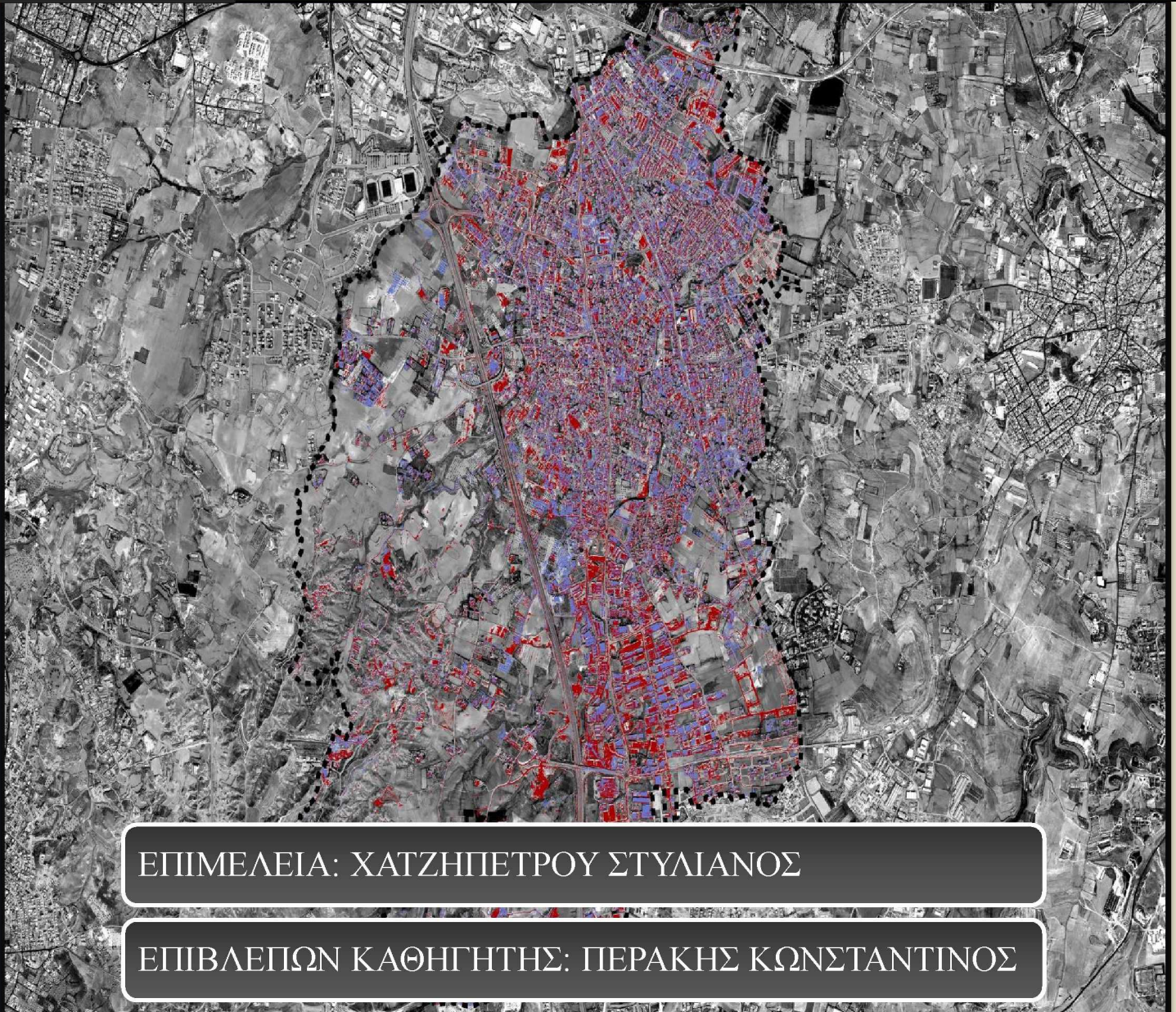




**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ
ΧΡΗΣΗΣ/ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΛΑΤΣΙΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ QUICKBIRD**



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΧΑΤΖΗΠΕΤΡΟΥ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΕΡΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΒΟΛΟΣ 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική μελέτη, με τίτλο *‘Ανίχνευση διαχρονικών μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης στον Δήμο Λατσιών με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων Quickbird’*, διερευνάται η διαχρονική εξέλιξη των κύριων κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης της περιοχής του Δήμου Λατσιών, μεταξύ των χρονολογιών 2003 και 2012 με την βοήθεια δορυφορικών εικόνων. Η εργασία εστιάζεται κυρίως στην παρακολούθηση του αστικού και περιαστικού ιστού στην εν λόγω περιοχή.

Στο πλαίσιο εφαρμογής της Τηλεπισκοπικής μεθοδολογίας, για το χρονικό διάστημα 2003-2012, επιλέχθηκαν δύο δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου Quickbird, οι οποίες και ταξινομήθηκαν με διάφορες μεθοδολογίες. Αρχικά στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση αν και ο αλγόριθμος διαχωρίζει την εικόνα σε πολλές κλάσεις, οι θεματικές κατηγορίες που δημιουργήθηκαν γενικεύονται στις ακόλουθες: Οδικό δίκτυο, δομημένη περιοχή, πράσινο, συνδυασμός θαμνώδους-ποώδους βλάστησης, γυμνό έδαφος, γεωργικές περιοχές. Τα αποτελέσματα δεν κρίθηκαν ικανοποιητικά για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης και ιδιαίτερα στην περίπτωση των δομημένων περιοχών αφού υπήρχε φασματική σύγχυση και επικάλυψη σε αρκετές από αυτές. Ακολούθησε η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, όπου καλύτερα αποτελέσματα έδωσε ο αλγόριθμος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας ως ο βέλτιστος ταξινομητής. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες με τις κλάσεις που δημιουργήθηκαν από την επιβλεπόμενη ταξινόμησης και οι οποίες είναι: Οδικό δίκτυο, δομημένη περιοχή, γεωργικές περιοχές, πράσινο και γυμνό έδαφος. Για τον έλεγχο της ακρίβειας της ταξινόμησης δημιουργήθηκε ο πίνακας σύγχυσης ύστερα από την επιλογή των δεδομένων ελέγχου μέσω φωτοερμηνείας. Ο δείκτης Kappa, για την εικόνα λήψης του 2003 έδωσε αποτέλεσμα 0.82 και για την αντίστοιχη του 2012 έδωσε 0.84. Μετά το πέρας της διαδικασίας αυτής, παράχθηκαν δύο θεματικοί χάρτες χρήσης/κάλυψης γης για την περιοχή του Δήμου Λατσιών για τις χρονολογίες 2003 και 2012.

Η κατανόηση του τρόπου ανάπτυξης μιας περιοχής αποτελεί ζήτημα υψίστης σημασίας για τους μηχανικούς και μελετητές σχεδιασμού των πόλεων. Για το λόγο αυτό, η διαχρονική εξέλιξη χρήσης/κάλυψης γης πρέπει να μελετάται ανελλιπώς ιδίως σε περιοχές που οι αλλαγές αυτές ενδέχεται να λάβουν χώρο σε μικρό χρονικό διάστημα όπως για παράδειγμα οι αστικές περιοχές.

Λέξεις κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, χρήση/κάλυψη γης, χαρτογράφηση, ταξινόμηση, ανίχνευση μεταβολών.

ABSTRACT

In this thesis study, titled ‘Temporal land use/land cover changes detection of Latsia Municipality using Quickbird remote sensing data’, the evolution of the main categories of land use / land cover in the area of Latsia Municipality is being investigated, among the chronologies of 2003 and 2012, with the use of satellite images. The work is mainly focused, on monitoring the urban and suburban fabric in that area.

In the application framework of remote sensing methodology, for the period 2003-2012, two Quickbird satellite images were selected, which have been classified using a selection of different methodologies. Initially, materializing the unsupervised classification method, although the algorithm separates the image into several classes, thematic categories were created which had been generalized as follow: Road network, built-up area, grass, combination of shrub-herbaceous vegetation, bare soil, agricultural areas. The results were not considered as satisfactory for the purposes of this study, particularly in the case of built-up areas because of spectral confusion and duplication in several cases. Then we proceed to supervised classification, where Maximum Likelihood algorithm gave better results as the optimal classifier. Then thematic maps were created with classes generated by the supervised classification which are: road network, built-up area, agricultural areas, vegetation and bare soil. To test the accuracy of the classification confusion table was created after random ground points were selected and photo-interpretation was finished. The Kappa index, for satellite image of 2003 was 0.82 and the equivalent value for 2012 was 0.84. At the end of this process, two thematic maps were produced for land use/land cover in Latsia Municipality for the years 2003 and 2012.

Understanding the development method of an area is of paramount importance for engineers and urban planners. For this reason, the evaluation of land use/land cover should be studied continuously especially in areas where changes may take place in a short of time such as urban areas.

Key words: Remote sensing, land use/land cover, mapping, classification, change detection

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	i
ABSTRACT.....	ii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	vi
ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ.....	x
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	1
1.1 Εννοιολογική αποσαφήνιση της Τηλεπισκόπησης.....	1
1.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή.....	1
1.2.1 Η γέννηση της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης.....	2
1.3 Η σημασία της χαρτογράφησης των χρήσεων/καλύψεων γης και ο ρόλος της Τηλεπισκόπησης.....	3
1.4 Σκοπός του παραδοτέου.....	12
1.5 Δομή εργασίας.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	15
2.1 Διοικητική διαίρεση της Κύπρου.....	15
2.2 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά και προσδιορισμός της περιοχής μελέτης.....	16
2.3 Δημογραφικά χαρακτηριστικά του Δήμου Λατσιών.....	18
2.4 Κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά.....	20
2.4.1 Κοινωνική και Πολιτιστική προσφορά.....	21
2.4.2 Τομείς οικονομικής δραστηριότητας.....	22
2.4.3 Εκπαιδευτική κατάσταση.....	23
2.5 Περιβαλλοντική πολιτική του Δήμου Λατσιών.....	24
2.6 Χωροταξική και Πολεοδομική πολιτική.....	24
2.6.1 Τοπικό Σχέδιο Λευκωσίας.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	28

3.1	Δεδομένα - Διαθέσιμα.....	28
3.1.1	Δορυφορικά δεδομένα Quickbird.....	28
3.2	Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας.....	30
3.2.1	Προεπεξεργασία εικόνας.....	31
3.2.2	Ενίσχυση-Βελτίωση εικόνας.....	42
3.2.3	Ταξινόμηση.....	56
3.3	Μέθοδοι ανίχνευσης μεταβολών.....	70
3.3.1	Αφαίρεση ή λόγος των δύο εικόνων.....	71
3.3.2	Σύγκριση ταξινομημένων εικόνων.....	72
3.3.3	Πολυχρονικές εικόνες.....	72
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	73
4.1	Προεπεξεργασία δεδομένων.....	73
4.2	Φωτοερμηνεία των εικόνων.....	76
4.3	Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	77
4.4	Επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	81
4.4.1	Έλεγχος της ακρίβειας της ταξινόμησης.....	94
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ.....	107
5.1	Μετά-ταξινομική ανίχνευση αλλαγών.....	107
5.2	Εντοπισμός διαχρονικών μεταβολών στην περιοχή μελέτης.....	108
5.2.1	Παρακολούθηση αστικοποίησης.....	113
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	118
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	121
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	123
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	127

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Σύστημα Ταξινόμησης χρήσεων/καλύψεων γης της US Geological Survey	6
Πίνακας 1.2: Σύστημα γεωταξινόμησης χρήσεων/καλύψεων γης CORINE.....	9
Πίνακας 1.3: Χρήση/κάλυψη γης στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με το CLC 2006 ...	11
Πίνακας 2.1: Συντεταγμένες διοικητικών ορίων του Δήμου Λατσιών.....	18
Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά δορυφόρου Quickbird.....	29
Πίνακας 5.1: Έκταση κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης σύμφωνα με την ταξινομημένη εικόνα του 2003	109
Πίνακας 5.2: Έκταση κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης σύμφωνα με την ταξινομημένη εικόνα του 2012	111
Πίνακας A 1: Πίνακας διαχωρισμού (Separability Cell Array) των φασματικών τάξεων για την δορυφορική εικόνα του 2003	123
Πίνακας A 2: Πίνακας διαχωρισμού (Separability Cell Array) των φασματικών τάξεων για την δορυφορική εικόνα του 2012	123
Πίνακας A 3: Μήτρα σύγχυσης (Error Matrix) των φασματικών τάξεων για την δορυφορική εικόνα του 2003	124
Πίνακας A 4: Μήτρα σύγχυσης (Error Matrix) των φασματικών τάξεων για την δορυφορική εικόνα του 2012	124
Πίνακας A 5: Περιγραφή κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής	126

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Διοικητική διαίρεση– χάρτης επαρχιών της Κύπρου.....	16
Σχήμα 2.2: Διοικητικά όρια Δήμου Λατσιών (Όρια περιοχής μελέτης)	17
Σχήμα 2.3: Διάγραμμα διαχρονικής καταγραφής πληθυσμού του Δήμου Λατσιών	19
Σχήμα 2.4: Πολεοδομικές Ζώνες Τοπικού Σχεδίου Λευκωσίας 2012	27
Σχήμα 3.1: Ο δορυφόρος Quickbird	29
Σχήμα 3.2: Δορυφορικές εικόνες Quickbird της περιοχής μελέτης στα κανάλια 4-3-2 για το 2003 (Αριστερά) και το 2012 (Δεξιά)	30
Σχήμα 3.3: Η δομή της δορυφορικής εικόνας	31
Σχήμα 3.4: Συστηματικές παραμορφώσεις.....	32
Σχήμα 3.5: Μη συστηματικές παραμορφώσεις	34
Σχήμα 3.6: Επαναδειγματοληψία με την μέθοδο του πλησιέστερου γειτονικού σημείου	38
Σχήμα 3.7: Επαναδειγματοληψία με την μέθοδο της διγραμμικής παρεμβολής.....	39
Σχήμα 3.8: Επαναδειγματοληψία με την μέθοδο της κυβικής παρεμβολής.....	39
Σχήμα 3.9: Αριστερά: Φαινόμενο ‘απολεισθείσας γραμμής’ (Dropped line) στο πάνω μέρος της εικόνας, Δεξιά: Φαινόμενο λωριδοποίησης(Stripping) σε μεγάλο μέρος της εικόνας.	41
Σχήμα 3.10: Βελτίωση της αντίθεσης της εικόνας με την μέθοδο διάτασης του ιστογράμματος της (Histogram Stretching).....	44
Σχήμα 3.11: Βελτίωση της αντίθεσης της εικόνας με την μέθοδο της Εξισορρόπησης Ιστογράμματος.....	46
Σχήμα 3.12: Μέθοδος του ψευδοχρωματισμού κατά την διαδικασία κατάτμησης του ιστογράμματος της εικόνας.....	47
Σχήμα 3.13: Μάσκα φίλτρου διέλευσης υψηλών συχνοτήτων (για ενίσχυση ακμών της εικόνας).....	49
Σχήμα 3.14: Μάσκα φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων (για εξομάλυνση της εικόνας).....	49
Σχήμα 3.15: Δορυφορική εικόνα Landsat ETM στο κανάλι 4 της ευρύτερης περιοχής της πόλης Aligarh. Αριστερά: αρχική εικόνα, Κέντρο: Η εφαρμογή του φίλτρου χαμηλών συχνοτήτων τείνει να γενικεύει την εικόνα, Δεξιά: Η εφαρμογή του φίλτρου υψηλών συχνοτήτων τονίζει τις λεπτομέρειες της εικόνας	49

Σχήμα 3.16: Εφαρμογή της μεθόδου ενίσχυσης των ακμών με την τεχνική της Λαπλασιανής εικόνας σε δορυφορική εικόνα Landsat 5 TM που αφορά την περιοχή της Λεμεσού, Κύπρος. Όπως φαίνεται πιο πάνω, η φιλτραρισμένη εικόνα (δεξιά) παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίθεση μεταξύ των ψηφίδων σε σύγκριση με την αρχική εικόνα (αριστερά)	51
Σχήμα 3.17: Εφαρμογή της μεθόδου ενίσχυσης των ακμών με την τεχνική της εικόνας διαγώνιων ορίων σε δορυφορική εικόνα Landsat 5 TM που αφορά την περιοχή της Λεμεσού, Κύπρος.	52
Σχήμα 3.18: Εφαρμογή της μεθόδου εξομάλυνσης της εικόνας με την τεχνική της διαμέσου τιμής σε δορυφορική εικόνα Landsat 5 TM που αφορά την περιοχή της Λεμεσού,Κύπρος.	53
Σχήμα 3.19: Σχηματική αναπαράσταση του μετασχηματισμού κύριων συνιστωσών σε δορυφορική εικόνα Landsat TM.....	55
Σχήμα 3.20: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της φασματικής ταξινόμησης	57
Σχήμα 3.21: Διαγραμματική απεικόνιση των βασικών κατηγοριών ταξινόμησης και των αλγόριθμων που χρησιμοποιούν.	59
Σχήμα 3.22: Διαδικασία ομαδοποίησης των ψηφίδων με την μέθοδο των K-μέσων τιμών στην μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση εικόνας.....	62
Σχήμα 3.23: Διαδικασία ομαδοποίησης των ψηφίδων με βάση τον κανόνα του παραλληλεπίπεδου στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση.	65
Σχήμα 3.24: Διαδικασία ομαδοποίησης των ψηφίδων με την μέθοδο της ελάχιστης απόστασης στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	67
Σχήμα 3.25: Διαδικασία ομαδοποίησης των ψηφίδων με την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας με βάση μια μόνο φασματική ζώνη (άξονας x) στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Οι ψηφίδες με τιμές φωτεινότητας στις γραμμοσκιασμένες περιοχές δεν ταξινομούνται γιατί η μέγιστη πιθανότητα $p(\Omega_i)$ δεν υπερβαίνει την τιμή κατωφλίου (p -κατώφλι)	69
Σχήμα 4.1: Βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος συντεταγμένων UTM Zone 36N	73
Σχήμα 4.2: Ζωνοποίηση συστήματος γεωγραφικών συντεταγμένων Παγκόσμιας Μερκατορικής Προβολής (UTM).....	74
Σχήμα 4.3: Διαδικασία γεωμετρικής εγγραφής των ψηφιοποιημένων δεδομένων της βάσης CORINE με τη βοήθεια γεωαναφερμένης εικόνας Landsat 5 TM.....	75
Σχήμα 4.4: Ψευδόχρωμη εικόνα θεματικών τάξεων της περιοχής μελέτης του 2003 παραγόμενη μέσω της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τον αλγόριθμο ISODATA..	79

Σχήμα 4.5: Παραδείγματα επιλογής εκπαιδευτικών πεδίων (training fields) στην δορυφορική εικόνα Quickbird	82
Σχήμα 4.6: Διαδικασία συγχώνευσης φασματικών υπογραφών.....	83
Σχήμα 4.7: Θεματικές κατηγορίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την περιοχή μελέτης (Δορυφορική εικόνα Quickbird 2003).....	84
Σχήμα 4.8: Στατιστικά δεδομένα θεματικής κατηγορίας ‘Αρόσιμη γη’	87
Σχήμα 4.9: Προσδιορισμός παραμέτρων για την υλοποίηση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.....	88
Σχήμα 4.10: Επιλογή αλγόριθμου για την υλοποίηση της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης	88
Σχήμα 4.11: Θεματικός χάρτης κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής που παράχθηκε μέσω της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Maximum Likelihood	89
Σχήμα 4.12: Θεματικός χάρτης κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής που παράχθηκε μέσω της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Mahalanobis Distance	90
Σχήμα 4.13: Θεματικός χάρτης κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής που παράχθηκε μέσω της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Minimum Distance	91
Σχήμα 4.14 Θεματικός χάρτης κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής που παράχθηκε μέσω της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Spectral Angle Mapper	92
Σχήμα 4.15: Θεματικός χάρτης κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής που παράχθηκε μέσω της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Spectral Correlation Mapper	93
Σχήμα 4.16: Πίνακας ελέγχου των σφαλμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την δορυφορική εικόνα Quickbird του 2003.....	96
Σχήμα 4.17: Πίνακας ελέγχου των σφαλμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την δορυφορική εικόνα Quickbird του 2003 μετά την συμπλήρωση της στήλης ‘Reference’	97
Σχήμα 4.18: Απεικόνιση εικονοστοιχείων αναφοράς στην δορυφορική εικόνα Quickbird του 2003.....	98
Σχήμα 4.19: Αναφορά ακρίβειας ταξινόμησης της δορυφορικής εικόνας Quickbird του 2003	100

Σχήμα 4.20: Αναφορά ακρίβειας ταξινόμησης της δορυφορικής εικόνας Quickbird του 2012	101
Σχήμα 4.21: Αναφορά ακρίβειας της ταξινόμησης με βάση τον δείκτη K για την δορυφορική εικόνα Quickbird του 2003.....	102
Σχήμα 4.22: Αναφορά ακρίβειας της ταξινόμησης με βάση τον δείκτη K για την δορυφορική εικόνα Quickbird του 2012.....	103
Σχήμα 4.23: Θεματικός χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης των ομαδοποιημένων τάξεων της περιοχής μελέτης για την δορυφορική εικόνα του 2003	105
Σχήμα 4.24: Θεματικός χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης των ομαδοποιημένων τάξεων της περιοχής μελέτης για την δορυφορική εικόνα του 2012	106
Σχήμα 5.1: Διαγραμματική απεικόνιση έκτασης των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης για την περιοχή μελέτης σύμφωνα με την ταξινομημένη εικόνα του 2003.....	110
Σχήμα 5.2: Διαγραμματική απεικόνιση έκτασης των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης για την περιοχή μελέτης σύμφωνα με την ταξινομημένη εικόνα του 2012.....	112
Σχήμα 5.3: Διαγραμματική απεικόνιση σύγκρισης της έκτασης των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης για την περιοχή μελέτης μεταξύ των ταξινομημένων εικόνων του 2003 και 2012	113
Σχήμα 5.4: Έργα που κατασκευάστηκαν στον Δήμο Λατσιών την τελευταία 15ετία και συνέβαλαν στα μέγιστα στην ανάπτυξη της περιοχής. Πάνω: Νέο Γενικό Νοσοκομείο Λευκωσίας (Αριστερά) και στάδιο Γ.Σ.Π (Δεξιά) Κάτω: ‘The mall of Cyprus’ (Αριστερά) και Νέο Δημαρχείο Λατσιών (Δεξιά)	114
Σχήμα 5.5: Διαχρονική μεταβολή δομημένης περιοχής στον Δήμο Λατσιών	116
Σχήμα 5.6: Διαχρονική μεταβολή δομημένης περιοχής στην βιομηχανική ζώνη Β΄ του Δήμου Λατσιών	117

ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ

ΓΣΑ	Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς
ΓΣΠ	Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
CLC	Corine Land Cover
GCP	Ground Control Point
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
LAU	Local Administration Unit
NACE	Nomenclature of Economic Activities
USGS	United States Geological Survey

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήταν ανέφικτη χωρίς τη συμβολή κάποιων ανθρώπων τους οποίους θέλω σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσω.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Περάκη για τη συνεχή και πολύτιμη καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ τον κ. Μάριο Δημητριάδη, αλλά και τους κ. Παναγιώτη Κυπριανού (Δήμαρχο Λατσιών) και κ. Φίλιππο Λευκάτη (Δημοτικό Μηχανικό) για τις χρήσιμες πληροφορίες και δεδομένα που μου παρείχαν και την επικοδομητική συζήτηση που πραγματοποιήθηκε μεταξύ μας.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ ανήκει στην οικογένεια μου η οποία στάθηκε στο πλευρό μου και με στήριξε όλα αυτά τα χρόνια σε όλους τους τομείς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1.1 Εννοιολογική αποσαφήνιση της Τηλεπισκόπησης

Η Τηλεπισκόπηση αποτελεί στις μέρες μας τον πλέον σύγχρονο επιστημονικό τρόπο παρατήρησης του περιβάλλοντος που σε συνδυασμό με τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών μπορούν να παράγουν και να επεξεργαστούν δεδομένα τα οποία αφορούν την επιφάνεια, και όχι μόνο, της γης καλύτερα από κάθε άλλο μέσο. Ποια είναι όμως η εννοιολογική σημασία της λέξης αυτής; Η ετυμολογία και μόνο της λέξης ‘Τηλεπισκόπηση’ μας βοηθά να κατανοήσουμε επ’ ακριβώς την έννοιά της. Η σύνθετη αυτή λοιπόν λέξη αποτελείται από το αρχαίο επίρρημα ‘τήλε’ ,το οποίο έχει την σημασία της απόστασης (από μακριά), αλλά και της λέξης ‘επισκοπώ’ που σημαίνει παρατηρώ,εξετάζω από ψηλά (Μερτίκας 1999). Με λίγα λόγια, η επιστήμη της τηλεπισκόπησης ασχολείται με την απόκτηση πληροφορίας από αντικείμενα με τα οποία δεν βρισκόμαστε σε φυσική επαφή. Ο παραπάνω ορισμός βέβαια είναι πολύ απλουστευμένος και στοχεύει στο να δώσει στον κοινό αναγνώστη μια πρώτη γεύση της έννοιας ‘Τηλεπισκόπηση’. Πέρα όμως από την ερμηνεία αυτή τόσο η εθνική όσο και η διεθνής βιβλιογραφία δίνουν τους δικούς τους ορισμούς. Κοινά, πλὴν όμως κύρια, σημεία αναφοράς όλων των συγγραφέων που το έχουν επιχειρήσει είναι τρία και τα οποία είναι *η συλλογή των πληροφοριών, η ανάλυσή τους και το σημαντικότερο, η ερμηνεία τους.*

1.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή

Η περιέργεια του ανθρώπου να εξερευνήσει το μη ορατό αλλά κυρίως να κατανοήσει το φυσικό του περιβάλλον και την σχέση των στοιχείων του περιβάλλοντος αυτού μεταξύ τους αποτελούσε γεγονός από την αρχή της ύπαρξής του. Κατά συνέπεια, έχουν καταγραφεί πολυάριθμες προσπάθειες επίτευξης αυτού του σκοπού στην ιστορία της ανθρωπότητας αλλά η πρώτη, χρονικά, ιστορική στιγμή της Τηλεπισκόπησης θεωρείται η εφεύρεση της *Δαγγοτυπίας*¹ από τους Γάλλους Niepce και Daguerre το 1835.

¹ Η μέθοδος αυτή είναι εφεύρεση του J.L.M Daguerre. Παρόλο που την ανακάλυψε ο γάλλος Νιεπς, η τελειοποίηση της ανήκει στον ζωγράφο Daguerre. Αποτέλεσε την πρώτη πρακτική

Ακολούθησε η πρώτη αεροφωτογράφιση με μπαλόνι από τον Nadar και αργότερα έγιναν προσπάθειες οι φωτογραφίες αυτές να αποκτήσουν χρώμα. Έπειτα, η τοποθέτηση φωτογραφικής μηχανής σε αεροσκάφος από τον Wilbur Wright, η οποία χρονολογείται στο 1909, οριοθετεί παράλληλα την ανάπτυξη δύο συναφών κλάδων της Τηλεπισκόπησης, της *φωτογραμμετρίας* αλλά και της *φωτοερμηνείας*. Ειδικά η φωτοερμηνεία, θα αποδειχτεί ιδιαίτερα χρήσιμη λίγα χρόνια μετά, κατά την περίοδο του Α' Παγκοσμίου πολέμου βρίσκοντας εφαρμογή σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους. Αναμφίβολα όμως, σημείο καμπής της ανάπτυξης τόσο των δύο πιο πάνω επιστημών όσο και της Τηλεπισκόπησης αποτέλεσε ο Β' Παγκόσμιος πόλεμος. Γεγονότα που έλαβαν χώρα τόσο κατά την διάρκεια όσο και μετά την λήξη του πολέμου αυτού, όπως είναι η εφεύρεση της υπέρυθρης φωτογραφίας αλλά και του Radar, σηματοδότησαν μια συνεχή αλλά και ραγδαία εξέλιξη όσον αφορά τις επιστήμες αυτές (Συλλαίος 2007).

1.2.1 Η γέννηση της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης

Ιστορικές συγκυρίες όπως αυτές που αναφέρονται πιο πάνω καθώς και οι συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις ανάγκασαν τον άνθρωπο να θέσει δορυφόρους σε τροχιά γύρω από την γη οι οποίοι σαρώνουν ασταμάτητα την επιφάνειά της συλλέγοντας πληροφορίες. Αυτό επιτυγχάνεται με την καταγραφή των τιμών σε περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Πιο συγκεκριμένα, οι δορυφόροι – σαρωτές ανιχνεύουν την αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα. Αυτό μας δίνει επίσης την δυνατότητα να συλλέγουμε πληροφορίες οι οποίες δεν είναι ορατές με το ανθρώπινο μάτι αλλά καταγράφονται εντός άλλων φασματικών ζωνών, όπως για παράδειγμα η υπέρυθρη (Infrared), η μικροκυματική (Microwave) και άλλες, σε διαφορετικά μήκη κύματος.

Στις 4 Οκτωβρίου του 1957, η πρώην Σοβιετική Ένωση, εκτοξεύει τον πρώτο τεχνητό δορυφόρο στην ιστορία. Ο Spoutnik-1, όπως ονομαζόταν, κάνει πραγματικότητα το όνειρο των Σοβιετικών να είναι οι πρώτοι που θα το πράξουν, μέσα σε καθεστώς έντονου ανταγωνισμού με τις ΗΠΑ κατά την διάρκεια του ψυχρού πολέμου. Οι Αμερικάνοι φυσικά δεν άργησαν να απαντήσουν, επισπεύδοντας τις ενέργειές τους μετά και την εκτόξευση του Spoutnik-1, εκτοξεύοντας τον Explorer 1, τον αμέσως

φωτογραφική μέθοδο και είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία εκατομμυρίων Δαγγεροτυπιών μεταξύ του 1839 και του 1860.

επόμενο χρόνο. Η δημιουργία της Αμερικανικής Αεροναυτικής και Διαστημικής Υπηρεσίας NASA (National Aeronautics and Space Administration), μαρτυρεί επίσης την επιθυμία της Αμερικής να διεξάγει τόσο δορυφορικές όσο και διαστημικές έρευνες, επιθυμία την οποία ενστερνίστηκαν ακολούθως και άλλες χώρες όπως η Ρωσία, η Ινδία, η Ιαπωνία κ.ά. Έτσι, το 1972, τίθενται σε τροχιά από την NASA οι πρώτοι δορυφόροι παρατήρησης της γης με το όνομα ERTS (Earth Resources Technology Satellites) οι οποίοι στην συνέχεια μετονομάστηκαν στους ευρέως γνωστούς δορυφόρους Landsat (Συλλαίος 2007). Οι Landsat 1,2 και 3 αποτελούν και την 1^η γενεά δορυφόρων αυτού του είδους ενώ 10 χρόνια μετά την εκτόξευση του πρώτου Landsat κατασκευάζεται η 2^η γενεά δεκτών και δορυφόρων οι οποίοι διαθέτουν επίσης και τον θεματικό χαρτογράφο TM (Thematic Mapper). Παράλληλα, όπως αναφέρεται και παραπάνω, στο διάστημα αυτό εκτοξεύονται και άλλοι δορυφόροι Τηλεπισκόπησης από χώρες όπως η Ινδία (IRS-1a, IRS-1b), η Ιαπωνία (MOS-1a, MOS-1b), η Γαλλία (SPOT-1) και η Ρωσία. Έκτοτε, εκατοντάδες δορυφόροι που αφορούν είτε βελτιωμένες εκδόσεις των παλιών είτε καινούριες κατασκευές, εκτοξεύονται συνεχώς από διάφορες χώρες εξυπηρετώντας διάφορους σκοπούς και συμφέροντα. Στα θετικά καταγράφεται η δημιουργία του EOS (Earth Observation Systems) στις ΗΠΑ για την παροχή δεδομένων στην παρακολούθηση πακόσμιων μεταβολών, το Radarsat στον Καναδά και ο Ευρωπαϊκός δορυφόρος Earth Resources Satellite (ERS-1) με συσκευές Radar τύπου SAR (Synthetic Aperture Radar) με απώτερο σκοπό την αειφορική χρήση των φυσικών πόρων της γης.

1.3 Η σημασία της χαρτογράφησης των χρήσεων/καλύψεων γης και ο ρόλος της Τηλεπισκόπησης

Η διαχείριση της γης αποτελεί έναν τομέα όπου διαφαίνεται τα τελευταία χρόνια μια ουσιαστική ανάπτυξη όσον αφορά τις εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης. Πλέον κάθε κομμάτι γης θεωρείται πολύτιμο και η ανάγκη καταγραφής της επιφάνειας της γης έχει εξαπλωθεί ακόμη και στις πιο δυσπρόσιτες περιοχές όπου ο χρόνος αλλά και το κόστος μιας επιτόπιας έρευνας θα ήταν πολύ μεγαλύτερα.

Σύμφωνα με τον Campbell (2002), ως *χρήση γης* (land use) ορίζεται ως ο τρόπος χρήσης της γης από τον άνθρωπο, συνήθως με έμφαση στον λειτουργικό της ρόλο όσον αφορά τις οικονομικές δραστηριότητες. Εντούτοις, ο όρος χρήση γης αποτελεί μια

αφηρημένη έννοια, η οποία δεν είναι πάντοτε παρατηρήσιμη, ακόμη και όταν διεξάγουμε μια έρευνα πεδίου. Για παράδειγμα, μια βιομηχανική περιοχή μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή αφού οι επιδράσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο φυσικό περιβάλλον είναι φανερές και μπορούν εύκολα να συσχετιστούν με την συγκεκριμένη οικονομική δραστηριότητα. Αντιθέτως, σε μια δασική έκταση, είναι δύσκολο να αντιληφθούμε τις χρήσεις που πιθανόν να λαμβάνουν χώρα. Αυτές μπορεί να είναι υλοτομία, τόπος αναψυχής, φυσική κατοικία ζώων κ.ά. Επιπρόσθετα, κάποια τμήματα γης μπορεί να χαρακτηρίζονται από εποχιακές χρήσεις όπως είναι ένα αγροτεμάχιο που μπορεί να καλλιεργείται σε μια περίοδο του χρόνου αλλά την υπόλοιπη περίοδο να χρησιμοποιείται ως βοσκότοπος.

Η *κάλυψη γης* (land cover), αν και σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται σαν να ταυτίζεται με την χρήση, έχει διαφορετική έννοια. Αφορά την κατηγοριοποίηση των διάφορων φυσικών και ανθρωπογενών στοιχείων του εδάφους με βάση τις ορατές αποδείξεις των χρήσεων γης. Μερικά από τα φυσικά στοιχεία είναι το νερό, η βλάστηση κ.ά. ενώ τα ανθρωπογενή στοιχεία αφορούν οντότητες όπως οι καλλιέργειες, τα κτίσματα, οι δρόμοι κ.ά.. Έτσι, αντίθετα με την χρήση γης η οποία όπως έχει προαναφερθεί αποτελεί μια αφηρημένη έννοια, δύσκολα παρατηρήσιμη, η κάλυψη γης αποτελεί αντικείμενο άμεσης παρατήρησης αφού διαθέτει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά εύκολα παρατηρήσιμα. Σημαντικό στοιχείο διάκρισης των δύο αυτών όρων αποτελεί αναμφίβολα τόσο η χωρική κλίμακα εφαρμογής της μελέτης μας όσο και η χωρική της ανάλυση. Τέλος, αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός, ότι ενώ οι κατηγοριοποιήσεις που αφορούν την κάλυψη γης συνάγονται κατ' ευθείαν από τις δορυφορικές φωτογραφίες, οι κατηγορίες χρήσεων γης δεν προκύπτουν πάντοτε μέσω της ίδιας διαδικασίας (Μηλιαρέσης 2003).

Ωστόσο, η χρησιμοποίηση ενός σύνθετου όρου όπως είναι η *χρήση/κάλυψη γης* αποτελεί μια πιο ολοκληρωμένη έννοια καθώς περιλαμβάνει όλα τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης εκφράζοντάς τα με ένα πιο σαφή τρόπο.

Πολλές μελέτες έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα της χρησιμοποίησης των δεδομένων τηλεπισκόπησης ως ισχυρό εργαλείο ανίχνευσης των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης όσον αφορά τη βλάστηση, τους φυσικούς πόρους, την αστική επέκταση κλπ, μεταβολές οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις αποδείχτηκαν περισσότερο

επιζήμιες παρά επωφελής. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται τόσο για την αξιολόγηση του υπάρχοντος μοντέλου χρήσεων/καλύψεων γης όσο και την πρόβλεψη των μελλοντικών εξελίξεων και καθόλου τυχαίο εξάλλου δεν πρέπει να θεωρείται το γεγονός ότι πολεοδόμοι αλλά και χωροτάκτες ανά το παγκόσμιο απαιτούν συνεχόμενη συλλογή τηλεπισκοπικών δεδομένων για να διαμορφώσουν τις πολιτικές έργων και προγραμμάτων σε κοινωνικό, οικονομικό και πολιτιστικό επίπεδο σε συνάφεια πάντοτε με τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Έτσι η χαρτογράφηση τους αποτελεί πλέον ένα τυποποιημένο τρόπο παρακολούθησης των σχετικών μεταβολών ο οποίος σε γενικές γραμμές, επιτυγχάνεται μέσω της παράθεσης δύο ή περισσότερων δορυφορικών εικόνων οι οποίες έχουν αποκτηθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές σημειώνοντας και αξιολογώντας την φασματική τους ανάκλαση. Ειδικότερα, για την παρακολούθηση των μεταβολών σε αστικό περιβάλλον προτιμότερη είναι η μέθοδος ‘Change detection analysis’ η οποία χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία ούτως ώστε να προσδιοριστεί η φύση, η διάχυση και ο ρυθμός επέκτασης των χρήσεων γης της περιοχής μελέτης μέσα στο χωροχρόνο. Τεχνικές που αφορούν την συγκεκριμένη μέθοδο αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Η χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης, προϋποθέτει αρχικά την ταξινόμησή τους σε θεματικές κατηγορίες, δηλαδή την ομαδοποίηση των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης με βάση τις κοινές τους ιδιότητες, γνωρίσματα ή σχέσεις (Βάσιλας 2013).. Η ομαδοποίηση αυτή βέβαια, ενδέχεται να ποικίλλει από χάρτη σε χάρτη ανάλογα με τον σκοπό της χαρτογράφησης και καθορίζεται από το εκάστοτε σύστημα ταξινόμησης. Το χρησιμοποιούμενο αυτό σύστημα πρέπει να είναι ευρέως γνωστό και αποδεκτό αφού η χαρτογράφηση και όχι μόνο των χρήσεων/καλύψεων γης μπορεί να αφορά μελέτη τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό αλλά και διεθνές επίπεδο. Επιπλέον, το σύστημα ταξινόμησης που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε πρέπει οπωσδήποτε να χαρακτηρίζεται τόσο από πληρότητα, όσον αφορά όλες τις υπάρχουσες χρήσεις και καλύψεις γης, όσο και από σαφήνεια, και ο διαχωρισμός των κατηγοριών πρέπει να πραγματοποιείται σε μια λογική βάση.

Ιδανικό σύστημα ταξινόμησης χρήσεων/καλύψεων γης δεν υπάχει και ούτε πρόκειται να αναπτυχθεί ποτέ και αυτό γιατί κατά την διαδικασία ταξινόμησης υπάρχουν διαφορετικές οπτικές γωνίες αλλά και για τον λόγο ότι η διαδικασία η ίδια τείνει να είναι αρκετά υποκειμενική. Επομένως, δεν υπάχει λόγος να πιστεύουμε ότι μια

λεπτομερής κατηγοριοποίηση θα είναι επαρκές για περισσότερο από ένα σύντομο χρονικό διάστημα δεδομένου ότι τα πρότυπα χρήσεων/καλύψεων γης μεταβάλλονται συνεχώς σύμφωνα και με τις απαιτήσεις για φυσικούς πόρους. Με λίγα λόγια, κάθε ταξινόμηση αναπτύσσεται για να καλύψει τις ανάγκες ενός μελετητή και λίγοι είναι αυτοί που ικανοποιούνται με μια κατηγοριοποίηση η οποία δεν ανταποκρίνεται στις πλείστες από τις ανάγκες τους.

Σήμερα, τα πιο διαδεδομένα συστήματα κατηγοριοποίησης χρήσεων/καλύψεων γης είναι:

1. Το σύστημα της US Geological Survey στις ΗΠΑ
2. Το σύστημα Corine Land Cover στην Ευρώπη

Πίνακας 1.1: Σύστημα Ταξινόμησης χρήσεων/καλύψεων γης της US Geological Survey

Επίπεδο I	Επίπεδο II
1. Αστική Γη	11-Οικιστική
	12-Εμπορική γη (παροχή υπηρεσιών)
	13-Βιομηχανική
	14-Μεταφορές, επικοινωνίες
	15-Βιομηχανικά, εμπορικά συγκροτήματα
	16-Μικτή, αστική ή οικοδομημένη γη
	17-Άλλου είδους αστική γη
2. Γεωργική Γη	21-Καλλιέργειες, βοσκότοποι
	22-Οπωροφόρα, αμπέλια
	23-Θερμοκήπια
	24-Λοιπές γεωργικές εκτάσεις
3. Βοσκότοποι	31-Ποώδεις
	32-Με θάμνους και χαμόδενδρα
	33-Μικτοί
4. Δασική Γη	41-Φυλλοβόλα δένδρα
	42-Αειθαλή δένδρα
	43-Μικτά

5. Νερό	51-Ρέματα και κανάλια 52-Λίμνες 53-Δεξαμενές 54-Κόλποι, εκβολές ποταμών
6. Υγροβιότοποι	61-Με δασική κάλυψη 62-Χωρίς δασική κάλυψη
7. Άγονη Γη	71-Επιφανειακές αποθέσεις άλατος 72-Ακτές 73-Αμμώδεις περιοχές ακτών 74-Βράχια 75-Ορυχεία, λατομεία 76-Μεταβατικές περιοχές 77-Μικτή άγονη γη
8. Τούνδρα	81-Με θάμνους 82-Ποώδης τούνδρα 83-Γυμνό από βλάστηση έδαφος 84-Υδάτινες-υγρές εκτάσεις 85-Μικτή τούνδρα
9. Χιόνια	91-Ζώνες αιώνιου χιονιού 92.Πάγοι

Το σύστημα αυτό σύμφωνα με τους Anderson et al (1976) δημιουργήθηκε για να καλύψει αρχικά τις ανάγκες των ομοσπονδιακών και πολιτειακών υπηρεσιών, να τους παρέχει δηλαδή μια συνεχώς ενημερωμένη επισκόπηση σε μια ομοιόμορφα κατηγοριοποιημένη βάση η οποία είναι δεκτική σε δεδομένα από αισθητήρες αεροσκαφών και δορυφόρων. Επιπρόσθετα, το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιεί στοιχεία τα οποία είναι ευρέως διαδεδομένα σε συστήματα ταξινόμησης που είναι επίσης επιδεκτικά σε δορυφορικά δεδομένα. Η USGS λοιπόν, προσπάθησε να αναπτύξει ένα σύστημα ταξινόμησης για χρήση με τεχνικές τηλεπισκόπησης, το οποίο θα αποτελούσε ένα γενικότερο πλαίσιο και θα ικανοποιούσε τις ανάγκες της πλειοψηφίας των χρηστών εφαρμόζοντας ορισμένα βασικά κριτήρια τα οποία δεν θεωρείται σκόπιμο να παρουσιαστούν και να αναλυθούν στην παρούσα εργασία.

Όπως φαίνεται και στον πιο πάνω πίνακα (Πίνακας 1.3.1), η ταξινόμηση αυτή, χωρίζει τις χρήσεις και καλύψεις γης σε δύο επίπεδα με την προοπτική, λόγω και της ευελιξίας που διαθέτει, να δημιουργηθεί και 3^ο ή ακόμη και 4^ο επίπεδο. Το Επίπεδο I, είναι προφανές ότι προορίζεται για εφαρμογή σε δεδομένα μεγάλης χωρικής κλίμακας και μικρής χωρικής ανάλυσης όπως για παράδειγμα οι εικόνες του δορυφόρου Landsat TM και διαθέτει 9 βασικές κατηγορίες ενώ το Επίπεδο II αριθμεί τις 37 υποκατηγορίες των 9 βασικών αυτών κατηγοριών. Αποτελεί στην ουσία λεπτομερέστερες τάξεις οι οποίες εντοπίζονται με δεδομένα που αφορούν μικρότερη χωρική κλίμακα αλλά χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη χωρική ανάλυση όπως για παράδειγμα οι εικόνες του δορυφόρου Ikonos.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση βέβαια δεν θα μπορούσε να μην ακολουθήσει την πρωτοβουλία αυτή, έτσι για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος εντός της Ένωσης υιοθετήθηκε στις 17 Ιουνίου του 1985 η απόφαση για την εκπόνηση του περιβαλλοντικού προγράμματος CORINE (Coordination of Information on the Environment). Το πρόγραμμα αυτό αφορά τη συλλογή, τον συντονισμό και την συνοχή των πληροφοριών σε σχέση με το περιβάλλον και τα φυσικά διαθέσιμα της ΕΕ. Μετά και την απόφαση του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου για την σύσταση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (EEA) και την ίδρυση του Ευρωπαϊκού δικτύου Πληροφοριών για το Περιβάλλον (EIONET), τις ευθύνες των βάσεων δεδομένων του Corine συμπεριλαμβανομένων και των ενημερώσεων τους έχουν αναλάβει οι οργανισμοί αυτοί. Ειδικότερα, το Corine Land Cover αφορά την απεικόνιση της χρήσης/κάλυψης γης η οποία βασίζεται στην ανάλυση δορυφορικών εικόνων και αποτελεί την μεγαλύτερη βάση δεδομένων του Corine. Μέσω του συντονισμού του από το Κέντρο Ερευνών (Joint Research Center) της ΕΕ έχουν διαμορφωθεί χάρτες κάλυψης γης για τις χρονολογίες 1990, 2000 και 2006. Η τελευταία χαρτογράφηση (CLC2006) έχει πραγματοποιηθεί με την συμβολή 38 χωρών, χρησιμοποιώντας δεδομένα του δορυφόρου SPOT-4 ή/και του αισθητήρα IRS LISS-III σε αντίθεση με τις προηγούμενες χαρτογραφήσεις (CLC1990 και CLC2000) οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με δεδομένα δορυφόρων Landsat. Στο σχέδιο Corine Land Cover έχει ενσωματωθεί μια ιεραρχική ονοματολογία η οποία διαφέρει με την αντίστοιχη του συστήματος ταξινόμησης του USGS τόσο στον αριθμό των επιπέδων όσο και στις επιμέρους κατηγορίες. Αυτή αναφέρεται σε χαρτογραφικές μονάδες μεγαλύτερες η ίσες των 25 εκταρίων και περιλαμβάνει 44 διαφορετικές κατηγορίες καλύψεων γης.

Πίνακας 1.2: Σύστημα γεωταξινόμησης χρήσεων/καλύψεων γης CORINE

Επίπεδο I	Επίπεδο II	Επίπεδο III	
1. Τεχνητές επιφάνειες	1.1 Αστικός Ιστός	1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός	
		1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός	
	1.2 Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών	1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	
		1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα	
		1.2.3 Ζώνες λιμένων	
		1.2.4 Αεροδρόμια	
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών	
		1.3.2 Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων	
		1.3.3 Χώροι οικοδόμησης	
	1.4 Τεχνητές μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1 Περιοχές Αστικού πρασίνου	
		1.4.2. Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	
	2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσιμη γη	2.1.1 Μη αρδευόμενη γη
			2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη
2.1.3 Ορυζώνες			
2.2 Μόνιμες καλλιέργειες		2.2.1 Αμπελώνες	
		2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	
		2.2.3 Ελαιώνες	
2.3 Λιβάδια		2.3.1 Λιβάδια	
2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές		2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες	
		2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες	
		2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	
		2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές	

3. Δάση και Ημιφυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων	
		3.1.2 Δάσος κωνοφόρων	
		3.1.3 Μικτό δάσος	
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι	
		3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι	
		3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση	
		3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	
	3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι και αμμουδιές	
		3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι	
		3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	
		3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις	
		3.3.5 Παγετώνες και αέναο χιόνι	
	4. Υγρότοποι	4.1 Υγρότοποι ενδοχώρας	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα
			4.1.2 Τυρφώνες
		4.2 Παραθαλάσσιοι Υγρότοποι	4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι
4.2.2 Αλυκές			
4.2.3 Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά κύματα			
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Υδατορρέυματα	
		5.1.2 Επιφάνειες στάσιμου ύδατος	
		5.1.3 Παράκτιες λιμνοθάλασσες	
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Εκβολές ποταμών	
		5.2.2 Θάλασσες και ωκεανοί	

Όπως παρατηρούμε και στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 1.3.2), τα συγκεκριμένο σύστημα ταξινόμησης διαθέτει τρία ιεραρχικά επίπεδα όπου περιγράφεται η κάλυψη και σε ορισμένες περιπτώσεις η χρήση γης. Το Επίπεδο I περιλαμβάνει 5 κατηγορίες κάλυψης γης οι οποίες αντιστοιχούν στις κύριες κατηγορίες κάλυψης γης του πλανήτη και οι οποίες μπορεί να θεωρηθούν αρκετά αφηρημένες, διότι προκύπτουν από μεγάλο βαθμό γενίκευσης και αφαιρετικότητας. Το Επίπεδο II περιλαμβάνει 15 κατηγορίες κάλυψης γης και καλύπτει φυσικές και φυσιογνωμικές οντότητες σε μεγαλύτερο

επίπεδο λεπτομέρειας από το προηγούμενο επίπεδο. Τέλος, το Επίπεδο ΙΙΙ περιλαμβάνει 44 κατηγορίες κάλυψης γης και απευθύνεται σε μικρότερη χωρικά κλίμακα όπως για παράδειγμα την έκταση του Δήμου Λατσιών.

Ειδικότερα, εντός των διοικητικών ορίων του Δήμου Λατσιών περιλαμβάνονται 13 από τις 44 κατηγορίες του τρίτου επιπέδου της ταξινόμησης CORINE και οι οποίες παρουσιάζονται λεπτομερέστερα στον πιο κάτω πίνακα (Πίνακας 1.3)

Πίνακας 1.3: Χρήση/κάλυψη γης στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με το CLC 2006

Κωδικός Corine	Χρώμα	Χρήση/κάλυψη γης	Τετρ.χλμ (sq.km)	Ποσοστό (%)
1.1.1		Συνεχής αστικός ιστός	0,28	1,69%
1.1.2		Ασυνεχής αστικός ιστός	5,15	31,12%
1.2.1		Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	2,41	14,56%
1.2.2		Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα	0,49	2,96%
1.4.2		Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	0,53	3,20%
2.1.1		Μη αρδευόμενη γη	3,30	19,94%
2.2.3		Ελαιώνες	0,44	2,66%
2.4.2		Σύνθετες καλλιέργειες	1,69	10,21%
2.4.3		Γη για γεωργία και φυσική βλάστηση	0,07	0,42%
3.1.1		Δάσος πλατύφυλλων	0,53	3,20%
3.1.2		Δάσος κωνοφόρων	0,15	0,91%
3.2.3		Σκληροφυλλική βλάστηση	0,61	3,69%
3.2.4		Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	0,90	5,44%
ΣΥΝΟΛΟ			16,55	100,00%

Οποιοδήποτε σύστημα ταξινόμησης και να επιλέξουμε για την χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης μιας περιοχής χωρίς να έχουμε έγκυρα αλλά και επικαιροποιημένα δεδομένα οι χάρτες μας θα είναι άχρηστοι γιατί χρήσιμος χάρτης δεν είναι μόνο ο ακριβής χάρτης αλλά και ο ενημερωμένος. Η δημιουργία ενημερωμένων χαρτών χρήσης/κάλυψης γης συμβάλλει στον ορθό σχεδιασμό και τον συντονισμό των σχετικών δράσεων, στη διατήρηση των φυσικών αποθεμάτων, στην παρακολούθηση των κλιματικών αλλαγών και την πρόληψη των φυσικών καταστροφών, στον προσανατολισμό του αστικού και περιφερειακού σχεδιασμού και γενικότερα στην λήψη αξιόπιστων και λειτουργικών αποφάσεων.

Όλα τα παραπάνω καθιστούν σαφή τον καταλυτικό ρόλο της χαρτογράφησης των χρήσεων/καλύψεων γης, ως διαχειριστικό εργαλείο και η ανάγκη για έρευνα στον τομέα της χαρτογράφησης προκειμένου να ανακαλυφθούν νέες μέθοδοι, οι οποίες θα εξοικονομούν χρόνο και πόρους στην παραγωγή ενός τέτοιου χάρτη αλλά και θα βελτιώνουν την ακρίβεια τους είναι κάτι παραπάνω από επιτακτική (Βάσιλας 2013).

Οι χάρτες χρήσεων γης παράγονται σε διάφορες χαρτογραφικές κλίμακες. Καθώς η χωρική κλίμακα της εφαρμογής μεγαλώνει και κατά συνέπεια η χαρτογραφική κλίμακα μικραίνει, η συνεισφορά των δορυφορικών δεδομένων στην εξαγωγή πληροφορίας που απαιτείται για την παραγωγή ενός χάρτη χρήσεων γης αυξάνεται αν και εξακολουθεί να υπάρχει ακόμη η ανάγκη για συμπληρωματικές πληροφορίες από άλλες πηγές όπως είναι η επιτόπια έρευνα και οι αεροφωτογραφίες. Βέβαια, οι δύο πηγές που προαναφέρθηκαν παρουσιάζουν πολλά μειονεκτήματα σε σχέση με τα δορυφορικά δεδομένα όπως για παράδειγμα το δυναμικό εύρος των τελευταίων. Οι δορυφορικές εικόνες λοιπόν είναι αρκετά ικανές για να παρέχουν γρήγορα και με ακρίβεια θεματικά επίπεδα χαρτογράφησης. Γενικότερα, η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τα Γ.Σ.Π. (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών) αποτελούν ότι πιο σύγχρονο έχει να επιδείξει η τεχνολογία στον τομέα της χαρτογράφησης και οι εφαρμογές τους σήμερα είναι αμέτρητες.

1.4 Σκοπός του παραδοτέου

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως βασικό στόχο την ανίχνευση των διαχρονικών μεταβολών των χρήσεων/καλύψεων γης στην περιοχή του Δήμου Λατσιών μέσω της εφαρμογής των κλασσικών μεθόδων ταξινόμησης με την χρήση δορυφορικών

δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης του δορυφόρου Quickbird για τις χρονολογίες 2003 και 2012. Η ανάλυση εστιάστηκε κυρίως στην εξέλιξη της αστικής περιοχής του Δήμου αφού η περιοχή παρουσιάζει ιδιαίτερη ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες λόγω και της γειτνίασής της με την πρωτεύουσα. Οι εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης με την χρήση των διαχρονικών δορυφορικών εικόνων συμβάλλουν στην μελέτη της δόμησης και της μεταβολής της μέσα στο χρόνο.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ-GIS) και Τηλεπισκόπησης (Remote Sensing) αφού αυτά θεωρούνται τα δύο βασικά εργαλεία ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων που αφορούν τις χρήσεις και τις καλύψεις γης μιας περιοχής.

1.5 Δομή εργασίας

Στο παρόν υποκεφάλαιο κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια συνοπτική παρουσίαση της δομής της εργασίας. Ακολούθως λοιπόν παρουσιάζεται με λίγα λόγια το περιεχόμενο του κάθε κεφαλαίου της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο, όπως έχει γίνει αντιληπτό, έγινε μια πρώτη προσπάθεια να εγκλιματιστεί ο κοινός αναγνώστης με το θέμα της εργασίας καθώς και με ορισμένες έννοιες που δεν συναντούμε στην καθημερινότητα όπως είναι π.χ. η τηλεπισκόπηση, η χρήση/κάλυψη γης κλπ. Αναλύθηκε επίσης η σημασία της χαρτογράφησης των χρήσεων/καλύψεων γης και ο ρόλος της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης στην διαδικασία αυτή, καθώς και τα πιο διαδεδομένα συστήματα ταξινόμησης των κατηγοριών τους. Τέλος αναφέρθηκε σε γεννικές γραμμές ο βασικός σκοπός της εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζεται στην οριοθέτηση της περιοχής μελέτης καθώς και στην περιγραφή των κύριων διοικητικών, γεωγραφικών και κοινωνικο-οικονομικών χαρακτηριστικών της. Επιπρόσθετα καταγράφεται η χωροταξική αλλά και πολεοδομική πολιτική που διέπει τον Δήμο Λατσιών σύμφωνα με τις αρμόδιες τοπικές αρχές. Τα στοιχεία αυτά πρέπει πάντοτε να λαμβάνονται υπόψη σε μια μελέτη καθώς αποτελούν κομμάτι της ανάλυσης και αγνοώντας αυξάνουμε την πιθανότητα να οδηγηθούμε στην εξαγωγή λανθασμένων συμπερασμάτων.

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την μεθοδολογία της εργασίας. Αρχικά αναλύεται ο σκοπός της αλλά και το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζεται η επεξεργασία των δεδομένων μας, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών της. Επίσης, περιγράφονται τα διαθέσιμα όσον αφορά την περιοχή μελέτης όπως είναι τα δορυφορικά προϊόντα του δορυφόρου Quickbird και η αεροφωτογραφία της περιοχής, αλλά και τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία τους.

Το τέταρτο κεφάλαιο έχει να κάνει με την επεξεργασία των δεδομένων αυτή κάθε αυτή, η οποία χωρίζεται σε δύο σκέλη. Το πρώτο σκέλος είναι η προ-επεξεργασία η οποία περιλαμβάνει τις διορθώσεις των δεδομένων μας και την εφαρμογή στα δορυφορικά δεδομένα ενώ το δεύτερο σκέλος περιλαμβάνει την διαδικασία της ταξινόμησης και την εξαγωγή των χαρτών χρήσης/κάλυψης γης για την περιοχή μελέτης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση των χαρτών και η ανάλυση των διαχρονικών μεταβολών στις χρήσεις/καλύψεις γης, καθώς και μια γενικότερη καταγραφή των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας μας.

Τέλος, στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν βάσει της συνολικής ανάλυσης. Επίσης γίνεται μια προσπάθεια να καταγραφούν οι περαιτέρω στόχοι και προοπτικές για τις οποίες έχει θέσει τις βάσεις η παρούσα διπλωματική εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Διοικητική διαίρεση της Κύπρου

Για διοικητικούς σκοπούς, η Κύπρος χωρίζεται σε γεωγραφικές και διοικητικές διαιρέσεις και υποδιαιρέσεις. Συνολικά, τα 9.251 τ.χλμ της χώρας διαμοιράζονται σε έξι επαρχίες, οι οποίες αντιστοιχούν στο Ευρωπαϊκό επίπεδο LAU² 1 και αυτές με την σειρά τους υποδιαιρούνται σε 386 τοπικές αρχές που αντιστοιχούν στο επίπεδο LAU 2 σύμφωνα με το ίδιο Ευρωπαϊκό πρότυπο. Οι τοπικές αρχές ανάλογα με το μέγεθος και την δυνατότητα αυτοδιοίκησης τους χωρίζονται σε Δήμους και Κοινότητες. Κατά συνέπεια, σύμφωνα με την Ένωση Δήμων Κύπρου και την Ένωση Κοινοτήτων Κύπρου, υπάρχουν 39 Δήμοι εκ των οποίων οι 9 είναι κατεχόμενοι και 347 Κοινότητες. Οι τοπικές αρχές άτυπα μπορεί να διαιρούνται σε ενορίες, συνοικίες ή οικισμούς, υποδιαιρέσεις οι οποίες προκύπτουν είτε ιστορικά είτε γεωγραφικά, αλλά σε καμία περίπτωση δεν αποτελούν ξεχωριστές διοικητικές ενότητες. Οι έξι επαρχίες της Κύπρου, οι οποίες φαίνονται και στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 2.1), είναι η Αμμόχωστος, η Κερύνεια, η Λάρνακα, η Λεμεσός, η Πάφος και η Λευκωσία, η οποία είναι και η πρωτεύουσα του νησιού αλλά και η μεγαλύτερη σε πληθυσμό, λειτουργίες και υπηρεσίες επαρχία. Κάθε μια από αυτές διοικείται από μια επαρχιακή διοίκηση επικεφαλής της οποίας είναι ο Έπαρχος που διορίζεται από την εκάστοτε κυβέρνηση του νησιού.

² Το συγκεκριμένο πρότυπο γεωκωδικής τυποποίησης αναπτύχθηκε από την Ε.Ε. για στατιστικούς λόγους και αφορά τις διοικητικές διαιρέσεις των χωρών. Υπάρχουν τρία επίπεδα γεωκωδικών NUTS, με δύο επίπεδα να αφορούν τις τοπικές διοικητικές μονάδες (LAU). Η Κύπρος ανήκει στις ειδικές περιπτώσεις όπου ολόκληρη η χώρα έχει μόνο μια μορφή διαίρεσης σε επίπεδο NUTS.



Σχήμα 2.1: Διοικητική διαίρεση- χάρτης επαρχιών της Κύπρου

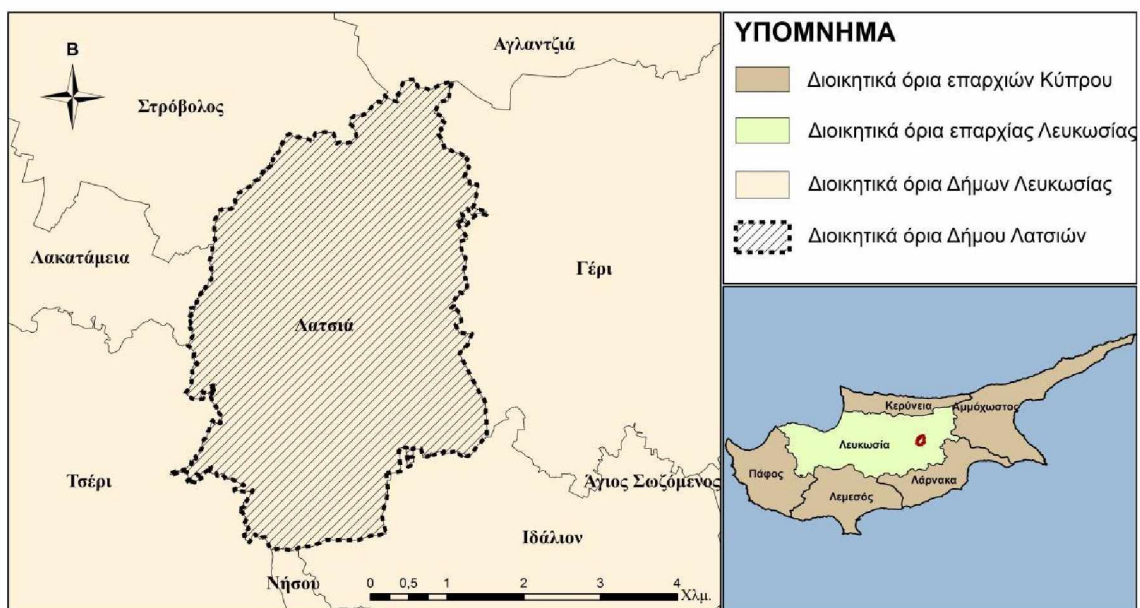
Όσον αφορά τους Δήμους, η λειτουργία τους καθορίζεται βάσει του Νόμου περί Δήμων του 1985. Οι Δήμοι διοικούνται από τα Δημοτικά Συμβούλια των οποίων ηγείται ο Δήμαρχος ο οποίος εκλέγεται ανα πενταετία. Για τον συντονισμό τους, οι Κυπριακοί Δήμοι έχουν συγκροτήσει την Ένωση Δήμων της Κύπρου.

Αντίστοιχα η λειτουργία των Κοινοτήτων καθορίζεται από τον Νόμο περί Κοινοτήτων του 1999 και διοικούνται από τα Κοινοτικά Συμβούλια των οποίων ηγείται ο Κοινοτάρχης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σύμφωνα με τον περί Δήμων Νόμο, οποιαδήποτε Κοινότητα μπορεί να αναβαθμιστεί σε Δήμο εάν αριθμεί τουλάχιστον 5.000 κατοίκους και έχει την οικονομική δυνατότητα να λειτουργήσει ως ένας από αυτούς.

2.2 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά και προσδιορισμός της περιοχής μελέτης

Όπως γίνεται αντιληπτό και από τον τίτλο της παρούσας εργασίας αλλά και από τα πιο πάνω τα όρια της περιοχής μελέτης ταυτίζονται με τα διοικητικά όρια του Δήμου Λατσιών για αυτό τον λόγο οποιαδήποτε αναφορά στα χαρακτηριστικά που αφορούν τον Δήμο Λατσιών θα ταυτίζεται παράλληλα και με τον χαρακτήρα της περιοχής μελέτης.

Σχετικά με την γεωγραφία της περιοχής μελέτης, ο Δήμος Λατσιών βρίσκεται σε απόσταση 7 περίπου χιλιομέτρων στα νότια της Λευκωσίας, και εκτείνεται σε μια περιοχή που καλύπτει 16,55 τ.χλμ. Διαμέσου του Δήμου ρέουν δύο ποταμοί (Δρακοντιάς και Καλόγερος) καθώς και ένα παρακλάδι του ποταμού Πεδιαίου, ενός από τους μεγαλύτερους ποταμούς της Κύπρου. Τα Λατσιά λαμβάνουν περίπου 340 χιλιοστά μέση ετήσια βροχόπτωση. Το μέσο υψόμετρο είναι 190-195 μέτρα, αλλά το νοτιοδυτικό ανάγλυφο φτάνει σε ύψος μέχρι και 240-300 μ., το βορειοανατολικό πέφτει στα 160-190 μ., το βορειοδυτικό κυμαίνεται στα 180-210 μ. και το νοτιοανατολικό υψώνεται μέχρι τα 200-230 μ. Αναφορικά με την διοικητική έκταση του Δήμου, τα Λατσιά κατατάσσονται στην 22^η θέση στο σύνολο των 30 ελεύθερων Δήμων Παγκυπρίως ενώ ανάμεσα στους Δήμους της περιοχής κατατάσσεται 16^{ος} (εκ των 24 Δήμων). Τα διοικητικά όρια του Δήμου παρουσιάζονται διαγραμματικά στον πιο κάτω χάρτη (Σχήμα 2.2)



Σχήμα 2.2: Διοικητικά όρια Δήμου Λατσιών (Όρια περιοχής μελέτης)

Οι συντεταγμένες για το κέντρο των Λατσιών, καθώς και για τα τέσσερα ακραία σημεία του Δήμου σε γεωγραφική μορφή, μορφή UTM (Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή) αλλά και βάσει της Παγκόσμιας Γεωγραφικής Αναφοράς (World Geographic Reference GEOREF) φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα (Πίνακας 2.2.1). Οι συντεταγμένες σε μορφή GEOREF αποτελούν κοινό σημείο αναφοράς για τους πιλότους ενώ οι συντεταγμένες της μορφής UTM αφορούν περισσότερο τους χρήστων

των GIS (Geographic Information Systems) αλλά και όσων ασχολούνται γενικότερα με το GPS (Global Positioning System).

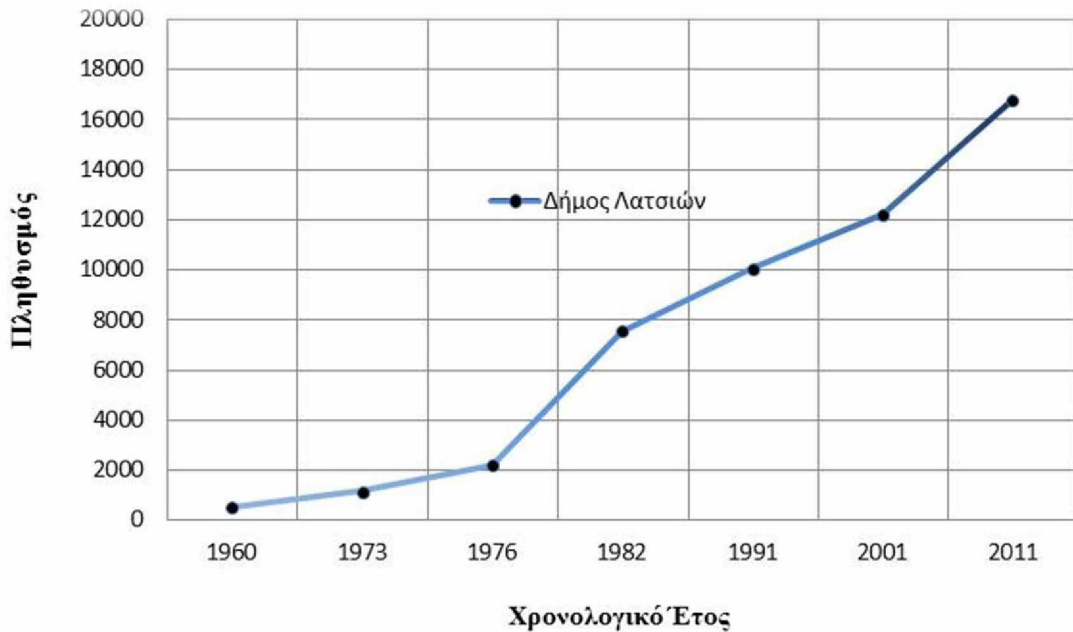
Πίνακας 2.1: Συντεταγμένες διοικητικών ορίων του Δήμου Λατσιών

ΣΗΜΕΙΟ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ	ΑΝΑΦΟΡΑ GEOREF	ΑΝΑΦΟΡΑ UTM
Βορειότερο	33° 23' 04,34" A 35° 07' 31,46" B	QJ DF 230 075	WD 3507 8712 36S WD 535070 3887120
Νοτιότερο	33° 21' 54,08" A 35° 04' 10,05" B	QJ DF 219 041	WD 3329 8092 36S WD 533290 3880920
Κέντρο (Δημαρχείο)	33° 22' 46,97" A 35° 06' 14,92" B	QJ DF 227 062	WD 3463 8476 36S WD 534630 3884760
Ανατολικότερο	33° 23' 46,18" A 35° 06' 35,03" B	QJ DF 237 065	WD 3613 8538 36S WD 536130 3885380
Δυτικότερο	33° 21' 01,18" A 35° 04' 42,81" B	QJ DF 210 046	WD 3195 8192 36S WD 531950 3881920

2.3 Δημογραφικά χαρακτηριστικά του Δήμου Λατσιών

Ταξιδεύοντας πίσω στο χρόνο, και πιο συγκεκριμένα περίπου ένα αιώνα πριν, σύμφωνα με τις τότε απογραφές τα Λατσιά είχαν περίπου 50 μόνιμους κατοίκους με τον αριθμό αυτό να παρουσιάζει μια τάση αύξησης μέσα στα επόμενα χρόνια, πλην όμως με αρκετά αργό και σταθερό ρυθμό. Οι ρυθμοί αυτοί, με εξαίρεση την δεκαετία 1935-1945 η οποία συμπεριλάμβανε και τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο και είχε ως συνέπεια ένα μεταναστευτικό ρεύμα από την Κύπρο σε ξένες χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Αυστραλία κλπ διατηρήθηκαν μέχρι και τα τραγικά γεγονότα του 1974. Στις 20 Ιουλίου του 1974 τουρκικά στρατεύματα εισέβαλαν στην Κύπρο κατά παράβαση όλων των αρχών και κατέλαβαν σχεδόν την μισή χώρα. Ένα ποσοστό κοντά στο 40% του συνολικού Ελληνοκυπριακού πληθυσμού του νησιού (περίπου 200.000 άτομα) εκτοπίστηκαν και έγιναν πρόσφυγες στην ίδια τους την χώρα ενώ εκατοντάδες έχασαν την ζωή τους και ορισμένοι ακόμη αγνοούνται. Το γεγονός αυτό είχε τεράστιο αντίκτυπο, πληθυσμιακά,

και στον Δήμο Λατσιών το μέγεθος του οποίου φαίνεται και στο διάγραμμα διαχρονικής καταγραφής τους πληθυσμού της περιοχής (Διάγραμμα 2.3.1) σύμφωνα με τα στοιχεία της Στατιστικής Υπηρεσίας Κύπρου αλλά και του Δήμου Λατσιών σε παλαιότερα έτη.



Σχήμα 2.3: Διάγραμμα διαχρονικής καταγραφής πληθυσμού του Δήμου Λατσιών

**Τα μεγέθη του διαγράμματος αφορούν μόνιμο πληθυσμό και έχουν ως κοινή πηγή τις απογραφές της Στατιστικής Υπηρεσίας Κύπρου (Εξαιρούνται τα έτη 1960 και 1973 των οποίων πηγή για τα πληθυσμιακά δεδομένα αποτελεί ο Δήμος Λατσιών).*

Η τότε κυβέρνηση, με σκοπό να στεγάσει τους πρόσφυγες, έκτισε αρκετούς προσφυγικούς συνοικισμούς σε όλο το νησί ανάμεσα στους οποίους οι τρεις κτίστηκαν εντός των διοικητικών ορίων του Δήμου Λατσιών. Αυτοί είναι ο ‘Άγιος Ελευθέριος’ (με 796 οικιστικές μονάδες), ο ‘Απόστολος Ανδρέας’ (με 236 οικιστικές μονάδες) και ο ‘Απόστολος Λουκάς’ (με 126 οικιστικές μονάδες). Επιπρόσθετα η αυτοστέγαση ‘Αρχάγγελος Μιχαήλ’ είχε χρηματοδοτηθεί από την κυβέρνηση.

Ένας άλλος παράγοντας που συνέτεινε στην τεράστια αύξηση του πληθυσμού του Δήμου ήταν η κατασκευή ενός άριστου οδικού δικτύου, το οποίο παρείχε εύκολη πρόσβαση στην πρωτεύουσα όπως επίσης και στην Λάρνακα και την Λεμεσό. Ωστόσο,

τα τελευταία 10-15 περίπου χρόνια, η κάθοδος στο νησί αρκετών αλλοδαπών με σκοπό την εξεύρεση εργασίας έχει αυξήσει επίσης κατά ένα σημαντικό βαθμό τον πληθυσμό της χώρας και κυρίως της πρωτεύουσας όπου παρουσιάζεται μια συσσώρευση των ανθρώπων αυτών. Αυτό συνδέεται άμεσα βέβαια με την αύξηση του πληθυσμού του Δήμου Λατσιών αφού, ως προάστιο της Λευκωσίας, τα Λατσιά παρέχουν ένα τόπο διαμονής ο οποίος παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους Δήμους ή Κοινότητες.

2.4 Κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά

Ως Δήμος, τα Λατσιά θεωρούνται, και καθόλου άδικα, ως ένας από τους πιο ανεπτυγμένους τόσο εντός των διοικητικών ορίων της Λευκωσίας όσο και γενικότερα σε όλη την επικράτεια της Κύπρου. Η ραγδαία πληθυσμιακή ανάπτυξη τα τελευταία 40 χρόνια δημιούργησε νέες ανάγκες προς του Δημότες των Λατσιών τις οποίες οι αρμόδιες τοπικές αρχές κλήθηκαν να καλύψουν και το έχουν επιτύχει σε ένα αρκετά μεγάλο βαθμό.

Σήμερα, ο Δήμος Λατσιών παρέχει στους κατοίκους του λειτουργίες και υπηρεσίες που θα ζήλευε κάθε άλλος Δήμος αλλά και ένα περιβάλλον στο οποίο ευημερούν οι 17 περίπου χιλιάδες δημότες του. Η πλεονεκτική γεωγραφική θέση του Δήμου, σε μικρή απόσταση από το μεγάλο αστικό κέντρο της Λευκωσίας, και το άριστο συγκοινωνιακό δίκτυο, έχει σε μεγάλο βαθμό συνεισφέρει θετικά στην αξιολογή οικιστική και βιομηχανική ανάπτυξη.

Εντός των Λατσιών βρίσκεται το Ολυμπιακό Σκοπευτήριο, κτισμένο σε μια λοφώδη περιοχή στα νοτιοανατολικά του προαστίου, καθώς και το Κέντρο Αθλοπαιδιών της Τράπεζας Κύπρου. Δίπλα από τα Λατσιά, αλλά εντός της διοικητικής περιοχής του Δήμου Στροβόλου, βρίσκεται το νέο στάδιο ΓΣΠ, το Ίδρυμα Χρίστου-Στέλιου Ιωάννου, το Χρηματιστήριο Αξιών Κύπρου, καθώς επίσης και το νέο Γενικό Νοσοκομείο Λευκωσίας. Ο Δήμος επίσης διαθέτει επίσης μεγάλη βιομηχανική περιοχή με 200 περίπου βιομηχανίες.

2.4.1 Κοινωνική και Πολιτιστική προσφορά

Η οικονομική κρίση των τελευταίων ετών, έχει επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στην κοινωνία της Κύπρου. Πλέον η κοινωνική προσφορά από πλευράς τοπικών αρχών είναι απαραίτητη περισσότερο από ποτέ. Ο Δήμος Λατσιών τόσο με παλαιότερες όσο και με καινούριες δράσεις στέκεται δίπλα στους δημότες και τους υπενθυμίζει ότι όλοι αποτελούμε μέρος ενός ευρύτερου κοινωνικού συνόλου. Ορισμένες από τις δράσεις αυτές είναι:

- Το κοινωνικό παντοπωλείο
- Η δημιουργία του πολυδύναμου κέντρου
- Εκδηλώσεις κοινωνικής στηρίξης όπως εκδρομές και επισκέψεις ευπαθών ομάδων
- Παιδικές κατασκηνώσεις

Ο Δήμος επίσης, δεν μένει καθόλου απραγής όσον αφορά την ανεργία που μαστίζει την χώρα μας τα τελευταία χρόνια και εν καιρώ οικονομική κρίσης. Έτσι, με την υποστήριξη της Αναπτυξιακής Εταιρείας Λευκωσίας, ο Δήμος Λατσιών συμμετέχει στο εταιρικό σχήμα που υλοποιεί το έργο “JOB TOWN: A European Network of Local Partnerships for the Advancement of Youth Employment and Opportunity” (στα Ελληνικά: Πόλη Εργασίας: Ένα Ευρωπαϊκό Δίκτυο Τοπικής Συνεργασίας για προώθηση της Απασχολησιμότητας των νέων και Ευκαιριών Εργασίας για τους νέους). Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο χρηματοδότησης του Ευρωπαϊκού Προγράμματος URBACT II, ένα πρόγραμμα που στοχεύει στο σχεδιασμό αναπτυξιακών δράσεων σε αστικές περιοχές της Ευρώπης.

Το κοινωνικό πρόσωπο του Δήμου επιβεβαιώνει επίσης και η αδελφοποίηση με τον Δήμο του Κιλκίς στην Ελλάδα.

Ο πολιτισμός αποτελεί επίσης σημαντικό κομμάτι της ιστορίας και του ‘πλούτου’ ενός τόπου. Αναγνωρίζοντας την αξία αυτή ο Δήμος Λατσιών έχει φροντίσει για την ανάληψη δράσεων και την κατασκευή των κατάλληλων έργων για την ανάδειξη της πολιτιστικής ταυτότητας της περιοχής. Την ευαισθησία του Δήμου στον τομέα αυτό καταδεικνύει και η δημιουργία του αρμόδιου πολιτιστικού τμήματος. Ορισμένα από τα έργα αυτά είναι:

- Η Δημοτική βιβλιοθήκη

- Το Δημοτικό Θέατρο
- Τα Μουσικά σχήματα του Δήμου (Δημοτική χορωδία Λατσιών, Φιλαρμονική, παιδική χορωδία)
- Το Διεθνές φεστιβάλ κουκλοθέατρου και παντομίμας Κύπρου
- Το Πολυδύναμο Δημοτικό Κέντρο Κωνσταντίνος Χρ. Καποδίστριας

Επιπρόσθετα, εντός του Δήμου εδρεύουν οργανωμένα σύνολα όπως κυνηγετικοί συλλόγοι, αθλητικά σωματεία κ.ά. τα οποία λαμβάνουν την οικονομική και όχι μόνο στήριξη των τοπικών αρχών.

2.4.2 Τομείς οικονομικής δραστηριότητας

Ως ένας ‘σύγχρονος’ Ευρωπαϊκός Δήμος τα Λατσία προσφέρουν στους κατοίκους τους την δυνατότητα απόκτησης όλων των υλικών αγαθών αλλά και των υπηρεσιών τοπικού επιπέδου. Η τριτογενοποίηση που έχει επέλθει σήμερα σε αρκετές χώρες, δεν θα μπορούσε να μην επηρεάσει και την Κύπρο και πιο συγκεκριμένα τον Δήμο Λατσιών, προκειμένου να πετύχει τον στόχο της ανεξαρτητοποίησης, τόσο οικονομικά όσο και διοικητικά, αλλά και γενικότερα μιας ‘bottom-up’ ανάπτυξης η οποία έχει αποδεικτεί ότι αποτελεί την βέλτιστη λύση όταν τα δημόσια ταμεία δεν μπορούν πλέον να στηρίζουν τις τοπικές αρχές.

Παρόλο που η Στατιστική Υπηρεσία Κύπρου δεν διαθέτει στοιχεία απασχόλησης των κατοίκων ανά Δήμο/Κοινότητα εντούτοις αυτό επιβεβαιώνεται από ένα άλλο στοιχείο που μπορούμε να αντλήσουμε από την συγκεκριμένη πηγή. Αυτό είναι ο αριθμός υποστατικών ανά Δήμο/Κοινότητα και κλάδο οικονομικής δραστηριότητας με βάση το σύστημα ταξινόμησης οικονομικής δραστηριότητας NACE (Αναθ.2 της Ε.Ε.). Για το έτος 2011 λοιπόν, τα στατιστικά που μας δίνει η αρμόδια αρχή, αποδεικνύουν ότι ο δευτερογενής και ο τριτογενής τομέας παραγωγής κυριαρχούν απόλυτα στην περιοχή έναντι του πρωτογενή τομέα ο οποίος δραστηριοποιείται ελάχιστα. Τα περισσότερα υποστατικά αφορούν ‘δραστηριότητες νοικοκυριών ως εργοδοτών’ τα οποία είτε απασχολούν άτομα ως οικιακούς βοηθούς είτε παράγουν αγαθά και υπηρεσίες για ίδια χρήση, (504) ενώ σημαντικός αριθμός υποστατικών αφορά επίσης το ‘Χονδρικό και Λιανικό εμπόριο’ (421) αφού τα Λατσία διαθέτουν αρκετά μεγάλη εμπορική αλλά και βιομηχανική ζώνη. Ακολουθεί ο κλάδος της ‘Μεταποίησης’, με αρκετή διαφορά (137 υποστατικά) ενώ κοντά βρίσκονται και οι ‘κατασκευές’ (129 υποστατικά) αφού ο

Δήμος συνεχώς αναπτύσσεται και η οικιστική του περιοχή επεκτείνεται. Το γεγονός ότι ο Δήμος Λατσιών αποτελεί προάστειο της Λευκωσίας επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τους τομείς οικονομικής δραστηριότητας του αλλά και γενικότερα στην τριτογενεποίηση του Δήμου. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι η ποσοστιαία κατανομή των υποστατικών απασχόλησης του Δήμου κατά οικονομική δραστηριότητα διαφέρει ελάχιστα από την αντίστοιχη του Δήμου Λευκωσίας, αλλά και από την κατανομή Επαρχίας Λευκωσίας

2.4.3 Εκπαιδευτική κατάσταση

Όπως και για τους υπόλοιπους τομείς, τόσο και για τον εκπαιδευτικό τομέα, ο Δήμος Λατσιών έχει φροντίσει και βρίσκεται σε θέση να καλύψει όλες τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες των κατοίκων του. Έτσι, σήμερα λειτουργούν εντός του Δήμου:

- Τέσσερα (4) δημόσια νηπιαγωγεία
- Τέσσερα (4) δημοτικά σχολεία.
- Ένα (1) γυμνάσιο
- Ένα (1) Λύκειο
- Το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο
- Παράρτημα του Πανεπιστημίου Κύπρου
- Παράρτημα του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου

Πέρα από αυτά, υπάρχει ένας αριθμός ιδιωτικών νηπιαγωγείων και προδημοτικών σχολείων ενώ σύμφωνα με το Τοπικό Σχέδιο Λευκωσία (2012) και λόγω της συνεχούς πληθυσμιακής αύξησης του Δήμου, υπάρχει πρόνοια για την κατασκευή ακόμη ενός Δημοτικού σχολείου και ενός Γυμνασίου.

Οι πιο πάνω υποδομές είναι άρτια εξοπλισμένες, τόσο με υλικά αγαθά όσο και εξειδικευμένο προσωπικό, με σκοπό να προσφέρουν στους μαθητές το μέγιστο δυνατό επίπεδο μόρφωσης. Εκατό περίπου εκπαιδευτικοί στα Δημοτικά σχολεία, από 50 επίσης εκπαιδευτικοί στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο και πλήθος άλλων λειτουργών και υπαλλήλων που εργάζονται στις πιο πάνω εγκαταστάσεις έχουν ως κοινό σκοπό την εκπαίδευση των εκάστοτε μαθητών ή φοιτητών.

2.5 Περιβαλλοντική πολιτική του Δήμου Λατσιών

Τα Λατσιά αποτελούν πλέον ένα ‘πράσινο’ Δήμο και αυτό έχει επιτευχθεί μέσα από μακροχρόνιες δράσεις και μια συνεχές στοχευμένη περιβαλλοντική πολιτική. Τα Λατσιά πλέον διαθέτουν περισσότερα από 20 Δημοτικά πάρκα και πέραν των 6.000 δέντρων έχουν φυτευτεί τα τελευταία 15 χρόνια αφού ο Δήμος συνεχώς ενθαρρύνει τους Δημότες του να συμμετέχουν ενεργά στην денτροφύτευση. Τα πάρκα αυτά δημιουργήθηκαν από τον Δήμο και έχουν αφιερωθεί σε εθνικού ήρωες και άλλες σημαντικές φυσιογνωμίες του τόπου μας.

Επιπρόσθετα, ο Δήμος εναρμονίζεται πλήρως με τις οδηγίες της Ε.Ε. όσον αφορά την αειφορική χρήση του φυσικού περιβάλλοντος και συμμετέχει ενεργά σε διάφορα Ευρωπαϊκά προγράμματα όπως είναι το πρόγραμμα ‘Life 2000’ για την επίτευξη των σκοπών και στόχων της στρατηγικής ‘Ευρώπη 2020’.

2.6 Χωροταξική και Πολεοδομική πολιτική

Μέχρι και το 1990 ο έλεγχος της ανάπτυξης στην Κύπρο στηριζόταν, στον περί Ρυθμίσεων Οδών και Οικοδομών Νόμο και στους σχετικούς κανονισμούς. Η νομοθεσία όμως εκείνη, δεν παρείχε επαρκείς πρόνοιες και δράσεις για τον αποτελεσματικό έλεγχο των πολεοδομικών πτυχών της ανάπτυξης αλλά ούτε και τα μέσα που θα επέτρεπαν την άσκηση χωροθετικής πολιτικής ή την έμμεση παρέμβαση στις διεργασίες της αγοράς γης. Ο ρόλος του Δημόσιου τομέα ήταν κατά βάση ρυθμιστικός και κάπως αρνητικός σε χαρακτήρα, μιας και υπήρχε δυνατότητα μόνο για αντίδραση σε πρωτοβουλίες του ιδιωτικού τομέα.

Ενόψει όμως του έντονου ρυθμού αύξησης των αναπτυξιακών πιέσεων που προκαλούνταν από την φυσική αύξηση του πληθυσμού, την αστικοποίηση και την ανάπτυξη της βιομηχανίας, του εμπορίου, του τουρισμού και των υπηρεσιών, η Κυπριακή πολιτεία έκρινε ότι ήταν ανάγκη να εισάγει χωροταξική και πολεοδομική Νομοθεσία, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ορθολογική οργάνωση της φυσικής ανάπτυξης. Για τον λόγο αυτό ψηφίστηκαν ο Περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας Νόμος

του 1972 και οι μεταγενέστερες τροποποιήσεις του, και τέθηκαν σε πλήρη εφαρμογή για πρώτη φορά την 1^η Δεκεμβρίου του 1990.

Παράλληλα με τις διεργασίες αυτές, συντάχθηκε το Σχέδιο για τη Νήσο το οποίο με βάση τις πρόνοιες της νομοθεσίας, καλύπτει ολόκληρη την έκταση της Κύπρου. Καθορίζει τη γενική χωροταξική πολιτική που πρέπει να ακολουθείται για την προαγωγή και τον έλεγχο της ανάπτυξης και παρέχει ένδειξη των προθέσεων της Κυβέρνησης αναφορικά με τις χρήσεις γης, την κατανομή πληθυσμού, την απασχόληση, τον εντοπισμό της τουριστικής ανάπτυξης, των υπηρεσιών, των περιοχών προστασίας και διατήρησης κ.λπ. Ωστόσο, το Σχέδιο για τη Νήσο δεν εφαρμόζεται, καθώς μετά την Τουρκική εισβολή και κατοχή, η Κυπριακή Δημοκρατία δεν μπορεί να ασκήσει έλεγχο σε ολόκληρη την επικράτειά της.

Αντί αυτού, σήμερα εφαρμόζεται το Στρατηγικό Σχέδιο Ανάπτυξης το οποίο περιέχει οριζόντιες κατευθύνσεις και καθορίζει τους στρατηγικούς στόχους της χώρας για την επίτευξη του αναπτυξιακού της οράματος, ενσωματώνοντας τις κατευθύνσεις της Ε.Ε. και για αυτό τον λόγο συνάδει με τις προγραμματικές περιόδους της.

Πέρα από αυτά, για την εφαρμογή του Στρατηγικού Σχεδίου Ανάπτυξης αλλά και τον καθορισμό σαφέστερων πολιτικών και πιο κάθετων κατευθύνσεων σε μεγαλύτερη κλίμακα έχουν θεσπιστεί και βρίσκονται σε εφαρμογή τρία Σχέδια Ανάπτυξης τα οποία είναι:

1. Τα Τοπικά Σχέδια
2. Τα Σχέδια Περιοχής
3. Η Δήλωση Πολιτικής

Τα *Τοπικά Σχέδια* περιλαμβάνουν ευρύ φάσμα προνοιών που αναφέρεται σε μεγάλη ποικιλία τύπων ανάπτυξης, δικτύων υποδομής, προτύπων, επιτρεπόμενων μεγεθών και έντασης της ανάπτυξης. Κατά κανόνα, αφορούν ευρείες γεωγραφικές περιοχές που λειτουργούν ως ενιαία σύνολα στο χώρο, και οι οποίες ορίζονται με αναφορά σε χάρτη. Το γραπτό κείμενο των Τοπικών Σχεδίων συνοδεύεται από χάρτες Χρήσεων Γης και Πολεοδομικών Ζωνών, σε κλίμακα 1:10.000.

Τα *Σχέδια Περιοχής* περιλαμβάνουν μέτρα πολιτικής και πρόνοιες, κατά πολύ λεπτομερέστερα από εκείνα που περιέχονται στα Τοπικά Σχέδια, και κατά κανόνα αφορούν γεωγραφικές περιοχές μικρότερες σε έκταση από εκείνες στις οποίες

αναφέρονται τα Τοπικά Σχέδια. Μέχρι στιγμής Σχέδια Περιοχές υπάρχουν για το κέντρο της Λεμεσού και τον Πυρήνα του Δήμου Στροβόλου.

Η *Δήλωση Πολιτικής* αποσκοπεί στην δημιουργία ενιαίου και ολοκληρωμένου πλαισίου, με βάση το οποίο προάγεται, ελέγχεται και υλοποιείται η ανάπτυξη στην ύπαιθρο, διασφαλίζοντας την βέλτιστη αξιοποίηση των αναπτυξιακών δυνατοτήτων κάθε περιφέρειας ή περιοχής καθώς και την προστασία του περιβάλλοντος. Εφαρμόζεται σε όλες τις ελεγχόμενες από την Κυπριακή Δημοκρατία περιοχές που δεν καλύπτονται από Τοπικά Σχέδια.

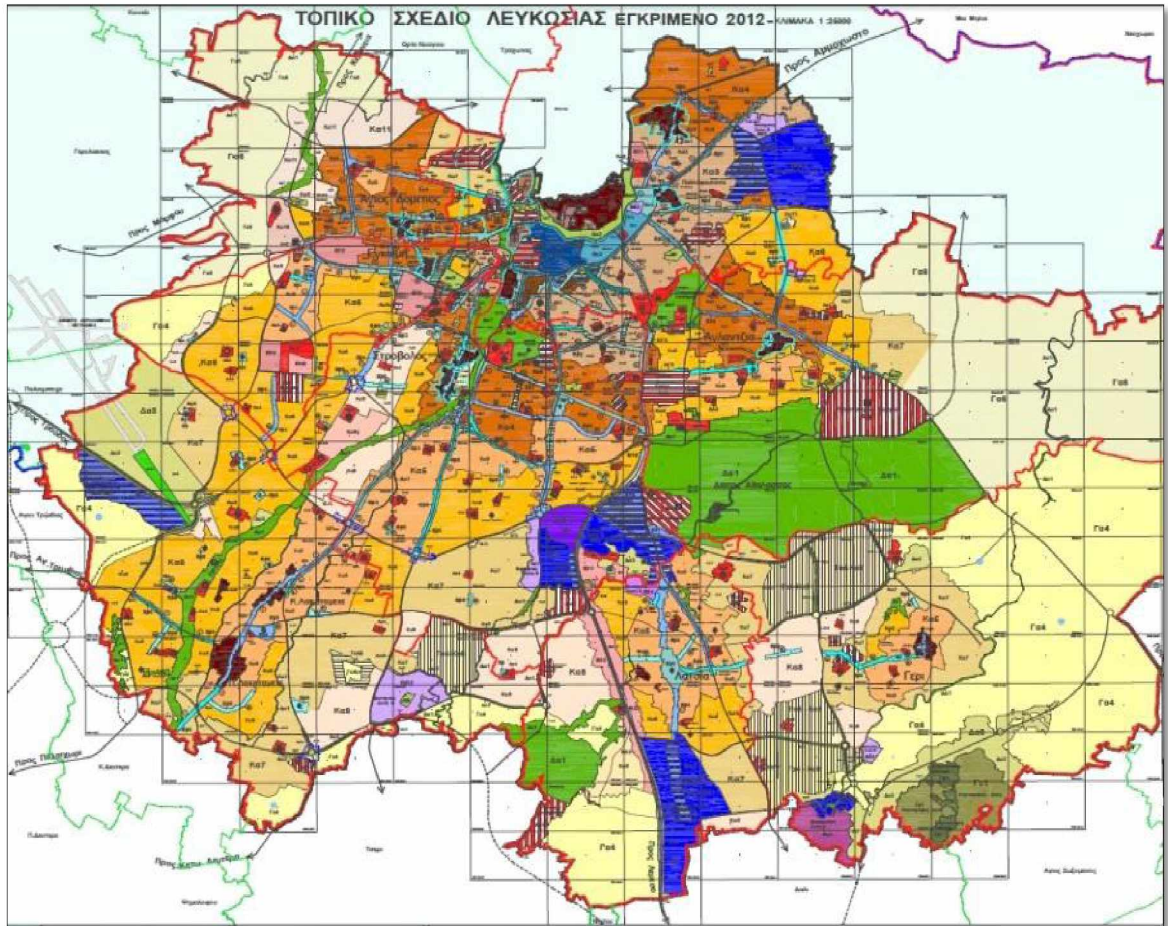
Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η χωροταξική και πολεοδομική πολιτική του Δήμου Λατσιών ρυθμίζεται στην ουσία από το αντίστοιχο Τοπικό Σχέδιο και συγκεκριμένα το Τοπικό Σχέδιο Λευκωσίας.

2.6.1 Τοπικό Σχέδιο Λευκωσίας

Το Τοπικό Σχέδιο Λευκωσίας εκπονήθηκε σύμφωνα με τις σχετικές πρόνοιες του περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας Νόμου και είχε ως αφετηρία το Ενιαίο Ρυθμιστικό Σχέδιο Λευκωσίας (Nicosia Master Plan), που εκπονήθηκε από την Κυπριακή Κυβέρνηση σε συνεργασία με τον Δήμο Λευκωσίας και το Πρόγραμμα Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Development Programme). Το Τοπικό Σχέδιο Λευκωσίας δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά στις 4 Οκτωβρίου του 1996 και το Σχέδιο οριστικοποιήθηκε μετά από την μελέτη των ενστάσεων, η οποία ολοκληρώθηκε και δημοσιεύτηκε σε δύο φάσεις, το 1999 και 2000. Κατά την μελέτη της παρούσας τροποποίησης, πραγματοποιήθηκαν διαβουλεύσεις με Κοινό Συμβούλιο που συστάθηκε σύμφωνα με τις πρόνοιες του άρθρου 12(1) του περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας Νόμου.

Στο παρόν Τοπικό Σχέδιο Λευκωσίας (Τοπικό Σχέδιο Λευκωσίας 2012: Πρόνοιες και Μέτρα Πολιτικής), προδιαγράφονται οι γενικές αρχές με βάση τις οποίες θα προάγεται, ελέγχεται και ρυθμίζεται η ανάπτυξη στην περιοχή του Τοπικού Σχεδίου. Αναμένεται ότι με την εφαρμογή των προνοιών του Τοπικού Σχεδίου θα επιτευχθεί σταδιακά ισόρροπη ανάπτυξη και πολεοδομική εξυγίανση της ευρύτερης περιοχής της Λευκωσίας.

Στο Τοπικό Σχέδιο περιλαμβάνονται οι περιοχές των Δήμων Λευκωσίας, Αγίου Δομετίου, Έγκωμης, Στροβόλου, Αγλαντζιάς, Λακαταμίας και Λατσιών και η περιοχή του Κοινοτικού Συμβουλίου Γερίου, όπως φαίνεται και στον Χάρτη 2.6.1.1. Η έκταση της περιοχής του Τοπικού Σχεδίου ανέρχεται σε 190 τ.χλμ. και σύμφωνα με την έκθεση της Στατιστικής Υπηρεσίας Κύπρου αριθμεί 200.000 περίπου κατοίκους.



Σχήμα 2.4: Πολεοδομικές Ζώνες Τοπικού Σχεδίου Λευκωσίας 2012

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Δεδομένα - Διαθέσιμα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι τα εξής:

- Δύο δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου Quickbird στο κοντινό υπέρυθρο NIR που αφορούν τα χρονολογικά έτη 2003 και 2012.
- Χάρτης καθώς και τα ψηφιοποιημένα δεδομένα χρήσης/κάλυψης γης του προγράμματος CORINE (Coordination of Information on the Environment) του Ευρωπαϊκού οργανισμού Περιβάλλοντος ο οποίος συντάχθηκε το 2006. Χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία προκειμένου να βοηθήσουν να ορισθούν οι κλάσεις.
- Αεροφωτογραφία για την περιοχή που λήφθηκε το 2010 και χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της ακρίβειας των αποτελεσμάτων.
- Ισουβείς καμπύλες του εδάφους της περιοχής μελέτης για να ελέγξουμε το υψόμετρο της περιοχής και αν υπάρχει ανάγκη για τυχόν τοπογραφικές διορθώσεις.
- Χάρτης Πολεοδομικών ζωνών του Τοπικού Σχεδίου Λευκωσίας.

3.1.1 Δορυφορικά δεδομένα Quickbird

Ο δορυφόρος Quickbird είναι ένας εμπορικός δορυφόρος της εταιρίας DigitalGlobe ο οποίος εκτοξεύθηκε στο διάστημα για πρώτη φορά το 2001 από την αεροπορική βάση Βάντερμπεργκ στην Καλιφόρνια. Κατά το χρόνο εκτόξευσής του ήταν ο εμπορικός δορυφόρος με την υψηλότερη ευκρίνεια εικόνων αφού χρησιμοποιεί το σύστημα λήψης εικόνων BGIS 2000 (Ball Aerospace's Global Image System) το οποίο αποτελείται από μια ευέλικτη και υψηλής ακρίβειας τηλεσκοπική πλατφόρμα που συλλέγει εμπορικά δορυφορικά δεδομένα.

Ο Quickbird γυρίζει γύρω από τη γη σε ύψος 450km και ο αισθητήρας του (μια κάμερα υψηλής ανάλυσης) συγκεντρώνει εικόνες από την επιφάνεια της γης μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο Quickbird έχει τη δυνατότητα να συλλέξει πάνω από 75 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα απεικονιστικών δεδομένων το χρόνο (περίπου τρεις φορές το μέγεθος της Βόρειας Αμερικής). Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται στη

χαρτογράφηση, στο σχεδιασμό καλλιεργήσιμων και αστικών περιοχών, στην μελέτη του καιρού και τη στρατιωτική παρακολούθηση.



Σχήμα 3.1: Ο δορυφόρος Quickbird

Πιο κάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου (Πίνακας 3.1):

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά δορυφόρου Quickbird

Quickbird	Panchromatic (Pan)	Multispectral (MS)
Ύψος Τροχιάς	450 km	450 km
Ταχύτητα	7.1 km/sec	7.1 km/sec
Αριθμός Φασματικών Ζωνών	1	4
Χωρική Διακριτική Ικανότητα	0.61 m	2.44 m
Έκταση κάλυψης πλήρους εικόνας	16.4 x 16.4 km	16.4 x 16.4 km
Εύρος φάσματος	445 - 900 nm	Blue: 450 - 520 nm
		Green: 520 - 600 nm
		Red: 630 - 690 nm
		Near Infrared: 760 - 900 nm

Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα	11 bit	11 bit
Διάρκεια λειτουργίας Δορυφόρου	18 Οκτωβρίου 2001 - 27 Ιανουαρίου 2015	18 Οκτωβρίου 2001 - 27 Ιανουαρίου 2015

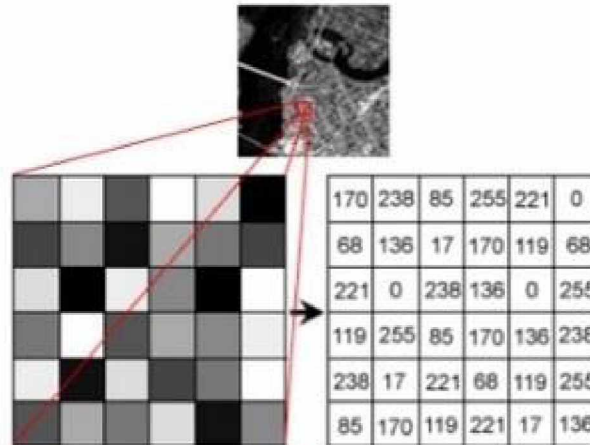


Σχήμα 3.2: Δορυφορικές εικόνες Quickbird της περιοχής μελέτης στα κανάλια 4-3-2 για το 2003 (Αριστερά) και το 2012 (Δεξιά)

3.2 Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας

Η κεντρική ιδέα της ψηφιακής επεξεργασίας μιας εικόνας είναι απλή στην σύλληψη. Ο υπολογιστής στην ουσία ‘διαβάζει’ την ψηφιακή εικόνα εισόδου ανά εικονοστοιχείο (pixel), με τον ίδιο, τρόπο όπως διαβάζει ένα πίνακα αριθμών με x στήλες και ψ γραμμές (Εικόνα 3.1). Ο υπολογιστής είναι προγραμματισμένος να εισάγει τα δεδομένα σε μια εξίσωση ή σειρά εξισώσεων και στη συνέχεια να αποθηκεύει τα αποτελέσματα.

των υπολογισμών, για κάθε ένα από τα εικονοστοιχεία, σε ένα νέο πίνακα ραδιομετρικών τιμών ο οποίος αποτελεί την εικόνα εξόδου. Έπειτα, η εικόνα εξόδου μπορεί να επαναεπεξεργαστεί με διάφορες τεχνικές (Συλλαίος 2000).



Σχήμα 3.3: Η δομή της δορυφορικής εικόνας

Υπάρχουν τρία βασικά βήματα ψηφιακής επεξεργασίας μιας εικόνας:

1. Προεπεξεργασία της εικόνας
2. Ενίσχυση-βελτίωση της εικόνας
3. Ταξινόμηση

3.2.1 Προεπεξεργασία εικόνας

Προτού πραγματοποιηθεί η ανάλυση μιας δορυφορικής εικόνας πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες διορθώσεις. Αυτές μπορεί να είναι γεωμετρικές, ραδιομετρικές ή ακόμη και ατμοσφαιρικές αλλά και τοπογραφικές διορθώσεις ούτως ώστε να εξαλείψουμε τυχόν σφάλματα.

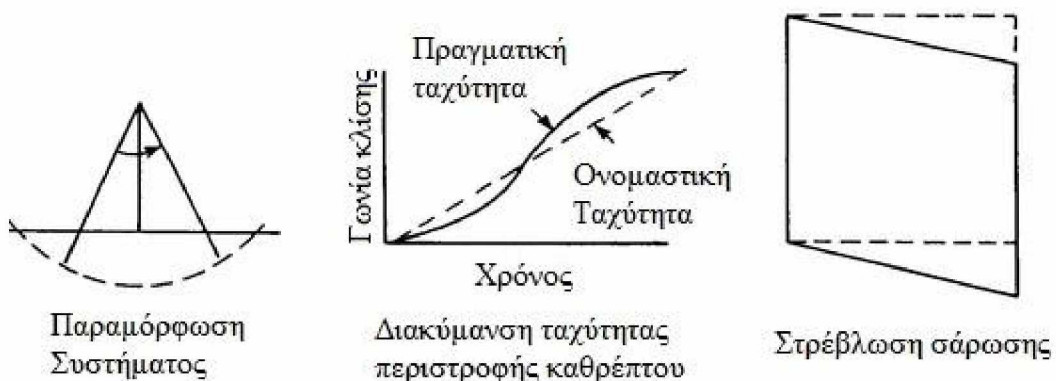
Γεωμετρικές διορθώσεις

Σύμφωνα με τον Τζορτζάκη (2014), κάθε εικόνα που απεικονίζει την επιφάνεια της γης και έχει αποτυπωθεί είτε από ένα δορυφορικό σύστημα είτε από ένα αερομεταφερόμενο μέσο παρουσιάζει διάφορες γεωμετρικές παραμορφώσεις. Στην προσπάθειά μας λοιπόν να αποτυπώσουμε μια επιφάνεια τριών διαστάσεων (3D) ως μια 2D εικόνα

αναπόφευκτα δημιουργείται το πιο πάνω πρόβλημα το οποίο είναι μάλιστα εγγενές της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης. Ανάλογα βέβαια με το μέσο καταγραφής και λόγω διαφόρων παραγόντων παρουσιάζονται διάφορα είδη γεωμετρικών παραμορφώσεων τα οποία διακρίνονται σε *συστηματικά* και *μη συστηματικά*. Τα πρώτα είναι σταθερά και είναι δυνατό να προβλεφθούν ενώ τα μη συστηματικά σφάλματα θεωρούνται απρόβλεπτα.

1. Συστηματικές παραμορφώσεις (Εικόνα 3.2):

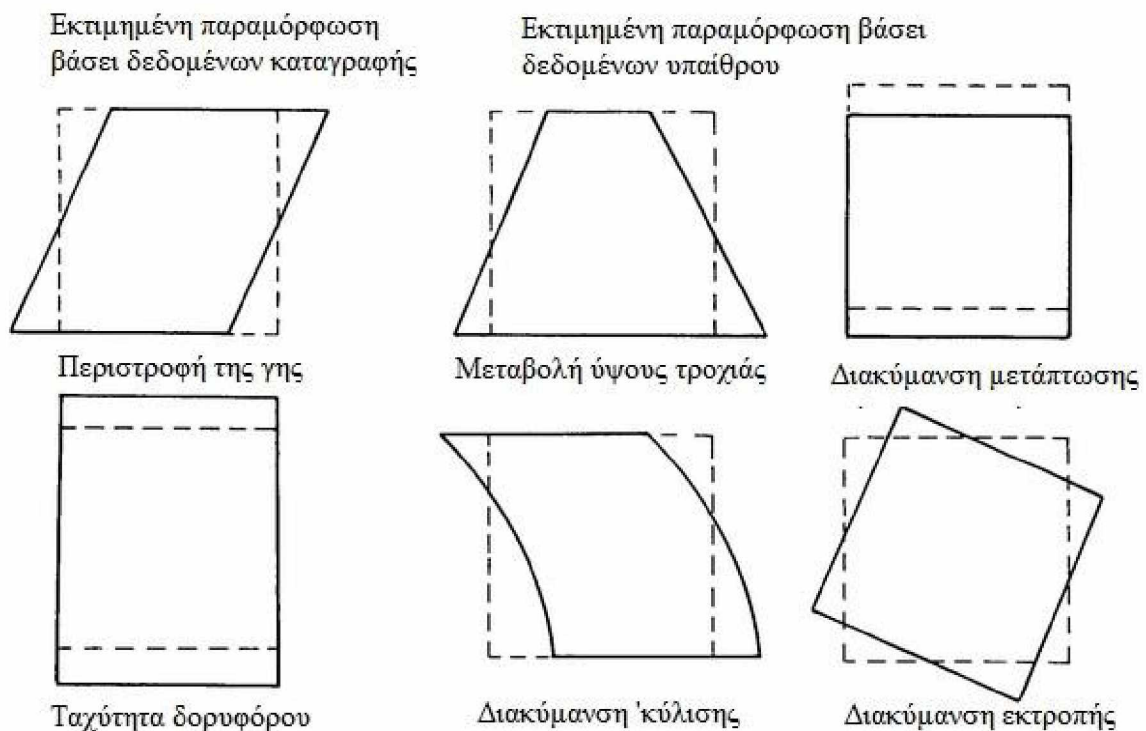
- *Παραμόρφωση συστήματος* (Cross-track scanner distortion): Καθώς ο αισθητήρας σαρώνει τα άκρα μιας γραμμής, η στιγμιαία γωνία σάρωσης καταγράφει μεγαλύτερη έκταση στην επιφάνεια της γης, με αποτέλεσμα να προκαλείται παραμόρφωση κατά μήκος της γραμμής σάρωσης η οποία μεγαλώνει από το κέντρο προς τα άκρα της.
- *Διακύμανση ταχύτητας περιστροφής καθρέπτου* (Mirror velocity variations): Εάν η ταχύτητα περιστροφής του κατόπτρου δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια σάρωσης μιας γραμμής, τότε προκαλείται παραμόρφωση κατά μήκος της γραμμής σάρωσης. Εάν οι μεταβολές της ταχύτητας περιστροφής του κατόπτρου είναι γνωστές, τότε αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διόρθωση της παραμόρφωσης της εικόνας.
- *Στρέβλωση σάρωσης* (Scan skew): Προκαλείται από την προς τα εμπρός κίνηση του δορυφόρου κατά το χρόνο που απαιτείται για την σάρωση μιας γραμμής από το κάτοπτρο του αισθητήρα. Έτσι προκαλείται στρέβλωση στη εικόνα καθώς η σάρωση δεν είναι κάθετη στην τροχιά, αλλά ελαφρώς στρεβλωμένη.



Σχήμα 3.4: Συστηματικές παραμορφώσεις

2. Μη συστηματικές παραμορφώσεις (Εικόνα 3.3):

- *Περιστροφή της γης (Earth rotation)*: Η περιστροφή της γης κατά τη διάρκεια σάρωσης μιας γραμμής έχει ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση του εύρους σάρωσης και τη πρόκληση παραμόρφωσης της εικόνας κατά μήκος της γραμμής σάρωσης, η οποία είναι συνάρτηση της θέσης και της τροχιάς του δορυφόρου. Κατά τη διαδικασία διόρθωσης, διαδοχικές ομάδες γραμμών της εικόνας (16 για τον δορυφόρο Landsat TM) μετατοπίζονται δυτικά για να αντισταθμίσουν την επίδραση της περιστροφής της γης.
- *Ταχύτητα του δορυφόρου (Spacecraft velocity)*: Αν η ταχύτητα κίνησης του δορυφόρου μεταβληθεί, τότε το μέγεθος της περιοχής που καταγράφεται σε κάθε γραμμή σάρωσης αλλάζει, με αποτέλεσμα να προκαλείται παραμόρφωση της εικόνας κατά μήκος της τροχιάς.
- *Μεταβολή ύψους τροχιάς (Altitude variation)*: Μεταβολές στο ύψος της τροχιάς του δορυφόρου προκαλούν παραμορφώσεις στη χωρική διακριτική του ικανότητα και κατά συνέπεια στην κλίμακα της εικόνας.
- *Μεταβολή προσανατολισμού (Attitude variation)*: Ο ένας άξονας του καταγραφικού συστήματος ενός δορυφόρου συνήθως διατηρείται κάθετος στην επιφάνεια της γης και ο άλλος παράλληλος με τη διεύθυνση κίνησης του δορυφόρου. Η απόκλιση της επιφάνειας του αισθητήρα από αυτόν τον προσανατολισμό δημιουργεί γεωμετρική παραμόρφωση στην εικόνα. Η μεταβολή αυτή μπορεί να προέρχεται από διακύμανσεις κύλισης (roll variation), μετάπτωσης (pitch variation) ή εκτροπής (yaw variation).



Σχήμα 3.5: Μη συστηματικές παραμορφώσεις

Όλες οι παραπάνω μη συστηματικές παραμορφώσεις μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες όπως φαίνεται και στην σχετική εικόνα. Η πρώτη κατηγορία αφορά αυτές που μπορούν να διορθωθούν χρησιμοποιώντας δεδομένα της τροχιάς του δορυφόρου και τη γνώση των εσωτερικών παραμορφώσεων του αισθητήρα, και η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει αυτές τις οποίες δεν δύναται να διορθωθούν με ικανοποιητική ακρίβεια χωρίς τη χρήση εδαφικών σημείων ελέγχου (Ground Control Points). Το εδαφικό σημείο ελέγχου είναι ένα σημείο στην επιφάνεια της γης, το οποίο μπορεί να εντοπιστεί με ακρίβεια τόσο στην εικόνα όσο και στον χάρτη. Συνήθως τα σημεία αυτά είναι διασταυρώσεις δρόμων, συμβολές ρεμάτων και ποταμών, γωνίες κτισμάτων κ.ά.

Σε αντίθεση με τις μη συστηματικές παραμορφώσεις οι οποίες παραμένουν στην εικόνα καθιστώντας την μη πλανιμετρική, όλες οι συστηματικές παραμορφώσεις των εικόνων διορθώνονται από την εταιρεία ή την υπηρεσία που τις διαχειρίζεται. Η γεωμετρική διόρθωση των μη συστηματικών σφαλμάτων μπορεί να γίνει ακολουθώντας μια εκ των δύο τύπων γεωμετρικής διόρθωσης οι οποίες είναι: α) Η γεωμετρική ανόρθωση ή γεωαναφορά (Geometric rectification or Georeferencing) και β) Η γεωμετρική εγγραφή (Image registration). Η γεωαναφορά έχει ως στόχο το μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων της εικόνας, το οποίο έχει παραμορφώσεις, σε ένα συγκεκριμένο

σύστημα χαρτογραφικής προβολής με τη χρήση εδαφικών σημείων ελέγχου. Αντιθέτως, η γεωμετρική εγγραφή μπορεί να αφορά είτε τον μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων μιας εικόνας σε κάποιο άλλο οποιασδήποτε άλλης εικόνας είτε τον μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων μιας εικόνας στο χαρτογραφικό σύστημα συντεταγμένων του εδάφους.

Οποιοδήποτε από τους παραπάνω τύπους γεωμετρικών διορθώσεων και να ακολουθήσουμε ο σκοπός της διόρθωσης παραμένει αμετάβλητος και είναι ο μετασχηματισμός του συστήματος συντεταγμένων της εικόνας (x,y), το οποίο μπορεί να έχει υποστεί μια ή περισσότερες εκ των πιο πάνω παραμορφώσεων, σε συγκεκριμένο σύστημα (X,Y) χαρτογραφικής προβολής. Ανάλογα με το είδος της παραμόρφωσης της εικόνας, πρέπει να ακολουθείται και η καταλληλότερη μέθοδος για την γεωμετρική της διόρθωση μέσα από ένα πλήθος μεθόδων και τεχνικών που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα και μερικές από τις οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά πιο κάτω:

- *Γεωμετρικές διορθώσεις με μοντέλα της τροχιάς*

Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στη γνώση των παραμέτρων που περιγράφουν την τροχιά του δορυφόρου ή του αεροσκάφους, την περιστροφή της γης, την ταχύτητα δειγματοληψίας κλπ. Τα μοντέλα αυτά είναι κατάλληλα μόνο για εικόνες που προέρχονται από δέκτες με στενό γωνιακό οπτικό πεδίο όπως για παράδειγμα ο δορυφόρος Landsat. Η γεωμετρική διόρθωση της εικόνας από το σύστημα (x,y) της εικόνας στο σύστημα (X,Y) του χάρτη εκφράζεται από έναν ευθύ μετασχηματισμό T σύμφωνα με την γενική σχέση:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

όπου το T αποτελείται από διάφορες παραμέτρους T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 που περιέχουν πληροφορίες αντίστοιχα για την γεωμετρία του αισθητήρα, της τροχιάς της γης, της χαρτογραφικής προβολής, τον προσανατολισμό και την κλίμακα. Κάθε βήμα που εμπλέκεται στην διαδικασία της γεωμετρικής διόρθωσης θα πρέπει να είναι γνωστό. Επίσης, ο αντίστροφος μετασχηματισμός από το σύστημα (X,Y) του χάρτη στο σύστημα (x,y) της εικόνας εκφράζεται ως εξής:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = T^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Ωστόσο, η διαδικασία αυτή είναι αρκετά περίπλοκη και χρονοβόρα αν και αρκετά αποτελεσματική όταν η φύση και οι άλλοι μηχανισμοί των γεωμετρικών παραμορφώσεων είναι απολύτως καθορισμένοι.

- *Γεωμετρικές διορθώσεις με πολυώνυμα*

Η τεχνική αυτή βασίζεται στον καθορισμό ενός μαθηματικού μετασχηματισμού πολυωνύμων, ανεξαρτήτως της πηγής και του είδους της γεωμετρικής παραμόρφωσης την οποία προκάλεσαν. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής απαιτείται χάρτης που να απεικονίζει την ίδια περιοχή με την εικόνα ο οποίος όμως να είναι γεωμετρικά ορθός ή ακόμα και άλλη εικόνα από την ίδια περιοχή η οποία να έχει υποστεί γεωμετρική διόρθωση και να έχει ενταχθεί σε μια χαρτογραφική προβολή. Αρχικά λοιπόν ορίζονται δύο συστήματα αναφοράς, με το ένα να περιγράφει τις θέσεις των σημείων (X,Y) στον χάρτη ή στην διορθωμένη εικόνα και το άλλο σύστημα να περιγράφει τις θέσεις των ψηφίδων (x,y) στη μη διορθωμένη γεωμετρικά εικόνα. Γίνεται η θεώρηση ότι τα δύο συστήματα αναφοράς σχετίζονται μεταξύ τους με ένα ζευγάρι συναρτήσεων f,g της γενικής μορφής:

$$\begin{aligned}x &= f(X, Y) \\ y &= g(X, Y)\end{aligned}\tag{3.3}$$

Αν οι συναρτήσεις είναι γνωστές τότε είναι δυνατόν να εντοπιστεί ένα σημείο (x,y) στην αδιόρθωτη εικόνα, αν είναι γνωστές οι συντεταγμένες (X,Y) στον χάρτη ή στην διορθωμένη εικόνα και αντίστροφα. Οι συναρτήσεις μετασχηματισμού συνήθως επιλέγονται ως απλά πολυώνυμα μέχρι 3^{ου} βαθμού. Για παράδειγμα ένα πολυώνυμο 1^{ου} βαθμού θα έχει την μορφή:

$$\begin{aligned}x &= a_0X + a_1Y + a_2 \\ y &= b_0X + b_1Y + b_2\end{aligned}\tag{3.4}$$

Αν προσδιοριστούν οι συντελεστές (a,b) τότε η αδιόρθωτη εικόνα με σύστημα αναφοράς (x,y) θα διορθωθεί γεωμετρικά και θα ενταχθεί στην χαρτογραφική προβολή (X,Y) του χάρτη ή της γεωμετρικά διορθωμένης εικόνας, αφού για κάθε σημείο της (x,y) θα υπολογίζεται το διορθωμένο (X,Y). Για να προσδιοριστούν οι συντελεστές στην παραπάνω σχέση χρειάζονται τρία τουλάχιστον σημεία γνωστών συντεταγμένων:

$$\begin{aligned}(x_1, y_1) &= f(X_1, Y_1) \\(x_2, y_2) &= f(X_2, Y_2) \\(x_3, y_3) &= f(X_3, Y_3)\end{aligned}\tag{3.5}$$

Η αντιστοίχιση κάθε ενός σημείου $(x_n, y_n) = f(X_n, Y_n)$ γίνεται χειροκίνητα από τον αναλυτή σε προγράμματα επεξεργασίας εικόνας σε σημεία που διαγράφονται ευκρινώς στις εικόνες και στους χάρτες (διασταυρώσεις δρόμων, ακτογραμμές, στροφές ποταμών κλπ.). Τα σημεία αυτά ονομάζονται *σημεία ελέγχου στο έδαφος* (Ground Control Points, GCP 's). Στην περίπτωση που διατίθενται περισσότερα σημεία, τότε η λύση δίνεται με μεθόδους αριθμητικής ανάλυσης όπως π.χ. η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων.

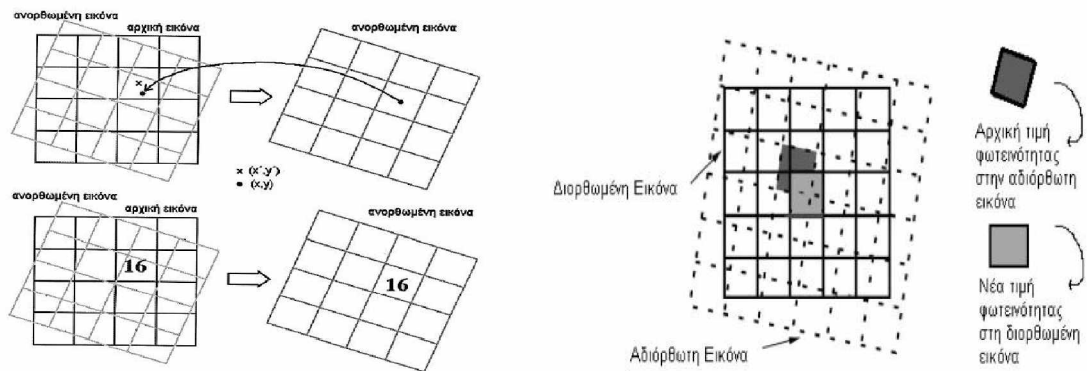
Καλώς καθορισμένα ζεύγη σημείων ελέγχου θα πρέπει να επιλεγούν για να διορθώσουν την εικόνα και να εξασφαλίσουν ακριβή αναπαράσταση του μαθηματικού πολυωνύμου. Ως γενικός κανόνας, συνίσταται η κατανομή των σημείων ελέγχου να πραγματοποιηθεί με τρόπο ώστε να υπάρχουν GCP's γύρω από τα περιθώρια της εικόνας με κάποια ομοιόμορφη διασπορά σε όλο το τμήμα της εικόνας.

Αφού έχουν γίνει όλες οι προηγούμενες διορθώσεις, η εικόνα μετασχηματίζεται έτσι ώστε οι συντεταγμένες της να αναφέρονται σε ένα χαρτογραφικό σύστημα συντεταγμένων. Συνεπώς τα κέντρα των ψηφίδων τότε αντιστοιχούν σε χαρτογραφικές συντεταγμένες και όχι στην αρίθμηση των γραμμών και στηλών των ψηφίδων.

Απο τη στιγμή που προσδιοριστούν τα πολυώνυμα του γεωμετρικού μετασχηματισμού, $x = f(X, Y)$ και $y = g(X, Y)$, το επόμενο βήμα είναι να υπολογιστούν εξαρχής οι νέες τιμές DN του επιπέδου διαβάθμισης του γκρι, ώστε οι ακριβείς χωρικές τους θέσεις να αντιστοιχούν στα κέντρα του νέου καννάβου της διορθωμένης εικόνας. Κατά κανόνα οι νέες θέσεις των μετασχηματισμένων ψηφίδων, δεν ταυτίζονται με τις αρχικές δειγματοληπτικές θέσεις. Για να προσδιορίσουμε τις νέες τιμές DN στα νέα κέντρα των μετασχηματισμένων ψηφίδων, θα πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία της δειγματοληψίας (resampling). Για τον σκοπό αυτό υπάρχουν τρεις διαφορετικές τεχνικές: (α) Η μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου, (β) Η μέθοδος της διγραμμικής παρεμβολής και (γ) Η μέθοδος της κυβικής παρεμβολής (Μερτίκας 1999).

- Η μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου

Στη μέθοδο αυτή το διορθωμένο εικονοστοιχείο λαμβάνει την τιμή φωτεινότητας από ένα αρχικό εικονοστοιχείο το οποίο έχει την ιδιότητα το κέντρο του να είναι το πλησιέστερο στο κέντρο του διορθωμένου. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι χαρακτηρίζεται από υψηλή σχετικά υπολογιστική ταχύτητα και εξασφαλίζει κατά κάποιο τρόπο ότι οι προκύπτουσες τιμές DN της φωτεινότητας θα παραμείνουν οι ίδιες με της αρχικής εικόνας. Χρησιμοποιείται κυρίως για πολυφασματικά δεδομένα καθώς κατά την διάρκεια της επεξεργασίας διατηρείται η συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων διαύλων.



Σχήμα 3.6: Επαναδειγματοληψία με την μέθοδο του πλησιέστερου γειτονικού σημείου

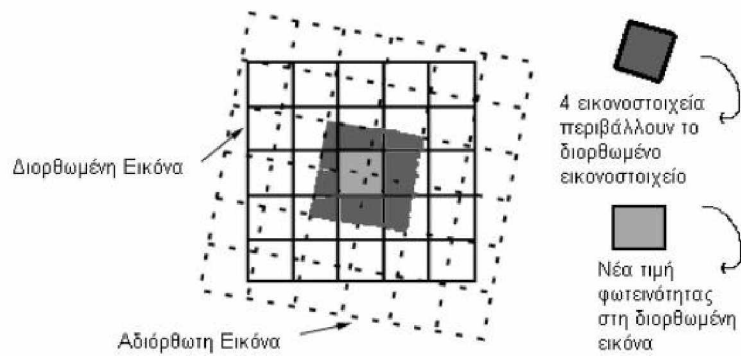
Με την μέθοδο λοιπόν του πλησιέστερου γειτονικού σημείου δεν δημιουργείται καινούρια εξομαλυμένη εικόνα, όπως γίνεται με τις δύο άλλες τεχνικές, εντούτοις αυτό ενδέχεται να αποτελέσει και μειονέκτημα της μεθόδου σε ορισμένες περιπτώσεις αφού μερικές φορές δημιουργείται συγκέντρωση (ομαδοποίηση) των τιμών του επιπέδου του γκρι των ψηφίδων σε ορισμένες γειτονιές της εικόνας, επειδή οι ψηφιακές τιμές επαναλαμβάνονται.

- Η μέθοδος της γραμμικής παρεμβολής

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί τις τέσσερις τιμές DN του επιπέδου του γκρι $g(x,y)$, γειτονικών ψηφίδων της εικόνας που εγκλείουν το υπο αντικατάσταση εικονοστοιχείο. Είναι μια μέθοδος γραμμικής παρεμβολής δύο διαστάσεων, όπου η νέα ψηφιακή τιμή της φωτεινότητας στη θέση (X,Y) δίδεται από τη σχέση:

$$g(X,Y) = (1 - b)[ag(i, j + 1) + (1 - a)g(i, j)] + b[ag(i + 1, j + 1) + (1 - a)g(i + 1, j)] \quad (3.6)$$

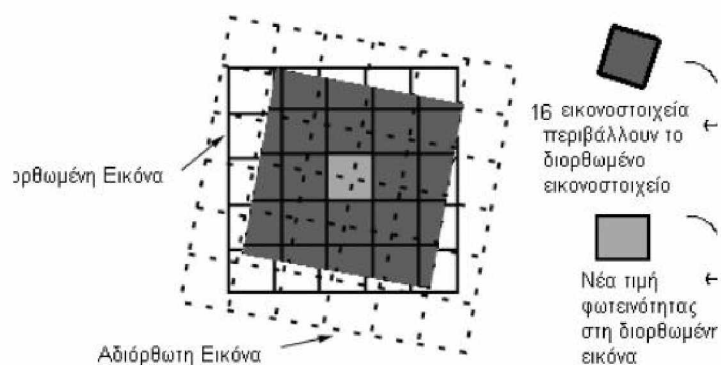
όπου $g(X,Y)$ είναι η νέα τιμή της φωτεινότητας στο εικονοστοιχείο με συντεταγμένες (X,Y) και οι αποστάσεις a και b οι αποστάσεις από τα κέντρα των γειτονικών ψηφίδων.



Σχήμα 3.7: Επαναδειγματοληψία με την μέθοδο της διγραμμικής παρεμβολής

- Η μέθοδος της κυβικής παρεμβολής

Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιεί τα 16 πλησιέστερα εικονοστοιχεία σε ένα πίνακα 4x4 και υπολογίζει την τιμή φωτεινότητας του διορθωμένου εικονοστοιχείου χρησιμοποιώντας δισδιάστατη παρεμβολή τρίτης τάξης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τη δημιουργία μιας εικόνας που έχει υποστεί εξομάλυνση σε σχέση με την αρχική, αλλά επειδή οι τιμές της φωτεινότητας έχουν μεταβληθεί, δεν συνίσταται για εξαγωγή συμπερασμάτων, όπως σε τεχνικές ταξινόμησης της εικόνας. Η εικόνα μετά την επεξεργασία της προορίζεται για φωτοερμηνεία.



Σχήμα 3.8: Επαναδειγματοληψία με την μέθοδο της κυβικής παρεμβολής

Όλες οι διαδικασίες της επαναδειγματοληψίας για τα επίπεδα του γκρι είναι τεχνικές παρεμβολών και μπορούν να γενικευτούν χρησιμοποιώντας τη θεωρία της συνέλιξης (Μερτίκας 1999).

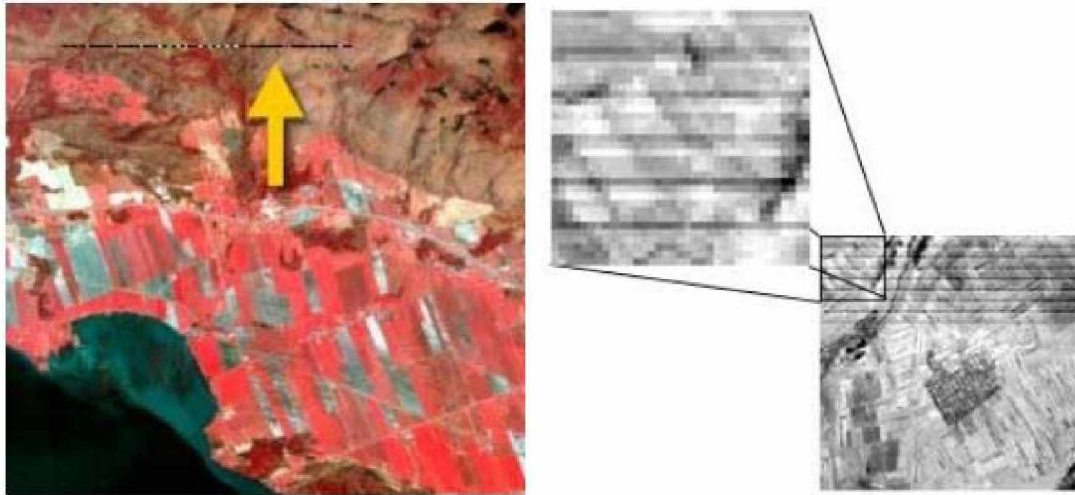
Ραδιομετρικές διορθώσεις

Πέραν των επιδράσεων στην γεωμετρία της εικόνας, υπάρχουν επίσης και επιδράσεις στην ραδιομετρία της, οι οποίες οφείλονται σε διάφορους παράγοντες που μπορεί να είναι ο θόρυβος του συστήματος λήψης, η κακή ή ελαττωματική λειτουργία των αισθητήρων, η ατμόσφαιρα κ.ά. Σκοπός της ραδιομετρικής διόρθωσης της εικόνας είναι να απαλειφθούν ή να ελαττωθούν στον ελάχιστο δυνατό βαθμό οι ασυμβατότητες μεταξύ των ανιχνευτών, οι ελαττωματικές λειτουργίες τους και οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις.

Υπάρχουν δύο τύποι ραδιομετρικής παραμόρφωσης μιας εικόνας οι οποίοι θα πρέπει να διορθωθούν:

1. Η σχετική φωτεινότητα μιας συγκεκριμένης ψηφίδας μπορεί να παραμορφώνεται από διάυλο σε διάυλο, ή από ανιχνευτή σε ανιχνευτή.
2. Η ακτινοβολία σε ένα συγκεκριμένο διάυλο καταγραφής ενδέχεται να είναι διαφορετική από την ακτινοβολία του στόχου στο έδαφος.

Το πρώτο είδος ραδιομετρικής παραμόρφωσης αφορά εικόνες στις οποίες δεν καταγράφονται συγκεκριμένες γραμμές σάρωσης. Τέτοια προβλήματα εμφανίζονται αρκετά συχνά και οφείλονται στα όργανα σάρωσης ή δειγματοληψίας κατά τη διάρκεια μετάδοσης, ή καταγραφής των δεδομένων εικόνας ή κατά την αναπαραγωγή των μαγνητικών μέσων καταγραφής. Το πρόβλημα της ραδιομετρίας έγκειται στο γεγονός ότι κανένας ανιχνευτής σε ένα αισθητήρα δεν λειτουργεί πανομοιότυπα και εντελώς ταυτόχρονα με τους υπόλοιπους. Αν το πρόβλημα της διαφοροποίησης των ανιχνευτών ενός αισθητήρα γίνει αρκετά σοβαρό, τότε παρατηρούνται φαινόμενα απορρύθμισης της καταγραφής μιας γραμμής που συνεπάγεται σε απολεισθείσες γραμμές όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.7, και φαινόμενα λωριδοποίησης (striping) των παραγόμενων εικόνων (Σχήμα 3.8). Το πρόβλημα της λωριδοποίησης εμφανίζεται αρκετά συχνά σε εικόνες που απεικονίζουν υδάτινες μάζες.



Σχήμα 3.9: Αριστερά: Φαινόμενο ‘απολεισθείσας γραμμής’ (Dropped line) στο πάνω μέρος της εικόνας, Δεξιά: Φαινόμενο λωριδοποίησης (Stripping) σε μεγάλο μέρος της εικόνας.

Για την επίλυση των παραπάνω ραδιομετρικών παραμορφώσεων οι ανιχνευτές ρυθμίζονται και βαθμονομούνται εργαστηριακά με σημεία αναφοράς εργαστηριακές πηγές ακτινοβολίας ή φυσικές πηγές γνωστής ανακλαστικότητας. Για την απόλυτη βαθμονόμηση, η σχέση μεταξύ σήματος εισόδου και σήματος εξόδου σε έναν ανιχνευτή προς βαθμονόμηση θεωρείται γραμμική και της μορφής:

$$V_0 = a + bV_i \quad (3.7)$$

Όπου V_i η παρατηρούμενη ανάγνωση στο επίπεδο του γκρί και V_0 η γνωστή ανάγνωση από την πηγή αναφορά. Κάθε ένας από αυτούς τους ανιχνευτές θα διαθέτει δική του συνάρτηση μετασχηματισμού ελαφρώς διαφορετική από των υπόλοιπων ανιχνευτών. Προσδιορίζονται τελικά οι συντελεστές a, b από τις διάφορες μετρήσεις με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Ωστόσο, παρόλο που τα δεδομένα μιας εικόνας μπορεί να έχουν βαθμονομηθεί με την απόλυτη έννοια, μια εικόνα μπορεί να εξακολουθεί να εμφανίζει προβλήματα λόγω της κακής ή ελαττωματικής λειτουργίας των ανιχνευτών (detectors) του συστήματος τους αισθητήρα (sensor) όπως έχει προαναφερθεί. Τέτοια προβλήματα μπορεί να είναι η ύπαρξη καταγεγραμμένων εικόνων που να μην εμφανίζουν συγκεκριμένες γραμμές σάρωσης ή να διαθέτουν εσφαλμένες καταγραφές γραμμών σάρωσης ενός αισθητήρα

και έχουν παρατηρηθεί σε δορυφορικές εικόνες του Landsat 1,2,3 ακόμη και του MSS αλλά και του TM του ίδιου δορυφόρου.

Τότε θα πρέπει να πραγματοποιήσουμε μια σχετική ρύθμιση στους αισθητήρες του συστήματος Τηλεπισκόπησης και για τον σκοπό αυτό υπάρχουν δύο μέθοδοι:

1. Η γραμμική μέθοδος με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση όπου σκοπός είναι να επιτύχουμε οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των καταγεγραμμένων τιμών κάθε ανιχνευτή ενός αισθητήρα να είναι ίδιες ή παρόμοιες.
2. Η μέθοδος των ιστογραμμάτων της εικόνας που εξασφαλίζει ότι τα ιστογράμματα των ψηφιακών τιμών για κάθε ανιχνευτή ενός αισθητήρα θα είναι τα ίδια.

Το δεύτερο είδος της παραμόρφωσης προέρχεται κυρίως από την παρουσία της ατμόσφαιρας, που ως μέσο διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας δημιουργεί τέτοιες ραδιομετρικές παραμορφώσεις. Οι ραδιομετρικές παραμορφώσεις εξαιτίας της ατμόσφαιρας διορθώνονται με μαθηματικά μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη τους όλα τα παραπάνω φαινόμενα

3.2.2 Ενίσχυση-Βελτίωση εικόνας

Σκοπός της βελτίωσης της εικόνας (image enhancement) είναι να βελτιώσει τον οπτικό τρόπο παρουσίασης της, με την αύξηση της διάκρισης μεταξύ των διαφόρων στοιχείων που υπάρχουν στην εικόνα. Σκοπεύει δηλαδή στον τονισμό επιλεγμένων λεπτομερειών της εικόνας, όπως για παράδειγμα διαφορές στην βλάστηση ή στο έδαφος, ώστε να επιτευχθεί ταχύτερη και ακριβέστερη ερμηνεία σε σχέση με την αρχική εικόνα.

Σύμφωνα με τον Συλλαίο (2007) οι περισσότερες τεχνικές βελτιστοποίησης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες, οι οποίες είναι οι *τεχνικές σημείου* και οι *τοπικές τεχνικές*. Οι πρώτες τροποποιούν τις τιμές φωτεινότητας σε κάθε εικονοστοιχείο μιας εικόνας ανεξάρτητα από τα άλλα εικονοστοιχεία. Σε αντίθεση με τις τεχνικές σημείου, οι τοπικές τεχνικές τροποποιούν την τιμή του κάθε εικονοστοιχείου, με βάση τις τιμές των γειτονικών εικονοστοιχείων. Και οι δύο κατηγορίες τεχνικών βελτιστοποιήσεων εφαρμόζονται συνήθως μετά την οποιαδήποτε διόρθωση της εικόνας, ιδιαίτερα μετά την εξάλειψη τυχόν θορύβου στην εικόνα.

Ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο αλγόριθμο και φιλοσοφία που τις διέπει, οι τεχνικές βελτίωσης ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Διαχείριση αντίθεσης (Contrast manipulation)

- Οριοθέτηση επιπέδου γκρι τόνου (Graylevel thresholding)
- Καταμερισμός τόνου (Level slicing)
- Διεύρυνση αντίθεσης (Contrast stretching)

2. Διαχείριση χωρικών στοιχείων (Spatial feature manipulation)

- Χωρικό φιλτράρισμα (Spatial filtering)
- Τονισμός ορίων (Edge enhancement)
- Ανάλυση Fourier

3. Διαχείριση πολλαπλών εικόνων (Multi-image manipulation)

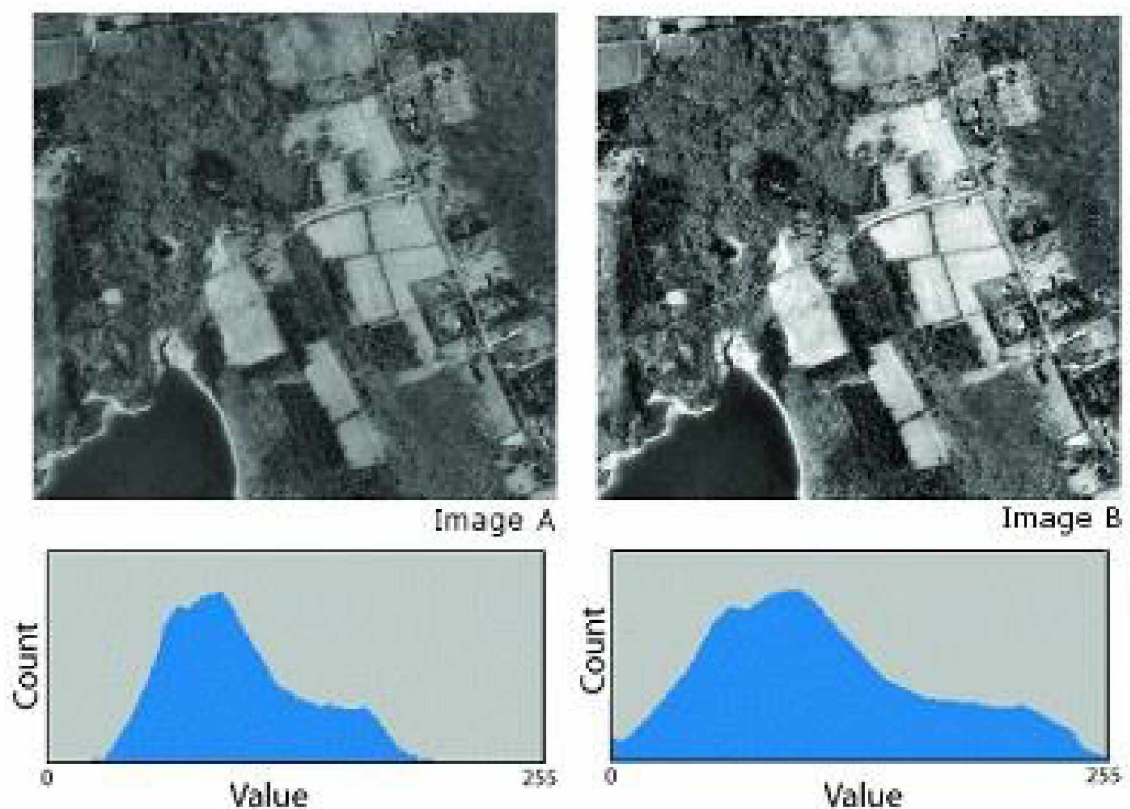
- Πολυφασματικός λόγος και πολυφασματική διαφορά (Multispectral band rationing and differencing)
- Ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal Component Analysis)
- Δείκτες βλάστησης (Vegetation indices)
- Μετασχηματισμοί HIS – απόχρωσης (Hue), έντασης (Intensity) και κορεσμού (Saturation)

Βελτίωση της αντίθεσης με το ιστόγραμμα

Το ανθρώπινο μάτι πρακτικά μπορεί να διακρίνει αρκετά καλά μέχρι 64 επίπεδα διακύμανσης της κλίμακας του γκρι σε μια εικόνα. Όταν το ιστόγραμμα μιας εικόνας (π.χ. 8 bit \rightarrow 256 διαβαθμίσεις του γκρι (DN's)) είναι συγκεκριμένο με μικρό εύρος τιμών σε χαμηλές τιμές φωτεινότητας (0-70 \rightarrow σκούρα εικόνα), ή σε υψηλές (200-255 \rightarrow φωτεινή εικόνα) οι αντιθέσεις στην εικόνα είναι πολύ μικρές και οι διαφορές αρκετά δυσδιάκριτες. Ο αναλυτής λοιπόν καλείται να εφαρμόσει τεχνικές διόρθωσης του ιστογράμματος ούτως ώστε να βελτιωθούν οι αντιθέσεις της (Contrast enhancement). Αυτό επιτυγχάνεται με την αλλαγή του αρχικού εύρους της διακύμανσης των τιμών $x = DN$ σε κάποιο άλλο είτε με διάταση (Histogram stretching) είτε με σύμπτυξη (Histogram compression) τους ιστογράμματός της.

Ειδικότερα, η διάταση του ιστογράμματος περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των χαμηλότερων και ανώτερων ορίων από το ιστόγραμμα και την εφαρμογή ενός

μετασχηματισμού ώστε να ‘τεντωθεί’ το αρχικό εύρος για να καλύψει όλες τις τιμές φωτεινότητας (0-255). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που παραθέτει στον ιστότοπό της η εταιρεία ESRI, ευρέως γνωστή για την ανάπτυξη του λογισμικού χωρικής ανάλυσης ArcGis, φαίνεται στο Σχήμα 3.8. Το ιστόγραμμα Α αντιπροσωπεύει τις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων της εικόνας Α και το ιστόγραμμα Β τις αντίστοιχες τιμές της εικόνας Β. Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζει μια γραμμική διάταση βασισμένη στις ελάχιστες και μέγιστες τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων της εικόνας, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως άκρα του ιστογράμματος. Για παράδειγμα στην πιο κάτω εικόνα με ραδιομετρική διακριτική ικανότητα 8-bit, η ελάχιστη τιμή φωτεινότητας εικονοστοιχείων είναι 33 και η μέγιστη 206. Έτσι, η γραμμική αυτή διάταση χρησιμοποιείται για να κατανέμει τις τιμές σε όλο το εύρος του ιστογράμματος από 0 μέχρι 255. Αυτό ενισχύει την αντίθεση της εικόνας με τις φωτεινές περιοχές να εμφανίζονται φωτεινότερες και αντιστοίχως τις σκοτεινές περιοχές να εμφανίζονται σκοτεινότερες, καθιστώντας την οπτική ερμηνεία της εικόνας πολύ ευκολότερη.



Σχήμα 3.10: Βελτίωση της αντίθεσης της εικόνας με την μέθοδο διάτασης του ιστογράμματος της (Histogram Stretching)

Και οι δύο διαδικασίες της διάταξης και της σύμπτυξης του εύρους διακύμανσης των τιμών του επιπέδου του γκρί στο ιστόγραμμα της εικόνας, μπορούν να επιτευχθούν είτε με γραμμικούς είτε με μη γραμμικούς μετασχηματισμούς οι οποίοι ωστόσο διατηρούν τη διάταξη των τιμών των εικονοστοιχείων και είναι πάντοτε αντιστρέψιμοι αφού από της ήδη υπάρχουσες αρχικές τιμές $x=DN$ δημιουργείται μια νέα τιμή $y=GL$ του επιπέδου του γκρί η οποία δεν προκύπτει από τις γειτονικές ψηφίδες για αυτό και οι τεχνικές αυτές αποτελούν τεχνικές σημειακής επεξεργασίας της εικόνας.

Για την γραμμική διόρθωση εφαρμόζεται ο γραμμικός μετασχηματισμός:

$$y = ax + b \quad (3.8)$$

όπου x οι αρχικές τιμές της φωτεινότητας και y οι επιθυμητές τελικές τιμές. Το τροποποιημένο τελικό ιστόγραμμα δίνεται από τη σχέση της μορφής:

$$f_Y(y) = \frac{1}{a} f_X\left(\frac{y-b}{a}\right) \quad (3.9)$$

Για παράδειγμα στην εικόνα του σχήματος 3.8 οι αρχικές τιμές κυμαίνονται από:

$$33 < x < 206 \quad (3.10)$$

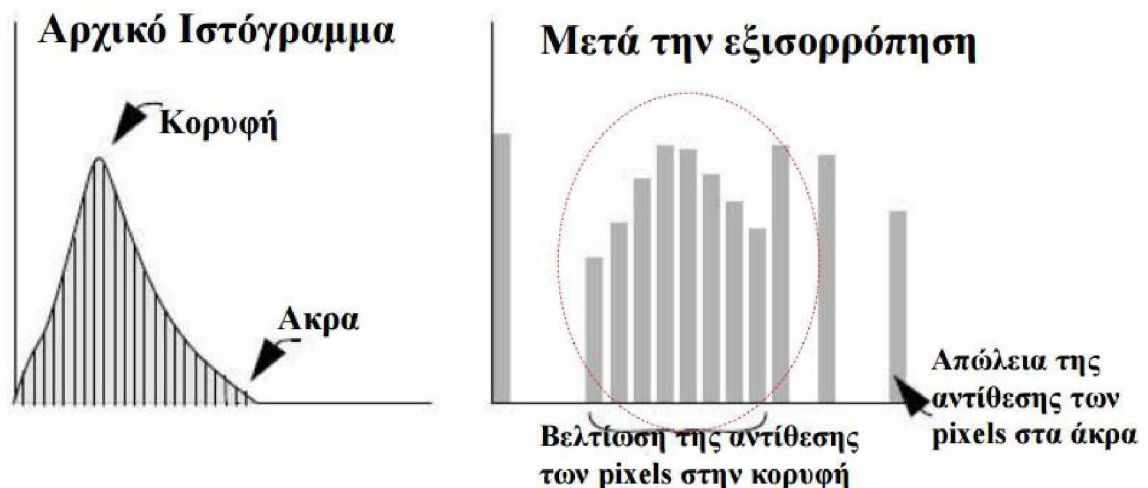
και με τη βοήθεια της σχέσης (3.8) προκύπτει:

$$33a + b < y < 206a + b \quad (3.11)$$

Με την εφαρμογή της τεχνικής του τετνώματος του ιστογράμματος και την απαίτηση των καινούριων ορίων να κυμαίνονται από 0 έως 255 προσδιορίζονται τα a, b με τη λύση του συστήματος. Τέλος, από τη σχέση (3.8) προσδιορίζονται οι νέες τιμές y της φωτεινότητας από τις αρχικές τιμές x . Αν η εφαρμογή τα απαιτεί η ίδια διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί με μη γραμμικές σχέσεις, όπως για παράδειγμα λογαριθμικές ή εκθετικές εκφράσεις.

Πέρα από τις γραμμικές και μη γραμμικές διορθώσεις, μια τεχνική που επίσης χρησιμοποιείται για τον συγκεκριμένο σκοπό είναι η *εξίσορρόπηση ιστογράμματος* (Histogram Equalization, η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 3.9, αποστολή της οποίας είναι να μετατρέψει το αρχικό σχήμα $F_X(x)$ του ιστογράμματος μιας εικόνας σε κάποιο άλλο $F_Y(y)$ μιας ομοιόμορφης κατανομής που διαθέτει την ίδια συχνότητα εμφάνισης για κάθε ψηφιακή τιμή του επιπέδου του γκρί. Αυτό επιτυγχάνεται με την εξίσου

κατανομή του αθροιστικού ιστογράμματος $F_x(x)$ της αρχικής εικόνας σε 255 τμήματα (κυψέλες), όταν φυσικά η κλίμακα είναι από 0 έως 255. Κάθε κυψέλη θα αντιστοιχεί σε ένα ψηφιακό αριθμό $y = GL$ στη διορθωμένη για την αντίθεση εικόνα (Μερτίκας 1999). Η διαδικασία της εξίσωσης του ιστογράμματος μπορεί να θεωρηθεί ως ταίριασμα δύο ιστογραμμάτων. Αυτή η διαδικασία είναι χρήσιμη επίσης επειδή αποτελεί τμήμα της διαδικασίας της υπέρθεσης εικόνων (fusion) από διαφορετικούς αισθητήρες.



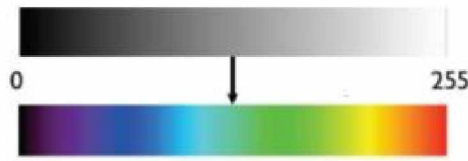
Σχήμα 3.11: Βελτίωση της αντίθεσης της εικόνας με την μέθοδο της Εξισορρόπησης Ιστογράμματος

Κατάτμηση του ιστογράμματος εικόνας

Στην τεχνική της *κατάτμησης του ιστογράμματος της εικόνας* (density slicing), ομάδες ψηφίδων συγκεκριμένου εύρους τιμών της κλίμακας του γκρι αντιστοιχίζονται σε μια και μοναδική τιμή του γκρι. Όπως είναι λογικό, με την τεχνική αυτή κάποιες λεπτομέρειες της εικόνας χάνονται, παρόλα αυτά όμως η επίδραση του θορύβου της εικόνας ελαττώνεται σε αρκετά μεγάλο βαθμό. Έτσι η εικόνα μπορεί να διαμεριστεί σε τμήματα παρόμοιων τιμών του επιπέδου του γκρι, κάθε ένα από τα οποία αντιπροσωπεύεται από μια συγκεκριμένη τιμή φωτεινότητας.

Εάν επιθυμούμε να αποδώσουμε κάποιο χρώμα, αντί τις διάφορες αποχρώσεις του γκρι στην εικόνα μας, μπορούμε να πράξουμε. Η μέθοδος τότε ονομάζεται ψευδοχρωματισμός (pseudo-colouring) και χρησιμοποιείται ξεκινώντας από το μαύρο,

στο βαθύ ιώδες, μέσο ιώδες, πράσινο κοκ. για την απόδοση χρώματος στην ασπρόμαυρη εικόνα (Σχήμα 3.10).



Σχήμα 3.12: Μέθοδος του ψευδοχρωματισμού κατά την διαδικασία κατάτμησης του ιστογράμματος της εικόνας

Φίλτρα επεξεργασίας εικόνων

Το φιλτράρισμα της εικόνας έχει ως σκοπό την οπτική βελτίωση της εικόνας, σχετικά με την χωρική διαχωριστική της ικανότητα (Spatial scale information). Με τη μέθοδο αυτή, τονίζονται κάποιες φασματικές πληροφορίες της εικόνας οπότε η διαδικασία αυτή της βελτίωσης της εικόνας μπορεί να ταξινομηθεί κάτω από τις τεχνικές της ενίσχυσης εικόνων (Image enhancement).

Όλες οι διαδικασίες/λειτουργίες φιλτραρίσματος των εικόνων είναι τυπικά τοπικές μέθοδοι στις οποίες οι φωτεινότητες (τιμές DN) των γειτονικών ψηφίδων παίζουν τον ρόλο τους. Οι μέθοδοι φιλτραρίσματος των εικόνων ανήκουν σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Χωρικό Φιλτράρισμα (Spatial Domain Filtering)
2. Φιλτράρισμα συχνοτήτων (Frequency Domain Filtering) ή φίλτρα Fourier

Το χωρικό φιλτράρισμα γίνεται με τη χρήση παραθύρων ή μασκών και εφαρμόζεται μέχρι σήμερα, στην ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων κυρίως γιατί το φιλτράρισμα είναι απλό και χρειάζεται λίγους υπολογισμούς αλλά και για τον λόγο ότι συμβαδίζει με τις απαιτήσεις της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων του τύπου Landsat MSS και TM.

Αν λοιπόν τοποθετήσουμε τις τιμές φωτεινότητας (διαβαθμίσεις του γκρι/τιμές DN) μιας εικόνας στο νέο προφίλ από το ένα άκρο μέχρι το άλλο, θα δούμε ότι το προφίλ αποτελείται από ένα πολύπλοκο συνδυασμό ημιτονοειδών κυμάτων. Αυτό μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα: α) Στις διακυμάνσεις υψηλής συχνότητας και β) στις διακυμάνσεις χαμηλής συχνότητας. Εδώ η συχνότητα δείχνει τον ρυθμό (rate) διακύμανσης στις τιμές DN. Διακυμάνσεις υψηλής συχνότητας ανταποκρίνονται σε

τοπικές αλλαγές π.χ από ψηφίδα σε ψηφίδα και διακυμάνσεις χαμηλής συχνότητας συνεπάγονται γενικότερες αλλαγές π.χ. από ένα τμήμα της εικόνας σε ένα άλλο. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν δύο είδη τεχνικών φιλτραρίσματος για να ενισχυθεί και να τονιστεί ένας τύπος πληροφορίας πάνω από κάποιον άλλο:

1. *Τα φίλτρα διέλευσης υψηλών συχνοτήτων (High Pass Filtering)*
2. *Τα φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων (Low Pass Filtering)*

Και οι δύο τύποι φίλτρων (υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων) μπορούν να εφαρμοστούν μέσω του χωρικού φιλτραρίσματος και μέσω του φιλτραρίσματος συχνοτήτων.

Το χωρικό φιλτράρισμα γίνεται με τη χρήση ‘μασκών πυρήνων’ (Kernels), οι οποίες καλούνται boxes ή filter weight matrices. Μια μάσκα (kernel) αποτελείται από ένα πίνακα συντελεστών (arrays of coefficients). Για να υπολογισθούν οι νέες τιμές DN, φανταζόμαστε ότι το kernel και οι τιμές DN προκύπτουν αποδίδονται στο κεντρικό εικονοστοιχείο στην νέα εικόνα. Η μάσκα μετακινείται προς τα πάνω από όλες τις ψηφίδες, σε γραμμές και στήλες, οπότε υπολογίζεται ο πίνακας των νέων τιμών DN όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.11.

Τα πιο κοινά μεγέθη μασκών είναι 3x3, 5x5 και 7x7. Δεν υπάρχουν προκαθορισμένα μεγέθη μασκών τα οποία θα μας δώσουν τα καλύτερα αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις ερευνών. Χρησιμοποιούνται μεγέθη μασκών μονών αριθμών έτσι ώστε το κεντρικό εικονοστοιχείο να ζυγίζεται από κάθε πλευρά. Ανισότροπα kernels προκαλούν κατευθυνόμενες επιδράσεις και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση (βελτίωση) των γραμμικών χαρακτηριστικών μιας εικόνας σε συγκεκριμένη, επιθυμητή διεύθυνση.

12	61	123
44	110	99
26	32	142

-1	-1	-1
-1	16	-1
-1	-1	-1

12	61	123
44	152	99
26	32	142

$$\frac{(-1)*12 + (-1)*61 + (-1)*123 + (-1)*44 + 16*110 + (-1)*99 + (-1)*26 + (-1)*32 + (-1)*142}{(-1) + (-1) + (-1) + (-1) + 16 + (-1) + (-1) + (-1) + (-1)} = 152,625 \Rightarrow 152$$

Σχήμα 3.13: Μάσκα φίλτρου διέλευσης υψηλών συχνοτήτων (για ενίσχυση ακμών της εικόνας)

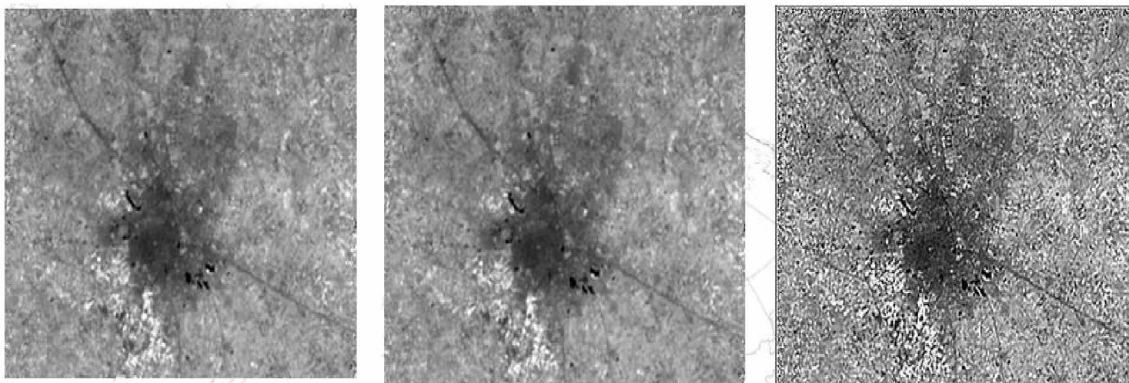
12	61	123
44	110	99
26	32	142

1	1	1
1	1	1
1	1	1

12	61	123
44	72	99
26	32	142

$$\frac{1*12 + 1*61 + 1*123 + 1*44 + 1*110 + 1*99 + 1*26 + 1*32 + 1*142}{1+1+1+1+1+1+1+1+1} = 72,111 \Rightarrow 72$$

Σχήμα 3.14: Μάσκα φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων (για εξομάλυνση της εικόνας)



Σχήμα 3.15: Δορυφορική εικόνα Landsat ETM στο κανάλι 4 της ευρύτερης περιοχής της πόλης Aligarh. **Αριστερά:** αρχική εικόνα, **Κέντρο:** Η εφαρμογή του φίλτρου χαμηλών συχνοτήτων τείνει να γενικεύει την εικόνα, **Δεξιά:** Η εφαρμογή του φίλτρου υψηλών συχνοτήτων τονίζει τις λεπτομέρειες της εικόνας

Φιλτράρισμα υψηλών συχνοτήτων ή ενίσχυση ακμών μιας εικόνας (Edge enhancement)

Στις τηλεπισκοπικές εικόνες η σημαντικότερη πληροφορία η οποία μας βοηθάει να ξεχωρίσουμε γειτονικά αντικείμενα σε μια εικόνα, βρίσκεται στα όρια ή τις ακμές (edges) της εικόνας, οι οποίες οφείλονται στις μεταβολές της υψηλής συχνότητας. 'Ακμή εικόνας' είναι μια ασυνέχεια ή μια απότομη μεταβολή στην κλίμακα του τεφρού χρώματος (DN) σε κάποια ψηφίδα ή ομάδα ψηφίδων που πιθανόν να παρουσιάζει ενδιαφέρον, όπως π.χ. για τον εντοπισμό ορίων γεωλογικών ενοτήτων, τον εντοπισμό ρηγμάτων στα πετρώματα, τον εντοπισμό κλάδων στο υδρογραφικό δίκτυο κ.ά. (Αστάρης 2010). Οι ακμές επηρεάζονται από τα διάφορα χαρακτηριστικά του αναγλύφου, τη βλάστηση, τις συνθήκες φωτισμού κλπ. Έτσι, η ενίσχυση των ακμών είναι μια διαδικασία όξυνσης, όπου τα όρια των αντικειμένων ενισχύονται οπτικά.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι φιλτραρίσματος οι οποίοι τονίζουν τα όρια στις ψηφιακές εικόνες οι σπουδαιότερες των οποίων είναι:

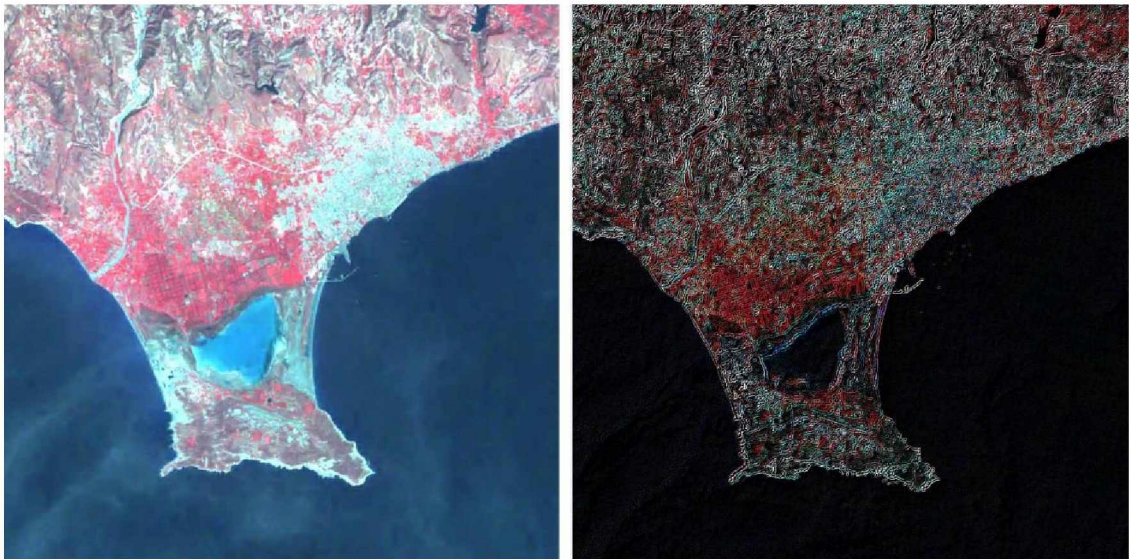
- *Κλίση της εικόνας (Gradient Image)*

Κλίση της εικόνας (ή τελεστής κλίσης) αποτελεί η πρώτη παράγωγος ή το πρώτο διαφορικό (difference). Η κλίση της εικόνας λαμβάνεται από την εύρεση της αλλαγής των τιμών DN σε δύο διαδοχικές ψηφίδες συγκεκριμένης διεύθυνσεως. Η διαδικασία αυτή κάθε αυτή είναι να αφαιρεθεί η τιμή DN της μιας ψηφίδας από την τιμή DN της επόμενης ψηφίδας.

Η παράγωγος στην εικόνα μετριέται σε δύο διευθύνσεις, μια σε σχέση με τον άξονα X και μια σε σχέση με τον άξονα Y. Η ολική παράγωγος είναι η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος δύο παραγώγων. Η πρώτη παράγωγος (κλίση της εικόνας) μπορεί να μας δώσει την δυνατότητα να αναγνωρίσουμε τμήματα μιας εικόνας υψηλών συχνοτήτων, όπως για παράδειγμα τις ακμές ή της γραμμώσεις της εικόνας. Γενικά η μέθοδος 'ενίσχυσης των ακμών', όταν χρησιμοποιηθεί σε διεύθυνση προς τις γραμμές σάρωσης, δεν μας δίνει καλά αποτελέσματα, λόγω της πιθανής ζωνοποίησης της εικόνας. Καλύτερα αποτελέσματα εξάγονται όταν χρησιμοποιείται σε διευθύνσεις κάθετες προς τις γραμμές σάρωσης.

- *Λαπλασιανή εικόνα (Laplacian Image)*

Η λαπλασιανή ενίσχυση επιτυγχάνεται με την δεύτερη παράγωγο (δεύτερο διαφορικό) π.χ. στο βαθμό αλλαγής (rate of change). Ουσιαστικά σε αυτήν επιτυγχάνεται ο υπολογισμός των τελεστών σε σχέση με τις δύο γειτονικές ψηφίδες, στις δύο πλευρές, στις γραμμές και τις στήλες.



Σχήμα 3.16: Εφαρμογή της μεθόδου ενίσχυσης των ακμών με την τεχνική της Λαπλασιανής εικόνας σε δορυφορική εικόνα Landsat 5 TM που αφορά την περιοχή της Λεμεσού, Κύπρος. Όπως φαίνεται πιο πάνω, η φιλτραρισμένη εικόνα (δεξιά) παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίθεση μεταξύ των ψηφίδων σε σύγκριση με την αρχική εικόνα (αριστερά)

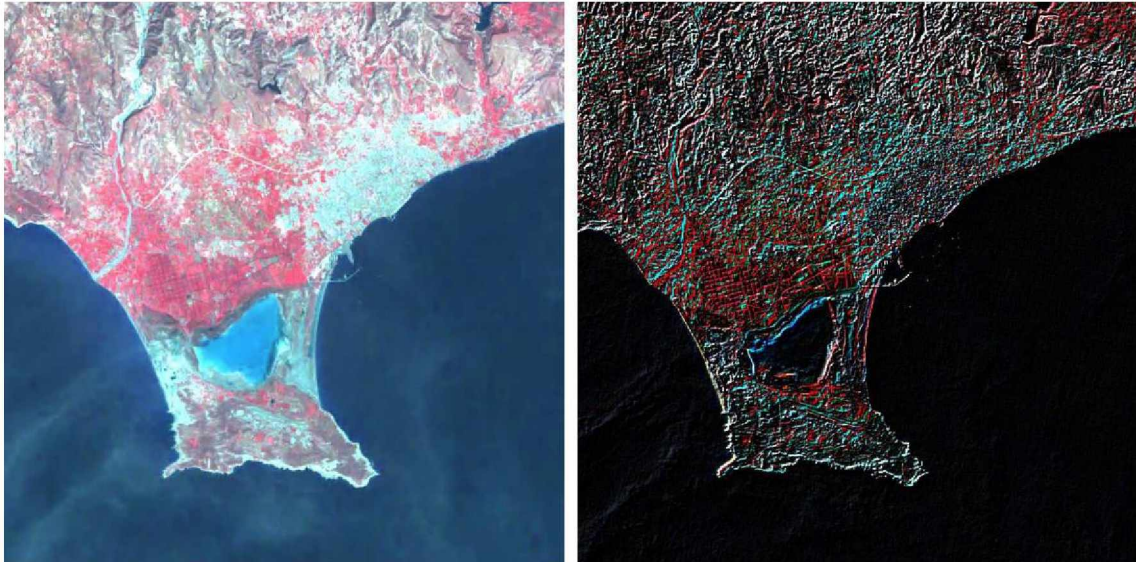
- *Αφαίρεση εικόνας χαμηλής συχνότητας (Low frequency image subtraction)*

Με τη μέθοδο αφαίρεσης εικόνας χαμηλής συχνότητας, μπορούν να ληφθούν πληροφορίες υψηλής συχνότητας σε μια εικόνα, με την αφαίρεση μιας εικόνας χαμηλής συχνότητας από την αρχική μας εικόνα.

- *Εικόνα διαγώνιων ορίων (Diagonal edge image)*

Τα διαγώνια όρια (ακμές) μπορούν να ενισχυθούν με τον υπολογισμό διαφόρων ψηφίδων κατά μήκος των διαγωνίων, σε μια εικόνα. Η εικόνα μπορεί να παράγεται παρατηρούμενη από αριστερά (NA παρατήρηση) ή παρατηρούμενη από δεξιά (ΒΔ παρατήρηση). Με αυτό τον τρόπο όρια με ΒΔ-ΝΑ ή ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση, μπορούν να βελτιωθούν οπτικά.\

Εκτός από τα φίλτρα που έχουν περιγραφεί πιο πάνω, υπάρχουν και άλλα μη γραμμικά φίλτρα (όπως για παράδειγμα τα Sobel, Kirsch κ.ά.), τα οποία εφαρμόζονται σε διάφορους τομείς έρευνας με επιτυχία.



Σχήμα 3.17: Εφαρμογή της μεθόδου ενίσχυσης των ακμών με την τεχνική της εικόνας διαγώνιων ορίων σε δορυφορική εικόνα Landsat 5 TM που αφορά την περιοχή της Λεμεσού, Κύπρος.

Φιλτράρισμα χαμηλών συχνοτήτων ή εξομάλυνση εικόνας (Image smoothing)

Ο κύριος σκοπός της εξομάλυνσης μιας εικόνας είναι να ενισχύσει τις χαμηλές συχνοτήτες. Στην πράξη η ‘εξομάλυνση της εικόνας’ είναι το αντίστροφο από την ‘ενίσχυση ακμών της εικόνας’. Για την εξομάλυνση της εικόνας χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά φίλτρα, όπως ‘φίλτρα μετακινούμενων μέσων τιμών’ και ‘φίλτρα διαμέσου τιμής’. Επειδή η εξομάλυνση της εικόνας υποβαθμίζει τις τοπικές διαφορές (στα γήινα επηφανειακά χαρακτηριστικά) είναι ειδικά χρήσιμη στους ερευνητές που αποσκοπούν στη μελέτη της κατανομής διαφόρων γεωλογικών δομών, που εκτείνονται σε μεγάλες περιοχές.

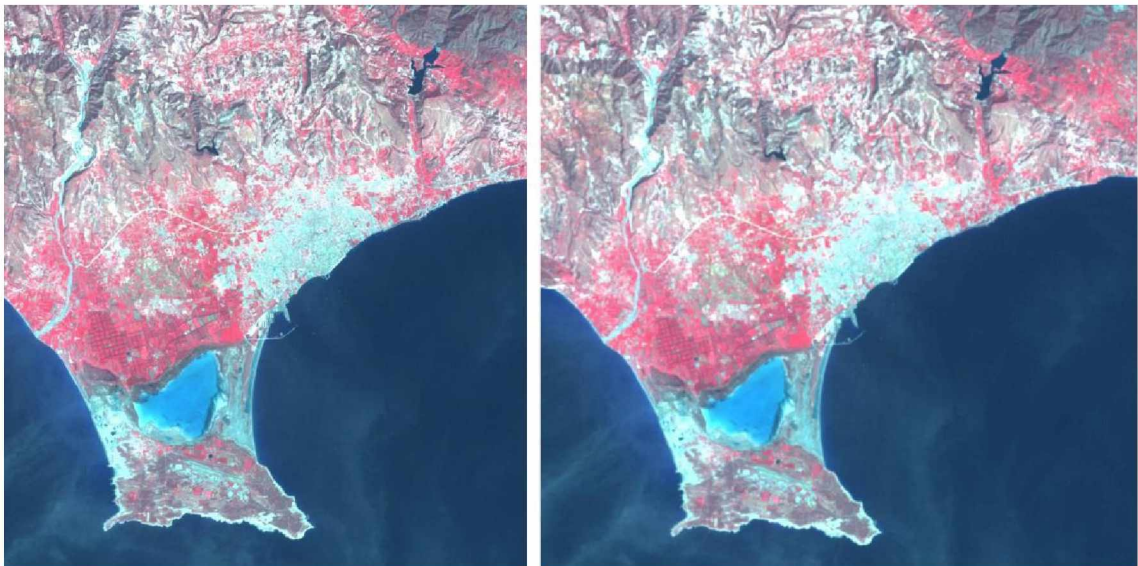
Έστω ένα φίλτρο (3x3) μετακινούμενων μέσων τιμών για μια γειτονιά ψηφίδων, τότε αυτό θα έχει την μορφή:

$$R(i, j) = \frac{1}{9} \left[\sum_{m=i-1}^{m=i+1} \sum_{n=j-1}^{n=j+1} z(m, n) \right] \quad (3.12)$$

Στα φίλτρα μέσων τιμών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν μάσκες μεγαλύτερων διαστάσεων, όπως (5x5) και (7x7) και με διαφορετικά βάρη για μια γειτονιά ψηφίδων.

Στο φίλτρο της *διαμέσου τιμής* το επίπεδο του γκρι κάθε ψηφίδας αντικαθίσταται από τη διάμεσο τιμή μιας γειτονιάς ψηφίδων που περιβάλλει την υπό αντικατάσταση ψηφίδα. Η διάμεσος τιμή m ενός συνόλου τιμών είναι τέτοια ώστε οι μισές από τις τιμές του συνόλου να είναι μικρότερες από m και οι υπόλοιπες μισές μεγαλύτερες από m .

Για να επιτευχθεί αυτό το φίλτρο διατάσσει τις τιμές κατά αύξουσα ή φθίνουσα σειρά, προσδιορίζει τη διάμεσο τιμή και κατόπιν αντικαθιστά την τιμή της κεντρικής ψηφίδας με τη διάμεσο. Το φίλτρο της διαμέσου τιμής δεν τροποποιεί τις τιμές του γκρι της εικόνας, επειδή η διάμεσος τιμή ενός συνόλου αριθμών είναι πάντα ίση με μια από τις τιμές του συνόλου.



Σχήμα 3.18: Εφαρμογή της μεθόδου εξομάλυνσης της εικόνας με την τεχνική της διαμέσου τιμής σε δορυφορική εικόνα Landsat 5 TM που αφορά την περιοχή της Λεμεσού, Κύπρος.

Οι μετασχηματισμοί της εικόνας

Οι μετασχηματισμοί της εικόνας γίνονται κυρίως σε πολυφασματικές εικόνες και επιτρέπουν την δημιουργία νέων εικόνων ή νέων διαύλων (κανάλια). Η μετασχηματισμένη εικόνα είναι δυνατό να έχει καλύτερες ιδιότητες και μερικά

χαρακτηριστικά της πιο ευδιάκριτα, ακόμη και όταν χρησιμοποιείται μικρότερο αριθμός διαστάσεων (καναλιών).

Οι μετασχηματισμοί αυτοί επιτυγχάνονται συνήθως με απλές αριθμητικές πράξεις πρόσθεσης, αφαίρεσης και διαίρεσης στις τιμές του z του επιπέδου του γκρι των ψηφίδων ή ακόμη και στις τιμές της φασματικής ανακλαστικότητας SR (Spectral Reflectance) μεταξύ των διαφόρων καναλιών.

Ο λόγος:

$$R(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^p a_k z_k}{\sum_{k=1}^p b_k z_k} \quad (3.13)$$

είναι ο λόγος των τιμών των ψηφίδων στη θέση (i, j) , όπου a και b οι σταθερές και p είναι ο αριθμός των φασματικών ζωνών (διαύλων). Τέτοιοι λόγοι χρησιμοποιούνται ευρέως για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας της βλάστησης χρησιμοποιώντας τις φασματικές ζώνες στο ορατό $R(\text{Red})$, G (Green), B (Blue) καθώς και το εγγύς υπέρυθρο (NIR, Near infrared). Ένας συνηθισμένος λόγος είναι ο R_v :

$$R_v = \frac{z(\text{NIR})}{z(\text{R})} \quad (3.14)$$

ο οποίος ονομάζεται *δείκτης βλάστησης* (vegetation index) όπου η τιμή φωτεινότητας κάθε ψηφίδας προκύπτει από την διαίρεση της τιμής z στο εγγύς υπέρυθρο $z(\text{NIR})$ δια την τιμή στη ζώνη του ερυθρού $z(\text{R})$. Ο συγκεκριμένος λόγος τείνει να βελτιώνει την εμφάνιση της βλάστησης στην εικόνα. Αν δημιουργηθεί ο παραπάνω λόγος όχι με τις τιμές z του επιπέδου του γκρι, αλλά με τις φασματικές ανακλαστικότητες τότε προκύπτει ο λόγος:

$$R_v = \frac{SR(\text{NIR})}{SR(\text{R})} \quad (3.15)$$

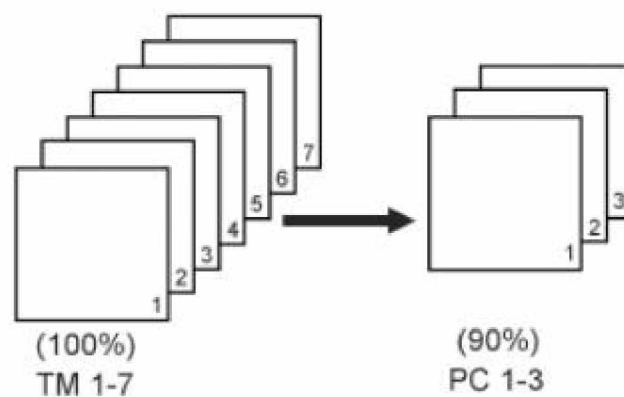
Για μια υγιή βλάστηση η διαφορά της φασματικής ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο (NIR) και στο ερυθρό (R) είναι αρκετά ψηλή ενώ για ασθενή βλάστηση η διαφορά είναι μικρότερη. Επομένως μπορεί να διακριθεί η κατάσταση υγείας μεταξύ δύο τύπων βλάστησης από την σύγκριση των λόγων R_{v1} , R_{v2} . Διάφοροι άλλοι δείκτες έχουν δημιουργηθεί για τον χαρακτηρισμό της βλάστησης, με τον *κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης* (Normalize Difference Vegetation Index, NDVI) να χρησιμοποιείται

εκτενώς για την παρακολούθηση της βλάστησης σε παγκόσμια κλίμακα με δεδομένα AVHRR:

$$NDVI = \frac{z(NIR) - z(R)}{z(NIR) + z(R)} \quad (3.16)$$

Ένας σημαντικός μετασχηματισμός που εφαρμόζεται σε πολυφασματικά δεδομένα είναι ο μετασχηματισμός των κύριων συνιστώσων (Principal Component).

Ας υποθεθεί ότι μια εικόνα από τον θεματικό χαρτογράφο TM του Landsat με 7 φασματικές ζώνες καταγραφής δημιουργεί ένα πολυφασματικό χώρο ($p=7$) επτά διαστάσεων. Μερικές φασματικές ζώνες συνήθως συσχετίζονται και παρέχουν παρόμοιες πληροφορίες γιατί έχουν παρόμοιες ανακλαστικότητες για παρόμοια εδάφη. Ο μετασχηματισμός των κύριων συνιστώσων έχει ως σκοπό να ελαττώσει τις διαστάσεις των δεδομένων και να συμπίεσει τις πληροφορίες σε λιγότερες φασματικές ζώνες, στις οποίες τα δεδομένα τα οποία προκύπτουν να είναι στατιστικών ασυσχέτιστα. Αυτές οι νέες ζώνες καλούνται κύριες συνιστώσες και περιέχουν μεγάλο ποσοστό των αρχικών δεδομένων. Στο παράδειγμα του θεματικού χαρτογράφου του Landsat ο μετασχηματισμός των κύριων συνιστώσων συμπίεζει τα δεδομένα που περιέχονται στις 7 φασματικές ζώνες σε 3 κύριες συνιστώσες οι οποίες περιέχουν το 90% των αρχικών πληροφοριών (Σχήμα 3.17).



Σχήμα 3.19: Σχηματική αναπαράσταση του μετασχηματισμού κύριων συνιστωσών σε δορυφορική εικόνα Landsat TM

Τέλος, μια σημαντική διαδικασία στους μετασχηματισμούς της εικόνας είναι η διαδικασία της *υπέρθεσης εικόνων από διαφορετικούς αισθητήρες* (Multi sensor data fusion). Ένα πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της τεχνικής είναι ο συνδυασμός

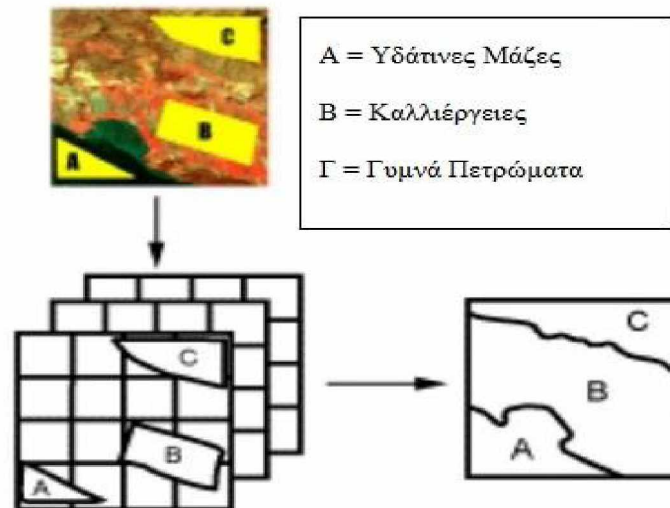
πολυφασματικών οπτικών δεδομένων με δεδομένα από εικονοληπτικό Radar. Η εικόνα που προκύπτει, εκμεταλλευόμενη το πλεονέκτημα της καλής χωρικής διαχωριστικής ικανότητας του αισθητήρα του Radar καθώς και της καλής φασματικής χωρικής διακριτικής ικανότητας του οπτικού αισθητήρα, περιέχει σημαντικές πληροφορίες που από μόνες τους οι αρχικές εικόνες δεν μπορούν να εμφανίσουν.

3.2.3 Ταξινόμηση

Γενικότερα η μέθοδος της ταξινόμησης αφορά τον διαχωρισμό αντικειμένων και την καταχώρησή τους σε δύο ή περισσότερες ομάδες ή *θεματικές τάξεις*. Πρώτιστα, στοχεύει στην περιγραφή της ‘διαφοροποίησης’ των αντικειμένων ενώ κατά δεύτερον στην επιλογή ενός ‘κανόνα’ (κατάλληλου αλγόριθμου) ώστε να διαχωριστούν τα αντικείμενα σε δύο ή περισσότερες ομοειδείς τάξεις.

Η *ταξινόμηση ψηφιακής εικόνας*, σύμφωνα με τον Μερτίκα (1999), είναι η διαδικασία αντιστοίχισης ή τοποθέτησης των χαρακτηριστικών³ των εικονοστοιχείων σε ομάδες που παρουσιάζουν την ίδια μορφή, τις ίδιες περίπου δηλαδή ιδιότητες. Οι ομάδες αυτές έχουν φυσική σημασία και μπορεί να είναι υδάτινες μάζες, καλλιέργειες, γυμνά πετρώματα κ.λπ. όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.18. Ένα αρκετά κατατοπιστικό παράδειγμα ταξινόμησης που μπορούμε να αναφέρουμε για να γίνει η διαδικασία αυτή πιο κατανοητή είναι οι χάρτες χρήσεων/καλύψεων γης όπου η επιφάνεια της γης χωρίζεται σε διάφορες κατηγορίες.

³ Με τον όρο χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων εννοούμε την χωρική τους θέση και την ραδιομετρική τους τιμή, δηλαδή το ποσοστό ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 3.20: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της φασματικής ταξινόμησης

Ο απλούστερος τρόπος για την ταξινόμηση μιας εικόνας είναι να εξεταστεί κάθε εικονοστοιχείο ξεχωριστά και να τοποθετηθεί σε μια ομάδα ανάλογα με τις τιμές της φωτεινότητας που μετρήθηκαν σε διαφορετικές φασματικές ζώνες (κανάλια). Έτσι δημιουργούνται τάξεις εικονοστοιχείων που είναι ομοιόμορφες σε σχέση με τις φασματικές τους τιμές. Είτε με τον προαναφερθέντα τρόπο είτε με οποιοδήποτε άλλο τρόπο, για την διαδικασία της ταξινόμησης χρησιμοποιούνται οι *ταξινομητές* (classifiers), δηλαδή αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί για την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων. Όπως αναφέρει ο Καρτέρης (1994), υπάρχουν δύο είδη ταξινομητών

1. *Οι ταξινομητές φάσματος ή φασματικοί ταξινομητές (spectral classifiers)*: Οι συγκεκριμένοι ταξινομητές θεωρούν κάθε εικονοστοιχείο ως σημειακή παρατήρηση, απομονωμένη από τα γειτονικά εικονοστοιχεία και κατά συνέπεια δεν μπορούν να συνδυάσουν και να αλληλοσυσχετίσουν ομάδες εικονοστοιχείων, με αποτέλεσμα να έχουν σημαντική απώλεια πληροφορίας.
2. *Οι ταξινομητές συνάφειας ή ταξινομητές χώρου (concept classifiers)*: Οι ταξινομητές χώρου εξετάζουν τις φασματικές ιδιότητες ομάδων εικονοστοιχείων, δηλαδή τις συγκεντρώσεις εικονοστοιχείων ανάλογα με την θέση τους στο χώρο ή τον χρόνο, αλλά είναι πολύπλοκοι και τα αποτελέσματά τους παρουσιάζουν σημαντικό βαθμό δυσκολίας στην ερμηνεία τους.

Προτού προχωρήσουμε στην περιγραφή των διάφορων μεθόδων ταξινόμησης, κρίνεται σκόπιμο στο σημείο αυτό να αποσαφηνιστούν ορισμένες έννοιες ούτως ώστε να γίνει πιο κατανοητή η λειτουργία των ταξινομητών.

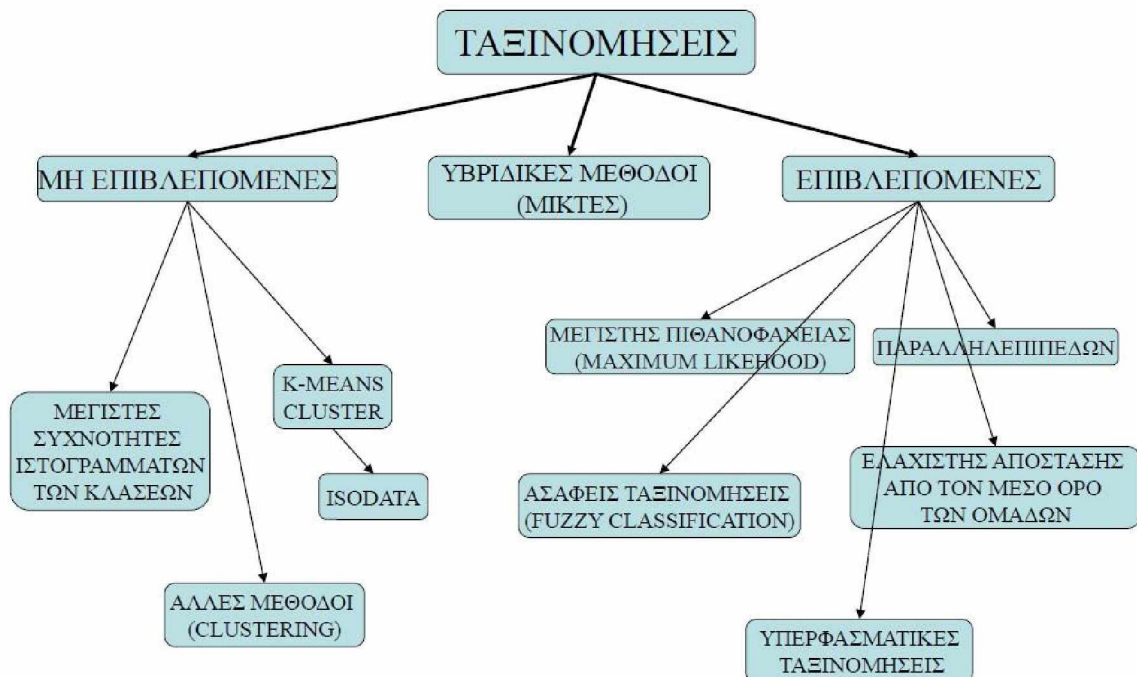
Κάθε υλικό, σύμφωνα με τον Συλλαίο (2007), αντιδρά στην ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ανακλώντας, απορροφώντας ή μεταδίδοντας την, με το είδος της αντίδρασης να διαφέρει ανάλογα με το μήκος κύματος, δημιουργώντας έτσι μια δομή γνωστή σαν *Δομή Φασματικής Ανάκλασης*. Η βάση της ταξινόμησης είναι επομένως η εύρεση μιας περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στην οποία η φασματική αντίδραση των ερευνοούμενων στοιχείων να είναι σημαντικά διαφορετική από αυτή άλλων στοιχείων, που συναντώνται στην εικόνα, ώστε να καταστεί δυνατή η διάκρισή τους.

Η φασματική αντίδραση ενός βιοφυσικού στοιχείου ονομάζεται *φασματική υπογραφή ή ταυτότητα* (spectral signature) και πρέπει να θεωρείται ως μέρος μιας δομής φασματικής ανάκλασης, που είναι χαρακτηριστική για το υλικό. Ωστόσο, η χρήση γενικών βιβλιοθηκών με χαρακτηριστικές δομές φασματικής ανάκλασης για την ταυτοποίηση των φασματικών υπογραφών μας οδηγεί σε διάφορα προβλήματα λόγω των περιοδικών αλλαγών του εδάφους και της βλάστησης, των μεταβολών στον φωτισμό, την χρήση όχι και τόσο κατάλληλων μηκών κύματος κ.ά. Έτσι, η επιστημονική κοινότητα τείνει να ταυτοποιεί τις φασματικές υπογραφές από παραδείγματα μέσα από την ίδια την εικόνα που πρόκειται να ταξινομηθεί. Οι αντιπροσωπευτικές αυτές περιοχές μέσα σε μια εικόνα ονομάζονται *περιοχές εκπαίδευσης* (training sites), με την έννοια ότι ο αναλυτής ‘εκπαιδεύει’ τον ταξινομητή στο τι θα ψάξει και τελικά θα ταξινομηθεί. Επομένως επιλέγοντας τέτοια παραδείγματα μέσα από την εικόνα αλλά και επιβεβαιώνοντας τα μέσω των εργασιών υπαίθρου αποφεύγουμε τέτοιου είδους προβλήματα.

Ακόμα και έτσι όμως, ο αναλυτής εξακολουθεί να ζητά από τον αλγόριθμο να παράγει έναν ανθρώπινο προσδιορισμό βασισμένο σε μια λιγότερο σίγουρη πραγματικότητα. Για παράδειγμα η θεματική τάξη που θα επιλέξει ο αναλυτής μπορεί να περιλαμβάνει πέραν της μιας βιοφυσικής κάλυψης. Το πρόβλημα αυτό ήρθαν πρόσφατα να λύσουν δύο επιστημονικές ανακαλύψεις. Η μια αφορά την ανάπτυξη των ‘ελαστικών’ ταξινομητών (soft classifiers) και η άλλη την επέκταση της λογικής της πολυφασματικής ταξινόμησης στην *υπερφασματική ταξινόμηση* (hyperspectral sensing).

Οι ελαστικοί ταξινομητές αποτελούν μια σύγχρονη μέθοδο ταξινόμησης που περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές όπως η ασαφής λογική (fuzzy logic) – ταξινόμηση υποεικονοστοιχείων (subpixel classification) και τα νευρωνικά δίκτυα. Μαζί με την αντικειμενοστρεφή ταξινόμηση (object oriented classification) αποτελούν ότι πιο σύγχρονο έχει να επιδείξει η επιστήμη της φασματικής ταξινόμησης. Ωστόσο, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιείται τόσο επιβλεπόμενη όσο και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση οι οποίες υλοποιούνται με τη χρήση των ανελαστικών ταξινομητών και θεωρούνται οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι ταξινόμησης μέχρι σήμερα.

Υπάρχουν λοιπόν δύο μεγάλες κατηγορίες ταξινόμησης στην ανάλυση ψηφιακών δεδομένων Τηλεπισκόπησης, η *αυτόματη ή μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση* (Unsupervised classification) και η *καθοδηγούμενη ή επιβλεπόμενη ταξινόμηση* (Supervised classification). Επιπρόσθετα τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και οι υβριδικές μέθοδοι (μικτές) όμως ακόμη δεν είναι τόσο διαδεδομένες όσο οι άλλες δύο κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές μαζί με τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται στην κάθε μια φαίνονται διαγραμματικά στο Σχήμα 3.19.



Σχήμα 3.21: Διαγραμματική απεικόνιση των βασικών κατηγοριών ταξινόμησης και των αλγόριθμων που χρησιμοποιούν.

Αυτόματη ή μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Unsupervised Classification)

Σκοπός της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης (unsupervised classification) είναι η ομαδοποίηση όλων των εικοστοιχείων μιας εικόνας σε ομάδες (clusters), με βάση τα στατιστικά τους χαρακτηριστικά (μέση ψηφιακή τιμή, τυπική απόκλιση, πίνακας συμμεταβλητότητας). Στην περίπτωση αυτή οι ομάδες που δημιουργούνται περιλαμβάνουν όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας και συνεπώς αποτελούν ταυτόχρονα και τις τάξεις της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Τα εικονοστοιχεία της εικόνας συνήθως αποδίδονται σε μια ομάδα, δηλαδή σε μια τάξη, όταν οι ψηφιακές τους τιμές βρίσκονται πιο κοντά στο κέντρο της συγκεκριμένης τάξης, σύμφωνα με τον κανόνα της ελάχιστης απόστασης. Η δημιουργία μιας τάξης εικονοστοιχείων γίνεται αποκλειστικά με κριτήρια που βασίζονται στις ψηφιακές τιμές και δεν υφίσταται πρακτική αξία αν δεν γίνει αντιστοίχιση της τάξης αυτής σε κάποιο συγκεκριμένο είδος επιφάνειας του εδάφους που απεικονίζει η εικόνα όπως για παράδειγμα θάλασσα, βλάστηση, έδαφος κ.ά. Ας σημειωθεί ότι ορισμένες από τις ομάδες που δημιουργούνται από τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση μπορούν να επιλεγούν για να συνδυαστούν με τα εκπαιδευτικά πεδία μιας επιβλεπόμενης εκπαίδευσης και να δημιουργήσουν ένα σύνολο υπογραφών το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την τελική ταξινόμηση της εικόνας. Οι ομάδες των εικονοστοιχείων καθορίζονται με βάση στατιστικούς κανόνες εφαρμόζοντας αλγόριθμους ταξινόμησης οι οποίοι αναλύονται συνοπτικά πιο κάτω.

Αλγόριθμος ομαδοποίησης με K-μέσες τιμές (K-means cluster)

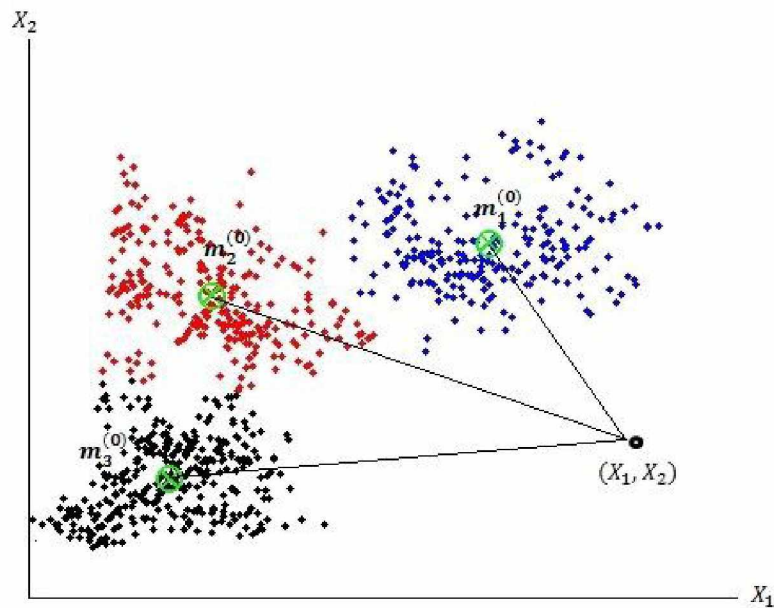
Ο αλγόριθμος αυτός ονομάζεται αλγόριθμος των μετακινούμενων μέσων τιμών των ομάδων και τα βήματα υπολογισμού του έχουν ως εξής:

1. Επιλέγονται K ψηφίδες στον πολυφασματικό χώρο της εικόνας ως πιθανά κέντρα συσσώρευσης φασματικών τάξεων. Μολονότι τα κέντρα αυτά των υποψήφιων φασματικών τάξεων, $m_i^{(0)}$ $i = 1, 2, 3, \dots, K$ επιλέγονται αυθαίρετα, συνίσταται η επιλογή τους να είναι κατά κάποιο τρόπο ομοιόμορφη στον χώρο της εικόνας όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.20.
2. Κάθε ψηφίδα x της εικόνας καταχωρείται στο πλησιέστερο κέντρο συσσώρευσης της ομάδας σύμφωνα με τα προηγούμενα μέτρα της εγγύτητας των ψηφίδων, τα οποία εκφράζονται από τις αποστάσεις όπως αυτές δόθηκαν παραπάνω.

3. Δημιουργείται ένα νέο σύνολο κέντρων συσσωρεύσεων των ψηφίδων $m_i^{(n)}$ από το προηγούμενο βήμα 2.
4. Αν $\left[m_i^{(n)} - m_i^{(0)} \right] < \varepsilon$, όπου ε ένας μικρός αριθμός, τότε η διαδικασία ομαδοποίησης τερματίζεται, διαφορετικά τίθεται $\left[m_i^{(0)} = m_i^{(n)} \right]$, επιστρέφουμε στο βήμα 2 και συνεχίζουμε την ομαδοποίηση των ψηφίδων.

Καθώς δημιουργούνται οι φασματικές ομάδες, ο αναλυτής θα πρέπει να καθορίσει ένα όριο ανοχής της φωτεινότητας, μέσα στα όρια του οποίου οφείλουν να κινούνται τα ομοειδή εικονοστοιχεία της ίδιας ομάδας. Το μέτρο αυτό προσδιορίζεται, για παράδειγμα, από την τυπική απόκλιση σ της φωτεινότητας των ψηφίδων μιας εικόνας που έχουν ήδη δημιουργήσει μια φασματική ομάδα. Εάν το υπο καταχώρηση εικονοστοιχείο έχει τιμές φωτεινότητας που εμπίπτουν στα επιτρεπόμενα όρια αποδοχής που καθορίζονται από τον αναλυτή, τότε το εικονοστοιχείο γίνεται αποδεκτό ως μέλος της υπό δημιουργία φασματικής τάξης, παρόλο που μπορεί να διαφέρει από τα άλλα μέλη της ίδια τάξης. Στην ουσία, κριτήρια ταξινόμησης αποτελούν οι θέσεις των ψηφίδων στην εικόνα καθώς και οι φασματικές τους ιδιότητες.

Ο αλγόριθμος αυτός έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές σε εικόνες με μεγάλες ομοιογενείς περιοχές, όπως οι μεγάλες αγροτικές εκτάσεις. Για τέτοια πεδία φαίνεται ότι δουλεύει καλά, παρόλο που μπορεί να μην είναι τόσο αποτελεσματικός για πολύπλοκες περιοχές που αποτελούνται από μικρά τμήματα εδαφικής κάλυψης.



Σχήμα 3.22: Διαδικασία ομαδοποίησης των ψηφίδων με την μέθοδο των K-μέσων τιμών στην μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση εικόνας

Αλγόριθμος ISODATA

Για σκοπούς βελτίωσης της ποιότητας του πιο πάνω αλγόριθμου, οι κατασκευαστές του (Ball και Hall) πρόσθεσαν δύο επιπλέον βήματα ώστε να δημιουργήσουν τον αλγόριθμο μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA ο οποίος είναι εμφανές βελτιωμένος ως προς την διαδικασία ομαδοποίησης των ψηφίδων μιας εικόνας.

Τα βήματα αυτά είναι: α) η συνένωση και απαλοιφή των συσσωρεύσεων και β) η κατάτμηση των συσσωρεύσεων. Σε κάποιο κατάλληλο βήμα και μετά από κάποιες επαναλήψεις των προηγούμενων βημάτων 2-4 στον αλγόριθμο των μετακινούμενων μέσων τιμών εξετάζονται όλες οι δημιουργηθείσες συσσωρεύσεις των φασματικών τάξεων. Εάν ο αριθμός των συγκεντρωθεισών ψηφίδων σε μια τάξη είναι αρκετά μικρός, τότε η συγκεκριμένη ομάδα καταργείται. Επίσης αν δύο ομάδες βρίσκονται αρκετά κοντά η μια στην άλλη, τότε συγχωνεύονται σε μια νέα ομάδα. Αυτή είναι η διαδικασία συνένωσης ή/και απαλοιφής των συσσωρεύσεων, ενώ αν η διασπορά Σ των ψηφίδων (π.χ. πίνακας διασποράς) μιας ομάδας είναι αρκετά μεγάλη, τότε η συγκεκριμένη συσσώρευση υποδιαιρείται σε δύο τάξεις. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται κατάτμηση των συσσωρεύσεων όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω.

Τα δύο βήματα του αλγόριθμου ISODATA από τη μια μεριά αυξάνουν την ικανότητα προσαρμογής του, από την άλλη όμως αυξάνουν την πολυπλοκότητα των υπολογισμών.

Ο αλγόριθμος ISODATA απαιτεί να καθοριστούν περισσότερες παραμέτροι κατά την ταξινόμηση (απαλοιφή ή συνένωση) καθώς και να υπολογίζονται τα όρια της διασποράς.

Στον αλγόριθμο των μετακινούμενων K-μέσων τιμών των ομάδων η ταξινόμηση μπορεί να μην ολοκληρωθεί, επειδή η διαδικασία ομαδοποίησης ενδέχεται να μην συγκλίνει. Επομένως θα πρέπει να καθοριστεί ένας μέγιστος αριθμός διαδοχικών προσεγγίσεων, ώστε να τερματίζεται η διαδικασία της ταξινόμησης.

Αλγόριθμος Ιεραρχικής Ομαδοποίησης

Ο αλγόριθμος αυτός διαφέρει από τους άλλους δύο που αναφέρθηκαν πιο πάνω και δεν απαιτεί από τον αναλυτή της εικόνας να καθορίσει εκ των προτέρων τον αριθμό φασματικών τάξεων. Θεωρεί κατ'αρχάς ότι όλες οι ψηφίδες της εικόνας αποτελούν ανεξάρτητες ομάδες φασματικών τάξεων. Κατόπιν συστηματικά συγχωνεύει ομάδες ελέγχοντας ταυτόχρονα τις αποστάσεις των προκύπτουσων μέσων τιμών των συσσωρεύσεων. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται έως ότου όλες οι ψηφίδες καταχωρηθούν σε μια ομάδα. Όμως το ιστορικό της διαδικασίας της συγχώνευσης καταγράφεται σε ένα δεντρόγραμμα, που δεν αποτελεί τίποτα άλλο από ένα διάγραμμα που απεικονίζει σε ποιες αποστάσεις μεταξύ των κέντρων συγχωνεύτηκαν οι ομάδες των ψηφίδων.

Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη μέθοδος σπανίως χρησιμοποιείται στην Τηλεπισκόπηση, επειδή ο σχετικά μεγάλος αριθμός ψηφίδων της εικόνας απαιτεί τεράστιο χώρο στον δίσκο του υπολογιστή για να παρακολουθούνται οι αποστάσεις των ομαδοποιήσεων και συγχωνεύσεων στα διάφορα επίπεδα. Ο αλγόριθμος όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρχει σχετικά μικρός αριθμός φασματικών τάξεων που έχουν προκύψει από προηγούμενη ταξινόμηση.

Αλγόριθμος Ομαδοποίησης με Ιστογράμματα

Σε αυτή την μέθοδο χρησιμοποιείται το ιστογράμμα των ψηφίδων για την ομαδοποίησή τους. Ο αλγόριθμος προσδιορίζει τα μέγιστα του ιστογράμματος και η διαδικασία της αυτόματης ταξινόμησης περιγράφεται με τα εξής βήματα:

1. Κατασκευάζεται το ιστογράμμα της εικόνας σε όλες τις διαστάσεις της.

2. Ερευνώνται και προσδιορίζονται τα μέγιστα των τιμών της φωτεινότητας των ψηφίδων στο ιστόγραμμα.
3. Προσδιορίζονται τα κέντρα των ψηφίδων που αντιστοιχούν στα μέγιστα (κορυφές) του πολυδιάστατου ιστογράμματος της εικόνας και θεωρούνται ως κέντρα ομαδοποίησης.
4. Μόλις προσδιοριστούν όλα τα κέντρα των συσσωρεύσεων, τότε αυτά εξετάζονται ως προς τις φασματικές αποστάσεις μεταξύ κάθε ζευγαριού ομάδων, ώστε να συγχωνευτούν, αν κρίνεται αναγκαίο σε μεγαλύτερες ομάδες. Αν μια συσσώρευση ομάδων εμφανίζει μικρή συχνότητα, τότε απαλείφεται.

Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου ταξινόμησης αυτής είναι ότι κατλαμβάνει πολλή μνήμη στον υπολογιστή για να αποθηκευτούν οι συχνότητες (ιστογράμματα) που αντιστοιχούν σε πολλές διαστάσεις (φασματικές ζώνες).

Καθοδηγούμενη ή επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Supervised classification)

Η μέθοδος της *καθοδηγούμενης ή επιβλεπόμενης ταξινόμησης* (Supervised classification) είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όσον αφορά την ακρίβεια στον εντοπισμό των θεματικών τάξεων. Η μεθοδολογία είναι, θα λέγαμε, αρκετά απλή: γνωστές και αναγνωρίσιμες τάξεις εντοπίζονται στην εικόνα από τον αναλυτή με βάση την εμπειρία του ή τα πραγματικά δεδομένα (έρευνες πεδίου, χάρτες κλπ). Μια περιοχή στην εικόνα η οποία εμφανίζεται αρκετά ομογενής με βάση τους τόνους των χρωμάτων εντοπίζεται και απομονώνεται σε ένα πολύγωνο στην οθόνη του λογισμικού ψηφιακής επεξεργασίας των εικόνων. Η περιοχή αυτή που περικλείει το πολύγωνο ονομάζεται *εκπαιδευτικό πεδίο ή περιοχή εκπαίδευσης* (training site) όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω.

Το λογισμικό υπολογίζει όλα τα στατιστικά των ψηφιακών τιμών των εικονοστοιχείων που ανήκουν σε μια εκπαιδευτική περιοχή (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, πίνακα συμμεταβλητότητας κ.ά.) τα οποία αποτελούν την φασματική υπογραφή (spectral signature) της τάξης. Στο επόμενο στάδιο της ταξινόμησης γίνεται απόδοση των εικονοστοιχείων της εικόνας σε θεματικές τάξεις με βάσεις τις ψηφιακές τους τιμές και τις υπογραφές που καθορίστηκαν στο στάδιο της εκπαίδευσης εφαρμόζοντας ένα

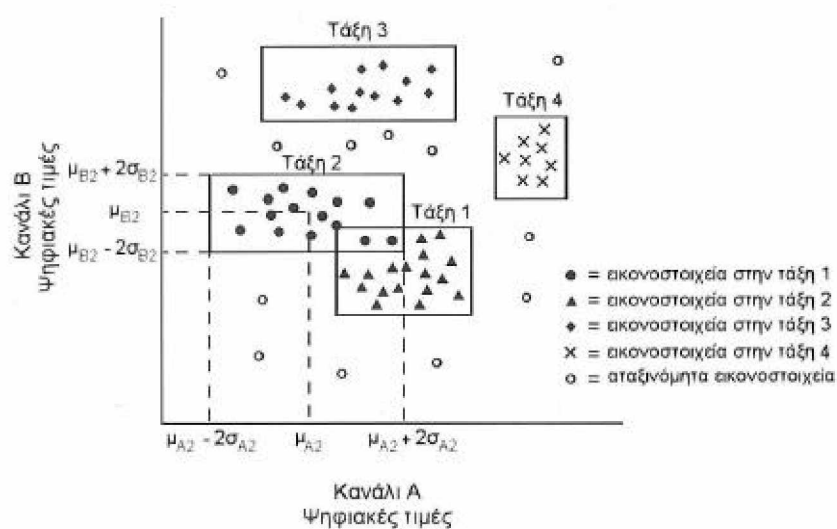
κανόνα (αλγόριθμο) ταξινόμησης (π.χ. ελάχιστης απόστασης, μέγιστης πιθανοφάνειας κ.ά.).

Με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση γίνεται καλύτερη αναπαράσταση της κάλυψης γης η οποία οφείλεται κυρίως στον τρόπο επιλογής των περιοχών εκπαίδευσης. Τα αποτελέσματα στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι πιο ακριβή και όσο καλύτερη γνώση της υπό μελέτη περιοχής έχουμε, η οποία επιτυγχάνεται είτε με παρατήρηση πεδίου είτε μέσω έγκυρων χαρτογραφικών πηγών ή αεροφωτογραφιών της περιοχής, τόσο πιο έγκυρα αποτελέσματα θα έχουμε μετά την διαδικασία της ταξινόμησης

Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται σε αυτή την περίπτωση αναφέρονται και αναλύονται εν ολίγοις παρακάτω.

Κανόνας του παραλληλεπιπέδου

Σε αυτή τη μέθοδο ταξινόμησης, οι περιοχές ομαδοποίησης στο φασματικό χώρο αναπαριστώνται με ορθογώνια παραλληλόγραμμα στις δυο διαστάσεις (δυο φασματικές ζώνες), ή με n-διάστατα ορθογώνια παραλληλεπίπεδα, όταν αξιοποιούνται στην ταξινόμηση τρεις ή περισσότερες φασματικές ζώνες (αυτό είναι και το συνηθέστερο). Στο Σχήμα 3.21, αναπαριστάται ο δισδιάστατος φασματικός χώρος, που συντίθεται από τις ζώνες εγγύς υπερύθρου και ερυθρού. Οι διαστάσεις των ορθογωνίων παραλληλογράμμων, προσδιορίζονται από το εύρος της μεταβολής τιμών φωτεινότητας για κάθε τάξη.



Σχήμα 3.23: Διαδικασία ομαδοποίησης των ψηφιδων με βάση τον κανόνα του παραλληλεπιπέδου στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

Το εικονοστοιχείο p , με φωτεινότητες x και y στο ορατό και στο εγγύς υπέρυθρο αντίστοιχα, εντάσσεται στην τάξη B , στο βαθμό που το ζεύγος τιμών (x, y) ανήκει στο χωρίο (περιοχή ομαδοποίησης) B , στο φασματικό χώρο. Εικονοστοιχεία με ζεύγη τιμών φωτεινότητας (x, y) που δεν ανήκουν σε καμία περιοχή ομαδοποίησης, δεν ταυτοποιούνται σε καμία τάξη. Η ίδια ταξινομητική λογική μπορεί να εφαρμοστεί σε πολυδιάστατους φασματικούς χώρους, που παράγονται από τις τιμές φωτεινότητας τριών ή περισσότερων φασματικών ζωνών.

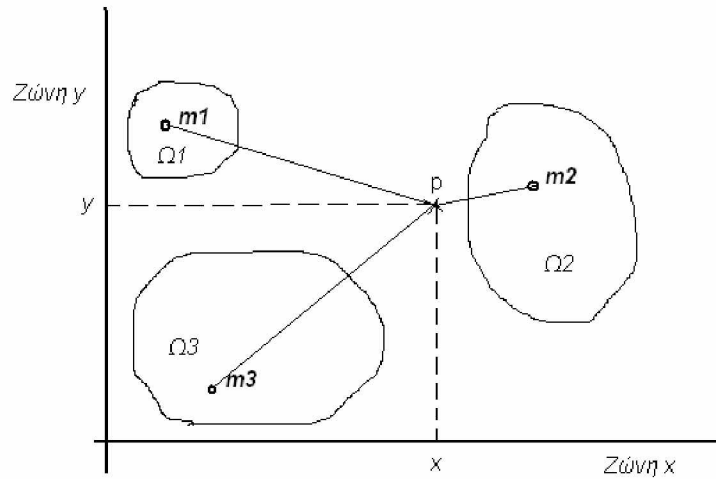
Ο κανόνας του παραλληλεπίπεδου, είναι μια μέθοδος απλή στη σύλληψη, που συναντάται στα διάφορα πακέτα λογισμικού επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων. Μειονέκτημά της είναι ότι πολλά εικονοστοιχεία, που δεν εντάσσονται σε κανένα παραλληλεπίπεδο, παραμένουν αταξινομήτα. Επί πλέον, δεν υπάρχει αντικειμενικό κριτήριο προσδιορισμού των πλευρών των ορθογωνίων.

Μέθοδος της ελάχιστης απόστασης

Σε αυτήν τη μέθοδο, προσδιορίζονται τα κέντρα m_i των περιοχών ομαδοποίησης Ω_i , που προσδιορίζονται από τις περιοχές εκπαίδευσης. Σε έναν φασματικό χώρο n διαστάσεων, το κάθε κέντρο m_i αναπαριστάται ως:

$$m_i = [m_{i,1}, m_{i,2}, \dots, m_{i,j}, \dots, m_{i,n}]^T \quad (3.17)$$

$m_{i,j}$ είναι η μέση τιμή της φωτεινότητας των εικονοστοιχείων της περιοχής ομαδοποίησης Ω_i στη φασματική ζώνη j . Ο εκθέτης T συμβολίζει τον ανάστροφο πίνακα. Στο (Σχήμα 3.22) αναπαριστάται ο διδιάστατος φασματικός χώρος με τρεις ομάδες συγκέντρωσης και με κέντρα m_1, m_2, m_3 .



Σχήμα 3.24: Διαδικασία ομαδοποίησης των ψηφίδων με την μέθοδο της ελάχιστης απόστασης στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Στο φασματικό χώρο, ένα εικονοστοιχείο p με τιμές φωτεινότητας (x, y) εντάσσεται στην περιοχή ομαδοποίησης εκείνη, από την οποία η απόσταση από το κέντρο της είναι η ελάχιστη. Στο Σχήμα 3.22, το εικονοστοιχείο p βρίσκεται πιο κοντά στο κέντρο m_2 , επομένως ανήκει στην τάξη Ω_2 .

Στο παράδειγμα του εικονοστοιχείου του Σχήματος 3.22 η ταξινόμηση έγινε με βάση την ευκλείδεια απόσταση d_e , που σε ένα n -διάστατο φασματικό χώρο ορίζεται ως:

$$d_e(x, m_i) = [(x - m_i)^T \cdot (x - m_i)]^{1/2} \\ = [(x_1 - m_{i,1})^2 + (x_2 - m_{i,2})^2 + \dots + (x_n - m_{i,n})^2]^{1/2} \quad (3.18)$$

x είναι το διάνυσμα θέσης εικονοστοιχείου p στο φασματικό χώρο και x_1, x_2, \dots, x_n είναι οι συνιστώσες του διανύσματος (τιμές φωτεινότητας) στις ζώνες 1, 2, ..., n , αντίστοιχα.

Αν στην εφαρμογή του κριτηρίου της ελάχιστης απόστασης, θέλουμε να λάβουμε υπόψη και τη διασπορά των τιμών φωτεινότητας σε κάθε περιοχή ομαδοποίησης, τότε αντί για την ευκλείδεια απόσταση χρησιμοποιείται η απόσταση Mahalanobis d_m , που ορίζεται ως:

$$d_m(x, m_i) = [(x - m_i)^T \Sigma_i^{-1} (x - m_i)]^{1/2} \quad (3.19)$$

Σ_i είναι ο πίνακας συνδιασποράς (covariance matrix) για την ομάδα συγκέντρωσης Ω_i , που προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\Sigma_i = \frac{\sum_{j=1}^N [(x_j - m_i) \cdot (x_j - m_i)^T]}{N-1} \quad (3.20)$$

N είναι ο αριθμός των εικονοστοιχείων των πεδίων εκπαίδευσης που ανήκουν στην τάξη Ω_i .

Στην παραπάνω σχέση, δε θα πρέπει να συγχέεται το σύμβολο του πίνακα συνδιασποράς, στο αριστερό μέλος, με το σύμβολο της άθροισης, στο δεξιό μέλος.

Στην (ιδανική) περίπτωση μηδενικής γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των τιμών φωτεινότητας διαφορετικών φασματικών ζωνών και κοινής διασποράς τιμών φωτεινότητας για όλες τις ζώνες, η ταξινόμηση ελάχιστης απόστασης κατά Ευκλείδη και η αντίστοιχη ταξινόμηση κατά Mahalanobis δίνουν τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα.

Μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας

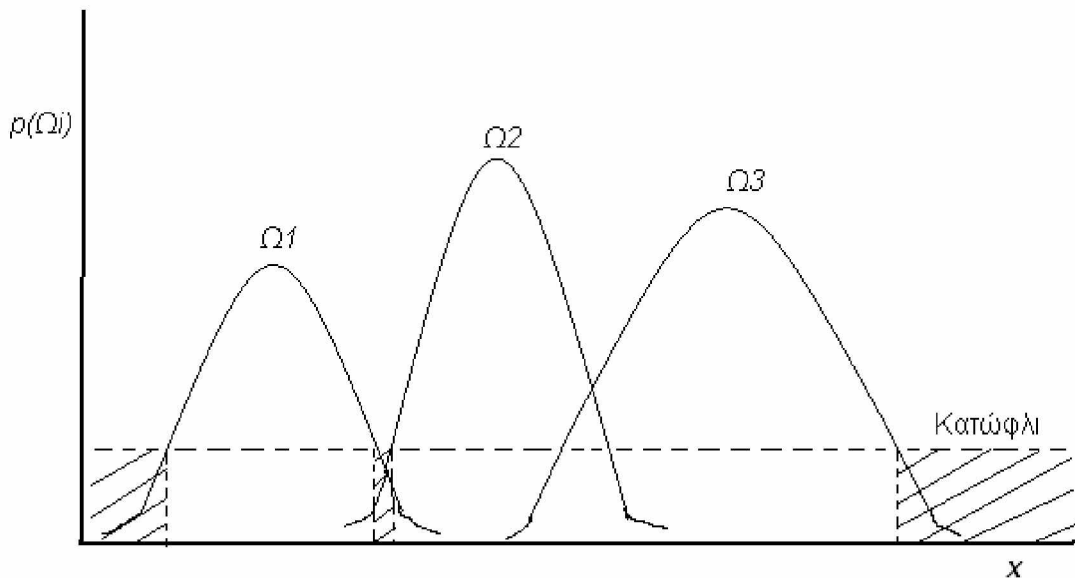
Στο κριτήριο της ελάχιστης απόστασης, το μέγεθος με βάση το οποίο ταυτοποιείται το κάθε εικονοστοιχείο σε μια τάξη είναι η απόστασή του από το κέντρο περιοχής ομαδοποίησης στο φασματικό χώρο. Η ταξινόμηση με το κριτήριο της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood), πραγματοποιείται με βάση την πιθανότητα $p(\Omega_i | x)$ να ανήκει εικονοστοιχείο με διάνυσμα x στο φασματικό χώρο, στην τάξη Ω_i . Οι συνιστώσες x_1, x_2, \dots, x_n του διανύσματος x είναι οι τιμές φωτεινότητας του εικονοστοιχείου στις φασματικές ζώνες $1, 2, \dots, n$, αντίστοιχα. Το κριτήριο της μέγιστης πιθανοφάνειας, διατυπώνεται ως εξής:

$$x \in \Omega_i \quad \text{αν} \quad p(\Omega_i | x) > p(\Omega_j | x) \quad \text{για κάθε} \quad j \neq i \quad (3.21)$$

Ωστόσο αν η πιθανότητα $p(\Omega_i | x)$ είναι πολύ μικρή, για παράδειγμα μικρότερη του 5%, δεν έχει νόημα να ταυτοποιηθεί το εικονοστοιχείο σε κάποια τάξη. Μικρές τιμές πιθανότητας $p(\Omega_i | x)$ σημαίνουν ότι το διάνυσμα x βρίσκεται στα όρια μεταξύ δυο περιοχών ομαδοποίησης (clusters), ή στις παρυφές ενός cluster (βλ. Σχήμα 3.23). Θα πρέπει λοιπόν, πέρα από τη σχέση (3.21), να ικανοποιείται και η παρακάτω σχέση:

$$p(\Omega_i | x) > p\text{-κατωφλίου} \quad (3.22)$$

Η p -κατώφλιου είναι η ελάχιστη τιμή πιθανότητας που πρέπει να αντιστοιχεί στο εικονοστοιχείο με διάνυσμα x , ώστε να ταυτοποιηθεί αυτό στην τάξη Ω_i , με βάση τη σχέση (3.21).



Σχήμα 3.25: Διαδικασία ομαδοποίησης των ψηφίδων με την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας με βάση μια μόνο φασματική ζώνη (άξονας x) στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Οι ψηφίδες με τιμές φωτεινότητας στις γραμμοσκιασμένες περιοχές δεν ταξινομούνται γιατί η μέγιστη πιθανότητα $p(\Omega_i)$ δεν υπερβαίνει την τιμή κατωφλίου (p -κατώφλι)

Οι σχέσεις (3.21) και (3.22) είναι η βάση πάνω στην οποία αναπτύσσεται η μέθοδος ταξινόμησης με το κριτήριο της μέγιστης πιθανοφάνειας.

Διαφορές επιβλεπόμενης και μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης

Όπως έχει γίνει ήδη αντιληπτό η διαδικασία της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης διαφέρει σε πολλά σημεία από την αντίστοιχη της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, ο χρήστης στηρίζεται στην ικανότητα αναγνώρισης των εκπαιδευτικών πεδίων και την α priori γνώση των στοιχείων τους και όχι σε στατιστικές διαδικασίες, για να βοηθήσει το σύστημα να καθορίσει τις φασματικές υπογραφές που θα χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων της εικόνας. Συνήθως, η γνώση αυτή αποκτάται είτε από την επιτόπια έρευνα στην περιοχή μελέτης και τη χρήση GPS είτε μέσω έγκυρων χαρτογραφικών πηγών της περιοχής.

Επίσης, στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι καλύτερα ο αναλυτής να έχει κατά νου ένα σετ από επιθυμητές υπογραφές δηλαδή να έχει καθορίσει εκ των προτέρων ένα σχήμα ταξινόμησης και μετά να δημιουργήσει τις υπογραφές επιλέγοντας τα κατάλληλα εκπαιδευτικά πεδία στην εικόνα. Η μέθοδος ταξινόμησης αυτή είναι κατάλληλη όταν θέλουμε να εντοπίσουμε ένα σχετικά μικρό αριθμό τάξεων, όταν έχουμε επιλέξει εκπαιδευτικά πεδία με βάση παρατηρήσεις πεδίου ή όταν υπάρχει η δυνατότητα επιλογής διακριτών και ομογενών περιοχών στην εικόνα ως εκπαιδευτικές περιοχές.

3.3 Μέθοδοι ανίχνευσης μεταβολών

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 που οδήγησαν στην αποκάλυψη της φύσης της αλλαγής αλλά και σε αριθμητικά αποτελέσματα εκτάσεων χρήσης γης. Οι έρευνες εκείνα τα χρόνια στράφηκαν κυρίως στην εύρεση αλλαγών που αφορούσαν την βλάστηση

Για την εφαρμογή μιας μεθοδολογίας αλλαγής χρήσεων γης τρία είναι τα βασικά βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν:

1. Προετοιμασία των εικόνων, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει γεωμετρικές, ραδιομετρικές, ατμοσφαιρικές και τοπογραφικές διορθώσεις
2. Επιλογή των κατάλληλων τεχνικών για την εφαρμογή της ανάλυσης αλλαγών
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 και οι περιορισμοί σε χρόνο και κόστος.

Δορυφορικές εικόνες της ίδιας περιοχής που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των μεταβολών στα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης, όπως για παράδειγμα στις χρήσεις/καλύψεις γης. Στις πολυχρονικές εικόνες, η χρονική διαφορά λήψης των εικόνων επιλέγεται ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση δυναμικών γεγονότων. Η χρονική αυτή διαφορά

μπορεί να αναφέρεται σε ημέρες, εβδομάδες, μήνες, ακόμη και έτη μεταξύ των δορυφορικών αποτυπώσεων. Στην περίπτωση αυτή, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η συγκρισιμότητα των δεδομένων, για αυτό το λόγο ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δίνεται στη γεωμετρική εγγραφή των εικόνων στο ίδιο προβολικό σύστημα και με την ίδια χωρική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση. Οι εικόνες θα πρέπει επίσης να έχουν ληφθεί την ίδια εποχή του έτους (αλλά διαφορετικά έτη) εκτός και αν ο σκοπός είναι ο εντοπισμός των μεταβολών που οφείλονται στις διαφορετικές περιοχές.

Για τον εντοπισμό των μεταβολών (change detection), σε δύο εικόνες είναι δυνατόν να εφαρμοστούν τρεις διαφορετικές μέθοδοι:

3.3.1 Αφαίρεση ή λόγος των δύο εικόνων

Η πρώτη μέθοδος ονομάζεται *αφαίρεση ή λόγος των δύο εικόνων* και στην οποία γίνεται σύγκριση δύο εικόνων που ελήφθησαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές με βάση τις ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων τους. Στην περίπτωση αυτή τα δεδομένα πρέπει να είναι συγκρίσιμα, για αυτό τον λόγο ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δίνεται στην ακρίβεια της ραδιομετρικής βαθμονόμησης των δορυφορικών δεδομένων, δηλαδή στη διαδικασία μετατροπής των ραδιομετρικών τιμών σε ψηφιακές τιμές και αντίστροφα καθώς επίσης και στη σταθερότητα των συνθηκών φωτισμού και παρατήρησης (ηλιακής γωνίας, γωνίας κατόπτρευσης δορυφόρου κλπ).

Αρχικά πραγματοποιείται η γεωαναφορά των δύο εικόνων στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων (εάν δεν έχει ήδη πραγματοποιηθεί) και με την ίδια χωρική ανάλυση. Εάν η σκηνή χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο, απαιτείται ορθοκανονικοποίηση των δύο εικόνων. Ακολούθως, αφαιρούνται οι ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων της μιας εικόνας από τις ψηφιακές τιμές των αντίστοιχων εικονοστοιχείων της δεύτερης εικόνας. Το αποτέλεσμα είναι μια εικόνα με θετικές αλλά και αρνητικές τιμές για τις μεταβληθείσες περιοχές και με μηδενικές τιμές για τις αμετάβλητες. Η προβολή της εικόνας αυτής, αποδίδοντας ένα επίπεδο του γκρι στις μηδενικές τιμές, θα προσδώσει στις αρνητικές ψηφιακές τιμές σκούρες αποχρώσεις και στις θετικές τιμές ανοικτές αποχρώσεις. Συνήθως προστίθεται και μια σταθερή τιμή στις ψηφιακές τιμές όλων των εικονοστοιχείων για να εξαλειφθούν οι αρνητικές τιμές και μετά εφαρμόζεται ένα φίλτρο ενίσχυσης της αντίθεσης για να ενισχυθούν οι διαφορές. Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται σε ένα κανάλι πολυφασματικών εικόνων. Ο αναλυτής θα πρέπει να δοκιμάζει διάφορα κατώφλια για να διαχωρίσει τα εικονοστοιχεία που έχουν υποστεί

μεταβολές από εκείνα που παρέμειναν αμετάβλητα αλλά για διάφορους λόγους παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις στα φασματικά τους χαρακτηριστικά. Η σύγκριση των εικόνων μπορεί να γίνει και με τον υπολογισμό του λόγου των ψηφιακών τιμών των δύο εικόνων, μεθοδολογία η οποία έχει το πλεονέκτημα ότι δεν επηρεάζεται από τις διάφορες συνθήκες φωτισμού.

3.3.2 Σύγκριση ταξινομημένων εικόνων

Στη δεύτερη μέθοδο, όπως αναφέρεται και στην ονομασία της, πραγματοποιείται ποιοτική και ποσοτική *σύγκριση δύο ταξινομημένων εικόνων* που παρήχθησαν με τη χρήση του ίδου σχήματος και μεθοδολογίας ταξινόμησης. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται όταν τα δορυφορικά δεδομένα δεν είναι βαθμονομημένα και συνεπώς δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα, οπότε η σύγκριση πραγματοποιείται μεταξύ των ταξινομημένων εικόνων εντοπίζοντας τις μεταβολές των ορίων των αντίστοιχων τάξεων. Οι δύο ταξινομημένες εικόνες συγκρίνονται εικονοστοιχείο προς εικονοστοιχείο για την δημιουργία μιας νέας εικόνας η οποία δείχνει τα εικονοστοιχεία που αποδόθηκαν σε διαφορετικές τάξεις στις δύο ταξινομημένες εικόνες. Η επιτυχία της μεθόδου αυτής εξαρτάται κυρίως από την ακρίβεια της ταξινόμησης ενώ τα αποτελέσματά της πλεονεκτούν σε σχέση με αυτά της πρώτης μεθόδου καθώς περιέχουν και την πληροφορία για το είδος των τάξεων που ανήκουν τα εικονοστοιχεία τα οποία παρουσίασαν μεταβολές.

3.3.3 Πολυχρονικές εικόνες

Στην περίπτωση αυτή, τα κανάλια των δύο εικόνων συντίθενται για την δημιουργία μιας νέας πολυφασματικής εικόνας. Για παράδειγμα αν οι εικόνες είναι από τον δορυφόρο Landsat TM με έξι κανάλια η κάθε μια (δεν υπολογίζεται το θερμικό κανάλι), η νέα σύνθεση θα αποτελείται από 12 κανάλια. Η νέα πολυφασματική εικόνα μπορεί να εξεταστεί με τη χρήση των μεθόδων της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες και της φασματικής ταξινόμησης. Η ταξινόμηση της σύνθεσης δεν εντοπίζει μόνο τις τάξεις κάλυψης και χρήσης γης αλλά και τάξεις οι οποίες αποτελούνται από εικονοστοιχεία τα οποία έχουν υποστεί μεταβολές.

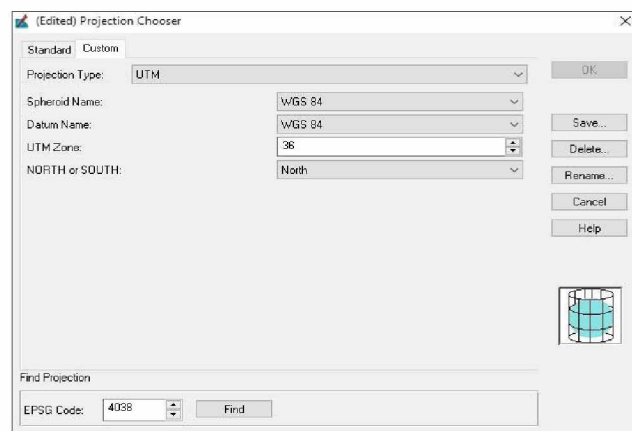
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Αφού αναλύθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο και η γενικότερη μεθοδολογία που ακολουθείται σε τέτοιου είδους μελέτες (βλ. Κεφ. 3), στο σημείο αυτό θα περάσουμε από την θεωρία στην πράξη, δηλαδή στην ουσία της παρούσας μελέτης η οποία είναι η επεξεργασία των δεδομένων μας αλλά και η μετέπειτα εξαγωγή και ανάλυση των συμπερασμάτων με βάση αυτή.

4.1 Προεπεξεργασία δεδομένων

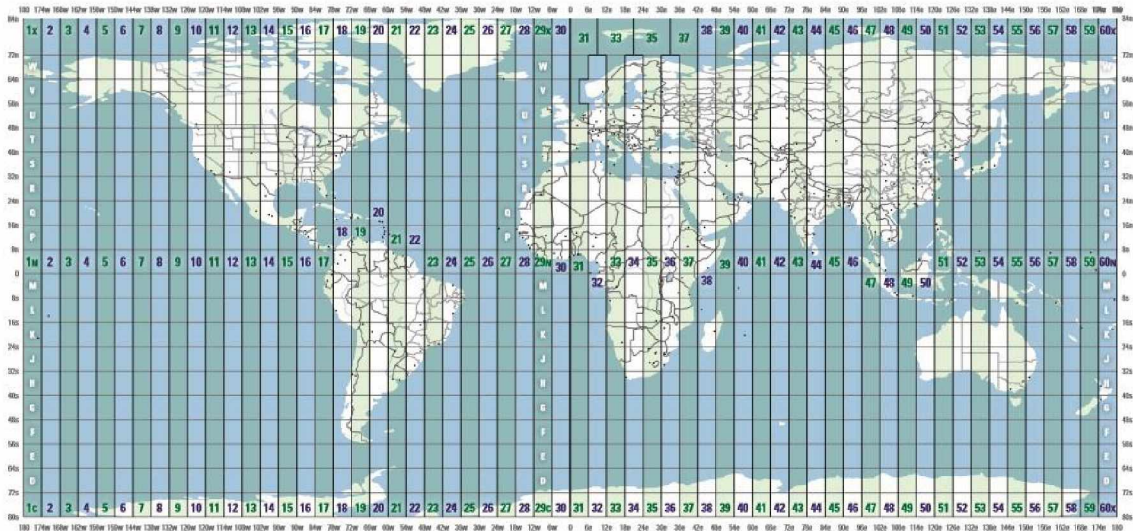
Οι εργασίες που πραγματοποιούνται στα πλαίσια της προεπεξεργασίας των δεδομένων, σκοπό έχουν να διορθώσουν τις γεωμετρικές και ραδιομετρικές παραμορφώσεις των δεδομένων που οφείλονται στον αισθητήρα που τα συλλέγει με τις μεθόδους και τεχνικές που έχουν αναφερθεί πιο πάνω. Επιπρόσθετα, στο κομμάτι της προεπεξεργασίας των δεδομένων εντάσσονται και όλες οι απαραίτητες ενέργειες και εργασίες ούτως ώστε τα δεδομένα μας να λάβουν την καταλληλότερη μορφή για το στάδιο της επεξεργασίας τους. Οι ενέργειες αυτές, πέραν από τις διάφορες γεωμετρικές και ραδιομετρικές διορθώσεις, μπορεί να περιλαμβάνουν συγχώνευση των διαθέσιμων καναλιών των εικόνων, κόψιμο των εικόνων, μετασχηματισμούς και βλετιώσεις κ.ά.

Όσον αφορά τα δεδομένα μας, οι δορυφορικές εικόνες όπως και η αεροφωτογραφία της περιοχής είναι γεωαναφερμένες και σαν σύστημα αναφοράς των συντεταγμένων τους έχει οριστεί το προβολικό σύστημα UTM Zone 36N του οποίου τα βασικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στο πιο κάτω σχήμα (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1: Βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος συντεταγμένων UTM Zone 36N

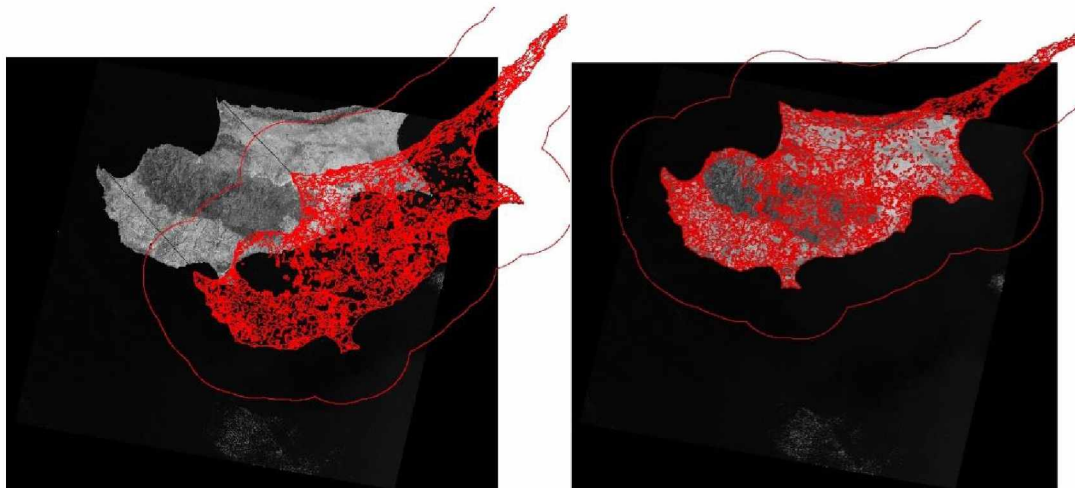
Όπως φαίνεται λοιπόν από το πιο πάνω σχήμα, το προβολικό σύστημα που εφαρμόζεται στην Κύπρο χρησιμοποιεί την Παγκόσμια Μερκατορική Προβολή (Universal Transverse Mercator) και ως σφαιροειδές και datum το παγκόσμιο γεωγραφικό σύστημα WGS84. Η προβολή αυτή χωρίζεται σε 60 ζώνες όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.2 και η Κύπρος βρίσκεται στην ζώνη υπ' αριθμόν 36 και παράλληλα, στο βόρειο ημισφαίριο, για αυτό τον λόγο και χρησιμοποιεί το προβολικό σύστημα με το αντίστοιχο νούμερο.



Σχήμα 4.2: Ζωνοποίηση συστήματος γεωγραφικών συντεταγμένων Παγκόσμιας Μερκατορικής Προβολής (UTM)

Επίσης, μερικά χαρακτηριστικά που δεν φαίνονται στο σχήμα 4.1 και αφορούν την συγκεκριμένη προβολή έχουν να κάνουν με τον συντελεστή κλίμακας (k) στον κεντρικό μεσημβρινό ο οποίος έχει την τιμή 0.9996, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του κεντρικού μεσημβρινού με τιμές 33 και 0 αντίστοιχα και τις τιμές False Easting και False Northing με 500000 μέτρα και 0 μέτρα αντίστοιχα.

Εντούτοις, τα ψηφιοποιημένα δεδομένα μας που αφορούν χρήσεις/καλύψεις γης με βάση το CORINE δεν ήταν γεωαναφερμένα σε κάποιο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων. Για να τα αξιοποιήσουμε λοιπόν έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε μια εκ των προαναφερθέντων τεχνικών γεωμετρικής διόρθωσης. Έκμεταλλευόμενοι λοιπόν μια γεωαναφερμένη δορυφορική εικόνα Landsat 5 TM πραγματοποιήθηκε η γεωμετρική εγγραφή (geometric registration) των ψηφιοποιημένων δεδομένων της βάσης CORINE σε αυτήν, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3: Διαδικασία γεωμετρικής εγγραφής των ψηφιοποιημένων δεδομένων της βάσης CORINE με τη βοήθεια γεωαναφερμένης εικόνας Landsat 5 TM.

Η πιο πάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον του λογισμικού επεξεργασίας δεδομένων ArcGis 10.0 με την βοήθεια του εργαλείου γεωμετρικής εγγραφής ‘Spatial Adjustment’. Για την υλοποίηση της διαδικασίας αυτής απαιτείται η ταύτιση 5 τουλάχιστον σημείων των ψηφιοποιημένων δεδομένων και της δορυφορικής εικόνας με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια ούτως ώστε να ελαχιστοποιηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο το σφάλμα της γεωμετρικής εγγραφής.

Αφού πραγματοποιήθηκαν όλες οι απαραίτητες γεωμετρικές διορθώσεις και τα δεδομένα μας είναι πλέον γεωαναφερμένα στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων (UTM-Zone 36N), ενώ δεν υπάρχει οποιαδήποτε ανάγκη ραδιομετρικών και τοπογραφικών διορθώσεων (χαμηλό υψόμετρο στην περιοχή μελέτης), σειρά παίρνει το ‘κόψιμο’ των εικόνων ούτως ώστε να μειωθεί ο όγκος των δεδομένων μας. Μειώνοντας τον όγκο των δεδομένων μας, εξοικονομούμε επίσης πολύτιμο χρόνο αφού οι οποιοσδήποτε επεξεργασίας γίνονται στην συνέχεια δεν έχουν να διαχειριστούν την πλήρες δορυφορική εικόνα (διαστάσεων 16,4 x 16,4 km) παρά μόνο αυτήν που αφορά την περιοχή μελέτης (16.54 km²). Επίσης, όταν η εικόνα μας αφορά αποκλειστικά την περιοχή μελέτης είναι ευκολότερο να επικεντρώσουμε την δουλειά μας σε αυτήν πάντοτε έχοντας παράλληλα γνώση και της ευρύτερη περιοχής.

Όσον αφορά τα ψηφιοποιημένα δεδομένα μας που αφορούν χρήσεις/καλύψεις γης με βάση το CORINE αλλά και ισουψείς καμπύλες, η πιο πάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του εργαλείου clip του λογισμικού ArcGis 10.0 ενώ

οι δορυφορικές εικόνες και η αεροφωτογραφία κατατιμήστηκαν στα όρια της περιοχής μελέτης μέσω του λογισμικού Erdas Imagine 2014, με τη βοήθεια του εργαλείου 'Create subset image' αφού τα χαρακτηριστικά τους ήταν σημαντικό να παραμείνουν αμετάβλητα.

Κατά την εξαγωγή των δεδομένων μας επιλέξαμε να αλλάξουμε την μορφή των αρχείων από MrSid (Multi-Resolution Seamless Image Database) σε .img αφού η τελευταία είναι η σύνθητες μορφή που χρησιμοποιεί το λογισμικό Erdas Imagine.

4.2 Φωτοερμηνεία των εικόνων

Ο σκοπός της *φωτοερμηνείας* είναι η ανίχνευση και η ταυτοποίηση των αντικειμένων, φαινομένων και εδαφοκαλύψεων τόσο από φασματικής όσο και από εννοιολογικής άποψης. Η διαδικασία της φωτοερμηνείας των εικόνων εμπεριέχει διάφορα στάδια πολυπλοκότητας, από την απευθείας αναγνώριση των αντικειμένων μέχρι την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν τις τοπικές συνθήκες. Ένα παράδειγμα απευθείας αναγνώρισης θα μπορούσε να θεωρηθεί η αναγνώριση ενός κόμβου ενώ άλλο ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που μας βοηθά στην εύκολη φωτοερμηνεία των εικόνων, και αποτελεί άλλο ένα αξιόλογο παράδειγμα, είναι η γνώση των σταδίων ανάπτυξης των καλλιεργειών. Δηλαδή με βάση το καλλιεργητικό ημερολόγιο και τις τοπικές συνθήκες ανάπτυξης των φυτών, θα μπορούσε να καθοριστεί, εάν ένα είδος καλλιέργειας είναι πιθανόν να εμφανίζεται σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Αργιαλάς 1999). Αυτά τα φωτοερμηνευτικά κλειδιά μαζί με πολλά άλλα, μέσω της χρήσης του και με την ανάλογη πείρα του φωτοερμηνευτή διευκολύνουν την διαδικασία της φωτοερμηνείας.

Κατά την εισαγωγή των δορυφορικών εικόνων στο λογισμικό Erdas Imagine 2014 είχαμε την δυνατότητα δημιουργίας έγχρωμων σύνθετων για την εμφάνιση των εικόνων, πέραν από αυτό που αποδίδει τα χρώματα της γήινης επιφάνειας στο ορατό φάσμα του μήκους κύματος. Πιο συγκεκριμένα είχαμε την επιλογή της ανάθεσης και της σύνθεσης των τριών χρωματικών συνιστωσών (κόκκινο, πράσινο, μπλε) στο ανάλογο τηλεπισκοπικό κανάλι για σκοπούς διευκόλυνσης της μελέτης μας. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το έγχρωμο σύνθετο με συνδυασμό 4-3-2 των καναλιών και έτσι επιτύχαμε την ανάδειξη της βλάστησης της περιοχής με κόκκινο χρώμα. Αυτό μας διευκόλυνε αρκετά στον διαχωρισμό της βλάστησης από τις ανθρωπογενείς κατασκευές, αφού στα πραγματικά χρώματα της γήινης επιφάνειας και εντός της οικιστικής περιοχής είναι αρκετά δύσκολο να διακριθεί.

Από την προσεκτική και αναλυτική λοιπόν, φωτοερμηνεία των εικόνων αλλά και με την βοήθεια της αεροφωτογραφίας και της επιτόπιας έρευνας έγινε μια πρώτη προσπάθεια διάκρισης των κατηγοριών χρήσεων/καλύψεων γης της περιοχής. Ωστόσο, της διαδικασίας αυτής προηγήθηκε η ταξινόμηση, η περιγραφή της οποίας ακολουθεί πιο κάτω.

4.3 Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση

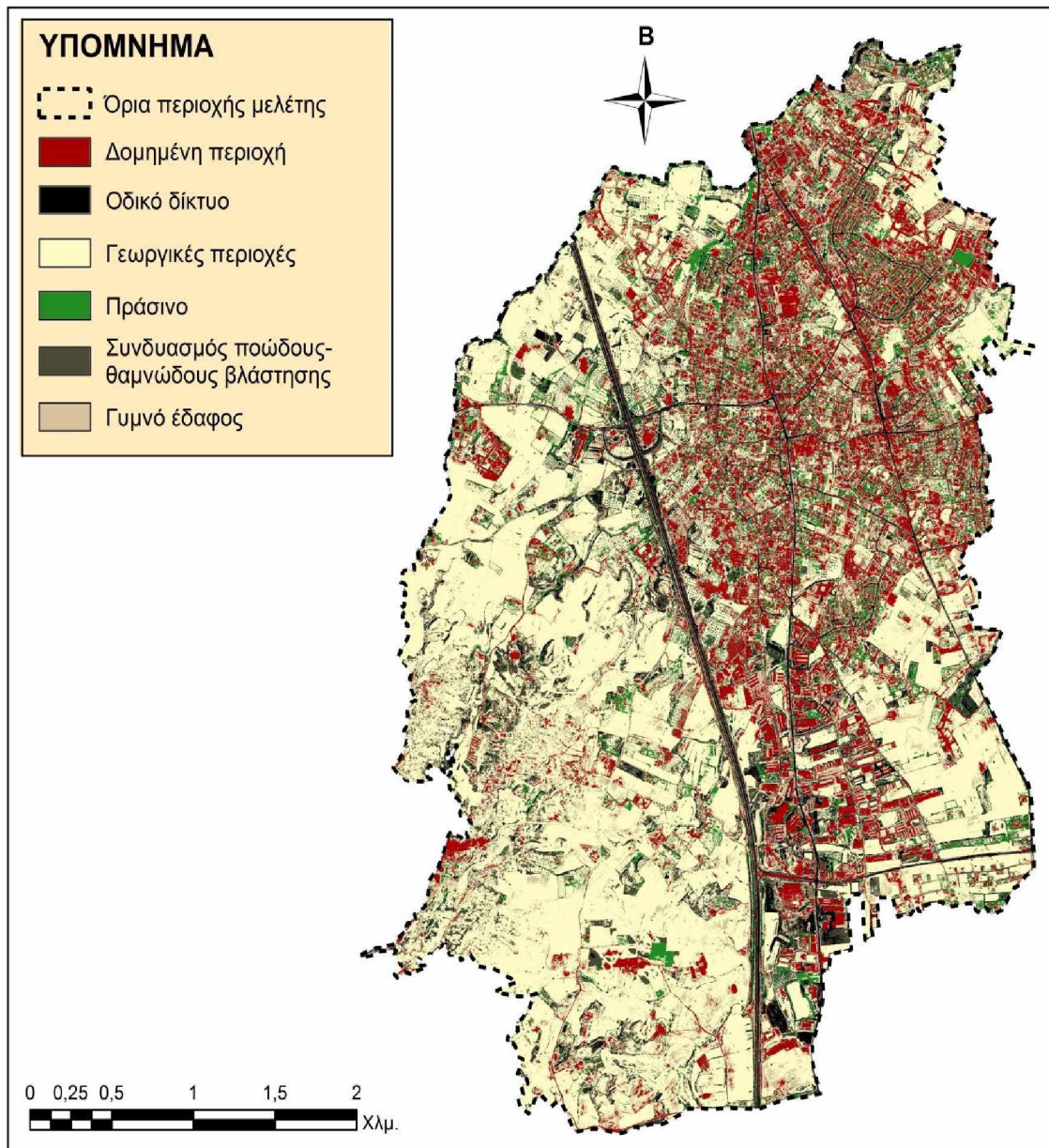
Σε μια πολυφασματική εικόνα κάθε pixel έχει τη δική του φασματική υπογραφή που καθορίζεται από την ανάκλαση του σε καθένα από τα φασματικά κανάλια. Η πολυφασματική ταξινόμηση, όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω, είναι μια διαδικασία άντλησης πληροφοριών, που αναλύει τις φασματικές υπογραφές και μετά εκχωρεί τα pixels σε κατηγορίες με βάση παρόμοιες υπογραφές. Οι διαδικασίες ταξινόμησης προσπαθούν να συγκεντρώσουν τέτοια παρόμοια pixels έτσι ώστε να μπορεί να παραχθεί ένα στρώμα με κάθε τύπο κάλυψης εδάφους που αντιπροσωπεύεται από μια διαφορετική κλάση. Η λεπτομέρεια των τάξεων εξαρτάται από τα φασματικά και τα χωρικής ανάλυσης χαρακτηριστικά του συστήματος απεικόνισης. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μια μέθοδος κατά την οποία ο υπολογιστής αναζητά φυσικές ομάδες παρόμοιων pixels που ονομάζονται *συσσωρεύσεις*. Στο Erdas Imagine η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση εκτελείται σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο που ονομάζεται ISODATA. Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο, ο αναλυτής εισάγει τον αριθμό των ομάδων που επιθυμεί και το κατώφλι εμπιστοσύνης. Ο υπολογιστής τότε θα φτιάξει τις ομάδες επαναληπτικώς, που σημαίνει ότι με κάθε νέα επανάληψη, οι ομάδες γίνονται όλο και περισσότερο ξεκάθαρες. Οι επαναλήψεις σταματούν όταν το επίπεδο εμπιστοσύνης (ή ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων που έχει καθοριστεί από τον χρήστη) έχει επιτευχθεί. Αφότου χτιστούν οι ομάδες, ο αναλυτής πρέπει να επιλέξει τις τάξεις εδαφοκάλυψης, στη συνέχεια να αντιστοιχίσει την κάθε ομάδα στην κατάλληλη τάξη. Μόλις αντιστοιχηθούν όλες οι ομάδες σε μια τάξη, η εικόνα των ομάδων μπορεί να κωδικοποιηθεί εκ νέου σε ένα στρώμα που παρουσιάζει κάθε τάξη κάλυψης εδάφους με ένα διαφορετικό χρώμα.

Στη παρούσα εργασία, η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο Erdas Imagine 2014, με τον αλγόριθμο ISODATA αφού θεωρείται πιο βελτιωμένος σε σχέση με τον K-Means. Ο αριθμός των επαναλήψεων των συσσωρεύσεων (Iterations) ορίστηκε στις 30, αριθμός που θεωρείται αρκετά υψηλός για τα δεδομένα μας, ενώ σε περίπτωση που είχε

δημιουργηθεί ο αριθμός των κατηγοριών και το 98% των συσσωρεύσεων παρέμενε αμετάβλητο ο αλγόριθμος σταματούσε τις επαναλήψεις. Αυτό ρυθμίστηκε μέσω της επιλογής του Convergence Threshold στην τιμή 0.980. Η μέγιστη τυπική απόκλιση (Maximum SD) κάθε κατηγορίας, ουσιαστικά καθορίζει την αυστηρότητα του αλγόριθμου στη συσσώρευση και για το λόγο αυτό επιλέχτηκε χαμηλή τιμή (2.00). Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των μέσων δύο τάξεων σχετίζεται επίσης με την αυστηρότητα του αλγορίθμου στο διαχωρισμό μεταξύ δύο 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. Για λιγότερες όμως κατηγορίες, ενδείκνυται η χρήση μεγαλύτερης απόστασης διότι ο κίνδυνος σύγχυσης δύο κατηγοριών είναι μικρότερος.

Τέλος, έπρεπε να προσδιοριστεί ο κατάλληλος αριθμός τάξεων. Επιλέγοντας μεγάλο αριθμό τάξεων τίθεται το πρόβλημα ότι πάρα πολλές τάξεις θα πρέπει να κωδικοποιηθούν εκ νέου κατά το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας ταξινόμησης. Από την άλλη, η επιλογή λιγότερων από το βέλτιστο τάξεων για ταξινόμηση θα έχει ως αποτέλεσμα πολλά pixel να ταξινομηθούν λανθασμένα και θα οδηγήσει σε μια ακόμη διαδικασία εκ νέου κωδικοποίησης. Αρχικά ορίστηκαν ως επιλογή οι 15 τάξεις παρόλο που με μια πρόχειρη φωτοερμηνεία κρίθηκε ότι οι τάξεις στην περιοχή μελέτης είναι λιγότερες κάνοντας έτσι την διαδικασία επανακωδικοποίησης για τα λάθος ταξινομημένα Pixel στην συνέχεια ευκολότερη.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε ομαδοποίηση και χρωματική αντιστοίχιση των κατηγοριών σε θεματικές τάξεις αντικειμένων της γήινης επιφάνειας. Η φωτοερμηνεία έγινε με την βοήθεια των προτύπων του προγράμματος CORINE καθώς και με την βοήθεια από την αεροφωτογραφία της περιοχής μελέτης του 2008 όπως και με την επιτόπια έρευνα σε ορισμένες περιπτώσεις. Αφού πραγματοποιήθηκε η φωτοερμηνεία των εικόνων, οι συσσωρεύσεις ονοματίστηκαν και χρωματίστηκαν κατάλληλα και πλέον οι φασματικές τάξεις αντιστοιχούν σε πραγματικές τάξεις χρήσης/κάλυψης γης όπως φαίνεται και στο πιο κάτω σχήμα (Σχήμα 4.4). Η ονοματολογία που χρησιμοποιήθηκε έχει σαν βάση τις κατηγορίες που προτείνει το σύστημα ταξινόμησης χρήσεων/καλύψεων γης του προγράμματος CORINE.



Σχήμα 4.4: Ψευδόχρωμη εικόνα θεματικών τάξεων της περιοχής μελέτης του 2003 παραγόμενη μέσω της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τον αλγόριθμο ISODATA.

Από τις 15 κλάσεις που επιλέγηκαν για την υλοποίηση του αλγόριθμου ISODATA, μετά και την τελική φωτοερμηνεία προέκυψαν τελικά 6 κλάσεις, όπως φαίνεται στον πιο πάνω θεματικό χάρτη, οπότε ο χρωματισμός μερικών συσσωρεύσεων ήταν κοινός αφού αντιπροσώπευαν τις ίδιες θεματικές τάξεις. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως θα μπορούσε στις παραμέτρους των κατηγοριών, προτού υλοποιήσουμε τον αλγόριθμο, να επιλεγεί μικρότερος αριθμός με πιθανό κίνδυνο όμως συνένωσης άλλων κατηγοριών όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω. Συμπερασματικά, ήταν προτιμότερο να εξαχθούν δύο συσσωρεύσεις, που παρά τη μικρή φασματική διαφοροποίηση, αντιπροσωπεύουν την ίδια θεματική κατηγορία παρά να συγχωνευτούν δύο ξεχωριστές τάξεις. Οι θεματικές κατηγορίες που τελικά προέκυψαν όπως φαίνονται και στο Σχήμα 4.4 είναι οι εξής:

- *Οδικό δίκτυο* – Ασφαλτόδρομοι
- *Δομημένη περιοχή* – Συνεχής και διακεκομμένη αστική οικοδόμηση
- *Πράσινο* – Περιοχές αστικού πρασίνου, δέντρα αλλά και διάσπαρη βλάστηση εντός και εκτός της οικιστικής ζώνης
- *Γυμνό έδαφος* – χωμάτινη επιφάνεια σε μη δομημένα οικόπεδα ή άγονα αγροτεμάχια και χωμάτινοι δρόμοι
- *Συνδυασμός ποώδους - θαμνώδους βλάστησης*

Η εξαγωγή των πιο πάνω κατηγοριών, με βάση τη συγχώνευση αρκετών υποκατηγοριών μας βοηθά σε μεγάλο βαθμό να παρακολουθήσουμε καλύτερα την αστική ανάπτυξη αφού έτσι γίνεται ξεκάθαρος διαχωρισμός του δομημένου και του μη δομημένου περιβάλλοντος.

Από την ψευδόχρωμη εικόνα που παράχθηκε όμως προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα-προβλήματα:

- Υπάρχει σοβαρό πρόβλημα με τις σκιές στην εικόνα όπως αυτές των κτιρίων ή των δέντρων όπου υπάρχει σύγχυση με άλλες κατηγορίες, κυρίως με το οδικό δίκτυο.
- Δεν είναι δυνατή η απόλυτη διάκριση συνεχούς αστικής και μη συνεχούς αστικής δόμησης.
- Σημαντικό τμήμα του γυμνού εδάφους αλλά και του οδικού δικτύου ταξινομείται ως δομημένη περιοχή.

- Τμήμα του οδικού δικτύου ταξινομείται στην κατηγορία του συνδυασμού ποώδους-θαμνώδους βλάστησης.
- Δεν δύναται να γίνει διάκριση μεταξύ αρόσιμης γης και άλλων γεωργικών περιοχών όπως είναι η μόνιμα αρδευόμενη γη και οι μόνιμες καλλιέργειες (π.χ. ελαιώνες,οπωρώνες).

Η αναγνώριση των θεματικών κατηγοριών εκ των υστέρων, με την βοήθεια των παρατηρήσεων από την αεροφωτογραφία αλλά και την επιτόπια έρευνα, στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση διαφάνηκε ότι δεν ήταν αρκετά αποτελεσματική και έτσι δεν αξιοποιήθηκε. Η μελέτη ωστόσο δεν έλαβε τέλος αφού ακολούθησε η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης η οποία έδωσε πολύ καλύτερα αποτελέσματα.

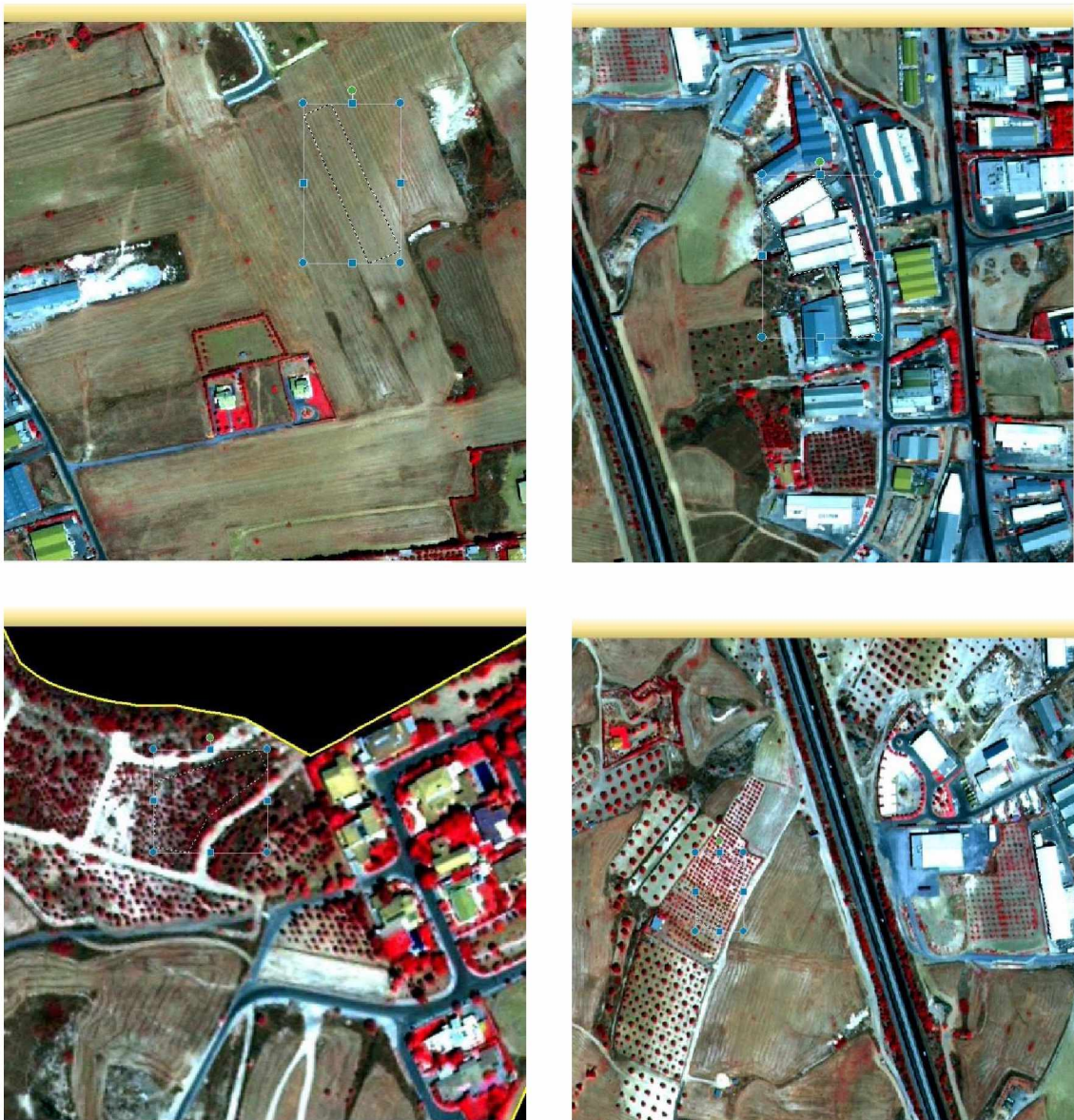
4.4 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Η επιλογή της μεθόδου ταξινόμησης εξαρτάται από τη γνώση της περιοχής μελέτης, τον αριθμό και τα χαρακτηριστικά των τάξεων που θα δημιουργηθούν. Αρχικά, να αναφέρουμε ότι επειδή έχει ήδη προηγηθεί η διαδικασία της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, 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.

Όπως έχει αναλυθεί και στο σχετικό κεφάλαιο, στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση ο χρήστης στηρίζεται στην ικανότητα αναγνώρισης των περιοχών εκπαίδευσης (training sites) και την a-priori γνώση των στοιχείων τους για να βοηθήσει το σύστημα να καθορίσει τα στατιστικά κριτήρια (υπογραφές) για την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων. Συνήθως, η γνώση αυτή αποκτάται είτε από την επιτόπια έρευνα στην περιοχή μελέτης και τη χρήση GPS (Global Positioning System) είτε μέσω έγκυρων χαρτογραφικών πηγών της περιοχής. Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι καλύτερα ο αναλυτής να έχει στο μυαλό του ένα σύνολο από επιθυμητές υπογραφές επιλέγοντας τις κατάλληλες περιοχές εκπαίδευσης στην εικόνα. Με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, γίνεται καλύτερη αναπαράσταση της κάλυψης γης η οποία οφείλεται κυρίως στον τρόπο επιλογής των περιοχών εκπαίδευσης. Συμπερασματικά, όσο καλύτερη γνώση της υπό μελέτη περιοχής έχουμε, τόσο καλύτερα είναι και τα αποτελέσματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Το στάδιο της εκπαίδευσης, αφορά την δημιουργία ενός αριθμού φασματικών υπογραφών βάση των οποίων θα γίνει η απόδοση των εικονοστοιχείων της εικόνας σε τύπους χρήσης/κάλυψης γης. Κάθε υπογραφή αντιστοιχεί σε ένα τύπο χρήσης/κάλυψης γης και χρησιμοποιείται από τον αλγόριθμο (κανόνα) ταξινόμησης για να αποδώσει τα εικονοστοιχεία της εικόνας στον τύπο αυτό.

Με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση επιλέγονται εικονοστοιχεία, τα οποία αντιπροσωπεύουν αναγνωρίσιμες δομές στην εικόνα ή στοιχεία χρήσης/κάλυψης γης. Για την επιλογή περιοχών εκπαίδευσης σε μια εικόνα χρησιμοποιούνται πολύγωνα όπως φαίνεται και στο πιο κάτω σχήμα (Σχήμα 4.5)



Σχήμα 4.5: Παραδείγματα επιλογής εκπαιδευτικών πεδίων (training fields) στην δορυφορική εικόνα Quickbird

Για τον εντοπισμό των περιοχών εκπαίδευσης στην εικόνα μας χρησιμοποιούμε βοηθητικά όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω αεροφωτογραφίες ή οποιοδήποτε άλλο μέσο μας βοηθά στο να προσδιορίσουμε την χρήση/κάλυψη γης της εκάστοτε περιοχής εκπαίδευσης. Η επιλογή των κατάλληλων περιοχών εκπαίδευσης παίζει σημαντικό ρόλο στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση και αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για την επιτυχία της. Επίσης, τα εκπαιδευτικά πεδία θα πρέπει να είναι οπωσδήποτε αντιπροσωπευτικά των τάξεων που θα δημιουργήσουν και αυτό επιτυγχάνεται όταν καλύπτουν ομοιογενείς περιοχές.

Ορισμένες από τις φασματικές υπογραφές που δημιουργούνται μπορούν να απαλειφθούν, σε περίπτωση που ταξινομούν σχετικά μικρό αριθμό εικονοστοιχείων στην εικόνα, ή να συνενωθούν με άλλες, αν κριθεί ότι επικαλύπτονται σημαντικά με αυτές στον φασματικό χώρο. Η διαδικασία αυτή γίνεται με το εργαλείο 'Merge selected signatures' που διαθέτει το 'Signature editor' και το οποίο φαίνεται με κόκκινο κύκλο στο πιο κάτω σχήμα.

Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
11	Επαώνες-σπαράνες		0.642	0.650	0.655	12	12	17117	1.000	✓	✓	✓	✓	
12	Τεχνητές υδάτινες επιφάνειες		0.581	0.033	0.000	13	13	183	1.000	✓	✓	✓	✓	
13	Γυμνό έδαφος		0.623	0.709	0.607	14	14	3268	1.000	✓	✓	✓	✓	
14	Σκούρο έδαφος		0.163	0.160	0.115	15	15	3257	1.000	✓	✓	✓	✓	
15	Λοφώδες έδαφος		0.435	0.425	0.299	16	16	7182	1.000	✓	✓	✓	✓	
16	Γήπεδο		0.905	0.694	0.418	17	17	5193	1.000	✓	✓	✓	✓	
17	Μόνιμα αρδευόμενη γη		0.463	0.485	0.506	18	18	3231	1.000	✓	✓	✓	✓	
18	Γρασίδι		0.264	0.127	1.000	19	19	826	1.000	✓	✓	✓	✓	
19	Αστικό οδικό δίκτυο 1		0.316	0.220	0.000	20	20	663	1.000	✓	✓	✓	✓	
20	Αστικό οδικό δίκτυο 2		0.515	0.408	0.145	21	21	239	1.000	✓	✓	✓	✓	
21	Αστικό οδικό δίκτυο 3		0.385	0.303	0.089	22	22	181	1.000	✓	✓	✓	✓	

Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
13	Γυμνό έδαφος		0.623	0.709	0.607	14	14	3268	1.000	✓	✓	✓	✓	
14	Σκούρο έδαφος		0.163	0.160	0.115	15	15	3257	1.000	✓	✓	✓	✓	
15	Λοφώδες έδαφος		0.435	0.425	0.299	16	16	7182	1.000	✓	✓	✓	✓	
16	Γήπεδο		0.905	0.694	0.418	17	17	5193	1.000	✓	✓	✓	✓	
17	Μόνιμα αρδευόμενη γη		0.463	0.485	0.506	18	18	3231	1.000	✓	✓	✓	✓	
18	Γρασίδι		0.264	0.127	1.000	19	19	826	1.000	✓	✓	✓	✓	
19	Αστικό οδικό δίκτυο		0.372	0.276	0.035	5	23	1083	1.000	✓	✓	✓	✓	

Σχήμα 4.6: Διαδικασία συγχώνευσης φασματικών υπογραφών

Όταν επιλέξουμε όλες τις περιοχές που μας ενδιαφέρουν και δημιουργήσουμε τις κατάλληλες συγχωνεύσεις τότε ο πίνακας του ‘Signature editor’ θα έχει την πιο κάτω μορφή.

Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1	Ταράτσα_άσπρη_αστικό		1.000	1.000	1.000	1	1	866	1.000	✓	✓	✓	✓	
2	Ταράτσα_γκρι_αστικό		0.896	0.728	0.457	2	2	738	1.000	✓	✓	✓	✓	
3	Κεραμοσκεπή_αστικό		0.540	0.811	0.768	3	3	636	1.000	✓	✓	✓	✓	
4	Αυτοκινητόδρομος		0.066	0.000	0.000	4	4	3401	1.000	✓	✓	✓	✓	
5	Χωματόδρομος		0.814	0.832	0.724	6	6	564	1.000	✓	✓	✓	✓	
6	Ταράτσα_1_βιομηχανία		0.326	0.698	0.536	7	7	6470	1.000	✓	✓	✓	✓	
7	Ταράτσα_γκρι_βιομηχανία		0.844	0.655	0.312	8	8	4028	1.000	✓	✓	✓	✓	
8	Ταράτσα_άσπρη_βιομηχανία		1.000	1.000	1.000	9	9	10714	1.000	✓	✓	✓	✓	
9	Αρόσιμη γη		0.532	0.586	0.618	10	10	30063	1.000	✓	✓	✓	✓	
10	Δέντρα		0.100	0.000	0.496	11	11	230	1.000	✓	✓	✓	✓	
11	Εθαώνες-οπωρώνες		0.642	0.650	0.655	12	12	17117	1.000	✓	✓	✓	✓	
12	Τεχνητές υδάτινες επιφάνειες		0.581	0.033	0.000	13	13	183	1.000	✓	✓	✓	✓	
13	Γυμνά έδαφος		0.623	0.709	0.607	14	14	3268	1.000	✓	✓	✓	✓	
14	Σκούρα έδαφος		0.163	0.160	0.115	15	15	3257	1.000	✓	✓	✓	✓	
15	Λοσάδες έδαφος		0.435	0.425	0.299	16	16	7182	1.000	✓	✓	✓	✓	
16	Γήπεδο		0.905	0.694	0.418	17	17	5193	1.000	✓	✓	✓	✓	
17	Μάνιμα αρδευόμενη γη		0.463	0.485	0.506	18	18	3231	1.000	✓	✓	✓	✓	
18	Γρασίδι		0.264	0.127	1.000	19	19	826	1.000	✓	✓	✓	✓	
19	Αστικό οδικό δίκτυο		0.372	0.276	0.035	5	23	1083	1.000	✓	✓	✓	✓	

Σχήμα 4.7: Θεματικές κατηγορίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την περιοχή μελέτης (Δορυφορική εικόνα Quickbird 2003)

Οι πιο πάνω κατηγορίες εδαφοκάλυψης έχουν εντοπιστεί στην περιοχή μελέτης και τα χαρακτηριστικά τους καθώς και παραδείγματα φωτογραφιών που τις απεικονίζουν παρουσιάζονται στον πίνακα κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής στο Παράρτημα του κειμένου.

Μεταξύ των κατηγοριών αυτών επιλέγηκαν εκείνες που αφενός καλύπτουν σε σημαντικό βαθμό την υπό μελέτη περιοχή, και ακόμη, παρουσιάζουν κατά το δυνατό μεγαλύτερη φασματική διαφοροποίηση. Η επιλογή όμως των τελικών κατηγοριών και των δειγμάτων που τις αντιπροσώπευαν δεν είναι τόσο απλή για την εικόνα της συγκεκριμένης περιοχής., διότι σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχει επικάλυψη των φασματικών τους υπογραφών. Στο πιο πάνω σχήμα παρουσιάζονται οι θεματικές τάξεις που εμφανίζονται στην δορυφορική εικόνα Quickbird του 2003. Οι τάξεις αυτές προήλθαν ύστερα από εκτενή πειραματισμό και επαναλήψεις ως προς το φασματικό τους διαχωρισμό.

Για να βρεθεί όμως ο βαθμός επικάλυψης των φασματικών υπογραφών τους, ούτως ώστε να ποσοτικοποιήσουμε το ζήτημα αυτό, χρειάζεται να δημιουργήσουμε τον πίνακα διαχωρισμού (Separability cell array). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, γίνεται μια γρήγορη ταξινόμηση των εικονοστοιχείων της εικόνας και καταμετρώνται τα ποσοστά των εικονοστοιχείων του κάθε εκπαιδευτικού πεδίου που ταξινομήθηκαν σε κάθε μια από τις θεματικές τάξεις. Τα ποσοστά αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα Separability Cell Array ο οποίος φαίνεται στο Παράρτημα της παρούσας μελέτης.

Ο πίνακας αυτός δείχνει την διαχωριστικότητα μεταξύ των διαφορετικών τάξεων των πληροφοριών. Το μηδέν δείχνει ότι δεν υπάρχει καλή διαχωριστικότητα, το 2000 σημαίνει ότι οι τάξεις έχουν τέλεια διαχωριστικότητα, πάνω από το 1900 η διαχωριστικότητα είναι καλή, ενώ κάτω από την τιμή 1700 η διαχωριστικότητα θεωρείται σχετικά αδύναμη.

Ο αλγόριθμος με τον οποίο επιλέχθηκε να μετρηθεί η απόσταση μεταξύ των φασματικών τάξεων είναι ο 'Transformed Divergence' και εκφράζεται με την εξής σχέση:

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \text{tr} \left((C_i - C_j)(C_i^{-1} - C_j^{-1}) \right) + \frac{1}{2} \text{tr} \left((C_i^{-1} - C_j^{-1})(\mu_i - \mu_j)(\mu_i - \mu_j)^T \right) \quad (4.1)$$

$$TD_{ij} = 2000 \left(1 - \exp \left(\frac{-D_{ij}}{8} \right) \right) \quad (4.2)$$

Όπου:

i και j = οι φασματικές υπογραφές οι οποίες συγκρίνονται μεταξύ τους

$C_{i,j}$ = ο πίνακας συνδιακύμανσης των φασματικών υπογραφών i και j αντίστοιχα

$\mu_{i,j}$ = το μέσο διάνυσμα των φασματικών υπογραφών i και j αντίστοιχα

tr = το ίχνος του τετραγωνικού πίνακα (άθροισμα των στοιχείων της κύριας διαγωνίου ενός πίνακα)

T = η συνάρτηση μεταφοράς

Με την διαδικασία της ταξινόμησης είναι δυνατόν να παραχθεί ένας μεγάλος αριθμός φασματικών τάξεων, οι οποίες ανήκουν σε μια γενικότερη κατηγορία. Στην περίπτωση αυτή, στις τάξεις αυτές αποδίδεται μια τάξη πληροφόρησης. Για παράδειγμα, η ακριβής

ταξινόμησης μιας ενδεχόμενης τάξης όπως το έδαφος, μπορεί να χρειάζεται αρκετές φασματικές ‘υπο-τάξεις’. Όταν η ταξινόμηση της εικόνας ολοκληρωθεί, στις ‘υπο-τάξεις’ αυτές θα πρέπει να αποδοθεί το ίδιο σύμβολο που θα αντιστοιχηθεί σε μια τάξη πληροφόρησης.

Από τον πίνακα είναι ξεκάθαρο ότι οι φασματικές υπογραφές της κατηγορίας ‘Μόνιμα αρδευόμενη γη’ εμφανίζουν αρκετά μεγάλη επικάλυψη με την κατηγορία που αντιστοιχεί στους ‘Ελαιώνες-οπωρώνες’. Αυτό είναι απολύτως λογικό αφού και οι δύο κατηγορίες έχουν να κάνουν με καλλιέργειες φυτών και δέντρων αντίστοιχα, η αντανακλαστικότητα των οποίων σχεδόν ταυτίζεται. Επίσης δύο άλλες κατηγορίες των οποίων οι φασματικές υπογραφές εμφανίζουν μεγάλη επικάλυψη είναι οι κατηγορίες ‘Χωματόδρομος’ και ‘Γυμνό έδαφος’, επίσης λογική παρατήρηση αφού το υλικό και των δύο (χώμα) είναι σχεδόν ίδιο και κατά συνέπεια αντανακλά με παρόμοιο τρόπο.

Ο πλήρης διαχωρισμός μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την απόρριψη ορισμένων κατηγοριών και την μετα-επεξεργασία του θεματικού χάρτη ή και βάση άλλων κανόνων και τεχνικών ταξινόμησης. Προτιμάται όμως η μη απόρριψή τους, αλλά η εχδεχόμενη μελλοντική συνένωσή τους.

Για τον προσδιορισμό των φασματικών υπογραφών κάθε θεματικής τάξης, που χρειάζονται για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης, είναι αναγκαίο να υπολογιστούν και 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. Στο πιο κάτω σχήμα (Σχήμα 4.8) παρουσιάζεται ο πίνακας που περιλαμβάνει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της κατηγορίας ‘Αρόσιμη γη’ σε κάθε φασματικό κανάλι.

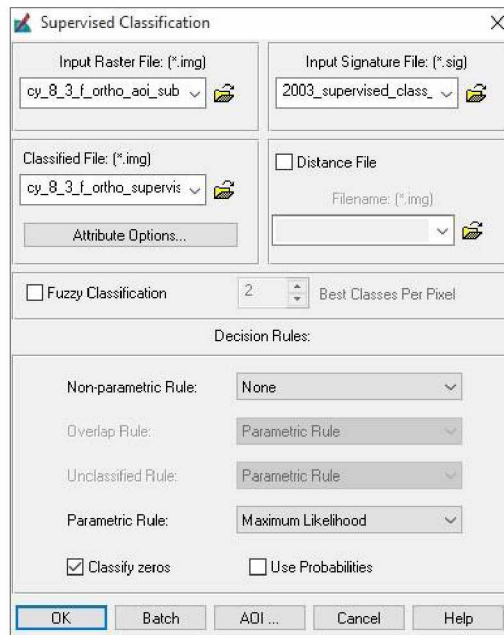
Univariate				
Layer	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.
1	73.000	159.000	108.982	18.544
2	51.000	131.000	84.662	18.213
3	8.000	81.000	39.542	15.935

Covariance			
Layer	1	2	3
1	343.874	326.728	273.327
2	326.728	331.708	279.194
3	273.327	279.194	253.921

Σχήμα 4.8: Στατιστικά δεδομένα θεματικής κατηγορίας 'Αρόσιμη γη'

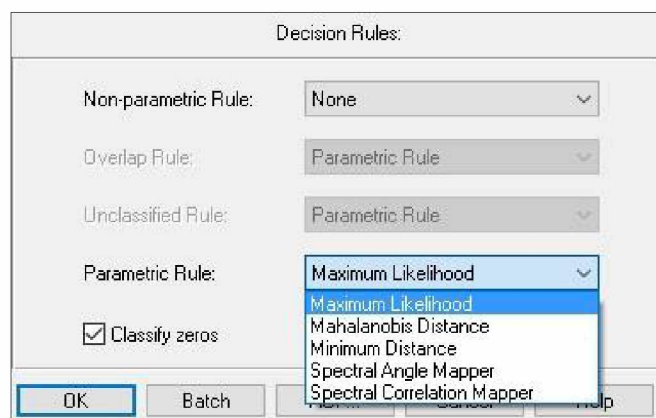
Παρατηρώντας τα στατιστικά δεδομένα όλων των κατηγοριών, προκύπτει ότι σχεδόν σε όλα τα κανάλια υπάρχουν μικρές ή μεγάλες επικαλύψεις μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών, που είναι αποτέλεσμα των παρόμοιων φασματικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν. Το γεγονός αυτό καθιστά αρκετά δύσκολο ή και αδύνατο τον διαχωρισμό των θεματικών κατηγοριών που έχουν επιλεγεί για την ταξινόμηση και με τα πιο πάνω δεδομένα φαίνεται πως ο αλγόριθμος της ταξινόμησης που θα επιλεγεί θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του αποτελέσματος της ταξινόμησης.

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία του θεματικού χάρτη χρήσεων/καλύψεων γης με την τελική ταξινόμηση όλων των εικονοστοιχείων της εικόνας. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος ταξινόμησης που είναι είτε παραμετρικός, όπως ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης, της απόστασης Mahalanobis και της μέγιστης πιθανοφάνειας είτε μη παραμετρικός, όπως ο αλγόριθμος του παραλληλεπιπέδου. Ένας παραμετρικός αλγόριθμος ταξινόμησης μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε περιοχές εκπαίδευσης μιας επιβλεπόμενης ταξινόμησης είτε στις ομάδες που προήλθαν από τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Αντιθέτως, ένας μη παραμετρικός αλγόριθμος ταξινόμησης εφαρμόζεται μόνο στα εκπαιδευτικά δείγματα μιας επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

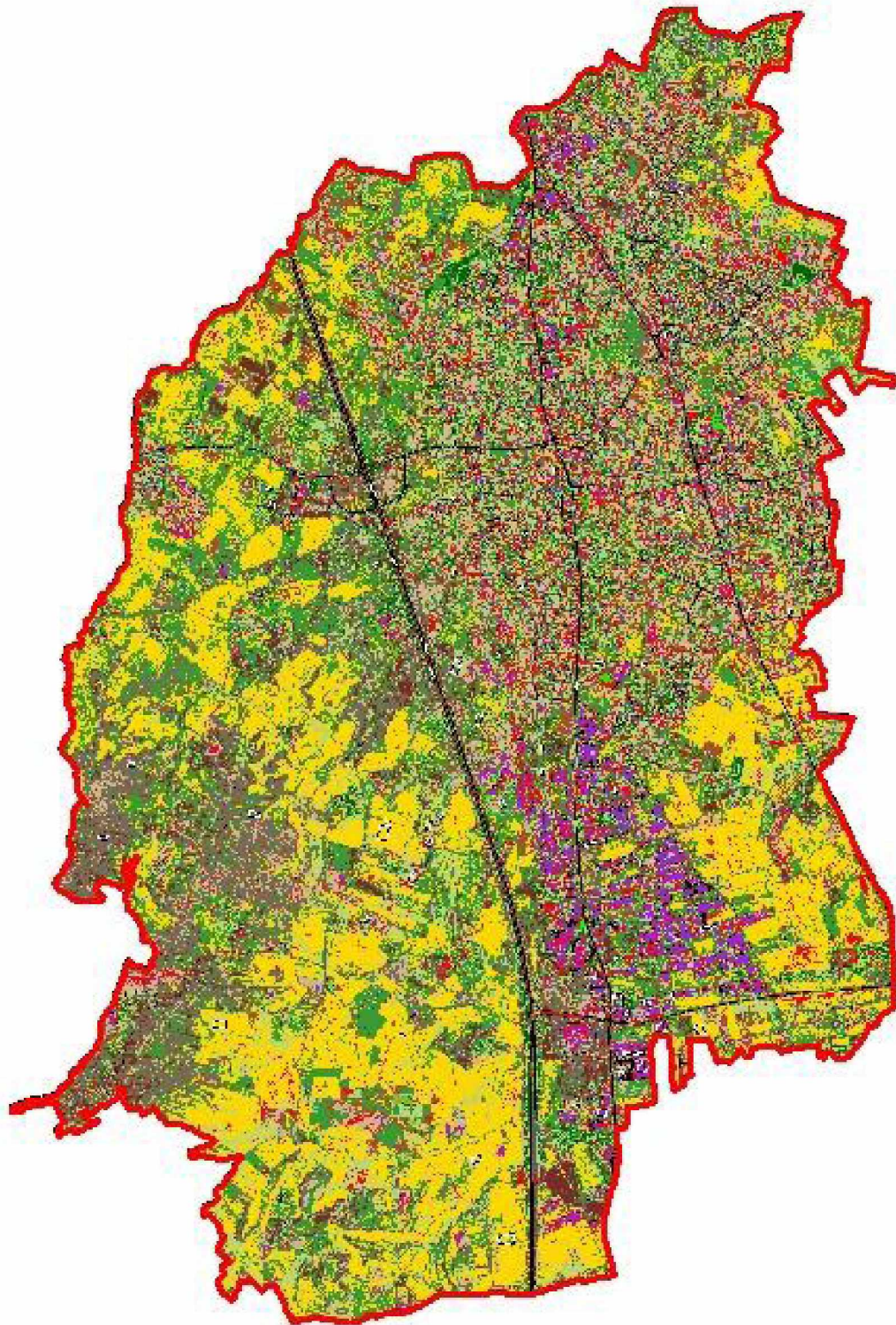


Σχήμα 4.9: Προσδιορισμός παραμέτρων για την υλοποίηση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης

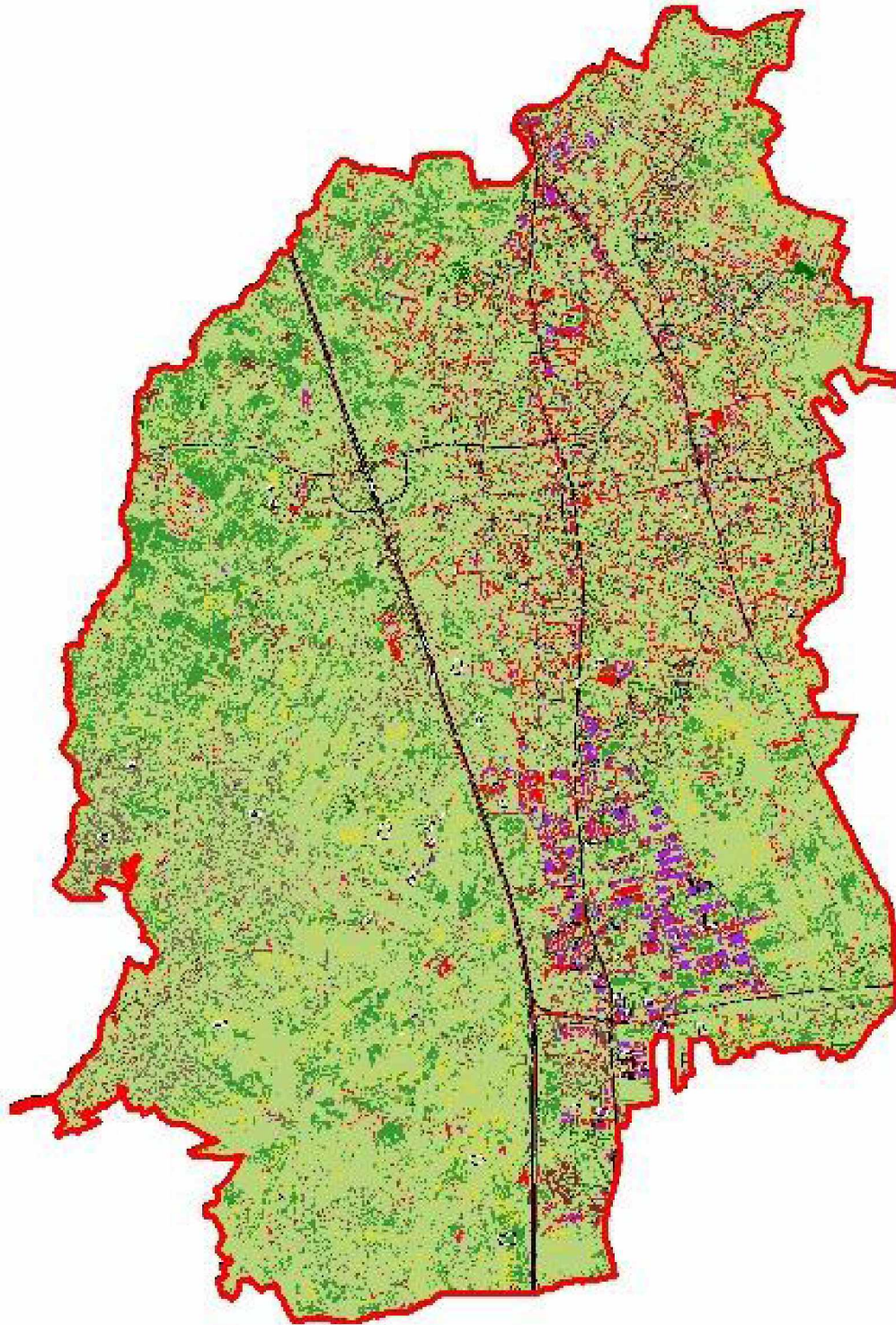
Καταβλήθηκε η προσπάθεια να εξαντληθούν όλες οι βασικές δυνατότητες του λογισμικού Erdas Imagine 2014 στην ανάλυση των δεδομένων μας, με περιορισμούς βέβαια τα διαθέσιμα δεδομένα αλλά και τις γνώσεις του αναλυτή. Συνεπώς για την υλοποίηση της διαδικασίας της ταξινόμησης των τελικών κατηγοριών δοκιμάστηκαν όλοι οι διαθέσιμοι αλγόριθμοι που υπάρχουν στο κεντρικό μενού του εργαλείου 'Supervised Classification' του λογισμικού, οι οποίοι φαίνονται στην λίστα του Σχήματος 4.10.



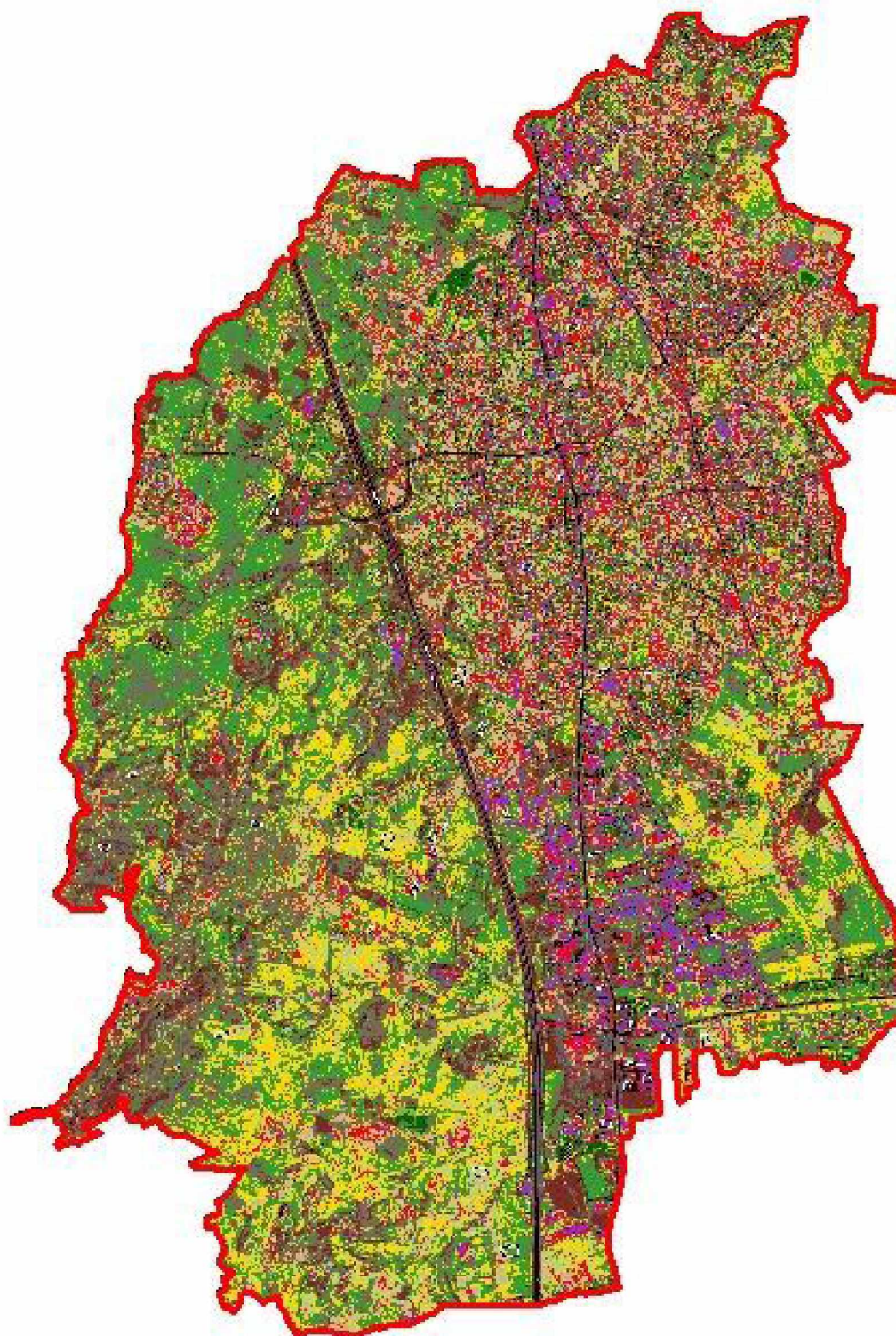
Σχήμα 4.10: Επιλογή αλγόριθμου για την υλοποίηση της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης



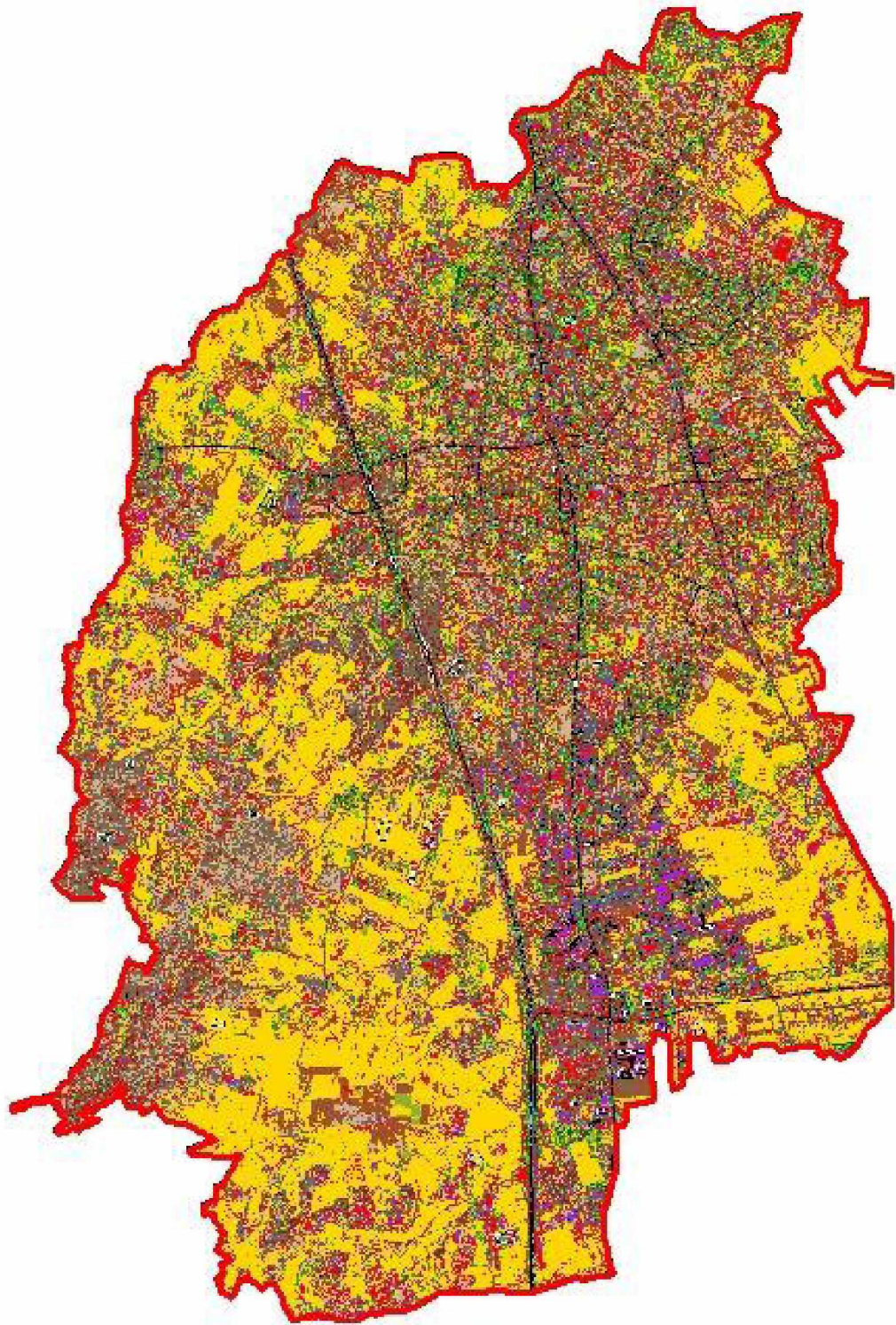
Σχήμα 4.11: Θεματικός χάρτης κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής που παράχθηκε μέσω της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο **Maximum Likelihood**



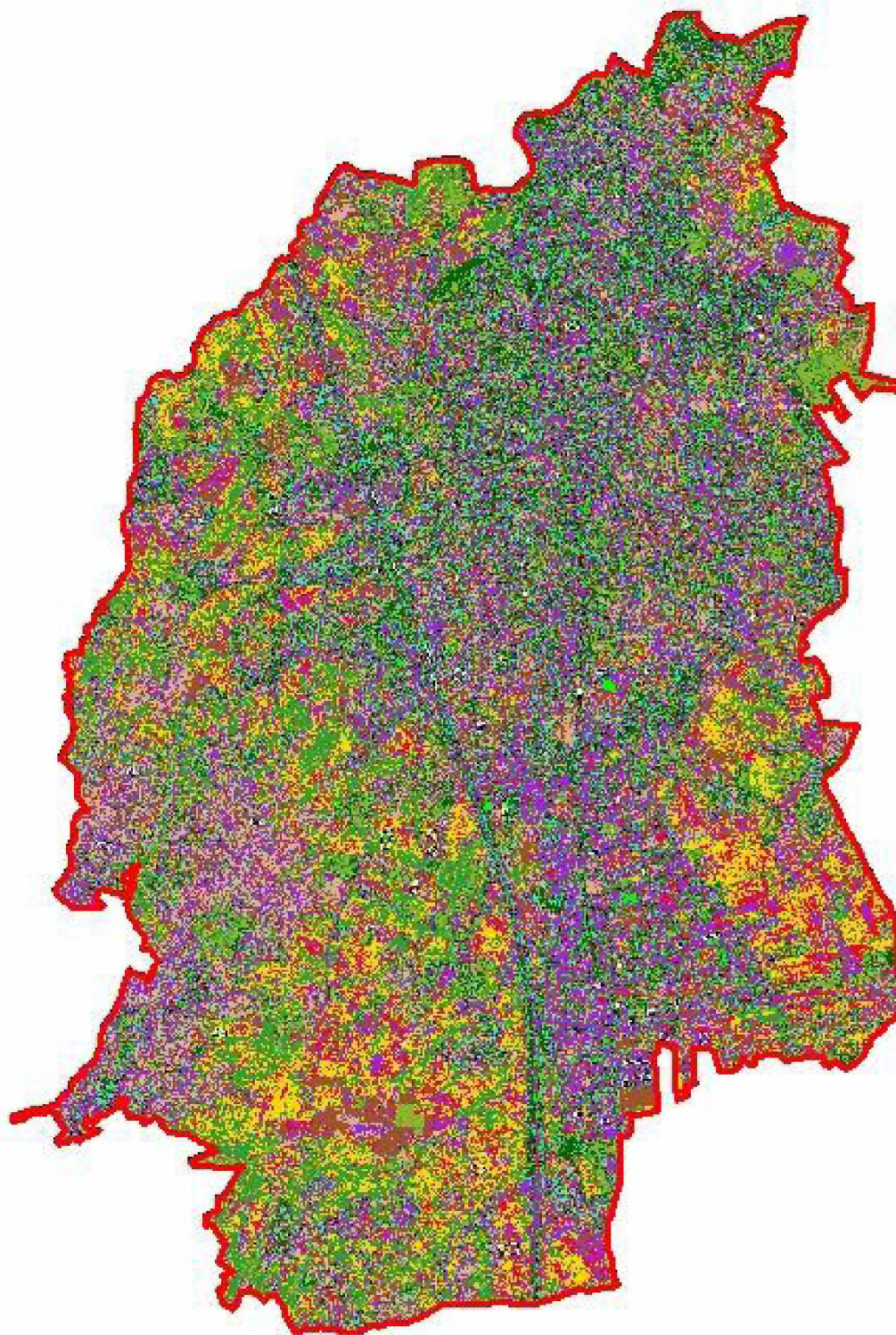
Σχήμα 4.12: Θεματικός χάρτης κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής που παράχθηκε μέσω της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο **Mahalanobis Distance**.



Σχήμα 4.13: Θεματικός χάρτης κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής που παράχθηκε μέσω της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο *Minimum Distance*



Σχήμα 4.14 Θεματικός χάρτης κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής που παράχθηκε μέσω της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο **Spectral Angle Mapper**



Σχήμα 4.15: Θεματικός χάρτης κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής που παράχθηκε μέσω της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο **Spectral Correlation Mapper**

Ο αλγόριθμος που απέδωσε καλύτερα και επιλέχθηκε να παρουσιαστούν τα στατιστικά του στοιχεία ήταν ο αλγόριθμος ‘Μέγιστης Πιθανοφάνειας’ (Maximum Likelihood) και για τις δύο εικόνες. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα και από τους πιο πάνω θεματικούς χάρτες, αφού ο συγκεκριμένος αλγόριθμος είναι αυτός που ταξινομεί με τη μεγαλύτερη ακρίβεια και πιο κοντά στα πραγματικά δεδομένα, τα εικονοστοιχεία μας.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να τονιστεί και μια σημαντική λεπτομέρεια που αφορά την διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης που πραγματοποιήθηκε με τον συγκεκριμένο αλγόριθμο. Κατά την επιλογή του αλγόριθμου της Μέγιστης Πιθανοφάνειας, αυτόματα, στο ίδιο παράθυρο μας δίνεται η δυνατότητα επιλογής του ‘Use Probabilities’. Στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιλέγηκε η μη συμπλήρωση της βασικής αυτής παραμέτρου ενώ για όλα επιλέγηκε η τιμή ‘none’. Ο λόγος για την τοποθέτηση της τιμής αυτής στις πιο πάνω παραμέτρους είναι ο εξής: η συμπλήρωση των παραμέτρων λειτουργεί καλύτερα, είτε στη χαρτογράφηση μιας αστικής κατηγορίας ξεχωριστά είτε στη χαρτογράφηση ενός μικρού αριθμού κατηγοριών, πράγμα που είναι εφικτό με πολλές δοκιμές στην τιμή της κάθε παραμέτρου (σε συνδυασμό με την μελέτη των στατιστικών στοιχείων και της τυπικής απόκλισης για κάθε κατηγορία) και επίθεση του αποτελέσματος στην απεικόνιση για τον έλεγχο των ταξινομημένων εικονοστοιχείων. Η διαδικασία όμως αυτή είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα όταν τα δεδομένα μας αφορούν αστικές περιοχές με με πολλά εκπαιδευτικά πεδία ενώ και η τοποθέτηση μιας μόνο τιμής για όλες τις κατηγορίες δεν έχει κανένα αποτέλεσμα λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών (φασματικών και στατιστικών) των εξεταζόμενων αστικών κατηγοριών. Για το λόγο αυτό, προτιμήθηκε να εξεταστεί η λειτουργία των αλγορίθμων με τα ‘εκ φύσεως’ χαρακτηριστικά τους και χωρίς να γίνει οποιαδήποτε παρέμβαση στις παραμέτρους από την πλευρά του αναλυτή. Η επιλογή αυτή είχε αντίκτυπο στην κατηγορία των αταξινομητων εικονοστοιχείων που ήταν ελάχιστα.

4.4.1 Έλεγχος της ακρίβειας της ταξινόμησης

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι πάντοτε παρουσιάζονται σφάλματα κατά την ταξινόμηση μιας τηλεπισκοπικής απεικόνισης. Σφάλμα ταξινόμησης, ονομάζεται η αντιστοίχιση ενός εικονοστοιχείου κάποιας κατηγορίας εδαφοκάλυψης σε μια άλλη κατηγορία. Τα ασφάλματα δεν παρουσιάζουν τυχαία κατανομή σε όλη την εικόνα, αλλά ως ένα βαθμό εμφανίζονται με συστηματικό τρόπο. Λάθος ταξινομημένα εικονοστοιχεία

εμφανίζονται ομαδοποιημένα κυρίως στα όρια της εικόνας ή στα χωρικά όρια των κλάσεων. Προκύπτει ότι για κάποια εικονοστοιχεία δεν ήταν ξεκάθαρο σε ποια κλάση ανήκαν και έτσι ο ταξινομητής τα τοποθέτησε σε λανθασμένη κλάση. Στην μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση τα σφάλματα προέρχονται από πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της χωρικής δομής του αναγλύφου, της διαχωριστικής ικανότητας του δέκτη, των αλγόριθμων επεξεργασίας και της μεθοδολογίας ταξινόμησης. Αντιθέτως, στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση πηγές σφαλμάτων είναι η κακή επιλογή των δεδομένων εκπαίδευσης του αλγόριθμου και η εσφαλμένη επιλογή μεθόδου ταξινόμησης.

Η εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης υλοποιείται με τη χρήση εικονοστοιχείων αναφοράς (reference pixels) που επιλέγονται τυχαία σε όλη την περιοχή μελέτης, γι' αυτό ο αναλυτής χρειάζεται να έχει αξιόπιστα στοιχεία πεδίου, ακολουθώντας ένα σχήμα δειγματοληψίας. Με βάση τις παραδοσιακές μεθόδους, τα στοιχεία αυτά αποκτούνται από την επιτόπια παρουσία του αναλυτή στην περιοχή μελέτης και τις μετρήσεις που πραγματοποιεί με τη χρήση GPS. Η διαδικασία αυτή όμως είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα, δαπανηρή και απαιτείται ο αναλυτής να είναι σε θέση να επισκεφτεί όλη την περιοχή μελέτης, γεγονός που στις πλείστες περιπτώσεις είναι αδύνατο. Το ζήτημα αυτό δυσκολεύει ακόμη παραπάνω εάν αναλογιστούμε ότι για να πραγματοποιηθεί ένας ορθός έλεγχος ακρίβειας, απαιτούνται συνήθως πάνω από 150 εικονοστοιχεία αναφοράς. Συνεπώς, στην παρούσα μελέτη αντικαθίσταται η επιτόπια έρευνα, κυρίως με την χρήση των αεροφωτογραφιών της περιοχής αλλά και την a priori γνώση της περιοχής μελέτης από τον αναλυτή.

Για την δημιουργία της εκτίμησης ακρίβειας επιλέγηκαν τυχαία εκατονπενήντα σημεία αναφοράς εντός των ορίων της περιοχής μελέτης και στις δύο δορυφορικές εικόνες (2003 και 2012), όπως φαίνεται και στον πίνακα του πιο κάτω σχήματος.

Point #	Name	X	Y	Class	Reference
3	ID#3	534425.907	3883129.411	11	
4	ID#4	535715.907	3882222.811	14	
5	ID#5	534642.507	3886251.211	12	
6	ID#6	534176.907	3881618.011	10	
7	ID#7	534076.707	3882426.211	12	
8	ID#8	535139.307	3883482.811	10	
9	ID#9	533065.107	3883211.011	16	
10	ID#10	533980.707	3885599.611	18	
11	ID#11	533012.307	3881661.811	10	
12	ID#12	533271.507	3885168.811	10	
13	ID#13	533753.907	3880922.011	6	
14	ID#14	533975.907	3882945.811	10	
15	ID#15	533254.707	3882763.411	18	
16	ID#16	534721.107	3884493.211	12	
17	ID#17	535365.507	3886760.011	12	
18	ID#18	534242.307	3885461.611	1	
19	ID#19	532948.707	3883542.211	16	
20	ID#20	534674.907	3881256.811	5	
21	ID#21	535279.707	3885274.411	2	
22	ID#22	534934.707	3882242.011	16	
23	ID#23	532673.907	3883355.611	18	
24	ID#24	532927.107	3882602.611	10	
25	ID#25	533513.907	3884132.611	11	
26	ID#26	533903.907	3883818.211	5	
27	ID#27	533866.107	3881603.011	10	
28	ID#28	534665.307	3884377.411	3	
29	ID#29	534443.907	3883529.011	15	
30	ID#30	534880.107	3882920.611	5	
31	ID#31	534741.507	3882722.011	1	
32	ID#32	535763.307	3885504.211	15	
33	ID#33	533265.507	3885445.411	18	

Σχήμα 4.16: Πίνακας ελέγχου των σφαλμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την δορυφορική εικόνα Quickbird του 2003

Στον πιο πάνω πίνακα λοιπόν, εκτός από τον A/A, τον μοναδιαίο κωδικό (ID) και τις συντεταγμένες των σημείων αναφοράς υπάρχουν δύο επιπλέον στήλες. Η πρώτη στήλη με το όνομα 'class' μας δείχνει σε ποια κλάση έχει επιλέξει το σύστημα να ταξινομήσει το κάθε εικονοστοιχείο αναφοράς. Επειδή όμως το σύστημα ενδέχεται να έχει ταξινομήσει ορισμένα εικονοστοιχεία σε λανθασμένη κλάση, καλείται ο αναλυτής να προσδιορίσει την ορθή κλάση όλων των εικονοστοιχείων αναφοράς που επιλέγηκαν τυχαία στη δορυφορική εικόνα. Αυτό γίνεται με την βοήθεια της στήλης 'Reference' η οποία στην αρχή είναι κενή. Ελέγχοντας λοιπόν ένα ένα τα εικονοστοιχεία με την βοήθεια των μέσων που αναφέρθηκαν πιο πάνω συμπληρώνουμε την ορθή κλάση του κάθε εικονοστοιχείου και κατ'επέκταση την στήλη Reference για να μπορούμε στην

συνέχεια να παράγουμε τις κατάλληλες αναφορές, συντελεστές και πίνακες που θα μας βοηθήσουν να ελέγξουμε την ακρίβεια της ταξινόμησής μας. Η τελική μορφή του συμπληρωμένου πίνακα φαίνεται πιο κάτω.

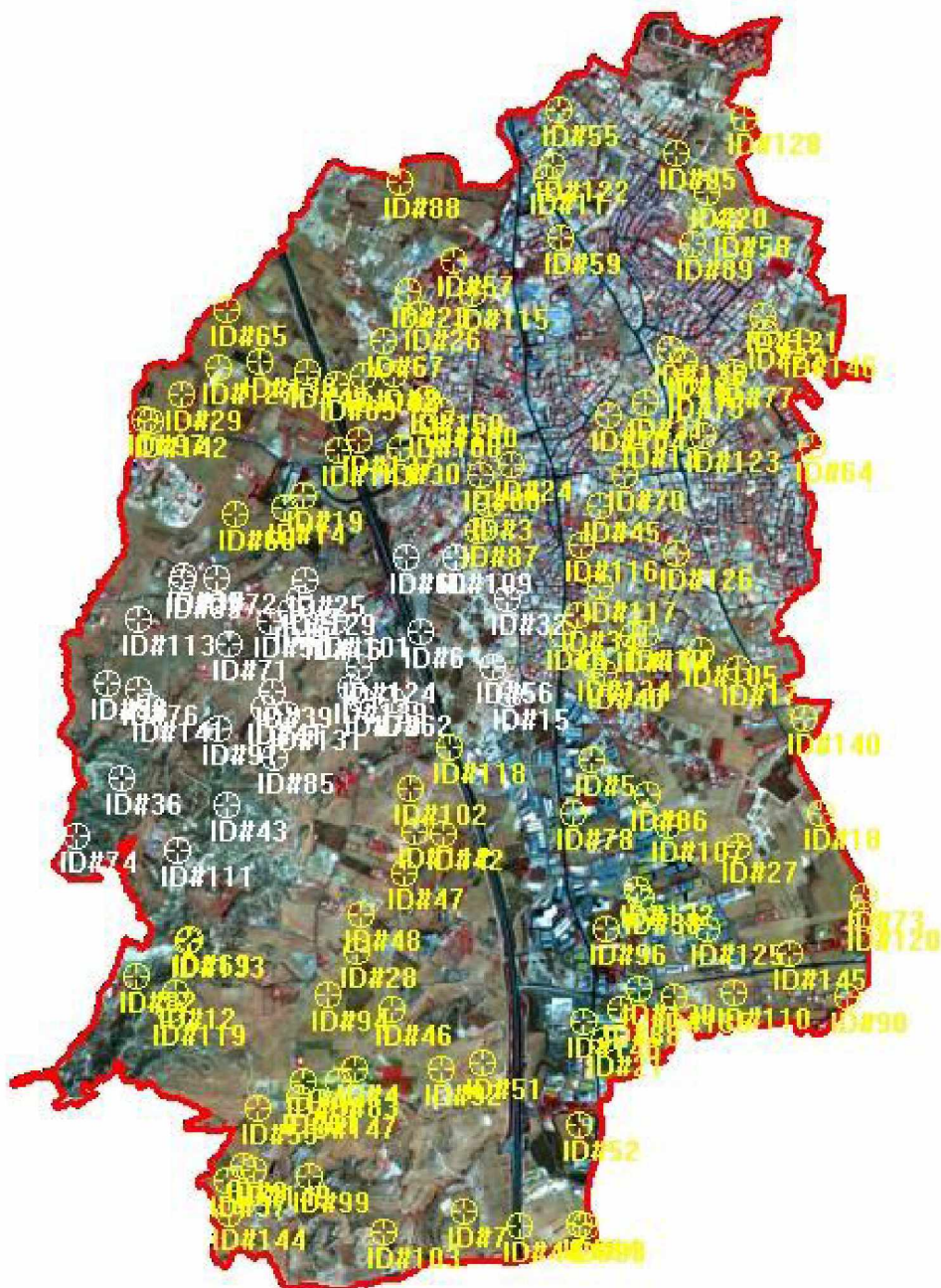


Point #	Name	X	Y	Class	Reference
1	ID#1	534947.307	3883899.211	6	6
2	ID#2	534431.907	3881007.811	10	10
3	ID#3	534425.907	3883129.411	11	10
4	ID#4	535715.907	3882222.811	14	14
5	ID#5	534642.507	3886251.211	12	12
6	ID#6	534176.907	3881618.011	10	10
7	ID#7	534076.707	3882426.211	12	17
8	ID#8	535139.307	3883482.811	10	11
9	ID#9	533065.107	3883211.011	16	16
10	ID#10	533980.707	3885599.611	18	18
11	ID#11	533012.307	3881661.811	10	10
12	ID#12	533271.507	3885168.811	10	11
13	ID#13	533753.907	3880922.011	6	6
14	ID#14	533975.907	3882945.811	10	10
15	ID#15	533254.707	3882763.411	18	18
16	ID#16	534721.107	3884493.211	12	12
17	ID#17	535365.507	3886760.011	12	19
18	ID#18	534242.307	3885461.611	1	1
19	ID#19	532948.707	3883542.211	16	16
20	ID#20	534674.907	3881256.811	5	5
21	ID#21	535279.707	3885274.411	2	2
22	ID#22	534934.707	3882242.011	16	16
23	ID#23	532673.907	3883355.611	18	18
24	ID#24	532927.107	3882602.611	10	10
25	ID#25	533513.907	3884132.611	11	10
26	ID#26	533903.907	3883818.211	5	5
27	ID#27	533866.107	3881603.011	10	10
28	ID#28	534665.307	3884377.411	3	6
29	ID#29	534443.907	3883529.011	15	16

Σχήμα 4.17: Πίνακας ελέγχου των σφαλμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την δορυφορική εικόνα Quickbird του 2003 μετά την συμπλήρωση της στήλης 'Reference'

Στην εικόνα του σχήματος που ακολουθεί (Σχήμα 4.18), απεικονίζονται όλα τα εικονοστοιχεία αναφοράς που έχουν επιλεγεί για την δορυφορική εικόνα του 2003. Όπως φαίνεται και στο σχήμα πιο κάτω, ορισμένα σημεία έχουν λευκό χρώμα ενώ άλλα έχουν κίτρινο χρώμα. Αυτό συμβαίνει για τον απλούστατο λόγο ότι ενώ στην αρχή όλα

τα εικονοστοιχεία μας έχουν λευκό χρώμα, στη συνέχεια και με την συμπλήρωση της κλάσης στην οποία ανήκει το καθένα στη στήλη Reference, τα συμπληρωμένα εικονοστοιχεία γίνονται κίτρινα. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει τέλος όταν ολόκληρη η στήλη Reference έχει συμπληρωθεί και όλα τα σημεία που αφορούν εικονοστοιχεία αναφοράς στην εικόνα έχουν πάρει κίτρινο χρώμα.



Σχήμα 4.18: Απεικόνιση εικονοστοιχείων αναφοράς στην δορυφορική εικόνα Quickbird του 2003

Όταν λοιπόν συμπληρώσουμε τον πίνακα 'Accuracy Assesment' μπορούμε να παράγουμε την αναφορά ακρίβειας και συγκεκριμένα τα εξής:

- Μήτρα σφάλματος ή σύγχυσης (Error matrix)
- Αναφορά ακρίβειας (Accuracy totals)
- Στατιστική K (Kappa statistics)

Σύμφωνα με τους Lillesand και Kieffer (1987) η ακρίβεια της ταξινόμησης εκφράζεται μέσα από την *μήτρα σύγχυσης ή σφάλματος* (confusion-error matrix) από την οποία υπολογίζονται η συνολική ακρίβεια (overall accuracy), η ακρίβεια του χρήστη (user's accuracy) και η ακρίβεια παραγωγού (producer's accuracy). Η ακρίβεια του χρήστη αφορά την πιθανότητα του δείγματος της ταξινομημένης εικόνας να αναπαριστά σωστά την κάλυψη/χρήση γης και υπολογίζεται για κάθε κλάση ως τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται στην κύρια διαγώνιο της μήτρα λαθών δια τα συνολικά εικονοστοιχεία της κατηγορίας. Η ακρίβεια παραγωγού αφορά το πόσα δείγματα από τα στοιχεία αναφοράς μπόρεσε ο αλγόριθμος ταξινόμησης να καταχωρίσει σωστά. Υπολογίζεται για κάθε κλάση ως τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται στην κύρια διαγώνιο της μήτρας λαθών δια τα συνολικά εκπαιδευτικά εικονοστοιχεία της κατηγορίας.

Η μήτρα σύγχυσης αποτελεί μια τετράγωνη διάταξη αριθμών σε γραμμές και στήλες, όπου συνήθως οι στήλες αναπαριστούν τα δεδομένα ταξινόμησης και οι γραμμές τα δεδομένα αναφοράς, παρουσιάζοντας των αριθμό των δειγμάτων-εικονοστοιχείων που αποδίδονται σε μια συγκεκριμένη κλάση σε σχέση με την υφιστάμενη πραγματικότητα που επαληθεύεται από τα δεδομένα υπαίθρου. Η κύρια διαγώνιος του πίνακα αντιστοιχεί σε συμφωνία μεταξύ των δεδομένων εκπαίδευσης και των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης. Ο πίνακας αυτός αποτελεί ένα αποτελεσματικό τρόπο αναπαράστασης της συνολικής ακρίβειας και ταυτόχρονα της ακρίβειας κάθε κλάσης. Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης (Overall accuracy) αποτελεί μια απλή μέτρηση συμφωνίας και υπολογίζεται από τις τιμές των κελιών που βρίσκονται στην κύρια διαγώνιο της μήτρας και συγκεκριμένα από το πηλίκο του αθροίσματος των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων προς τον συνολικό αριθμό εικονοστοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στη μήτρα σύγχυσης.

Τέλος, η μήτρα παρέχει μια συνολική εκτίμηση της ακρίβειας ενός θεματικού χάρτη, χωρίς όμως να δίνει πληροφορίες σχετικά με το εύρος και την μεταβολή της ακρίβειας,

την χωρική κατανομή των σφαλμάτων σε κάθε σημείο του χάρτη ή την σχέση ανάμεσα στα σφάλματα και τις κλάσεις της χρήσης/κάλυψης γης.

Οι μήτρες σφάλματος για τις ταξινομημένες εικόνες του 2003 και 2012 φαίνονται στο Παράρτημα της παρούσας εργασίας ενώ πιο κάτω παρουσιάζεται η αναφορά ακρίβειας για τις εικόνες των πιο πάνω χρονολογιών.

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Unclassified	0	0	0	---	---
Ταράτσα_άσπρη_α	5	5	4	80.00%	80.00%
Ταράτσα_γκρι_ασ	6	6	6	100.00%	100.00%
Κεραμοσκεπή_αστ	2	2	1	50.00%	50.00%
Αυτοκινητόδρομο	5	4	4	80.00%	100.00%
Αστικό οδικό δί	7	7	6	85.71%	85.71%
Χωματόδρομος	11	11	10	90.91%	90.91%
Ταράτσα_1_βιομη	1	0	0	---	---
Ταράτσα_γκρι_βι	3	3	3	100.00%	100.00%
Ταράτσα_άσπρη_β	0	1	0	---	---
Αρόσιμη γη	33	35	31	93.94%	88.57%
Δέντρα	7	5	3	42.86%	60.00%
Ελαιώνες-οπωρών	19	22	19	100.00%	86.36%
Τεχνητές υδάτιν	3	0	0	---	---
Γυμνό έδαφος	5	5	5	100.00%	100.00%
Εκούρο έδαφος	5	4	3	60.00%	75.00%
Λοφώδες έδαφος	13	14	11	84.62%	78.57%
Γήπεδο	2	2	1	50.00%	50.00%
Μόνιμα αρδευόμε	20	22	20	100.00%	90.91%
Γρασίδι	3	2	2	66.67%	100.00%
Totals	150	150	129		
Overall Classification Accuracy =		86.00%			
----- End of Accuracy Totals -----					

Σχήμα 4.19: Αναφορά ακρίβειας ταξινόμησης της δορυφορικής εικόνας Quickbird του 2003

Όπως φαίνεται και στον πιο πάνω πίνακα η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης για την δορυφορική εικόνα του 2003 αγγίζει το ποσοστό του 86% το οποίο θεωρείται αρκετά υψηλό ποσοστό ακρίβειας. Επίσης στον πίνακα αυτό, όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω, μπορούμε να δούμε τα ποσοστά ακρίβειας χρήστη και ακρίβειας παραγωγού στις δύο τελευταίες στήλες για κάθε κατηγορία χρήσης/κάλυψης γης ξεχωριστά.

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Unclassified	0	0	0	---	---
Ταράτσα_άσπρη_α	1	1	1	100.00%	100.00%
Ταράτσα_γκρι_ασ	9	9	7	77.78%	77.78%
Κεραμοσκεπή_αστ	2	1	0	0.00%	0.00%
Αυτοκινητόδρομο	5	5	5	100.00%	100.00%
Αστικό οδικό δί	6	5	4	66.67%	80.00%
Χωματόδρομος	11	10	8	72.73%	80.00%
Ταράτσα_1_βιομη	2	0	0	---	---
Ταράτσα_γκρι_βι	0	0	0	---	---
Ταράτσα_άσπρη_β	6	8	6	100.00%	75.00%
Αρόσιμη γη	5	5	4	80.00%	80.00%
Δέντρα	5	4	4	80.00%	100.00%
Ελαιώνες-οπωρών	39	47	39	100.00%	82.98%
Τεχνητές υδάτιν	2	0	0	---	---
Γυμνό έδαφος	11	10	9	81.82%	90.00%
Εκούρο έδαφος	15	15	12	80.00%	80.00%
Λοφώδες έδαφος	11	10	10	90.91%	100.00%
Γήπεδο	3	1	1	33.33%	100.00%
Μόνιμα αρδευόμε	17	19	16	94.12%	84.21%
Γρασίδι	0	0	0	---	---
Totals	150	150	126		

Overall Classification Accuracy = 84.00%

----- End of Accuracy Totals -----

Σχήμα 4.20: Αναφορά ακρίβειας ταξινόμησης της δορυφορικής εικόνας Quickbird του 2012

Η συνολική ακρίβεια της ταξινομημένης εικόνας του 2012 είναι ακόμη μεγαλύτερη και συγκεκριμένα κατέχει ένα ποσοστό της τάξης του 82.67%.

Ας μην ξεχνάμε όμως ότι μέτρο της ακρίβειας της ταξινόμησης είναι και ο συντελεστής K (Kappa Statistic). Ο συντελεστής K είναι το μέτρο της διαφοράς ανάμεσα στην πραγματική συμφωνία μεταξύ δεδομένων αναφοράς και δεδομένων ταξινόμησης και την τυχαία συμφωνία μεταξύ δεδομένων αναφοράς και δεδομένων ταξινόμησης. Η τιμή του συντελεστή Kappa, ουσιαστικά, δηλώνει το ποσοστό σφαλμάτων που απέφυγε η διαδικασία της ταξινόμησης σε σχέση με τα σφάλματα μιας τυχαίας ταξινόμησης. Ο συντελεστής Kappa αναφέρεται σε κάθε τάξη ξεχωριστά αλλά και στο σύνολο της ταξινόμησης και υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$K = \frac{N * \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})} \quad (4.3)$$

Όπου:

i = αριθμός τάξεων

j = αριθμός γραμμών

N = αριθμός εικονοστοιχείων

X_{ii} = τα στοιχεία της κύριας διαγωνίου της μήτρας λαθών

X_{+i}, X_{i+} = μερικά αθροίσματα κατά γραμμή και κατά στήλη αντίστοιχα

Πιο κάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ακρίβειας με βάση τον δείκτη K και για τις δύο ταξινομημένες δορυφορικές εικόνες.

```
KAPPA (K^) STATISTICS
-----

Overall Kappa Statistics = 0.8421

Conditional Kappa for each Category.
-----

Class Name                Kappa
-----
Unclassified              0.0000
Ταράτσα_άσπρη_αστικό     0.7931
Ταράτσα_γκρι_αστικό     1.0000
Κεραμοσκεπή_αστικό     0.4932
Αυτοκινητόδρομος       1.0000
Αστικό οδικό δίκτυο    0.8501
Χωματόδρομος           0.9019
Ταράτσα_1_βιομηχανία    0.0000
Ταράτσα_γκρι_βιομηχανία 1.0000
Ταράτσα_άσπρη_βιομηχανία 0.0000
Αρόσιμη γη             0.8535
Δέντρα                 0.5804
Ελαιώνες-οπωρώνες     0.8439
Τεχνητές υδάτινες επιφάνειες 0.0000
Γυμνό έδαφος           1.0000
Σκούρο έδαφος         0.7414
Λοφώδες έδαφος        0.7654
Γήπεδο                 0.4932
Μόνιμα αρδευόμενα γη 0.8951
Γρασίδι                1.0000

----- End of Kappa Statistics -----
```

Σχήμα 4.21: Αναφορά ακρίβειας της ταξινόμησης με βάση τον δείκτη K για την δορυφορική εικόνα Quickbird του 2003

Όπως φαίνεται και από τον πιο πάνω πίνακα, η τιμή του δείκτη K για την ταξινομημένη εικόνα του 2003 είναι 0.8421 και αυτό ερμηνεύεται ως αποφυγή κατά 84,21% των λαθών σε σχέση με μια τυχαία ταξινόμηση. Το ποσοστό αυτό θεωρείται πολύ καλό με βάση την διεθνή βιβλιογραφία, ενώ στην στήλη Kappa του πίνακα αξιολογείται η κάθε κατηγορία ξεχωριστά έτσι μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την ακρίβεια ταξινόμησης των εικονοστοιχείων της κάθε κατηγορίας χρήσης/κάλυψης γης.

KAPPA (K[^]) STATISTICS

Overall Kappa Statistics = 0.8159

Conditional Kappa for each Category.

Class Name	Kappa
Unclassified	0.0000
Ταράτσα_άσπρη_αστικό	1.0000
Ταράτσα_γκρι_αστικό	0.7636
Κεραμοσκεπή_αστικό	0.0135
Αυτοκινητόδρομος	1.0000
Αστικό οδικό δίκτυο	0.7917
Χωματόδρομος	0.7842
Ταράτσα_1_βιομηχανία	0.0000
Ταράτσα_γκρι_βιομηχανία	0.0000
Ταράτσα_άσπρη_βιομηχανία	0.7396
Αρόσιμη γη	0.7931
Δέντρα	1.0000
Ελαιώνες-οπωρώνες	0.7700
Τεχνητές υδάτινες επιφάνειες	0.0000
Γυμνό έδαφος	0.8921
Σκούρο έδαφος	0.7778
Λοφώδες έδαφος	1.0000
Γήπεδο	1.0000
Μόνιμα αρδευόμενα γη	0.8219
Γρασίδι	0.0000

----- End of Kappa Statistics -----

Σχήμα 4.22: Αναφορά ακρίβειας της ταξινόμησης με βάση τον δείκτη K για την δορυφορική εικόνα Quickbird του 2012

Η στατιστική K που αφορά την ταξινομημένη εικόνα του 2012, όπως φαίνεται και πιο πάνω, έχει υψηλότερη τιμή και συνεπώς η ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας της χρονολογίας αυτής είναι ακριβέστερη. Η τιμή 0.8159 του συντελεστή K υποδεικνύει ότι η αποφυγή λαθών σε σχέση με μια τυχαία ταξινόμηση είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση αυτή και συγκεκριμένα φτάνει το ποσοστό του 81,59% που θεωρείται πολύ ικανοποιητικό.

Τα πιο πάνω ποσοστά ακρίβειας αλλά και η απεικόνιση των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης στους θεματικούς χάρτες που παρουσιάστηκαν πιο πάνω, καταδεικνύουν ότι η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας που επιλέχθηκε για την υλοποίηση της διαδικασίας της ταξινόμησης ήταν όντως η καταλληλότερη. Η μέθοδος αυτή, λαμβάνει υπόψη εκτός από το διάνυμα της μέσης τιμής της κάθε κατηγορίας στα φασματικά κανάλια και τη συνδιασπορά κάθε πολυγώνου εκπαίδευσης. Έτσι, εξάγει ένα καλύτερο και πιο ομοιογενές αποτέλεσμα σε σχέση με τους υπόλοιπους αλγόριθμους ταξινόμησης.

Λόγω του πιο ομοιογενούς αποτελέσματος, η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας υπερεκτιμά σε σχέση με την πραγματικότητα, κάποιες κατηγορίες. Η συμμετοχή της

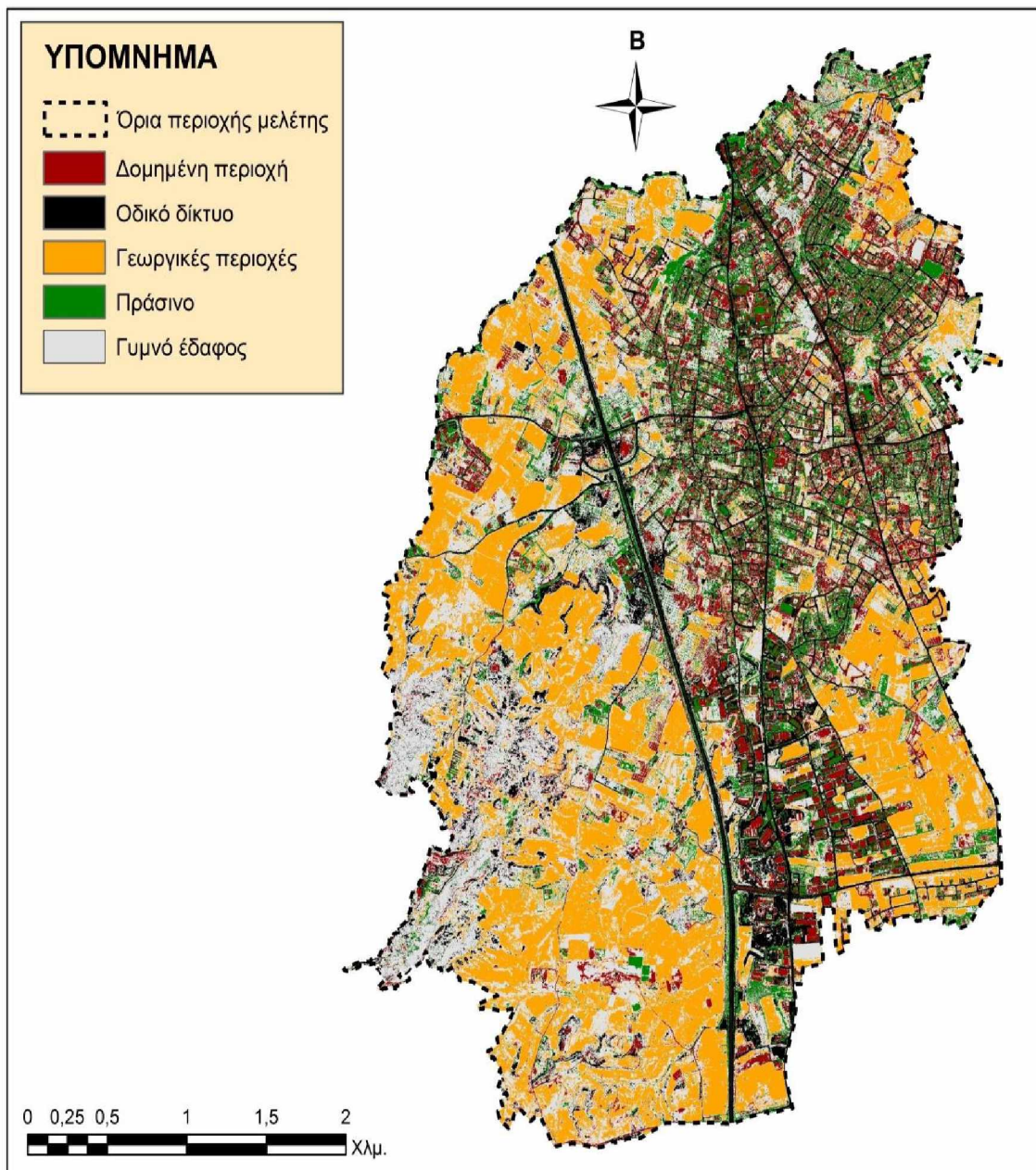
συμμεταβλητότητας, που εξηγεί αυτή την ομοιογενοποίηση, δίνει σε πολλές κατηγορίες καλύτερα αποτελέσματα όπως για παράδειγμα στις δομημένες περιοχές, η εξέταση των οποίων αποτελεί και το βασικό ζήτημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρά την υπερεκτίμηση αυτή.

Επειδή όμως η αξιολόγηση της ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε με βάση τις δορυφορικές εικόνες Quickbird και τις αεροφωτογραφίες και όχι στο πεδίο, αυτό έχει κάποιους περιορισμούς και δυσκολίες όπως ότι δεν είναι εύκολο κάθε φορά να διακρίνονται οι διαφορές μεταξύ ομοειδών τύπων χρήσης/κάλυψης γης. Επιπρόσθετα, για σκοπούς βελτίωσης των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας, της οποίας κύριος στόχος είναι η διαχρονική παρακολούθηση της αστικοποίησης στον Δήμο Λασιών, πραγματοποιήθηκε ομαδοποίηση των τάξεων σε κατηγορίες ομοειδών τύπων χρήσης/κάλυψης γης. Η ομαδοποίηση αυτή προφανώς, ισχυροποιεί τα αποτελέσματα του ελέγχου ακρίβειας της ταξινόμησης αφού πλέον μιλάμε για ομάδες κατηγοριών και όχι τάξεις γεγονός το οποίο αυξάνει κατά πολύ την αυστηρότητα του συγκεκριμένου ελέγχου.

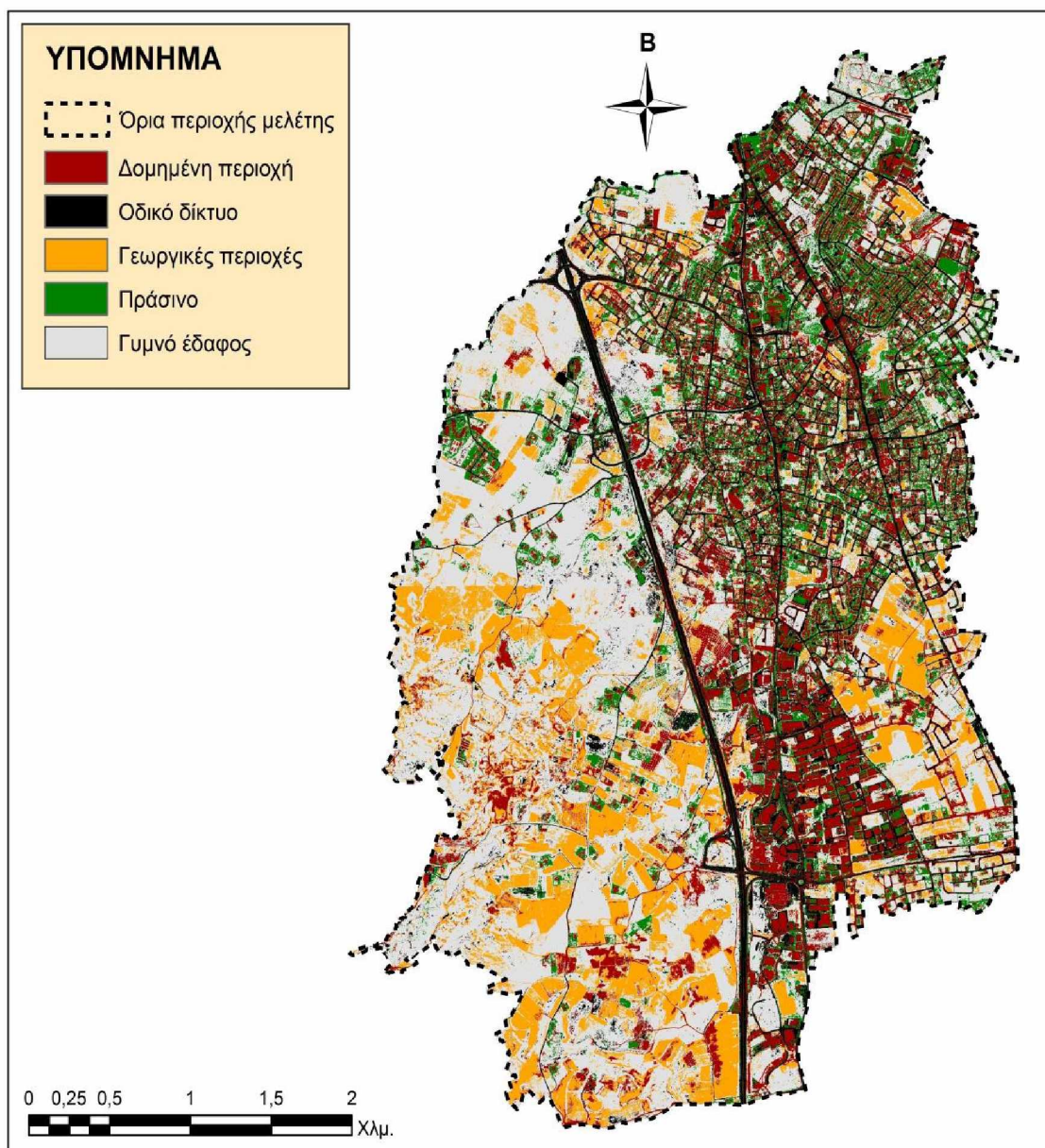
Οι πέντε κατηγορίες που δημιουργήθηκαν μετά την ομαδοποίηση των τάξεων είναι:

- Δομημένη περιοχή
- Οδικό δίκτυο
- Γυμνό έδαφος – Ακαλλιέργητες εκτάσεις
- Γεωργικές περιοχές
- Πράσινο

Συνίσταται η απόδοση των τάξεων χρήσης/κάλυψης γης σε χρώματα να πραγματοποιείται με παλέτες χρωμάτων που συνήθως χρησιμοποιούνται διεθνώς στους χάρτες χρήσεων/καλύψεων γης έτσι ώστε ο αναγνώστης/χρήστης να αντιλαμβάνεται την πληροφορία του χάρτη, χωρίς να χρειάζεται λεπτομερές εξέταση της χρωματικής κλίμακας. Οι τελικοί χάρτες που προέκυψαν από την διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τις ομαδοποιημένες τάξεις χρήσης/κάλυψης γης παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 4.22 και 4.23).



Σχήμα 4.23: Θεματικός χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης των ομαδοποιημένων τάξεων της περιοχής μελέτης για την δορυφορική εικόνα του 2003



Σχήμα 4.24: Θεματικός χάρτης χρήσεων/καλύψεων γης των ομαδοποιημένων τάξεων της περιοχής μελέτης για την δορυφορική εικόνα του 2012

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ

5.1 Μετά-ταξινομική ανίχνευση αλλαγών

Οι τεχνικές εντοπισμού μεταβολών μετά από την εφαρμογή της ταξινόμησης στις εξεταζόμενες εικόνες, περιλαμβάνουν την ανεξάρτητη παραγωγή των ταξινομημένων εικόνων αρχικά και ακολούθως τη σύγκριση ταξινομήσεων για την ίδια περιοχή σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Οι *μετα-ταξινομικές* (post-classification) τεχνικές, έχουν το πλεονέκτημα να δίνουν άμεσες πληροφορίες για τη φύση των αλλαγών της κάλυψης του εδάφους. Η διαδικασία ταξινόμησης που χρησιμοποιείται σε αυτές τις τεχνικές μπορεί να είναι είτε η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, είτε αυτή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Επειδή η ακρίβεια της τεχνικής στηρίζεται στις ακρίβειες των αρχικών ταξινομήσεων που εφαρμόζεται στις εικόνες, είναι πολύ σημαντικό οι μεμονωμένες εικόνες ταξινόμησης που παράγονται, να έχουν όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια.

Τα πλεονεκτήματα των τεχνικών αυτών είναι, ότι οι αναλυτές έχουν τον έλεγχο των τύπων των αλλαγών, που εμφανίζονται στην τελική ταξινόμημένη εικόνα της αλλαγής. Οι τεχνικές είναι σε θέση να δώσουν περιγραφικές πληροφορίες για τους τύπους αλλαγών που εμφανίζονται μετά τη σύγκριση.

Επίσης, οι τεχνικές τείνουν να εξαρτηθούν λιγότερο από την ‘εγγραφή’ των εικόνων και δεν απαιτούν την ομαλοποίηση των εικόνων πριν από την εφαρμογή τους, κάτι το οποίο αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα. Επιπρόσθετα, η επιλογή των τάξεων της ταξινόμησης επιτρέπει στον αναλυτή να παρατηρεί οποιοδήποτε υποσύνολο των αλλαγών, που μπορεί να τυγχάνει του ενδιαφέροντός του.

Τέλος, στις μεθόδους post-classification, επειδή τα στοιχεία προέρχονται από δύο διαφορετικές ημερομηνίες και είναι ξεχωριστά ταξινομημένα, ελαχιστοποιεί με αυτόν τον τρόπο το πρόβλημα που προέρχεται από ατμοσφαιρικές διαφορές και διαφορές από τον αισθητήρα μεταξύ των δύο ημερομηνιών.

Τα μειονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τις τεχνικές αυτές είναι ο αρκετός χρόνος που απαιτείται για να ταξινομηθούν με ακρίβεια οι εικόνες αλλά και το γεγονός ότι οποιαδήποτε λάθη που γίνονται στην διαδικασία της ταξινόμησης προσθέτονται στην

ανίχνευση των μεταβολών και την επηρεάζουν. Αυτό εκπίπτει ως συνέπεια, και μπορεί να παράγει ένα μεγάλο αριθμό λανθασμένων ενδείξεων. Ένα λάθος σε μια εικόνα έχει ως αποτέλεσμα μια ψεύτικη ένδειξη μεταβολής, όπου μπορεί να μην υφίσταται και δημιουργεί προβλήματα στις διαχρονικές συγκρίσεις. Επίσης σε περίπτωση λάθους ή παραγωγής μη επιθυμητών αποτελεσμάτων, επαναλαμβάνεται ολόκληρη η διαδικασία της ταξινόμησης από την αρχή.

5.2 Εντοπισμός διαχρονικών μεταβολών στην περιοχή μελέτης

Μια από τις βασικές εφαρμογές της δορυφορικής τηλεπισκόπησης στο αστικό περιβάλλον είναι ο προσδιορισμός των χρήσεων/καλύψεων γης με τη χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ευκρίνειας. Οι πρόσφατες δορυφορικές αποστολές των Ikonos, Quickbird και Geoeye βελτίωσαν ακόμη περισσότερο τις δυναμικές της δορυφορικής τηλεπισκόπησης σε ότι αφορά τον προσδιορισμό των χρήσεων και των καλύψεων της γης, προσφέροντας εικόνες με χωρικές διακριτικές ικανότητες της τάξης του μισού μέτρου.

Η παρακολούθηση των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης, ιδίως στα όρια αλλά και στις ευρύτερες περιοχές μείζονων πολεοδομικών συγκροτημάτων, συνδέεται άμεσα τόσο με τον πολεοδομικό όσο και με τον χωροταξικό σχεδιασμό. Παράλληλα, δίνεται η δυνατότητα για την αξιολόγηση μέτρων χωρικής πολιτικής που εφαρμόστηκαν αλλά και υποστηρίζεται η κατάρτιση χωροταξικών σχεδίων και μέτρων προστασίας του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Ιδιαίτερη σημασία έχει η δυνατότητα σύνδεσης των αλλαγών στις χρήσεις γης με αλλαγές στο αστικό μικροκλίμα.

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, η παρακολούθηση των αλλαγών στις χρήσεις γης γίνεται στα πλαίσια του προγράμματος CORINE (Co-ordination of Information on the Environment). Στην ουσία, το πρόγραμμα αυτό αποτελεί μια γεωγραφική βάση δεδομένων η οποία βασίζεται σε δορυφορικά δεδομένα Landsat και παρέχει την δυνατότητα για τη δημιουργία θεματικών χαρτών σε κλίμακα 1:100.000 για την κάλυψη και τις χρήσεις γης στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης.

Ο εντοπισμός μεταβολών σε μια αστική περιοχή με τη βοήθεια δορυφορικών εικόνων αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για τους σχεδιαστές του χώρου καθώς και για την εκτίμηση της μεταβολής του πληθυσμού. Για τον εντοπισμό των μεταβολών (change detection) στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε ποιοτική αλλά και ποσοτική

σύγκριση θεματικών χαρτών που παρήχθησαν από την υλοποίηση της διαδικασίας της φασματικής ταξινόμησης εικόνων. Οι εικόνες αυτές ελήφθησαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές με βάση τις τάξεις που αφορούν στις αστικές περιοχές. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται όταν τα δορυφορικά δεδομένα δεν είναι βαθμονομημένα και συνεπώς, δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα, οπότε η σύγκριση πραγματοποιείται μεταξύ των ταξινομημένων εικόνων, εντοπίζοντας τις μεταβολές των ορίων των αντίστοιχων τάξεων.

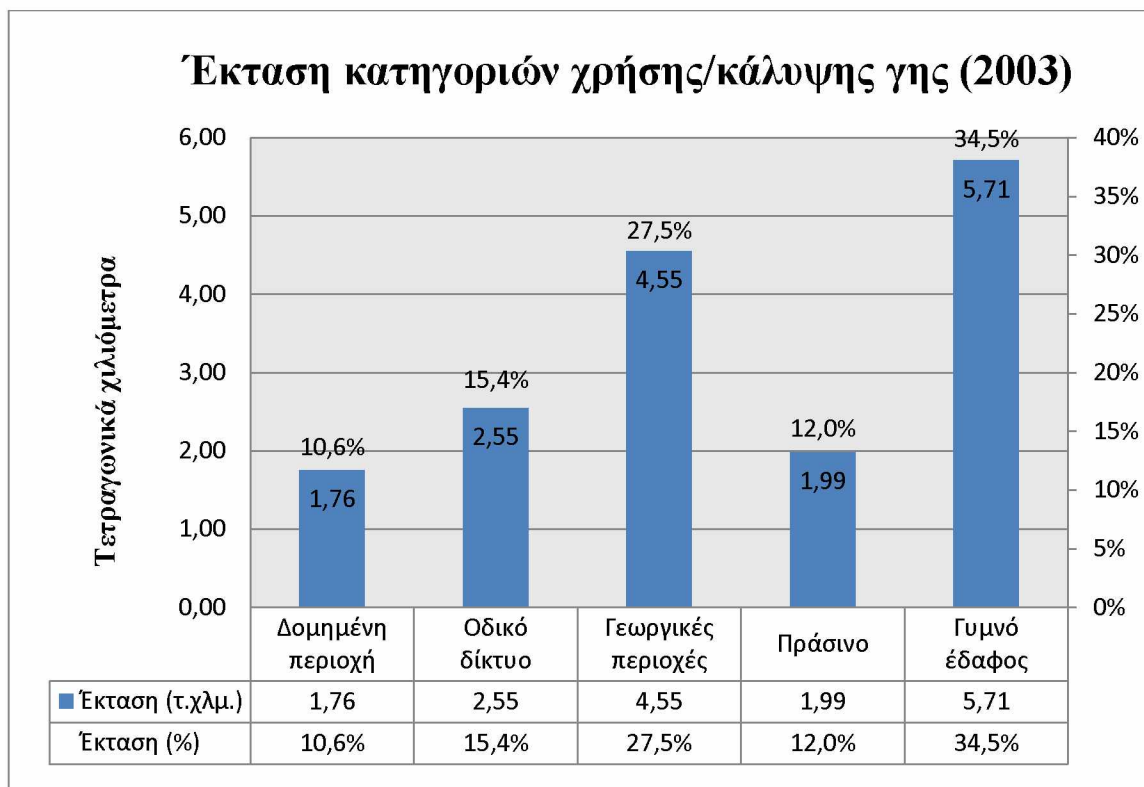
Δεχόμενοι τα παραπάνω αποτελέσματα, για να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε την έκταση των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης θα πρέπει να μετατρέψουμε τα εικονοστοιχεία σε εμβαδόν. Οι μετατροπές αυτές πραγματοποιήθηκαν αφού εισαγάγαμε τα δεδομένα μας στο λογισμικό ArcGis. Η μετατροπή επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των εικονοστοιχείων με το μέγεθος του εικονοστοιχείου των εικόνων. Στην περίπτωση μας, το μέγεθος κάθε εικονοστοιχείου των δορυφορικών εικόνων Quickbird είναι $3,6 \times 10^{-7} \text{ km}^2$. και αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η κάθε πλευρά του εικονοστοιχείου είναι 60 cm σύμφωνα με τη χωρική διακριτική ικανότητα του δορυφόρου. Εάν τα μετατρέψουμε σε χιλιόμετρα (km) τότε η κάθε πλευρά του εικονοστοιχείου είναι $6 \times 10^{-4} \text{ km}$, συνεπώς το εμβαδόν του εικονοστοιχείου προκύπτει από την πράξη $(6 \times 10^{-4}) \text{ km} \times (6 \times 10^{-4}) \text{ km}$ και ισούτε με $3,6 \times 10^{-7}$ όπως έχουμε ήδη αναφέρει.

Για την ταξινομημένη εικόνα του 2003 προκύπτουν τα εξής στοιχεία:

Πίνακας 5.1: Έκταση κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης σύμφωνα με την ταξινομημένη εικόνα του 2003

ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ 2003				
A/A	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ/ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	ΕΚΤΑΣΗ (sq.km)	ΕΚΤΑΣΗ (%)
1	Δομημένη περιοχή	4877770	1,76	10,6%
2	Οδικό δίκτυο	7083187	2,55	15,4%
3	Γεωργικές περιοχές	12651444	4,55	27,5%
4	Πράσινο	5517097	1,99	12,0%
5	Γυμνό έδαφος	15866769	5,71	34,5%
ΣΥΝΟΛΟ	-	45996267	16,56	100,0%

Τα πιο πάνω στοιχεία κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν και διαγραμματικά ούτως ώστε να διευκολυνθεί η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων από αυτά.



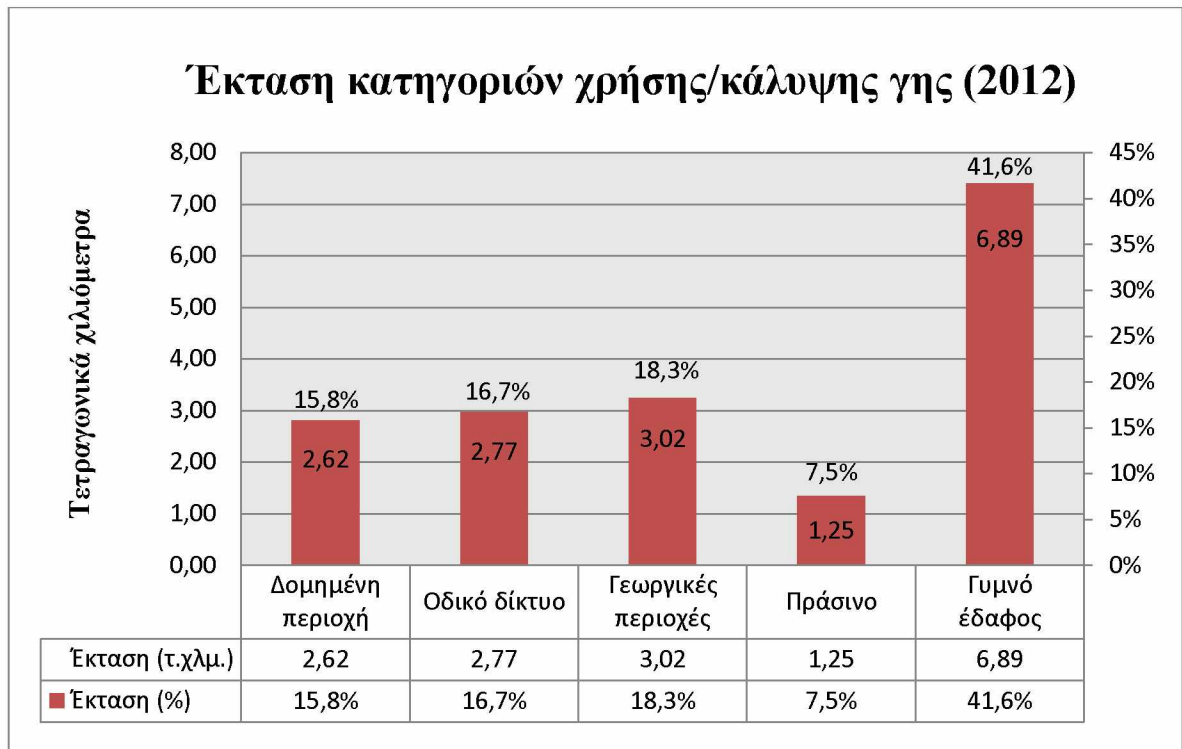
Σχήμα 5.1: Διαγραμματική απεικόνιση έκτασης των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης για την περιοχή μελέτης σύμφωνα με την ταξινομημένη εικόνα του 2003

Με μια πρώτη ματιά, παρατηρούμε ότι το 2003 η κάλυψη γης που επικρατεί στην περιοχή είναι το γυμνό έδαφος και αυτό υποδηλώνει μη αξιοποιημένα εδάφη εντός των διοικητικών ορίων του Δήμου. Η κάλυψη αυτή φτάνει το ποσοστό της τάξης του 34,5%, περισσότερο από το 1/3 της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης. και δεν είναι συγκεντρωμένη σε μια συγκεκριμένη περιοχή αλλά παρουσιάζεται διάσπαρτη σε όλο τον Δήμο. Ακολουθούν οι γεωργικές περιοχές με 27,5% οι οποίες καλύπτουν 4,5 περίπου τετραγωνικά χιλιόμετρα και συγκεντρώνονται, όπως είναι λογικό και επιτρεπόμενο σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, έξω από τον αστικό ιστό και συγκεκριμένα σε ολόκληρο το δυτικό τμήμα του Δήμου ενώ σημαντικές εκτάσεις υπάρχουν και στο νοτιοανατολικό τμήμα. Επιβεβαιώνεται επίσης ότι ο Δήμος καλύπτεται από ένα ολοκληρωμένο σύστημα οδικού δικτύου αφού αυτό καταλαμβάνει 2,55 km^2 συμπεριλαμβανομένων και των αγροτικών δρόμων που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση των γεωργικών περιοχών. Ο Δήμος επίσης φημίζεται για το σημαντικό

τμήμα πρασίνου που διαθέτει το οποίο μεταφράζεται είτε ως τεχνητές ζώνες πρασίνου εντός του αστικού ιστού είτε όμως και ως αυτοφυές βλάστηση. Το ποσοστό του 12% δεν μπορεί παρά να θεωρείται πολύ ικανοποιητικό για τα δεδομένα του συγκεκριμένου Δήμου. Τέλος, η κατηγορία στην οποία θα δώσουμε το περισσότερο βάρος στην παρούσα εργασία, και η οποία είναι η δομημένη περιοχή, καλύπτει συνολικά 1,76 km² και ένα ποσοστό της τάξης του 10,6 % της συνολικής έκτασης. Το ποσοστό αυτό, ένεκα της περιόδου έντονης αστικής ανάπτυξης, αναμένεται να αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό τα επόμενα χρόνια και αυτό θα επιβεβαιωθεί από τον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 5.2) αλλά και το αντίστοιχο διάγραμμα της ταξινομημένης εικόνας του 2012 το οποίο παρουσιάζεται στο πιο κάτω σχήμα (Σχήμα 5.2).

Πίνακας 5.2: Έκταση κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης σύμφωνα με την ταξινομημένη εικόνα του 2012

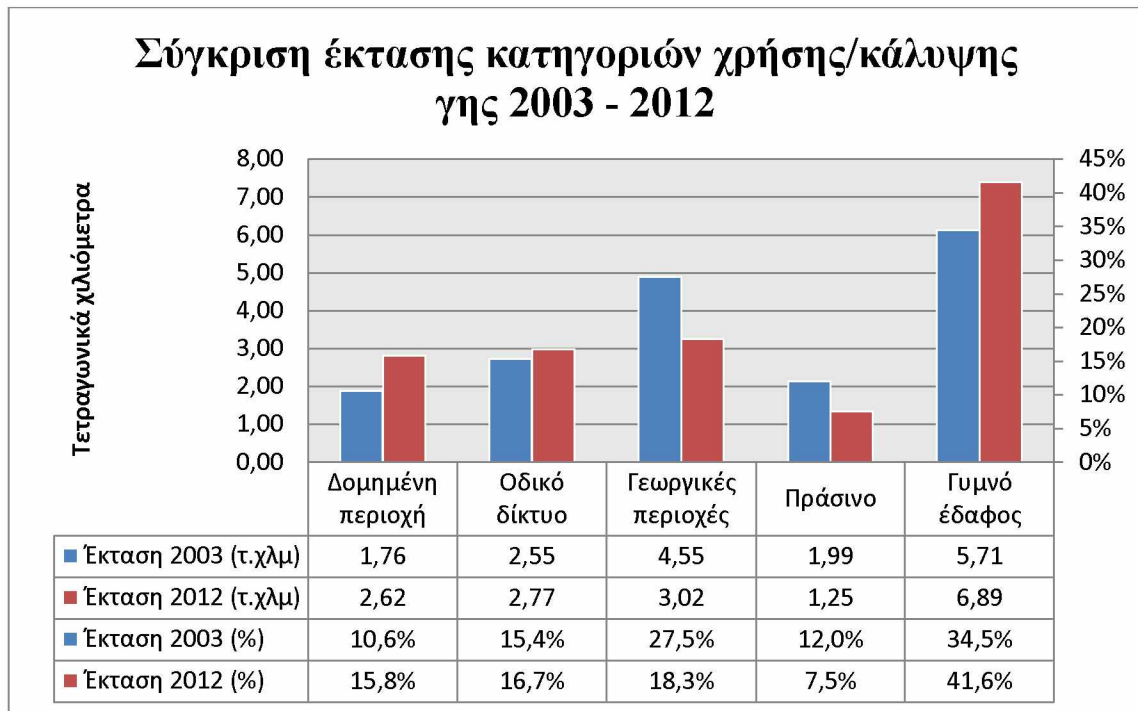
ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ 2012				
A/A	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ/ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	ΕΚΤΑΣΗ (sq.km)	ΕΚΤΑΣΗ (%)
1	Δομημένη περιοχή	7276451	2,62	15,8%
2	Οδικό δίκτυο	7701443	2,77	16,7%
3	Γεωργικές περιοχές	8398622	3,02	18,3%
4	Πράσινο	3468136	1,25	7,5%
5	Γυμνό έδαφος	19151615	6,89	41,6%
ΣΥΝΟΛΟ	-	45996267	16,56	100,0%



Σχήμα 5.2: Διαγραμματική απεικόνιση έκτασης των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης για την περιοχή μελέτης σύμφωνα με την ταξινομημένη εικόνα του 2012

Όπως παρατηρούμε στον πιο πάνω πίνακα αλλά και στο διάγραμμα του σχήματος 5.2, τα αποτελέσματα της ταξινομημένης εικόνας του 2012 διαφέρουν αρκετά από αυτά της αντίστοιχης εικόνας του 2003. Συγκεκριμένα, παρουσιάζουν αύξηση οι κατηγορίες ‘Δομημένη περιοχή’ και ‘Οδικό δίκτυο’ αλλά και το ‘Γυμνό έδαφος’ ενώ αντιθέτως, τα ποσοστά των κατηγοριών ‘Γεωργικές περιοχές’ και ‘Πράσινο’ μειώθηκαν κατά σημαντικό βαθμό. Η μεγαλύτερη μεταβολή παρουσιάζεται στις γεωργικές περιοχές αφού αυτές υπέστησαν μείωση κατά 9% περίπου σε σχέση με το 2003 ενώ παράλληλα αυξήθηκαν τα ποσοστά των κατηγοριών που αφορούν τη δομημένη περιοχή, το οδικό δίκτυο αλλά και το γυμνό έδαφος κατά 5,2%, 1,3% και 7,1% αντίστοιχα. Το πράσινο λόγω και της οικοδομικής δραστηριότητας μειώθηκε κατά 4,5%. Οι μεταβολές αυτές δεν συνέβησαν τυχαία αλλά για λόγους που αναλύονται πιο κάτω.

Μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της σύγκρισης των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης των ταξινομημένων εικόνων για τα δύο χρονολογικά έτη που προαναφέρθηκαν μας δίνει το διάγραμμα του πιο κάτω σχήματος (Σχήμα 5.3)



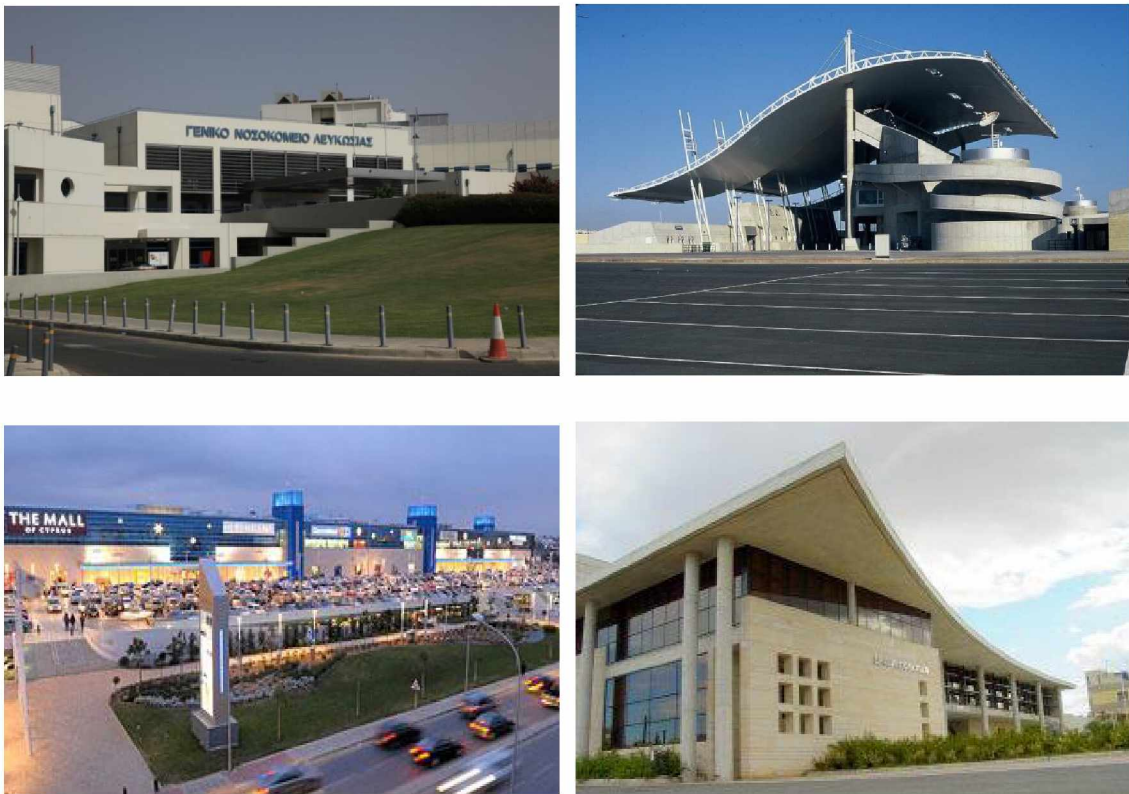
Σχήμα 5.3: Διαγραμματική απεικόνιση σύγκρισης της έκτασης των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης για την περιοχή μελέτης μεταξύ των ταξινομημένων εικόνων του 2003 και 2012

5.2.1 Παρακολούθηση αστικοποίησης

Μετά από μελέτη όλων των παραπάνω αποτελεσμάτων, χαρτών και πινάκων, εμφανίστηκαν αξιόλογα στοιχεία για την αστικοποίηση της περιοχής μελέτης. Κατά κύριο λόγο, στην περιοχή του Δήμου Λατσιών, όσον αφορά την πολεοδομική ανάπτυξη και κατασκευαστική δραστηριότητα της περιοχής, παρατηρήθηκε ότι πραγματοποιήθηκε μια αύξηση κατασκευών σε τέτοιο βαθμό που θα λέγαμε ότι η περιοχή βρίσκόταν σε εποχή έντονης ανάπτυξης από πολεοδομικής πλευράς.

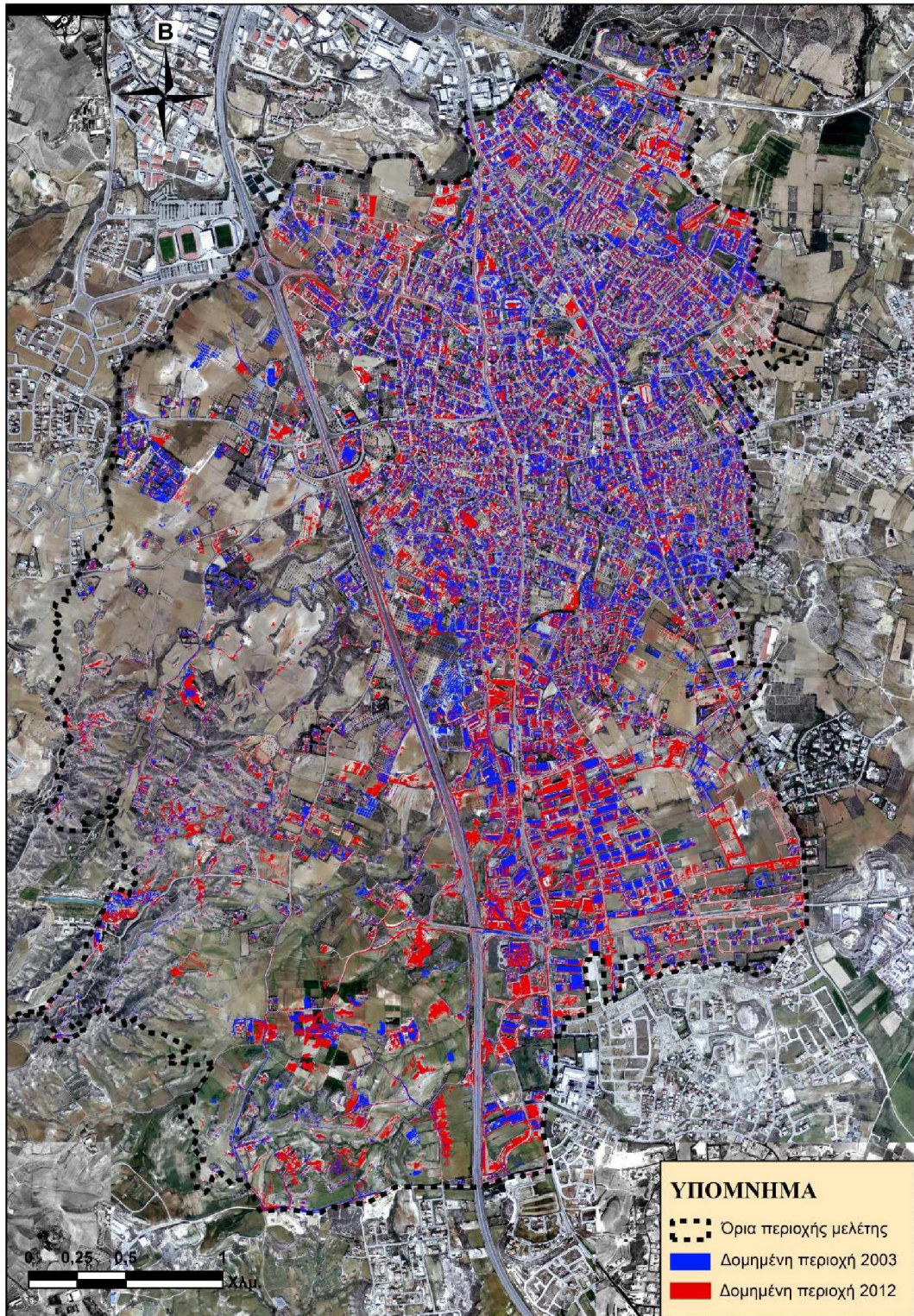
Σε αυτό το σημείο, αντλώντας στοιχεία από τον χάρτη κλάσεων είναι φανερή μια έντονη ανάπτυξη των τεχνητών επιφανειών εντός της βιομηχανικής ζώνης Β' που βρίσκεται στο νότιο τμήμα του Δήμου και απεικονίζεται τόσο στο Τοπικό σχέδιο Λευκωσίας του 2003 όσο και σε αυτό του 2012, που αποτελεί και το τελευταίο μέχρι σήμερα τοπικό σχέδιο της πόλης. Αυτό δικαιολογείται από την αλλαγή καθεστώτος διαχείρισης της βιομηχανικής περιοχής από το Τοπικό σχέδιο του 2003, παρέχοντας ευνοϊκότερους όρους εγκατάστασης σε νέες βιομηχανικές μονάδες οι οποίοι αναφέρονται λεπτομερώς εντός του κειμένου του συγκεκριμένου σχεδίου. Πιο

συγκεκριμένα, στο άρθρο 11 του σχεδίου αναλύεται το καθεστώς και οι όροι εγκατάστασης νέων και διατήρησης υφιστάμενων μονάδων όσον αφορά την χωροθετική τους πολιτική ανάλογα με την κατηγορία βιομηχανίας η βιοτεχνίας, την ανάπτυξη υψηλής τεχνολογίας, την αποθηκευτική ανάπτυξη, την αναβάθμιση των υφιστάμενων μονάδων κ.ά. Εκτός από την έντονη ανάπτυξη στην βιομηχανική ζώνη που αναφέρθηκε πιο πάνω, έντονη αστική ανάπτυξη υπήρξε και στο κέντρο του αστικού ιστού εντός της περιόδου μεταξύ των χρονολογιών 2003-2012. Αυτό οφείλεται στην υλοποίηση πολλών έργων τα οποία αποτελούν είτε υπηρεσίες είτε λειτουργίες που δεν υπάρχουν ή υπερτερούν αντίστοιχων σε άλλους Δήμους και τα οποία αποτελούν πόλο έλξης για νεόδμητες κατοικίες και όχι μόνο. Έργα όπως το Νέο νοσοκομείο Λευκωσίας, το αθλητικό κέντρο ‘Γ.Σ.Π’, το εμπορικό κέντρο ‘The Mall’, τα οποία φαίνονται και στις εικόνες που ακολουθούν, αλλά και πολλά άλλα, δεν μπορούν παρά να λειτουργήσουν ευεργετικά για την σφαιρική ανάπτυξη του Δήμου.

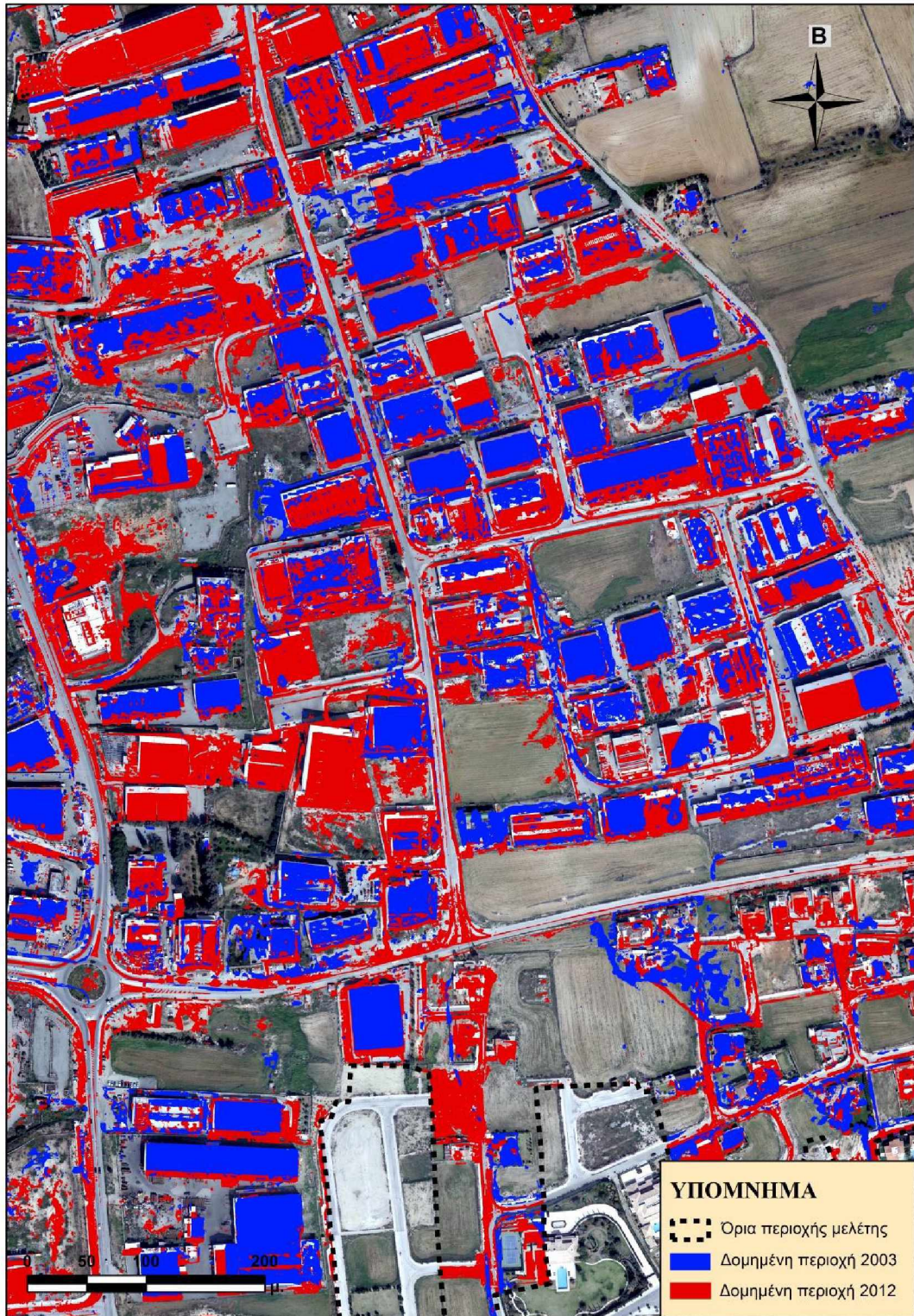


Σχήμα 5.4: Έργα που κατασκευάστηκαν στον Δήμο Λατσιών την τελευταία 15ετία και συνέβαλαν στα μέγιστα στην ανάπτυξη της περιοχής. Πάνω: Νέο Γενικό Νοσοκομείο Λευκωσίας (Αριστερά) και στάδιο Γ.Σ.Π (Δεξιά) Κάτω: ‘The mall of Cyprus’ (Αριστερά) και Νέο Δημαρχείο Λατσιών (Δεξιά)

Ρίχνοντας μια ματιά στα δημογραφικά χαρακτηριστικά του Δήμου, παρατηρούμε ότι από το 2001 μέχρι το 2011 υπήρξε μια αύξηση του μόνιμου πληθυσμού της περιοχής κατά 42% περίπου. Σε απόλυτα νούμερα από 12000 περίπου κάτοικους, τα Λατσία το 2011 έφτασαν στους 17000 κάτοικους. Σε μια ανάλογη περίοδο, από το 2003 μέχρι και το 2012, χρονολογίες οι οποίες αφορούν και τα δορυφορικά μας δεδομένα, υπάρχει παρόμοια αύξηση, της τάξης του 49% της δομημένης περιοχής. Το γεγονός αυτό λοιπόν επιβεβαιώνει ότι η κατασκευαστική αύξηση ακολουθείται από την πληθυσμιακή αύξηση στην περιοχή. Η μικρή αυτή διαφορά που προκύπτει μεταξύ των ποσοστών, που αντιστοιχεί σε 6 ποσοστιαίες μονάδες, υπολογίζουμε ότι οφείλεται στην δόμηση εντός της βιομηχανικής ζώνης ή κτήρια που αφορούν εμπόριο και άλλες χρήσεις που δεν σχετίζονται με την κατοικία. Γενικότερα, οι διαχρονικές αλλαγές, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ήταν αρκετά έντονες στην περιοχή την δεκαετία για την οποία αναφέρεται η παρούσα εργασία και οι εικόνες που ακολουθούν απεικονίζουν δείγματα της κατάστασης αυτής.



Σχήμα 5.5: Διαχρονική μεταβολή δομημένης περιοχής στον Δήμο Λατσιών



Σχήμα 5.6: Διαχρονική μεταβολή δομημένης περιοχής στην βιομηχανική ζώνη Β' του Δήμου Λατσιών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας, όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω, είναι η ανίχνευση των διαχρονικών μεταβολών στο Δήμο Λατσιών, αλλά κυρίως η διερεύνηση της εξέλιξης της αστικοποίησης της περιοχής μελέτης μεταξύ των χρονολογιών που αφορούν τα δορυφορικά μας δεδομένα, δηλαδή μεταξύ του 2003 και του 2012. Αυτά αφορούν δύο δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης του δείκτη Quickbird.

Στο πλαίσιο της εργασίας, ο στόχος ήταν να ερευνηθούν τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων με διάφορες παραδοσιακές μεθόδους που διαθέτουν τα λογισμικά Erdas Imagine 2014 και ArcGis 10.0, με χωρική μονάδα ανάλυσης το εικονοστοιχείο, καθώς επίσης και να εντοπιστούν αλλά και να αιτιολογηθούν οι διαφορές των αποτελεσμάτων και να τεκμηριωθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου.

Οι αστικές περιοχές αποτελούν πράγματι ένα πολύ δύσκολο πεδίο έρευνας για την Τηλεπισκόπηση, παρότι οι τεχνικές και οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια είναι ισχυρές, και ο χρήστης είναι σε θέση πλέον να διαχειριστεί δεδομένα υψηλής φασματικής και χωρικής ανάλυσης. Εν τούτοις, τα υλικά κατασκευής, το αστικό τοπίο, οι μεταβολές σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα, οι φασματικές ομοιότητες πολλών αντικειμένων οι σκιασμένες περιοχές και μια σειρά άλλων ζητημάτων αποτελούν θέματα που είναι ακόμη υπό διερεύνηση. Ο λόγος αφορά την αποτελεσματικότερη απόδοση των αλγόριθμων που εφαρμόζονται σε όλα τα βήματα της ανάλυσης και φυσικά στην ακριβέστερη καταγραφή-χαρτογράφηση των αστικών κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης.

Σχόλια και αξιολογήσεις αποτελεσμάτων υπήρξαν κατά τη διάρκεια της εργασίας και εντός των κεφαλαίων, αξίζει όμως να τονιστούν κάποια θέματα και να αναφερθούν κάποια βασικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παρούσα μελέτη.

- Από τις Τηλεπισκοπικές μεθόδους για ανίχνευση διαχρονικών μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης επιλέχθηκε η μέθοδος των ανεξάρτητων ταξινομήσεων όπως έγινε σε ανάλογες μελέτες για την αντιμετώπιση παρόμοιων ζητημάτων.
- Η μέθοδος των ανεξάρτητων ταξινομήσεων δεν απαιτεί στην προεπεξεργασία των δεδομένων, οποιαδήποτε ραδιομετρική ή ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία.

- Η μέθοδος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης αποτέλεσε μια σχετικά ικανοποιητική πρώτη ένδειξη των βασικότερων φασματικών κατηγοριών που μπορούν να διακριθούν εύκολα στην περιοχή μελέτης. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση εφαρμόστηκε και σε μελέτες παρόμοιου ενδιαφέροντος.
- Στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, το φαινόμενο της μερικής υποτίμησης των αστικών περιοχών εμφανίζεται αναλογικά και στις δύο εικόνες, μιας και έχουν εφαρμοστεί οι ίδιες παραμέτροι στον αλγόριθμο και το αποτέλεσμα του διαχωρισμού σε 19 κατηγορίες κρίθηκε ικανοποιητικό. Εντούτοις, το αποτέλεσμα δεν μπόρεσε να χρησιμοποιηθεί, γιατί δεν ικανοποιούσε την υλοποίηση του σκοπού της εργασίας.
- Το αστικό περιβάλλον εμφανίζει έντονη πολυπλοκότητα.
- Πολλές αστικές κατηγορίες αποτελούνται από κοινά υλικά κατασκευής που προκαλούν φασματικές ομοιότητες όπως συμβαίνει με τις κατηγορίες του οδοστρώματος και των οροφών .
- Η διαφορά στην ανακλώμενη ακτινοβολία ομοειδών αστικών αντικειμένων εξαιτίας της παλαιότητας αλλά και του τύπου κατασκευής δημιουργεί την ανάγκη διαχωρισμού ομοειδών κατηγοριών (διαχωρισμός οροφών κτιρίων).
- Υπάρχουν αρκετά σκιασμένα εικονοστοιχεία που δεν επιτρέπουν την εξαγωγή πληροφορίας από μέρος των εικόνων και απαιτούν άλλη προεπεξεργασία.
- Πριν την επιλογή των Κύριων Συνιστωσών που θα αξιοποιηθούν περαιτέρω πρέπει να υλοποιηθούν δοκιμές για να διαπιστωθεί ο αριθμός των συνιστωσών που διαχωρίζουν καλά τις αστικές κατηγορίες.
- Οι Λόγοι Καναλιών αποτελούν εξαιρετική περίπτωση μείωσης των δεδομένων, ενώ ο χρήστης έχει την δυνατότητα επιλογής του αριθμού των λόγων που θα σχηματίσει ώστε ο φασματικός διαχωρισμός των κατηγοριών να είναι καλός για την διαδικασία της ταξινόμησης.
- Μόνο ο αλγόριθμος ISODATA απέδωσε στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση χαρτογραφώντας τις βασικές κατηγορίες.
- Στη μέθοδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, ο αλγόριθμος της Μέγιστη Πιθανοφάνειας αποδείχθηκε πιο αξιόπιστος από τους υπόλοιπους τέσσερις. Οι περισσότερες έρευνες που έχουν εφαρμόσει την διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, επέλεξαν επίσης τον ίδιο αλγόριθμο.

- Η Μέγιστη Πιθανοφάνεια με δεδομένα εισαγωγής που προέκυψαν από διάφορους Λόγους Καναλιών έδωσε συντελεστή K , δηλαδή αποφυγή σφαλμάτων της τάξης του 82% για την εικόνα του 2012 και 84% για την εικόνα του 2003.
- 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 μεθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας έχει αναφερθεί επίσης και σε άλλες έρευνες.
- Διαφορετικές αστικές κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης που αποτελούνται από τα ίδια υλικά κατασκευής δεν είναι δυνατόν να διαχωριστούν μόνο φασματικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Ακολούθως παρουσιάζονται μερικές από τις προτάσεις τόσο για την μελλοντική αντιμετώπιση παρόμοιων ζητημάτων όσο και για περαιτέρω αξιοποίηση του αποτελέσματος της παρούσας εργασίας.

Η απόκτηση επίγειων δεδομένων (Ground Truth Data) μαζί με τη λήψη των απεικονίσεων αν είναι εφικτό, δίνει την δυνατότητα σωστής καταγραφής των περιοχών εκπαίδευσης και καλής ανίχνευσης των στόχων. Εκτός αυτού, οι αστικές περιοχές αποτελούν ένα περιβάλλον που η ανάγκη δημιουργίας βάσης φασματικών δεδομένων μέσω φασματικών βιβλιοθηκών και η σύγκριση των φασματικών υπογραφών μέσω αυτών είναι επιβεβλημένη.

Όσον αφορά τα σκιασμένα εικονοστοιχεία, αξίζει να πούμε πως η χρήση масκών για τον αποκλεισμό αυτών από τις διαδικασίες της φασματικής ανάλυσης πρέπει να αποτελεί λύση ανάγκης.

Σχετικά με την κατάλληλη χωρική ανάλυση που πρέπει να διαθέτει ένας σαρωτής για τη βελτίωση της φασματικής ανάλυσης πάνω σε αστική περιοχή, οι απόψεις διαφέρουν. Αν η χωρική ανάλυση είναι αρκετά χαμηλή, τότε είναι πιθανόν κοντινά εικονοστοιχεία να καταλαμβάνουν μαζί ένα μοναδικό εικονοστοιχείο. Από την άλλη πλευρά, οι αστικές επιφάνειες περιέχουν υλικά και αντικείμενα που συνδυάζονται σε ομογενή μίξη ανεξαρτήτως χωρικής ανάλυσης.

Συνεπώς, ένας μελετητής πρέπει να βρει μια ισορροπία μεταξύ των δεδομένων που θα αποκτήσει και των μεθόδων που θα εφαρμόσει για την πληρέστερη καταγραφή των κατηγοριών γης και τον εικονοστοιχείων-στόχων. Οι μέθοδοι που βασίζονται στις φασματικές υπογραφές των Pixels (pixel-based) ίσως να απαιτούν καλύτερη φασματική ανάλυση απ'ότι χωρική, σε αντίθεση με τις αντικειμενοστραφείς μεθόδους (object-oriented) που στηρίζονται σε φωτοαναγνωριστικά και γεωμετρικά στοιχεία.

Με τις περιοχές όπου οι χρήσεις γης ποικίλουν σημαντικά, όπως στα μεσογειακά οικοσυστήματα, υπάρχει συχνά φασματική επικάλυψη (spectral overlap) μεταξύ διαφόρων κλάσεων, καθιστώντας το έργο της ταξινόμησης ακόμη πιο δύσκολο.

Η χρήση δορυφορικών εικόνων με μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα επιτρέπει την καλύτερη απόδοση των στοιχείων του αστικού ιστού της πόλης, όπως το οδικό δίκτυο, τα κτήρια, τις υποδομές και τη ρυμοτομία της πόλης. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιούνται τεχνικές ταξινόμησης εικόνας που βασίζονται στην *ασαφή λογική* (fuzzy logic) και οι οποίες παρουσιάζουν μοναδικά πλεονεκτήματα στην επεξεργασία και αξιοποίηση των δορυφορικών δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης, όπως αυτά του Quickbird. Η τεχνική της ασαφούς λογικής προσπαθεί να μιμηθεί τη γνωστική διαδικασία που χρησιμοποιεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος για την αναγνώριση των στοιχείων του περιβάλλοντός του, συνθέτοντας και αξιοποιώντας ένα πλήθος παραμέτρων (π.χ υφή, σύνδεση, σχήμα) πέραν της φασματικής απόκρισης των αντικειμένων. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί η ασάφεια στον διαχωρισμό των τάξεων μιας ταξινόμησης, η οποία βασίζεται μόνο στα φασματικά χαρακτηριστικά των στοιχείων της σκηνής.

Είναι γνωστό ότι, με βάση μόνο τα φασματικά του χαρακτηριστικά, ένα ένα εικονοστοιχείο μπορεί να ανήκει σε περισσότερες από μια τάξεις. Ο κανόνας ταξινόμησης της ασαφούς λογικής χρησιμοποιεί επιπλέον και υπογραφές που βασίζονται στα χωρικά χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων, όπως η υφή, το σχήμα και η κατευθυνσιακή ομοιότητα (directional similarity) για τον περαιτέρω διαχωρισμό των φασματικών τάξεων.

Εν κατακλείδι, είναι γεγονός ότι οι δορυφόροι παρέχουν πάρα πολλές πληροφορίες για τους σχεδιαστές/αναλυτές χρήσεων γης. Αν και μέχρι στιγμής είναι δύσκολο να αντληθούν όλες, εξαιτίας του μεγέθους και της πολυπλοκότητάς τους, τα δορυφορικά δεδομένα συνδυασμένα με παραδοσιακά τοπογραφικά δεδομένα, με δημογραφικά χαρακτηριστικά και με χωρικές πληροφορίες επεξεργασμένες με τη βοήθεια των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών αναγγέλλουν μια νέα εποχή στις χωρικές προβλέψεις.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Α 1: Πίνακας διαχωρισμού (Separability Cell Array) των φασματικών τάξεων για την δορυφορική εικόνα του 2003

Signature Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Ταράτσα_άσπρη_αστικό	1	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1574.39	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Ταράτσα_γκρι_αστικό	2	2000	0	2000	1999.97	1662.27	1989.34	2000	1425.49	2000	2000	2000	1996.13	2000	1999.99	2000	1989.65	1068.83	1999.67	2000
Κεραμοσκεπή_αστικό	3	2000	2000	0	2000	2000	1994.38	1962.41	1999.96	2000	1999.43	2000	1823.69	2000	1935.45	2000	2000	2000	1944.84	2000
Αυτοκινητόδρομος	4	2000	1999.97	2000	0	1955.68	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1998.17	1999.48	2000	2000	2000
Αστικό οδικό δίκτυο	5	2000	1662.27	2000	1955.68	0	1999.97	2000	1978.6	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1992.5	1833.08	2000	2000
Χωματόδρομος	6	2000	1989.34	1994.38	2000	1999.97	0	2000	1996.01	2000	1850.79	2000	1649.2	2000	1417.21	2000	1785.37	2000	1749.07	2000
Ταράτσα_1_βιομηχανία	7	2000	2000	1962.41	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1999.98	2000	2000	2000	1999.99	2000
Ταράτσα_γκρι_βιομηχανία	8	2000	1425.49	1999.96	2000	1978.6	1996.01	2000	0	2000	2000	2000	1999.95	2000	2000	2000	1999.87	1982.71	2000	2000
Ταράτσα_άσπρη_βιομηχανία	9	1574.39	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Αρόσιμη γη	10	2000	2000	1999.43	2000	2000	1850.79	2000	2000	2000	0	2000	1808.08	2000	1862.64	1997.32	1988.83	2000	1236.72	2000
Δέντρα	11	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1998.76	1997.26
Ελαιώνες-οπωρώνες	12	2000	1996.13	1823.69	2000	2000	1649.2	2000	1999.95	2000	1808.08	2000	0	2000	1971.78	2000	1996.07	2000	843.545	2000
Τεχνητές υδάτινες επιφάνειες	13	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Γυμνό έδαφος	14	2000	1999.99	1935.45	2000	2000	1417.21	1999.98	2000	2000	1862.64	2000	1971.78	2000	0	2000	1909.82	2000	1927.44	2000
Σκούρο έδαφος	15	2000	2000	2000	1998.17	2000	2000	2000	2000	2000	1997.32	2000	2000	2000	2000	0	1994.91	2000	1996.29	2000
Λοφώδες έδαφος	16	2000	1989.65	2000	1999.48	1992.5	1785.37	2000	1999.87	2000	1988.83	2000	1996.07	2000	1909.82	1994.91	0	1999.77	1989.06	2000
Γήπεδο	17	2000	1068.83	2000	2000	1833.08	2000	2000	1982.71	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1999.77	0	2000	2000
Μόνιμα αρδευόμενη γη	18	2000	1999.67	1944.84	2000	2000	1749.07	1999.99	2000	2000	1236.72	1998.76	843.545	2000	1927.44	1996.29	1989.06	2000	0	2000
Γρασίδι	19	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1997.26	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0

Πίνακας Α 2: Πίνακας διαχωρισμού (Separability Cell Array) των φασματικών τάξεων για την δορυφορική εικόνα του 2012

Signature Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
Ταράτσα_γκρι_αστικό	1	0	2000	2000	1826.39	1999.59	2000	1999.72	2000	2000	1999.98	2000	1999.94	1999.92	2000	1937.98	1999.88	2000		
Κεραμοσκεπή_αστικό	2	2000	0	2000	2000	1988	1999.97	2000	1999.8	2000	1945.84	2000	1996.38	1999.97	2000	2000	1999.36	2000		
Αυτοκινητόδρομος	3	2000	2000	0	1976.17	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	
Αστικό οδικό δίκτυο	4	1826.39	2000	1976.17	0	2000	2000	1995.26	2000	2000	2000	2000	2000	1999.9	2000	1960.23	2000	2000		
Χωματόδρομος	5	1999.59	1988	2000	2000	0	2000	1999.99	1649.01	2000	1209.77	2000	1243.57	1999.47	1851.09	2000	670.672	2000		
Ταράτσα_1_βιομηχανία	6	2000	1999.97	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	
Ταράτσα_γκρι_βιομηχανία	7	1999.72	2000	2000	1995.26	1999.99	2000	0	2000	2000	1999.98	2000	2000	2000	2000	1990.4	1999.97	2000		
Αρόσιμη γη	8	2000	1999.8	2000	2000	1649.01	2000	2000	0	2000	1995.16	2000	1947.95	1997.29	1946.74	2000	1659.68	2000		
Δέντρα	9	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	
Ελαιώνες-οπωρώνες	10	1999.98	1945.84	2000	2000	1209.77	2000	1999.98	1995.16	2000	0	2000	1944.63	1997.94	1975.93	2000	1263.72	2000		
Τεχνητές υδάτινες επιφάνειες	11	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	
Γυμνό έδαφος	12	1999.94	1996.38	2000	2000	1243.57	2000	2000	1947.95	2000	1944.63	2000	0	2000	1990.81	2000	1670.4	2000		
Σκούρο έδαφος	13	1999.92	1999.97	2000	1999.9	1999.47	2000	2000	1997.29	2000	1997.94	2000	2000	0	1590.69	2000	1989.44	2000		
Λοφώδες έδαφος	14	2000	2000	2000	2000	1851.09	2000	2000	1946.74	2000	1975.93	2000	1990.81	1590.69	0	2000	1853.19	2000		
Γήπεδο	15	1937.98	2000	2000	1960.23	2000	2000	1990.4	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000		
Μόνιμα αρδευόμενη γη	16	1999.88	1999.36	2000	2000	670.672	2000	1999.97	1659.68	2000	1263.72	2000	1670.4	1989.44	1853.19	2000	0	2000		
Γρασίδι	17	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	



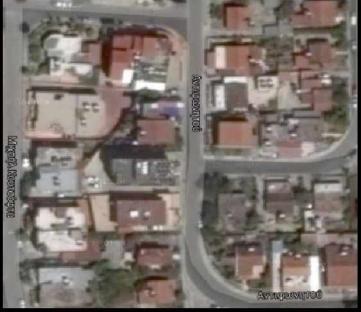




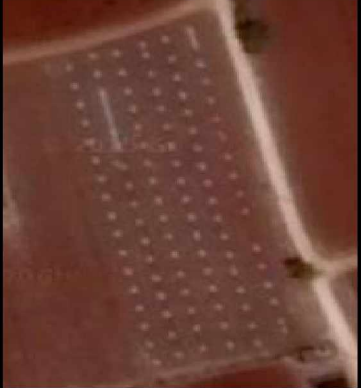

Πίνακας A 3: Μήτρα σύγχυσης (Error Matrix) των φασματικών τάξεων για την δορυφορική εικόνα του 2003



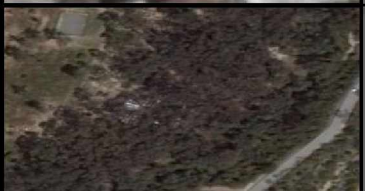

Classified Data	Αυτοκινήτο	Reference Data																		
		Αστικό οδ.	Χωματόδρομο	Ταράτσα_1_	Αυτοκινήτο	Αστικό οδ.	Χωματόδρομο	Ταράτσα_1_	Ταράτσα_γκ	Ταράτσα_άσ	Αρόσιμη γη	Δέντρα	Ελαιώνες-ο	Τεχνητές υ	Γυμνό έδαφ	Εκούρο έδα	Λοπάδες έδ	Γήπεδο	Μόνιμα αρδ	Γρασίδι
Unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ταράτσα_άσρη_α	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ταράτσα_γκρι_ασ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Κεραμοσκεπή_αστ	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αυτοκινήτοδρομο	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αστικό οδικό δί	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Χωματόδρομος	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ταράτσα_1_βιομη	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ταράτσα_γκρι_βι	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ταράτσα_άσρη_β	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Αρόσιμη γη	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Δέντρα	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	0	0	0	0	0	1
Ελαιώνες-σπερών	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	1	0	1
Τεχνητές υδάτιν	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Γυμνό έδαφος	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
Εκούρο έδαφος	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Λοπάδες έδαφος	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11	0	0	0
Γήπεδο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
Μόνιμα αρδευόμε	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	20	0
Γρασίδι	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Column Total	5	7	11	1	5	7	11	1	3	0	32	7	19	3	5	5	13	2	20	3

----- End of Error Matrix -----

Πίνακας A 4: Μήτρα σύγχυσης (Error Matrix) των φασματικών τάξεων για την δορυφορική εικόνα του 2012

ERROR MATRIX																				
Classified Data	Unclassifi	Reference Data																		
		Ταράτσα_άσ	Ταράτσα_γκ	Κεραμοσκεπ	Αυτοκινήτο	Αστικό οδ.	Χωματόδρομο	Ταράτσα_1_	Ταράτσα_γκ	Ταράτσα_άσ	Αρόσιμη γη	Δέντρα	Ελαιώνες-ο	Τεχνητές υ	Γυμνό έδαφ	Εκούρο έδα	Λοπάδες έδ	Γήπεδο	Μόνιμα αρδ	Γρασίδι
Unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ταράτσα_άσρη_α	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ταράτσα_γκρι_ασ	0	0	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Κεραμοσκεπή_αστ	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αυτοκινήτοδρομο	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αστικό οδικό δί	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Χωματόδρομος	0	0	0	2	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ταράτσα_1_βιομη	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ταράτσα_γκρι_βι	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ταράτσα_άσρη_β	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αρόσιμη γη	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Δέντρα	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ελαιώνες-σπερών	0	0	1	0	0	1	2	0	0	1	0	39	0	2	1	0	0	0	0	0
Τεχνητές υδάτιν	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Γυμνό έδαφος	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	1	0
Εκούρο έδαφος	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	12	1	0	0	0	0
Λοπάδες έδαφος	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
Γήπεδο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Μόνιμα αρδευόμε	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	16	0
Γρασίδι	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Column Total	0	1	9	2	5	6	11	2	0	6	5	39	2	11	15	11	3	17	0	0

A/A	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ/ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ CORINE 2000	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ
1	Ελαιώνες-Οπωρώνες	Δέντρα με γκριζοπράσινο τόνο και σε διάταξη, τραχεία υφή. Η απόσταση μεταξύ των δέντρων είναι σχεδόν πάντα σταθερή (περίπου 5μ.)	Αγροτεμάχια που φυτεύονται με ελαιόδεντα ή οπωραφόρα δέντρα. Μπορεί να περιλαμβάνουν μικτή εμφάνιση ελαιόδεντρων και αμπελώνων στο ίδιο τεμάχιο στην πρώτη περίπτωση. Στη δεύτερη περίπτωση η καλλιέργεια ενδέχεται να είναι μικτή ή να περιλαμβάνει οπωραφόρα που συνδέονται με μόνιμα καλυπτόμενες από ποώδη βλάστηση επιφάνειες.	
2	Συνδυασμός ποώδους-θαμνώδους βλάστησης	Επιφάνεια χρώματος διαφόρων τόνων του γκρι, συνήθως περιλαμβάνει χαμηλή πυκνή βλάστηση και σκόρπια δέντρα, τραχεία υφή, μακριά από αστική περιοχή	Γενική κατηγορία που μπορεί να περιλαμβάνει: φυσικούς βοσκότοπους, θάμνους και χερσότοπους, σκληροφυλλική βλάστηση, μακκία, φρύγανα ή και μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	
3	Αστική δόμηση	Πυκνή ή αραιή δόμηση σε οικοδομικά τετράγωνα με εμφανές οδικό δίκτυο	Κτήρια, δρόμοι και ζώνες τεχνητής επιφάνειας που καλύπτουν σχεδόν όλο το έδαφος. Οι μη γραμμικές ζώνες βλάστησης και το γυμνό έδαφος αποτελούν εξαίρεση	
4	Βιομηχανία	Εμφανές διαφορά με την αστική δόμηση, περιλαμβάνει μεγάλα κτήρια, ενώ η δόμηση δεν ακολουθεί την διάταξη εντός οικοδομικών τετραγώνων όπως ο αστικός ιστός. Περιλαμβάνει επίσης οδικό δίκτυο και σε ορισμένες περιπτώσεις αγροτικούς δρόμους	Ζώνες τεχνητών επιφανειών (με σκυρόδεμα, άσφαλτο, πισσούχο ασφαλτόμιγμα ή ισοπεδωμένο έδαφος) χωρίς βλάστηση, καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης, η οποία επίσης περιλαμβάνει κτήρια ή/και ζώνες βλάστησης	
5	Αυτοκινητόδρομος	Μακρόστενο σχήμα, υλικό: άσφαλτος, το πλάτος του κυμαίνεται μεταξύ 20-25 μ. , δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση	Αυτοκινητόδρομοι συμπεριλαμβανομένων και των συνοδών εγκαταστάσεων (σταθμοί, αποβάθρες, αναχώματα). Ελάχιστο πλάτος για ένταξη στην κατηγορία: 100μ.	
6	Αστικό οδικό δίκτυο	Μακρόστενο σχήμα, υλικό: άσφαλτος, το πλάτος του κυμαίνεται μεταξύ 10-12 μ. , μια λωρίδα ανά κατεύθυνση ή και λωρίδα μονής κατεύθυνσεως	-----	
7	Αγροτικός δρόμος	Χωματόδρομος μέτριου μήκους, το πλάτος του κυμαίνεται γύρω στα 5μ. , περιβάλλεται από αγροτεμάχια	-----	
8	Μόνιμες καλλιέργειες - θερμοκήπια	Καλλιέργειες δέντρων σε διάταξη που δεν είναι ελαιώνες, αμπελώνες ή οπωραφόρα δέντρα. Κανονική, γεωμετρική κατανομή, τραχεία υφή. Ελαφρά πιο ανοικτός τόνος του γκριζοπράσινου χρώματος σε σχέση με τους ελαιώνες. Στην περίπτωση του θερμοκηπίου, μιλάμε για μια τεχνητή κατασκευή από γυαλί ή πλαστικό με λεία υφή και ανοικτό λευκό χρώμα που βρίσκεται σε αγροτικές περιοχές.	Καλλιέργειες χωρίς σύστημα εναλλαγής καλλιέργειας, που παρέχουν επαναλαμβανόμενη συγκομιδή και καταλαμβάνουν το έδαφος για μια μεγάλη περίοδο προτού να οργωθεί και να ξαναφυτευτεί. Περιλαμβάνει κυρίως φυτείες των ξυλωδών ειδών. Αποκλείονται τα λιβάδια, τα εδάφη για βοσκή και τα δάση	
9	Τεχνητές υδάτινες επιφάνειες	Πρόκειται για ιδιωτικές πισίνες. Στις πλείστες των περιπτώσεων αναφέρονται σε πισίνες κατοικιών ενώ δεν αποκλείονται οι αυτές που χρησιμοποιούνται από επιχειρήσεις	-----	

10	Αρόσιμη γη	Κανονικό τετράπλευρο σχήμα, λεία υφή, χρώμα: ανοικτό καφέ, γκρι ή πράσινο	Καλλιεργήσιμες περιοχές, τακτικά αρόσιμες και γενικά υπό ένα σύστημα εναλλαγής καλλιέργειας	
11	Αστικό πράσινο	Τεχνητές ζώνες βλάστησης συμπεριλαμβανομένων και δέντρων που βρίσκονται εντός της οικιστικής περιοχής, συνήθως έχουν κανονικό σχήμα και ανοικτό πράσινο χρώμα	-----	
12	Δασική έκταση	Πυκνή βλάστηση μεγάλης έκτασης, πράσινο έντονο χρώμα, βρίσκεται σε απόσταση από τον αστικό ιστό	Βλάστηση που αποτελείται κυρίως από δέντρα, συμπεριλαμβανομένων υποορόφων με θάμνους και άλλη χαμηλή βλάστηση, όπου τα πλατύφυλλα και τα κωνοφόρα δέντρα επικρατούν	
13	Γυμνό έδαφος	Έδαφος που περιλαμβάνει οποιαδήποτε χρήση/κάλυψη γης πέραν από κάποια περιορισμένη ποώδη φυσική βλάστηση, χρώμα: ανοικτό καφέ, συνήθως βρίσκεται εντός οικιστικής περιοχής και αφορά ανεκμετάλλευτα οικόπεδα	-----	

Πίνακας Α 5: Περιγραφή κατηγοριών εδαφοκάλυψης της περιοχής

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αθανασίου, Γ. Μ. (2011). *Σύγκριση Δεδομένων Τηλεπισκόπησης καμένων εκτάσεων για τον Ελλαδικό χώρο*. Αθήνα.
- Αϊναλή, Α., Γήτας, Ι., Καταγής, Θ., & Πολυχρονάκη, Α. (2007). *Διαχρονική παρακολούθηση των αλλαγών των χρήσεων γης με τη χρήση Τηλεπισκοπικών δεδομένων περιμετρικά της Λίμνης Κορώνειας στην περιοχή Θεσσαλονίκης*.
- Αραβαντινός, Α. (2007). *Πολεοδομικός σχεδιασμός: Για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου*. Αθήνα: Συμμετρία.
- Γραϊκούσης, Γ. Α., & Λαγός, Α. (2011). *Αρχές τοπογραφίας και γεωπληροφορικής*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική.
- Γραφείο Προγραμματισμού, Κ. (n.d.). Ανάκτηση March 17, 2015, από Monitoring RIS: A project by the European Centre of Social Welfare Policy and Research: http://www.monitoringris.org/documents/strat_nat/sxedio_anaptyxis1.pdf
- Καρούτσος, Π. (2012). *Χαρτογράφηση του ΓΠΑ με χρήση αεροφωτογραφίας σε μεγάλη κλίμακα για την χρήση προσδιορισμού βιοκλιματικών δεικτών*. Αθήνα.
- Κούσουλας, Λ. Ε. (2013). *Η πόλη της Κατερίνης και η ευρύτερη περιοχή στις δορυφορικές εικόνες - εντοπισμός και παρακολούθηση μεταβολών*. Θεσσαλονίκη.
- Μαρκογιάννη, Β. (2010). *Χωροχρονικές μεταβολές βλάστησης και χρήσεων γης σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα με χρήση GIS και δεδομένων τηλεπισκόπησης*. Αθήνα.
- Μέλισσας, Δ. Κ. (2010). *Οι Χρήσεις γης, το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο & η Ζώνη Οικιστικού Ελέγχου*. Αθήνα-Θεσσαλονίκη: Σακκουλά.
- Μερτίκας, Σ. Π. (2006). *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας*. Χανιά: ΙΩΝ.
- Μηλιαρέσης, Γ. Χ. (2003). *Φωτοερμηνεία Τηλεπισκόπησης*. Αθήνα: ΙΩΝ.
- Συλλαίος, Ν. (2007). *Εισαγωγή στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών και στην Τηλεπισκόπηση*. Θεσσαλονίκη: Γιαχούδη.

- Φαφούτης, Ι. (2003). *Γεωμετρική διόρθωση, Βελτίωση, Μετασχηματισμοί και Υπέρθωση Εικόνας SAR*. Χανιά.
- Φώτης, Γ. Ν. (2010). *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών*. Βόλος: Γκοβοστή.
- Χαριλόγης, Δ. (2009). *Χάρτης Μεταβολών χρήσεων γης για το Νομό Άρτας με Αξιοποίηση Μεθόδων και Τεχνικών Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης*. Αθήνα.
- Anderson, J. R. (1976). A land use and land cover classification for use with remote sensing data. Washington DC: U.S. Government Printing Office.
- Bansal, S. K., Dilbag, S., & Vipin, K. (2014). Land use/Land cover Mapping and Change Detection - A case study of Hisar-Bhiwani Watershed, Haryana. *International Journal of Multidisciplinary Approach and Studies*, 425-431.
- Chuviego, E., & Congalton, G. (1989). Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard mapping. Στο *Remote sensing of environment* (σσ. 147-159).
- Cracknell, A. P., & Hayes, L. (1993). *Introduction to remote sensing*. London-New York: Taylor & Francis.
- European Environment Agency. (n.d.). Ανάκτηση June 28, 2015, από <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps>
- Gupta, R. P. (1991). *Remote Sensing Geology*. Berlin: Springer-Verlag.
- Khorram, S. (1999). *Accuracy assessment of remote sensing-derived change detection*. Bethesda: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Legg, C. A. (1995). *Remote sensing and geographic information systems : geological mapping, mineral exploration and mining*. New York: Wiley.
- Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (1994). *Remote sensing and image interpretation*. New York: Wiley.
- Ross, L. S., & Elvidge, C. D. (2000). *Remote sensing change detection : environmental monitoring methods and applications*. London: CRC Press.

- Santwana , S., Saurabh, B., Subhashree , M., & Bhabani, S. (2014). An exploration of Change Detection Techniques for Images.
- Sartajvir, S., & Rajneesh, T. (2014). A Comparative Study om Change Vector analysis based change detection techniques.
- Shrimani, P. K., Nanditha, P., & Suma, S. (2015). Analysis of Land Use and Land Cover Change and Urban Sprawl using RS and GIS Techniques: A case study of Tumkur Hobli, Karnataka, India. *International Journal of Applied Engineering Research*, 7427-7442.
- Sifakis, N., & Dechamps, P. (1992). Mapping of Air Pollution Using Spot Sattelite data . Στο *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* (σσ. 1433-1437).
- Srinivas, K., Yarrakula, K., Chandramouli, G., & Rmmohanrao, P. (2013). Change Detection Analysis of Godavari River Basin in Andhra Pradesh using Remote Sensing. *Internation Journal of Applied Sciences*, 2253-2262.
- Vogelmann, J. E., Sohl, T. L., Campell, P. V., & Shaw, D. M. (n.d.). Regional Land Cover Characterization Using Landsat Thematic Mapper Data and Ancillary Data Sources. Στο *Environmental Monitoring and Assesment* (σσ. 415-428).
- Yarrakula, K., & Sumar, K. S. (2014). Urban sprawl change detection analysis of Vijayawada city using multi temporal remote sensing data. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 728-734.
- Δήμος Λατσιών. (n.d.). Ανάκτηση July 2, 2015, από <http://www.latsia.org.cy/>
- Ένωση Δήμων Κύπρου. (n.d.). Ανάκτηση June 18, 2015, από <http://www.ucm.org.cy/>
- Ένωση Κοινοτήτων Κύπρου. (n.d.). Ανάκτηση June 20, 2015, από <http://www.ekk.org.cy/index.shtm>
- Cy Stat. (n.d.). Ανάκτηση May 23, 2015, από Στατιστική Υπηρεσία Κύπρου: http://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocument
- Technologyi, I. G. (n.d.). Ανάκτηση August 30, 2015, από Integrated Geospatial Education & Technology Training: <http://igett.delmar.edu/index.html>

The USGS Land Cover Institute (LCI). (n.d.). Ανάκτηση May 25, 2015, από USGS:
science for a changing world: <http://landcover.usgs.gov/>