεραρχικό δίκτυο αντικειμένων - Ιεραρχία κατηγοριών (Class Hierarchy)

Το ιεραρχικό δίκτυο των αντικειμένων βοηθά ώστε οι δομές διαφορετικών κλιμάκων να αναπαρίστανται ταυτόχρονα και να ταξινομούνται λαμβάνοντας πληροφορίες από όλες τις κλίμακες. Υλοποιώντας διάφορα επίπεδα κατάτμησης δημιουργείται ένα

ιεραρχικό δίκτυο αντικειμένων στην εικόνα. Κάθε ένα από αυτά αναγνωρίζει στο ίδιο επίπεδο τα γειτονικά αντικείμενα, τα υπό-αντικείμενα του καθώς και τα υπέρ-αντικείμενα του με αποτέλεσμα να καθορίζονται πλέον σχέσεις μεταξύ τους. Τέλος, μια πολύ σημαντική παρατήρηση είναι πως τα όρια ενός υπέρ-αντικειμένου είναι συνεπή με τα όρια των υπό-αντικειμένων και συνεπώς το εμβαδόν που αναπαριστάται από ένα υπέρ-αντικείμενο ορίζεται ως το άθροισμα του εμβαδού των υπό-αντικειμένων του.

Η ιεραρχία κατηγοριών διαμορφώνει το πλαίσιο διατύπωσης της Βάσης Γνώσης. Δηλαδή, οι κατηγορίες ενός επιπέδου είναι δομημένες σε μορφή ιεραρχίας και ακόμα κάθε κατηγορία μπορεί να έχει μια υπό - ή υπέρ - κατηγορία και κατά συνέπεια να κληρονομήσει τις ιδιότητές από μια ή περισσότερες υπο-κατηγορίες ή υπέρ-κατηγορίες.

Στα περισσότερα λογισμικά αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας, όπως στην προκειμένη περίπτωση και στο Deginiens 5, η συνήθης διαδικασία ταξινόμησης που ακολουθείται, σύμφωνα πάντα με την ιεραρχία των κατηγοριών είναι η ακόλουθη:

- Δημιουργία ενός ιεραρχικού δικτύου από αντικείμενα της εικόνας χρησιμοποιώντας την κατάτμηση. Τα τμήματα στο ανώτερο επίπεδο του ιεραρχικού δικτύου αναπαριστούν μεγάλης κλίμακας αντικείμενα, ενώ των χαμηλότερων επιπέδων αναπαριστούν μικρής κλίμακας αντικείμενα.
- Ταξινόμηση των παράγωγων αντικειμένων βάσει των φυσικών τους ιδιοτήτων. Αυτό 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.
- Περιγραφή των σημασιολογικών σχέσεων των αντικειμένων του δικτύου σύμφωνα με τις σχέσεις γειτνίασης ή τις σχέσεις των υπό- και υπέρ-αντικειμένων. Αυτό συνήθως οδηγεί σε μια βελτίωση του αποτελέσματος της ταξινόμησης.
- Συνάθροιση των ταξινομημένων αντικειμένων σε σημασιολογικές ομάδες (semantic groups), οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω σε μια ‘βασισμένη στην ταξινόμηση’ κατάτμηση (classification based segmentation).

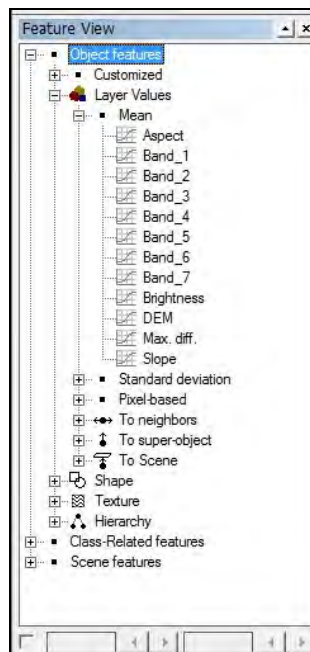
Στο λογισμικό Definiens 5, στο πλαίσιο διαλόγου της ιεραρχίας των τάξεων, υπάρχουν δύο διαφορετικά επίπεδα καταλόγων, εκείνο της ‘Κληρονομικότητας’ και της ‘Ομαδοποίησης-Συνάθροισης’. Το πρώτο σχετίζεται με την άμεση απόκτηση ορισμένων χαρακτηριστικών όταν μια κατηγορία κληρονομεί μια άλλη, ενώ το δεύτερο όταν ο χρήστης επιθυμεί να συνενώσει οπτικά ορισμένες κατηγορίες στην αναπαράσταση του τελικού θεματικού χάρτη, προσδίδοντας σημασιολογία στις τελικές ομαδοποιημένες κατηγορίες (ταξινόμηση χρήσης και όχι κάλυψης γης). Τα δύο αυτά εργαλεία δρουν συμπληρωματικά. Το επίπεδο της ‘Δομής’, που υπάρχει σε προηγούμενες εκδόσεις έχει καταργηθεί. Μετά από μια ταξινόμηση, η ένωση των γειτονικών αντικειμένων μιας κατηγορίας στο παρόν λογισμικό δεν γίνεται μέσω της δημιουργίας δομών συνένωσης κατηγοριών (Structure Group), αλλά μέσω ειδικής εντολής ενοποίησης αντικειμένων (Classification-Based Segmentation) στο πλαίσιο της κατάτμησης (merge objects) στο ίδιο επίπεδο κατάτμησης με την υπάρχουσα.

Οι ταξινομήσεις σε όλες τις περιπτώσεις έγιναν λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των συσχετιζόμενων τάξεων, και των διαφορετικών επιπέδων.

Συνοψίζοντας, η λογική της ασάφειας στην αντικειμενοστραφή μεθοδολογία επιτρέπει την εκμετάλλευση διαφόρων χαρακτηριστικών των αντικειμένων κατά την ταξινόμησή τους, όπως οι φασματικές τιμές, η μορφή, η υφή, οι ιδιότητες των υπέρ ή των υπό αντικειμένων κ.α.. Χρησιμοποιώντας όχι μόνο τις ιδιότητες των αντικειμένων μιας εικόνας, αλλά επιπλέον και τη σχέση μεταξύ των δικτυωμένων αντικειμένων, προκύπτει ως αποτέλεσμα η ενσωμάτωση του τοπολογικού πλαισίου στην ταξινόμηση. Πιο απλά, τα αντικείμενα της εικόνας που έχουν προκύψει από την κατάτμηση ενός επιπέδου ταξινομούνται στις κατηγορίες του ίδιου επιπέδου λαμβάνοντας υπόψη και τα υπόλοιπα επίπεδα, όταν αυτά συνδέονται μέσω κανόνων. Με αυτό τον τρόπο γίνεται η σύνδεση των κατηγοριών της ιεραρχίας τάξεων (class hierarchy).

2.6.4. Χαρακτηριστικά λογισμικού Definiens 5

Στο παρόν υπεδάφιο θα παρουσιαστούν μερικά χαρακτηριστικά που υπάρχουν και σε προγενέστερες εκδόσεις του λογισμικού, αλλά και χαρακτηριστικά που ενσωματώθηκαν στην έκδοση Definiens 5 και χρησιμοποιήθηκαν ως κανόνες με συναρτήσεις συμμετοχής στην ταξινόμηση. Μερικά βασικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται ενδεικτικά στην Εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4: Εργαλειοθήκη ‘Feature View’ για το λογισμικό Definiens 5.

Γενικά, μέσω της εργαλειοθήκης ‘Feature View’, είναι δυνατή η απεικόνιση ενός χαρακτηριστικού για όλα τα αντικείμενα της εικόνας. Ο τόνος της απεικόνισης του χαρακτηριστικού είναι φωτεινότερος, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του χαρακτηριστικού.

Ο πίνακας των χαρακτηριστικών του προγράμματος χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Αρχικά εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα αντικειμένων (object features), δηλαδή τα φασματικά χαρακτηριστικά, σχήμα, υφή, σχέσεις γειννίας κ.α.. Μετά τη δημιουργία των πολυγώνων, είναι δυνατή η παρουσίαση

των χαρακτηριστικών αυτών γνωρισμάτων σε κάθε αντικείμενο. Στο λογισμικό αναγράφεται ένας αριθμός ανά αντικείμενο, ο οποίος πχ. όταν αναφέρεται στην συνάρτηση ‘mean’ αντιστοιχεί στη μέση τιμή της τιμής του χαρακτηριστικού για όλα τα εικονοστοιχεία ενός αντικειμένου. Η δεύτερη κατηγορία αντιστοιχεί στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα κλάσεων (Class-Related features), τα οποία αναφέρονται στις ταξινομήσεις άλλων αντικειμένων (γειτονικών, υπό και υπέρ αντικειμένων) της εικόνας, οι οποίες, με της σειρά τους, λαμβάνονται υπόψη για την ταξινόμηση των αντικειμένων του υπό εξέταση επιπέδου. Η τρίτη κατηγορία, αναφέρεται σε στατιστικά στοιχεία για μια κατηγορία ενός επιπέδου, η οποία όμως δεν χρησιμοποιήθηκε λόγω προβλημάτων του λογισμικού κατά την εφαρμογή.

Ενδεικτικά στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικότερα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εφαρμογή:

Mean: Πρόκειται για τη μέση τιμή ενός χαρακτηριστικού όλων των εικονοστοιχείων που ορίζουν ένα αντικείμενο. Εδώ υπάγονται οι περιπτώσεις υπολογισμού των μέσων τιμών των αντικειμένων στα κανάλια του δορυφόρου, αλλά και στις τιμές των αντικειμένων στις εικόνες που έχουν εισαχθεί.

Relative area of subobjects: Πρόκειται για το ποσοστό από το εμβαδόν ενός αντικειμένου που καλύπτεται από μια συγκεκριμένη κατηγορία σύμφωνα με τα ταξινομημένα υπο-αντικείμενα ενός επιπέδου. Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει την απόσταση των επιπέδων αυτών, καθώς είναι δυνατόν να μην είναι διαδοχικά. Επειδή το αποτέλεσμα επιστρέφει ποσοστό, το εύρος τιμών είναι μεταξύ μηδέν και της μονάδας.

Existence of superobjects: Η συνάρτηση αυτή ελέγχει αν το υπέρ-αντικείμενο ενός αντικειμένου έχει ταξινομηθεί σε μια κατηγορία. Αν ναι, επιστρέφεται η τιμή της μονάδας, αλλιώς επιστρέφεται μηδέν ως τιμή συμμετοχής.

Border: Αναφέρεται σε αντικείμενα του ίδιου επιπέδου. Πρόκειται για το απόλυτο όριο ενός αντικειμένου που μοιράζεται με γειτονικά αντικείμενα μιας συγκεκριμένης ήδη κατηγορίας. Αν τα δεδομένα έχουν σωστή γεωαναφορά, τότε η τιμή του χαρακτηριστικού αυτού εκφράζει το αληθινό όριο με αντικείμενα μιας συγκεκριμένης κατηγορίας, αλλιώς εκφράζει τον αριθμό των πλευρών (με τιμή καθορισμένη από το πρόγραμμα να ισούται με τη μονάδα) των εικονοστοιχείων που μοιράζεται με τα γειτνιάζοντα αντικείμενα.

Relative Border to: Αναφέρεται στο μήκος κοινού ορίου γειτονικών αντικειμένων. Το χαρακτηριστικό αυτό περιγράφει ουσιαστικά το λόγο του μήκους του κοινού ορίου ενός αντικειμένου με ένα γειτονικό αντικείμενο που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη κατηγορία, προς το συνολικό μήκος του αντικειμένου. Αν το σχετικό όριο ενός αντικειμένου με τα αντικείμενα μιας συγκεκριμένης τάξης είναι ίσο με τη μονάδα, τότε το αντικείμενο είναι εξολοκλήρου περικυκλωμένο από τα αντικείμενα αυτής της κατηγορίας.

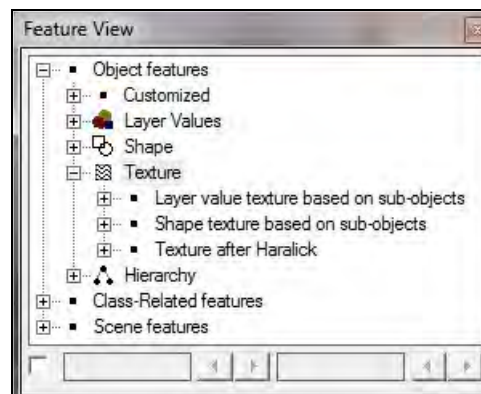
Length/Width: Χαρακτηριστικό σχήματος που χρησιμοποιείται για την ανάδειξη μακρόστενων αντικειμένων (πχ. δρόμων). Το πρόγραμμα υπολογίζει το μέγιστο μήκος και πλάτος του αντικειμένου και έπειτα τον λόγο μήκος προς πλάτος.

Asymmetry: Χαρακτηριστικό που 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.

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 για το συμπαγές ενός αντικειμένου είναι το τετράγωνο, κι όσο πιο τετραγωνισμένο είναι τόσο μεγαλύτερη η τιμή του χαρακτηριστικού αυτού.

Ένα πολύ βασικό πλεονέκτημα της έκδοσης Definiens 5, είναι η ενσωμάτωση δεικτών υφής κατά Haralick, πέραν των κλασικών μεθόδων που υπήρχαν σε προηγούμενες εκδόσεις. Γενικά, η υφή ενός αντικειμένου προκύπτει από τις ιδιότητες των υπό-αντικειμένων. Πιο συνήθης έκφρασή της είναι μέσω της μέσης τυπικής απόκλισης των υπό-αντικειμένων. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν γίνεται σε αντικειμενοστραφές επίπεδο μιας και τα υπό-αντικείμενα είναι συνήθως ομοιογενείς και με σημασιολογική σημασία περιοχές προερχόμενες από κατάλληλη κατάτμηση. Προφανώς, όσο μικρότερα τα υπό-αντικείμενα, τόσο οι χαρακτηριστικές τιμές πλησιάζουν την τυπική απόκλιση προερχόμενη από ανάλυση εικόνας ανά εικονοστοιχείο.

Η ανάλυση της εικόνας με αντικειμενοστραφείς μεθόδους στο λογισμικό αυτό μπορεί να γίνει και με την εκμετάλλευση της ιδιότητας της υφής των αντικειμένων. Βασική προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενός επιπέδου με χαμηλότερη κλίμακα ώστε στην ιεραρχία κάτω από κάθε αντικείμενο να αντιστοιχούν υπό-αντικείμενα. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.5, η χρήση της υφής μπορεί να γίνει είτε εκμεταλλευόμενοι τις φασματικές τιμές των υπό-αντικειμένων, είτε την υφή των σχημάτων των υπό-αντικειμένων, είτε, τέλος, τους δείκτες υφής κατά Haralick.



Εικόνα 2.5: Δείκτες υφής κατά Haralick στην εργαλειοθήκη ‘Feature View’ στο λογισμικό Definiens 5.

Ως προς τις φασματικές τιμές υπάρχει μια περαιτέρω δυνατότητα διάκρισης. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα στη συνάρτηση της μέσης τυπικής απόκλισης των φασματικών τιμών των υπό-αντικειμένων και στον μέσο όρο των μέσων τιμών διαφοράς των υπό-αντικειμένων με τα γειτονικά υπό-αντικείμενα του αντικειμένου του ανώτερου επιπέδου. Στην τελευταία περίπτωση εκφράζεται η αντίθεση μέσα σε ένα αντικείμενο με βάση τα υπό-αντικείμενα που αποτελείται σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Υπάρχουν και άλλες εντολές άντλησης πληροφορίας σχετικά με την υφή στο

λογισμικό Definiens 5, όπως η μέση διαφορά σε σχέση με τα γειτονικά υπό-αντικείμενα ενός αντικειμένου.

Ως προς την υφή του σχήματος των υπό-αντικειμένων για την ανάδειξη υφής των αντικειμένων, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα στην μέση τιμή του εμβαδού, της πυκνότητας, της ασυμμετρίας και της διεύθυνσης των υπό-αντικειμένων, αλλά και ως προς την τυπική απόκλιση των ίδιων χαρακτηριστικών των υπό-αντικειμένων. Τέτοιες τεχνικές άντλησης πληροφορίας της υφής, βασιζόμενες στο σχήμα των υπό-αντικειμένων προϋποθέτουν καλή κατάτμηση και δημιουργία αντικειμένων με σημασιολογία. Τέτοιες συναρτήσεις, αν και παρά τις καλές κατατμήσεις, δεν χρησιμοποιήθηκαν λόγω του μη ικανοποιητικού αποτελέσματος τους. Γι αυτό ευθύνεται, σε μεγάλο βαθμό, η χωρική ανάλυση των εικόνων μελέτης.

Οι δείκτες υφής κατά Haralick είναι ενσωματωμένοι στο λογισμικό Definiens 5 ως συναρτήσεις συμμετοχής. Γενικά, με τους δείκτες αυτούς σχηματίζεται ένας πίνακας που αναγράφεται πόσο συχνά εμφανίζονται σε μια εικόνα διάφοροι συνδυασμοί διαδοχής ψηφιακών τιμών φωτεινότητας. Οι πίνακες αυτοί ονομάζονται ‘Gray Level Co-Occurrence Matrices’ ή πιο απλά ‘GLCM’. Είναι προφανές ότι για κάθε χωρική σχέση αντιστοιχεί και ένας διαφορετικός πίνακας. Για να ληφθεί υπόψη η πληροφορία κατά τις τέσσερις διευθύνσεις (0°, 45°, 90°, 135°), υπολογίζονται οι πίνακες για κάθε διεύθυνση χωριστά και αθροίζονται πριν τον υπολογισμό της υφής. Η μηδενική τιμή αντιπροσωπεύει την κάθετη διεύθυνση, ενώ οι 90° την οριζόντια. Στο λογισμικό ‘Definiens 5’, η υφή κατά Haralick υπολογίζεται για όλα τα εικονοστοιχεία ενός αντικειμένου της εικόνας. Για να μειωθούν τα προβλήματα που υπάρχουν στα άκρα των αντικειμένων, προστίθενται στη διαδικασία σταδιακά τα άμεσα γειτνιάζοντα εικονοστοιχεία (απόσταση ανά ένα εικονοστοιχείο). Η σχέση για τον υπολογισμό της υφής κατά Haralick είναι:

$$P_{i,j} = \frac{V_{i,j}}{\sum_{i,j=0}^{N-1} V_{i,j}} \quad (10),$$

όπου:

i = ο αριθμός της γραμμής,

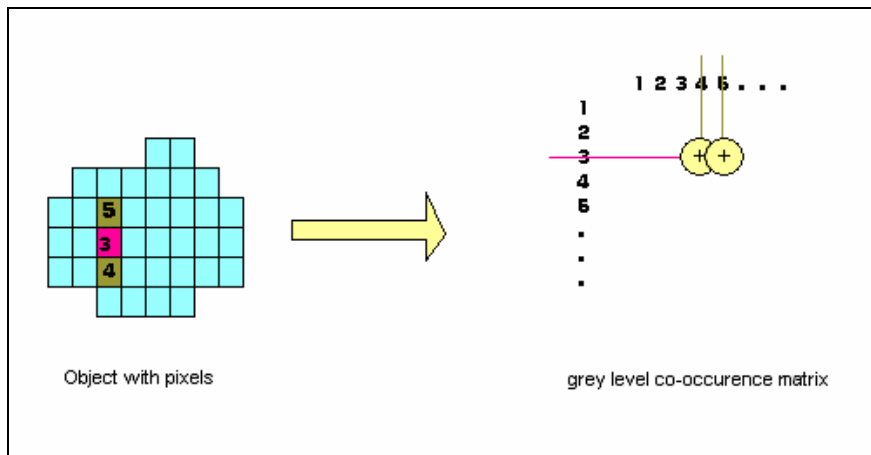
j = ο αριθμός της στήλης,

$V_{i,j}$ = η τιμή στο κελί i,j του πίνακα,

$P_{i,j}$ = η κανονικοποιημένη τιμή στο κελί i,j του πίνακα,

N = ο αριθμός γραμμών ή στηλών.

Ο κανονικοποιημένος πίνακας GLCM είναι συμμετρικός με τα διαγώνια στοιχεία να αναπαριστούν τα ζευγάρια χωρίς διαφορά στον τόνο του γκρι. Τα κελιά που απέχουν μόνο ένα κελί μακριά από τη διαγώνιο αντιπροσωπεύουν ζευγάρια διαδοχικών εικονοστοιχείων με διαφορά σε τόνους του γκρι ενός μόνο επιπέδου και ούτω καθεξής. Όσο πιο μακριά από τη διαγώνιο, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά των επιπέδων σε τόνους του γκρι. Αθροίζοντας τις τιμές των παράλληλων διαγωνίων, δίνεται η πιθανότητα για κάθε εικονοστοιχείο να είναι σε 0, 1, 2 ή 3 επίπεδα διαφοράς από τα γειτονικά εικονοστοιχεία.



Εικόνα 2.6: Δημιουργία πίνακα GLCM στο λογισμικό Definiens 5.

Στην Εικόνα 2.6 φαίνεται πώς σχηματίζεται ο πίνακας GLCM. Όταν για παράδειγμα ένα εικονοστοιχείο έχει ψηφιακή τιμή 3, τότε, σύμφωνα με τα υπάρχοντα γειτονικά εικονοστοιχεία, υπάρχουν οι συνδυασμοί 3-4 και 3-5. Προφανώς η ίδια τιμή αντιστοιχεί και στα κελιά 4-3 και 5-3 λόγω της συμμετρικότητας του πίνακα.

Ο υπολογισμός της υψής κατά Haralick είναι ιδιαίτερα απαιτητικός λόγω του υπολογισμού των πινάκων GLCM. Αρκεί να αναλογιστεί κανείς ότι για κάθε εικονοστοιχείο ενός αντικειμένου δημιουργείται ένας 256 x 256 διαστάσεων πίνακας.

Μια άλλη προσέγγιση για τη μέτρηση της υψής είναι να χρησιμοποιηθεί το διάνυσμα διαφοράς των τιμών του γκρι ‘Gray Level Difference Vector’ (GLDV αντί για GLCM). Το διάνυσμα αυτό αποτελείται από το άθροισμα των διαγώνιων στοιχείων του πίνακα GLCM. Μετράει την εμφάνιση σχετικά με τις απόλυτες διαφορές των γειτονικών εικονοστοιχείων. Στο λογισμικό, οι GLDV και GLCM υπολογίζονται με βάση τα εικονοστοιχεία ενός αντικειμένου και μπορούν να υπολογιστούν για κάθε επίπεδο. Ο χρήστης, τέλος, μπορεί να επιλέξει προς ποια από τις τέσσερις διευθύνσεις θα γίνει ο υπολογισμός ή αν επιθυμεί να επιλέξει τον υπολογισμό προς όλες τις διευθύνσεις.

Ο υπολογισμός υψής κατά Haralick είναι ανεξάρτητος από τα bit της εικόνας που βάσει των οποίων αναπαρίσταται, διότι γίνεται προσαρμογή πάντα του δυναμικού εύρους της εικόνας σε ανάλυση 8 bit πριν υπολογιστεί ο πίνακας GLDV, λαμβάνοντας υπόψη τη μέση τιμή, την τυπική απόκλιση των τιμών και θεωρώντας ότι οι τιμές ακολουθούν την κανονική κατανομή. Παρόλα αυτά, για πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα ενδείκνυται να χρησιμοποιούνται εικόνες ραδιομετρικής ανάλυσης 8 bit, δηλαδή εύρους 0-255 τιμών φωτεινότητας.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί ο δείκτης υψής κατά Haralick της Ομοιογένειας, ο οποίος ήταν και αυτός που χρησιμοποιήθηκε κατά την ταξινόμηση. Οι υπόλοιποι δείκτες απλά θα αναφερθούν.

GLCM Homogeneity

Γενικά, αν μια εικόνα είναι ομοιογενής κατά τύπους, η τιμή συμμετοχής είναι υψηλή όταν ο πίνακας GLCM έχει περισσότερες τιμές στη κύρια διαγώνιο. Η Ομοιογένεια δίνει αντίστροφα βάρη στις τιμές φωτεινότητας σε σχέση με εκείνα που χρησιμοποιούνται για την Αντίθεση (Contrast) και τα οποία μειώνονται εκθετικά σε

σχέση με την απόσταση από την κύρια διαγώνιο. Η Ομοιογένεια εκφράζεται από τη σχέση:

$$\sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{i,j}}{1 + (i - j)^2} \quad (11),$$

όπου:

i = ο αριθμός της γραμμής

j = ο αριθμός της στήλης

$P_{i,j}$ = η κανονικοποιημένη τιμή στο κελί i,j του πίνακα

N = ο αριθμός γραμμών ή στηλών.

Η Ομοιογένεια κυμαίνεται μεταξύ του εύρους [0-90].

GLCM Contrast

Είναι το αντίστροφο της Ομοιογένειας και μετράει την τοπική διαφοροποίηση σε μια εικόνα. Η τιμή του δείκτη αυξάνει εκθετικά καθώς ο όρος $(i-j)$ μειώνεται.

GLCM Dissimilarity

Είναι παρόμοια με την Αντίθεση, αλλά αυξάνει γραμμικά. Λαμβάνει υψηλή τιμή για υψηλή αντίθεση.

GLCM Entropy

Η τιμή της εντροπίας είναι υψηλή, όταν τα στοιχεία του πίνακα είναι με τον ίδιο τρόπο κατανομημένα. Λαμβάνει μικρές τιμές αν τα στοιχεία είναι είτε κοντά στο μηδέν είτε στη μονάδα.

Ένας εναλλακτικός τρόπος για την εκμετάλλευση της υφής των υπό-αντικειμένων είναι η περίπτωση να μελετηθούν τα ταξινομημένα επίπεδα μικρότερης κλίμακας από το εξετάζον (μέσω του menu: Class-Related features, Relations to subobjects). Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι δυνατόν να επωφεληθεί ο χρήστης από τη σχετικό ποσοστό της περιοχής που καλύπτεται από τα υπό-αντικείμενα συγκεκριμένης κατηγορίας.

Επειδή στόχος της παρούσας έρευνας είναι η ανάδειξη αστικών περιοχών, τέλος, θα παρουσιαστεί ένας τρόπος προσδιορισμού των αστικών αδιαπέρατων επιφανειών σε επίπεδο αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εκμεταλλευόμενοι το βαθμό διαπερατότητας των αντικειμένων με χρήση των ιδιοτήτων τους στα επίπεδα διαφορετικής ανάλυσης. Σε σχετικό παράδειγμα εφαρμογής σε εικόνα Landsat, στα λογισμικά eCognition και Definiens 5 οι κατατμήσεις έδιναν μεγαλύτερο βάρος στο χρώμα και όχι στο σχήμα, διότι λόγω χωρικής ανάλυσης δεν είναι δυνατόν τα αντικείμενα να χαρακτηριστούν περισσότερο από το σχήμα τους εκ των πραγμάτων. Επίσης, οι τιμές ως προς το συμπαγές και το λείο του αντικειμένου είναι ίσες.

Το βασικό επίπεδο κατάτμησης έχει μεσαία κλίμακα και αποτελεί το επίπεδο προβολής των υπό και υπέρ αντικειμένων και η κλίμακά του μπορεί να αναπαραστήσει αδιαπέρατες επιφάνειες σε μεγάλο ποσοστό. Το ανώτερο επίπεδο κατάτμησης προέρχεται από συνένωση αντικειμένων προηγούμενης ταξινόμησης (Classification-Based segmentation) και εκεί ταξινομούνται εκ νέου οι πιθανές αδιαπέρατες επιφάνειες χρησιμοποιώντας το εγγύς υπέρυθρο κανάλι και το εμβადόν ενός αντικειμένου ως κανόνες. Ο χαρακτηρισμός αυτός δίνεται διότι προφανώς, όταν

τα αντικείμενα είναι μεγάλα σε εικόνα Landsat, δεν είναι δυνατό να διασφαλιστεί ότι μια επιφάνεια είναι σίγουρα αδιαπέρατη. Το κατώτερο επίπεδο έχει μικρή κλίμακα και το μέγεθος των αντικειμένων μπορεί να αναπαραστήσει μια πλήρως αδιαπέρατη επιφάνεια (περισσότερο ομοιογενή αντικείμενα με ενιαία δομή πχ. σπίτια ή δρόμοι). Το βάρος σε μεμονωμένα κανάλια σε μια κατάτμηση μπορεί να οδηγήσει σε ιδανικότερα για το στόχο αντικείμενα. Οι πλήρως αδιαπέρατες επιφάνειες βρέθηκαν με χρήση του εγγύς υπέρυθρου και του μπλε καναλιού. Εκτός από τις πλήρως αδιαπέρατες επιφάνειες με αυτούς τους κανόνες στην κατηγορία περιλήφθησαν λανθασμένα και άλλα αντικείμενα.

Η κατηγορία της αστικής περιοχής στο δεύτερο επίπεδο ταξινομείται μέσω της ύπαρξης πιθανής αστικής περιοχής, δηλαδή από την πληροφορία του ανώτερου επιπέδου. Οι θυγατρικές της κατηγορίες όμως, που θα εκφράζουν το ποσοστό αδιαπερατότητας, κληρονομούν από τη μητρική κατηγορία τον κανόνα αλλά αντλούν πληροφορία από τα υπό-αντικείμενα που είναι ταξινομημένα στην κατηγορία της αδιαπέρατης επιφάνειας. Ανάλογα με το επιθυμητό ποσοστό εισάγεται και το όριο της ασαφούς ζώνης της συνάρτησης συμμετοχής του κανόνα μεταφοράς από το πρώτο επίπεδο στο δεύτερο μέσω του χαρακτηριστικού ‘Rel. area of’ της αδιαπέρατης επιφάνειας του πρώτου επιπέδου. Επίσης, το εμβαδόν κάθε κατηγορίας και κάθε υποκατηγορίας ποσοστού αδιαπέρατης επιφάνειας στην εικόνα μπορεί να προκύψει από τα στατιστικά στοιχεία της ταξινόμησης και την αναγωγή των εικονοστοιχείων σε πραγματική επιφάνεια. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης, τέλος, μπορεί να αποθηκευτεί σε αρχεία διανυσματικής δομής.

Η παρούσα εφαρμογή στην περιοχή μελέτης δεν μπόρεσε να εφαρμοστεί με επιτυχία. Το βασικότερο πρόβλημα ήταν το λανθασμένο αποτέλεσμα στις πιθανά αδιαπέρατες επιφάνειες ανώτερου επιπέδου. Όμως και κατά τον προσδιορισμό αδιαπέρατων αντικειμένων μικρότερης κλίμακας το αποτέλεσμα, ύστερα από φωτοερμηνεία, δεν ήταν ακριβές.

2.7. Ανάλυση της Αλλαγής Χρήσεων Γης και της Οδικής Υποδομής

2.7.1. Ανάλυση με χρήση οικονομετρικών προτύπων

Στο παρόν υπεδάφιο περιγράφεται η διαδικασία εξαγωγής προτύπων αλλαγής κάλυψης γης μέσω των οικονομετρικών προτύπων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες χαρακτηριστικές μελέτες δημιουργίας τέτοιων προτύπων από δορυφορικά δεδομένα.

Στο πλαίσιο δημιουργίας οικονομετρικών προτύπων με τη βοήθεια τηλεπισκοπικών δεδομένων οι ερευνητές Frazier και Kockelman [2005], χρησιμοποίησαν τέσσερις δορυφορικές εικόνες προερχόμενες από τους δορυφόρους Landsat 4, 5 και 7 στην περιοχή Austin του Texas, οι οποίες ελήφθησαν το 1983, το 1991 το 1997 και το 2000. Το τμήμα της εικόνας που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις είναι διαστάσεων 48.5 km x 55.8 km με ανάλυση στα 30 m x 30 m. Συνεπώς κάθε τμήμα περιλαμβάνει περίπου τρία εκατομμύρια εικονοστοιχεία ως δεδομένα.

Ο χάρτης κάλυψης γης κάθε εικόνας δημιουργήθηκε με τη βοήθεια της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Κάθε εικονοστοιχείο ταξινομήθηκε σε μια από τις 9 κατηγορίες: νερό, άγονη γη, δασική γη, θαμνώδης έκταση, ποώδης/χορτώδης φυσική έκταση ή ημι-φυσική, ποώδης/χορτώδης φυτεμένη ή καλλιεργημένη γη, χέρσα γη, ανεπτυγμένη οικιστική περιοχή και τέλος ανεπτυγμένη βιομηχανική/εμπορική περιοχή ή περιοχή μεταφορών. Σε δεύτερο επίπεδο επεξεργασίας δημιουργήθηκαν νέοι χάρτες κάλυψης γης συνδυάζοντας διαφορετικές κατηγορίες σε ενιαίες περιγραφές κάλυψης γης όπως π.χ. η ανεπτυγμένη οικιστική περιοχή, η ανεπτυγμένη βιομηχανική/εμπορική περιοχή ή περιοχή μεταφορών και ως τρίτη κατηγορία, οι μη ανεπτυγμένες περιοχές. Η ταξινόμηση της περιοχής στις εννέα κατηγορίες πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ERDAS Imagine’s ISODATA.

Η προεπεξεργασία που απαιτείται για την εκπόνηση τηλεπισκοπικών μεθόδων ανάλυσης των εικόνων στην έρευνα των Frazier και Kockelman [2004,2005], έχει αναφερθεί διεξοδικά στο εδάφιο 2.3, καθώς έχουν εφαρμόσει μεθόδους με βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο.

Πρόσθετα με τα δεδομένα κάλυψης γης και τα στατιστικά στοιχεία που αντλήθηκαν εξ’ αυτών, χρησιμοποιήθηκαν και στοιχεία απογραφής πληθυσμού. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν τον πληθυσμό, μεταβλητές σε επίπεδο νοικοκυριού (όπως μέγεθος νοικοκυριού και αριθμός οχημάτων ανά νοικοκυριό) και μεταβλητές ταξιδιού. Προφανώς, η μικρότερη μονάδα περιοχής για τα στοιχεία απογραφής είναι το οικοδομικό τετράγωνο ή το σύνολο οικοδομικών τετραγώνων, το οποίο τυπικά περιλαμβάνει δεκάδες εικονοστοιχεία των 30m x 30m. Για τον λόγο αυτό, όλα τα δεδομένα μετασχηματίστηκαν σε έναν κানাβο διαστάσεων 300 m x 300 m για περαιτέρω ανάλυση. Για να είναι εφικτό κάτι τέτοιο, τα δορυφορικά δεδομένα πρώτα μετασχηματίστηκαν από ψηφιδωτή μορφή (εικονοστοιχεία) σε διανυσματική μορφή (διανυσματικά δεδομένα σε μορφή shapefile). Υπολογίστηκε επίσης το τμήμα κάλυψης γης κατά τύπο σε κάθε ένα από αυτά τα κελιά των 300 m x 300 m. Ακόμα, υπολογίστηκε η εντροπία και ο στατιστικός δείκτης μείγματος (mix) για τα 100 εικονοστοιχεία που αναπαριστούν τον νέο κানাβο. Τα δεδομένα απογραφής

μετασχηματίστηκαν σε αυτή τη δομή κανάβου χρησιμοποιώντας έναν σταθμισμένο μέσο όρο περιοχής για κάθε ομάδα οικοδομικών τετραγώνων. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τον υπολογισμό του πληθυσμού, του μέσου όρου εισοδήματος νοικοκυριού και του μέσου όρου ιδιοκτησίας αυτοκινήτου για κάθε 300 m x 300 m. Τέλος, υπολογίστηκαν δύο Ευκλείδειες Αποστάσεις και χρησιμοποιήθηκαν για περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων. Αυτές οι αποστάσεις είναι η απόσταση από την κεντρική εμπορική περιοχή (Central Business District ή CBD) και η απόσταση από τον πλησιέστερο αυτοκινητόδρομο.

Στην έρευνα των Frazier και Kockelman [2004], χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη προτύπων μόνο η μια εικόνα. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα κάλυψης γης που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα αυτή προήλθαν από τη δορυφορική εικόνα Landsat 7 με περιοχή 48.5 km x 48,5 km ανάλυσης 30 m x 30 m ληφθείσα στις 4:30 pm στις 4 Σεπτεμβρίου του 2000 στην περιοχή του Austin στο Texas, η οποία ταξινομήθηκε με την μέθοδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, όπως προαναφέρθηκε.

Τα πρότυπα που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας αυτά τα λεπτομερή δεδομένα εμπίπτουν σε δύο ευρείες κατηγορίες. Πρώτα σε εκείνη την κατηγορία όπου προτυποποιείται η κάλυψη γης ως εξαρτημένη μεταβλητή (response) και δεύτερον, σε εκείνη όπου ορίζεται η κάλυψη γης ως επεξηγηματική μεταβλητή, δηλαδή ως ανεξάρτητη. Πριν την υλοποίηση των προτύπων, υπολογίστηκε ένας επιπρόσθετος χωρικός στατιστικός δείκτης μείγματος χρήσεων γης (land mix). Ο δείκτης αυτός χαρακτηρίζει την ποικιλία που υπάρχει στην κάλυψη γης.

Ως προς τα πρότυπα κάλυψης γης, το πρώτο πρότυπο που αναπτύχθηκε χωρίζει το αποτέλεσμα της κάλυψης γης της ταξινόμησης σε δυο κατηγορίες: ανεπτυγμένη περιοχή (κατοικημένη, και εμπορική ή βιομηχανική περιοχή ή περιοχή σχετιζόμενη με μεταφορές) και μη ανεπτυγμένη περιοχή (όλες οι υπόλοιπες). Αρχικά χρησιμοποιήθηκε δυαδικής λογικής σχέση (binary logistic formulation) ώστε να εκτιμηθεί το ποσοστό της ανεπτυγμένης περιοχής σε κάθε κελί διαστάσεων 300 m x 300 m. Οι επεξηγηματικές μεταβλητές για αυτό το πρότυπο περιλαμβάνουν τον δείκτη μείγματος χρήσεων γης, τον πληθυσμό, το μέσο εισόδημα και την απόσταση από την κεντρική εμπορική περιοχή (CBD).

Το επόμενο πρότυπο χρησιμοποιεί την ίδια εξίσωση αλλά με εξαρτημένη μεταβλητή την οικιστική ανάπτυξη (το ποσοστό γης σε κάθε κελί που έχει αναπτυχθεί οικιστικά). Οι επεξηγηματικές μεταβλητές παρέμειναν οι ίδιες.

Το τελευταίο πρότυπο που αναπτύχθηκε είναι το πολυωνυμικό πρότυπο για το ποσοστό κάθε τύπου κάλυψης γης σε κάθε κελί των 300 m x 300 m. Χρησιμοποιήθηκαν μόνο τέσσερις ορισμοί κάλυψης γης: ανεπτυγμένη οικιστική, ανεπτυγμένη εμπορική/βιομηχανική/μεταφορών, μη ανεπτυγμένη αγροτική (ποώδης-χορτώδης φυτεμένη ή καλλιεργημένη γη και χέρσα γη) και τέλος η υπόλοιπη μη ανεπτυγμένη γη.

Ως προς τα δημογραφικά πρότυπα, δηλαδή τα πρότυπα για τις πληροφορίες σχετικά με τις απογραφές ανά κελιά διαστάσεων 300 m x 300 m, χρησιμοποιούν τις πληροφορίες κάλυψης γης ως επεξηγηματική μεταβλητή. Το πρώτο πρότυπο προτυποποιεί τον πληθυσμό σε γραμμική σχέση με την κάλυψη γης, τον δείκτη μείγματος (land use mix), το εισόδημα του νοικοκυριού και την απόσταση από την κεντρική εμπορική περιοχή (CBD). Για να επιτευχθεί ο περιορισμός σχετικά με τις θετικές τιμές που πρέπει να λαμβάνει η εξαρτημένη μεταβλητή (πληθυσμός)

χρησιμοποιήθηκε φυσικός λογάριθμος. Το δεύτερο δημογραφικό πρότυπο εξετάζει τη μέση κατοχή οχημάτων ανά νοικοκυριό (εξαρτημένη μεταβλητή) λαμβάνοντας υπόψη πολλές από τις παραπάνω ανεξάρτητες μεταβλητές.

Τα πρότυπα κάλυψης γης έδειξαν μια θετική συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού του κελιού που αντιστοιχεί σε ανεπτυγμένη περιοχή και του πληθυσμού και αρνητική συσχέτιση όσο αυξάνει η απόσταση από τις περιοχές με έντονη εμπορική δραστηριότητα. Το εισόδημα ανά νοικοκυριό επίσης συμβάλει θετικά στο ποσοστό της κατοικημένης περιοχής.

Τα αποτελέσματα από το πρότυπο παλινδρόμησης του πληθυσμού έδειξαν, όπως αναμενόταν, ότι ο πληθυσμός ανά κελί μειωνόταν όσο πιο πολύ απείχε από τις περιοχές με έντονη εμπορική δραστηριότητα, αλλά αυξανόταν με το ποσοστό της ανεπτυγμένης περιοχής. Τέλος, καθώς ο μέσος δείκτης μείγματος χρήσεων γης (mix) αυξάνει, ο πληθυσμός, προβλέπεται να μειώνεται.

Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας δείχνουν ότι τα χαρακτηριστικά κάλυψης γης προερχόμενα από δορυφορική απεικόνιση μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην προτυποποίηση με καλά αποτελέσματα. Η εργασία αυτή στην συνέχεια επεκτάθηκε από την ίδια ερευνητική ομάδα [Frazier and Kockelman, 2005] συμπεριλαμβάνοντας δεδομένα του παρελθόντος ώστε να μπορεί να βρεθεί η πορεία της ανάπτυξης και να γίνουν μελλοντικές προβλέψεις.

Πιο συγκεκριμένα στην έρευνα των Frazier και Kockelman [2005], αναπτύσσονται μεθοδολογίες για την προτυποποίηση ανεπτυγμένων περιοχών ενσωματώνοντας χωρικές και χρονικές επιδράσεις των δεδομένων. Χρησιμοποιώντας τα ίδια δεδομένα εκτιμήθηκαν πρότυπα πληθυσμού, ιδιοκτησίας οχημάτων καθώς και πρότυπα με κάλυψη γης στις κατηγορίες ανεπτυγμένης περιοχής, κατοικημένης και αγροτικής περιοχής. Εξετάστηκαν επίσης οι επιδράσεις του χρόνου και του χώρου στα πρότυπα και έγινε μια πρόβλεψη του πληθυσμού και της κάλυψης γης για το έτος 2020.

Οι ερευνητές λαμβάνοντας υπόψη πως πολλά πρότυπα όπως το UrbanSim [Waddel, 2002] και το What if? [Klosterman, 1999], αδυνατούν να λάβουν υπόψη τις χωρικές και χρονικές συσχετίσεις που υπάρχουν στα αστικά συστήματα, προσπάθησαν να ενσωματώσουν τις μεταβλητές αυτές στα πρότυπα τους. Θεώρησαν δηλαδή πως πρέπει να ενσωματωθούν στα πρότυπα παράμετροι που να ορίζουν τα τμήματα γης τα οποία είναι ‘κοντά’ είτε σε χωρική είτε σε χρονική διάσταση έτσι ώστε να έχουν περισσότερες ομοιότητες (που θα επηρέαζαν ή θα ήταν αντιπροσωπευτικές των χαρακτηριστικών τους) από εκείνα που βρίσκονται ‘μακριά’. Γενικά, υπάρχει πλήθος μελετών, όπως για παράδειγμα η έρευνα του Dubin [1992], που λαμβάνουν υπόψη την χωρική αυτοσυσχέτιση. Ωστόσο, οι περισσότερες μελέτες ενσωματώνοντας τη χωρική αυτοσυσχέτιση δεν ενσωματώνουν τις χρονικές συσχετίσεις και δεν επικεντρώνονται σε εφαρμογές των μεταφορών.

Ο βασικός στόχος της εργασίας των ερευνητών [Frazier and Kockelman, 2005] ήταν να αναπτυχθούν μεθοδολογίες για την ανάλυση της αστικής ανάπτυξης λαμβάνοντας υπόψη χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά, δηλαδή παραμέτρους που έχουν απασχολήσει σημαντικά τους συγκοινωνιολόγους ερευνητές και σχεδιαστές. Τα πρότυπα που παράγονται ελέγχονται εμπειρικά χρησιμοποιώντας δεδομένα κάλυψης γης προερχόμενα από δορυφορικές εικόνες συνδυασμένα με δεδομένα απογραφής πληθυσμού. Τα δεδομένα αυτά στην αρχική τους μορφή είναι χωρικά και χρονικά μη εναρμονισμένα και ως ένα βαθμό αταίριαστα. Για παράδειγμα, οι χρονιές από τις

οποίες έχουν προέλθει τα δεδομένα της απογραφής του πληθυσμού δεν αντιστοιχούν με τις χρονιές που έχουν ληφθεί οι δορυφορικές εικόνες, καθώς επίσης η ομαδοποίηση των οικοδομικών τετράγωνων δεν ταυτίζεται με κανένα σύστημα κανάβου. Στην έρευνα τους αυτή λοιπόν γίνεται προσπάθεια ενσωμάτωσής των πληροφοριών σε ένα ενιαίο σύνολο δεδομένων, δηλαδή σε ένα κοινό χωρικό και χρονικό σύστημα συντεταγμένων.

Χωρικά, δημιουργείται ο κανάβος των 100 εικονοστοιχείων που έχει προαναφερθεί, μειώνοντας μεν κατά πολύ το μέγεθος των δεδομένων κάλυψης γης, αλλά διατηρώντας σημαντική ανάλυση για τα πρότυπα κάλυψης γης μιας περιοχής. Προκειμένου να αντιστοιχηθούν τα δεδομένα απογραφής χρονικά, εφαρμόστηκε σε αυτά μια προσεγγιστική μέθοδος. Υπό την προϋπόθεση ότι όλες οι μεταβλητές απογραφής ακολουθούν προσεγγιστικά το πρότυπο της εκθετικής αύξησης σε σχέση με το χρόνο, χρησιμοποιήθηκε εκθετική συνάρτηση, της οποίας οι σταθεροί όροι προέκυψαν από τα δεδομένα απογραφής του 1990 και 2000. Στη συνέχεια ήταν δυνατό να υπολογιστούν οι μέσες τιμές για χρονιές που δεν έχει γίνει απογραφή και οι τιμές για τα ενωμένα κελιά καθορίζονται από την ίδια σχέση χρησιμοποιώντας τις αποκλίσεις για κάθε κελί του κανάβου από τους μέσους για το 2000 και το 1990. Πολύ σημαντική είναι και η προσπάθεια χρονικής προσαρμογής των διαχρονικών δορυφορικών εικόνων, επειδή οι μεταξύ τους χρονικές διαφορές δεν είναι σταθερές. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η παράμετρος αυτή, εισάγεται ο παράγοντας της ‘χρονικής προσαρμογής’ για τις παραμέτρους όλων των χρονικά υστερημένων μεταβλητών. Για την απλοποίηση του υπολογισμού, γίνεται υπόθεση ότι η καθοριστική παράμετρος του προτύπου παραμένει σταθερή σε όλες τις χρονικά υστερημένες μεταβλητές σε κάθε πρότυπο.

Εκτός από τον χωρικό στατιστικό δείκτη μείγματος χρήσεων γης (land-cover mix) που περιγράφει την ανομοιότητα ενός εικονοστοιχείου σε σχέση με τα οκτώ γειτονικά, υπολογίζεται συμπληρωματικά και η εντροπία (land-cover entropy) η οποία μετράει το επίπεδο της ποικιλίας στην κάλυψη γης για μια συγκεκριμένη γειτονιά. Η εντροπία αποκαλείται επίσης ως η ισορροπία στην κάλυψη γης και ουσιαστικά αποτελεί έναν ακόμα δείκτη βαθμού ανομοιογένειας. Αντί να συγκρίνονται όλα τα εικονοστοιχεία σε μια γειτονιά με το κεντρικό, όπως συμβαίνει στον δείκτη μείγματος, συγκρίνονται όλα τα εικονοστοιχεία μεταξύ τους. Στην συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά τα πρότυπα που αναπτύχθηκαν από τους ερευνητές Frazier και Kockelman το 2005.

Ο πρώτος τρόπος που χρησιμοποιήθηκε για την προτυποποίηση των συνεχών μεταβλητών των δεδομένων της εργασίας των Frazier και Kockelman [2005], είναι το πρότυπο της χωρικής γραμμικής παλινδρόμησης. Στα πρότυπα αυτά περιλαμβάνονται όροι που εμπεριέχουν επεξηγηματικές μεταβλητές που μπορεί να έχουν χρονική υστέρηση, όπως επίσης και έναν όρο σφάλματος ο οποίος ερμηνεύει την χωρική αυτοσυσχέτιση με τη βοήθεια ενός χωρικά σταθμισμένου πίνακα. Για να εκτιμηθούν οι παράμετροι του προτύπου, πραγματοποιείται συνδυασμός μιας γενικευμένης μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων (feasible generalized last squares regression ή FGLS) και της μεθόδου της μέγιστης πιθανοφάνειας (ML).

Ο δεύτερος τρόπος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα χωρικό λογαριθμικό πρότυπο παλινδρόμησης (Spatial Logistics Regression Model). Ο λόγος που έπρεπε να χρησιμοποιηθεί αυτό το πρότυπο ήταν διότι τα τμηματικά δεδομένα κάλυψης γης έπρεπε να λαμβάνουν τιμές στο διάστημα μεταξύ [0,1]. Αυτή η μέθοδος προτυποποιεί

δυναδικά δεδομένα, και εφαρμόζεται στην περίπτωση αυτή για την προτυποποίηση μιας χρήσης γης σε σχέση με μια άλλη (π.χ. ανεπτυγμένη και μη ανεπτυγμένη γη).

Ακολουθώς παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προτύπων παλινδρόμησης που αναπτύχθηκαν για τις μεταβλητές του πληθυσμού και των οχημάτων ανά νοικοκυριό (γραμμική παλινδρόμηση), όπως επίσης για την κάλυψη γης (ανεπτυγμένη, ανεπτυγμένη οικιστική, μη ανεπτυγμένη αγροτική), για τα οποία εφαρμόστηκαν πρότυπα λογιστικής κατανομής. Εξαιτίας του μεγέθους του δείγματος, έπρεπε πριν τη βαθμονόμηση να γίνει η επιλογή του δείγματος. Επίσης, εφαρμόστηκαν πρότυπα χωρίς μεταβλητές με χρονική υστέρηση ή χρονική προσαρμογή και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα πρότυπα συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο με μόνο μερικές μικρές διαφορές στα χρονικά κενά και στις προσαρμογές.

Η μέθοδος της δειγματοληψίας ήταν απαραίτητη εξαιτίας των αυξημένων υπολογιστικών απαιτήσεων για την εύρεση ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων του χωρικά σταθμισμένου δείκτη. Όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν αποτελούν το μέσο από 25 πρότυπα που έτρεξαν σε 25 τυχαία δείγματα των 1000 παρατηρήσεων το καθένα. Οι παράμετροι των τυχαίων επιδράσεων και της χωρικής αυτοσυσχέτισης είναι συγκεκριμένες για κάθε τυχαίο δείγμα των 1000 παρατηρήσεων και αυτό είναι κάτι που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πριν χρησιμοποιηθούν τα πρότυπα αυτά για προβλέψεις ή προσομοιώσεις. Επισημαίνεται ακόμα ότι οι συντελεστές των προτύπων εξετάζεται αν είναι στατιστικά σημαντικοί με συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Ως προς τα πρότυπα πληθυσμού, όπως αναμενόταν, ο πληθυσμός προβλέπεται να μειώνεται καθώς αυξάνει η απόσταση από τις περιοχές με εμπορική και επιχειρηματική δραστηριότητα (CBD) και αυξάνει όσο αυξάνει ο δείκτης μείγματος, η εντροπία, η οικιστική και η εμπορική κάλυψη γης. Προέκυψε επίσης ότι η απόσταση από τις CBD αποτελεί τη μεταβλητή με τη μεγαλύτερη επίδραση στο πρότυπο σε σχέση με την απόσταση από τον πιο κοντινό αυτοκινητόδρομο. Προέκυψε επίσης ότι οι παράμετροι που μετρούν την χωρική αυτοσυσχέτιση (λ), τις τυχαίες επιδράσεις και την χρονική προσαρμογή των χρονικά υστερημένων μεταβλητών είναι όλες στατιστικά σημαντικές. Όπως αναμενόταν το φαινόμενο της χωρικής αυτοσυσχέτισης είναι θετικό, πράγμα που υποδεικνύει ότι τα γειτονικά κελιά έχουν παρόμοιους πληθυσμούς.

Σχετικά με το πρότυπο κατοχής οχημάτων, η ιδιοκτησία εκτιμάται ότι αυξάνει καθώς αυξάνει η απόσταση από τις CBD, από τον πλησιέστερο αυτοκινητόδρομο και από τον δείκτη μείγματος κάλυψης γης. Επίσης, οι παράμετροι που αναπαριστούν την χωρική αυτοσυσχέτιση και τις τυχαίες επιδράσεις είναι στατιστικά σημαντικοί σε μεγάλο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Τα πρότυπα που αναπτύχθηκαν για τα ποσοστά κάλυψης γης ήταν μη γραμμικά και συγκεκριμένα ήταν μορφής λογιστικής κατανομής (logistic) και υλοποιήθηκαν με δειγματοληψία. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν τα πρότυπα για μια μέση πρόβλεψη για το 2020.

Από τα αποτελέσματα προσομοίωσης είναι φανερό ότι χρησιμοποιώντας τα παραπάνω πρότυπα δεν λαμβάνονται τα επιθυμητά αποτελέσματα σχετικά με την ικανότητά τους για πρόβλεψη. Παρόλο που δεσμεύουν καλά τη χωρική κατανομή των χωρικών μεταβλητών, δεν εξηγούν την αναμενόμενη αύξηση σε σχέση με τον χρόνο του πληθυσμού και της αστικής ανάπτυξης. Δεν είναι ξεκάθαρο γιατί τα αποτελέσματα δεν είναι τα αναμενόμενα, αλλά μια πιθανή αιτία είναι ότι

χρησιμοποιήθηκε ένας και μόνος συντελεστής χρονικής προσαρμογής ενώ θα έπρεπε να υπάρχει ένας για κάθε χρονικά υστερημένη μεταβλητή. Όμως παρά τις ατέλειες ως προς τη χρονική διάσταση, τα πρότυπα αυτά συμπεριφέρονται καλά χωρικά, δεσμεύοντας τη χωρική ποικιλία και κατανομή των μεταβλητών στην περιοχή. Τα πρότυπα αυτά αποτελούν ένα ελπιδοφόρο ξεκίνημα για μεταγενέστερα πιο ακριβή πρότυπα.

Σε συνέχεια επίσης της προηγούμενης έρευνας, οι Wang και Kockelman [2006], προσπάθησαν να παρατηρήσουν την εξέλιξη των αλλαγών στις χρήσεις γης σε ένα μεικτό πρότυπο τύπου ‘logit’ με αναγνώριση των χωρικών και των χρονικών επιδράσεων. Το ‘mixed logit’ είναι ένα εντελώς γενικό στατιστικό μοντέλο για την εξέταση των διακριτών επιλογών που ξεπερνάει τους περιορισμούς που υπήρχαν στο απλό ‘logit’ μοντέλο.

Ως ένα βασικό κομμάτι των ολοκληρωμένων συγκοινωνιακών προτύπων χρήσης γης, η πρόβλεψη των αλλαγών στην κάλυψη γης και η εύρεση πολλών από τους παράγοντες που βρίσκονται πίσω από τέτοια αλλαγή είναι πάντα στο ενδιαφέρον των σχεδιαστών, των υπεύθυνων για τις πολιτικές, εκείνων που ασχολούνται με την οικιστική ανάπτυξη και άλλων ερευνητών. Η έρευνα των Wang και Kockelman [2006], χρησιμοποιώντας ένα πλαίσιο εργασίας με ‘mixed logit’ μελετά την εξέλιξη της κάλυψης γης στο Austin του Texas, αναγνωρίζοντας την απόσταση εξαρτημένων συσχετίσεων, τόσο παρατηρούμενων και μη παρατηρούμενων, πάνω στο χώρο και το χρόνο, σε μια πληθώρα δορυφορικών εικονοστοιχείων. Στην έρευνα τους περιγράφονται οι υπολογιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση και την εφαρμογή των προτύπων, περιλαμβάνοντας τις μεθόδους όπως η ‘Generalized Cholesky Decomposition’ και η ‘Likelihood Simulation’.

Γενικά, τα δορυφορικά δεδομένα στις προκείμενες έρευνες ορίζονται ως ‘panel data’ επειδή αποτελούνται από την ίδια μονάδα χωρικής ανάλυσης για μια συγκεκριμένη περιοχή και για διακριτές χρονικές περιόδους. Τα δεδομένα αυτά επιτρέπουν άμεση ενσωμάτωση των χρονικών και χωρικών συσχετίσεων στις προδιαγραφές του προτύπου. Επιπρόσθετα με τις μικρές χωρικές μονάδες (30 m x 30 m), ένα ακόμα πλεονέκτημα των δορυφορικών δεδομένων είναι ότι παρέχουν πολύ πιο ακριβείς πληροφορίες για τη βλάστηση, οι οποίες μπορεί να είναι κρίσιμες για την ποιότητα του αέρα εξαιτίας βιογενών πηγών διάφορων χημικών ουσιών. Αυτό σημαίνει ότι η χρησιμοποίηση δορυφορικών δεδομένων μπορεί να αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή για ολοκληρωμένα πρότυπα χρήσης γης, μεταφορών αλλά και περιβάλλοντος (ILUTE).

Στην έρευνα των Wang και Kockelman [2006], χρησιμοποιείται ένα πρότυπο που ενσωματώνει τις επιδράσεις τόσο του χρόνου όσο και του χώρου και θεωρείται ως η προέκταση του προτύπου Wooldrige’s [2002] επειδή η υστερημένη εξαρτημένη μεταβλητή (τόσο χρονικά όσο και χωρικά) χρησιμοποιείται ως ανεξάρτητη μεταβλητή και επειδή μεμονωμένες και συγκεκριμένες επιδράσεις συσχετίζονται δια μέσου των παρατηρήσεων (τόσο σε χρόνο όσο και σε χώρο). Ένα τέτοιο πρότυπο επίσης εμπίπτει σε ένα πλαίσιο ανάλυσης της μορφής ‘mixed-logit’, όπου οι παράμετροι κλίσης (slope) μπορεί να είναι τυχαίοι και η δομή των συσχετίσεων μπορεί να διευκρινιστεί. Το ‘mixed-logit’ πρότυπο κανονικά εκτιμάται χρησιμοποιώντας εκτίμηση προσομοίωσης μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Simulated Likelihood Estimation), ενώ σε αυτή την εργασία χρησιμοποιείται μια τυχαία αναμειγμένη ακολουθία του Halton.

Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται στην έρευνα των Wang και Kockelman [2006], τα περισσότερα σημερινά πρότυπα δεν είναι ικανά να αναλύσουν δορυφορικά δεδομένα τα οποία έχουν υψηλά εξατομικευμένες μονάδες, μεγάλο δείγμα, και εμφανείς δυνατότητες για διάφορες συσχετίσεις μεταξύ των παρατηρήσεων. Συνεπώς, ο στόχος αυτής της μελέτης είναι μια αυστηρή οικονομετρική μέθοδος για να εκτιμηθούν οι πολλές όψεις της συγκεκριμένης πηγής δεδομένων. Ωστόσο, οι έρευνες που έχουν χρησιμοποιήσει οικονομετρικές μεθόδους για να διευθετήσουν τόσο τις χωρικές όσο και τις χρονικές επιδράσεις δεν είναι πολλές, όπως έχει ειπωθεί και από τον Anselin [1988]. Η χωρική οικονομετρία επιτρέπει τέτοιες αλληλεπιδράσεις και προτείνει τρεις θεμελιώδεις μεθόδους για την αντιμετώπιση των χωρικών επιδράσεων που υπάρχουν στις χρήσεις γης, στην αξίες ακινήτων, στην ποιότητα του αέρα και άλλων δεδομένων. Αυτές είναι η χρήση χωρικών στατιστικών διαδικασιών, η άμεση αντιπροσώπευση των συσχετίσεων και ένα μη παραμετρικό πλαίσιο εργασίας.

Η χωρική αυτοπαλινδρόμηση (SAR) και ο χωρικά κινούμενος μέσος όρος (SMA) [Benser, 2002], [Miyamoto, 2004] και [Frenzier and Kockelman, 2005], αποτελούν παραδείγματα χωρικών στατιστικών διαδικασιών.

Ένα συχνό πρόβλημα που συναντάται στη χωρικά στατιστική ανάλυση είναι η έλλειψη όρων σταθερής συμμεταβλητότητας (συνδιακύμανσης), που μπορεί να παραβιάσει τις υποθέσεις ασυμπτωτικών ιδιοτήτων που προέκυψαν βασιζόμενες στο θεώρημα του κεντρικού ορίου και στους νόμους των μεγάλων αριθμών [Anselin, 2005]. Χρησιμοποιώντας τη δεύτερη μέθοδο, δηλαδή την άμεση αντιπροσώπευση, ο πίνακας συμμεταβλητοτήτων μεταξύ των συνιστωσών που δεν είναι δυνατόν να παρατηρηθούν, μπορεί να εκφραστεί άμεσα ως η αντίστροφη συνάρτηση των αποστάσεων. Με αυτόν τον τρόπο, θα ικανοποιηθούν επίσης οι απαιτήσεις σταθερότητας [Anselin, 2005]. Ωστόσο, η διατύπωση αυτής της αντίστροφης συνάρτησης είναι συχνά περιορισμένη, επειδή οι πιο ελαστικές μεταβλητές μπορεί να υστερούν λόγω προβλημάτων εκτίμησης και ταυτοποίησης. Η τρίτη προσέγγιση, που αναφέρεται σε μη παραμετρικές μεθόδους, δεν χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές επειδή απαιτεί πολλά δεδομένα, με την χρονική διάσταση (T) να είναι πολύ μεγαλύτερη από τις εγκάρσιες διαστάσεις (N) [Anselin 2005]. Καμία από αυτές τις τρεις μεθόδους δεν είναι απλή. Και από όσο είναι γνωστό, μόνο η πρώτη μέθοδος έχει εφαρμοστεί σε ένα πλαίσιο διακριτής απόκρισης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η βαθμονόμηση των προτύπων γίνεται δύσκολη στη διαχείριση και απαιτεί προσέγγιση μέσω προσομοίωσης των σχετιζόμενων κατανομών.

Γενικά, η χωρική αυτοσυσχέτιση συμβαίνει όταν η παρουσία, η απουσία ή ο βαθμός εμφάνισης ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού επηρεάζει την παρουσία, την απουσία ή το βαθμό εμφάνισης του ίδιου χαρακτηριστικού γειτονικών μονάδων. Το παραπάνω φαινόμενο είναι επίσης σημαντικό στην αξιολόγηση της ακρίβειας, επειδή αν εμφανιστεί ένα λάθος σε συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να επιδράσει θετικά ή αρνητικά τα γειτονικά εικονοστοιχεία. Πολλές έρευνες που αναγνωρίζουν τις χωρικές επιδράσεις, έχουν προσπαθήσει είτε να αποβάλλουν όλη τη χωρική συσχέτιση μέσω στατιστικών δειγματοληψίας ή να κατασκευάσουν μεθοδολογίες και να κάνουν έλεγχο για μια ποικιλία χαρακτηριστικών της γειτονιάς. Σε άλλες έρευνες που λήφθηκαν επίσης υπόψη οι χρονικές επιδράσεις, η χωρική συσχέτιση απομακρύνθηκε μέσω δειγματοληψίας, ενώ η εναπομένουσα χωρική συσχέτιση μέσω μιας άλλης μεθόδου. Σε έρευνα πάνω στην επιλογή τύπου κατοικίας, έγινε προσπάθεια να

ελεγχθούν τα χαρακτηριστικά της γειτονιάς μέσω χρήσης ‘mixed logit’. Ωστόσο, το ζήτημα της εξάλειψης παραμένει, καθώς η χωρική συσχέτιση δεν μπορεί να εξαλειφθεί τελείως μέσω της δειγματοληψίας και οι χωρικά υστερημένες μεταβλητές δεν είναι αυστηρά εξωγενείς (σε αντίθεση με τις χρονικά υστερημένες).

Το πρότυπο κάλυψης γης των Frazier και Kockelman [2005], πιθανώς ακολουθεί πολύ πιστά τα δεδομένα της προσέγγισης του Anselin [1988, 2005], χρησιμοποιώντας την χωρική αυτοπαλινδρόμηση (SAR) στα συνεχή πρότυπα του πληθυσμού και στα πρότυπα λογιστικής κατανομής της ανάπτυξης γης χρησιμοποιώντας ενωμένα εικονοστοιχεία των δορυφορικών εικόνων στο Austin διαστάσεων 300 m x 300 m. Η έρευνα των Miyamoto et al. [2004], βασίστηκε σε σχετικά λίγες ζώνες (ένα δείγμα από μόλις 163). Οι ερευνητές αυτοί χρησιμοποίησαν SAR διατυπώσεις και Monte Carlo MSLE ενός προτύπου τύπου ‘logit’ για επιλογή τοποθεσίας. Ωστόσο, τα πρότυπα των SAR απαιτούν πληροφορίες σε όλες τις συσχετιζόμενες μονάδες, πράγμα που είναι πρόβλημα για πολύ μεγάλα σύνολα δεδομένων, όπως αυτά που αναφέρονται σε δορυφορικές εικόνες. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η ανάστροφη του πίνακα βαρών γίνεται πρακτικά ανέφικτη και συνεπώς πρέπει να χρησιμοποιηθεί δειγματοληπτική μέθοδος, καθιστώντας την SAR ακατάλληλη. Για τον λόγο αυτό, οι επιδιωκόμενες προδιαγραφές εδώ βασίζονται στην άμεση αντιπροσώπευση της σχετιζόμενης δομής. Επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν 100 τυχαία δείγματα με 1000 μονάδες παρατήρησης (εικονοστοιχεία), αντί για περίπου τρία εκατομμύρια εικονοστοιχεία που είναι διαθέσιμα από τις δορυφορικές εικόνες της περιοχής του Austin.

Όπως συζητήθηκε, η αλλαγή στην χρήση γης ή κάλυψη γης είναι διακριτή στη φύση. Η ανάγκη ενσωμάτωσης των χωρικών και χρονικών συσχετίσεων μεταξύ των μονάδων παρατήρησης, δηλαδή τα εικονοστοιχεία, οδηγεί στην επιλογή ενός μεικτού προτύπου τύπου ‘logit’ (mixed logit model) ή αλλιώς πρότυπο με τυχαίες παραμέτρους. Στο μεικτό πρότυπο, οι παράμετροι θεωρούνται πως είναι τυχαίες μεταξύ των μεμονωμένων κελιών. Επιπρόσθετα, ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων σε αυτήν την έρευνα είναι πολύ μεγάλος και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένα σύνολο από τυχαία επιλεγμένα δείγματα τα οποία καταργούν τις αναγκαίες συνθήκες για χρήση SAR. Επομένως, για να γίνει ο χειρισμός των χωρικών συσχετίσεων μεταξύ των παρατηρήσεων, χρησιμοποιείται η μέθοδος της άμεσης αντιπροσώπευσης. Στη συνέχεια αναλύονται οι προδιαγραφές του προτύπου και οι θεωρήσεις για τις σχετικές εκτιμήσεις, συμπεριλαμβανόμενης της ‘Generalized Cholesky Decomposition’ και της επιλογής των μεθόδων προσομοίωσης. Περισσότερες πληροφορίες πάνω στις θεωρήσεις υπάρχουν στην έρευνα των Wang και Kockelman [2006], ενώ η περιγραφή του προτύπου παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Η ανάπτυξη της αστικής γης αποτελεί ουσιαστικά την έκβαση των αποφάσεων που λαμβάνονται από τα νοικοκυριά, τους κατασκευαστές και τους υπεύθυνους για σχεδιασμό κάτω από σημαντική αβεβαιότητα. Είναι πολύ χρήσιμο να εφαρμοστούν θεωρίες της τυχαίας ωφέλειας, στις οποίες ο τύπος κάλυψης γης ενός κελιού περιγράφεται από μια εξίσωση:

$$y_{it}^m = \begin{cases} 1 & \text{if } U_{it}^m > U_{it}^n \quad \forall n \in M \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (12),$$

όπου:

y_{it}^m : ο δείκτης της παρατηρούμενης κάλυψης γης τύπου m για το κελί i την χρονική περίοδο t ,

U_{it}^m : η αφανής μεταβλητή (Συνάρτηση Ωφέλειας) και

M : το σύνολο όλων των εναλλακτικών τύπων κάλυψης γης.

Όπως είναι συνηθισμένο, η μεταβλητή ‘ U ’ αποτελείται από δύο παραμέτρους, τον ντετερμινιστικό όρο ‘ V ’ και το τυχαίο μέρος ‘ ε ’.

$$U_{it}^m = V_{it}^m + \varepsilon_{it}^m \quad (13)$$

Για να επιτραπούν οι χρονικές και χωρικές συσχετίσεις μεταξύ των παρατηρήσεων, ο τυχαίος όρος ε θεωρείται πως έχει δύο ανεξάρτητες συνιστώσες:

$$\varepsilon_{it}^m = u_{it}^m + \xi_{it}^m \quad (14),$$

όπου ο πρώτος όρος είναι μια συγκεκριμένη μεμονωμένη τυχαία επίδραση (σταθερή στο χρόνο) και ο δεύτερος όρος θεωρείται πως είναι ανεξάρτητος (ο οποίος ακολουθεί κατανομή Gumbel) ανάμεσα στις κατηγορίες κάλυψης γης και στις παρατηρήσεις. Με βάση τα παραπάνω προέκυψε το πρότυπο τύπου ‘logit’.

Γενικά αναφέρεται πως η προσομοίωση μπορεί να είναι υπολογιστικά μια δύσκολη εργασία. Προκειμένου να αναγνωριστεί η συσχέτιση σε χρόνο και χώρο μεταξύ των παρατηρήσεων πρέπει να παραχθούν δύο (για $m=2,3$) N διαστάσεων και με κανονική κατανομή τυχαία διανύσματα με πίνακα συσχετίσεων που εκφράζεται από συγκεκριμένη σχέση. Τα υπολογιστικά ζητήματα που προκύπτουν αντιμετωπίζονται στην διαδικασία της προσομοίωσης και οι μέθοδοι για να αντιμετωπιστούν είναι η ‘Generalized Cholesky Decomposition’ και η ‘Randomly Shuffled Halton Sequence’.

Οι μέθοδοι προσομοίωσης απαιτούν την επιλογή δείγματος μέσω τυχαίων αριθμών. Μερικές από αυτές είναι η μέθοδος ‘Pseudo Monte Carlo’ (PMC), η ‘Halton Sequence’, η ‘Scrambled Low Discrepancy’ (SLD) και η ‘Randomly Shuffled Halton Sequence’. Στην έρευνα των Wang και Kockelman [2006], κάθε δείγμα χρησιμοποιεί 1000 παρατηρήσεις.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου έδειξαν πως ο γειτονικός τύπος κάλυψης γης εκτιμάται να έχει ισχυρή επίδραση στη μελλοντική ανάπτυξη. Καθώς ένα τμήμα γειτονικής κάλυψης γης προκύπτει πιο οικιστικό ή εμπορικό/βιομηχανικό/μεταφορών, το ίδιο συμβαίνει και με την πιθανότητα μελλοντικής κάλυψης γης αυτού του εικονοστοιχείου. Ακόμα, εκτιμάται πως αυτές οι επιδράσεις θα αυξάνονται με το χρόνο και αυτό εισάγει ένα φαινόμενο ισχυρής ομαδοποίησης στην ανάπτυξη της γης. Γενικά, προέκυψε ότι η ανάπτυξη συμβαίνει πιο γρήγορα σε γειτονίες οι οποίες έχουν λιγότερο πληθυσμό αλλά είναι περισσότερο ανεπτυγμένες.

Επίσης, όταν η απόσταση από τον πλησιέστερο αυτοκινητόδρομο αυξάνει, η πιθανότητα ανάπτυξης μειώνεται, αν και αυτό το φαινόμενο περιορίζεται με τον καιρό καθώς τα χρονικά διαστήματα μεγαλώνουν. Τα αποτελέσματα ακόμα υποδεικνύουν ότι η ανάπτυξη είναι πιο πιθανόν να εμφανιστεί μακριά από τις εμπορικές περιοχές (CBD), όπου οι περιοριστικοί παράγοντες ανάπτυξης τείνουν να είναι λιγότεροι, οι αξίες γης χαμηλότερες, και το κατασκευαστικό κόστος χαμηλότερο. Προφανώς, και κατά κάποιον τρόπο διαισθητικά, το εσωτερικό ‘γέμισμα’ είναι μια πιο αργή διαδικασία.

Τέλος, τα αποτελέσματα δείχνουν την αναγκαιότητα να ληφθούν υπόψη οι μεμονωμένοι όροι σφάλματος σε σχέση με κάθε εικονοστοιχείο. Ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση και στις δύο εναλλακτικές είναι στατιστικά σημαντικοί. Η τυπική απόκλιση για την οικιστική γη είναι κάπως μικρότερη από την εμπορική γη, υποδεικνύοντας μικρότερη μεταβλητότητα στην δυνητική ανάπτυξη.

Ως προς την πρόβλεψη του προτύπου, που γίνεται χρησιμοποιώντας τους βαθμονομημένους συντελεστές της ακολουθίας Halton, μπορεί να προσφέρει χρήσιμες ενδείξεις για τα μελλοντικά πρότυπα κάλυψης γης. Στην περίπτωση που υπάρχουν άνισα χρονικά διαστήματα, η υπολογιστική δυναμική του προτύπου μπορεί να δώσει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι προβλέψεις μέσα στο 2005 και η συνεπαγόμενη σύγκριση με πραγματικές πληροφορίες κάλυψης γης παρέχουν επίσης έναν αξιόπιστο τρόπο για την εκτίμηση των επιδόσεων του προτύπου. Πραγματοποιήθηκαν 300 αντλήσεις δεδομένων και ο πιο συνηθισμένος τύπος κάλυψης γης για κάθε κελί αναπαραστάθηκε σε εικόνα. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεγάλη αβεβαιότητα και ελαστικότητα για το μέλλον στην περιοχή που εφαρμόζεται η πρόβλεψη.

Όπως και στο πρότυπο SLEUTH [Candau et al., 2000], η αβεβαιότητα μπορεί να υπολογιστεί με βάση τις προβλεπόμενες συχνότητες διαφορετικών καλύψεων γης που υπάρχουν. Η έρευνα των Wang και Kockelman [2006], για να ποσοτικοποιήσει την προβλεπόμενη αβεβαιότητα βασίζεται στον στατιστικό δείκτη της εντροπίας. Η αξιολόγηση της πρόβλεψης έγινε με την βοήθεια αεροφωτογραφιών μεγάλης κλίμακας και χαρτών χρήσεων γης και σημαντικό ποσοστό σφάλματος που οφείλεται εν μέρει και στο λανθασμένο κατά 25% αποτέλεσμα της ταξινόμησης της εικόνας του 2000. Ως αποτέλεσμα προέκυψε ότι η μη ανεπτυγμένη γη υποεκτιμήθηκε σε σημαντικό βαθμό όταν η ελαφρώς και έντονα ανεπτυγμένη γη υπερεκτιμήθηκε κατά 17% και 26% αντίστοιχα. Αυτό δεν σημαίνει ότι το πρότυπο δεν ανταποκρίνεται σωστά, αλλά μάλλον σημαίνει ότι τα αρχικά δεδομένα δεν ήταν τόσο αξιόπιστα όσο θα έπρεπε. Η βελτίωση στην ποιότητα της δορυφορικής εικόνας και στην ταξινόμηση των δεδομένων, αναμένεται να λύσει μερικά από αυτά τα προβλήματα.

2.7.2. Ανάλυση με χρήση ολοκληρωμένων προτύπων

Στην έρευνα των Wang και Kockelman [2006], αναφέρεται και το πρότυπο SLEUTH το οποίο χαρακτηρίζεται ως ‘Cellular Automata’ [Candau et al., 2000], και θεωρείται επίσης ιδιαίτερα αποτελεσματικό. Αποτελεί δε ένα από τα λίγα πρότυπα που έχει σχεδιαστεί ώστε να επεξεργάζεται δεδομένα δορυφορικών εικόνων. Το πρότυπο θα αναλυθεί και στη συνέχεια με λεπτομέρεια, ενώ χαρακτηριστικά αναφέρεται πως αποτελείται από το πρότυπο ‘Urban Growth Model’ των Clarke et al. [1996,1997] και από το Land Use/Land Cover Model. Μέσω του SLEUTH προσομοιώνεται η αλλαγή στην κάλυψη του εδάφους αναγνωρίζοντας το χρονικό και το χωρικό πλαίσιο κάθε εικονοστοιχείου. Παρόλα αυτά όμως θεωρείται πως λαμβάνει υπόψη την επίδραση από τα άμεσα εικονοστοιχεία και σχεδόν αγνοεί τις πιο απομακρυσμένες συσχετίσεις και αλληλεπιδράσεις. Ακόμα, το SLEUTH σύμφωνα με τους ερευνητές, δεν έχει ακόμα σχεδιαστεί για να ανταποκρίνεται με ελαστικότητα σε φαινόμενα που σχετίζονται με ανθρωπογενείς παράγοντες όπως για παράδειγμα οι αξίες γης, η εργασία και η πυκνότητα του πληθυσμού. Τέλος, αναφέρουν πως το SLEUTH βασίζεται σε αλγόριθμους σχεδιασμένους μέσω κανόνων παρά σε στατιστικά πρότυπα.

Το SLEUTH προέρχεται από τα αρχικά S (slope), L (land use), E (zones excluded from growth), U (urban spatial extracts), T (transport networks), H (terrain hillshading), και είναι ένα σύνθετο πρότυπο αποτελούμενο από δύο υπό-πρότυπα, εκείνο της αστικής ανάπτυξης και εκείνο της αλλαγής χρήσεων γης. Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε από τους Clarke et al. το 1997, χρηματοδοτούμενο από τον οργανισμό USGS. Είναι ένα πιθανοκρατικό πρότυπο που χρησιμοποιεί ρουτίνες Monte Carlo και παράγει πολλαπλές προσομοιώσεις ανάπτυξης. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης ορίζει ένα εύρος τιμών για κάθε παράμετρο και ο αλγόριθμος κάνει επαναλήψεις για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς. Μέσα στις χρονοσειρές έχουν επιλεγεί και δεδομένα-χροινές ελέγχου και υπολογίζονται οι στατιστικοί δείκτες προσαρμογής του προτύπου. Μέσω αυτής της διαδικασίας ελέγχεται κατά πόσο το πρότυπο αντιπροσωπεύει τον πραγματικό ρυθμό ανάπτυξης. Από αυτό το πρότυπο μπορούν να παραχθούν στη συνέχεια και προβλέψεις για την μελλοντική ανάπτυξη.

Εξαιτίας του κυτταρικού τρόπου οργάνωσης και διαχείρισης των δεδομένων, το πρότυπο αυτό έχει το πλεονέκτημα της ικανότητας προτυποποίησης δυναμικών φαινομένων. Η δομή αυτή επίσης επιτρέπει την εφαρμογή της μεθόδου σε ψηφιδωτά τηλεπισκοπικά δεδομένα. Το πρότυπο αυτό αποδείχθηκε πως έχει την ικανότητα να προβάλλει την αστική ανάπτυξη και να εξετάζει πώς οι νέες αστικές περιοχές επιδρούν στη γειτονική γη και στο φυσικό περιβάλλον. Ουσιαστικά, το πρότυπο προσομοιώνει την εξέλιξη μιας περιοχής από τα ιστορικά δεδομένα και στη συνέχεια προβλέπει την αστική ανάπτυξη αλλά και την αλλαγή χρήσεων γης. Τα ενδεχόμενα μελλοντικά σενάρια εκφράζονται σαν επίπεδα αποκλεισμού ανάπτυξης αναπαριστώντας χρήσεις γης. Η ονομασία του προτύπου έχει προέλθει από τα απαιτούμενα δεδομένα εισόδου για την εφαρμογή του και δεν είναι άλλα από την τοπογραφική κλίση της περιοχής, τις χρήσεις γης, τις ζώνες αποκλεισμού από την ανάπτυξη μιας περιοχής, τις αστικές προεκτάσεις, το οδικό δίκτυο και δεδομένα σκίασης του εδάφους. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να αντληθούν από τηλεπισκοπικά δεδομένα, αλλά και από τοπογραφικούς χάρτες μέσω Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Παρά τις παραπάνω επισημάνσεις, το πρότυπο SLEUTH είναι ένα πολύ χρηστικό πρότυπο που έχει εφαρμοστεί επιτυχώς σε πολλές περιοχές στον κόσμο και αξίζει να γίνει εκτενέστερη αναφορά σε αυτό. Είναι επίσης πολύ σημαντικό το γεγονός ότι είναι δυνατή η εγκατάσταση της εφαρμογής από οποιονδήποτε το ζητήσει, αλλά η βασική προϋπόθεση είναι η απαίτηση υψηλής υπολογιστικής ισχύς.

Γενικά, τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει την εμφάνισή τους αρκετά χωρικά πρότυπα προσομοίωσης. Στην οικονομική τους διάσταση τέτοια πρότυπα εκτιμούν την πιθανότητα μετάβασης της χρήσης γης χρησιμοποιώντας μεθόδους διακριτών επιλογών [Bockstael, 1996]. Το χωρικό πρότυπο του Landis [1995] για τις περιοχές του San Francisco και του Sacramento αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μοντέλου μικροοικονομίας για δεδομένα προερχόμενα από Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιήθηκε για αναλυτικές χωρικές προβλέψεις αλλαγής χρήσης γης. Σε πιο πρόσφατες έρευνες, αναζητούνται μέχρι και σήμερα οικονομικά πρότυπα αλλαγών χρήσεων γης, τα οποία είναι χωρικά αλλά και αναλυτικά ώστε τα αποτελέσματα των προβλέψεων να συνδέονται με οικολογικά πρότυπα αλλαγών. Από τα σύγχρονα πρότυπα, το SLEUTH είναι ένα πρότυπο πολλά υποσχόμενο και αξίζει να γίνει μια μικρή αναφορά σε έρευνες που το έχουν χρησιμοποιήσει.

Ένα παράδειγμα εφαρμογής του οικονομετρικού προτύπου SLEUTH για την διερεύνηση οικιστικής ανάπτυξης και αλλαγής στις χρήσεις γης έγινε στις πόλεις Ταϊρεί και Chiang Mai [Sangawongse et al., 2005], όπου μετέπειτα έγινε προσπάθεια εξαγωγής σεναρίων εξέλιξης αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης. Οι περιοχές αυτές επιλέχθηκαν εξαιτίας της ραγδαίας αλλαγής χρήσης/κάλυψης γης της περιοχής, απόρροια της απότομης οικονομικής ανάπτυξης και πληθυσμιακής αύξησης. Το πρότυπο εφαρμόστηκε με επιτυχία στη Λισσαβόνα, στην πόλη Santa Barbara στην Καλιφόρνια, στη Βαλτιμόρη και σε άλλες πόλεις, ενώ το γενικό συμπέρασμα είναι πως ενδείκνυται για ανάλυση δεδομένων με χρονικό εύρος όχι μεγαλύτερο από 40 χρόνια.

Οι δύο περιοχές μελέτης Chiang Mai και Ταϊρεί, κατά την εφαρμογή του προτύπου αστικής ανάπτυξης παρουσίασαν ευαισθησία σε διαφορετικούς δείκτες-παραμέτρους. Για την πρώτη πόλη, η περιοχή μελέτης είναι 2415 km², ενώ για τη δεύτερη στα 270 km². Με το κατάλληλα βαθμονομημένο πρότυπο, το επόμενο βήμα είναι η διερεύνηση εναλλακτικών σεναρίων ρυθμίζοντας μερικές από τις παραμέτρους-κλειδιά.

Στην περιοχή του Ταϊρεί, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το 1924, το 1988 και το 2003 από διάφορες πηγές (χάρτες και δορυφόρους). Στην πόλη Chiang Mai, τα χωροχρονικά δεδομένα προέρχονται από τις χρονιές 1952, 1977, 1989, 2000 και 2002 επίσης από διάφορες πηγές. Συνοπτικά, στην πρώτη πόλη, Chiang Mai, η σημαντικότερη αλλαγή σε χρήση γης εντοπίστηκε από αγροτική γη σε αστική περιοχή, ενώ στην πόλη Ταϊρεί, εκτάσεις αγροτικής γης μετατράπηκαν σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές, και ορεινές δασικές εκτάσεις μετατράπηκαν σε γεωργική γη.

Αναφέρεται ότι στις εφαρμογές της έρευνας των Sangawongse et al. [2005], από τα δύο υποπρότυπα, χρησιμοποιείται μόνο εκείνο της αστικής ανάπτυξης, το οποίο χαρακτηρίζεται από κλίμακα αποτελούμενο από ίδιας διάστασης εικονοστοιχεία. Η κατάσταση κάθε εικονοστοιχείου είναι δυαδική, δηλαδή μπορεί να χαρακτηρίζεται ως αστικό ή μη αστικό. Ο χάρτης κλίσεων των περιοχών έχει προέλθει από τη χρήση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. Οι περιοχές αποκλεισμού αποτελούνται από περιοχές που δεν αναπτύσσονται οικιστικά, όπως πχ η θάλασσα, τα εθνικά πάρκα, οι στρατιωτικές περιοχές κ.α.. Με τον όρο αστικές επεκτάσεις, εννοούνται οι εκτάσεις πόλεων, οι εκτάσεις που υπόκεινται σε θεσμικά πλαίσια, οι αερολιμένες, η αγροτικές κατοικημένες περιοχές, οι περιοχές αναδόμησης κλπ. Για τον υπολογισμό στατιστικών που προσαρμόζονται ιδανικά στο πρότυπο ήταν απαραίτητη η χρήση δεδομένων τουλάχιστον τεσσάρων στο σύνολο χρονικών δεδομένων τα οποία αποτέλεσαν και δεδομένα εισόδου για την μεταβλητή των αστικών επεκτάσεων. Η πληροφορία του οδικού δικτύου έπρεπε να υπάρχει για δυο χρονικές στιγμές, όπως και έγινε. Όλα τα δεδομένα εισόδου και για τις δυο πόλεις παράχθηκαν σε τρία επίπεδα ανάλυσης για την βαθμονόμηση του προτύπου. Γενικά, η αυξημένη χωρική ανάλυση και η χρήση παραμέτρων με μικρότερο εύρος βελτίωναν το πρότυπο κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης.

Το πρότυπο αστικής ανάπτυξης SLEUTH εφαρμόστηκε επίσης στην ευρύτερη περιοχή της Βαλτιμόρης [Jantz et al., 2003] για την διερεύνηση περιβαλλοντικής υποβάθμισης εξαιτίας της αστικής εξάπλωσης και την εξαγωγή συμπερασμάτων για το μέλλον. Το πρότυπο βαθμονομήθηκε χρησιμοποιώντας διαχρονικά τηλεπισκοπικά

δεδομένα και η μελλοντική ανάπτυξη προβλήθηκε χρονικά στο 2030 με τρία διαφορετικά σενάρια εξέλιξης. Τα αποτελέσματα ύστερα από την εφαρμογή έδειξαν ότι το SLEUTH είναι ικανό να διαχειριστεί μεγάλο εύρος εναλλακτικών σεναρίων, αλλά η χωρική ακρίβεια και η ευαισθησία της κλίμακας αποτελούν παράγοντες που πρέπει να αναλυθούν περαιτέρω για να θεωρηθούν τα αποτελέσματα περισσότερο αξιόπιστα.

Στην έρευνα των Claggett, et al., 2004, επιχειρείται επίσης αξιολόγηση στην ίδια περιοχή της Βαλτιμόρης και η εκτίμηση γίνεται μέσω δύο προτύπων αλλαγής χρήσεων γης. Οι ερευνητές πειραματίστηκαν στη χρησιμότητα δυο διαφορετικών προτύπων προσέγγισης. Το πρώτο ήταν το SLEUTH και το δεύτερο ήταν το πρότυπο προσφοράς/ζήτησης/διανομής WFT (Western Futures Model). Αποδείχθηκε πως σε επίπεδο πρόβλεψης το πρότυπο SLEUTH υπερεκτιμά, ενώ το WFT υποτιμά την ανάπτυξη των περιοχών.

Από τα παραπάνω, είναι φανερό ότι το δεδομένο πρότυπο από ένα απλό περιγραφικό εργαλείο μπορεί να μετατραπεί σε ένα εργαλείο που θα μπορούσε να διευκολύνει σκοπίμως τις εναλλακτικές των μελλοντικών σεναρίων αστικής ανάπτυξης μιας και τα αποτελέσματά του μπορούν να φανούν χρήσιμα στους πολεοδόμους, στους διαχειριστές πόρων και σε ανθρώπους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων.

Είναι προφανές πως όλες αυτές οι μέθοδοι ανάλυσης και τα συμπεράσματα που εξάγονται ύστερα από την εφαρμογή τους, προσφέρουν πολύτιμα εργαλεία και στοιχεία ενόρασης για τους συγκοινωνιολόγους, τους σχεδιαστές λήψης αποφάσεων, τους υπεύθυνους εφαρμογής πολιτικών και για άλλους ερευνητές που αναζητούν να προβλεφθεί το μέλλον. Οι νέες τεχνικές στοχεύουν στην άντληση όσο το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών από το σύνολο της βάσης δεδομένων που ουσιαστικά αποτελεί κάθε ταξινομημένη εικόνα. Μερικές πιο εξελιγμένες τεχνικές ανάλυσης των αποτελεσμάτων ταξινόμησης, όπως για παράδειγμα οι τεχνικές ‘Markov chain’, αναφέρονται στη συνέχεια.

2.7.3. Ανάλυση της εξέλιξης με Μαρκοβιανές αλυσίδες (Markov chains)

Στην έρευνα των Petit et al. [2000], που αναφέρθηκε στο υπεδάφιο 2.3.1, τα τηλεπισκοπικά αποτελέσματα αναλύονται περαιτέρω ώστε να δημιουργηθούν ‘Markov chain’ πρότυπα και να παραχθούν βραχυπρόθεσμες προβλέψεις αλλαγών χρήσεων γης. Τα αποτελέσματα, ύστερα από την εφαρμογή προτύπων ‘Markov’, έδειξαν τη συνεχή ανοδική πορεία των γυμνών εδαφών και των καλλιεργούμενων εκτάσεων, και τη συνεχή καθοδική πορεία των δασών και άλλων φυσικών ειδών βλάστησης.

Γενικά, ο στόχος της ανάλυσης των διαχρονικών εικόνων δεν είναι απλά η προβολή της πιο πιθανής χρονικής εξέλιξης μια περιοχής, αλλά επίσης και η παρεμβολή των κατανομών καλύψεων γης μεταξύ των χρονολογιών παρατήρησης. Η παρεμβολή των διαχρονικών δεδομένων και οι βραχυπρόθεσμες προβολές μπορούν εύκολα να προσδιοριστούν προτυποποιώντας την διαδικασία της αλλαγής ως μια σταθερή διαδικασία ‘Markov’, εφόσον αυτή η διαδικασία είναι ομοιογενής. Συνήθως οι εφαρμογές ‘Markov chain’ σε τέτοιου είδους προβλήματα απαιτούν την ύπαρξη τηλεπισκοπικών δεδομένων μιας περιοχής για μεγάλα χρονικά διαστήματα και πιο συγκεκριμένα για δεκαετίες.

Σε αντίστοιχες μελέτες, πολλοί ερευνητές εφάρμοσαν πρότυπα πρώτου βαθμού της τεχνικής Πιθανοτήτων Μετάβασης (Transition Probabilities). Άλλοι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει πρότυπα ‘Markov chain’ ώστε να μελετηθούν εναλλακτικές νομοθετικές πολιτικές, μέσα από τις προβολές, στην διαχείριση γης. Άλλοι έχουν αναπτύξει στοχαστικές μεταβάσεις κάλυψης γης λαμβάνοντας υπόψη αποκλειστικά χωρικές επιρροές.

Στην έρευνα των Petit et al. [2000], τίθενται σημαντικά ερωτήματα, όπως:
Ποιες είναι οι βασικές οικολογικές και κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές που προκαλούν την αλλαγή καλύψεων γης; (επεξηγηματική ανάλυση)
Ποιες είναι οι περιοχές που υφίστανται την μεγαλύτερη αλλαγή; (χωρική ανάλυση)
Ποιος είναι ο ρυθμός αλλαγής και πότε ξεκίνησε; (χρονική ανάλυση)
Είναι η χωρική διάχυση αλλαγής κάλυψης γης ομοιογενής σε όλες τις διευθύνσεις;
Είναι η αλλαγή σταθερή στο χρόνο; Υπάρχουν χωρικο-χρονικές αλληλουχίες αλλαγών; (ανάλυση της διαδικασίας της αλλαγής)

Με δεδομένες τις δυσκολίες στο σχεδιασμό των ντετερμινιστικών προτύπων για την αλλαγή καλύψεων γης, συνίσταται η χρήση και η θεώρησή τους ως στοχαστικά. Ντετερμινιστικό θεωρείται ένα μοντέλο όπου όλες οι μη ελεγχόμενες μεταβλητές ενός προτύπου είναι γνωστές και δεν αποκλίνουν (δεν έχουν διασπορά). Σε μαθηματική γλώσσα αυτό συνεπάγεται πως πρόκειται για ένα μοντέλο το οποίο θα παράγει πάντα το ίδιο προϊόν εξόδου από μια δεδομένη αρχική κατάσταση. Αντίθετα, αν έστω και μια μη ελεγχόμενη μεταβλητή υπόκειται σε διασπορά, το μοντέλο χαρακτηρίζεται ως στοχαστικό ή πιθανοτικό καθώς οι τιμές των μεταβλητών δίνονται ως κατανομές πιθανοτήτων. Η τεχνική ‘Markov chain’ και άλλες αντίστοιχες μεθοδολογίες δεν θεωρούνται ότι υπάγονται στα ντετερμινιστικά πρότυπα επειδή βασίζονται στην τυχαία επιλογή.

Για την αλλαγή στη χρήση/κάλυψη γης, μπορεί να θεωρηθεί ότι η πιθανότητα ενός συστήματος να είναι σε συγκεκριμένη κατάσταση τη χρονική στιγμή t_2 μπορεί να προέρθει από την γνώση της κατάστασης του την χρονική στιγμή t_1 και δεν εξαρτάται από τι συνέβαινε πριν τη στιγμή t_1 (μέθοδος πρώτης τάξης). Η στοχαστική μέθοδος που ικανοποιεί αυτές τις συνθήκες ονομάζεται μέθοδος Markov. Αν η μέθοδος αυτή μπορεί να αντιμετωπιστεί ως μια σειρά από μεταβάσεις μεταξύ συγκεκριμένων τιμών (καταστάσεις της μεθόδου), ονομάζεται ‘Markov chain’. Για αλλαγές στην κάλυψη γης, οι καταστάσεις του συστήματος ορίζονται ως οι επιλεγμένες κατηγορίες κάλυψης γης. Ο αριθμός αυτός των πιθανών καταστάσεων είναι είτε πεπερασμένος είτε γενικά μετρήσιμος.

Για την προτυποποίηση των αλλαγών κάλυψης γης με τη μέθοδο ‘Markov chain’, η κατανομή των καλύψεων γης τη χρονική στιγμή t_2 , υπολογίζεται από την αρχική κατανομή τους την χρονική στιγμή t_1 μέσω του πίνακα μετάβασης και εκφράζεται από τη σχέση:

$$u_{t_2} = M \times u_{t_1} \quad (15),$$

όπου:

u_{t_1} : τα δεδομένα εισόδου (πίνακας στήλη των πιθανοτήτων κάλυψης γης),

u_{t_2} : τα δεδομένα εξόδου (πίνακας στήλη των πιθανοτήτων κάλυψης γης την δεύτερη χρονική στιγμή),

M : ο πίνακας μετάβασης διαστάσεων $m \times m$ για το χρονικό διάστημα $\Delta t = t_2 - t_1$.

Η πιθανότητα p_{ij} μετάβασης μεταξύ ενός ζευγους καταστάσεων είναι εύκολο να υπολογιστεί διαιρώντας την τιμή του κελιού n_{ij} του πίνακα αλλαγής/μη αλλαγής με την ανά γραμμή οριακή συχνότητα n_i .

$$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} \Leftrightarrow p_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_{j=1}^q n_{ij}} \quad (16)$$

Όταν οι πιθανότητες μετάβασης εξαρτώνται μόνο από το χρονικό διάστημα t , και αν το διάστημα στο οποίο εφαρμόζεται η μέθοδος δεν χαρακτηρίζεται από σχετικότητα, η μέθοδος ‘Markov chain’ θεωρείται στάσιμη ή ομοιογενής σε σχέση με το χρόνο.

Η σταθερότητα της μεθόδου μπορεί να ελεγχθεί και να αξιολογηθεί όταν μπορούν να υπολογιστούν δυο πίνακες μετάβασης κάλυψης γης από δυο χρονικά διαστήματα, ύστερα από προσαρμογή σε αντίστοιχα διαστήματα βαθμονόμησης. Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω λογαριθμικών σχέσεων.

Στην έρευνα των Petit et al. [2000], δημιουργούνται τρεις πίνακες μετάβασης από τους τρεις πίνακες αλλαγής/μη αλλαγής, ένας για κάθε χρονικό διάστημα με χρονικά διάκενα 6, 5 και 11 χρόνια αντίστοιχα. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η κατανομή σταθερής ισορροπίας για τα τρία αποτελέσματα από ‘Markov chain’. Η βραχυπρόθεσμη στασιμότητα αποτελεσμάτων εξετάστηκε με παρεμβολή της κατανομής κάλυψης γης για το 1992 από τα αποτελέσματα ‘Markov’ διαστήματος 1986-1997 και στη συνέχεια συγκρίθηκε με την παρατηρούμενη κατανομή το 1992. Ομοίως έγινε παρεμβολή για πρόβλεψη των τιμών του 1997, με χρήση των δεδομένων του διαστήματος 1986-1992. Αποδείχθηκε ότι οι τρεις προβολές παρείχαν αποκλίνουσες κατανομές ισορροπίας, γεγονός που συνεπάγεται μη σταθερότητα της εξέλιξης. Ίσως αυτό σημαίνει ότι πολλές αλλαγές ορισμένων κατηγοριών συνέβησαν απότομα και όχι σταδιακά.

Γενικά, με τη μέθοδο ‘Markov chain’ γίνεται εφικτό να εξαχθούν συμπεράσματα για μελλοντική εξέλιξη από παρατηρήσεις των πρόσφατων δεδομένων. Οι προβλέψεις που προέκυψαν στην έρευνα των Petit et al. [2000], δεν είναι τόσο αξιόπιστες λόγω της μη ισχύουσας υπόθεσης ότι οι πιθανότητες μετάβασης θα παρέμειναν σταθερές. Ίσως το χρονικό διάστημα μελέτης να ήταν μικρό για να καταγραφεί η διαδικασία των αλλαγών κάλυψης γης με όλη της την πολυπλοκότητα, και γι αυτό ενδείκνυται η εφαρμογή της μεθοδολογίας σε εικόνες μεγαλύτερης χρονικής απόκλισης.

Η πρόβλεψη της κάλυψης γης απασχόλησε και τους ερευνητές Lopez et al. [2001], με περιοχή μελέτης στο Μεξικό. Η παρατήρηση της αλλαγής των χρήσεων γης έγινε μελετώντας την περιοχή για 35 χρόνια, μέσω γεωμετρικά διορθωμένων παγχρωματικών αεροφωτογραφιών και με τη βοήθεια Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Στην συνέχεια έγινε προβολή της αλλαγής στην κάλυψη και στη χρήση γης χρησιμοποιώντας ‘Markov Chain’ μεθόδους. Στην έρευνα μελετήθηκε η συσχέτιση μεταξύ της αστικής ανάπτυξης και της αλλαγής του τοπίου της περιοχής και η σχέση μεταξύ της αστικής ανάπτυξης και της πληθυσμιακής αύξησης. Η ανάλυση των πινάκων που εξάγονται από την Markov ανάλυση έδειξαν ποια πόλη από την περιοχή είναι εκείνη με την μεγαλύτερη αλλαγή και ποιες κατηγορίες είναι

εκείνες με την μικρότερη και μεγαλύτερη αλλαγή. Η αλλαγή σε κάλυψη γης αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας πρώτου και δεύτερου τύπου ‘Markov chain’ ανάλυση για τις περιόδους από 1960-1975 και 1975-1990, που αποτελούν και τις χρονιές των αεροφωτογραφιών.

Συμπερασματικά, από την υπάρχουσα βιβλιογραφία διαπιστώνεται πως η επεξεργασία διαχρονικής πληροφορίας χρήσης/κάλυψη γης, προερχόμενη από δορυφορικά δεδομένα, μπορεί να υλοποιηθεί με αρκετούς διαφορετικούς τρόπους. Ανάλογα με την μεθοδολογία απαιτούνται συνήθως και διαφορετικά συμπληρωματικά δεδομένα εισόδου. Είναι προφανές πως κάθε διαδικασία έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, μια αρχική αξιοποίηση των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων θα γίνει προσπάθεια να παρουσιαστεί με την βοήθεια απλών οικονομετρικών προτύπων τύπου ‘logit’ με την ενσωμάτωση επιπρόσθετης πληροφορίας.

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1. Επιλογή Εικόνων

Οι πέντε Landsat εικόνες μελέτης προμηθεύτηκαν από την επιστημονική υπηρεσία της κυβέρνησης των Ηνωμένων Πολιτειών ‘United States Geological Survey’ (USGS). Οι ακριβείς ημερομηνίες καταγραφής των δορυφορικών δεδομένων είναι:

- 1^η εικόνα: 4 Αυγούστου 1984
- 2^η εικόνα: 17 Σεπτεμβρίου 1991
- 3^η εικόνα: 20 Μαΐου 2000
- 4^η εικόνα: 12 Οκτωβρίου 2003
- 5^η εικόνα: 12 Αυγούστου 2010

Η επιλογή και η απόκτηση των εικόνων έγινε ύστερα από εγγραφή στην υπηρεσία GLOVIS (Global Visualization Viewer) του οργανισμού USGS. Οι εικόνες του 1984, του 2003 και του 2010 προέρχονται από τον Θεματικό Χαρτογράφο Landsat 5 TM, η εικόνα του 1991 από τον Landsat 4 TM, ενώ η εικόνα του 2000 από τον Landsat 7 ETM+. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διατιθέμενες εικόνες για την Αττική δεν ήταν πολλές στο χρονικό διάστημα μεταξύ του 1984 μέχρι και σήμερα. Η ύπαρξη δυσμενών καιρικών συνθηκών σε ορισμένες διαθέσιμες εικόνες στην περιοχή ενδιαφέροντος δυσκόλεψε ακόμα περισσότερο την επιλογή εικόνων, καθώς έπρεπε να απέχουν και χρονικά μεταξύ τους μερικά χρόνια.

Και για τις πέντε εικόνες οι γήινες συντεταγμένες των αρχικών δεδομένων έχουν προέλθει από το ελλειψοειδές αναφοράς, όπως ορίζεται από το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (WGS84). Στη συνέχεια, οι γήινες συντεταγμένες προβάλλονται σε δύο διαστάσεις σύμφωνα με την Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (UTM) που αναπτύχθηκε από μηχανικούς στο Αμερικανικό Σώμα Στρατού. Η προβολή είναι σύμμορφη και διατηρεί τις γωνίες και τα σχήματα, ενώ παραμορφώνει τις αποστάσεις και τις επιφάνειες. Για να είναι σύμμορφη η προβολή από το ελλειψοειδές χρησιμοποιείται μη γραμμική κλίμακα στην ανατολική και βόρεια διεύθυνση.

Το προβολικό αυτό σύστημα είναι αρκετά σύνθετο καθώς διαχωρίζεται σε 60 ζώνες, κάθε μια από τις οποίες βασίζεται σε συγκεκριμένη διατέμνουσα γραμμή της Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής, ώστε να περιορίζονται οι παραμορφώσεις. Κάθε ζώνη έχει πλάτος 6° κατά γεωγραφικό μήκος με κέντρο έναν μεσημβρινό (περίπου 800 km). Η πρώτη ζώνη οριοθετείται μεταξύ του γεωγραφικού μήκους 180° – 174° W με κέντρο τον 177 Δυτικό Μεσημβρινό. Η αύξουσα σειρά των ζωνών είναι προς τα ανατολικά και η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην 34 ζώνη. Το γεωγραφικό πλάτος μέσα στη ζώνη εκφράζεται με κανάλια στο όνομα της αλφαβήτου. Ένας πιο απλός τρόπος διαχωρισμού είναι βόρειου (N) και νότιου (S) ημισφαιρίου. Ο συνδυασμός της ζώνης και του καναλιού γεωγραφικού πλάτους ορίζει τη ζώνη του κανάβου που στην προκειμένη περίπτωση είναι 34 N σε όλες τις εικόνες.

Οι ημερομηνίες λήψης όλων των εικόνων είναι σε ξηρή περίοδο, πλην της εικόνας του 2000. Σε αυτήν την εικόνα ενδέχεται να δημιουργηθεί μικρό πρόβλημα κατά την ταξινόμηση και σύγκριση των ταξινομήσεων σε σχέση με τη βλάστηση, όπου σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να είναι εποχική.

3.2. Χαρακτηριστικά Δορυφόρων Landsat 4, 5, 7

Στην εφαρμογή της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο Θεματικός Χαρτογράφος του δορυφόρου Landsat 5 TM σε τρεις από τις πέντε δορυφορικές απεικονίσεις (1984, 2003 και 2010), ο Landsat 4 TM για το 1991, και ο Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος Landsat 7 ETM+ στη δορυφορική απεικόνιση του 2000. Ο τρόπος καταγραφής των εικόνων για τους παραπάνω δορυφόρους ήταν η σάρωση σε πολλαπλά περάσματα (ένα για κάθε εικονοστοιχείο) και η καταγραφή της ανακλαστικότητας σε επτά διακριτά φασματικά κανάλια. Στην συνέχεια αναφέρονται μερικές χρήσιμες πληροφορίες για τους Landsat δορυφόρους και τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους.

Ο πρώτος Landsat δορυφόρος (ERTS-1) εκτοξεύτηκε το 1972 με σκοπό την απόκτηση συστηματικών, επαναλαμβανόμενων, μεσαίας χωρικής ανάλυσης και πολυφασματικών δεδομένων. Η αρχική ανάλυση ήταν στα 79 m x 79 m και τα κανάλια επτά. Οι αισθητήρες που ακολούθησαν βελτιώθηκαν ως προς τη χωρική και ραδιομετρική ανάλυση, ως προς την ακρίβεια των μετρήσεων και περιόρισαν σημαντικά προβλήματα των προηγούμενων. Ο δορυφόρος παρείχε δεδομένα για έξι χρόνια, αν και ο προδιαγραφόμενος χρόνος ζωής του δορυφόρου ήταν μόλις ο ένας χρόνος.

Ο Landsat 4, που εκτοξεύτηκε το 1982, με δυνατότητα καταγραφής εικόνας που αντιστοιχεί σε επιφάνεια εδάφους διαστάσεων 185 km x 185 km, έχει χωρική ανάλυση εικονοστοιχείου στα 30 m x 30 m και με περιοδική τροχιά στις 16 μέρες. Ο Landsat 5 αποτελεί τον πέμπτο κατά σειρά του ‘προγράμματος Landsat’ (πρόγραμμα απόκτησης δορυφορικών εικόνων της γης το οποίο διαχειρίζεται από τον οργανισμό USGS), εκτοξεύτηκε την 1^η Μάρτη του 1984 και έχει ακριβώς την ίδια τροχιά και χαρακτηριστικά εικόνας με τον προηγούμενο δορυφόρο. Αν και η προγραμματισμένη διάρκεια ζωής του δορυφόρου ήταν τρία χρόνια, μέχρι και σήμερα παρέχει αξιόπιστη πληροφορία. Ο Landsat 6, που εκτοξεύτηκε το 1993, δεν κατάφερε να διατηρήσει την τροχιά του. Ο Landsat 7 εκτοξεύτηκε στις 15 Απριλίου του 1999 και επίσης έχει ακριβώς την ίδια τροχιά και χαρακτηριστικά εικόνας με τους δορυφόρους Landsat 4 και 5. Σήμερα μόνο οι δορυφόροι Landsat 5 και 7 είναι λειτουργικοί. Η περιοδικότητα της τροχιάς των δορυφόρων Landsat ανά 16 ημέρες, ακριβώς πάνω από την ίδια περιοχή, σε σταθερή ώρα, επιτρέπει να επιτυγχάνονται επαναλαμβανόμενες συνθήκες φωτισμού με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ραδιομετρικές διαφορές σε περίπτωση λήψης εικόνων της περιοχής την ίδια ημέρα διαφορετικής χρονιάς.

Ο προγραμματισμός αυτής της ομάδας των δορυφόρων ξεκίνησε από την NASA και σήμερα τις εικόνες διαχειρίζεται και διανέμει ο οργανισμός USGS μέσω του συστήματος κέντρου δεδομένων EROS.

Συνοψίζοντας, ο Landsat TM είναι ένας θεματικός χαρτογράφος που καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία της επιφάνειας της γης σε επτά κανάλια. Το μέγεθος του εικονοστοιχείου είναι 30 m x 30 m για το ορατό, το εγγύς και το μέσο υπέρυθρο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Για το έκτο κανάλι (θερμικό), η ανάλυση είναι στα 120 m x 120 m (τέσσερις φορές μικρότερη χωρική ανάλυση) εξαιτίας του ότι για την καταγραφή της πληροφορίας στο κανάλι αυτό, χρησιμοποιούνται τέσσερις φορές λιγότεροι ανιχνευτές για την σάρωση. Οι πολυφασματικοί αισθητήρες (MSS), σε αντίθεση με τον Θεματικό Χαρτογράφο (TM), μέχρι τότε κατέγραφαν σε τέσσερα κανάλια από το ορατό πράσινο μέχρι το εγγύς υπέρυθρο, και μόνο ο Landsat 3 είχε ένα πέμπτο κανάλι για την καταγραφή του θερμικού τμήματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Κανάλι	Εύρος Μήκους Κύματος ΗΜ Ακτινοβολίας	Φασματική Θέση	Εφαρμογές
1	0.45-0.52	Μπλε	Χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών και δασικών περιοχών αλλά και για τη διάκριση ειδών φυτοκάλυψης και ανθρωπογενών κατασκευών.
2	0.52-0.60	Πράσινο	Χρησιμοποιείται για τη διάκριση διαφόρων ειδών φυτοκάλυψης και ανθρωπογενών κατασκευών.
3	0.63-0.69	Κόκκινο	Χρησιμοποιείται για τη διάκριση διαφόρων ειδών φυτοκάλυψης και ανθρωπογενών κατασκευών.
4	0.76-0.90	Εγγύς Υπέρυθρο	Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ειδών βλάστησης, της βιομάζας, για την ανάδειξη υδάτινων επιφανειών και της περιεχόμενης υγρασίας εδάφους.
5	1.55-1.75	Μέσο Υπέρυθρο	Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας εδάφους, της υγρασίας των φυτών και για τη διάκριση των νεφών.
6	10.4-12.5	Θερμικό Υπέρυθρο	Χρησιμοποιείται για την ανάδειξη διαφορών στην περιεχόμενη υγρασία του εδάφους και για την εύρεση ασθενειών στη βλάστηση.
7	2.08-2.35	Μέσο Υπέρυθρο	Χρησιμοποιείται για την ανάδειξη ορυκτών και πετρωμάτων και της περιεχόμενης υγρασίας εδάφους.
	0.5-0.9	Παγχρωματικό (ETM+)	Χρησιμοποιείται για τη διάκριση ανθρωπογενών κατασκευών, για τη χαρτογράφηση ακτών αλλά και για τη διάκριση εδαφοκάλυψης εξαιτίας της μεγαλύτερης χωρικής διακριτικής ικανότητας του καναλιού.

Πίνακας 3.1: Φασματικά κανάλια και εφαρμογές για τον Landsat TM και Landsat ETM+.

Για τον Landsat 7 ETM+ η χωρική ανάλυση των έξι καναλιών είναι επίσης στα 30 m x 30 m. Μερικές φορές, αν έχει υποστεί γεωμετρική διόρθωση μια εικόνα μπορεί να έχει γίνει αναδόμηση ψηφιακών τιμών φωτεινότητας με μέγεθος εικονοστοιχείου στα

28.5 m. Το θερμικό κανάλι του Landsat 7 (ETM+) έχει μισή χωρική ανάλυση από τα υπόλοιπα κανάλια, δηλαδή 60 m x 60 m. Ο δορυφόρος αυτός είναι εφοδιασμένος με ένα επιπλέον παγχρωματικό κανάλι με διπλάσια χωρική ανάλυση από των έξι καναλιών. Στον Πίνακα 3.1 αναγράφονται τα στοιχεία της φασματικής ανάλυσης των δύο δορυφόρων.

Στο δεύτερο κανάλι ουσιαστικά αποτυπώνεται το μέγιστο της ανάκλασης της φασματικής καμπύλης της βλάστησης, ενώ το τρίτο κανάλι σχεδιάστηκε για να καταγράφει την περιοχή απορρόφησης της χλωροφύλλης. Για τη διάκριση ανθρωπογενών κατασκευών, που αποτελούν και το αντικείμενο ενδιαφέροντος, ενδείκνυται η χρήση από το ορατό φάσμα του μπλε καναλιού και από τα υπέρυθρα, του εγγύς και των μέσων υπέρυθρων.

3.3. Γεωμετρική Διόρθωση και Επιλογή Περιοχής Μελέτης

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στις γεωμετρικές διορθώσεις ψηφιακών εικόνων τηλεπισκόπησης. Η γεωμετρική διόρθωση των εικόνων αποτελεί τη διαδικασία ευθυγράμμισης ως προς τη μετάθεση και τη στροφή, με την οποία οι δύο εικόνες παρόμοιων γεωμετριών και του ίδιου συνόλου δεδομένων συμπίπτουν, λαμβάνοντας υπόψη η μια την άλλη, και με αυτό τον τρόπο τα αντίστοιχα στοιχεία της ίδιας περιοχής εμφανίζονται στο ίδιο μέρος των γεωμετρικά διορθωμένων εικόνων [Haralick et al., 1973]. Μια εικόνα Landsat δεν αρκεί να έχει υποστεί αναγωγή, δηλαδή να έχει απομακρυνθεί η εκτροπή λόγω αναγλύφου, είναι επίσης σημαντικό το ζευγάρι εικόνων να έχει συσχετιστεί καλά όχι μόνο μεταξύ του, αλλά και σε σχέση με τα δεδομένα αναφοράς που θα χρησιμοποιηθούν για τη λήψη δεδομένων ελέγχου στην αξιολόγηση της ταξινόμησης. Συνήθως σε ένα ζευγάρι εικόνων, σχετίζεται η μια εικόνα με το σύστημα προβολής όπως ορίζεται από τον οργανισμό United State Geological Survey (USGS) με χρήση ορθοφωτογραφίας, και η δεύτερη σχετίζεται στη συνέχεια με την πρώτη. Ενδείκνυται σε κάθε μετασχηματισμό να προκύπτει αποδεκτό RMSE μικρότερο του 0.5 pixel, σύμφωνα με πολλές βιβλιογραφικές αναφορές, και η νέα εικόνα κάθε μετασχηματισμού να προκύπτει ύστερα από αναδόμηση τιμών με την εφαρμογή ‘Εγγύτερου Γείτονα’, ώστε να μην υπάρχει μεταβολή των αρχικών τιμών.

Συχνά, για το πρόβλημα της μη ικανοποιητικής γεωμετρικής ταύτισης των εικόνων σε περιπτώσεις εφαρμογών ανίχνευσης αλλαγών εφαρμόζονται διάφορα μοντέλα μείωσης θορύβου που προκαλείται από τη μη σωστή γεωαναφορά των διαχρονικών εικόνων. Η επιτυχία των μοντέλων έγκειται στην προσπάθεια προσδιορισμού της τάσης των σφαλμάτων. Το κόστος εφαρμογής τους πρέπει να αντισταθμίζεται από το βελτιωμένο αποτέλεσμα της ανίχνευσης. Η χρήση τους ενδείκνυται για εικόνες πολύ υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας, όπου οι αλλαγές αναμένονται μικρότερες από το μέγεθος ενός εικονοστοιχείου [Stow, 1998].

Η γεωμετρική διόρθωση μιας εικόνας πραγματοποιείται με βάση ορθή, δηλαδή ανηγμένη εικόνα ή χάρτη. Πρόκειται ουσιαστικά για εξάλειψη των συστηματικών σφαλμάτων με τη χρήση παραμετρικών ή μη παραμετρικών μοντέλων γεωμετρικών διορθώσεων. Για το σχηματισμό της γεωμετρικά διορθωμένης εικόνας απαιτείται επίσης αναδόμηση των ψηφιακών τιμών φωτεινότητας κάθε εικονοστοιχείου της

διορθωμένης εικόνας. Η αναδόμηση πραγματοποιείται είτε με τη μέθοδο του εγγύτερου γείτονα όπου για το προσδιορισμό της ψηφιακής τιμής λαμβάνει υπόψη τη τιμή εκείνου του εικονοστοιχείου της αρχικής εικόνας που είναι πλησιέστερο με βάση το νέο κάρναβο, είτε με τη διγραμμική μέθοδο κατά την οποία λαμβάνεται υπόψη ο μέσος όρος των τεσσάρων εγγύτερων εικονοστοιχείων ανάλογα με την απόσταση τους από το εικονοστοιχείο της διορθωμένης εικόνας είτε με την δικυβική παρεμβολή, όπου λαμβάνεται υπόψη ο μέσος όρος των δεκαέξι εγγύτερων εικονοστοιχείων. Στην τελευταία μέθοδο, το αποτέλεσμα της εικόνας ομαλοποιείται σημαντικά σε σχέση με την αρχική.

Ο λόγος που η γεωμετρική διόρθωση είναι απαραίτητη είναι επειδή κάθε δορυφορική εικόνα παραμορφώνεται γεωμετρικά κατά την λήψη της. Μερικοί παράγοντες που παραμορφώνουν την γεωμετρία της εικόνας έχουν σχέση με την αλληλεπίδραση του συστήματος δορυφόρου-γης και είναι α) η κίνηση του φορέα (δορυφόρου), β) η περιστροφή της γης, γ) η επίδραση της καμπυλότητας της γης κ.α.. Επιπλέον, η παραμόρφωση που υφίσταται μία δορυφορική εικόνα εξαρτάται από τον τρόπο λειτουργίας του φασματικού σαρωτή (συστήματος λήψης) και κατά συνέπεια του τρόπου καταγραφής της εικόνας.

Για το Θεματικό Χαρτογράφο Landsat 4, 5, αλλά και για τον Landsat 7 από τους οποίους προέρχονται οι εικόνες ισχύει πως η σάρωση των εικονοστοιχείων πραγματοποιείται σειριακά, δηλαδή κάθε εικονοστοιχείο καταγράφεται σε διαφορετική χρονική στιγμή. Αυτό συνεπάγεται ότι κατά τη λήψη της δορυφορικής εικόνας μεταβάλλεται συνεχώς η σχετική θέση δορυφόρου και γης. Το τελικό συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι το μοντέλο της γεωμετρικής παραμόρφωσης για τον Θεματικό Χαρτογράφο είναι διαφορετικό για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας. Οι παραμορφώσεις που υφίσταται μία εικόνα μπορεί να είναι γραμμικές ή μη γραμμικές. Για την απάλειψή τους χρησιμοποιούνται παραμετρικά και μη παραμετρικά μοντέλα. Αρχικά, τα συστηματικά σφάλματα των δορυφορικών εικόνων εξαλείφονται με τη χρήση παραμετρικών μοντέλων γεωμετρικών διορθώσεων.

Τα εναπομείναντα αποτελούν τα τυχαία σφάλματα και γίνεται προσπάθεια εξάλειψής τους με χρήση μη παραμετρικών μοντέλων γεωμετρικών παραμορφώσεων, δηλαδή πολυωνυμικών μοντέλων των οποίων οι σταθεροί όροι προκύπτουν με μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων από τις γνωστές συντεταγμένες ομοιόμορφα διασκορπισμένων στην δορυφορική εικόνα σημείων επίγειου ελέγχου, αλλά και στην εικόνα αναφοράς (πχ χάρτης). Η εφαρμογή τους γίνεται κυρίως για την περαιτέρω διόρθωση της γεωμετρίας της εικόνας αλλά και για την διόρθωση από υπολοιπόμενες παραμορφώσεις. Από τα πολυωνυμικά μοντέλα που εφαρμόζονται συνήθως είναι ο γραμμικός (αφινικός) μετασχηματισμός με εξισώσεις 1^{ου} βαθμού για εξάλειψη παραμορφώσεων μετάθεσης, στροφής και κλίμακας, αλλά και πολυωνυμικοί μετασχηματισμοί εξισώσεων 2^{ου} και 3^{ου} βαθμού που επιτρέπουν την εξάλειψη και μη γραμμικών παραμορφώσεων.

Ανάλογα με τους αγνώστους των εξισώσεων μετασχηματισμού των συντεταγμένων απαιτούνται και διαφορετικά στο σύνολο γνωστά ζεύγη συντεταγμένων. Αυτά τα σημεία ορίζονται ως σημεία επίγειου ελέγχου και πρέπει να είναι δυνατόν να εντοπιστούν τόσο στην δορυφορική εικόνα όσο και στον χάρτη αναφοράς ή και στις δυο δορυφορικές εικόνες αν πρόκειται για περίπτωση αναγωγής εικόνας προς εικόνα. Εναλλακτικά, μπορούν να προσδιοριστούν με μετρήσεις στο πεδίο. Από την εύρεση

των καλύτερων τιμών των σταθερών όρων υπολογίζονται οι καλύτερες προβλεπόμενες τιμές των συντεταγμένων των σημείων στην εικόνα και από εκεί το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των συντεταγμένων. Σε κάθε περίπτωση, το σφάλμα αυτό πρέπει να είναι μικρότερο από τη μονάδα, που εκφράζει ουσιαστικά σφάλμα μικρότερο από τη μονάδα ανάλυσης της εικόνας που είναι το εικονοστοιχείο (30m).

Σύμφωνα με την υπηρεσία GLOVIS, οι δορυφόροι Landsat 4,5 και 7 που χρησιμοποιήθηκαν παρέχουν γεωμετρικά διορθωμένες εικόνες από το 1984 με ενιαίο σύστημα συντεταγμένων και συγκεκριμένο προβολικό σύστημα ανά περιοχή. Η υπηρεσία GLOVIS παρέχει και τα μεταδεδομένα κάθε εικόνας ώστε να υπάρχει πλήρης αναφορά της επεξεργασίας που έχει επεξεργαστεί μια εικόνα αλλά και γενικά των ιδιοτήτων της. Τα πιο σημαντικά από αυτά συνοψίζονται στους Πίνακες που ακολουθούν.

Σύμφωνα με τις αναφορές στο χαρακτηριστικό ‘WRS Row’, όλες οι εικόνες λαμβάνουν την τιμή 34 που αντιστοιχεί, όπως έχει προαναφερθεί, στο Βόρειο Ημισφαίριο (γεωγραφικό πλάτος κεντρικής γραμμής της εικόνας Landsat. Το χαρακτηριστικό ‘WRS Type’ λαμβάνει την τιμή 2 για τους δορυφόρους Landsat 4 και 5.

Για τις εικόνες του 1991, 2003, 2010, αλλά και για την εικόνα από Landsat 7 (2000), σύμφωνα με τους Πίνακες 3.2 και 3.3, το χαρακτηριστικό ‘Data Type Level 1’ που αναφέρεται στην ποιότητα των προϊόντων στο επίπεδο 1 και στην επεξεργασία που έχουν υποστεί, λαμβάνει την τιμή L1T (Level 1T). Η ένδειξη αυτή σημαίνει πως στα προϊόντα παρέχεται συστηματική και ραδιομετρική ακρίβεια συμπεριλαμβάνοντας σημεία επίγειου ελέγχου, λαμβάνοντας επίσης υπόψη για τοπογραφική ακρίβεια Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας. Η γεωδαιτική ακρίβεια του προϊόντος εξαρτάται από την ακρίβεια των διαθέσιμων επίγειων σημείων ελέγχου και από την ανάλυση του καλύτερου διατιθέμενου Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους που χρησιμοποιήθηκε. Όταν η ποιότητα των εικόνων βαθμολογείται κοντά στο 9 και εμφανίζουν μικρότερο από 40% ποσοστό κάλυψης από σύννεφα, τότε εκτελείται άμεσα η διαδικασία της διόρθωσης, ενώ αν η νεφοκάλυψη είναι μεγαλύτερη τότε τα δεδομένα διατίθενται για επεξεργασία στο GLOVIS ή στον οργανισμό Earth Explorer.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

Χαρακτηριστικά Δεδομένων	Τιμές χαρακτηριστικών (1984)	Τιμές χαρακτηριστικών (1991)	Τιμές χαρακτηριστικών (2003)	Τιμές χαρακτηριστικών (2010)
Landsat Scene Identifier	LT51830341984 217AAA07	LT41830341991 260XXX01	LT51830342003 285MTI01	LT51830342010 224MOR00
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5	LANDSAT_4	LANDSAT_5	LANDSAT_5
Sensor Mode	N/A	N/A	N/A	BUMPER
Station Identifier	AAA	XXX	MTI	MOR
Day Night	DAY	DAY	DAY	DAY
WRS Path	183	183	183	183
WRS Row	34	34	34	34
WRS Type	2	2	2	2
Data Category	NOMINAL	NOMINAL	NOMINAL	NOMINAL
Date Acquired	04/08/1984	17/09/1991	12/10/2003	12/08/2010
Start Time	1984:217:08:34:19.270 15	1991:260:08:18:33.4958 1	2003:285:08:42:45.707 94	2010:224:08:55:14.2649 4
Stop Time	1984:217:08:34:45.883 15	1991:260:08:19:00.1058 8	2003:285:08:43:12.320 81	2010:224:08:55:40.8778 8
Data Type Level 1	PROCESSING REQUIRED	TM L1T	TM L1T	TM L1T
Sensor Anomalies	RADIOMETRIC_CALI BRATION_DATA	N	BUMPER_MODE	N
Acquisition Quality	9	7	9	7
Quality Band 1-7	9	7	9	7
Cloud Cover	10	0	0	0.13
Cloud Cover Quadrant Upper Lef	10	0	0	0.36
Cloud Cover Quadrant Upper Rig	10	0	0	0
Cloud Cover Quadrant Lower Lef	0	0	0	0.14
Cloud Cover Quadrant Lower Rig	0	0	0	0
Sun Elevation	56	44.90138146	40.40661367	58.83638779
Sun Azimuth	119	133.6012801	149.648448	129.7690445
Scene Center Latitude	37.49266 (37°29'33.58"N)	37.50297 (37°30'10.69"N)	37.47941 (37°28'45.88"N)	37.48078 (37°28'50.81"N)
Scene Center Longitude	23.01898 (23°01'08.33"E)	23.00772 (23°00'27.79"E)	23.11729 (23°07'02.24"E)	23.11729 (23°07'02.24"E)
Corner Upper Left Latitude	38.42802 (38°25'40.87"N)	38.43834 (38°26'18.02"N)	38.41475 (38°24'53.10"N)	38.41612 (38°24'58.03"N)
Corner Upper Left Longitude	22.21527 (22°12'54.97"E)	22.20391 (22°12'14.08"E)	22.31369 (22°18'49.28"E)	22.31368 (22°18'49.25"E)
Corner Upper Right Latitude	38.12528 (38°07'31.01"N)	38.13556 (38°08'08.02"N)	38.11207 (38°06'43.45"N)	38.11343 (38°06'48.35"N)
Corner Upper Right Longitude	24.29428 (24°17'39.41"E)	24.28321 (24°16'59.56"E)	24.39234 (24°23'32.42"E)	24.39237 (24°23'32.53"E)
Corner Lower Left Latitude	36.84761 (36°50'51.40"N)	36.85794 (36°51'28.58"N)	36.83433 (36°50'03.59"N)	36.83570 (36°50'08.52"N)
Corner Lower Left Longitude	21.76420 (21°45'51.12"E)	21.75276 (21°45'09.94"E)	21.86275 (21°51'45.90"E)	21.86272 (21°51'45.79"E)
Corner Lower Right Latitude	36.55104 (36°33'03.74"N)	36.56133 (36°33'40.79"N)	36.53781 (36°32'16.12"N)	36.53918 (36°32'21.05"N)
Corner Lower Right Longitude	23.80156 (23°48'05.62"E)	23.79038 (23°47'25.37"E)	23.89976 (23°53'59.14"E)	23.89977 (23°53'59.17"E)
Browse Exists	Yes	Yes	Yes	Yes

Πίνακας 3.2: Μεταδεδομένα εικόνων 1984, 1991, 2003 και 2010.

Χαρακτηριστικά Δεδομένων	Τιμές χαρακτηριστικών (2000)	Χαρακτηριστικά Δεδομένων	Τιμές χαρακτηριστικών (2000)
Landsat Scene Identifier	LE71830342000 141EDC00	Corner Lower Right Latitude	36.50840 (36°30'30.24"N)
Sensor Mode	N/A	Corner Lower Right Longitude	23.88170 (23°52'54.12"E)
Station Identifier	EDC	Scene Center Latitude	37.47600 (37°28'33.60"N)
Day Night	DAY	Scene Center Longitude	23.07040 (23°04'13.44"E)
WRS Path	183	Corner Upper Left Latitude	38.43740 (38°26'14.64"N)
WRS Row	34	Corner Upper Left Longitude	22.23590 (22°14'09.24"E)
Data Category	NOMINAL	Corner Upper Right Latitude	38.12450 (38°07'28.20"N)
Date Acquired	20/05/2000	Gain Band 1	H
Start Time	2000:141:08:56:57.3782633	Gain Band 2	H
Stop Time	2000:141:08:57:24.3511133	Gain Band 3	H
Data Type Level 1	ETM+ L1T	Gain Band 4	L
Full Aperture Calibration	N	Gain Band 5	H
Image Quality VCID 1	9	Gain Band 6 VCID1	L
Image Quality VCID 2	9	Gain Band 6 VCID 2	H
Cloud Cover	0.01	Gain Band 7	H
Cloud Cover Quadrant Upper Lef	0.01	Gain Band 8	L
Cloud Cover Quadrant Upper Rig	0.02	Gain Change Band 1	HH
Cloud Cover Quadrant Lower Lef	0.02	Gain Change Band 2	HH
Cloud Cover Quadrant Lower Rig	0	Gain Change Band 3	HH
Sun Elevation	64.2927322	Gain Change Band 4	LL
Sun Azimuth	126.5183945	Gain Change Band 5	HH
Corner Upper Right Longitude	24.38630 (24°23'10.68"E)	Gain Change Band 6 VCID 1	LL
Corner Lower Left Latitude	36.81460 (36°48'52.56"N)	Gain Change Band 6 VCID 2	HH
Corner Lower Left Longitude	21.77660 (21°46'35.76"E)	Gain Change Band 7	HH
Browse Exists	Y	Gain Change Band 8	LL

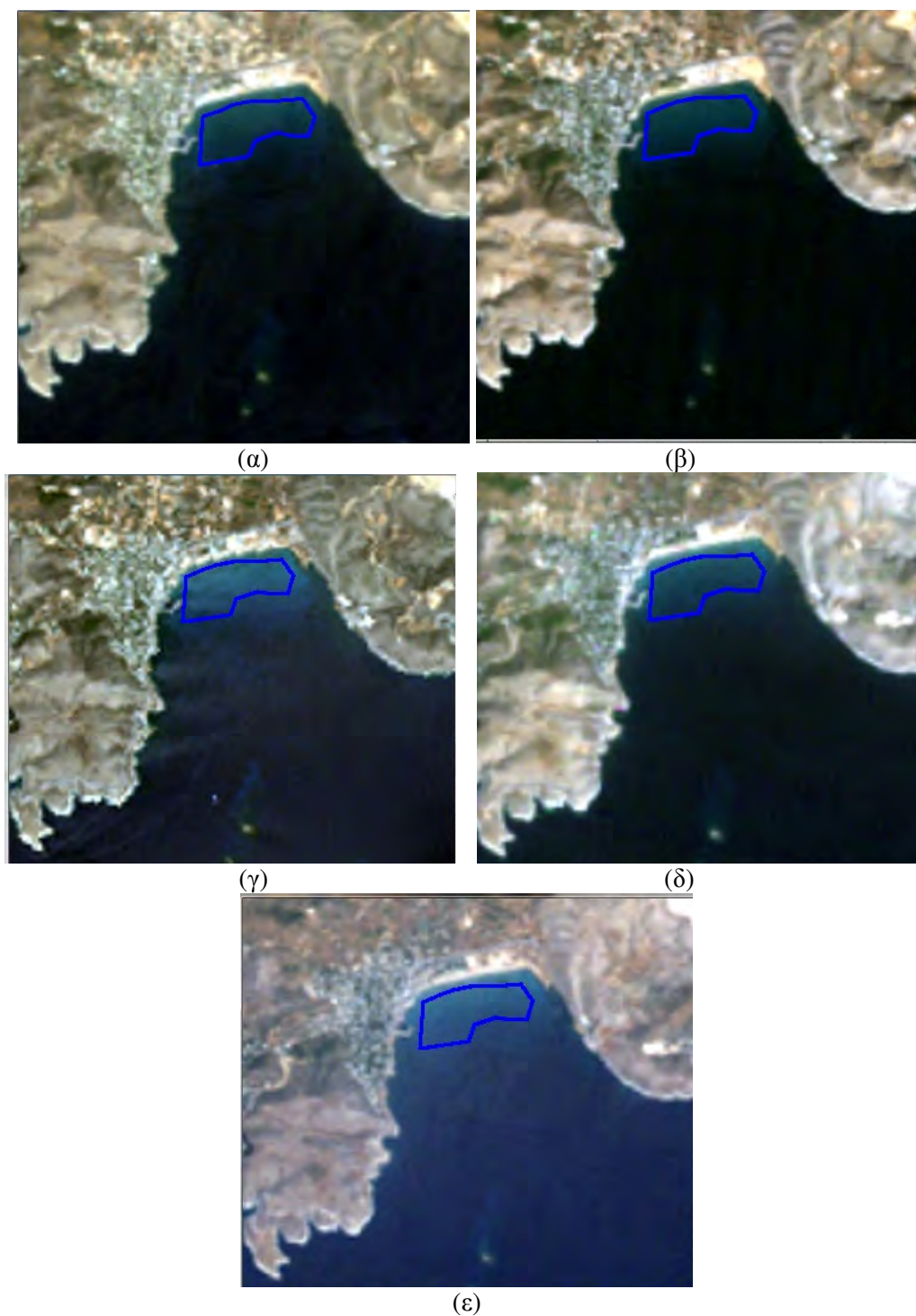
Πίνακας 3.3: Μεταδεδομένα εικόνας 2000.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στις επιλεγμένες εικόνες μόνο η εικόνα του 1984 είχε μια νεφοκάλυψη της τάξης του 10%, ενώ οι υπόλοιπες κοντά ή στο 0%. Η εικόνα του 1984 επίσης είναι η μόνη από τις πέντε που τα μεταδεδομένα υποδεικνύουν πως η διαδικασία της διόρθωσης δεν έχει γίνει ολοκληρωμένα. Ως προς τις τυχόν ανωμαλίες στον αισθητήρα, δεν εμφανίστηκαν για τις εικόνες 2010, 2000, 1991, ενώ για την εικόνα του 1984 εμφανίστηκαν ανωμαλίες στα ραδιομετρικά δεδομένα της εικόνας, ενώ το 2003 ο δορυφόρος ήταν σε κατάσταση ‘bumper’. Ως προς την ποιότητα απόκτησης δεδομένων για κάθε κανάλι δίνεται ένας μονοψήφιος αριθμός με βάση τόσο τα σφάλματα που προέκυψαν κατά την επεξεργασία των αρχείων καθώς επίσης και σφάλματα που προέκυψαν από χειροκίνητο έλεγχο. Η τιμή 9 αντιστοιχεί σε άριστη ποιότητα και σε τέτοια περίπτωση δεν έχουν ανιχνευτεί σφάλματα. Οι τιμές 7-8 αντιστοιχούν σε καλής ποιότητας δεδομένα, όπου εμφανίζονται μικρά έως ασήμαντα λάθη. Τιμές 5-6 σε μέτριας ποιότητας δεδομένα, ενώ οι τιμές 1-2 ιδιαίτερα κακής ποιότητας δεδομένα. Η τιμή 0 αντιστοιχεί σε έλλειψη τιμής. Τα κανάλια στην

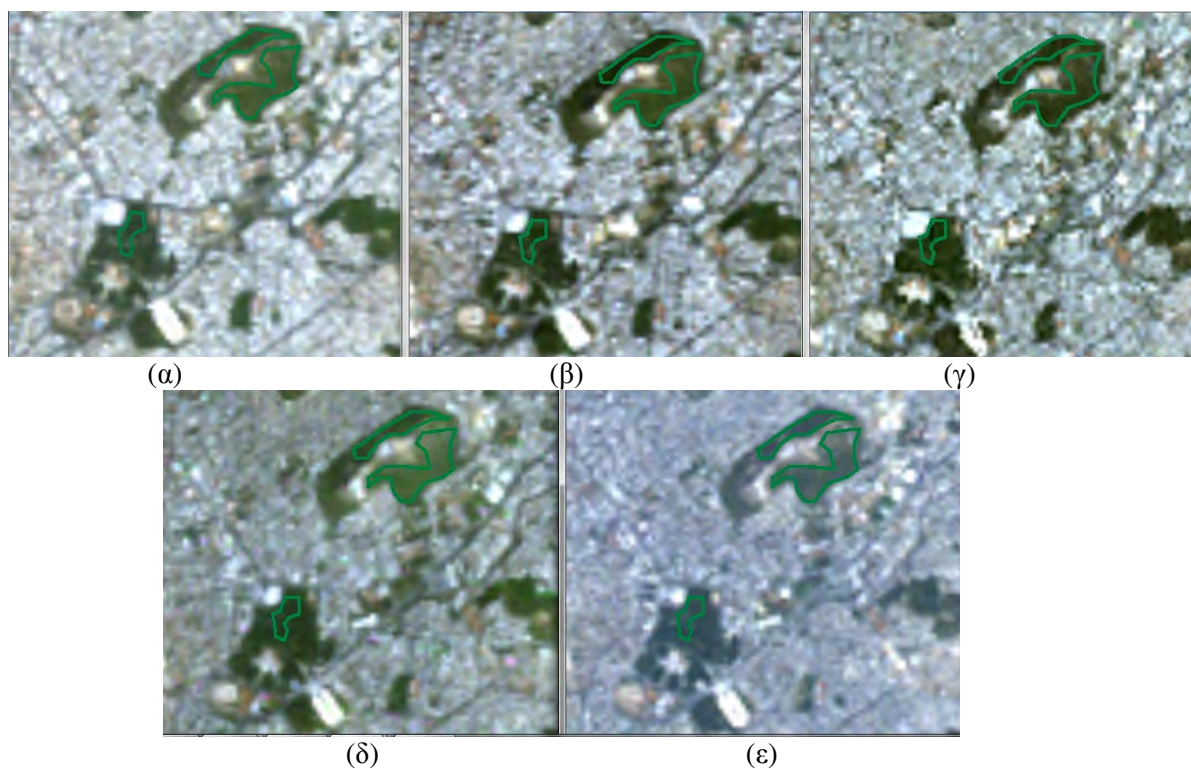
εικόνα του 1984 και του 2003 έχουν τιμή 9, ενώ για την εικόνα του 1991 και 2010 τιμές 7. Η εικόνα του 2000 που προέρχεται από τον δορυφόρο Landsat 7 εμφανίζει διαβάθμιση σε άλλες κλίμακες και τα κανάλια 1,2,3,5, 6_2 και 7 λαμβάνουν τον χαρακτηρισμό H (High), ενώ τα κανάλια 4, 6_1 και 8, τον χαρακτηρισμό L (Low). Παρουσιάζονται επίσης το αζιμούθιο για τον ήλιο, όπου σε όλες τις εικόνες έχει θετική τιμή, και για το ύψος του ηλίου με τιμές επίσης θετικές που υποδεικνύουν την λήψη των εικόνων στη διάρκεια της ημέρας. Τέλος, δίνονται οι τιμές γεωγραφικού πλάτους και μήκους για το κέντρο κάθε εικόνας, αλλά και οι ακραίες τιμές. Παρατηρείται πως όλες οι τιμές είναι θετικές που σημαίνει πως η εικόνα βρίσκεται Βορειοανατολικά σύμφωνα με το Σύστημα Αναφοράς που έχει οριστεί.

Σύμφωνα με τα μεταδεδομένα των εικόνων από της USGS-GLOVIS, η γεωμετρική διόρθωση των εικόνων 1991, 2000, 2003 και 2010 έχει υλοποιηθεί, ενώ για την εικόνα του 1984 συνίσταται να υλοποιηθεί. Εφόσον οι τέσσερις εικόνες είναι γεωμετρικά διορθωμένες και έχουν το ίδιο σύστημα αναφοράς, θα πρέπει να μην υπάρχει γεωμετρική απόκλιση των δεδομένων.

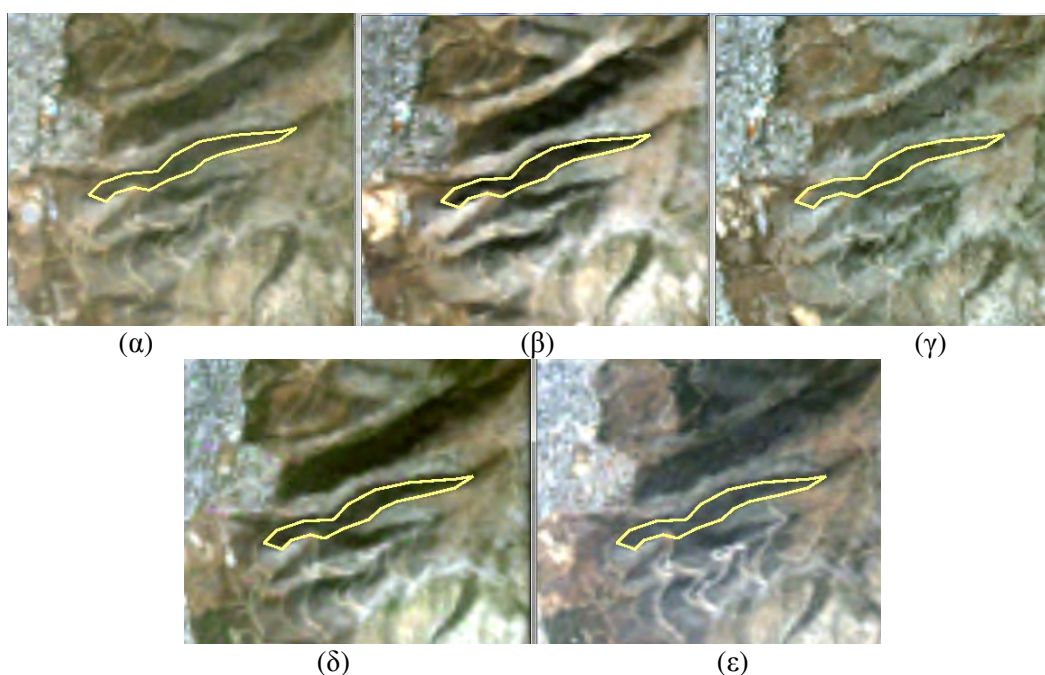
Ένας απλός τρόπος ελέγχου της γεωμετρικής ταύτισης των δεδομένων, χωρίς την εκ των προτέρων εφαρμογή γεωμετρικής διόρθωσης ήταν ο σχεδιασμός διανυσματικών δεδομένων χαρακτηριστικών σχηματισμών ή χαρακτηριστικών συνδυασμών αντικειμένων (πχ. οικοδομικών τετραγώνων μεταξύ δρόμων, αστικών δασικών εκτάσεων κ.α.) για μια από τις εικόνες και στη συνέχεια η επίθεση αυτού του διανυσματικού επιπέδου στις υπόλοιπες εικόνες (Εικόνες 3.1, 3.2 και 3.3). Βασική προϋπόθεση ήταν η διαχρονική φύση των αντικειμένων, δηλαδή ότι δεν άλλαξαν στον χρόνο. Ένας ακόμα αποτελεσματικός έλεγχος γεωμετρικής ταύτισης των εικόνων είναι τα διανυσματικά δεδομένα πλησίον ακτογραμμών. Τα διανυσματικά δεδομένα ορίστηκαν πάνω πιο πρόσφατη απεικόνιση (2010), και στη συνέχεια έγινε επίθεσή του στις εικόνες των προηγούμενων ετών. Η διαδικασία ήταν αυτόματη, δηλαδή το διανυσματικό επίπεδο τοποθετήθηκε αυτόματα σύμφωνα με τις συντεταγμένες του, και ο χρήστης δεν επενέβη στη διαδικασία αυτή. Από αυτόν τον έλεγχο αποδείχθηκε πως και η εικόνα του 1984 δεν παρουσιάζει γεωμετρικές αποκλίσεις σε όλη την περιοχή μελέτης, οπότε η υλοποίηση της δεν κρίθηκε αναγκαία.



Εικόνα 3.1: Επίθεση διανυσματικών δεδομένων ορισμένων στην εικόνα του 2010 (α), στις εικόνες (β) 2003, (γ) 2000, (δ) 1991 και (ε) 1984 (I).



Εικόνα 3.2: Επίθεση διανυσματικών δεδομένων ορισμένων στην εικόνα του 2010 (α), στις εικόνες (β) 2003, (γ) 2000, (δ) 1991 και (ε) 1984 (II).

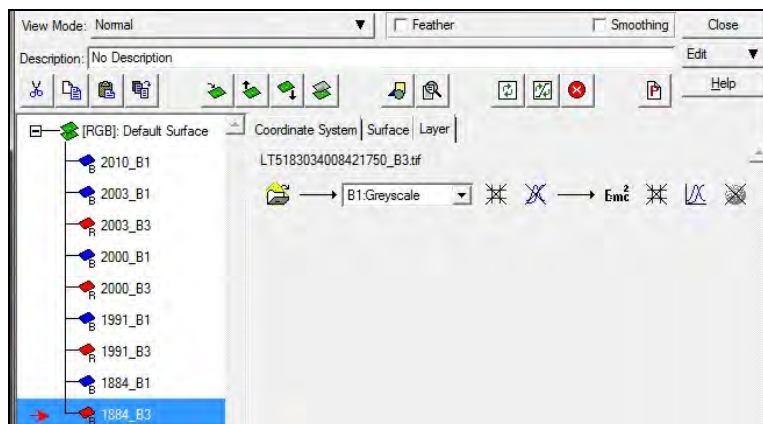


Εικόνα 3.3: Επίθεση διανυσματικών δεδομένων ορισμένων στην εικόνα του 2010 (α), στις εικόνες (β) 2003, (γ) 2000, (δ) 1991 και (ε) 1984 (III).

Όπως φαίνεται και στις Εικόνες 3.1, 3.2 και 3.3 δεν υπάρχει διαφορά στην κοινή γεωμετρική αναφορά των δεδομένων ικανή να επηρεάσει την ακρίβεια του αποτελέσματος, ακόμα και σε σχέση με την εικόνα του 1984, αλλά και με την εικόνα του 2000 που προέρχεται από άλλον δορυφόρο. Είναι γνωστό ότι για να

πραγματοποιηθεί η διαδικασία γεωμετρικής διόρθωσης απαιτείται η γνώση συντεταγμένων σημείων επίγειου ελέγχου στο σύστημα αναφοράς των εικόνων ή χάρτης στο σύστημα επίσης στο σύστημα αναφοράς των εικόνων. Η μη διάθεση τέτοιων δεδομένων, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ακόμα και από τη στόχευση των σημείων υπεισέρχονται σφάλματα, δεν συνιστά την υλοποίησή της. Η σχετική διόρθωση των εικόνων, θα ήταν μια λύση αλλά, από τα σφάλματα της στόχευσης το αποτέλεσμα ενδέχεται να ήταν χειρότερο. Ένας ακόμα πολύ σημαντικός παράγοντας ήταν πως η γεωμετρική διόρθωση απαιτεί και την αναδόμηση των ψηφιακών τιμών φωτεινότητας της γεωμετρικά διορθωμένης εικόνας κάτι που θα επηρέαζε την ποιότητα των αρχικών δεδομένων. Για τους παραπάνω λόγους οι εικόνες κρίνεται πως διαθέτουν γεωμετρικά διορθωμένα δεδομένα.

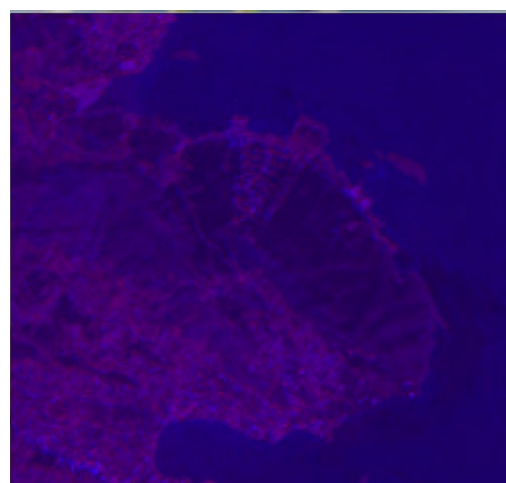
Η επιβεβαίωση της μη αναγκαιότητας υλοποίησης της γεωμετρικής διόρθωσης πραγματοποιήθηκε και μέσω της υπέρθεσης φασματικών καναλιών από διαφορετικές εικόνες. Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικά ορισμένες από τις υπερθέσεις, ενώ αναλυτικά όλοι οι συνδυασμοί των υπερθέσεων παρουσιάζονται στο Παράρτημα που συνοδεύει την παρούσα εργασία. Η υπέρθεση έγινε ως εξής. Αρχικά στο ER Mapper προστέθηκαν το κόκκινο και το μπλε κανάλι κάθε εικόνας (Εικόνα 3.4). Τα κανάλια αυτά είναι εκείνα στα οποία εντοπίζονται ποιο εύκολα οι διαφορές σε υπέρθεση.



Εικόνα 3.4: Έλεγχος γεωμετρικής ταύτισης με υπέρθεση καναλιών στο λογισμικό ER Mapper.

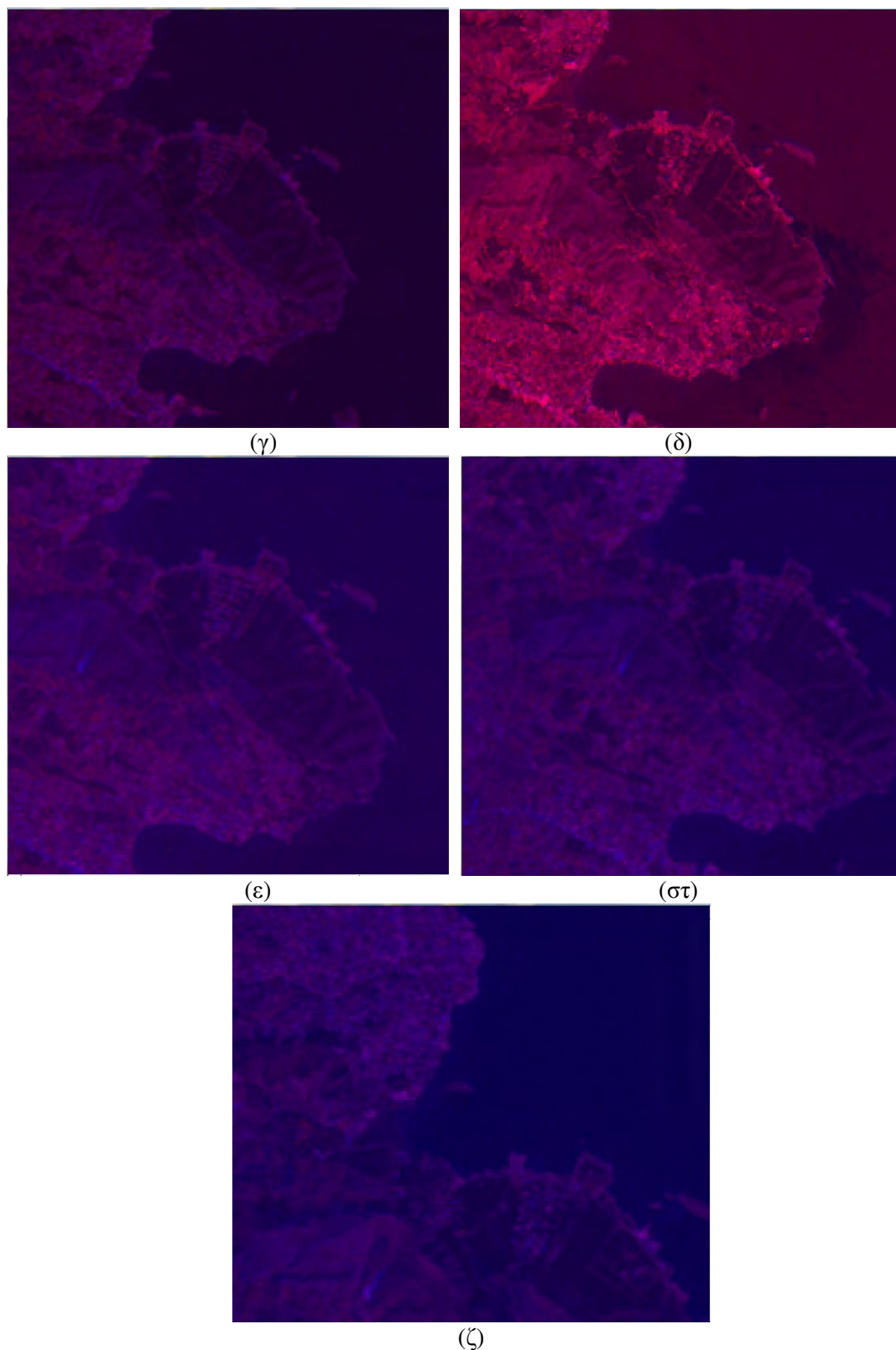


(α)



(β)

Εικόνα 3.5: Ενδεικτικό παράδειγμα υπέρθεσης μπλε και κόκκινου καναλιού από διαφορετικές εικόνες σε περιοχή της Ανατολικής Αττικής: (α) 1984-1991, (β)1984-2000.



Εικόνα 3.6: Ενδεικτικό παράδειγμα υπέρθεσης μπλε και κόκκινου καναλιού από διαφορετικές εικόνες σε περιοχή της Ανατολικής Αττικής: (γ) 2003-1991, (δ) 2003-2000, (ε) 2010-1984, (στ) 2010-1991, (ζ) 2010-2003.

Στις Εικόνες 3.6 και 3.7 επιβεβαιώθηκε η σωστή γεωαναφορά των εικόνων. Παρ’ όλα αυτά, αυτό δεν συνεπάγεται ότι οι εικόνες είναι και διορθωμένες ως προς τη ραδιομετρία, δηλαδή ως προς τις ψηφιακές τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων. Η μετά την ταξινόμηση σύγκριση των ταξινομήσεων όμως αποδεσμεύει από την προεργασία της ραδιομετρικής διόρθωσης.

Για τις πέντε επιλεγμένες εικόνες, η γεωμετρική ταύτιση επιτρέπει την περαιτέρω περικοπή των εικόνων από τις αρχικές της διαστάσεις στην περιοχή ενδιαφέροντος. Η αρχική έκταση για παράδειγμα της εικόνας του 2010 είναι 7071x8191 pixel, δηλαδή περίπου 212 km x 246 km. Οι διαστάσεις της περιοχής μελέτης της εικόνας είναι 1353 x 1426, δηλαδή 40,590 km x 42,780 km (3.33% της αρχικής εικόνας).

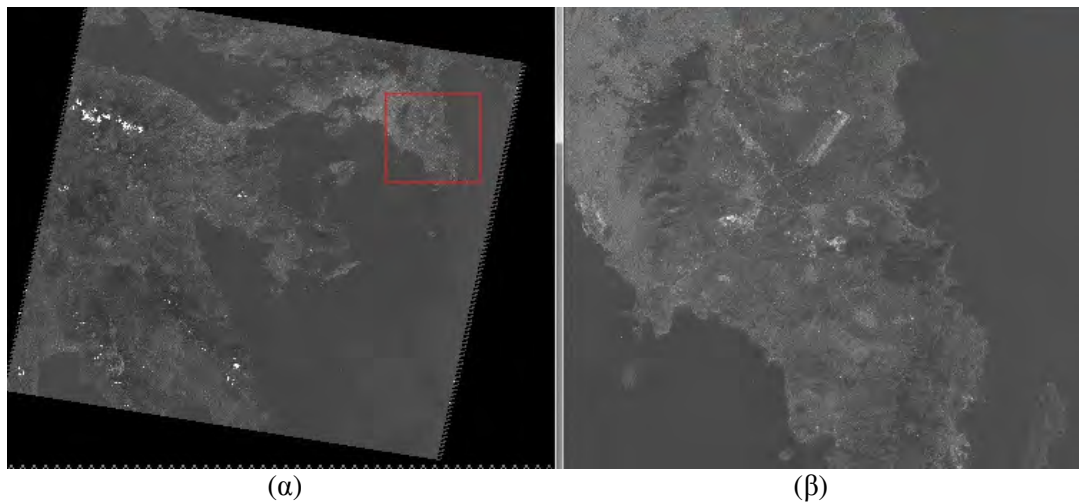
Έχοντας ως εικόνα αναφοράς την πιο πρόσφατη, οι υπόλοιπες εικόνες συσχετίστηκαν γεωδαιτικά με αυτή και επιλέχθηκε η ίδια περιοχή μελέτης με ακριβώς τις ίδιες διαστάσεις εικονοστοιχείων. Ειδικά για την εικόνα του 2000, που προέρχεται από τον δορυφόρο Landsat 7 ETM+, και το μέγεθος του εικονοστοιχείου ήταν 28.5m, πριν από τη διαδικασία είχε προηγηθεί αναδειγματοληψία, με τη μέθοδο του Εγγύτερου Γείτονα και με νέα διάσταση εικονοστοιχείου στα 30 m. Η διαδικασία αυτή έγινε διότι οι υπόλοιπες εικόνες έχουν διάσταση εδαφοψηφίδας 30m x 30m. Η αλλαγή διαστάσεων της εικόνας ήταν ο μόνος τρόπος ώστε όλες οι εικόνες να έχουν τις ίδιες διαστάσεις και κάθε εικονοστοιχείο να έχει τέσσερα αντίστοιχα εικονοστοιχεία στις άλλες χρονολογίες.

	Landsat 5	Landsat 5	Landsat 7	Landsat 4	Landsat 5
	2010	2003	2000	1991	1984
Κελί αναφοράς κατά X	0	0	0	0	0
Κελί αναφοράς κατά Y	0	0	0	0	0
Συντεταγμένες αναφοράς (X) / Ανατολικά	737925.000	737925.000	737936.250	737925.000	737940.000
Συντεταγμένες αναφοράς (Y) / Βόρεια	4216515.000	4216515.000	4216503.750	4216515.000	4216500.000
Αριθμός Γραμμών	1353	1353	1353	1353	1353
Αριθμός εικονοστοιχείων ανά γραμμή	1426	1426	1426	1426	1426
Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84
Προβολικό Σύστημα	NUTM34	NUTM34	NUTM34	NUTM34	NUTM34
Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά X (m)	30	30	30	30	30
Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά Y (m)	30	30	30	30	30
Στροφή εικόνας (βαθμοί)	0	0	0	0	0
Τύπος δεδομένων	Μη προσημιασμένος ακέραιος 8 Bit	Μη προσημιασμένος ακέραιος 8 Bit	Μη προσημιασμένος ακέραιος 8 Bit	Μη προσημιασμένος ακέραιος 8 Bit	Μη προσημιασμένος ακέραιος 8 Bit
Αριθμός καναλιών στην τελική εικόνα	7	7	7	7	7

Πίνακας 3.4: Συντεταγμένες περιοχής μελέτης.

Κατά την διαδικασία επιλογής της περιοχής μελέτης στο λογισμικό ERMapper υπήρξε ταύτιση των συντεταγμένων με μέγιστη απόκλιση μισό εικονοστοιχείο, καθώς

οι εικονοσυνταταγμένες κατά X και Y δεν αποκλίνουν περισσότερο από 15m. Στην Εικόνα 3.7 διακρίνονται τα όρια της περιοχής μελέτης σε σχέση με την αρχική εικόνα του 2010.



Εικόνα 3.7: Επιλογή περιοχής μελέτης.

3.4. Ραδιομετρική Διόρθωση

Στο υπεδάφιο αυτό θα πραγματοποιηθεί μια γενική αναφορά για τη ραδιομετρική κανονικοποίηση δεδομένων. Η σημασία της ραδιομετρικής διόρθωσης και της κανονικοποίησης στις εικόνες της ίδιας περιοχής ως ένα προαπαιτούμενο βήμα για την ανίχνευση αλλαγών και άλλων εφαρμογών είναι πολύ μεγάλη, καθώς από αυτή, ανάλογα με την μεθοδολογία ανίχνευσης, εξαρτάται και το αποτέλεσμα ανίχνευσης. Επειδή η μέθοδος που ακολουθείται στη δεδομένη έρευνα είναι η μόνη που δεν υπαγορεύει να έχει προηγηθεί η διαδικασία της ραδιομετρικής διόρθωσης πριν την ταξινόμηση των δεδομένων, αναφέρονται μόνο τα πολύ γενικά χαρακτηριστικά της.

Η ραδιομετρική διόρθωση ή κανονικοποίηση ορίζεται ως η διαδικασία που ακολουθείται ώστε να απομακρυνθούν οι ραδιομετρικές διαφορές μεταξύ διαχρονικών εικόνων που δεν οφείλονται σε παράγοντες του εδάφους. Άρα, με την ραδιομετρική διόρθωση επιδιώκεται ενιαία φασματική απόκριση των εικονοστοιχείων που δεν παρουσιάζουν μεταβολή στη κάλυψη γης, γεγονός απαραίτητο όταν γίνονται ποσοτικές αναλύσεις και εκτιμήσεις των αλλαγών. Ουσιαστικά, στόχος είναι όλες οι διορθωμένες εικόνες να έχουν χαρακτηριστικά όπως θα είχαν αν είχαν αποκληθεί από τον ίδιο δέκτη σύμφωνα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και συνθήκες φωτισμού μιας εικόνας αναφοράς. Μόνο με αυτό τον τρόπο οι διαφορές στις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων αντιστοιχούν σε πραγματικές μεταβολές στην επιφάνεια και μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση στην ποιότητα της εικόνας και στατιστική αξιοπιστία [Yang & Lo, 2000].

Υπάρχουν δύο τύποι ραδιομετρικής διόρθωσης, η απόλυτη και η σχετική. Ο στόχος της απόλυτης είναι η επανάκτηση της φασματικής ανακλαστικότητας (albedo) ή της θερμοκρασίας του εδάφους. Για τη βαθμονόμηση απαιτούνται επιπρόσθετα χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να ληφθούν την περίοδο λήψης των εικόνων, όπως

επίσης και δεδομένα ατμοσφαιρικών συνθηκών, στοιχεία τροχιάς των δορυφόρων και σημεία εδάφους ως στόχοι γνωστής ανακλαστικότητας. Η απόλυτη διόρθωση είναι αρκετά δύσκολη στην υλοποίησή της και είναι απαραίτητη μόνο όταν δύο ή περισσότερες εικόνες είναι σε διαφορετικές ραδιομετρικές κλίμακες [Song et al., 2001]. Στη σχετική ραδιομετρική διόρθωση οι εικόνες διορθώνονται σχετικά η μια ως προς την άλλη και δεν ταυτίζονται απαραίτητα σε απόλυτες μετρήσεις εδάφους. Η σχετική διόρθωση δεν απαιτεί ατμοσφαιρική διόρθωση, δεδομένα τροχιάς δορυφόρου κλπ, αλλά διορθώνει για τις επιδράσεις της γωνίας του ηλίου, τη διάχυση και την απορρόφηση του φωτός και τη συμπεριφορά των αισθητήρων. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική και στην περίπτωση ανίχνευσης αλλαγών στις εικόνες.

Γενικά η ατμοσφαιρική διόρθωση είναι απαραίτητη όταν οι διαχρονικές εικόνες ενσωματώνονται σε ένα ενιαίο σύνολο δεδομένων τα οποία στη συνέχεια θα επεξεργαστούνε μαζί. Ένας άλλος λόγος που πρέπει να γίνει η ατμοσφαιρική διόρθωση είναι όταν δεδομένα ελέγχου πρέπει να μεταφερθούν από τη μια χρονική στιγμή και μέρος σε άλλα [Song et al., 2001].

Η τοπογραφική διόρθωση εξαιτίας του ανάγλυφου υπάγεται στις ραδιομετρικές διορθώσεις μιας εικόνας. Για την τοπογραφική διόρθωση είναι απαραίτητη η πληροφορία αξιόπιστων δεδομένων αναφοράς και καλής ποιότητας Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. Από τις τεχνικές εφαρμογής τοπογραφικής διόρθωσης, τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσαν οι μέθοδοι Minnaert και C-corrections [Mayer et.al., 1993].

3.5. Φωτοερμηνεία Πολυφασματικών Δεδομένων

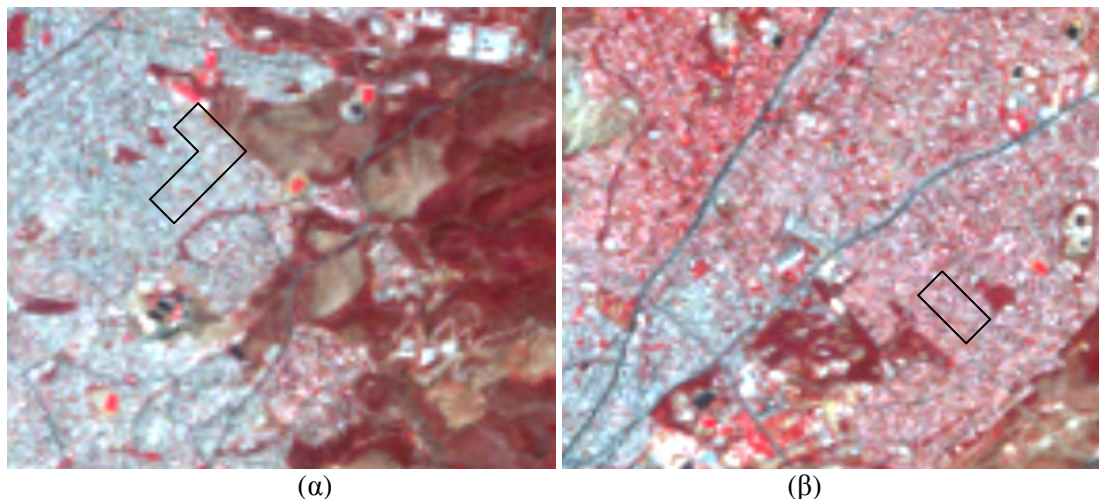
Στόχος του παρόντος εδαφίου είναι η δημιουργία προτύπων φωτοερμηνείας για τις Landsat εικόνες και ο συσχετισμός τους με τις επίσημες κατηγορίες που ορίζονται από το σύστημα χαρτογράφησης CORINE Land Cover. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήσης εντόπισε, μέσω της φωτοερμηνείας της πιο πρόσφατης δορυφορικής απεικόνισης και τη βοήθεια εικόνων μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης από το πρόγραμμα ‘Google Earth’, τους βασικότερους τύπους χρήσης/κάλυψης γης και έγινε συσχετισμός με την αναλυτικότερη βαθμίδα στην ιεραρχία των κατηγοριών του CORINE. Το συγκεκριμένο σύστημα χαρτογράφησης διαθέτει τα πρότυπα των κατηγοριών σε εικόνες Landsat και έτσι μπορεί να επιτευχθεί αντιστοίχιση. Ορισμένες περιοχές που η χρήση/κάλυψη γης δεν έχει μεταβληθεί, ο χρήστης συμβουλευτήκε για την εξαγωγή των προτύπων και υπάρχουσα πληροφορία του CORINE 2000 η οποία ήταν διατιθέμενη σε διανυσματική μορφή. Έχοντας προσδιορίσει τα φωτοερμηνευτικά πρότυπα από την πιο πρόσφατη εικόνα, ήταν δυνατό να εφαρμοστούν στις παλαιότερες εικόνες για τη λήψη δειγμάτων εκπαίδευσης και ελέγχου.

Στο τρίτο ιεραρχικό επίπεδο των επίσημων κατηγοριών, όπως ορίζονται από το εγχειρίδιο του CORINE Land Cover, εντοπίστηκαν στην εικόνα του 2010 οι εξής θεματικές κατηγορίες.

- Περιοχές συνεχούς και ασυνεχούς αστικής οικοδόμησης (Κωδικοί 1.1.1 και 1.1.2)
Στη συνεχή αστική δόμηση, η περισσότερη έκταση καλύπτεται από αστικές δομές και δίκτυα μεταφορών. Πιο συγκεκριμένα, κτίρια, δρόμοι και περιοχές καλυπτόμενες με ανθρωπογενείς κατασκευές αποτελούν περισσότερο από το 80% της συνολικής επιφάνειας. Εξαιρούνται οι μη γραμμικές περιοχές βλάστησης και γυμνού εδάφους. Για να ξεχωρίσει ένας δρόμος ή ένας ποταμός πρέπει να έχει μεγάλο πλάτος, αλλιώς η περιοχή ταξινομείται ως ενιαία μονάδα συνεχούς αστικής δόμησης.

Η διάκριση της συνεχούς αστικής με την ασυνεχή αστική δόμηση είναι σε αρκετές περιπτώσεις δύσκολη, αλλά τα όρια μπορούν να τεθούν από την ύπαρξη και την επιφάνεια της βλάστησης. Στις περιοχές διακεκομμένης αστικής δόμησης τα κτίρια, οι δρόμοι και οι τεχνητές περιοχές δεν μπορούν να διαχωριστούν από περιοχές βλάστησης και γυμνού εδάφους, οι οποίες καταλαμβάνουν ασυνεχείς αλλά σημαντικές εκτάσεις επιφάνειας εδάφους. Συνήθως οι ασυνεχείς αστικές περιοχές βρίσκονται στα περίχωρα των αστικών κέντρων, ή αποτελούν τις αστικές περιοχές στις επαρχίες. Η κάλυψη από τεχνητές επιφάνειες για αυτή την κατηγορία κάλυψης γης κυμαίνεται από 50% μέχρι 80% της συνολικής επιφάνειας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι παραπάνω κατηγορίες κάλυψης γης για την δορυφορική εικόνα του 2010, από την οποία μπορούσε να γίνει έλεγχος από δορυφορική εικόνα πολύ μεγαλύτερης χωρικής διακριτικής ικανότητας μέσω Google Earth.

Στις παρακάτω Εικόνες, για το έγχρωμο σύνθετο 4-3-2, που αναδεικνύει με κόκκινους τόνους τη βλάστηση, διακρίνεται καθαρά η συνεχής αστική περιοχή με λευκό (Εικόνα 3.8 (α)), ενώ για τη μη συνεχή, η παρουσία του εδάφους αλλά κυρίως της βλάστησης είναι έντονη (Εικόνα 3.8 (β)) και έχουν σημειωθεί σε αυτές, ενδεικτικές περιοχές. Σύμφωνα με αυτά τα φωτοερμηνευτικά πρότυπα, θα γίνει η φωτοερμηνεία αυτών των κατηγοριών και στις παλαιότερες δορυφορικές απεικονίσεις.



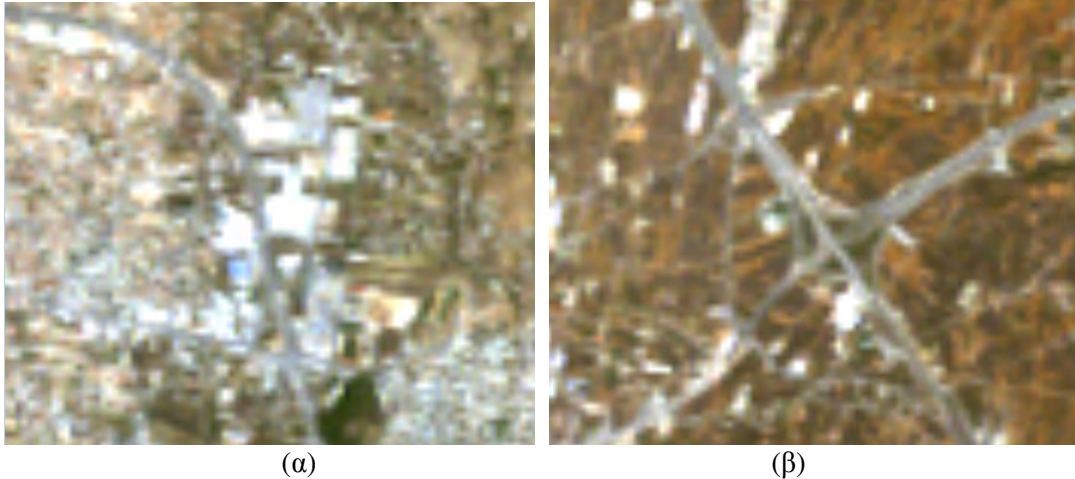
Εικόνα 3.8: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα (α) συνεχούς, (β) μη συνεχούς αστικής δόμησης.

- Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες (κωδικός 1.2.1)
Οι τεχνητές αυτές περιοχές αποτελούνται κυρίως από τσιμέντο, ασφαλτο και σταθεροποιημένο έδαφος, δηλαδή γενικότερα από μεγάλα κτήρια, με ή χωρίς ενδείξεις βλάστησης και γυμνού εδάφους ή άλλων κατασκευών που συνήθως γειτνιάζουν σε αυτές, όπως είναι οι χώροι στάθμευσης. Συνήθως η έκτασή τους είναι μεγαλύτερη από 25 εκτάρια. Τέτοιες μονάδες εκτός από τα βιομηχανικά

συγκροτήματα, είναι επίσης τα νοσοκομεία, οι στρατιωτικές βάσεις, τα πανεπιστήμια, τα εμπορικά κέντρα και άλλα.

- Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη (κωδικός 1.2.2)

Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται οι αυτοκινητόδρομοι και οι σιδηροδρομικοί άξονες συμπεριλαμβανομένης και της γειτνιάζουσας γης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.9 (α) και (β). Το ελάχιστο πλάτος για την ταξινόμησή τους είναι περίπου τα 100 m και επειδή πολλοί άξονες έχουν πλάτος μικρότερο από αυτό, συνήθως στην κατηγορία αυτή υπάγονται ανισόπεδοι κόμβοι με την γειτνιάζουσα υποδομή και βλάστηση καθώς και διάφορου διαλογής περιβάλλοντος χώρου.



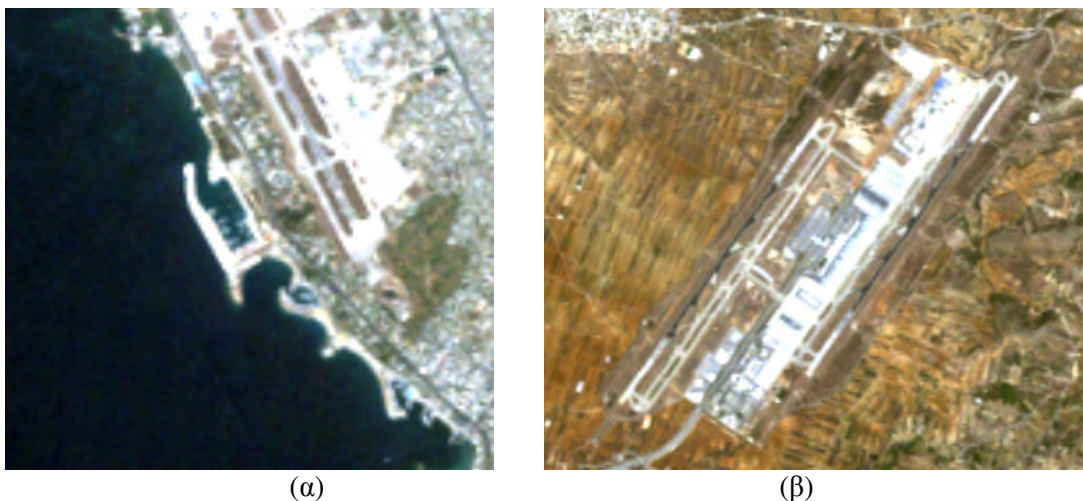
Εικόνα 3.9: (α), (β) Φωτοερμηνευτικά πρότυπα κύριου οδικού δικτύου και βιομηχανικών περιοχών.

- Ζώνες Λιμένων (κωδικός 1.2.3)

Σε αυτές περιλαμβάνονται οι αποβάθρες, τα ναυπηγεία και οι μαρίνες.

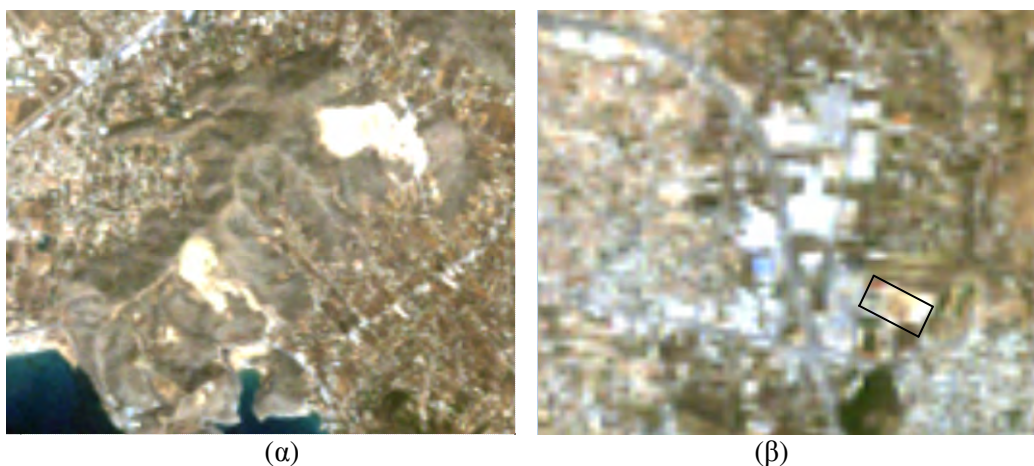
- Αεροδρόμια (κωδικός 1.2.4)

Περιλαμβάνει όλες τις εγκαταστάσεις αεροδρομίου, όπως αεροδιάδρομοι, κτήρια όπως γραφεία, σταθμοί επιβίβασης, εργαστήρια, αποθήκες δεξαμενές αποθήκευσης, χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων και γειτνιάζουσα περιοχή.



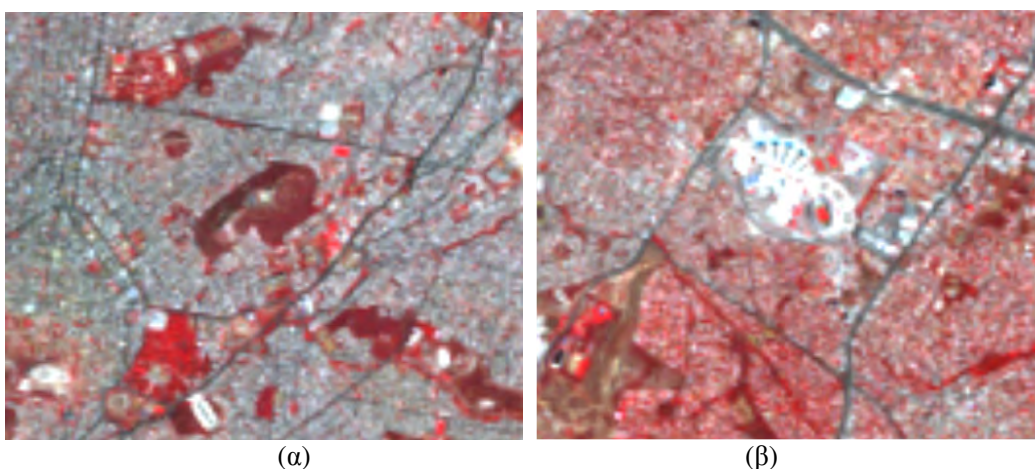
Εικόνα 3.10: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα (α) λιμένος, (β) αεροδρομίου.

- Χώροι εξόρυξης ορυκτών (κωδικός 1.3.1)
Πρόκειται για περιοχές υπαίθριας εξόρυξης κατασκευαστικών υλικών όπως πχ. λατομεία ή άλλων ορυκτών (ορυχεία ανοιχτού τύπου). Συχνά αναγνωρίζονται ως τα λευκά κομμάτια γης εξαιτίας της αντίθεσής τους με τις γύρω περιοχές. Το ίδιο ισχύει και για τα τμήματα γης στα οποία εκτελούνται εργασίες. Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται και τα σκάμματα.
- Χώροι οικοδόμησης (κωδικός 1.3.3)
Οι περιοχές υπό κατασκευή είναι εκείνες που συμβαίνουν εξορύξεις εδάφους, βραχώδους υποστρώματος ή εκείνες στις οποίες πραγματοποιούνται εργασίες ανέγερσης. Η έκτασή τους πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 25 Εκτάρια. Συχνά υπάρχει σύγχυση με τα ορυχεία και την κατηγορία 1.3.1.



Εικόνα 3.11: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα (α) ορυχείων, (β) χώρων οικοδόμησης.

- Περιοχές αστικού πρασίνου (κωδικός 1.4.1)
Οι περιοχές αστικού πρασίνου είναι περιοχές βλάστησης εντός συνεχούς δόμησης, όπως παραδείγματος χάριν είναι τα πάρκα, ιδιωτικές περιοχές βλάστησης τα κοιμητήρια με βλάστηση και άλλα που ξεπερνούν τα 25 Εκτάρια.
- Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής (κωδικός 1.4.2)
Πρόκειται για χώρους κατασκήνωσης, αθλητικές εγκαταστάσεις, πάρκα που δεν περιβάλλονται από αστικές περιοχές, γήπεδα γκολφ κ.α.



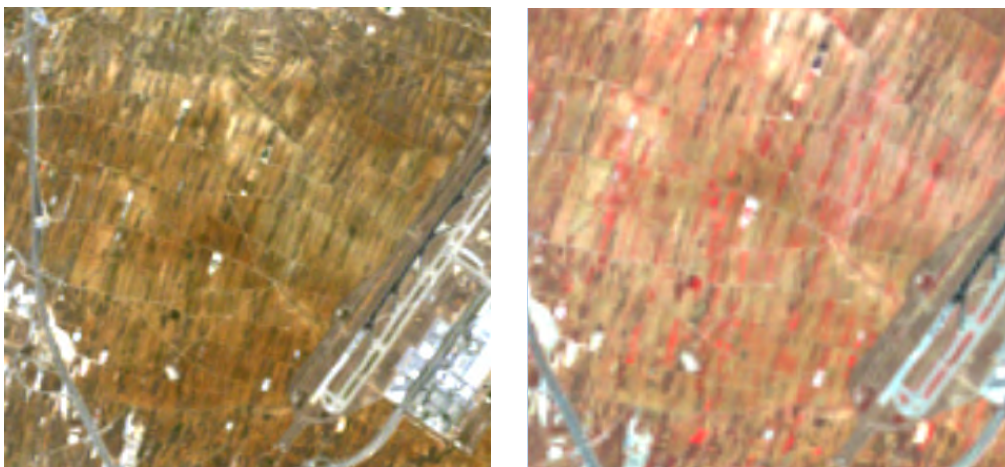
Εικόνα 3.12: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα (α) περιοχής αστικού πρασίνου, (β) εγκαταστάσεων αθλητισμού.

- Μη αρδεύσιμη Αρόσιμη γη (κωδικός 2.1.1)
Ουσιαστικά σε αυτή την κατηγορία ανήκει η οργωμένη γη χωρίς παραγόμενη κάλυψη από βλάστηση κατά την ημερομηνία λήψης της δορυφορικής εικόνας. Δεν περιλαμβάνει μόνιμους βοσκότοπους. Δύσκολος ο διαχωρισμός από τις κατηγορίες 2.1.2 (μόνιμα αρδευόμενη γη), 2.3.1 (βοσκότοποι), 2.4.1 (ετήσιες καλλιέργειες σε συνδυασμό με μόνιμες καλλιέργειες) και 2.4.4 (γεωργικό-δασικές περιοχές).
- Μόνιμα αρδευόμενη γη (κωδικός 2.1.2)
Εδώ υπάγονται οι περιοχές καλλιεργείων οι οποίες αρδεύονται μόνιμα ή ανά χρονικές περιόδους, χρησιμοποιώντας μόνιμη υποδομή (κανάλια άρδευσης, δίκτυο παροχής νερού), ενώ δεν υπάγονται οι σποραδικά αρδευόμενες εκτάσεις. Οι περισσότερες από αυτές τις καλλιέργειες δεν μπορούν να καλλιεργηθούν χωρίς τεχνητή υποστήριξη παροχής νερού. Στις δορυφορικές εικόνες που έχουν ληφθεί το καλοκαίρι, είναι πιο εύκολος ο εντοπισμός τους φωτοερμηνευτικά.



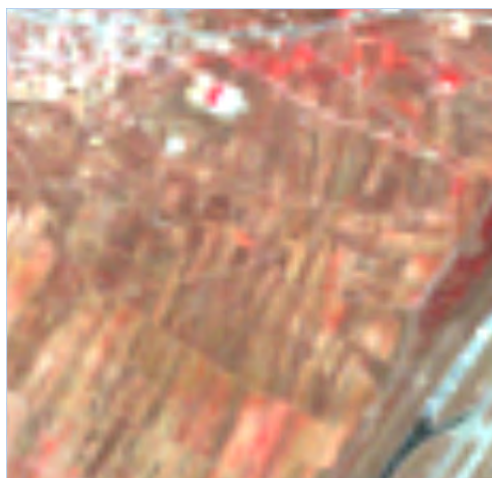
Εικόνα 3.13: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα μόνιμα αρδευόμενης γης (μαύρη έλλειψη) και μη αρδεύσιμης αρόσιμης γης (μπλε έλλειψη).

- Αμπελώνες (κωδικός 2.2.1)
Για τις περιοχές με αμπέλια δεν υπάρχει μοναδικό φωτοερμηνευτικό κλειδί. Μια καλή ένδειξη τους είναι το ανάγλυφο και ο προσανατολισμός της κλίσης των πλαγιών. Συνήθως η ύπαρξή τους επιβεβαιώνεται από τοπογραφικούς χάρτες ή από αεροφωτογραφίες μεγάλης κλίμακας. Συχνά συγχέονται με άλλα είδη αρόσιμης γης.



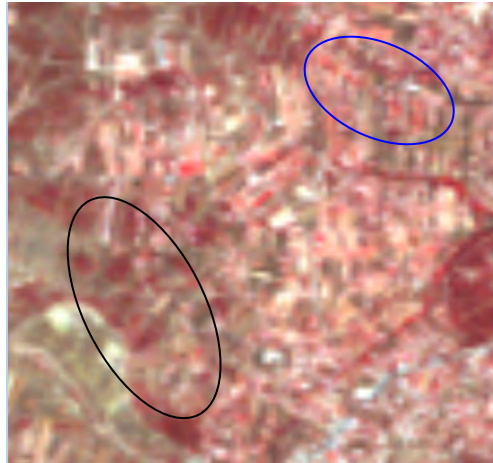
Εικόνα 3.14: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από αμπελώνες και καλλιέργειες.

- Οπωροφόρα και καρποφόρα δέντρα (κωδικός 2.2.2)
Πρόκειται για αγροτεμάχια στα οποία ευδοκιμούν οπωροφόρα δέντρα (μεμονωμένα ή μικτά είδη) ή ακόμα και θάμνοι που γειτνιάζουν με μόνιμες εκτάσεις μικρής βλάστησης. Εδώ υπάγονται οι καστανιές αλλά και οι καρυδιές. Για να αναγνωριστούν δεν αρκεί μόνο μια δορυφορική εικόνα, αλλά και συμπληρωματικά δεδομένα όπως αεροφωτογραφίες ή και τοπογραφικοί χάρτες.
- Λιβάδια, βοσκότοποι (κωδικός 2.3.1)
Οι βοσκότοποι αποτελούνται από πυκνή κάλυψη από γρασίδι-χορτάρια, ή από συνθέσεις λουλουδιών. Η φασματική υπογραφή τους εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους όπως για παράδειγμα η υγρασία. Συνήθως βρίσκονται πλησίον κατοικημένων περιοχών και αυτή είναι και η βασική τους διαφορά από τα φυσικά λιβάδια 3.2.1.
- Ετήσιες καλλιέργειες σε συνδυασμό με μόνιμες καλλιέργειες (κωδικός 2.4.1)
Μη μόνιμες καλλιέργειες (αρόσιμη γη ή βοσκότοποι) μαζί με μόνιμες καλλιέργειες στο ίδιο αγροτεμάχιο. Μονάδες γης μικρών γεωτεμαχίων ετήσιων καλλιεργειών, βοσκότοπων και μόνιμων καλλιεργειών πρέπει να υπάγονται στα σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (2.4.2) και όχι σε αυτή τη κατηγορία.
- Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (κωδικός 2.4.2)
Παράθεση μικρών γεωτεμαχίων ποικίλων ετήσιων καλλιεργειών, βοσκοτόπων και/ή μόνιμων καλλιεργειών.



Εικόνα 3.15: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από σύνθετα συστήματα καλλιεργειών.

- Γη κυρίως γεωργική με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης (κωδικός 2.4.3)
Πρόκειται για περιοχές με καλλιέργειες αλλά συμπεριλαμβάνουν διάσπαρτες σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.16. Στην κατηγορία αυτή δεν υπάρχει ομοιογενής εδαφοκάλυψη για 25 ή και περισσότερα Εκτάρια.

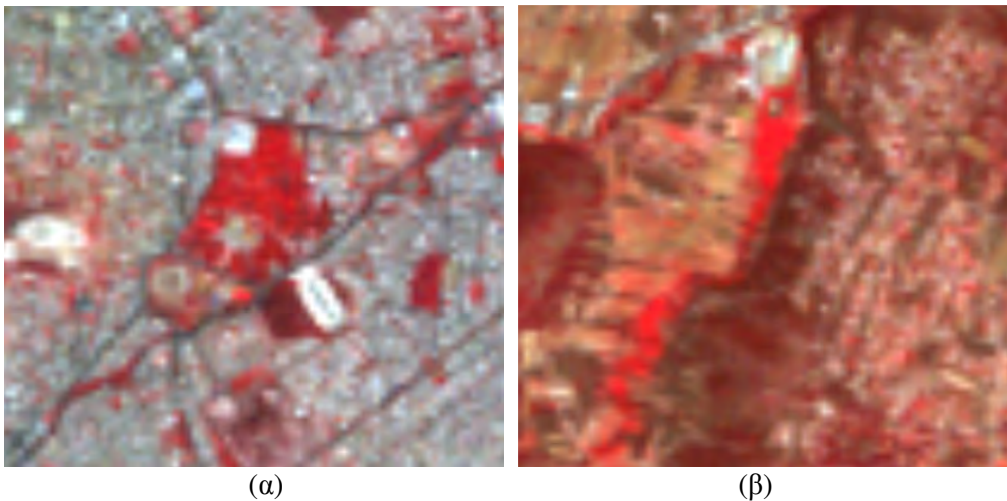


Εικόνα 3.16: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα γεωργικής γης με εκτάσεις φυσικής βλάστησης (μαύρη έλλειψη) και σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (μπλε έλλειψη).

Στα αριστερά της εικόνας διακρίνεται η κατηγορία της γεωργικής γης με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης, ενώ στα δεξιά διακρίνονται σύνθετα συστήματα καλλιέργειας.

- Δάσος πλατύφυλλων (κωδικός 3.1.1)

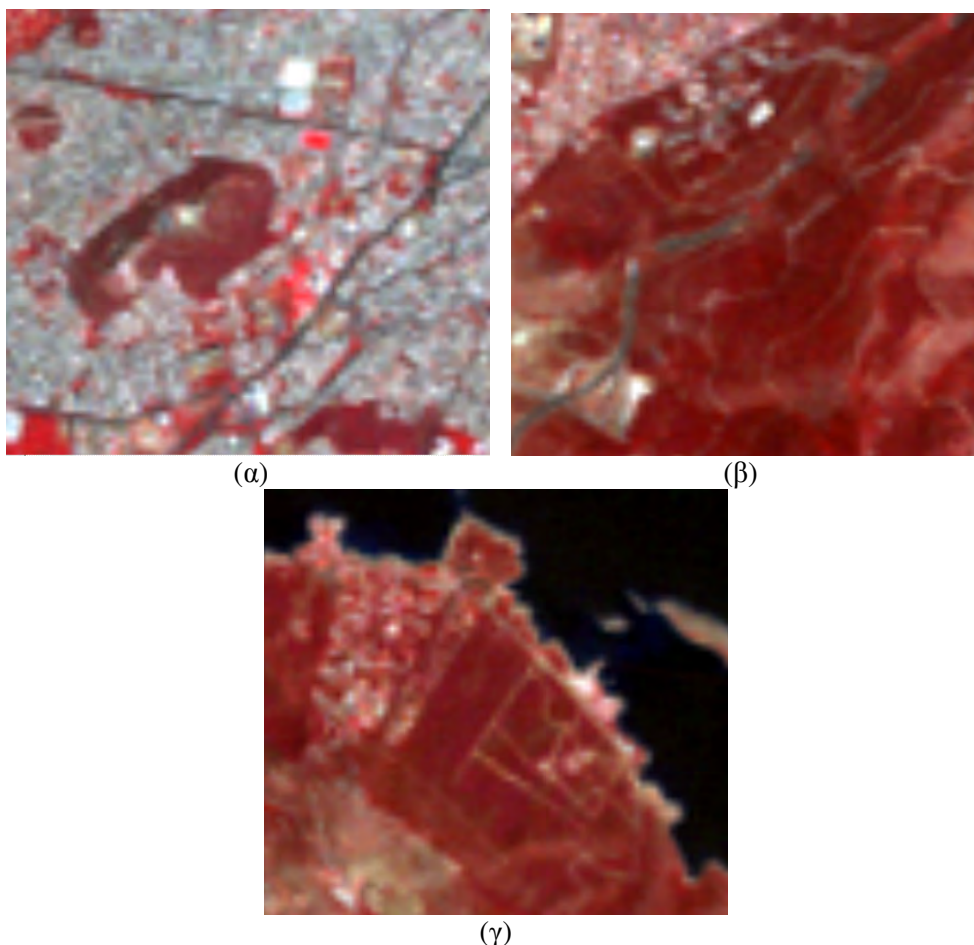
Πρόκειται για βλάστηση αποτελούμενη από δέντρα, συμπεριλαμβάνοντας θάμνους και θαμνώδη υποστρώματα, όπου τα πλατύφυλλα είδη βλάστησης κυριαρχούν. Όταν υπάρχουν σκιές σε δασωμένες κοιλάδες τότε αυτά συχνά συγχέονται με τα δάση κωνοφόρων. Τα πλατύφυλλα δέντρα πρέπει να αντιπροσωπεύσουν περισσότερο από τα τρία τέταρτα της μονάδας επιφάνειας σε αυτήν την κατηγορία.



Εικόνα 3.17: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα (α) δάσους πλατυφύλλων (έντονο κόκκινο στο έγχρωμο σύνθετο 432), (β) πλατύφυλλης βλάστησης πλησίον ποταμών.

- Δάσος κωνοφόρων (κωδικός 3.1.2)

Πρόκειται για βλάστηση αποτελούμενη από δέντρα, συμπεριλαμβάνοντας θάμνους και θαμνώδη υποστρώματα, όπου τα κωνοφόρα είδη κυριαρχούν. Γενικά, στα έγχρωμα σύνθετα, τα δάση κωνοφόρων αναγνωρίζονται από τους πιο σκούρους τόνους σε σχέση με τα δάση πλατυφύλλων.



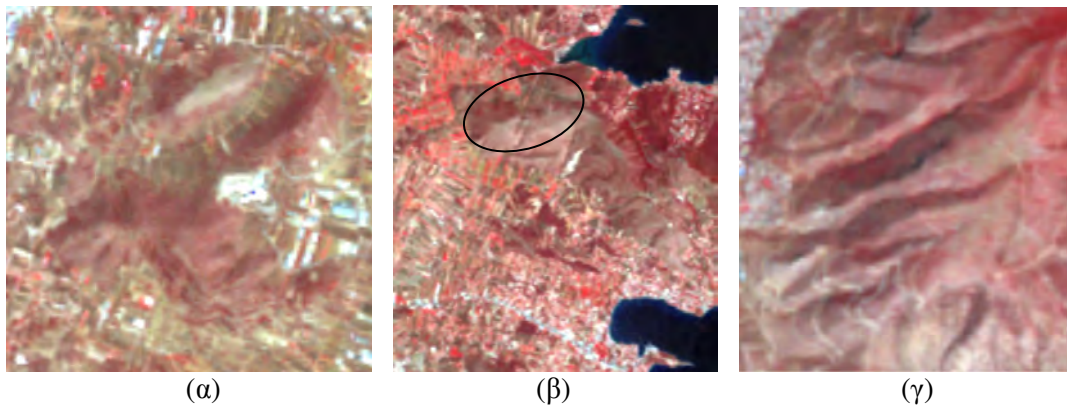
Εικόνα 3.18: (α), (β), (γ) Φωτοερμηνευτικό πρότυπο δάσους κωνοφόρων (λιγότερο έντονο κόκκινο στο έγχρωμο σύνθετο 432).

- Μικτό δάσος (κωδικός 3.1.3)
Πρόκειται για βλάστηση αποτελούμενη από δέντρα, συμπεριλαμβάνοντας θάμνους και θαμνώδη υποστρώματα, όπου εμφανίζονται τόσο κωνοφόρα δέντρα όσο και πλατύφυλλα. Επίσης μπορεί να συμπεριλαμβάνονται και άλλα είδη δέντρων. Προϋπόθεση εδώ είναι να η ανομοιομορφία της βλάστησης να υπάρχει σε περισσότερο από 25 Εκτάρια. Λόγω διαφορετικών φασματικών υπογραφών σε αυτή τη κατηγορία είναι δύσκολός ο εντοπισμός της.
- Φυσικοί βοσκότοποι (κωδικός 3.2.1)
Πρόκειται για λιβάδια με χαμηλή παραγωγικότητα. Συχνά βρίσκονται σε ανώμαλες επιφάνειες και πολλές φορές περιλαμβάνουν και βραχώδεις εκτάσεις γης. Βρίσκονται ως επί τω πλείστον κοντά σε περιοχές έντονης γεωργικής δραστηριότητας. Οι αεροφωτογραφίες βοηθούν στην διάκρισή τους από τις αμιγώς βραχώδεις εκτάσεις (γυμνοί βράχοι 3.3.2) και 3.2.2 (θάμνοι και χερσότοποι). Χαρακτηριστικό είναι επίσης το γνώρισμα ότι δεν υπάρχουν όρια γεωτεμαχίων και γενικά υπάρχει μεγάλο εύρος τόνων ανακλαστικότητας ανάλογα με τη βλάστηση.
- Θάμνοι και χερσότοποι (κωδικός 3.2.2)
Χαμηλή βλάστηση, στην οποία επικρατούν θάμνοι, ακανθώδεις θάμνοι, ποώδη φυτά. Είναι, σε πολλές περιπτώσεις το αποτέλεσμα υποβάθμισης ενός δάσους

αποτελούμενο πλέον από ακανθώδεις θάμνους ή από άλλου είδους χαμηλής εδαφοκάλυψης. Υπάρχει κίνδυνος σύγχυσης με τα δάση κωνοφόρων.

- Σκληροφυλλική βλάστηση (κωδικός 3.2.3)

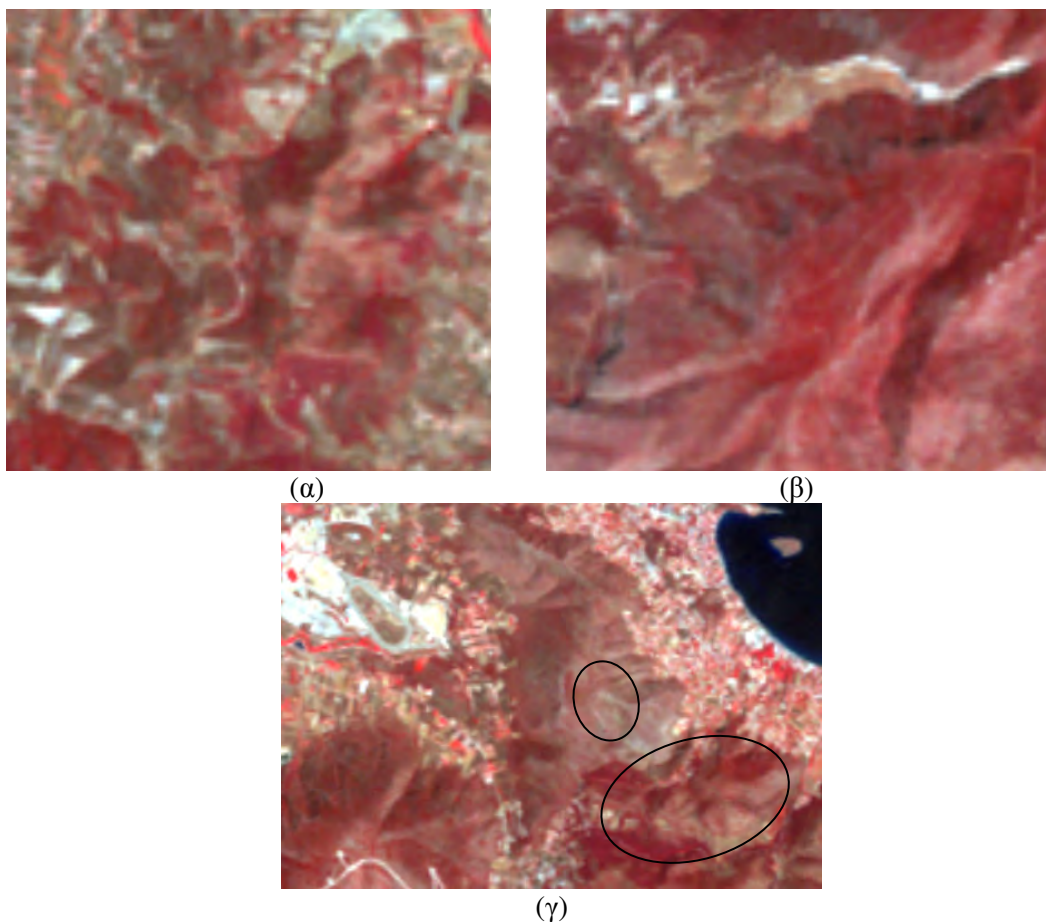
Πρόκειται για θαμνώδη βλάστηση που συμπεριλαμβάνει δύο είδη. Το πρώτο είδος εμφανίζεται ως πυκνή βλάστηση και αποτελείται από πολλούς θάμνους και καλύπτει πυριτικά πετρώματα της Μεσογείου. Μερικά είδη είναι βελανιδιές, αγριελιές, κουμαριές, κέδροι και χαμηλά ρείκια. Το δεύτερο είδος εδαφοκάλυψης αποτελείται από πιο αραιούς θάμνους και εμφανίζεται κυρίως σε ασβεστολιθικά οροπέδια. Εδώ ανήκει το πουρνάρι, η δρυς, η λεβάντα, το θυμάρι, ενώ μπορεί να εμφανίζονται και μεμονωμένα δέντρα. Ενδείκνυται η χρήση αεροφωτογραφιών και δασικών χαρτών για να γίνει η διάκρισή τους από τα δάση της Μεσογείου. Επίσης χρήσιμος είναι και ο δείκτης βλάστησης.



Εικόνα 3.19: (α), (β), (γ) Φωτοερμηνευτικά πρότυπα σκληροφυλλικής βλάστησης (λιγότερο έντονο κόκκινο στο έγχρωμο σύνθετο 432).

- Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις (κωδικός 3.2.4)

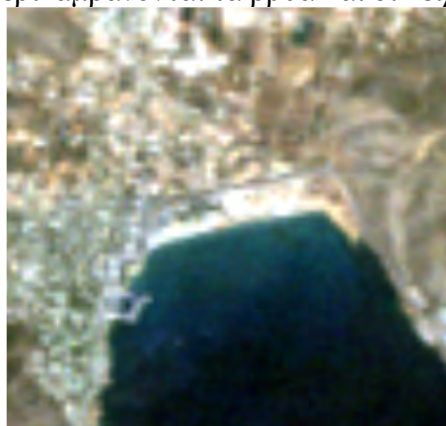
Πρόκειται για θαμνώδη και ποώδη βλάστηση με διάσπαρτα δέντρα. Μπορεί να αντιπροσωπεύει την υποβάθμιση ενός δασικό οικοσυστήματος ή την αναγέννηση ενός δάσους. Οι μεταβατικές εκτάσεις εμφανίζονται σε ασβεστολιθικά πετρώματα. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει περιοχές που υπόκεινται σε διάβρωση ή όταν τα φυτά έχουν κάποια ασθένεια. Σε άλλες περιπτώσεις περιλαμβάνει περιοχές που αναδάσωνται. Αν η αναδάσωση είναι φυσική αυτό σημαίνει ότι θα υπαχθούν στις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Επειδή η ανίχνευσή τους στις δορυφορικές εικόνες είναι δύσκολες, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο περιβάλλον χώρος (περιοχές διάβρωσης, απόκρημνες πλαγιές, αγρανάπαυση).



Εικόνα 3.20: (α), (β), (γ) Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις.

- Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές (κωδικός 3.3.1)

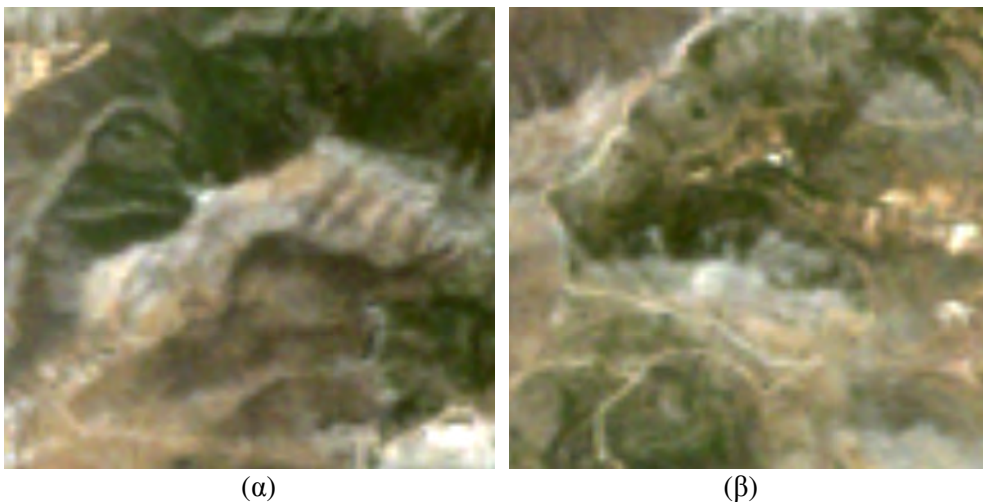
Πρόκειται για παραλίες, αμμόλοφους και εκτάσεις με άμμο ή με βότσαλα σε παράκτιες ή ηπειρωτικές τοποθεσίες. Οι παραλίες, δηλαδή οι ακτογραμμές πρέπει να είναι τουλάχιστον 100 μέτρων για να συμπεριληφθούν. Οι παραλίες που βρίσκονται μπροστά από αστικές παράκτιες περιοχές πρέπει να διαχωρίζονται από τις τεχνητές επιφάνειες. Εδώ επίσης περιλαμβάνονται τα βρύα και οι λειχήνες.



Εικόνα 3.21: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο από παραλία.

- Απογυμνωμένοι βράχοι (κωδικός 3.3.2)

Εδώ υπάγονται βράχοι σε λόφους, βράχια, πέτρινοι σχηματισμοί, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που έχουν προέλθει από διάβρωση και ύφαλοι που βρίσκεται πάνω από το ανώτερης στάθμης της θάλασσας. Για τη φωτοερμηνεία τους ενδείκνυται η χρήση συμπληρωματικών δεδομένων, όπως είναι οι τοπογραφικοί χάρτες όπου τέτοιες περιοχές έχουν διαφορετική απόχρωση. Ένα ακόμη βοηθητικό στοιχείο είναι οι ισοϋψείς.



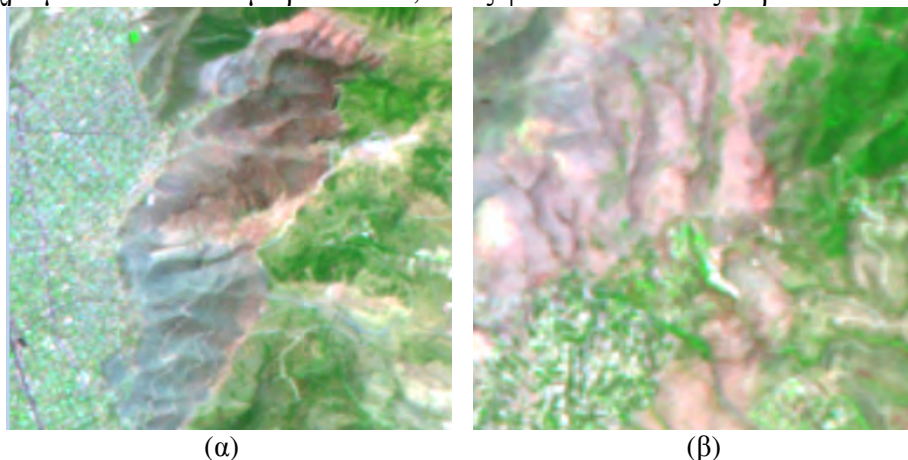
Εικόνα 3.22: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από απογυμνωμένους βράχους σε ορισμένα σημεία τους.

- Εκτάσεις με αραιή βλάστηση (κωδικός 3.3.3)

Περιλαμβάνει περιοχές βλάστησης όπως η στέπα και η τούνδρα. Εδώ ανήκει και η διασπαρμένη σε μεγάλο υψόμετρο βλάστηση. Η αραιή βλάστηση οφείλεται στην διάβρωση ή στην υποχώρηση του πάγου (στέπα). Και εδώ χρειάζονται επιπρόσθετα δεδομένα για τη φωτοερμηνεία.

- Αποτεφρωμένες εκτάσεις (κωδικός 3.3.4)

Περιοχές που επλήγησαν από τις πρόσφατες πυρκαγιές, και εμφανίζονται μαύρες σε 321 έγχρωμο σύνθετο και μωβ στο 743, όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 3.23: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από απογυμνωμένους βράχους λόγω πυρκαγιάς (αποτεφρωμένες εκτάσεις).

- Θάλασσα και ωκεανός (κωδικός 5.2.3)

Πρόκειται για θαλάσσιες ζώνες του χαμηλότερου ορίου παλίρροιας. Επειδή ακριβώς εξαρτάται από την παλίρροια, πρέπει να γίνει έλεγχος σε σχέση με τη μηδενική ισοϋψή ενός τοπογραφικού χάρτη.



Εικόνα 3.24: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο θάλασσας.

Αναφέρεται ότι παρά τα τόσα είδη βλάστησης που εντοπίστηκαν, ο φασματικός διαχωρισμός τους είναι αδύνατος. Συνεπώς, οι τελικές κατηγορίες ταξινόμησης βλάστησης είναι μόνο μερικές από τις παραπάνω και συγκεκριμένα εκείνες που εμφανίζονταν σε μεγαλύτερη έκταση στην εικόνα. Φυσικά, ο φασματικός διαχωρισμός ελέγχθηκε και με τη βοήθεια του λογισμικού ER Mapper μέσω ελλείψεων.

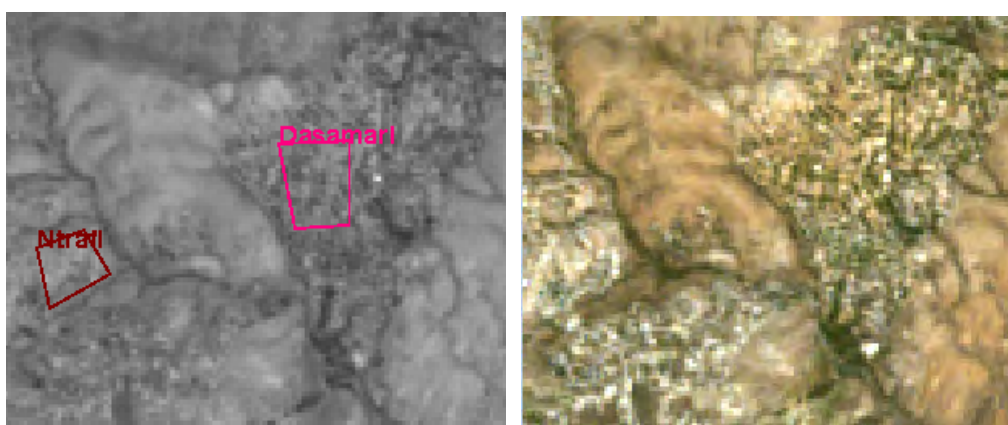
3.6. Εφαρμογή και Αξιολόγηση Δεικτών Υφής

Η ανίχνευση των αστικών περιοχών έγινε προσπάθεια να ανιχνευτεί αρχικά με τις ήδη υπάρχουσες μεθόδους στο λογισμικό ER Mapper εκμεταλλευόμενοι την διαφορετική υφή που εμφανίζουν οι περιοχές αυτές. Οι δείκτες υφής εφαρμόστηκαν δοκιμαστικά στην πιο πρόσφατη από τις δορυφορικές απεικονίσεις (Landsat 2010). Αρχικά επιλέχθηκε το κανάλι με τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση, διότι σε αυτή την εικόνα είναι περισσότερο ευκρινείς οι μεταβολές των τόνων του γκρι. Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 3.5, το κανάλι με την μεγαλύτερη τυπική απόκλιση ήταν το πέμπτο.

REGION: All	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Non-Null Cells	1936368	1936368	1936368	1936368	1936368	1936368	1936368
Area In Hectares	174273.12	174273.12	174273.12	174273.1	174273.12	174273.12	174273.1
Area In Acres	430638.29	430638.29	430638.29	430638.3	430638.29	430638.29	430638.3
Minimum	63	22	17	9	6	137	3
Maximum	246	155	204	198	255	180	255
Mean	87.535	39.32	43.086	46.509	69.325	152.429	36.975
Median	81	38	40	57	80	156	38
Std. Dev.	14.259	12.768	20.769	28.943	51.305	12.143	26.668
Std. Dev. (n-1)	14.259	12.768	20.769	28.943	51.305	12.143	26.668
Corr. Eigenval.	6.352	0.512	0.059	0.053	0.014	0.006	0.004
Cov. Eigenval.	4905.56	150.038	46.118	12.576	6.756	4.238	0.934

Πίνακας 3.5: Γενικά στατιστικά στοιχεία εικόνας Landsat 2010.

Το επόμενο βήμα ήταν ο σχεδιασμός πολυγώνων στις προβληματικές ημιαστικές περιοχές (Εικόνα 3.25), δηλαδή στις περιοχές που η επιβλεπόμενη ταξινόμηση και η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση χωρίς την χρήση δεικτών υφής (λογισμικό eCognition 2001) δεν απέδιδαν σωστά τις περιοχές ως ημιαστικές.

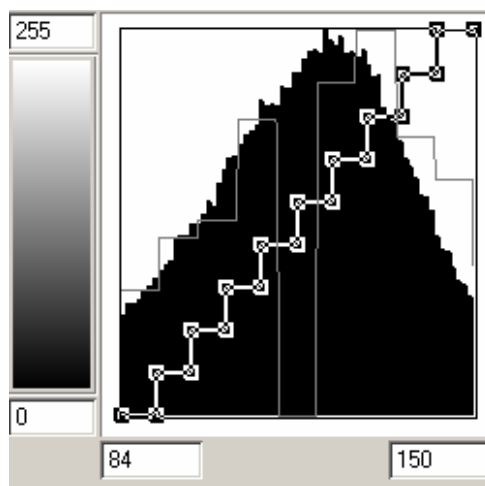


Εικόνα 3.25: Προβληματικές περιοχές ανίχνευσης περιοχών διακεκομμένης αστικής δόμησης.

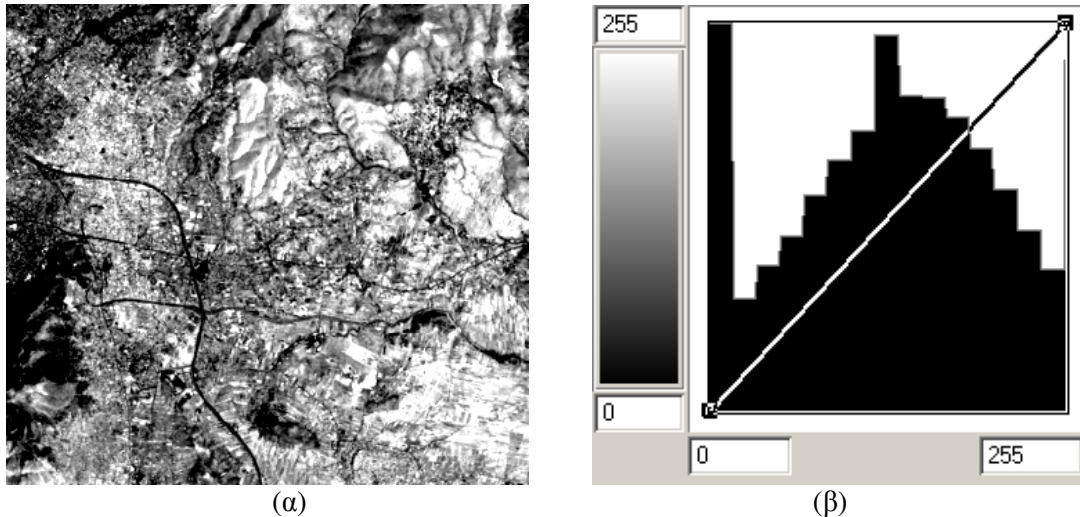
REGION: Dasamari	
Band5	
Non-Null Cells	336
Area In Hectares	30.240
Area In Acres	74.725
Minimum	84.000
Maximum	150.000
Mean	118.143
Median	123.000
Std. Dev.	18.625
Std. Dev. (n-1)	18.653
Corr. Eigenval.	1.000
Cov. Eigenval.	347.929

Πίνακας 3.6: Στατιστικά στοιχεία της περιοχής ‘Δασαμάρι’ στο κανάλι 5.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μείωση της ραδιομετρίας ώστε να περιοριστεί ο όγκος της επεξεργασίας των δεδομένων χωρίς να μειωθεί το αποτέλεσμα της μεθόδου. Ο τρόπος μείωσης της ραδιομετρίας ήταν ο ακόλουθος. Αρχικά υπολογίστηκαν εκ νέου τα στατιστικά στοιχεία της εικόνας και των πολυγώνων (Πίνακας 3.6). Έπειτα εφαρμόστηκε η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή ως όρια του ιστογράμματος κάθε πολυγώνου (Εικόνα 3.26) και ακολούθησε ισοδυναμοποίηση των ψηφιακών τιμών φωτεινότητας σε 16 τιμές στα όρια Min-Max κάθε πολυγώνου. Τέλος, αποθηκεύτηκε το αποτέλεσμα ως μια νέα εικόνα (Εικόνα 3.27 (α)).



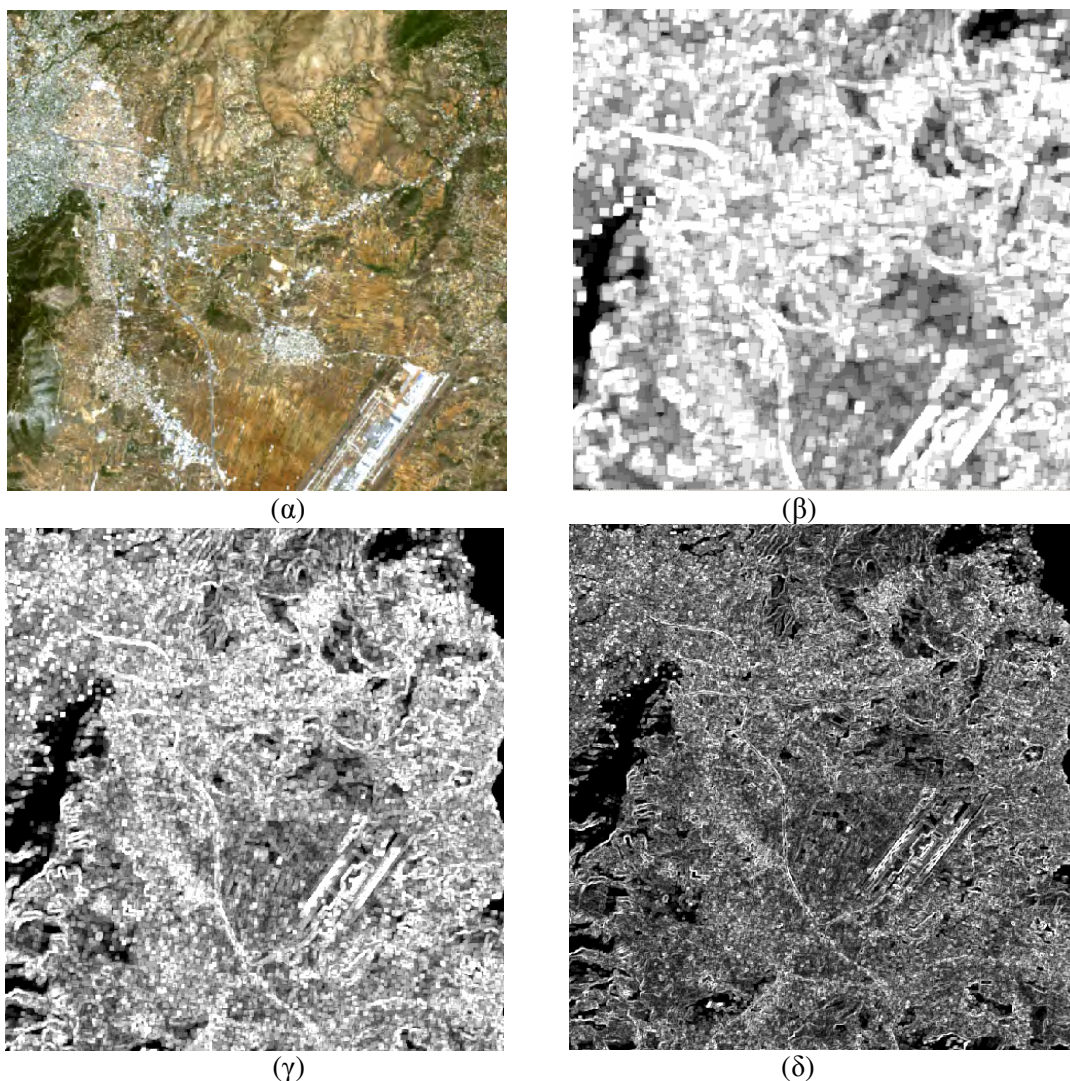
Εικόνα 3.26: Διαδικασία μείωσης της ραδιομετρίας της εικόνας.



Εικόνα 3.27: (α) Αποτέλεσμα εικόνας με μειωμένη ραδιομετρία, (β) μορφή ιστογράμματος εικόνας.

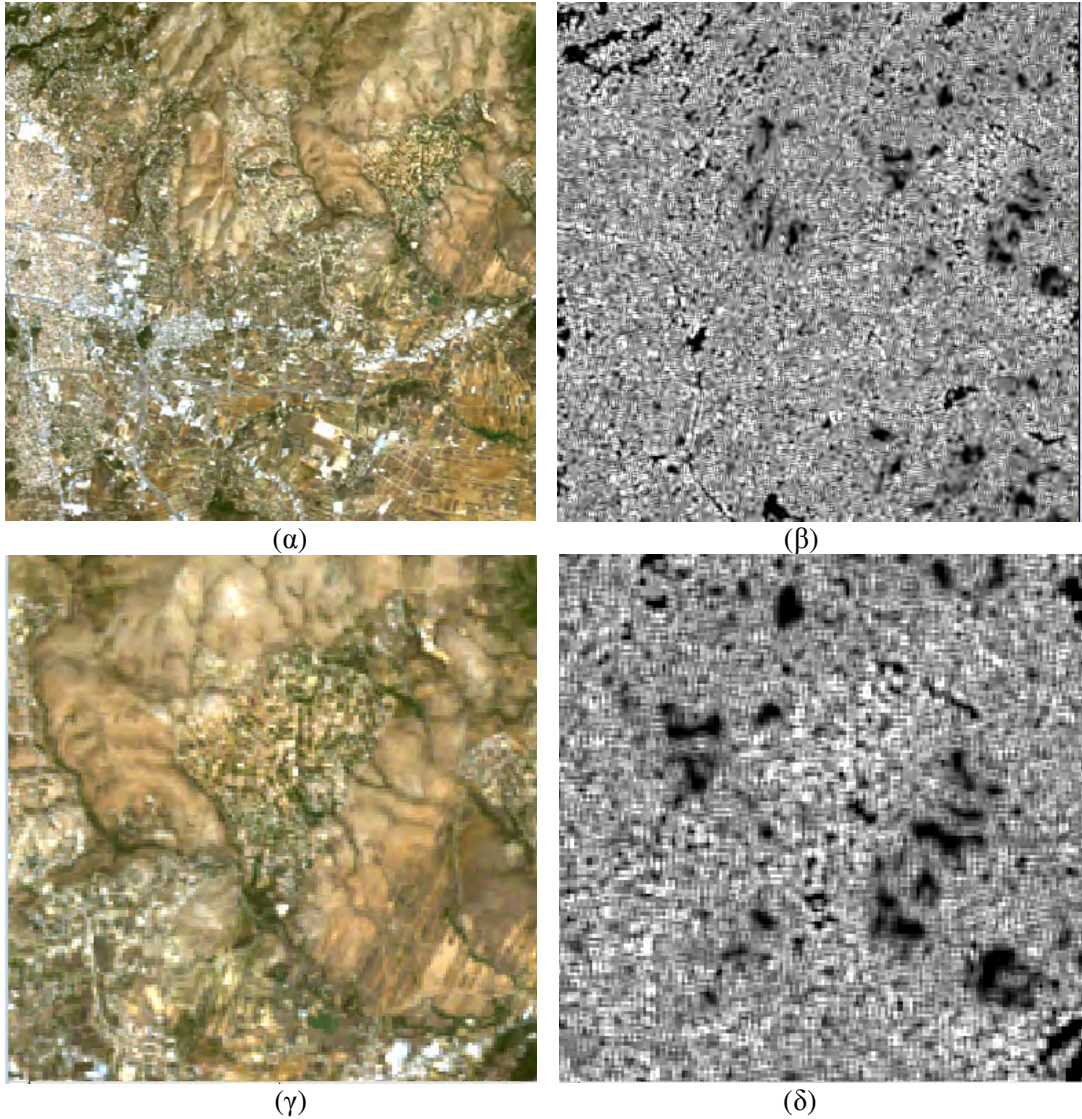
Όπως έχει προαναφερθεί οι αλγόριθμοι ανάδειξης υψής χρησιμοποιούν στατιστικές τεχνικές πρώτου, δεύτερου ή και μεγαλύτερου βαθμού.

Αρχικά εφαρμόστηκαν οι πιο απλές τεχνικές (πρώτου βαθμού) για την περιοχή ‘Δασαμάρι’. Τέτοιοι αλγόριθμοι ανάδειξης της υψής με στατιστικές τεχνικές πρώτου βαθμού είναι για παράδειγμα το Εύρος τιμών: $\text{Range} = \text{Max} - \text{Min}$, η Μέγιστη τιμή: Max , η Ελάχιστη τιμή: Min και η Διασπορά: Variance . Η εφαρμογή των φίλτρων πραγματοποιήθηκαν σε παράθυρα διαστάσεων 3x3, 5x5 και 9x9. Ενδεικτικά στη συνέχεια παρουσιάζονται οι Εικόνες 3.28 (β), (γ) και (δ) για τον δείκτη ‘Εύρος Τιμών’ σε εφαρμογή διαφορετικού μεγέθους παραθύρων.



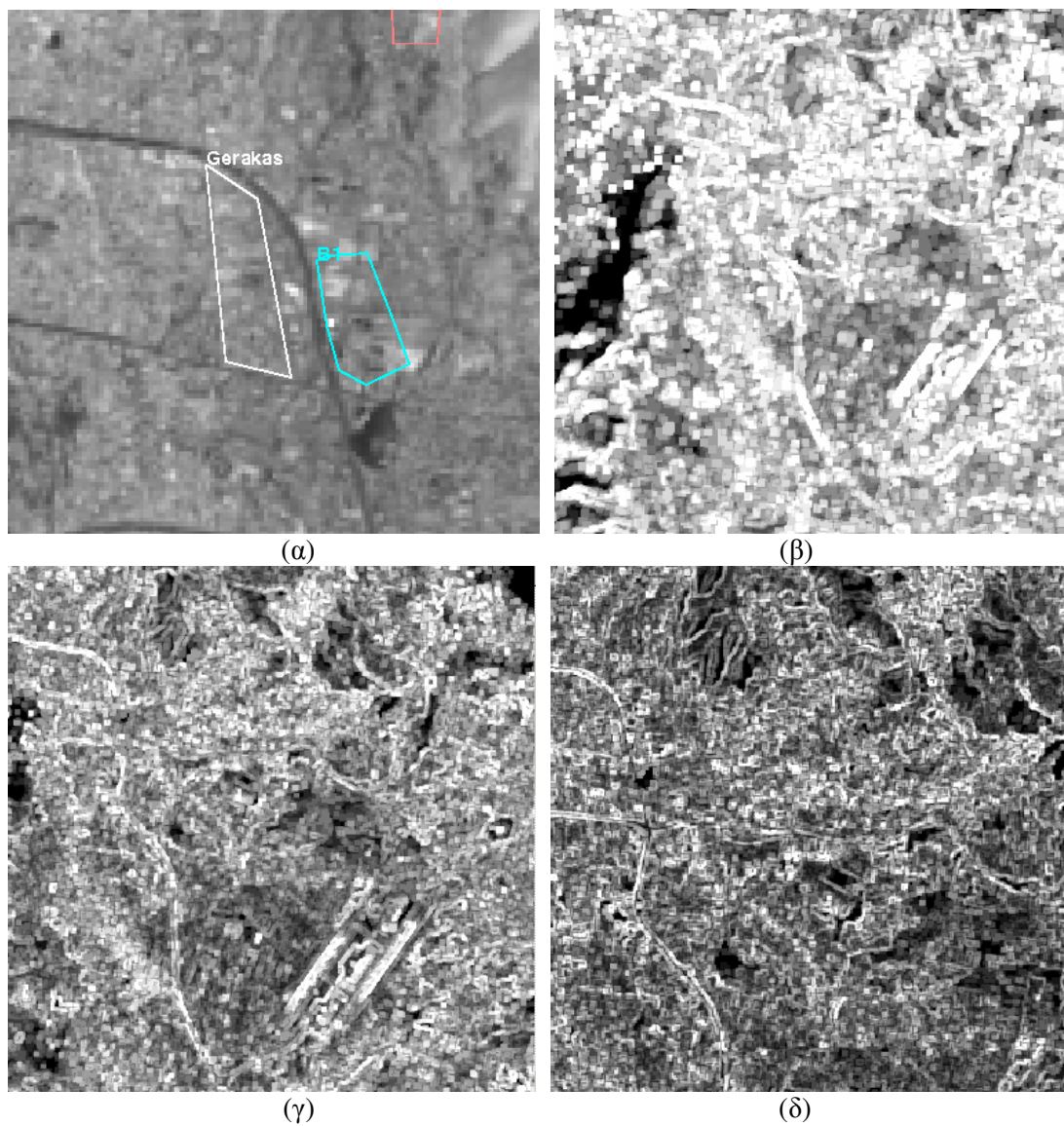
Εικόνα 3.28: Αποτέλεσμα του δείκτη ‘Εύρος τιμών’ της περιοχής της πρώτης εικόνας για παράθυρα διαστάσεων (β) 9x9, (γ) 5x5, (δ) 3x3.

Οι πρώτης τάξης στατιστικοί δείκτες δεν λαμβάνουν υπόψη τις χωρικές σχέσεις μεταξύ των τόνων, εν αντιθέσει με της δεύτερης τάξης όπου λαμβάνονται υπόψη. Για την ανάδειξη της υφής με στατιστικές τεχνικές δεύτερου βαθμού χρησιμοποιούνται πίνακες χωρικής συσχέτισης τόνων του γκριζου (Grey Level Co-Occurrence Matrices). Οι πίνακες εφαρμόστηκαν για όλες τις διευθύνσεις (0° , 45° , 90° και 135°) και σε η απόσταση 1 εικονοστοιχείου σε παράθυρο 9x9. Η εικόνα που αποθηκεύεται είναι ο μέσος όρος των τιμών αυτών. Οι δεύτερης τάξης δείκτες υφής που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή αυτή είναι η ‘Αντίθεση’, ο δείκτης ‘ASM’ και η ‘τυπική απόκλιση’. Το αποτέλεσμα ήταν ικανοποιητικό μόνο για τον πρώτο δείκτη υφής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.29.

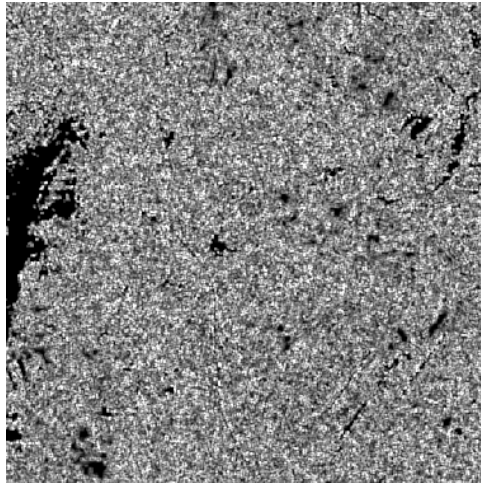


Εικόνα 3.29: (α), (γ) Χαρακτηριστικές περιοχές μη συνεχούς αστικής δόμησης, (β), (δ) Αποτέλεσμα εφαρμογής δείκτη υψής ‘Αντίθεση’ για παράθυρο διαστάσεων 9x9.

Όμοια διαδικασία ακολουθήθηκε για την περιοχή του Γέρακα. Από τα στατιστικά στοιχεία της περιοχής προέκυψε ελάχιστη τιμή ίση με 84 και μέγιστη τιμή ίση με 183. Ακολούθησε ισοδυναμοποίηση με 16 τόνους στο διάστημα αυτό. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις Εικόνες 3.30 και 3.31.



Εικόνα 3.30: (α) Χαρακτηριστικές περιοχές μη συνεχούς αστικής δόμησης και αποτέλεσμα του δείκτη ‘Εύρος τιμών’ της περιοχής της πρώτης εικόνας για παράθυρα διαστάσεων (β) 9x9, (γ) 5x5, (δ) 3x3.



Εικόνα 3.31: Αποτέλεσμα εφαρμογής δείκτη υφής ‘Αντίθεση’ για παράθυρο διαστάσεων 9x9 στην ευρύτερη περιοχή του Γέρακα.

Με τη διαδικασία ανίχνευσης υφής που πραγματοποιήθηκε έχοντας ως χωρική μονάδα ανάλυσης το εικονοστοιχείο, διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Το πρώτο πρόβλημα σε ‘pixel-based’ ανάλυση για την υφή είναι το πρόβλημα της κλίμακας. Ειδικά για τις Landsat εικόνες που η διακριτική ικανότητα είναι στα 30m, το αποτέλεσμα δεν είναι ικανοποιητικό.
- Το δεύτερο πρόβλημα αποτελεί η ποιότητα του πίνακα χωρικής συσχέτισης που δημιουργείται. Αν υποθεθεί ότι εφαρμόζεται παράθυρο 9x9 (81 pixels) σε 16 κανονικοποιημένες τιμές ($16 \times 16 = 256$), τότε αυτομάτως ο λόγος $81/256$ αποτελεί το καλύτερο αποτέλεσμα (ποσοστό 31.6%) που μπορεί να έχει η διαδικασία αυτή σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα.
- Από τους δείκτες πρώτης τάξης, καλύτερο αποτέλεσμα έδωσαν οι δείκτες ‘Εύρος τιμών’ (range) και ‘Μέγιστο’ (max) άλλοτε σε παράθυρο 3x3 και άλλοτε σε 9x9.
- Από τους δείκτες δευτέρου βαθμού, οι δείκτες ‘Αντίθεση’ (con) και ‘Διασπορά’ (var) έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα σε παράθυρο (9x9), ενώ δοκιμάστηκε και ο δείκτης ‘ASM’.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ

4.1. Ταξινομήσεις με Βασική Μονάδα Χωρικής Ανάλυσης το Εικονοστοιχείο

4.1.1. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Η διαδικασία θα παρουσιαστεί αναλυτικά για την πιο πρόσφατη δορυφορική εικόνα, ενώ στο τέλος θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα για όλες τις εικόνες.

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό ER Mapper και ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο ISOCCLASS. Αρχικά επισημαίνεται ότι σε όλες τις μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις χρησιμοποιήθηκαν και τα επτά κανάλια του δορυφόρου Landsat, χωρίς να απορριφθεί το θερμικό, διότι, παρά τη μικρότερη χωρική ανάλυση, η φασματική πληροφορία που παρέχει κρίνεται σημαντική. Αναφέρεται επίσης ότι ο αριθμός των επαναλήψεων των συσσωρεύσεων του αλγορίθμου ορίστηκε ως ο μέγιστος δυνατός, ενώ ο αλγόριθμος σταματούσε τις επαναλήψεις όταν είχε δημιουργηθεί ο αριθμός των κατηγοριών και το 98% των συσσωρεύσεων παρέμενε αμετάβλητο. Για τις υπόλοιπες παραμέτρους της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε επιλογή με πειραματική διαδικασία. Ως καταλληλότερες θεωρήθηκαν εκείνες που το αποτέλεσμα έδινε τον καλύτερο δυνατό διαχωρισμό των κατηγοριών. Γενικά ο αλγόριθμος συνέκλινε για όλες τις απεικονίσεις σε λιγότερο από 20 επαναλήψεις. Ο παρακάτω Πίνακας συγκεντρώνει για όλες τις δορυφορικές απεικονίσεις τις τελικές παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν.

Παράμετροι / Έτος Απεικόνισης	2010	2003	2000	1991	1984
Μέγιστος αριθμός τάξεων	15	15	15	18	16
Ελάχιστο ποσοστό εικονοστοιχείων ανά τάξη	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Μέγιστη τυπική απόκλιση της κατανομής	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Ελάχιστη απόσταση μεταξύ των μέσων δυο τάξεων	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2

Πίνακας 4.1: Παράμετροι μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ανά δορυφορική εικόνα.

4.1.1.1 Εκτέλεση μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 2010

Ο μέγιστος αριθμός δίνει την εντολή να συσσωρευτούν τα δεδομένα της εικόνας το πολύ σε όσες κατηγορίες ορίζονται. Για το 2010 οι δεκαπέντε ομαδοποιήσεις ήταν ο κρίσιμος αριθμός κατηγοριών κάλυψης γης που βρέθηκε να αντιπροσωπεύει την απεικόνιση, ενώ το ίδιο ίσχυσε για τις δύο προηγούμενες απεικονίσεις. Για το 1991 και το 1984, λόγω της έλλειψης δεδομένων στο νοτιοανατολικό τμήμα της εικόνας ο αριθμός των ομαδοποιήσεων διαφοροποιήθηκε. Επειδή ο αριθμός των επελεγμένων κατηγοριών είναι αρκετά υψηλός, για την ταχύτερη σύγκλιση του αλγορίθμου επιλέχθηκε σε όλες τις ταξινομήσεις μικρό ποσοστό ελάχιστων εικονοστοιχείων της εικόνας ανά τάξη. Η μέγιστη τυπική απόκλιση κάθε κατηγορίας ουσιαστικά καθορίζει

την αυστηρότητα του αλγορίθμου στη συσσώρευση και για το λόγο αυτό επιλέχθηκε για όλες τις ταξινομήσεις χαμηλή τιμή. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των μέσων δυο τάξεων σχετίζεται επίσης με την αυστηρότητα του αλγορίθμου στο διαχωρισμό μεταξύ των φασματικών τάξεων. Όσο περισσότερες είναι οι κατηγορίες τόσο μικρότερη επιτρέπεται να είναι η παράμετρος αυτή, διότι είναι πιθανόν οι κατηγορίες να μην διαφέρουν πολύ φασματικά (πχ. είδη βλάστησης). Για λιγότερες κατηγορίες όμως, ενδείκνυται η χρήση μεγαλύτερης απόστασης διότι ο κίνδυνος σύγχυσης δύο κατηγοριών είναι μικρότερος.

Στη συνέχεια ακολουθεί η ερμηνεία των ομαδοποιήσεων και η χρωματική αντιστοίχησή τους σε πραγματικές τάξεις αντικειμένων/εμφανίσεων της γήινης επιφάνειας. Η φωτοερμηνεία για την πιο πρόσφατη απεικόνιση έγινε με τη βοήθεια των προτύπων του εγχειριδίου του CORINE Land Cover, καθώς και με τη βοήθεια από τις δορυφορικές εικόνες από το πρόγραμμα ‘Google Earth’. Στις προηγούμενες απεικονίσεις ο χρήστης βασίστηκε στα φωτοερμηνευτικά πρότυπα (κλειδιά) που εκτιμήθηκαν για κάθε κατηγορία από την πιο πρόσφατη απεικόνιση, αλλά και με τον ορισμό νέων προτύπων με τον τρόπο που περιγράφηκε στο εδάφιο 3.5. Ο δορυφόρος που χρησιμοποιείται στο ‘Google Earth’ είναι IKONOS και η χωρική διακριτική του ικανότητα είναι πολύ μικρότερη (1m). Στη φωτοερμηνεία των απεικονίσεων του 2000 και του 2003 επίσης βοήθησε και το CORINE 2000.

Η χρήση προτύπων για τη φωτοερμηνεία κρίθηκε απαραίτητη κυρίως εξαιτίας του μεγέθους του εικονοστοιχείου που είναι 30 m. Για παράδειγμα, το πρότυπο της συνεχούς αστικής περιοχής με το πρότυπο της μη συνεχούς διαφέρουν ως προς το ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας. Ύστερα από τη φωτοερμηνεία, οι συσσωρεύσεις ονοματίστηκαν και χρωματίστηκαν κατάλληλα και πλέον οι φασματικές τάξεις αντιστοιχούν σε πραγματικές τάξεις, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1. Η ονοματολογία που χρησιμοποιήθηκε πλησιάζει, όσο το δυνατό, τις κατηγορίες που προτείνει το CORINE Land Cover στο τρίτο επίπεδο λεπτομέρειας (Πίνακας 4.2). Σε ορισμένες περιπτώσεις ο χρωματισμός μερικών συσσωρεύσεων ήταν κοινός επειδή αντιπροσώπευαν ουσιαστικά την ίδια κατηγορία. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως θα μπορούσε στις παραμέτρους των κατηγοριών να επιλεγεί μικρότερος αριθμός με πιθανό κίνδυνο όμως συνένωσης άλλων κατηγοριών. Συμπερασματικά, ήταν προτιμότερο να εξαχθούν δύο συσσωρεύσεις που, παρά τη μικρή φασματική διαφοροποίηση, αντιπροσωπεύουν την ίδια θεματική κατηγορία παρά να συγχωνευτούν δύο ξεχωριστές τάξεις.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2 (β) ο αλγόριθμος αντιμετώπισε ένα βασικό πρόβλημα διάκρισης μεταξύ συνεχούς και διακεκομμένης αστικής δόμησης, καθώς μια από τις ομάδες συσσώρευσης με μεγάλο αριθμό εικονοστοιχείων δεν ήταν δυνατό να ενταχθεί στη μία ή στην άλλη θεματική κατηγορία. Η λανθασμένη αντιστοίχιση είναι ιδιαίτερα εμφανής στην περιοχή της Αθήνας όπου συνεχείς αστικές περιοχές ταξινομούνται ως μη συνεχείς. Όμως η συνένωσή τους με ενιαίο χρώμα απεικονίζει αξιόπιστα τις κατοικημένες περιοχές (Εικόνα 4.2 (γ)). Ακολουθούν ακόμα μερικά παραδείγματα αποτελέσματος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε μεγέθυνση στις Εικόνες 4.3 και 4.4.

Class	Name	Color	
	All	black	Set color...
1	sea	navy	Set color...
2	sea_shallow	blue	Set color...
3	coastline	cyan	Set color...
4	road	black	Set color...
5	dense_vegetation_and_coniferous_or_broadleaved_forest	0,64,0	Set color...
6	transitional	0,128,64	Set color...
7	sclerophyllus_vegetation	128,255,128	Set color...
8	urban_cont1	192,192,192	Set color...
9	urban_disc1	magenta	Set color...
10	urban_disc2	magenta	Set color...
11	cultivation	255,165,74	Set color...
12	urban_soil_like_roof_and_pure_soil_or_urban_disc	128,0,255	Set color...
13	bare_soil_or_scant_vegetation	255,255,128	Set color...
14	urban_cont2	192,192,192	Set color...
15	urban_big_buildings_and_mines	red	Set color...

(α)

(β)

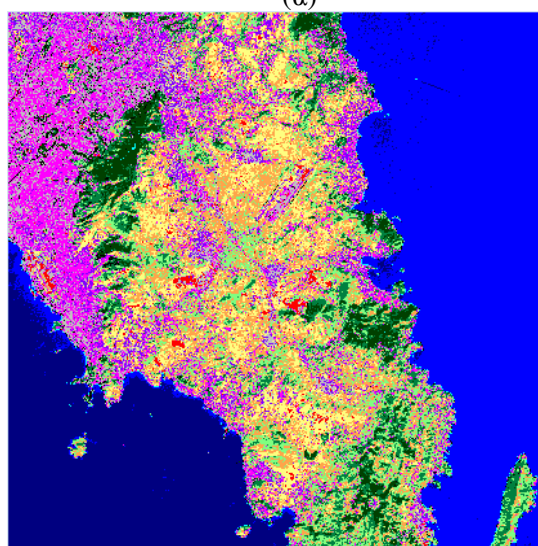
Εικόνα 4.1: (α) Αντιστοίχιση συσσωρεύσεων με πραγματικές θεματικές κατηγορίες και αρχική χρωματική παλέτα, (β) Τελική χρωματική παλέτα ταξινόμησης μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 2010.

Class	Name	CORINE (nomenclature Level 3)	
1	sea	5.2.3.	Sea and ocean
2	sea_shallow	5.2.3.	Sea and ocean
3	coastline	3.3.1.	Beaches, dunes, sands
4	road	1.2.2, 1.1.1.	Road and rail networks and associated land, Continuous urban fabric
5	dense_vegetation_and_coniferous_or_broadleaved_forest	3.1.1., 3.1.2.	Broad-leaved forest, Coniferous forest
6	transitional	3.2.4.	Transitional woodland/shrub
7	sclerophyllus_vegetation	3.2.3.	Sclerophyllous vegetation
8	urban_cont1	1.1.1.	Continuous urban fabric
9	urban_disc1	1.1.2.	Discontinuous urban fabric
10	urban_disc2	1.1.2.	Discontinuous urban fabric
11	cultivation	2.2.1., 2.4.2.	Vineyards, Complex cultivation patterns
12	urban_soil_like_roof_and_pure_soil_or_urban_disc	1.1.2.	Discontinuous urban fabric
13	bare_soil_or_scant_vegetation	2.4.2., 3.3.2., 3.3.3., 3.3.4.	Complex cultivation patterns, Bare rock, Sparsely vegetated areas, Burnt areas
14	urban_cont2	1.1.1.	Continuous urban fabric
15	urban_big_buildings_and_mines	1.1.1., 1.2.1., 1.3.1.	Continuous urban fabric, Industrial or commercial units, Mineral extraction sites

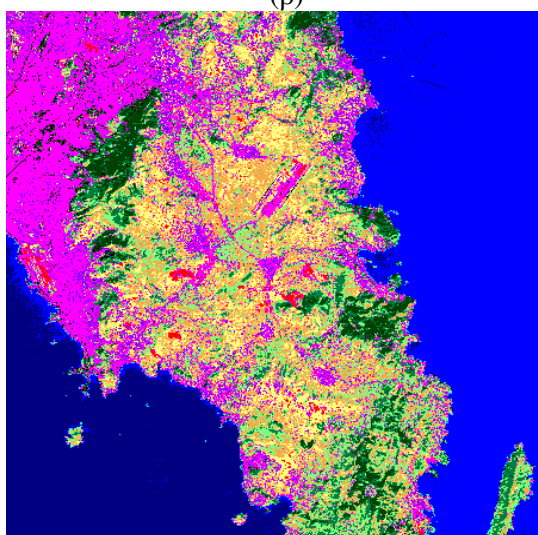
Πίνακας 4.2: Συσχέτιση κατηγοριών μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης 2010 και θεματικών κατηγοριών CORINE Land Cover τρίτου επιπέδου.



(α)

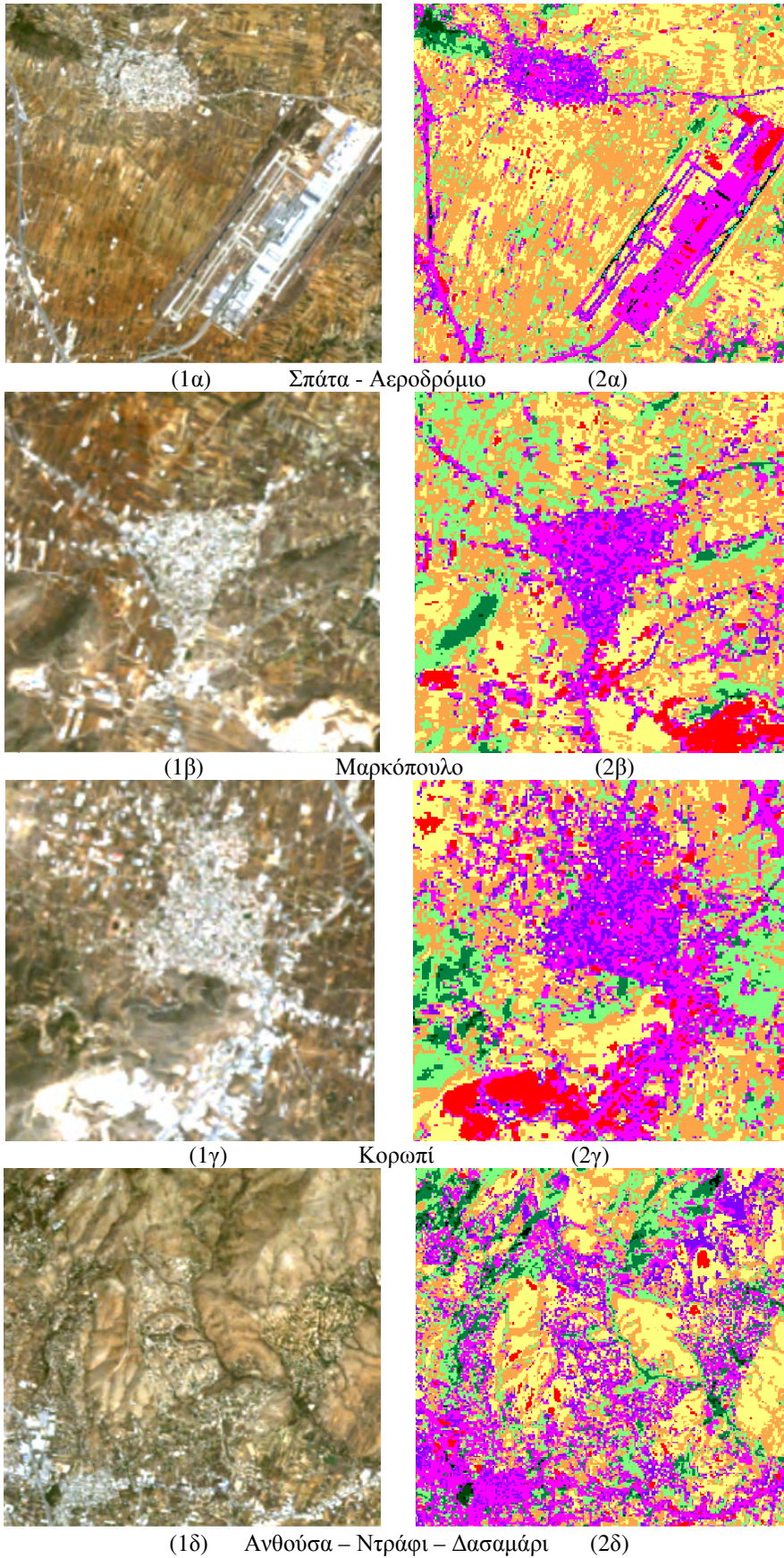


(β)

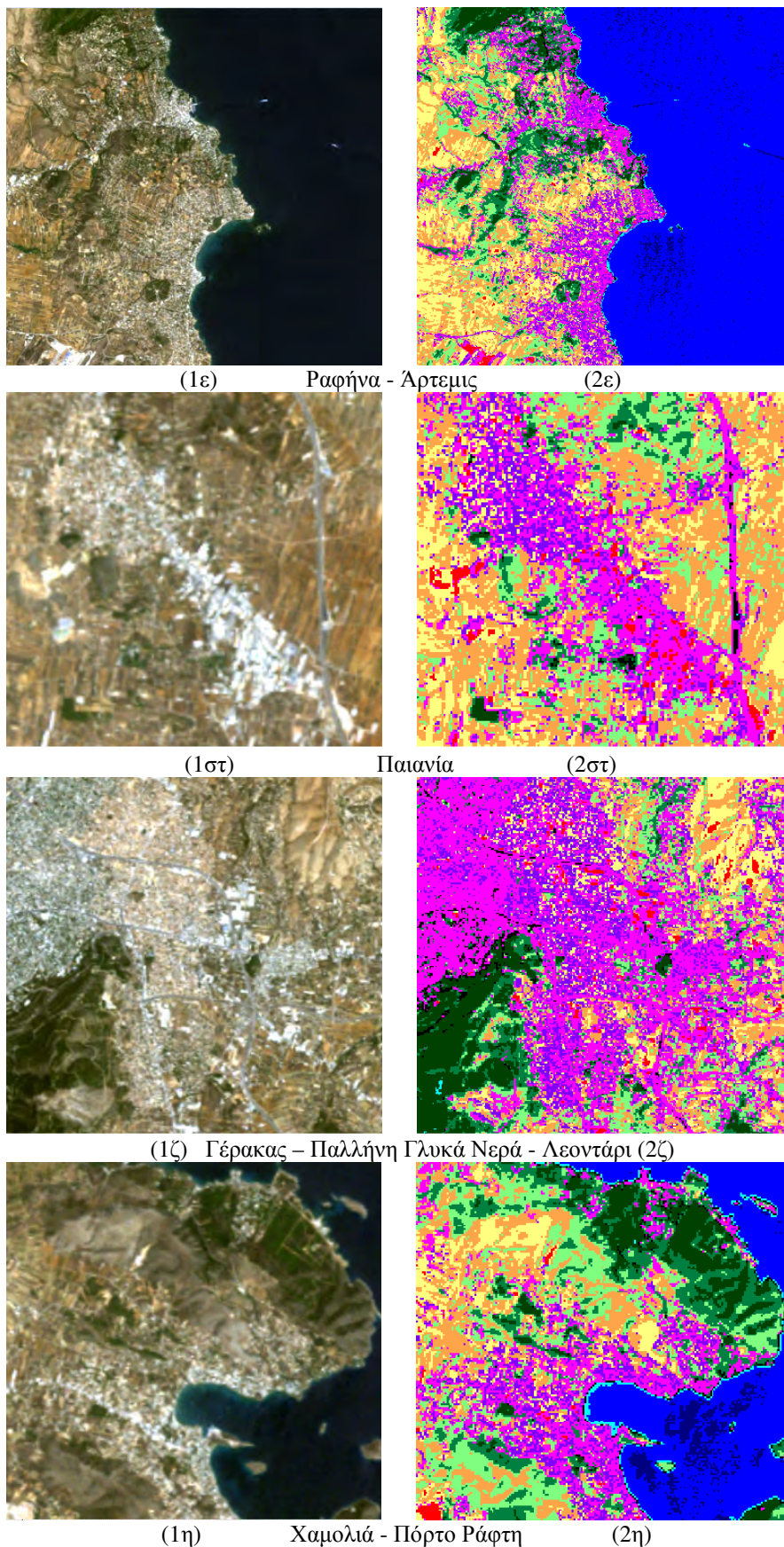


(γ)

Εικόνα 4.2: (α) Έγχρωμο σύνθετο RGB Ανατολικής Αττικής για το 2010, Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 2010 και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων (β) με την αρχική παλέτα χρωμάτων, (γ) με την τελική παλέτα χρωμάτων.



Εικόνα 4.3: (1α -1γ) Εικόνες της Ανατολικής Αττικής το 2010 σε μεγέθυνση (RGB), (2α -2γ) Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης 15 κατηγοριών και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων.



Εικόνα 4.4: (1ε -1η) Εικόνες της Ανατολικής Αττικής το 2010 σε μεγέθυνση (RGB), (2ε -2η) Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης 15 κατηγοριών και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων.

Από τις παραπάνω εικόνες προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

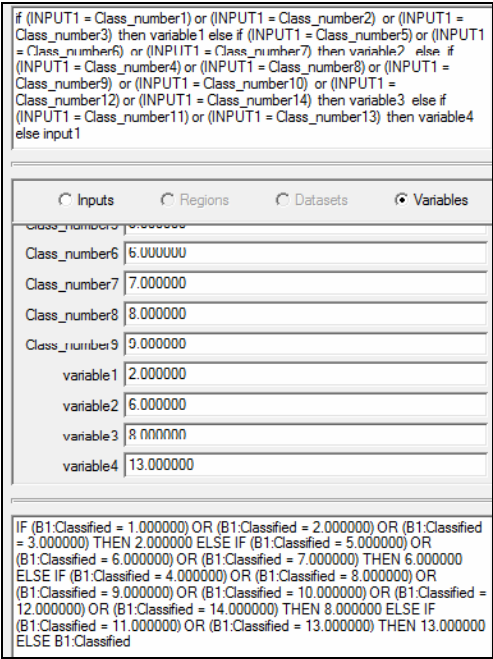
- Δεν είναι δυνατή η απόλυτη διάκριση συνεχούς αστικής και μη συνεχούς αστικής δόμησης. Η ενιαία κατηγοριοποίησή τους όμως δίνει πολύ καλή εκτίμηση της ανεπτυγμένης περιοχής. Ικανοποιητική είναι και η συσσώρευση που αντιστοιχεί σε ‘soil like’ κεραμοσκεπές (Γέρακας–Παλλήνη) αν και μερικές φορές αντιστοιχεί σε ασυνεχές αστικό χωρίς κεραμοσκεπές. Πρόβλημα εμφανίζεται στις περιπτώσεις αραιής δόμησης, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό επιφάνειας του εικονοστοιχείου καλύπτεται από βλάστηση. Σε τέτοιες περιοχές, που είναι αρκετές, πχ Ανθούσα, Ραφήνα, σημαντικό τμήμα δομημένης περιοχής ταξινομείται ως βλάστηση. Σημαντικό πρόβλημα επίσης παρουσιάζεται στην περιοχή της Πεντέλης και του Υμηττού, καθώς βραχώδεις εκτάσεις ή περιοχές χωρίς βλάστηση ταξινομούνται ως αστικές περιοχές.
- Όπως φαίνεται στις παραπάνω εικόνες, ο αλγόριθμος διαχωρίζει ικανοποιητικά τα είδη βλάστησης. Αυτό σημαίνει ότι φασματικά είναι δυνατόν να διαχωριστεί η πυκνή βλάστηση (που ως επί τω πλείστον αποτελείται από δάση) από τα μεταβατικά είδη βλάστησης και τη σκληροφυλλική βλάστηση. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις μη επικαλυπτόμενες ελλείψεις στα διαγράμματα ανακλαστικότητας που πραγματοποιήθηκαν για τη λήψη δειγμάτων στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Για τις καλλιέργειες όμως, ο διαχωρισμός των φασματικών υπογραφών τους δεν είναι τόσο ισχυρός, όπως φαίνεται τόσο από το αποτέλεσμα της μη επιβλεπόμενης όσο και από τα διαγράμματα ανακλαστικότητας των δειγμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια. Η σύγχυση συμβαίνει κυρίως με τη σκληροφυλλική βλάστηση.
- Η μη αρδεύσιμη–αρόσιμη γη αντιστοιχεί ουσιαστικά στο γυμνό έδαφος και διαχωρίζεται επιτυχώς στην εικόνα.
- Σημαντικό τμήμα αυτοκινητοδρόμων ταξινομούνται ως αστικές περιοχές.
- Τα ορυχεία δεν είναι δυνατό να διαχωριστούν από τα μεγάλα και συνεχή κτήρια τα οποία παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα (πχ. βιομηχανική περιοχή πλησίον της Παιανίας, πρώην Διεθνής Αερολιμένας ‘Ελληνικό’, Ολυμπιακές εγκαταστάσεις). Σύγχυση υπάρχει σε ορισμένες περιπτώσεις αυτής της κατηγορίας με την περίπτωση γυμνού εδάφους επίσης με υψηλή ανακλαστικότητα στο ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (περιοχή μεταξύ Ανθούσας και Ντράφι).
- Η θάλασσα διαχωρίζεται φασματικά σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη αντιστοιχεί στην ακτογραμμή, δηλαδή στα ύδατα πλησίον της ακτής, και σε δύο ακόμα κατηγορίες ανάλογα με τις φασματικές υπογραφές που διαμορφώνονται και από τον πυθμένα αλλά και από τα θαλάσσια ρεύματα. Ο αλγόριθμος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ταξινομεί ως ‘θάλασσα’ επίσης μερικά εικονοστοιχεία του αεροδιαδρόμου ή εικονοστοιχεία όπου κανονικά υπάρχει βλάστηση. Αυτό συμβαίνει λόγω της επικάλυψης των φασματικών υπογραφών των ασφαλικών των αεροδιαδρόμων, της σκιασμένης βλάστησης και των υδάτων.

Στη συνέχεια, σκεπτόμενοι το βασικό στόχο που είναι η εξαγωγή περιοχών με πυκνότερη ή πιο αραιή δόμηση, συνενώθηκαν όσες συσσωρεύσεις σχετίζονται με τη δόμηση σε μια κατηγορία, ενώ αντίστοιχα ενοποιήθηκαν κατηγορίες της βλάστησης, της θάλασσας, μη αρδεύσιμης αρόσιμης γης και ορυχείων. Στην Εικόνα 4.5 που ακολουθεί φαίνεται ο κώδικας που συντάχθηκε για την ένωση των κατηγοριών. Ο αριθμός της τάξης αντιστοιχεί στον αριθμό που έχει κάθε κατηγορία στην Εικόνα 4.1,

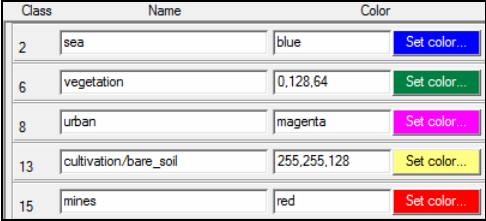
ενώ οι αριθμοί στις μεταβλητές αντιστοιχούν στην ενιαία κατηγορία. Οι νέες κατηγορίες έλαβαν γενικότερη ονοματολογία και αποθηκεύτηκαν σε νέο αρχείο. Αναλυτικά οι κατηγορίες που συνενώθηκαν παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα, ενώ ο αλγόριθμος που συντάχθηκε παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.5.

sea, sea_shallow, coastline	sea
dense_vegetation_and_coniferous_or_broadleaved_forest, transitional, sclerophyllus_vegetation	vegetation
road, urban_cont1, urban_disc1, urban_disc2, urban_soil_like_roof_and_pure_soil_or_disc_urban, urban_cont2	urban
cultivation, bare_soil_or_scant_vegetation	cultivation/bare_soil
urban_big_buildings_and_mines	mines

Πίνακας 4.3: Συγχώνευση δεκαπέντε κατηγοριών μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε πέντε γενικότερες κατηγορίες για το 2010.



(α)



(β)

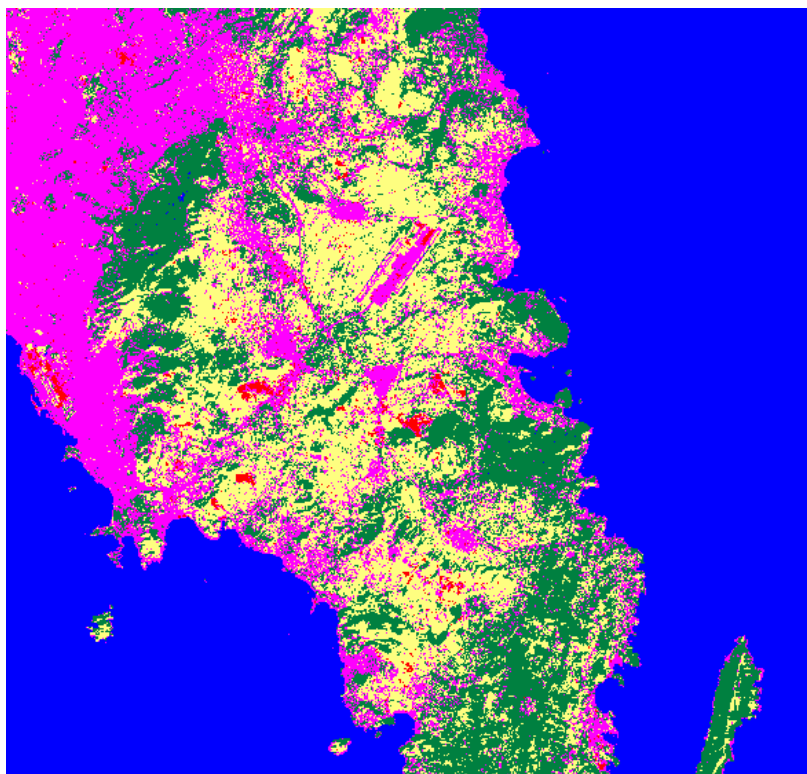
Εικόνα 4.5: (α) Αλγόριθμος συνένωσης κατηγοριών, (β) Νέα χρωματική παλέτα.

Η εμβαδομέτρηση κάθε κατηγορίας σε διάφορες μονάδες μέτρησης ήταν η εξής.

Class/Region	Hectares	m ²	km ²
-----	-----	-----	-----
1. sea	78598.44	785984400	785.98
2. vegetation	29395.62	293956200	293.96
3. urban	33452.10	334521000	334.52
4. cultivation/bare_soil	30746.07	307460700	307.46
5. mines	1451.79	14517900	14.52
All	173644.02	1736440200	1736.44

Πίνακας 4.4: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών για το 2010.

Συνεπώς η Εικόνα.4.2 (γ) μετασχηματίζεται ως εξής:



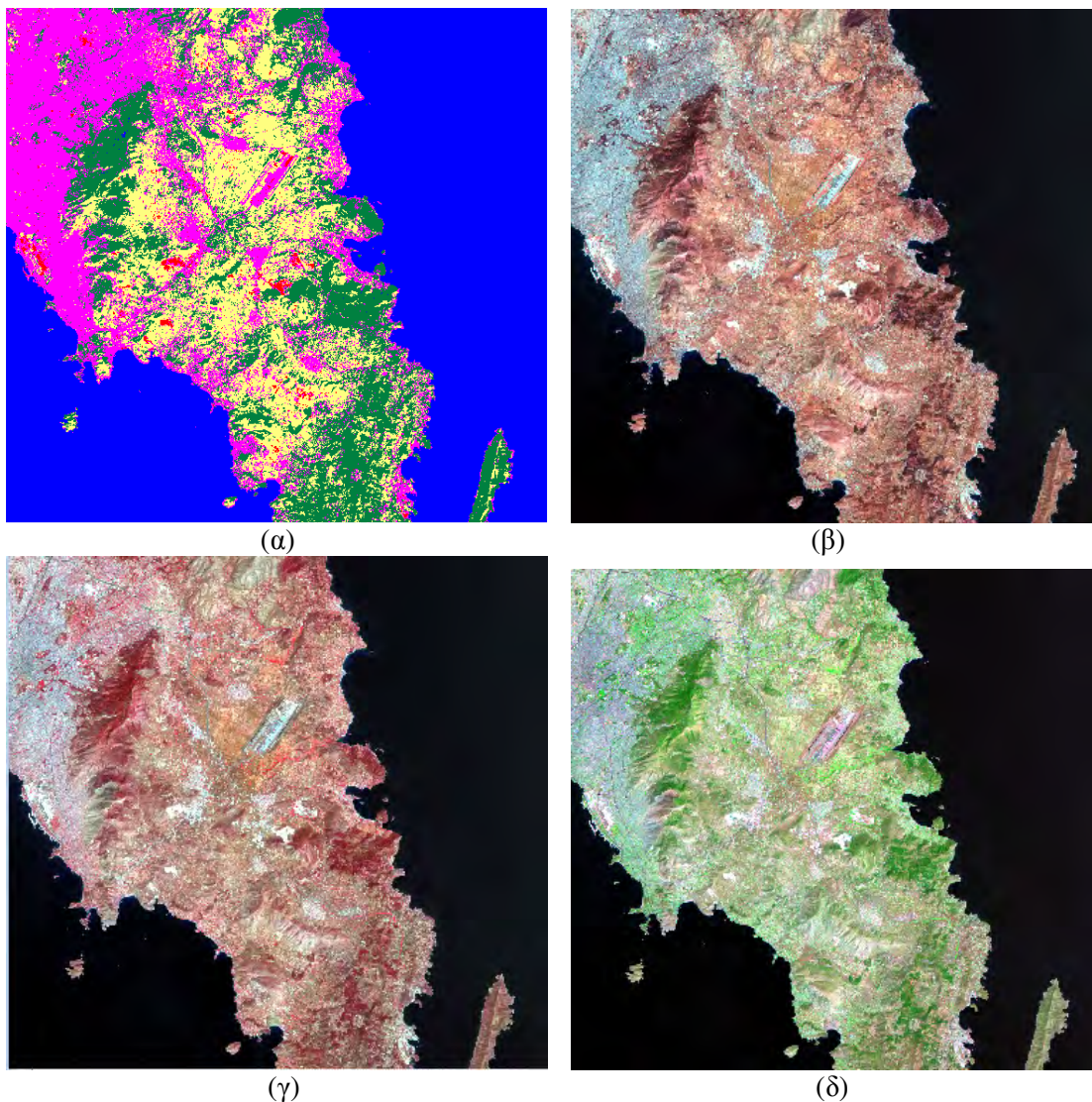
Εικόνα 4.6: Απεικόνιση ενοποιημένων κατηγοριών μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον 2010.



Εικόνα 4.7: Ανάδειξη αστικών περιοχών για την απεικόνιση του 2010 στο κανάλι 1.

Από τη σύγκριση των Εικόνων 4.6 και 4.7, όπου για την τελευταία εικόνα, το κανάλι 1 ενδείκνυται για την ανάδειξη αστικών περιοχών και ανθρωπογενών κατασκευών, προκύπτει ικανοποιητική προσέγγιση της αστικής περιοχής με την ύπαρξη βέβαια προβλημάτων όπως έχουν αναφερθεί παραπάνω.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα έγχρωμα σύνθετα που βοηθούν την αξιολόγηση της ταξινόμησης (Εικόνα 4.8).

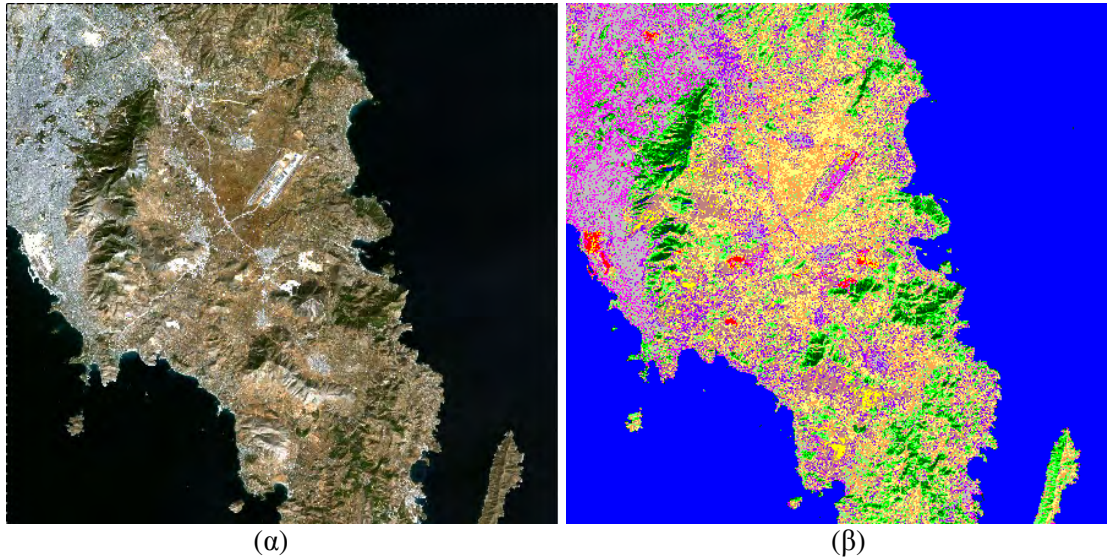


Εικόνα 4.8: (α) Ενοποιημένες κατηγορίες μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον 2010, (β) Έγχρωμο σύνθετο 532, (γ) Έγχρωμο σύνθετο 432, (δ) Έγχρωμο σύνθετο 743.

Το έγχρωμο σύνθετο 532 αναδεικνύει τις αστικές περιοχές με λευκούς τόνους, ενώ το 432 αναδεικνύει τη βλάστηση με κόκκινους τόνους. Όσο πιο πυκνή είναι η βλάστηση τόσο εντονότερος είναι και ο τόνος του κόκκινου. Τέλος, στο έγχρωμο σύνθετο 743 αναδεικνύονται η βλάστηση με πράσινους τόνους αλλά και οι βραχώδεις περιοχές και οι καμένες εκτάσεις. Η σύγκρισή τους με το αποτέλεσμα της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τη δορυφορική εικόνα του 2010 οδηγεί στο συμπέρασμα πως η ταξινόμηση είναι αξιόπιστη.

4.1.1.2 Εκτέλεση μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 2003

Με ανάλογη διαδικασία, από την δορυφορική απεικόνιση του 2003 προκύπτει η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση 15 κατηγοριών (Εικόνα 4.9), οι οποίες έγινε προσπάθεια επίσης να αντιστοιχηθούν σε θεματικές κατηγορίες, όπως φαίνεται στη χρωματική παλέτα της Εικόνας 4.10. Ακολούθησε η συνένωση των συσσωρεύσεων στις πέντε ίδιες γενικότερες κατηγορίες με ανάλογο αλγόριθμο (Πίνακας 4.5) και ο υπολογισμός των στατιστικών τους δεδομένων. Στην Εικόνα 4.11 παρουσιάζεται το τελικό αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το έτος αυτό.



Εικόνα 4.9: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 2003 σε RGB, (β) Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων.

Class	Name	Color
	All	black
1	sea	blue
2	dense_vegetation_and_coniferous_or_broadleaved_forest	0,64,0
3	transitional	0,128,0
4	sclerophyllus_vegetation	green
5	scant_vegetation	128,255,128
6	cultivation	255,165,74
7	urban_disc1	magenta
8	urban_cont1	192,192,192
9	bare_soil	255,255,128
10	urban_soil_like_roof_and_pure_soil_or_urban_disc	128,0,255
11	urban_cont2	192,192,192
12	cultivation_or_bare_soil	191,128,128
13	urban_disc2	magenta
14	bare_soil_or_rocks	yellow
15	urban_big_buildings_and_mines	red

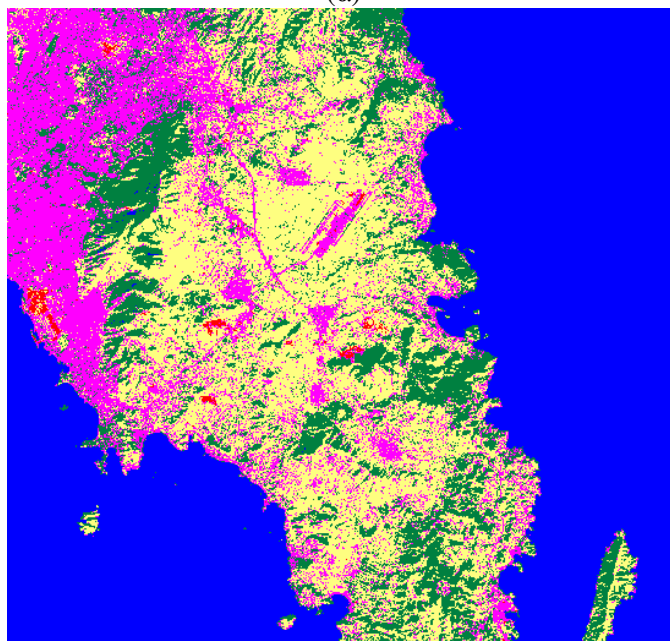
Εικόνα 4.10: (α) Αντιστοίχιση συσσωρεύσεων με πραγματικές θεματικές κατηγορίες και η χρωματική παλέτα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 2003.

sea	sea
dense_vegetation_and_coniferous_or_broadleaved_forest, transitional, sclerophyllus_vegetation, scant_vegetation	vegetation
urban_cont1, urban_disc1, urban_disc2, urban_soil_like_roof_and_pure_soil_or_disc_urban, urban_cont2	urban
cultivation, bare_soil, cultivation or bare_soil, bare_soil_or_rocks	cultivation/bare soil
urban_big_buildings_and_mines	mines

Πίνακας 4.5: Συγχώνευση δεκαπέντε κατηγοριών σε πέντε γενικότερες κατηγορίες για το 2003.



(α)



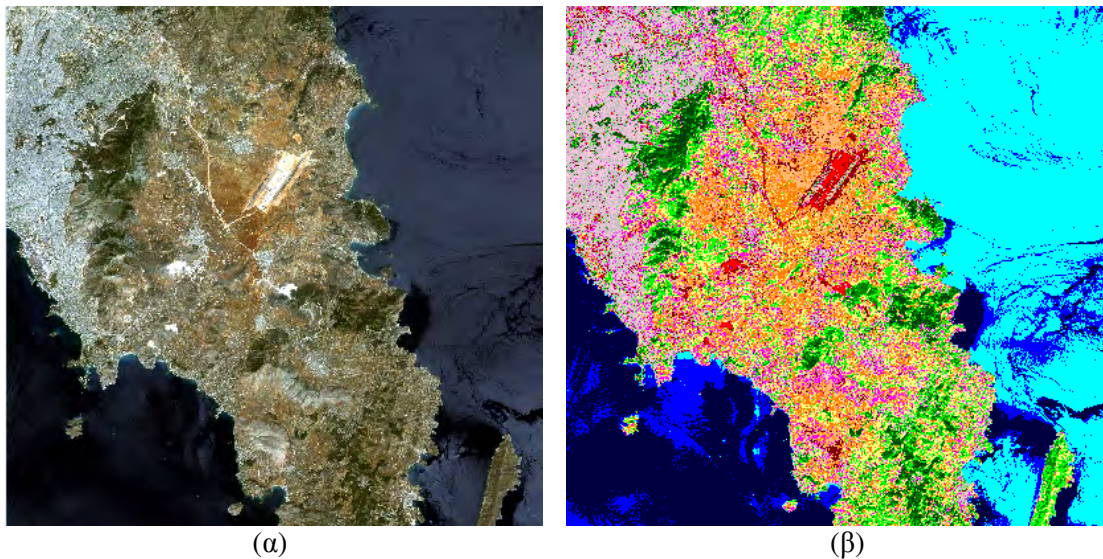
(β)

Εικόνα 4.11: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 2003 στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Ενοποιημένες κατηγορίες μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον 2003.

Από το αποτέλεσμα της ταξινόμησης διακρίνονται τα ίδια προβλήματα με τη μη επιβλεπόμενη του 2010, κυρίως στα αστικά όπου δεν μπορεί πάλι να γίνει η διάκριση μεταξύ συνεχούς και διακεκομμένης, στη θάλασσα και στα ορυχεία. Ως προς τα τελευταία, η ύπαρξη ορυχείων μικρής επιφάνειας, σε περιοχές όπου στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν ορυχεία, αντιστοιχούν, ως επί τω πλείστον σε μεγάλα κτίρια ή σε βιομηχανικές περιοχές. Τέλος, ως προς τη βλάστηση πρέπει να αναφερθεί ότι προέρχεται από συνένωση τεσσάρων και όχι τριών κατηγοριών. Ο φασματικός διαχωρισμός τους σχετίζεται με τη ραδιομετρία κάθε εικόνας. Διαφορές στη βλάστηση εντοπίζονται μεταξύ των χρονολογιών 2003 και 2010 στην περιοχή της Καλλιτεχνούπολης γεγονός που επιβεβαιώνεται από την πυρκαγιά του 2005 στην περιοχή.

4.1.1.3 Εκτέλεση μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 2000

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την εικόνα 2000. Αξίζει να επισημανθεί πως η απεικόνιση αυτή είναι η μοναδική από το δορυφόρο Landsat 7 γεγονός που συνεπάγεται διαφορετική ραδιομετρία. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο εδάφιο, οι εικόνες δεν είναι διορθωμένες ραδιομετρικά και για το λόγο αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στις ταξινομήσεις.



Εικόνα 4.12: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 2000 σε RGB, (β) Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων.

Class	Name	Color
	All	black
1	sea1	0,0,64
2	sea2	blue
3	sea3	cyan
4	dense_vegetation_and_coniferous_or_broadleaved_forest	0,64,0
5	transitional	0,128,0
6	sclerophyllus_or_scant_vegetation	green
7	urban_cont1_or_roads	192,192,192
8	bare_soil1	255,255,128
9	cultivation	255,128,0
10	urban_cont_or_urban_disc	255,198,226
11	urban_disc1	magenta
12	urban_cont2	192,192,192
13	bare_soil_or_cultivation	255,186,117
14	bare_soil2	128,0,0
15	urban_big_buildings_and_mines	red

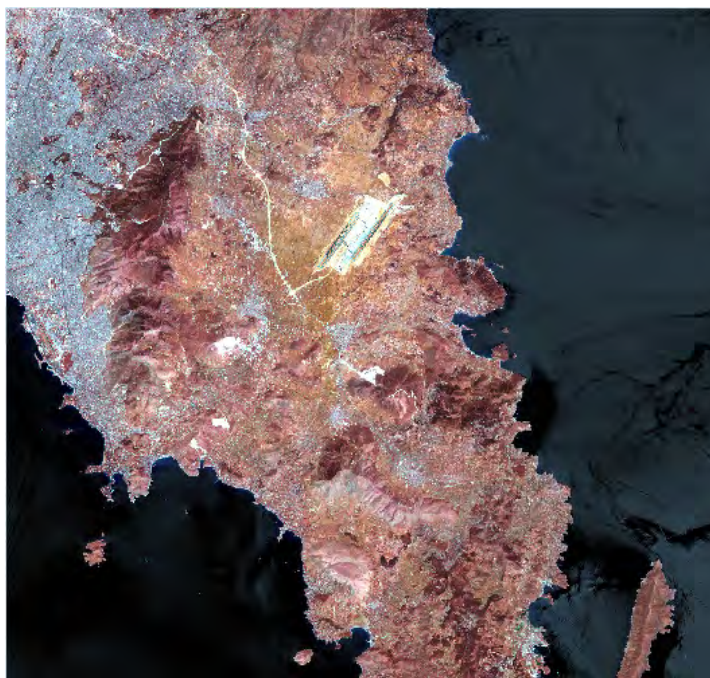
Εικόνα 4.13: (α) Αντιστοίχιση συσσωρεύσεων με πραγματικές θεματικές κατηγορίες και η χρωματική παλέτα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 2000.

sea1, sea2, sea3	sea
dense_vegetation_and_coniferous_or_broadleaved_forest, transitional, sclerophyllus_or_scant_vegetation	vegetation
urban_cont1_or_roads, urban_cont_or_urban_disc, urban_disc1, urban_cont2	urban
cultivation, bare_soil1, bare_soil2, bare_soil_or_cultivation	cultivation/bare_soil
urban_big_buildings_and_mines	mines

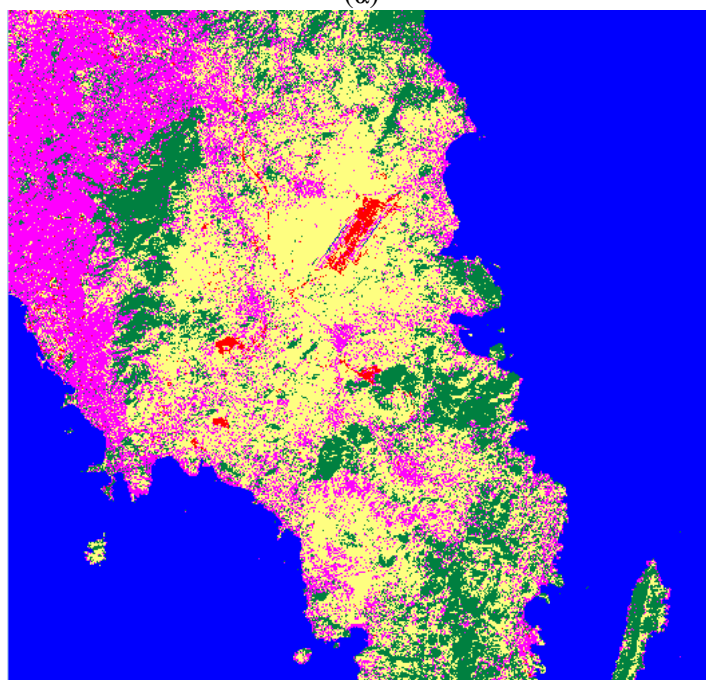
Πίνακας 4.6: Συγχώνευση δεκαπέντε κατηγοριών σε πέντε γενικότερες κατηγορίες για το 2000.

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι ικανοποιητικό για το σύνολο των ανεπτυγμένων οικιστικά περιοχών και για τη βλάστηση. Για τον αερολιμένα ‘Ελευθέριος Βενιζέλος’ το 2000, από τα κανάλια του δορυφόρου φαίνεται πως έχουν ολοκληρωθεί σχεδόν οι κτηριακές εγκαταστάσεις, ο αλγόριθμος δεν είναι δυνατό να διαχωρίσει το κτίριο του αερολιμένα που έχει υψηλή ανακλαστικότητα από το γύρω έδαφος στο οποίο εκτελούνται εργασίες και ταξινομείται ως ορυχείο.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη δορυφορική απεικόνιση χρονολογείται τον Μάιο του 2000, δηλαδή πριν τις πυρκαγιές του Αυγούστου του ίδιου έτους στην Πεντέλη, οι οποίες κατέστρεψαν 1.805 στρέμματα βλάστησης και για το λόγο αυτό αναμένεται μείωση της βλάστησης μεταξύ των εικόνων 2000 και 2003 (πηγή: wwk.kathimerini.gr).



(α)

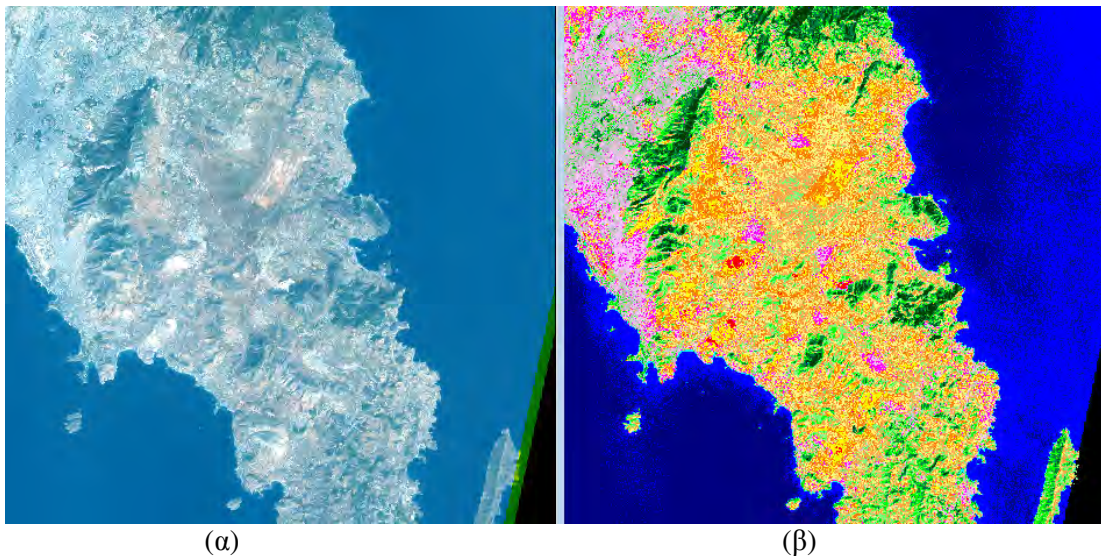


(β)

Εικόνα 4.14: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 2000 στο έγχρωμο σύνθετο 532,
(β) Ενοποιημένες κατηγορίες μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον 2000.

4.1.1.4 Εκτέλεση μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 1991

Ακολούθως παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την εικόνα 1991. Το τμήμα της απεικόνισης που δεν έχει δεδομένα προφανώς δεν ταξινομείται.



Εικόνα 4.15: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 1991 σε RGB, (β) Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων.

Class	Name	Color	
	All	black	Set color...
1	no_data	black	Set color...
2	no_data	black	Set color...
3	no_data	black	Set color...
4	dense_vegetation_and_coniferous_or_broadleaved_forest	0,64,0	Set color...
5	transitional	0,128,64	Set color...
6	sea1	navy	Set color...
7	sea2	blue	Set color...
8	coastline	cyan	Set color...
9	sclerophyllus_vegetation	green	Set color...
10	scant_vegetation	128,255,128	Set color...
11	urban_cont1	192,192,192	Set color...
12	cultivation	255,165,74	Set color...
13	bare_soil_1	255,255,128	Set color...
14	urban_cont2_or_urban_disc2	255,193,255	Set color...
15	bare_soil_or_cultivation	255,128,0	Set color...
16	urban_disc1	magenta	Set color...
17	bare_soil2	yellow	Set color...
18	urban_big_buildings_and_mines	red	Set color...

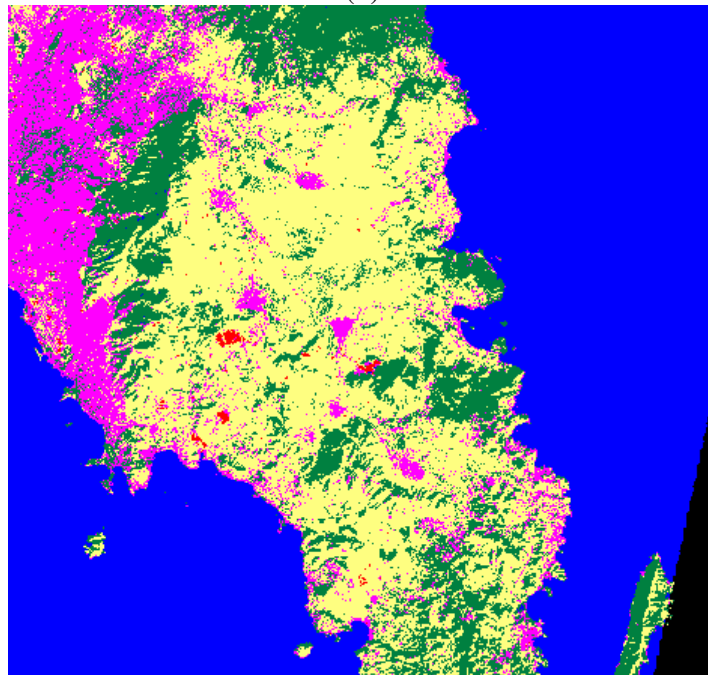
Εικόνα 4.16: (α) Αντιστοίχιση συσσωρεύσεων με πραγματικές θεματικές κατηγορίες και η χρωματική παλέτα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 1991.

sea1, sea2, coastline	sea
dense_vegetation_and_coniferous_or_mixed_forest, transitional, sclerophyllus_vegetation, scant_vegetation	vegetation
urban_cont1, urban_disc1, urban_cont2_or_urban_disc2	urban
cultivation, bare_soil1, bare_soil2, bare_soil_or_cultivation	cultivation/bare_soil
urban_big_buildings_and_mines	mines

Πίνακας 4.7: Συγχώνευση δεκαοκτώ κατηγοριών σε πέντε γενικότερες κατηγορίες για το 1991.



(α)



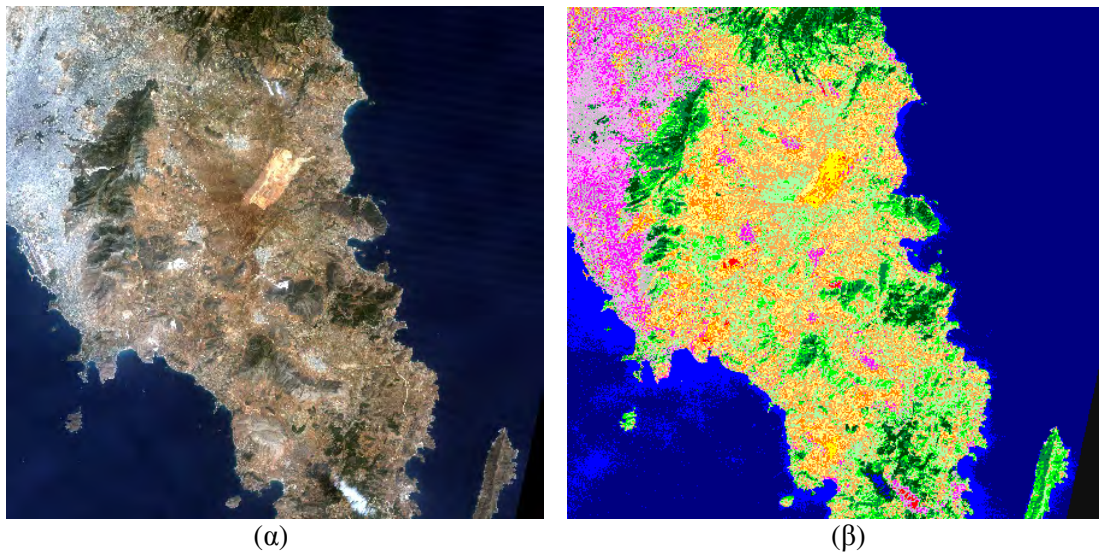
(β)

Εικόνα 4.17: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 1991 στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Ενοποιημένες κατηγορίες μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον 1991.

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης δίνει καλά αποτελέσματα για την οικιστικά ανεπτυγμένη περιοχή. Για τα ορυχεία, η ταξινόμηση δεν είναι ικανοποιητική διότι η δεύτερη συσσώρευση, που περιλαμβάνει και εδάφη του αεροδρομίου που εκτελούνται εργασίες, περιλαμβάνει επίσης εδάφη σημαντικής έκτασης στον Ύμηττό και σε άλλες περιοχές και θα ήταν εσφαλμένο να ομαδοποιηθούν ως ορυχεία. Η πιθανή αιτία που συμβαίνει αυτό είναι η ραδιομετρία της εικόνας διότι πραγματοποιήθηκαν διαφορετικές επιλογές παραμέτρων και το αποτέλεσμα των συσσωρεύσεων δεν πετύχαινε σημαντικά καλύτερο διαχωρισμό.

4.1.1.5 Εκτέλεση μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 1984

Ομοίως, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την εικόνα 1984. Το τμήμα της απεικόνισης που δεν έχει δεδομένα προφανώς δεν ταξινομείται.



Εικόνα 4.18: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 1984 σε RGB, (β) Αποτέλεσμα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και αντιστοίχιση με τις πραγματικές τάξεις εμφανίσεων.

Class	Name	Color	
	All	black	Set color...
1	no_data	15,15,15	Set color...
2	sea1	navy	Set color...
3	sea2	blue	Set color...
4	dense_vegetation_and_coniferous_or_broadleaved_forest	0,64,0	Set color...
5	transitional	0,128,64	Set color...
6	sclerophyllus_vegetation	green	Set color...
7	urban_cont1	192,192,192	Set color...
8	scant_vegetation	166,255,166	Set color...
9	cultivation	255,165,74	Set color...
10	urban_cont3_disc2	255,174,255	Set color...
11	urban_disc1	magenta	Set color...
12	bare_soil1	255,255,128	Set color...
13	bare_soil2	255,128,0	Set color...
14	urban_cont2	192,192,192	Set color...
15	mines1	yellow	Set color...
16	urban_big_buildings_and_mines	red	Set color...

Εικόνα 4.19: (α) Αντιστοίχιση συσσωρεύσεων με πραγματικές θεματικές κατηγορίες και η χρωματική παλέτα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 1984.

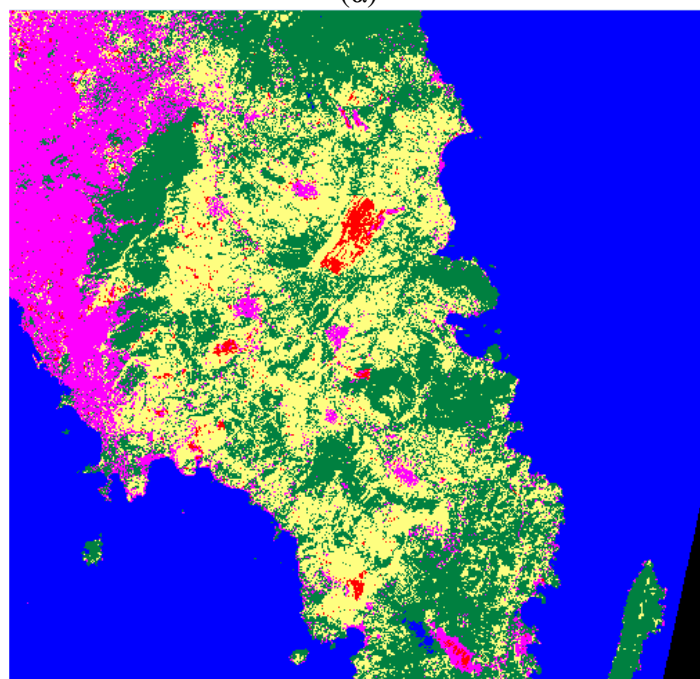
sea1, sea2	sea
dense_vegetation_and_coniferous_or_mixed_forest, transitional, sclerophyllus_vegetation, scant_vegetation	vegetation
urban_cont1, urban_disc1, urban_cont2, urban_cont3_or_disc2	urban
cultivation, bare_soil1, bare_soil2	cultivation/bare_soil
urban_big_buildings_and_mines, mines1	mines

Πίνακας 4.8: Συγχώνευση δεκαέξι κατηγοριών σε πέντε γενικότερες κατηγορίες για το 1984.

Η ταξινόμηση είναι ικανοποιητική ως προς τις αστικές περιοχές. Παρατηρείται πως σε ορισμένες περιοχές όπου η δόμηση είναι αραιή, η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεν καταφέρνει να την ανιχνεύσει, όσες μεταβολές και να γίνουν στις παραμέτρους ταξινόμησης. Γι αυτό το λόγο, γενικά η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, σε όλες τις απεικονίσεις υποεκτιμά ελαφρώς την ανεπτυγμένη περιοχή. Επειδή όμως συμβαίνει σε όλες απεικονίσεις το σφάλμα που εισάγεται για την ανίχνευση της μεταβολής δεν είναι ανασταλτικός παράγοντας, καθώς έχει να κάνει με την ευαισθησία του αλγόριθμου ανάλογα με το ποσοστό του εικονοστοιχείου που αντιστοιχεί σε ανθρωπογενείς κατασκευές. Ως προς τα ορυχεία, στην παρούσα απεικόνιση είναι εφικτός ο διαχωρισμός και του αεροδρομίου γεγονός που οφείλεται στη ραδιομετρία της εικόνας.



(α)



(β)

Εικόνα 4.20: (α) Απεικόνιση της Ανατολικής Αττικής για το 1984 στο έγχρωμο σύνθετο 532,
(β) Ενοποιημένες κατηγορίες μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον 1984.

Στον επόμενο Πίνακα συγκεντρώνονται τα στατιστικά δεδομένα των ενοποιημένων κατηγοριών για τις χρονιές των δορυφορικών απεικονίσεων.

1984				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
-----	-----	-----	-----	-----
1. sea	76342.32	763423200	763.42	763423.2
2. vegetation	38681.73	386817300	386.82	386817.3
3. urban	18555.39	185553900	185.55	185553.9
4. arid	36142.83	361428300	361.43	361428.3
5. mines	1703.52	17035200	17.04	17035.2
All	171425.79	1714257900	1714.26	1714257.9

Πίνακας 4.9: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών για το 1984.

1991				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
-----	-----	-----	-----	-----
1. sea	74720.07	747200700	747.20	747200.7
2. vegetation	25798.14	257981400	257.98	257981.4
3. urban	19004.04	190040400	190.04	190040.4
4. arid	49757.58	497575800	497.58	497575.8
5. mines	452.61	4526100	4.53	4526.1
All	169732.44	1697324400	1697.32	1697324.4

Πίνακας 4.10: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών για το 1991.

2000				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
-----	-----	-----	-----	-----
1. sea	78471.49	784714900	784.71	784714.9
2. vegetation	22417.64	224176370	224.18	224176.37
3. urban	27646.12	276461200	276.46	276461.2
4. arid	43630.35	436303490	436.30	436303.49
5. mines	1362.681	13626810	13.63	13626.81
All	173528.28	1735282770	1735.28	1735282.8

Πίνακας 4.11: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών για το 2000.

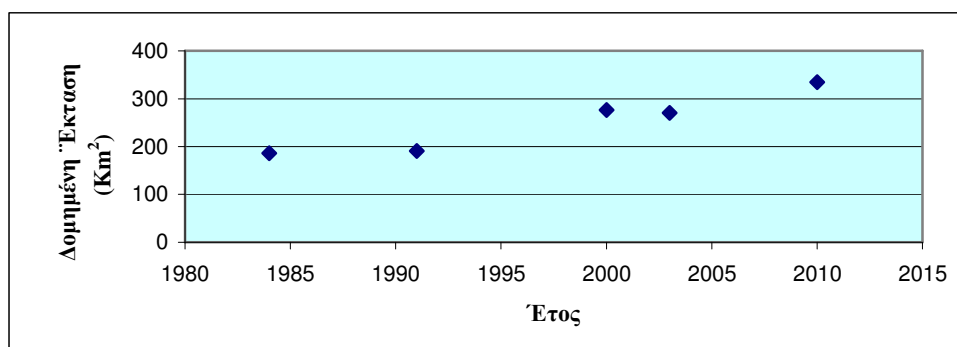
2003				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
-----	-----	-----	-----	-----
1. sea	78241.23	782412300	782.41	782412.3
2. vegetation	23913.36	239133600	239.13	239133.6
3. urban	27026.82	270268200	270.27	270268.2
4. arid	43830.54	438305400	438.31	438305.4
5. mines	632.07	6320700	6.32	6320.7
All	173644.02	1736440200	1736.44	1736440.2

Πίνακας 4.12: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών για το 2003.

2010				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
-----	-----	-----	-----	-----
1. sea	78598.44	785984400	785.98	785984.4
2. vegetation	29395.62	293956200	293.96	293956.2
3. urban	33452.10	334521000	334.52	334521
4. arid	30746.07	307460700	307.46	307460.7
5. mines	1451.79	14517900	14.52	14517.9
All	173644.02	1736440200	1736.44	1736440.2

Πίνακας 4.13: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών για το 2010.

Το γράφημα που αντιστοιχεί στις οικιστικές περιοχές παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Συνεχής και Διακεκομμένη Δόμηση σε Km² ανά έτος απεικόνισης.

Γενικά παρατηρείται αύξηση των οικιστικών περιοχών, και μάλιστα με εκθετικό βαθμό στην περιοχή μελέτης. Μια ένδειξη αστοχίας στην ταξινόμηση είναι το γεγονός ότι το 2000 φαίνεται πως η αστική περιοχή είναι 620 περίπου εκτάρια μεγαλύτερη από του 2003. Παρά του ότι και στις δύο απεικονίσεις υπάρχουν εικονοστοιχεία στους ορεινούς όγκους τα οποία έχουν ταξινομηθεί λανθασμένα, το πρόβλημα αυτό ίσως οφείλεται στη διαφορετική ραδιομετρία της εικόνας του 2000, ή στο γεγονός ότι η χρονική τους απόσταση είναι μόλις τρία χρόνια και το σφάλμα αυτό υπάγεται στο σφάλμα της ακρίβειας της ταξινόμησης.

Ως προς τη βλάστηση, επίσημες αναφορές δείχνουν πως η περιοχή της Πεντέλης και πιο συγκεκριμένα ο Γέρακας, ο Διόνυσος το Πικέρμι και ο Μαραθώνα, επλήγησαν το 1982, δηλαδή πριν την πρώτη απεικόνιση της παρούσας μελέτης. Η διαφορά στη βλάστηση μεταξύ 1984 και 1991 (Πίνακας 4.14) δεν οφείλεται τόσο σε πυρκαγιές αλλά λόγω της κατηγορίας της αραιής βλάστησης η οποία εμπεριέχει και τις καλλιέργειες διότι μεταξύ του 1984 και του 1991 δεν ξέσπασε πυρκαγιά στην περιοχή τουλάχιστον επίσημα καταχωρημένη. Ακόμα και με περισσότερες κατηγορίες μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το 1984 δεν επιτεύχθηκε ο διαχωρισμός τους. Κρίνεται άρα απαραίτητο να παρουσιαστούν αναλυτικά τα στατιστικά δεδομένα της κάθε κατηγορίας βλάστησης πριν την ενοποίηση τους για να γίνει εμφανής η πραγματική μεταβολή.

Classes Vegetation	1984 Area in Hectares	1991 Area in Hectares	1984 Area in km ²	1991 Area in km ²
dense_vegetation_and_coniferous_or_mixed_forest	3869.64	2780.91	38.70	27.81
transitional	6930.09	5384.16	69.31	53.84
sclerophyllus_vegetation	9814.05	7553.52	98.14	75.53
scant_vegetation	18067.95	10079.55	180.68	100.79
sum	38681.73	25798.14	386.82	257.98

Πίνακας 4.14: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών βλάστησης σε εκτάρια και σε km² για το 1984 και 1991.

Πράγματι, όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, η μεγαλύτερη διαφορά εμφανίζεται στην αραιή βλάστηση.

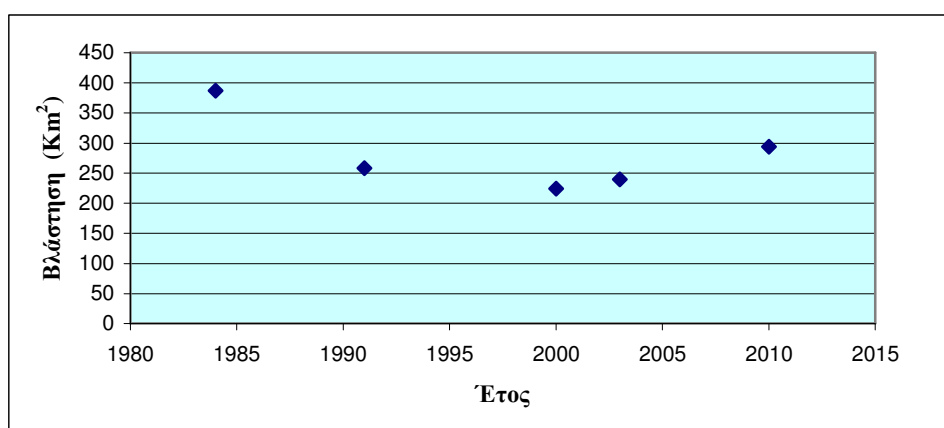
Μεταξύ των χρονολογιών 2000 και 1991 αναμένεται σημαντική μείωση της βλάστησης της περιοχής, ιδιαίτερα στην Πεντέλη καθώς στο διάστημα αυτό πλήχθηκε από τέσσερις πυρκαγιές. Η πρώτη ξέσπασε τον Ιούλιο του 1993 στην Ανατολική Πεντέλη και επεκτάθηκε στον Μαραθώνα, τη Σταμάτα, τον Άγιο Στέφανο, το Διόνυσο και έκαψε περίπου 11.000 στέμματα δασικής έκτασης (πηγή: wwk.kathimerini.gr). Τον Αύγουστο του ίδιου έτους ξέσπασαν νέες πυρκαγιές στην Π. Πεντέλη, Ντράφι και Παλλήνη. Δεκάδες χιλιάδες στρέμματα κάηκαν. Η δεύτερη ξέσπασε τον Ιούλιο του 1995 και έφτασε μέχρι το Ντράφι, την Καλλιτεχνούπολη και το Νέο Βουτζά καίγοντας 65.000 στρέμματα δάσους και 150 οικίες και η τρίτη, τον Ιούλιο του 1998 η οποία ξεκίνησε από το Νέο Βουτζά και την Ανθούσα και συνολικά μετέτρεψε σε στάχτη 96.000 στρέμματα εκ των οποίων τα 50.000 για δεύτερη φορά. Η πυρκαγιά του Αυγούστου του 2000, της οποίας το αποτέλεσμα δεν φαίνεται προφανώς στην απεικόνιση του Μαΐου του 2000, κατέστρεψε το έργο της αναδάσωσης των πυρκαγιών που προαναφέρθηκαν. Από το 2000 και μετά οι βασικότερες πυρκαγιές που ξέσπασαν ήταν το 2005 στην Πεντέλη, το 2007 στην Πάρνηθα και τον Ύμητό.

Σήμερα, στην Αττική οι δασικές εκτάσεις που σώθηκαν δεν αποτελούν παρά το 20%-23% της συνολικής εκτάσεως του Νομού. Τις τελευταίες δεκαετίες προσετέθησαν στο σχέδιο πόλης τουλάχιστον 130-150 χιλιάδες στρέμματα. Χτίστηκε δηλαδή, ακόμη ‘μισή’ Αθήνα (η συνολική έκταση του σχεδίου πόλης της Αθήνας το 1980 ήταν 300 000 στρέμματα). Στο σχέδιο εντάχθηκε ένας μεγάλος αριθμός από τα 200

000 αυθαίρετα που κτίστηκαν στο Λεκανοπέδιο κυρίως από το 1975 έως το 1995. Αυθαίρετα, αρκετά εκ των οποίων, βρίσκονταν σε καμένες δασικές εκτάσεις.

Η περιοχή του Διονύσου αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα πώς από ένα μικρό προάστιο που ήταν, έφτασε τις δεκαετίες 1960–1980 να μοιάζει με το κέντρο της Αθήνας. Πολλές είναι οι οικοδομές που χτίστηκαν σε δασικές εκτάσεις όπως είναι εμφανές στις αεροφωτογραφίες που έχουν συγκεντρώσει οι αρμόδιες αρχές της χώρας. Σε αυτό το διάστημα στο σχέδιο πόλης εντάχθηκαν πάνω από τρεις χιλιάδες στρέμματα, αρκετά εκ των οποίων ήταν δάσος. Τα περισσότερα σπίτια, όπως λένε δασολόγοι, χτίστηκαν τη δεκαετία του 1980.

Γενικά για την περιοχή μελέτης τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη βλάστηση είναι αυτά που παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Βλάστηση σε km² ανά έτος απεικόνισης.


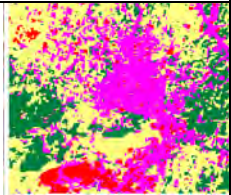
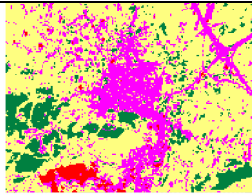
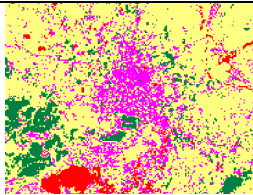
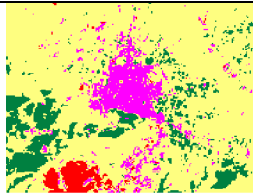
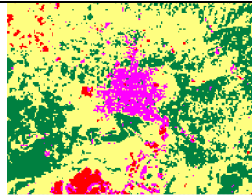


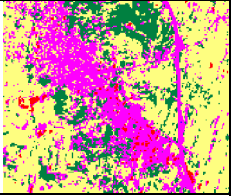
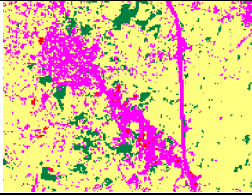
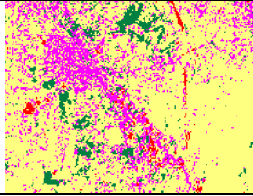
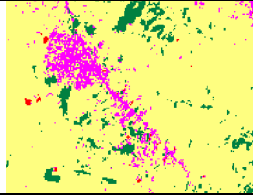
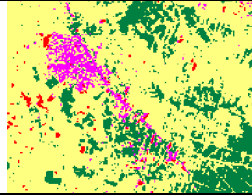
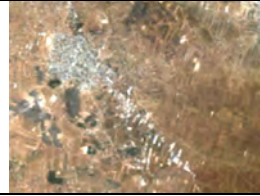

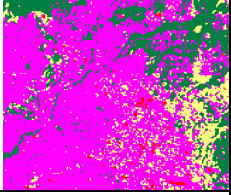
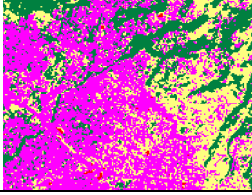
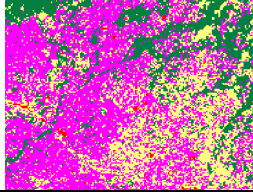
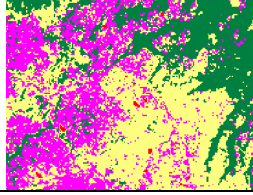
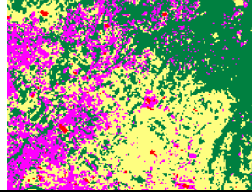


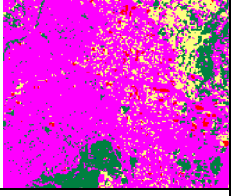
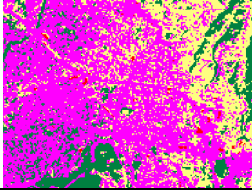
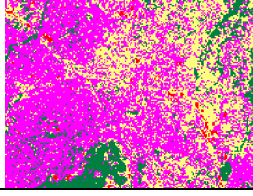
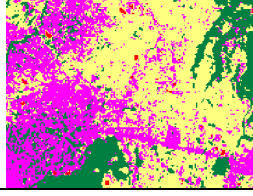
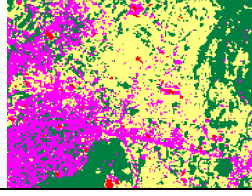

Η αύξηση της βλάστησης στην περιοχή από το 2000 και μετά οφείλεται στο γεγονός ότι δεν εξετάζεται μόνο η Πεντέλη ή ο Υμηττός, αλλά συνολικά η περιοχή. Επίσης, την ημέρα λήψης της απεικόνισης του 2010 (12-8-2010) ορισμένες καλλιέργειες, θεωρήθηκαν βλάστηση, που πιθανώς δεν ευδοκίμουςαν τον Οκτώβρη ή τον Μάιο που λήφθηκαν οι εικόνες 2003 και 2000 αντίστοιχα. Τέτοιες καλλιέργειες είναι οι αμπελώνες που βρίσκονται σε μεγάλη έκταση στην περιοχή πλησίον του αεροδρομίου.

Γενικά η μέθοδος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης κρίνεται σε γενικές γραμμές ως επιτυχημένη για την εξαγωγή της δόμησης, είτε συνεχούς είτε διακεκομμένης. Ως προς τη θάλασσα και τη βλάστηση κρίνεται ικανοποιητική, ενώ ως προς τις άλλες κατηγορίες μερικώς ικανοποιητική. Συμπερασματικά, η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας εύκολος και αποτελεσματικός τρόπος εξαγωγής κατηγοριών. Ο χρήστης μπορεί να έχει μια αρχική ιδέα της φασματικής συμπεριφοράς των εικόνων, δίνοντας του παράλληλα τη δυνατότητα καθοδήγησης για την πιο αποτελεσματική υλοποίηση επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε επόμενο στάδιο.

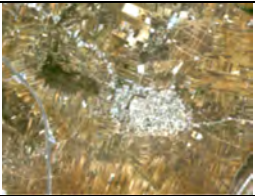
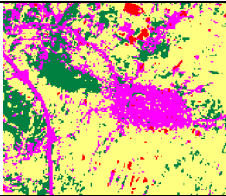
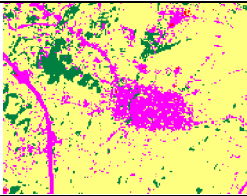
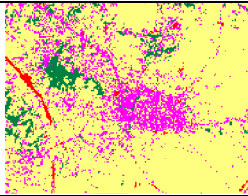
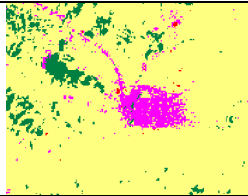
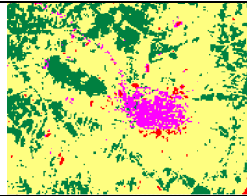
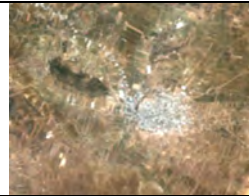

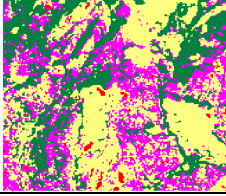
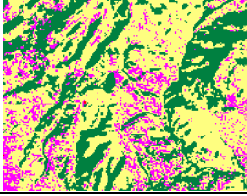
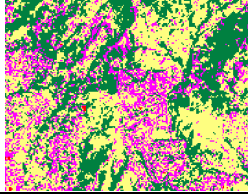
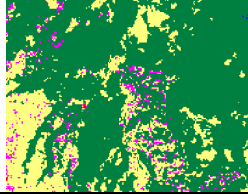
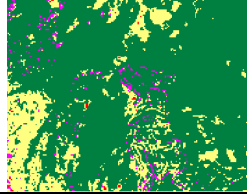


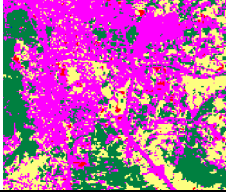
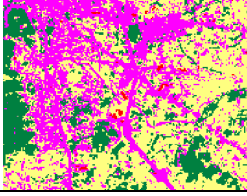
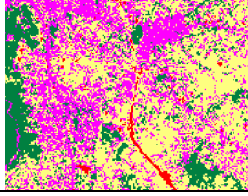
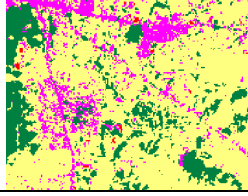
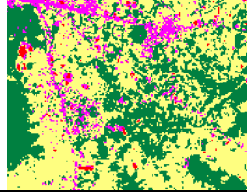


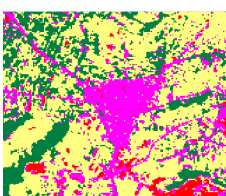
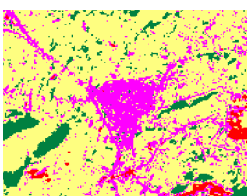
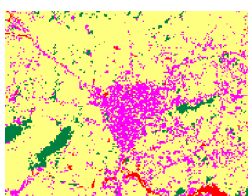
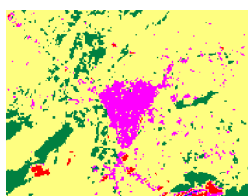
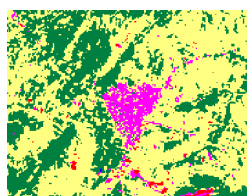

Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι, αντί για ενοποίηση των κατηγοριών σε πέντε κατηγορίες, πραγματοποιήθηκε εναλλακτικά ο απευθείας διαχωρισμός τους σε πέντε κατηγορίες (ή έξι αν δεν υπήρχαν δεδομένα στο δεξιά κομμάτι της εικόνας). Το αποτέλεσμα που προέκυπτε δεν ήταν ικανοποιητικό παρά τις πολλές εναλλακτικές

τιμές των παραμέτρων της διασποράς, της απόστασης μεταξύ των κατηγοριών και του ποσοστού των εικονοστοιχείων ανά κατηγορία. Με άλλα λόγια δεν επετεύχθη με επιτυχία ο απευθείας εντοπισμός των πέντε αυτών κατηγοριών, όταν στο λογισμικό ο χρήστης εισήγαγε απευθείας αυτόν τον αριθμό κατηγοριών.

Στις Εικόνες 4.21 έως 4.23 παρουσιάζεται η μεταβολή ορισμένων οικιστικών περιοχών όπως προέκυψε με τη μέθοδο της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, ύστερα από τη συγχώνευση των κατηγοριών. Σε όλες τις εικόνες παρατηρείται σταδιακή αύξηση της αστικής περιοχής από το 1984 έως το 2010. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης για το 2000 είναι το μόνο που σε ορισμένες περιοχές, πχ Σπάτα, Ντράφι, Ανθούσα, Μαρκόπουλο και Νέα Μάκρη, εμφανίζει ασυνέχεια. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως οφείλεται στη ραδιομετρία της εικόνας.

	2010 RGB	2010	2003	2000	1991	1984	1984 RGB
Κορωπί							
Παλαιά							
Γέρακας- Πεντέλη							
Γέρακας - Ανθούσα							

Εικόνα 4.21: Συγκριτικά αποτελέσματα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις επιλεγμένες χρονολογίες σε διάφορες περιοχές της Ανατολικής Αττικής (I).

	2010 RGB	2010	2003	2000	1991	1984	1984 RGB
Σπάτα							
Ανθούσα- Ντράφι - Δασαμάρι							
Παλλήνη							
Μαρκόπουλο							

Εικόνα 4.22: Συγκριτικά αποτελέσματα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις επιλεγμένες χρονολογίες σε διάφορες περιοχές της Ανατολικής Αττικής (II).

	2010 RGB	2010	2003	2000	1991	1984	1984 RGB
Νέος Βουνζάς							
Ραφήνα – Καλλιτεργνούπολη							
Νέα Μάκρη							
Αεροδρόμιο 'Ελ. Βενιζέλος'							

Εικόνα 4.23: Συγκριτικά αποτελέσματα μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις επιλεγμένες χρονολογίες σε διάφορες περιοχές της Ανατολικής Αττικής (III).

4.1.2. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

4.1.2.1 Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 2010

Αρχικά αναφέρεται ότι, επειδή έχει προηγηθεί η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, υπάρχει ήδη μια εκτίμηση του αριθμού και του τύπου των φασματικών προτύπων που είναι δυνατό να διαχωριστούν σε κάθε απεικόνιση λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις φασματικές υπογραφές.

Η διαδικασία της συλλογής δεδομένων εκπαίδευσης θα παρουσιαστεί αναλυτικά για την τελευταία απεικόνιση του 2010, ενώ για τις υπόλοιπες εικόνες θα παρουσιαστούν απευθείας τα αποτελέσματα τους. Οι θεματικές κατηγορίες που αναμένονται έχουν ήδη αναφερθεί στον Πίνακα 4.2 της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Μεταξύ αυτών επιλέχθηκαν εκείνες που αφενός καλύπτουν σε σημαντικό βαθμό την υπό μελέτη περιοχή αλλά ακόμα παρουσιάζουν κατά το δυνατό μεγαλύτερη φασματική διαφοροποίηση. Η επιλογή όμως των τελικών κατηγοριών και των δειγμάτων που τις αντιπροσωπεύουν δεν είναι τόσο απλή για την πολυφασματική εικόνα της συγκεκριμένης περιοχής, διότι σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχει επικάλυψη των φασματικών τους υπογραφών. Στην Εικόνα 4.24 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι θεματικές τάξεις που εμφανίζονται στην δορυφορική εικόνα του 2010. Οι τάξεις αυτές προήλθαν ύστερα από εκτενή πειραματισμό ως προς το φασματικό διαχωρισμό τους. Όπως θα παρουσιαστεί και στη συνέχεια η κατηγορία ‘7.mixed_urban’ απορρίφθηκε εξαιτίας της επικάλυψης της με άλλες κατηγορίες.

Class	Name	Color
	rock_or_burnt_area	128,128,64
	cultivation	190,124,124
	highway	128,128,128
	cont_buildings	253,253,253
	mines	red
	coniferous_forest	0,128,0
	sclerophyllus_vegetation	159,255,159
	bare_soil	255,255,128
	mixed_urban	255,128,255
	urban_soillike_roofs_region_and_soil_or_urban_disc	255,128,128
	urban_disc	140,140,180
	urban_con	192,192,192
	dense_vegetation_or_broadleaved_forest	green
	sea_shallow	cyan
	sea	navy
	All	black

Εικόνα 4.24: Θεματικές κατηγορίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης εικόνας 2010 και η αντίστοιχη χρωματική παλέτα.

Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια αντιστοίχισης των παραπάνω κατηγοριών με αυτών του υπομνήματος του συστήματος χαρτογράφησης CORINE Land Cover. Στον

Πίνακα 4.15 παρουσιάζεται η καλύτερη δυνατή αντιστοίχιση των φασματικών και θεματικών κατηγοριών με τις θεματικές κατηγορίες του CORINE Land Cover. Γενικά αναφέρεται ότι ο πιο πρόσφατος διατιθέμενος χάρτης CORINE χρονολογείται το 2000, οπότε είναι παρακινδυνευμένη η ακριβής αντιστοίχιση των κατηγοριών που υπάρχουν στο χάρτη στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με το σύστημα αυτό και των πραγματικών κατηγοριών που εμφανίζονται το 2010.

Class	Name	CORINE (nomenclature Level 3)	
15	rock_or_burnt_area	3.3.2., 3.3.3., 3.3.4.	Bare rock, Sparsely vegetated areas, Burnt areas
14	cultivation	2.2.1., 2.4.2.	Vineyards, Complex cultivation patterns
13	highway	1.2.2.	Road and rail networks and associated land
12	cont_buildings	1.1.1., 1.2.1.,	Continuous urban fabric, Industrial or commercial units
11	mines	1.3.1.	Mineral extraction sites
10	coniferous_forest	3.1.2.	Coniferous forest
9	sclerophyllus_vegetation	3.2.3.	Sclerophyllous vegetation
8	bare_soil	3.3.3.,	Sparsely vegetated areas
7	mixed_urban	1.1.2.	Discontinuous urban fabric
6	urban_soillike_roofs_region_and_soil_or_urban_disc	1.1.2.	Discontinuous urban fabric
5	urban_disc	1.1.2.	Discontinuous urban fabric
4	urban_con	1.1.1.	Continuous urban fabric
3	dense_vegetation_or_broadleaved_forest	3.1.1.,	Broad-leaved forest,
2	sea_shallow	5.2.3.	Sea and ocean
1	sea	5.2.3.	Sea and ocean



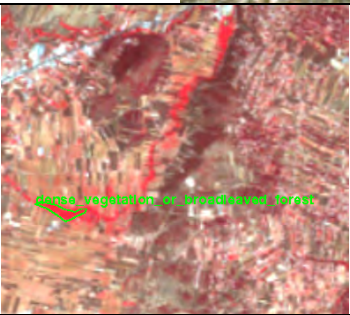
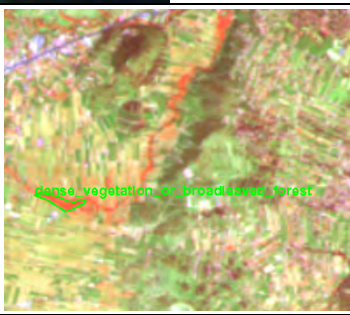
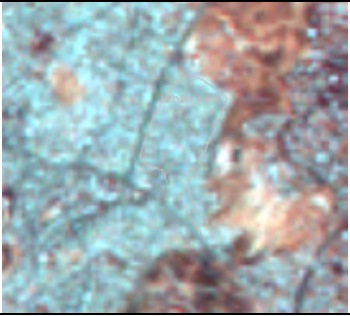
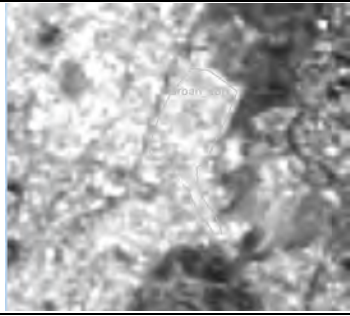
Πίνακας 4.15: Θεματικές κατηγορίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης εικόνας 2010 και η αντίστοιχη τους με τις θεματικές κατηγορίες του CORINE Land Cover.

Στην Εικόνα 4.25 εμφανίζονται τα πολύγωνα εκπαίδευσης για τη δορυφορική απεικόνιση του 2010.

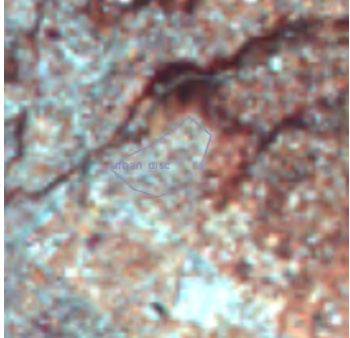
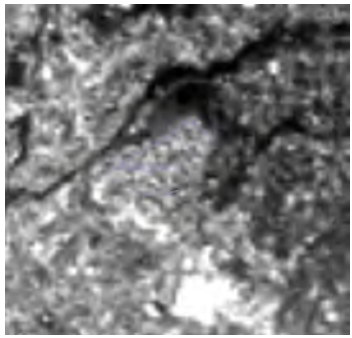
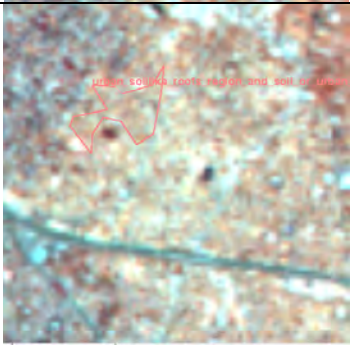
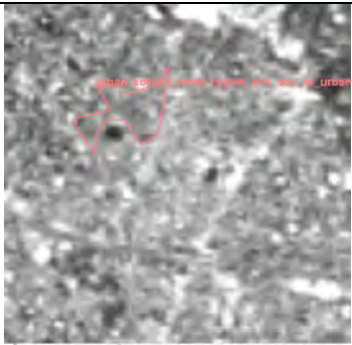
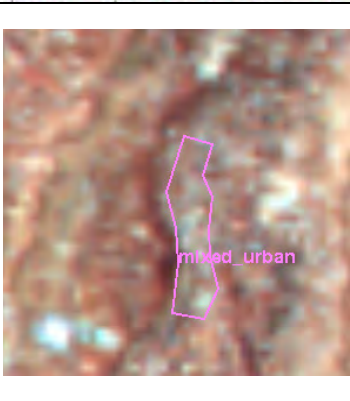
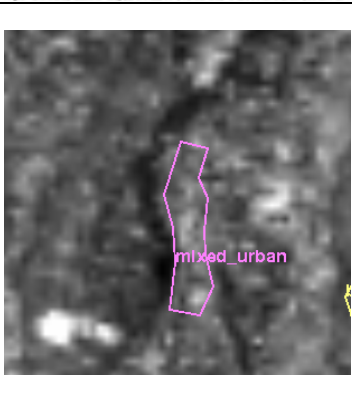
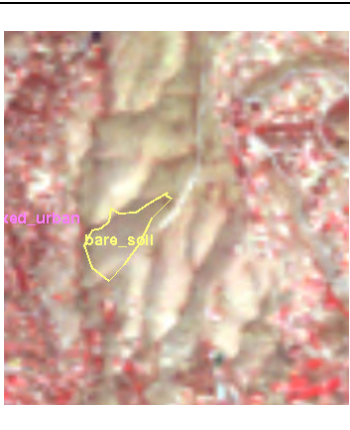
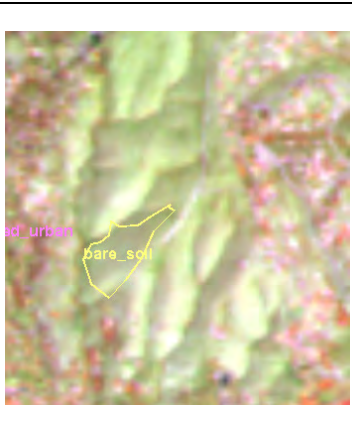


Εικόνα 4.25: Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 2010.

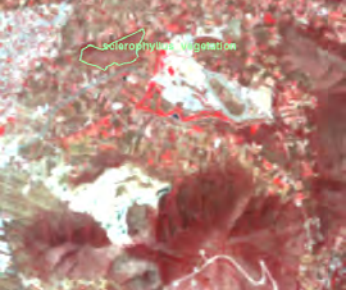




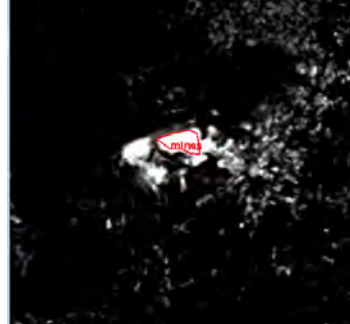
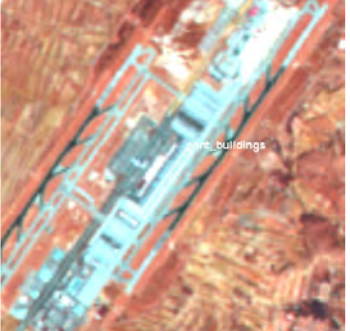

Τα πολύγωνα εκπαίδευσης παρουσιάζονται σε μεγέθυνση στους Πίνακες που ακολουθούν. Η επιλογή τους υπενθυμίζεται πως πραγματοποιήθηκε με φωτοερμηνεία σε κατάλληλα έγχρωμα σύνθετα για την κατηγορία που αναζητείται ή σε μεμονωμένα κανάλια, ύστερα από την επέκταση του ιστογράμμάτος τους για ενίσχυση της αντίθεσης της εικόνας.

a/a	Θεματική κατηγορία κάλυψης γης	Φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά	Ψηφιακό τμήμα εικόνας με τα δεδομένα εκπαίδευσης	
1	sea	Στο έγχρωμο σύνθετο 321 είναι άμεσος ο εντοπισμός της λόγω του μπλε χρώματος της θάλασσας στα φυσικά χρώματα.		
2	sea_shallow	Στο έγχρωμο σύνθετο 321 είναι άμεσος ο εντοπισμός της με πιο ανοιχτή απόχρωση από ότι η θάλασσα εξαιτίας της ανακλαστικότητας του πυθμένα.		
3	dense_vegetation or_broadleaved_ forest	Η πυκνή βλάστηση και τα δάση πλατυφύλλων απεικονίζονται με έντονο κόκκινο στα έγχρωμα σύνθετα 432 και 453.		
4	urban_con	Η συνεχής αστική δόμηση απεικονίζεται με ανοιχτούς τόνους στο έγχρωμο σύνθετο 532 και στο κανάλι 1 όπου επιτυγχάνεται και ο μεγαλύτερος φασματικός τους διαχωρισμός.		

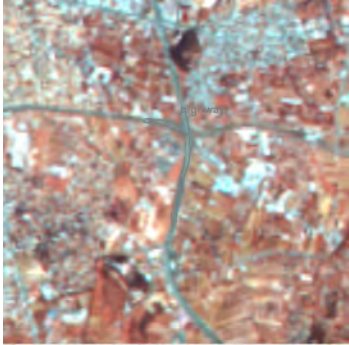

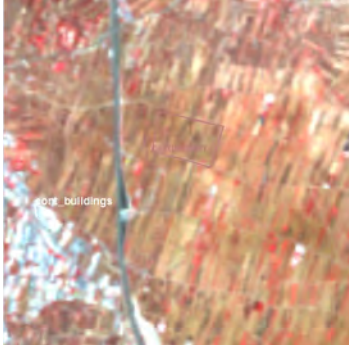


Πίνακας 4.16: Επιλογή πολυγώνων εκπαίδευσης (I).

α/α	Θεματική κατηγορία κάλυψης γης	Φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά	Ψηφιακό τμήμα εικόνας με τα δεδομένα εκπαίδευσης	
5	urban_disc	Η μη συνεχής αστική δόμηση, για το έγχρωμο σύνθετο 532 και για το κανάλι 1, απεικονίζεται με μη συνεχείς ανοιχτούς τόνους, όπου ενδιάμεσα υπάρχει συνήθως βλάστηση ή έδαφος.		
6	urban_soillike_roofs region_and_soil_ or_urban_disc	Η μη συνεχής αστική δόμηση με κεραμοσκεπές είναι επίσης διακριτή στο έγχρωμο σύνθετο 532. Το κανάλι 1 αντίθετα δεν βοηθάει στη διάκριση της μη συνεχούς δόμησης.		
7	mixed_urban	Η κατηγορία αυτή εκπροσωπείται από περιοχές με αραιή δόμηση και με μεγάλο ποσοστό βλάστησης. Λόγω της μεγάλης επικάλυψης των ελλείψεων με τη ασυνεχή δόμηση και τη βλάστηση, η κατηγορία αυτή απορρίφθηκε.		
8	bare_soil	Τόσο στο πρώτο έγχρωμο σύνθετο 432, όσο και στο δεύτερο 453 είναι δυνατή διάκριση του γυμνού εδάφους. Στη δεύτερη εικόνα φαίνεται η διαφορά του γυμνού εδάφους ακόμα και με την πολύ αραιή εδαφοκάλυψη (ανοιχτό πράσινο)		

Πίνακας 4.17: Επιλογή πολυγώνων εκπαίδευσης (II).

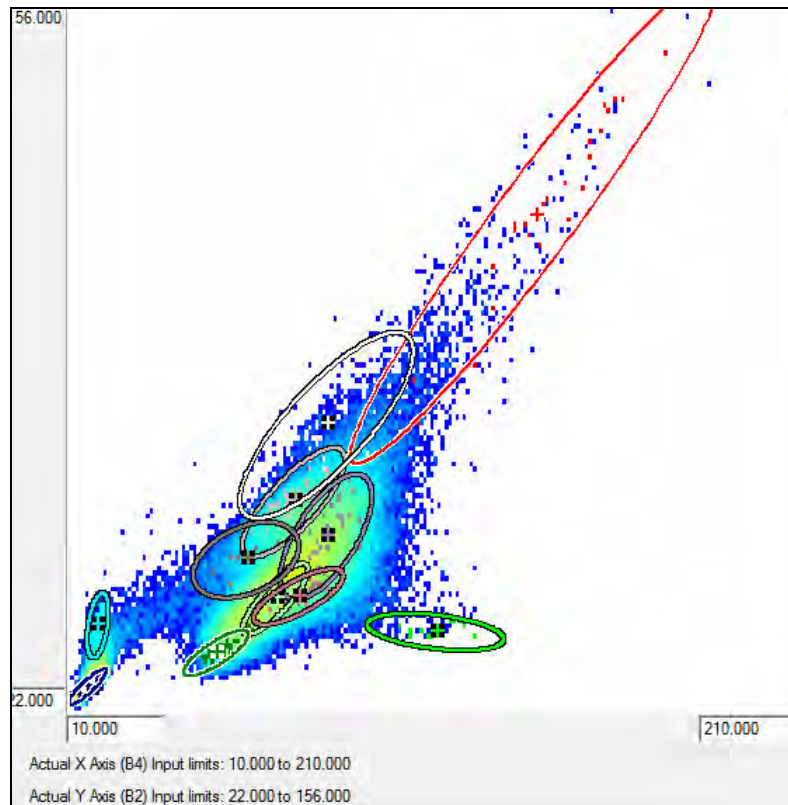
α/α	Θεματική κατηγορία κάλυψης γης	Φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά	Ψηφιακό τμήμα εικόνας με τα δεδομένα εκπαίδευσης	
9	sclerophyllus_ vegetation	Η σκληροφυλλική βλάστηση διακρίνεται τόσο στο έγχρωμο σύνθετο 432 όσο και στο 453 με ανοιχτούς τόνους του κόκκινου και του πράσινου αντιστοίχως.		
10	coniferous_forest	Το δάσος κωνοφόρων διακρίνεται με κόκκινους και καφέ τόνους στα έγχρωμα σύνθετα 432 και 453 αντίστοιχα.		
11	mines	Τα ορυχεία διακρίνονται εύκολα στο έγχρωμο σύνθετο 532 όπου και ξεχωρίζουν από τις αστικές περιοχές, αλλά και στο κανάλι 3, όπου εμφανίζουν μεγάλη ανακλαστικότητα.		
12	cont_buildings	Στο έγχρωμο σύνθετο 532 και στο κανάλι 1 φαίνονται καθαρά οι συνεχείς αστικές περιοχές με μικρή μεταβλητότητα στους τόνους του γκρι.		

Πίνακας 4.18: Επιλογή πολυγώνων εκπαίδευσης (III).

α/α	Θεματική κατηγορία κάλυψης γης	Φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά	Ψηφιακό τμήμα εικόνας με τα δεδομένα εκπαίδευσης	
13	highway	Οι αυτοκινητόδρομοι ξεχωρίζουν στο έγχρωμο σύνθετο 543 αλλά και στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι όπου εμφανίζουν πολύ μικρή ανακλαστικότητα, όπως φαίνεται στη δεύτερη εικόνα.		
14	cultivation	Οι καλλιέργειες ξεχωρίζουν στο έγχρωμο σύνθετο 432 αλλά και στο 453, όπως φαίνεται στις εικόνες. Οι φασματικές τους υπογραφές ενδέχεται να συγχέονται με εκείνες της σκληροφυλλικής βλάστησης όταν στη ταξινόμηση δεν λαμβάνεται υπόψη η συμμεταβλητότητα.		
15	rock_or_burnt_area	Η κατηγορία αυτή εκπροσωπείται από βραχώδεις περιοχές ή περιοχές ύστερα από πυρκαγιά. Στο έγχρωμο σύνθετο 743 που ενδείκνυται για την αναγνώριση τέτοιων εκτάσεων, η διάκριση είναι εμφανής.		

Πίνακας 4.19: Επιλογή πολυγώνων εκπαίδευσης (IV).

Για τις παραπάνω κατηγορίες δημιουργήθηκε το δισδιάστατο ιστόγραμμα φασματικών προτύπων. Ύστερα από δοκιμές με αρκετούς συνδυασμούς καναλιών, η βέλτιστη διάκριση των φασματικών προτύπων έγινε όταν χρησιμοποιήθηκε στον άξονα X το κανάλι 4 και στον άξονα Y το κανάλι 2 για όλες τις δορυφορικές απεικονίσεις (Σχήμα 4.3).

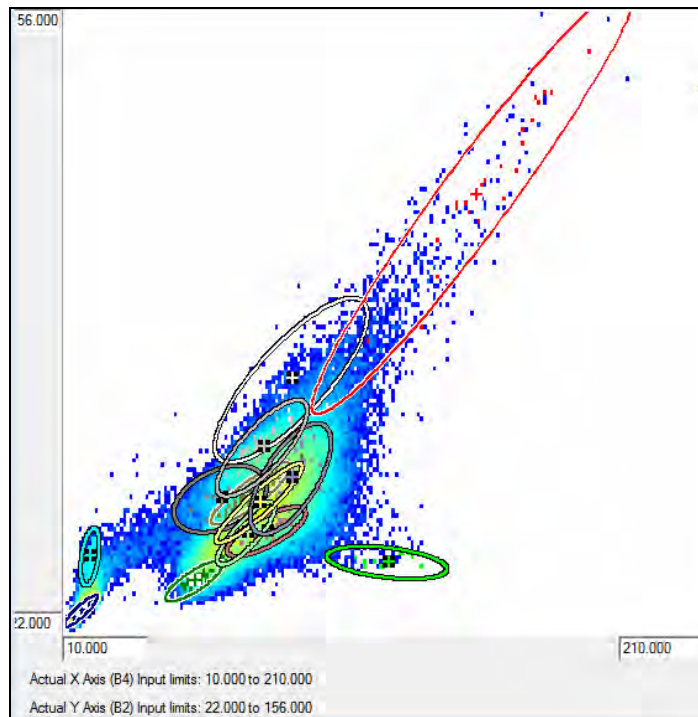


Σχήμα 4.3: Δισδιάστατο ιστόγραμμα φασματικών προτύπων έντεκα κατηγοριών.

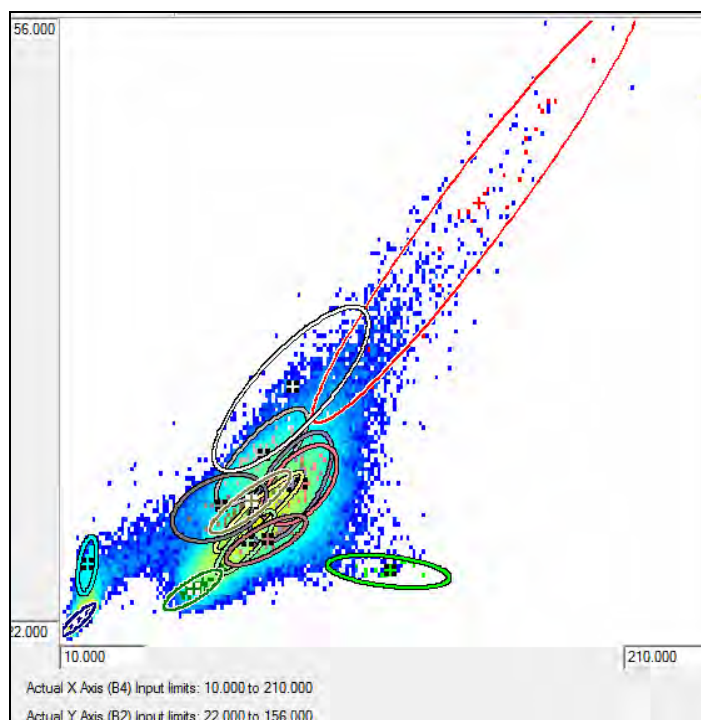
Στο παραπάνω ιστόγραμμα αναπαρίστανται οι ελλείψεις για τις έντεκα από τις δεκαπέντε κατηγορίες. Το χρώμα που αντιστοιχεί σε κάθε έλλειψη, και συνεπώς σε κάθε κατηγορία, είναι το ίδιο όπως απεικονίζεται στη χρωματική παλέτα της Εικόνας 4.24. Οι δύο αριστερά ελλείψεις εκπροσωπούν τις φασματικές υπογραφές των δύο κατηγοριών της θάλασσας και δεν υπάρχει επικάλυψη ούτε μεταξύ τους ούτε με τις άλλες κατηγορίες. Από τις τρεις πράσινες ελλείψεις που αντιστοιχούν στη βλάστηση, η σκληροφυλλική βλάστηση παρουσιάζει επικάλυψη με το φασματικό πρότυπο των καλλιεργείων (καφέ έλλειψη) γεγονός αναμενόμενο εξαιτίας της αραιής βλάστησης που εμπεριέχεται και στις δύο κατηγορίες.

Οι φασματικές υπογραφές της κατηγορίας ‘ορυχεία’ (κόκκινη έλλειψη), εμφανίζουν μικρή επικάλυψη με την κατηγορία που αντιστοιχεί στα μεγάλα κτήρια κυρίως βιομηχανικών περιοχών. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της υψηλής ανακλαστικότητας τόσο των ορυχείων όσο και ορισμένων εκτεταμένων οικοδομημάτων, πχ το αεροδρόμιο. Όπως είναι αναμενόμενο, τα κτίρια αυτά έχουν επικάλυψη φασματικών υπογραφών με τα συνεχή αστικά τμήματα. Η μη συνεχής αστική δόμηση παρουσιάζει πολύ μικρή επικάλυψη με τη συνεχή, αλλά σημαντική επικάλυψη με τη σκληροφυλλική βλάστηση και τις καλλιέργειες και αυτό διότι σε οποιοδήποτε πολύγωνο διακεκομμένης αστικής δόμησης εικόνας Landsat είναι δύσκολο να μην εμπεριέχεται αραιή βλάστηση. Τέλος, οι αυτοκινητόδρομοι, σύμφωνα με το φασματικό τους πρότυπο (γκρι έλλειψη στα αριστερά), φαίνεται να συγχέονται σημαντικά με τις φασματικές υπογραφές της συνεχούς αστικής δόμησης, γεγονός επίσης αναμενόμενο.

Στο Σχήμα 4.4 που ακολουθεί, το φασματικό πρότυπο του γυμνού εδάφους (κίτρινη έλλειψη συγγέεται με την διακεκομμένη αστική δόμηση, και ελαφρώς με τη σκληροφυλλική βλάστηση, ενώ οι βράχοι και οι καμένες εκτάσεις έχουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές με τη συνεχή αστική και διακεκομμένη δόμηση. Στις κατηγορίες αυτές η ταξινόμηση προβλέπεται να έχει προβλήματα.

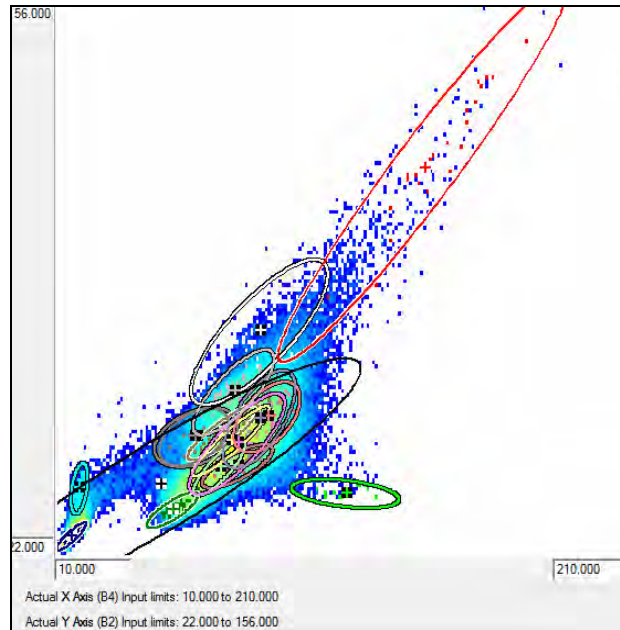


Σχήμα 4.4: Δισδιάστατο ιστόγραμμα φασματικών προτύπων δεκατριών κατηγοριών.



Σχήμα 4.5: Δισδιάστατο ιστόγραμμα φασματικών προτύπων δεκατεσσάρων κατηγοριών-τελικές κατηγορίες.

Στο Σχήμα 4.5 απεικονίζεται ακόμα και η κατηγορία με τη διακεκομμένη αστική δόμηση με κεραμοσκεπές (πορτοκαλί έλλειψη), η έλλειψη της οποίας έχει πολύ μεγάλη επικάλυψη με την διακεκομμένη δόμηση. Τέλος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6, η κατηγορία ‘mixed_urban’ (ροζ έλλειψη) λόγω της επικάλυψης της με αστική και μη αστική δόμηση, απορρίφθηκε, δηλαδή δεν συμμετείχε στη διαδικασία της ταξινόμησης. Η μαύρη έλλειψη αποτελεί απεικόνιση τα μεταβλητότητας που αντιστοιχεί σε όλα τα δείγματα.



Σχήμα 4.6: Δισδιάστατο ιστόγραμμα φασματικών προτύπων όλων των κατηγοριών-απόρριψη κατηγορίας.

Ο πλήρης διαχωρισμός των ελλείψεων μπορεί να επιτευχθεί μόνο με απόρριψη αρκετών ακόμα κατηγοριών. Προτιμάται όμως η μη απόρριψή τους αλλά η ενδεχόμενη μελλοντική συνένωσή τους.

Για τον προσδιορισμό των φασματικών υπογραφών κάθε θεματικής τάξης, που χρειάζονται για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης, είναι αναγκαίο να υπολογιστούν τα στατιστικά στοιχεία (μέση τιμή, ελάχιστη και μέγιστη τιμή, τυπική απόκλιση, πίνακας συμμεταβλητότητας) των περιοχών εκπαίδευσης, και κατ' επέκταση των κατηγοριών στις οποίες αυτές αντιστοιχούν, σε κάθε φασματικό κανάλι. Η μέση τιμή μιας κατηγορίας εκφράζει το μέσο όρο της ψηφιακής τιμής για το κάθε κανάλι και η τυπική απόκλιση αποτελεί το εύρος των ψηφιακών τιμών της κάθε κατηγορίας στο κανάλι που αντιστοιχεί. Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται ο Πίνακας 4.20 που περιλαμβάνει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση κάθε κατηγορίας σε κάθε φασματικό κανάλι. Παρατηρώντας τον προσεκτικά προκύπτει ότι σχεδόν σε όλα τα κανάλια υπάρχουν μικρές ή μεγάλες επικαλύψεις μεταξύ των διάφορων κατηγοριών, που είναι αποτέλεσμα των παρόμοιων φασματικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν. Το γεγονός αυτό καθιστά αρκετά δύσκολο ή και αδύνατο το διαχωρισμό των θεματικών κατηγοριών που έχουν επιλεγεί για την ταξινόμηση και με τα παραπάνω δεδομένα φαίνεται πως ο αλγόριθμος της ταξινόμησης που θα επιλεγεί θα καθορίσει την ποιότητα του αποτελέσματος της ταξινόμησης.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

N	ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		BAND 1	BAND 2	BAND 3	BAND 4	BAND 5	BAND 6	BAND 7
15	rock_or_burnt_area	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	50.670						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	98.991	52.304	67.787	68.741	108.224	161.599	54.368
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	3.399	2.773	4.819	5.108	9.892	1.625	5.286
14	cultivation	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	28.440						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	84.693	44.035	58.731	73.696	122.816	168.570	66.297
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	2.354	2.184	4.542	5.086	7.423	0.906	5.305
13	highway	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	8.100						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	103.400	51.156	59.722	58.422	82.733	167.078	47.900
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	4.266	2.832	4.118	4.991	7.582	1.544	3.487
12	cont_buildings	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	11.250						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	141.824	77.000	93.872	81.568	133.320	163.784	96.064
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	12.431	7.271	10.043	9.823	12.034	1.287	10.509
11	mines	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	15.930						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	197.322	116.723	156.316	139.345	221.644	153.153	128.972
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	30.569	19.197	25.355	20.908	29.094	3.028	22.917
10	coniferous_forest	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	24.480						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	72.544	33.235	32.500	50.743	59.871	155.890	26.636
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	2.428	1.808	3.420	3.705	11.933	2.549	6.602
9	sclerophyllus_vegetation	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	32.310						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	89.220	43.630	51.008	67.343	120.028	163.967	57.705
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	3.675	2.780	4.767	3.705	12.583	1.919	7.322
8	bare_soil	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	16.110						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	94.866	50.229	64.654	71.425	124.777	163.994	70.251
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	4.297	3.509	5.573	5.542	10.870	2.241	6.796
7	mixed_urban	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	11.070						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	96.545	49.472	60.016	73.593	107.309	163.220	56.927
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	6.936	5.042	7.601	6.867	12.236	1.213	7.717
6	urban_soillike_roofs_region_and_soil_or_urban_disc	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	15.480						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	105.012	56.070	72.436	84.099	128.988	161.814	76.105
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	5.236	3.540	5.899	4.782	9.027	1.299	6.719
5	urban_disc	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	20.880						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	105.797	55.560	67.586	81.375	110.638	159.082	62.099
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	7.476	4.899	7.137	5.216	9.922	1.658	6.892
4	urban_con	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	30.690						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	120.387	62.188	74.598	72.355	103.988	159.933	60.575
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	6.010	4.296	6.109	5.832	8.197	1.310	5.040
3	dense_vegetation_or_broadleaved_forest	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	7.020						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	77.513	37.282	34.295	111.897	77.974	151.423	29.115
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	1.973	1.440	2.931	7.714	8.190	2.267	5.240
2	sea_shallow	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	29.700						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	89.100	38.509	29.958	17.903	16.470	141.197	9.858
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	2.500	2.550	4.052	1.210	1.962	1.702	1.305
1	sea	ΕΜΒΑΛΟΝ [Ha]	546.660						
		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	76.593	26.762	22.362	15.065	14.990	139.553	9.351
		ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	2.010	1.412	1.931	2.156	3.785	0.741	2.496

Πίνακας 4.20: Κύρια στατιστικά στοιχεία δεδομένων εκπαίδευσης της απεικόνισης του 2010.

Τόσο από τις ελλείψεις, όσο και από τα στατιστικά στοιχεία του παραπάνω πίνακα φαίνεται η επικάλυψη της κατηγορίας 7 με τη διακεκομμένη αστική δόμηση με το γυμνό έδαφος και με την κατηγορία στην οποία υπάγονται οι κεραμοσκεπές. Οι επικαλύψεις αυτές οδήγησαν στην διαγραφή της κατηγορίας. Η διακεκομμένη αστική δόμηση σε όλα τα φασματικά κανάλια έχει τιμές με μικρές διαφορές από την κατηγορία των κεραμοσκεπών. Παρά τη επικάλυψη τους δεν διαγράφηκε η κατηγορία λόγω της διαφοροποίησής τους στα υπέρυθρα κανάλια. Κάποια επικάλυψη υπάρχει επίσης μεταξύ των κατηγοριών της συνεχούς αστικής δόμησης και του αυτοκινητόδρομου. Ως προς τη βλάστηση, ο διαχωρισμός είναι σχετικά ικανοποιητικός καθώς η μόνη επικάλυψη που συμβαίνει είναι μεταξύ της σκληροφυλλικής βλάστησης και των καλλιεργειών. Τέλος, επικάλυψη υπάρχει μεταξύ των βράχων ή των καμένων εκτάσεων με καλλιέργειες και με γυμνό έδαφος.

Η συλλογή των δεδομένων εκπαίδευσης πραγματοποιήθηκε με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να δίνουν αντιπροσωπευτικά και πλήρη στατιστικά στοιχεία ταξινόμησης των εικονοστοιχείων. Με τον όρο ‘αντιπροσωπευτικά’ εννοείται πως ο ορισμός τους έγινε από το χρήστη με ιδιαίτερα προσεκτική φωτοερμηνεία ύστερα από το σχηματισμό κατάλληλων έγχρωμων σύνθετων ή ύστερα από την επιλογή των κατάλληλων μεμονωμένων καναλιών που είναι γνωστό ότι διευκολύνουν την αναγνώριση ορισμένων κατηγοριών και φυσικά ύστερα από μεγέθυνση της εικόνας. Ο χρήστης, για τα δεδομένα εκπαίδευσης της δορυφορικής απεικόνισης του 2010 είχε το πλεονέκτημα σύγκρισης της εικόνας και της κατηγορίας που υπέθετε πως ανήκει το κάθε ένα, με τη δορυφορική εικόνα μεγαλύτερης χωρικής διακριτικής ικανότητας (IKONOS) του προγράμματος ‘Google Earth’. Με αυτόν τον τρόπο ήταν δυνατό να γίνουν αντιληπτές λανθασμένες επιλογές δειγμάτων εκπαίδευσης. Πολύ σημαντικό όμως ήταν πως μέσα από αυτή τη διαδικασία έγιναν κατανοητά από το χρήστη τα πρότυπα εμφάνισης των σημαντικότερων κατηγοριών σε μια δορυφορική εικόνα Landsat. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τα πρότυπα αυτά αλλά και φυσικά με φωτοερμηνεία, επιλέχθηκαν τα δεδομένα εκπαίδευσης των προηγούμενων χρόνων.

Με τον όρο ‘πλήρη’, αναφερόμενος στα δεδομένα εκπαίδευσης, υπονοείται πως πρέπει να συλλεχθούν τα απαραίτητα στατιστικά στοιχεία για όλες τις φασματικές κατηγορίες που συνιστούν κάθε θεματική κατηγορία που επιλέγεται από το χρήστη να ταξινομηθεί με τον αλγόριθμο. Με άλλα λόγια πρέπει να εκφραστεί η μεταβλητότητα της κάθε θεματικής κατηγορίας και συνεπώς μια θεματική κατηγορία μπορεί να έχει δύο ή και παραπάνω δείγματα.

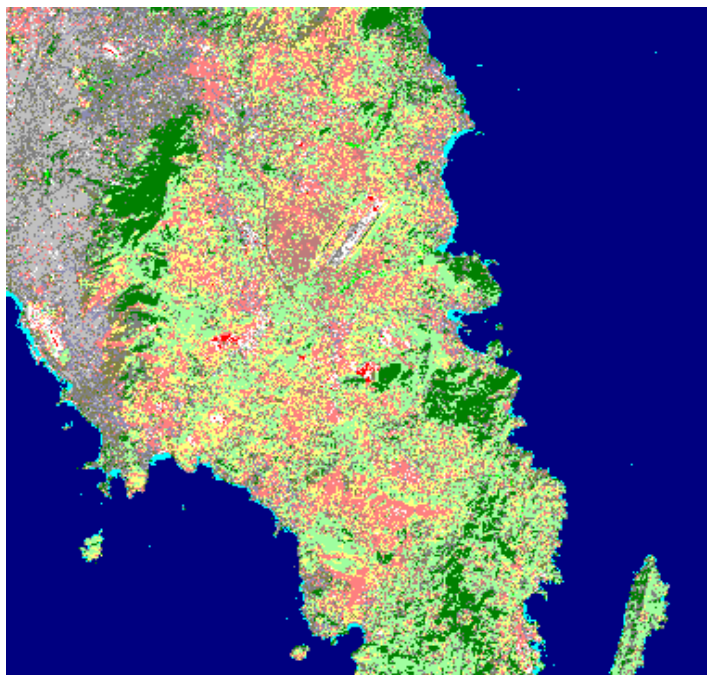
Επισημαίνεται ότι τα δεδομένα εκπαίδευσης, όπως και τα δεδομένα ελέγχου στο ER Mapper είναι πολύγωνα εκπαίδευσης. Ο εντοπισμός των πολυγώνων εκπαίδευσης έγινε έτσι ώστε να αποφεύγονται τα εικονοστοιχεία εκείνα τα οποία βρίσκονται στα όρια μεταξύ των θεματικών κατηγοριών. Υπενθυμίζεται πως οι τιμές των εικονοστοιχείων σχηματίζουν το δείγμα που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των στατιστικών περιγραφών της κάθε περιοχής εκπαίδευσης, δηλαδή του μέσου διανύσματος και του πίνακα συμμεταβλητότητας όταν ο αλγόριθμος που έχει επιλεγεί είναι εκείνος της μέγιστης πιθανοφάνειας [Αργιαλάς 1999]. Επίσης, το επαρκές μέγεθος δείγματος των δεδομένων εκπαίδευσης, καθιστά δυνατό τον ακριβή προσδιορισμό των φασματικών παραμέτρων και βοηθά ώστε να αναπαρασταθεί η ολική φασματική μεταβλητότητα μιας εικόνας. Από την άλλη πλευρά όμως ο υπερβολικός αριθμός υποκατηγοριών, όπως αποδείχτηκε, εμπεριέχει επικαλύψεις φασματικών υπογραφών (επικαλυπτόμενες ελλείψεις στο δισδιάστατο φασματικό

χώρο προτύπων). Συνεπώς, το αποτέλεσμα σε περίπτωση ορισμού πολλών και σε μεγάλο βαθμό επικαλυπτόμενων κατηγοριών αντί να βελτιώνεται, χειροτερεύει. Άρα, τα δεδομένα εκπαίδευσης συνίσταται να επαναπροσδιορίζονται μέχρι να επιτευχθεί ικανοποιητική φασματική διαχωριστικότητα. Στην παρούσα εφαρμογή, τα παραπάνω δεδομένα εκπαίδευσης επήλθαν ύστερα από αρκετό πειραματισμό και δεν απορρίφθηκαν ορισμένες μεταβατικές κατηγορίες. Φυσικά, στον προσδιορισμό των τελικών βέλτιστων δεδομένων εκπαίδευσης συνέβαλλε η γραφική απεικόνιση των προτύπων φασματικής απόκρισης, δηλαδή των ελλείψεων στα διαγράμματα της φασματικής επικάλυψης.

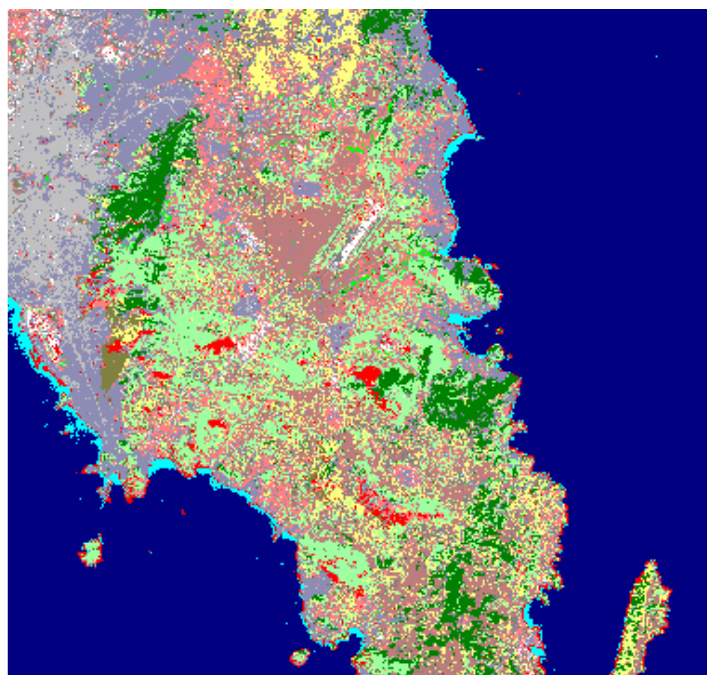
Άλλος ένας περιορισμός των δεδομένων εκπαίδευσης είναι ο θεωρητικά ελάχιστος αριθμός των εικονοστοιχείων που θα πρέπει να περιέχονται σε μια περιοχή εκπαίδευσης. Ο αριθμός αυτός είναι $n+1$, όπου n είναι ο αριθμός των φασματικών καναλιών. Ο περιορισμός, όπως είναι φυσικό, ικανοποιείται μιας και όλα τα δείγματα είναι πολύ παραπάνω από 8 εικονοστοιχεία. Και επειδή ο αριθμός αυτός είναι πολύ μικρός, έχει πρακτικά καθιερωθεί ένα εύρος από $10n$ έως $100n$, δηλαδή για την παρούσα έρευνα από 70 έως 700 εικονοστοιχεία. Είναι γεγονός πως όσο αυξάνεται ο αριθμός των εικονοστοιχείων των δεδομένων εκπαίδευσης, ο υπολογισμός του μέσου διανύσματος και του πίνακα συμμεταβλητότητας επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια και αυτό συμβαίνει διότι, όσα περισσότερα εικονοστοιχεία χρησιμοποιηθούν κατά το στάδιο της εκπαίδευσης, τόσο καλύτερη θα είναι η αναπαράσταση των στατιστικών στοιχείων της κάθε κατηγορίας.



Εικόνα 4.26: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής μελέτης το 2010.




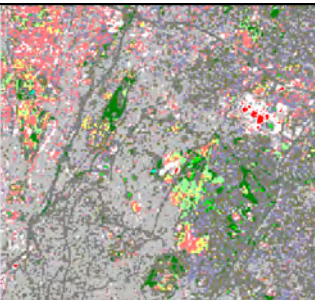
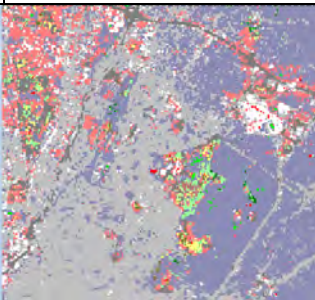

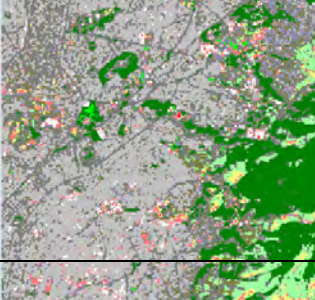
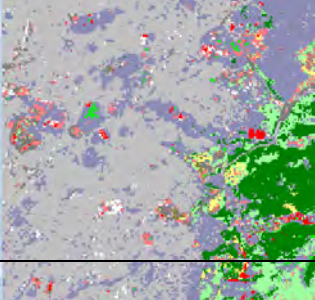

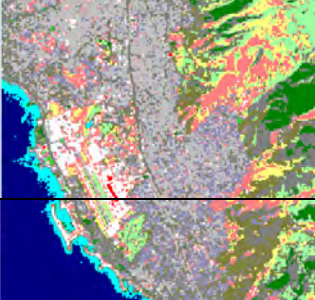
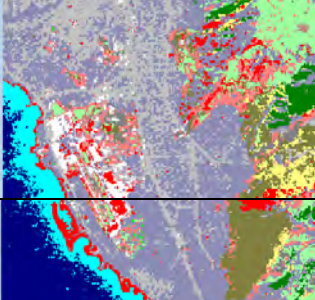



Εικόνα 4.27: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.




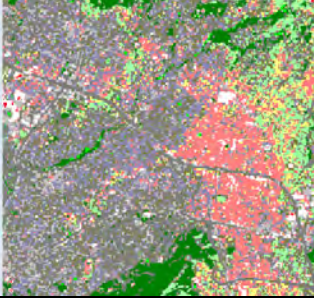
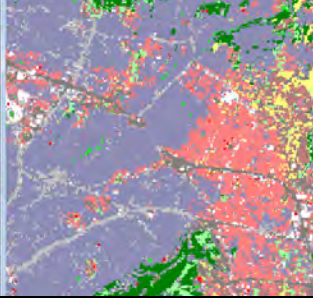

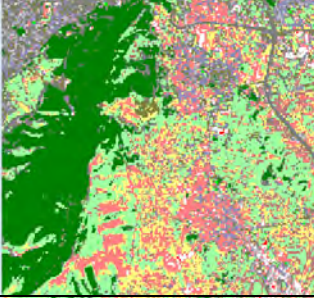
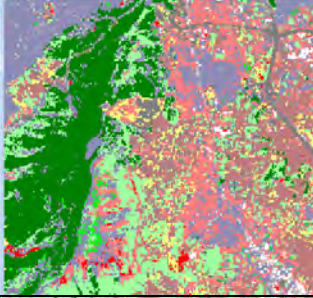

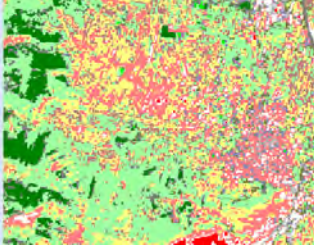




Εικόνα 4.28: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.

Ύστερα από την εφαρμογή των δύο αλγορίθμων με τα καλύτερα αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψη πως η βασική διαφοροποίησή τους είναι ότι ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης ταξινομεί λαμβάνοντας υπόψη μόνο το διάστημα των μέσων τιμών κάθε κατηγορίας στα φασματικά κανάλια, ενώ η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας λαμβάνει υπόψη και τη συνδυασπορά κάθε πολυγώνου εκπαίδευσης, προέκυψε, όπως αναμενόταν, πως το αποτέλεσμα του δεύτερου αλγορίθμου είναι πιο


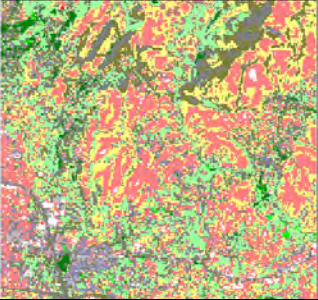
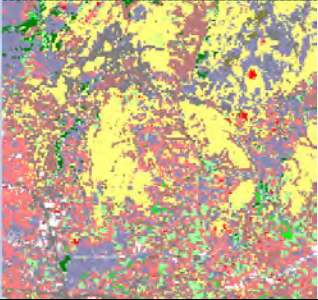

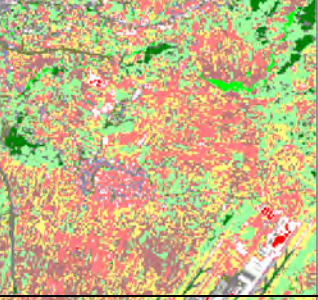
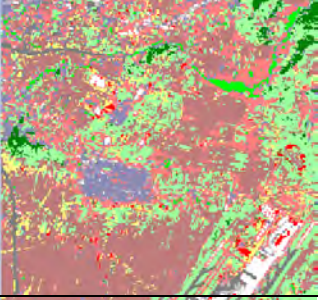

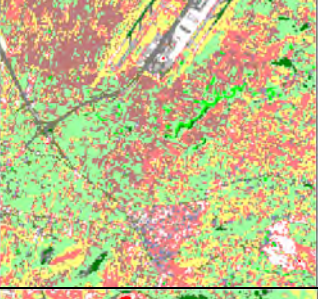
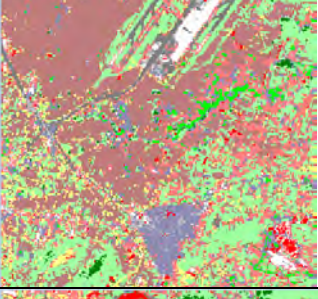

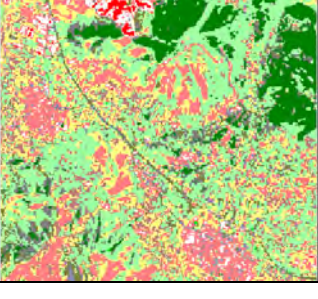
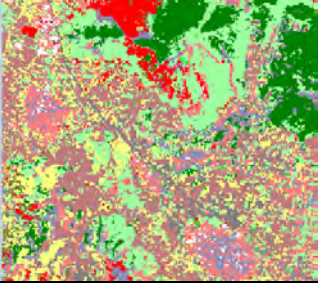
ομοιογενές, όπως φαίνεται και από τις εικόνες 4.27 και 4.28 και στους Πίνακες 4.21 έως 4.24.

Zoom	Σχολιασμός	RGB: 321	Minimum Distance	Maximum Likelihood
1	Στην τρίτη στήλη, που αντιστοιχεί στο αποτέλεσμα της ταξινόμησης με τον αλγόριθμο μέγιστης πιθανοφάνειας, υπάρχει μεγαλύτερη ομογενοποίηση. Ο αλγόριθμος αυτός παρέχει καλή διάκριση μεταξύ συνεχούς αστικής και μη συνεχούς αστικής δόμησης. Ο Λυκαβηττός και άλλες περιοχές καλυπτόμενες στην πραγματικότητα με βλάστηση, ταξινομούνται ως περιοχές διακεκομμένης αστικής δόμησης, ενώ στη δεύτερη στήλη δεν συμβαίνει αυτό (αλγόριθμος ελάχιστης απόστασης). Τέλος, στην τρίτη στήλη παρατηρείται καλύτερη ταξινόμηση των αυτοκινητοδρόμων, ενώ οι αστικοί δρόμοι κατηγοριοποιούνται στην κατηγορία ‘συνεχές αστικό’. Στην τρίτη στήλη τέλος, κάποιες περιοχές ταξινομούνται ως ορυχεία με κόκκινο χρώμα. Το ίδιο συμβαίνει και στις ακτογραμμές όπου ο αλγόριθμος λανθασμένα τις ταξινομεί ως ορυχεία λόγω της υψηλής ανακλαστικότητάς τους.			
2				
3				
4				


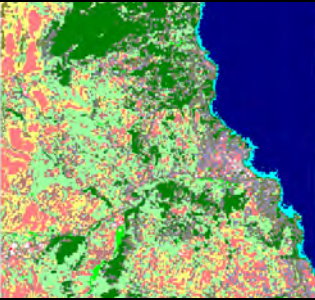
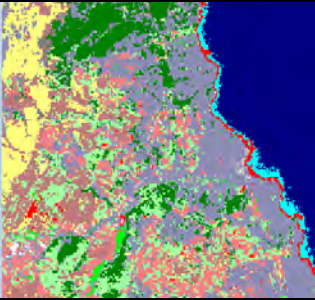

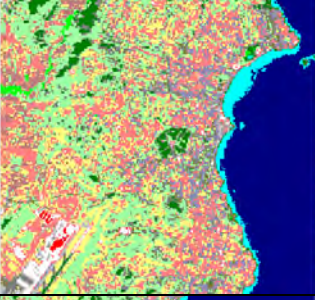
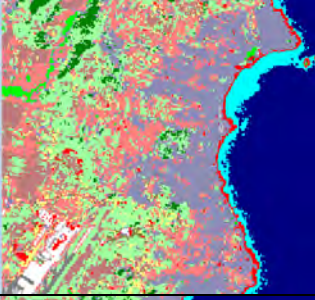

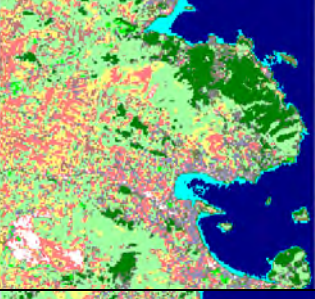
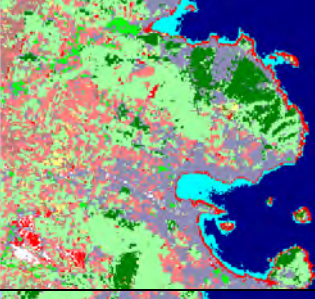



Πίνακας 4.21: Σύγκριση μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010 (I).

Zoom	Σχολιασμός	RGB: 321	Minimum Distance	Maximum Likelihood
5	Στον Πίνακα αυτό φαίνεται πως ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας καταφέρνει να ταξινομήσει σωστά τις οικιστικές περιοχές όπου υπάρχουν κεραμοσκεπές και συγχέονται φασματικά με το έδαφος. Πολύ καλύτερη είναι στον αλγόριθμο αυτό και η ταξινόμηση της μη συνεχούς αστικής δόμησης, των καλλιεργειών και του εδάφους. Ένα μειονέκτημα του αλγορίθμου είναι ότι πολλές οικιστικές περιοχές έχουν εμφανιστεί λανθασμένα σε ορεινούς όγκους όπου δεν υπάρχει δόμηση. Εμφανής είναι και η σύγχυση της διακεκομμένης δόμησης με τις βραχώδεις εκτάσεις στον Υμηττό. Τα ορυχεία, τέλος, ταξινομούνται καλύτερα επίσης στη στήλη 3. Καλή επίσης είναι και η ταξινόμηση των βιομηχανικών περιοχών και με τους δύο αλγορίθμους.			
6				
7				
8				

Πίνακας 4.22: Σύγκριση μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010 (II).

Zoom	Σχολιασμός	RGB: 321	Minimum Distance	Maximum Likelihood
9	Ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης δεν καταφέρνει να διαχωρίσει το γυμνό έδαφος με την κατηγορία δόμησης που υπάγονται οι κεραμοσκεπές.			
10	Αντίθετα ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας διαχωρίζει πιο σωστά το έδαφος, τις περιοχές με κεραμοσκεπές, τη διακεκομμένη αστική δόμηση, τις καλλιέργειες, τα δάση κωνοφόρων, τη σκληροφυλλική βλάστηση και τα ορυχεία. Λανθασμένα ταξινομημένα εικονοστοιχεία υπάρχουν στους ορεινούς όγκους, όπως πχ. μη συνεχής δόμηση αντί για έδαφος και ορυχεία αντί για βράχους.			
11				
12				

Πίνακας 4.23: Σύγκριση μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010 (III).

Zoom	Σχολιασμός	RGB: 321	Minimum Distance	Maximum Likelihood
13	<p>Ο αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας ταξινομεί λανθασμένα την ακτογραμμή, αλλά ομογενοποιεί και διαχωρίζει καλύτερα τις μη συνεχείς αστικές περιοχές. Το έδαφος ταξινομείται επίσης καλύτερα στις εικόνες της τρίτης στήλης όπως και οι περιοχές με κεραμοσκεπές. Η ταξινόμηση της βλάστησης και με τις δύο μεθόδους δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές. Η θάλασσα και με τους δύο αλγορίθμους διακρίνεται σωστά σε ρηγή και πιο βαθιά.</p>			
14				
15				
16				

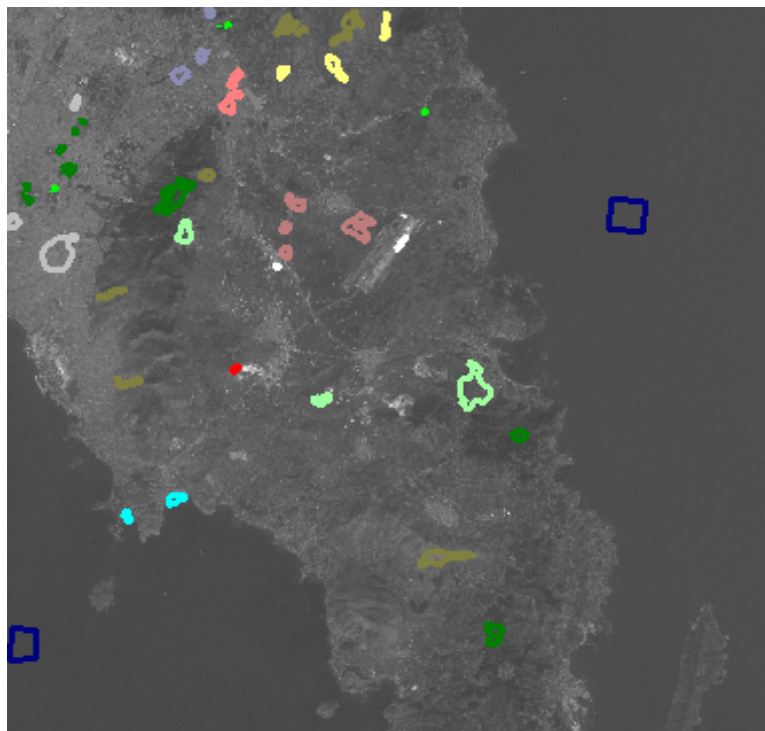
Πίνακας 4.24: Σύγκριση μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010 (IV).

Μέθοδος ταξινόμησης	Ελάχιστη Απόσταση	Μέγιστη Πιθανοφάνεια
Θεματική κατηγορία	Εμβαδό σε Εκτάρια	Εμβαδό σε Εκτάρια
rock_or_burnt_area	6414.930	1813.050
cultivation	6244.650	13779.540
highway	9296.460	3395.340
cont_buildings	2139.210	1444.410
mines	161.640	2887.560
coniferous_forest	8784.540	7651.890
sclerophyllus_vegetat	21929.400	17934.930
bare_soil	13505.400	8334.450
urban_soillike_roofs_like_roofs_	13968.180	11718.180
urban_disc	5893.470	18957.060
urban_con	6622.200	7359.660
dense_vegetation_or_broadleaved_forest	276.570	508.950
sea_shallow	1198.800	1872.000
sea	77208.570	75987.000
Sum	173644.020	173644.020

Πίνακας 4.25: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών σε εκτάρια ανά μέθοδο επιβλεπόμενης ταξινόμησης, της απεικόνισης του 2010.

Από τον παραπάνω Πίνακα παρατηρείται μια σημαντική διαφορά στην ταξινόμηση των κατηγοριών. Λόγω του πιο ομοιογενούς αποτελέσματος, η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας υπερεκτιμά σε σχέση με την πραγματικότητα, κάποιες κατηγορίες. Αντίθετα ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης, υποτιμά την πραγματικότητα. Η συμμετοχή της συμμεταβλητότητας, που εξηγεί αυτήν την ομογενοποίηση, δίνει σε πολλές κατηγορίες καλύτερα αποτελέσματα. Οι περιοχές αστικής δόμησης, τόσο συνεχείς όσο και διακεκομμένες, που αποτελούν τη βασική θεματική κατηγορία μελέτης στην εργασία αυτή, εκτιμώνται καλύτερα με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας παρά την μικρή υπερεκτίμηση. Το φαινόμενο αυτό προφανώς θα παρατηρείται και στις απεικονίσεις των προηγούμενων χρόνων, συνεπώς θα είναι δυνατή η ανίχνευση των αλλαγών.

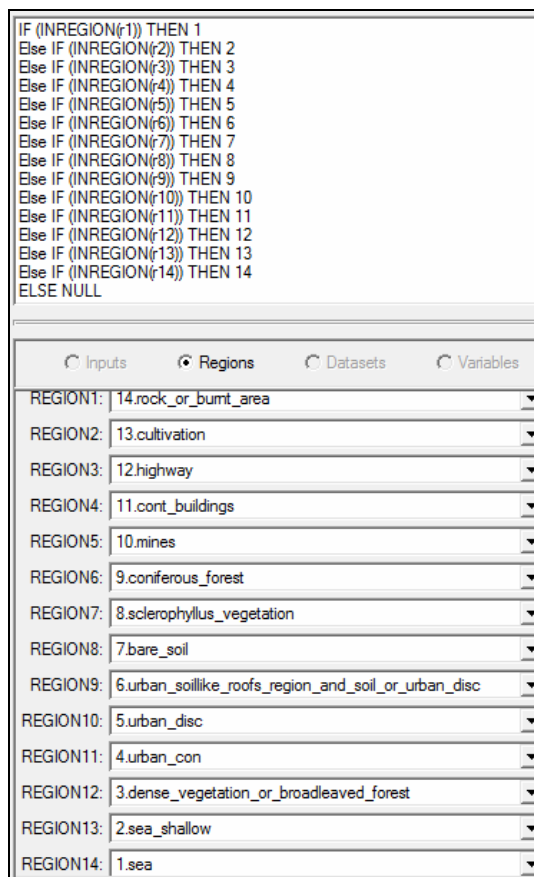
Για τη δημιουργία της αληθούς εικόνας επιλέχθηκαν τα πολύγωνα ελέγχου ακριβώς των ίδιων κατηγοριών με τα δεδομένα εκπαίδευσης και στη συνέχεια ακολούθησε η αντιστοίχιση πολυγώνων με τις θεματικές κατηγορίες (Εικόνα 4.31) Υπενθυμίζεται πως για την επιλογή τους ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται στο υπεδάφιο 2.5.4 και πως τα δεδομένα ελέγχου ήταν διαφορετικά από τα δεδομένα εκπαίδευσης. Τέλος, τα δεδομένα ελέγχου ήταν σε έκταση πολύ μεγαλύτερα από τα δεδομένα εκπαίδευσης σε όλες τις κατηγορίες. Η χρωματική παλέτα για την παρακάτω εικόνα είναι η ίδια που περιγράφεται στην Εικόνα 4.24.



Εικόνα 4.29: Δείγματα ελέγχου για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.



Εικόνα 4.30: Αληθής εικόνα για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.



Εικόνα 4.31: Αλγόριθμος αντιστοίχισης δεδομένων ελέγχου με τις θεματικές κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.

Στη συνέχεια ακολουθούν οι πίνακες σύγκρισης και η αξιολόγηση τους για τις δύο μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Πίνακες 4.26 και 4.27).

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

Classified File\ Reference File																		Άθροισμα γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη
	14.rock_or	13.cultiva	12.highway	11.cont_bu	10.mines	9.conifero	8.scleroph	7.bare_soi	6.urban_so	5.urban_di	4.urban_co	3.dense_ve	2.sea_shal	1.sea					
rock_or_burnt_area	567	0	0	0	0	1	9	0	0	0	0	0	0	0				577	0.983
cultivation	12	1772	0	0	0	0	1	21	0	0	0	0	0	0				1806	0.981
highway	639	3	45	0	0	12	0	1	0	0	9	0	0	0				709	0.063
cont_buildings	0	0	1	69	0	0	0	0	17	1	81	0	0	0				169	0.408
mines	760	0	0	0	74	0	32	3	1	0	0	0	0	0				870	0.085
coniferous_forest	36	0	0	0	0	2285	459	0	0	0	0	0	0	0				2780	0.822
scleropyllus_vegeta	82	185	0	0	0	45	2403	2	0	0	0	0	0	0				2717	0.884
bare_soil	333	84	0	0	0	2	14	918	7	0	0	0	0	0				1358	0.676
urban_soillike_roofs	394	9	0	2	0	7	69	2	745	7	5	0	0	0				1240	0.601
urban_disc	660	0	0	6	0	492	329	24	64	905	211	15	0	0				2706	0.334
urban_con	8	0	8	13	0	11	0	0	7	17	2752	0	0	0				2816	0.977
dense_vegetation_or_	0	0	0	0	0	0	137	0	0	2	0	62	0	0				201	0.308
sea_shallow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	580	0				580	1.000
sea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6206				6206	1.000
Άθροισμα στήλης	3491	2053	54	90	74	2855	3453	971	841	932	3058	77	580	6206				24735	
Ακρίβεια Παραγωγού	0.162	0.863	0.833	0.767	1.000	0.800	0.696	0.945	0.886	0.971	0.900	0.805	1.000	1.000					

Overall Accuracy:	78.363	%	from 24735 observations
Kappa statistic:	0.753		

Πίνακας 4.26: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.

Ο παραπάνω πίνακας σφαλμάτων που προκύπτει από τη συσχέτιση της εικόνας ελέγχου με το αποτέλεσμα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας δείχνει τα εξής:

- Συνολική ακρίβεια σχετικά καλή, περίπου 78%.
- Ακρίβεια ταξινόμησης με τον δείκτη \hat{k} μικρότερη, περίπου στο 75%, λόγω του μη συνυπολογισμού της τυχαίας συμφωνίας μεταξύ των επίγειων δεδομένων αναφοράς και του αποτελέσματος της ταξινόμησης.
- Ακρίβεια του παραγωγού πολύ καλή για όλες τις κατηγορίες, εκτός της κατηγορίας των βράχων-καμένων δασικών εκτάσεων. Σε πολλές περιπτώσεις το ποσοστό επιτυχίας ξεπερνάει τους δείκτες της συνολικής ακρίβειας και του δείκτη \hat{k} . Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα εικονοστοιχεία ελέγχου αυτών των κατηγοριών κάλυψης γης έχουν ταξινομηθεί ορθά και τα σφάλματα αποκλεισμού είναι μικρά. Για τις αστικές περιοχές που ενδιαφέρουν σημαντικά οι ακρίβειές τους, παρατηρείται πως τα πολύγωνα ελέγχου τόσο στις συνεχείς, στις μη συνεχείς αστικές περιοχές και στις περιοχές με κεραμοσκεπές ταξινομούνται σωστά με ποσοστό μεγαλύτερο από 88%, ενώ σε περιοχές της θάλασσας υπάρχει πλήρης ταύτιση.
- Η ακρίβεια του χρήστη, που εκφράζει το ποσοστό σφάλματος συμπερίληψης ανά κατηγορία, εμφανίζεται μικρή στις κατηγορίες των αυτοκινητοδρόμων, των βιομηχανικών περιοχών, των ορυχείων, της διακεκομμένης αστικής δόμησης και στην πυκνή βλάστηση. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως για κάθε κατηγορία, μόνο αυτό το ποσοστό από το συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων που έχουν ταξινομηθεί σε αυτή τη θεματική κατηγορία, ανήκει πράγματι στην κατηγορία αυτή, σύμφωνα με την αληθή εικόνα. Δηλαδή, αν γίνει ένας επίγειος έλεγχος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, μόνο αυτό το ποσοστό θα χαρακτηριστεί ως σωστά ταξινομημένο για κάθε θεματική κατηγορία.
- Οι αξιόπιστες κατηγορίες τόσο από την πλευρά του παραγωγού όσο και του χρήστη είναι: οι καλλιέργειες, η σκληροφυλλική βλάστηση και τα δάση κωνοφόρων, το γυμνό έδαφος, η συνεχής αστική δόμηση, οι κεραμοσκεπές και οι κατηγορίες θαλάσσης.

Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα του πίνακα σύγχυσης, συσχετίζοντας την αληθή εικόνα με το αποτέλεσμα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με την ελάχιστη απόσταση, όπως φαίνονται και στον παρακάτω πίνακα, είναι τα εξής:

- Συνολική ακρίβεια σχετικά καλή, περίπου 71%.
- Ακρίβεια ταξινόμησης με τον δείκτη \hat{k} , μικρότερη, περίπου στο 67%.
- Και οι δύο ακρίβειες είναι μικρότερες από εκείνες της μέγιστης πιθανοφάνειας.
- Ακρίβεια του παραγωγού καλή για λιγότερες κατηγορίες από ότι στη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Πιο συγκεκριμένα, εκτός από τις βραχώδεις εκτάσεις, οι κατηγορίες των καλλιεργειών του γυμνού εδάφους και της μη συνεχούς αστικής δόμησης παρουσιάζουν μεγάλο σφάλμα αποκλεισμού.
- Ακρίβεια του χρήστη μικρή, για τις κατηγορίες των αυτοκινητοδρόμων, των βιομηχανικών περιοχών, του γυμνού εδάφους, των κεραμοσκεπών, και της διακεκομμένης αστικής δόμησης.
- Οι αξιόπιστες κατηγορίες τόσο ως προς τον παραγωγό, όσο και από τον χρήστη είναι λιγότερες από ότι στη μέγιστη πιθανοφάνεια.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

Classified File\ Reference File																		
	14.rock_or	13.cultiva	12.highway	11.cont_bu	10.mines	9.conifero	8.scleroph	7.bare_soi	6.urban_so	5.urban_di	4.urban_co	3.dense_ve	2.sea_shal	1.sea	Άθροισμα γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη		
rock_or_burnt_area	873	3	1	0	0	8	16	2	6	205	50	0	0	0	1164	0.750		
cultivation	5	1062	0	0	0	0	117	16	0	0	0	0	0	0	1200	0.885		
highway	679	0	50	0	0	77	216	0	0	161	198	0	0	0	1381	0.036		
cont_buildings	222	0	0	67	9	0	0	13	40	3	117	0	0	0	471	0.142		
mines	0	0	0	0	65	0	0	0	0	0	2	0	0	0	67	0.970		
coniferous_forest	89	0	0	0	0	2750	275	0	0	1	0	21	0	0	3136	0.877		
sclerophyllus_vegeta	48	439	0	0	0	18	2125	7	0	3	0	0	0	0	2640	0.805		
bare_soil	299	459	0	0	0	1	576	212	39	15	0	0	0	0	1601	0.132		
urban_soillike_roofs	1115	90	0	6	0	0	116	721	695	32	94	0	0	0	2869	0.242		
urban_disc	158	0	0	0	0	1	5	0	54	432	76	0	0	0	726	0.595		
urban_con	3	0	3	17	0	0	0	0	7	75	2521	0	0	0	2626	0.960		
dense_vegetation_or_	0	0	0	0	0	0	7	0	0	5	0	56	0	0	68	0.824		
sea_shallow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	414	0	414	1.000		
sea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	166	6206	6372	0.974		
Άθροισμα στήλης	3491	2053	54	90	74	2855	3453	971	841	932	3058	77	580	6206	24735			
Ακρίβεια Παραγωγού	0.250	0.517	0.926	0.744	0.878	0.963	0.615	0.218	0.826	0.464	0.824	0.727	0.714	1.000				

Overall Accuracy:	70.863	% from 24735 observations
Kappa statistic:	0.667	

Πίνακας 4.27: Πίνακας σύγχυσης ελάχιστης απόστασης για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.

Για τη βελτίωση της ακρίβειας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, όσο και για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε πιο γενικές κατηγορίες, ακολούθησε συγχώνευση ορισμένων κατηγοριών.

Η συνένωση των κατηγοριών ήταν η ακόλουθη:

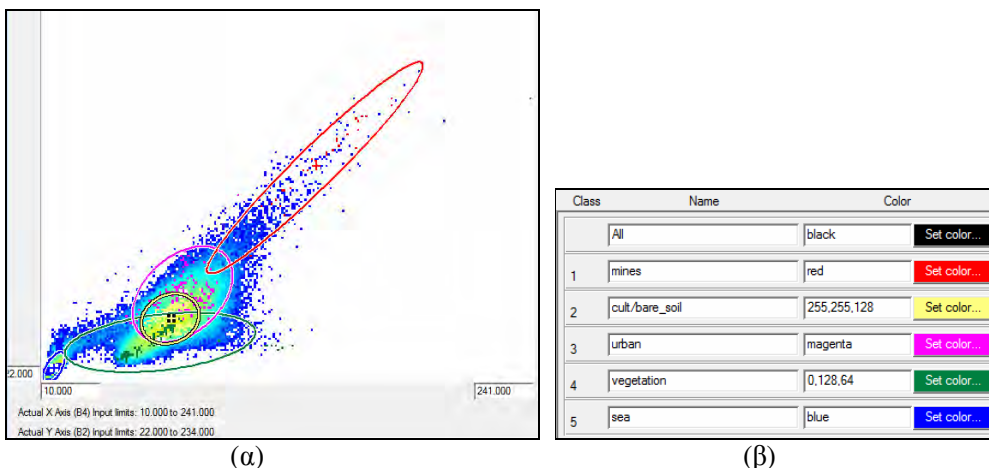
mines	mines
rock_or_burnt_area, cultivation, bare_soil	cultivation/bare soil
urban_cont, urban_disc, urban_soillike_roof_and_pure_soil_or_disc_urban, , highway, cont_buildings	urban
dense_vegetation_and_coniferous_or_broadleaved_forest, coniferous_forest, sclerophyllus_vegetation	vegetation
sea, sea_shallow	sea

Πίνακας 4.28: Συγχώνευση δεκατεσσάρων κατηγοριών σε πέντε γενικότερες κατηγορίες για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση το 2010.

Παρατηρείται ότι η αντιστοίχιση πλησιάζει σημαντικά την αντιστοίχιση που είχε προηγηθεί κατά την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, γεγονός που υποδεικνύει τον σωστό φασματικό διαχωρισμό των θεματικών κατηγοριών.

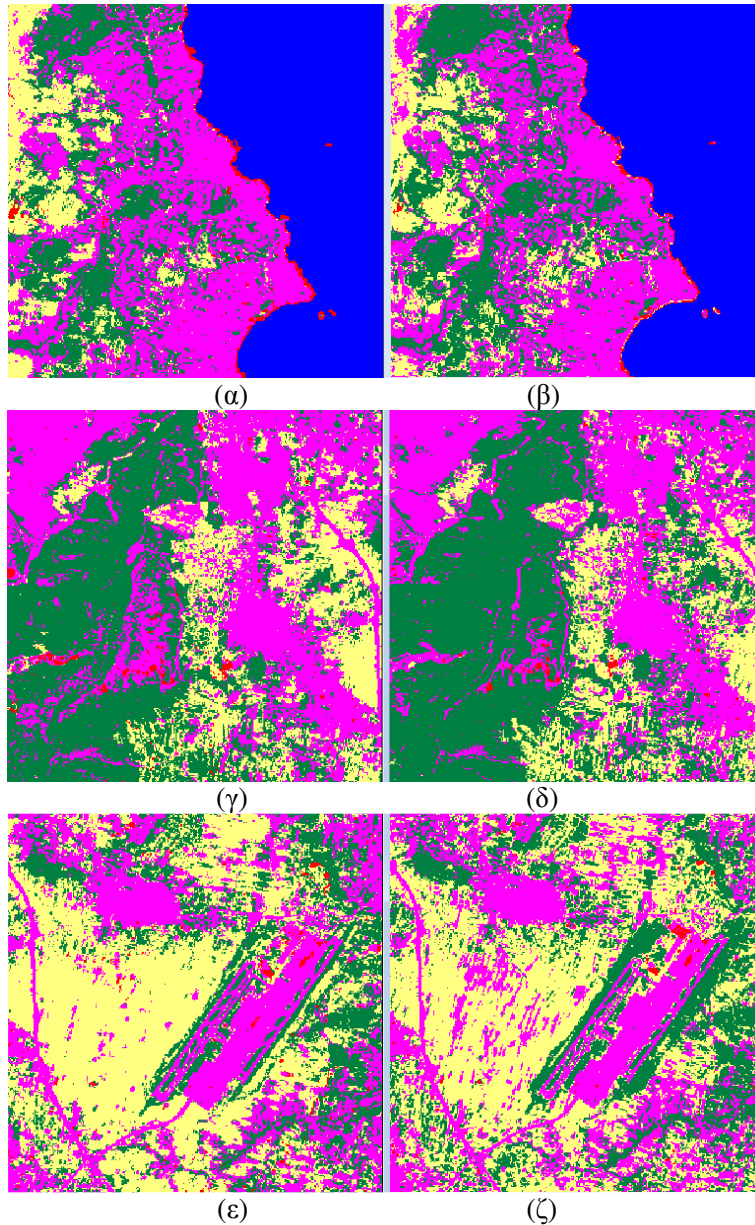
Υπάρχουν δύο μέθοδοι συνδυασμού των κατηγοριών. Ο πρώτος είναι η συγχώνευση των υπαρχόντων πολυγώνων εκπαίδευσης στις πιο γενικευμένες κατηγορίες και συνεπώς εκ νέου αποτελέσματα, ενώ ο δεύτερος είναι η συγχώνευση των ήδη κατηγοριών όπως είχε γίνει και στη μέθοδο της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Οι δύο εναλλακτικές μέθοδοι δεν παρουσίασαν ακραίες διαφορές (Εικόνα 4.32), όμως το αποτέλεσμα των συγχωνευμένων πολυγώνων κρίθηκε πιο αξιόπιστο. Άλλωστε, είναι και η μόνη μέθοδος από την οποία μπορεί να παραχθεί πίνακας σύγχυσης.

Λόγω της συνένωσης των πολυγώνων, οι ελλείψεις στο δισδιάστατο χώρο προτύπων ανά κατηγορία είναι πιο διευρυμένες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7 που ακολουθεί.



Σχήμα 4.7: (α) Δισδιάστατο ιστόγραμμα προτύπων για τις πέντε ενοποιημένες κατηγορίες της επιβλεπόμενης ταξινόμησης του 2010, (β) Χρωματική παλέτα κατηγοριών.

Στο γενικευμένο αυτό δισδιάστατο ιστόγραμμα, οι άξονες X και Y του οποίου αντιστοιχούν πάλι στα φασματικά κανάλια 4 και 2 αντίστοιχα, παρουσιάζονται επίσης επικαλύψεις με σημαντικότερη εκείνη του εδάφους με τις αστικές περιοχές, γεγονός αναμενόμενο, αφενός διότι σε πολλές αραιοκατοικημένες περιοχές υπάρχει γυμνό έδαφος, αφετέρου επειδή οι περιοχές με τις κεραμοσκεπές συγχέονται με το έδαφος. Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας αναμένεται να δώσει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα λόγω της συμμετοχής της μεταβλητότητας και της συμμεταβλητότητας στην ταξινόμηση.

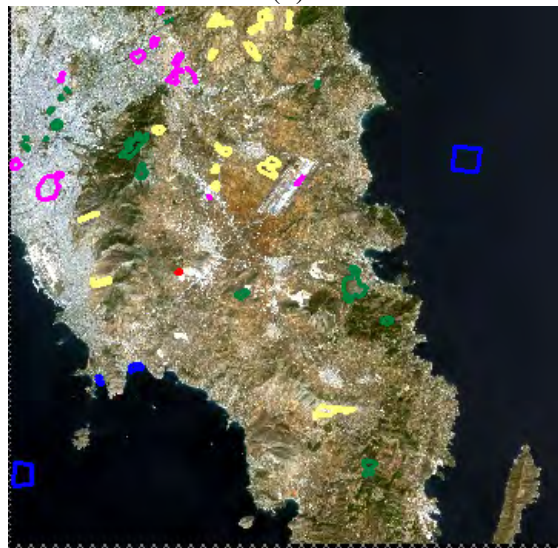


Εικόνα 4.32: Σύγκριση επιβλεπόμενης ταξινόμησης ύστερα από συνένωση κατηγοριών (α), (γ), (ε) και από συνένωση πολυγώνων εκπαίδευσης (β), (δ), (ζ).

Στις επόμενες Εικόνες παρουσιάζονται τα πολύγωνα εκπαίδευσης και ελέγχου των γενικευμένων κατηγοριών.

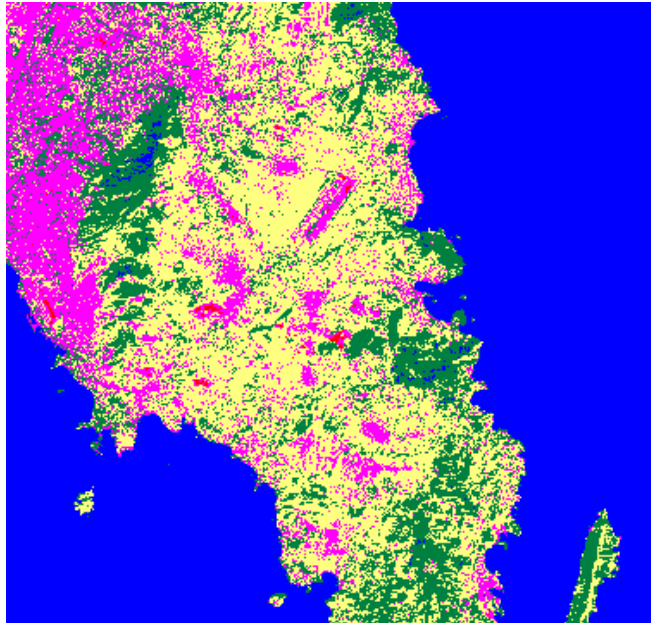


(α)

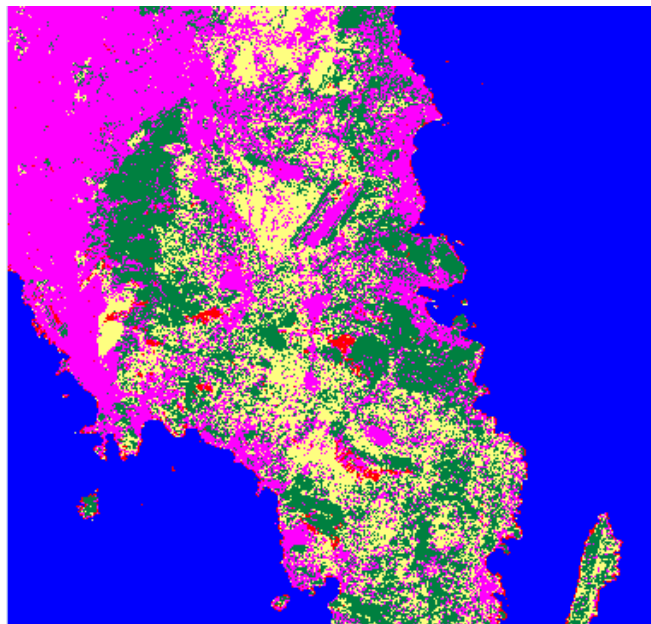


(β)

Εικόνα 4.33: (α) Πολύγωνα εκπαίδευσης γενικευμένων κατηγοριών, (β) Πολύγωνα ελέγχου γενικευμένων κατηγοριών.


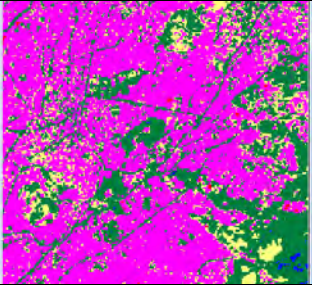


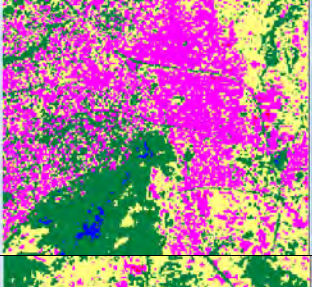
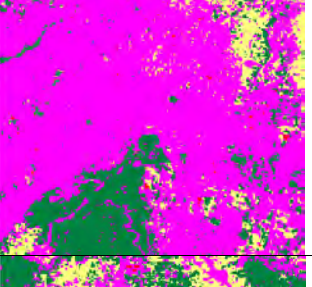

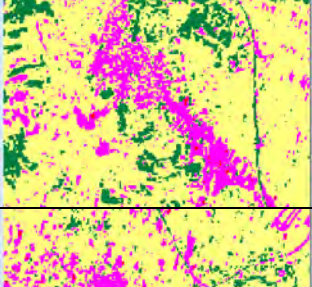
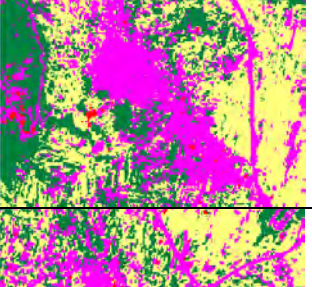

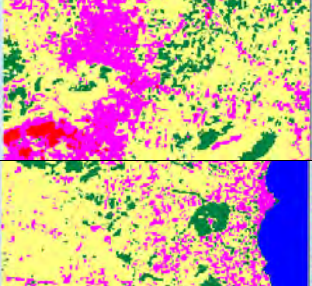
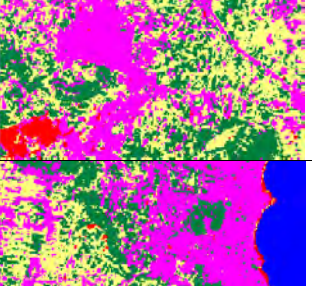
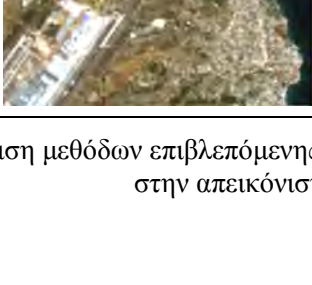
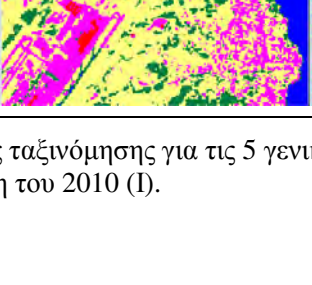



Εικόνα 4.34: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης ελάχιστης απόστασης για τις γενικευμένες κατηγορίες το 2010.


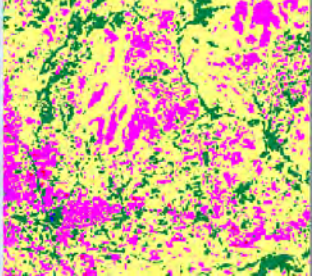
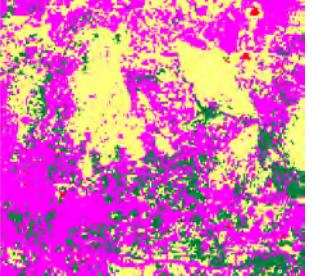


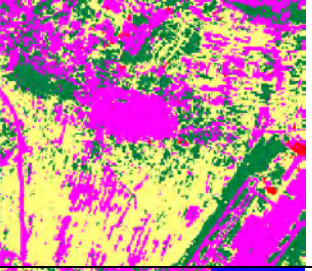

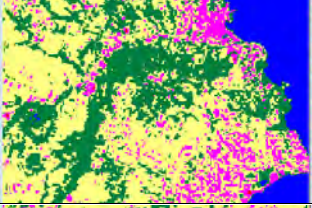
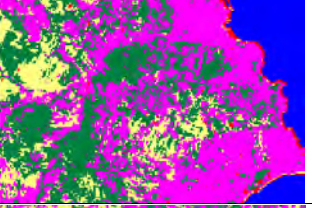

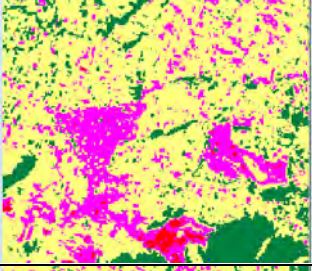
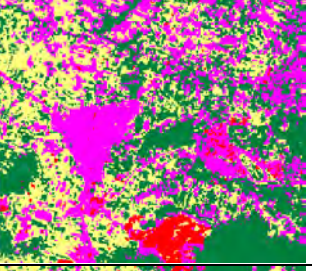

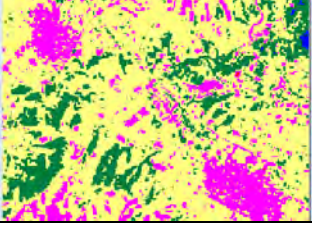
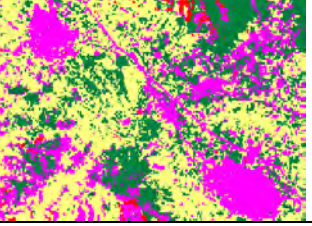


Εικόνα 4.35: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις γενικευμένες κατηγορίες το 2010.

Από τις παραπάνω Εικόνες είναι πιο εύκολο να διακριθεί η διαφορά στο αποτέλεσμα της ταξινόμησης της γενικευμένης κατηγορίας της αστικής δόμησης. Όπως έχει προαναφερθεί, η μέθοδος της ελάχιστης απόστασης υποεκτιμά τις αστικές περιοχές, γι αυτό και στο εξής θα παρουσιάζεται μόνο το αποτέλεσμα της μέγιστης πιθανοφάνειας.

Zoom	Σχολιασμός	RGB: 321	Minimum Distance	Maximum Likelihood
1	Στον αλγόριθμο μέγιστης πιθανοφάνειας το αποτέλεσμα είναι εμφανώς πιο ομογενοποιημένο. Στην ελάχιστη απόσταση, πολλές αστικές περιοχές και δρόμοι			
2	καλύπτονται με βλάστηση, το οποίο είναι ένδειξη λάθους. Βέβαια, σε λίγες περιπτώσεις συμβαίνει κάποιες περιοχές βλάστησης, στην			
3	εικόνα της μέγιστης πιθανοφάνειας να ταξινομούνται λανθασμένα ως αστικές περιοχές. Παρατηρείται			
4	εμφανώς η υποεκτίμηση της αστικής περιοχής του πρώτου αλγορίθμου, ενώ επίσης στον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης, αρκετές περιοχές			
5	βλάστησης ταξινομούνται ως ‘θάλασσα’ εξαιτίας της μικρότερης απόστασης τους από τη μέση τιμή του αντίστοιχου δείγματος εκπαίδευσης.			

Πίνακας 4.29: Σύγκριση μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010 (I).

Zoom	Σχολιασμός	RGB: 321	Minimum Distance	Maximum Likelihood
6				
7	Ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας δείχνει και εδώ να ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματικότητα. Το μόνο μειονέκτημα του αλγόριθμου είναι η συμπερίληψη ορισμένων εκτάσεων γυμνού εδάφους της Πεντέλης ως αστικές περιοχές,			
8	όπως και η συμπερίληψη ορισμένων καλλιεργειών επίσης ως αστικές περιοχές στην περιοχή του αεροδρομίου.			
9				
10				

Πίνακας 4.30: Σύγκριση μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010 (II).

Οι αντίστοιχες εμβαδομετρήσεις των γενικευμένων κατηγοριών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.31 που ακολουθεί:

Μέθοδος ταξινόμησης	Ελάχιστη Απόσταση	Μέγιστη Πιθανοφάνεια
Θεματική κατηγορία	Εμβαδό σε Εκτάρια	Εμβαδό σε Εκτάρια
mines	294.660	2092.950
cult/bare_soil	47383.830	23531.040
urban	21998.340	41233.770
vegetation	25038.720	29076.480
sea	78928.470	77709.780
Sum	173644.020	173644.020

Πίνακας 4.31: Εμβαδομέτρηση γενικευμένων κατηγοριών σε εκτάρια ανά μέθοδο επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Οι μεγαλύτερες διαφορές παρουσιάζονται στις τρεις πρώτες κατηγορίες.

Είναι προφανές, ότι ανεξάρτητα από τον αλγόριθμο ταξινόμησης, επειδή οι κατηγορίες μειώθηκαν, η συνολική μεταβλητότητα να εκφράζεται από τις ταξινομήσεις σε μεγαλύτερο βαθμό, ή με άλλα λόγια, τόσο η συνολική ακρίβεια όσο και ο δείκτης \hat{k} , να λαμβάνουν μεγαλύτερες τιμές, όπως φαίνεται στους Πίνακες 4.32 και 4.33.

Classified File\ Reference File								
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	Αθροισμα γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη
	mines	cult/bare_	urban	vegetation	sea			
	----	-----	----	-----	---			
mines	74	724	2	20	0		820	0.090
cult/bare_soil	0	3665	18	37	0		3720	0.985
urban	0	1657	4951	503	0		7111	0.696
vegetation	0	469	4	5825	0		6298	0.925
sea	0	0	0	0	6786		6786	1.000
Αθροισμα στήλης	74	6515	4975	6385	6786		24735	
Ακρίβεια Παραγωγού	1.000	0.563	0.995	0.912	1.000			

Overall Accuracy:	86.117 % from 24735 observations
Kappa statistic:	0.818

Πίνακας 4.32: Πίνακας σύγχυσης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.

Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας δίνει τα εξής αποτελέσματα:

- Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης πολύ υψηλή, περίπου 86%.
- Δείκτης \hat{k} υψηλός, περίπου στο 81%.

- Ως προς την ακρίβεια παραγωγού, πρόβλημα υπάρχει μόνο στην κατηγορία του εδάφους, ενώ ως προς την ακρίβεια χρήστη στα ορυχεία. Οι αστικές περιοχές έχουν πολύ υψηλή ακρίβεια παραγωγού και ικανοποιητική ακρίβεια χρήστη.

Classified File\ Reference File								
-----	-----	-----	-----	-----	-----	--		
	mines	cult/bare_	urban	vegetation	sea		Άθροισμα γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη
	----	-----	-----	-----	---			
mines	73	0	2	0	0		75	0.973
cult/bare_soil	0	4020	514	2038	0		6572	0.612
urban	1	1693	4227	41	0		5962	0.709
vegetation	0	802	232	3366	0		4400	0.765
sea	0	0	0	940	6786		7726	0.878
Άθροισμα στήλης	74	6515	4975	6385	6786		24735	
Ακρίβεια Παραγωγού	0.986	0.617	0.850	0.527	1.000			

Overall Accuracy:	74.680	% from 24735 observations
Kappa statistic:	0.662	

Πίνακας 4.33: Πίνακας σύγκρισης ελάχιστης απόστασης για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.

Ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης δίνει:

- Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης σχετικά καλή, περίπου 75%.
- Δείκτη \hat{k} , περίπου στο 66%.
- Ως προς την ακρίβεια παραγωγού πρόβλημα υπάρχει μόνο στην κατηγορία της βλάστησης, ενώ ως προς την ακρίβεια χρήστη η κατηγορία του εδάφους. Οι αστικές περιοχές έχουν ικανοποιητική ακρίβεια παραγωγού και χρήστη.

Για τις απεικονίσεις των προηγούμενων χρόνων ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία. Πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, σε όλες τις υπόλοιπες εικόνες έδωσε επίσης ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά για κάθε δορυφορική απεικόνιση, η διαδικασία εξαγωγής αποτελεσμάτων καθώς και τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων.

4.1.2.2 Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 2003

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικά τα βασικά στάδια κάθε ταξινόμησης των επόμενων εικόνων.



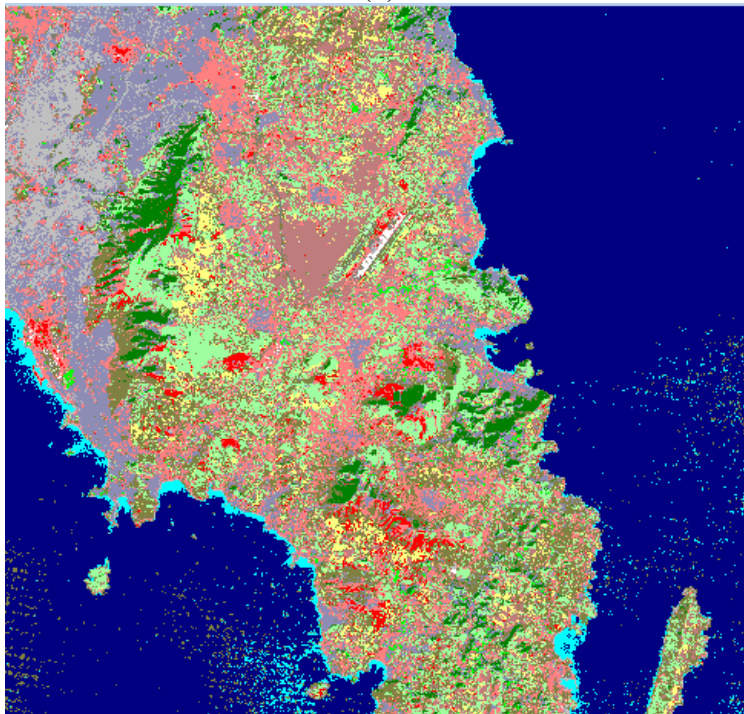
Εικόνα 4.36: Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 2003.



Εικόνα 4.37: Πολύγωνα εκπαίδευσης γενικευμένων θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 2003.



(α)

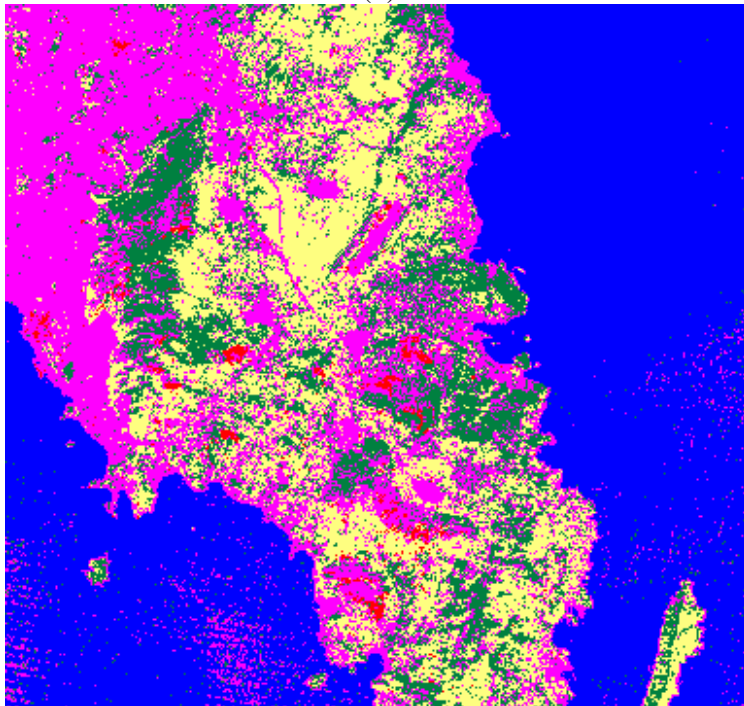


(β)

Εικόνα 4.38: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 321, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2003.



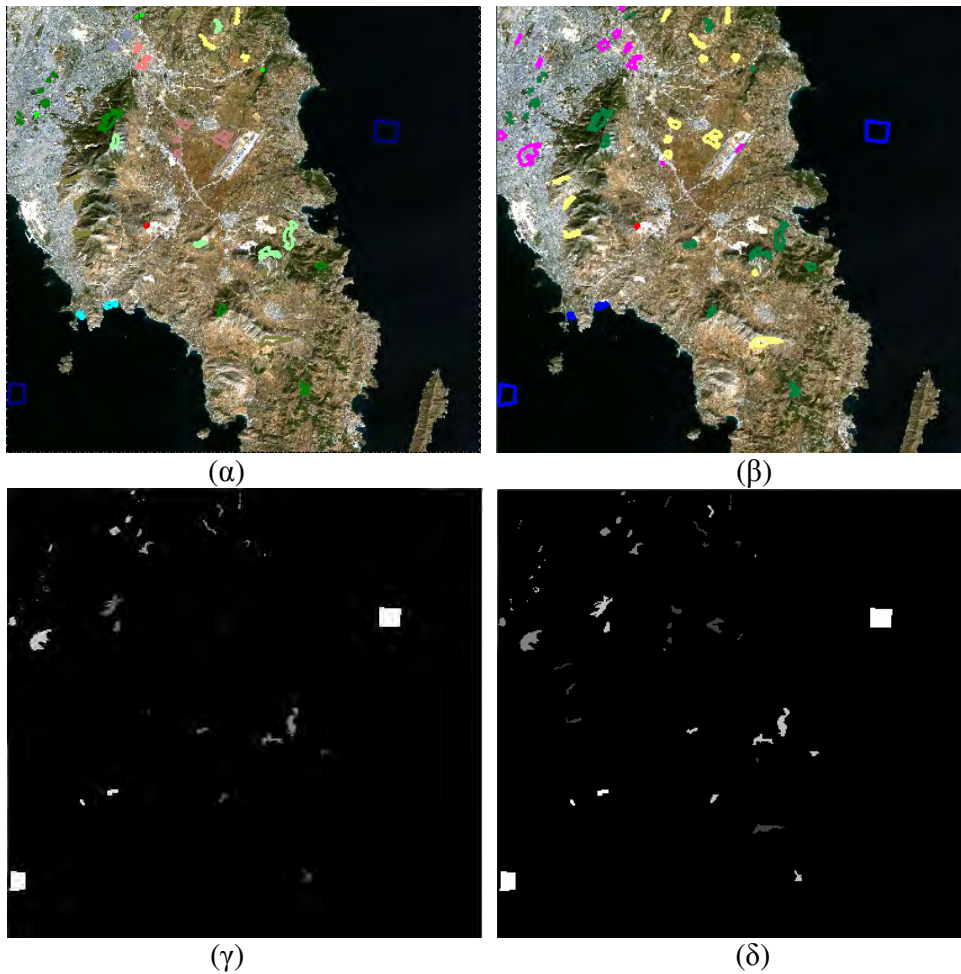
(α)



(β)

Εικόνα 4.39: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2003.

Η ταξινόμηση κρίνεται από μια πρώτη φωτοερμηνευτική άποψη ως καλή. Υπάρχουν όμως κάποια προβλήματα στην περιοχή του Μαρκόπουλου και των κατάντι ορεινών όγκων αλλά και στον Υμηττό, όπου αρκετές πλαγιές ταξινομούνται ως αστικές περιοχές. Επίσης, λίγα εικονοστοιχεία στην θάλασσα ταξινομούνται ως αστική έκταση, λόγω πιθανώς του δείγματος στους αυτοκινητοδρόμους που συγχέεται. Πραγματοποιήθηκαν αρκετές προσπάθειες με την επιλογή των δεδομένων εκπαίδευσης, αλλά το αποτέλεσμα δεν άλλαξε σημαντικά. Ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης δεν εμφανίζει το πρόβλημα αυτό, αλλά σε αυτή τη μέθοδο υπάρχει μια συστηματική υποτίμηση της αστικής περιοχής.



Εικόνα 4.40: (α) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 14 κατηγορίες, (β) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες, (γ) Αληθής εικόνα 14 κατηγοριών, (δ) Αληθής εικόνα 5 κατηγοριών για την απεικόνιση του 2003.

Όπως φαίνεται η αληθής Εικόνα 4.40 δεν διαφέρει σχηματικά, αλλά διαφέρει στην αντιστοίχιση με τις θεματικές κατηγορίες. Η διαβάθμιση στην πρώτη περίπτωση γίνεται πιο σταδιακά, ενώ στη δεύτερη περίπτωση πιο απότομα.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

Classified File Reference File																Άθροισμα γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη
	14.rock_or	13.cultiva	12.highway	11.cont_bu	10.mines	9.conifero	8.scleropl	7.bare_soi	6.urban_so	5.urban_di	4.urban_co	3.dense_ve	2.sea_shal	1.sea			
rock_or_burnt_area	969	54	0	0	4	99	735	120	1	2	4	0	0	182	2170	0.447	
cultivation	70	1398	0	0	0	0	204	107	0	0	0	0	0	0	1779	0.786	
highway	31	0	0	0	0	0	0	0	1	0	55	0	0	0	87	0.000	
cont_buildings	19	0	0	53	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	73	0.726	
mines	783	0	0	1	69	0	9	21	2	0	0	0	0	0	885	0.078	
coniferous_forest	143	0	0	0	0	2207	500	0	0	0	0	1	0	0	2851	0.774	
sclerophyllus_vegeta	173	454	0	0	0	87	1303	22	2	0	0	0	0	0	2041	0.638	
bare_soil	11	56	0	0	0	0	52	367	0	0	0	0	0	0	486	0.755	
urban_soillike_roofs	268	91	0	24	1	24	80	15	656	18	381	0	0	0	1558	0.421	
urban_disc	29	0	0	10	0	425	333	0	32	875	923	59	0	0	2686	0.326	
urban_con	25	0	48	2	0	3	0	0	0	37	1304	0	1	0	1420	0.918	
dense_vegetation_or_	1	0	0	0	0	138	94	0	0	0	0	17	0	0	250	0.068	
sea_shallow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	579	3	582	0.995	
sea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6021	6021	1.000	
Άθροισμα στήλης	2522	2053	48	90	74	2983	3310	652	694	932	2668	77	580	6206	22889		
Ακρίβεια Παραγωγού	0.384	0.681	0.000	0.589	0.932	0.740	0.394	0.563	0.945	0.939	0.489	0.221	0.998	0.970			

Overall Accuracy:	69.107	% from 22889 observations
Kappa statistic:	0.644	

Πίνακας 4.34: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2003.

- Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση του 2003 με 14 κατηγορίες χρησιμοποιώντας τη μέγιστη πιθανοφάνεια, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.34, προκύπτει σχετικά καλή συνολική ακρίβεια και ικανοποιητικός δείκτης \hat{k} . Καλές ακρίβειες παραγωγού επιτυγχάνονται σχεδόν για όλες τις αστικές περιοχές, ενώ σε μερικές από τις κατηγορίες αστικής δόμησης υπάρχει μια σύγχυση τόσο μεταξύ τους όσο με τα είδη βλάστησης και τις βραχώδεις περιοχές, με αρκετά σφάλματα συμπερίληψης.

Classified File\ Reference File								
-----	----	-----	-----	-----	-----			
	mines	cult/bare_	urban	vegetation	sea		Άθροισμα γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη
	----	-----	----	-----	---			
mines	70	623	7	0	0		700	0.100
cult/bare_soil	2	3223	12	407	0		3644	0.884
urban	2	1068	4408	1280	318		7076	0.623
vegetation	0	313	5	4683	108		5109	0.917
sea	0	0	0	0	6360		6360	1.000
Άθροισμα στήλης	74	5227	4432	6370	6786		22889	
Ακρίβεια Παραγωγού	0.946	0.617	0.995	0.735	0.937			

Overall Accuracy:	81.891	% from 22889 observations
Kappa statistic:	0.761	

Πίνακας 4.35: Πίνακας σύγχυσης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2003.

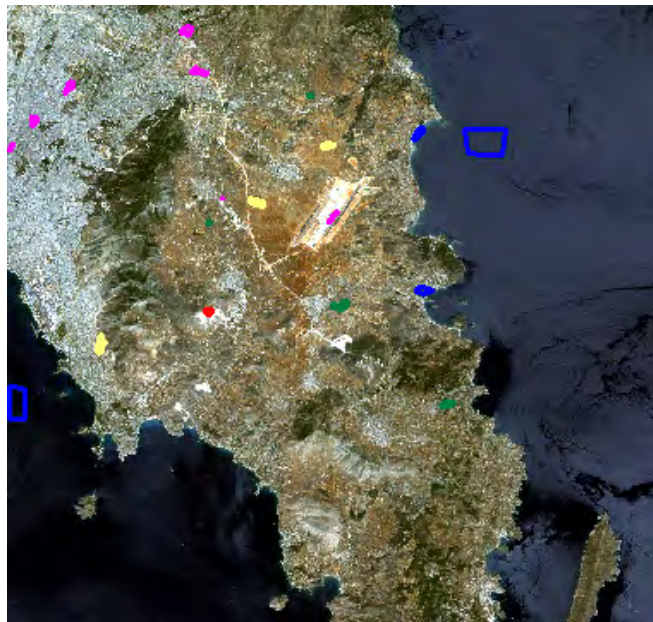
- Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση του 2003 με τις 5 γενικευμένες κατηγορίες χρησιμοποιώντας τη μέγιστη πιθανοφάνεια προκύπτει, όπως φαίνεται και στον παραπάνω Πίνακα, πολύ καλή συνολική ακρίβεια και δείκτης \hat{k} . Καλές είναι και οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη για όλες τις κατηγορίες εκτός των ορυχείων, τα οποία συγχέονται σημαντικά με το γυμνό έδαφος.

4.1.2.3 Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 2000

Ομοίως επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία και για αυτήν την απεικόνιση.



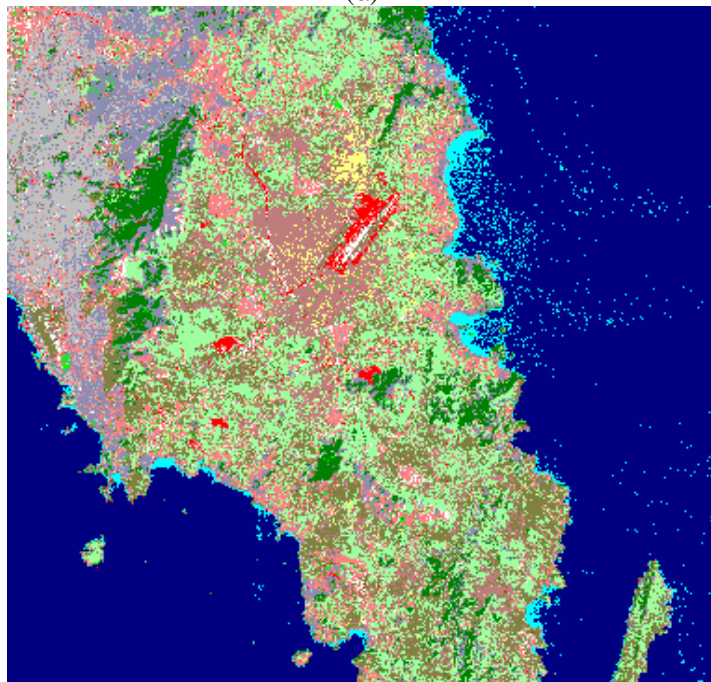
Εικόνα 4.41: Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 2000.



Εικόνα 4.42: Πολύγωνα εκπαίδευσης γενικευμένων θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 2000.



(α)

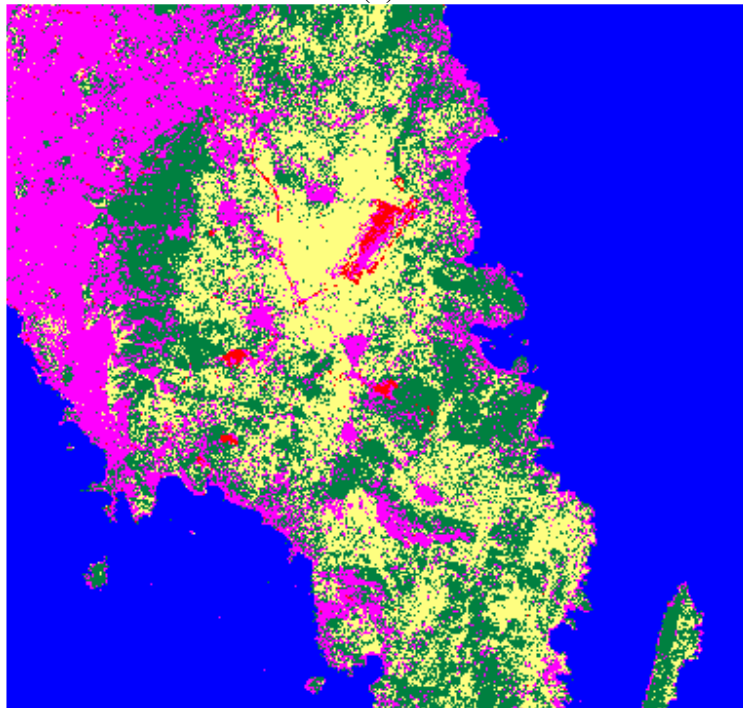


(β)

Εικόνα 4.43: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 321, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2000.

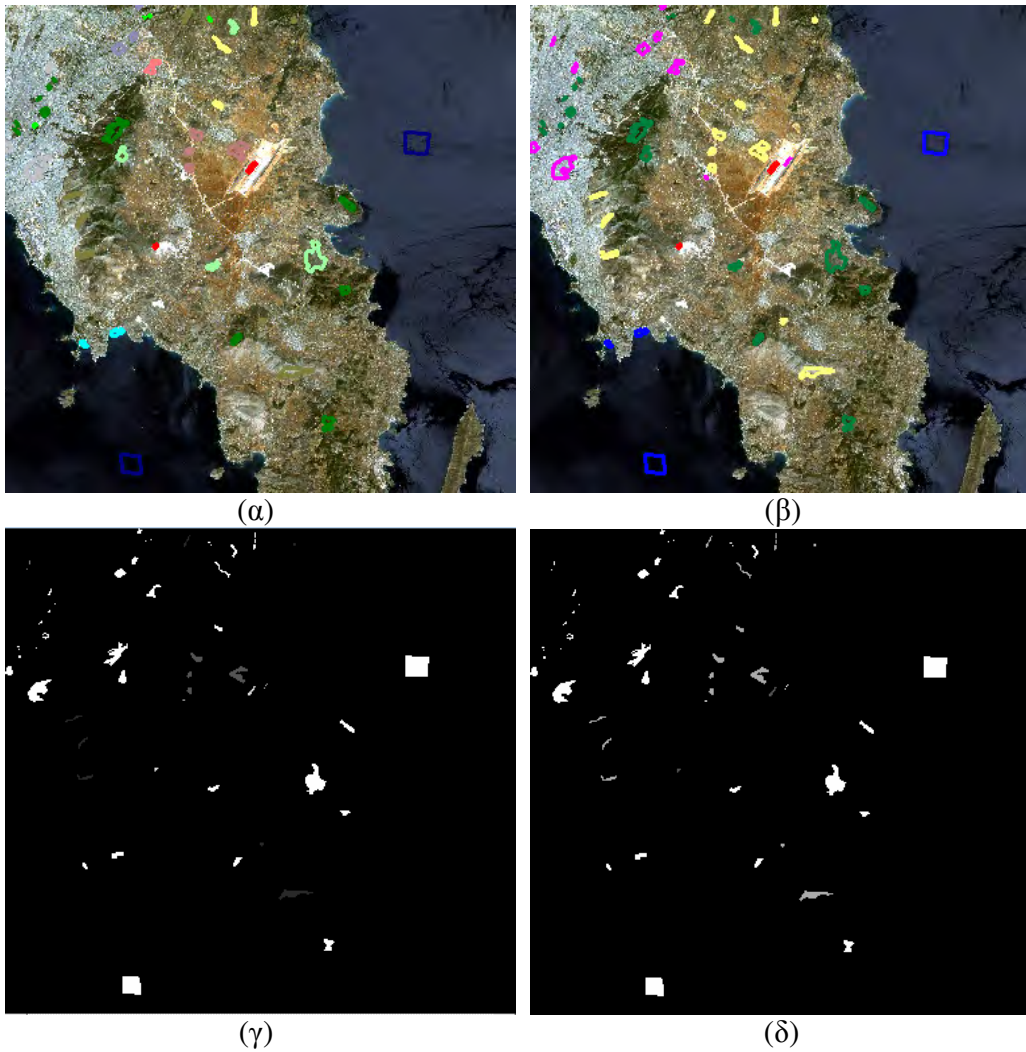


(α)



(β)

Εικόνα 4.44: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2000.



Εικόνα 4.45: (α) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 14 κατηγορίες, (β) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες, (γ) Αληθής εικόνα 14 κατηγοριών, (δ) Αληθής εικόνα 5 κατηγοριών για την απεικόνιση του 2000.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

Classified File\ Reference File																		
	14.rock_or	13.cultiva	12.highway	11.cont_bu	10.mines	9.conifero	8.scleroph	7.bare_soi	6.urban_so	5.urban_di	4.urban_co	3.dense_ve	2.sea_shal	1.sea		Άθροισμα γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη	
rock_or_burnt_area	708	92	0	1	5	18	436	65	2	0	2	0	3	0		1332	0.532	
cultivation	1	1558	0	0	0	0	16	270	0	0	0	0	0	0		1845	0.844	
highway	3	0	16	0	0	6	0	0	0	2	49	0	0	0		76	0.211	
cont_buildings	142	1	0	63	3	0	68	2	5	0	43	0	0	0		327	0.193	
mines	12	0	0	4	237	0	0	0	3	0	2	0	0	0		258	0.919	
coniferous_forest	166	0	0	0	0	3067	239	0	0	6	0	3	0	0		3481	0.881	
sclerophyllus_vegeta	181	300	0	1	2	194	2204	374	5	5	0	0	0	0		3266	0.675	
bare_soil	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		61	0.000	
urban_soillike_roofs	836	15	0	14	21	9	132	10	360	55	143	11	0	0		1606	0.224	
urban_disc	308	0	0	0	1	465	619	0	102	801	159	15	0	0		2470	0.324	
urban_con	27	0	21	6	2	16	0	0	27	49	2277	0	0	0		2425	0.939	
dense_vegetation_or_	43	1	0	0	0	0	21	0	2	8	0	51	0	0		126	0.405	
sea_shallow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	569	213		782	0.728	
sea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	5979		5992	0.998	
Άθροισμα στήλης	2427	2028	37	89	271	3775	3735	721	506	926	2675	80	585	6192		24047		
Ακρίβεια Παραγωγού	0.292	0.768	0.432	0.708	0.875	0.812	0.590	0.000	0.711	0.865	0.851	0.638	0.973	0.966				

Overall Accuracy:	74.396	% from 24047 observations
Kappa statistic:	0.703	

Πίνακας 4.36: Πίνακας σύγχυσης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2000.

- Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση του 2000 με 14 κατηγορίες χρησιμοποιώντας τη μέγιστη πιθανοφάνεια, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.36 προκύπτει καλή συνολική ακρίβεια και δείκτης \hat{k} . Καλές ακρίβειες παραγωγού επιτυγχάνονται για όλες τις αστικές περιοχές, ενώ σε μερικές από τις κατηγορίες αστικής δόμησης υπάρχει μια σύγχυση τόσο μεταξύ τους, όσο με τα είδη βλάστησης και τις βραχώδεις περιοχές, με αρκετά σφάλματα συμπερίληψης.

Classified File\ Reference File									
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---			
	mines	cult/bare_	urban	vegetation	sea		Άθροισμα γραμμής		Ακρίβεια Χρήστη
	-----	-----	-----	-----	---				
mines	238	5	7	0	0		250		0.952
cult/bare_soil	5	3018	9	274	0		3306		0.913
urban	26	1534	4162	428	0		6150		0.677
vegetation	2	619	55	6888	1		7565		0.911
sea	0	0	0	0	6776		6776		1.000
Άθροισμα στήλης	271	5176	4233	7590	6777		24047		
Ακρίβεια Παραγωγού	0.878	0.583	0.983	0.908	1.000				

Overall Accuracy:	87.670	% from 24047 observations
Kappa statistic:	0.835	

Πίνακας 4.37: Πίνακας σύγχυσης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 2000.

- Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση του 2000 με τις 5 γενικευμένες κατηγορίες χρησιμοποιώντας τη μέγιστη πιθανοφάνεια (Πίνακας 4.37) προκύπτει, όπως φαίνεται και στον παραπάνω Πίνακα, πολύ καλή συνολική ακρίβεια και δείκτης \hat{k} . Καλές είναι και οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη για όλες τις κατηγορίες με περιορισμένα σφάλματα αποκλεισμού και συμπερίληψης αντίστοιχα.

4.1.2.4 Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 1991



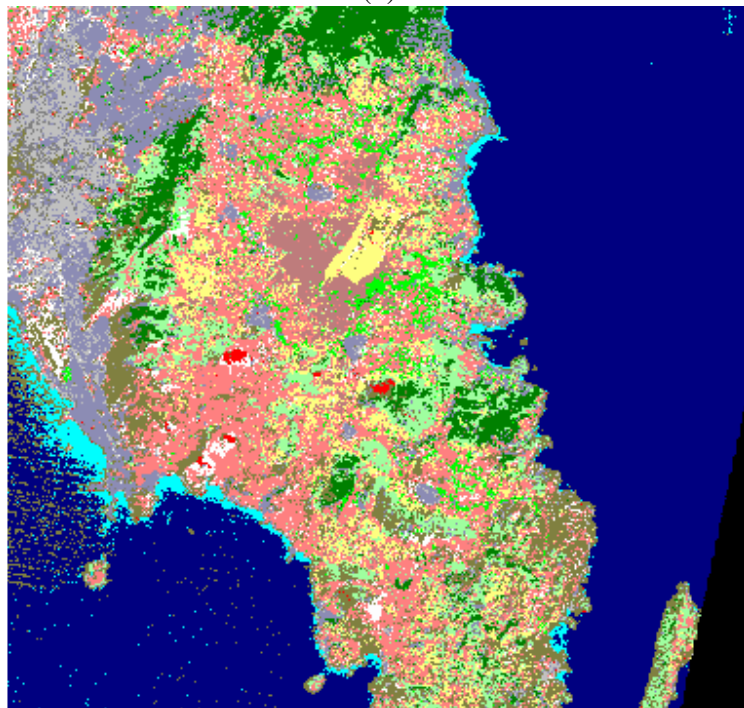
Εικόνα 4.46: Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 1991.



Εικόνα 4.47: Πολύγωνα εκπαίδευσης γενικευμένων θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 1991.



(α)

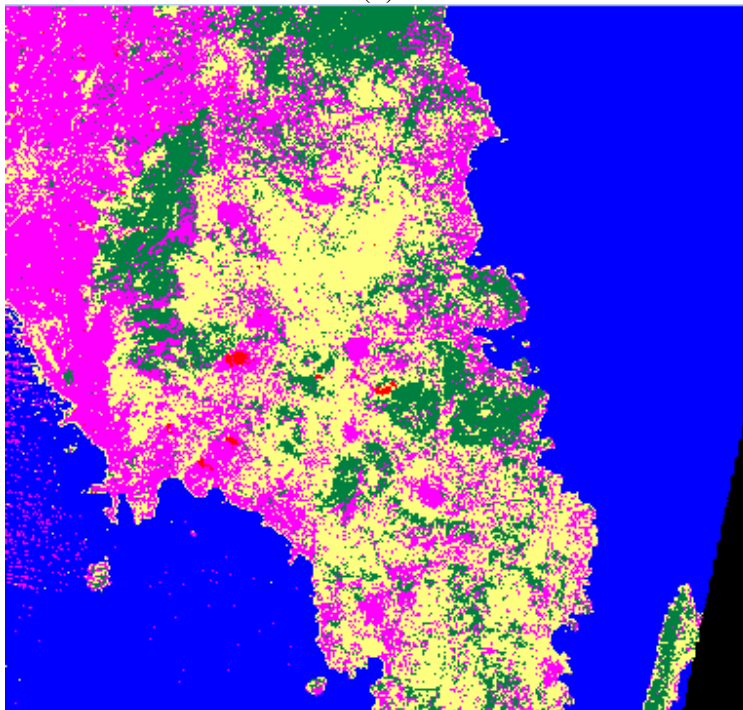


(β)

Εικόνα 4.48: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 321, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 1991.

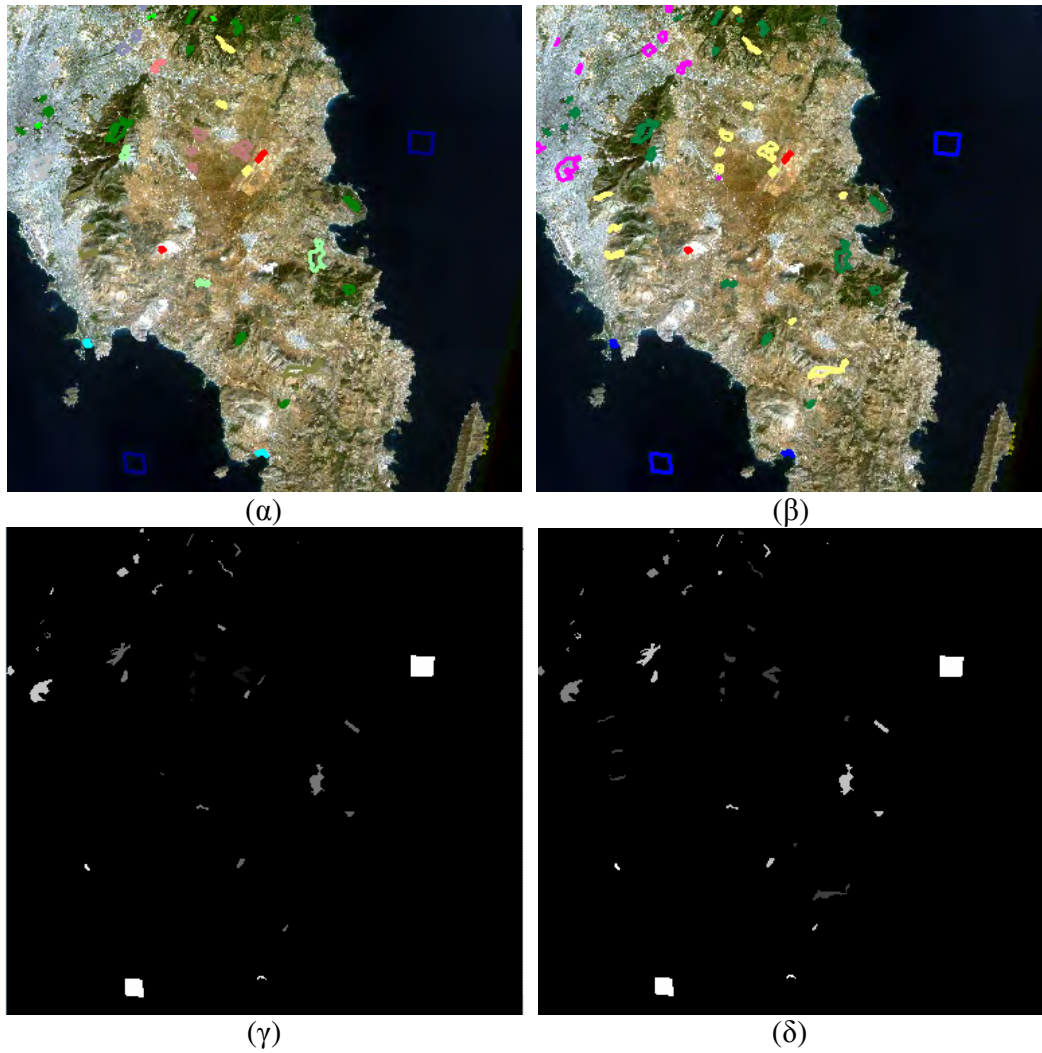


(α)



(β)

Εικόνα 4.49: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 1991.



Εικόνα 4.50: (α) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 14 κατηγορίες, (β) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες, (γ) Αληθής εικόνα 14 κατηγοριών, (δ) Αληθής εικόνα 5 κατηγοριών για την απεικόνιση του 1991.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

Classified File/ Reference File																		
	14.rock_	13.cultiv	12.highway	11.cont_bu	10.mines	9.conifero	8.scleropl	7.bare_soil	6.urban_so	5.urban_di	4.urban_co	3.dense_ve	2.sea_shal	1.sea	Αθροισμα γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη		
rock_or_burnt_area	1261	0	21	0	118	36	105	0	3	16	118	0	0	30	1708	0.738		
cultivation	1	1192	0	0	0	0	0	131	0	0	0	0	0	0	1324	0.900		
highway	24	0	10	0	0	9	0	0	0	1	116	0	0	0	160	0.063		
cont_buildings	578	4	0	7	28	0	2	1	40	20	116	0	0	0	796	0.009		
mines	2	0	0	0	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	0.973		
coniferous_forest	35	2	0	0	0	3193	247	30	0	2	0	47	0	0	3556	0.898		
sclerophyllus_vegeta	343	163	0	0	0	122	1906	216	7	4	0	0	0	0	2761	0.690		
bare_soil	8	267	0	0	53	1	22	300	2	1	0	0	0	0	654	0.459		
urban_soillike_roofs	202	418	0	0	13	107	28	56	245	21	6	0	0	0	1096	0.224		
urban_disc	93	0	0	0	0	261	58	0	0	949	791	40	0	0	2192	0.433		
urban_con	12	0	3	4	0	0	0	0	1	28	1521	0	4	0	1573	0.967		
dense_vegetation_or_	23	7	0	0	0	18	119	9	4	0	0	13	0	0	193	0.067		
sea_shallow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	335	23	358	0.936		
sea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6133	6133	1.000		
Αθροισμα στήλης	2582	2053	34	11	284	3747	2487	743	302	1042	2668	100	339	6186	22578			
Ακρίβεια Παραγωγού	0.488	0.581	0.294	0.636	0.254	0.852	0.766	0.404	0.811	0.911	0.570	0.130	0.988	0.991				

Overall Accuracy:	75.901	% from 22578 observations
Kappa statistic:	0.719	

Πίνακας 4.38: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 1991.

- Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση του 1991 με 14 κατηγορίες χρησιμοποιώντας τη μέγιστη πιθανοφάνεια, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.38 προκύπτει καλή συνολική ακρίβεια και δείκτης \hat{k} . Καλές ακρίβειες παραγωγού επιτυγχάνονται για όλες τις αστικές περιοχές, ενώ σε μερικές από τις κατηγορίες αστικής δόμησης υπάρχει μια σύγχυση τόσο μεταξύ τους όσο με κατηγορίες της βλάστησης, του γυμνού εδάφους και των περιοχών με βράχους, με αρκετά σφάλματα συμπερίληψης.

Classified File\ Reference File								
	mines	cult/bar	urban	vegetation	sea		Άθροισμα γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη
mines	77	4	0	0	0		81	0.951
cult/bare_soil	199	3450	154	319	23		4145	0.832
urban	8	1284	3884	386	5		5567	0.698
vegetation	0	640	19	5629	1		6289	0.895
sea	0	0	0	0	6496		6496	1.000
Άθροισμα στήλης	284	5378	4057	6334	6525		22578	
Ακρίβεια Παραγωγού	0.271	0.642	0.957	0.889	0.996			

Overall Accuracy:	86.527	% from 22578 observations
Kappa statistic:	0.821	

Πίνακας 4.39: Πίνακας σύγχυσης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 1991.

- Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση του 1991 με τις 5 γενικευμένες κατηγορίες χρησιμοποιώντας τη μέγιστη πιθανοφάνεια προκύπτει, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.39, πολύ καλή συνολική ακρίβεια και δείκτης \hat{k} . Καλές είναι και οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη για όλες τις κατηγορίες με περιορισμένα σφάλματα αποκλεισμού και συμπερίληψης αντίστοιχα.

Η ταξινόμηση με το σύνολο των κατηγοριών, παρά την σχετικά υψηλή συνολική ακρίβεια και τον δείκτη \hat{k} , από απλή φωτοερμηνεία, φαίνεται πως υπάρχει πρόβλημα στην κατηγορία των κεραμοσκεπών, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από την ακρίβεια του χρήστη στη συγκεκριμένη κατηγορία. Ακόμα και με διαφορετικά πολύγωνα εκπαίδευσης, η θεματική αυτή κατηγορία, δεν διαχωρίστηκε ικανοποιητικά στην ταξινόμηση, με αποτέλεσμα πολλές περιοχές καλλιεργειών ή γυμνού εδάφους να ταξινομούνται εσφαλμένα σε αυτή. Παρά τις αρκετές προσπάθειες επιλογής διαφορετικών πολυγώνων, δεν επετεύχθη καλύτερο αποτέλεσμα.

4.1.2.5 Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του 1984



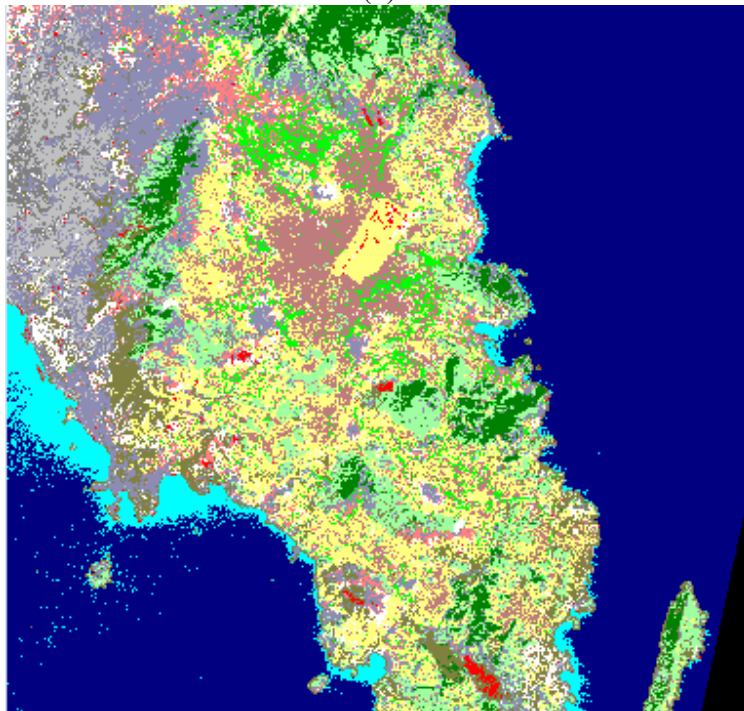
Εικόνα 4.51: Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 1984.



Εικόνα 4.52: Πολύγωνα εκπαίδευσης γενικευμένων θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 1984.



(α)

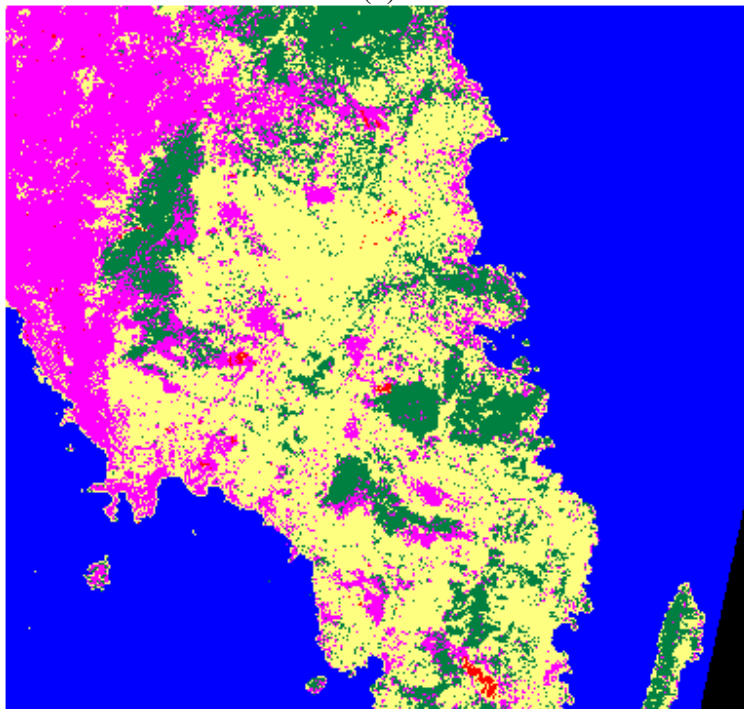


(β)

Εικόνα 4.53: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 321, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 1984.

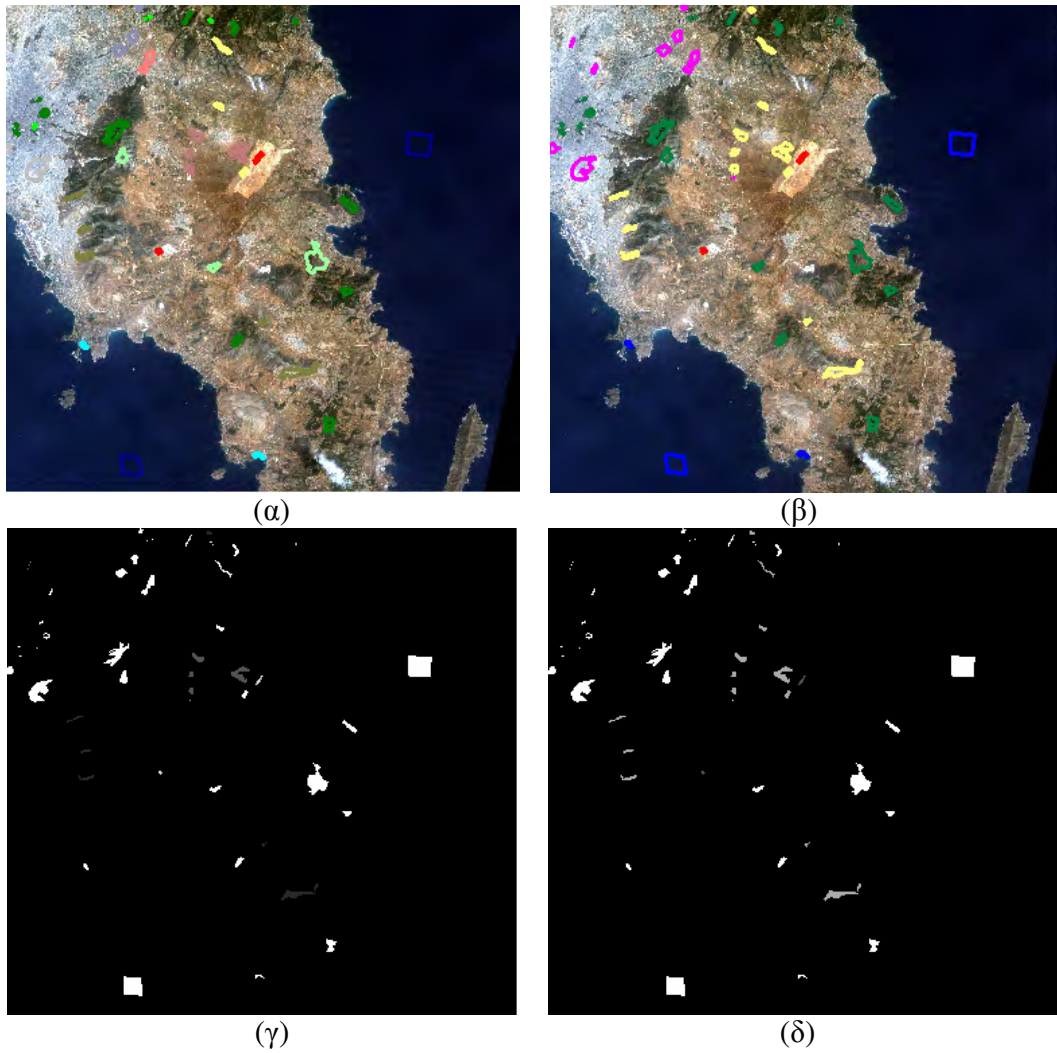


(α)



(β)

Εικόνα 4.54: (α) Απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 532, (β) Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 1984.



Εικόνα 4.55: (α) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 14 κατηγορίες, (β) Δεδομένα ελέγχου στο 321 για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες, (γ) Αληθής εικόνα 14 κατηγοριών, (δ) Αληθής εικόνα 5 κατηγοριών για την απεικόνιση του 1984.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

Classified File/ Reference File																			Άθροισμα γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη
	14.rock_or	13.cultiva	12.highway	11.cont_bu	10.mines	9.conifero	8.scleroph	7.bare_soi	6.urban_so	5.urban_di	4.urban_co	3.dense_ve	2.sea_shal	1.sea						
rock_or_burnt_area	787	0	2	0	1	52	19	0	21	6	3	0	4	0					895	0.879
cultivation	4	1608	0	0	0	0	20	141	1	0	0	0	0	0					1774	0.906
highway	19	0	27	0	0	4	0	0	13	1	336	0	0	0					400	0.068
cont_buildings	455	0	2	5	20	0	25	3	92	39	35	0	0	0					676	0.007
mines	0	0	0	4	74	0	0	0	0	0	3	0	1	0					82	0.902
coniferous_forest	8	0	0	0	0	3364	632	7	0	1	0	4	0	0					4016	0.838
sclerophyllus_vegeta	139	0	0	0	0	179	1862	202	3	1	0	0	0	0					2386	0.780
bare_soil	49	299	0	1	176	0	142	276	53	11	0	0	0	0					1007	0.274
urban_soillike_roofs	726	0	0	0	12	0	174	0	423	103	0	0	0	0					1438	0.294
urban_disc	222	0	0	0	4	567	369	6	224	875	212	62	0	0					2541	0.344
urban_con	5	0	9	1	0	3	0	0	2	5	2080	0	0	0					2105	0.988
dense_vegetation_or_	0	142	0	0	0	0	128	104	10	2	0	11	0	0					397	0.028
sea_shallow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	342	1					343	0.997
sea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6192					6192	1.000
Άθροισμα στήλης	2414	2049	40	11	287	4169	3371	739	842	1044	2669	77	347	6193					24252	
Ακρίβεια Παραγωγού	0.326	0.785	0.675	0.455	0.258	0.807	0.552	0.373	0.502	0.838	0.779	0.143	0.986	1.000						

Overall Accuracy:	73.916	% from 24252 observations
Kappa statistic:	0.698	

Πίνακας 4.40: Πίνακας σύγκρισης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 14 κατηγορίες στην απεικόνιση του 1984.

- Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση του 1984 με 14 κατηγορίες χρησιμοποιώντας τη μέγιστη πιθανοφάνεια, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.40 προκύπτει καλή συνολική ακρίβεια και δείκτης \hat{k} . Καλές ακρίβειες παραγωγού επιτυγχάνονται για όλες τις αστικές περιοχές, ενώ σε μερικές από τις κατηγορίες αστικής δόμησης υπάρχει σύγχυση τόσο μεταξύ τους, όσο με είδη βλάστησης και τις βραχώδεις περιοχές, με αρκετά σφάλματα συμπερίληψης.

Classified File\ Reference File								
	mines	cult/bare_	urban	vegetation	sea		Άθροισμα γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη
mines	63	0	0	0	0		63	1.000
cult/bare_soil	195	3209	261	454	21		4140	0.775
urban	29	1279	4333	836	0		6477	0.669
vegetation	0	714	12	6327	0		7053	0.897
sea	0	0	0	0	6519		6519	1.000
Άθροισμα στήλης	287	5202	4606	7617	6540		24252	
Ακρίβεια Παραγωγού	0.220	0.617	0.941	0.831	0.997			

Overall Accuracy:	84.327	% from 24252 observations
Kappa statistic:	0.791	

Πίνακας 4.41: Πίνακας σύγχυσης μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 5 γενικευμένες κατηγορίες στην απεικόνιση του 1984.

- Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση του 1984 με τις 5 γενικευμένες κατηγορίες χρησιμοποιώντας τη μέγιστη πιθανοφάνεια προκύπτει (Πίνακας 4.41), όπως φαίνεται και στον παραπάνω Πίνακα, πολύ καλή συνολική ακρίβεια και δείκτης \hat{k} . Καλές είναι και οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη για όλες τις κατηγορίες με περιορισμένα σφάλματα αποκλεισμού και συμπερίληψης αντίστοιχα.

Πρέπει να αναφερθεί πως, ειδικά στα μη γενικευμένα αποτελέσματα υπάρχει μεν μια ομοιογένεια στα αποτελέσματα των πέντε εικόνων αλλά υπάρχουν και αρκετές διαφορές οι οποίες δεν οφείλονται σε πραγματικές αλλαγές χρήσης/κάλυψης γης. Αρχικά πρέπει να ληφθεί υπόψη πως τα δείγματα ελέγχου και εκπαίδευσης λήφθηκαν βασισμένα σε συγκεκριμένα φασματικά πρότυπα ανά κατηγορία, που έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο εδάφιο, και τα οποία, όπου δεν παρατηρούνταν αλλαγή μεταξύ των απεικονίσεων, πολλές φορές παρέμεναν τα ίδια. Η σύγκρισή τους μπορούσε να γίνει με επίθεση των πολυγώνων της μιας απεικόνισης στην προηγούμενη ή επόμενη της. Επίσης, αναφέρεται ότι ο χρήστης πραγματοποίησε αρκετές φορές το στάδιο της επίβλεψης

καταλήγοντας στα πολύγωνα εκείνα που συντελούν στο βέλτιστο παραγόμενο αποτέλεσμα ανά χρονολογία.

Οι πιο εύλογες αιτίες που ερμηνεύουν αυτή τη μερική ανομοιογένεια κυρίως ως προς το γυμνό έδαφος, τις βραχώδεις εκτάσεις, τις καλλιέργειες και τις περιοχές με κεραμοσκεπές, είναι η κάποια επικάλυψη στο χώρο των φασματικών προτύπων για τα δεδομένα αυτά, αλλά και η μη πραγματοποίηση της ραδιομετρικής διόρθωσης. Για την εικόνα του 1991 μάλιστα, το πρόβλημα είναι αρκετά έντονο και πιθανώς να διαταράσσει συνολικά στην περιοχή μελέτης την αρμονία της εξέλιξης τόσο στην περίπτωση των δεκατεσσάρων κατηγοριών, όσο και στις γενικευμένες πέντε κατηγορίες. Προτείνεται η εξέταση του αποτελέσματος σε συγκεκριμένες υπό-περιοχές για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων

Μια πολύ σημαντική παρατήρηση, όπως έχει αναφερθεί και στην βιβλιογραφία [Corrin P. et al, 2004], είναι πως με την μέθοδο των ανεξάρτητων ταξινομήσεων το αποτέλεσμα της κάθε μεθόδου στο σύνολο των δεδομένων, όταν αυτά πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση αλλαγών, έχει τελική ακρίβεια που ισούται με το γινόμενο των ακριβειών κάθε μεμονωμένης εικόνας που θα χρησιμοποιηθεί στην ανίχνευση. Συνεπώς, με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις δεκατέσσερις κατηγορίες η τελική ακρίβεια ισούται με το γινόμενο των δεικτών K. Ομοίως και για τις πέντε κατηγορίες. Αναλυτικά λοιπόν προκύπτει:

$$\hat{k}_{14} = \hat{k}_{14}^{2010} \cdot \hat{k}_{14}^{2003} \cdot \hat{k}_{14}^{2000} \cdot \hat{k}_{14}^{1991} \cdot \hat{k}_{14}^{1984} = 0.753 \cdot 0.644 \cdot 0.703 \cdot 0.719 \cdot 0.698 = 0.171 \quad (17)$$

$$\hat{k}_5 = \hat{k}_5^{2010} \cdot \hat{k}_5^{2003} \cdot \hat{k}_5^{2000} \cdot \hat{k}_5^{1991} \cdot \hat{k}_5^{1984} = 0.818 \cdot 0.761 \cdot 0.835 \cdot 0.821 \cdot 0.791 = 0.337 \quad (18)$$

Ήταν αναμενόμενο πως με τις λιγότερες κατηγορίες το σύνολο των δεδομένων θα προέκυπτε πιο αξιόπιστο για περαιτέρω ανάλυση.

Συνοψίζοντας μερικά από τα μέχρι τώρα αποτελέσματα του κεφαλαίου, συγκριτικά με τη μη επιβλεπόμενη και την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, μπορεί να ειπωθούν τα ακόλουθα.

Για το εικονοστοιχείο, η μέθοδος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης πετυχαίνει την διαβάθμιση της οικοδομικής εξέλιξης με μερική υποβάθμιση του αποτελέσματος, ενώ η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, με υπερτίμηση.

Οι φασματικές συσσωρεύσεις της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης έδωσαν αρχικά κάποιες συνενώσεις που ονοματίστηκαν στη συνέχεια στις θεματικές κατηγορίες τις οποίες αντιπροσώπευαν, ύστερα από φωτοερμηνεία για την εικόνα του 2010. Η φωτοερμηνεία έγινε με την βοήθεια των δορυφορικών εικόνων του προγράμματος ‘Google Earth’ (2011), αλλά και με την ανάκτηση και συσχέτιση φωτοερμηνευτικών προτύπων και λοιπών σχετικών πληροφοριών από το επίσημο υπόμνημα του χάρτη κάλυψης γης του CORINE Land Cover. Οι διαθέσιμοι θεματικοί χαρτογράφοι του CORINE Land Cover για το 2000 και το 1991 βοήθησαν στην φωτοερμηνεία για τις προηγούμενες χρονολογίες μέσω της αντιστοίχισης των εμφανιζόμενων προτύπων. Οι θεματικές κατηγορίες συνενώθηκαν περαιτέρω σε πέντε κατηγορίες, για διάκριση των βασικών κατηγοριών της εικόνας.

Αντίστοιχα, στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, αρχικά ορίστηκαν δείγματα εκπαίδευσης και για τις 14 ανώτερης ιεραρχίας κατηγορίες που είχαν εντοπιστεί πως υπάρχουν στην περιοχή και εμφανίζονται σε όλες τις εικόνες, σύμφωνα με την επίσημη ονοματολογία του CORINE Land Cover. Οι κατηγορίες αυτές στη συνέχεια συνενώθηκαν επίσης στις ίδιες πέντε γενικευμένες θεματικές κατηγορίες, ύστερα από τη συνένωση των δεδομένων εκπαίδευσης ορισμένων κατηγοριών. Από τους αλγόριθμους της επιβλεπόμενης ταξινόμησης πιο αξιόπιστα κρίθηκαν τα αποτελέσματα της Μέγιστης Πιθανοφάνειας και όχι της Ελάχιστης Απόστασης.

4.1.2.6 Εμβαδομέτρηση κατηγοριών ταξινομήσεων με τη μέγιστη πιθανοφάνεια
Στους ακόλουθους Πίνακες εμφανίζεται το εμβαδόν κάθε κατηγορίας ανά απεικόνιση.

1984				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
rock_or_burnt_area	8964.72	89647200	89.65	89647.2
cultivation	10647.18	106471800	106.47	106471.8
highway	2211.75	22117500	22.12	22117.5
cont_buildings	6548.76	65487600	65.49	65487.6
mines	662.22	6622200	6.62	6622.2
coniferous_forest	5968.89	59688900	59.69	59688.9
sclerophyllus_vegetat	11546.82	115468200	115.47	115468.2
bare_soil	19988.37	199883700	199.88	199883.7
urban_soillike_roofs_like_roofs_	4668.3	46683000	46.68	46683.0
urban_disc	15360.48	153604800	153.60	153604.8
urban_con	4661.1	46611000	46.61	46611.0
dense_vegetation_or_broadleaved_forest	4864.05	48640500	48.64	48640.5
sea_shallow	5614.47	56144700	56.14	56144.7
sea	69718.68	697186800	697.19	697186.8
Sum	171425.79	1714257900	1714.26	1714257.9

Πίνακας 4.42: Εμβαδομέτρηση 14 κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 1984.

1991				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
rock_or_burnt_area	14763.87	147638700	147.64	147638.7
cultivation	4226.58	42265800	42.27	42265.8
highway	1131.39	11313900	11.31	11313.9
cont_buildings	4332.96	43329600	43.33	43329.6
mines	359.46	3594600	3.59	3594.6
coniferous_forest	8105.04	81050400	81.05	81050.4
sclerophyllus_vegetat	11650.95	116509500	116.51	116509.5
bare_soil	8405.64	84056400	84.06	84056.4
urban_soillike_roofs_like_roofs_	24466.32	244663200	244.66	244663.2
urban_disc	12244.77	122447700	122.45	122447.7
urban_con	4892.76	48927600	48.93	48927.6
dense_vegetation_or_broadleaved_forest	3163.41	31634100	31.63	31634.1
sea_shallow	2949.93	29499300	29.50	29499.3
sea	69016.32	690163200	690.16	690163.2
Sum	169709.40	1697094000	1697.09	1697094.0

Πίνακας 4.43: Εμβαδομέτρηση 14 κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 1991.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

2000				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
rock_or_burnt_area	15047.23	150472330	150.47	150472.3
cultivation	10214.58	102145770	102.15	102145.8
highway	605.30	6052960	6.05	6053.0
cont_buildings	2286.82	22868150	22.87	22868.2
mines	1193.50	11935040	11.94	11935.0
coniferous_forest	6129.23	61292320	61.29	61292.3
sclerophyllus_vegetat	24833.79	248337860	248.34	248337.9
bare_soil	1421.77	14217720	14.22	14217.7
urban_soillike_roofs_like_roofs_	13575.10	135750950	135.75	135751.0
urban_disc	11833.95	118339470	118.34	118339.5
urban_con	7593.64	75936350	75.94	75936.4
dense_vegetation_or_broadleaved_forest	856.77	8567690	8.57	8567.7
sea_shallow	3109.41	31094060	31.09	31094.1
sea	74827.21	748272100	748.27	748272.1
Sum	173528.28	1735282760	1735.28	1735282.8

Πίνακας 4.44: Εμβαδομέτρηση 14 κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 2000.

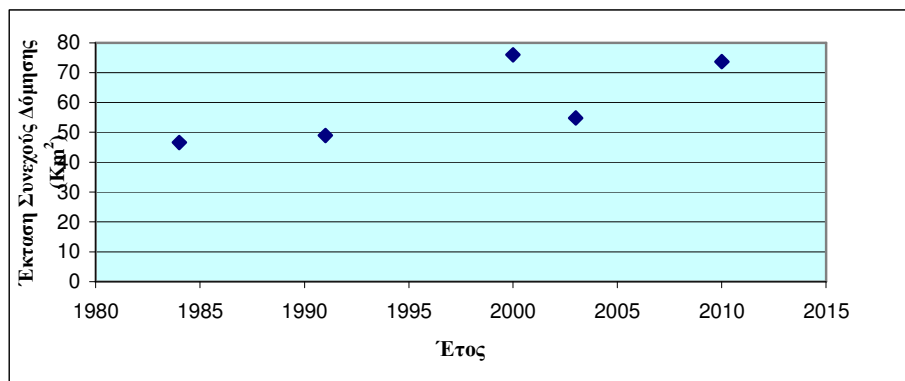
2003				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
rock_or_burnt_area	18012.24	180122400	180.12	180122.4
cultivation	7725.87	77258700	77.26	77258.7
highway	868.86	8688600	8.69	8688.6
cont_buildings	303.21	3032100	3.03	3032.1
mines	2366.37	23663700	23.66	23663.7
coniferous_forest	4351.59	43515900	43.52	43515.9
sclerophyllus_vegetat	17474.13	174741300	174.74	174741.3
bare_soil	3977.82	39778200	39.78	39778.2
urban_soillike_roofs_like_roofs_	19103.67	191036700	191.04	191036.7
urban_disc	16196.31	161963100	161.96	161963.1
urban_con	5481.00	54810000	54.81	54810.0
dense_vegetation_or_broadleaved_forest	1191.51	11915100	11.92	11915.1
sea_shallow	3086.10	30861000	30.86	30861.0
sea	73505.34	735053400	735.05	735053.4
Sum	173644.02	1736440200	1736.44	1736440.2

Πίνακας 4.45: Εμβαδομέτρηση 14 κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 2003.

2010				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
rock_or_burnt_area	1813.05	18130500	18.13	18130.5
cultivation	13779.54	137795400	137.80	137795.4
highway	3395.34	33953400	33.95	33953.4
cont_buildings	1444.41	14444100	14.44	14444.1
mines	2887.56	28875600	28.88	28875.6
coniferous_forest	7651.89	76518900	76.52	76518.9
sclerophyllus_vegetat	17934.93	179349300	179.35	179349.3
bare_soil	8334.45	83344500	83.34	83344.5
urban_soillike_roofs_like_roofs_	11718.18	117181800	117.18	117181.8
urban_disc	18957.06	189570600	189.57	189570.6
urban_con	7359.66	73596600	73.60	73596.6
dense_vegetation_or_broadleaved_forest	508.95	5089500	5.09	5089.5
sea_shallow	1872.00	18720000	18.72	18720.0
sea	75987.00	759870000	759.87	759870.0
Sum	173644.02	1736440200	1736.44	1736440.2

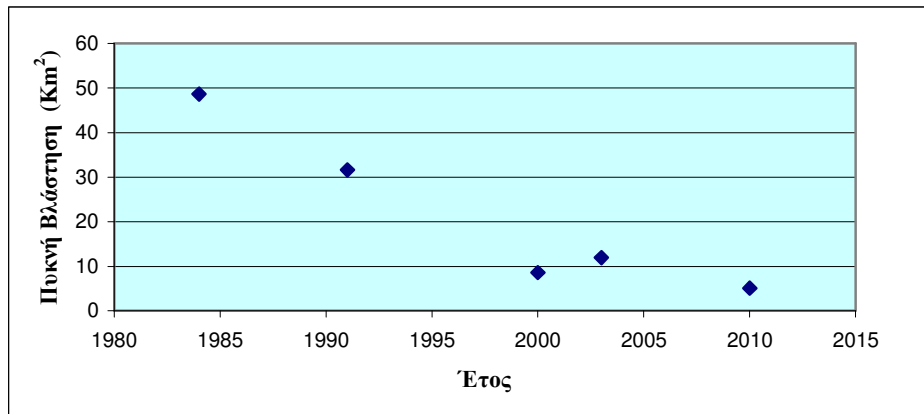
Πίνακας 4.46: Εμβαδομέτρηση 14 κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 2010.

Από τους παραπάνω Πίνακες προκύπτει ότι μερικές κατηγορίες δεν παρουσιάζουν ομαλή μετάβαση. Αυτό ίσως οφείλεται στην αδυναμία διαχωρισμού ορισμένων κατηγοριών με παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά. Οι κατηγορίες ενδιαφέροντος όμως δίνουν σημαντική πληροφορία για την εξέλιξή τους.



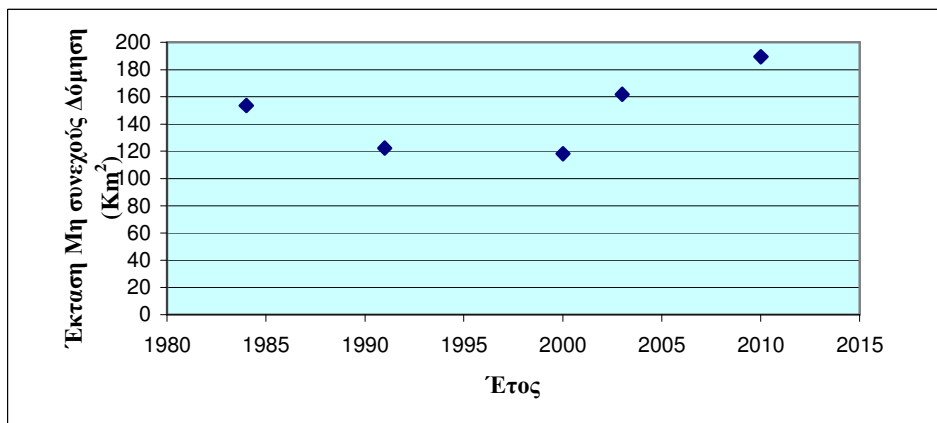
Σχήμα 4.8: Συνεχής δόμηση σε km² ανά έτος απεικόνισης.

Η συνεχής δόμηση (Σχήμα 4.8), με εξαίρεση το σημείο για το έτος 2000 εμφανίζει ανοδική πορεία. Αυτό σημαίνει ουσιαστικά αύξηση της πυκνότητας των κατοικιών στο πέρασ του χρόνου. Τα διαγράμματα που προκύπτουν εμφανίζουν απόκλιση γενικά για το έτος του 2000. Αυτό παρατηρείται και στα διαγράμματα της μεθόδου της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.



Σχήμα 4.9: Πυκνή βλάστηση σε km^2 ανά έτος απεικόνισης.

Και για την πυκνή βλάστηση (Σχήμα 4.9) το έτος 2000 εμφανίζει μια απόκλιση από την πορεία που διαμορφώνεται από τις υπόλοιπες εικόνες. Γενικά παρατηρείται αισθητή μείωση της πυκνής βλάστησης από το 1984 μέχρι σήμερα. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο λόγω των πυρκαγιών που έχουν ξεσπάσει τα τελευταία χρόνια κυρίως στην Πεντέλη και σε άλλους ορεινούς όγκους της περιοχής.



Σχήμα 4.10: Έκταση μη συνεχούς δόμησης σε km^2 ανά έτος απεικόνισης.

Στο παραπάνω διάγραμμα δεν θα έπρεπε να υπάρχει κοίλο στην καμπύλη. Αυτό ίσως οφείλεται στην φασματική σύγκριση μεταξύ συνεχούς και μη συνεχούς δόμησης. Πιο αξιόπιστα αποτελέσματα επίσης θα προέκυπταν ύστερα από εξέταση μικρότερης περιοχής.

Οι επόμενοι Πίνακες σχετίζονται με εμβαδομετρήσεις των ταξινομημένων εικόνων με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις πέντε γενικευμένες κατηγορίες.

1984				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
mines	424.62	4246200	4.25	4246.2
cult/bare_soil	48022.83	480228300	480.23	480228.3
urban	28538.73	285387300	285.39	285387.3
vegetation	19136.79	191367900	191.37	191367.9
sea	75302.82	753028200	753.03	753028.2
Sum	171425.79	1714257900	1714.26	1714257.90

Πίνακας 4.47: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 1984.

1991				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
mines	315.36	3153600	3.15	3153.6
cult/bare_soil	40205.79	402057900	402.06	402057.9
urban	36275.67	362756700	362.76	362756.7
vegetation	20087.91	200879100	200.88	200879.1
sea	72824.67	728246700	728.25	728246.7
Sum	169709.40	1697094000	1697.09	1697094.0

Πίνακας 4.48: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 1991.

2000				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
mines	1077.751	10777510	10.78	10777.5
cult/bare_soil	29818.981	298189810	298.19	298189.8
urban	30378.947	303789470	303.79	303789.5
vegetation	34415.275	344152750	344.15	344152.8
sea	77837.322	778373220	778.37	778373.2
Sum	173528.28	1735282760	1735.28	1735282.8

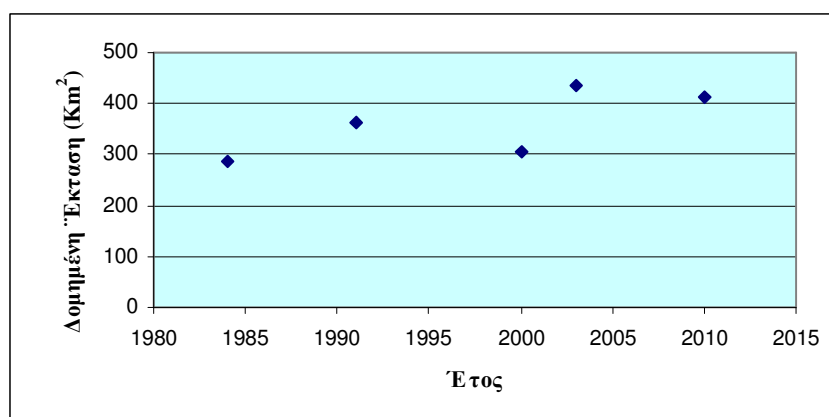
Πίνακας 4.49: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 2000.

2003				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
mines	1560.15	15601500	15.60	15601.5
cult/bare_soil	31080.06	310800600	310.80	310800.6
urban	43405.65	434056500	434.06	434056.5
vegetation	22885.11	228851100	228.85	228851.1
sea	74713.05	747130500	747.13	747130.5
Sum	173644.02	1736440200	1736.44	1736440.2

Πίνακας 4.50: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 2003.

2010				
Class/Region	Hectares	m ²	km ²	Στρέμματα
mines	2092.95	20929500	20.93	20929.5
cult/bare_soil	23531.04	235310400	235.31	235310.4
urban	41233.77	412337700	412.34	412337.7
vegetation	29076.48	290764800	290.76	290764.8
sea	77709.78	777097800	777.10	777097.8
Sum	173644.02	1736440200	1736.44	1736440.2

Πίνακας 4.51: Εμβαδομέτρηση ενοποιημένων κατηγοριών από τον αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας για το 2010.



Σχήμα 4.11: Έκταση συνεχούς και μη συνεχούς δόμησης σε Km² ανά έτος απεικόνισης.

Στο Σχήμα 4.11 παρατηρείται πάλι μια σημαντική απόκλιση για το αποτέλεσμα του έτους 2000. Παρατηρείται γενικά αύξηση και στη συνέχεια σταθεροποίηση της δόμησης. Υπενθυμίζεται πως τα αποτελέσματα αυτά αναφέρονται σε όλη την περιοχή μελέτης. Θα είχε περισσότερο ενδιαφέρον η τμηματική εξέταση των περιοχών κάτι που είναι πιο εύκολο να υλοποιηθεί μέσω ορισμού υπό-περιοχών στα οικονομετρικά πρότυπα.

4.2. Ταξινόμησης με Αντικειμενοστραφή Προσέγγιση

Στο παρόν εδάφιο θα γίνει προσπάθεια εξαγωγής των βασικών χρήσεων γης για κάθε τηλεπισκοπική απεικόνιση με τη μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας, δηλαδή, έχοντας ως βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το αντικείμενο και όχι το εικονοστοιχείο, στο λογισμικό Definiens 5. Εκτός από τη δορυφορική απεικόνιση, για την ταξινόμηση στα διάφορα επίπεδα κατάτμησης χρησιμοποιήθηκαν εικόνες ‘λόγοι’ μεταξύ των καναλιών της πολυφασματικής απεικόνισης. Οι εικόνες που προέκυψαν ύστερα από την εφαρμογή φίλτρων σε κάποιο από τα κανάλια της εικόνας δεν βοήθησαν στο αποτέλεσμα της ταξινόμησης και για το λόγο αυτό δεν χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος, για την περιοχή της Αττικής υπήρχε διατιθέμενο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους σε ψηφιδωτή μορφή (μέγεθος εικονοστοιχείου στα 30 m) το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον αποκλεισμό αστικής περιοχής σε ορεινούς όγκους, όπου υπήρχε σύγκριση με τις βραχώδεις εκτάσεις.

Κατά την ταξινόμηση των επιπέδων κατάτμησης αξιοποιήθηκε η φασματική πληροφορία (φασματικές υπογραφές) σε συνδυασμό με τη γεωμετρική πληροφορία των αντικειμένων και των υπολοίπων φωτοαναγνωριστικών στοιχείων (υφή, γειτνίαση κλπ). Επισημαίνεται ότι σε καμία ταξινόμηση δεν χρησιμοποιήθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα ως δεδομένα εκπαίδευσης για κάποια κατηγορία. Αντίθετα, η αξιολόγηση του αποτελέσματος πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας δείγματα ελέγχου αντίστοιχα με εκείνα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Η ακριβής αντιστοίχιση των δειγμάτων δεν ήταν δυνατόν να γίνει, μιας και στην αντικειμενοστραφή μέθοδο τα δείγματα ελέγχου μιας κατηγορίας αποτελούνταν από διαδοχικά ή μεμονωμένα αντικείμενα, ενώ για την ανά εικονοστοιχείο ανάλυση τα δείγματα λαμβάνονταν ύστερα τον ορισμό πολυγώνων.

Όπως επιβεβαιώνεται και κατά την εφαρμογή, επειδή οι εικόνες Landsat αποτελούν απεικονίσεις μέτριας χωρικής διακριτικής ικανότητας, τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεθόδου βελτιώνονται εκμεταλλευόμενοι, πέραν από τις φασματικές υπογραφές, τη δυνατότητα κατάτμησης της εικόνας σε πολλά επίπεδα, και λιγότερο το σχήμα των αντικειμένων. Εξήγηση σε αυτό αποτελεί το γεγονός ότι όσο μειώνεται η χωρική ανάλυση τόσο μειώνεται και η ετερογένεια της απεικόνισης και συνεπώς τα σχήματα τείνουν να γίνονται ομαλότερα.

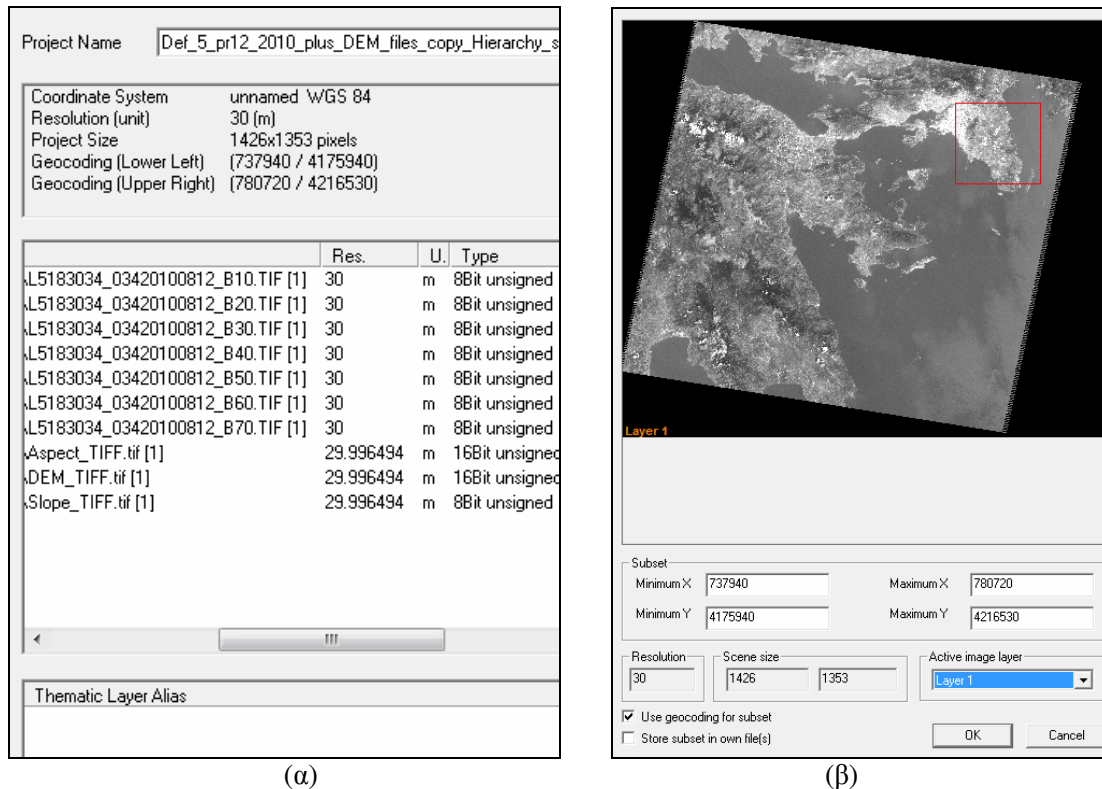
Στο πρώτο επίπεδο απομονώνονται οι κατηγορίες της βλάστησης και της θάλασσας. Στο πέμπτο επίπεδο απομονώνονται οι περιοχές εξορύξεων και εργοταξίων, ενώ στο τέταρτο επίπεδο ταξινομείται η περιοχή συνεχούς και διακεκομμένης αστικής δόμησης με τη χρήση δείκτη υφής. Οι απομονωμένες αυτές περιοχές, σύμφωνα με τον κανόνα των κοινών ορίων των αντικειμένων και του ορισμού του ποσοστού της επιφάνειας των υπό-αντικειμένων ή του υπέρ-αντικειμένου που θέτει ως όριο ο χρήστης ώστε να ταξινομηθεί σε μια κατηγορία, προβάλλονται στο δεύτερο επίπεδο κατάτμησης και η εικόνα ταξινομείται εκεί σε περαιτέρω κατηγορίες.

Πριν την ανάπτυξη αυτής της μεθοδολογίας έγινε προσπάθεια να εξαχθεί αρχικά η πιθανώς αδιαπέρατη περιοχή σε ανώτερο επίπεδο και στη συνέχεια ο διαχωρισμός των πλήρως αδιαπέρατων περιοχών και του ποσοστού αδιαπερατότητας των αντικειμένων σε

επίπεδο χαμηλότερης κλίμακας. Η μεθοδολογία αυτή δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα.

4.2.1. Επίπεδα κατάτμησης

Το πρώτο βήμα στο λογισμικό Definiens 5 είναι η δημιουργία ενός ‘project’ με τις εικόνες από τα επτά κανάλια που αντιστοιχούν σε κάθε χρονολογία. Άρα συνολικά δημιουργήθηκαν πέντε ‘projects’. Στη συνέχεια ορίστηκε η περιοχή μελέτης, ως υποπεριοχή των εικόνων Landsat, με τη βοήθεια των συντεταγμένων που είχαν εντοπιστεί στα όρια της υποπεριοχής από το λογισμικό ER Mapper, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.56. Στη συνέχεια, προστέθηκαν σε όλα τα ‘projects’ τρία ακόμα επίπεδα, τα Aspect, DEM και Slope, με μορφή ψηφιδωτών (raster) εικόνων. Η ψηφιακή τιμή κάθε εικονοστοιχείου αναφέρεται στο αζιμούθιο (0° - 360°), στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (υψόμετρα) και στο μοντέλο κλίσεων του εδάφους (%), αντίστοιχα. Στα ‘project’, τέλος, δεν προστέθηκαν επιπλέον θεματικά επίπεδα. Η χωρική ανάλυση και των τριών επιπέδων ήταν στα 30 m.



Εικόνα 4.56: (α) Δημιουργία ‘Project’ και ορισμός αλληλουχίας των καναλιών, (β) Ορισμός υποπεριοχής με τη βοήθεια συντεταγμένων στο ΣΑ των εικόνων.

Ύστερα από πειραματική διαδικασία κατατμήσεων και ταξινομήσεων στο λογισμικό Definiens 5, η βάση γνώσης εντέλει αναπτύχθηκε σε πέντε επίπεδα κατάτμησης, όπου το πρώτο, το τρίτο, το τέταρτο και το πέμπτο είχαν ως στόχο την ταξινόμηση επιμέρους κατηγοριών, ενώ στο δεύτερο πραγματοποιήθηκε η προβολή του αποτελέσματος των υπολοίπων επιπέδων και αναπτύχθηκε η τελική ταξινόμηση. Τα αντικείμενα κάθε

επιπέδου προέρχονται από ειδική κλίμακα και κατάλληλη συμμετοχή φασματικών υπογραφών και σχήματος ώστε να αντιπροσωπεύουν καλύτερα την ή τις κατηγορίες που είναι επιθυμητό να ταξινομηθούν εκεί.

Στο πρώτο επίπεδο, το οποίο έχει και την μικρότερη κλίμακα, στόχος είναι η ταξινόμηση της βλάστησης. Το εικονοστοιχείο της εικόνας Landsat, όπως έχει προαναφερθεί, είναι χωρικής ανάλυσης της τάξης των τριάντα μέτρων. Σε αυτή την ανάλυση είναι πιθανό να εμφανιστεί μικτή χρήση/κάλυψη γης ανά εικονοστοιχείο. Με τη δημιουργία ενός επιπέδου με κατάτμηση κλίμακας 1, αυτομάτως περιορίζεται η πιθανότητα εσφαλμένης ταξινόμησης μιας περιοχής ως προς τη βλάστηση. Η βλάστηση είθισται να ταξινομείται στα επίπεδα μικρότερης κλίμακας ώστε να εξαιρούνται οι περιοχές αυτές εξαρχής από την υπόλοιπη εικόνα, και το αποτέλεσμα, το οποίο είναι το βέλτιστο δυνατό, στη συνέχεια προβάλλεται σε επίπεδα μεγαλύτερης κλίμακας. Η προβολή πραγματοποιείται ορίζοντας την επιθυμητή συνάρτηση συμμετοχής και εκείνα τα όρια της ασαφούς ζώνης ανάλογα με το ποσοστό της βλάστησης που επιθυμεί ο χρήστης να καλύπτεται από τα υπό-αντικείμενα ενός αντικειμένου ώστε να θεωρηθεί βλάστηση. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη διότι ο χρήστης σε κάθε επίπεδο μπορεί να δίνει προτεραιότητα ταξινόμησης σε διαφορετική κατηγορία σε σχέση με μια άλλη.

Είναι προφανές ότι όταν χρησιμοποιούνται τόσο μικρές κλίμακες κατάτμησης, η βαρύτητα της κατάτμησης δίνεται στο χρώμα, δηλαδή στη φασματική υπογραφή, ενώ το σχήμα στην προκειμένη περίπτωση δεν έχει καμία σημασία, διότι το μέγεθος των αντικειμένων τείνει τις περισσότερες φορές να είναι ένα εικονοστοιχείο. Πρόκειται ουσιαστικά για ανάλυση ανά εικονοστοιχείο μέσα στην αντικειμενοστραφή μέθοδο που βοηθάει στην ταξινόμηση ανώτερων επιπέδων.

Στο δεύτερο επίπεδο θα προβληθούν κατηγορίες από τα επίπεδα ανώτερης και κατώτερης κλίμακας, ενώ ως βασικός στόχος είναι η βέλτιστη ταξινόμηση των αστικών περιοχών. Λόγω της χωρικής ανάλυσης των εικόνων, η κλίμακα δεν πρέπει να είναι τόσο μικρή όσο ένα εικονοστοιχείο, αλλά από την άλλη, ούτε μεγάλη ώστε να μπορούν να δημιουργηθούν τα πρωτογενή αντικείμενα σε μέγεθος κτηρίων. Μεγαλύτερο βάρος δίνεται επίσης στη φασματική υπογραφή, ενώ ως προς το σχήμα τα αντικείμενα είναι προτιμότερο να χαρακτηρίζονται από το λείο της οριογραμμής παρά από το συμπαγές τους σχήμα. Υπενθυμίζεται ότι ακόμα και για συγκροτήματα κτηρίων, το μέγεθος του αντικειμένου που θα αντιστοιχεί σε αυτό θα είναι μερικά εικονοστοιχεία.

Στο τρίτο επίπεδο επιλέγεται η κλίμακα και οι παράμετροι εκείνες ώστε να δημιουργηθούν πρωτογενή αντικείμενα κατάλληλα για την ανάδειξη του κύριου οδικού δικτύου της περιοχής.

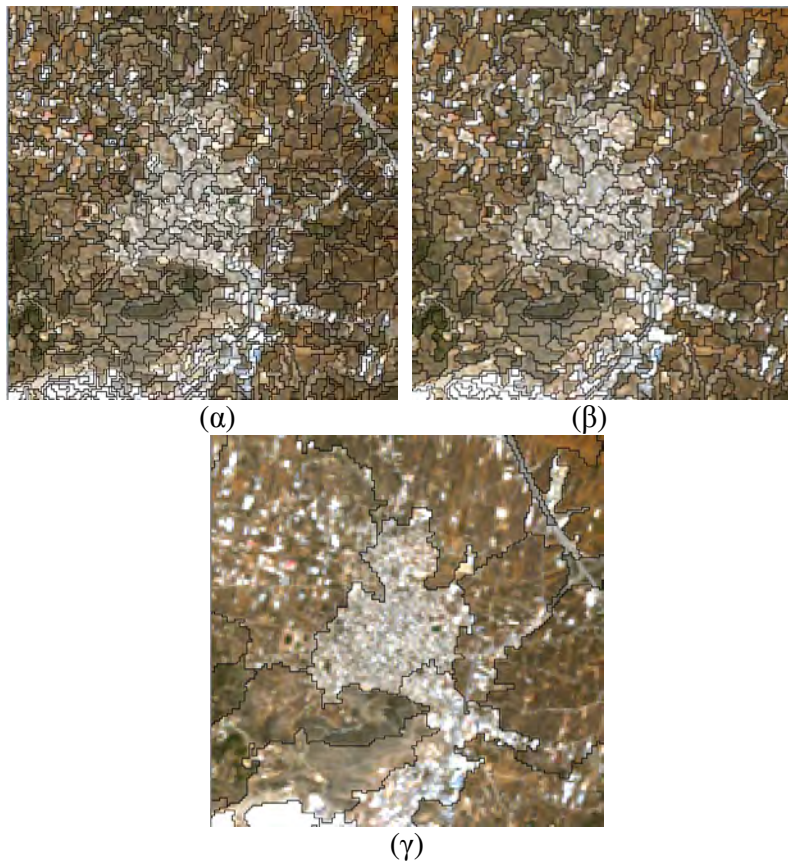
Στο τέταρτο επίπεδο επιλέγεται κατάλληλη κλίμακα και παράμετροι χρώματος και σχήματος ώστε στα πρωτογενή αντικείμενα να μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά δείκτες υψής. Τα πρωτογενή αντικείμενα δεν πρέπει ούτε να είναι υπερβολικά μεγάλα, αλλά ούτε και μικρά, ώστε οι δείκτες υψής, που βασίζονται στα υπό-αντικείμενα να είναι αποδοτικοί για την ανίχνευση των περιοχών με διακεκομμένη αστική δόμηση. Οι περιοχές αυτές, εμφανίζουν κατεξοχήν αυξημένη υψή.

Τέλος, στο πέμπτο επίπεδο γίνεται κατάτμηση σε μεγάλη κλίμακα για την εξαγωγή μεγάλων συμπαγών αντικειμένων. Μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στο χρώμα, ενώ από τις παραμέτρους του σχήματος, στο συμπαγές των αντικειμένων.

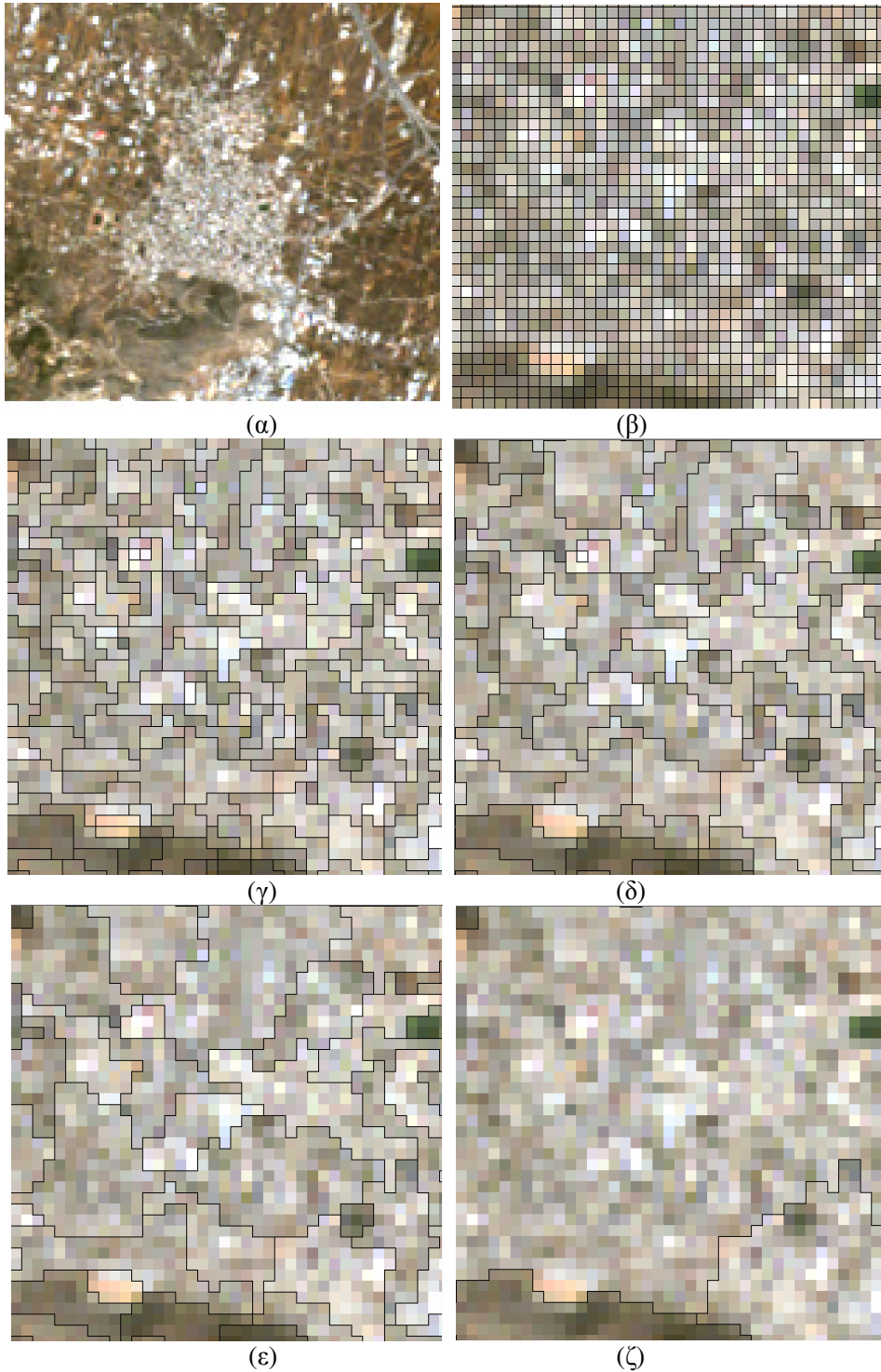
Οι παράμετροι και τα κριτήρια της κατάτμησης κάθε επιπέδου συνοψίζονται στον Πίνακα 4.52. Απεικόνιση των αντικειμένων των επιπέδων φαίνονται στις Εικόνες 4.57 και 4.58.

Επίπεδο	Παράμετροι – Κριτήρια Κατάτμησης				
	Scale	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	1	1	-	-	-
2	3	0.7	0.3	0.70	0.3
3	5	0.7	0.3	0.70	0.3
4	7	0.7	0.3	0.70	0.3
5	50	0.9	0.1	0	1

Πίνακας 4.52: Παράμετροι κατάτμησης ανά επίπεδο.



Εικόνα 4.57: Αντικείμενα κατάτμησης στην περιοχή του Κορωπίου (α) στο Level 3, (β) στο Level 4 και (γ) στο Level 5.



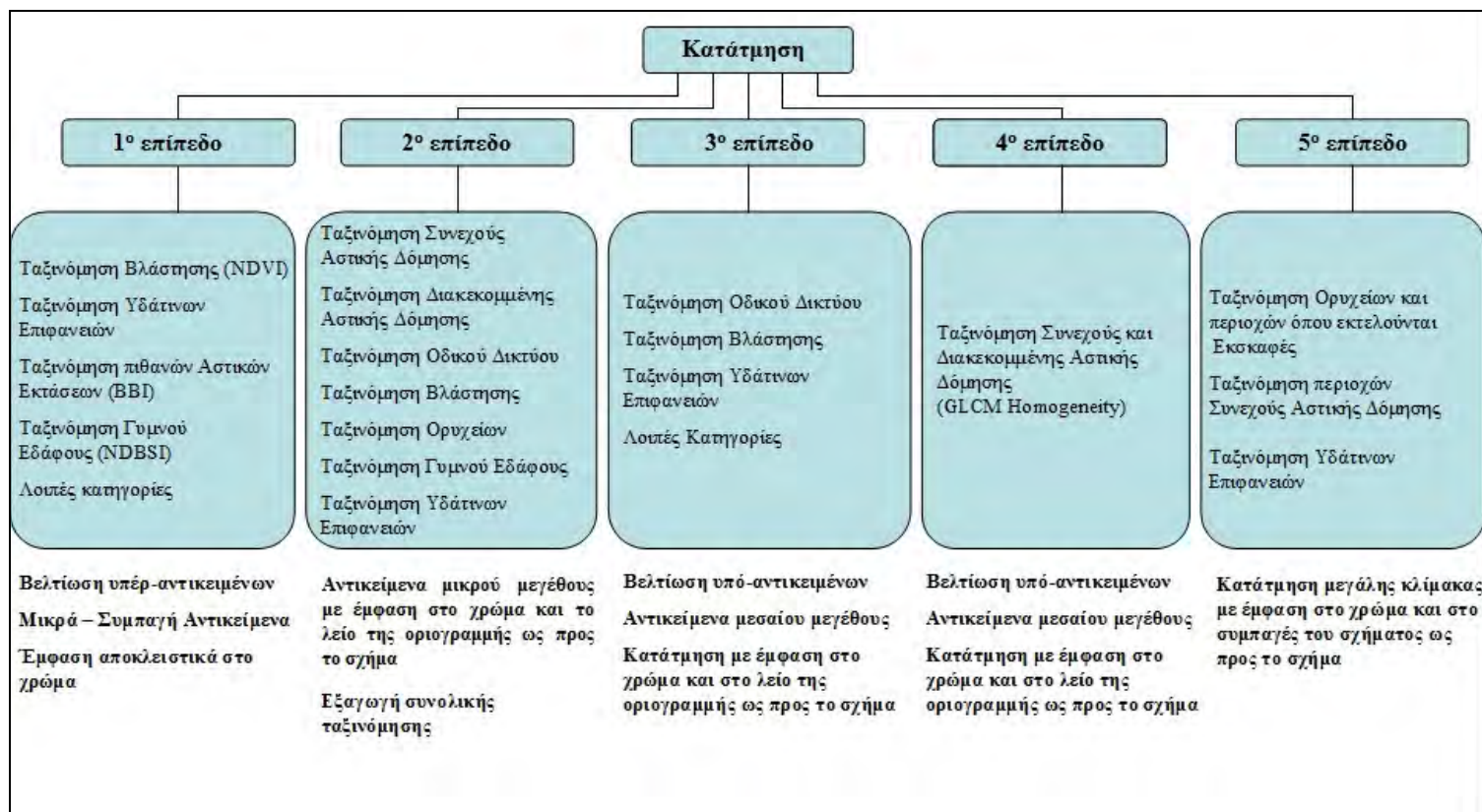
Εικόνα 4.58: Επίπεδα κατάτμησης, (α) τμήμα εικόνας στην περιοχή του Κορωπίου, μεγέθυνση εικόνας και απεικόνιση αντικειμένων στο (β) Level 1, (γ) Level 2, (δ) Level 3, (ε) Level 4, (ζ) Level 5.

Η διόρθωση της ραδιομετρίας αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανίχνευση αλλαγών στις χρήσεις γης όταν η επιλογή μεθόδου ανίχνευσης αλλαγών επηρεάζεται από αυτήν. Τα διαχρονικά δεδομένα πρέπει να έχουν την ίδιο σύστημα αναφοράς και ραδιομετρικά παρόμοιες τιμές για αντίστοιχες χρήσεις γης. Ενώ η γεωμετρική διόρθωση για ενιαίο σύστημα αναφοράς των εικόνων είναι κάτι το οποίο δεν μπορεί να αποφευχθεί, η διόρθωση της ραδιομετρίας μπορεί να παρακαμφθεί όταν κάθε εικόνα ταξινομείται μεμονωμένα, όπως γίνεται στην παρούσα εργασία. Για το λόγο αυτό τα εύρη της ασαφούς ζώνης διαφέρουν από εικόνα σε εικόνα, μερικές φορές ακόμα και σε κανονικοποιημένους δείκτες ή και σε λόγους καναλιών, όπου οι ραδιομετρικές διαφορές μεταξύ των εικόνων εξομαλύνονται σε σημαντικό βαθμό. Επίσης, λόγω της μη διορθωμένης ραδιομετρίας, δεν ήταν δυνατό να εφαρμοστεί η μεθοδολογία ανίχνευσης των αλλαγών χρήσεων γης των Baraldi et al. [2006], συγκεντρωτικά για όλες τις εικόνες.

Γενικά, οι ταξινομήσεις στο λογισμικό Definiens 5 πραγματοποιήθηκαν με εφαρμογή αποκλειστικά κανόνων και χωρίς δειγματοληψία σε όλες τις εικόνες. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό διότι η βάση γνώσης που εφαρμόστηκε σε κάθε περίπτωση, δεν συμπεριλαμβάνει ως ταξινομητή τον Εγγύτερο Γείτονα και άρα αναμένονται καλύτερα αποτελέσματα κατά την αποτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης, δηλαδή ως προς την ευστάθεια και την αξιοπιστία της.

Το συνοπτικό διάγραμμα της βάσης γνώσης που αναπτύχθηκε παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.12. Στο σχήμα αυτό διευκρινίζεται ότι στο δεύτερο επίπεδο όλες οι κατηγορίες, πλην της πρώτης, μεταφέρονται από τα ανώτερα επίπεδα και το κατώτερο επίπεδο στο παρόν επίπεδο εκμεταλλευόμενοι τις ιδιότητες του ιεραρχικού δικτύου, ώστε να πραγματοποιηθεί η βέλτιστη συνολικά ταξινόμηση. Για το τρίτο επίπεδο, οι τελευταίες κατηγορίες μεταφέρονται στο παρόν επίπεδο από τα υπό-αντικείμενα εκμεταλλευόμενοι τις ιδιότητες του ιεραρχικού δικτύου, ώστε να πραγματοποιηθεί η βέλτιστη ταξινόμηση της πρώτης κατηγορίας (οδικό δίκτυο) με χρήση συναρτήσεων γειννίας. Τέλος, στο πέμπτο επίπεδο οι δύο τελευταίες κατηγορίες μεταφέρονται στο παρόν επίπεδο από τα υπό-αντικείμενα εκμεταλλευόμενοι τις ιδιότητες του ιεραρχικού δικτύου, ώστε να πραγματοποιηθεί η βέλτιστη ταξινόμηση της πρώτης κατηγορίας (ορυχεία) με χρήση επίσης συναρτήσεων γειννίας.

Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε τόσο με τις μεθόδους αξιολόγησης του λογισμικού, όσο και με τη δημιουργία Πίνακα Σύγχυσης από τον χρήστη μέσω εισαγωγής μάσκας TTA (Training and Test Area mask). Τα αντικείμενα ελέγχου επιλέχθηκαν με διαδικασία που έχει περιγραφεί στο εδάφιο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Τα δείγματα εμπλουτίστηκαν με περαιτέρω δείγματα ύστερα από φωτοερμηνεία.

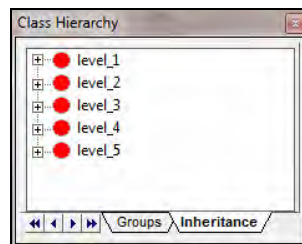


Σχήμα 4.12: Διάγραμμα ιεραρχίας επιπέδων κατάτμησης.

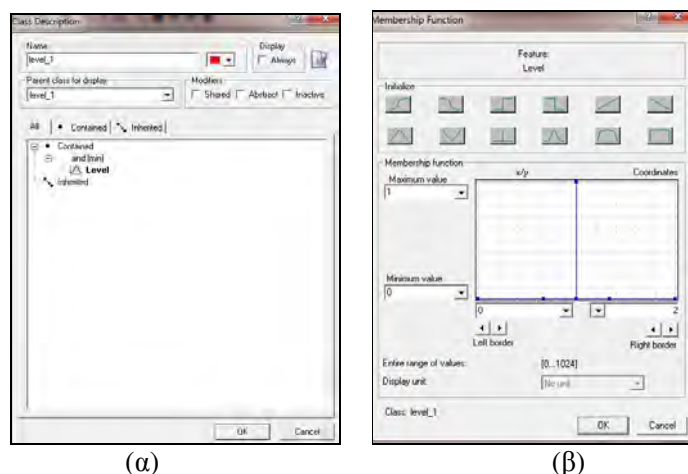
4.2.2. Ταξινόμηση επιπέδων για την απεικόνιση του 2010

Επισημαίνεται ότι η διαδικασία της ταξινόμησης θα παρουσιαστεί αναλυτικά για την απεικόνιση του 2010, ενώ για τις προηγούμενες απεικονίσεις θα παρουσιαστούν οι πίνακες των κανόνων των κατηγοριών με τις συναρτήσεις συμμετοχής και τα ασαφή όρια. Επίσης, για το 2010, θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν από το σχηματισμό Πίνακα Σύγκυσης αλλά και μέσω των μεθόδων αξιολόγησης του ίδιου του προγράμματος (‘Ευστάθεια’ και ‘Αξιοπιστία’ ταξινόμησης). Εκτενώς οι ακρίβειες ως προς τις μεθόδους αξιολόγησης του προγράμματος και των άλλων απεικονίσεων εμφανίζονται στο Παράρτημα της εργασίας.

Πριν την ταξινόμηση ορίζεται το ίδιο το επίπεδο ως μια κατηγορία με συνάρτηση συμμετοχής ως προς τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων, και συγκεκριμένα από τη βιβλιοθήκη για την ιεραρχία των αντικειμένων. Η συνάρτηση που ορίζεται είναι εκείνη της απόλυτης ταύτισης του συγκεκριμένου επιπέδου με έναν αριθμό. Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί στην ιεραρχία του επιπέδου, δηλαδή αν είναι το επίπεδο με τα μικρότερα αντικείμενα, ορίζεται ο αριθμός 1, το αμέσως ανώτερο επίπεδο ως 2 και ούτω καθ’ εξής. Η διαδικασία αυτή έγινε και για τα πέντε επίπεδα. Στις Εικόνες 4.59 και 4.60, παρουσιάζεται η ιεραρχία των επιπέδων και ενδεικτικά η συνάρτηση συμμετοχής για το πρώτο επίπεδο.



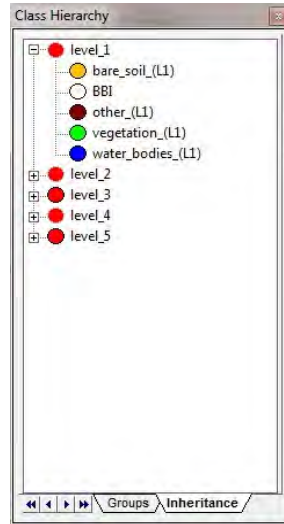
Εικόνα 4.59: Ιεραρχία επιπέδων.



Εικόνα 4.60: (α) Επιλογή χαρακτηριστικού ιεραρχίας για την περιγραφή κάθε επιπέδου, (β) Ορισμός συνάρτησης συμμετοχής της απόλυτης ταύτισης κάθε επιπέδου με αριθμό.

4.2.2.1 Ταξινόμηση 1^{ου} επιπέδου

Στον Πίνακα 4.53 παρατίθενται για κάθε κατηγορία του επιπέδου, τα χαρακτηριστικά που επιλέγονται να περιγράφουν κάθε κατηγορία, δηλαδή οι κανόνες, καθώς και οι συναρτήσεις συμμετοχής με τα όρια της ασαφούς ζώνης που ορίζονται για κάθε χαρακτηριστικό.

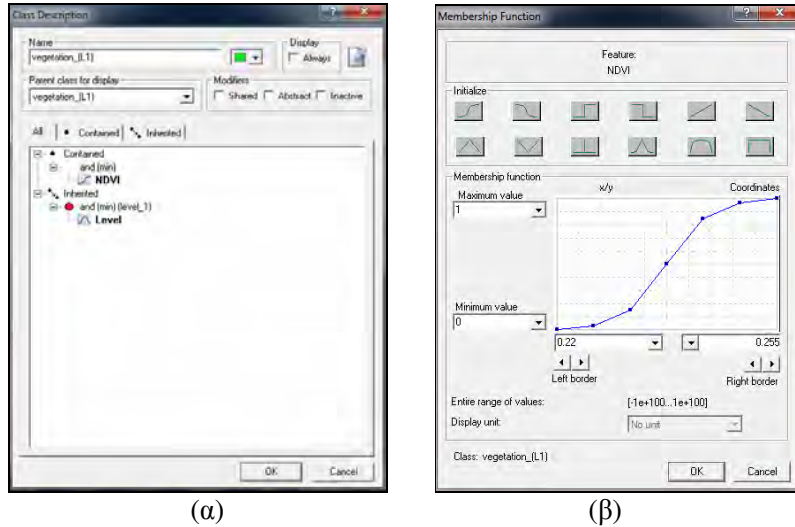


Εικόνα 4.61: Ιεραρχία πρώτου επιπέδου της απεικόνισης του 2010.

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
1	vegetation_(L1)		NDVI		0.22	0.255
	water_bodies_(L1)		4/1		0.3	0.32
	bare_soil_(L1)	and	NDBSI		0.25	0.32
			inv- expres. of vegetation_(L1)			
	BBI	and	NDBBBI		-0.12	-0.1
			inv- expres. of vegetation_(L1)			
			inv- expres. of water_bodies_(L1)			
	other_(L1)	and	inv- expres. of bare_soil_(L1)			
			inv- expres. of vegetation_(L1)			
			inv- expres. of water_bodies_(L1)			
			inv- expres. of BBI_(L1)			

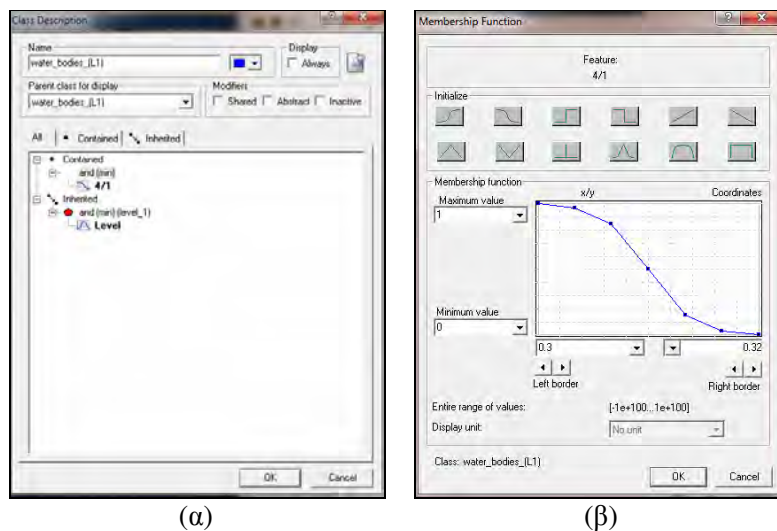
Πίνακας 4.53: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πρώτο επίπεδο (Level_1) της απεικόνισης του 2010.

Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά, οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης φαίνονται για κάθε κατηγορία στις επόμενες Εικόνες. Η παρουσίασή τους γίνεται για λόγους τεκμηρίωσης της επιλογής της ασαφούς ζώνης.

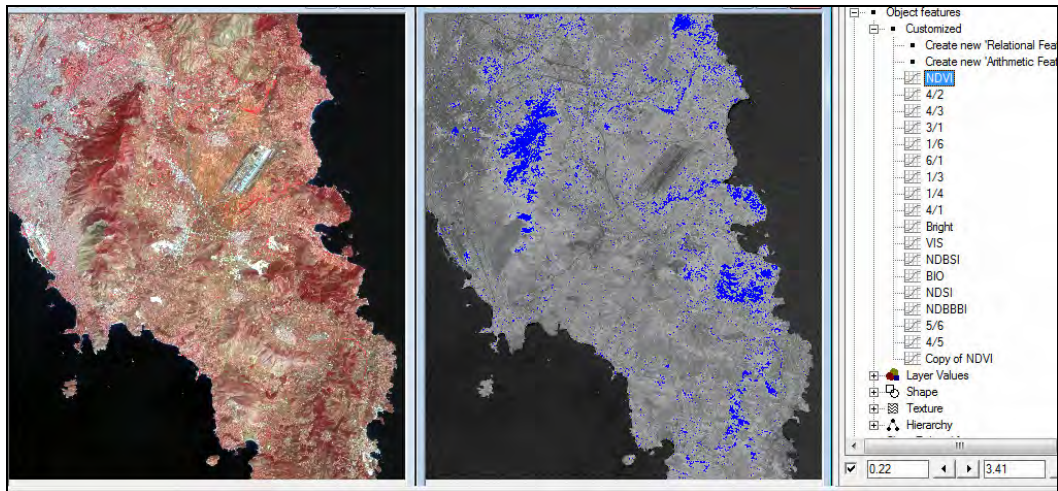


Εικόνα 4.62: (α) Επιλογή κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI ως κανόνα ταξινόμησης της βλάστησης, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του δείκτη.

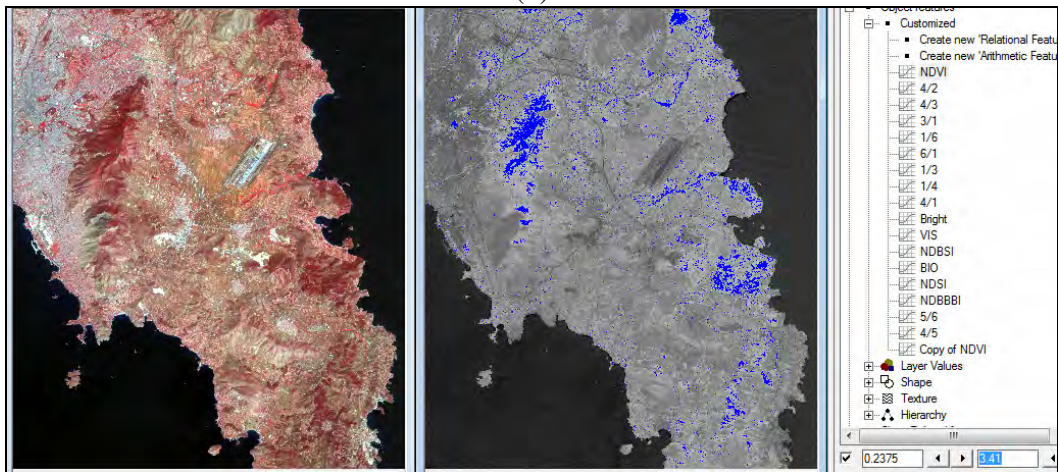
Όταν ένα αντικείμενο έχει τιμή στο χαρακτηριστικό ‘NDVI’ μικρότερη από 0.22 τότε δεν διεκδικείται από την κατηγορία της βλάστησης, ενώ για τιμή μεγαλύτερη από 0.255 το αντικείμενο ταξινομείται ως βλάστηση. Μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής τα αντικείμενα ταξινομούνται σύμφωνα με την συνάρτηση συμμετοχής τύπου ‘S’ και στην μέση της ασαφούς ζώνης η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει την τιμή 0.5.



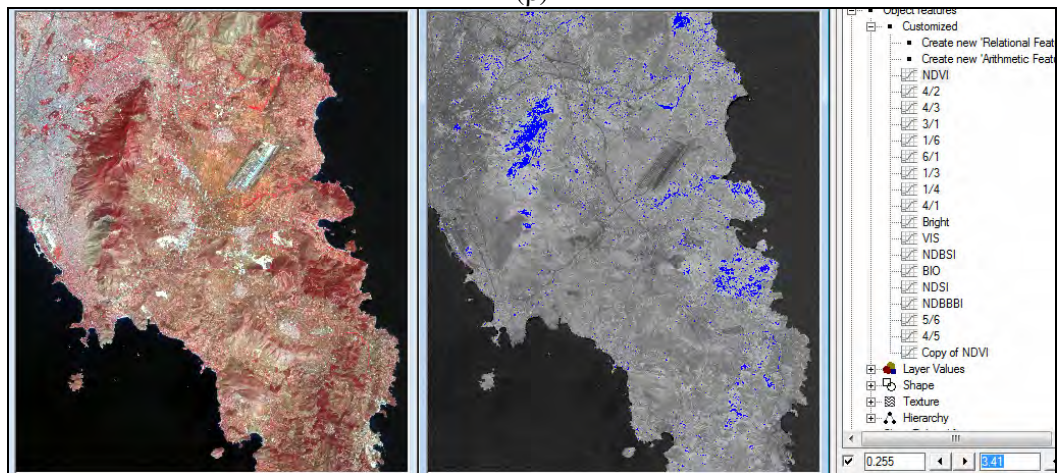
Εικόνα 4.63: (α) Επιλογή λόγου 4/1 ως χαρακτηριστικό ταξινόμησης των υδάτινων επιφανειών, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του λόγου.



(α)

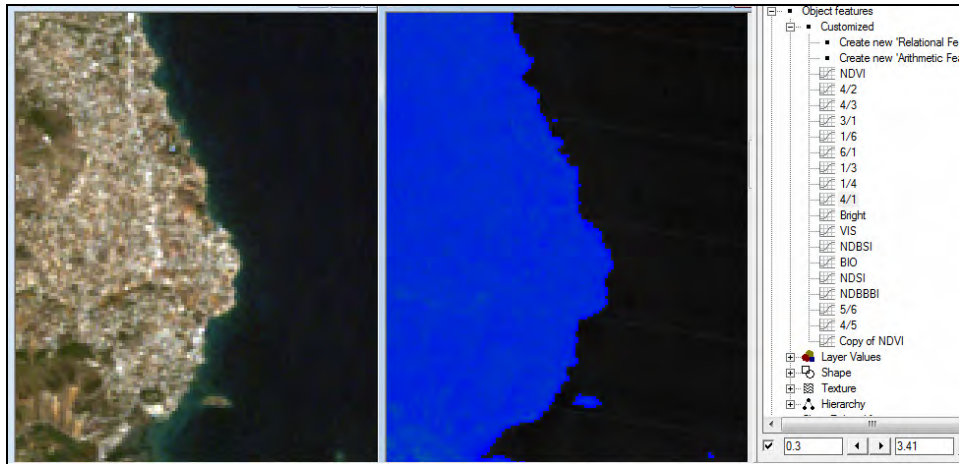


(β)

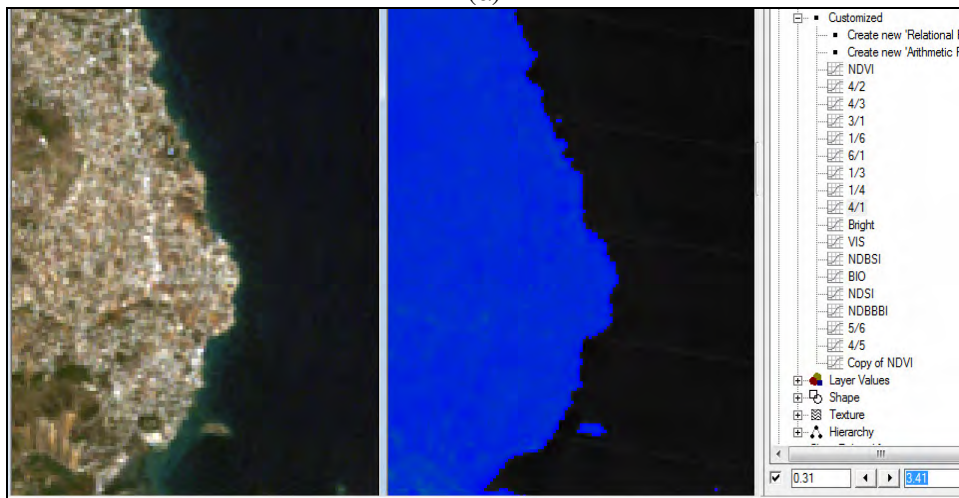


(γ)

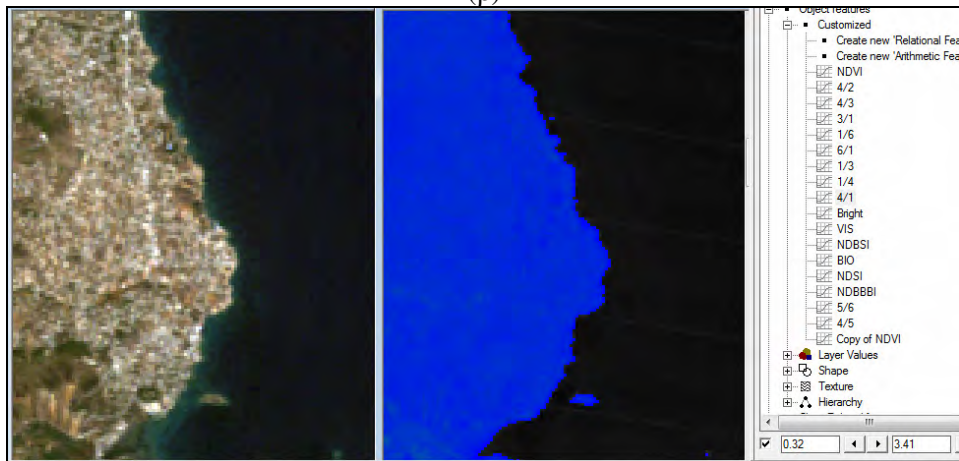
Εικόνα 4.64: (α), (γ) Αριστερό και δεξιό όριο ασαφούς ζώνης στον δείκτη NDVI, (β) Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5.



(α)

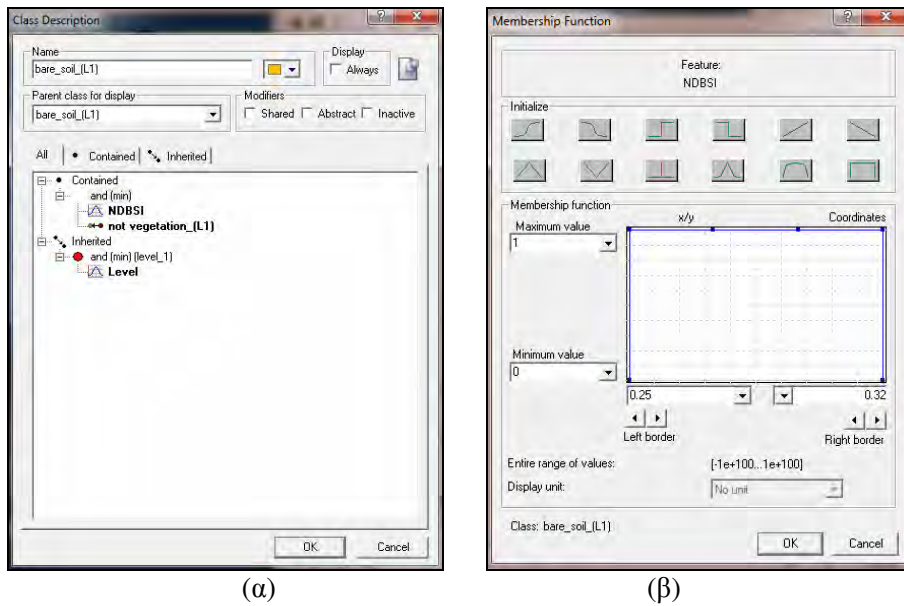


(β)



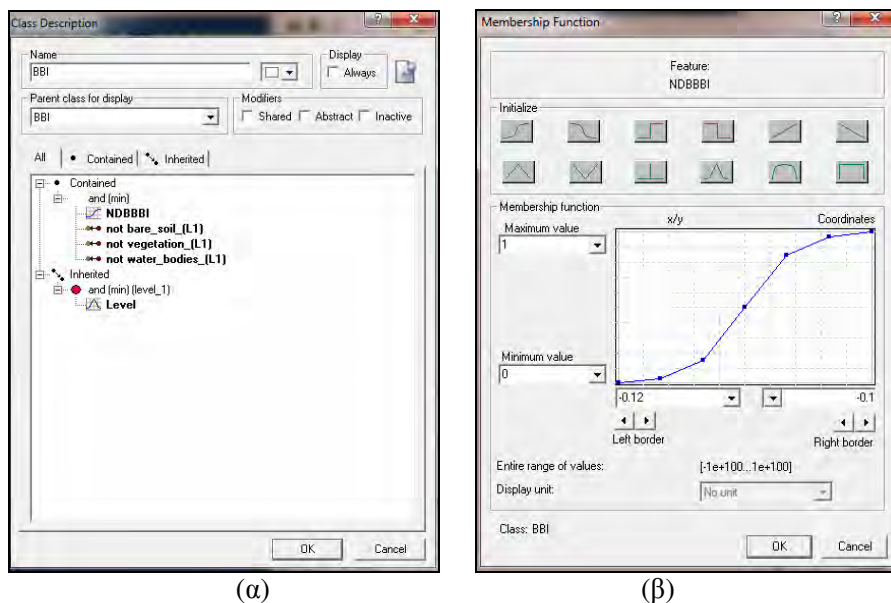
(γ)

Εικόνα 4.65: (α), (γ) Αριστερό και δεξιά όριο ασαφούς ζώνης στον λόγο 4/1, (β) Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5.



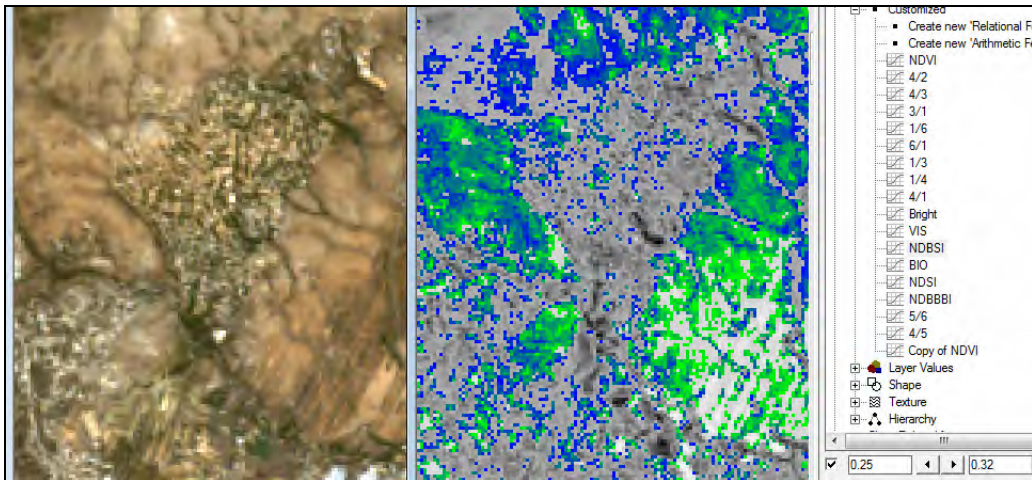
Εικόνα 4.66: (α) Επιλογή δείκτη NDBSI ως χαρακτηριστικό ταξινόμησης γυμνού εδάφους, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του δείκτη.

Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινιστεί ότι όταν η συνάρτηση συμμετοχής είναι τραπεζοειδής, η απεικόνιση της ασαφούς ζώνης είναι λανθασμένη διότι η πλήρης συμμετοχή εξασφαλίζεται για όλο το εύρος της ζώνης.

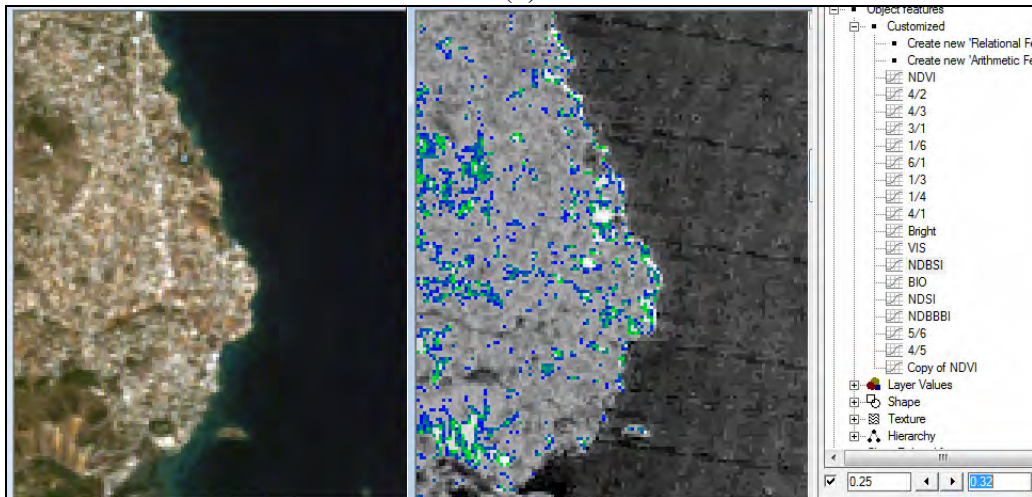


Εικόνα 4.67: (α) Επιλογή δείκτη NDBBBI ως χαρακτηριστικό ταξινόμησης δομημένων περιοχών, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του δείκτη.

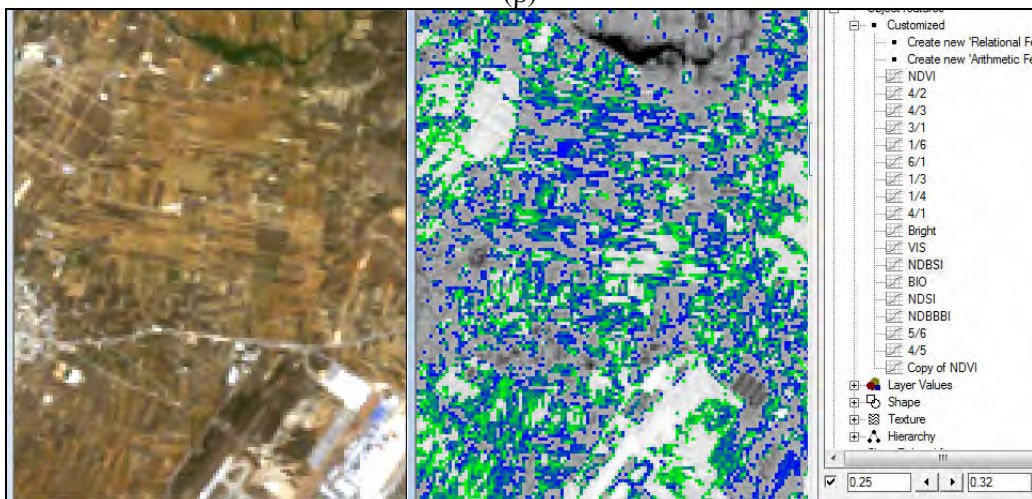
“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”



(α)



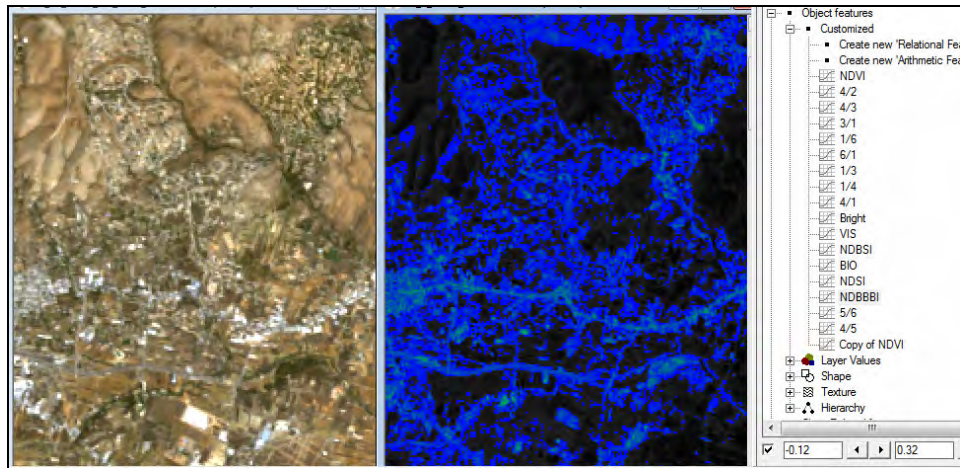
(β)



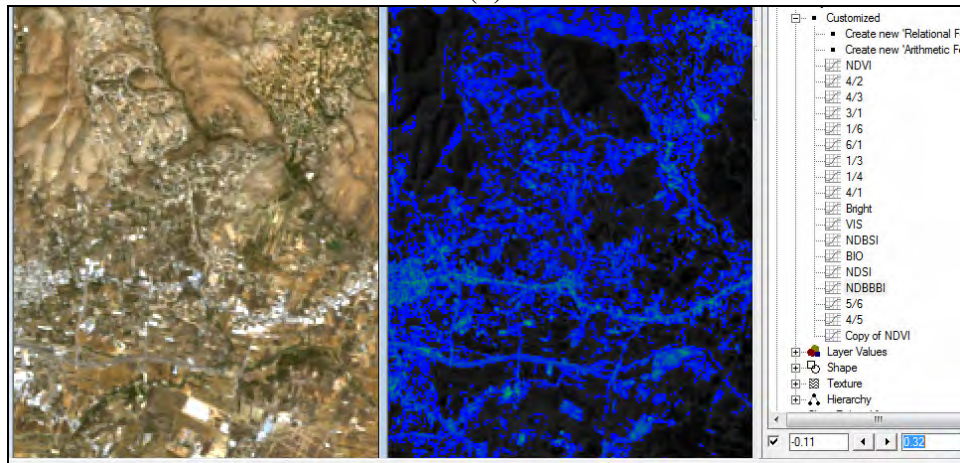
(γ)

Εικόνα 4.68: (α), (β) και (γ) Αντιστοίχιση γυμνού εδάφους με την πράσινη και μπλε απεικόνιση.

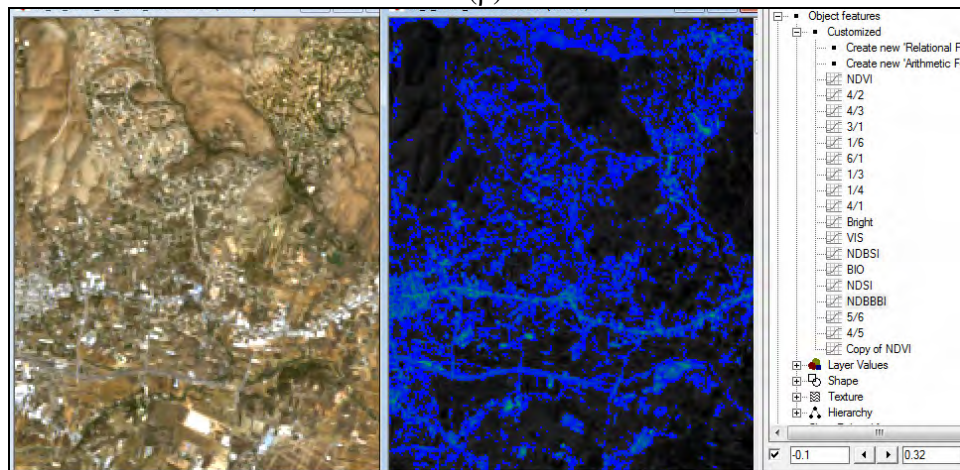
“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”



(α)



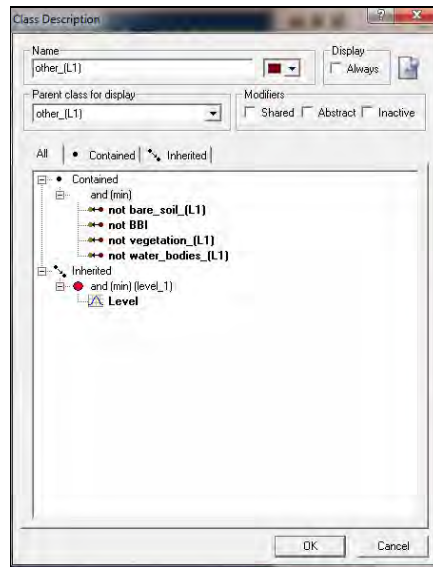
(β)



(γ)

Εικόνα 4.69: (α), (γ) Αριστερό και δεξιό όριο ασαφούς ζώνης στον δείκτη NDDBBI, (β) Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5.

Παραπάνω παρατηρείται πως εκτός από τις δομημένες περιοχές, συμπεριλαμβάνονται εσφαλμένα και τμήματα ορεινών εκτάσεων που δεν έχουν κατοικίες. Η διόρθωση μπορεί να γίνει με συνδυασμό του παραπάνω δείκτη και πληροφοριών υψόμετρου και κλίσεων μέσω αποκλεισμού περιοχών με υψηλό υψόμετρο και μεγάλη κλίση εδάφους.



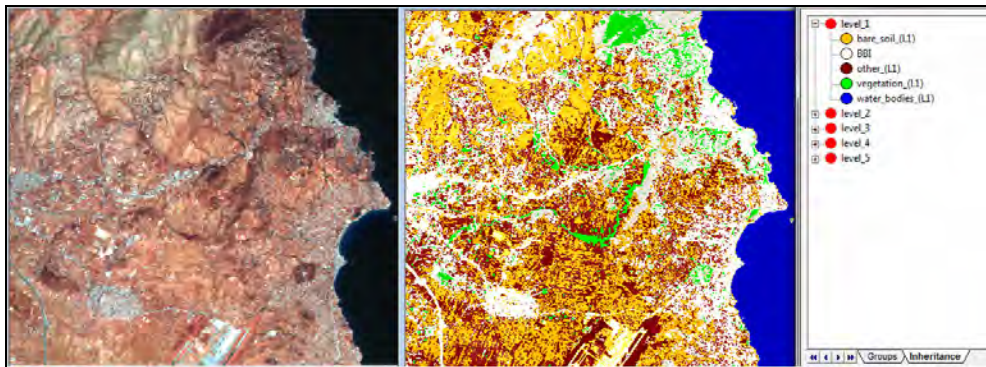
Εικόνα 4.70: Περιγραφή των υπολειπόμενων κατηγοριών για το πρώτο επίπεδο (Level_1).

Σε όλες της κατηγορίες του πρώτου επιπέδου που περιγράφονται από μια συνάρτηση, έχει χρησιμοποιηθεί ο λογικός τελεστής ‘AND’ και συνεπώς, σε κάθε περίπτωση ο αλγόριθμος της ταξινόμησης επιλέγει την ελάχιστη τιμή των κριτηρίων (τομή). Στην Εικόνα 4.71 παρουσιάζεται το γραφικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης από το λογισμικό Definiens 5, ενώ το αποτέλεσμα περιγράφεται λεπτομερέστερα στην Εικόνα 4.72.

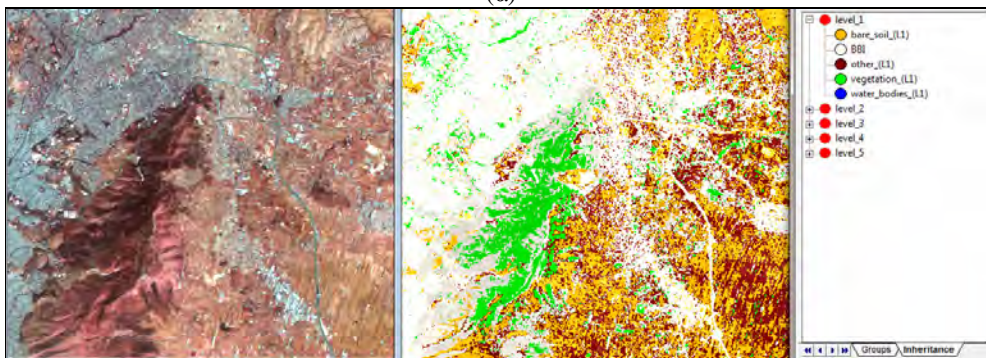


Εικόνα 4.71: (α) Αποτέλεσμα ταξινόμησης με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το πρώτο επίπεδο (Level_1) στην απεικόνιση του 2010.

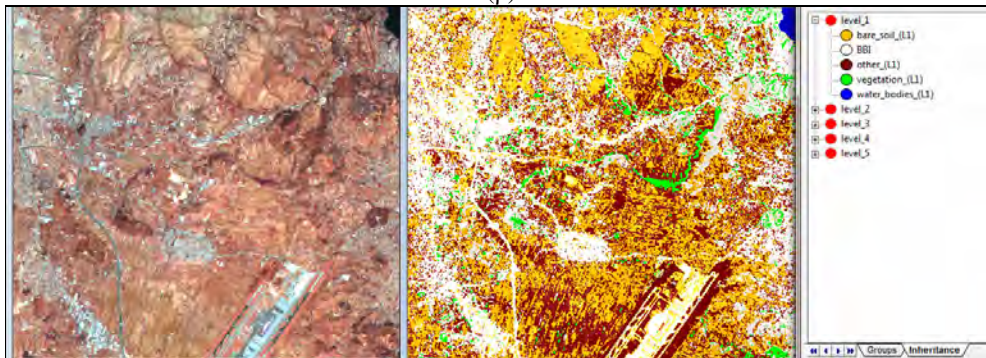
“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”



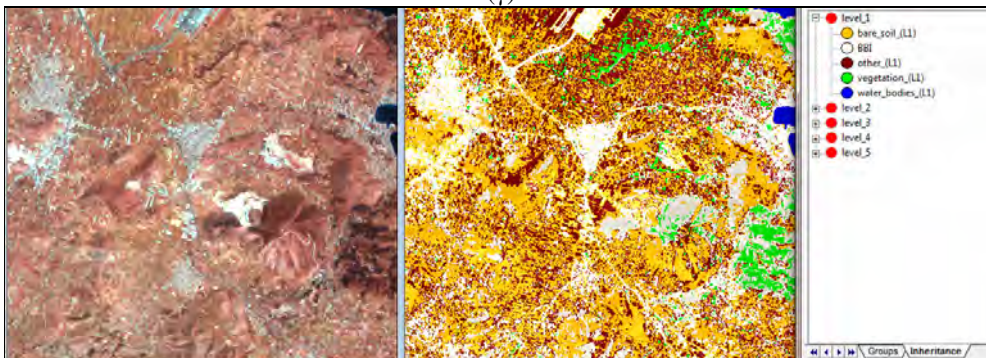
(α)



(β)



(γ)



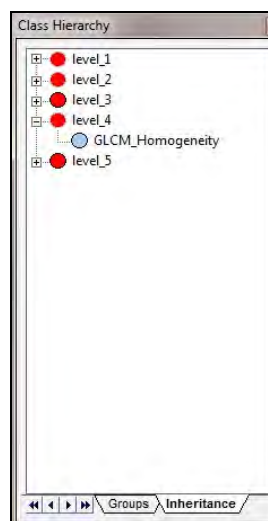
(δ)

Εικόνα 4.72: (α)-(δ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το πρώτο επίπεδο (Level_1) στην απεικόνιση του 2010.


Από το αποτέλεσμα της ταξινόμησης παρατηρείται πως ως βλάστηση επιλέχθηκε να ταξινομηθεί η πυκνή βλάστηση, αν κάποιος ήθελε να αντιστοιχήσει τις παρούσες κατηγορίες με εκείνες της ‘pixel-based’ μεθοδολογίας. Ο χρήστης επέλεξε το αυστηρό αυτό εύρος ασαφούς ζώνης ώστε να μην ‘χαθεί’ πληροφορία δομημένων περιοχών. Ο δείκτης γυμνού εδάφους, όπως είχε χρησιμοποιηθεί από τους Baraldi et al. [2006], έχει ικανοποιητικό αποτέλεσμα, ενώ ο δείκτης NDBBBI προσεγγίζει ικανοποιητικά τις αστικές περιοχές, αλλά περιλαμβάνει επίσης αρκετό τμήμα εδάφους και από βραχώδεις εκτάσεις σε ορεινούς όγκους, γι αυτό δεν χρησιμοποιήθηκε στις άλλες εικόνες. Οι κατηγορίες που απομένουν ομαδοποιήθηκαν στη γενική κατηγορία ‘other_(L1)’, και όπως φαίνεται, σε αυτήν ταξινομούνται καλλιέργειες, και διάφορες μορφές υπολειπόμενης βλάστησης. Τέλος, αναφέρεται πως η απεικόνιση της ταξινόμησης πραγματοποιείται με μια μικρή διαφάνεια ως προς το υπόβαθρο και για το λόγο αυτό υπάρχει μια μικρή διακύμανση στην φωτεινότητα του χρώματος που περιγράφει κάθε κατηγορία.

4.2.2.2 Ταξινόμηση 4^{ου} επιπέδου

Στον Πίνακα 4.54 παρατίθεται για τη μοναδική κατηγορία του επιπέδου, το χαρακτηριστικό που επιλέγεται να περιγράφει τη μοναδική αυτή κατηγορία, καθώς και η συνάρτηση συμμετοχής με τα όρια της ασαφούς ζώνης που ορίζεται για το χαρακτηριστικό αυτό.



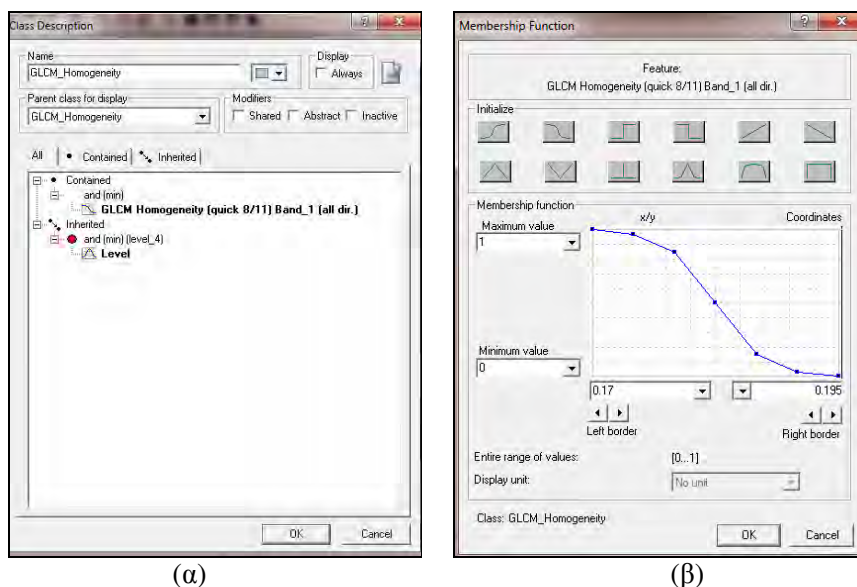
Εικόνα 4.73: Ιεραρχία τέταρτου επιπέδου της απεικόνισης του 2010.

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
4	GLCM_Homogeneity		GLCM Homogeneity (quick 8/11) Band 1 (all dir.)		0.17	0.195

Πίνακας 4.54: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τέταρτο επίπεδο (Level_4) της απεικόνισης του 2010.

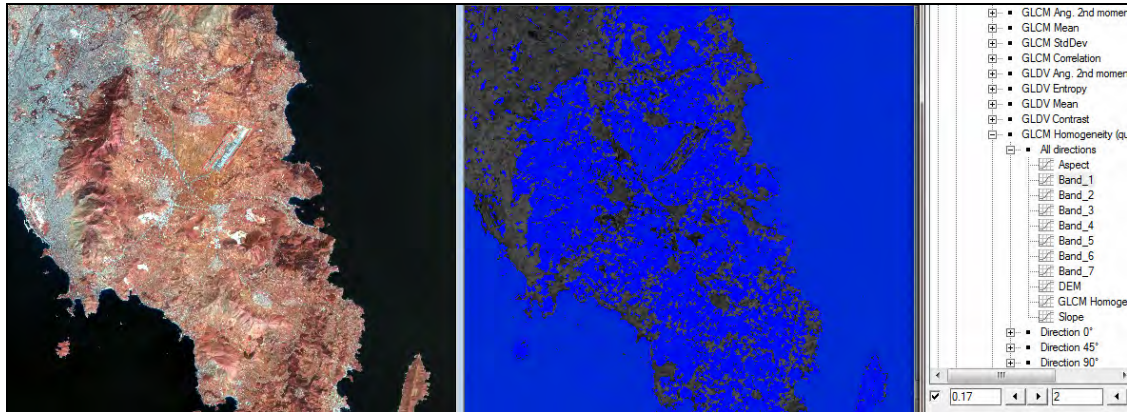
Όπως έχει προαναφερθεί, στο επίπεδο αυτό προορίζεται να ταξινομηθούν τα αντικείμενα με μεγάλη υφή. Συνήθως, τα αντικείμενα με σημαντική υφή αντιπροσωπεύουν κατοικημένες περιοχές, είτε πυκνής είτε αραιής δόμησης. Αποδείχθηκε ότι οι δείκτες υφής κατά Haralick έδιναν σημαντικά καλύτερο αποτέλεσμα για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, σε σχέση με την χρήση της τυπικής απόκλισης των υπό-αντικειμένων που χρησιμοποιείται για μια πρώτη εκτίμηση της υφής. Τα χαρακτηριστικά των δεικτών υφής κατά Haralick έχουν περιγραφεί αναλυτικά στο θεωρητικό πλαίσιο παρουσίασης της μεθοδολογίας.

Από όλους τους δείκτες υφής κατά Haralick, εκείνος με το καλύτερο αποτέλεσμα ήταν ο δείκτης Ομοιογένειας (GLCM) ο οποίος εφαρμόστηκε για όλες τις διευθύνσεις και αποδόθηκε η μέση τιμή του. Το κανάλι στο οποίο εφαρμόστηκε ο δείκτης ήταν το κανάλι 1, καθώς αποτελεί το κατεξοχήν κανάλι ανάδειξης αστικών περιοχών και γενικά ανθρωπογενών κατασκευών. Ενδέχεται, ορισμένες πυκνοκατοικημένες περιοχές, δηλαδή αντικείμενα με μειωμένη διαφορά στις ψηφιακές τιμές φωτεινότητας, όπως περιοχές αστικών κέντρων ή και οδικοί άξονες, να μην κατηγοριοποιούνται στο επίπεδο αυτό, η κατάλληλη κατάτμηση του επιπέδου αυτού όμως περιόρισε το φαινόμενο. Η διάκριση συνεχούς και διακεκομμένης αστικής δόμησης επιχειρείται στο δεύτερο επίπεδο. Στην Εικόνα 4.74 φαίνεται η συνάρτηση ασαφούς λογικής της Ομοιογένειας κατά Haralick και τα όρια της ασαφούς ζώνης.

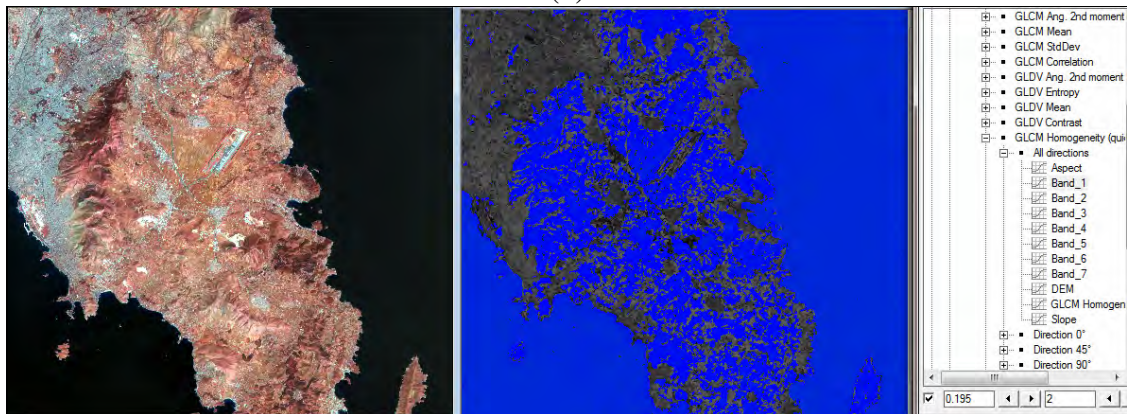


Εικόνα 4.74: (α) Επιλογή του χαρακτηριστικού της Ομοιογένειας κατά Haralick για την ανάδειξη αστικών περιοχών, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.

Στις Εικόνες 4.75 έως 4.78 παρουσιάζονται τα ασαφή όρια και τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του τέταρτου επιπέδου σε διάφορες περιοχές.



(α)

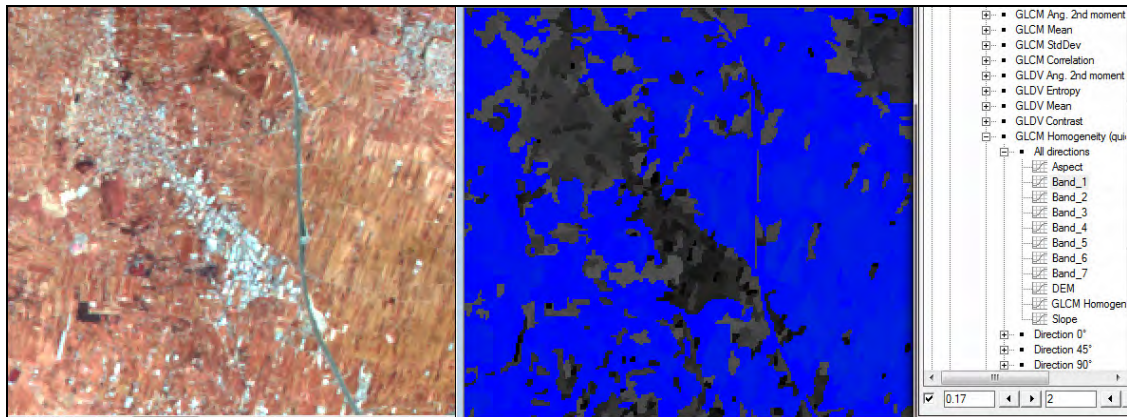


(β)

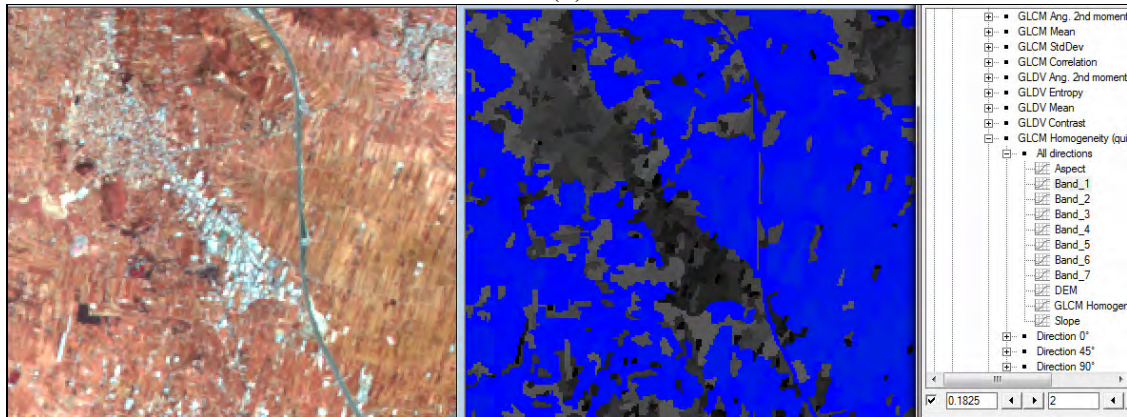
Εικόνα 4.75: (α), (β) Αριστερό και δεξιό όριο ασαφούς ζώνης στον δείκτη Ομοιογένειας κατά Haralick.



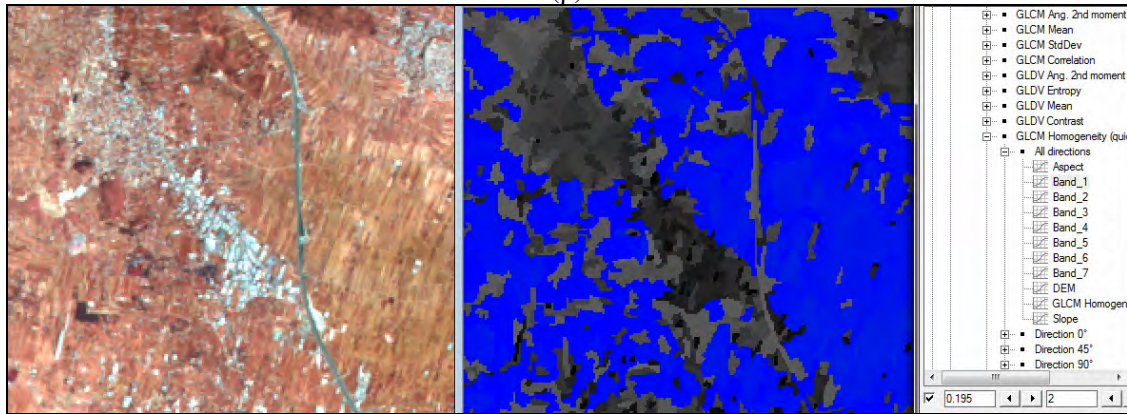
Εικόνα 4.76: Αποτέλεσμα ταξινόμησης αστικών περιοχών τέταρτου επιπέδου (Level_4) με τη χρήση του δείκτη Ομοιογένειας κατά Haralick στην απεικόνιση του 2010.



(α)

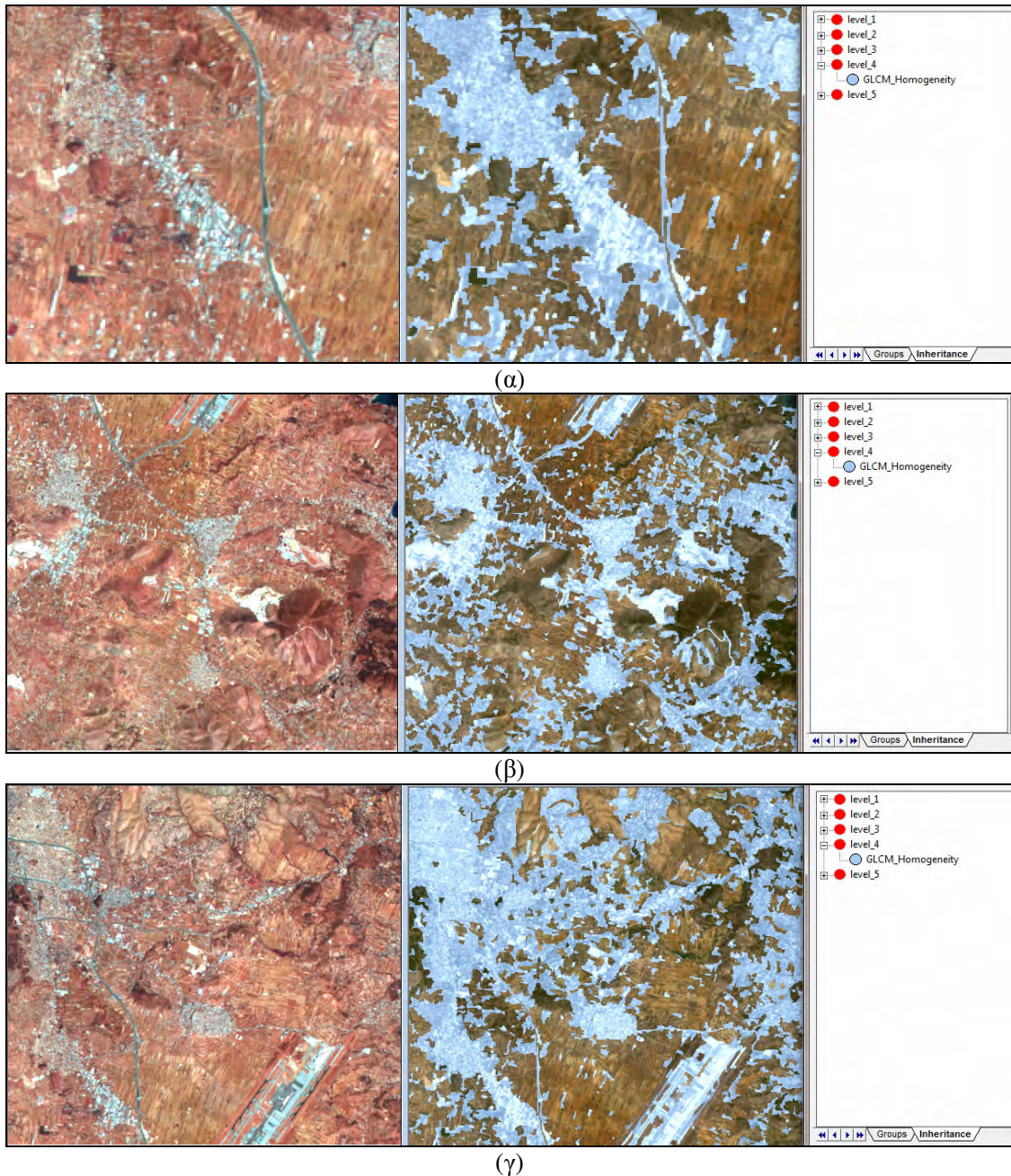


(β)



(γ)

Εικόνα 4.77: (α), (γ) Αριστερό και δεξιά όριο ασαφούς ζώνης στον δείκτη Ομοιογένειας κατά Haralick στην περιοχή της Παιανίας, (β) Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5.

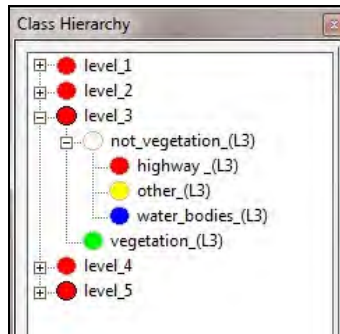


Εικόνα 4.78: (α), (β), (γ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης αστικών περιοχών τέταρτου επιπέδου (Level_4) σε μεγέθυνση με τη χρήση του δείκτη ομοιογένειας κατά Haralick στην απεικόνιση του 2010.

Όπως φαίνεται, στις ταξινομημένες εικόνες οι περιοχές πυκνής αλλά κυρίως διακεκομμένης αστικής δόμησης έχουν συμπεριληφθεί σε αυτή την κατηγορία. Περιοχές στους ορεινούς όγκους που εσφαλμένα έχουν ταξινομηθεί σε αυτή την κατηγορία, διορθώνονται στο δεύτερο επίπεδο κατάτμησης εκμεταλλευόμενοι την εικόνα κλίσεων εδάφους.

4.2.2.3 Ταξινόμηση 3^{ου} επιπέδου

Στην Εικόνα 4.79 απεικονίζεται η ιεραρχία του επιπέδου ενώ στον Πίνακα 4.55 παρατίθενται για κάθε κατηγορία του επιπέδου, τα χαρακτηριστικά που επιλέγονται να περιγράφουν κάθε κατηγορία, καθώς και οι συναρτήσεις συμμετοχής με τα όρια της ασαφούς ζώνης που ορίζονται για κάθε χαρακτηριστικό.



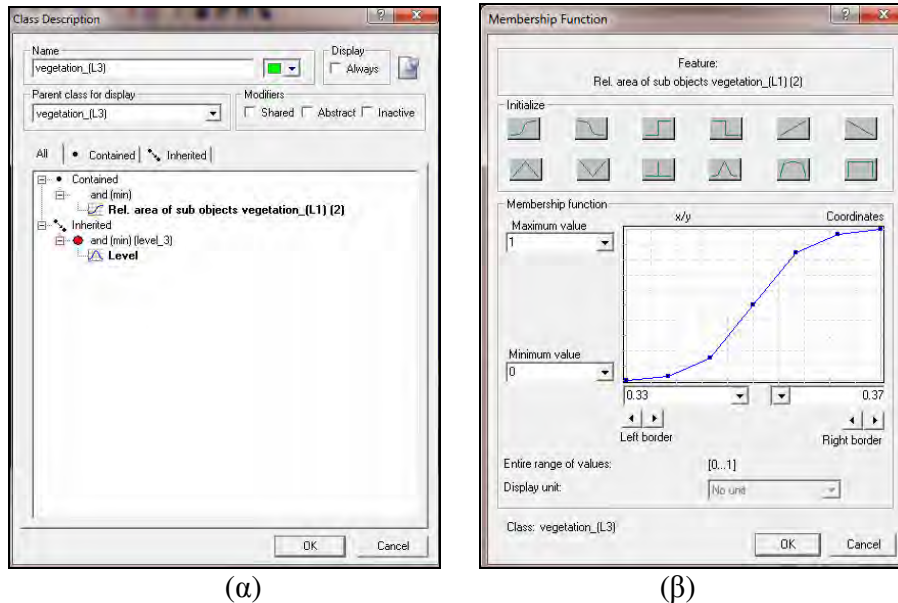
Εικόνα 4.79: Ιεραρχία τρίτου επιπέδου της απεικόνισης του 2010.

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο	
3	vegetation_(L3)		Rel. area of sub objects vegetation_(L1) (2)		0.33	0.37	
	not_vegetation_(L3)		inv- expres. of vegetation_(L3)				
	highway_(L3)	and	4/2			1.35	1.4
			Asymmetry			0.75	0.76
			Border to water_bodies_(L3)			0	1
			Density			1.4	1.5
			Length/Width			2.5	3
			Mean DEM			330	340
	Mean Slope			17	18		
	water_bodies_(L3)			Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (2)		0.5	0.7
other_(L3)	and		inv- expres. of highway_(L3)				
			inv- expres. of water_bodies_(L3)				

Πίνακας 4.55: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τέταρτο επίπεδο (Level_4) της απεικόνισης του 2010.

Στο επίπεδο αυτό στόχος είναι να ταξινομηθεί το κύριο οδικό δίκτυο της περιοχής. Προφανώς, λόγω της χωρικής διακριτικής ικανότητας της εικόνας δεν είναι δυνατό να

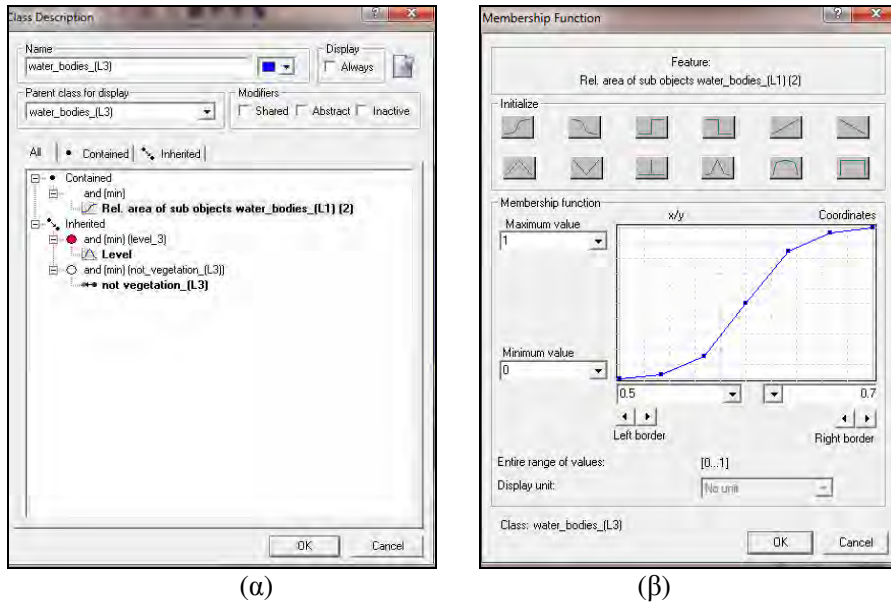
διαχωριστούν επιτυχώς οικιστικές οδοί. Αν αναλογιστεί κανείς το μέγεθος της εικονομηφίδας, μόνο οι αυτοκινητόδρομοι και οι οδοί ταχείας κυκλοφορίας μπορούν να διακριθούν με όσο το δυνατό μεγαλύτερη συνέχεια. Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται και οι αεροδιάδρομοι που ανιχνεύονται στις απεικονίσεις μετά το 2000. Στο επίπεδο αυτό, για να γίνει η ταξινόμηση των οδών, προβάλλεται η βλάστηση και η θάλασσα από το πρώτο επίπεδο. Η προβολή της θάλασσας βελτιώνει την κατηγορία των οδών χρησιμοποιώντας σχέσεις γειτνίασης διότι ήταν συχνό το φαινόμενο σύγχυσης της ακτογραμμής με το οδικό δίκτυο.



Εικόνα 4.80: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘vegetation’ από ένα επίπεδο σε ανώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.

Το ποσοστό των υπό-αντικείμενων που υιοθετήθηκε για την ασαφή ζώνη ώστε αν ικανοποιείται από τα αντικείμενα, να ταξινομηθούν τα αντικείμενα του επιπέδου ως βλάστηση, προέκυψε ύστερα από πειραματική διαδικασία, ώστε να μην επηρεάζεται η βασική κατηγορία ταξινόμησης του επιπέδου που είναι οι βασικοί οδικοί άξονες. Το ποσοστό, στην περίπτωση αυτή είναι χαμηλό (Εικόνα 4.80). Δίνεται δηλαδή μια μικρή προτεραιότητα στην ταξινόμηση της βλάστησης, ώστε να μην υπάρχει καμία σύγχυση με περιοχές βλάστησης γύρω από το οδικό δίκτυο.

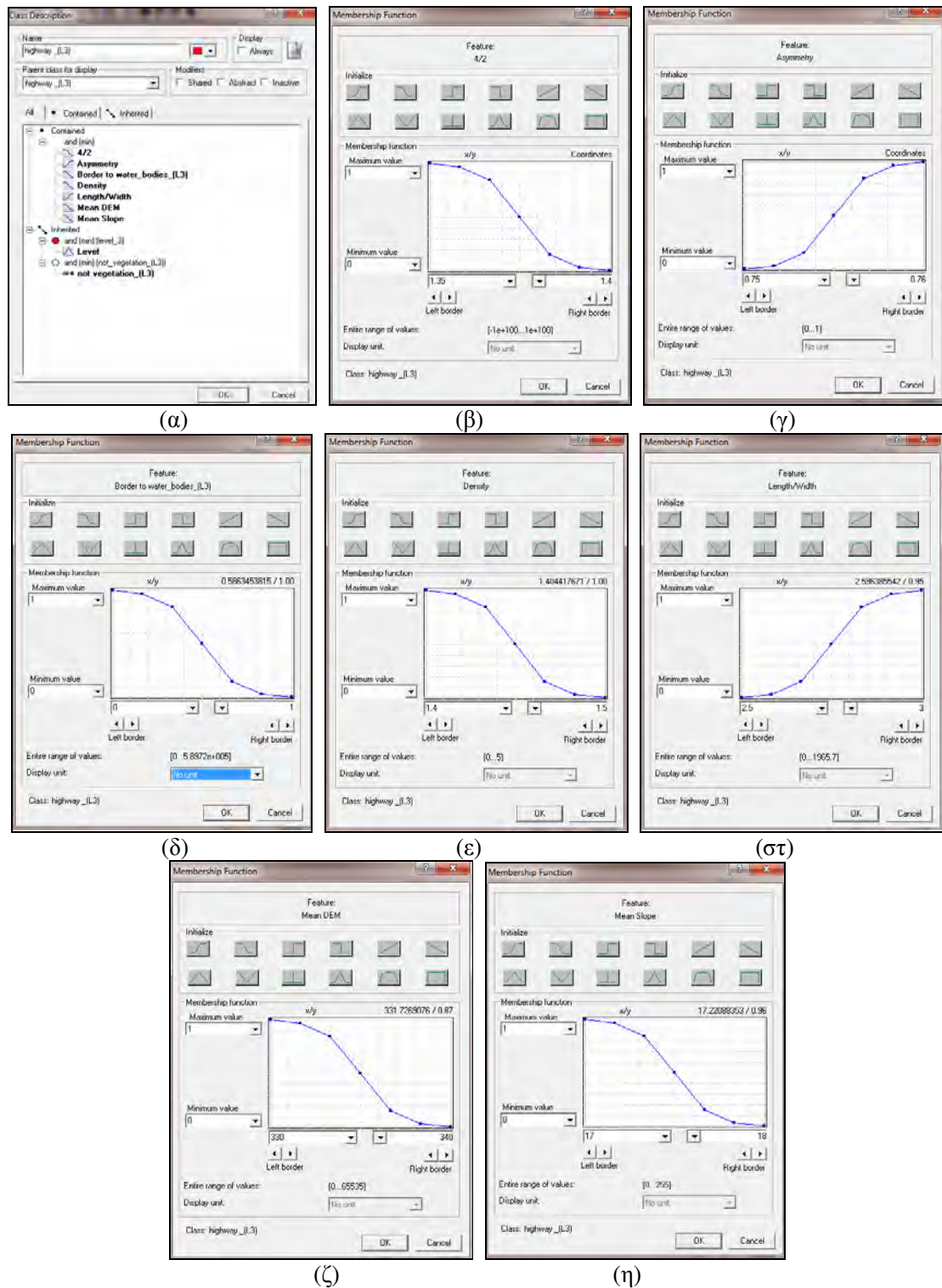
Για τα ύδατα, επίσης λήφθηκε πληροφορία από τα υπό-αντικείμενα του πρώτου επιπέδου και υιοθετήθηκε η συνήθης ασαφής ζώνη μεταφοράς πληροφορίας, δηλαδή μεταξύ 50% και 70% (Εικόνα 4.81).



Εικόνα 4.81: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘water_bodies’ από ένα επίπεδο σε ανώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.

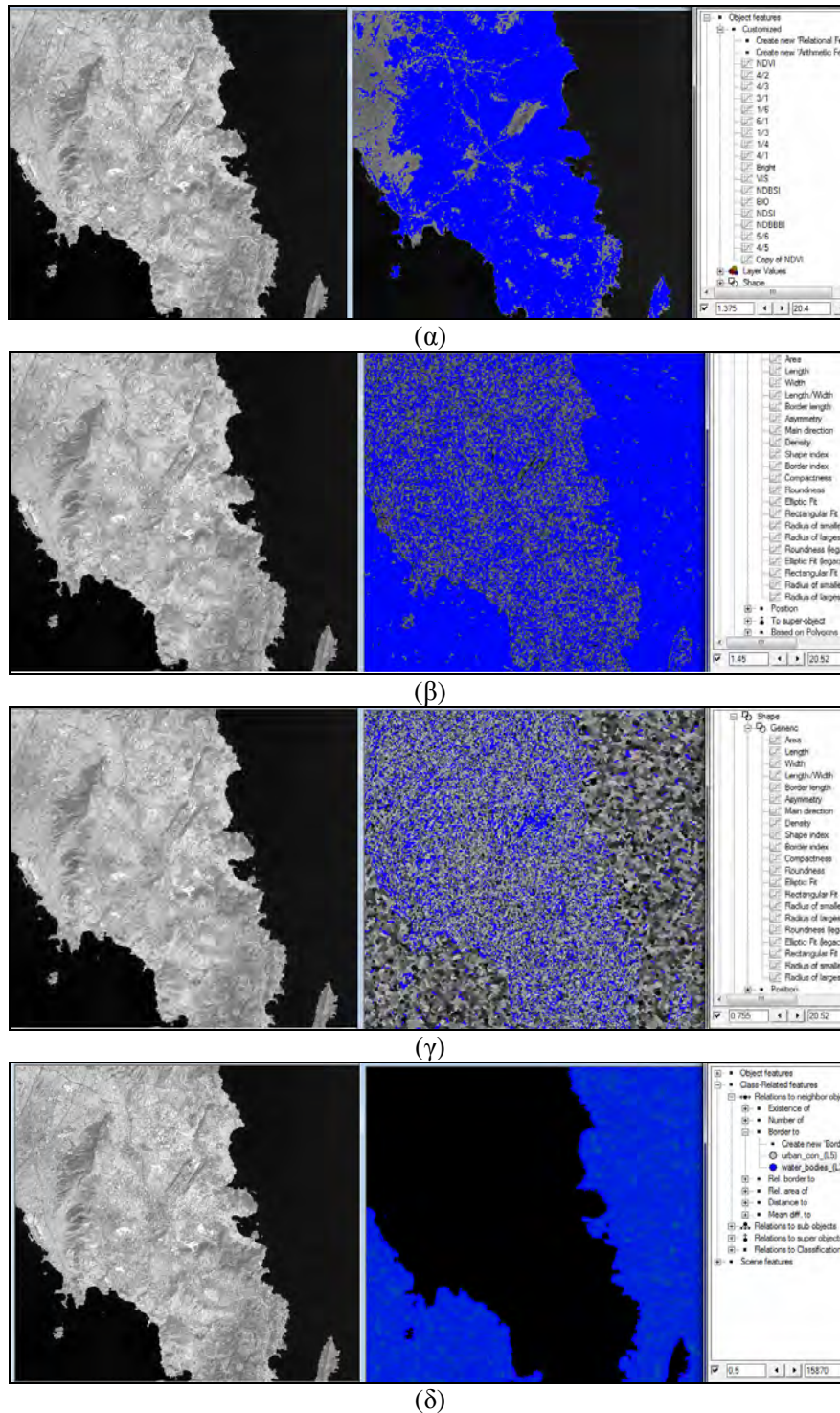
Η κατηγορία του κύριου οδικού δικτύου (Εικόνα 4.85) προέκυψε ύστερα από τον συνδυασμό με το λογικό τελεστή ‘AND’ (τομή) επτά συναρτήσεων συμμετοχής (Εικόνα 4.82), εκμεταλλεόμενοι διαφόρων ειδών χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, αντλείται πληροφορία από τις φασματικές υπογραφές (λόγος καναλιών 4 προς 2), από τις ιδιότητες του σχήματος των αντικειμένων (ασυμμετρία, πυκνότητα, μήκος/πλάτος), από σχέσεις γειτνίασης (με τις υδάτινες επιφάνειες-Class Related features), αλλά και από χαρακτηριστικά του εδάφους όπως η κλίση και το υψόμετρο. Είναι προφανές, ειδικά για την κλίση του εδάφους, ότι πάνω από μια τιμή είναι δύσκολο να εμφανιστούν οδικοί άξονες.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”



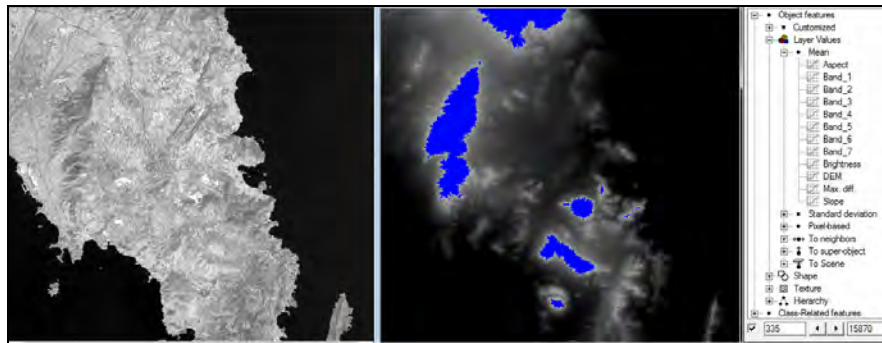
Εικόνα 4.82: (α) Χαρακτηριστικά κατηγορίας αυτοκινητοδρόμων στο τρίτο επίπεδο (Level_3), (β)-(η) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης για κάθε χαρακτηριστικό.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

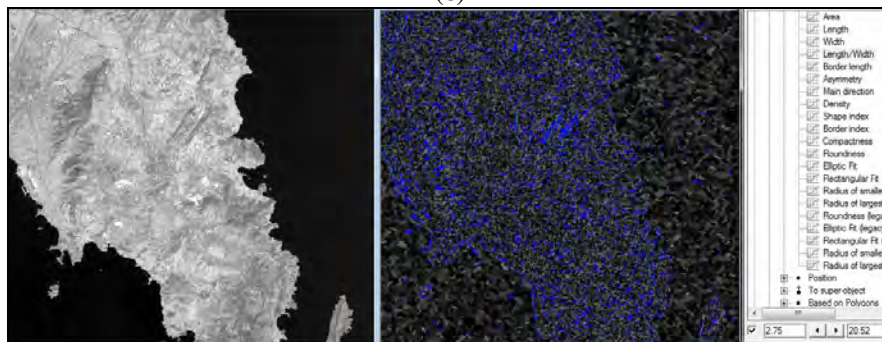


Εικόνα 4.83: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για τα χαρακτηριστικά (α) λόγος 4/2, (β) ‘Density’, (γ) ‘Asymmetry’, (δ) ‘Border to water bodies’ της κατηγορίας ‘Highway_(L3)’ (I).

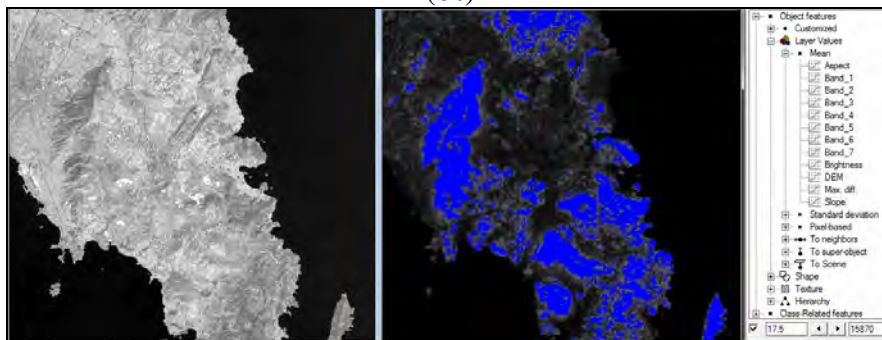
“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”



(ε)

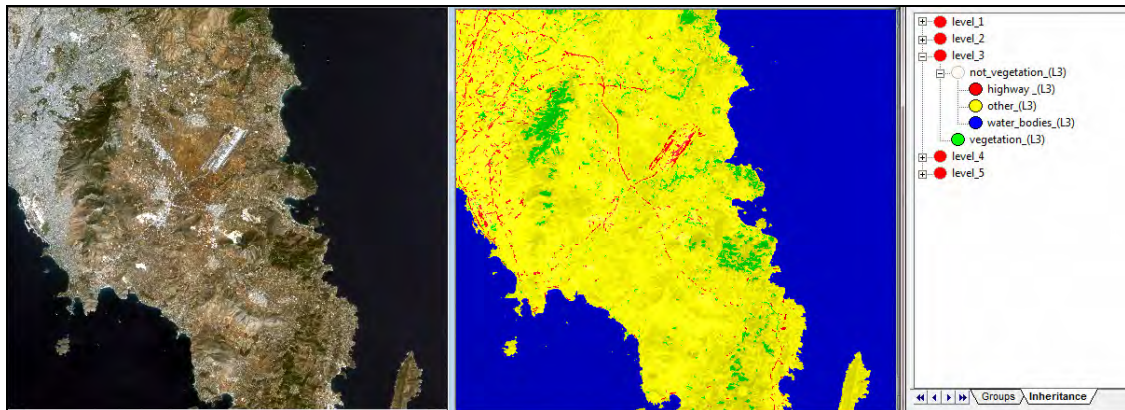


(στ)

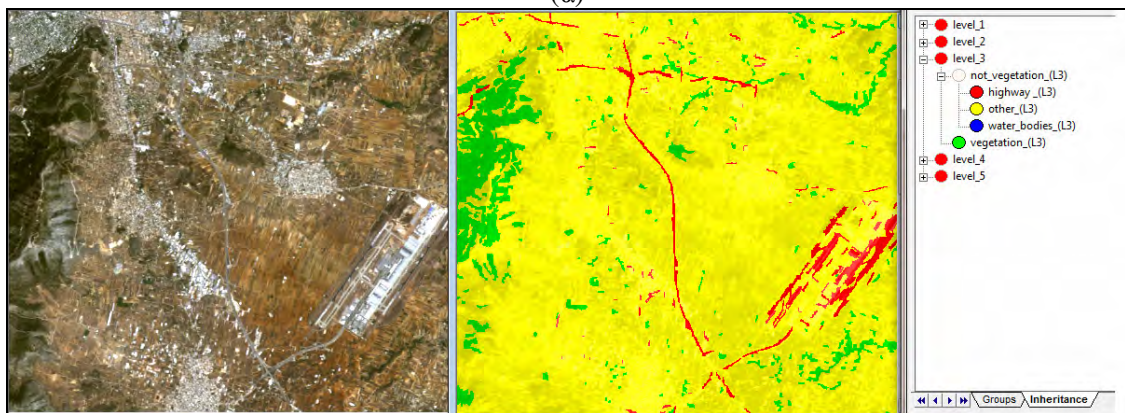


(ζ)

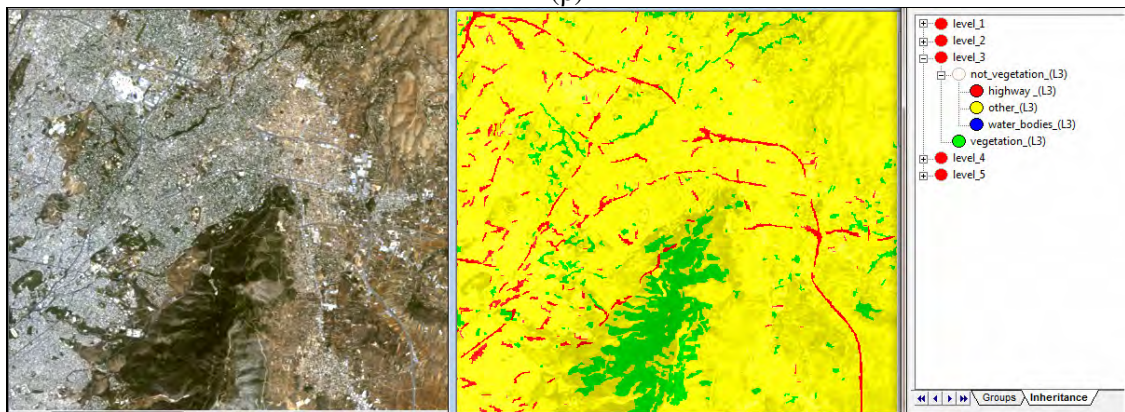
Εικόνα 4.84: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για τα χαρακτηριστικά (ε) ‘Mean DEM’, (στ) ‘Length/Width’, (ζ) ‘Mean Slope’ της κατηγορίας ‘Highway_(L3)’ (II).



(α)



(β)

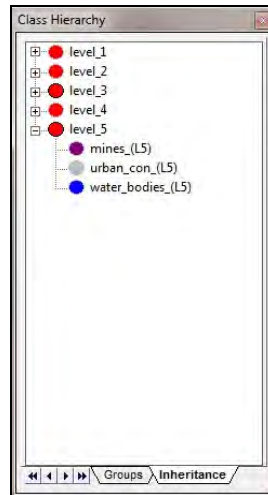


(γ)

Εικόνα 4.85: Αποτέλεσμα ταξινόμησης αυτοκινητοδρόμων στο τρίτο επίπεδο (Level_3) στην απεικόνιση του 2010.

4.2.2.4 Ταξινόμηση 5^{ου} επιπέδου

Στην Εικόνα 4.86 απεικονίζεται η ιεραρχία του επιπέδου ενώ στον Πίνακα 4.56 παρατίθενται για κάθε κατηγορία του επιπέδου, τα χαρακτηριστικά που επιλέγονται να περιγράφουν κάθε κατηγορία καθώς και οι συναρτήσεις συμμετοχής με τα όρια της ασαφούς ζώνης που ορίζονται για κάθε χαρακτηριστικό.



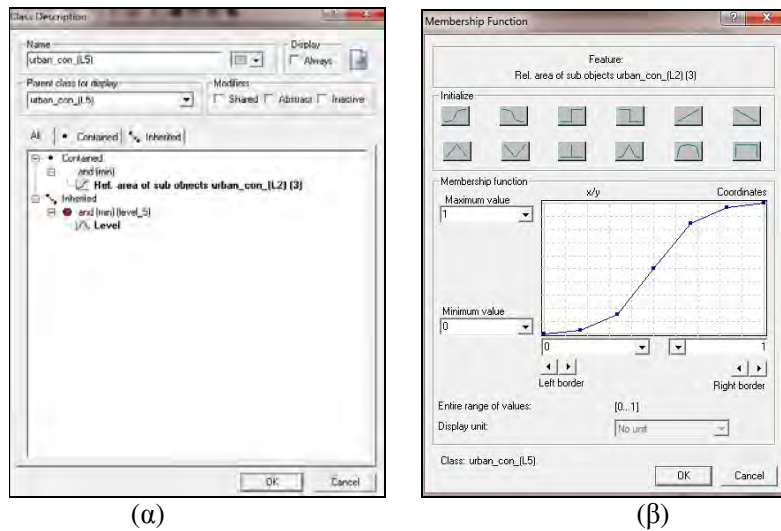
Εικόνα 4.86: Ιεραρχία πέμπτου επιπέδου της απεικόνισης του 2010.

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
5	mines_(L5)	and	Mean Band 3		90	100
			Rel. border to urban_con_(L5)		0.7	0.9
			Rel. border to water_bodies_(L5)		0	1
	urban_con_(L5)		Rel. area of sub objects urban_con_(L2) (3)		0	1
	water_bodies_(L5)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (4)		0.6	1

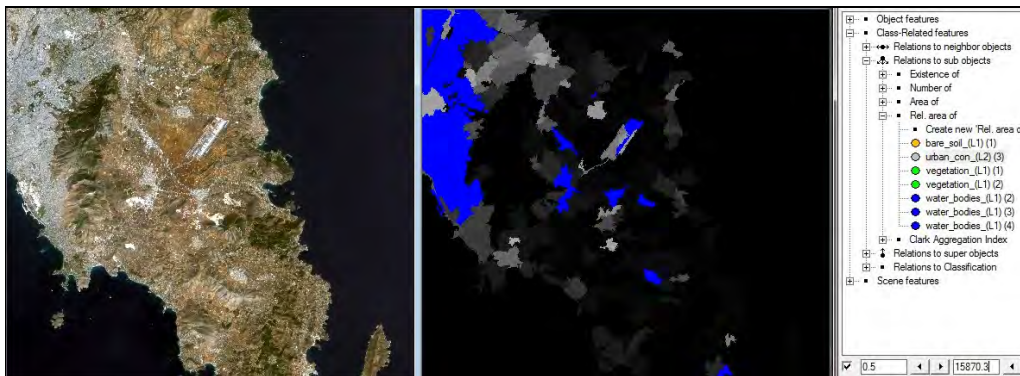
Πίνακας 4.56: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πέμπτο επίπεδο (Level_5) της απεικόνισης του 2010.

Στο πέμπτο επίπεδο θα ταξινομηθούν αντικείμενα τα οποία, λόγω της μέσης υψηλής τιμής φωτεινότητας που παρουσιάζουν, δεν ταξινομούνται σωστά σε πιο λεπτόκοκκο επίπεδο ανάλυσης, και συχνά συγχέονται με το γυμνό έδαφος ή και με αστικές περιοχές. Πρόκειται για τα ορυχεία και τις περιοχές που εκτελούνται εκσκαφές, οι οποίες, εν μέρει μπορούν να καταταγούν στο γυμνό έδαφος. Οι περιοχές αυτές έχουν ακανόνιστο σχήμα και είναι ομοιογενείς, οπότε και ενοείται και η κατάτμηση σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερα ομοιογενή αντικείμενα, που να αντιπροσωπεύουν όμως τέτοιες εκτάσεις.

Η κλίμακα που επιλέχθηκε είναι σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη του αμέσως προηγούμενου επιπέδου, ενώ το σχήμα δεν συμμετέχει σημαντικά στην κατάτμηση λόγω των ανομοιογενών περιπτώσεων εμφάνισης του φαινομένου. Για την ταξινόμησή τους ήταν απαραίτητο να έχει προηγηθεί τουλάχιστον μια ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου για την εξαγωγή της συνεχούς αστικής δόμησης. Επειδή συνέβαινε να ταξινομούνται ως ορυχεία περιοχές εξολοκλήρου ή σε μεγάλο ποσοστό γειτνιάζουσες από αστική δόμηση (περίπτωση ΟΑΚΑ) ή και από θάλασσα (περίπτωση ακρωτηρίων, παλαιού και νέου αερολιμένα), η βάση γνώσης βελτιώθηκε μεταφέροντας κατηγορίες από τα επίπεδα ένα και δύο, στο πέμπτο με τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής για τα υπό-αντικείμενα (Εικόνα 4.87 και 4.89) και στη συνέχεια προσθέτοντας συναρτήσεις συμμετοχής ως προς τη γειτνίαση των παραπάνω με τα ορυχεία (Εικόνα 4.91).

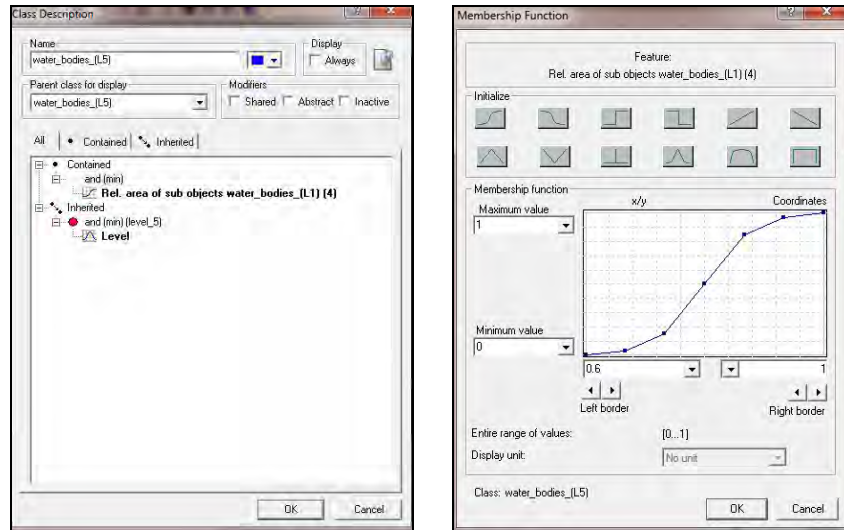


Εικόνα 4.87: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘urban_con’ από ένα επίπεδο σε ανώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.

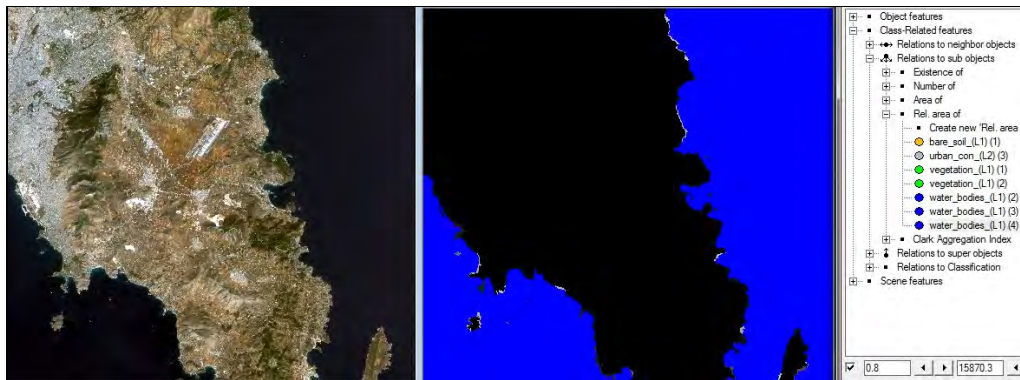


Εικόνα 4.88: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό της σχετικής επιφάνειας των υπό-αντικειμένων της κατηγορίας ‘urban_con_L5’.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

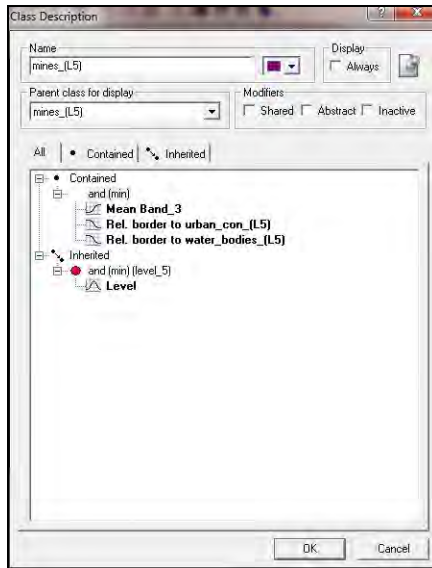


Εικόνα 4.89: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘water_bodies’ από ένα επίπεδο σε ανώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.

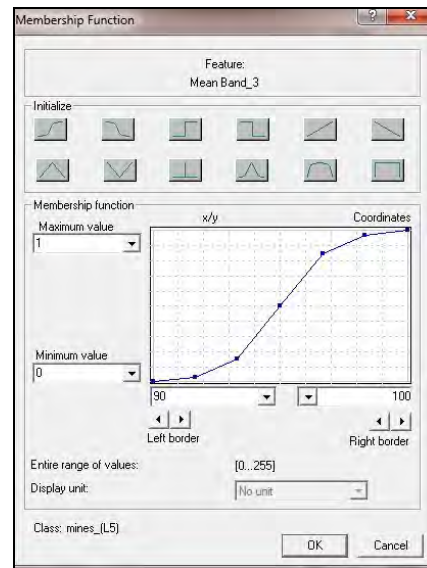


Εικόνα 4.90: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό της σχετικής επιφάνειας των υπό-αντικειμένων της κατηγορίας ‘water_bodies_L5’.

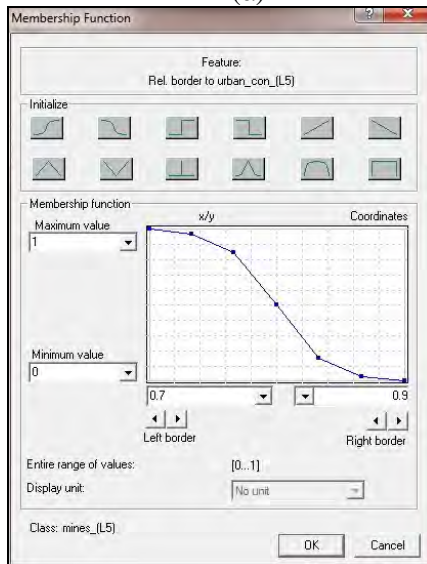
“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”



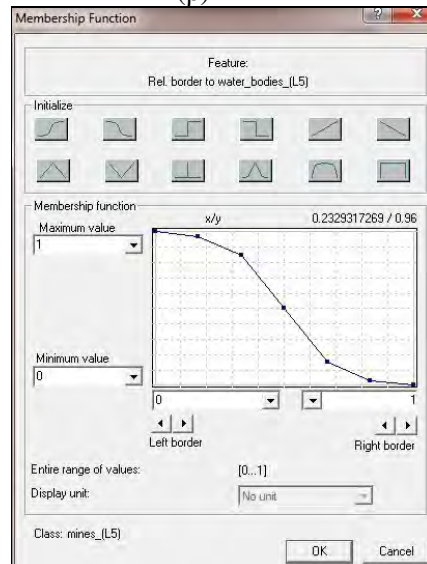
(α)



(β)

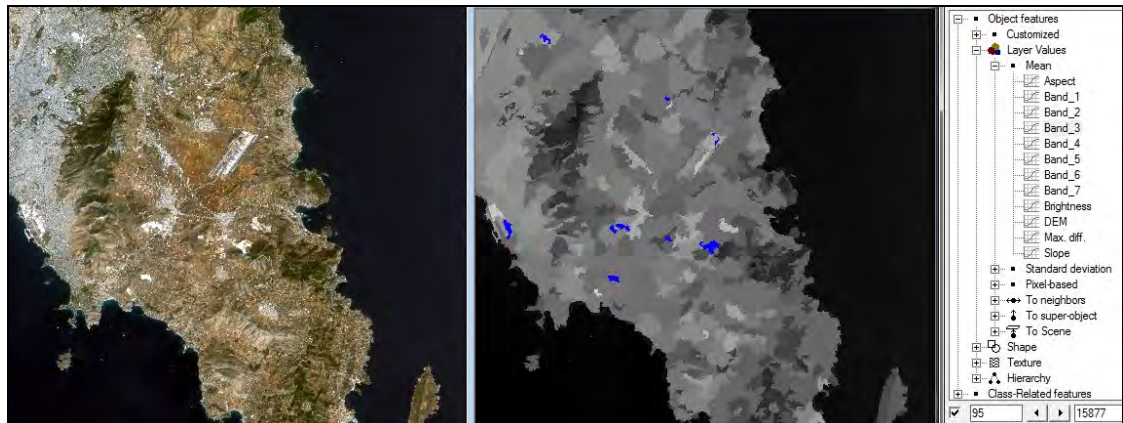


(γ)

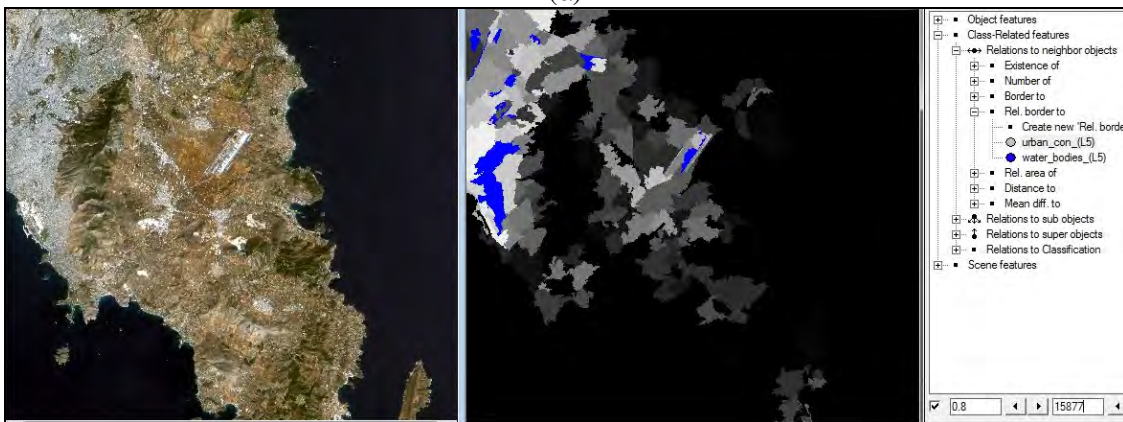


(δ)

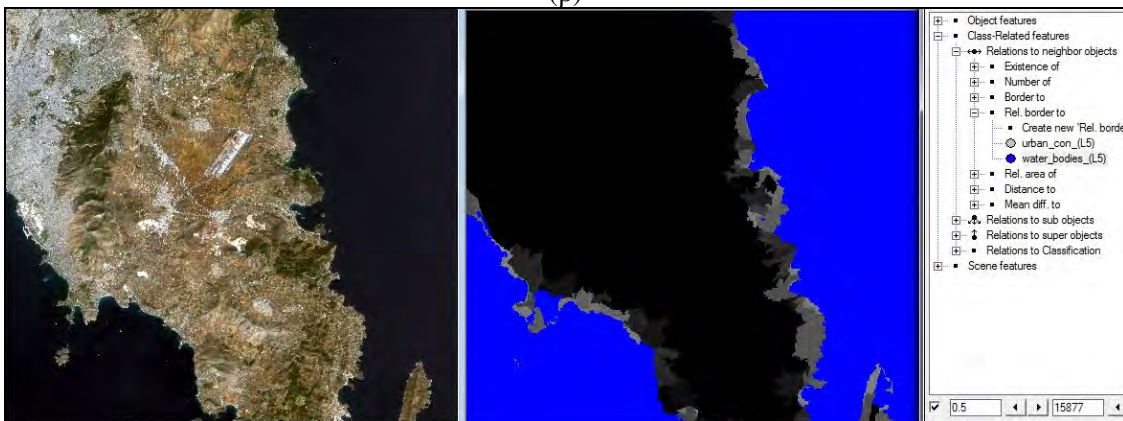
Εικόνα 4.91: (α) Χαρακτηριστικά κατηγορίας ορυχείων (χώρων εξορύξεων) στο πέμπτο επίπεδο (Level_5), (β)-(δ) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης για κάθε χαρακτηριστικό.



(α)

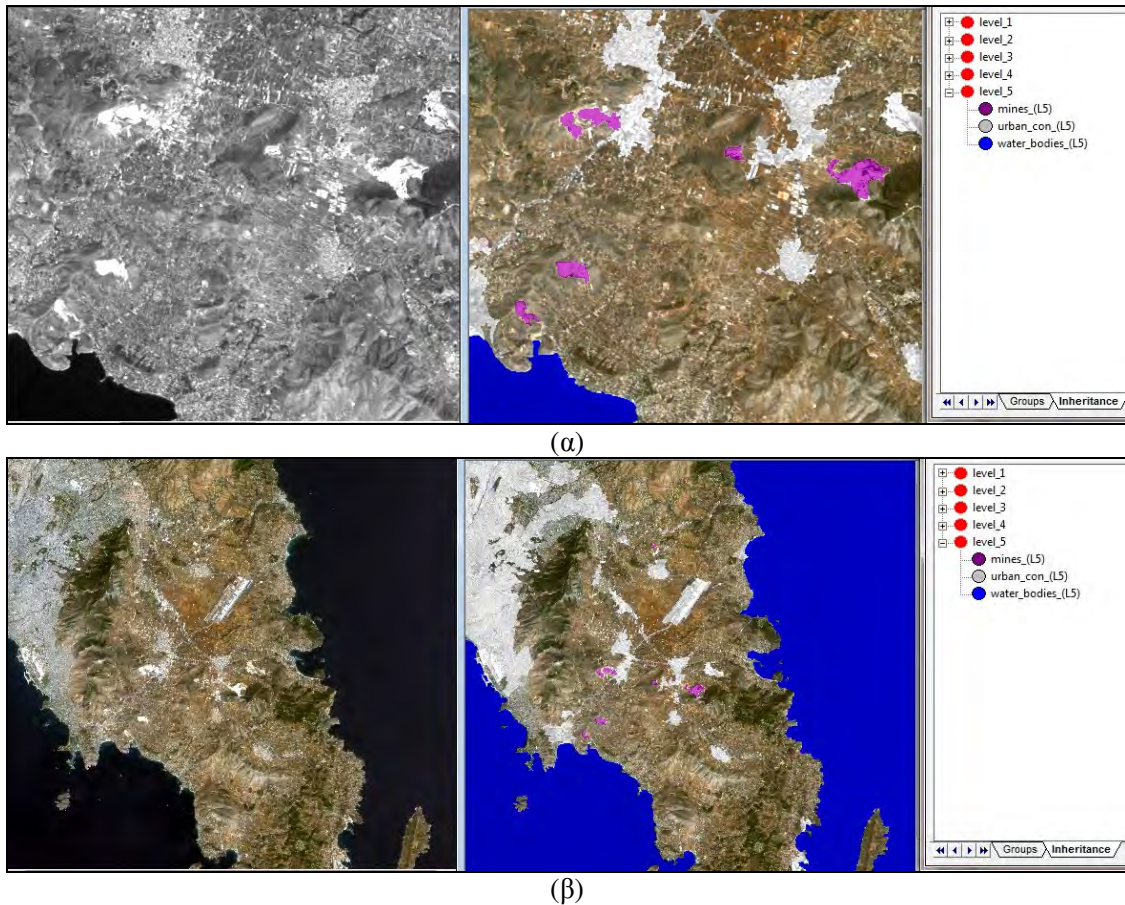


(β)



(γ)

Εικόνα 4.92: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για τα χαρακτηριστικά (α) ‘Band_3, (β) ‘Rel.border to urban_con_(L5), (γ) ‘Rel.border to water_bodies_(L5)’ της κατηγορίας ‘mines_(L5)’.



Εικόνα 4.93: Αποτέλεσμα ταξινόμησης ορυχείων και χώρων εξορύξεων στο πέμπτο επίπεδο (Level_5) στην απεικόνιση του 2010.

4.2.2.5 Ταξινόμηση 2^ο επιπέδου

Το επίπεδο αυτό αποτελεί το βασικό επίπεδο στο οποίο θα γίνει προσπάθεια να διαχωριστούν όσο το δυνατό περισσότερες θεματικές κατηγορίες, τόσο από προβολές υπό και υπέρ-αντικειμένων, όσο και από τις ιδιότητες των αυτών αντικειμένων.

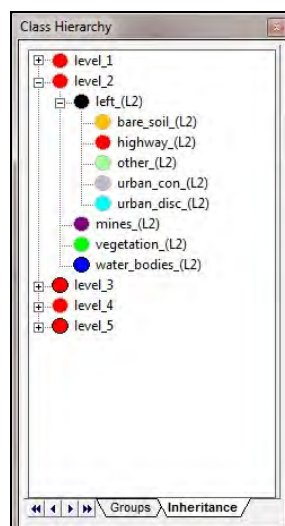
Αρχικά προβάλλεται η κατηγορία της βλάστησης από το επίπεδο μικρότερης κλίμακας και η ασαφής ζώνη που επιλέγεται έχει υψηλά όρια ώστε να ταξινομηθεί ένα αντικείμενο ως βλάστηση στο δεύτερο επίπεδο όταν τα υπό-αντικείμενα έχουν ταξινομηθεί ως βλάστηση σε μεγάλο ποσοστό. Η επιλογή αυτή γίνεται ώστε να είναι δυνατόν να κατηγοριοποιηθεί ως διακεκομμένη δόμηση περιπτώσεις νέων κατοικιών που το αντικείμενο εκτός από την οικιστική περιοχή έχει σημαντικό τμήμα βλάστησης. Παρ ‘ όλα αυτά αν κατηγοριοποιηθεί το αντικείμενο ως βλάστηση θα έχει χαθεί πληροφορία. Για το λόγο αυτό επίσης, στο πρώτο επίπεδο, επιλέχθηκε ασαφής ζώνη βλάστησης ορίζοντας μόνο την πυκνή βλάστηση, η οποία είναι θεωρητικά και πρακτικά αμιγής εξαιτίας της λεπτόκοκκης κατάτμησης.

Οι υδάτινες μάζες μπορούν είτε να προβληθούν από τα υπό-αντικείμενα είτε να ταξινομηθούν εκ νέου. Τα αποτελέσματα για την συγκεκριμένη κατηγορία σε αυτό το επίπεδο ήταν καλύτερα όταν σχηματίστηκε εκ νέου ο λόγος καναλιών 4/1, με νέα ζώνη ασάφειας της αυτής συνάρτησης συμμετοχής.

Η θεματική κατηγορία των ορυχείων και των εκσκαφών προβάλλεται από τα υπέρ-αντικείμενα του πέμπτου επιπέδου.

Τα αντικείμενα από τις παραπάνω κατηγορίες απομονώθηκαν ώστε να μην διεκδικούνται από άλλες κατηγορίες. Τα υπόλοιπα αντικείμενα ταξινομήθηκαν περαιτέρω στις εξής κατηγορίες: συνεχής αστική δόμηση, μη συνεχής αστική δόμηση (προβολή δείκτη υφής από το τέταρτο επίπεδο και αποκλεισμός συμμετοχής της συνεχούς δόμησης), το γυμνό έδαφος, το κύριο οδικό δίκτυο και οι υπόλοιπες κατηγορίες γενικευμένα ενοποιημένες. Το γυμνό έδαφος προέρχεται από την προβολή από υπό-αντικείμενα, ενώ το δίκτυο από υπέρ-αντικείμενα. Όμως και στις δύο περιπτώσεις, δεν αποκλείεται η διεκδίκηση τους από μερικές άλλες κατηγορίες που δεν τοποθετούνται ως περιορισμοί στον ορισμό των συναρτήσεων συμμετοχής των κατηγοριών αυτών. Αυτή είναι και η βασική τους διαφορά από τις κατηγορίες της βλάστησης και των υδάτων.

Στην Εικόνα 4.94 απεικονίζεται η ιεραρχία του επιπέδου ενώ στον Πίνακα 4.57 παρατίθενται για κάθε κατηγορία του επιπέδου, τα χαρακτηριστικά που επιλέγονται να περιγράφουν κάθε κατηγορία καθώς και οι συναρτήσεις συμμετοχής με τα όρια της ασαφούς ζώνης που ορίζονται για κάθε χαρακτηριστικό, τα οποία και στην συνέχεια θα απεικονιστούν.

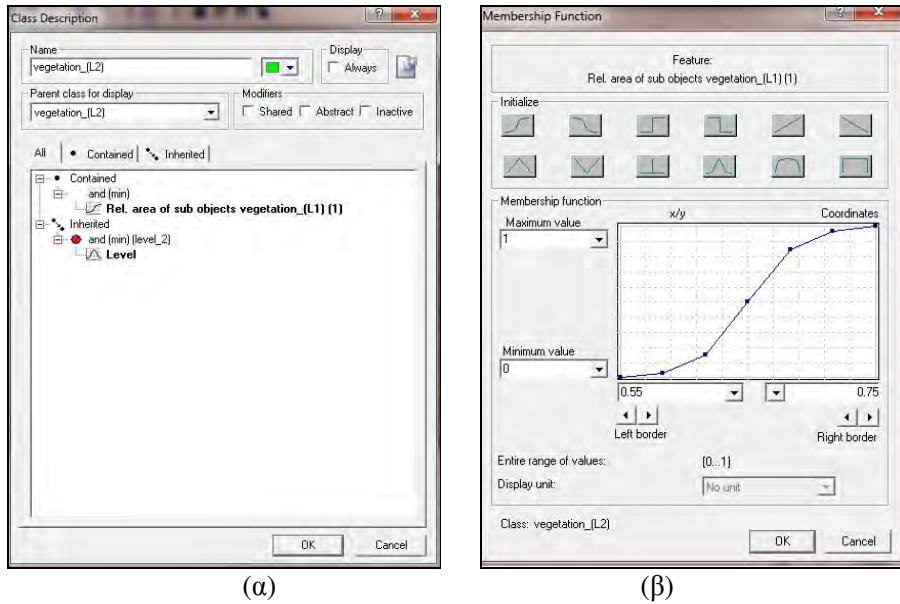


Εικόνα 4.94: Ιεραρχία δεύτερου επιπέδου της απεικόνισης του 2010.

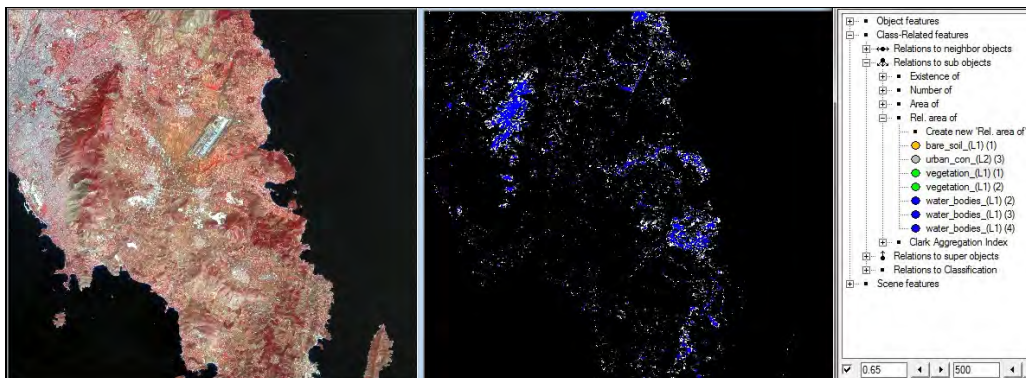
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο	
2	vegetation_(L2)		Rel. area of sub objects vegetation_(L1) (1)		0.55	0.75	
	water_bodies_(L2)		4/1		0.3	0.35	
	mines_(L2)		Existence of super objects mines_(L5) (3)		0	1	
	left_(L2)	and	inv- expres. of vegetation_(L2)				
			inv- expres. of water_bodies_(L2)				
			inv- expres. of mines_(L2)				
	urban_con_(L2)	and	Mean Band 1		110.5	111	
			Mean Slope		20	21	
	urban_disc_(L2)	and	Existence of super objects GLCM_Homogeneity (2)		0	1	
			Mean DEM		490	500	
			Mean Slope		44	45	
			inv- expres. of urban_con_(L2)				
	highway_(L2)		Existence of super objects highway_(L3) (1)		0	1	
	bare_soil_(L2)	and	Rel. area of sub objects bare_soil_(L1) (1)		0.5	0.7	
			inv- expres. of urban_con_(L2)				
			inv- expres. of urban_disc_(L2)				
inv- expres. of highway_(L2)							
other_(L2)	and	inv- expres. of urban_con_(L2)					
		inv- expres. of urban_disc_(L2)					
		inv- expres. of highway_(L2)					
		inv- expres. of bare_soil_(L2)					

Πίνακας 4.57: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 2010.

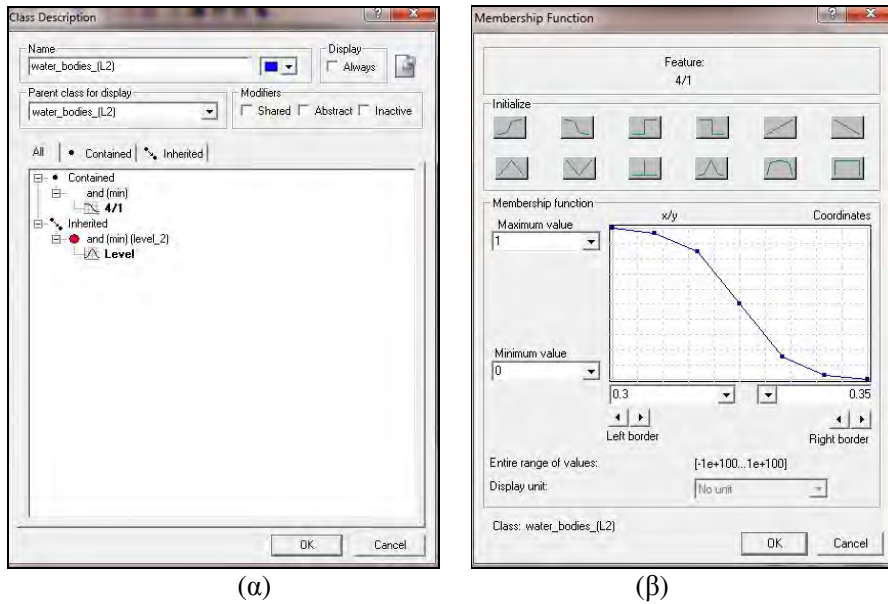
“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”



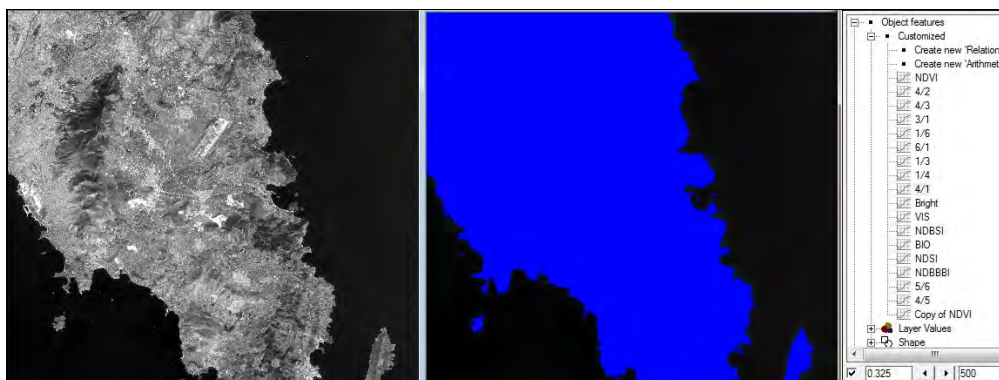
Εικόνα 4.95: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘vegetation’ από ένα επίπεδο σε ανώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.



Εικόνα 4.96: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό της σχετικής επιφάνειας των υπό-αντικειμένων της κατηγορίας ‘vegetation_L2’.



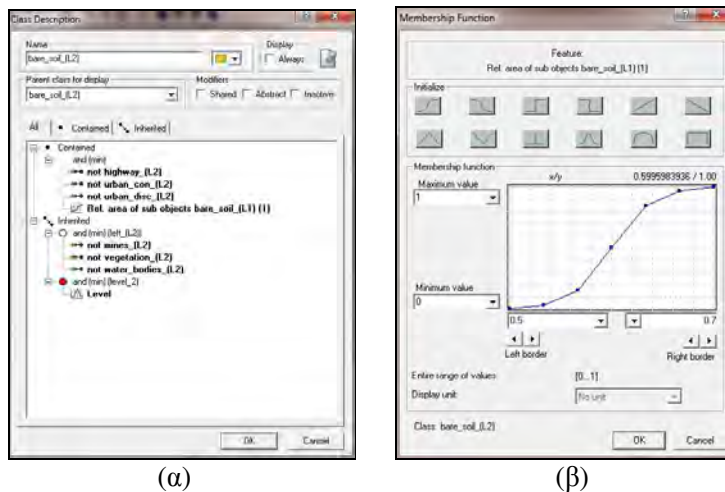
Εικόνα 4.97: (α) Επιλογή λόγου 4/1 ως χαρακτηριστικό ταξινόμησης των υδάτινων επιφανειών, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του λόγου.



Εικόνα 4.98: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό του λόγου 4/1 της κατηγορίας 'water_bodies_(L2)'.



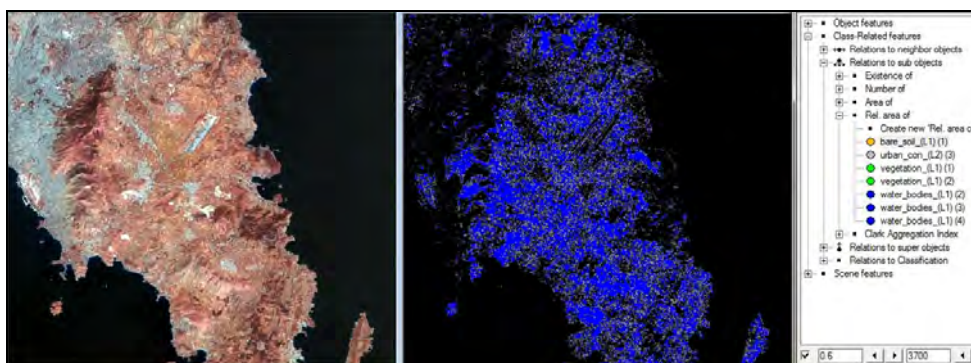
Εικόνα 4.101: Περιγραφή των λοιπών κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2).



(α)

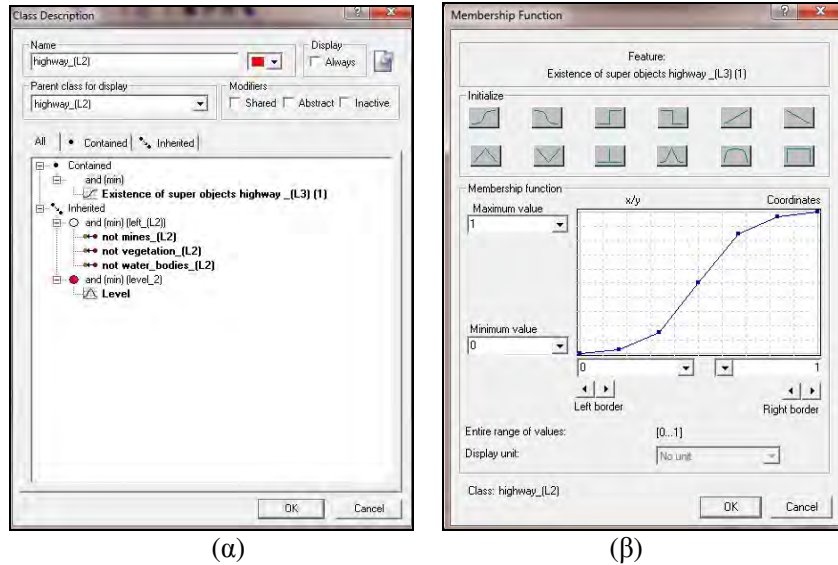
(β)

Εικόνα 4.102: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘bare_soil’ από ένα επίπεδο σε ανώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.



Εικόνα 4.103: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό της σχετικής επιφάνειας των υπό-αντικειμένων της κατηγορίας ‘bare_soil_L2’.

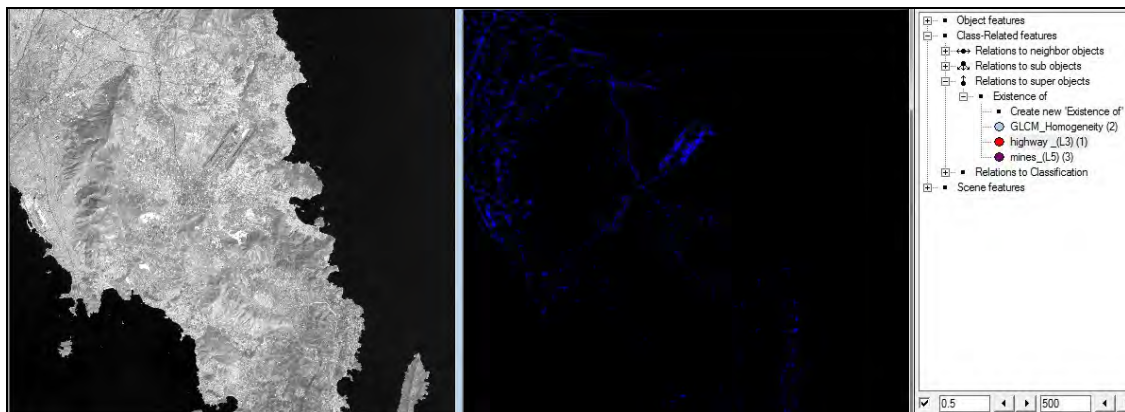
“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”



(α)

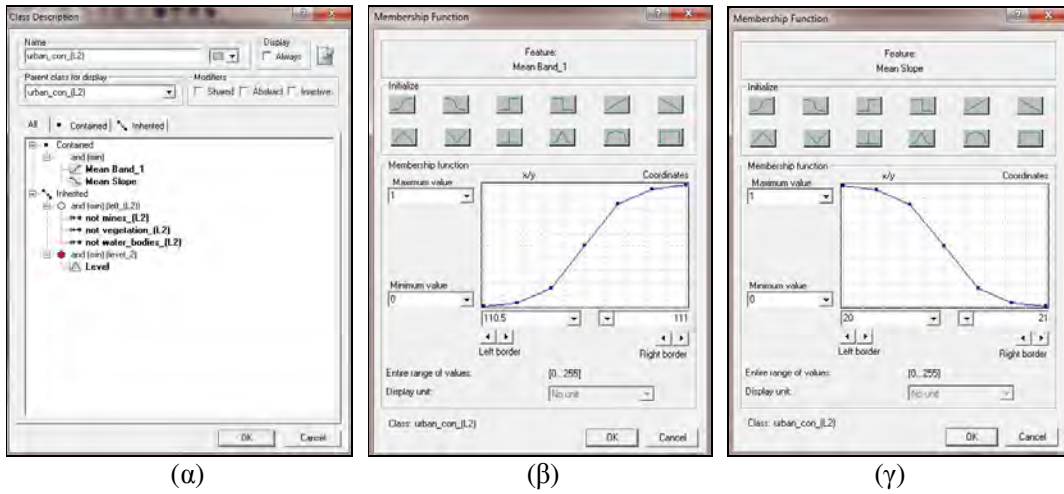
(β)

Εικόνα 4.104: (α) Χαρακτηριστική συνάρτηση μεταφοράς πληροφορίας της κατηγορίας ‘highway’ από ένα επίπεδο σε κατώτερο, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης.

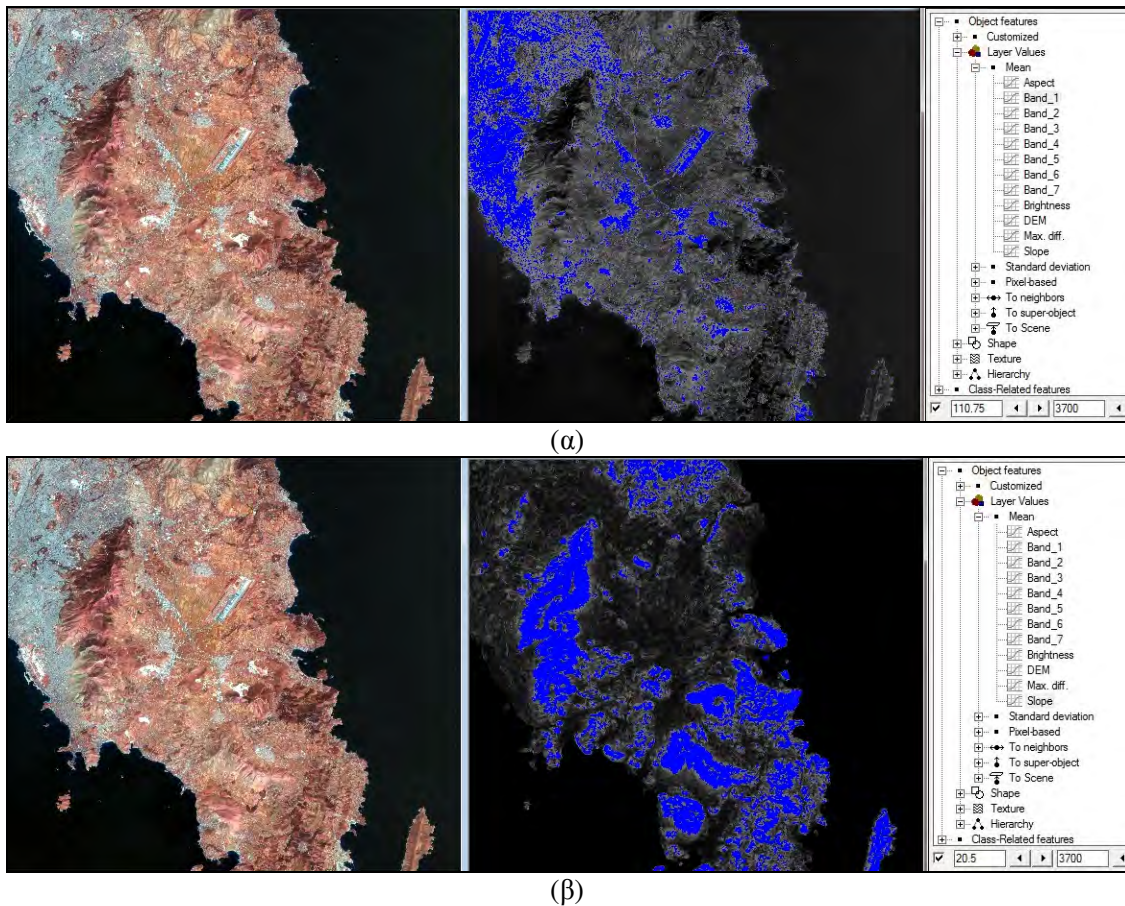


Εικόνα 4.105: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για το χαρακτηριστικό της σχετικής επιφάνειας των υπέρ-αντικειμένων της κατηγορίας ‘highway_(L2)’.

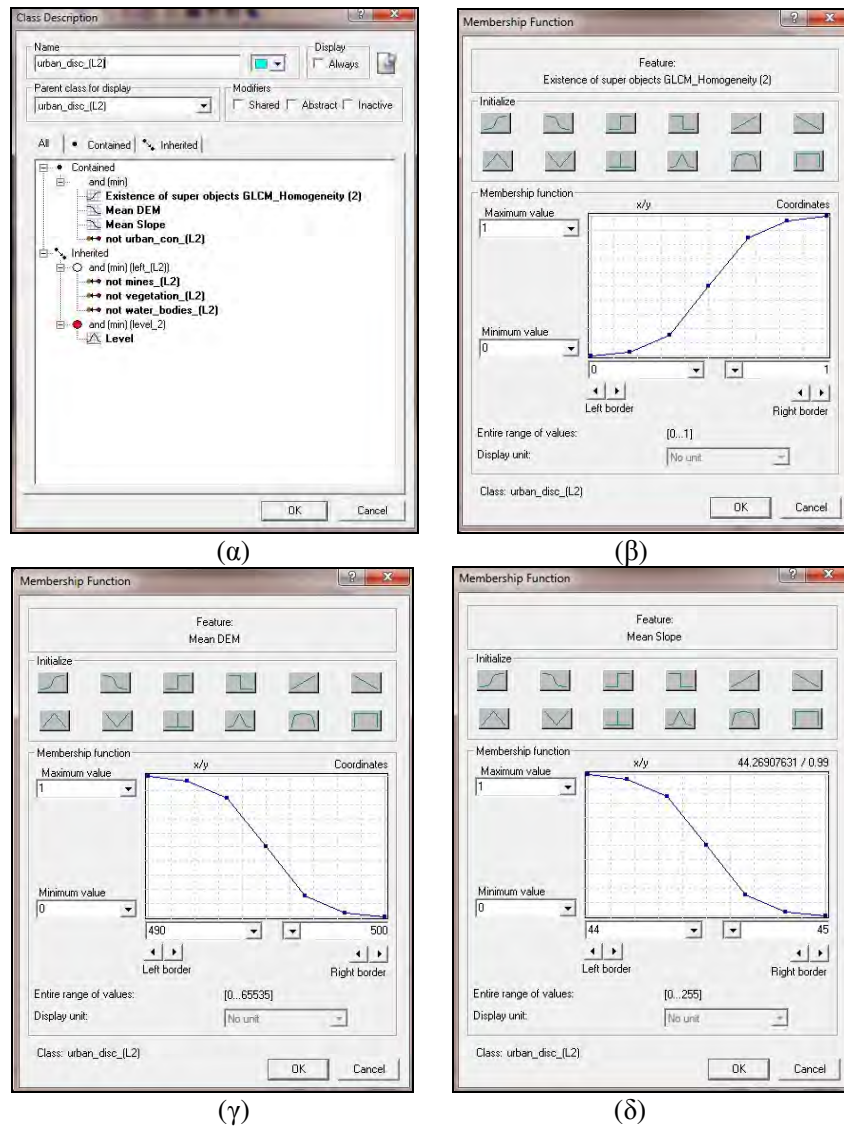
“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”



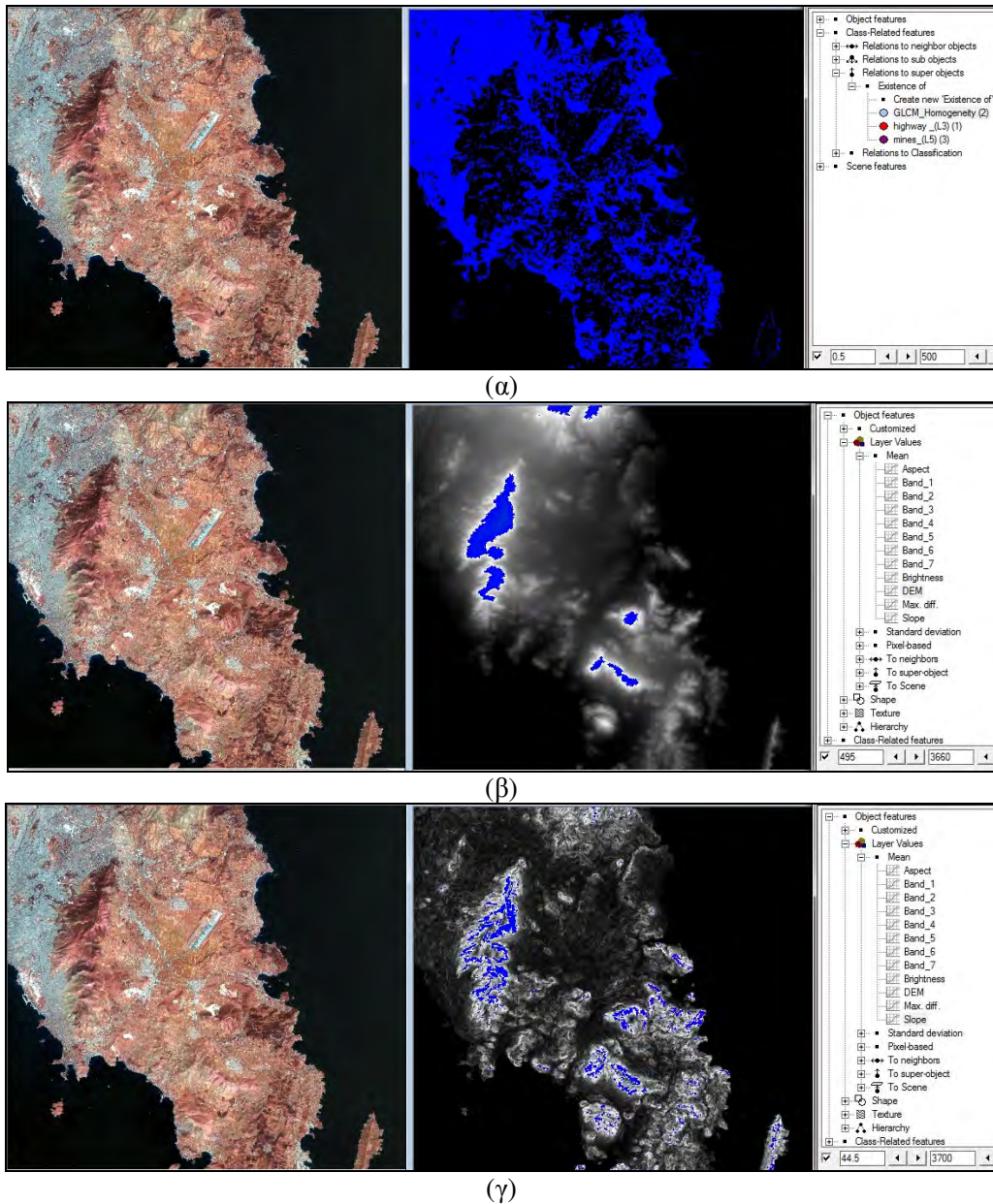
Εικόνα 4.106: (α) Χαρακτηριστικά κατηγορίας συνεχούς αστικής δόμησης στο δεύτερο επίπεδο (Level_2), (β), (γ) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης για κάθε χαρακτηριστικό.



Εικόνα 4.107: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για τα χαρακτηριστικά (α) ‘Band_1’, (β) ‘Slope’ της κατηγορίας ‘urban_con_(L2)’.

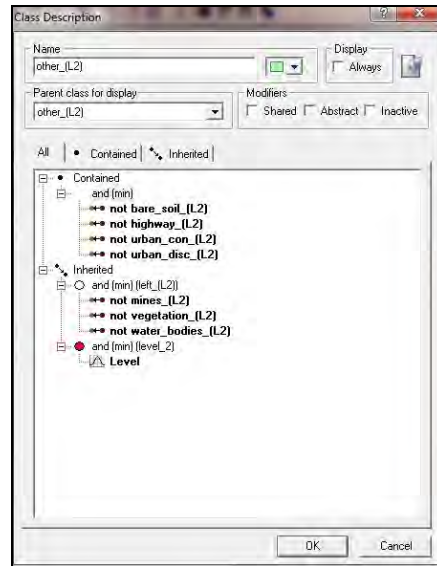


Εικόνα 4.108: (α) Χαρακτηριστικά κατηγορίας μη συνεχούς αστικής δόμησης στο δεύτερο επίπεδο (Level_2), (β)-(δ) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης για κάθε χαρακτηριστικό.

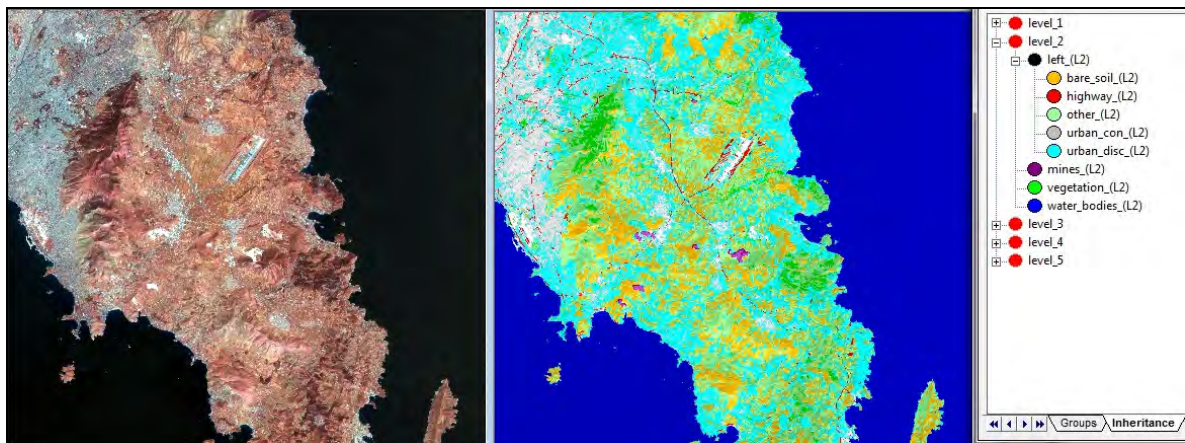


Εικόνα 4.109: Μέση τιμή ασαφούς ζώνης όπου η συνάρτηση συμμετοχής επιστρέφει τιμή 0.5 για τα χαρακτηριστικά (α) ‘GLCM_Homogeneity, (β) ‘DEM’, (γ) ‘Slope’ της κατηγορίας ‘urban_disc_(L2)’.

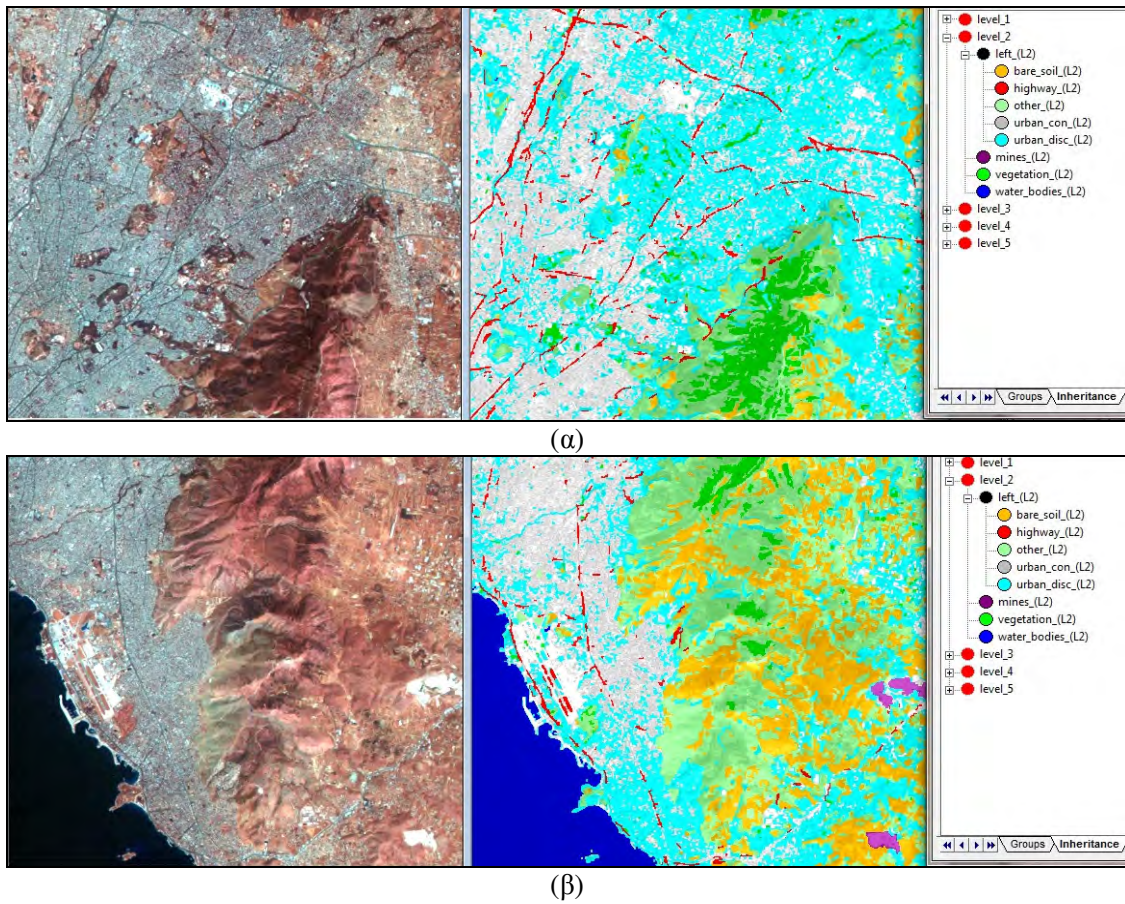
“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”



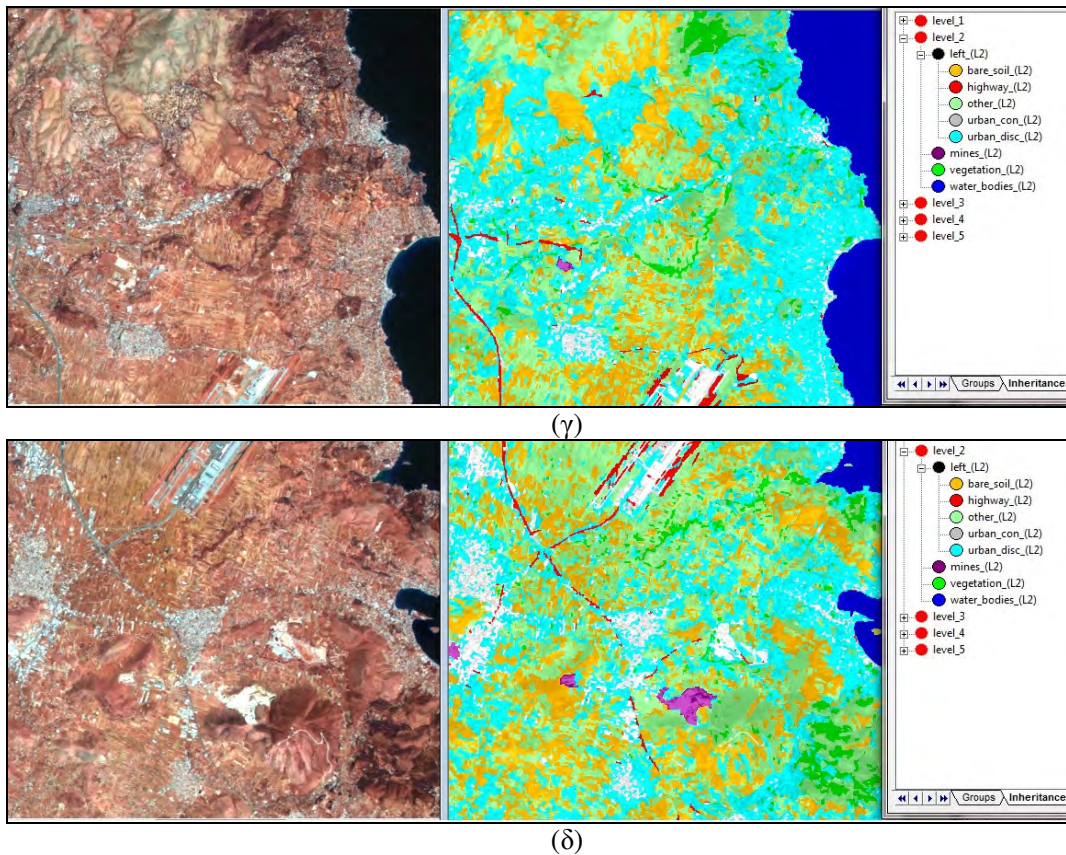
Εικόνα 4.110: Περιγραφή των υπολειπόμενων κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2).



Εικόνα 4.111: Αποτέλεσμα ταξινόμησης με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2010.



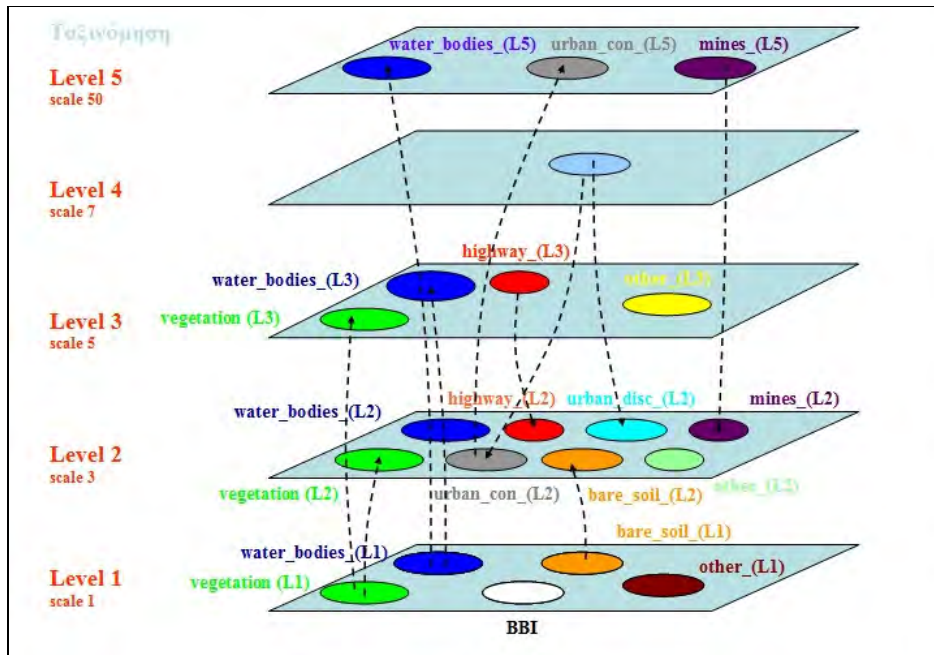
Εικόνα 4.112: (α)-(β) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2010 (I).



Εικόνα 4.113: (γ)-(δ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2010 (II).

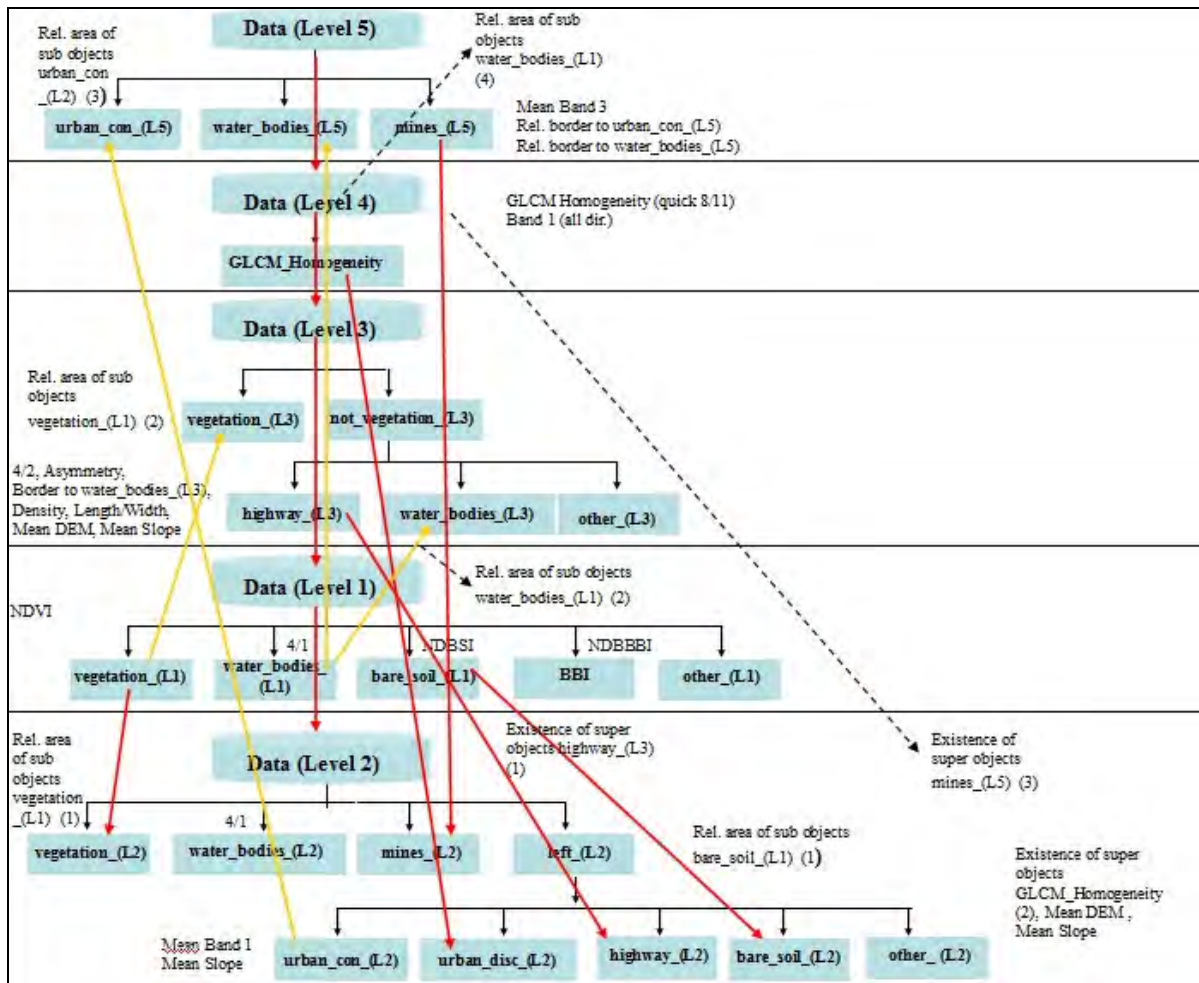
Κατά τη διαδικασία της αξιολόγησης, φαίνεται πως το οδικό δίκτυο δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστο όπως προβάλλεται στο δεύτερο επίπεδο κι αυτό γιατί ο χρήστης είχε αφήσει εν γνώσει του να διεκδικείται από την κατηγορία της συνεχούς αστικής δόμησης, διότι μόνο έτσι μερικά κτήρια, κυρίως του νέου αερολιμένα ταξινομούνται σωστά. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι δοκιμάστηκε και η μεθοδολογία συνένωσης των αντικειμένων του τρίτου επιπέδου με κατάτμηση με βάση την ταξινόμηση (Classification-based segmentation), ώστε να ενοποιηθούν οι δρόμοι, αλλά αφενός τα συνενωμένα αντικείμενα δεν είχαν πάντα μακρόστενο σχήμα ώστε να διαχωριστούν περαιτέρω με τη βοήθεια συναρτήσεων συμμετοχής σχήματος, αφετέρου η συνένωση περιορίζεται από τα όρια του ανώτερου επιπέδου που έχει μικρή διαφορά σε κλίμακα από το τρίτο. Κάτι τέτοιο επιτρέπει μόνο τη δημιουργία λίγο μεγαλύτερων αντικειμένων κατά την συνένωση. Εναλλακτικά θα μπορούσε να διαγραφεί το τέταρτο επίπεδο, αλλά θα έπρεπε να βρεθεί τρόπος να μεταφερθεί η πληροφορία του τέταρτου επιπέδου στο δεύτερο. Το γεγονός αυτό ήταν αρκετά περίπλοκο και το αποτέλεσμα δεν ήταν βέβαιο πως θα ήταν πολύ καλύτερο και για το λόγο αυτό δεν πραγματοποιήθηκε κάτι τέτοιο. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης όμως κρίνεται ικανοποιητικό και η διεκδίκηση των παραπάνω κατηγοριών ανάλογα με τις φασματικές τους υπογραφές και το ποσοστό συμμετοχής είναι αναμενόμενη.

Στο Σχήμα 4.13 που ακολουθεί, απεικονίζονται οι κατηγορίες της ιεραρχίας σε κάθε επίπεδο καθώς και η προέλευση των κατηγοριών που προβάλλονται στο κύριο επίπεδο της ταξινόμησης (Level_2). Το Σχήμα αυτό αντιστοιχεί στην απεικόνιση Landsat για το 2010, ενώ παρόμοια λογική ακολουθείται και για τις εικόνες προηγούμενων χρονολογιών.



Σχήμα 4.13: Προβολή κατηγοριών στο κύριο επίπεδο ταξινόμησης (level_2) για την εικόνα 2010.

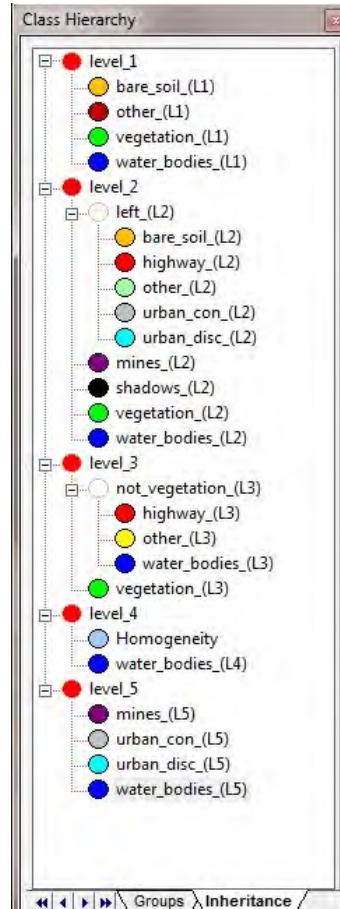
Στο Σχήμα 4.14 παρουσιάζεται μια εναλλακτική και πιο αναλυτική μορφή της προβολής των κατηγοριών μαζί με τους κανόνες που ορίζουν κάθε κατηγορία. Τα επίπεδα δεν τοποθετούνται ανάλογα με την αριθμητική τους προτεραιότητα αλλά σύμφωνα με την προτεραιότητα της προβολής. Για το λόγο αυτό, επειδή οι περισσότερες κατηγορίες προβάλλονται στο δεύτερο επίπεδο, αυτό είναι και το τελευταίο. Τα κόκκινα βέλη αντιστοιχούν στις κατηγορίες που προβάλλονται στο δεύτερο επίπεδο, ενώ τα κίτρινα βέλη αντιστοιχούν στις κατηγορίες που προβάλλονται από τα χαμηλότερα προς τα υψηλότερα επίπεδα.



Σχήμα 4.14: Αναλυτικός αλγόριθμος ταξινόμησης της εικόνας Landsat 2010 με πρόσθετα υψομετρικά δεδομένα και δεδομένα κλίσεων.

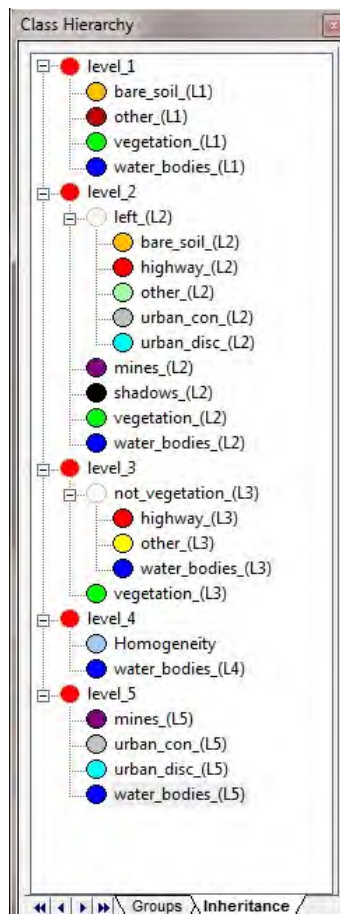
4.2.3. Κανόνες κατηγοριών ανά επίπεδο για τις απεικονίσεις 2003, 2000, 1991 και 1984.

Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται συνοπτικά τα αντίστοιχα αποτελέσματα των τεσσάρων προηγούμενων εικόνων. Η διαδικασία, σε γενικές γραμμές είναι η ίδια, με μερικές μεταβολές στη βάση γνώσης, δηλαδή στις συναρτήσεις συμμετοχής και στα όρια της ασαφούς ζώνης ώστε το αποτέλεσμα μεταξύ των εικόνων να είναι ανάλογο.



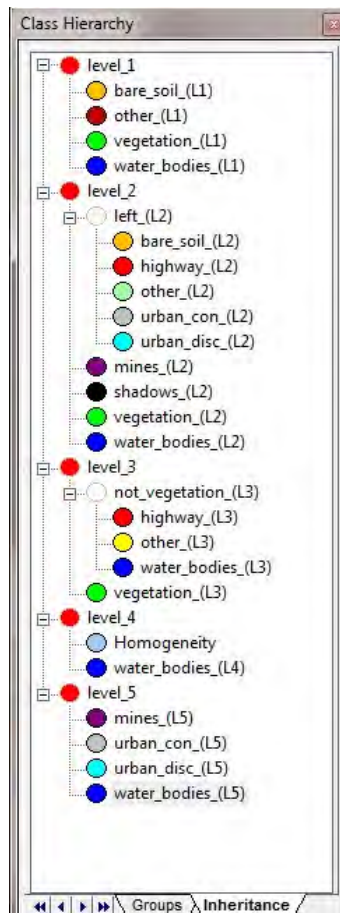
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
1	vegetation_(L1)		NDVI		0.29	0.31
	water_bodies_(L1)		4/1		0.21	0.26
	bare_soil_(L1)	and	NDBSI		0.245	0.25
			inv- expres. of vegetation_(L1)			
	other_(L1)	and	inv- expres. of vegetation_(L1)			
			inv- expres. of water_bodies_(L1)			
			inv- expres. of bare_soil_(L1)			

Πίνακας 4.58: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πρώτο επίπεδο (Level_1) της απεικόνισης του 2003.



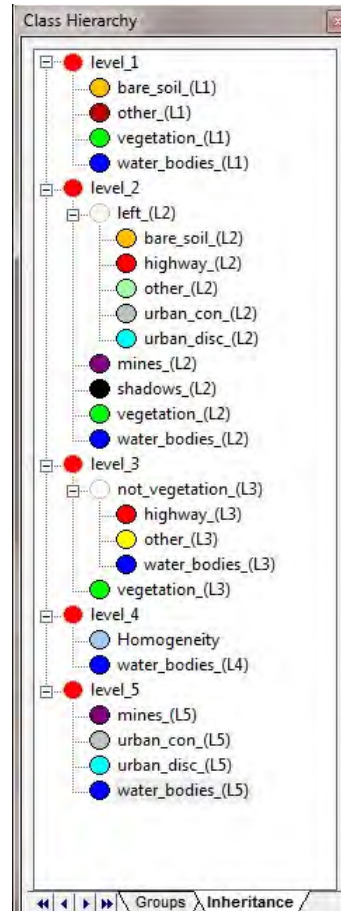
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο	
2	vegetation_(L2)		Rel. area of sub objects vegetation_(L1) (1)		0.55	0.75	
	water_bodies_(L2)	and	Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (1)		0.5	0.7	
			Rel. border to shadows_(L2)		0	0.3	
	shadows_(L2)	and	Mean diff. to scene Band 4		-15	-12	
			Rel. border to water_bodies_(L2)		0	0.5	
			inv- expres. of water_bodies_(L2)				
	mines_(L2)		Existence of super objects mines_(L5) (3)		0	1	
	left_(L2)	and	inv- expres. of vegetation_(L2)				
			inv- expres. of water_bodies_(L2)				
			inv- expres. of mines_(L2)				
inv- expres. of shadows_(L2)							
urban_con_(L2)	and	Mean DEM		440	450		
		Mean Slope		20	21		
		inv- expres. of highway_(L2) 4/2		1.3	1.4		
		or Mean Band 1		91	93		

Πίνακας 4.59: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 2003 (I).



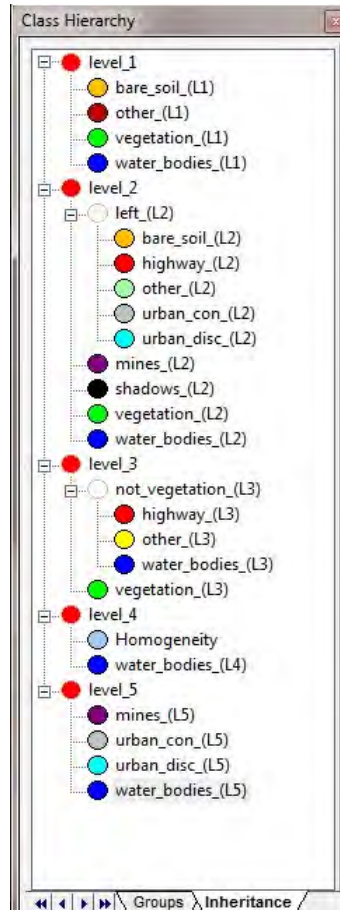
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
2	urban_disc (L2)	and	Existence of super objects _Homogeneity (2)		0	1
			Mean DEM		490	500
			Mean Slope		37	40
			inv- expres. of highway (L2)			
			inv- expres. of urban_con (L2)			
	hoghway (L2)	and	Existence of super objects highway (L3) (1)		0	1
			Mean DEM		570	580
			Mean Slope		20	21
	bare_soil (L2)	and	Rel. area of sub objects bare_soil (L1) (1)		0.5	0.7
			inv- expres. of highway (L2)			
			inv- expres. of urban_con (L2)			
	other (L2)	and	inv- expres. of urban_disc (L2)			
			inv- expres. of bare_soil (L2)			
			inv- expres. of highway (L2)			
				inv- expres. of urban_con (L2)		
			inv- expres. of urban_disc (L2)			

Πίνακας 4.60: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 2003 (II).



Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο	
3	vegetation_(L3)		Rel. area of sub objects vegetation_(L1) (2)		0.3	0.4	
	not_vegetation_(L3)		inv- expres. of vegetation_(L3)				
	highway_(L3)	and	4/2			1.3	1.4
			Asymmetry			0.72	0.74
			Rel. border to water_bodies_(L3)			0	0.5
			Density			1.4	1.5
			Length/Width			2.5	3
	Width			160	170		
	water_bodies_(L3)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (2)		0.5	0.7	
	other_(L3)	and	inv- expres. of highway_(L3)				
inv- expres. of water_bodies_(L3)							

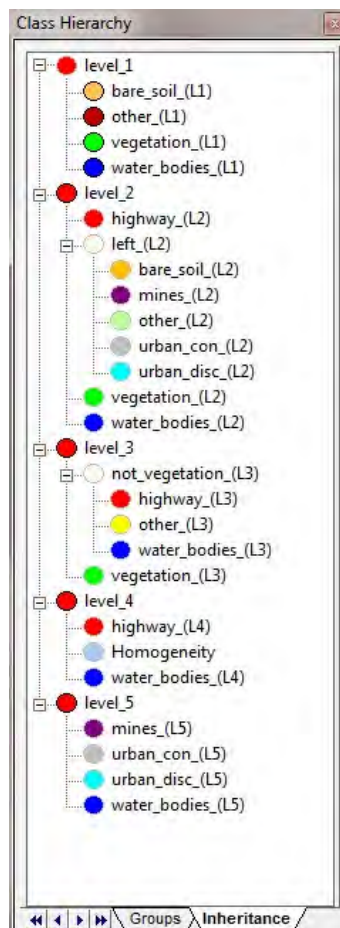
Πίνακας 4.61: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τρίτο επίπεδο (Level_3) της απεικόνισης του 2003.



Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
4	Homogeneity	and	GLCM Homogeneity (quick 8/11) Band 1 (all dir.)		0.17	0.195
			inv- expres. of water_bodies (L4)			
4	water_bodies (L4)		Rel. area of sub objects water_bodies (L1) (3)		0.5	0.7

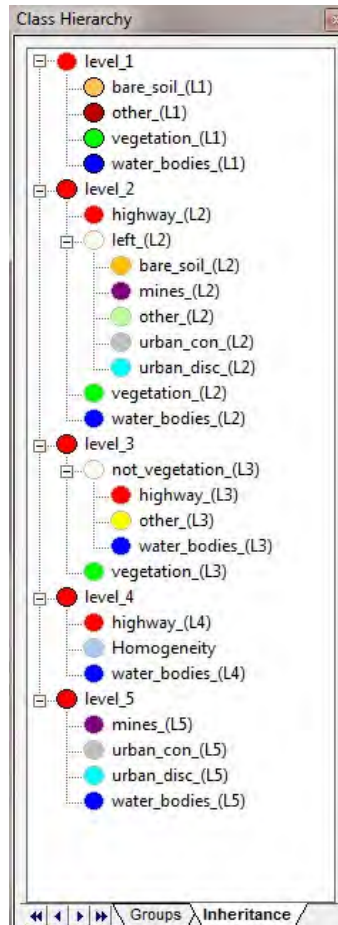
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
5	mines (L5)	and	Mean Band 3		72	73
			Length/Width		3	3.5
			Rel. border to urban_con (L5)		0.2	0.5
			Rel. border to urban_disc (L5)		0.2	0.5
			Rel. border to water_bodies (L5)		0	0.5
	urban_con (L5)		Rel. area of sub objects urban_con (L2) (3)		0.3	1
	urban_disc (L5)		Rel. area of sub objects urban_disc (L2) (3)		0.3	1
	water_bodies (L5)		Rel. area of sub objects water_bodies (L1) (4)		0.5	0.7

Πίνακας 4.62: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τέταρτο και πέμπτο επίπεδο (Level_4 και Level_5) της απεικόνισης του 2003.



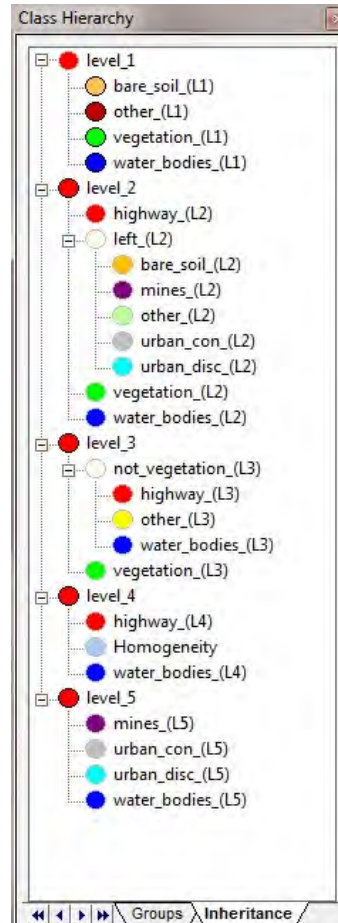
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο	
1	vegetation (L1)		NDVI		-0.06	-0.05	
	water_bodies (L1)		4/1		0.33	0.35	
	bare_soil (L1)	and	NDBSI		0.31	0.34	
	other (L1)			inv- expres. of vegetation (L1)			
				inv- expres. of vegetation (L1)			
			inv- expres. of water_bodies (L1)				
			inv- expres. of bare_soil (L1)				

Πίνακας 4.63: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πρώτο επίπεδο (Level_1) της απεικόνισης του 2000.



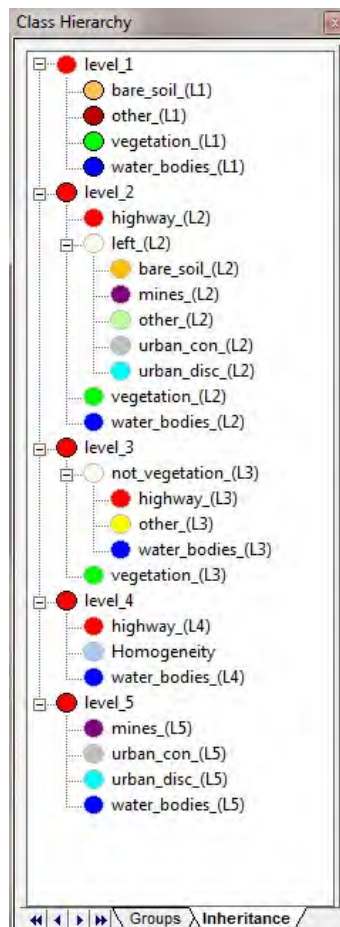
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
2	vegetation_(L2)		Rel. area of sub objects vegetation_(L1) (1)		0.55	0.75
	water_bodies_(L2)	and	Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (1)		0.5	0.7
			inv- expres. of highway_(L2)			
	highway_(L2)		Existence of super objects highway_(L3) (1)		0	1
	left_(L2)	and	inv- expres. of vegetation_(L2)			
			inv- expres. of water_bodies_(L2)			
			inv- expres. of highway_(L2)			
	mines_(L2)		Existence of super objects mines_(L5) (3)		0	1
	urban_con_(L2)	and	Mean Slope		20	21
			4/2		0.71	0.73
inv- expres. of highway_(L2)						
inv- expres. of mines_(L2)						

Πίνακας 4.64: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 2000 (I).



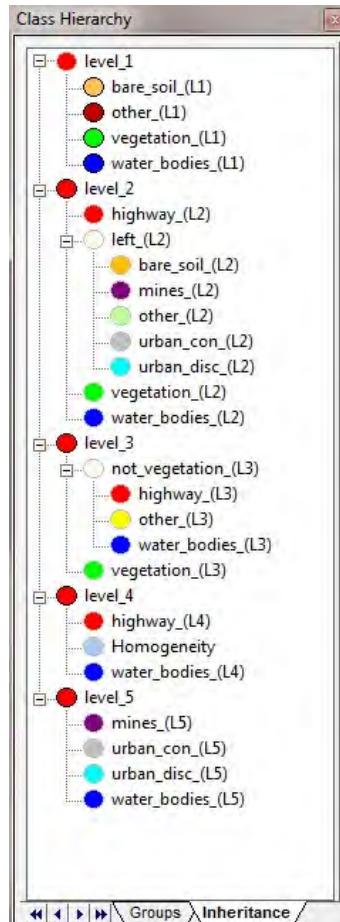
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
2	urban_disc (L2)	and	Existence of super objects Homogeneity (2)		0	1
			Mean DEM		490	500
			Mean Slope		44	45
			inv- expres. of highway (L2)			
	bare_soil (L2)	and	inv- expres. of urban_con (L2)			
			inv- expres. of mines (L2)			
			Rel. area of sub objects bare_soil (L1) (1)		0.5	0.7
	other (L2)	and	inv- expres. of urban_con (L2)			
			inv- expres. of urban_disc (L2)			
			inv- expres. of bare_soil (L2)			
inv- expres. of mines (L2)						

Πίνακας 4.65: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 2000 (II).



Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
3	vegetation_(L3)		Rel. area of sub objects vegetation_(L1) (2)		0.3	0.4
	not_vegetation_(L3)		inv- expres. of vegetation_(L3)			
	highway_(L3)	and	4/2		0.65	0.7
			Density		1	1.25
			Length/Width		2	2.2
			Ratio Band_1		0.15	0.155
		or	Rel. border to water_bodies_(L3)		0	0.5
	water_bodies_(L3)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (2)		0.5	0.7
	other_(L3)	and	inv- expres. of highway_(L3)			
			inv- expres. of water_bodies_(L3)			

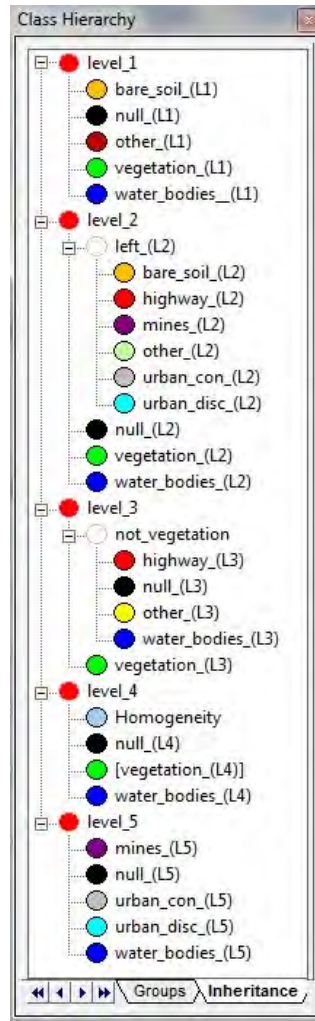
Πίνακας 4.66: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τρίτο επίπεδο (Level_3) της απεικόνισης του 2000.



Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο	
4	Homogeneity	and	GLCM Homogeneity (quick 8/11) Band 1 (all dir.)		0.11	0.12	
			inv- expres. of water_bodies (L4)				
			inv- expres. of highway (L4)				
	water_bodies_(L4)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (3)		0.5	0.7	
	highway_(L4)		Rel. area of sub objects highway_(L3) (1)		0	0.5	

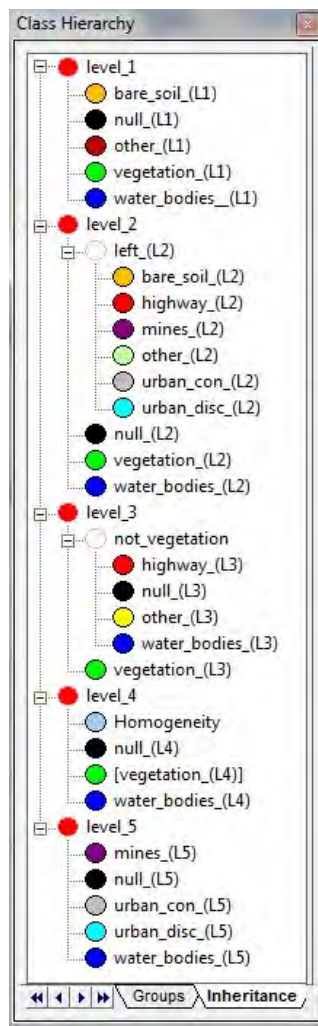
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο	
5	mines_(L5)	and	Area		25000	30000	
			Rel. border to urban_con_(L5)		0.5	0.6	
			inv- expres. of water_bodies_(L5)				
			Mean Band 3		234	234.5	
		or					
		Mean Band 3		179	232		
		urban_con_(L5)		Rel. area of sub objects urban_con_(L2) (3)		0.3	1
	urban_disc_(L5)		Rel. area of sub objects urban_disc_(L2) (3)		0.3	1	
	water_bodies_(L5)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (4)		0.5	0.7	

Πίνακας 4.67: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τέταρτο και πέμπτο επίπεδο (Level_4 και Level_5) της απεικόνισης του 2000.



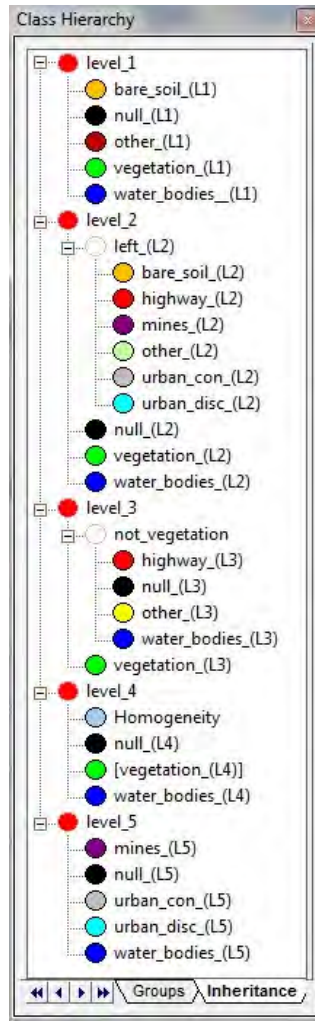
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
1	null_(L1)		Existence of super objects null_(L2) (1)		0	1
	vegetation_(L1)	and	NDVI		0.18	0.2
			inv- expres. of null_(L1)			
	water_bodies_(L1)	and	4/1		0.22	0.27
			inv- expres. of null_(L1)			
	bare_soil_(L1)	and	NDBSI		0.23	0.25
			inv- expres. of vegetation_(L1)			
			inv- expres. of null_(L1)			
	other_(L1)	and	inv- expres. of vegetation_(L1)			
			inv- expres. of water_bodies_(L1)			
inv- expres. of bare_soil_(L1)						
			inv- expres. of null_(L1)			

Πίνακας 4.68: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πρώτο επίπεδο (Level_1) της απεικόνισης του 1991.



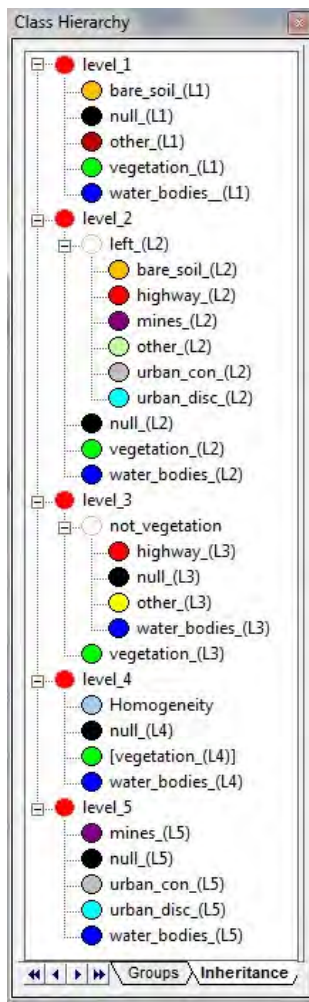
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
2	null_(L2)	or	Mean Band 1		-1	1
			Mean Band 2		-1	1
			Mean Band 3		-1	1
			Mean Band 4		-1	1
	vegetation_(L2)	and	Rel. area of sub objects vegetation_(L1) (1) inv- expres. of null_(L2)		0.55	0.75
	water_bodies_(L2)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (1) inv- expres. of vegetation_(L2)		0.5	0.7
	left_(L2)	and	inv- expres. of water_bodies_(L2) inv- expres. of null_(L2)			
	highway_(L2)	and	Existence of super objects highway_(L3) (1)		0	1
			Mean DEM Mean Slope		570 20	580 21
	mines_(L2)		Existence of super objects mines_(L5) (3)		0	1

Πίνακας 4.69: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 1991 (I).



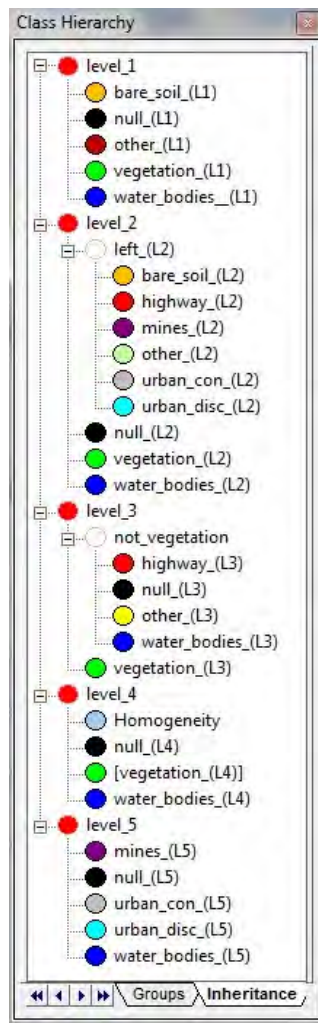
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
2	urban_con_(L2)	and	Mean Slope		20	21
			inv- expres. of highway_(L2)			
			inv- expres. of mines_(L2)			
	urban_disc_(L2)	and	4/2		1.23	1.25
			Existence of super objects Homogeneity (2)		0	1
			Mean DEM		570	580
			Mean Slope		44	45
			inv- expres. of highway_(L2)			
			inv- expres. of urban_con_(L2)			
	bare_soil_(L2)	and	inv- expres. of mines_(L2)			
			inv- expres. of urban_con_(L2)			
			inv- expres. of urban_disc_(L2)			
other_(L2)	and	inv- expres. of bare soil_(L2)				
		inv- expres. of highway_(L2)				
		inv- expres. of mines_(L2)				

Πίνακας 4.70: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 1991 (II).



Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο	
3	vegetation_(L3)		Rel. area of sub objects vegetation_(L1) (2)		0	1	
	not_vegetation_(L3)		inv- expres. of vegetation_(L3)				
	highway_(L3)	and	4/2			1.35	1.4
			Asymmetry			0.87	0.89
			Density			1.4	1.5
			Length/Width			2.5	3
			Mean Band 4			52	53
			Border to water_bodies_(L3)			0	1
	water_bodies_(L3)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (2)		0.5	0.7	
	null_(L3)		Rel. area of sub objects null_(L2) (1)		0	1	
	other_(L3)	and	inv- expres. of highway_(L3)				
			inv- expres. of water_bodies_(L3)				
inv- expres. of null_(L3)							

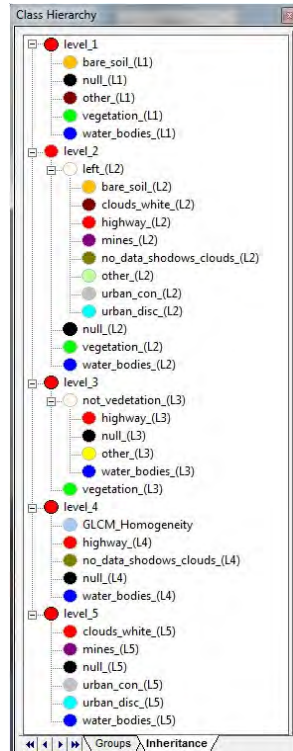
Πίνακας 4.71: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τρίτο επίπεδο (Level_3) της απεικόνισης του 1991.



Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
4	Homogeneity		GLCM Homogeneity (quick 8/11) Band 1 (all dir.)		0.2	0.21
	water_bodies_(L4)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (3)		0.5	0.7
	null_(L4)		Rel. area of sub objects null_(L2) (2)		0	1

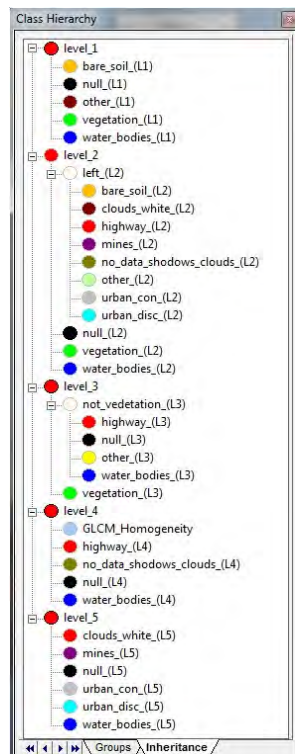
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
5	mines_(L5)	and	Mean Band 3		70	85
			Length/Width		3	3.5
			Rel. border to urban_con_(L5)		0	0.3
			Rel. border to urban_disc_(L5)		0	0.5
	urban_con_(L5)		Rel. area of sub objects urban_con_(L2) (3)		0.5	1
	urban_disc_(L5)		Rel. area of sub objects urban_disc_(L2) (3)		0.5	1
	water_bodies_(L5)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (4)		0.5	0.7
	null_(L5)		Rel. area of sub objects null_(L2) (3)		0	1

Πίνακας 4.72: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τέταρτο και πέμπτο επίπεδο (Level_4 και Level_5) της απεικόνισης του 1991.



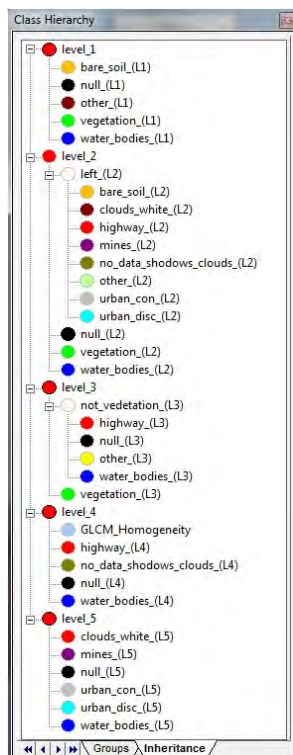
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
1	null_(L1)		Existence of super objects null_(L2) (1)		0	1
	vegetation_(L1)	and	NDVI		0.23	0.24
			inv- expres. of null_(L1)			
	water_bodies_(L1)	and	4/1		0.3	0.32
			inv- expres. of null_(L1)			
	bare_soil_(L1)	and	NDBSI		0.18	0.2
			inv- expres. of vegetation_(L1)			
			inv- expres. of null_(L1)			
	other_(L1)	and	inv- expres. of vegetation_(L1)			
			inv- expres. of water_bodies_(L1)			
inv- expres. of bare_soil_(L1)						
			inv- expres. of null_(L1)			

Πίνακας 4.73: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πρώτο επίπεδο (Level_1) της απεικόνισης του 1984.



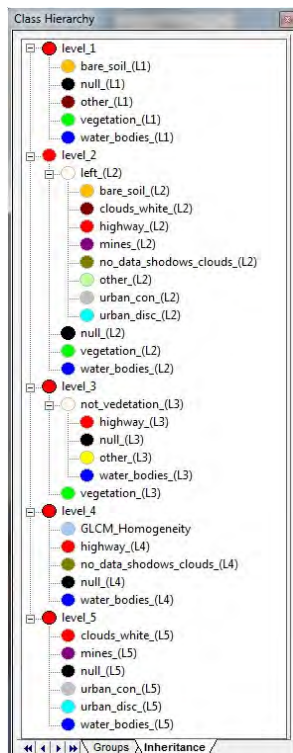
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
2	vegetation_(L2)		Rel. area of sub objects vegetation_(L1) (1)		0.55	0.75
	water_bodies_(L2)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (1)		0.33	0.35
	null_(L2)	and	Mean Band 1		-1	1
			Mean Band 2		-1	1
			Mean Band 3		-1	1
	left_(L2)	and	inv- expres. of vegetation_(L2) inv- expres. of water_bodies_(L2) inv- expres. of null_(L2)			
	highway_(L2)	and	Existence of super objects highway_(L4) (2)		0	1
			inv- expres. of clouds_white_(L2)			
	mines_(L2)	and	Existence of super objects mines_(L5) (3)		0	1
	urban_con_(L2)	and	Mean Slope		20	21
			4/2		1.4	1.42
			inv- expres. of highway_(L2)			
inv- expres. of mines_(L2)						
			inv- expres. of clouds_white_(L2)			

Πίνακας 4.74: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 1984 (I).



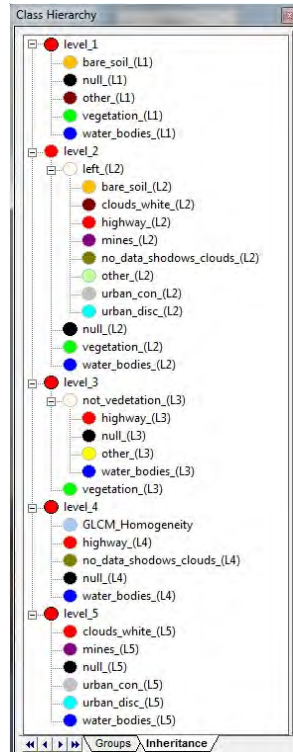
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
2	urban_disc (L2)	and	Existence of super objects GLCM_Homogeneity (2)		0	1
			Mean DEM		490	495
			Mean Slope		44	45
			inv- expres. of clouds_white (L2)			
			inv- expres. of urban_con (L2)			
			inv- expres. of mines (L2)			
	clouds_white (L2)	and	4/3		1.3	1.35
			4/5		0.6	0.75
			5/6		0.7	0.9
			Mean Band 3		73	74
			Mean Band 6		143	147
			Rel. border to mines (L2)		0.8	1
			inv- expres. of mines (L2)			

Πίνακας 4.75: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 1984 (II).



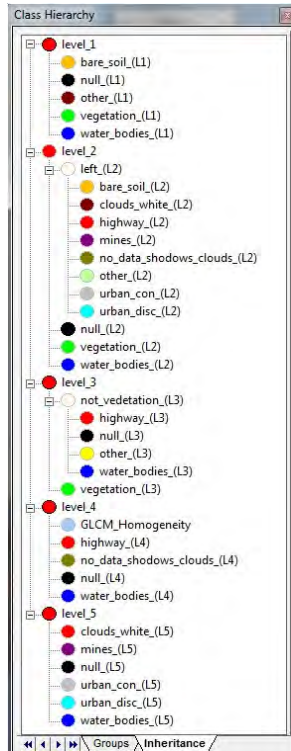
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
2	no_data_shadows_clouds (L2)	and	Ratio to scene band 4		0.8	1.2
			Rel. border to water_bodies (L2)		0	0.1
	bare_soil (L2)	and	Rel. area of sub objects bare_soil (L1) (1)		0.5	0.7
			inv- expres. of mines (L2)			
			inv- expres. of urban_con (L2)			
			inv- expres. of urban_disc (L2)			
			inv- expres. of clouds_white (L2)			
			inv- expres. of hirhway (L2)			
	other (L2)	and	inv- expres. of no_data_shadows clouds (L2)			
			inv- expres. of bare_soil (L2)			
inv- expres. of highway (L2)						
inv- expres. of urban_con (L2)						
			inv- expres. of urban_disc (L2)			
			inv- expres. of mines (L2)			
			inv- expres. of clouds_white (L2)			
			inv- expres. of no_data_shadows clouds (L2)			

Πίνακας 4.76: Ιεραρχία των κατηγοριών για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) της απεικόνισης του 1984 (III).



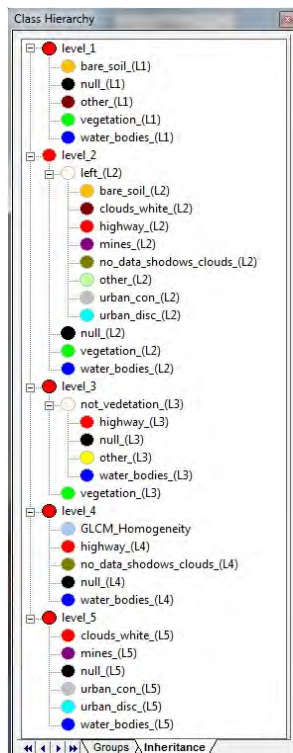
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο	
3	vegetation_(L3)		Rel. area of sub objects vegetation_(L1) (2)		0.33	0.37	
	not_vegetation_(L3)		inv- expres. of vegetation_(L3)				
	highway_(L3)	and	4/2			1.35	1.4
			Asymmetry			0.75	0.76
			Density			1.4	1.5
			Length/Width			2.5	3
			Border to water_bodies_(L3)			0	1
	water_bodies_(L3)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (2)		0.5	0.7	
	other_(L3)	and	inv- expres. of highway_(L3)				
			inv- expres. of water_bodies_(L3)				
inv- expres. of null_(L3)							
null_(L3)		Rel. area of sub objects null_(L2) (1)		0	1		

Πίνακας 4.77: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τρίτο επίπεδο (Level_3) της απεικόνισης του 1984.



Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
4	GLCM_Homogeneity	and	GLCM Homogeneity (quick 8/11) Band 1 (all dir.)		0.16	0.17
			inv- expres. of highway_(L4)			
	water_bodies_(L4)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (3)		0.5	0.7
	highway_(L4)	and	Rel. area of sub objects higheay_(L3) (1)		0	1
			Density		1	1.2
			Lengh/Width		2	3
	no_data_shadows_clouds_(L4)	and	Mean diff to scene Band 4		2	3
			inv- expres. of GLCM Homogeneity_(L4)			
			inv- expres. of water_bodies_(L4)			
	inv- expres. of null_(L4)					
null_(L4)			Rel. area of sub objects null_(L2) (2)		0	1

Πίνακας 4.78: Ιεραρχία των κατηγοριών για το τέταρτο επίπεδο (Level_4) της απεικόνισης του 1984.



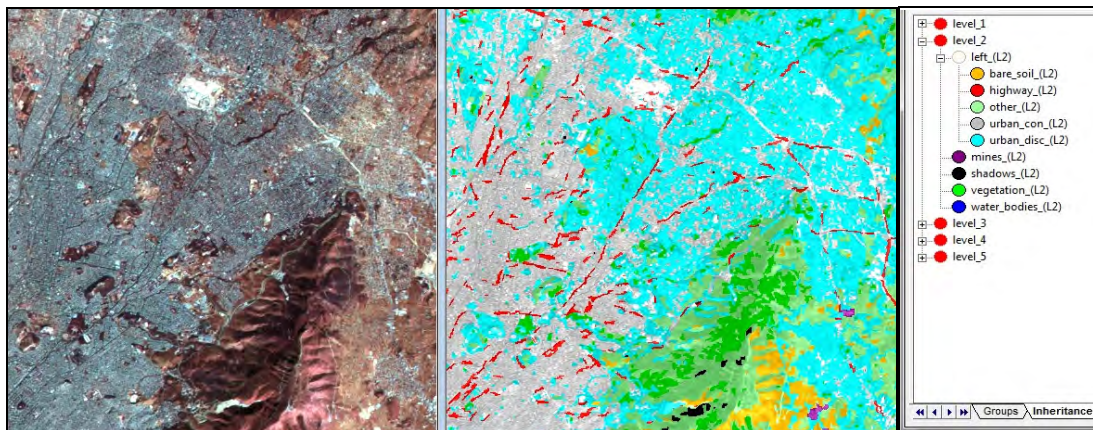
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξιά Όριο
5	mines_(L5)	and	Length/Width		3	3.5
			Mean Band 3		85	90
			Rel. border to urban_disc_(L5)		0	0.9
			inv- expres. of clouds_white_(L5)			
	clouds_white_(L5)		Rel. area of sub objects clouds_white_(L2) (3)		0	1
	water_bodies_(L5)		Rel. area of sub objects water_bodies_(L1) (4)		0.5	0.7
urban_con_(L5)		Rel. area of sub objects urban_con_(L2) (3)		0	1	
urban_disc_(L5)		Rel. area of sub objects urban_disc_(L2) (3)		0	1	
null_(L5)		Rel. area of sub objects null_(L2) (3)		0	1	

Πίνακας 4.79: Ιεραρχία των κατηγοριών για το πέμπτο επίπεδο (Level_5) της απεικόνισης του 1984.

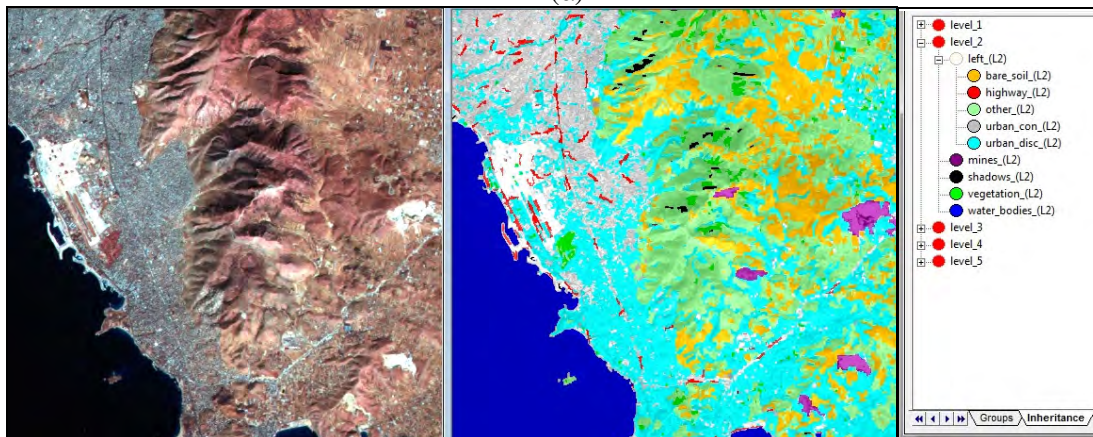
4.2.4. Παρουσίαση ταξινομήσεων για τις υπόλοιπες απεικονίσεις

Σε αυτό το υπεδάφιο πρόκειται να παρουσιαστούν συνοπτικά οι ταξινομήσεις μόνο του δεύτερου επιπέδου για τις υπόλοιπες χρονιές.

4.2.4.1 Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση απεικόνισης 2003 (Level 2)

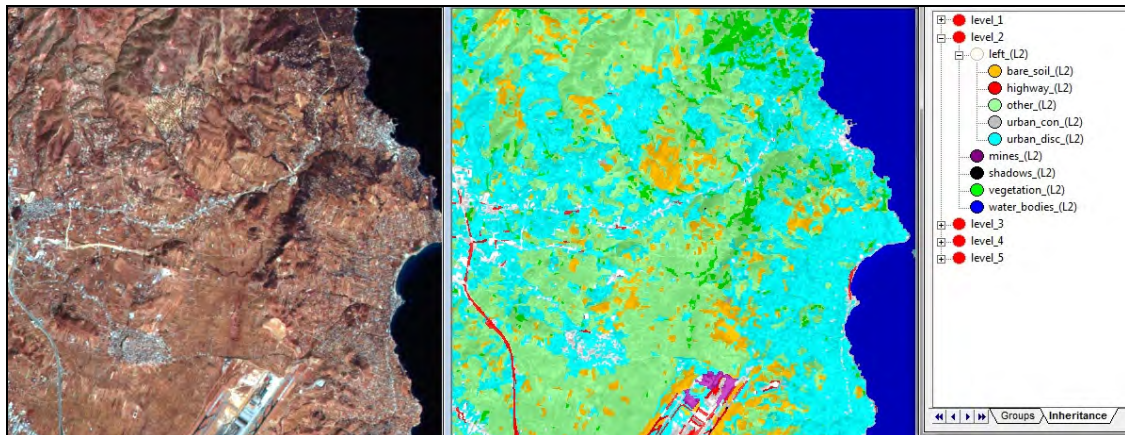


(α)

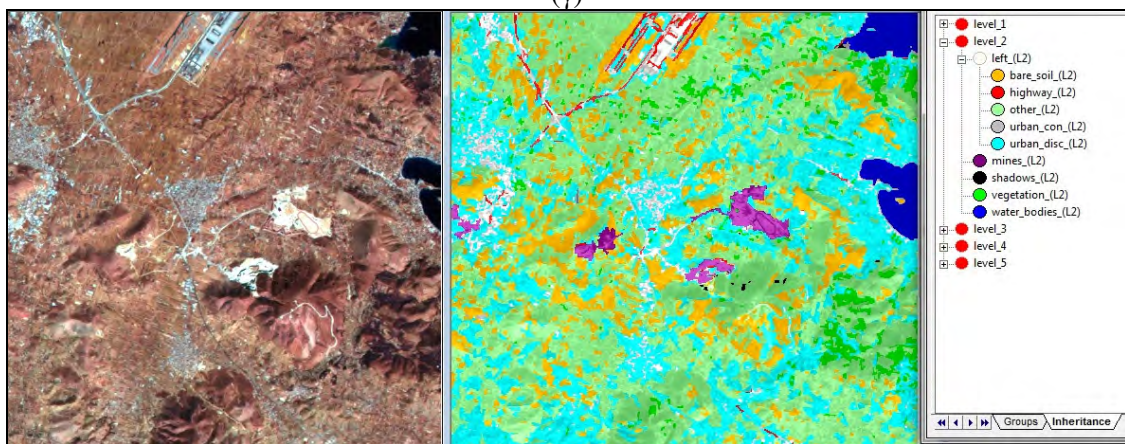


(β)

Εικόνα 4.114: (α)-(β) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2003 (I).

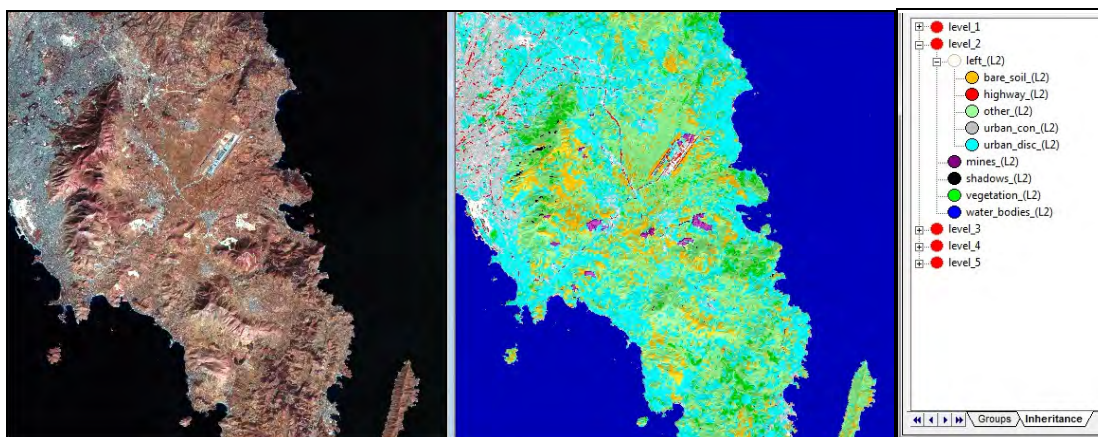


(γ)



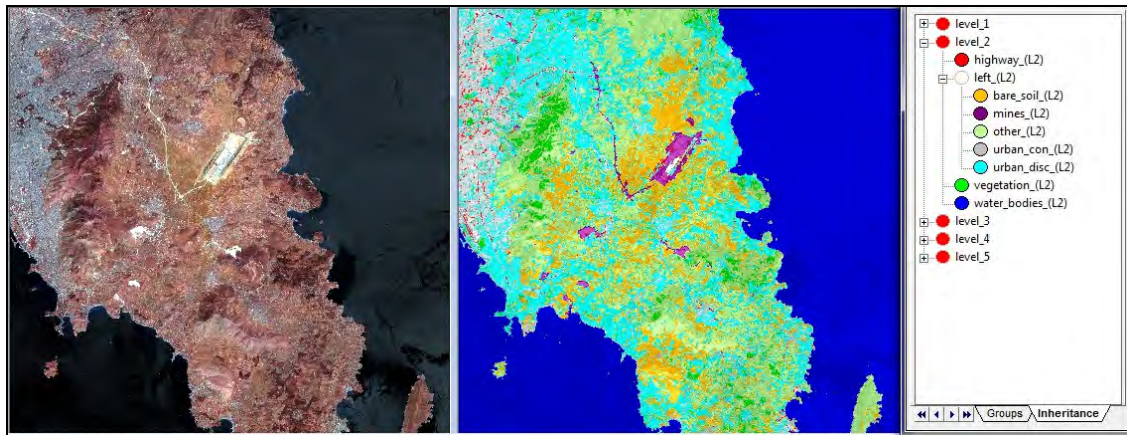
(δ)

Εικόνα 4.115: (γ)-(δ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2003 (II).

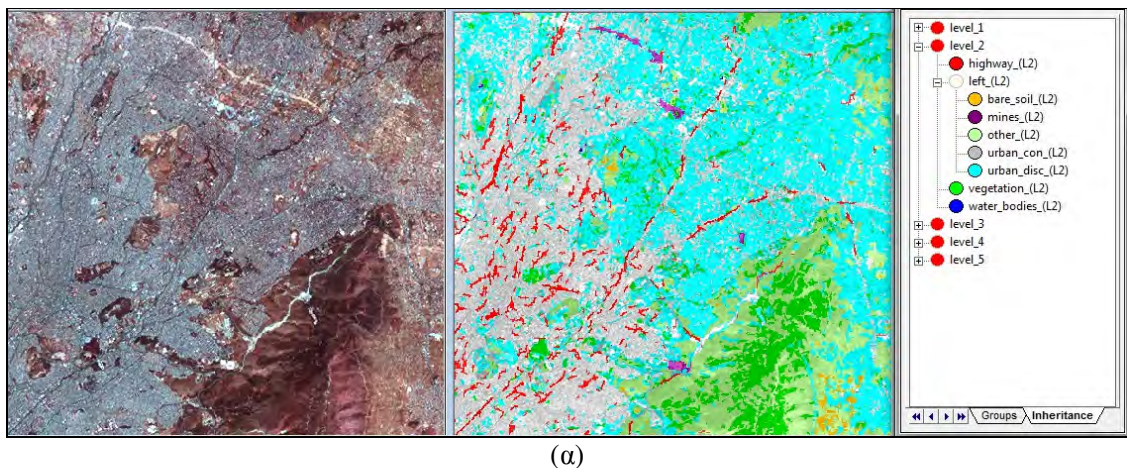


Εικόνα 4.116 : Αποτέλεσμα ταξινόμησης με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2003.

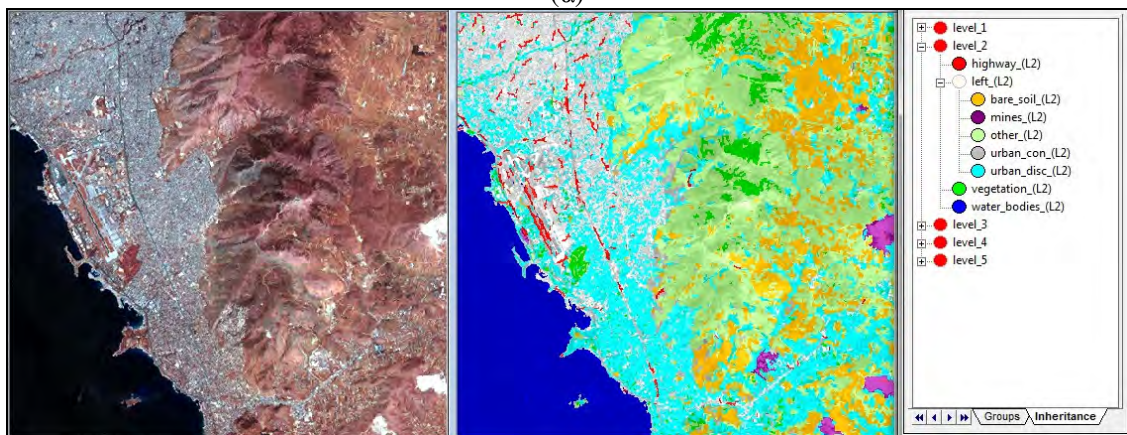
4.2.4.2 Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση απεικόνισης 2000 (Level 2)



Εικόνα 4.117: Αποτέλεσμα ταξινόμησης με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2000.

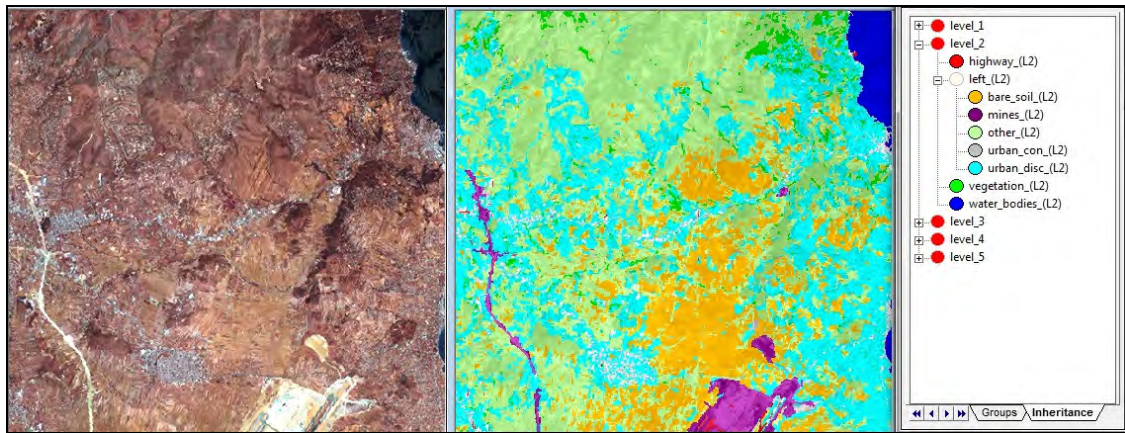


(α)

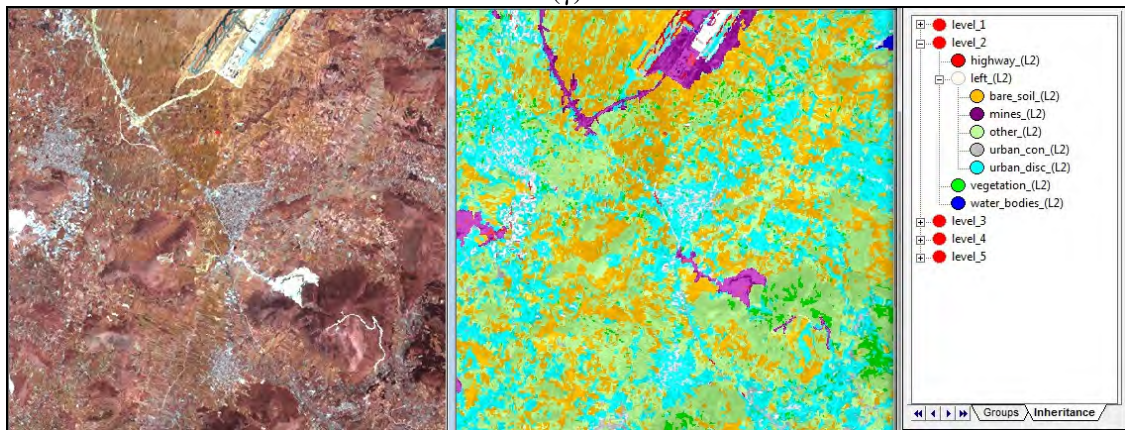


(β)

Εικόνα 4.118: (α)-(β) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2000 (I).



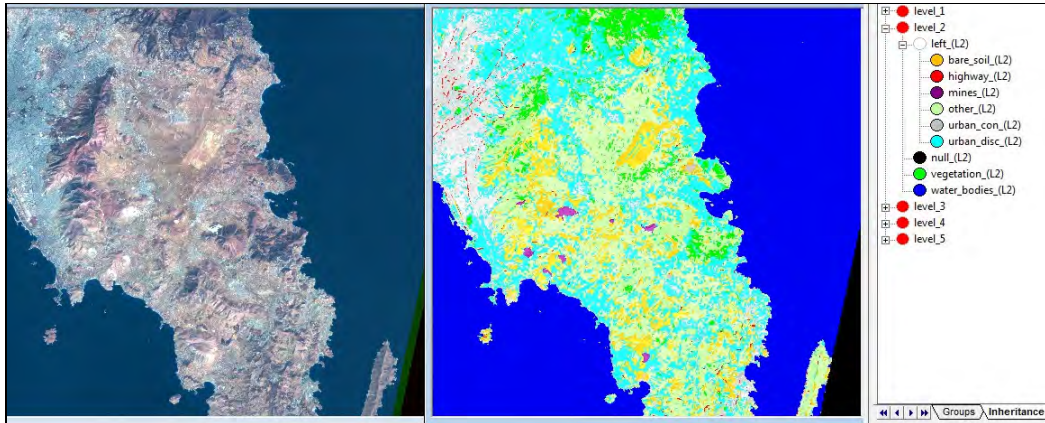
(γ)



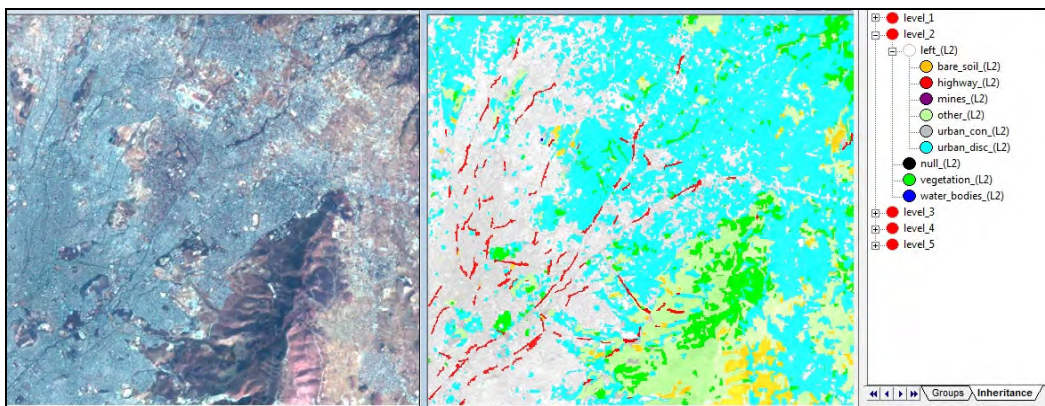
(δ)

Εικόνα 4.119: (γ)-(δ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 2000 (II).

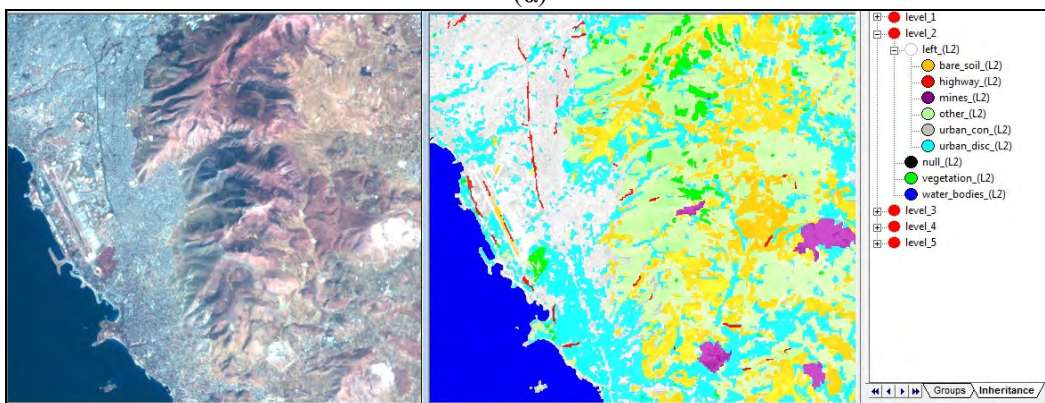
4.2.4.3 Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση απεικόνισης 1991 (Level 2)



Εικόνα 4.120: Αποτέλεσμα ταξινόμησης με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 1991.



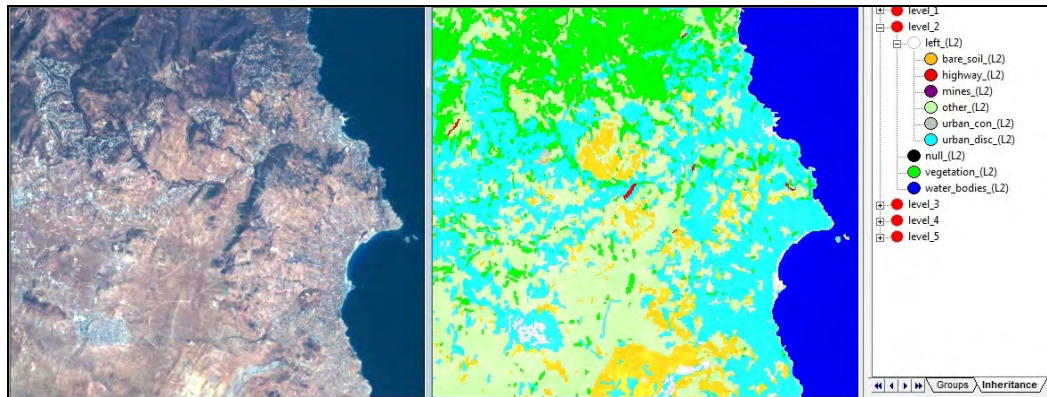
(α)



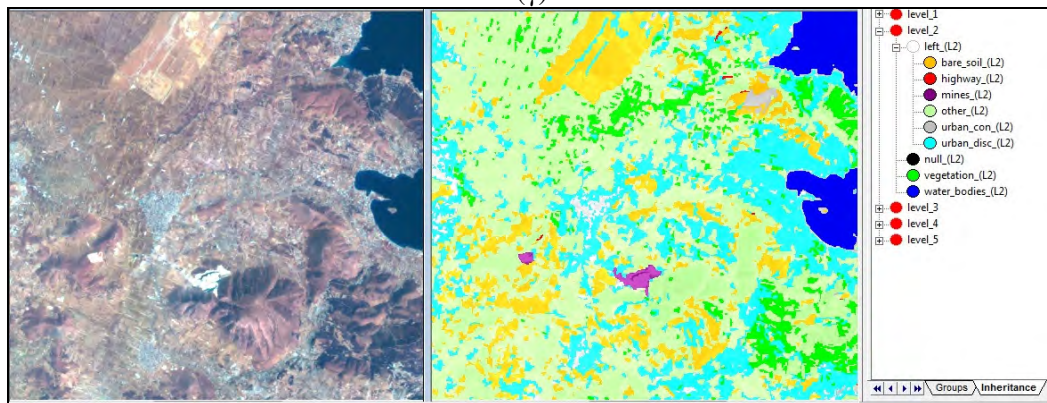
(β)

Εικόνα 4.121: (α)-(β) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 1991 (I).

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”



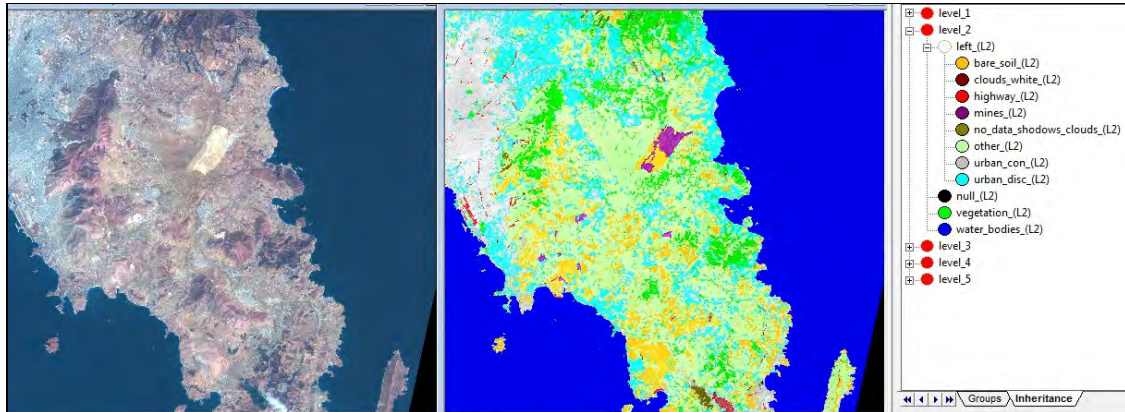
(γ)



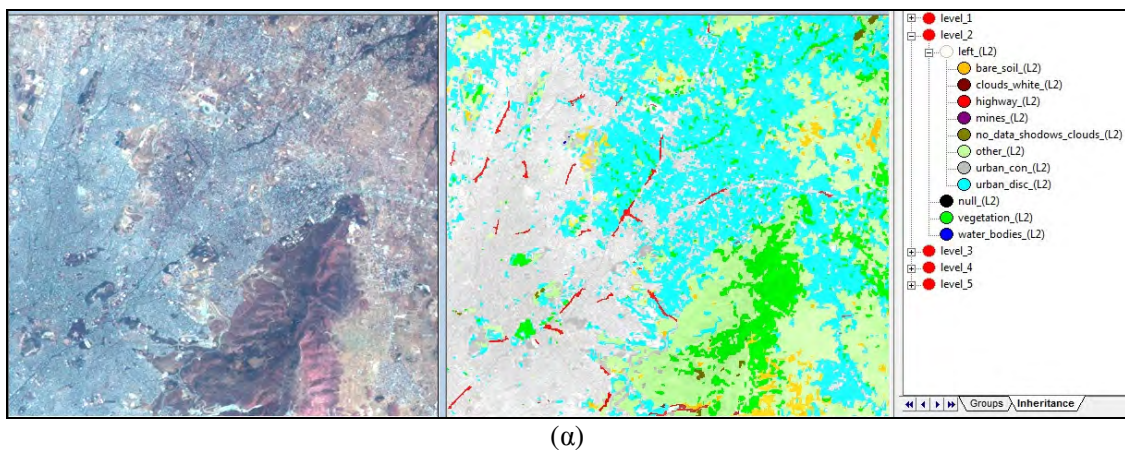
(δ)

Εικόνα 4.122: (γ)-(δ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 1991 (II).

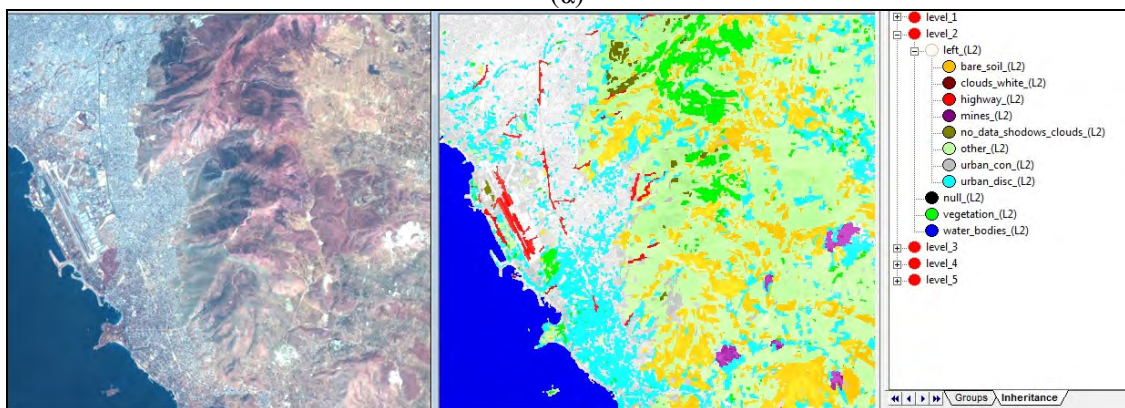
4.2.4.4 Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση απεικόνισης 1984 (Level 2)



Εικόνα 4.123: Αποτέλεσμα ταξινόμησης με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 1984.

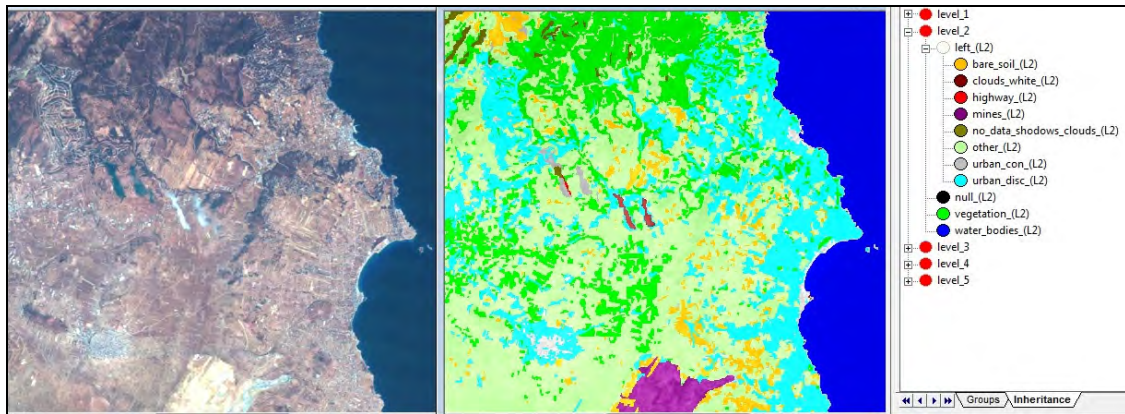


(α)

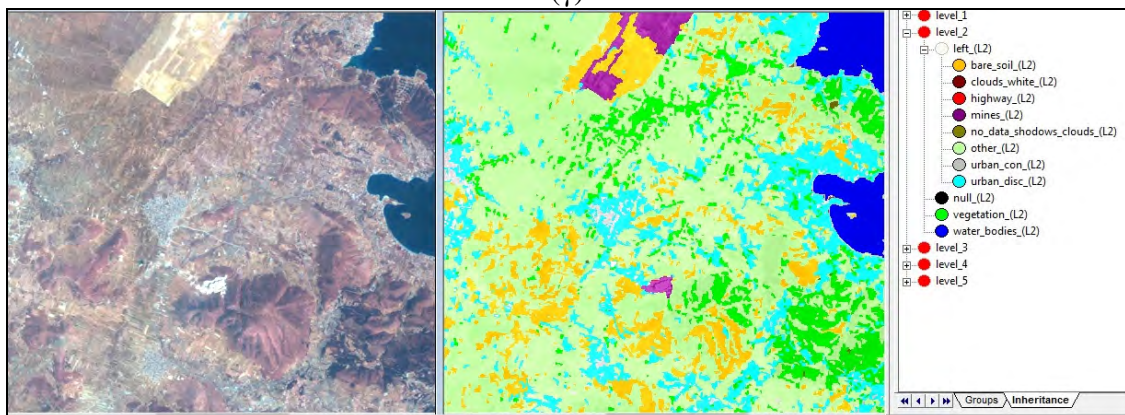


(β)

Εικόνα 4.124: (α)-(β) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 1984 (I).



(γ)



(δ)

Εικόνα 4.125: (γ)-(δ) Αποτέλεσμα ταξινόμησης σε μεγέθυνση με χρήση κανόνων και συναρτήσεων ασαφούς λογικής για το δεύτερο επίπεδο (Level_2) στην απεικόνιση του 1984 (II).

4.2.5. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες μεθόδους ότι μια ταξινόμηση δεν έχει ολοκληρωθεί μέχρι να γίνει η αποτίμηση της ακρίβεια της. Ο έλεγχος της ‘ευστάθειας’ και της ‘αξιοπιστίας’ των ταξινομήσεων μπορεί να υλοποιηθεί από το λογισμικό Definiens 5 και η αναπαράσταση του αποτελέσματος γίνεται όσο γραφικά όσο και σε μορφή πίνακα και στους δύο ελέγχους.

Πιο συγκεκριμένα, η ευστάθεια της ταξινόμησης (classification stability) αναπαριστά τη διαφορά ανάμεσα στον πρώτο και τον δεύτερο καλύτερο βαθμό συμμετοχής στην ταξινόμηση ενός αντικειμένου σε μια κατηγορία. Με αυτό τον τρόπο αναδεικνύεται η σύγκριση που υπάρχει μεταξύ των κατηγοριών που ορίστηκαν και συνεπώς η ευστάθεια της ταξινόμησης.

Ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης (best classification result), καλύτερη βαθμολογείται η ταξινόμηση η οποία πραγματοποιείται με την υψηλότερη τιμή συνάρτησης συμμετοχής. Σύμφωνα με τη λογική της ασάφειας που εφαρμόζει το συγκεκριμένο λογισμικό, κάθε αντικείμενο έχει κάποιο βαθμό συμμετοχής σε περισσότερες από μια κατηγορίες ανάλογα με το πόσο πλησιάζουν τα χαρακτηριστικά του τις περιγραφές των τάξεων αυτών και ταξινομείται σε εκείνη την κατηγορία στην οποία έχει το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Οι τιμές συμμετοχής δεν είναι πιθανότητες συμμετοχής και δεν έχουν άθροισμα 100%, με άλλα λόγια, δεν σημαίνει πως μια υψηλή τιμή συμμετοχής ενός αντικειμένου συνεπάγεται αυτόματα την ταξινόμηση του σε αυτή. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται κυρίως όταν ο βασικός ταξινομητής είναι ο Εγγύτερος Γείτονας, όταν οι ασαφείς ζώνες μεταξύ των δεδομένων εκπαίδευσης επικαλύπτονται.

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι καλύτερο όταν:

- Ως προς την ευστάθεια, η μέση τιμή της διαφοράς του βαθμού συμμετοχής μεταξύ της καλύτερης και της δεύτερης καλύτερης κατηγορίας είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη.
- Ως προς την αξιοπιστία, η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής για τα αντικείμενα της κάθε κατηγορίας να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, δηλαδή η κατηγορία που επικρατεί να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μέση τιμή.

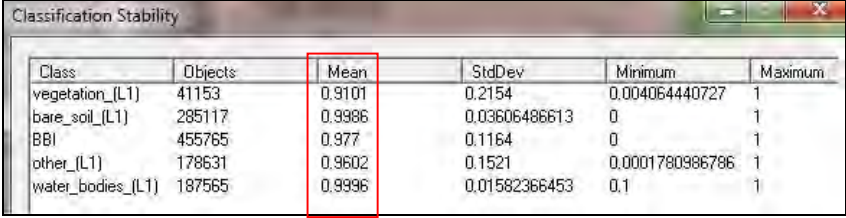
Στις περιπτώσεις όπου η μέθοδος του Εγγύτερου Γείτονα επιστρέφει την πρώτη καλύτερη τιμή πλησίον της δεύτερης, η ευστάθεια δεν είναι μεγάλη. Μια λύση είναι να γίνει αλλαγή στην κλίση της συνάρτησης που τον περιγράφει, αλλά αυτό μπορεί να βελτιώνει την ευστάθεια, αλλά όχι την ακολουθία αντιστοίχισης κατηγοριών με τιμές συμμετοχής. Για το λόγο αυτό, η ευστάθεια μιας ταξινόμησης αποτελεί έναν πραγματικό δείκτη αξιολόγησης της ταξινόμησης μόνο όταν χρησιμοποιούνται ως ταξινομητές συναρτήσεις συμμετοχής. Ωστόσο, οι ταξινομήσεις με βασικούς ταξινομητές συναρτήσεις συμμετοχής δεν έχουν την ίδια δυνατότητα να πραγματοποιήσουν τόσο ισχυρές διαφοροποιήσεις μεταξύ των τάξεων στον πολυδιάστατο χώρο, όπως η μέθοδος του Εγγύτερου Γείτονα.

Η μέση τιμή που αναφέρεται παραπάνω περιγράφει την περίπτωση παρουσίασης των αποτελεσμάτων σε μορφή πίνακα, αλλιώς για τη γραφική απεικόνιση, το κάθε αντικείμενο έχει τα δικά του χαρακτηριστικά. Η αξιολόγηση της αξιοπιστίας και της ευστάθειας μιας ταξινόμησης πραγματοποιείται προφανώς για κάθε επίπεδο χωριστά και για όλα τα αντικείμενα κάθε επιπέδου.

4.2.5.1 Αξιολόγηση ταξινομήσεων της απεικόνισης του 2010 ως προς την ευστάθεια και την αξιοπιστία

Level_1

Αριθμητική Προσέγγιση Ευστάθειας



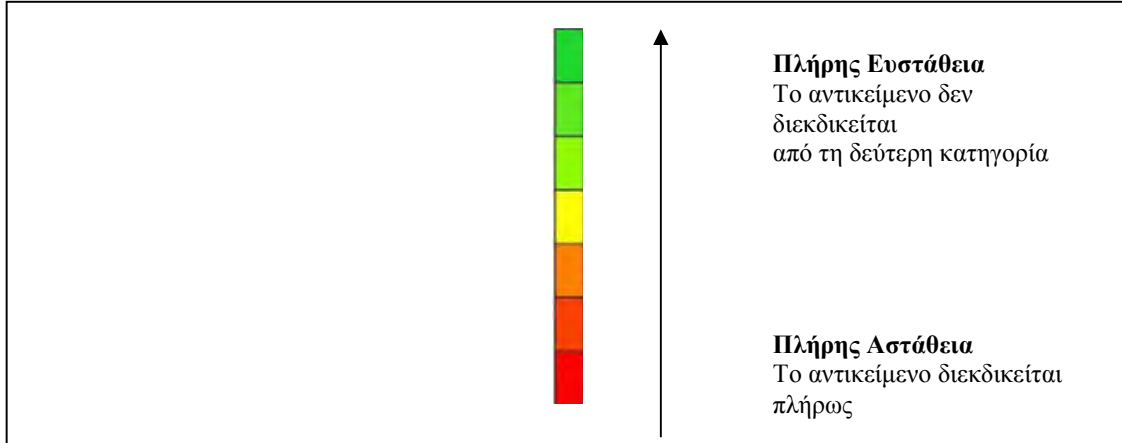
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
vegetation_(L1)	41153	0.9101	0.2154	0.004064440727	1
bare_soil_(L1)	285117	0.9986	0.03606486613	0	1
BBI	455765	0.977	0.1164	0	1
other_(L1)	178631	0.9602	0.1521	0.0001780986786	1
water_bodies_(L1)	187565	0.9996	0.01582366453	0.1	1

Πίνακας 4.80: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης για το πρώτο επίπεδο (Level_1).

Όπως προαναφέρθηκε, για την ευστάθεια, η μέση τιμή δείχνει τη μέση διαφορά ανάμεσα στον πρώτο και δεύτερο βαθμό συμμετοχής κάθε κατηγορίας. Από τον Πίνακα 4.80 φαίνεται πως για όλες τις κατηγορίες παρατηρείται μεγάλη διαφορά. Παρατηρείται επίσης μικρή τυπική απόκλιση. Η μέγιστη τιμή της μονάδας, που εμφανίζεται για όλες τις κατηγορίες, σημαίνει πως για κάθε κατηγορία η μεγαλύτερη διαφορά που είχε ένα αντικείμενο που ταξινομήθηκε σε αυτή την κατηγορία από τη δεύτερη καλύτερη κατηγορία που το διεκδικούσε ήταν 100%. Οι ελάχιστες τιμές, που σε όλες τις κατηγορίες λαμβάνουν σχεδόν μηδενική τιμή, δείχνουν ότι για κάθε κατηγορία υπάρχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο το οποίο ικανοποιεί τα κριτήρια και κάποιας άλλης κατηγορίας εξίσου με εκείνη στην οποία ταξινομήθηκε. Από την αριθμητική προσέγγιση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης, προκύπτει ότι στο επίπεδο αυτό η ταξινόμηση είναι ευσταθής προς όλες τις κατηγορίες του.

Γραφική Προσέγγιση Ευστάθειας

Το Σχήμα που ακολουθεί ερμηνεύει την αντιστοίχιση χρωμάτων των αντικειμένων και την αξιολόγησή τους ως προς την ευστάθεια.



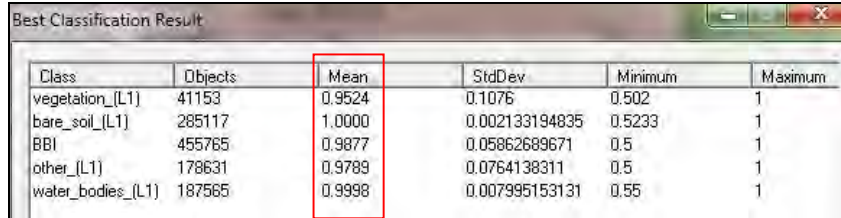
Σχήμα 4.15: Γραφική προσέγγιση ευστάθειας.



Εικόνα 4.126: Γραφική αξιολόγηση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης για το πρώτο επίπεδο (Level_1).

Όπως διαπιστώθηκε και κατά την αριθμητική ανάλυση της ευστάθειας, όλα σχεδόν τα αντικείμενα έχουν μεγάλη διαφορά στον πρώτο και δεύτερο καλύτερο βαθμό συμμετοχής, και η ταξινόμηση αγγίζει την πλήρη ευστάθεια.

Αριθμητική Προσέγγιση Αξιοπιστίας



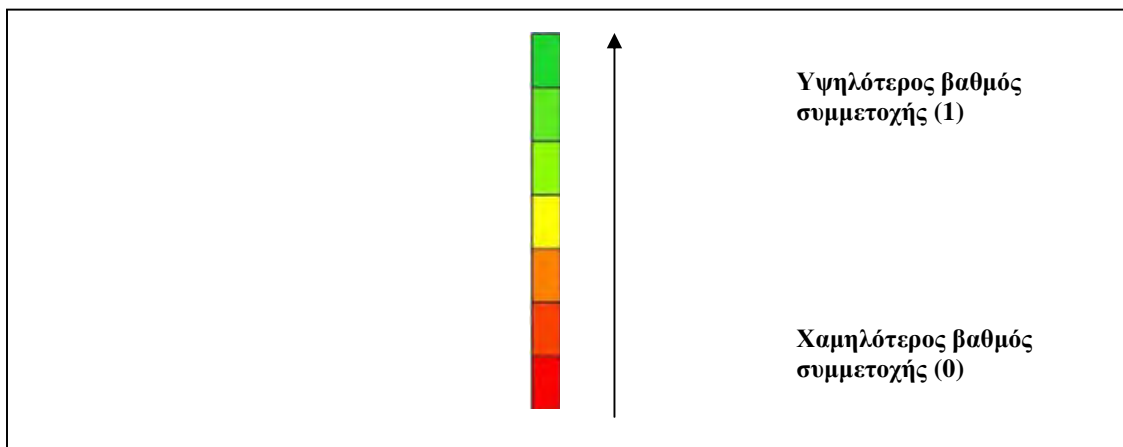
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
vegetation_(L1)	41153	0.9524	0.1076	0.502	1
bare_soil_(L1)	285117	1.0000	0.002133194835	0.5233	1
BB1	455765	0.9877	0.05862689671	0.5	1
other_(L1)	178631	0.9789	0.0764138311	0.5	1
water_bodies_(L1)	187565	0.9998	0.007995153131	0.55	1

Πίνακας 4.81: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το πρώτο επίπεδο (Level_1).

Η μέση τιμή της κάθε κατηγορίας στον παραπάνω πίνακα αποτελεί τη μέση τιμή των βαθμών συμμετοχής των αντικειμένων που έχουν ταξινομηθεί σε αυτή. Παρατηρείται ότι όλες οι κατηγορίες εμφανίζουν πολύ υψηλές μέσες τιμές και η ταξινόμηση θεωρείται αξιόπιστη. Η μέγιστη τιμή της μονάδας που εμφανίζεται σε όλες τις κατηγορίες υποδηλώνει πως τουλάχιστον ένα αντικείμενο ταξινομήθηκε στην αντίστοιχη κατηγορία με βαθμό συμμετοχής 100%. Η ελάχιστη τιμή 0.5 δείχνει πως ο μικρότερος βαθμός συμμετοχής με τον οποίο ένα αντικείμενο ταξινομήθηκε στην αντίστοιχη κατηγορία ήταν 0.5.

Γραφική Προσέγγιση Αξιοπιστίας

Στο Σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται η χρωματική αντιστοίχιση των αντικειμένων και της αξιολόγησής τους ως προς την αξιοπιστία.



Σχήμα 4.16: Γραφική προσέγγιση αξιοπιστίας.



Εικόνα 4.127: Γραφική αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το πρώτο επίπεδο (Level_1).

Όπως διαπιστώνεται και από τον πίνακα αξιολόγησης της αξιοπιστίας, η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής για τα αντικείμενα της κάθε κατηγορίας είναι μεγάλη και η ταξινόμηση χαρακτηρίζεται ως αξιόπιστη.

Συνεπώς, η βάση γνώσης για το επίπεδο αυτό οδηγεί σε αντικείμενα με ικανοποιητική σημασιολογία.

Υπενθυμίζεται ότι σε όλες τις κατηγορίες δεν έχουν ληφθεί δεδομένα εκπαίδευσης και η ταξινόμηση έχει πραγματοποιηθεί αποκλειστικά με τη χρήση κανόνων. Το παραπάνω γεγονός εξηγεί την υψηλή ευστάθεια και αξιοπιστία της ταξινόμησης. Όταν στον αλγόριθμο ταξινόμησης εμπλέκεται δειγματοληψία, τότε υπάρχει κίνδυνος το αποτέλεσμα να είναι χειρότερο εξαιτίας των πιθανώς επικαλυπτόμενων φασματικών υπογραφών των δεδομένων εκπαίδευσης.

Level 2

Αριθμητική Προσέγγιση Ευστάθειας

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
vegetation_(L2)	2817	0.926	0.2013	0	1
water_bodies_(L2)	15657	0.9962	0.04751137722	0.01065990329	1
mines_(L2)	765	0.9988	0.03195051395	0.1157	1
urban_con_(L2)	21324	0.9207	0.2676	0	1
highway_(L2)	1634	0.1724	0.3746	0	1
urban_disc_(L2)	45023	0.9961	0.04672126684	0	1
bare_soil_(L2)	14398	0.9239	0.2279	0	1
other_(L2)	24586	0.9772	0.1033	0.01428571343	1

Πίνακας 4.82: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης για το δεύτερο επίπεδο (Level_2).

Από τον Πίνακα 4.82 διαπιστώνεται ότι η μέση διαφορά μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου βαθμού συμμετοχής εμφανίζει πρόβλημα μόνο στην κατηγορία των αυτοκινητοδρόμων. Αυτό συμβαίνει διότι δεν έχει δοθεί προτεραιότητα στην κατηγορία αυτή κατά τη δημιουργία της βάσης γνώσης και εσκεμμένα επιτρέπεται η διεκδίκηση των αντικειμένων αυτών, που προέρχονται από επίπεδο μεγαλύτερης κλίμακας, από την συνεχή αστική δόμηση, ώστε εν τέλει να ταξινομούνται σωστά ορισμένα αντικείμενα που δεν ήταν δυνατόν να ταξινομηθούν σωστά στο τρίτο επίπεδο από το οποίο προέρχονται. Στην κατηγορία αυτή εμφανίζεται επίσης η μεγαλύτερη τυπική απόκλιση.

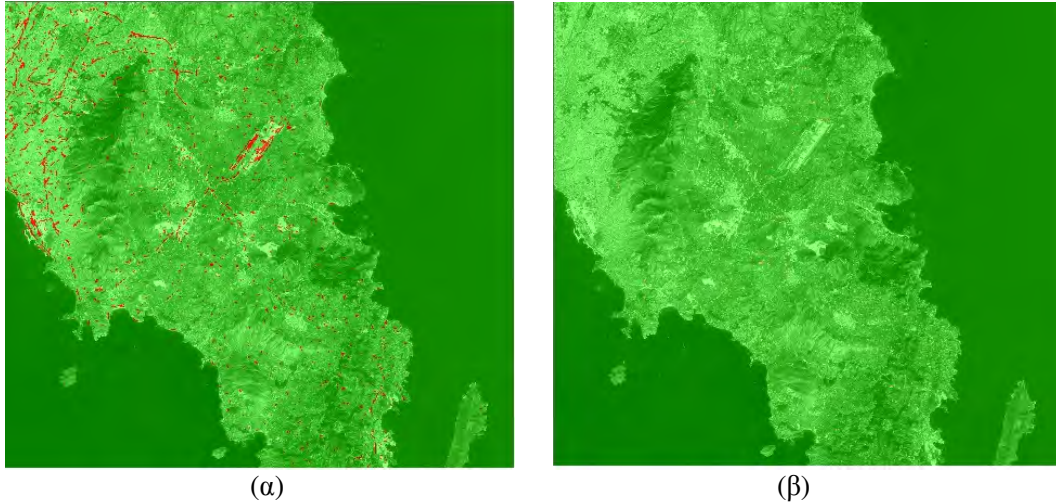
Αριθμητική Προσέγγιση Αξιοπιστίας

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
vegetation_(L2)	2817	0.9617	0.1007	0.5	1
water_bodies_(L2)	15657	0.9980	0.02398111594	0.5053	1
mines_(L2)	765	1.0000	1.219058019e-008	1	1
urban_con_(L2)	21324	0.9968	0.03487925024	0.5	1
highway_(L2)	1634	1.0000	1.179625263e-008	1	1
urban_disc_(L2)	45023	0.9979	0.02375124614	0.5	1
bare_soil_(L2)	14398	0.9606	0.1138	0.5	1
other_(L2)	24586	0.9878	0.05219921652	0.5071	1

Πίνακας 4.83: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το δεύτερο επίπεδο (Level_2).

Από τον Πίνακα 4.83 φαίνεται πως η ταξινόμηση είναι αξιόπιστη με υψηλές μέσες τιμές βαθμών συμμετοχής ανά κατηγορία.

Γραφική Προσέγγιση Ευστάθειας και Αξιοπιστίας



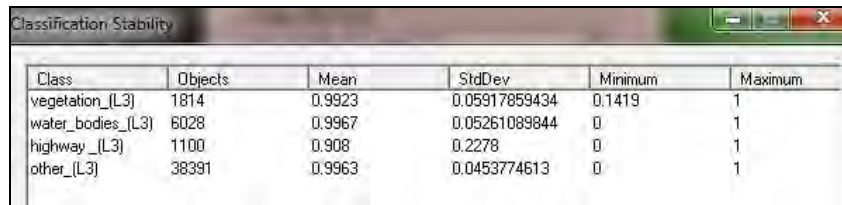
Εικόνα 4.128: Γραφική αξιολόγηση (α) ως προς την ευστάθεια, (β) ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το δεύτερο επίπεδο (Level_2).

Όπως ήταν αναμενόμενο από τον πίνακα για την ευστάθεια, η γραφική απεικόνιση δείχνει πρόβλημα στην ταξινόμηση των οδών. Η αξιοπιστία όμως της ταξινόμησης είναι μεγάλη, σύμφωνα με το οπτικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου καθώς η μέση τιμή των μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής είναι πολύ υψηλή. Συνολικά η βάση γνώσης που αναπτύχθηκε θεωρείται πολύ ικανοποιητική για τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Για το επίπεδο αυτό στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί επιπρόσθετη αξιολόγηση με δεδομένα ελέγχου, καθώς από το επίπεδο αυτό θα προκύψει η πληροφορία για την περαιτέρω ανάλυση.

Level 3

Αριθμητική Προσέγγιση Ευστάθειας

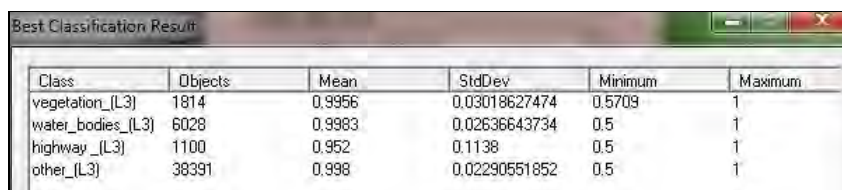


Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
vegetation_(L3)	1814	0.9923	0.05917859434	0.1419	1
water_bodies_(L3)	6028	0.9967	0.05261089844	0	1
highway_(L3)	1100	0.908	0.2278	0	1
other_(L3)	38391	0.9963	0.0453774613	0	1

Πίνακας 4.84: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης για το τρίτο επίπεδο (Level_3).

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.84, μεγάλες διαφορές μεταξύ των δύο καλύτερων βαθμών συμμετοχής εμφανίζονται σε όλες τις κατηγορίες του επιπέδου. Μικρότερη ευστάθεια και μεγαλύτερη τυπική απόκλιση εμφανίζει η κατηγορία του οδικού δικτύου, η οποία και μεταφέρεται στο δεύτερο επίπεδο (επίπεδο προβολής τους), όπως προαναφέρθηκε.

Αριθμητική Προσέγγιση Αξιοπιστίας

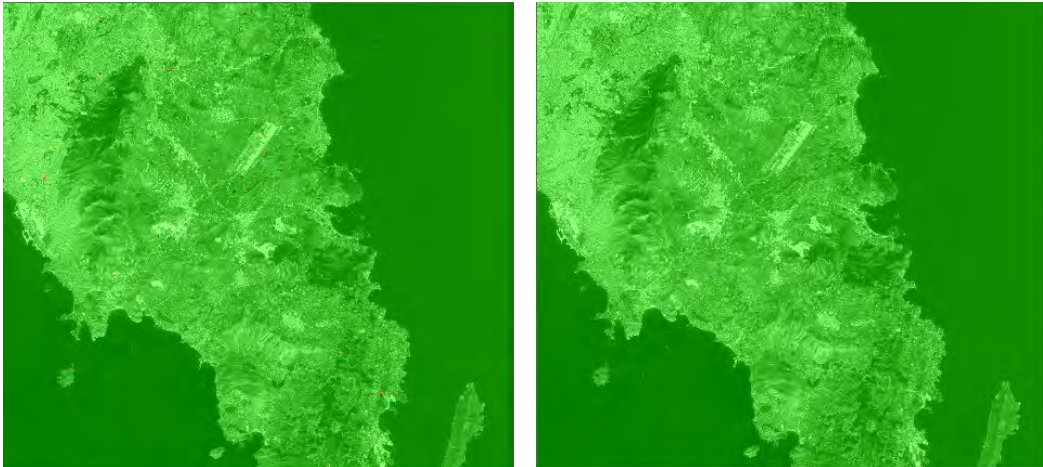


Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
vegetation_(L3)	1814	0.9956	0.03018627474	0.5709	1
water_bodies_(L3)	6028	0.9983	0.02636643734	0.5	1
highway_(L3)	1100	0.952	0.1138	0.5	1
other_(L3)	38391	0.998	0.02290551852	0.5	1

Πίνακας 4.85: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για τρίτο επίπεδο (Level_3).

Ο Πίνακας 4.85 δείχνει πως οι μέσες τιμές των μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής είναι υψηλές, οπότε η ταξινόμηση θεωρείται αξιόπιστη.

Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και κατά τη γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης της ταξινόμησης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.129.



(α)

(β)

Εικόνα 4.129: Γραφική αξιολόγηση (α) ως προς την ευστάθεια, (β) ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το τρίτο επίπεδο (Level_3).

Level_4

Αριθμητική Προσέγγιση Ευστάθειας

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
GLCM_Homogeneity	13364	0.9632	0.1444	0.1	1

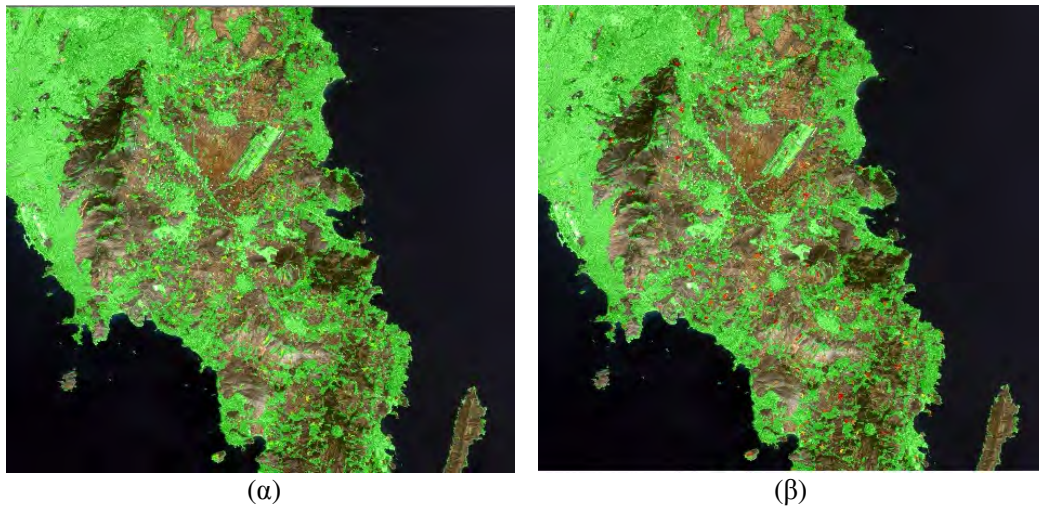
Πίνακας 4.86: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης για το τέταρτο επίπεδο (Level_4).

Αριθμητική Προσέγγιση Αξιοπιστίας

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
GLCM_Homogeneity	13364	0.9632	0.1444	0.1	1

Πίνακας 4.87: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το τέταρτο επίπεδο (Level_4).

Στο επίπεδο αυτό η μόνη κατηγορία που ταξινομείται είναι η δόμηση (πυκνή και αραιή) και εκφράζεται μέσω του δείκτη υφής της ομοιογένειας. Η μέση τιμή της συμμετοχής ή όχι στην κατηγορία αυτή είναι υψηλή, με χαμηλή τυπική απόκλιση. Επειδή η κατηγορία που ταξινομείται είναι μόνο μια, υπάρχει ταύτιση του πίνακα ευστάθειας και αξιοπιστίας, όπως φαίνεται στους Πίνακες 4.86 και 4.87. Το ίδιο και για τη γραφική απεικόνιση (Εικόνα 4.130). Συνεπώς, η ταξινόμηση του επιπέδου αυτού θεωρείται ευσταθής και αξιόπιστη.



Εικόνα 4.130: Γραφική αξιολόγηση (α) ως προς την ευστάθεια, (β) ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το τέταρτο επίπεδο (Level_4).

Level_5

Αριθμητική Προσέγγιση Ευστάθειας

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
mines_(L5)	10	0.9465	0.1599	0.4668	1
water_bodies_(L5)	97	0.8885	0.2416	0.1024	1
urban_con_(L5)	69	0.6554	0.303	0.1161	1

Πίνακας 4.88: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την ευστάθεια της ταξινόμησης για το πέμπτο επίπεδο (Level_5).

Από τον Πίνακα 4.88 παρατηρείται μερική διεκδίκηση από άλλες κατηγορίες για την κατηγορία της συνεχούς δόμησης, γεγονός αναμενόμενο λόγω της προβολής του από το δεύτερο επίπεδο. Η χαμηλή διαφορά μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης τιμής συμμετοχής δεν επηρεάζει τον βασικό στόχο της ταξινόμησης που είναι η σωστή ταξινόμηση των ορυχείων. Οι άλλες κατηγορίες προβλήθηκαν για βοηθητικό σκοπό στη βασική ταξινόμηση του επιπέδου.

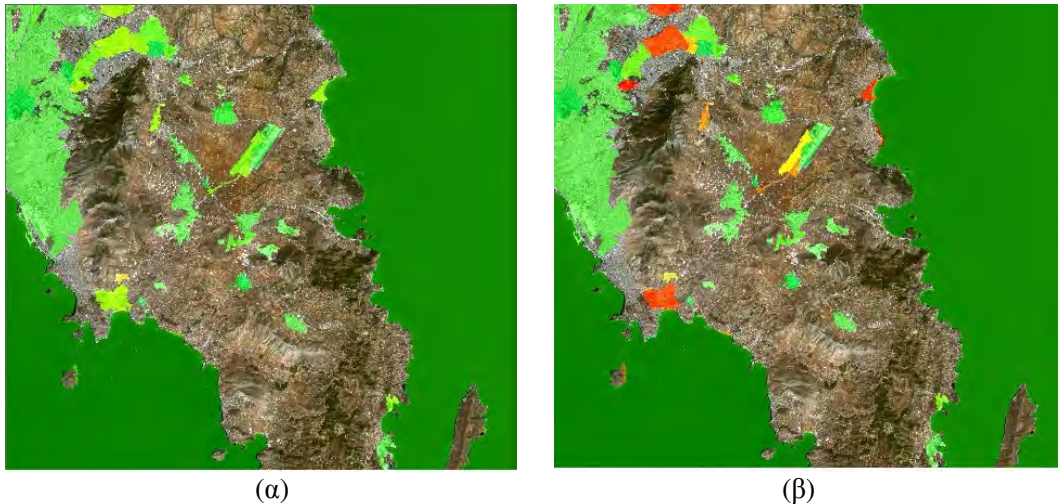
Αριθμητική Προσέγγιση Αξιοπιστίας

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
mines_(L5)	10	0.9465	0.1599	0.4668	1
water_bodies_(L5)	97	0.8885	0.2416	0.1024	1
urban_con_(L5)	69	0.6554	0.303	0.1161	1

Πίνακας 4.89: Αριθμητική αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για πέμπτο επίπεδο (Level_5).

Ο πίνακας για την αξιοπιστία της ταξινόμησης του επιπέδου είναι όμοιος με της ευστάθειας, λόγω πάλι της συμμετοχής κανόνων σε μια μόνο κατηγορία στο ίδιο επίπεδο. Η ταξινόμηση κρίνεται αξιόπιστη για την κατηγορία των ορυχείων και των υδάτων και μέτριας αξιοπιστίας για την τελευταία κατηγορία.

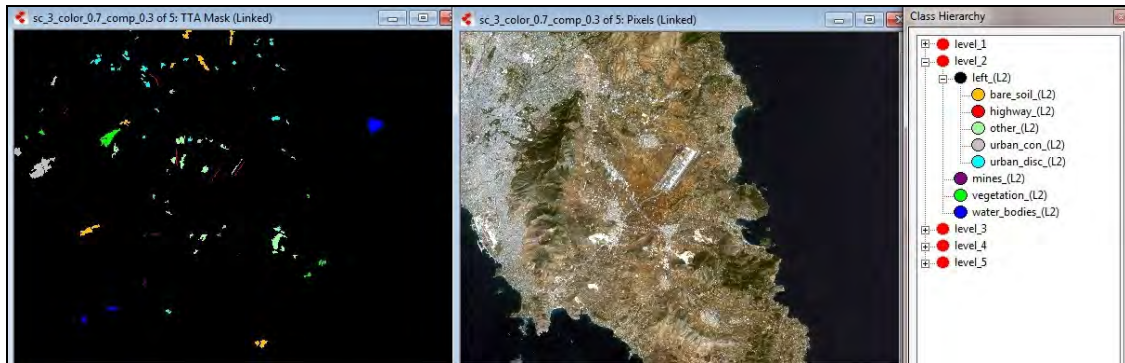
Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από τη γραφική απεικόνιση του αποτελέσματος στην Εικόνα 4.131.



Εικόνα 4.131: Γραφική αξιολόγηση (α) ως προς την ευστάθεια, (β) ως προς την αξιοπιστία της ταξινόμησης για το πέμπτο επίπεδο (Level_5).

4.2.5.2 Αξιολόγηση ταξινόμησης της απεικόνισης του 2010 με δημιουργία Πίνακα Σύγκρισης

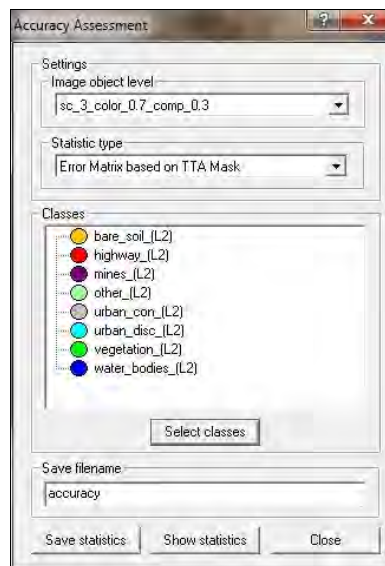
Όπως προαναφέρθηκε, στο δεύτερο επίπεδο θα γίνει περαιτέρω αξιολόγηση δημιουργώντας Πίνακα Σύγκρισης. Αρχικά επιλέγονται τα δεδομένα ελέγχου. Έγινε προσπάθεια τα αντικείμενα των δεδομένων ελέγχου να αντιστοιχούν, όσο το δυνατό, στα πολύγωνα ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που έγιναν με μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο. Στη συνέχεια λήφθηκαν μερικά ακόμα αντικείμενα ως δεδομένα ελέγχου για μεγαλύτερη αξιοπιστία του αποτελέσματος. Τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε μορφή αρχείου και η ‘Μάσκα’ των δεδομένων ήταν δυνατό να προστεθεί στο αρχείο. Στην Εικόνα 4.132 που ακολουθεί φαίνεται η ‘Μάσκα’ των δεδομένων ελέγχου, το φυσικό έγχρωμο σύνθετο και η ιεραρχία των κατηγοριών ταξινόμησης.



Εικόνα

Εικόνα 4.132: Δημιουργία ‘Μάσκας’ για τα δεδομένα ελέγχου στην απεικόνιση του 2010.

Στην Εικόνα 4.133 φαίνεται στιγμιότυπο του λογισμικού Definiens 5, όπου επιλέγεται το επίπεδο που θα αξιολογηθεί, η μέθοδος στατιστικού ελέγχου και οι κατηγορίες προς αξιολόγηση.



Εικόνα 4.133: Επιλογή δημιουργίας Πίνακα Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2010.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

User \ Referenc...	vegetation_(L2)	water_bodies_(L2)	mines_(L2)	urban_con_(L2)	highway_(L2)	urban_disc_(L2)	bare_soil_(L2)	other_(L2)	Sum
Confusion Matrix									
vegetation_(L2)	2206	0	0	0	0	3	0	39	2248
water_bodies_(L2)	0	2848	0	0	0	0	0	0	2848
mines_(L2)	0	0	297	0	0	0	0	0	297
urban_con_(L2)	0	0	0	4027	24	191	8	0	4250
highway_(L2)	0	0	0	11	411	0	0	0	422
urban_disc_(L2)	43	0	0	213	53	3309	18	0	3636
bare_soil_(L2)	0	0	0	0	0	0	2776	745	3521
other_(L2)	302	0	0	0	0	68	489	3171	4030
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	2551	2848	297	4251	488	3571	3291	3955	
Accuracy									
Producer	0.8648	1	1	0.9473	0.8422	0.9266	0.8435	0.8018	
User	0.9813	1	1	0.9475	0.9739	0.91	0.7884	0.7868	
Hitden	0.9194	1	1	0.9474	0.9033	0.9183	0.815	0.7942	
Short	0.8508	1	1	0.9	0.8236	0.8489	0.6878	0.6587	
KIA Per Class	0.8488	1	1	0.9341	0.839	0.9115	0.8124	0.7554	
Totals									
Overall Accuracy	0.8962								
KIA	0.8762								

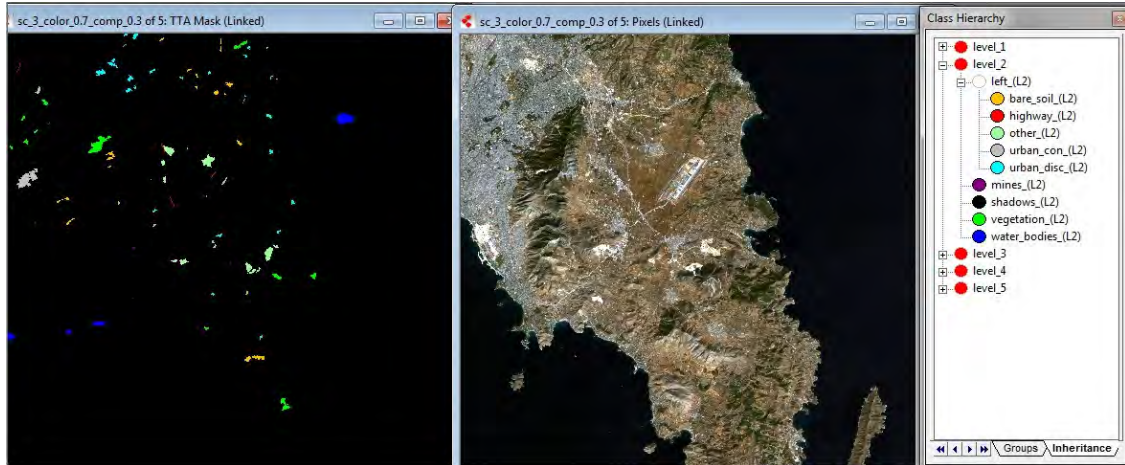
Πίνακας 4.90: Πίνακας Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2010 και ακρίβειες παραγωγού και χρήστη.

Στον Πίνακα 4.90 φαίνεται ο Πίνακας Σύγκρισης και οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν ως προς τον παραγωγό και τον χρήστη. Η ολική ακρίβεια έλαβε τιμή 89.62% και ο δείκτης \hat{k} τιμή 0.876. Οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες από αυτές που είχαν επιτευχθεί με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη είναι υψηλές για όλες τις κατηγορίες.

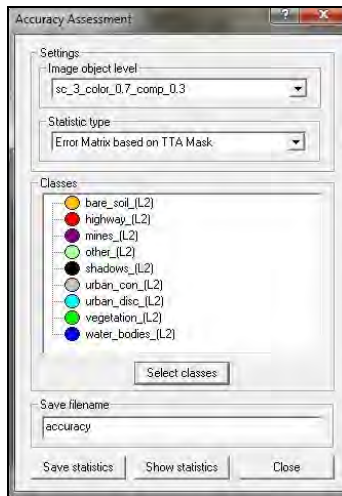
Στη συνέχεια πρόκειται να παρουσιαστεί η αξιολόγηση των ταξινομήσεων για τις υπόλοιπες απεικονίσεις μόνο μέσω της δημιουργίας Πίνακα Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο. Αναλυτικά οι έλεγχοι ευστάθειας και αξιοπιστίας κάθε επιπέδου παρουσιάζεται στο Παράρτημα της εργασίας.

4.2.5.3 Αξιολόγηση ταξινόμησης της απεικόνισης του 2003 με δημιουργία Πίνακα Σύγκρισης

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αντίστοιχα στοιχεία και αποτελέσματα για την εικόνα του 2003.



Εικόνα 4.134: Δημιουργία ‘Μάσκας’ για τα δεδομένα ελέγχου στην απεικόνιση του 2003.



Εικόνα 4.135: Επιλογή δημιουργίας Πίνακα Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2003.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

Error Matrix based on TTA Mask

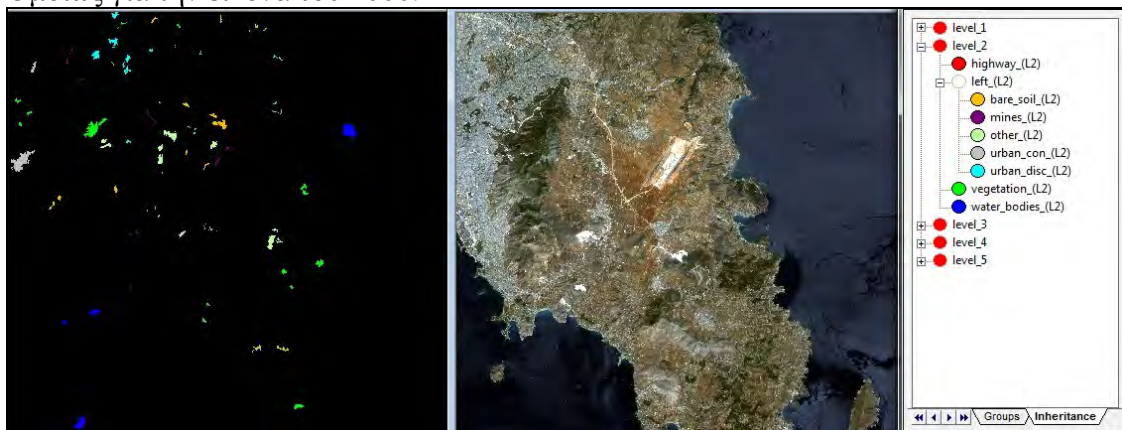
User \ Referenc...	vegetation_(L2)	urban_con_(L2)	other_(L2)	water_bodies_(L2)	mines_(L2)	highway_(L2)	urban_disc_(L2)	bare_soil_(L2)	Sum
Confusion Matrix									
vegetation_(L2)	3078	0	14	0	0	0	9	0	3101
urban_con_(L2)	3	2721	2	13	0	37	134	0	2910
other_(L2)	635	0	3459	0	0	0	12	337	4443
water_bodies_(L2)	0	0	0	2833	0	0	0	0	2833
mines_(L2)	0	0	0	0	132	0	0	0	132
highway_(L2)	0	59	0	0	0	338	0	0	397
urban_disc_(L2)	42	18	0	0	0	0	2470	95	2625
bare_soil_(L2)	0	0	179	0	0	0	0	1945	2124
unclassified	4	0	15	0	0	0	0	0	19
Sum	3762	2798	3669	2846	132	375	2625	2377	
Accuracy									
Producer	0.8182	0.9725	0.9428	0.9954	1	0.9013	0.9410	0.8183	
User	0.9926	0.935	0.7785	1	1	0.8514	0.9410	0.9157	
Heiden	0.8970	0.9534	0.8528	0.9977	1	0.8756	0.9410	0.8643	
Shoit	0.8132	0.9109	0.7434	0.9954	1	0.7788	0.8885	0.7610	
KIA Per Class	0.7818	0.9674	0.9248	0.9946	1	0.8992	0.9312	0.7948	
Totals									
Overall Accuracy	0.9135								
KIA	0.8966								

Πίνακας 4.91: Πίνακας Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2003 και ακρίβειες παραγωγού και χρήστη.

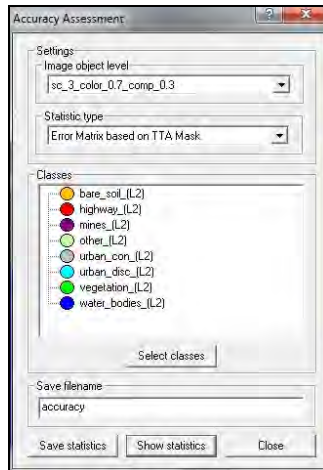
Παραπάνω φαίνεται ο Πίνακας Σύγκρισης και οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν ως προς τον παραγωγό και τον χρήστη. Η ολική ακρίβεια έλαβε τιμή 91.35% και ο δείκτης \hat{k} τιμή 0.897. Οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες από αυτές που είχαν επιτευχθεί με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη είναι υψηλές για όλες τις κατηγορίες.

4.2.5.4 Αξιολόγηση ταξινόμησης της απεικόνισης του 2000 με δημιουργία
Πίνακα Σύγκρισης

Ομοίως για την εικόνα του 2000.



Εικόνα 4.136: Δημιουργία ‘Μάσκας’ για τα δεδομένα ελέγχου στην απεικόνιση του 2000.



Εικόνα 4.137: Επιλογή δημιουργίας Πίνακα Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2000.

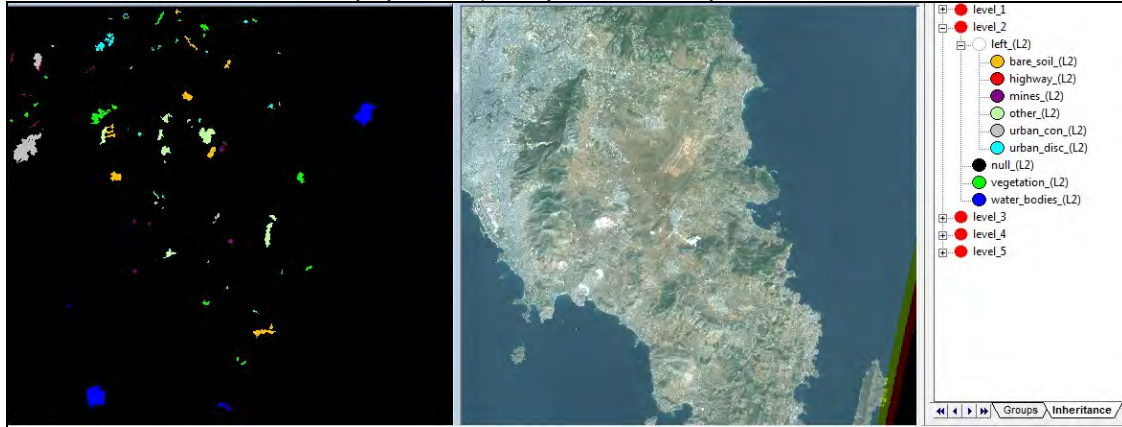
User \ Referenc...	water_bodies_(L2)	vegetation_(L2)	urban_con_(L2)	urban_disc_(L2)	highway_(L2)	mines_(L2)	other_(L2)	bare_soil_(L2)	Sum
Confusion Matrix									
water_bodies_(L2)	2553	0	0	0	0	0	0	0	2553
vegetation_(L2)	0	2601	0	17	0	0	0	0	2618
urban_con_(L2)	0	9	2526	102	12	0	0	33	2682
urban_disc_(L2)	0	12	130	2041	0	0	0	77	2260
highway_(L2)	0	0	116	0	170	0	0	0	286
mines_(L2)	0	0	0	0	0	489	0	0	489
other_(L2)	0	506	10	0	5	0	0	538	1053
bare_soil_(L2)	0	0	0	0	0	0	0	1484	1484
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	2553	3128	2782	2160	187	489	0	2132	
Accuracy									
Producer	1	0.8315	0.9080	0.9449	0.909	1	undefined	0.696	
User	1	0.9935	0.9418	0.903	0.5944	1	0	1	
Hit	1	0.9053	0.9246	0.9235	0.7188	1	0	0.8208	
Short	1	0.827	0.8598	0.8579	0.561	1	0	0.696	
KIA Per Class	1	0.7907	0.885	0.9338	0.9071	1	undefined	0.6583	
Totals									
Overall Accuracy	0.8833								
KIA	0.8596								

Πίνακας 4.92: Πίνακας Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2000 και ακρίβειες παραγωγού και χρήστη.

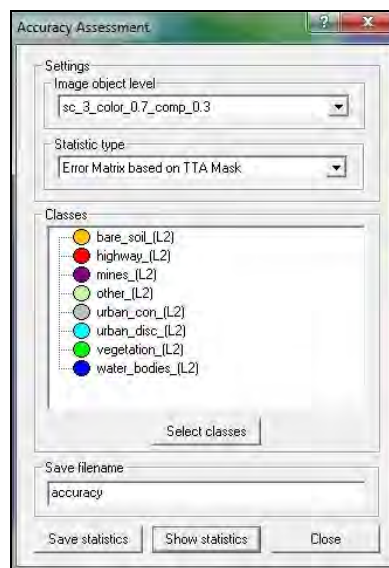
Στον Πίνακα 4.92 φαίνεται ο Πίνακας Σύγκρισης και οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν ως προς τον παραγωγό και τον χρήστη. Η ολική ακρίβεια έλαβε τιμή 88.33% και ο δείκτης \hat{k} τιμή 0.860. Οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες από αυτές που είχαν επιτευχθεί με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Οι ακρίβειες παραγωγού είναι υψηλές για όλες τις κατηγορίες, ενώ οι ακρίβειες για τον χρήστη είναι υψηλές πλην της κατηγορίας των αυτοκινητοδρόμων.

4.2.5.5 Αξιολόγηση ταξινόμησης της απεικόνισης του 1991 με δημιουργία Πίνακα Σύγκρισης

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για την απεικόνιση του 1991.



Εικόνα 4.138: Δημιουργία ‘Μάσκας’ για τα δεδομένα ελέγχου στην απεικόνιση του 1991.



Εικόνα 4.139: Επιλογή δημιουργίας Πίνακα Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 1991.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

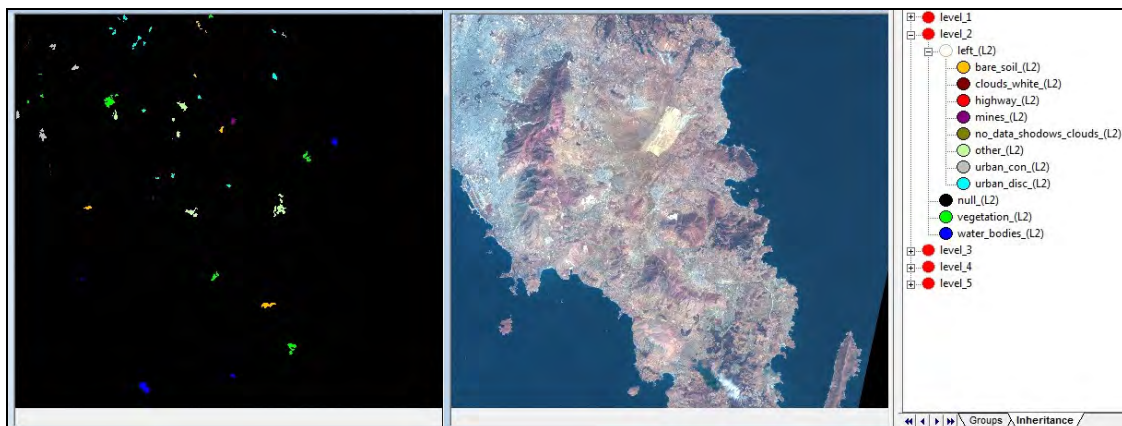
User \ Referenc...	water_bodies_(L2)	vegetation_(L2)	urban_con_(L2)	other_(L2)	mines_(L2)	urban_disc_(L2)	bare_soil_(L2)	highway_(L2)	Sum
Confusion Matrix									
water_bodies_(L2)	5854	0	0	0	0	0	0	0	5854
vegetation_(L2)	0	3328	0	109	0	16	27	0	3480
urban_con_(L2)	7	6	5781	0	0	95	14	58	5861
other_(L2)	0	470	0	4766	0	0	1281	0	6517
mines_(L2)	0	0	0	0	503	0	0	0	503
urban_disc_(L2)	0	0	267	0	94	1880	115	11	2367
bare_soil_(L2)	0	0	0	342	160	0	2580	0	3082
highway_(L2)	0	0	0	0	0	0	0	339	339
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	5861	3804	6048	5217	757	1991	4017	408	
Accuracy									
Producer	0.9988	0.8749	0.9559	0.9136	0.6645	0.9442	0.6423	0.8309	
User	1	0.9563	0.9698	0.7313	1	0.7943	0.8371	1	
Hit/len	0.9994	0.9138	0.9628	0.8123	0.7984	0.8628	0.7269	0.9076	
Short	0.9988	0.8413	0.9282	0.6840	0.6645	0.7587	0.5709	0.8309	
KIA Per Class	0.9985	0.8572	0.9440	0.8875	0.6583	0.9391	0.5982	0.8288	
Totals									
Overall Accuracy	0.8907								
KIA	0.8681								

Πίνακας 4.93: Πίνακας Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 1991 και ακρίβειες παραγωγού και χρήστη.

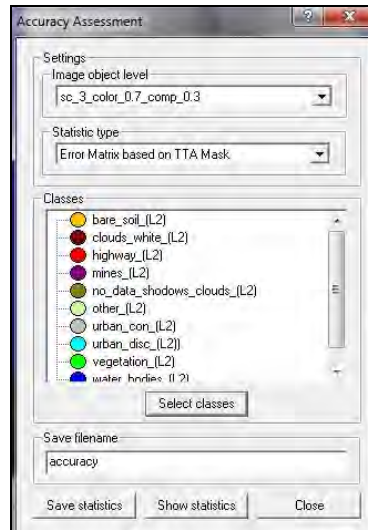
Στον Πίνακα 4.93 παρουσιάζεται ο Πίνακας Σύγκρισης και οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν ως προς τον παραγωγό και τον χρήστη. Η ολική ακρίβεια έλαβε τιμή 89.07% και ο δείκτης \hat{k} τιμή 0.868. Οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες από αυτές που είχαν επιτευχθεί με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Οι ακρίβειες για τον χρήστη είναι υψηλές για όλες τις κατηγορίες, ενώ για του παραγωγού για όλες πλην του γυμνού εδάφους και των εξορύξεων που εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές.

4.2.5.6 Αξιολόγηση ταξινόμησης της απεικόνισης του 1984 με δημιουργία Πίνακα Σύγκρισης

Τέλος, για το 1984 ακολουθήθηκε επίσης η ίδια διαδικασία.



Εικόνα 4.140: Δημιουργία ‘Μάσκας’ για τα δεδομένα ελέγχου στην απεικόνιση του 1984.



Εικόνα 4.141: Επιλογή δημιουργίας Πίνακα Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 1984.

User \ Referenc...	vegetation_(L1)	other_(L2)	urban_con_(L2)	mines_(L2)	vegetation_(L2)	water_bodies_(L2)	urban_disc_(L2)	highway_(L2)	bare_soil_(L2)	Sum
Confusion Matrix										
vegetation_(L1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
other_(L2)	0	2647	0	0	322	0	182	0	369	3520
urban_con_(L2)	0	0	1315	0	22	0	68	41	17	1463
mines_(L2)	0	0	0	384	0	0	0	0	0	384
vegetation_(L2)	0	139	0	0	2700	0	9	0	0	2848
water_bodies_(L2)	0	0	0	0	0	1280	0	0	0	1280
urban_disc_(L2)	0	0	31	0	0	0	2172	0	0	2203
highway_(L2)	0	0	0	0	0	0	0	219	0	219
bare_soil_(L2)	0	326	0	0	0	0	0	0	860	1186
unclassified	0	0	1	0	93	0	0	0	0	94
Sum	0	3112	1347	384	3137	1280	2431	260	1246	
Accuracy										
Producer	undefined	0.8506	0.9762	1	0.8607	1	0.8935	0.8423	0.6302	
User	undefined	0.7520	0.8988	1	0.948	1	0.9859	1	0.7251	
Heiliden	undefined	0.7983	0.9359	1	0.9023	1	0.9374	0.9144	0.7072	
Shopt	undefined	0.6642	0.8796	1	0.8219	1	0.8822	0.8423	0.547	
KIA_Per Class	undefined	0.7962	0.9733	1	0.8224	1	0.8721	0.8396	0.6596	
Totals										
Overall Accuracy		0.8772								
KIA		0.8511								

Πίνακας 4.94: Πίνακας Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 1984 και ακρίβειες παραγωγού και χρήστη.

Παραπάνω φαίνεται ο Πίνακας Σύγκρισης και οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν ως προς τον παραγωγό και τον χρήστη. Η ολική ακρίβεια έλαβε τιμή 87.72% και ο δείκτης \hat{k} τιμή 0.861. Οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες από αυτές που είχαν επιτευχθεί με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη είναι υψηλές για όλες τις κατηγορίες πλην του γυμνού εδάφους.

Το γινόμενο των δεικτών \hat{k} , που όπως έχει αναφερθεί εκφράζει την ακρίβεια του συνόλου των δεδομένων για περαιτέρω ανάλυση, όπως για παράδειγμα για τη δημιουργία χαρτών αλλαγών, για την αντικειμενοστραφή μέθοδο προκύπτει σημαντικά μεγαλύτερο από την ανάλυση με χωρική μονάδα το εικονοστοιχείο, γεγονός που υποδεικνύει πως η αντικειμενοστραφής μέθοδος είναι προτιμότερη για την αντιμετώπιση ανάλογων προβλημάτων.

$$\hat{k}_{\text{object}} = \hat{k}_{\text{object}}^{2010} \cdot \hat{k}_{\text{object}}^{2003} \cdot \hat{k}_{\text{object}}^{2000} \cdot \hat{k}_{\text{object}}^{1991} \cdot \hat{k}_{\text{object}}^{1984} = 0.876 \cdot 0.897 \cdot 0.860 \cdot 0.868 \cdot 0.851 = 0.50 \quad (19)$$

Οι εμβαδομετρήσεις των κατηγοριών της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου για κάθε χρονολογία παρουσιάζονται στην παράγραφο που ακολουθεί. Βέβαια είναι προτιμότερο και υπολογιστικά πιο ορθό να γίνεται εμβαδομέτρηση σε υπό-περιοχή της περιοχής μελέτης για να περιορίζεται το λάθος στα ποσοστά εξαιτίας του θορύβου των ταξινομήσεων.

Συμπερασματικά, για το αντικείμενο, όπως έγινε και στον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας στο προηγούμενο εδάφιο, επίσης παρουσιάζεται μικρή υπερτίμηση των δομημένων (κυρίως των αραιά δομημένων) εκτάσεων. Η αντικειμενοστραφής μέθοδος όμως εμφανίζει το πλεονέκτημα της μη χρήσης δειγμάτων στη βάση γνώσης, ενώ οι κατηγορίες που εντοπίζονται με τη μέθοδο αυτή είναι περισσότερες. Σημαντικό στοιχείο στην εξαγωγή της ταξινόμησης είναι η εκμετάλλευση των δεικτών υψής κατά Haralick για τον εντοπισμό των δομημένων περιοχών και ιδιαίτερα των αραιά δομημένων περιοχών. Οι δείκτες υψής κατά Haralick είχαν εφαρμοστεί και έχοντας ως χωρική μονάδα ανάλυσης το εικονοστοιχείο αλλά το αποτέλεσμα δεν επέτρεπε την διάκριση των περιοχών αυτών, όπως αναλύθηκε στο εδάφιο 3.6.

Για την αντικειμενοστραφή μέθοδο, όπως και στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας, πραγματοποιήθηκε έλεγχος του αποτελέσματος των ταξινομήσεων χρησιμοποιώντας δείγματα ελέγχου ύστερα από φωτοερμηνεία για κάθε έτος. Είναι προφανές ότι στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, η συνένωση των κατηγοριών συνεπάγεται αυτομάτως την επίτευξη καλύτερων ακριβειών. Αποδείχθηκε πως τα αποτελέσματα του Πίνακα Σύγκρισης στην περίπτωση της αντικειμενοστραφούς μεθόδου είναι πιο υψηλά με εύρος του δείκτη \hat{k} από 0.851 έως 0.897 σε σχέση με της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με πέντε κατηγορίες, όπου ο δείκτης \hat{k} κυμαίνεται από 0.761 μέχρι 0.835. Για τις δεκατέσσερις κατηγορίες της επιβλεπόμενης ο δείκτης \hat{k} κυμαίνεται από 0.644 μέχρι 0.753.

4.2.5.7 Εμβαδομετρήσεις κατηγοριών ταξινόμησης απεικονίσεων

Στη συνέχεια παρουσιάζεται στους παρακάτω Πίνακες συγκεντρωτικά για κάθε απεικόνιση το εμβαδόν της κάθε κατηγορίας στο βασικό επίπεδο ταξινόμησης (Level_2).

1984				
class	Number of objects	Sum Area (m ²)	Mean Area (m ²)	Sum Area (km ²)
vegetation_L2	7310	81336600	11126.76	81.34
water_bodies_L2	15047	761769900	50626.03	761.77
mines_L2	1205	7974900	6618.17	7.97
urban_con_L2	20307	141897600	6987.62	141.90
highway_L2	613	4559400	7437.85	4.56
urban_disc_L2	24990	178568100	7145.58	178.57
bare_soil_L2	9720	109071900	11221.39	109.07
other_L2	37565	421541100	11221.65	421.54
null_L2	1	22089600	22089600.00	22.09
no_data_shadows_clouds_L2	324	4978800	15366.67	4.98
clouds_white_L2	487	2652300	5446.20	2.65
sum	117569	1736440200		1706.72

Πίνακας 4.95: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών κύριου επιπέδου ταξινόμησης της απεικόνισης του 1984.

1991				
class	Number of objects	Sum Area (m ²)	Mean Area (m ²)	Sum Area (km ²)
vegetation_L2	4395	59313600	13495.70	59.31
water_bodies_L2	13486	743234400	55111.55	743.23
mines_L2	833	4616100	5541.54	4.62
urban_con_L2	16923	137952900	8151.80	137.95
highway_L2	566	5832000	10303.89	5.83
urban_disc_L2	32909	288085500	8754.00	288.09
bare_soil_L2	8893	114741900	12902.50	114.74
other_L2	26076	343463400	13171.63	343.46
null_L2	661	39200400	59304.69	39.20
sum	104742	1736440200		1697.24

Πίνακας 4.96: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών κύριου επιπέδου ταξινόμησης της απεικόνισης του 1991.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

2000				
class	Number of objects	Sum Area (m ²)	Mean Area (m ²)	Sum Area (km ²)
vegetation_L2	9344	40131232	4294.87	40.13
water_bodies_L2	25758	783602337	30421.71	783.60
mines_L2	5375	14807723	2754.93	14.81
urban_con_L2	47421	133231734	2809.55	133.23
highway_L2	3572	10040903	2811.00	10.04
urban_disc_L2	87514	281187548	3213.06	281.19
bare_soil_L2	23123	143527167	6207.12	143.53
other_L2	55375	328754121	5936.87	328.75
sum	257482	1735282766		1735.283

Πίνακας 4.97: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών κύριου επιπέδου ταξινόμησης της απεικόνισης του 2000.

2003				
class	Number of objects	Sum Area (m ²)	Mean Area (m ²)	Sum Area (km ²)
vegetation_L2	3470	39416400	11359.19308	39.42
water_bodies_L2	14761	781174800	52921.53648	781.17
mines_L2	1109	5310900	4788.908927	5.31
urban_con_L2	21714	131634900	6062.213319	131.63
highway_L2	1913	12609000	6591.217982	12.61
urban_disc_L2	41453	336819600	8125.337129	336.82
bare_soil_L2	8508	96926400	11392.38364	96.93
other_L2	28441	331254900	11647.09047	331.25
shadows_L2	129	1293300	10025.5814	1.29
sum	121498	1736440200		1735.147

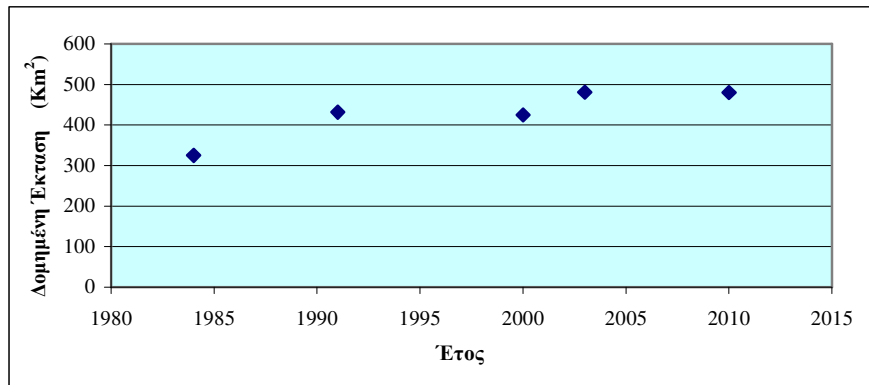
Πίνακας 4.98: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών κύριου επιπέδου ταξινόμησης της απεικόνισης του 2003.

2010				
class	Number of objects	Sum Area (m ²)	Mean Area (m ²)	Sum Area (km ²)
vegetation_L2	2817	30410100	10795.21	30.41
water_bodies_L2	15657	782925300	50004.81	782.93
mines_L2	765	2887200	3774.12	2.89
urban_con_L2	21324	134083800	6287.93	134.08
highway_L2	1634	13582800	8312.61	13.58
urban_disc_L2	45022	332341200	7381.75	332.34
bare_soil_L2	14398	169500600	11772.51	169.50
other_L2	24587	270709200	11010.26	270.71
sum	126204	1736440200		1736.44

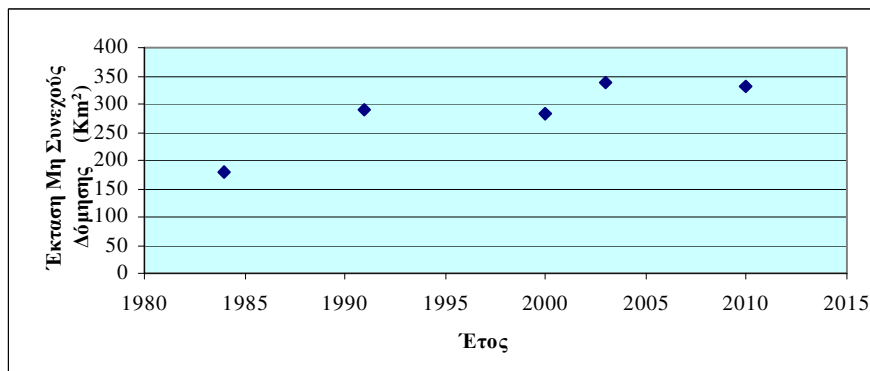
Πίνακας 4.99: Εμβαδομέτρηση κατηγοριών κύριου επιπέδου ταξινόμησης της απεικόνισης του 2010.

Ακολουθεί οπτικοποίηση της εξέλιξης των κατηγοριών ενδιαφέροντος με τη βοήθεια διαγραμμάτων. Το Σχήμα 4.17 δείχνει τη μεταβολή στο σύνολο των δομημένων εκτάσεων και ο άξονας των τεταγμένων συνεπώς διαμορφώνεται από το άθροισμα της συνεχούς δόμησης, της μη συνεχούς δόμησης και της έκτασης των αυτοκινητοδρόμων για κάθε χρονιά. Παρατηρείται αύξηση με σταδιακή σταθεροποίηση από το 2005 και μετά. Η χρονιά του 2000 φαίνεται από μια πρώτη εκτίμηση να έχει υποεκτιμήσει τις αστικές εκτάσεις και ίσως είναι πιο εύλογο να αποκλειστεί από περαιτέρω ανάλυση. Φυσικά, το λάθος που έχει προκύψει αναφέρεται στη διακεκομμένη αστική δόμηση της συγκεκριμένης ταξινόμησης μιας και το Σχήμα 4.18 για τη διακεκομμένη δόμηση μεμονωμένα, εμφανίζει την ίδια τάση. Στην εικόνα του 2000, ο δείκτης Haralick δεν είχε ανάλογη συμπεριφορά με τις υπόλοιπες απεικονίσεις.

Επειδή έγινε επανειλημμένα έλεγχος των ταξινομήσεων, η διαφορά στην μη συνεχή δόμηση για το 2000 εντοπίζεται κυρίως στις περιοχές μικρότερου ενδιαφέροντος. Για καλύτερη αξιολόγηση προτείνεται ο έλεγχος των αποτελεσμάτων τμηματικά, δηλαδή σε υπό-περιοχές. Κάτι τέτοιο επιχειρήθηκε κατά την ανάλυση με τα οικονομετρικά πρότυπα. Αναφέρεται επίσης ότι η απόκλιση του αποτελέσματος της χρονιάς αυτής με την αντικειμενοστραφή μέθοδο, είναι πολύ μικρότερη από εκείνη που εμφανίζεται εκτελώντας επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

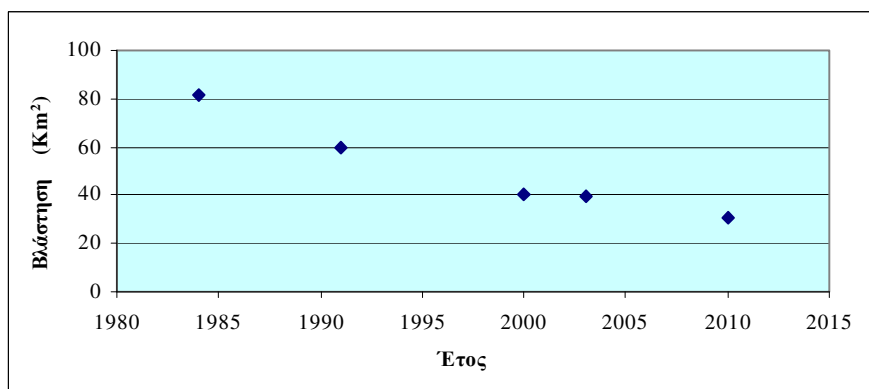


Σχήμα 4.17: Μεταβολή δομημένων εκτάσεων με αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνων.

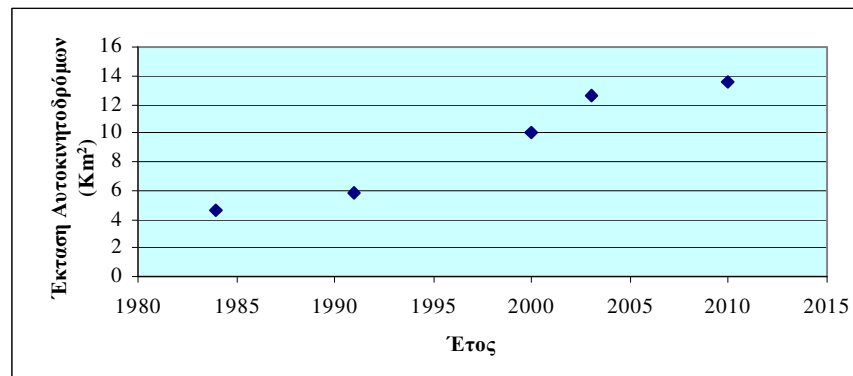


Σχήμα 4.18: Μεταβολή μη συνεχούς δόμησης με αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνων.

Για την βλάστηση (Σχήμα 4.19) παρατηρείται σταδιακή μείωση, γεγονός αναμενόμενο, όπως έχει αναλυθεί και παραπάνω εξαιτίας των πυρκαγιών στο πέρας των δεκαετιών.



Σχήμα 4.19: Μεταβολή βλάστησης με αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνων.



Σχήμα 4.20: Μεταβολή εκτάσεων αυτοκινητοδρόμων με αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνων.

Τέλος, σχετικά με τους αυτοκινητοδρόμους, παρατηρείται μια αύξηση από το έτος 2000 μέχρι το 2003 που δικαιολογείται εξαιτίας της δημιουργίας της Αττικής Οδού.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΟΔΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ

5.1. Περιγραφή Οικονομετρικών Προτύπων

5.1.1. Πρότυπα δυαδικής απόκρισης και λογιστική ανάλυση παλινδρόμησης

Όπως έχει δείξει και η βιβλιογραφία [Frazier and Kockelman, 2005], τα γραμμικά πρότυπα που αναπτύχθηκαν σχετικά με τις χρήσεις γης, παρόλο που συμπεριλάμβαναν και τη χωρική συσχέτιση, δεν ήταν αποτελεσματικά, διότι τα γραμμικά πρότυπα είναι ιδανικά για την προτυποποίηση συνεχών μεταβλητών. Όταν οι μεταβλητές σχετίζονται με χρήσεις γης, πρόκειται για διακριτού τύπου δεδομένα που είναι προτιμότερο να εκφραστούν με πρότυπα λογιστικής κατανομής (Logistic Regression Models). Στη συγκεκριμένη έρευνα μάλιστα είχαν προτυποποιηθεί τα δεδομένα χρήσεων γης σε δυο μορφές, αστικά-μη αστικά, και είχε ληφθεί υπόψη και η χωρική θέση των δεδομένων. Στην παρούσα εφαρμογή θα γίνει μια απλή εφαρμογή τέτοιων προτύπων για τα δεδομένα χρήσης-κάλυψης γης χωρίς να ληφθεί υπόψη η θέση των δεδομένων αλλά μόνο η πληροφορία κάλυψης γης που παρέχεται, δηλαδή η πληροφορία που αντλείται από τις διάφορες μεθόδους τηλεπισκόπησης για κάθε εικονοστοιχείο και κάποιες βασικές πρόσθετες μεταβλητές.

Το παρόν υπεδάφιο χρησιμοποιεί όρους και αποσπάσματα από τα συγγράμματα των ερευνητών Cook [2001] και Croissant [2008] για την ακριβέστερη απόδοση των μαθηματικών εννοιών που περιγράφονται.

Η απλή ή η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, όπως προαναφέρθηκε, ενδείκνυται για περιπτώσεις όπου η απόκριση, δηλαδή η εξαρτημένη μεταβλητή, εκφράζεται ως ένας αριθμός. Ο αριθμός αυτός υπάγεται στην αριθμητική αλληλουχία και δεν εκφράζει μια μεμονωμένη τιμή. Πολλές είναι όμως οι περιπτώσεις που οι αποκρίσεις δεν εκφράζονται μέσω μιας τέτοιας αριθμητικής τιμής. Για παράδειγμα, η εξαρτημένη μεταβλητή μπορεί να εκφράζεται μέσω της ονομαστικής διάκρισης δυο πιθανών ενδεχόμενων έκβασης (δυαδική απόκριση). Οι αποκρίσεις αυτές πρέπει να είναι δυνατόν να συλλεχθούν και να επεξεργαστούν ώστε να παρέχουν στατιστικές πληροφορίες. Οι εξαρτημένες μεταβλητές δυαδικών αποκρίσεων ενυπάρχουν σε πολλές επιστήμες (πχ. ιατρική, φυσικές επιστήμες, σε πολυτεχνικές επιστήμες κ.α.). Η προτυποποίηση τέτοιων μεταβλητών δυαδικών αποκρίσεων γίνεται με τη βοήθεια προτύπων λογιστικής κατανομής με παλινδρόμηση. Επιπρόσθετα, εξετάζονται και εκτιμήσεις της μέγιστης πιθανοφάνειας (ML) ως άξονες ανάλυσης του προτύπου. Συνήθως, σε τέτοια πρότυπα, είναι πολύ σημαντική η πρόβλεψη της πιθανότητας και το ποσοστό της. Τα όρια, όπως είναι αναμενόμενο, κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1, όπου ως 1 εκφράζεται το ποσοστό 100%.

Μεταξύ των προτύπων λογιστικής κατανομής με παλινδρόμηση που χρησιμοποιείται για τις δυαδικές μεταβλητές, και της απλής ή πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

υπάρχουν αρκετές διαφορές αλλά και ορισμένες ομοιότητες. Η γραμμική παλινδρόμηση είναι μια στατιστική τεχνική όπου προσαρμόζει μια ευθεία γραμμή σε ένα σύνολο (X, Y) δεδομένων. Η κλίση και ο σταθερός όρος της γραμμής είναι τέτοιοι, ώστε να ελαχιστοποιούν το άθροισμα των τετραγώνων μεταξύ των παρατηρήσεων και των τιμών που προκύπτουν από την προσαρμοσμένη γραμμή στα δεδομένα. Η επεξηγηματική μεταβλητή (X) , πρέπει να είναι αριθμητική, που σημαίνει πως πρέπει να είναι συνεχής. Το ίδιο και η εξαρτημένη μεταβλητή, δηλαδή η μεταβλητή απόκρισης (Y) . Η απλή γραμμική δομή αποτελείται από δυο τμήματα, τη δομή των μέσων και τη δομή των σφαλμάτων. Η δομή των μέσων τιμών γίνεται υπόθεση πως και εκείνη ακολουθεί την γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ της εξαρτημένης και της ανεξάρτητης μεταβλητής. Η δομή των σφαλμάτων επιχειρεί να εκφράσει πώς οι μεμονωμένες μετρήσεις διαφέρουν από τη μέση τιμή και γίνεται η υπόθεση ότι οι μεμονωμένες αποκρίσεις διαφέρουν από τη μέση τιμή σύμφωνα με την κανονική κατανομή με μεταβλητότητα σ^2 .

Η δομή των μέσων είναι της μορφής:

$$E(Y_i | X_i) = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad (20)$$

Ενώ η δομή των σφαλμάτων είναι:

$$\varepsilon_i \equiv N(0, \sigma^2) \quad (21)$$

Σε αντίθεση με αυτήν τη δομή δεδομένων, η δυαδική δομή λαμβάνει την τιμή 1 όταν συμβαίνει ένα φαινόμενο και την τιμή 0 όταν δεν συμβαίνει. Κάτι τέτοιο μπορεί να εκφραστεί ως η πιθανότητα να συμβεί το υπό εξέταση φαινόμενο ή όχι ως εξής:

$$\text{Prob}(Y_i = 1) = \pi_i \quad (22)$$

$$\text{Prob}(Y_i = 0) = 1 - \pi_i \quad (23)$$

Με τη δυαδική απόκριση γενικά λαμβάνεται:

$$E(Y_i) = 0 \cdot (1 - \pi_i) + 1 \cdot \pi_i = \pi_i \quad (24)$$

το οποίο συναρτήσει της επεξηγηματικής μεταβλητής λαμβάνει τη μορφή:

$$E(Y_i | X_i) = \beta_0 + \beta_1 X_i = \pi_i \quad (25)$$

Από τα παραπάνω ισχύει ότι αν κάποιος επιχειρήσει να χρησιμοποιήσει την απλή γραμμική παλινδρόμηση, προκύπτει ότι η πιθανότητα να ισχύει το φαινόμενο που περιγράφεται με απόκριση 1, είναι γραμμική συνάρτηση της επεξηγηματικής μεταβλητής. Επειδή οι πιθανότητες έχουν πάντα τιμές μεταξύ 0 και 1, το δυαδικό πρότυπο έχει τον περιορισμό ότι οι αποκρίσεις θα έχουν και αυτές το αντίστοιχο εύρος, καθώς επίσης και οι αποκρίσεις πρόβλεψης. Η δυαδική φύση των αποκρίσεων δημιουργεί επίσης δυσκολίες στον τρόπο θεώρησης των μεμονωμένων τιμών σε σχέση με τον μέσο, δηλαδή της μεταβλητότητας. Η μεταβλητότητα στις δυαδικές αποκρίσεις δίνεται συναρτήσει της πιθανότητας π_i . Πιο συγκεκριμένα, η μεταβλητότητα εκφράζεται από τη σχέση:

$$\text{Var}(Y_i) = \pi_i \cdot (1 - \pi_i) \quad (26)$$

Συνεπώς, εδώ δεν ισχύουν και τα περί σταθερής μεταβλητότητας. Από τη στιγμή που οι δυαδικές αποκρίσεις μπορεί να έχουν μόνο δυο τιμές, είναι προφανές ότι οι δυαδικές αποκρίσεις δεν μπορούν να συμπεριφέρονται γύρω από τη μέση τιμή σύμφωνα με την κανονική κατανομή.

Γενικά, οι δομές σφαλμάτων που χρησιμοποιούνται σχετικά με το πώς οι μεμονωμένες τιμές κυμαίνονται γύρω από τον μέσο, είναι απαραίτητες για την κατάλληλη εφαρμογή αλλά και ερμηνεία των επίσημων στατιστικών αναφορών που έχουν γίνει για την απλή γραμμική παλινδρόμηση. Με άλλα λόγια, αυτές οι υποθέσεις είναι απαραίτητες για να δημιουργηθούν επίπεδα εμπιστοσύνης αλλά και για ελέγχους σημαντικότητας σε γραμμικές σχέσεις. Όμως, αυτές οι υποθέσεις δεν είναι απαραίτητο να παράγουν τα συνήθη ελάχιστα τετράγωνα και να καταλήγουν πάντα στον υπολογισμό της κλίσης και του σταθερού όρου, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τον έλεγχο γραμμικής σχέσης μεταξύ αποτελεσμάτων δυαδικών αποκρίσεων. Το αποτέλεσμα της παλινδρόμησης συνήθως δεν εκφράζει την δυαδική φύση του φαινομένου και οι προβλέψεις δεν είναι λογικές. Αυτό μπορεί να αποδειχθεί και από ένα διάγραμμα των υπολοίπων. Όταν η παλινδρόμηση δεν ταιριάζει στα δεδομένα τότε τα υπόλοιπα μπορεί να απεικονίζονται σε δυο κεκλιμένες γραμμές και όχι σε μια όπως γίνεται όταν η παλινδρόμηση είναι ικανοποιητική.

Σε περιπτώσεις όπου οι μεταβλητότητες διαφέρουν, χρησιμοποιείται η μέθοδος των σταθμισμένων μέσων (προέκταση της συμβατικής μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων). Στις μεταβλητότητες με μεγαλύτερες διακυμάνσεις δίνεται μικρότερο βάρος και κατά συνέπεια έχουν μικρότερη επίδραση στον προσδιορισμό της συνάρτησης της απλής παλινδρόμησης. Συνήθως το βάρος είναι αντιστρόφως ανάλογο με τη διακύμανση και η μέθοδος αυτή πάλι δεν εξαλείφει το πρόβλημα στα υπόλοιπα για τη δεδομένη φύση του προβλήματος.

Συνήθως, όταν η μεταβλητή απόκρισης είναι δυαδική, ή αποτελεί ένα διωνυμικό ποσοστό, η αναμενόμενη απόκριση προτυποποιείται πιο ικανοποιητικά όταν χρησιμοποιούνται καμπύλες για την συσχέτισή της με τις επεξηγηματικές μεταβλητές. Μια τέτοια καμπυλόγραμμη μορφή συσχέτισης δίνεται από τη σχέση:

$$E(Y_i | X_i) = \pi_i = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 X_i)}}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 X_i)}} \quad (27)$$

Και αυτή η σχέση βρίσκεται μεταξύ των τιμών 0 και 1. Με τη συνάρτηση αυτή ελαχιστοποιείται η πιθανότητα να ληφθεί μη λογικό αποτέλεσμα προβλέψεων πιθανοτήτων. Επίσης, σε αυτό το πρότυπο είναι ουσιαστικά κρυμμένο στη συνάρτηση του, ένα γραμμικό πρότυπο που μπορεί να αποκαλυφθεί με τον κατάλληλο μετασχηματισμό της απόκρισης. Το πρόσημο του συντελεστή β_1 δείχνει την κατεύθυνση της καμπύλης. Το πρότυπο αυτό είναι γνωστό ως ‘Πρότυπο Λογιστικής Κατανομής’ (Logistic Model). Ο μετασχηματισμός που αποκαλύπτει τη γραμμική φύση του προτύπου ονομάζεται μετασχηματισμός ‘logit’. Από την σχέση (27), προκύπτει το γραμμικό πρότυπο με τη χρήση του φυσικού αλγορίθμου.

$$\pi_i' = \ln\left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad (28)$$

Ο μετασχηματισμός ‘logit’, όταν χρησιμοποιείται το ποσοστό p_i , δεν είναι παρά ο όρος $\ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right)$. Βασική προϋπόθεση για αυτόν τον μετασχηματισμό είναι η ύπαρξη παρατηρήσεων σε μορφή ποσοστού που είναι διαφορετική από 0 και 1. Οι προβλεπόμενες τιμές που προκύπτουν από τέτοιου τύπου πρότυπα είναι αυστηρά μεταξύ του 0 και του 1.

Παρά την πρόοδο που έχει γίνει στο πλαίσιο προσδιορισμού προτύπου, κυρίως για την δομή των μέσων, εξακολουθούν να υπάρχουν προβλήματα σε ότι έχει να κάνει με την κατανομή των σφαλμάτων. Εξαιτίας της δυαδικής φύσης, η υπόθεση της ίσης μεταβλητότητας δεν ισχύει, ούτε και η υπόθεση ότι οι αποκρίσεις αποκλίνουν ως προς το μέσο σύμφωνα με την κανονική κατανομή. Παρά το γεγονός ότι είναι δυνατόν να αποκτηθούν και λογικές τιμές πρόβλεψης, δεν υπάρχει τρόπος αξιολόγησης της προσαρμογής του προτύπου στα δεδομένα, ούτε υπάρχει τρόπος να αξιολογηθεί η στατιστική σημαντικότητα των παραμέτρων που εκτιμώνται. Με το να γίνεται γραμμική παλινδρόμηση στα δεδομένα, ακόμα και τύπου ‘logit’, είναι σαν να επιχειρείται ο εξαναγκασμός των δυαδικών τιμών να ακολουθήσουν μια τέτοια κατανομή. Αυτό που πραγματικά είναι χρήσιμο, είναι η αναζήτηση ενός νέου τρόπου ανάλυσης των δεδομένων. Αντί για τη χρήση ελαχίστων τετραγώνων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι μέγιστης πιθανοφάνειας (ML) και να εκτιμηθούν οι παράμετροι του προτύπου λογιστικής κατανομής.

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στην εκτίμηση της μέγιστης πιθανοφάνειας (ML). Η πιθανοφάνεια είναι μια συνάρτηση με τα δεδομένα και τις παραμέτρους του προτύπου. Η πιθανοφάνεια μεγιστοποιείται βρίσκοντας εκτιμήσεις των παραμέτρων των προτύπων που είναι πιο πιθανό να επιστρέψουν τα δεδομένα. Στα δυαδικά δεδομένα, η μορφή της πιθανοφάνειας είναι απλή. Σύμφωνα με τις εξισώσεις σχετικά με τη φασματική απόκριση και σύμφωνα με την προϋπόθεση ότι οι παρατηρούμενες αποκρίσεις είναι ανεξάρτητες, η πιθανοφάνεια είναι το γινόμενο των π_i και $(1-\pi_i)$. Για κάθε $Y_i=1$, το αποτέλεσμα του γινομένου είναι η πιθανότητα π_i . Η γενική μορφή της πιθανοφάνειας για τα δυαδικά δεδομένα είναι:

$$L((\beta_0, \beta_1); \text{Data}) = \prod_{i=1}^n \pi_i^{Y_i} (1 - \pi_i)^{1-Y_i} \quad (29)$$

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι μέχρι στιγμής η πιθανοφάνεια σχετίζεται με το γινόμενο πιθανοτήτων. Δεν γίνεται κάποια αναφορά στο πώς αυτές οι πιθανότητες θα προτυποποιηθούν. Η ενσωμάτωση γραμμικού προτύπου έδειξε μη ικανοποιητικά αποτελέσματα, όπως φάνηκε νωρίτερα. Η χρήση συναρτήσεων λογιστικής κατανομής είναι εντέλει αυτή που επιλέγεται ώστε να μοντελοποιηθεί η σχέση μεταξύ της πιθανότητας π_i και της επεξηγηματικής μεταβλητής X_i . Οι συναρτήσεις που εκφράζουν την π_i και $(1-\pi_i)$ πιθανότητα παρουσιάζονται ακολούθως:

$$\pi_i = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 X_i)}}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 X_i)}} \quad (30)$$

και

$$(1 - \pi_i) = \frac{1}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 X_i)}} \quad (31)$$

και ύστερα από αντικατάσταση στην σχέση (29) λαμβάνεται:

$$L((\beta_0, \beta_1); \text{Data}) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 X_i)}}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 X_i)}} \right)^{Y_i} \left(\frac{1}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 X_i)}} \right)^{1 - Y_i} = \prod_{i=1}^n \frac{(e^{(\beta_0 + \beta_1 X_i)})^{Y_i}}{(1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 X_i)})} \quad (32)$$

Στόχος είναι να βρεθούν οι συντελεστές εκείνοι β_0 και β_1 που να μεγιστοποιούν τη συνάρτηση (32). Συχνά χρησιμοποιείται ο φυσικός λογάριθμος στη συνάρτηση. Η πιθανοφάνεια σε log-λογάριθμο για δυαδικά δεδομένα για το πρότυπο λογιστικής κατανομής είναι:

$$\log[L((\beta_0, \beta_1); \text{Data})] = \sum_{i=1}^n Y_i (\beta_0 + \beta_1 X_i) - \sum_{i=1}^n \log[1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 X_i)}] \quad (33)$$

Σε αντίθεση με τη συμβατική λογική των ελαχίστων τετραγώνων, επειδή οι δύο εξισώσεις δεν είναι ουσιαστικά γραμμικές, η εκτίμηση των βέλτιστων παραμέτρων γίνεται ύστερα από επαναληπτική διαδικασία ώστε να ελαχιστοποιηθεί η log-πιθανοφάνεια. Οι επαναλήψεις σταματούν όταν δεν αλλάζει η τιμή της.

Η όλη διαδικασία της μέγιστης πιθανοφάνειας για τα δεδομένα δυαδικής απόκρισης και το πρότυπο λογιστικής κατανομής διατίθενται στο Γενικευμένο Γραμμικό Πρότυπο (glm) που διατίθεται στη γλώσσα στατιστικής ανάλυσης R [R Development Core Team, 2011]. Η επιλογή ‘family=binomial’ χρησιμοποιεί την πιθανοφάνεια της εξίσωσης (29). Η επιλογή ‘link=logit’, χρησιμοποιεί το πρότυπο λογιστικής κατανομής της συνάρτησης (27) και η οποία αν δεν οριστεί από τον χρήστη, τίθεται από μόνη της. Στο λογισμικό R χρησιμοποιούνται ειδικές συναρτήσεις όταν οι αρχικές τιμές πιθανοτήτων είναι ή 0 ή 1. Γενικά, στα διάφορα στατιστικά πακέτα υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις τόσο στις αρχικές τιμές όσο και στη σύγκλιση του αλγορίθμου.

Οι προβλεπόμενες $\hat{\pi}_i$ τιμές λόγω της μη γραμμικότητας του προτύπου σχετίζονται με τις πιθανότητες παρατήρησης από τη σχέση:

$$e^{\hat{\pi}_i} = \frac{\hat{\pi}_i}{1 - \hat{\pi}_i} \quad (34)$$

Αν η ανεξάρτητη μεταβλητή X_i αυξηθεί κατά μια μονάδα τότε οι προβλεπόμενες πιθανότητες αυξάνονται κατά $e^{\hat{\beta}_1}$. Ο σταθερός όρος θεωρείται εκείνη η προβλεπόμενη λογαριθμική πιθανότητα για X ίσο με το μηδέν.

Αξίζει να αναφερθεί πως ενώ για τη γραμμική παλινδρόμηση τα καλύτερα αποτελέσματα προκύπτουν για ανεξάρτητες παρατηρήσεις και κανονική κατανομή σφαλμάτων με την ίδια μεταβλητότητα, η λογιστική παλινδρόμηση βασίζεται στην ασυμπτωτική θεωρία. Συνεπώς, η τεχνική προσδιορισμού της θα είναι ιδανική για σημαντικό αριθμό δεδομένων. Απαιτείται δηλαδή μεγαλύτερο δείγμα.

Για τη δημιουργία υποθέσεων ελέγχου και διαστημάτων εμπιστοσύνης πρέπει να διευκρινιστούν περισσότερα σχετικά με τις μεταβλητότητες. Ο έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας της σχέσης μεταξύ της επεξηγηματικής μεταβλητής και της δυαδικής απόκρισης, όσο και ο έλεγχος της προσαρμογής της συνάρτησης στα δεδομένα αποτελούν σημαντικά ζητήματα.

Η μεταβλητότητα σε ένα πρότυπο λογιστικής κατανομής μπορεί να συνδεθεί με το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων που ισχύει για τις συνήθεις ελαχιστοτετραγωνικές παλινδρομήσεις των γραμμικών μοντέλων. Η μεταβλητότητα εκφράζεται ως το διπλάσιο του λόγου της λογαριθμικής πιθανοφάνειας και προφανώς όσο μικρότερη, τόσο καλύτερη η προσαρμογή της συνάρτησης στα δεδομένα. Ασυμπτωτικά, η μεταβλητότητα ακολουθεί την κατανομή χ^2 . Και γι αυτό οι υποθέσεις σχετικά με την προσαρμογή συγκρίνονται με τις τιμές της κατανομής αυτής. Για μεγάλα δείγματα αναφέρεται ότι οι τιμές που προκύπτουν χρησιμοποιώντας την κατανομή χ^2 (P-values) είναι κατά προσέγγιση. Η τιμή P εκφράζει την πιθανότητα ότι η κατανομή χ^2 , για συγκεκριμένους βαθμούς ελευθερίας ξεπερνάει την υπολειπόμενη μεταβλητότητα (Residual Distance). Μικρές τιμές P υποδεικνύουν σημαντική απομάκρυνση από την μηδενική υπόθεση του ελέγχου που συνήθως ορίζεται ότι το πρότυπο λογιστικής κατανομής παρέχει ικανοποιητική προσαρμογή στα δεδομένα. Πιο απλά, όταν η υπολειπόμενη μεταβλητότητα είναι μεγάλη (μικρή τιμή P), τότε υπάρχει σημαντικό πρόβλημα προσαρμογής του προτύπου λογιστικής κατανομής στα δεδομένα.

Ο όρος της αρχικής μεταβλητότητας, που επίσης αναγράφεται στα αποτελέσματα, αθροίζει την προσαρμογή του προτύπου λογιστικής κατανομής και απλώς εμπεριέχει και τον σταθερό όρο. Η διαφορά ανάμεσα στην αρχική μεταβλητότητα και στην μεταβλητότητα υπολοίπων δείχνει αν είναι σημαντική η πρόσθεση της μοναδικής ανεξάρτητης μεταβλητής στο πρότυπο λογιστικής κατανομής. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει όταν προστίθεται μια μεταβλητή στις συνήθεις παλινδρομήσεις. Η διαφορά στο άθροισμα των τετραγώνων πριν και μετά την προσθήκη της μεταβλητής εκφράζει τον βαθμό της μεταβλητότητας που εξηγήθηκε από την μεταβλητή. Οι βαθμοί ελευθερίας που αναγράφονται στα αποτελέσματα είναι η διαφορά του αριθμού των μετρήσεων και των μεταβλητών που επιλέγεται να συμμετέχουν στο πρότυπο.

Η διαφορά στην μεταβλητότητα για τα πρότυπα λογιστικής κατανομής μπορεί να συγκριθεί με την τιμή χ^2 της κατανομής για να καθορίσει την στατιστική σημαντικότητα. Οι βαθμοί ελευθερίας της κατανομής ισούνται με τον αριθμό των μεταβλητών πρόβλεψης που εισήχθησαν στο πρότυπο, δηλαδή για μια μεταβλητή είναι ίσοι με ένα. Το τεστ αυτό επίσης απαιτεί μεγάλο αριθμό δείγματος και τα αποτελέσματα είναι επίσης προσεγγιστικά. Δηλαδή, η διαφορά της αρχικής με την υπολειπόμενη μεταβλητότητα εκφράζει τη ‘σημαντικότητα’ που εκφράζεται από την μεταβλητή αυτή στο πρότυπο λογιστικής κατανομής με έναν βαθμό ελευθερίας (δηλαδή από την προσθήκη μιας μεταβλητής). Για μεγάλη τιμή διαφοράς και για έναν βαθμό ελευθερίας η τιμή P της κατανομής χ^2 που επιστρέφεται είναι σχεδόν μηδέν.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι παρόλο που μπορεί ο σταθερός όρος μιας μεταβλητής να είναι στατιστικά σημαντικός, η χρήση του μπορεί να μην δώσει τις καλύτερες

προβλέψεις. Αν δεν υπάρχει καλή προσαρμογή του προτύπου λογιστικής κατανομής στα δεδομένα τότε κάποιο άλλο πρότυπο μπορεί να δώσει καλύτερα αποτελέσματα.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί και ο εναλλακτικός τρόπος για τον έλεγχο στην αλλαγή της μεταβλητότητας για την στατιστική σημαντικότητα πρόβλεψης ντερμινιστικών μεταβλητών στα πρότυπα λογιστικής κατανομής. Ο έλεγχος γίνεται με τον έλεγχο ‘z-test’ (t τιμή), όπου:

$$z = \frac{\text{εκτιμώμενη παράμετρος}}{\text{τυπικό σφάλμα}} \quad (35)$$

Ο έλεγχος αυτός ελέγχει αν ακολουθείται κατά προσέγγιση η τυπική κανονική κατανομή για μεγάλα δείγματα. Για πολύ μεγάλα δείγματα (άλλο ασυμπτωτικό αποτέλεσμα), η αλλαγή στην μεταβλητότητα και το τετράγωνο του z-στατιστικού ελέγχου (της μεταβλητής) πρέπει να δίνουν κατά προσέγγιση την ίδια τιμή. Σε μικρά ή μέτρια δείγματα, οι δύο στατιστικοί δείκτες μπορούν να δώσουν διαφορετικά αποτελέσματα. Όταν υπάρχει αμφιβολία, χρησιμοποιείται ο έλεγχος της μεταβλητότητας.

Η πολλαπλή λογιστική παλινδρόμηση είναι η επέκταση της απλής όπου συμμετέχουν πολλές εξηγηματικές μεταβλητές (πρόβλεψης) με δυαδική απόκριση. Όπως και στις συνήθεις εφαρμογές ελαχίστων τετραγώνων, η πολλαπλή παλινδρόμηση και εδώ αντιμετωπίζει το πρόβλημα των πιθανά συσχετισμένων μεταβλητών. Η γενική μορφή του προτύπου της λογιστικής κατανομής με παλινδρόμηση δίνεται από τη σχέση:

$$\pi_i = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki})}}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki})}} \quad (36)$$

Στόχος της πολλαπλής παλινδρόμησης είναι ο καλύτερος συνδυασμός μεταβλητών για τη βέλτιστη προσαρμογή των παρατηρούμενων ποσοστών. Πιο απλά, πρέπει να βρεθούν εκείνες οι μη συσχετισμένες μεταξύ τους μεταβλητές (ανεξάρτητες μεταβλητές) που να ερμηνεύουν όσο το δυνατόν περισσότερο την μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής.

Οι τρόποι επιλογής των μεταβλητών είναι διάφοροι. Μια πρώτη προσέγγιση είναι η προοδευτική επιλογή. Αρχικά δηλαδή επιλέγεται εκείνη που ερμηνεύει περισσότερο την εξαρτημένη μεταβλητή και μετά προστίθενται οι υπόλοιπες με την προϋπόθεση ότι ερμηνεύουν περαιτέρω μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής και φυσικά ύστερα από έλεγχο συσχέτισης με την πρώτη μεταβλητή. Η αφαιρετική διαδικασία είναι μια άλλη προσέγγιση όπου αρχικά προστίθενται όλες οι μεταβλητές στο πρότυπο και μετά αρχίζει η αφαίρεσή τους με παρατήρηση αν με την αφαίρεσή τους συμβαίνει ταυτόχρονα μείωση και της προσαρμογής. Αυτή η μεταβλητή που θα προκαλέσει τη μικρότερη αλλαγή είναι αυτή που αφαιρείται. Τέλος, υπάρχει και η κατά βήματα επιλογή μεταβλητών, όπου γίνεται ένας συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων. Αρχικά γίνεται μια προοδευτική επιλογή ορισμένων μεταβλητών αλλά μετά από κάθε βήμα ελέγχεται αν οι μεταβλητές που προστέθηκαν πιο πρόσφατα δημιουργούν επιπλέον μεταβλητότητα αντί να αφαιρούν. Σε τέτοια περίπτωση αφαιρείται η χειρότερη μεταβλητή και

επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Καμία από τις παραπάνω τεχνικές επιλογής ανεξάρτητων μεταβλητών δεν εγγυάται το ‘καλύτερο’ πρότυπο. Τα ίδια δεδομένα είναι πιθανό να καταλήξουν σε αρκετά διαφορετικά πρότυπα. Για να εξαντληθούν όλες οι πιθανότητες, ενδείκνυται όλα τα πιθανά πρότυπα να εξετάζονται περαιτέρω.

Εν κατακλείδι, στα δεδομένα δυαδικής απόκρισης δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστούν συνήθεις γραμμικές παλινδρομήσεις που ελαχιστοποιούν τα τετράγωνα των υπολειπόμενων σφαλμάτων μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών και των παρατηρήσεών τους. Η εφαρμογή απλής γραμμικής παλινδρόμησης ακόμη και σε δεδομένα με ‘logit’ μετασχηματισμό δεν επιφέρουν ικανοποιητικό αποτέλεσμα, διότι μπορεί να διορθώνεται η μη γραμμική φύση των δυαδικών δεδομένων, αλλά δεν διευθετείται το πρόβλημα της παραβίασης της αρχής περί ίσων μεταβλητοτήτων και κανονικής κατανομής των σφαλμάτων που ισχύουν ως υποθέσεις για την εφαρμογή της κανονικής κατανομής. Η χρήση της μέγιστης πιθανοφάνειας παρέχει ένα μέσο επεξεργασίας για τα δυαδικά δεδομένα. Το γενικευμένο γραμμικό πρότυπο με τη χρήση δυαδικών συναρτήσεων ως όρος στο πρότυπο που συντάσσεται σε γλώσσα στατιστικής ανάλυσης R, παρέχει ένα κατάλληλο και εύκολο μέσο προσαρμογής απλών και πολλαπλών παλινδρομήσεων για τα πρότυπα λογιστικής κατανομής. Η προσαρμογή τέτοιων προτύπων μπορεί να αξιολογηθεί εξετάζοντας τα υπόλοιπα μεταβλητότητας. Επιπρόσθετα, η σημαντικότητα των μεμονωμένων μεταβλητοτήτων στο πρότυπο μπορεί να αξιολογηθεί βλέποντας την αλλαγή στην μεταβλητότητα ή μέσα από τον z-έλεγχο. Γενικά, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων σε τέτοιους ελέγχους, ειδικά με την χρήση P τιμών, που είναι προσεγγιστικές.

5.1.2. Εκτίμηση πολυωνυμικών προτύπων τύπου ‘logit’

Το πακέτο ‘mlogit’ μέσα στο λογισμικό R [Croissant, 2008], επιτρέπει τον υπολογισμό πολυωνυμικών προτύπων τύπου ‘logit’ με μεμονωμένες και συγκεκριμένες εναλλακτικές μεταβλητές. Οι συναρτήσεις του συγκεκριμένου πακέτου βοηθούν στην ανάπτυξη προτύπων διακριτών επιλογών χρησιμοποιώντας τη μέγιστη πιθανοφάνεια. Στα οικονομετρικά πρότυπα η χρήση τους είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Οι βασικές επεκτάσεις του βασικού προτύπου όπως για παράδειγμα η ετεροσκεδαστικότητα, τα ένθετα πρότυπα και τα πρότυπα τυχαίων παραμέτρων είναι επίσης δυνατόν να εφαρμοστούν.

Γενικά, τα πρότυπα τύπου ‘logit’ είναι χρήσιμα όταν κάποιος επιχειρεί να εξηγήσει διακριτές επιλογές, δηλαδή συγκεκριμένες επιλογές ανάμεσα σε αρκετές αμοιβαία αποκλειόμενες εναλλακτικές. Οι εφαρμογές τους στα οικονομετρικά πρότυπα γίνονται πάνω σε δεδομένα που είτε δηλώνουν κάποια προτίμηση (πχ. ενός μέσου μεταφοράς σε σχέση με το άλλο), είτε σε ένα σύνολο προτεινόμενων εναλλακτικών (πχ. τρεις διαφορετικοί τύποι εισιτηρίων με διαφορετικό κόστος και διάρκεια ισχύος). Υποθέτοντας για παράδειγμα ότι η ωφέλεια για κάθε εναλλακτική εξαρτάται γραμμικά από δύο μεταβλητές πχ. χρόνος (x) και τιμή (z) τότε η ωφέλεια κάθε εναλλακτικής εκφράζεται ως:

$$U_1 = \alpha_1 + \beta x_1 + \gamma z_1 \quad (37)$$

$$U_2 = \alpha_2 + \beta x_2 + \gamma z_2 \quad (38)$$

$$U_3 = \alpha_3 + \beta x_3 + \gamma z_3 \quad (39)$$

Το πολυωνυμικό πρότυπο προκύπτει απλά εφαρμόζοντας έναν συγκεκριμένο μετασχηματισμό στην ωφέλεια ώστε τα αποτελέσματα να μπορούν να ερμηνευτούν σαν πιθανότητες επιλογής κάθε εναλλακτικής:

$$P_1 = \frac{e^{U_1}}{e^{U_1} + e^{U_2} + e^{U_3}} \quad (40)$$

$$P_2 = \frac{e^{U_2}}{e^{U_1} + e^{U_2} + e^{U_3}} \quad (41)$$

$$P_3 = \frac{e^{U_3}}{e^{U_1} + e^{U_2} + e^{U_3}} \quad (42)$$

και ικανοποιούν τους εξής περιορισμούς:

$$0 \leq P_j \leq 1 \text{ και } \sum_{j=1}^3 P_j = 1 \quad (43)$$

Με την εφαρμογή ‘logit’ προτύπων, υπολογίζονται ουσιαστικά οι συντελεστές του προτύπου (πχ. συντελεστές για το χρόνο και την τιμή στη συνάρτηση ωφέλειας). Από τη στιγμή που προκύπτει το πρότυπο, είναι περαιτέρω χρήσιμο για προβλέψεις εισάγοντας διαφορετικές τιμές στις επεξηγηματικές μεταβλητές και υπολογίζοντας τις νέες πιθανότητες.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή πολυωνυμικών προτύπων τύπου ‘logit’ σχετίζονται με μερικές μεμονωμένες (ατομικές) μεταβλητές που ορίζουν μια ή περισσότερες επιλογές ανάμεσα σε αρκετές εναλλακτικές, οι καθοριστικοί παράγοντες των οποίων θεωρούνται μεταβλητές που μπορεί να είναι καθορισμένες εναλλακτικές επιλογές ή αμιγώς συγκεκριμένες και μεμονωμένες. Τέτοιου τύπου δεδομένα λοιπόν μπορούν να έχουν συγκεκριμένη δομή η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί από τρεις δείκτες. Πρώτον, ο δείκτης της εναλλαγής, δεύτερον, ο δείκτης της κατάστασης της επιλογής και τρίτον, ο δείκτης της ατομικότητας. Ο τελευταίος δείκτης υφίσταται όταν υπάρχουν επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις για το ίδιο ατομικό χαρακτηριστικό. Τα δεδομένα μπορούν να έχουν μορφή δύο διαφορετικών τύπων.

Η παραπάνω μορφή των προτύπων δεν είναι όμως και η πλέον χρήσιμη στην πράξη. Η πιο διαδεδομένη μορφή των συναρτήσεων ωφέλειας είναι η έκφραση μιας εναλλακτικής ‘j’ σε σχέση με την ‘i’:

$$U_{ij} = \alpha_j + \beta x_{ij} + \gamma_j z_i + \delta_j w_{ij} \quad (44),$$

όπου:

β : ο γενικός συντελεστής των εναλλακτικά συγκεκριμένων μεταβλητών x_{ij} ,

γ_j : ο συντελεστής της ατομικής συγκεκριμένης επιλογής z_i και

δ_j : ο συντελεστής των εναλλακτικά συγκεκριμένων μεταβλητών w_{ij} .

Όμως, μόνο μέσω διαφορών στην ωφέλεια είναι δυνατή η προτυποποίηση της επιλογής ανάμεσα σε εναλλακτικές. Αυτό σημαίνει πως, ο σχηματισμός της έκφραση της διαφοράς μεταξύ της ωφέλειας για δυο διαφορετικές εναλλακτικές πχ. ‘j’ και ‘k’ είναι ο βασικός στόχος κατά τη δημιουργία ενός προτύπου. Αρα αναζητείται μια έκφραση της μορφής:

$$U_{ij} - U_{ik} = (\alpha_j - \alpha_k) + \beta(x_{ij} - x_{ik}) + (\gamma_j - \gamma_k)z_i + (\delta_j w_{ij} - \delta_k w_{ik}) \quad (45)$$

Αναφέρεται ότι κατά τον προσδιορισμό των προτύπων, οι συντελεστές που προσδιορίζονται δεν είναι παρά ο γραμμικός συνδυασμός των εναλλακτικών επιλογών που εκφράζονται στη συνάρτηση ωφέλειας των διαφορών.

5.1.3. Γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση

Τέτοια πρότυπα χρησιμοποιούνται κυρίως στην ανάλυση και αξιοποίηση δημογραφικών δεδομένων. Η βασική ιδέα πίσω από το πρότυπο Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (Geographically Weighted Regression), το οποίο είναι δυνατόν να αναπτυχθεί εντός του ελεύθερου λογισμικού στατιστικής ανάλυσης R [R Development Core Team, 2011], είναι να διερευνήσει πώς μπορεί να διαφοροποιούνται οι χωρικές σχέσεις μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής (Y) και μιας ή περισσοτέρων ανεξάρτητων μεταβλητών (X). Πρακτικά, αντί να γίνεται αποδεκτή η υπόθεση πως ένα και μόνο πρότυπο μπορεί να εφαρμοστεί σε όλη την περιοχή μελέτης, αναζητούνται γεωγραφικές διαφορές στη μεταβλητή. Δημιουργείται συνεπώς διαφορετικό πρότυπο σε κάθε υποσύνολο δεδομένων. Αρχικά ορίζεται ένα κεντρικό σημείο του υποσυνόλου και τα υπόλοιπα σημεία λαμβάνουν βάρος ανάλογα με την απόστασή τους από το κεντρικό. Ο ορισμός της υπό-περιοχής, δηλαδή του υποσυνόλου γίνεται μέσω ενός προσαρμοστικού παραθύρου, ενώ οι αποστάσεις είναι είτε οι γεωμετρικές είτε υπολογίζονται με βάση τη μέθοδο του Εγγύτερο Γείτονα (Nearest Neighbor Method). Τέτοια πρότυπα δεν συντάχτηκαν στην παρούσα μελέτη, αλλά μελλοντικά θα ήταν χρήσιμη η συμβολή τους.

5.1.4. Πρότυπα Μαρκοβιανών αλυσίδων (Markov chains)

Η ανάπτυξη προτύπων χρήσης γης με τη συγκεκριμένη μεθοδολογική προσέγγιση έχει απασχολήσει αρκετά τους ερευνητές κυρίως για την πρόβλεψη μελλοντικών καταστάσεων. Μελέτες που έχουν υλοποιηθεί σχετικά με τις χρήσεις γης και την μέθοδο Μαρκοβιανών αλυσίδων έχουν αναλυθεί στο εδάφιο 2.7.

Γενικά, πρόκειται για μια μαθηματική διεργασία όπου διαχειρίζεται μεταβάσεις από μια κατάσταση σε μια άλλη για πεπερασμένο αριθμό πιθανών καταστάσεων. Η επόμενη κατάσταση εξαρτάται μόνο από την τρέχουσα κατάσταση και όχι από την ακολουθία γεγονότων που έχει προηγηθεί. Συνήθως χρησιμοποιείται για διακριτά σύνολα δεδομένων στο χρόνο. Ο όρος της Markov chain Monte Carlo μεθοδολογίας αναφέρεται κυρίως στις περιπτώσεις εκείνες όπου η διαδικασία γίνεται σε διακριτό χρόνο αλλά σε συνεχή διάσταση στο χώρο. Στην μέθοδο ‘Markov chain’, παρά το γεγονός ότι το

σύστημα που δημιουργείται μεταβάλλεται ουσιαστικά τυχαία και θεωρητικά είναι αδύνατη η ακριβής πρόβλεψη, αυτό που μπορεί να υπολογιστεί είναι τα στατιστικά αποτελέσματα για το μέλλον του συστήματος. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε πολλές εφαρμογές. Οι αλλαγές στην κατάσταση του συστήματος ονομάζονται μεταβάσεις και οι πιθανότητες που σχετίζονται με ποικίλες καταστάσεις αλλαγών ονομάζονται πιθανότητες μετάβασης (transition probabilities) και είναι αυτές που χαρακτηρίζουν τη μεθοδολογία ‘Markov chain’.

Σήμερα, έχουν αναπτυχθεί και στοχαστικές προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας Markov chain γεωστατιστικές μεθόδους. Στόχος τους είναι η βέλτιστη αναπαράσταση μιας σύνθετης χωρικής δομής από διακριτές μεταβλητές. Οι Markov chain αλληλουχίες εδώ χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή πολυδιάστατης αναπαράστασης και προσομοίωσης.

5.2. Επεξεργασία Δεδομένων για την Εφαρμογή Προτύπων

Όπως έχει αναφερθεί, τα δεδομένα εισόδου για τη δημιουργία προτύπων χρήσεων γης στις περισσότερες περιπτώσεις δεν απαιτούν πληροφορία μόνο σχετική με τις χρήσεις γης τις διάφορες χρονικές στιγμές. Βέβαια, υπάρχουν τύποι προτύπων πρόβλεψης χρήσης γης που αρκούνται στη διαχρονική γνώση της χρήσης γης των εικονοστοιχείων. Συνήθως όμως τα πρότυπα αυτά δεν εκφράζουν την πραγματικότητα διότι δεν λαμβάνουν υπόψη παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη των χρήσεων γης.

Γενικά, υπάρχουν πολλές μεταβλητές που είναι κρίσιμες στην εξέλιξη μιας περιοχής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται κυρίως στις αστικές ή ημιαστικές περιοχές που εμφανίζουν σημαντική δραστηριότητα ανοικοδόμησης. Τέτοιες μεταβλητές, όπως παρουσιάστηκε και στις έρευνες των Frazier και Kockelman [2004,2005], σχετίζονται για παράδειγμα με τον πληθυσμό, με πληροφορίες οργανωμένες σε επίπεδο νοικοκυριού (μέγεθος νοικοκυριού και αριθμός οχημάτων ανά νοικοκυριό), με πληροφορίες ταξιδιού, δηλαδή πληροφορίες σχετικά με την χρήση οχημάτων ανάλογα με την απόσταση και άλλους σχετικούς παράγοντες και άλλες παρεμφερείς πληροφορίες. Πολύ σημαντικές παράμετροι για την ανάλυση είναι και οι Ευκλείδειες Αποστάσεις από την οδική υποδομή αλλά και από κεντρικές περιοχές με εμπορική δραστηριότητα (CBD).

Για να ερμηνευτούν λοιπόν κυρίως οι αστικές μεταβολές έπρεπε να συγκεντρωθούν όσο περισσότερες πληροφορίες γίνεται. Μερικά διανυσματικά δεδομένα για το λεκανοπέδιο της Αττικής υπήρχαν ήδη στη διάθεση του Πολυτεχνείου. Η χρονική λήψη των δεδομένων ήταν το 2008. Χαρακτηριστικά αναφέρονται τα διανυσματικά δεδομένα που ήταν χρήσιμα για την εξαγωγή χρηστικών πληροφοριών στην δεδομένη εφαρμογή:

- Δήμοι Λεκανοπεδίου
- Ταχυδρομικοί Τομείς
- Αυτοκινητόδρομοι
- Δευτερεύον Οδικό Δίκτυο (αστικές και περιαστικές οδοί)
- Δίκτυο METRO
- Σιδηροδρομικό Δίκτυο

- Σημεία Ενδιαφέροντος (σχολεία, τράπεζες, νοσοκομεία, δημαρχεία, προξενεία, πρεσβείες, μουσεία, θέατρα κ.α.)

Δεδομένα όπως τα οικοδομικά τετράγωνα και τα κτήρια εντός οικοδομικών τετραγώνων, αν και υπήρχαν, ήταν απαραίτητο να διορθωθούν εκτενώς ως προς αρκετούς τοπολογικούς κανόνες πριν τη χρησιμοποίησή τους και δεν αξιοποιήθηκαν. Επιπλέον, δεν υπήρχε διαλειτουργικότητα μεταξύ των κωδικών των οικοδομικών τετραγώνων των διανυσματικών δεδομένων και των κωδικών που αριθμεί η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία τα δεδομένα οικοδομικών τετραγώνων της Αττικής. Με άλλα λόγια, δεν υπήρχε αντιστοίχιση ένα προς ένα των οικοδομικών τετραγώνων με τα πληθυσμιακά δεδομένα του 2001. Έχοντας όμως εικόνες μέτριας χωρικής διακριτικής ικανότητας, η ανάλυση των δεδομένων σε επίπεδο Δήμων είναι ικανοποιητική. Επιβεβλημένη θα ήταν η συσχέτιση ανά οικοδομικό τετράγωνο σε εικόνες ανάλυσης IKONOS και QuickBird, όπου στη δορυφορική εικόνα φαίνονται ευκρινώς τα όρια των οικιών. Για τους παραπάνω λόγους, τα δεδομένα αυτά δεν χρησιμοποιήθηκαν.

Πέραν των διανυσματικών δεδομένων, αναζητήθηκαν πληθυσμιακά δημογραφικά δεδομένα για διάφορες χρονιές, ώστε να συνδεθούν χωρικά με τα διανυσματικά δεδομένα. Κρίθηκε επίσης απαραίτητος ο υπολογισμός Ευκλείδειων Αποστάσεων από δεδομένα ενδιαφέροντος. Έγινε επίσης προσπάθεια ανεύρεσης στοιχείων σχετικά με το εισόδημα για μια χρονιά ανά περιοχή. Αναλυτικά η διαδικασία δημιουργίας κάθε παραμέτρου περιγράφεται στα επόμενα υπεδάφια. Πριν όμως από την υλοποίηση οποιασδήποτε εργασίας έπρεπε να γίνει μετασχηματισμός των αρχικών διανυσματικών δεδομένων, καθώς το προβολικό σύστημα των εικόνων με εκείνο των αρχείων διανυσματικής μορφής ήταν διαφορετικό.

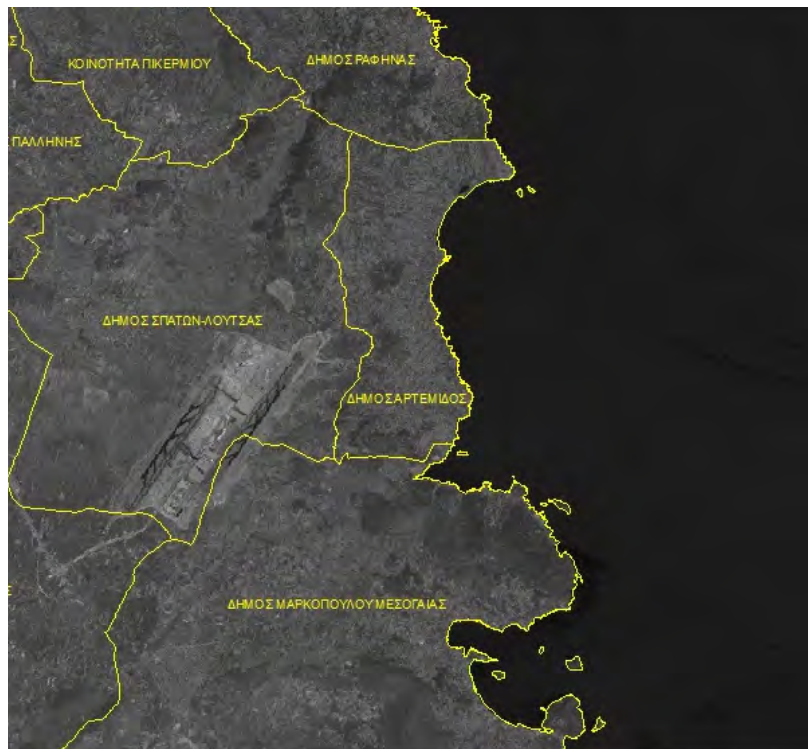
5.2.1. Μετασχηματισμός διανυσματικών δεδομένων στο UTM 34N

Το Σύστημα Αναφοράς των αρχικών γεωγραφικών δεδομένων ήταν το ΕΓΣΑ '87 και για να μπορούν αυτά να εμφανιστούν σε πραγματικές θέσεις στις εικόνες Landsat, πριν από οποιαδήποτε χρήση τους έπρεπε να προηγηθεί μετασχηματισμός τους στο WGS '84 και συγκεκριμένα στην Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (UTM), όπως έχει αναφερθεί στο εδάφιο 3.1. Ο μετασχηματισμός υλοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS 10 και τις εντολές μετασχηματισμού της εργαλειοθήκης 'Data Management Tools' από το σύστημα προβολής 'Greek Grid' στο προβολικό σύστημα 'UTM' και συγκεκριμένα στη ζώνη 34 N που αντιστοιχεί στην Αττική (Εικόνα 5.1). Μετά τον μετασχηματισμό τα δεδομένα προστέθηκαν στις εικόνες για επαλήθευση, όπου όντως χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όπως η ακτογραμμή και οι οδικοί άξονες, συνέπιπταν με τη γεωγραφική τους θέση στην εικόνα (Εικόνα 5.2).

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

Input Dataset or Feature Class
ttomeis
Input Coordinate System (optional)
Greek_Grid
Output Dataset or Feature Class
C:\Antoniou_files\Metaximatismos_SA\geopl\ttomeis_WGS84.shp
Output Coordinate System
WGS_1984_UTM_Zone_34N
Geographic Transformation (optional)
GRS_1987_To_WGS_1984

Εικόνα 5.1: Μετατροπή τοπικού προβολικού συστήματος στο UTM (Ζώνη 34N).



Εικόνα 5.2: Όρια μερικών εκ των Δήμων στην Ανατολική Αττική κατά ‘Καποδίστρια’.

5.2.2. Μετατροπή αποτελεσμάτων ταξινόμησης σε δεδομένα εισόδου

Αρχικά, για τα αποτελέσματα κάλυψης γης των εικόνων από τις τρεις τηλεπισκοπικές μεθόδους έπρεπε η πληροφορία ‘ψηφιδωτής’ μορφής να αποδοθεί σε μορφή αρχείου τύπου ‘txt’. Ο λόγος που έπρεπε να γίνει αυτό ήταν για να μπορούν στη συνέχεια να αποτελούν στοιχεία εισόδου στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R. Ανεξάρτητα της μεθόδου, η ταξινομημένη εικόνα έχει σαν αποτέλεσμα την αντιστοίχιση κάθε εικονοστοιχείου με έναν αριθμό. Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί σε μια κατηγορία που έχει ορίσει ο χρήστης. Εκτός από την ‘ψηφιδωτή’ εξαγωγή αποτελέσματος, πραγματοποιήθηκε και διανυσματική εξαγωγή των κατηγοριών σε αρχεία τύπου ‘shape’. Στην περίπτωση της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης, ήταν εφικτή και η εξαγωγή επιμέρους χαρακτηριστικών των αντικειμένων ενσωματωμένα στον πίνακα των χαρακτηριστικών τους (πχ. επιφάνεια κατηγορίας).

Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε μόνο η ‘ψηφιδωτή’ πληροφορία. Τόσο το λογισμικό ER Mapper όσο και το λογισμικό αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας Definiens 5, έχουν τη δυνατότητα εξαγωγής του αποτελέσματος σε αρχεία μορφής ‘txt’. Άρα, για την ταξινόμηση κάθε εικόνας προέκυπτε ένα αρχείο το οποίο δεν είναι παρά ένας πίνακας. Εφόσον κάθε εικονοστοιχείο αναπαρίσταται από έναν αριθμό, οι διαστάσεις του πίνακα κάθε εικόνας είναι 1353x1426, δηλαδή ακριβώς οι διαστάσεις της εικόνας. Η επεξεργασία τέτοιων αρχείων είναι δυνατή μόνο μέσω λογισμικών που μπορούν να διαχειριστούν δεδομένα τόσο μεγάλων διαστάσεων, όπως για παράδειγμα το λογισμικό emacs [GNU emacs, 2001], το οποίο και χρησιμοποιήθηκε.

Για τη μη επιβλεπόμενη και για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όπου το τελικό αποτέλεσμα των ταξινομήσεων είχε συνενωθεί σε πέντε κοινές και με τις δύο μεθόδους θεματικές κατηγορίες, οι αριθμοί που εκφράζουν κάθε κατηγορία αναγράφονται στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί.

Αριθμός κατηγορίας	Θεματική κατηγορία
1	sea
2	vegetation
3	urban
4	cultivation/bare_soil
5	mines

Πίνακας 5.1: Αντιστοίχιση αριθμού με θεματική κατηγορία για την επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

Είναι προφανές ότι οι παραπάνω αριθμοί δεν έχουν άμεση σύνδεση, δηλαδή δεν έχουν φυσική αλληλουχία και, συνεπώς, δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστούν σε αυτούς γραμμικά πρότυπα. Υπάρχουν μέθοδοι και τύποι προτύπων που επεξεργάζονται δεδομένα σε μη συνεχή μορφή (δεδομένα τύπου ‘nominal’), τα οποία δεν πρέπει να είναι όμως τελείως ασυσχέτιστα (δεδομένα τύπου ‘cardinal’). Τέτοια πρότυπα αναπτύσσονται στο λογισμικό R μέσω της βιβλιοθήκης ‘mlogit’ που στην παρούσα εφαρμογή δεν θα υλοποιηθούν. Για την αποτελεσματική υλοποίησή τους απαιτείται τα δεδομένα να έχουν

την ίδια αλληλουχία (1<2<3<4<5) χωρίς όμως να ισαπέχουν (δεδομένα τύπου ‘ordinal’). Τα αρχεία, για να ισχύει κάτι τέτοιο, επεξεργάστηκαν ώστε ο αριθμός 5 να είναι αυτός που αντιστοιχεί στην αστική περιοχή, που είναι και η περιοχή άμεσου ενδιαφέροντος ως προς την εξέλιξή της (Πίνακας 5.2).

Αριθμός κατηγορίας	Θεματική κατηγορία
1	sea
2	vegetation
3	mines
4	cultivation/bare_soil
5	urban

Πίνακας 5.2: Διατεταγμένη αντιστοίχιση αριθμού με θεματική κατηγορία για την επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

Τα οικονομικά πρότυπα που θα συνταχθούν βέβαια στην παρούσα εργασία είναι τα δυαδικής απόκρισης, με αποτέλεσμα τα δεδομένα να είναι επιθυμητό να έχουν δύο μόνο αριθμούς. Στην τιμή 1 αντιστοιχούν οι αστικές περιοχές, ενώ η τιμή μηδέν αναπαριστά όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες.

Η αντικειμενοστραφής μέθοδος, όπως αναφέρθηκε και στο σχετικό κεφάλαιο, είχε την δυνατότητα εξαγωγής περισσότερων από πέντε κατηγοριών. Όμως, για να είναι συγκρίσιμες οι μέθοδοι και τα αποτελέσματά τους σε επίπεδο πρώτης επεξεργασίας των δεδομένων, θα έπρεπε οι κατηγορίες αυτές να συσχετιστούν επίσης με τις ίδιες θεματικές κατηγορίες της επιβλεπόμενης και μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Ενδεικτικά αναφέρεται η αντιστοίχιση της απεικόνισης του 2010 στον Πίνακα 5.3.

Κατηγορίες Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης εικόνας 2010	Αριθμητική αντιστοίχιση λογισμικού	Αριθμητική αντιστοίχιση ενοποιημένων θεματικών κατηγοριών
water_bodies_(L2)	1	1
vegetation_(L2)	2	2
urban_con_(L2)	3	5
highway_(L2)	4	
urban_disc_(L2)	5	
mines_(L2)	6	3
bare_soil_(L2)	7	4
other_(L2)	8	

Πίνακας 5.3: Διατεταγμένη αντιστοίχιση αριθμού με θεματική κατηγορία για την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση.

Οι κατηγορίες της συνεχούς αστικής δόμησης, της μη συνεχούς αστικής δόμησης αλλά και των αυτοκινητοδρόμων υπάγονται στην πιο γενικευμένη θεματική κατηγορία της αστικής περιοχής. Ανάλογη συνένωση και αντιστοίχιση λαμβάνεται και για το γυμνό έδαφος και τις λοιπές κατηγορίες. Ακριβώς η ίδια διαδικασία έγινε για τις εικόνες του 2003 και 2000, ενώ για τις εικόνες του 1991 και 1984 που υπήρχαν κάποιες επιπλέον δευτερεύουσες κατηγορίες (πχ. σύννεφα), υπάχθηκαν στην ενοποιημένη κατηγορία 4.

Η δυαδική αντιστοίχιση και για τις εικόνες αντικειμενοστραφούς ανάλυσης έγινε θέτοντας 0 όλες τις ενοποιημένες κατηγορίες πλην εκείνη των αστικών περιοχών, που τέθηκε ίση με 1.

Τα αρχεία εξόδου από τα προγράμματα τηλεπισκόπησης, όπως προαναφέρθηκε, ήταν για κάθε ταξινόμηση και ένας πίνακας διαστάσεων 1353x1426. Λόγω της γεωμετρικής ταύτισης των δεδομένων, ένα στοιχείο του πίνακα αυτού σε συγκεκριμένη θέση (πχ. στοιχείο στην γραμμή 1000 και στην στήλη 500) αντιστοιχεί στην ίδια χωρική θέση για οποιαδήποτε εικόνα. Άρα λοιπόν, είναι δυνατή η μελέτη της διαχρονικής πορείας της χρήσης/κάλυψης γης κάθε εικονοστοιχείου για κάθε μια από τις τρεις τηλεπισκοπικές μεθόδους.

Επόμενο βήμα για την επεξεργασία είναι, όλα τα δεδομένα κάλυψης γης, ανεξαρτήτως μεθόδου, να έχουν κοινή διανυσματική μορφή. Επειδή η μορφή πίνακα διαστάσεων 1353x1426 δεν είναι εύκολο να διαχειριστεί και να επεξεργαστεί, είναι προτιμότερο όλα τα στοιχεία (1353x1426=1929378) να μετασχηματιστούν σε έναν πίνακα-στήλη, δηλαδή διαστάσεων 1929378x1. Ένας απλός τρόπος για να γίνει αυτό είναι η μια στήλη του αρχικού πίνακα να τοποθετηθεί διαδοχικά κάτω από την άλλη. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαδικασία αυτή είναι κοινή για τα αρχεία χρήσης/κάλυψης γης των πέντε εικόνων και των τριών τηλεπισκοπικών μεθόδων.

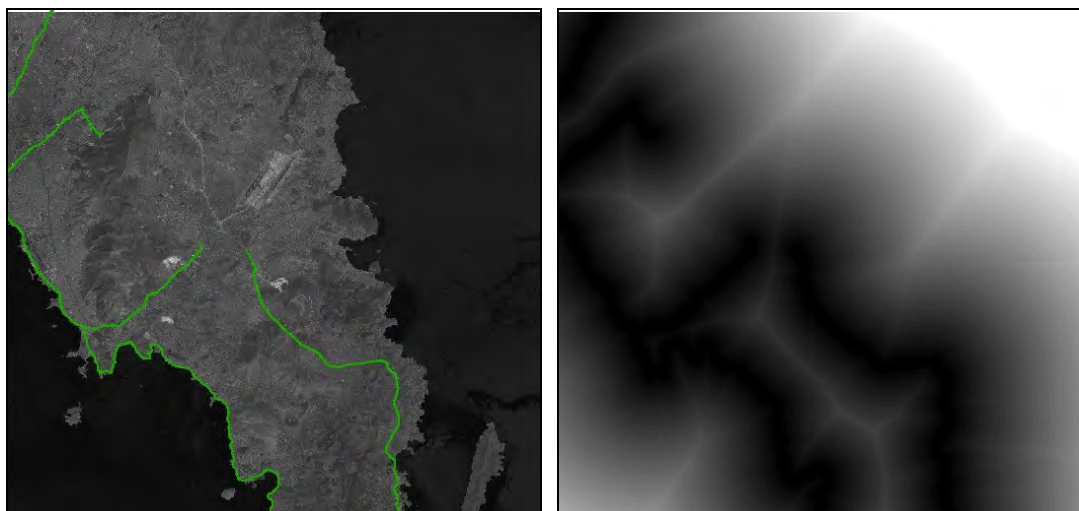
Έχοντας κάνει τον παραπάνω μετασχηματισμό έχει επιτευχθεί σημαντική απλοποίηση, αλλά ταυτόχρονα έχει χαθεί σημαντική πληροφορία σχετικά με την θέση των στοιχείων στο χώρο. Αν και στην παρούσα εφαρμογή δεν έγινε συσχέτιση της θέσης στο χώρο ενός εικονοστοιχείου σε σχέση με τα γειτονικά του, δηλαδή αν η μετατροπή ενός εικονοστοιχείου από μη αστικό σε αστικό, εξαρτάται από την ύπαρξη γειτονικών εικονοστοιχείων που έχουν ταξινομηθεί ως αστικά, κρίθηκε απαραίτητη η ενσωμάτωση της χωρικής πληροφορίας κάθε εικονοστοιχείου στο χώρο. Αυτό υλοποιήθηκε προσθέτοντας δυο αρχικές στήλες πριν από το διάνυσμα-στήλη της κάλυψης γης, όπου η πρώτη δηλώνει την στήλη που ανήκει το στοιχείο και η δεύτερη την γραμμή. Στην δεύτερη στήλη επαναλαμβάνονται οι αριθμοί από 1 έως 1353, 1426 φορές, ενώ στην πρώτη στήλη γράφεται ο αριθμός 1, 1353 φορές. Ομοίως για τους υπόλοιπους αριθμούς μέχρι το 1426. Τα αποτελέσματα για κάθε διάνυσμα-στήλη, αποθηκεύονται σε νέα διανύσματα με ενσωματωμένη την χωρική πληροφορία. Άρα το νέο διάνυσμα για κάθε χρονολογία θα έχει την πληροφορία της στήλης και της γραμμής που άνηκε πριν τον μετασχηματισμό, καθώς και της τιμής της κατηγορίας που ανήκει.

5.2.3. Υπολογισμός Ευκλείδειων Αποστάσεων

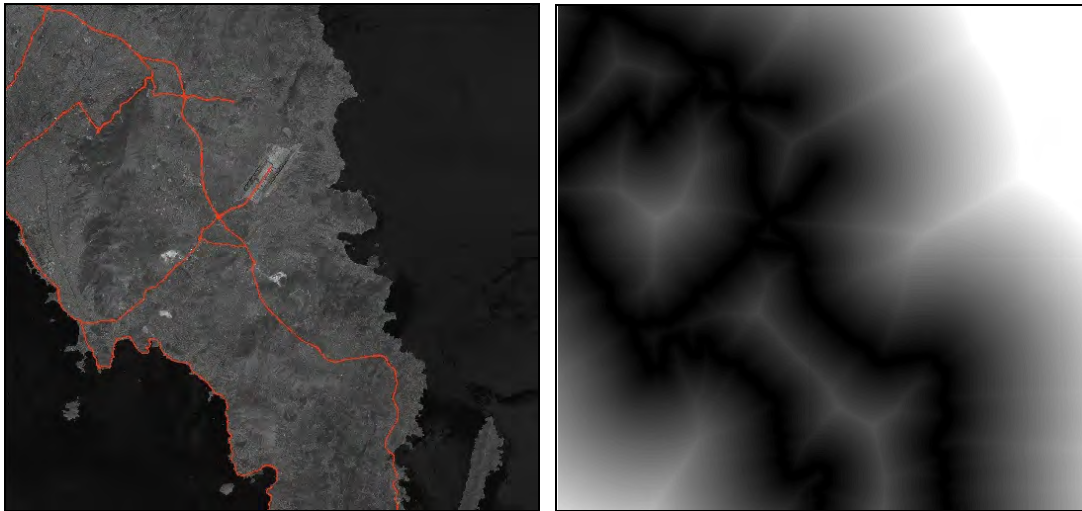
Όπως έχει προαναφερθεί, πολλές είναι οι έρευνες που για την ανάπτυξη οικονομετρικών προτύπων έχουν συμπεριληφθεί ως μεταβλητές οι Ευκλείδειες Αποστάσεις από δεδομένα ενδιαφέροντος. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για διανυσματικά δεδομένα τα οποία μπορεί να είναι σημειακά (πχ. σημεία με έντονη εμπορική και επιχειρηματική δραστηριότητα), γραμμικά (πχ. οδικοί άξονες), αλλά και επιφανειακά (πχ. περιοχές με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά). Η Ευκλείδεια Απόσταση αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο, καθώς μετράει την ελάχιστη απόσταση (ευθεία) κάθε σημείου από την πλησιέστερη πηγή, δηλαδή από το πλησιέστερο διανυσματικό δεδομένο. Συνεπώς, με την εισοδό Ευκλείδειων Αποστάσεων στο πρότυπο, ενσωματώνονται πρακτικά και χωρικές μεταβλητές σε αυτό.

Τα διανυσματικά δεδομένα έχουν ληφθεί το 2008. Επειδή λοιπόν τα δεδομένα αυτά αναφέρονται σε συγκεκριμένη χρονολογία επιβάλλεται θεωρητικά η χρονική αναγωγή στο σχηματισμό του προτύπου όταν δεν υπάρχει ταύτιση λήψης δεδομένων με τις χρονολογίες των εικόνων. Πρακτικά όμως τα δεδομένα αυτά θεωρήθηκε ότι ταυτίζονται με την χρονολογία της πιο πρόσφατης εικόνας, δηλαδή με το 2010.

Οι Ευκλείδειες Αποστάσεις υπολογίστηκαν στο λογισμικό ArcGIS 10 από την εργαλειοθήκη ‘Spatial Analyst Tools’ και την επιλογή της Ευκλείδειας Απόστασης, ορίζοντας ως δεδομένο εισόδου το εκάστοτε διανυσματικό αρχείο ενδιαφέροντος. Το αποτέλεσμα που λαμβάνεται έχει ψηφιδωτή δομή. Στις επιλογές δημιουργίας εικόνας Ευκλείδειας Απόστασης ορίστηκε μέγεθος εικονοστοιχείου στα 30m, δηλαδή αντίστοιχης ανάλυσης με τις δορυφορικές εικόνες, για να είναι δυνατή η εκμετάλλευση πληροφορίας των ψηφιδωτών δεδομένων. Στις παρακάτω Εικόνες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των Ευκλείδειων Αποστάσεων από τα διάφορα διανυσματικά δεδομένα.

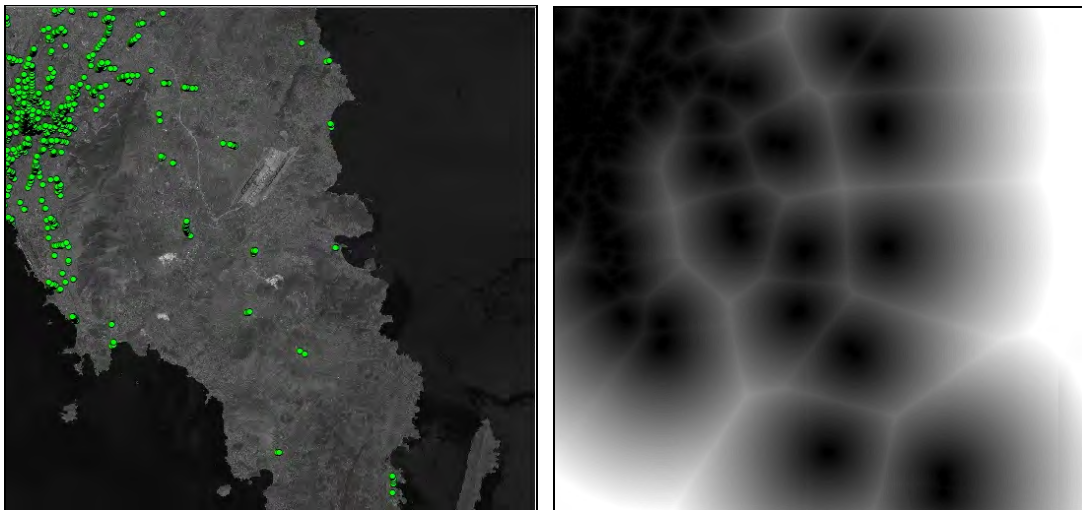


Εικόνα 5.3: (α) Διανυσματικά δεδομένα για αυτοκινητοδρόμους το 1984, (β) Ευκλείδειες Αποστάσεις από αυτοκινητοδρόμους το 1984.

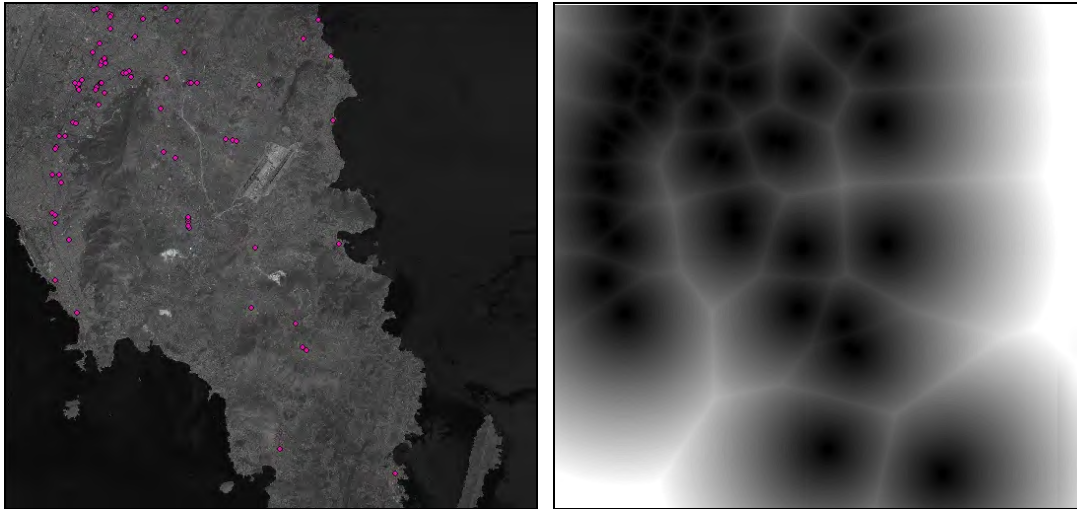


Εικόνα 5.4: (α) Διανυσματικά δεδομένα για αυτοκινητοδρόμους το 2010, (β) Ευκλείδειες Αποστάσεις από αυτοκινητοδρόμους το 2010.

Για τους αυτοκινητοδρόμους της Αττικής μεταξύ 1984 και 2010, η ουσιαστικότερη διαφορά που έχει συμβεί είναι η κατασκευή της Αττικής Οδού στην Βόρεια και Ανατολική Αττική. Το έργο αυτό αποτελεί την σημαντικότερη υποδομή στις μεταφορές για την Αττική τα τελευταία χρόνια και έχει διαδραματίσει και εξακολουθεί να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην οικιστική και βιομηχανική ανάπτυξη κυρίως της Ανατολικής Αττικής.

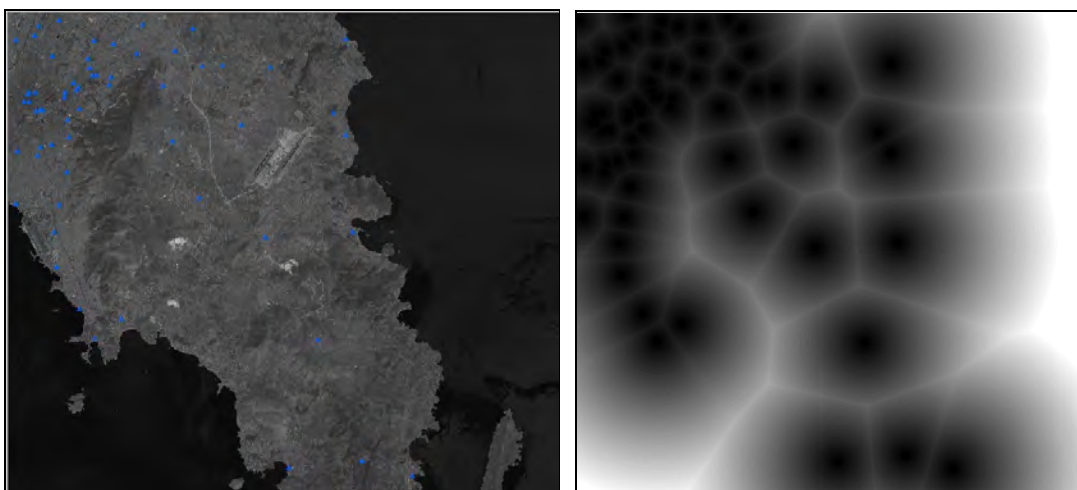


Εικόνα 5.5: (α) Σημειακά δεδομένα για τραπεζικά καταστήματα, (β) Ευκλείδειες Αποστάσεις από τραπεζικά καταστήματα.

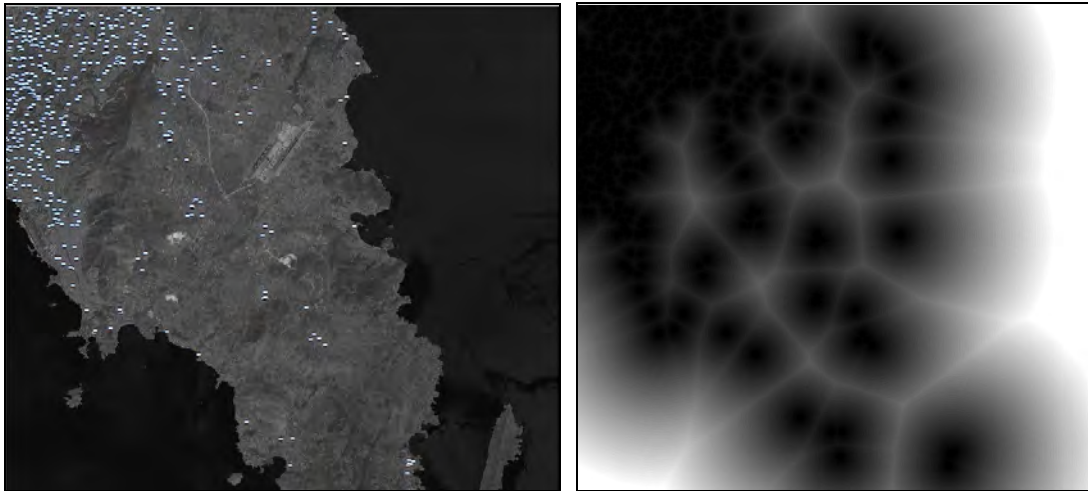


Εικόνα 5.6: (α) Σημειακά δεδομένα για το κέντρο εμπορικής δραστηριότητας κάθε περιοχής, (β) Ευκλείδειες Αποστάσεις από τα κέντρα εμπορικής δραστηριότητας.

Επισημαίνεται ότι μερικά από τα σημεία της παραπάνω εικόνας ορίστηκαν από το χρήστη. Είναι προφανές ότι το αποτέλεσμα από αυτά τα δεδομένα είναι συσχετισμένο ως ένα βαθμό με το αποτέλεσμα των αποστάσεων από τις τράπεζες και από τα δεδομένα των επόμενων εικόνων που έχουν να κάνουν με διοικητικά κτήρια και σχολικές εγκαταστάσεις. Επομένως, δεν έχει νόημα η εισαγωγή όλων αυτών ως παράμετροι του προτύπου, αλλά πρακτικά μόνο η εικόνα της Ευκλείδειας Απόστασης για ένα από αυτά τα σημειακά διανυσματικά δεδομένα. Τελικά, επιλέχθηκε η απόσταση από τις τράπεζες, διότι για τα κέντρα εμπορικής και επιχειρηματικής δραστηριότητας υπήρξε και υποκειμενικός παράγοντας ορισμού τους, ενώ τα διοικητικά κτήρια και οι σχολικές εγκαταστάσεις είναι πιο πιθανό να βρίσκονται πιο μακριά από τα πραγματικά σημεία εμπορικής δραστηριότητας από ότι οι τράπεζες. Γενικά όμως, εκ του αποτελέσματος, δηλαδή των εικόνων, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στις Ευκλείδειες Αποστάσεις.



Εικόνα 5.7: (α) Σημειακά δεδομένα για τα διοικητικά κτήρια, (β) Ευκλείδειες Αποστάσεις από τα διοικητικά κτήρια.



Εικόνα 5.8: (α) Σημειακά δεδομένα για τα σχολεία, (β) Ευκλείδειες Αποστάσεις από τα σχολεία.

Για να είναι λοιπόν δυνατή η ενσωμάτωση των αποστάσεων στα υπόλοιπα δεδομένα ανάλυσης, πρέπει η εικόνα αρχικά να έχει ίδιες διαστάσεις με τις εικόνες Landsat και σε κάθε ένα από τα 1353x1426 εικονοστοιχεία να αντιστοιχεί μια τιμή Ευκλείδειας Απόστασης. Αυτό πραγματοποιήθηκε επίσης στο λογισμικό ArcGIS 10 όπου στην εικόνα κάθε Ευκλείδειας Απόστασης ορίστηκε κανάβος εικονοστοιχείων διαστάσεων 30x30 m. Το κάθε εικονοστοιχείο αντιπροσωπεύεται από το κεντροειδές του, εφαρμόζοντας την εντολή μετατροπής ‘raster to point’. Στη συνέχεια, μέσω της εντολής ‘extract values to points’ από την εργαλειοθήκη ‘Spatial Analyst Tools’ κάθε σημείο του κανάβου λαμβάνει την τιμή της Ευκλείδειας Απόστασης της εικόνας που αντιστοιχεί ακριβώς σε αυτό το σημείο. Στην Εικόνα 5.9 παρουσιάζεται ενδεικτικά ο κανάβος για μια υπό-περιοχή της Ανατολικής Αττικής. Χαρακτηριστική δε, είναι η πυκνότητα που έχει ο κανάβος.



Εικόνα 5.9: Δημιουργία κανάβου διαστάσεων 1353x1426 για άντληση της τιμής Ευκλείδειας Απόστασης ανά εικονοστοιχείο.

Η πληροφορία της Ευκλείδειας Απόστασης, η οποία δίνεται σε μέτρα, έπρεπε να εισαχθεί στο λογισμικό R ως μεταβλητή. Για τον λόγο αυτό έγινε εξαγωγή των περιγραφικών χαρακτηριστικών των σημείων σε αρχείο τύπου ‘txt’. Στην Εικόνα 5.10 που ακολουθεί φαίνεται ένα παράδειγμα πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών Ευκλείδειων Αποστάσεων εικονοστοιχείων από τους Αυτοκινητοδρόμους. Η μορφή αυτή εξάγει ως στήλη τα στοιχεία των γραμμών το ένα κάτω από το άλλο. Αυτή η μορφή δεν είναι η ίδια με εκείνη των χρήσεων γης. Ακολούθησε συνεπώς η μετατροπή του αρχείου σε διανυσματική μορφή όμοια με εκείνη των αρχείων κάλυψης γης με την εφαρμογή κώδικα.

mr_eud_values				
FID	Shape *	POINTID	GRID_CODE	RASTERVALU
0	Point	1	77	2520
1	Point	2	92	2490
2	Point	3	88	2460
3	Point	4	77	2430
4	Point	5	84	2400
5	Point	6	98	2370
6	Point	7	99	2340
7	Point	8	104	2310
8	Point	9	90	2280
9	Point	10	111	2250
10	Point	11	114	2220
11	Point	12	114	2190
12	Point	13	119	2160
13	Point	14	99	2130
14	Point	15	95	2100
15	Point	16	105	2070
16	Point	17	101	2040
17	Point	18	87	2010
18	Point	19	86	1980
19	Point	20	82	1950
20	Point	21	95	1920
21	Point	22	94	1890
22	Point	23	92	1860
23	Point	24	94	1830
24	Point	25	91	1800
25	Point	26	98	1770
26	Point	27	112	1740
27	Point	28	156	1710
28	Point	29	136	1680
29	Point	30	134	1650
30	Point	31	110	1620
31	Point	32	99	1590
32	Point	33	118	1560
33	Point	34	97	1530

Εικόνα 5.10: Πίνακας περιγραφικών χαρακτηριστικών σημείων κανάβου της εικόνας για τις Ευκλείδειες Αποστάσεις των εικονοστοιχείων από τους Αυτοκινητοδρόμους, 2010.

Ακολούθησε επίσης ενσωμάτωση της χωρικής θέσης για κάθε στοιχείο του πίνακα-στήλη, όπως ακριβώς είχε γίνει και για τα διανύσματα χρήσης/κάλυψης γης.

5.2.4. Δημογραφικά δεδομένα

Πέραν λοιπόν της πληροφορίας της κάλυψης γης στις χρονιές που λήφθηκαν οι εικόνες, άλλες παράμετροι που θεωρήθηκαν κρίσιμες και έπρεπε να ληφθούν υπόψη ήταν ο δημογραφικός διαχωρισμός της περιοχής μελέτης και η πληθυσμιακή εξέλιξη της περιοχής μελέτης ανά Δήμο τις χρονιές 1981, 1991 και 2001. Επειδή οι χρονιές δεν βρίσκονται σε απόλυτη αντιστοίχιση με τις χρονιές λήψης των εικόνων, η χρονική εναρμόνιση των δεδομένων εισόδου είναι θεωρητικά αναγκαία. Συλλέχθηκαν επίσης στοιχεία εισοδήματος για το 2003. Τα παραπάνω δημογραφικά δεδομένα συνδέθηκαν χωρικά με την περιοχή μελέτης ως στοιχεία στον πίνακα περιεχομένων στην διοικητικά διαιρεμένη περιοχή μελέτης σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών,

άλλοτε με σύνδεση μεταξύ περιγραφικών στοιχείων διανυσματικών δεδομένων και πινάκων και άλλοτε με χωρική σύνδεση και εκ των υστέρων συσχέτιση πινάκων.

Για τα πληθυσμιακά δεδομένα έγινε εισαγωγή σε περιβάλλον ArcGIS 10 του Πίνακα 5.4 με τον κωδικό κάθε Δήμου και Κοινότητας όπως ορίζεται από την Στατιστική Υπηρεσία και με τον πραγματικό πληθυσμό τους για τις απογραφές του 2001, του 1991 και του 1981. Ο Πραγματικός Πληθυσμός για το 1981, το 1991 και το 2001 προέρχεται από τα επίσημα στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας. Ο παρακάτω Πίνακας περιέχει όλους τους Δήμους που υπάρχουν στην εικόνα και άρα είναι συγκεντρωμένα τα απαραίτητα πληθυσμιακά δεδομένα για όλη την περιοχή μελέτης. Έπειτα πραγματοποιήθηκε συνένωση του Πίνακα με τον πίνακα των περιγραφικών χαρακτηριστικών για τα χωρικά διανυσματικά δεδομένα των Δήμων, χρησιμοποιώντας ως πεδίο σύνδεσης τον κωδικό του Δήμου ή της Κοινότητας που υπάρχει και στους δύο πίνακες.

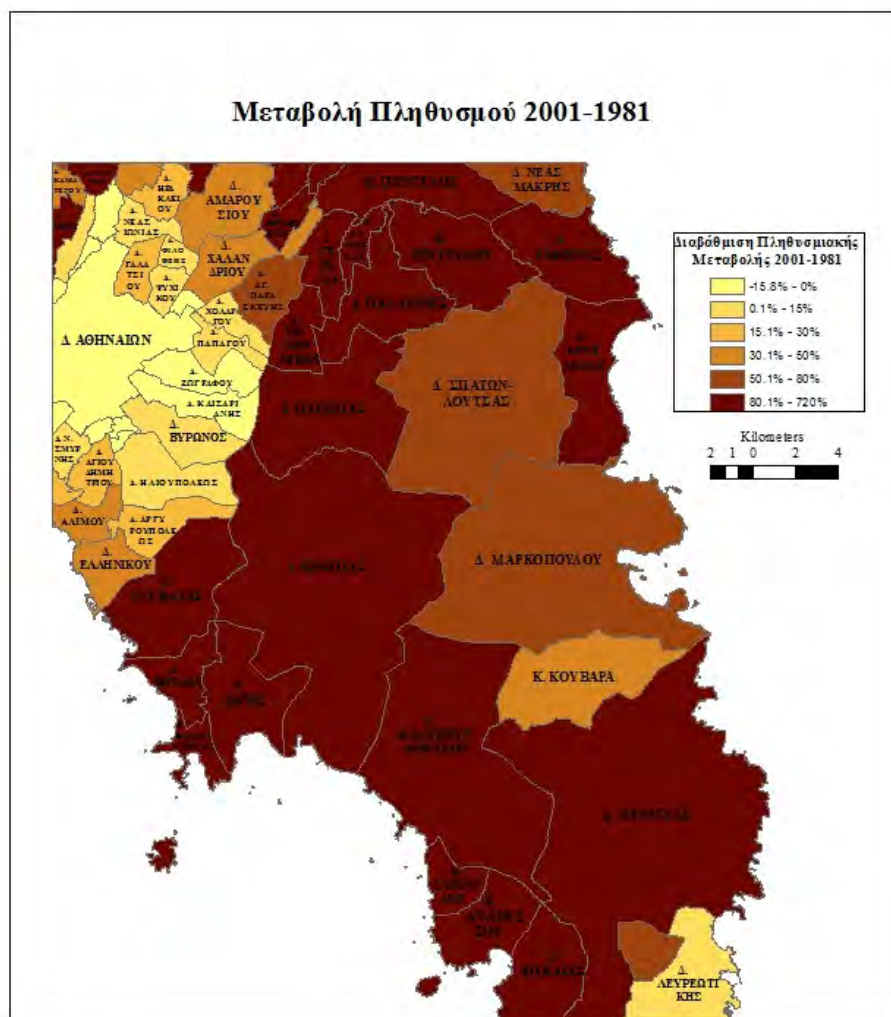
Για τη σύγκριση των απογραφών 2001 και 1991 με το 1981, παραβλέπεται η τότε διοικητική διαίρεση του Ν. Αττικής, και ακολουθείται η διοικητική διαίρεση των 4 νομαρχιών, όπως ισχύει από το 1991 και ύστερα (σχέδιο ‘Καποδίστρια’), προσαρμόζοντας σε κάθε μια από αυτές τους αντίστοιχους δήμους. Η παράθεση στιγμιαίων εικόνων από διαδοχικές απογραφές δίνει πληροφορίες όχι μόνο για το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού αλλά και μια ένδειξη της εξελικτικής τάσης του ανά περιοχή. Η επιλογή του πραγματικού πληθυσμού κρίθηκε καταλληλότερη σε σχέση με το μόνιμο πληθυσμό μιας και ήταν προτιμότερη η καταγραφή των ατόμων που βρέθηκαν παρόντα κατά την ημέρα της απογραφής σε κάθε περιφέρεια, νομό, δήμο/κοινότητα, δημοτικό/κοινοτικό διαμέρισμα και αυτοτελή οικισμό και όχι τη συνήθη διακονή τους σε αυτές. Αναφέρεται ότι από το 2010 και μετά, σύμφωνα με την ΦΕΚ ορίστηκε νέα διοικητική διαίρεση με σκοπό την βελτιστοποίηση της δημόσιας διοίκησης στο επίπεδο της τοπικής αυτοδιοίκησης το οποίο ονομάζεται σχέδιο ‘Καλλικράτης’.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

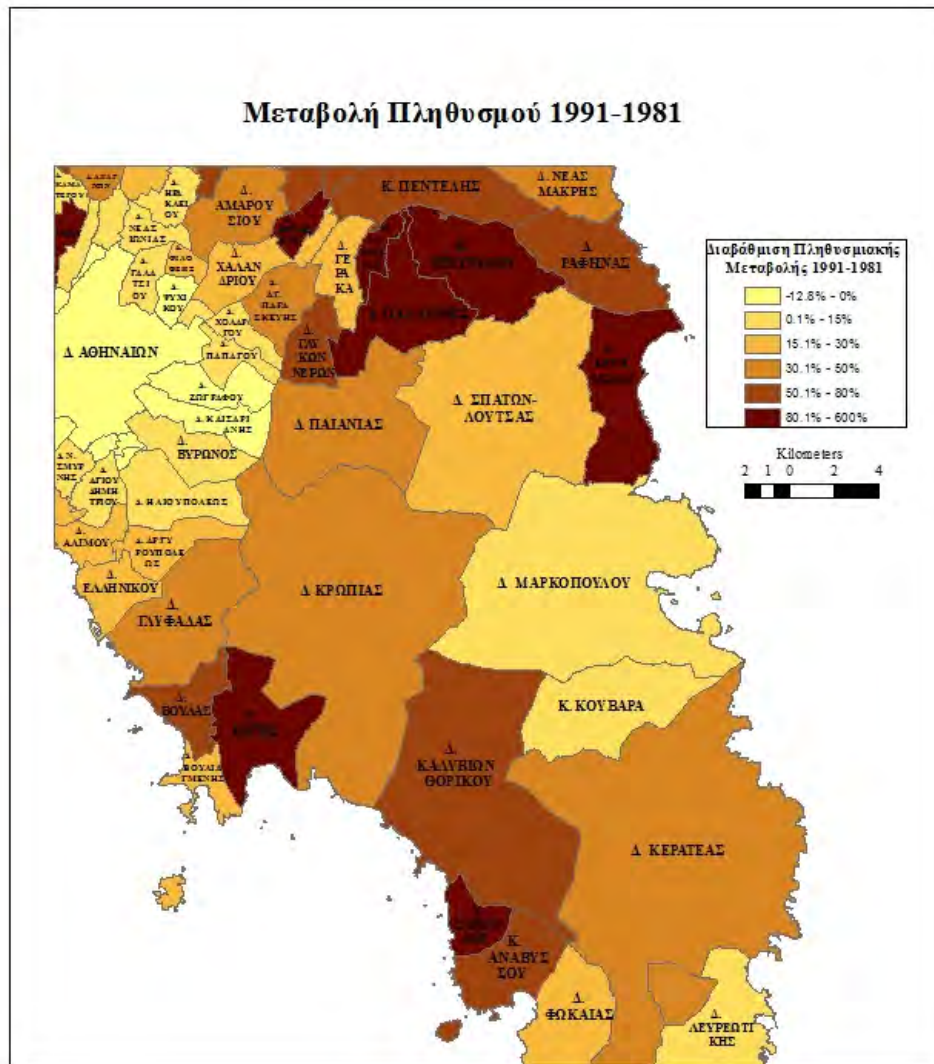
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΟ 'ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑ	ΔΗΜΟΣ/ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ 2001	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ 1991	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ 1981
A1110000	ΔΗΜΟΣ ΒΥΡΩΝΟΣ	61102	58523	57711
A1160000	ΔΗΜΟΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ	76115	80492	84499
A1170000	ΔΗΜΟΣ ΗΛΙΟΥΠΟΛΗΣ	75904	75037	69502
A1030000	ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	56836	47463	32713
A1080000	ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ	69470	64092	48291
A1100000	ΔΗΜΟΣ ΒΡΙΑΗΣΣΙΩΝ	25582	16571	7786
A1180000	ΔΗΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	45926	42905	37728
A1230000	ΔΗΜΟΣ ΚΗΦΙΣΙΑΣ	43929	39166	31985
A1250000	ΔΗΜΟΣ ΜΕΛΙΣΣΙΩΝ	19526	13469	8665
A1330000	ΔΗΜΟΣ ΝΕΟΥ ΨΥΧΙΚΟΥ	10848	12023	11613
A1350000	ΔΗΜΟΣ ΠΑΠΑΓΟΥ	13207	13974	12477
A1380000	ΔΗΜΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	19887	17987	10890
A1410000	ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΟΘΕΗΣ	7310	8396	6872
A1430000	ΔΗΜΟΣ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ	71684	66285	54369
A1440000	ΔΗΜΟΣ ΧΟΛΑΡΓΟΥ	32166	33691	31530
A2090000	ΔΗΜΟΣ ΓΕΡΑΚΑ	13921	8512	6726
A1610000	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΕΚΑΛΗΣ	5190	4081	2171
A1620000	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΝΕΑΣ ΠΕΝΤΕΛΗΣ	6156	4332	2814
A1630000	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΕΝΤΕΛΗΣ	4829	3197	2094
A2120000	ΔΗΜΟΣ ΚΕΡΑΤΕΑΣ	13246	9715	7146
A2130000	ΔΗΜΟΣ ΚΡΩΠΙΑΣ	25325	16813	12792
A2140000	ΔΗΜΟΣ ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗΣ	10612	10293	9993
A2150000	ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΑΘΩΝΟΣ	8882	12979	4759
A2160000	ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ ΜΕΣΟΓΑΙΑΣ	15608	10499	9274
A2170000	ΔΗΜΟΣ ΝΕΑΣ ΜΑΚΡΗΣ	14809	13009	8832
A2180000	ΔΗΜΟΣ ΠΑΙΑΝΙΑΣ	13013	9727	7174
A2010000	ΔΗΜΟΣ ΠΑΛΛΗΝΗΣ	16679	10908	5660
A2200000	ΔΗΜΟΣ ΣΠΑΤΩΝ-ΛΟΥΤΣΑΣ	10203	7796	6593
A2630000	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΝΘΟΥΣΑΣ	3024	3020	470
A2030000	ΔΗΜΟΣ ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ	17391	9485	4436
A2100000	ΔΗΜΟΣ ΓΛΥΚΩΝ ΝΕΡΩΝ	6623	5813	3406
A2110000	ΔΗΜΟΣ ΚΑΛΥΒΙΩΝ ΘΟΡΙΚΟΥ	12202	7357	4881
A2730000	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΟΥΒΑΡΑ	1704	1369	1259
A2780000	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΑΛΛΙΑΣ ΦΩΚΑΙΑΣ	3123	2051	1590
A2790000	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΙΚΕΡΜΙΟΥ	2931	1293	363
A2190000	ΔΗΜΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ	11909	8611	5405
A1090000	ΔΗΜΟΣ ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΗΣ	33158	31530	26214
A2070000	ΔΗΜΟΣ ΒΟΥΛΑΣ	25532	17998	10731
A2080000	ΔΗΜΟΣ ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ	6442	3450	2901
A1130000	ΔΗΜΟΣ ΓΛΥΦΑΔΑΣ	80409	63306	43785
A2060000	ΔΗΜΟΣ ΒΑΡΗΣ	10998	8488	4191

Πίνακας 5.4: Πίνακας πραγματικού πληθυσμού για τα έτη 2001, 1991 και 1981 της περιοχής μελέτης ανά Δήμο και Κοινότητα (πηγή ΕΣΥΕ).

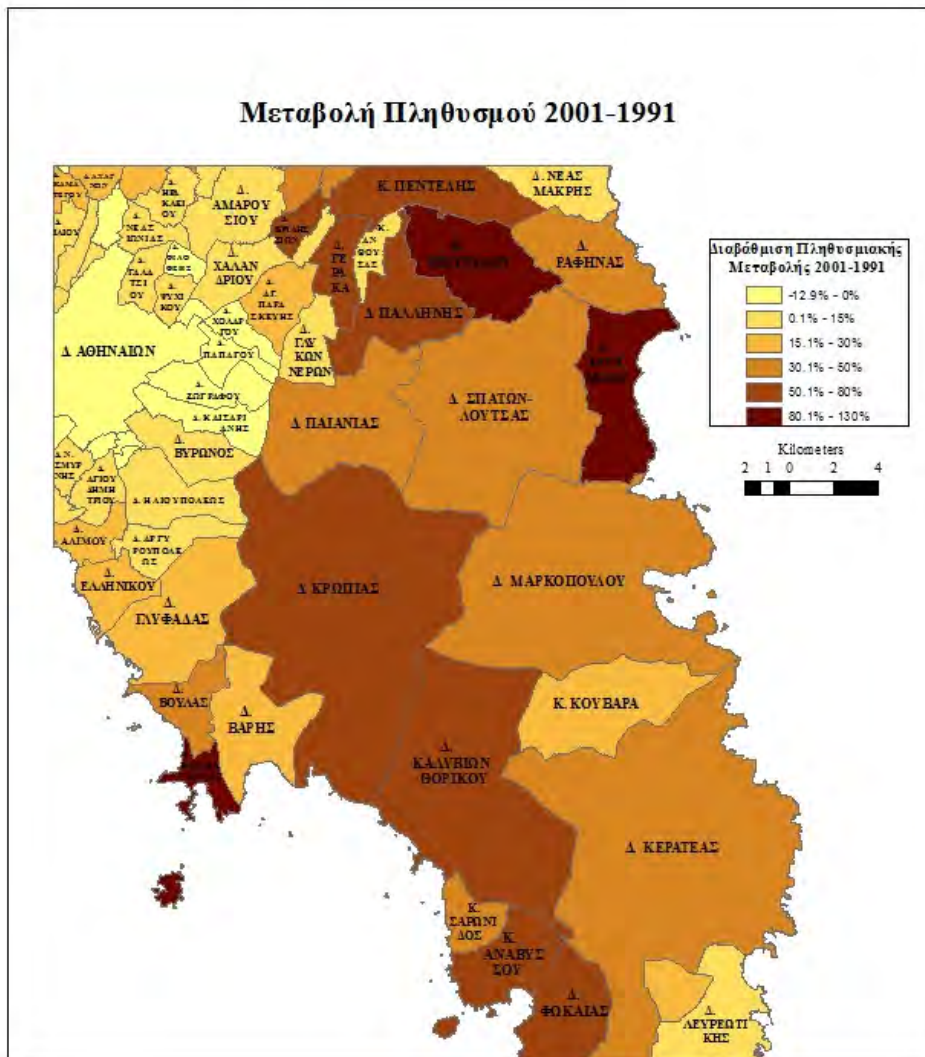
Πολύ καλύτερη αίσθηση της εξελικτικής πορείας του πληθυσμού μιας ευρύτερης περιοχής λαμβάνεται όταν το ποσοστό μεταβολής του πληθυσμού από τη μια χρονιά στην άλλη για κάθε μικρότερη περιοχή συνδυαστεί με τα χωρικά δεδομένα. Στην προκειμένη περίπτωση τα δεδομένα είναι τα διοικητικά όρια των Δήμων στην περιοχή μελέτης. Οι Εικόνες που ακολουθούν βοηθούν στην αντίληψη της αύξησης του πληθυσμού τα τελευταία χρόνια στα Μεσόγεια. Χαρακτηριστικό είναι ότι σχεδόν όλη η Ανατολική Αττική μέσα στο διάστημα μιας εικοσαετίας τουλάχιστον διπλασίασε τον πληθυσμό της.



Εικόνα 5.11: Πληθυσμιακή μεταβολή ανά Δήμο της περιοχής μελέτης από το 1981 έως το 2001.



Εικόνα 5.12: Πληθυσμιακή μεταβολή ανά Δήμο της περιοχής μελέτης από το 1981 έως το 1991.



Εικόνα 5.13: Πληθυσμιακή μεταβολή ανά Δήμο της περιοχής μελέτης από το 1991 έως το 2001.

Από το 1981, όπου η Ελλάδα εντάσσεται στη Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα (Ε.Ο.Κ.), μέχρι και το 1991, ο πληθυσμός της Αττικής αυξάνεται κατά 4.56% σε αντίθεση με την προηγούμενη από αυτή δεκαετία που η αύξηση ήταν 20.43% [Αργυροπούλου, 2011]. Την επόμενη δεκαετία ο πληθυσμός της Αττικής αυξήθηκε λίγο παραπάνω, δηλαδή 6.77% λόγω της υποδοχής μεταναστών στη χώρα. Οι βασικότεροι λόγοι της τότε συγκέντρωσης του πληθυσμού στην Αθήνα ήταν η ανεύρεση εργασίας αλλά και η καλύτερη ποιότητα ζωής από άποψη παροχής υπηρεσιών. Η ανεπτυγμένη βιομηχανική δραστηριότητα καθώς και η κατασκευή υποδομών (διεθνής αερολιμένας Αττική Οδός κ.α.) συνετέλεσαν στην έντονη πληθυσμιακή συγκέντρωση. Το 2001 η Περιφέρεια Αττικής συγκεντρώνει περίπου το ένα τρίτο του πληθυσμού της χώρας.

Γενικά, σύμφωνα με ποικίλες βιβλιογραφικές πηγές, η Αττική χαρακτηρίζεται από το φαινόμενο της αστικής διάχυσης όπου η πόλη επεκτείνεται εις βάρος αγροτικών και δασικών εκτάσεων. Το γεγονός αυτό συμβαίνει κατά κόρον στα Μεσόγεια ιδιαίτερα με την ανάπτυξη των συστημάτων υποδομής (διεθνής αερολιμένας) και των δικτύων μεταφορών της περιοχής (Αττική Οδός), ύστερα από την ανάληψη των Ολυμπιακών Αγώνων το 1997. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις μετατροπής των δευτέρων (παραθεριστικών) κατοικιών σε πρώτες κατοικίες στις περιοχές αυτές. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι οι Νομαρχίες Ανατολικής και Δυτικής Αττικής από το 1981 μέχρι και το 2001 εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερα ποσοστά αύξησης πληθυσμού σε σχέση με τις Νομαρχίες Αθηνών και Πειραιώς, με την Ανατολική Αττική να προηγείται με ποσοστό 106%, έναντι 55% στη Δυτική στα είκοσι αυτά χρόνια, σύμφωνα με την ΕΣΥΕ. Το διάστημα από το 1991 με 2001 παρατηρείται βέβαια μια μείωση της τάσης αύξησης του πληθυσμού και για τις δυο αυτές Νομαρχίες.

Αξίζει όμως να αναφερθούν οι Δήμοι εκείνοι με τη μεγαλύτερη μεταβολή πληθυσμού το διάστημα 1981-2001. Η Παλλήνη χαρακτηριστικά φαίνεται πως τριπλασίασε τον πραγματικό πληθυσμό της, η Κοινότητα της Ανθούσας αύξησε τον πληθυσμό της περίπου έξι φορές, ενώ η Κοινότητα Πικερμίου κατά οκτώ φορές. Ο Δήμος των Βριλησσιών αύξησε πάνω από τρεις φορές τον πληθυσμό του και ουσιαστικά σημείωσε μεταβολή της τάξης του 228%. Παρατηρείται επίσης πως η ο Γέρακας, τα Γλυκά Νερά, η Νέα Πεντέλη, η Πεντέλη, η Παιανία, η Ραφήνα, η Κερατέα και το Κορωπί εμφανίζουν επίσης αύξηση περίπου στο 100%. Ο Χολαργός και το Ψυχικό εμφανίζουν αντίθετα πολύ μικρές μεταβολές.

Τα παραπάνω πληθυσμιακά δεδομένα έπρεπε, για να είναι αξιοποιήσιμα στη στατιστική ανάλυση, με κάποιον τρόπο να καταγραφούν πάλι για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας. Τη λύση έδωσε πάλι ο κάναβος διαστάσεων 1353x1426. Ο κάναβος συσχετίστηκε χωρικά με τα διανυσματικά δεδομένα των Δήμων, τα οποία είχαν ενσωματωμένη την πληροφορία του πληθυσμού. Το αποτέλεσμα που προέκυψε ήταν η εξαγωγή ενός νέου κανάβου ίδιων διαστάσεων, όπου κάθε εικονοστοιχείο είχε πια την πληροφορία τόσο σε ποιο Δήμο ανήκει όσο και ποιος είναι ο πληθυσμός του Δήμου που ανήκει τις χρονιές 2001, 1991 και 1984. Τα δεδομένα εξόδου δεν ήταν πάλι στην επιθυμητή μορφή. Χρειάστηκε πρώτα μια αναδιάταξη των στοιχείων σύμφωνα με το χαρακτηριστικό κωδικό του (FID_1), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.14 μέσω της εντολής ‘order’, και στη συνέχεια για κάθε μια από τις στήλες ακολουθήθηκε διαδικασία όμοια με εκείνη που έχει περιγραφεί παραπάνω ώστε να έρθουν και αυτά τα δεδομένα σε μορφή διανύσματος στήλης με την ίδια αλληλουχία δεδομένων. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα ποσοστά μεταβολής του πληθυσμού στο λογισμικό R και ορίστηκαν για αυτά νέες μεταβλητές.

```
> census_data_all <- read.table(file="census_data_all.txt", header=TRUE)
> head(census_data_all)
  FID_1 FID_2  CODE OID_ MUNICIPALI REAL_POPUP REAL_POPUL REAL_POP_1
3266    0    30 A1220000  55  Dimos Kam    22234    17410    15766
3267  1426    30 A1220000  55  Dimos Kam    22234    17410    15766
3268  2852    30 A1220000  55  Dimos Kam    22234    17410    15766
3269  4278    30 A1220000  55  Dimos Kam    22234    17410    15766
3270  5704    30 A1220000  55  Dimos Kam    22234    17410    15766
3271  7130    30 A1220000  55  Dimos Kam    22234    17410    15766
>
```

Εικόνα 5.14: Μορφή δεδομένων εισόδου για τον πληθυσμό.

Στο πέρας της εργασίας βρέθηκαν και στοιχεία σχετικά με το εισόδημα ανά Ταχυδρομικό Τομέα (ΤΤ) για το 2003. Αναλυτικότερα, το εισόδημα εκφράζεται με πολλές εναλλακτικές μορφές όπως για παράδειγμα μέσο φορολογητέο εισόδημα ανά οικογένεια, το ιατρικό κόστος, τα έξοδα ανά οικογένεια σύμφωνα με στοιχεία των αποδείξεων, τα ενοίκια της πρώτης κατοικίας κλπ. Στα δεδομένα που βρέθηκαν υπάρχει επίσης διαχωρισμός εσόδων ανάλογα με τον επαγγελματικό κλάδο. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε χωρική συσχέτιση μεταξύ Ταχυδρομικών τομέων και Δήμων, ώστε να υπάρχει μόνο μια διοικητική διαίρεση, και συγκεκριμένα αυτή των Δήμων. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των περιγραφικών χαρακτηριστικών των Δήμων, που έχουν εμπλουτιστεί και με τα δεδομένα των ΤΤ εξαιτίας της χωρικής συσχέτισης που πραγματοποιήθηκε, με τον Πίνακα με τα στοιχεία του εισοδήματος και με κοινό πεδίο τον ΤΤ. Απομένει να γίνει αντιστοίχιση της πληροφορίας με κάθε εικονοστοιχείο, με τη βοήθεια του κανάβου, όπως ακριβώς έγινε και με τον πληθυσμό. Η ενσωμάτωση του εισοδήματος στο πρότυπο αποτελεί ένα κίνητρο για μετέπειτα επεξεργασία, διότι το εισόδημα αποτελεί σημαντική παράμετρο γενικά στην διαμόρφωση τάσεων και προοπτικών εξέλιξης.

5.2.5. Ορισμός υπό-περιοχής

Θεωρήθηκε χρήσιμο να εξεταστεί και μεμονωμένα υπό-περιοχή της αρχικής εικόνας και μάλιστα, εκείνο το τμήμα της Ανατολικής Αττικής που παρουσιάζεται η μεγαλύτερη πληθυσμιακή έξαρση. Τα όρια της υπό-περιοχής φαίνονται στις Εικόνες 5.15 και 5.16.



Εικόνα 5.15: Όρια υπό-περιοχής.

Η υπό-περιοχή έχει διαστάσεις 723x811 εικονοστοιχεία και αντιστοιχεί σε επιφάνεια 21.69 km x 24.33 km, έναντι 1353x1426 και 40.59 km x 42.78 km. Η υπό-περιοχή υπολογίστηκε ότι αποτελεί περίπου το 30% της αρχικής εικόνας.

```
23 ### sub_region
24 1u1984 <- 1u1984[0:723,225:1035]
25 1u1991 <- 1u1991[0:723,225:1035]
26 1u2000 <- 1u2000[0:723,225:1035]
27 1u2003 <- 1u2003[0:723,225:1035]
28 1u2010 <- 1u2010[0:723,225:1035]
```

Εικόνα 5.16: Δημιουργία νέου πίνακα υπό-περιοχής.

Μετά τον ορισμό της υπό-περιοχής και την προσπάθεια σύνταξης αντίστοιχων προτύπων για σύγκριση με τη συνολική περιοχή, έπρεπε αρχικά να εφαρμοστούν πάλι οι αλγόριθμοι για τη δημιουργία διανυσμάτων-στήλης της κάλυψη γης. Έπρεπε στη συνέχεια να οριστούν εκ νέου οι δύο στήλες που εκφράζουν την θέση κάθε σημείου-εικονοστοιχείου στον χώρο. Επίσης, ήταν απαραίτητο να οριστούν εκ νέου οι Ευκλείδειες Αποστάσεις, καθώς έπρεπε πάλι να τροποποιηθεί ο αρχικός πίνακας με τον ορισμό της υπό-περιοχής. Ομοίως έπρεπε να γίνει και για κάθε στήλη του πίνακα με τα

πληθυσμιακά δεδομένα. Στη συνέχεια τόσο οι Ευκλείδειες Αποστάσεις όσο και τα πληθυσμιακά δεδομένα της υπό-περιοχής αποθηκεύτηκαν σε νέους πίνακες.

5.2.6. Δημιουργία πινάκων συνάφειας

Η δημιουργία Πινάκων Συνάφειας έγινε στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R. Μέσω της κοινής διανυσματικής μορφής των εικόνων, δηλαδή μέσω της κοινής αλληλουχίας των στοιχείων του πίνακα που εκφράζει κάθε εικόνα, ήταν δυνατόν να συνταχθεί και να παραχθεί για κάθε μέθοδο ο Πίνακας Συνάφειας μεταξύ δύο χρονολογιών. Τα μη διαγώνια στοιχεία του Πίνακα Συνάφειας επιστρέφουν τιμές μετάβασης από τη μια κατάσταση στην άλλη. Στο πλαίσιο της Τηλεπισκόπησης, οι αριθμοί αντιστοιχούν σε εικονοστοιχεία και οι καταστάσεις αντιστοιχούν στους τύπους κάλυψης γης.

Οι Πίνακες Συνάφειας για κάθε μέθοδο (επιβλεπόμενη, μη επιβλεπόμενη και αντικειμενοστραφής) για τις 5 κατηγορίες αλλά και για τις 2 κατηγορίες είναι πάρα πολλοί αν αναλογιστεί κανείς και τους συνδυασμούς χρονιών. Βέβαια, όπως έχει αναφερθεί, το αποτέλεσμα της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης για το 2000 παρουσιάζει μια ασυνέχεια γι' αυτό δεν θα συμμετάσχει σε μελλοντική ανάλυση, ενώ για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, τα καλύτερα αποτελέσματα, ύστερα και από φωτοερμηνεία του αποτελέσματος, είναι εκείνα για τις εικόνες του 1984 και του 2010.

Ενδεικτικά μερικοί από αυτούς τους Πίνακες θα παρουσιαστούν στο παρόν υπεδάφιο, ενώ αναλυτικά όλοι οι πίνακες υπάρχουν σε ομώνυμο κεφάλαιο στο Παράρτημα της εργασίας.

Επιλέγεται για όλες τις μεθόδους να παρουσιαστούν οι Πίνακες που αναμένονται οι πιο ακραίες αλλαγές, δηλαδή μεταξύ των χρονιών 1984 και 2010.

5.2.6.1 Πίνακες Συνάφειας αντικειμενοστραφούς μεθόδου

έτος		1984					sum
		sea	vegetation	mines	bare/cult	urban	
2010	sea	868379	0	0	56	1482	869917
	vegetation	0	19795	14	11054	2926	33789
	mines	0	56	1106	1510	536	3208
	bare/cult	370	49141	1650	394264	43697	489122
	urban	2206	21382	6091	191165	312498	533342
	sum	870955	90374	8861	598049	361139	1929378

Πίνακας 5.5: Πίνακας Συνάφειας αντικειμενοστραφούς μεθόδου με 5 κατηγορίες.

Στη συνέχεια θα γίνει προσπάθεια ερμηνείας του παραπάνω Πίνακα. Ο Πίνακας 5.5 δείχνει πως υπάρχουν αρκετά εικονοστοιχεία μετάβασης από θάλασσα σε αστικές εκτάσεις ή σε έδαφος/καλλιέργειες. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας μικρής διαφοράς στα όρια συναρτήσεων ασαφούς λογικής και κατά συνέπεια υπάρχουν στοιχεία στην ακτογραμμή

που δείχνει λανθασμένα πως μεταβαίνουν από τη μια κατάσταση στην άλλη. Το φαινόμενο αυτό περιορίζεται σημαντικά στα όρια της υπό-περιοχής που η ακρογραμμή έχει σαφώς μικρότερη έκταση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.6.

Σχετικά με τη συνεχή βλάστηση, αρκετή από αυτήν μένει ως έχει αλλά πολλή σημαντική έκταση υποβαθμίζεται σε γυμνό έδαφος, σε καλλιέργειες ή γενικά σε πιο αραιή βλάστηση. Αυτό αιτιολογείται και από τις πυρκαγιές που μεσολάβησαν κυρίως στην Πεντέλη, όπου κατέστρεψαν πολλά εκτάρια πυκνής δασοκάλυψης και υποβάθμισαν το τοπίο. Επίσης, στον Πίνακα 5.5 επιβεβαιώνεται το γεγονός της αστικοποίησης πρώην δασικών εκτάσεων.

Ως προς τους χώρους εξορύξεων και έργων υπό κατασκευή, η σημαντική μετάβαση το 2010 σε αστικές περιοχές αιτιολογείται από την κατασκευή του αεροδρομίου.

Ο αριθμός από γυμνό έδαφος-καλλιέργειες σε θάλασσα αντιστοιχεί πάλι σε μικρό σφάλμα κατά τον ορισμό της ασαφούς ζώνης για την θάλασσα μεταξύ των δυο εικόνων. Πολύ σημαντική είναι η παρατήρηση αστικοποίησης γυμνού εδάφους και περιοχών με καλλιέργειες, γεγονός βέβαια αναμενόμενο εξαιτίας της αστικοποίησης της περιοχής.

Η μετατροπή από αστικό σε γυμνό έδαφος ή καλλιέργειες φαίνεται τελείως εσφαλμένη αλλά ερμηνεύεται λόγω της σύγχυσης του εδάφους με οικιστικές περιοχές καλυπτόμενες από σκεπές, φαινόμενο ιδιαίτερα δύσκολο να αντιμετωπιστεί με οποιαδήποτε μέθοδο ιδίως για τις εικόνες Landsat. Χαρακτηριστικό όμως είναι ότι σύμφωνα με τον παραπάνω Πίνακα, η αστικοποίηση γυμνού εδάφους και καλλιέργειών είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερη από την αντίθετη μετάβαση.

Τέλος, η αστική περιοχή του 1984, γίνεται θάλασσα, στο πλαίσιο του λάθους στην ακτογραμμή, φαινόμενο που μειώνεται πολύ στα όρια υπό-περιοχής, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.6. Η μετάβαση από αστικό σε βλάστηση δεν οφείλεται μόνο στο ποσοστό λάθους μιας ταξινόμησης, αλλά όντως υπάρχουν περιοχές που έχουν μετατραπεί σε πάρκα. Σχετικά με τους χώρους εξόρυξης και το γυμνό έδαφος, υπάρχει σύγχυση που οφείλεται στην υψηλή τιμή φωτεινότητας και των δύο περιοχών.

Δεν θα πρέπει επίσης να υποτιμάται το γεγονός ότι οι εικόνες είναι μεσαιάς χωρικής διακριτικής ικανότητας και εισάγεται ο όρος του μικτού εικονοστοιχείου. Στην αντικειμενοστραφή μέθοδο, με τις συναρτήσεις και την επιβολή κατάλληλων ορίων ασαφούς λογικής είναι δυνατόν να διαχειριστεί εν μέρει το πρόβλημα αυτό. Στην υπό-περιοχή η ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι αντίστοιχη.

Υπενθυμίζεται ότι για την εικόνα του 1984, υπάρχει ένα κενό στα δεδομένα στο κάτω δεξιά τμήμα της εικόνας. Η περιοχή αυτή αντιστοιχεί εξολοκλήρου σε θάλασσα και τα εικονοστοιχεία αυτά (24544) για το 1984 καταχωρήθηκαν στην κατηγορία 1 για να μην υπάρχει ασυμφωνία στον αριθμό των εικονοστοιχείων των δύο εικόνων.

έτος		1984						
		sea	vegetation	mines	bare/cult	urban		sum
2010	sea	91290	0	0	18	430		91738
	vegetation	0	12560	5	8736	1433		22734
	mines	0	20	403	723	341		1487
	bare/cult	125	36867	1567	188777	15133		242469
	urban	336	17278	5494	93434	111383		227925
	sum	91751	66725	7469	291688	128720		586353

Πίνακας 5.6: Πίνακας Συνάφειας αντικειμενοστραφούς μεθόδου με 5 κατηγορίες στην υπό-περιοχή.

Για τον δυαδικό διαχωρισμό αστικό-μη αστικό, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.7 παρατηρείται πως για την αστική περιοχή δίνει ακριβώς το ίδιο άθροισμα εικονοστοιχείων. Εφόσον έχουν ενοποιηθεί οι υπόλοιπες κατηγορίες, δεν υπάρχουν ορισμένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν παραπάνω. Σημαντικός είναι ο αριθμός των εικονοστοιχείων που αστικοποιήθηκαν και είναι σχεδόν τετραπλάσιος από εκείνον που δείχνει το αντίθετο.

έτος		1984			
		not urban	urban		sum
2010	not urban	1347395	48641		1396036
	urban	220844	312498		533342
	sum	1568239	361139		1929378

Πίνακας 5.7: Πίνακας Συνάφειας αντικειμενοστραφούς μεθόδου με 2 κατηγορίες.

Πολύ καλύτερα και με λιγότερο θόρυβο είναι τα δυαδικά αποτελέσματα για την υπό-περιοχή (Πίνακας 5.8). Στην υπό-περιοχή παρατηρείται αύξηση της αστικής περιοχής κατά περίπου 100000 εινοστοιχείων (αν ληφθούν υπόψη και τα εικονοστοιχεία που μεταβαίνουν στην αντίθετη κατάσταση) στα εικοσιπέντε περίπου χρόνια που μεσολαβούν, κάτι που συνεπάγεται σε αστικοποίηση περίπου 90000 στρεμμάτων ή 9000 εκταρίων, δηλαδή περίπου το 17% της υπό-περιοχής μελέτης.

έτος		1984			
		not urban	urban		sum
2010	not urban	341091	17337		358428
	urban	116542	111383		227925
	sum	457633	128720		586353

Πίνακας 5.8: Πίνακας Συνάφειας αντικειμενοστραφούς μεθόδου με 2 κατηγορίες στην υπό-περιοχή.

5.2.6.2 Πίνακας Συνάφειας μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης

Στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση παρατηρείται λάθος των ταξινομήσεων στη βλάστηση, γεγονός που συνεπάγεται σε λανθασμένη μετάβαση (Πίνακας 5.9). Στην αντικειμενοστραφή μέθοδο η σύγκυση θάλασσας και βλάστησης που μπορεί να προκύπτει εξαιτίας των χαμηλών τιμών φωτεινότητας που έχει η βλάστηση υπό σκιά, έχει αντιμετωπιστεί με τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής. Μια πολύ σημαντική παρατήρηση σε σχέση με την αντικειμενοστραφή μέθοδο είναι η συστηματική υποβάθμιση της αστικής περιοχής, όπως διαπιστώνεται αν συγκριθούν τα αθροίσματα των αστικών περιοχών σε κάθε χρονιά, τόσο στο σύνολο της εικόνας όσο και στην υπό-περιοχή.

έτος		1984						
		sea	vegetation	mines	bare/cult	urban		sum
2010	sea	870366	2339	52	74	485		873316
	vegetation	1302	248129	1350	60581	15256		326618
	mines	35	2389	3201	7605	2901		16131
	bare/cult	192	99455	6835	227655	7486		341623
	urban	1000	77485	7490	105672	180043		371690
	sum	872895	429797	18928	401587	206171		1929378

Πίνακας 5.9: Πίνακας Συνάφειας μη επιβλεπόμενης μεθόδου με 5 κατηγορίες.

έτος		1984						
		sea	vegetation	mines	bare/cult	urban		sum
2010	sea	91503	764	23	56	127		92473
	vegetation	39	109431	626	32000	3324		145420
	mines	5	1503	1574	4481	661		8224
	bare/cult	51	59460	4334	122858	1791		188494
	urban	157	44571	4614	64636	37764		151742
	sum	91755	215729	11171	224031	43667		586353

Πίνακας 5.10: Πίνακας Συνάφειας μη επιβλεπόμενης μεθόδου με 5 κατηγορίες στην υπό-περιοχή.

Αξίζει να σημειωθεί ότι και στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση ο αριθμός των στοιχείων μετάβασης από αστικό σε μη αστικό είναι επίσης σημαντικός, γεγονός που επιβεβαιώνει τη δημιουργία προβλημάτων από αστικές περιοχές που συγχέονται με το γυμνό έδαφος και αντίστροφα, ιδιαίτερα όταν οι πρώτες αποτελούνται από οικίες με κεραμίδια. Υπενθυμίζεται πως η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση διαχωρίζει την εικόνα σε κατηγορίες λαμβάνοντας υπόψη τις φασματικές τιμές των εικονοστοιχείων και άρα είναι αναμενόμενη αυτή η σύγχυση.

Ούτε όμως η μετάβαση από την μη αστική σε αστική περιοχή είναι απόλυτα σωστή, τόσο για την μη επιβλεπόμενη όσο και για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση καθώς δεν έχουν αποκλειστεί οι περιοχές στους ορεινούς όγκους που έχουν ταξινομηθεί εσφαλμένα ως αστικές περιοχές το 2010 ενώ αντιστοιχούν σε βραχώδεις εκτάσεις. Στην αντικειμενοστραφή μέθοδο το πρόβλημα έχει περιοριστεί σημαντικά χρησιμοποιώντας επιπρόσθετη υψομετρική πληροφορία και Μοντέλα Κλίσεων εδάφους στην εικόνα όπως έχει περιγραφεί αναλυτικά στο εδάφιο της αντικειμενοστραφούς μεθόδου.

έτος		1984		
		not urban	urban	sum
2010	not urban	1531560	26128	1557688
	urban	191647	180043	371690
	sum	1723207	206171	1929378

Πίνακας 5.11: Πίνακας Συνάφειας μη επιβλεπόμενης μεθόδου με 2 κατηγορίες.

Παρατηρείται πως τα αθροίσματα αστικών περιοχών στην υπό-περιοχή (Πίνακας 5.12) παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές σε σχέση με την αντικειμενοστραφή μέθοδο. Η μη επιβλεπόμενη υποβαθμίζει σημαντικά τις αστικές περιοχές. Παρόλα αυτά το αποτέλεσμα της διαφοράς είναι συγκρίσιμο με την αντικειμενοστραφή μέθοδο.

έτος		1984		
		not urban	urban	sum
2010	not urban	428708	5903	434611
	urban	113978	37764	151742
	sum	542686	43667	586353

Πίνακας 5.12: Πίνακας Συνάφειας μη επιβλεπόμενης μεθόδου με 2 κατηγορίες στην υπό-περιοχή.

5.2.6.3 Πίνακες Συνάφειας επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Μέγιστη Πιθανοφάνεια)

έτος		1984						
		sea	vegetation	mines	bare/cult	urban		sum
2010	sea	859666	178	0	3481	117		863442
	vegetation	6	122388	1091	152623	46964		323072
	mines	1551	3214	967	11035	6488		23255
	bare/cult	59	42623	934	196549	21291		261456
	urban	63	44228	1726	169899	242237		458153
	sum	861345	212631	4718	533587	317097		1929378

Πίνακας 5.13: Πίνακας Συνάφειας επιβλεπόμενης μεθόδου με 5 κατηγορίες.

Από τον παραπάνω Πίνακα διαπιστώνεται πως η διαφορά στις εκτάσεις της αστικής περιοχής είναι εμφανής αν συγκριθεί με την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, ενώ τα αποτελέσματα πλησιάζουν περισσότερο εκείνα της αντικειμενοστραφούς μεθόδου. Οι σκιές αντικειμένων πάλι συγχέονται με την θάλασσα, ενώ πάλι έχει καταχωρηθεί εσφαλμένη μετάβαση από μη αστικό σε αστικό εξαιτίας της βραχώδους έκτασης στους ορεινούς όγκους που ταξινομούνται ως αστικές περιοχές για το 2010 εξαιτίας της συµμεταβλητότητας των δειγμάτων εκπαίδευσης.

έτος		1984						
		sea	vegetation	mines	bare/cult	urban		sum
2010	sea	88751	94	0	1502	32		90379
	vegetation	0	62472	252	73766	25096		161586
	mines	139	953	476	3339	2073		6980
	bare/cult	5	28093	203	82828	8467		119596
	urban	1	31973	778	91269	83791		207812
	sum	88896	123585	1709	252704	119459		586353

Πίνακας 5.14: Πίνακας Συνάφειας επιβλεπόμενης μεθόδου με 5 κατηγορίες στην υπό-περιοχή.

Τα ίδια συµπεράσματα εξάγονται και για την υπό-περιοχή (Πίνακας 5.15).

έτος		1984			
		not urban	urban		sum
2010	not urban	1396365	74860		1471225
	urban	215916	242237		458153
	sum	1612281	317097		1929378

Πίνακας 5.15: Πίνακας Συνάφειας επιβλεπόμενης μεθόδου με 2 κατηγορίες.

έτος		1984		
		not urban	urban	sum
2010	not urban	342873	35668	378541
	urban	124021	83791	207812
	sum	466894	119459	586353

Πίνακας 5.16: Πίνακας Συνάφειας επιβλεπόμενης μεθόδου με 2 κατηγορίες στην υπό-περιοχή.

Αν και τα αποτελέσματα των αστικών περιοχών πλησιάζουν εκείνα της αντικειμενοστραφούς μεθόδου, αφενός υπάρχουν πολλά περισσότερα λάθη στις ταξινομήσεις της μέγιστης πιθανοφάνειας σε αυτές, αφετέρου η μετάβαση από αστικά, σε μη αστικά είναι πολύ μεγαλύτερη στην επιβλεπόμενη μέθοδο, γεγονός που καθιστά τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων εξαιτίας αυτής της μεθόδου λιγότερο αξιόπιστα για περαιτέρω ανάλυση.

Συμπερασματικά, στα πρότυπα που πρόκειται να εφαρμοστούν το πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα της τηλεπισκόπησης για χρήση είναι εκείνο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση παρουσιάζει προβλήματα, αλλά θα μπορούσαν τα αποτελέσματά την να χρησιμοποιηθούν στα πρότυπα για σύγκριση. Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση, παρουσιάζει τα μεγαλύτερα προβλήματα, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τους Πίνακες Συνάφειας, και για τον λόγο αυτό δεν ενδείκνυται τα αποτελέσματά της να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω ανάλυση. Στα οικονομετρικά πρότυπα που θα δημιουργηθούν ενδιαφέρει κυρίως η μετάβαση από μη αστικό σε αστικό και γίνεται προσπάθεια ερμηνείας αυτής της μετάβασης.

5.3. Ποσοτική Εκτίμηση της Αλληλεπίδρασης της Οδικής Υποδομής και των Χρήσεων Γης

Στο παρόν υπεδάφιο θα γίνει προσπάθεια δημιουργίας απλών οικονομετρικών προτύπων ώστε να ερμηνευτεί η τάση αστικής επέκτασης και πληθυσμιακής αύξησης της περιοχής μελέτης τα τελευταία χρόνια.

Τα συγκεκριμένα πρότυπα θα είναι δυαδικής απόκρισης για τους λόγους που έχουν αναφερθεί στο υπεδάφιο 5.1.1. Σαν ένας πρώτος στόχος αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης είναι να εξεταστεί η μετάβαση από το μη αστικό σε αστικό τα τελευταία περίπου 25 χρόνια και να εξηγηθεί αυτή η μετάβαση. Άρα η αστικοποίηση κάθε εικονοστοιχείου από το 1984 στο 2010 θα αποτελεί την εξαρτημένη μεταβλητή ή μεταβλητή απόκρισης και θα εκφράζεται μέσω της ονομαστικής διάκρισης δυο πιθανών ενδεχόμενων έκβασης. Δηλαδή η απόκριση μπορεί να είναι τύπου ναι, όταν το εικονοστοιχείο αστικοποιήθηκε ή όχι, όταν το εικονοστοιχείο δεν αστικοποιήθηκε. Το πρώτο βήμα λοιπόν είναι, για το χρονικό διάστημα αυτό, να προσδιοριστεί ο πίνακας της μεταβολής. Με άλλα λόγια πρέπει να βρεθούν ποια εικονοστοιχεία αστικοποιήθηκαν και να διαχωριστούν από εκείνα που παρέμειναν αμετάβλητα (από αστικά σε αστικά ή από μη αστικά σε μη αστικά) και από εκείνα που άλλαξαν (από αστικά σε μη αστικά). Αυτό πραγματοποιήθηκε εντός του λογισμικού R [R Development Core Team, 2011].

Γενικά, τέθηκε ως 1 η τιμή εκείνων των εικονοστοιχείων που αστικοποιήθηκαν και η τιμή 0 για όλα τα υπόλοιπα. Στα δυαδικά πρότυπα οι τιμές αυτές συνδέονται με πιθανότητες, όπως έχει αναφερθεί στο υπεδάφιο 5.1.1.

Το πρότυπο λογιστικής κατανομής που θα αναπτυχθεί είναι τύπου ‘logit’, το οποίο όπως έχει αναλυθεί στην θεωρητική αναφορά των προτύπων, δεν είναι παρά ο μετασχηματισμός του προτύπου που αποκαλύπτει την γραμμική του φύση. Στο πρότυπο αυτό επιχειρείται ο προσδιορισμός των σταθερών όρων των εξηγηματικών μεταβλητών όχι μέσω της εφαρμογής γραμμικής παλινδρόμησης και των ελαχίστων τετραγώνων, αλλά μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της μέγιστης πιθανοφάνειας (ML) η οποία είναι μια επαναληπτική διαδικασία που ολοκληρώνεται όταν η συνάρτηση που εκφράζει την πιθανοφάνεια μεγιστοποιείται.

Η διαδικασία της εφαρμογής της μέγιστης πιθανοφάνειας για τα δεδομένα δυαδικής απόκρισης των προτύπων λογιστικής κατανομής εμπεριέχεται στο Γενικευμένο Γραμμικό Πρότυπο (glm) που διατίθεται στη γλώσσα στατιστικής ανάλυσης R. Η επιλογή ‘family=binomial’ χρησιμοποιεί την πιθανοφάνεια της εξίσωσης (29). Η επιλογή ‘link=logit’, χρησιμοποιεί το πρότυπο λογιστικής κατανομής της συνάρτησης (27).

Για την καλύτερη ερμηνεία της μεταβλητής απόκρισης πρέπει να αναπτυχθεί η κατάλληλη συνάρτηση ωφέλειας με όσο τον δυνατόν λιγότερο συσχετισμένες μεταβλητές. Θεωρητικά, οι μεταβλητές που θα συμμετέχουν στα πρότυπα πρέπει να είναι ανεξάρτητες. Το επόμενο βήμα λοιπόν είναι η εύρεση της κατάλληλης συνάρτησης

ωφέλειας. Εφόσον η μεταβλητή απόκρισης εκφράζει ουσιαστικά τη διαφορά δύο καταστάσεων, αναζητείται η συνάρτηση που εκφράζει την διαφορά ωφέλειας μεταξύ δύο καταστάσεων.

Μια μεταβλητή που σίγουρα θα εισαχθεί στο πρότυπο είναι η διαφορά των Ευκλείδειων Αποστάσεων ως προς τους αυτοκινητοδρόμους πριν και μετά την κατασκευή της Αττικής Οδού. Για την επεξεργασία των δεδομένων, είναι απαραίτητος στο λογισμικό R ο ορισμός της ομάδας δεδομένων που θα γίνει η επεξεργασία. Η ομάδα των δεδομένων που επεξεργάζεται ορίζεται διότι μετά θα χρειαστεί να αναφερθεί στην συνάρτηση του προτύπου. Τα παραπάνω περιγράφονται στην Εικόνα 5.17 .

```
201 ##### MUNICIPALI
202 municip <- census_data_all$MUNICIPALI
203   table(municip)
204   write.table(municip,file="municip.txt", row.names=FALSE, col.names=FALSE)
205   municip<- read.table("municip.txt")
206   head( municip)
207
208   ### road_difference
209   roadsdiff <- eud_mr_1984_spatial[,3]/1000-eud_mr_2010_spatial[,3]/1000
210
211   ###factor CODE
212   ### data.frame
213   my.data.all<- as.data.frame(cbind(vec1984_object,vec1991_object,vec2000_object,
214                                   vec2003_object,vec2010_object,from_not_built_1984_to_built_2010,
215                                   eud_mr_2010_spatial[,3]/1000, eud_mr_1984_spatial[,3]/1000,
216                                   eud_banks_spatial[,3]/1000,pop_change_2001_1991,
217                                   pop_change_1991_1981,pop_change_2001_1981,
218                                   factor(census_data_all$CODE),roadsdiff))
219   names(my.data.all) <- c("v1984_object","v1991_object","v2000_object","v2003_object","v2010_object",
220                           "change_1984_2010_built","mr2010","mr1984","banks","p_ch_2001_1991",
221                           "p_ch_1991_1981","p_ch_2001_1981","CODE","roadsdiff")
222
```

Εικόνα 5.17: Δημιουργία μεταβλητών και ομάδας μεταβλητών προς επεξεργασία (data.frame) στο λογισμικό R.

Η ομάδα των δεδομένων που ορίστηκε συμπεριλαμβάνει τα δεδομένα χρήσης γης για τις πέντε χρονιές, την εξαρτημένη μεταβλητή αλλαγής χρήσης γης, τις τρεις Ευκλείδειες Αποστάσεις, τη μεταβολή του πληθυσμού για τους τρεις συνδυασμούς χρονολογιών, τον παράγοντα ‘CODE’, που δεν είναι παρά ο κώδικας των δημογραφικών δεδομένων ο οποίος θα αναλυθεί αργότερα, και τέλος την μεταβλητή της διαφοράς αποστάσεων από τους αυτοκινητοδρόμους. Ακολούθησε η ονομασία κάθε μιας από τις παραπάνω μεταβλητές.

Στη συνέχεια ορίστηκαν μερικές ακόμα μεταβλητές στην ομάδα δεδομένων που σχετίζονται με την απόσταση από τον αυτοκινητόδρομο για το 2010 και ζητήθηκε να επιστρέφεται η αληθής τιμή όταν η απόσταση είναι μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή.

5.3.1. Εφαρμογή σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης

Μετά από αρκετές προσπάθειες το πρότυπο δυαδικής απόκρισης που έδωσε χρήσιμες ενδείξεις φαίνεται στην Εικόνα 5.18. Στο πρότυπο αυτό, οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για να εξηγήσουν την μεταβλητότητα της αλλαγής χρήσης γης από μη αστικό σε αστικό από το 1984 μέχρι το 2010 ήταν οι ακόλουθες:

- `onekm`: είναι η μεταβλητή που λαμβάνει την τιμή 1 όταν η Ευκλείδεια Απόσταση από τους αυτοκινητοδρόμους του 2010 δεν ξεπερνά το 1 km και την τιμή μηδέν σε διαφορετική περίπτωση,
- `roadsdiff`: είναι η μεταβλητή για τη διαφορά των Ευκλείδειων Αποστάσεων των αυτοκινητοδρόμων μεταξύ των χρονιών 1984 και 2010, όταν αυτές εκφράζονται σε km,
- `banks`: είναι η μεταβλητή για την Ευκλείδεια Απόσταση από τα σημεία ενδιαφέροντος που επιλέχθηκε να είναι οι τράπεζες ως πιο πιθανό να σχετίζονται με τα πραγματικά κέντρα εμπορικής δραστηριότητας (CBD), επίσης σε km, και τέλος,
- `p_ch_2001_1981`: η μεταβλητή για την πληθυσμιακή μεταβολή στο διάστημα από το 1981 μέχρι το 2001.

```
226 ##### distance main roads dummy variables
227 my.data.all$onekm <- FALSE
228 my.data.all$onekm[which(my.data.all$mr2010<1)] <- TRUE
229
230 my.data.all$fivekm <- FALSE
231 my.data.all$fivekm[which(my.data.all$mr2010<5)] <- TRUE
232
233 binlogit10 <- glm(data=my.data.all,change_1984_2010_built~onekm+roadsdiff+banks+p_ch_2001_1981,
234 family= binomial(link = "logit"))
235 summary(binlogit10)
236
237 exp(coef(binlogit10)[1])
238 exp(coef(binlogit10)[2])
239 exp(coef(binlogit10)[3])
240 exp(coef(binlogit10)[4])
241 exp(coef(binlogit10)[5])
```

Εικόνα 5.18: Δημιουργία επιπλέον μεταβλητών και δημιουργία προτύπου δυαδικής απόκρισης.

Μπορεί η χρονική διαφορά για τη μεταβολή του πληθυσμού να μην είναι ακριβώς η ίδια που υπάρχει μεταξύ των εικόνων του 1984 και του 2010, αλλά, αφενός δεν διατίθενται ακόμα τα επίσημα στοιχεία της Στατιστικής Υπηρεσίας για την απογραφή του 2011, και αφετέρου, μέθοδοι χρονικής προσαρμογής που αναπτύχθηκαν στο παρελθόν βρέθηκε να παρουσιάζουν προβλήματα [Frazier and Kockelman, 2005]. Καλό θα ήταν όμως τα δεδομένα μεταγενέστερα να συσχετιστούν και χρονικά.

Στα πρότυπα τέτοιου τύπου αν η επεξηγηματική μεταβλητή X_i αυξηθεί κατά μια μονάδα τότε οι προβλεπόμενες πιθανότητες αυξάνονται κατά e^{β_i} και ο σταθερός όρος θεωρείται εκείνη η προβλεπόμενη λογαριθμική πιθανότητα για X ίσο με το μηδέν. Άρα, οι εκθετικοί όροι που εφαρμόζονται για κάθε συντελεστή στην συνέχεια χρησιμοποιούνται για να εκφράζουν την επιρροή κάθε μιας μεταβλητής στο πρότυπο. Τα αποτελέσματα του

παραπάνω Γενικευμένου Γραμμικού Προτύπου στα δεδομένα ταξινόμησης με την αντικειμενοστραφή μέθοδο αναγράφονται στους Πίνακες 5.17 και 5.18.

	Συντελεστές	Τυπικό Σφάλμα	Τιμή z	Έλεγχος Σημαντικότητας
Σταθερός όρος	-2.163	-0.006	373.1	***
Απόσταση από A/K <1 km	0.675	0.005	127.4	***
Διαφορά A/K (1984-2010) σε km	0.064	0.001	75.39	***
Απόσταση από σημεία ενδιαφέροντος (τράπεζες) σε km	0.138	0.002	91.56	***
Πληθυσμιακή μεταβολή (1981-2001) (άτομα)	0.00119	0.00002	55.36	***
Επίπεδο εμπιστοσύνης	*** 99.9%	** 99%	* 95%	" ." 90%
Αριθμός Παρατηρήσεων	1042381			
Αρχική Απόκλιση	1071016			
Υπολειπόμενη Απόκλιση	1036277			
Διαφορά Απόκλισης	34739			
AIC	1036287			

Πίνακας 5.17: Στατιστικά αποτελέσματα προτύπου δυαδικής απόκρισης για όλη την εικόνα (object).

Είναι γεγονός ότι επειδή ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι πολύ μεγάλος, οι συντελεστές προκύπτουν στατιστικά σημαντικοί σε μεγάλο επίπεδο εμπιστοσύνης και αυτό φαίνεται από τον έλεγχο ‘z’ τιμών οι οποίες είναι μεγαλύτερες από εκείνες που ορίζονται ακόμα και από πολύ αυστηρά διαστήματα εμπιστοσύνης.

Ο όρος της αρχικής απόκλισης, δηλαδή της αρχικής μεταβλητότητας, που αναγράφεται στα αποτελέσματα, αθροίζει την προσαρμογή του προτύπου λογιστικής κατανομής και απλώς εμπεριέχει τον σταθερό όρο. Η διαφορά ανάμεσα στην αρχική μεταβλητότητα και στην υπολειπόμενη μεταβλητότητα δείχνει αν είναι σημαντική η προσθήκη των θεωρητικά ανεξάρτητων μεταβλητών. Με άλλα λόγια η διαφορά στο άθροισμα των τετραγώνων πριν και μετά την προσθήκη των μεταβλητών εκφράζει τον βαθμό της απόκλισης της μεταβλητής απόκρισης που εξηγήθηκε από τις επεξηγηματικές. Εδώ παρατηρείται σημαντική διαφορά πριν και μετά την είσοδο των τεσσάρων μεταβλητών κατά 35 περίπου χιλιάδες μονάδες (1071016-1036277=34739 μονάδες). Μπορούν σε επόμενη φάση επεξεργασίας να υλοποιηθούν τα λεγόμενα ‘likelihood ratio tests’ που αποδεικνύουν μαθηματικά αν είναι σημαντική η μείωση. Είναι προφανές βέβαια πως λείπουν κι άλλες μεταβλητές που εξηγούν την υπόλοιπη μεταβλητότητα. Ο όρος AIC, αποτελεί επίσης έναν δείκτη, ο οποίος μάλιστα εκφράζει τόσο καλά περιγράφεται το πρότυπο από τις μεταβλητές. Η ερμηνεία του είναι δύσκολη και αν και αποτελεί βάση για σύγκριση μεταξύ των μοντέλων κάτι τέτοιο είναι ρινοκίνδυνο και απλώς αναγράφεται ως τιμή.

Γενικά, θα ήταν ορθότερο να εξεταστεί η συμβολή στην ερμηνεία της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής για μια προς μια μεταβλητή και να ακολουθήσει μια

προοδευτική εισαγωγή τους στο πρότυπο. Εναλλακτικά θα μπορούσε να ακολουθηθεί αφαιρετική διαδικασία μεταβλητών.

Οι βαθμοί ελευθερίας του προτύπου, αν και στον παραπάνω πίνακα δεν αναγράφονται, είναι η διαφορά του αριθμού των μετρήσεων και των μεταβλητών που επιλέγεται να συμμετέχουν στο πρότυπο. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο αριθμός των μετρήσεων που προέκυψε πως δεν συμμετέχουν στην διαδικασία της παλινδρόμησης είναι τα στοιχεία της θάλασσας, επειδή δεν υπάρχουν για αυτά πληθυσμιακά δεδομένα. Το γεγονός αυτό απαλλάσσει αυτόματα το πρότυπο από σημαντικό θόρυβο.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας με τους γραμμικοποιημένους όρους των συντελεστών. Όπως έχει αναφερθεί, στα πρότυπα δυαδικής απόκρισης, η μετατροπή αυτή είναι απαραίτητη για την ερμηνεία των συντελεστών και την επίδραση της κάθε μεταβλητής στο πρότυπο.

Μεταβλητές	Γραμμικοποιημένοι Συντελεστές: e^{Xi}
Σταθερός όρος	0.115
Απόσταση από A/K <1 km	1.965
Διαφορά A/K (1984-2010) σε km	1.066
Απόσταση από σημεία ενδιαφέροντος (τράπεζες) σε km	1.148
Πληθυσμιακή μεταβολή (1981-2001) (άτομα)	1.00119

Πίνακας 5.18: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές προτύπου δυαδικής απόκρισης για όλη την εικόνα (object).

Από την ερμηνεία των συντελεστών προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Ο πρώτος συντελεστής, δηλαδή ο συντελεστής που αντιστοιχεί στην πρώτη μεταβλητή, δείχνει πως η πιθανότητα να υπάρχει μετάβαση σε αστικό είναι μεγαλύτερη κατά 96.5%, όταν η απόσταση από τον αυτοκινητόδρομο είναι μικρότερη από 1 km. Ο δεύτερος συντελεστής δείχνει πως για κάθε km που πλησιάζει ο αυτοκινητόδρομος, η πιθανότητα να υπάρχει αστικό είναι 6.6% μεγαλύτερη. Ο τρίτος όρος δείχνει πως για κάθε km που υπάρχει πιο κοντά τράπεζα (υποθετικό κέντρο εμπορικής δραστηριότητας), υπάρχει 14.8% μεγαλύτερη πιθανότητα να είναι κτισμένο. Ο τελευταίος όρος δείχνει την επίδραση της μεταβολής του πληθυσμού μεταξύ 2001 και 1981. Προκύπτει πως για κάθε 1% που αυξάνεται ο πληθυσμός, αυξάνεται η πιθανότητα να ‘χτιστεί’ ένα σημείο κατά 0.12%. Ο συντελεστής αυτός φαίνεται να έχει μικρή επίδραση, αλλά κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Επειδή η τάξη μεγέθους των μεταβολών του πληθυσμού, ιδίως στα Μεσόγεια, είναι σχεδόν παντού μεγαλύτερη από 50%, τότε αυτό μεταφράζεται πως για 50% αύξηση του πληθυσμού, υπάρχει αύξηση της πιθανότητας κατά $50 \cdot 0.119 = 6\%$. Σε πολλές περιοχές που υπάρχει αύξηση κοντά στο 100% (πχ. Κορωπί), η πιθανότητα αύξησης είναι στο 12%.

Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα ακόμη πρότυπο λαμβάνοντας υπόψη τον παράγοντα των Δήμων που ανήκουν τα εικονοστοιχεία. Για το λόγο αυτό έγινε και ο ορισμός ‘factor’ για το πεδίο ‘CODE’, που είναι ο κωδικός ανά Δήμο όπως

ορίζεται από την Στατιστική Υπηρεσία. Πρόκειται ουσιαστικά για μια ομαδοποίηση που θα γίνουν στα αποτελέσματα ανά διοικητική διαίρεση. Η ομαδοποίηση θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί απευθείας με το όνομα του Δήμου, δηλαδή με το πεδίο ‘MUNICIPAL’, και να αναγράφεται απευθείας το όνομα του Δήμου στα αποτελέσματα, αλλά κατά τη χωρική συσχέτιση των πεδίων του κανάβου με τους Δήμους, που είχε προηγηθεί, δεν μεταφέρθηκαν ολόκληρα τα ονόματα και υπήρξε σύγχυση για τους Δήμους με κοινή αρχή στο όνομα. Αναφέρεται ότι με αυτήν την παράμετρο, δεν ήταν δυνατόν να υπολογιστεί το πρότυπο για το σύνολο των δεδομένων και για το λόγο αυτό αναζητήθηκε το κατάλληλο μέγεθος δείγματος ξεκινώντας από το 10%. Επειδή οι δήμοι στους οποίους έπρεπε να ομαδοποιηθούν τα αποτελέσματα για όλη την εικόνα είναι πολλοί (64), το πρότυπο δεν ήταν εύκολο να συγκλίνει. Έγιναν αρκετές δοκιμές με δείγματα από 10% έως 30% και με συμμετοχή ή όχι της μεταβλητής των Ευκλείδειων Αποστάσεων από τις τράπεζες. Τελικά έγινε εφικτή μια μόνο σύγκλιση, ύστερα από 14 επαναλήψεις, χρησιμοποιώντας τον όρο για τις τράπεζες και για μέγεθος δείγματος περίπου στο 20% του αρχικού χωρίς όμως ιδιαίτερα αξιόπιστα αποτελέσματα. Στην Εικόνα 5.19 φαίνεται η μορφή του νέου προτύπου.

```
323 ##### CODE_random_samples
324   numRan=400000
325
326 mysample <- sample(1:dim(my.data.all)[1], numRan, replace=F)
327   binlogit12 <- glm(data=my.data.all[mysample,],change_1984_2010_built~onekm+roadsdiff+banks+
328     p_ch_2001_1981+CODE,family= binomial(link = "logit"),na.action=na.omit)
329
330 summary(binlogit12)
331   exp(coef(binlogit12))
```

Εικόνα 5.19: Δημιουργία προτύπου δυαδικής απόκρισης με τον παράγοντα ‘CODE’ ανά Δήμο.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των αντιστοιχών προτύπων που αναπτύχθηκαν με και χωρίς την παράμετρο ‘CODE’, των παραπάνω μορφών για το σύνολο της εικόνας και για τα δεδομένα της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Η εφαρμογή του προτύπου της Εικόνας 5.18 έγινε στα δεδομένα της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το σύνολο της εικόνας χωρίς την συμμετοχή της μεταβλητής των αποστάσεων από τις τράπεζες. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.19 και 5.20.

	Συντελεστές	Τυπικό Σφάλμα	Τιμή z	Έλεγχος Σημαντικότητας
Σταθερός όρος	-2.038	0.004	-479.110	***
Απόσταση από A/K <1 km	0.607	0.005	110.980	***
Διαφορά A/K (1984-2010) σε km	0.090	0.001	105.830	***
Πληθυσμιακή μεταβολή (1981-2001) (άτομα)	0.00127	0.00002	59.610	***
Επίπεδο εμπιστοσύνης	*** 99.9%	** 99%	* 95%	" ." 90%
Αριθμός Παρατηρήσεων	1042381			
Αρχική Απόκλιση	990061			
Υπολειπόμενη Απόκλιση	957140			
Διαφορά Απόκλισης	32921			
AIC	957148			

Πίνακας 5.19 : Στατιστικά αποτελέσματα προτύπου δυαδικής απόκρισης για όλη την εικόνα (unsupervised).

Μεταβλητές	Γραμμικοποιημένοι Συντελεστές: e^{X_i}
Σταθερός όρος	0.130
Απόσταση από A/K <1 km	1.835
Διαφορά A/K (1984-2010) σε km	1.095
Πληθυσμιακή μεταβολή (1981-2001) (άτομα)	1.00127

Πίνακας 5.20: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές προτύπου δυαδικής απόκρισης για όλη την εικόνα (unsupervised).

Από τα παραπάνω φαίνεται πως οι συντελεστές του προτύπου είναι στατιστικά σημαντικοί και, ύστερα από την εφαρμογή των μεταβλητών, η μεταβλητή απόκρισης ερμηνεύεται κατά 33 χιλιάδες μονάδες περίπου. Η τιμή αυτή είναι μικρότερη από το αποτέλεσμα που προέκυψε από την αντικειμενοστραφή μέθοδο. Οι δύο πρώτοι όροι δείχνουν ότι η πιθανότητα να υπάρχει μετάβαση σε αστικό είναι μεγαλύτερη κατά 83.5%, όταν η απόσταση από τον αυτοκινητόδρομο είναι μικρότερη από 1 km και πως για κάθε km που πλησιάζει ο αυτοκινητόδρομος, η πιθανότητα να υπάρχει αστικό είναι 9.5% μεγαλύτερη. Ο τελευταίος όρος προέκυψε, σχετικά με την μεταβολή του πληθυσμού προέκυψε περίπου ο ίδιος με την αντικειμενοστραφή μέθοδο.

Για το σύνολο της εικόνας όταν ως μεταβλητή προστίθεται και ο παράγοντας ‘CODE’, για τα δεδομένα της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, υπήρξε πάλι πρόβλημα σύγκλισης και προστέθηκε και η μεταβλητή αποστάσεων από τις τράπεζες. Τα αποτελέσματα για δείγμα 30% της αρχικής εικόνας που προέκυψαν, δεν ήταν επίσης αξιόπιστα, καθώς πολλοί συντελεστές δεν ήταν στατιστικά σημαντικοί.

5.3.2. Εφαρμογή προτύπων στην υπό-περιοχή μελέτης

Επειδή για το σύνολο της εικόνας, όταν ως μεταβλητή χρησιμοποιήθηκε η παράμετρος ‘CODE’ η σύγκλιση ήταν δύσκολο να επιτευχθεί, και επειδή πολλές από τις παραμέτρους δεν είχαν στατιστικά σημαντικούς συντελεστές, έγινε εφαρμογή των προτύπων και στην υπό-περιοχή που ορίστηκε στο υπεδάφιο 5.2.5 τόσο στα αποτελέσματα της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης, όσο και στα της μη επιβλεπόμενης.

Αρχικά, για τα δεδομένα της υπό-περιοχής που προέκυψαν από την αντικειμενοστραφή μεθοδολογία εφαρμόζεται πάλι το πρότυπο της Εικόνας 5.18 χωρίς τη μεταβλητή των αποστάσεων από τις τράπεζες. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους ακόλουθους Πίνακες.

	Συντελεστές	Τυπικό Σφάλμα	Τιμή z	Έλεγχος Σημαντικότητας
Σταθερός όρος	-1.808	0.006	-281.510	***
Απόσταση από A/K <1 km	0.864	0.007	115.310	***
Διαφορά A/K (1984-2010) σε km	0.066	0.001	58.500	***
Πληθυσμιακή μεταβολή (1981-2001) (άτομα)	0.0008	0.00002	34.160	***
Επίπεδο εμπιστοσύνης	*** 99.9%	** 99%	* 95%	" ." 90%
Αριθμός Παρατηρήσεων	494067			
Αρχική Απόκλιση	539158			
Υπολειπόμενη Απόκλιση	519777			
Διαφορά Απόκλισης	19381			
AIC	519785			

Πίνακας 5.21: Στατιστικά αποτελέσματα προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (object).

Μεταβλητές	Γραμμικοποιημένοι Συντελεστές: e^{X_i}
Σταθερός όρος	0.164
Απόσταση από A/K <1 km	2.373
Διαφορά A/K (1984-2010) σε km	1.068
Πληθυσμιακή μεταβολή (1981-2001) (άτομα)	1.00080

Πίνακας 5.22: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (object).

Από τον Πίνακα 5.21 φαίνεται ότι οι μεταβλητές του προτύπου καταφέρνουν να μειώσουν τη μεταβλητότητα κατά 19 περίπου χιλιάδες μονάδες, γεγονός πολύ σημαντικό, αν αναλογιστεί κανείς πως η υπό-περιοχή είναι περίπου το 1/3 της αρχικής εικόνας. Οι συντελεστές είναι στατιστικά σημαντικοί και ερμηνεύονται ακολούθως. Συγκεκριμένα, προκύπτει πως η πιθανότητα να υπάρχει μετάβαση σε αστικό είναι μεγαλύτερη κατά 137.3% όταν η απόσταση από τον αυτοκινητόδρομο είναι μικρότερη από 1 km. Επίσης, για κάθε km που πλησιάζει ο αυτοκινητόδρομος, η πιθανότητα να υπάρχει αστικό είναι 6.8% μεγαλύτερη.

Ως προς την επίδραση της μεταβολής του πληθυσμού μεταξύ 2001 και 1981, προκύπτει πως για κάθε 1% που αυξάνεται ο πληθυσμός, αυξάνεται η πιθανότητα να ‘χτιστεί’ ένα σημείο κατά 0.08%. Ο όρος αυτός φαίνεται να έχει μικρή επίδραση, αλλά κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Επειδή η τάξη μεγέθους των μεταβολών του πληθυσμού, ιδίως στα Μεσόγεια που αντιστοιχεί η υπό-περιοχή μελέτης, είναι παντού μεγαλύτερη από 50%, τότε αυτό μεταφράζεται πως για 50% αύξηση του πληθυσμού, υπάρχει αύξηση της πιθανότητας κατά $50 \cdot 0.08 = 4\%$. Σε πολλές περιοχές που υπάρχει αύξηση κοντά στο 100% (πχ. Κορωπί), η πιθανότητα αύξησης είναι στο 8%.

Στη συνέχεια εφαρμόζεται το πρότυπο με την συμμετοχή της παραμέτρου ‘CODE’ στα δεδομένα της αντικειμενοστραφούς μεθόδου για την υπό-περιοχή. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.23 και 5.24.

Οι μεταβλητές του προτύπου καταφέρνουν να μειώσουν τη μεταβλητότητα κατά 37 περίπου χιλιάδες μονάδες, γεγονός πολύ σημαντικό, αν αναλογιστεί κανείς πως η υπό-περιοχή είναι το 1/3 της αρχικής εικόνας και σε αυτήν ερμηνεύεται περισσότερο η εξαρτημένη μεταβλητή σε σχέση με το σύνολο της εικόνας για την αντικειμενοστραφή μέθοδο (35 χιλιάδες μονάδες). Οι συντελεστές των τριών πρώτων μεταβλητών είναι στατιστικά σημαντικοί και θα ερμηνευτούν στην συνέχεια. Επίσης, πολύ ενδιαφέρουσα είναι και η μείωση της μεταβλητότητας κατά 18 χιλιάδες μονάδες (37-19) σε σχέση με το προηγούμενο πρότυπο που δεν είχε προστεθεί ο παράγοντας ‘CODE’ ως μεταβλητή.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

	Συντελεστές	Τυπικό Σφάλμα	Τιμή z	Έλεγχος Σημαντικότητας
Σταθερός όρος	-1.833	0.175	-10.481	***
Απόσταση από Α/Κ <1 km	0.770	0.009	87.18	***
Διαφορά Α/Κ (1984-2010) σε km	0.097	0.002	39.693	***
Πληθυσμιακή μεταβολή (1981-2001) (άτομα)	0.00006	0.00025	0.254	
Αγ. Παρασκευή	-0.927	0.160	-5.81	***
Μαρούσι	-0.255	0.166	-1.541	
Αργυρούπολη	-2.589	0.281	-9.214	***
Βριλήσσια	0.073	0.123	0.592	
Βύρωνας	-3.518	0.283	-12.411	***
Γλυφάδα	-1.096	0.162	-6.77	***
Ζωγράφου	-1.058	0.183	-5.771	***
Ηλιούπολη	-2.450	0.223	-10.989	***
Καισαριανή	-2.400	0.206	-11.675	***
Κηφισιά	0.173	0.433	0.399	
Μελίσσια	-0.788	0.155	-5.081	***
Νέο Ψυχικό	-10.730	20.260	-0.53	
Παπάγου	-0.639	0.178	-3.588	***
Πεύκη	-2.275	0.237	-9.594	***
Φιλοθέη	-1.287	0.452	-2.847	**
Χαλάνδρι	-0.189	0.169	-1.117	
Χολαργός	-1.561	0.187	-8.363	***
Νέα Πεντέλη	-1.005	0.171	-5.876	***
Πεντέλη	-0.973	0.145	-6.706	***
Παλλήνη	0.374	0.128	2.918	**
Αρτέμιδα	0.451	0.104	4.335	***
Βάρη	-10.740	50.720	-0.212	
Βούλα	-0.168	0.631	-0.266	
Γέρακας	0.934	0.151	6.203	***
Γλυκά Νερά	-0.438	0.154	-2.839	**
Καλ. Θορικού	-10.760	324.700	-0.033	
Κορωπί	0.197	0.151	1.306	
Μαρκόπουλο	0.428	0.158	2.703	**
Νέα Μάκρη	-0.520	0.162	-3.216	**
Παιανία	0.141	0.155	0.909	
Ραφήνα	-0.530	0.148	-3.592	***
Σπάτα-Λούτσα	0.019	0.162	0.116	
Ανθούσα	0.393	0.053	7.483	***
Επίπεδο εμπιστοσύνης	*** 99.9%	** 99%	* 95%	" ." 90%
Αριθμός Παρατηρήσεων	494067			
Αρχική Απόκλιση	539158			
Υπολειπόμενη Απόκλιση	502018			
Διαφορά Απόκλισης	37140			
AIC	502092			

Πίνακας 5.23: Στατιστικά αποτελέσματα προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (object) – παράγοντας ‘CODE’.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

Μεταβλητές	CODE	Έλεγχος Σημαντικότητας	Γραμμικοποιημένοι Συντελεστές: e^{X_i}
Σταθερός όρος	-	***	0.160
Απόσταση από Α/Κ <1 km	-	***	2.160
Διαφορά Α/Κ (1984-2010) σε km	-	***	1.102
Πληθυσμιακή μεταβολή (1981-2001) (άτομα)	-		1.000064
Αγ. Παρασκευή	A1030000	***	0.396
Μαρούσι	A1080000		0.775
Αργυρούπολη	A1090000	***	0.075
Βριλήσσια	A1100000		1.076
Βύρωνας	A1110000	***	0.030
Γλυφάδα	A1130000	***	0.334
Ζωγράφου	A1160000	***	0.347
Ηλιούπολη	A1170000	***	0.086
Καισαριανή	A1200000	***	0.091
Κηφισιά	A1230000		1.188
Μελίσσια	A1250000	***	0.455
Νέο Ψυχικό	A1330000		0.000
Παπάγου	A1350000	***	0.528
Πεύκη	A1380000	***	0.103
Φιλοθέη	A1410000	**	0.276
Χαλάνδρι	A1430000		0.828
Χολαργός	A1440000	***	0.210
Νέα Πεντέλη	A1620000	***	0.366
Πεντέλη	A1630000	***	0.378
Παλλήνη	A2010000	**	1.453
Αρτέμιδα	A2030000	***	1.570
Βάρη	A2060000		0.000
Βούλα	A2070000		0.846
Γέρακας	A2090000	***	2.544
Γλυκά Νερά	A2100000	**	0.646
Καλ. Θορικού	A2110000		0.000
Κορωπί	A2130000		1.218
Μαρκόπουλο	A2160000	**	1.534
Νέα Μάκρη	A2170000	**	0.595
Παιανία	A2180000		1.152
Ραφήνα	A2190000	***	0.589
Σπάτα-Λούτσα	A2200000		1.019
Ανθούσα	A2630000	***	1.482

Πίνακας 5.24: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (object) – παράγοντας ‘CODE’.

Στον παραπάνω Πίνακα, με μπλε χρώμα έχουν σημειωθεί οι μεγαλύτεροι εκ των στατιστικά σημαντικών συντελεστών.

Για τις τρεις πρώτες μεταβλητές, οι συντελεστές ερμηνεύονται ακολούθως. Αρχικά, η πιθανότητα να υπάρχει μετάβαση σε αστικό είναι μεγαλύτερη κατά 116.0%, όταν η

απόσταση από τον αυτοκινητόδρομο είναι μικρότερη από 1 km. Ακόμα, για κάθε km που πλησιάζει ο αυτοκινητόδρομος, η πιθανότητα να υπάρξει αστικό είναι 10.2% μεγαλύτερη. Τέλος, ως προς την επίδραση της μεταβολής του πληθυσμού μεταξύ 2001 και 1981, προκύπτει μη στατιστικά σημαντικός συντελεστής.

Γενικά, οι μεταβλητές για τους Δήμους αντιπροσωπεύουν την επιπλέον διαφοροποίησή μεταξύ τους, όσον αναφορά την τάση αστικοποίησης. Τη μεγαλύτερη οικιστική ανάπτυξη παρουσιάζει ο Γέρακας (A2090000) με τιμή 2.544, ενώ ακολουθούν σε φθίνουσα διάταξη, η Αρτέμιδα (A2030000) με τιμή 1.57, η Βάρη (A2160000) με τιμή 1.534, η Ανθούσα (A2630000) με τιμή 1.482 και η Παλλήνη (A2010000) με τιμή 1.453. Οι παραπάνω τιμές μεταφράζονται ως εξής. Αν ένα εικονοστοιχείο ανήκει πχ. στην περιοχή του Γέρακα είχε 154.4% μεγαλύτερη πιθανότητα να αστικοποιηθεί στο διάστημα 1984 με 2010, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες περιοχές όταν αυτές αστικοποιούνται (όταν εμφανίζουν δηλαδή απόκριση 1).

Ακολουθεί η εφαρμογή των προτύπων με και χωρίς τον παράγοντα ‘CODE’ για τα αποτελέσματα της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην υπό-περιοχή. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στους Πίνακες 5.25 και 5.26.

	Συντελεστές	Τυπικό Σφάλμα	Τιμή z	Έλεγχος Σημαντικότητας
Σταθερός όρος	-1.751	0.006	-275.850	***
Απόσταση από A/K <1 km	0.652	0.008	85.790	***
Διαφορά A/K (1984-2010) σε km	0.063	0.001	56.050	***
Πληθυσμιακή μεταβολή (1981-2001) (άτομα)	0.00075	0.00002	31.850	***
Επίπεδο εμπιστοσύνης	*** 99.9%	** 99%	* 95%	" ." 90%
Αριθμός Παρατηρήσεων	494067			
Αρχική Απόκλιση	533243			
Υπολειπόμενη Απόκλιση	519975			
Διαφορά Απόκλισης	13268			
AIC	519983			

Πίνακας 5.25: Στατιστικά αποτελέσματα προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (unsupervised).

Μεταβλητές	Γραμμικοποιημένοι Συντελεστές: e^{X_i}
Σταθερός όρος	0.174
Απόσταση από A/K <1 km	1.919
Διαφορά A/K (1984-2010) σε km	1.065
Πληθυσμιακή μεταβολή (1981-2001) (άτομα)	1.00075

Πίνακας 5.26: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (unsupervised).

Οι μεταβλητές του προτύπου φαίνεται να καταφέρνουν να μειώσουν τη μεταβλητότητα κατά 13 περίπου χιλιάδες μονάδες. Η τιμή αυτή είναι κατά 6 χιλιάδες μονάδες

χαμηλότερη σε σχέση με εκείνη από την εφαρμογή στα δεδομένα ταξινόμησης με αντικειμενοστραφή μέθοδο για την υπό-περιοχή. Οι συντελεστές των μεταβλητών είναι στατιστικά σημαντικοί και ερμηνεύονται στην συνέχεια.

Η πιθανότητα να υπάρχει μετάβαση σε αστικό είναι μεγαλύτερη κατά 91.9%, όταν η απόσταση από τον αυτοκινητόδρομο είναι μικρότερη από 1 km. Επίσης, για κάθε km που πλησιάζει ο αυτοκινητόδρομος, η πιθανότητα να υπάρχει αστικό είναι 6.5% μεγαλύτερη. Ως προς την επίδραση της μεταβολής του πληθυσμού μεταξύ 2001 και 1981, προκύπτει πως για κάθε 1% που αυξάνεται ο πληθυσμός, αυξάνεται η πιθανότητα να ‘χτιστεί’ ένα σημείο κατά 0.075%. Τέλος, τα αποτελέσματα για το πρότυπο με την συμμετοχή της παραμέτρου ‘CODE’ στα δεδομένα της μη επιβλεπόμενης μεθόδου για την υπό-περιοχή φαίνονται στους Πίνακες 5.27 και 5.28.

“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ”

	Συντελεστές	Τυπικό Σφάλμα	Τιμή z	Έλεγχος Σημαντικότητας
Σταθερός όρος	-1.831	0.179	-10.210	***
Απόσταση από Α/Κ <1 km	0.678	0.009	73.046	***
Διαφορά Α/Κ (1984-2010) σε km	0.011	0.003	4.398	***
Πληθυσμιακή μεταβολή (1981-2001) (άτομα)	0.001	0.000	3.030	**
Αγ. Παρασκευή	0.190	0.162	1.167	
Μαρούσι	0.930	0.169	5.490	***
Αργυρούπολη	-0.856	0.200	-4.287	***
Βριλήσσια	1.752	0.126	13.929	***
Βύρωνας	-1.544	0.198	-7.787	***
Γλυφάδα	0.161	0.161	1.003	
Ζωγράφου	-1.200	0.189	-6.347	***
Ηλιούπολη	-2.284	0.221	-10.335	***
Καισαριανή	-2.006	0.202	-9.929	***
Κηφισιά	0.765	0.407	1.879	.
Μελίσσια	1.526	0.152	10.037	***
Νέο Ψυχικό	-0.876	0.315	-2.779	**
Παπάγου	-0.502	0.182	-2.755	**
Πεύκη	0.116	0.176	0.659	
Φιλοθέη	0.018	0.305	0.061	
Χαλάνδρι	0.775	0.173	4.490	***
Χολαργός	-0.826	0.186	-4.432	***
Νέα Πεντέλη	0.870	0.160	5.447	***
Πεντέλη	0.584	0.148	3.944	***
Παλλήνη	0.773	0.131	5.885	***
Αρτέμιδα	1.260	0.106	11.835	***
Βάρη	-1.266	0.738	-1.715	.
Βούλα	-0.269	0.632	-0.425	
Γέρακας	1.286	0.154	8.342	***
Γλυκά Νερά	0.809	0.157	5.152	***
Καλ. Θορικού	-5.853	26.665	-0.220	
Κορωπί	-0.173	0.155	-1.121	
Μαρκόπουλο	0.286	0.162	1.765	.
Νέα Μάκρη	0.182	0.166	1.098	
Παιανία	0.250	0.159	1.567	
Ραφήνα	0.603	0.151	3.996	***
Σπάτα-Λούτσα	-0.136	0.166	-0.816	
Ανθούσα	0.160	0.055	2.916	**
Επίπεδο εμπιστοσύνης	*** 99.9%	** 99%	* 95%	" ." 90%
Αριθμός Παρατηρήσεων	494067			
Αρχική Απόκλιση	533243			
Υπολειπόμενη Απόκλιση	497496			
Διαφορά Απόκλισης	35747			
AIC	497570			

Πίνακας 5.27: Στατιστικά αποτελέσματα προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (unsupervised) – παράγοντας ‘CODE’.

Με το παραπάνω πρότυπο, παρατηρείται πως μειώνεται η μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής κατά 36 χιλιάδες μονάδες περίπου, τιμή πολύ κοντά σε εκείνη που προκύπτει με τα δεδομένα της αντικειμενοστραφούς μεθόδου.

Μεταβλητές	CODE	Έλεγχος Σημαντικότητας	Γραμμικοποιημένοι Συντελεστές: e^{xi}
Σταθερός όρος	-	***	0.160
Απόσταση από Α/Κ <1 km	-	***	1.970
Διαφορά Α/Κ (1984-2010) σε km	-	***	1.011
Πληθυσμιακή μεταβολή (1981-2001) (άτομα)	-	**	1.00078
Αγ. Παρασκευή	A1030000		1.209
Μαρούσι	A1080000	***	2.534
Αργυρούπολη	A1090000	***	0.425
Βριλήσσια	A1100000	***	5.768
Βύρωνα	A1110000	***	0.214
Γλυφάδα	A1130000		1.175
Ζωγράφου	A1160000	***	0.301
Ηλιούπολη	A1170000	***	0.102
Καισαριανή	A1200000	***	0.135
Κηφισιά	A1230000	.	2.150
Μελίσσια	A1250000	***	4.601
Νέο Ψυχικό	A1330000	**	0.416
Παπάγου	A1350000	**	0.605
Πεύκη	A1380000		1.123
Φιλοθέη	A1410000		1.019
Χαλάνδρι	A1430000	***	2.170
Χολαργός	A1440000	***	0.438
Νέα Πεντέλη	A1620000	***	2.386
Πεντέλη	A1630000	***	1.793
Παλλήνη	A2010000	***	2.166
Αρτέμιδα	A2030000	***	3.526
Βάρη	A2060000	.	0.282
Βούλα	A2070000		0.764
Γέρακας	A2090000	***	3.620
Γλυκά Νερά	A2100000	***	2.246
Καλ. Θορικού	A2110000		0.003
Κορωπί	A2130000		0.841
Μαρκόπουλο	A2160000	.	1.332
Νέα Μάκρη	A2170000		1.200
Παιανία	A2180000		1.284
Ραφήνα	A2190000	***	1.828
Σπάτα-Λούτσα	A2200000		0.873
Ανθούσα	A2630000	**	1.174

Πίνακας 5.28: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές προτύπου δυαδικής απόκρισης για την υπό-περιοχή (unsupervised) – παράγοντας ‘CODE’.

Στον παραπάνω πίνακα, επίσης με μπλε χρώμα έχουν σημειωθεί οι μεγαλύτεροι εκ των στατιστικά σημαντικών συντελεστών.

Από τους συντελεστές των τριών πρώτων μεταβλητών προκύπτει πως η πιθανότητα να υπάρχει μετάβαση σε αστικό είναι μεγαλύτερη κατά 97.0% όταν η απόσταση από τον αυτοκινητόδρομο είναι μικρότερη από 1 km ενώ για κάθε km που πλησιάζει ο αυτοκινητόδρομος, η πιθανότητα να υπάρχει αστικό είναι μόλις 1.1% μεγαλύτερη και τέλος, ως προς την επίδραση της μεταβολής του πληθυσμού μεταξύ 2001 και 1981, προκύπτει πως για κάθε 1% που αυξάνεται ο πληθυσμός, αυξάνεται η πιθανότητα να ‘χτιστεί’ ένα σημείο κατά 0.078%. Ο όρος αυτός έχει μικρή επίδραση στο πρότυπο. Ίσως αυτό οφείλεται στην συμμετοχή της μεταβλητής ‘CODE’.

Τη μεγαλύτερη οικιστική ανάπτυξη, σύμφωνα με τον Πίνακα 5.28, παρουσιάζουν τα Βριλήσσια (A1100000) με τιμή 5.768, ενώ ακολουθούν σε φθίνουσα διάταξη, τα Μελίσσια (A1250000) με τιμή 4.601, ο Γέρακας (A2060000) με τιμή 3.62, η Αρτέμιδα (A2030000) με τιμή 3.526, τα Γλυκά Νερά (A2100000) με τιμή 2.246 και η Παλλήνη (A2010000) με τιμή 2.166.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα μεταξύ των προτύπων με συμμετοχή της παραμέτρου ‘CODE’ ως προς την την εφαρμογή τους μεταξύ των αποτελεσμάτων ταξινόμησης της αντικειμενοστραφούς μεθόδου και της μη επιβλεπόμενης στην υπό-περιοχή, προκύπτει πως το πρότυπο της αντικειμενοστραφούς υπερτερεί. Αν και η μεταβλητότητα της μεταβλητής απόκρισης δεν διαφέρει αισθητά, και αν και στις δύο περιπτώσεις έχει εξαιρεθεί η Κοινότητα του Πικερμίου που έχει την μεγαλύτερη πληθυσμιακή αύξηση μεταξύ 1981 και 2001 (της τάξης 707%), το πρότυπο της πρώτης μεθόδου καταφέρνει να παρουσιάζει πιο σωστά σε φθίνουσα διάταξη τις περιοχές με την μεγαλύτερη πιθανότητα να αστικοποιηθούν στο διάστημα 1984-2010. Πιο συγκεκριμένα, από την πληθυσμιακή μεταβολή από το 1981 μέχρι και το 2001, η περιοχή με την δεύτερη μεγαλύτερη πληθυσμιακή αύξηση είναι η Ανθούσα (543%), ενώ ακολουθούν η Αρτέμιδα (292%), τα Βριλήσσια (229%), η Παλλήνη (195%), η Βάρη (162%), η Πεντέλη (130%), ο Γέρακας (107%), το Κορωπί (98%), τα Γλυκά Νερά (95%), η Κερατέα (85%), η Παιανία (81%), το Μαρκόπουλο (68%) κλπ. Ιεραρχικά οι μεγαλύτεροι συντελεστές του προτύπου για τα δεδομένα αντικειμενοστραφούς ανάλυσης είναι του Γέρακα, της Αρτέμιδος, της Βάρης, της Ανθούσας και της Παλλήνης. Για την μη επιβλεπόμενη είναι τα Βριλήσσια, τα Μελίσσια, ο Γέρακας, η Αρτέμιδα, τα Γλυκά Νερά και η Παλλήνη. Τέλος, τα πρότυπα που προκύπτουν από τα δεδομένα αντικειμενοστραφούς μεθόδου υπερτερούν σημαντικά στην ερμηνεία της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής και χωρίς την συμμετοχή του παράγοντα ‘CODE’ ως μεταβλητή.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας, όπως έχει προαναφερθεί, είναι η διερεύνηση εξέλιξης κύριων χρήσεων γης στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής τις τελευταίες δεκαετίες για την ανάπτυξη απλών οικονομετρικών προτύπων που προσομοιώνουν με τον βέλτιστο τρόπο την κοινωνικοοικονομική εξέλιξη της περιοχής.

Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκαν πέντε δορυφορικές εικόνες σε χρονικό διάστημα εικοσιπέντε περίπου χρόνων και συγκεκριμένα τις χρονιές 1984, 1991, 2000, 2003 και 2010, μέτριας χωρικής ανάλυσης των δεκτών Landsat 4, 5 και Landsat 7, προερχόμενες από τον οργανισμό USGS. Στο πλαίσιο της τηλεπισκόπησης, ο στόχος ήταν να ερευνηθούν τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων με χωρική μονάδα ανάλυσης το εικονοστοιχείο αλλά και το αντικείμενο, να εντοπιστούν και να αιτιολογηθούν οι διαφορές των αποτελεσμάτων και να τεκμηριωθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου. Αντικειμενοστραφής προσέγγιση για το συγκεκριμένο ζήτημα δεν έχει εφαρμοστεί ξανά, οπότε το γεγονός αυτό αποτελούσε μια πρόκληση. Στις περισσότερες ανάλογες μελέτες είχαν προηγηθεί είτε μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις είτε επιβλεπόμενες χωρίς ποσοτικό έλεγχο των αποτελεσμάτων παρά μόνο ποιοτικό.

Στόχος επίσης της εργασίας είναι η σύνθεση απλών οικονομετρικών προτύπων τα οποία να δίνουν μια πρώτη εκτίμηση των αποτελεσμάτων αλλαγών λαμβάνοντας υπόψη, εκτός από την παράμετρο της αλλαγής της χρήσης/κάλυψης γης, και απλές παραμέτρους, όπως οι Ευκλείδειες Αποστάσεις από κομβικές θέσεις και χαρακτηριστικά.

Από το σύνολο της εργασίας μπορούν να αναφερθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Από τις τηλεπισκοπικές μεθόδους ταξινομήσεων για ανίχνευση αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης επιλέχθηκε η μέθοδος των ανεξάρτητων ταξινομήσεων όπως έγινε σε ανάλογες μελέτες για την αντιμετώπιση παρόμοιων ζητημάτων. Για παράδειγμα αναφέρονται οι έρευνες των Frazier και Kockelman [2005], και των Petit et.al. [2000].
- Η μέθοδος των ανεξάρτητων ταξινομήσεων δεν υπαγορεύει τη ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.
- Η γεωμετρική διόρθωση, σύμφωνα με τα μεταδοδομένα των εικόνων, με τεχνικές υπέρθεσης των καναλιών των εικόνων αλλά και μέσω επίθεσης διανυσματικών δεδομένων αποδείχθηκε πως δεν ήταν απαραίτητο να υλοποιηθεί.
- Η μέθοδος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης απετέλεσε μια ικανοποιητική πρώτη ένδειξη των βασικότερων φασματικών κατηγοριών που μπορούν να διακριθούν στις εικόνες μελέτης. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση εφαρμόστηκε και σε μελέτες παρόμοιου ενδιαφέροντος [Yang και Liu 2005], [Yang and Lo, 2002], [Ward et al. 2000].
- Στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, το φαινόμενο της μερικής υποτίμησης των αστικών περιοχών εμφανίζεται αναλογικά σε όλες τις εικόνες, μιας και έχουν εφαρμοστεί οι ίδιες παράμετροι στον αλγόριθμο και το αποτέλεσμα του διαχωρισμού

σε πέντε βασικές θεματικές κατηγορίες κρίνεται ικανοποιητικό. Άρα το αποτέλεσμα τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση οικονομικών προτύπων.

- Πίνακας Σύγκρισης δεν ήταν εφικτό να δημιουργηθεί για το αποτέλεσμα της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και η αξιολόγησή της έγινε με τη βοήθεια φωτοερμηνείας.
- Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση και για την αντικειμενοστραφή μέθοδο πραγματοποιήθηκε ποσοτικός έλεγχος των ταξινομήσεων και δημιουργία Πίνακα Σύγκρισης σε αντίθεση με μελέτες επικεντρωμένες στην ανάπτυξη οικονομικών προτύπων που οι τηλεπισκοπικές εικόνες ελέγχονταν μόνο ποιοτικά μέσω συγκρίσεων με αεροφωτογραφίες [Frazier and Kockelman, 2005].
- Στη μέθοδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, ο αλγόριθμος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας αποδείχθηκε πιο αξιόπιστος από αυτόν της Ελάχιστης Απόστασης. Οι περισσότερες έρευνες που εφαρμόσαν επιβλεπόμενη ταξινόμηση επέλεξαν επίσης τον συγκεκριμένο ταξινομητή.
- Για τις πέντε τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση με δεκατέσσερις κατηγορίες έδωσε \hat{k} δείκτη που κυμαίνεται από 0.644 έως 0.753, ενώ για τις πέντε βασικές κατηγορίες από 0.761 έως 0.835. Παρά την προσεκτική και με αρκετές δοκιμές δειγματοληψία, μερικές περιοχές δεν παρουσίαζαν διαχρονική εξέλιξη όπως αναμενόταν, κυρίως μεταξύ των χρονιών 1991 και 2000.
- Για το εικονοστοιχείο, η μέθοδος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης πετυχαίνει την διαβάθμιση της οικοδομικής εξέλιξης με μερική υποβάθμιση του αποτελέσματος, ενώ η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, με υπερτίμηση. Το φαινόμενο της υπερτίμησης από την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας έχει αναφερθεί και σε άλλες έρευνες όπως των Lu et al. [2010].
- Η αντικειμενοστραφής μέθοδος σε εικόνες μεσαίας χωρικής ανάλυσης, όπως οι εικόνες Landsat, εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα αλλά και ένα βασικό μειονέκτημα στον εντοπισμό αστικών περιοχών. Το μειονέκτημα είναι ότι το επίπεδο κατάτμησης για την ταξινόμηση των αστικών περιοχών δεν πρέπει να έχει πολύ μεγάλη κλίμακα διότι οι τα αντικείμενα αλλιώς θα εμφανίζουν μικτή χρήση/κάλυψη γης.
- Αντίθετα, με τη δυνατότητα κατάτμησης σε πολλά επίπεδα στην αντικειμενοστραφή μέθοδο, είναι δυνατόν να ταξινομηθούν αποτελεσματικά τόσο κατηγορίες μεγαλύτερων αντικειμένων, πχ. χώροι εξορύξεων, αλλά και αντικείμενα που πλησιάζουν το μέγεθος εικονοστοιχείου πχ. αντικείμενα που αντιπροσωπεύουν τη βλάστηση. Επιπρόσθετα, η χρήση του ιεραρχικού δικτύου και των κανόνων ασαφούς λογικής επιτρέπουν την μεταφορά πληροφορίας από επίπεδο σε επίπεδο ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής υπό ή υπέρ-αντικειμένων που επιθυμεί ο χρήστης. Πολλές κατηγορίες επίσης προκύπτουν εκμεταλλευόμενοι όχι μόνο τα φασματικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων αλλά και τα φωτοαναγνωριστικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα τα χαρακτηριστικά γειτνίασης αλλά και τα χαρακτηριστικά σχήματος των αντικειμένων και υψής υπό-αντικειμένων.
- Η χρήση του δείκτη υψής της Ομοιογένειας κατά Haralick κατά την αντικειμενοστραφή προσέγγιση, επέτρεψε τη διάκριση μεταξύ συνεχούς και μη συνεχούς αστικής δόμησης. Οι δείκτες υψής εφαρμοζόμενοι στο εικονοστοιχείο δεν είχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- Οι ταξινομήσεις με χωρική μονάδα ανάλυσης το αντικείμενο πραγματοποιήθηκαν χωρίς τη χρήση δειγμάτων εκπαίδευσης. Στην ταξινόμηση άρα χρησιμοποιήθηκαν

μόνο κανόνες ασαφούς λογικής, γεγονός που αυτομάτως βελτιώνει τις ακρίβειες και την αξιοπιστία του αποτελέσματος.

- Στην αντικειμενοστραφή μέθοδο, η ταξινόμηση κάθε επιπέδου κάθε εικόνας αξιολογήθηκε επιτυχώς από το ίδιο το λογισμικό, μέσω των δεικτών περί ‘Ευστάθειας της ταξινόμησης’ και ‘Καλύτερου Αποτελέσματος της ταξινόμησης’ μιας και κάθε αντικείμενο διεκδικείται από περισσότερες από μια κατηγορίες.
- Στην αντικειμενοστραφή μέθοδο, στο δεύτερο επίπεδο, που αποτελούσε και το βασικό επίπεδο ταξινόμησης και προβολής κατηγοριών των άλλων επιπέδων, ταξινομήθηκαν περισσότερες κατηγορίες από τις πέντε της επιβλεπόμενης και της μη επιβλεπόμενης. Στο επίπεδο αυτό και στις πέντε εικόνες δημιουργήθηκε Πίνακας Σύγχυσης με αποτελέσματα για τον δείκτη k από 0.851 έως 0.897.
- Στην αντικειμενοστραφή μέθοδο λόγω διαφορετικής ραδιομετρίας των εικόνων σε μερικές κατηγορίες εφαρμόστηκαν διαφορετικοί κανόνες για τον ορισμό τους ανά εικόνα, ενώ σε όλες τις κατηγορίες τα όρια της ασαφούς ζώνης ήταν διαφορετικά.
- Από τα διαγράμματα μεταβολών που δημιουργήθηκαν με όλες τις μεθόδους προέκυψε μια απόκλιση των αποτελεσμάτων για την απεικόνιση του 2000.
- Για το αντικείμενο, επίσης παρουσιάζεται μικρή υπερτίμηση των αραιά δομημένων εκτάσεων. Η υπερτίμηση αυτή είναι μικρότερη συγκριτικά με το αποτέλεσμα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Επίσης, με τη βοήθεια εισαγωγής επιπλέον θεματικών επιπέδων, όπως για παράδειγμα της εικόνας ‘Κλίσεων Εδάφους’ και της εικόνας με την υψομετρική πληροφορία, ήταν δυνατός ο περιορισμός της σύγχυσης αστικών περιοχών με τις βραχώδεις εκτάσεις που αποτελεί σύνηθες πρόβλημα.
- Για τη δημιουργία οικονομετρικών προτύπων, εκτός από την μεταβλητή της χρήσης/κάλυψης γης, σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία πχ. [Frazier and Kockelman, 2005], εξετάζονται πολλές παράμετροι ως πιθανές να συμβάλλουν στην οικιστική ανάπτυξη. Τέτοιες παράμετροι είναι η δημιουργία αυτοκινητοδρόμων, τα σημεία ενδιαφέροντος μιας περιοχής, τα σημεία που αποτελούν κέντρα εμπορικής δραστηριότητας μιας περιοχής κ.α.. Από τα σημειακά και γραμμικά αυτά στοιχεία δημιουργήθηκαν Ευκλείδειες Αποστάσεις και έγινε προσπάθεια εισαγωγής τους στα πρότυπα ανάλυσης. Επίσης, στα πρότυπα έγινε εισαγωγή δημογραφικών δεδομένων.
- Τα πρότυπα που αναπτύχθηκαν, λόγω της πολυπλοκότητας της εφαρμογής, ήταν όσο το δυνατόν πιο απλοϊκά με βασικό γνώμονα την εφαρμογή μη γραμμικών προτύπων. Τα πρότυπα που τελικά εφαρμόστηκαν ήταν πρότυπα δυαδικής απόκρισης με μεταβλητή απόκρισης τη μετάβαση από μη αστικό σε αστικό από το 1984 μέχρι το 2010.
- Από την εφαρμογή των προτύπων προέκυψε πως οι επεξηγηματικές μεταβλητές που επιλέχθηκαν ερμηνεύουν σημαντική μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής.
- Τα αποτελέσματα του προτύπου είναι πιο ικανοποιητικά όταν ως δεδομένα εισόδου ως προς τη χρήση γης είναι τα προερχόμενα από την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση.

7. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Ακολουθώς παρουσιάζονται μερικές από τις προτάσεις τόσο για τη μελλοντική αντιμετώπιση παρόμοιων ζητημάτων όσο και για περαιτέρω αξιοποίηση του αποτελέσματος της παρούσας εργασίας.

Στο πλαίσιο της τηλεπισκόπησης, προτείνεται η υλοποίηση και ραδιομετρικής διόρθωσης των εικόνων ώστε να είναι δυνατόν να εφαρμοστούν ενιαίοι και αυτοματοποιημένοι κανόνες ταξινόμησης καθώς και κοινά όρια ασαφούς ζώνης, όπως προβλέπεται από την μελέτη των Baraldi et al. [2006].

Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό Definiens 8, που διαθέτει ειδικές μεθοδολογίες ανίχνευσης αλλαγών μεταξύ δύο εικόνων. Όταν όμως πρέπει να συγκριθούν περισσότερες εικόνες από πολλές χρονολογίες δεν ενδείκνυται η σύγκριση ανά δυο εικόνες.

Λόγω του ότι τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει την εμφάνισή τους πολλά χωρικά πρότυπα προσομοίωσης, τα αποτελέσματα με τις διάφορες τηλεπισκοπικές μεθόδους είναι πολλά υποσχόμενα για περαιτέρω επεξεργασία. Στην οικονομική τους διάσταση τέτοια πρότυπα εκτιμούν την πιθανότητα μετάβασης της χρήσης γης χρησιμοποιώντας μεθόδους διακριτών επιλογών [Bockstael, 1996]. Η οικιστική ανάπτυξη και η αλλαγή στις χρήσεις γης μπορεί να ερευνηθεί και με τη βοήθεια του ολοκληρωμένου οικονομετρικού προτύπου SELUTH. Το SLEUTH προέρχεται από τα αρχικά S(slope), L (land use), E (zones excluded from growth), U (urban spatial extracts), T (transport networks), H (terrain hillshading) τα οποία και αποτελούν τα δεδομένα εισόδου του. Για την Αττική στην προκειμένη περίπτωση έχουν προκύψει οι χρήσεις γης από τουλάχιστον τέσσερις χρονιές (όπως απαιτείται), υπάρχει διατιθέμενο μοντέλο κλίσεων σε ψηφιδωτή μορφή, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι ζώνες αποκλεισμού από την ανάπτυξη (πχ. θάλασσα) μέσω του ορισμού του αριθμού που αντιστοιχεί στην κατηγορία αυτή, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι αστικές επεκτάσεις από τις εικόνες, τα δίκτυα μεταφορών διατίθενται, ενώ διατίθεται επίσης και μοντέλο σκίασης της περιοχής μελέτης ως υπόβαθρο της περιοχής. Αν και το πρότυπο SLEUTH για να λειτουργήσει έχει υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις και ενδείκνυται η εγκατάσταση της εφαρμογής σε δίκτυο υπολογιστών, θα ήταν χρήσιμη η εφαρμογή του στα δεδομένα μιας και αυτά υπάρχουν. Το μόνο αρνητικό του συγκεκριμένου προτύπου είναι η μη συνεκτίμηση δημογραφικών δεδομένων στο αποτέλεσμα.

Προτείνεται να πραγματοποιηθεί χρονικός συσχετισμός των πληθυσμιακών δεδομένων για τις τρεις χρονιές που διατίθενται πληθυσμιακά δεδομένα των περιοχών (1981, 1991 και 2001). Με άλλα λόγια, πρέπει να βρεθούν μια ή περισσότερες συναρτήσεις που η κάθε μια να ομαδοποιεί τις περιοχές με παρόμοια αστική εξέλιξη μέσα στο χρόνο. Και τα οποία να εισαχθούν στα πρότυπα ως σενάρια πληθυσμού.

Να πραγματοποιηθεί χρονική προσαρμογή ώστε να εξαλειφθούν λάθη που οφείλονται στα διαφορετικά χρονικά διάκενα μεταξύ των δορυφορικών εικόνων. Πρόκειται για μια

παράμετρο που εισάγεται στους συντελεστές όλων των μεταβλητών που δεν έχουν σταθερά διάκενα. Η εισαγωγή της παραμέτρου αυτής πολλές φορές δεν είναι αρκετά αποδοτική για να εξαλείψει αποτελεσματικά το λάθος που εισάγεται, όπως αποδείχθηκε και σε εφαρμογές ερευνητών όπως για παράδειγμα των Frazier και Kockelman [2005].

Προτείνεται επίσης να ληφθεί ως παράμετρος η χωρική αυτοσυσχέτιση για τη μεταβολή των χρήσεων γης στην πορεία των χρόνων όπως έχει γίνει στην έρευνα των Frazier και Kockelman [2005], αλλά και των Wang και Kockelman [2006].

Ακόμα, σημαντική θα ήταν η ένα προς ένα αντιστοίχιση των οικοδομικών τετραγώνων με την πληθυσμιακή πληροφορία, η οποία βέβαια δεν είναι εύκολα εφικτή σε τόσο μεγάλες και πυκνοκατοικημένες εκτάσεις. Η αντιστοίχιση αυτή ήταν δυνατή σε εφαρμογές που έχουν γίνει στην Αμερική και συγκεκριμένα στο Austin του Texas [Frazier and Kockelman, 2004], διότι εκεί είναι πολύ πιο αραιή η δόμηση όπως διαπιστώθηκε ύστερα από λήψη δορυφορικής εικόνας της περιοχής από τον οργανισμό USGS.

Εν κατακλείδι, είναι γεγονός ότι οι δορυφόροι παρέχουν πάρα πολλές πληροφορίες για τους σχεδιαστές χρήσεων γης και μεταφορών. Αν και μέχρι στιγμής είναι δύσκολο να αντληθούν όλες, εξαιτίας του μεγέθους και της πολυπλοκότητας, τα δορυφορικά δεδομένα συνδυασμένα με παραδοσιακά τοπογραφικά δεδομένα, με δημογραφικά δεδομένα και με χωρικές πληροφορίες επεξεργασμένες με τη βοήθεια Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών αναγγέλλουν μια νέα εποχή στις χωρικές προβλέψεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allum J. A. E., and Dreisinger, R. (1987). Remote sensing of vegetation change near Inco’s Sudbury mining complexes. *International Journal of Remote Sensing*, 8, pp. 399–416.
- Angelici G., Brynt N., and Friendman S. (1977). Techniques for land use change detection using Landsat imagery. *Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the American Society of Photogrammetry and Joint Symposium on Land Data Systems*, Falls Church, VA, USA (Bethesda, MD: American Society of Photogrammetry), pp. 217–228.
- Anselin L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Anselin L. (2005). *Spatial Econometrics*. Chapter 29, University of Illinois, Urbana-Champaign.
- Αργιαλάς Δ. (1998). Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Αργιαλάς Δ. (1999). Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Argialas D., and Harlow C. (1990). Computational Image Interpretation Models: An Overview and a Perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, No 6, June, pp.871-866.
- Baraldi A., Puzzolo V., Blonda P., Bruzzone L., and Tarantino C. (2006). Automatic Spectral Rule-based Preliminary Mapping of Calibrated Landsat TM and ETM+ Images. *IEEE, Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, September, Vol. 44, No.9.
- Besner C. (2002). A Spatial Autoregressive Specification with a Comparable Sales Weighting Scheme, *Journal of Real Estate Research* 24: pp. 193-211.
- Benz U., Hoffman P., Willhauck G., Lingenfelder I., and Heynen M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol.58, pp. 239–258.
- Biging G. S., Chrisman N. R., Colby D. R., Congalton R. G., Dobson J. E., Ferguson R. L., Goodchild M. F., Jensen J. R., and Mace T. H. (1999). Accuracy assessment of remote sensing-detected change detection. Monograph Series, edited by S. Khorram, *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)*, MD, USA.
- Bitelli G, Camassi R., Gusella L., Mognol A. (2004). Image change detection on urban areas: the earthquake case, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing.

Bockstael N. (1996) Modeling economics and ecology: the importance of a spatial perspective. *American Journal of Agriculture and Economics*, 78, pp. 1168-1180.

Bockstael N., and Bell K. (1997). Land use patterns and water quality: the effect of differential land management controls, *Conflict and Cooperation on Trans Boundary Water Resources Eds R Just, S Netanyahu*, (Kluwer, New York), pp 169-191.

Bruzzone L., and Fernandez P. (2000). Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38, pp. 1171–1182.

Bruzzone L., and Serpico S. B. (1997). An iterative technique for the detection of landcover transitions in multitemporal remote-sensing images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35, pp. 858–867.

Candau, J., Rasmussen, S. and Clarke, K. C. (2000). A coupled cellular automaton model for land use/land cover dynamics.
<http://www.geog.ucsb.edu/~kclarke/ucime/banff2000/533-jc-paper.htm>.

Chorianopoulos I., Pagonis T., Koukoulas S., and Drymoniti S. (2010). Planning, competitiveness and sprawl in the Mediterranean city: The case of Athens. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, pp 249-259.

Cohen W. B., and Fiorella M. (1998). Comparison of methods for detecting conifer forest change with Thematic Mapper imagery. In *Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Applications and Methods*, edited by C. Elvidge and R. Lunetta (Ann Arbor: Ann Arbor Press), pp. 89–102.

Civco D. (1989). Topographic normalization of Landsat Thematic Mapper digital imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55, pp. 1303–1309.

Civco D., Hurd J., Wilson E., Song M., and Zhangs Z. (2002). A Comparison of Land Use and Land Cover Change Detections Methods, ASPRS-ACSM Annual Conference and FIG XXII Congress April 22-26.

Claggett P., Jantz C., Goetz S. and Bisland C. (2004). Assessing Development pressure in the Chesapeake Bay Watershed: An Evaluation of two land-use change models. *Environmental Monitoring and Assessment Vol.94*, pp. 129–146.

Clarke K.C., Hoppen and S., and Gaydos L. (1996). “Methods and techniques for rigorous calibration of a cellular automaton model of urban growth”. *Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*, Santa Fe, New Mexico, January 21-25.

Clarke K. C., Hoppen S., and Gaydos L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay Area. *Environment and Planning B*, 24, pp. 247-261.

Collins J. B., and Woodcock C. E. (1996). An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multitemporal Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 56, pp. 66–77.

Congalton R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37, pp. 35–46.

Cook D., Dixon P., Duckworth W., Kaiser M., Koehler K., Meeker W. and Stephenson W. (2001). Binary Response and Logistic Regression Analysis, Chapter 3, Iowa State University.

Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B., and Lambin E. (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review in *International Journal of Remote Sensing*, 10 MAY, Vol. 25, No. 9, pp. 1565–1596.

Croissant Y. (2008) Estimation of multinomial logit models in R: The mlogit Packages, Universite de la Reunion.

Deer P. J. (1995), Digital change detection techniques: civilian and military applications. 2396 D. Lu et al. International Symposium on Spectral Sensing Research 1995 Report (Greenbelt, MD: Goddard Space Flight Center), <http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/ISSSR-95/digitalc.htm>

Definiens Developer 5, User Guide of 5th edition

Definiens Developer 8, User Guide of 8th edition

DiGirolamo P. A. (2006). A Comparison of Change Detection Methods in an Urban Environment Using LANDSAT TM and ETM+ Satellite Imagery: A Multi-Temporal, Multi-Spectral Analysis of Gwinnett County, GA 1991-2000. *Theses*. Paper 18., Department of Anthropology at Digital Archive at GSU. http://digitalarchive.gsu.edu/anthro_theses/18

Ding H., Wang R., Wu J., Zhou B., Shi Z., and Ding L. (2007). Quantifying Land Use Change in Zhejiang Coastal Region, China Using Multi-Temporal Landsat TM/ETM+ Images.

Dubin R. (1992). Spatial Auto Correlation and Neighborhood Quality. *Regional Science and Urban Economics* 22, pp: 433-452.

eCognition, User Guide of 2.1 edition, 2001

emacs: component of the GNU operating system, 2011.

Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80, pp. 185–201.

Frazier C., and Kockelman K. (2004). Cities and Satellite Imagery: Models for regional change, *83th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Conference Proceedings, Washington, D.C. (CD-ROM).

Frazier C., Kockelman K. (2005). Spatial Econometric Models for Panel Data: Incorporating Spatial and Temporal data. *84th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Conference Proceedings, Washington, D.C. (CD-ROM).

Hame T., Heiler I., Miguel-Ayanz, J. S. (1998). An unsupervised change detection and recognition system for forestry. *International Journal of Remote Sensing*, 19, pp. 1079–1099.

Haralick R.M., Shanmugam K. and Dinstein I. (1973). Textural Features for Image Classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. SMC vol. 3 no. 6 pp.610-621.

Haralick R.M. (1979). Statistical and Structural Approaches to Texture. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 67 pp.786-804.

He D. C., and Wang L. (1990). Texture feature extraction from texture spectrum. *Proceedings of the IGARSS'90 Symposium, Washington, DC, USA (Picataway, NJ: IEEE)*, pp. 1987–1990.

Heo J., and Fitzhugh T. W. (2000). A standardized radiometric normalization method for change detection using remotely sensed imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, pp. 173–182.

Hongtao H., and Yifang B. (2008). Urban Land-Cover Mapping and Change Detection with Radarsat SAR Data Using Neural Network and Rule-Based Classifiers', *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7.

Jantz C., Goetz S., and Shelley M. (2003). Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore-Washington metropolitan area., *Environment and Planning B: Planning and Design* 2003, Vol. 30, pp 251-271.

Karathanassi V., Iossifidis Ch., and Rokos D. (2000). A texture-based classification method for classifying built areas according to their density. *International Journal of Remote Sensing*, Vol.21, No. 9, 1807-1823.

Καραθανάση Β.(2011). Σημειώσεις μαθήματος ‘Ειδικά κεφάλαια Τηλεπισκόπησης’, ΕΜΠ, Αθήνα.

Kaufmanna R., and Seto K. (2001). Change detection, accuracy, and bias in a sequential analysis of Landsat imagery in the Pearl River Delta, China: econometric techniques, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, pp. 95–105.

Klosterman R.. (1999). What if?: Collaborative Planning Support System. *Environment and Planning B* 26, pp: 393-408.

Landis J, 1995, Imagining land use futures: applying the California urban futures model" *Journal of the American Planning Association*, 61, pp.438 – 457.

Lopez E., Boccoa G., Mendozaa M., and Duhaub E. (2001). Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe A case in Morelia city, Mexico, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Landscape and Urban Planning*, 55, pp 271–285.

Lowell, K. (2001). An area-based accuracy assessment methodology for digital change maps. *International Journal of Remote Sensing*, 22, pp. 3571–3596.

Lyon J. G., Yuan D., Lunetta R. S., and Elvidge C. D., (1998). A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64, 143–150.

Li X., and Yeh A. G. O. (1998). Principal component analysis of stacked multitemporal images for the monitoring of rapid urban expansion in the Pearl River Delta. *International Journal of Remote Sensing*, 19, pp.1501–1518.

Lu D., Moran E., and Hetrick S. (2011) Detection of impervious surface change with multitemporal Landsat images in an urban–rural frontier, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, pp. 298–306.

Lu D., Mausel P., Brondizios E., and Moran E. (2004). Change Detection Techniques, *International Journal of Remote Sensing*, Vol.25, No 12, 2365-2407.

Mas J. (1997). Monitoring land-cover changes in the Terminos Lagoon Region, Mexico: a comparison of change detection techniques, *Proceedings of the IV International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments*, Orlando.

Metternicht G. (1999). Change detection assessment using fuzzy sets and remotely sensed data: an application of topographic map revision. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, pp. 221–233.

Meyer P., Itten, K. I., Kellenberger, T., Sandmeier, S., and Sandmeier, R. (1993). Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in alpine environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 48, pp. 17–28.

Milne A. K., and O’Neill A. L. (1990). Mapping and monitoring land cover in the Willandra Lakes World Heritage region. *International Journal of Remote Sensing*, 11, pp. 2035–2049.

Miyamoto K., Vichiensan V.; Shimomura N., and Paez A. (2004). Discrete choice model with structuralized spatial effects for location analysis, *Transportation Research Record*, 1898: pp. 183-190.

Morissette J. T., and Khorram S. (2000). Accuracy assessment curves for satellite-based change detection. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, pp. 875–880.

Mryka Hall-Beyer. 2007. The GLCM Tutorial Home Page. Current Version: 2.10 February 2007. Copyright 2002, 2007 Mryka Hall-Beyer.

Owojori A., and Xie H. (2005). Landsat image-based LULC changes of San Antonio, Texas using advanced atmospheric correction and object-oriented image analysis approaches, *Proceedings of the 5th International Symposium on Remote Sensing of Urban Areas (URS2005)*, March 14-16, Tempe, Arizona. 4 p.

Parker D., Steven M., Marco A., Janssen M., Hoffmann J., and Deadman. P. (2003). Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review, *Annals of the Association of American Geographers*, 93:2. 2003, pp. 314 - 317.

Petit C., Scudder T., and Lambin E. (2000). Quantifying processes of land-cover change by remote sensing: resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia

R: A language and environment for statistical computing. (2011). R Development Core Team.

Ridd M., and Liu J. (1998). A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. *Remote Sensing of Environment*, 63, pp. 95–100.

Sangawongse S., Sun C., and Tsai B.(2005). Urban growth and land cover change in Chiang mai and Taipei: Results from The SLEUTH Model, pp 2622-2628.

Singh A. (1989). Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10, pp.989–1003.

Smits P. C., Dellepiane, S. G., and Schowengerdt, R. A. (1999). Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost-based approach. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 1461 1486.

Song C., Woodcock C.E., Seto K.C., Lenney M.P., and Macomber. S.A. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, vol. 75, pp. 230-244.

- Stow D. A. (1999). Reducing the effects of misregistration on pixel-level change detection. *International Journal of Remote Sensing*, 20, pp. 2477–2483.
- Tzotsos A., Iosifidis C., and Argialas D. (2008). A hybrid texture-based and region-based multi-scale image segmentation algorithm. *OBIA 2008*, Chapter 2.7, pp. 221-236.
- Waddell P. (2002). UrbanSim: Modeling Urban Development for Land use, Transportation, and Environmental Planning. *The Journal of the American Planning Association* 68(3), pp: 297-314.
- Ward D., Phinn, S. R., and Murray, A. T. (2000). Monitoring growth in rapidly urbanizing areas using remotely sensed data. *Professional Geographer*, 52, 371–386.
- Wang F. (1993), A knowledge-based vision system for detecting land change at urban fringes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 31, pp. 136–145.
- Wang X., and Kockelman K. (2006). Tracking land cover change in a Mixed Logit Model: Recognizing Temporal and Spatial Effects. *85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Conference Proceedings, Washington, D.C. (CD-ROM).
- Weber, K. T. (2001). A method to incorporate phenology into land cover change analysis.
- Wooldrige, J. M. (2002). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. MIT Press, Cambridge.
- Yang X., and Lo C. P. (2002). Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *International Journal of Remote Sensing*, 23, pp. 1775–1798.
- Yang X. and Lo C.P. (2000). Relative radiometric normalization performance for change detection from multi-date satellite images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 66 no.8, August, pp. 967-980.
- Yang X. and Liu Z. (2005). Use of satellite-derived landscape imperviousness index to characterize urban spatial growth., ELSEVIER.
- Yashon O. Ouma, S.S. Josaphat, and Ryutarp Tateishi, (2008). Multiscale remote sensing data segmentation and post-segmentation change detection based on logical modeling: Theoretical exposition and experimental results for forestland cover change analysis, *Remote Sensing of Environment*, Computer & Geoscience 34, 715-737.
- Yeh A. G., and Li X., (2001). Measurement and monitoring of urban sprawl in a rapidly growing region using entropy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67, pp. 83–90.

Yuan F., Sawaya K., and Loeffelholz B. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 98, pp. 317 – 328.

Zhang Q., Wang J., Peng X., Gong P., and Shi P. (2002), Urban build-up land change detection with road density and spectral information from multitemporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 23, pp. 3057–3078.

Zhao Hongmei. (2004). Urban change detection and population prediction modeling using multitemporal Landsat TM images, Ryerson University - Canada, 111 pages; publication number: EC53470.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<http://landsat.usgs.gov/index.php>

http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Transverse_Mercator_coordinate_system

http://en.wikipedia.org/wiki/Landsat_5

<http://en.wikipedia.org/wiki/Albedo>

http://en.wikipedia.org/wiki/Bidirectional_reflectance_distribution_function

http://en.wikipedia.org/wiki/Deterministic_system

<http://www.businessdictionary.com/definition/deterministic-model.html>

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

http://www.csiss.org/learning_resources/content/papers/baltchap.pdf.

<http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>

http://estia.hua.gr:8080/dspace/bitstream/123456789/1310/1/Argyropoulou_Maria.pdf

http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisdesktop/com/gp_toolref/spatial_analyst_toolset_overview/an_overview_of_the_distance_toolset.htm

<http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=75625>

<http://wwk.kathimerini.gr/kathnews/graph/30-08-09/s5.pdf>