



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

**«Ανίχνευση και Εξαγωγή των Αδιαπέραστων  
Επιφανειών με Ανάπτυξη Βάσης Γνώσης σε  
Περιβάλλον Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης  
Ψηφιακών Τηλεπισκοπικών Δεδομένων»**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
**Αριστόδημος Μαραγκουδάκης**

Επιβλέπων: Δημήτριος Αργιαλάς  
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2014





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

**«Ανίχνευση και Εξαγωγή των Αδιαπέρατων  
Επιφανειών με Ανάπτυξη Βάσης Γνώσης σε  
Περιβάλλον Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης  
Ψηφιακών Τηλεπισκοπικών Δεδομένων»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αριστόδημος Μαραγκουδάκης

**Επιβλέπων:** Δημήτριος Αργιαλάς  
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

.....  
Δ.Αργιαλάς

Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Β.Καραθανάση

Αναπληρ. Καθηγ. ΕΜΠ

.....  
Κ. Καράντζαλος

Επικ.Λέκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

.....  
Μαραγκουδάκης Αριστόδημος  
Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ

Copyright © Μαραγκουδάκης Αριστόδημος, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

# Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Τομέα Τοπογραφίας της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με σκοπό τη διερεύνηση σχετικά με την ανίχνευση και την εξαγωγή των αδιαπέραστων επιφανειών και την ανάπτυξη σχετικής βάσης γνώσης χρησιμοποιώντας την τεχνική της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης απεικονίσεων υψηλής χωρικής ανάλυσης.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Αργιαλά Δημήτριο για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και για τις γνωστικές βάσεις που μου προσέφερε, την αμέριστη καθοδήγηση και συμπαράσταση, τις συμβουλές και τις υποδείξεις όποτε χρειάστηκε.

Ευχαριστώ τα μέλη του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης και ιδιαίτερα τον Δρ. Κολοκούση Πολυχρόνη για την πολύτιμη και συνεχή υποστήριξη σε όποια προβλήματα προέκυπταν, για την παροχή του απαραίτητου υλικού και για την γενικότερη διάθεση συνεργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους φίλους και την οικογένεια μου, που υπήρξαν δίπλα μου σε όλα τα βήματα της ζωής μου.

# Περίληψη

Οι αδιαπέραστες επιφάνειες είναι ανθρωπογενείς επιφάνειες που εμποδίζουν την διήθηση τού νερού. Οι προηγούμενες απόπειρες ταξινόμησης αδιαπέραστων επιφανειών με υψηλής ανάλυσης εικόνες και τη χρήση τεχνικών που βασίζονται στο επίπεδο των pixels δεν έχουν αποφέρει τα μέγιστα όσον αφορά την αυτοματοποιημένη ταξινόμηση λόγω της υψηλής φασματικής διακύμανσης και των σύνθετων τύπων εδαφοκάλυψης των αστικών περιοχών. Η ακριβής και γρήγορη ταξινόμηση των αδιαπέραστων επιφανειών θα μπορούσε να βοηθήσει στην διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης όπως πλημμύρες, σεισμοί, φωτιές, καταιγίδες, παρέχοντας άμεσες προβλέψεις και επικαιροποιημένους χάρτες για την αντιμετώπιση των καταστάσεων αυτών. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η αναγνώριση των αδιαπέραστων επιφανειών έχοντας σαν γνώμονα την δημιουργία βάσης γνώσης για την αυτόματη αναγνώρισή τους σε παραπλήσια τηλεπισκοπικά δεδομένα.

Για την επίτευξη των στόχων της εργασίας, αναπτύχθηκε μια βάση γνώσης στο λογισμικό επεξεργασίας εικόνων με αντικειμενοστραφή ανάλυση, eCognition, της εταιρίας DEFINIENS Imaging GmbH. Η αντικειμενοστραφής ανάλυση επιτρέπει την επεξεργασία των δεδομένων σε επίπεδο αντικειμένων και όχι μεμονωμένων εικονοστοιχείων όπως οι παραδοσιακές μέθοδοι του παρελθόντος. Πραγματοποιήθηκε μελέτη περιπτώσεων σε τρεις διαφορετικές περιοχές, και των οποίων τα δεδομένα ποίκιλλαν όσον αφορά τους δέκτες, τη χωρική ανάλυση, την ύπαρξη ή μη πρόσθετων υψομετρικών και διανυσματικών δεδομένων.

Η περιοχή μελέτης 1 βρισκόταν στην περιοχή του Φαλήρου και τα διαθέσιμα δεδομένα περιελάμβαναν μια δορυφορική εικόνα Ikonos χωρικής ανάλυσης 1m, ένα Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM) προερχόμενο από LIDAR, και ένα κτηματολογικό υπόβαθρο. Η επεξεργασία των δεδομένων περιέλαβε την δημιουργία πέντε επιπέδων κατάτμησης και ισάριθμων επιπέδων ταξινόμησης. Μετά τον διαχωρισμό της περιοχή ενδιαφέροντος από το φόντο στο επίπεδο πέντε, ακολούθησε στο επίπεδο τέσσερα η αναγνώριση των δρόμων και οικοδομικών τετραγώνων με τη βοήθεια των κτηματολογικών δεδομένων. Στο πρώτο λεπτόκοκκο επίπεδο αναγνωρίστηκε η βλάστηση η οποία μαζί με τις ταξινομήσεις των προαναφερθέντων κατηγοριών μεταφέρθηκαν στο επίπεδο δύο. Η τελική ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε στο επίπεδο τέσσερα αποτέλεσμα

της οποίας είναι η κατάταξη των οικοδομικών τετραγώνων σε έξι κλάσεις αναλόγως του ποσοστού που καλύπτονται από αδιαπέραστες επιφάνειες.

Στην δεύτερη περιοχή μελέτης, χρησιμοποιείται μια ορθοφωτογραφία από την περιοχή της Γλυφάδας που έχει προκύψει από αεροφωτογραφίες της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε και έχει εξαχθεί από την διαδικτυακή υπηρεσία θέασης της εταιρίας. Η επεξεργασία περιελάμβανε έξι επίπεδα. Στα επίπεδα ένα, τρία και τέσσερα, ανιχνεύτηκαν η βλάστηση, οι δρόμοι και τα κτήρια αντίστοιχα. Με τη συμβολή των βοηθητικών επιπέδων δύο, πέντε και έξι, η τελική ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε σε μια μετά-ταξινόμηση του επιπέδου 3 όπου μεταφέρθηκαν οι ταξινομήσεις των άνω και κάτω επιπέδων και ορίστηκαν και νέες κατηγορίες. Οι αδιαπέραστες επιφάνειες διαχωρίστηκαν σε δρόμους, κτήρια, σκιασμένα αδιαπέραστα και λοιπά αδιαπέραστα.

Η τρίτη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε σε μια δορυφορική εικόνα WorldView2 χωρικής ανάλυσης 0,5m που απεικονίζει μέρος του Πόρτο Ράφτη. Η επεξεργασία απαίτησε έξι επίπεδα κατάτμησης και στο τελευταίο προέκυψαν πέντε κατηγορίες ανάλογα με το ποσοστό το αδιαπέραστων επιφανειών ανά οικοδομικό τετράγωνο. Στο επίπεδο ένα ταξινομήθηκε η βλάστηση και το νερό, στα επίπεδα τρία και τέσσερα ταξινομήθηκαν οι δρόμοι και τα κτήρια. Το σύνολο των κατηγοριών παρουσιάζονται στο επίπεδο τέσσερα και η προαναφερθείσα κατάταξη των οικοδομικών τετραγώνων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενδιάμεσων επιπέδων και βοηθητικών ταξινομήσεων.

Ακολούθησε η αξιολόγηση των ταξινομήσεων η οποία πραγματοποιήθηκε με χρήση των εργαλείων που ενσωματώνει το λογισμικό. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση βάσει της καλύτερης ταξινόμησης, της σταθερότητας ταξινόμησης καθώς και με τη δημιουργία πίνακα σύγχυσης.

#### **Λέξεις κλειδιά:**

αντικειμενοστραφής ανάλυση, αδιαπέραστες επιφάνειες, eCognition, ασαφής λογική, βάση γνώσης, κτηματολογικά δεδομένα, LIDAR, IKONOS, WorldView2, ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε

# Abstract

## **“Extraction of impervious surfaces from remote sensing imagery by developing a knowledge base within an object-based image analysis environment”**

Impervious surfaces are manmade surfaces which are highly resistant to infiltration of water. Previous attempts to classify impervious surfaces from high spatial resolution imagery with pixel-based techniques have proven to be unsuitable for automated classification because of their spectral variability and complex land covers in urban areas. Accurate and rapid classification of impervious surfaces would help in emergency management after extreme events like flooding, earthquakes, fires, and hurricanes, by providing quick estimates and updated maps for emergency response. The objective of this study was the recognition of impervious surfaces while creating a knowledge base that could help to automatically recognize those areas on remote sensing data.

To achieve this objective, a knowledge base was created using eCognition® software by DEFINIENS Imaging GmbH, based on object oriented analysis. Object based analysis allows the processing of data at the level of objects rather than individual pixels like the traditional methods of the past. Three case studies in three different areas were examined, whose data varied regarding their source, spatial resolution and existence or not of additional elevation or vector data.

The first study area was located at the city of Paleo Faliro, and the available data included a high resolution IKONOS satellite image, a Digital Surface Model (DSM) layer as well as cadastral data. The image analysis contained five levels of segmentations and classifications. After separating the area of interest from the background at a coarse level, the roads and city blocks were identified with the aid of cadastral data. Having classified the vegetation areas at a fine level all classifications were transported at an intermediate level. The final classification divided the city blocks in six classes according to their impervious percentage.

For the second area study, an orthophoto depicting part of the city of Glyfada was used, deriving from aerial images taken by KTIMATOLOGIO S.A. After performing a six level image analysis, during the final classification process, the



impervious surfaces were classified into roads, buildings, shaded impervious and rest impervious areas.

The last case study contained a high resolution WorldView2 satellite image depicting the area of Porto Rafti. Having gone through six levels of image analysis, the final classification process was executed at an intermediate level and the final result measured percent of each sub division created. Those subdivisions were then grouped in five categories according to their impervious coverage.

Evaluating the classifications results was a necessary step and it was performed using tools integrated in the software. The evaluation was performed using the best classification and classification stability methods, as well as creating confusion matrices.

**Keywords:**

Object-based classification, impervious areas, eCognition, fuzzy logic, knowledge base, cadastral data, LIDAR, IKONOS, WorldView2, OBIA, KTIMATOLOGIO S.A

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πρόλογος.....	iv
Περίληψη .....	v
Abstract .....	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	ix
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	xiii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	xv

<b>1</b> Εισαγωγή.....	<b>1</b>
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	1
1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	3
1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	3

<b>2</b> Ανασκόπηση Πεδίου.....	<b>4</b>
2.1 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	4
2.1.1 Αρχή λειτουργίας τηλεπισκοπικών ανιχνευτών .....	5
2.1.2 Κατηγορίες δεκτών ανιχνευόμενης Η/Μ ακτινοβολίας .....	7
2.1.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά δεδομένων .....	8
2.1.4 Εφαρμογές τηλεπισκόπησης .....	8
2.1.5 Επεξεργασία & ανάλυση δεδομένων .....	9
2.2 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΗΣ .....	10
2.2.1 Δορυφόροι γεωσκόπησης.....	11
2.2.2 Εμπορικοί Οπτικοί Δορυφόροι Υψηλής Ανάλυσης.....	13
2.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΟΡΘΟΦΩΤΟΧΑΡΤΩΝ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε .....	17
2.3.1 Αρχείο του Ο.Κ.Χ.Ε .....	20
2.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ LIDAR.....	22
2.4.1 Τεχνολογία LIDAR.....	22
2.4.2 Επιστροφές Lidar Laser .....	23
2.4.3 Παράμετροι λειτουργία του συστήματος LIDAR .....	24
2.4.4 Νέφος σημείων .....	25
2.4.5 Είδη LIDAR.....	26

2.4.6	Εφαρμογές LIDAR.....	27
2.5	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ECOGNITION.....	28
2.5.1	Εισαγωγή στο λογισμικό.....	28
2.5.2	Αλγόριθμος πολλαπλής κατάτμησης εικόνας.....	30
2.5.3	Ιεραρχικό δίκτυο αντικειμένων.....	33
2.5.4	Ιεραρχία τάξεων.....	36
2.5.5	Ασαφής λογική.....	38
2.5.6	Χαρακτηριστικά (features) στο λογισμικό eCognition.....	40
2.5.7	Ταξινόμηση.....	44
2.5.8	Κατάτμηση βάσει ταξινόμησης.....	50
2.5.9	Αξιολόγηση ταξινόμησης.....	51
2.6	ΑΔΙΑΠΕΡΑΣΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ.....	53
2.6.1	Σημαντικότητα Αδιαπέραστων Επιφανειών.....	53
2.6.2	Τηλεπισκόπηση αστικών περιοχών.....	61
2.6.3	Τηλεπισκόπηση αστικών αδιαπέραστων επιφανειών.....	63
2.6.4	Σημασία στην μοντελοποίηση της απορροής και του υδάτινου ισοζυγίου.....	65
2.6.5	Επικρατούσες τάσεις και μέθοδοι στην τηλεπισκόπηση αδιαπέραστων επιφανειών.....	68

### **3 Μεθοδολογία.....71**

3.1	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 1.....	71
3.1.1	Εισαγωγικά στοιχεία.....	71
3.1.2	Δεδομένα.....	72
3.1.3	Φωτοερμηνεία.....	74
3.1.4	Κατατμήσεις.....	75
3.1.5	Ταξινομήσεις.....	84
3.2	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 2.....	97
3.2.1	Εισαγωγικά στοιχεία.....	97
3.2.2	Δεδομένα.....	98
3.2.3	Φωτοερμηνεία.....	100
3.2.4	Κατατμήσεις.....	102
3.2.5	Ταξινομήσεις.....	110
3.3	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 3.....	122
3.3.1	Εισαγωγικά στοιχεία.....	122

3.3.2	Δεδομένα .....	123
3.3.3	Φωτοερμηνεία .....	124
3.3.4	Κατατμήσεις .....	125
3.3.5	Ταξινομήσεις .....	132
<b>4</b>	<b>Αξιολόγηση .....</b>	<b>144</b>
4.1	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΚΑΛΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (BEST CLASSIFICATION RESULT) 145	
4.1.1	Περιοχή Μελέτης 1 .....	146
4.1.2	Περιοχή Μελέτης 2 .....	148
4.1.3	Περιοχή Μελέτης 3 .....	150
4.2	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (CLASSIFICATION STABILITY) 152	
4.2.1	Περιοχή Μελέτης 1 .....	152
4.2.2	Περιοχή Μελέτης 2 .....	154
4.2.3	Περιοχή Μελέτης 3 .....	156
4.3	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ (ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΧΥΣΗΣ).....	158
4.3.1	Περιοχή Μελέτης 1 .....	159
4.3.2	Περιοχή Μελέτης 2 .....	161
4.3.3	Περιοχή Μελέτης 3 .....	163
4.4	Συνολική αποτίμηση ακρίβειας .....	165
<b>5</b>	<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>166</b>
5.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	166
5.2	ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ .....	168
	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>170</b>
	<b>Παράρτημα .....</b>	<b>175</b>



## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 2-1: Απλοποιημένο μοντέλο καταγραφής και διαμόρφωσης τηλεπισκοπικών δεδομένων .....	6
Εικόνα 2-2: Χρονολογικό γράφημα διάρκειας ζωής των δορυφόρων LandSat.....	12
Εικόνα 2-3: Έτη εκτόξευσης και χωρική ανάλυση δορυφόρων SPOT.....	12
Εικόνα 2-4: Ο Δορυφόρος Quickbird-2 (Illustration).....	13
Εικόνα 2-5: Ο Δορυφόρος IKONOS (Illustration) .....	14
Εικόνα 2-6: Τα 8 φασματικά κανάλια του δορυφόρου WorldView2 .....	16
Εικόνα 2-7: Αεροφωτογραφία Σαντορίνης, περιοχή Ημεροβιγλίου.....	21
Εικόνα 2-8: Αρχή λειτουργίας LIDAR .....	22
Εικόνα 2-9: Απεικόνιση επιστροφών παλμών Laser.....	23
Εικόνα 2-10: Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης με παραμέτρους κλίμακας 25 (a), 50 (b), 75 (c) .....	33
Εικόνα 2-11: Το ιεραρχικό δίκτυο των αντικειμένων της εικόνας αναπτυγμένο απο το κατώτερο επίπεδο στα ανώτερα .....	34
Εικόνα 2-12: Ιεραρχία επιπέδων ανάλυσης με διαφορετικές κατατμήσεις .....	36
Εικόνα 2-13: Οι συναρτήσεις συμμετοχής στο λογισμικό eCognition.....	46
Εικόνα 2-14: Ορισμός χαρακτηριστικού στο eCognition .....	49
Εικόνα 2-15: Περιπτώσεις αδιαπέραστων επιφανειών: (a) Οροφή κτηρίου, (b) Χώρος στάθμευσης, (c) δρόμος, (d) διάδρομος προσαπογείωσης, (e) πεζοδρόμιο, (f) προβλήτα λιμανιού .....	54
Εικόνα 2-16: Μειώνοντας τον αντίκτυπο των αδιαπέραστων επιφανειών: Αστική Γεωργία (Πηγή: <a href="http://images.nationalgeographic.com">http://images.nationalgeographic.com</a> ) .....	58
Εικόνα 2-17: Μειώνοντας τον αντίκτυπο των αδιαπέραστων επιφανειών: Πράσινη οροφή στο The Marriott Hotel, Victoria, BC, Canada.....	59
Εικόνα 2-18: Μειώνοντας τον αντίκτυπο των αδιαπέραστων επιφανειών: Πράσινη ανοικοδόμηση.....	59
Εικόνα 2-19: Μειώνοντας τον αντίκτυπο των αδιαπέραστων επιφανειών: Πορώδες οδόστρωμα .....	60
Εικόνα 2-20: Μειώνοντας τον αντίκτυπο των αδιαπέραστων επιφανειών: Κήπος βροχής .....	60
Εικόνα 2-21: Μεταβολές στον υδρολογικό κύκλο καθώς αυξάνεται η κάλυψη με αδιαπέραστες επιφάνειες.....	66
Εικόνα 2-22: Σχηματική απεικόνιση του αποτελέσματος της αστικοποίησης στην υδρολογία .....	67
Εικόνα 2-23: Επιλεγμένη βιβλιογραφία στην τηλεπισκόπηση αστικών αδιαπέραστων επιφανειών.....	70
Εικόνα 3-1: Γενική εποπτεία της Περιοχής Μελέτης 1 .....	72
Εικόνα 3-2: Επιλογή συνδυασμού καναλιών στο eCognition.....	74
Εικόνα 3-3: Αποτέλεσμα κατάτμησης 5 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	77
Εικόνα 3-4: Παράμετροι κατάτμησης 5 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	77
Εικόνα 3-5: Αποτέλεσμα κατάτμησης 4 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	78
Εικόνα 3-6: Παράμετροι κατάτμησης 4 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	79
Εικόνα 3-7: Αποτέλεσμα κατάτμησης 2 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	80
Εικόνα 3-8: Παράμετροι κατάτμησης 2 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	80
Εικόνα 3-9: Αποτέλεσμα κατάτμησης 1 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	81
Εικόνα 3-10: Παράμετροι κατάτμησης 1 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	82
Εικόνα 3-11: Αποτέλεσμα κατάτμησης 3 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	83

Εικόνα 3-12: Παράμετροι κατάτμησης 3 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	83
Εικόνα 3-13: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 5 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	85
Εικόνα 3-14: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 4 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	87
Εικόνα 3-15: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 1 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	89
Εικόνα 3-16: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 2 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1 .....	91
Εικόνα 3-17: Αποτέλεσμα τελικής ταξινόμησης 3ου επιπέδου ΠΜ1.....	94
Εικόνα 3-18: Διάγραμμα ροής για την ταξινόμηση των επιπέδων της ΠΜ1 .....	96
Εικόνα 3-19: Γενική εποπτεία της Περιοχής Μελέτης 2 .....	98
Εικόνα 3-20: Γραφικό περιβάλλον διαδικτυακής εφαρμογής κτηματολογίου .....	99
Εικόνα 3-21: Επιλογή συνδυασμού καναλιών προς απεικόνιση .....	101
Εικόνα 3-22: Αποτέλεσμα κατάτμησης 1 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2.....	103
Εικόνα 3-23: Παράμετροι κατάτμησης 1 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2.....	103
Εικόνα 3-24: Αποτέλεσμα κατάτμησης 3 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2.....	104
Εικόνα 3-25: Παράμετροι κατάτμησης 3 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2 .....	105
Εικόνα 3-26: Παράμετροι κατάτμησης 4 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2 .....	106
Εικόνα 3-27: Αποτέλεσμα κατάτμησης 4 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2.....	106
Εικόνα 3-28: Αποτέλεσμα κατάτμησης 2 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2 .....	107
Εικόνα 3-29: Παράμετροι κατάτμησης 2 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2 .....	108
Εικόνα 3-30: Αποτέλεσμα κατάτμησης 6 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2.....	109
Εικόνα 3-31: Αποτέλεσμα κατάτμησης 5 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2.....	109
Εικόνα 3-32: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 1 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2.....	111
Εικόνα 3-33: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 4 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2.....	113
Εικόνα 3-34: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 3 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2.....	115
Εικόνα 3-35: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 2 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2.....	116
Εικόνα 3-36: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 5 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2.....	117
Εικόνα 3-37: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 6 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2.....	118
Εικόνα 3-38: Αποτέλεσμα τελικής ταξινόμησης ΠΜ2.....	119
Εικόνα 3-39: Διάγραμμα ροής για την ταξινόμηση των επιπέδων της ΠΜ2 .....	121
Εικόνα 3-40: Επιλογή υπο-περιοχής από την εικόνα του Πόρτο Ράφτη .....	123
Εικόνα 3-41: Φωτοερμηνεία περιοχής Πόρτη Ράφτη .....	124
Εικόνα 3-42: Αποτέλεσμα κατάτμησης 1 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3.....	126
Εικόνα 3-43: Παράμετροι κατάτμησης 1 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3 .....	126
Εικόνα 3-44: Αποτέλεσμα κατάτμησης 3 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3.....	127
Εικόνα 3-45: Παράμετροι κατάτμησης 3 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3 .....	128
Εικόνα 3-46: Παράμετροι κατάτμησης 4 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3 .....	129
Εικόνα 3-47: Αποτέλεσμα κατάτμησης 4 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3.....	129
Εικόνα 3-48: Αποτέλεσμα κατάτμησης 5 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3.....	130
Εικόνα 3-49: Αποτέλεσμα κατάτμησης 6 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3.....	131
Εικόνα 3-50: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 1 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3.....	133
Εικόνα 3-51: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 3 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3.....	135
Εικόνα 3-52: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου assign class .....	137
Εικόνα 3-53: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 4 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3.....	138
Εικόνα 3-54: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 2 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3.....	139
Εικόνα 3-55: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 6 <sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3.....	140
Εικόνα 3-56: Διάγραμμα ροής για την ταξινόμηση των επιπέδων της ΠΜ3 .....	143
Εικόνα 4-1: TTA mask Περιοχής Μελέτης 1.....	160
Εικόνα 4-2: TTA mask Περιοχής Μελέτης 2.....	162
Εικόνα 4-3: TTA mask Περιοχής Μελέτης 3.....	164
Εικόνα 4-4: συγκριτική αποτίμηση ακρίβειας ταξινομήσεων των περιοχών μελέτης...	165

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Quickbird .....	14
Πίνακας 2-2: Στοιχεία ελέγχου ορθοφωτοχαρτών .....	18
Πίνακας 2-3: Περιγραφή παραμέτρων λειτουργίας συστήματος LIDAR .....	24
Πίνακας 2-4: Περιγραφή τελεστών στο eCognition .....	47
Πίνακας 3-1: Κανόνες ταξινόμησης κατηγοριών όλων των επιπέδων.....	95
Πίνακας 3-2: Φωτοερμηνεία στην περιοχή μελέτης 1 .....	101
Πίνακας 3-3: Κανόνες ταξινόμησης κατηγοριών όλων των επιπέδων ΠΜ2.....	120
Πίνακας 3-4: Κανόνες ταξινόμησης όλων των επιπέδων ΠΜ3 .....	142
Πίνακας 4-1: Επεξήγηση στοιχείων πίνακα αξιολόγησης .....	145
Πίνακας 4-2: Αποτελέσματα αξιολόγησης ΠΜ1 επιπέδων 1,2,3,4 βάσει της καλύτερης ταξινόμησης .....	147
Πίνακας 4-3: Αποτελέσματα αξιολόγησης ΠΜ2 επιπέδων 1,3,4,5 βάσει της καλύτερης ταξινόμησης .....	149
Πίνακας 4-4: Αποτελέσματα αξιολόγησης ΠΜ3 επιπέδων 1,3,4,6 βάσει της καλύτερης ταξινόμησης .....	151
Πίνακας 4-5: Αποτελέσματα αξιολόγησης ΠΜ1 επιπέδων 1, 2, 3, 4 βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης.....	153
Πίνακας 4-6: Αποτελέσματα αξιολόγησης ΠΜ2 επιπέδων 1, 3, 4, 5 βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης.....	155
Πίνακας 4-7: Αποτελέσματα αξιολόγησης ΠΜ3 επιπέδων 1, 3, 4, 6 βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης.....	157
Πίνακας 4-8: Πίνακας σύγκρισης Περιοχής Μελέτης 1.....	160
Πίνακας 4-9: Πίνακας σύγκρισης Περιοχής Μελέτης 2.....	162
Πίνακας 4-10: Πίνακας σύγκρισης Περιοχής Μελέτης 3.....	164



# 1. Εισαγωγή

## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι αστικές περιοχές συχνά αποτελούν κέντρα εκρηκτικής οικονομικής ανάπτυξης, εν όψει της οποίας αλλά και δημοσιονομικών ζητημάτων, τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) μαζί με την τηλεπισκόπηση, αποτελούν μια αποτελεσματική οδό για χαρτογράφηση, σχεδιασμό και διαχείριση. Η αστική ανάπτυξη οδηγεί και στην αύξηση των αδιαπέραστων επιφανειών. Οι αδιαπέραστες επιφάνειες είναι τεχνητές ή ανθρωπογενείς επιφάνειες, που εμποδίζουν την διήθηση του νερού. Οι επιφάνειες αυτές αποτελούν έναν πολύ σημαντικό δείκτη εκτίμησης της υγείας των αστικών χρήσεων/καλύψεων γης λόγω των δεκάδων τρόπων που επηρεάζουν το αστικό τοπίο (Yang et al, 2003). Η ανίχνευση των αστικών αδιαπέραστων επιφανειών με τη χρήση εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης είναι δύσκολη, λόγω φασματικών, χρονικών και χωρικών διαφοροποιήσεων των αστικών περιοχών. Παράδειγμα χωρικών μεταβολών είναι η θέση κινούμενων αντικειμένων όπως τα οχήματα, ενώ χρονικές μεταβολές είναι οι φυσιολογικές εποχιακές μεταβολές στην ανάπτυξη των φυτών. Παραδείγματα φασματικών μεταβολών αποτελούν οι σκιασμένες περιοχές και παρουσία αγνώστων ή μικτών εικονοστοιχείων που θεωρούνται στατιστικός θόρυβος. Η αυτοματοποιημένη χαρτογράφηση των αδιαπέραστων επιφανειών με ικανοποιητική ακρίβεια σε αστικό περιβάλλον είναι ένα από τα δυσκολότερα ζητήματα που δεν έχει αντιμετωπιστεί πλήρως με τη χρήση τηλεπισκόπησης (Blaschke, 2010) Ο Blaschke (2010) αναφέρει πως η αυτοματοποίηση κατά την διαδικασία της ταξινόμησης προς το παρόν επιτυγχάνεται με σταδιακό τρόπο, με μόνο ένα μέρος της ροής εργασιών να είναι πρόσφορο για αυτοματοποίηση.

Η αυτοματοποιημένη ανίχνευση των αδιαπέραστων επιφανειών είναι χρήσιμη για την διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης μετά από ακραία συμβάντα όπως πλημμύρες, σεισμούς, φωτιές, τσουνάμι, καταιγίδες, παρέχοντας γρήγορες εκτιμήσεις και επικαιροποιημένους χάρτες για την αντιμετώπιση της έκτακτης ανάγκης. Είναι γνωστό ότι η ποσότητα της απορροής σε μια αστική λεκάνη απορροής καθορίζεται από το ποσοστό το αδιαπέραστων επιφανειών. (Goldshleger et al, 2009) Σε κάποιες περιορισμένες περιπτώσεις μελετών μοντελοποίησης ο συντελεστής απορροής μπορεί να ληφθεί ίσος με το ποσοστό των αδιαπέραστων επιφανειών (Σούλης κ.α, 2009). Το σύνολο των

αδιαπέραστων επιφανειών ως ποσοστό της εδαφοκάλυψης μια χώρας είναι συνήθως χαμηλό. Οι αρνητικές όμως επιπτώσεις των αδιαπέραστων επιφανειών στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι δυσανάλογη. Τα δεδομένα των αδιαπέραστων επιφανειών σε συνδυασμό με υψομετρικά δεδομένα είναι χρήσιμα για την προσέγγιση της υδρολογικής ανάλυσης μιας περιοχής μελέτης. Για παράδειγμα, τα ευρήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθοριστεί η χωρητικότητα διήθησης μιας λεκάνης απορροής (infiltration capacity of a Watershed) και τον απαιτούμενο χρόνο για να υπερβληθεί.

Τα τελευταία χρόνια ο επιστημονικός τομέας της Τηλεπισκόπησης (Remote Sensing) έχει σημειώσει μεγάλη εξέλιξη, τόσο σε θέματα τεχνικομηχανικού εξοπλισμού (hardware) όσο και σε θέματα λογισμικού (software). Στον τομέα του τεχνικομηχανικού εξοπλισμού παρέχεται στον χρήστη η δυνατότητα προμήθειας πολυφασματικών τηλεπισκοπικών δεδομένων ύψιστης διακριτικής ικανότητας από δορυφορικές και μη πλατφόρμες. Αντίστοιχα στον τομέα του διαθέσιμου λογισμικού καινούριοι αλγόριθμοι για τη ανάλυση και ερμηνεία τηλεπισκοπικών απεικονίσεων προτείνονται. Ολοένα και περισσότερο δεδομένα υψηλής διακριτικής ικανότητας διατίθενται στην αγορά, την πολυπλοκότητα των οποίων δεν μπορούν εύκολα να διαχειριστούν οι τεχνικές ανάλυσης των μεμονωμένων εικονοστοιχείων, λαμβάνοντας απλά υπ' όψιν τις φασματικές υπογραφές αυτών. Η ποικιλία των διαφόρων ειδών και ο όγκος των προς επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων αναδεικνύουν την ανάγκη πιο ευέλικτων και αποτελεσματικών μεθόδων ερμηνείας τους. Η απλοποίηση, η αυτοματοποίηση και η ενσωμάτωση στις μεθόδους αυτές της θεωρητικής ή εμπειρικής γνώσης των ειδικών, αποτελούν πάγια αιτήματα των ασχολούμενων με τον τομέα της Τηλεπισκόπησης (Δερζέκος, 2002).

Μία νέα προσέγγιση στο πρόβλημα της ταξινόμησης των τηλεπισκοπικών δεδομένων αποτελεί η αντικειμενοστραφής ανάλυση της εικόνας, την οποία εφαρμόζει το λογισμικό eCognition. Αυτού του είδους η ανάλυση βασίζεται στη λογική ότι η σημαντική πληροφορία για την ερμηνεία εικόνων δεν αναπαρίσταται από μεμονωμένα εικονοστοιχεία, αλλά από αντικείμενα με φασματικές και σχηματικές ιδιότητες και τις αλληλοσυσχετίσεις τους. Όσο περισσότερα γεωμετρικά, φασματικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά είναι γνωστά για κάποια αντικείμενα, τόσο πιο ρεαλιστική τείνει να γίνει η ταξινόμηση (Hoffman, 2001).

Οι δορυφόροι IKONOS και Quickbird τέθηκαν σε τροχιά περίπου το 2000, και λίγα χρόνια αργότερα ακολούθησαν αεροφωτογραφίες πολύ υψηλής ανάλυσης και υψηλής ανάλυσης υψομετρικά δεδομένα LIDAR. Οι εξελίξεις αυτές

αποτελούν μεγάλο άλμα στις διαθέσιμες προς ανάλυση πληροφορίες. Με την σταδιακή μείωση των κλασικών τοπογραφικών τεχνικών, η τηλεπισκόπηση είναι η μόνη βιώσιμη εναλλακτική για την επικαιροποίηση των βάσεων δεδομένων GIS. Οι τρέχουσες βάσεις δεδομένων αποτελούνται από δρόμους, αποτυπώματα κτηρίων, ζώνες βλάστησης και άλλων επιπέδων που πρέπει να επικαιροποιούνται λόγω των ταχέων αλλαγών της αστικοποίησης. Υπάρχει μια αυξανόμενη ανάγκη για αποκόμιση απτών αντικειμένων εικόνας που μπορούν να εισαχθούν σε μορφή συμβατή με GIS από τις πολλές εικόνες που είναι διαθέσιμες για μια συγκεκριμένη περιοχή (Blaschke, 2010)

## 1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η αναγνώριση των αδιαπέραστων επιφανειών μέσα από μελέτη περιπτώσεων, χρησιμοποιώντας διαφορετικά δεδομένα κάθε φορά, έχοντας παράλληλα σαν γνώμονα την δημιουργία βάσης γνώσης για την αυτόματη αναγνώρισή τους σε παραπλήσια τηλεπισκοπικά δεδομένα.

## 1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Μετά το εισαγωγικό πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, το δεύτερο κεφάλαιο περιέλαβε μια ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, και περιέχει στοιχεία σχετικά με: την τηλεπισκόπηση και τους δορυφόρους που χρησιμοποιούνται, τα υψομετρικά και κτηματολογικά δεδομένα, καθώς και μια παράγραφο περί αδιαπέραστων επιφανειών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μέθοδος που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, και η ροή εργασιών για την τελική ταξινόμηση των εικόνων.

Στο κεφάλαιο τέσσερα πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση των ταξινομήσεων με τρεις μεθόδους: βάση των μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής, τη διαφορά ανάμεσα στο πρώτο και δεύτερο καλύτερο βαθμό συμμετοχής, καθώς και με τη χρήση περιοχών ελέγχου και πινάκων σύγχυσης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα σχετικά με τις ταξινομήσεις που εκτελέστηκαν, καθώς και οι προοπτικές για περαιτέρω διερεύνηση των μεθόδων αναγνώρισης αδιαπέραστων επιφανειών.

## 2. Ανασκόπηση Πεδίου

Στο τρέχον κεφάλαιο γίνεται γενική αναφορά στην Τηλεπισκόπηση, τις εφαρμογές της και στους δορυφόρους που χρησιμοποιούνται. Παρουσιάζονται επίσης γενικά στοιχεία του λογισμικού eCognition και των δυνατοτήτων του, και τέλος γίνεται λόγος για τις αδιαπέραστες επιφάνειες, με έμφαση στο αστικό περιβάλλον.

### 2.1 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Με τον όρο τηλεπισκόπηση εννοείται η επιστήμη παρατήρησης φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση. Η λέξη είναι σύνθετη και αποτελείται από το επίρρημα τηλε- και το ρήμα επισκοπώ, δηλαδή παρατηρώ από μακριά.

Στη διεθνή βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος remote sensing, και ορισμένοι Έλληνες επιστήμονες έχουν μεταφράσει επακριβώς τον όρο σε τηλεανίχνευση, αλλά έχει επικρατήσει ο όρος τηλεπισκόπηση. Σύμφωνα με τον αρχικό ορισμό, η έννοια της τηλεπισκόπησης μπορεί να συμπεριλάβει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, τεχνικών ή και φυσιολογικών λειτουργιών, όπως για παράδειγμα την ανθρώπινη όραση. Στην πραγματικότητα, σήμερα με το όρο «τηλεπισκόπηση» εννοούμε «την επιστήμη και την τεχνολογία παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία»

Στην πράξη χρησιμοποιούμε τα επιτεύγματα της τηλεπισκόπησης τόσο στην καθημερινή μας ζωή όσο και σε πολύ εξειδικευμένα πεδία επιστημών. Το Κτηματολόγιο υλοποιείται με τις πληροφορίες που λαμβάνονται από αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, η καθημερινή πρόγνωση του καιρού γίνεται αξιοποιώντας δεδομένα από μετεωρολογικούς δορυφόρους, η παγκόσμια κλιματική αλλαγή τεκμηριώνεται με τη χρήση δορυφόρων που παρακολουθούν τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλανήτη, το βαρυτικό πεδίο της Γης χαρτογραφείται με εξειδικευμένα δορυφορικά ζεύγη κ.ά.

Η παρατήρηση της επιφάνειας της Γης είναι δυνατή με τη χρήση ψηφιακών σαρωτών (τηλεπισκοπικών ανιχνευτών) που ανιχνεύουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως

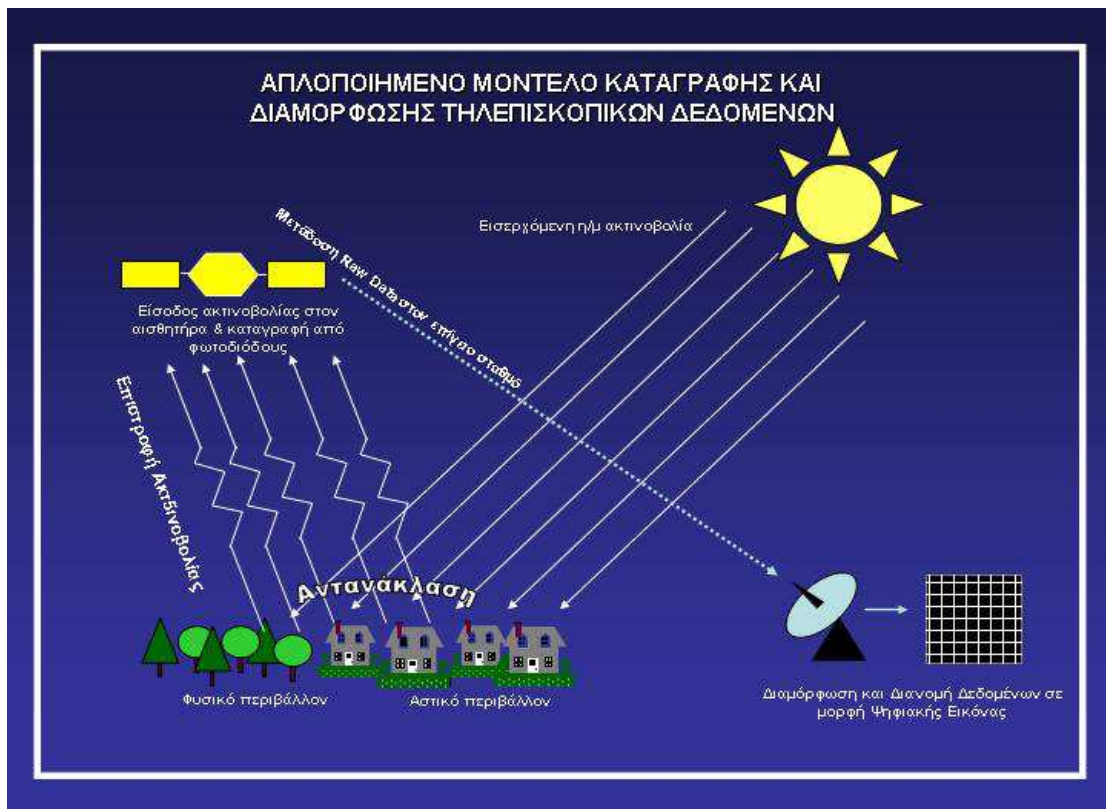
ψηφιακή εικόνα. Οι σαρωτές μπορεί να είναι εγκατεστημένοι σε τεχνητούς δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη ή να βρίσκονται σε αερομεταφερόμενα μέσα (αεροσκάφη, ελικόπτερα). Ένα διαστημικό όχημα μπορεί να μεταφέρει περισσότερους από ένα ανιχνευτές, έτσι πολλές φορές προκαλείται σύγχυση μεταξύ οχήματος και σαρωτή. Για παράδειγμα ο δορυφόρος Terra (εικόνα αριστερά) μεταφέρει, μεταξύ άλλων, τον ανιχνευτή ASTER και τον ανιχνευτή MODIS. Όταν αναφερόμαστε στα δεδομένα που μεταδίδονται στη γη, συνήθως τα διακρίνουμε βάση του ανιχνευτή, έτσι λοιπόν μιλάμε για δορυφορική εικόνα ASTER και όχι για δορυφορική εικόνα TERRA.

### 2.1.1 Αρχή λειτουργίας τηλεπισκοπικών ανιχνευτών

Για την παρατήρηση της γήινης επιφάνειας, οι ανιχνευτές μετρούν το ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντανακλάται από τα διάφορα υλικά. Κάθε αντικείμενο - επιφάνεια - υλικό που βρίσκεται επάνω στη Γη, έχει ένα μοναδικό τρόπο να αντανακλά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος.

Για παράδειγμα η χλωροφύλλη, που βρίσκεται στα πράσινα μέρη των φυτών, έχει την ιδιότητα να ανακλά σε μεγάλο βαθμό την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο πράσινο τμήμα του ορατού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και να την απορροφά στο μπλε και κόκκινο τμήμα. Η φασματική αυτή συμπεριφορά έχει ως αποτέλεσμα να αντιλαμβανόμαστε το πράσινο χρώμα των ζωντανών φυτών. Κατά παρόμοιο τρόπο όλα τα υλικά μπορούν να μελετηθούν, να εντοπισθούν και να απεικονισθούν χρησιμοποιώντας την αντανακλαστική τους συμπεριφορά. Εάν χρησιμοποιείται το ορατό τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για την αναπαράσταση, τότε έχουμε μια πραγματική έγχρωμη εικόνα, ισοδύναμη με αυτές που καταγράφουν οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές.

Στην τηλεπισκόπηση οι ανιχνευτές «κοιτούν» πολύ πέρα από το ορατό φάσμα. Υπάρχουν αισθητήρες που ανιχνεύουν ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο, στο μέσο υπέρυθρο, στο θερμικό υπέρυθρο, στα μικροκύματα, κ.λ.π., με αποτέλεσμα να λαμβάνουμε μια ποικιλία εικόνων. Έτσι το αποτέλεσμα ποικίλει ανάλογα με τη φασματική ζώνη που λειτουργεί ο αισθητήρας, ένας ανιχνευτής που λειτουργεί στο θερμικό υπέρυθρο θα δώσει μια θερμική εικόνα ενώ ένας ανιχνευτής που λειτουργεί στο ορατό φάσμα θα δώσει μια έγχρωμη εικόνα πραγματικού χρώματος (true color).



Εικόνα 2-1: Απλοποιημένο μοντέλο καταγραφής και διαμόρφωσης τηλεπισκοπικών δεδομένων

Σε μια απλή περιγραφή του τρόπου που λαμβάνονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορούμε να αναφέρουμε: Μία πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (π.χ. ο ήλιος) που εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις, φωτίζει την επιφάνεια της Γης αφού περάσει μέσα από την ατμόσφαιρα, γεγονός που περιορίζει το φασματικό εύρος της ακτινοβολίας που τελικά θα προσπέσει στην επιφάνεια. Ένα μέρος της ακτινοβολίας που τελικά φθάνει στη Γη ανακλάται, ένα άλλο διαχέεται στο περιβάλλον, ένα άλλο μεταδίδεται και ένα άλλο απορροφάται και αποδίδεται και πάλι στο περιβάλλον. Η ακτινοβολία που ανακλάται διέρχεται και πάλι μέσα από την ατμόσφαιρα με προορισμό το διάστημα. Σε πολύ μεγάλο ύψος (300 ως 800 χιλιόμετρα συνήθως) βρίσκονται σε τροχιά οι τεχνητοί δορυφόροι που είναι εξοπλισμένοι με τους ανιχνευτές. Η ακτινοβολία που ανακλάσθηκε προς το διάστημα, διέρχεται μέσα από πρισματικές διατάξεις που τη διαχωρίζουν σε φασματικές ζώνες προκαθορισμένου εύρους, έπειτα οδηγείται σε φωτοδιόδους-CCDs που μετατρέπουν την ακτινοβολία (=ενέργεια) σε ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα αυτό κβαντοποιείται σε μορφή δυαδικών αριθμών και μεταδίδεται προς τη Γη, στους

επίγειους σταθμούς (ground stations) όπου το επεξεργάζονται, διορθώνεται και λαμβάνει την τελική μορφή ψηφιακής εικόνας που διανέμεται στους τελικούς χρήστες. Ανάλογα με το χαρακτηριστικό που επιθυμούμε να μελετήσουμε, επιλέγεται ο φασματικός τύπος του ανιχνευτή, ώστε να ληφθεί η μέγιστη ποσότητα πληροφοριών.

Εάν κάποιος επιθυμεί να μελετήσει τα παράκτια θαλάσσια οικοσυστήματα θα πρέπει να εξετάσει εικόνες στο μπλε τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, καθώς σε αυτή τη φασματική περιοχή υπάρχει η δυνατότητα διείσδυσης της ακτινοβολίας στο νερό. Εάν όμως ζητούμενο είναι η χαρτογράφηση της ακτογραμμής, θα χρειαστεί το φασματικό τμήμα στο εγγύς υπέρυθρο, καθώς το νερό απορροφά πλήρως την H/M ακτινοβολία σε αυτό το τμήμα, ενώ το έδαφος (ακτή) θα εμφανίζει ανάκλαση με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μια σαφής διαφοροποίηση κατάλληλη για την αποτύπωση του ορίου ύδατος-ακτής.

### 2.1.2 Κατηγορίες δεκτών ανιχνευόμενης H/M ακτινοβολίας

Ανάλογα με την προέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία αντανακλάται και στη συνέχεια ανιχνεύεται, οι δέκτες - σαρωτές (ή αισθητήρες) μπορούν να διακριθούν σε παθητικούς και σε ενεργητικούς. Παθητικοί είναι εκείνοι που ανιχνεύουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από μία φυσική πηγή (συνήθως ο ήλιος), ενώ ενεργητικοί σαρωτές είναι εκείνοι που «φωτίζουν» (προσβάλλουν) οι ίδιοι τον στόχο χρησιμοποιώντας τη δική τους πηγή ακτινοβολίας, π.χ. εικονοληπτικά ραντάρ. Η τελευταία αυτή περίπτωση ονομάζεται «ραδιοεντοπισμός» ή «ραδιοανίχνευση». Άλλη διάκριση των ανιχνευτών μπορεί να γίνει ανάλογα με το πόσα κανάλια ανιχνεύουν και σε τι φασματικό εύρος. Ένας ανιχνευτής που καταγράφει σε μία φασματική ζώνη καλείται μονοφασματικός, και μπορεί να ανιχνεύει τη φασματική ανάκλαση σε ένα μικρό (στενό) τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ή σε μια ευρύτερη περιοχή. Μονοφασματικοί ανιχνευτές που καταγράφουν σε ολόκληρο το ορατό τμήμα και στο εγγύς υπέρυθρο (visible & near infrared) δίνουν δεδομένα (εικόνες) που καλούνται παγχρωματικά. Ανιχνευτές που καταγράφουν δεδομένα σε περισσότερες από μία φασματικές ζώνες ονομάζονται πολυφασματικοί (multispectral). Τέλος, ανιχνευτές που καταγράφουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε πολλές φασματικές ζώνες, στενού εύρους, συνήθως 10-20 νανομέτρων καλούνται υπερφασματικοί.

### 2.1.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά δεδομένων

Τα δεδομένα που μεταδίδονται από τους ανιχνευτές (αερομεταφερόμενοι ή σε τροχιά) μετατρέπονται σε διδιάστατους πίνακες  $n$  γραμμών και  $m$  στηλών, όπου η τιμή κάθε εικονοστοιχείου αντιπροσωπεύει την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Γενικά τα τηλεπισκοπικά δεδομένα δηλαδή οι ψηφιακές εικόνες χαρακτηρίζονται από τα τις παρακάτω ιδιότητες:

- **Χωρική ανάλυση:** Είναι η χωρική διακριτική ικανότητα της εικόνας, δηλαδή το μέγεθος του pixel σε πραγματικές διαστάσεις. Στην πράξη η χωρική ανάλυση καθορίζει τις ελάχιστες διαστάσεις των αντικειμένων ικανών να αποτυπωθούν στη ψηφιακή εικόνα. Υψηλής χωρικής ανάλυσης εικόνες, διαθέσιμες για πολιτική χρήση, έχουν μέγεθος pixel από 15μ έως και 0,6μ ενώ για την Ελλάδα δεν αναμένονται εικόνες από τεχνητούς δορυφόρους παρατήρησης της γης, με χωρική ανάλυση μικρότερη του 0,5μ έως το τέλος της δεκαετίας.
- **Φασματική ανάλυση:** Είναι το φασματικό εύρος κάθε φασματικού καναλιού. Εικόνες με μικρό φασματικό εύρος (π.χ. 10 νανόμετρα) είναι εικόνες υψηλής φασματικής ανάλυσης και προσφέρονται για λεπτομερή εξέταση και αναγνώριση των υλικών που αποτυπώνονται, χρησιμοποιώντας τεχνικές υπερφασματικής ανάλυσης.
- **Ραδιομετρική ανάλυση:** Είναι η φασματική διακριτική ικανότητα, δηλαδή το πόσο εύκολα ή δύσκολα μπορούν να διακριθούν υλικά γειτονικής φασματικής συμπεριφοράς σε μια εικόνα (π.χ. μπορεί ένα αντικείμενο γαλάζιας απόχρωσης να διακριθεί από ένα αντικείμενο μπλε απόχρωσης;)

### 2.1.4 Εφαρμογές τηλεπισκόπησης

Οι πληροφορίες που λαμβάνουμε από τηλεπισκοπικούς ανιχνευτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μια απλή απεικόνιση ενός τμήματος της επιφάνειας του πλανήτη έως τον υπολογισμό μεταβολής του αναγλύφου μετά από ένα σεισμικό γεγονός. Πολλοί επιστημονικοί τομείς αξιοποιούν τα δεδομένα αυτά για ειρηνικούς σκοπούς, ο καθένας σύμφωνα με τις ανάγκες του: μετεωρολόγοι για την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας και την πρόβλεψη του καιρού, χωροτάκτες για τον σχεδιασμό χρήσεων γης, βιολόγοι για τη μελέτη των οικοσυστημάτων και την εφαρμογή και δοκιμή μοντέλων, γεωπόνοι για την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση γεωργικών εκτάσεων, δασολόγοι για την



πρόγνωση και παρακολούθηση δασικών πυρκαγιών, ωκεανογράφοι για τη χαρτογράφηση των βιοφυσικών παραμέτρων των ωκεανών, γεωλόγοι για τον εντοπισμό κοιτασμάτων, τοπογράφοι για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους κ.ά..

### 2.1.5 Επεξεργασία & ανάλυση δεδομένων

**Προεπεξεργασία:** Η ορθή αξιοποίηση των τηλεπισκοπικών δεδομένων προϋποθέτει την κατάλληλη προεπεξεργασία τους, ώστε να απαλειφθεί μια σειρά σφαλμάτων, αλλοιώσεων και μεταβολών που εάν παραμείνουν θα υποβαθμίσουν την ποιότητα της τελικής πληροφορίας και θα οδηγήσουν αντίστοιχα σε εσφαλμένα ή αλλοιωμένα συμπεράσματα. Οι διορθώσεις που πρέπει να γίνουν αφορούν:

- **Γεωμετρικές διορθώσεις** που έχουν να κάνουν με την αναγωγή της καμπύλης γεωμετρίας της εικόνας σε επίπεδη γεωμετρία, απαλείφοντας τα σφάλματα που προέρχονται από την επιφάνεια του γήινου ελλειψοειδούς αλλά και της κίνησης γης και τεχνητού δορυφόρου. Επίσης γεωμετρικές διορθώσεις επιβάλλονται ώστε να διορθωθούν σφάλματα που οφείλονται στο έντονο ανάγλυφο μιας περιοχής, διαδικασία που είναι γνωστή ως ορθοδιόρθωση ή ορθοαναγωγή. Τέλος η εικόνα θα πρέπει να ανοιχθεί σε ένα σύστημα γεωγραφικών ή προβολικών συντεταγμένων, ώστε να μπορεί να συνδυασθεί με άλλα γεωγραφικά δεδομένα.
- **Ραδιομετρικές διορθώσεις**, που έχουν να κάνουν με την απαλοιφή σφαλμάτων που οφείλονται στην απορύθμιση των αισθητήρων του καταγραφέα και σε γενικά σε σφάλματα και αλλοιώσεις που προέρχονται από τα τεχνικά στοιχεία της διαδικασίας καταγραφής και μετάδοσης. Στις ατμοσφαιρικές διορθώσεις εντάσσονται και οι μέθοδοι που προσπαθούν να διορθώσουν ραδιομετρικά σφάλματα προερχόμενα από την επίδραση του αναγλύφου, όπως είναι η σκιά ενός ορεινού όγκου.
- **Ατμοσφαιρικές διορθώσεις**, που έχουν να κάνουν με την απαλοιφή σφαλμάτων που προέρχονται από την επίδραση των συστατικών της ατμόσφαιρας. Καθώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανακλάστηκε από την γήινη επιφάνεια επιστρέφει στο διάστημα, διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα, τα συστατικά της οποίας (νερό σε αέρια φάση & αερολύματα) αλλοιώνουν την ποσότητα της εισερχόμενης στον αισθητήρα ακτινοβολίας. Οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις διακρίνονται σε μεθόδους σταθερής τιμής και σε

μεθόδους μετάδοσης ακτινοβολίας. Η πρώτη ομάδα μεθόδων είναι σχετικά απλή και προσπαθεί να διορθώσει τα σφάλματα με την εφαρμογή μιας σταθερής τιμής (π.χ. διαίρεση με τον μέσο όρο της εικόνας) στις τιμές των pixels, ενώ η δεύτερη ομάδα μεθόδων συνδυάζει δεδομένα από την ίδια την εικόνα με κάποια προϋπολογισμένα μοντέλα ώστε να «ανακατασκευαστεί» η διάδοση της η/μ ακτινοβολίας σε δεδομένο χρόνο και τόπο. Ενδεικτικά αναφέρονται ως μετάδοσης ακτινοβολίας οι αλγόριθμοι MODTRAN.

**Ανάλυση:** Η ανάλυση των τηλεπισκοπικών δεδομένων μπορεί να διακριθεί σε τρεις γενικές κατηγορίες: ποσοτική ανάλυση, ποιοτική ανάλυση και οπτική ανάλυση (ή φωτοερμηνεία). Στην πρώτη περίπτωση ζητούμενο είναι η μέτρηση μιας ιδιότητας - μεταβλητής, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας, γνωστή ως Sea Surface Temperature (SST) .Στην περίπτωση της ποιοτικής ανάλυσης ζητούμενο είναι η αποτύπωση χαρακτηριστικών όπως οι χρήσεις γης ή ο εντοπισμός και αναγνώριση συγκεκριμένων υλικών. Τέλος όταν ο αναλυτής εικόνας ερμηνεύει τα δεδομένα με οπτικό τρόπο, δηλαδή μεταφράζει το μοτίβο, το χρώμα και το σχήμα της διάταξης των pixels ώστε να εξάγει πληροφορίες αναφερόμαστε σε οπτική ανάλυση. Κάθε κατηγορία απαιτεί διαφορετική αντιμετώπιση και διαφορετικές μεθόδους και εργαλεία ανάλυσης. Επίσης και σε κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες απαιτείται διαφορετική αντιμετώπιση ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων δεδομένων (χωρική ανάλυση, φασματικής ανάλυση και ραδιομετρική ανάλυση).

### 2.2 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΗΣ

Οι δορυφόροι παρατήρησης της Γης διαφέρουν ανάλογα με το είδος της τροχιάς που εκτελούν, το ωφέλιμο φορτίο που μεταφέρουν, αλλά και από την οπτική γωνία των οργάνων απεικόνισης, τη χωρική ανάλυση, τα φασματικά χαρακτηριστικά και το πλάτος λωρίδας σάρωσης των αισθητήρων. Όλες αυτές οι παράμετροι σχεδιάζονται στην αρχή του καθορισμού της αποστολής ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία στοχεύει η δορυφορική αποστολή. Για την παρακολούθηση του καιρού σε μεγάλες κλίμακες και υψηλή συχνότητα, ο δορυφόρος θα πρέπει να βρίσκεται σε γεωσταθερή τροχιά. Σε μια τέτοια τροχιά, ο δορυφόρος μπορεί να έχει συνεχώς στο οπτικό πεδίο του ένα σχεδόν ολόκληρο ημισφαίριο. Ωστόσο, επειδή η τροχιά είναι πολύ ψηλά (περίπου 36.000 χλμ. πάνω από τη Γη) είναι δύσκολη η διατήρηση μιας υψηλής χωρικής

ανάλυσης. Αλλά για εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση των νεφών επάνω από τις ηπείρους, η υψηλή χωρική ανάλυση δεν είναι απαραίτητη.

Για εφαρμογές που απαιτούν απεικόνιση υψηλής ευκρίνειας μιας πολύ συγκεκριμένης περιοχής, για παράδειγμα, την παρακολούθηση μιας λίμνης παγετώνων ή τη χαρτογράφηση κτιρίων που καταστράφηκαν από ένα σεισμό, απαιτείται αισθητήρας υψηλής ευκρίνειας. Σε γενικές γραμμές, αυτός ο αισθητήρας θα πρέπει να έχει στενή λωρίδα σάρωσης και να βρίσκεται σε ένα δορυφόρο σε χαμηλή γήινη τροχιά, που καλείται LEO (Low Earth Orbit) (για παράδειγμα, στην περίπτωση του δορυφόρου QuickBird, σε απόσταση 600 χλμ, πάνω από τη Γη). Σε μια τέτοια τροχιά δεν είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση της ίδιας περιοχής, εξαιτίας της σχετικής κίνησης του δορυφόρου σε σχέση με τη Γη. Είναι δυνατή η λήψη εικόνων μόνο επάνω από μια δεδομένη περιοχή όταν ο δορυφόρος περάσει επάνω από αυτή.

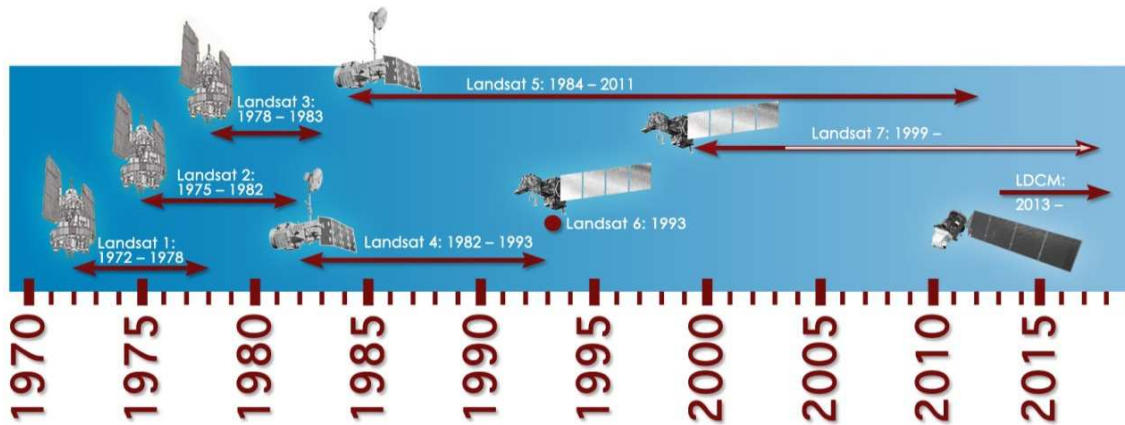
### 2.2.1 Δορυφόροι γεωσκόπησης

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στους δορυφόρους LandSat, Spot, στις δυνατότητες, και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.

#### LandSat

Οι τρεις πρώτοι εξοπλίστηκαν με πολυφασματικούς σαρωτές (MSS) χωρικής ανάλυσης 80 μέτρων και φασματικής ανάλυσης τεσσάρων καναλιών στο ορατό και το εγγύς υπέρυθρο εύρος φάσματος. Επιπλέον, οι Landsat 4 και 5 εξοπλίστηκαν και με έναν Θεματικό Χαρτογράφο (TM, Thematic Mapper), ο οποίος έχει 7 κανάλια ανάμεσα στα οποία συμπεριλαμβάνεται και μια θερμική υπέρυθρη ζώνη. Η χωρική ανάλυση αυτού του δορυφόρου είναι 30 μέτρα (πράγμα που σημαίνει ότι κάθε εικονοστοιχείο αντιπροσωπεύει ένα κομμάτι της επιφάνειας της γης διαστάσεων  $30 \times 30 \text{m}^2$ ). Οι αισθητήρες υψηλής ανάλυσης των Landsat είναι ό,τι καλύτερο διαθέτουμε για την ταξινόμηση περιοχών και έχουν συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη αυτού του γνωστικού πεδίου. Είναι εξοπλισμένοι με 3 κανάλια στην περιοχή του ορατού φάσματος (μπλε, πράσινο και κόκκινο) και άλλα 3 στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου όπου η ατμόσφαιρα είναι ημιδιαφανής.

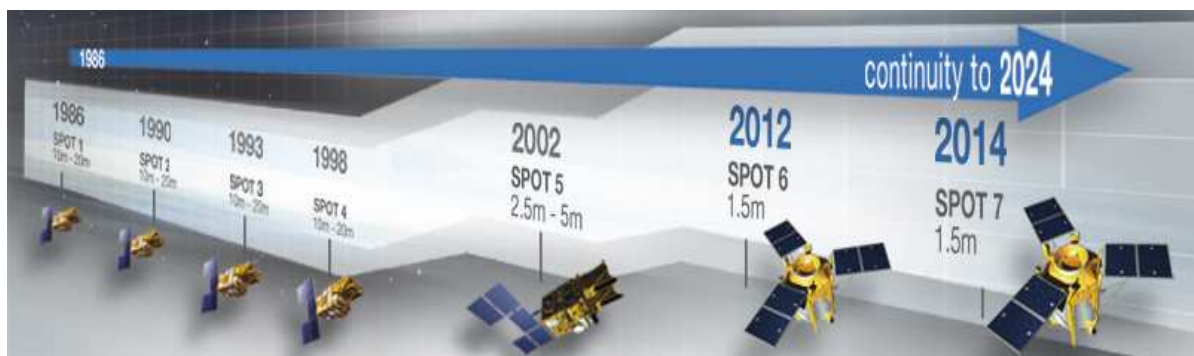
## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου



Εικόνα 2-2: Χρονολογικό γράφημα διάρκειας ζωής των δορυφόρων LandSat

### SPOT

Ο δορυφόρος SPOT είναι προϊόν του γαλλικού Systeme Probatoire d'Observation de la Terre. Ο SPOT εκτοξεύθηκε στις 21 Φεβρουαρίου του 1986 και έχει αισθητήρες σε 3 φασματικές ζώνες (πράσινη, κόκκινη και κοντινή υπέρυθρη) με ανάλυση 20 μέτρα. Επιπροσθέτως είναι εφοδιασμένος με έναν παγχρωματικό σαρωτή, ο οποίος σαρώνει σε μία ζώνη που περιλαμβάνει τη πράσινη και κόκκινη περιοχή του ορατού φωτός. Η χωρική ανάλυση αυτού του αισθητήρα είναι 10 μέτρα, μια ανάλυση που ήταν για χρόνια η υψηλότερη ανάλυση που είχε ποτέ ένας (μη στρατιωτικός) δορυφόρος.



Εικόνα 2-3: Έτη εκτόξευσης και χωρική ανάλυση δορυφόρων SPOT

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του SPOT είναι ότι μπορεί να προγραμματιστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να «βλέπει πλάγια» και έτσι να σαρώνει την ίδια λωρίδα δυο φορές, καθώς πραγματοποιεί δύο περάσματα πάνω από την ίδια περιοχή. Οι δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες της ίδιας περιοχής παράγουν ένα στερεοσκοπικό αποτέλεσμα που βοηθά στην κατασκευή υψομετρικών χαρτών.

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

---

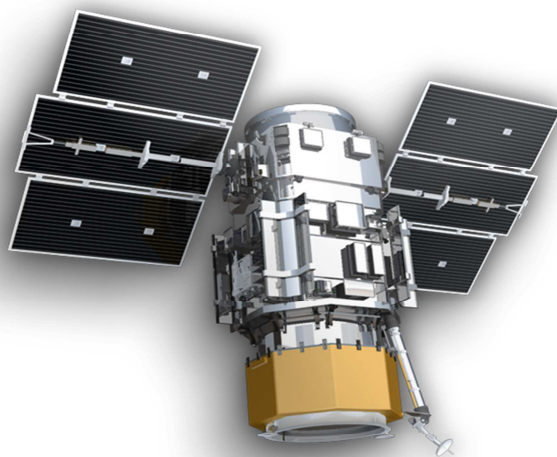
Ο SPOT έχει επίσης δύο κανάλια στην ορατή και ένα στην εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία, κι έτσι είναι ιδανικός για τη δημιουργία χαρτών βλάστησης σε μικρές περιοχές.

### 2.2.2 Εμπορικοί Οπτικοί Δορυφόροι Υψηλής Ανάλυσης

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στους δορυφόρους Quickbird, IKONOS, WorldView, στις δυνατότητες, και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.

#### Quickbird

Ο QuickBird είναι ένας εμπορικός δορυφόρος της εταιρίας DigitalGlobe. Εκτοξεύτηκε από την αεροπορική βάση Βάντενμπεργκ στην Καλιφόρνια στις 18 Οκτωβρίου 2001. Κατά το χρόνο της εκτόξευσής του, ήταν ο εμπορικός δορυφόρος με την υψηλότερη ευκρίνεια εικόνων σε λειτουργία. Τώρα υπάρχουν οπτικοί αισθητήρες δορυφόρων με ακόμη μεγαλύτερη χωρική ανάλυση, περιλαμβάνοντας τους δορυφόρους WorldView που τους χειρίζεται και αυτούς η DigitalGlobe.



*Εικόνα 2-4: Ο Δορυφόρος Quickbird-2 (Illustration)*

Γυρίζει γύρω από τη Γη σε ύψος 600km (περίπου 372 μίλια) και ο αισθητήρας του (μια κάμερα υψηλής ανάλυσης) συγκεντρώνει εικόνες από την επιφάνεια της γης μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το σύστημα συλλέγει 61 εκατοστά παγχρωματικών και 2,5 μέτρων πολυφασματικών στερεοσκοπικών δεδομένων. Είναι σχεδιασμένος να καλύπτει μεγάλες περιοχές με μεγάλη ακρίβεια.

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

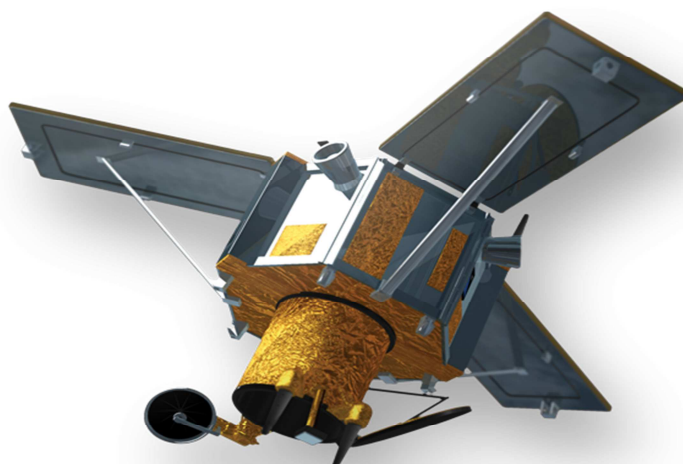
Ο Quickbird έχει τη δυνατότητα να συλλέξει πάνω από 75 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα απεικονιστικών δεδομένων το χρόνο (περίπου τρεις φορές το μέγεθος της Βόρειας Αμερικής). Τα δεδομένα χρησιμοποιούνται στη χαρτογράφηση, στο σχεδιασμό καλλιεργήσιμων και αστικών περιοχών, στην μελέτη του καιρού και τη στρατιωτική παρακολούθηση.

**Πίνακας 2-1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Quickbird**

Spectral resolution (μm)	Spatial resolution (m)	Scan-width (km)	Revisit period	Orbit	Operation periode
Panchromatic: 0,45 - 0,90	0.7	16.5	1 to 3.5 days	450 km, near polar, sun-synchronous	18/10/2001 -
channel 1: 0,45 - 0,52	2.8				
channel 2: 0,52 - 0,60					
channel 3: 0,63 - 0,69					
channel 4: 0,76 - 0,90					

### IKONOS

Ο δορυφόρος IKONOS εκτοξεύτηκε στις 24 Σεπτεμβρίου 1999 από την αεροπορική βάση Βάντενμπεργκ στην Καλιφόρνια. Οι παγχρωματικοί και πολυφασματικοί αισθητήρες πολύ υψηλής ευκρίνειας, λειτουργώντας μαζί, μπορούν να διακρίνουν αντικείμενα εντός μιας περιοχής του εδάφους μικρότερης από ένα τετραγωνικό μέτρο – δυνατότητα αρκετή, ώστε να γίνει διάκριση μεταξύ ενός αυτοκινήτου και ενός φορτηγού.



**Εικόνα 2-5: Ο Δορυφόρος IKONOS (Illustration)**

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

Η δυνατότητα αυτή, από τροχιά ύψους 680 χιλιομέτρων, αντιπροσωπεύει μια σημαντική αύξηση της ευκρίνειας εικόνων σε σχέση με όλα τα προηγούμενα εμπορικά συστήματα δορυφόρων με ασύρματους αισθητήρες. Τον δορυφόρο IKONOS χειρίζεται η εταιρία GeoEye, της οποίας ο στόλος δορυφόρων περιλαμβάνει και τις σειρές δορυφόρων OrbView και GeoEye.

Το οπτικό τηλεσκόπιο καταγράφει μία λωρίδα της επιφάνειας της γης πλάτους από 11 έως 13 km και την ανακλά στους ψηφιακούς αισθητήρες. Οι εικόνες του IKONOS είναι οι πιο λεπτομερείς δορυφορικές εικόνες για μη στρατιωτική χρήση. Ο IKONOS φέρει επίσης έναν πολυφασματικό αισθητήρα με ανάλυση 4m, ο οποίος διαθέτει 3 κανάλια στη περιοχή του ορατού φάσματος και ένα στο εγγύς υπέρυθρο (όπως και οι Landsat 4 και 5), επιτρέποντας έτσι λεπτομερείς χαρτογραφήσεις των χρήσεων γης.

**Πίνακας 2-2: Τεχνικά χαρακτηριστικά IKONOS**

Spectral resolution (μm)	Spatial resolution (m)	Scan-width (km)	Revisit period	Orbital altitude	Operation periode
Panchromatic: 0,45 - 0,90	1x1	13	~3 days	681 km, near polar, sun-synchronous	24/09/1999 -
channel 1: 0,45 - 0,50	4x4				
channel 2: 0,52 - 0,60					
channel 3: 0,63 - 0,69					
channel 4: 0,76 - 0,90					

### WorldView

Οι δορυφόροι WorldView-1 και 2 είναι εμπορικοί, οπτικοί δορυφόροι εικόνων πολύ υψηλής ευκρίνειας που ανήκουν στην εταιρία DigitalGlobe.

Ο δορυφόρος WorldView-1 εκτοξεύτηκε στις 18 Σεπτεμβρίου 2007 και ο δορυφόρος WorldView-2 εκτοξεύτηκε στις 8 Οκτωβρίου 2009. Και οι δύο δορυφόροι εκτοξεύτηκαν με πυραύλους Delta 7920 από την αεροπορική βάση Βάντενμπεργκ. Ο WorldView-1 αναμένεται να παραμείνει μέχρι το 2018, ενώ ο

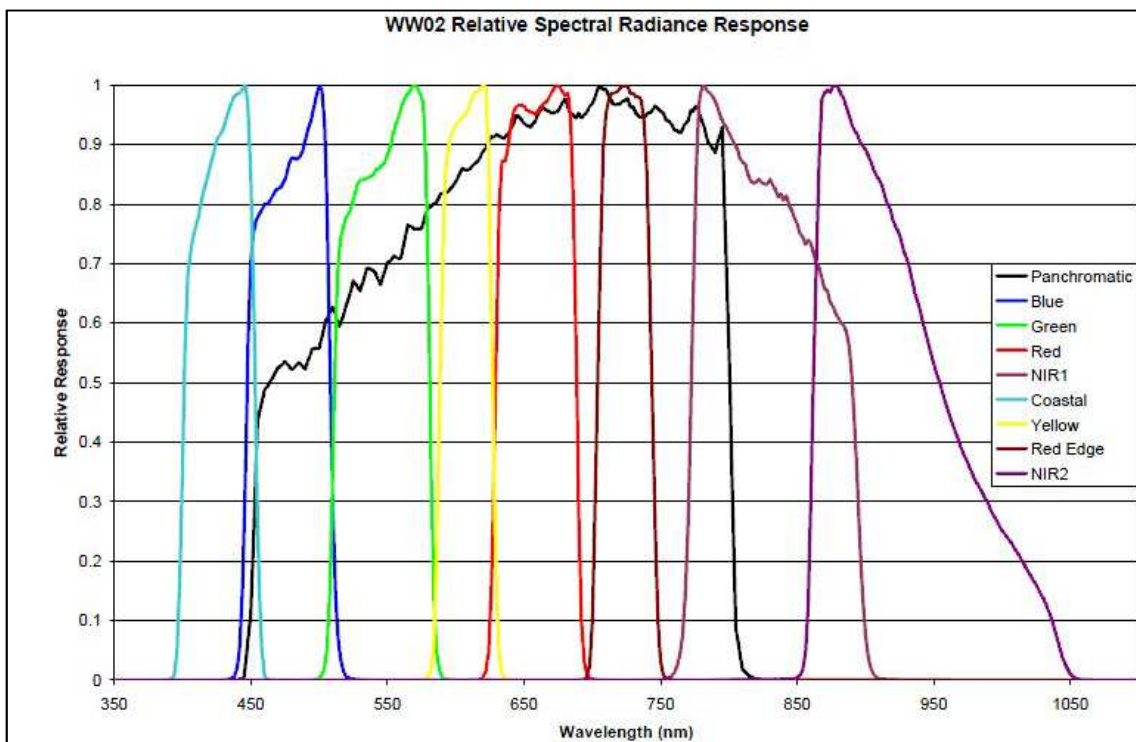
Ο αισθητήρας του WorldView-1 απεικονίζει σημεία στο έδαφος σε απόσταση δειγματοληψίας 0,50 μέτρων στο ναδίρ και 0,59 μέτρων σε γωνία 25 μοιρών εκτός ναδίρ κατά μήκος της τροχιάς ενεργοποιώντας τη στερεοσκοπική απεικόνιση. Το πλάτος λωρίδας σάρωσης του αισθητήρα είναι 17,6 χιλιόμετρα

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

στο ναδίρ. Ο αισθητήρας στο δορυφόρο WorldView-2 έχει χωρική δειγματοληψία 1,85 μέτρων και κάνει λήψη εικόνων σε 8 διαφορετικές ζώνες.

Οι κύριες εφαρμογές για τους δορυφόρους WorldView είναι η χαρτογράφηση πολύ υψηλής ευκρίνειας, η ανίχνευση αλλαγών και η δορυφόρος WorldView-2 έχει προγραμματιστεί να παραμείνει μέχρι το 2017.

Και οι δύο δορυφόροι εκτελούν τροχιά σύγχρονη ηλιακά και κατέρχονται πάνω από τον ισημερινό σε κάθε τροχιά στις 10:30 π.μ. Ο WorldView-1 εκτελεί τροχιά σε ύψος 496 χιλιομέτρων, έχει τροχιακή περίοδο 94,6 λεπτών με μέσο χρόνο επανεμφάνισης κάθε 1,7 ημέρες. Μεταφέρει έναν αισθητήρα παγχρωματικής απεικόνισης. Ο WorldView-2 εκτελεί τροχιά σε ύψος 770 χιλιομέτρων, έχει τροχιακή περίοδο 100 λεπτών και μεταφέρει αισθητήρα πολυφασματικής απεικόνισης.



Εικόνα 2-6: Τα 8 φασματικά κανάλια του δορυφόρου WorldView2



### 2.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΟΡΘΟΦΩΤΟΧΑΡΤΩΝ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε

Τον Μάιο του 2010 το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής προσέφερε δωρεάν πρόσβαση σε αεροφωτογραφίες όλης της χώρας, μέσω μιας ηλεκτρονικής υπηρεσίας της Κτηματολόγιο ΑΕ. Ήταν η πρώτη φορά που παρουσιαζόταν στο ευρύ κοινό μια τέτοιας έκτασης διαδικτυακή υπηρεσία, η οποία δίνει τη δυνατότητα περιήγησης σε χαρτογραφικό υλικό όλης της χώρας, προσβάσιμη από όλους τους πολίτες. Είναι δυνατή η θέαση θα μπορεί να φωτογραφιών, που είναι αποτέλεσμα λήψεων από αεροπλάνο ή δορυφόρο (ορθοφωτογραφίες), σε πολύ υψηλή ανάλυση, στον ιστότοπο <http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx>.

Οι ορθοφωτογραφίες αφορούν στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας, με εξαίρεση ορισμένες παραμεθόριες περιοχές, καθώς και ορισμένες διαβαθμισμένες εγκαταστάσεις, για τις οποίες ισχύουν περιορισμοί και απαγορεύσεις από τις αρμόδιες αρχές και υπηρεσίες της χώρας. Η χωρική ανάλυση των εικόνων είναι 20cm για τις αστικές περιοχές και 50cm για τις υπόλοιπες περιοχές της χώρας. Οι ορθοφωτογραφίες αυτές, οι οποίες προέκυψαν από φωτοληψίες της περιόδου 2007-2009 και αποτελούν το πλέον πρόσφατα ενημερωμένο χαρτογραφικό υλικό, με τη μεγαλύτερη δυνατή ανάλυση. Η προσπάθεια εντάσσεται σε ένα ευρύτερο έργο, το οποίο η Κτηματολόγιο ΑΕ υλοποίησε στο πλαίσιο του επιχειρησιακού προγράμματος «Κοινωνία της Πληροφορίας» του Γ΄ Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης. Παράλληλα, η υποδομή που δημιουργεί το έργο αυτό ήδη αξιοποιείται από τον ευρύτερο δημόσιο τομέα για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητάς του. Μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί και από τον ιδιωτικό τομέα για την υποστήριξη υπηρεσιών και την παραγωγή νέων προϊόντων.

Σε ό,τι αφορά στην παραγωγή και ελεύθερη διάθεση των ψηφιακών ορθοφωτοχαρτών για την κάλυψη του Τμήματος της Στερεάς Ελλάδας και της Νήσου Σαλαμίνας της Περιφέρειας Αττικής, οι ορθοφωτοχάρτες παρήχθησαν από έγχρωμες αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:15.000. Οι λήψεις πραγματοποιήθηκαν από τον ΟΚΧΕ, μεταξύ Ιουλίου και Σεπτεμβρίου του 2010, με τη χρήση αναλογικής κάμερας, σε συνεργασία με τη Γ.Υ.Σ. Οι ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες ανάλυσης 0,25μ., διατίθενται σε πινακίδες διανομής ΕΓΣΑ '87, κλίμακας 1:2.500. Η τελική σειρά συνόλων δεδομένων αποτελείται από 1152 πινακίδες και ολοκληρώθηκε το Δεκέμβριο του 2012. Τον Απρίλιο του 2012 διατέθηκαν οι πρώτες 558 πινακίδες, οι οποίες κάλυπταν το τμήμα της Ανατολικής Αττικής, τον Ιούνιο παρήχθησαν άλλες 394 πινακίδες της Δυτικής

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

Αττικής και της Ν. Σαλαμίνας και σήμερα είναι διαθέσιμες στο σύνολό τους δωρεάν.

Για την παραγωγή των ορθοφωτοχαρτών χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:15000 οι οποίες προήλθαν από αεροφωτογράφιση που πραγματοποιήθηκε ο ΟΚΧΕ σε συνεργασία με τη ΓΥΣ. Η αεροφωτογράφιση έγινε με αναλογική φωτομηχανή ZEISS RMK TOP 30, με φακό 300mm. Η περιοχή καλύπτεται από 1500 αεροφωτογραφίες και οι λήψεις πραγματοποιήθηκαν από τον Ιούλιο έως το Σεπτέμβριο του 2010.

Για τη σάρωση των αεροφωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε επίπεδος φωτογραμμετρικός σαρωτής LEICA DSW 700 που διαθέτει η ΓΥΣ. Οι αεροφωτογραφίες σαρώθηκαν στα 1700 dpi (1 pixel = 15μm).

Η μέτρηση των φωτοσταθερών σημείων πραγματοποιήθηκε από συνεργείο του ΟΚΧΕ με χρήση δεκτών GPS τύπου TRIMBLE R8 και του συστήματος HEPOS. Η επίλυση των φωτοσταθερών σημείων έγιναν στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (Ε.Γ.Σ.Α. '87). Η επίλυση του αεροτριγωνισμού, η παραγωγή του DTM και η παραγωγή των ορθοφωτοχαρτών, πραγματοποιήθηκε από τον ΟΚΧΕ με χρήση του λογισμικού INPHO.

Το DTM προήλθε από αυτοματοποιημένες μεθόδους που στηρίζονται στη συσχέτιση των ψηφιακών εικόνων (image matching) με μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος 5μ. Τα ψηφιακά αρχεία των ορθοεικόνων είναι τύπου JPEG 2000 που περιέχει τη γεωαναφορά, με μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος 0.25m. Τα ψηφιακά αρχεία αντιστοιχούν σε μεγέθη πινακίδων 2000 x 1500 μ. και ακολουθούν τη διανομή πινακίδων 1:2500 ΕΓΣΑ '87.

Για τον ποιοτικό έλεγχο του τελικού προϊόντος χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 156 σημεία ελέγχου, τα οποία διατέθηκαν από την Περιφέρεια Αττικής. Μετά από τον έλεγχο των σημείων και τον προσδιορισμό των σχετικών αποκλίσεων, προέκυψε ότι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του διατιθέμενου προϊόντος είναι της τάξης των 0,34μ. οριζοντιογραφικά και 0,52μ. υψομετρικά.

**Πίνακας 2-2: Στοιχεία ελέγχου ορθοφωτοχαρτών**

Έλεγχος γεωμετρικής ακρίβειας	Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (μέτρα)	Αριθμός σημείων ελέγχου
RMSE <sub>X</sub> (οριζοντιογραφικά κατά X)	0,25	90
RMSE <sub>Y</sub> (οριζοντιογραφικά κατά Y)	0,23	
RMSE <sub>XY</sub> (οριζοντιογραφικά κατά X, Y)	0,34	
RMSE <sub>Z</sub> (υψομετρικά κατά Z)	0,52	156

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

---

Οι ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες είναι ένα σύγχρονο χαρτογραφικό προϊόν που συνδυάζει την μετρητική ικανότητα που προσφέρει ένα τοπογραφικό διάγραμμα, με το πλήθος και την ποιότητα της πληροφορίας που δίνει μία αεροφωτογραφία. Αποτελούν ένα καινούργιο, σύγχρονο και αξιόπιστο υπόβαθρο, καθώς και ένα πολύ σημαντικό εργαλείο πολεοδομικών, χωροταξικών και χαρτογραφικών εργασιών, τόσο για τον Οργανισμό όσο και για άλλους τομείς της Δημόσιας Διοίκησης και τους μηχανικούς. Ιδιαίτερη είναι η συμβολή τους στο έργο των Δήμων, μειώνοντας με τη χρήση τους το κόστος των τεχνικών έργων και μελετών. Ο κάθε μηχανικός ή ενδιαφερόμενος πολίτης μπορεί να τους αποκτήσει δωρεάν και να τους επεξεργαστεί στον υπολογιστή του, για οποιαδήποτε χρήση, όπως σε οριοθετήσεις, σε ελέγχους ακρίβειας, ή ακόμα και για εντοπισμούς αυθαίρετων κατασκευών.

Η δωρεάν παροχή άμεσα μετρητικού προϊόντος προς όλους είναι ένα επιπλέον βήμα πέραν της απλής διάθεση των αεροφωτογραφιών που πραγματοποιεί σήμερα η Δ/ση Χορήγησης Αεροφωτογραφιών του Οργανισμού. Με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, τόσο σε επίπεδο παραγωγής τέτοιου τύπου προϊόντων, όσο και σε επίπεδο διάθεσης των ψηφιακών δεδομένων μέσω διαδικτυακών υπηρεσιών, είναι αναγκαίος ο εκσυγχρονισμός και η αυτοματοποίηση των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται στο Δημόσιο.

Για τον Οργανισμό το συγκεκριμένο έργο αποτέλεσε μια πολύ σημαντική πιλοτική εφαρμογή τόσο από πλευράς διαδικασιών όσο και από πλευράς ενεργοποίησης παραγωγικών μηχανισμών και τεχνογνωσίας. Το έργο υλοποιήθηκε αποκλειστικά εντός του Οργανισμού, με ίδια μέσα, πόρους και δυναμικό, το οποίο και αποτελεί την μοναδική παραγωγή ολοκληρωμένου χαρτογραφικού προϊόντος από δημόσια υπηρεσία σήμερα.

Το έργο πραγματοποιήθηκε αποκλειστικά από το δυναμικό του Οργανισμού, εκτελώντας όλες τις απαραίτητες εργασίες που αφορούν τόσο στο σχεδιασμό και τη μέτρηση των φωτοσταθερών, όσο και στην παραγωγή των ορθοφωτοχαρτών και τον ποιοτικό έλεγχο, απασχολώντας συνολικά 6 άτομα. Απαιτήθηκαν 9 μήνες εργασίας, ενώ υπολογίζεται ότι κόστισε στον Οργανισμό περίπου 55.000 ευρώ, συμπεριλαμβάνοντας τους μισθούς και τα έξοδα μετακίνησης των υπαλλήλων για την εκτέλεση των μετρήσεων.

Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να σημειωθεί, ότι τα νέα δεδομένα στον τομέα της τεχνολογίας, απαιτούν τον εκσυγχρονισμό όλων των μέσων που χρησιμοποιούνται. Η χρήση ψηφιακής κάμερας και συστήματος GPS/INS, σε

συνδυασμό με τους νέους ψηφιακούς φωτογραμμετρικούς σταθμούς, θα μπορούσε να διευρύνει τους τομείς δραστηριότητας και παραγωγής του Οργανισμού, μειώνοντας το κόστος και το χρόνο χρήσης και επεξεργασίας τους, παρέχοντας στους πολίτες νέα ψηφιακά δεδομένα για περισσότερες περιοχές, με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Υπολογίζεται ότι ο απαιτούμενος χρόνος και το αντίστοιχο κόστος παραγωγής τέτοιους είδους προϊόντων θα μπορούσε να μειωθεί κατά 35%, με τη χρήση των νέων συστημάτων λήψης.

### 2.3.1 Αρχείο του Ο.Κ.Χ.Ε

Το αρχείο της Διεύθυνσης Αεροφωτογραφίσεων του Οργανισμού Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος, περιέχει υλικό ασπρόμαυρων και έγχρωμων αεροφωτογραφιών, ο αριθμός των οποίων υπερβαίνει τις 400.000. Το υλικό αυτό μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως εξής:

#### **Ασπρόμαυρες Α/Φ:**

- 248.645 ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες διαφόρων κλιμάκων, οι οποίες προέρχονται από φωτοληψίες που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των ετών 1950 και 2003. Οι φωτοληψίες πραγματοποιήθηκαν με φωτομηχανές Zeiss και διατίθενται σε διαστάσεις (format) 23x23 εκ.
- 84.187 ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες διαφόρων κλιμάκων, οι οποίες προέρχονται από φωτοληψίες που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των ετών 1929 και 1982. Οι διαστάσεις των αεροφωτογραφιών είναι μικρότερες από 23x23 εκ., ενώ οι φωτοληψίες πραγματοποιήθηκαν με φωτομηχανές Wild. Πιο συγκεκριμένα, διατίθενται σε διαστάσεις 18x18 εκ. και 15x10 εκ.
- 11.000 περίπου ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες διαφόρων κλιμάκων, οι οποίες προέρχονται από φωτοληψίες που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των ετών 1951 και 1964. Διατίθενται σε διαστάσεις 23x23 εκ., 18x18 εκ. και 15x10 εκ. Οι φωτοληψίες πραγματοποιήθηκαν με φωτομηχανές Zeiss.
- 35.246 ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες διαφόρων κλιμάκων, οι οποίες προέρχονται από φωτοληψίες που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των ετών 1994 και 2000, υπό την επίβλεψη του Οργανισμού. Διατίθενται σε διαστάσεις 23x23 εκ. Οι φωτοληψίες πραγματοποιήθηκαν με φωτομηχανές Zeiss.
- 4.100 ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες διαφόρων κλιμάκων, οι οποίες προέρχονται από φωτοληψίες που πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 1955-1957 με χρήση φωτομηχανών Zeiss.

### Έγχρωμες Α/Φ:

- 17.341 έγχρωμες αεροφωτογραφίες διαφόρων κλιμάκων, οι οποίες προέρχονται από φωτοληψίες που πραγματοποιήθηκαν από το έτος 1994 έως το έτος 2004, υπό την επίβλεψη του Οργανισμού. Διατίθενται σε διαστάσεις 23x23 εκ. Οι φωτοληψίες πραγματοποιήθηκαν με φωτομηχανές Zeiss.
- 2.034 έγχρωμες αεροφωτογραφίες κλιμάκων 1:6000 και 1:15000, οι οποίες προέρχονται από φωτοληψίες που πραγματοποιήθηκαν το έτος 2010 από τον ΟΚΧΕ. Διατίθενται σε διαστάσεις 23 X 23 εκ.. Οι φωτοληψίες πραγματοποιήθηκαν με φωτομηχανές Zeiss.

Ενενήντα χιλιάδες (90.000) και πλέον από τις αεροφωτογραφίες του αρχείου έχουν ενταχθεί στο Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης και Διάχυσης Γεωγραφικών Πληροφοριών του Οργανισμού. Η διαδικασία ένταξης περιλάμβανε τη σάρωση, υδατογράφηση και τον προσανατολισμό των εικόνων στο χώρο μέσω φωτογραμμετρικής επεξεργασίας. Ο προσανατολισμός πραγματοποιήθηκε με ακρίβεια της τάξης μερικών δεκάδων μέτρων. Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι η δυνατότητα προεπισκόπησης τόσο των ιχνών των αεροφωτογραφιών όσο και των αεροφωτογραφιών καθαυτών, προσανατολισμένων στο χώρο.

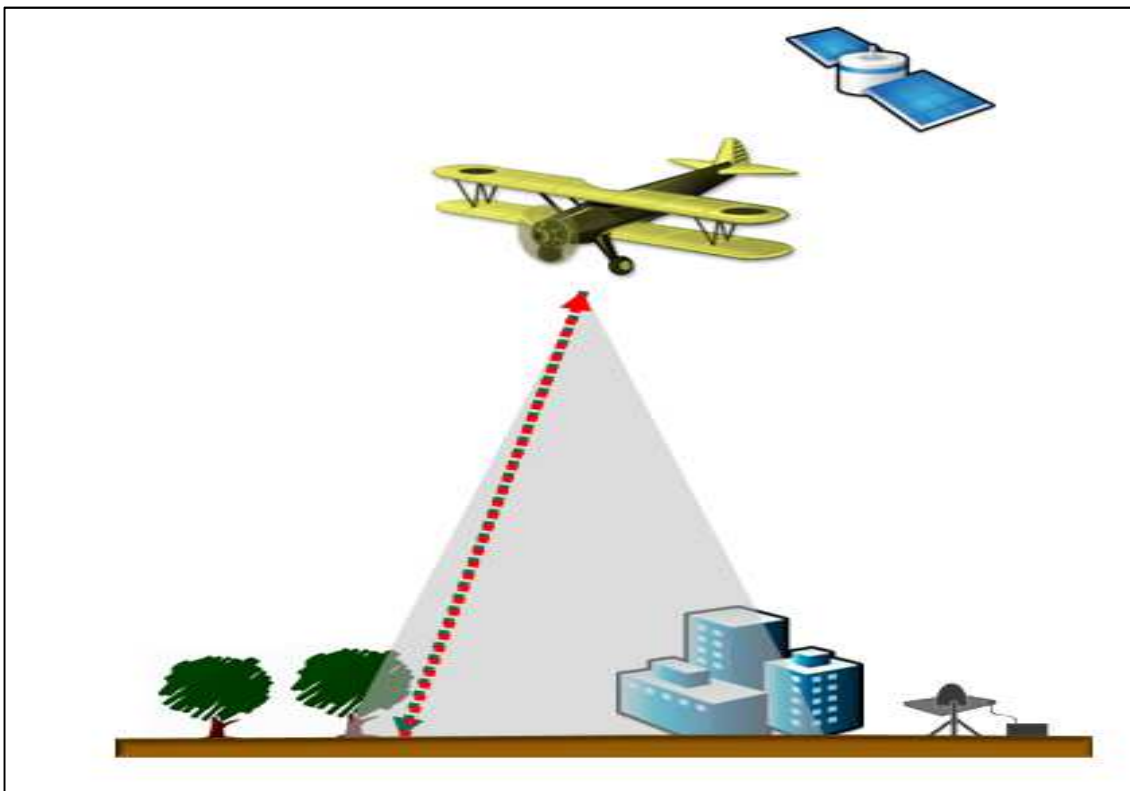


Εικόνα 2-7: Αεροφωτογραφία Σαντορίνης, περιοχή Ημεροβιγίου

### 2.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ LIDAR

#### 2.4.1 Τεχνολογία LIDAR

Η τεχνολογία LIDAR (Light Detection And Ranging) επιτρέπει τη συλλογή υψομετρικών δεδομένων μεγάλης πυκνότητας και ακρίβειας χρησιμοποιώντας τεχνικές σάρωσης με δέσμη laser. Μια εξαιρετικής ακρίβειας και αποτελεσματικότητας μέθοδος παραγωγής υψομετρικής πληροφορίας που επιτρέπει τη σάρωση του εδάφους αλλά και της βλάστησης κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες φωτισμού. Χρησιμοποιούμενο κυρίως σε αερομεταφερόμενες εφαρμογές χαρτογράφησης, αποτελεί ανερχόμενη οικονομικότερη εναλλακτική σε σχέση με παραδοσιακές τεχνικές όπως η φωτογραμμετρία.

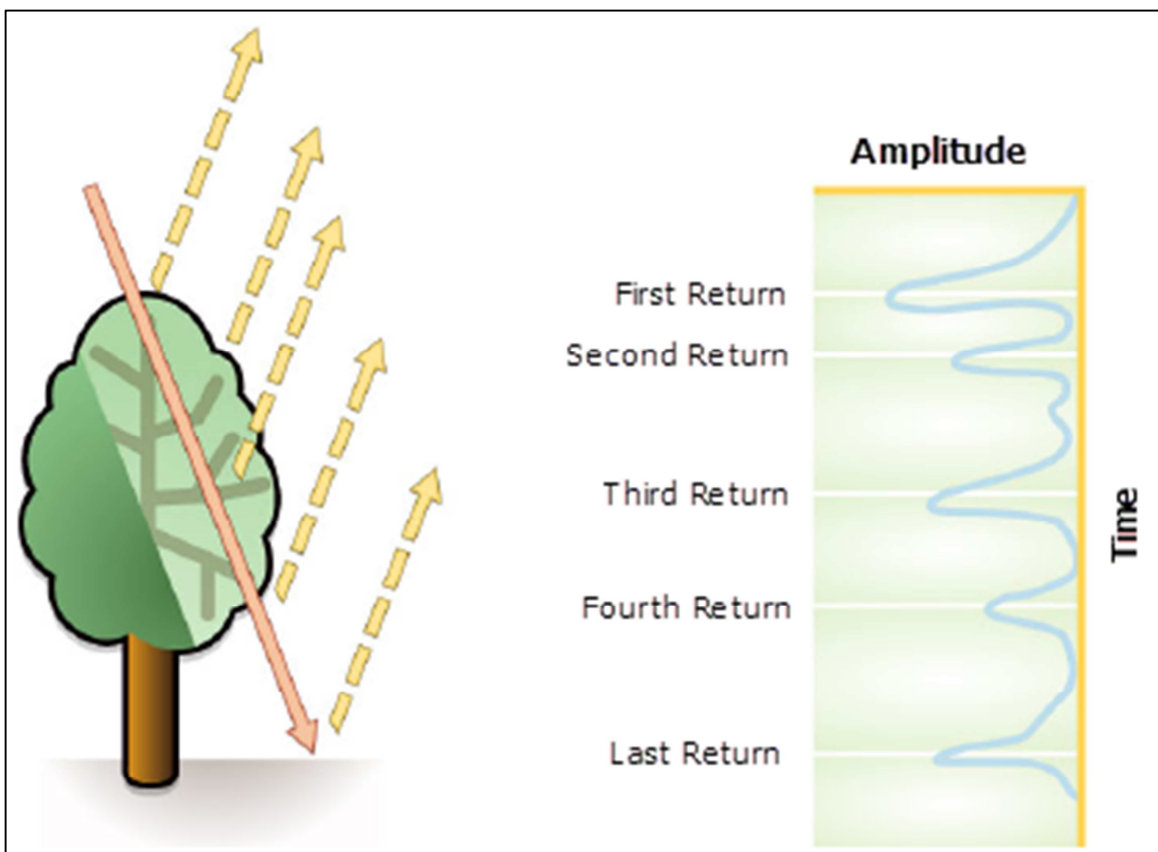


*Εικόνα 2-8: Αρχή λειτουργίας LIDAR*

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση του συστήματος LIDAR είναι τα Λείζερ, το Σύστημα Παγκόσμιου Εντοπισμού (Global Positioning System, GPS) και τα Αδρανειακά Συστήματα Πλοήγησης (Inertial Navigation Systems, INS). Συνδυασμένα, επιτρέπουν τον προσδιορισμό θέσης του ίχνους μιας ακτίνας λέιζερ όπως αυτή χτυπά ένα αντικείμενο, με έναν υψηλό βαθμό ακρίβειας (Mosaic Mapping Systems Inc, 2001).

### 2.4.2 Επιστροφές Lidar Laser

Οι παλμοί laser που εκπέμπονται από ένα σύστημα LIDAR, ανακλώνται από αντικείμενα που βρίσκονται τόσο στο επίπεδο του εδάφους όσο και ψηλότερα από αυτό: βλάστηση, κτήρια, γέφυρες και άλλα. Ένας εκπεμπόμενος παλμός laser μπορεί να επιστρέψει στον αισθητήρα LIDAR με μία ή και περισσότερες επιστροφές. Κάθε παλμός που εκπέμπεται και έρχεται σε επαφή με πολλαπλές ανακλαστικές επιφάνειες ταξιδεύοντας προς το έδαφος, χωρίζεται σε τόσες επιστροφές, όσες είναι και οι ανακλαστικές επιφάνειες. Ο πρώτος παλμός που επιστρέφει αποτελεί την σημαντικότερη επιστροφή και θα συσχετιστεί με το ψηλότερο χαρακτηριστικό του τοπίου, όπως η κορυφή ενός δέντρου ή οροφή ενός κτηρίου. Η πρώτη επιστροφή μπορεί επίσης να αντιπροσωπεύει το έδαφος, και στην περίπτωση αυτή θα αποτελεί και την μοναδική επιστροφή που ανιχνεύεται από το σύστημα LIDAR.



Εικόνα 2-9: Απεικόνιση επιστροφών παλμών laser

Οι πολλαπλές επιστροφές είναι σε θέση να αναγνωρίζουν τις υψομετρικές στάθμες διαφόρων αντικείμενων εντός ενός αποτυπώματος του εξερχόμενου παλμού laser. Οι ενδιάμεσες επιστροφές σε γενικές γραμμές χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύσουν τη δομή της βλάστησης και οι τελευταία επιστροφή για τα

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

μοντέλα εδάφους της γης. Η τελευταία επιστροφή πρόκειται πάντα για επιστροφή εδάφους. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που ένας παλμός χτυπάει ένα χοντρό κλαδί στο πηγαίνοντας προς το έδαφος, ο παλμός δεν φτάνει ποτέ στο έδαφος. Σε αυτή την περίπτωση, η τελευταία επιστροφή δεν είναι από το έδαφος αλλά από το κλαδί στο οποίο ανακλάστηκε εξολοκλήρου παλμός laser.

### 2.4.3 Παράμετροι λειτουργία του συστήματος LIDAR

Πρόσθετες πληροφορίες αποθηκεύονται μαζί με κάθε πληροφορία θέσης x, y και z. Τα ακόλουθα χαρακτηριστικά στοιχεία καταγράφονται για κάθε παλμό laser που καταγράφεται: ένταση, αριθμός επιστροφής, αριθμός επιστροφών, τιμές ταξινόμησης των σημείων, σημεία που βρίσκονται στην άκρη της γραμμής πτήσης, τιμές RGB, ώρα GPS, γωνία σάρωσης, διεύθυνση σάρωσης. Ο παρακάτω πίνακας περιγράφει τα χαρακτηριστικά που παρέχονται με κάθε σημείο LIDAR.

Πίνακας 2-3: Περιγραφή παραμέτρων λειτουργίας συστήματος LIDAR

Χαρακτηριστική Ιδιότητα	Περιγραφή
Ένταση	Εκφράζει πόσο ισχυρή είναι η επιστροφή ενός παλμού laser που δημιούργησε το σημείο lidar.
Αριθμός επιστροφής	Ένας εκπεμπόμενος παλμός laser μπορεί να έχει μέχρι και 5 επιστροφές ανάλογα με τις ιδιότητες του αντικειμένου από το οποίο ανακλάστηκε και τις δυνατότητες του laser scanner που χρησιμοποιήθηκε για να συλλέξει τα δεδομένα. Η πρώτη επιστροφή ορίζεται ως επιστροφή νούμερο 1 ,η δεύτερη επιστροφή ως επιστροφή νούμερο 2 και τα λοιπά.
Αριθμός επιστροφών	Ο αριθμός επιστροφών είναι ο συνολικός αριθμός των επιστροφών ενός δεδομένου παλμού. Για παράδειγμα, ένα σημείο δεδομένων laser μπορεί να είναι επιστροφή νούμερο 2 (αριθμός επιστροφής) με ένα συνολικό αριθμό επιστροφών ίσο με 5.



## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

<b>Ταξινόμηση σημείου</b>	Κάθε σημείο lidar που έχει υποστεί μετα-επεξεργασία μπορεί να ταξινομηθεί ανάλογα με τον τύπο του αντικείμενου που προκάλεσε ανάκλαση του παλμού. Τα σημεία lidar μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες, συμπεριλαμβανομένου του γυμνού εδάφους, την κορυφή των δέντρων, το νερό. Οι διαφορετικές κατηγορίες ορίζονται με τη χρήση ακέραιων αριθμητικών κωδικών στα αρχεία LAS ( δυαδικής μορφής αρχεία αποθήκευσης δεδομένων lidar)
<b>Άκρη της γραμμής πτήσης</b>	Τα σημεία συμβολίζονται με τιμές 0 ή 1. Στα σημεία που βρίσκονται στη γραμμή πτήσης δίνεται η τιμή 1, σε όλα τα υπόλοιπα σημεία η τιμή 0.
<b>RGB</b>	Τα δεδομένα lidar μπορούν να αποδοθούν με τα κανάλια RGB. Η απόδοση αυτή συχνά προκύπτει από εικόνες που συλλέγονται κατά την ίδια χρονική στιγμή με την αποτύπωση lidar.
<b>Χρόνος GPS</b>	Το χρονικό στιγμιότυπο GPS κατά το οποίο το σημείο laser εκπέμπεται από το αεροσκάφος.
<b>Γωνία σάρωσης</b>	Η γωνία σάρωσης παίρνει τιμές μεταξύ $-90^{\circ}$ και $90^{\circ}$ . Στις $0^{\circ}$ ο παλμός laser βρίσκεται ακριβώς κάτω από το αεροσκάφος, στο ναδίρ. Στις $-90^{\circ}$ , ο παλμός laser βρίσκεται αριστερά του αεροσκάφους, ενώ στις $+90^{\circ}$ ο παλμός laser βρίσκεται στην δεξιά μεριά του αεροσκάφους, κατά τη διεύθυνση της πτήσης. Η γωνία στα περισσότερα συστήματα lidar είναι μικρότερη από $\pm 30^{\circ}$
<b>Διεύθυνση σάρωσης</b>	Η διεύθυνση σάρωσης είναι η διεύθυνση κατά την οποία ταξίδευε το κάτοπτρο σάρωσης laser την ώρα του παλμού laser εξόδου. Η τιμή 1 δηλώνει θετική διεύθυνση σάρωσης και η τιμή 0 αρνητική. Η θετική τιμή υποδεικνύει ότι ο σαρωτής κινείται από την αριστερή πλευρά προς την δεξιά πλευρά της διεύθυνσης πτήσης σε τροχιά, και η αρνητική τιμή δηλώνει το αντίθετο.

### 2.4.4 Νέφος σημείων

Τα μετα-επεξεργασμένα χωρικά οργανωμένα δεδομένα lidar είναι γνωστά και ως νέφος σημείων. Τα αρχικά νέφη σημείων είναι μεγάλος αριθμός από τρισδιάστατα υψομετρικά σημεία, τα οποία περιλαμβάνουν x, y και z, μαζί με επιπλέον χαρακτηριστικά όπως η χρονική σήμανση GPS. Τα ειδικά

χαρακτηριστικά της επιφάνειας που συναντάει το laser ταξινομούνται αφού προηγηθεί η μετά-επεξεργασία του αρχικού νέφους σημείων lidar. Υψόμετρα εδάφους, κτήρια, κορυφές των δέντρων στα δάση, αυτοκινητόδρομοι και οτιδήποτε άλλο συναντάει η ακτίνα laser αποτελούν δεδομένα νέφους σημείων.

### 2.4.5 Είδη LIDAR

Ανάλογα με τον μηχανισμό αλληλεπίδρασης Ακτινοβολίας λέιζερ – ύλης έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα LIDAR:

- **LIDAR τύπου Raman:** Στηρίζεται στη συλλογή της επανασκεδαζόμενης μέσω μηχανισμού Raman ακτινοβολία, η οποία έχει μήκη κύματος διαφορετικά της εκπεμπόμενης δέσμης. Η μεταβολή αυτή χαρακτηρίζει το είδος των μορίων του στόχου και η έντασή της σχετίζεται με την συγκέντρωση.
- **LIDAR φθορισμού:** Στηρίζεται στη συλλογή της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον διεγερμένο φθορίζον στόχο της οποίας το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο αυτού της πηγής. Το φάσμα φθορισμού κάθε μορίου χαρακτηρίζει και την ταυτότητά του.
- **LIDAR απορρόφησης:** Στηρίζεται στη μέτρηση της εξασθένησης της έντασης της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας. Η εξασθένηση της δέσμης του λέιζερ κατά την διαδρομή της μέσα από τον στόχο εμπεριέχει πληροφορίες για την συγκέντρωσή του μορίου που την απορρόφησε στο συγκεκριμένο μήκος κύματος.
- **LIDAR τύπου Doppler:** Βασίζεται στο γνωστό φαινόμενο Doppler. Κατ' αυτό, όταν μια πηγή που εκπέμπει φως κινείται, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα που φθάνει στον παρατηρητή έχει διαφορετική συχνότητα (και άρα μήκος κύματος) από αυτό που εκπέμπεται. Το μήκος κύματος του φωτός που σκεδάζεται από ένα κινούμενο σώμα (ή μόριο) που πλησιάζει στον παρατηρητή μετατοπίζεται προς μικρότερα μήκη κύματος (κυανή περιοχή του φάσματος), ενώ όταν απομακρύνεται από τον παρατηρητή μετατοπίζεται προς μεγαλύτερα μήκη κύματος (ερυθρή περιοχή του φάσματος). Μετρώντας αυτή την μεταβολή μπορούμε να εξαγάγουμε συμπεράσματα για την διεύθυνση και το μέτρο της ταχύτητας των ρύπων. Η τεχνική αυτή είναι πολύ χρήσιμη για μετεωρολογικές εφαρμογές όπως η μέτρηση της διεύθυνσης και ταχύτητας του ανέμου.

- **LIDAR διπλής δέσμης:** αυτά διαθέτουν δυο δέσμες λέιζερ με μήκη κύματος που διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους. Εκπέμπονται διαδοχικά και διατρέχουν την ίδια διαδρομή στην ατμόσφαιρα. Η σκέδαση της ακτινοβολίας από κάποιο μόριο είναι παρόμοια και για τις δυο δέσμες αλλά ο συντελεστής απορρόφησης αλλάζει δραματικά στις δυο περιπτώσεις. Σύγκριση των επιστρεφόμενων σημάτων εμπεριέχει πληροφορίες για το είδος και την συγκέντρωση των μορίων. Αυτό το σύστημα LIDAR χρησιμοποιείται και για την μέτρηση της κατακόρυφης κατανομής όζοντος.

### 2.4.6 Εφαρμογές LIDAR

Όσον αφορά τους τομείς που βρίσκουν εφαρμογή τα συστημάτων LIDAR, αυτοί περιλαμβάνουν αλλά δεν περιορίζονται σε:

- Παραγωγή Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (Digital Elevation Models) με πυκνότητα μέχρι και είκοσι σημείων ανά m<sup>2</sup>.
- Χαρτογράφηση δασικών εκτάσεων, προσδιορισμός ύψους δένδρων, δασικά μητρώα.
- Παραγωγή Ψηφιακών Μοντέλων Πόλεων (Digital City Models) για ανάγκες μελετών τηλεπικοινωνιακών δικτύων και εφαρμογές G.I.S. Παραγωγή υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατων μοντέλων για προσομοίωση πλημμυρών, θορύβου και ρύπανσης σε αστικές περιοχές.
- Παραγωγή Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους στον κατασκευαστικό και μεταλλευτικό τομέα (οδικά και σιδηροδρομικά έργα, μεγάλα χωματουργικά έργα, επιφανειακά ορυχεία) για ογκομετρήσεις εκσκαφών & επιχωμάτων.
- Ταχεία χαρτογράφηση παράκτιων ζωνών, έλεγχος διάβρωσης ακτών και αποτύπωση μεταβολών.
- Χαρτογράφηση περιοχών που καλύπτονται από πλημμύρες - Προσομοίωση πλημμυρών με χρήση υψηλής ακρίβειας Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους.
- Χαρτογράφηση ηλεκτρικών γραμμών υψηλής τάσης με υψηλής ακρίβειας αποτύπωση αγωγών και πυλώνων. Απεικόνιση περιβάλλοντος χώρου (εδάφους και βλάστησης) για προσδιορισμό του ελεύθερου ύψους (clearance) των αγωγών από τη στέψη της βλάστησης.

### 2.5 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ECOGNITION

Οι κλασσικές μέθοδοι ανάλυσης εικόνων πραγματοποιούν ταξινόμηση με μεθόδους στατιστικής και αναγνώρισης προτύπων. Λόγω όμως της ετερογένειας των σύγχρονων δεδομένων υπάρχει δυσκολία στην απόδοση ικανοποιητικών αποτελεσμάτων ταξινόμησης. Μεταξύ των άλλων, δεν χρησιμοποιείται η πληροφορία των χωρικών σχέσεων μεταξύ των σημασιολογικών αντικειμένων της εικόνας και δεν λαμβάνεται υπόψη το σχήμα και η κλίμακα των αντικειμένων της εικόνας.

Η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας αποτελεί την πιο σύγχρονη προσέγγιση στο πρόβλημα της ταξινόμησης τηλεπισκοπικών δεδομένων. Στα πλαίσιά της ανάλυσης αυτής λαμβάνεται υπόψη η τηλεπισκοπική απεικόνιση σαν ένα σύνολο ομογενών περιοχών-αντικειμένων.

Η εικόνα αρχικά μετατρέπεται σε ένα σύνολο πρωτογενών αντικειμένων, εφαρμόζοντας πάνω της διαδικασίες κατάτμησης. Οι διαδικασίες αυτές είναι χαμηλού ή μέσου επιπέδου που δεν χρησιμοποιούν γνώση. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την κατάτμηση εικόνων, γενικά αποσκοπούν στο να παράγουν πρωτογενή αντικείμενα και όχι να οριοθετήσουν σημασιολογικά αντικείμενα. Τα πρωτογενή αντικείμενα στην πορεία, υπόκεινται διαδικασίες επεξεργασίας και ταξινόμησης από «έξυπνους» αλγορίθμους ή από συστήματα στηριγμένα στη γνώση. (Αργιαλάς-Τζώτσος, 2007)

#### 2.5.1 Εισαγωγή στο λογισμικό

Το λογισμικό αντικειμενοστραφούς ανάλυσης eCognition δημιουργήθηκε και διατίθεται από τη γερμανική εταιρία DEFiNiENS Imaging GmbH ([www.definiens.com](http://www.definiens.com)). Η καινοτόμος γενική ιδέα που εισήγαγε το συγκεκριμένο λογισμικό είναι ότι εννοιολογικές πληροφορίες, που είναι απαραίτητες στη φωτοερμηνεία μίας εικόνας, δεν αναπαρίστανται από μεμονωμένα εικονοστοιχεία, αλλά από σημαντικά εννοιολογικά αντικείμενα αυτής και τις μεταξύ αυτών σχέσεις (Definiens, 2000).

Το λογισμικό eCognition έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ξεπερνάει τους πολλαπλούς περιορισμούς και τις αδυναμίες των παραδοσιακών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή χαρακτηριστικών από τηλεπισκοπικές εικόνες πολύ μεγάλης διακριτικής ικανότητας. Παρά τις πολύχρονες έρευνες που βασίζονται σε μεθόδους ανάλυσης εικόνας με βάση τα μεμονωμένα εικονοστοιχεία, τέτοια συστήματα συχνά δεν είναι ικανά να αναγνωρίσουν

χαρακτηριστικά τα οποία είναι προφανή με μια απλή ανθρώπινη παρατήρηση. Αυτό συμβαίνει διότι η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιεί τη φασματική πληροφορία που αναπαρίσταται από τις ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων σε ένα ή περισσότερα φασματικά κανάλια και προσπαθεί να ταξινομήσει το κάθε εικονοστοιχείο βασισμένη μόνο στα φασματικά του χαρακτηριστικά. Αντίθετα, η προσέγγιση του λογισμικού eCognition βασίζεται σε μια απλή σκέψη. Σημαντική σημασιολογική πληροφορία που είναι απαραίτητη για να ερμηνευτεί μια εικόνα δεν μπορεί να αναπαρασταθεί σε μεμονωμένα εικονοστοιχεία, αλλά από νοηματικά αντικείμενα της εικόνας και τις αλληλοσυσχετίσεις τους.

Στο λογισμικό eCognition η ανάλυση εικόνας βασίζεται σε γειτονικές, ομογενείς περιοχές της εικόνας οι οποίες δημιουργούνται από μια αρχική κατάτμηση της εικόνας. Συνδέοντας όλες αυτές τις περιοχές το περιεχόμενο της εικόνας αναπαρίσταται από ένα δίκτυο αντικειμένων. Αυτά τα αντικείμενα δρουν ως δομικοί λίθοι για την επακόλουθη ανάλυση εικόνας και την ταξινόμηση. Σε σύγκριση με τα εικονοστοιχεία, τα αντικείμενα αυτά εμπεριέχουν πολύ πιο χρήσιμη πληροφορία. Για το λόγο αυτό μπορούν να χαρακτηριστούν από πολύ περισσότερες ιδιότητες απ' ό,τι απλά φασματικές ή παράγωγες φασματικών, όπως είναι το σχήμα τους, η υφή τους και οι γεινιότητες τους.

Προϋπόθεση είναι ο αρχικός προσδιορισμός των αντικειμένων με χρήση μεθόδων κατάτμησης (segmentation). Οι μέθοδοι κατάτμησης, οι οποίες στηρίζονται κυρίως σε φασματικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά, αποκαλούνται προσεγγίσεις χαμηλού επιπέδου κατάτμησης και έχουν ως αποτέλεσμα πρωτογενή αντικείμενα τα οποία τις περισσότερες φορές δεν αντιστοιχούν σε πραγματικά αντικείμενα-θεματικές κατηγορίες. Ας σημειωθεί ότι το πρόγραμμα eCognition παρέχει τη δυνατότητα κατάτμησης της απεικόνισης σε πολλαπλά επίπεδα χωρικής ανάλυσης (multiresolution segmentation)

Οι μέθοδοι κατάτμησης, οι οποίες στηρίζονται στην ταξινόμηση των πρωτογενών αντικειμένων με βάση χαρακτηριστικά φασματικά, γεωμετρικά, υφής καθώς και χαρακτηριστικά προτύπου, θέσης αντικειμένου στο χώρο και συσχέτισης του με άλλα αντικείμενα και γειτονικές κατηγορίες, έχουν ως αποτέλεσμα ενδιάμεσα αντικείμενα τα οποία τις περισσότερες φορές αντιστοιχούν σε πραγματικά αντικείμενα-θεματικές κατηγορίες.

Η γενική ιδέα της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας (Object-Oriented Image Analysis) είναι ότι στην ανάλυση εικόνας η σημαντική πληροφορία για την προσέγγιση της φωτοερμηνείας δεν βρίσκεται στο επίπεδο των εικονοστοιχείων

αλλά στο επίπεδο σημασιολογικών αντικειμένων της εικόνας και στις μεταξύ τους σχέσεις. Με βάση αυτή την ιδέα, το λογισμικό eCognition δεν ταξινομεί τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας, αλλά τα πρωτογενή αντικείμενα που παράγονται κατά την κατάτμησης της.

Για την κατάτμηση των εικόνων χρησιμοποιείται ένας νέος αλγόριθμος που έχει τη δυνατότητα να παράγει ομοιογενή αντικείμενα σε διαφορετικές κλίμακες (Multiresolution Segmentation). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη αλλάζοντας ορισμένες παραμέτρους να παρεμβαίνει στο μέγεθος των πρωτογενών αντικειμένων. Αυτό συνεπάγεται την ταυτόχρονη αναπαράσταση των πληροφοριών της εικόνας για διαφορετικές κλίμακες.

Μετά την παραγωγή των αρχικών πρωτογενών αντικειμένων, το eCognition προσφέρει ένα σύνολο εργαλείων για την αξιοποίηση των διαφόρων χαρακτηριστικών αυτών των αντικειμένων (όπως είναι η φωτεινότητα, οι μέσες τιμές διαφόρων καναλιών, η υφή, το σχήμα, η γειτνίαση με άλλα αντικείμενα κ.α.). Οι παράμετροι που καθορίζονται για την κατάτμηση των εικόνων είναι το βάρος με το οποίο θα συμμετέχει κάθε κανάλι, τα βάρη που θα δοθούν στα κριτήρια κατάτμησης (φασματικό και σχήματος) και η παράμετρος κλίμακας. Δεδομένου ότι όλα τα διαθέσιμα κανάλια είχαν την ίδια χωρική και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα, τα βάρη που ανατέθηκαν στα κανάλια ήταν ίδια και ίσα με τη μονάδα (Hofmann, 2001 , Baatz and Schape, 2001).

### 2.5.2 Αλγόριθμος πολλαπλής κατάτμησης εικόνας

Με γνώμονα την εξαγωγή ομογενών αντικειμένων βάσει των τιμών των διάφορων χαρακτηριστικών σε επίπεδο εικονοστοιχείου αλλά και βάσει του σχήματός τους σε οποιαδήποτε επίπεδο ανάλυσης αναπτύχθηκε η κατάτμηση πολλών επιπέδων. Είναι μία διαδικασία συνένωσης των εικονοστοιχείων. Ξεκινά με αντικείμενα που αποτελούνται από ένα εικονοστοιχείο τα οποία στη συνέχεια συνενώνονται με επαναλήψεις δημιουργώντας μεγαλύτερες οντότητες με βάση την ανώτερη τιμή ετερογένειας που έχει εισάγει ο χρήστης με την παράμετρο κλίμακας (scale parameter).

Στην κάθε επανάληψη κάθε αντικείμενο συμμετέχει μία φορά και οι επαναλήψεις συνεχίζονται έως ότου να μην μπορεί να γίνει περεταίρω συνένωση. Συνεπώς μεγαλύτερες τιμές κλίμακας (scale parameter) έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ανοχή στην ετερογένεια άρα μεγαλύτερα αντικείμενα και αντίστροφα. Ένας γενικός κανόνας για την επιλογή της καταλληλότερης κατάτμησης είναι ότι

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

---

επιδιώκονται τα μεγαλύτερα δυνατά αντικείμενα, τα οποία ωστόσο αποδίδουν όλες τις λεπτομέρειες που επιβάλλεται να αποδοθούν στον τελικό χάρτη της ταξινόμησης. Προκειμένου η διαδικασία της κατάτμησης να θεωρηθεί επιτυχής, διατυπώθηκαν στις αρχές της ανάπτυξης της πολλαπλής κατάτμησης (Baatz and Schape, 2000) οι παρακάτω απαιτήσεις:

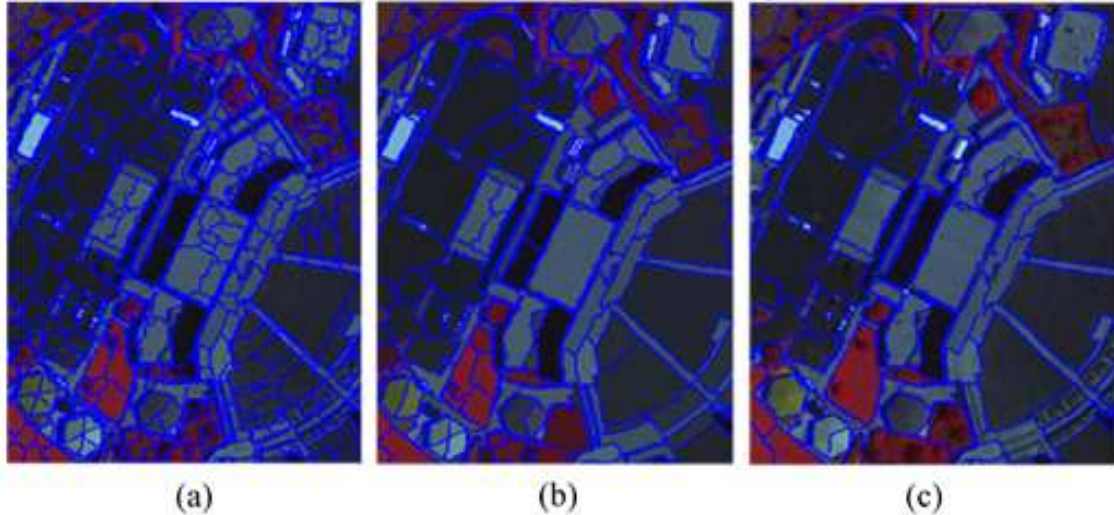
- Η διαδικασία κατάτμησης θα πρέπει να παράγει κατά το δυνατόν μεγάλης ομοιογένειας αντικείμενα, για την καλύτερη αναπαράσταση των περιοχών της εικόνας.
- Το μέσο μέγεθος των αντικειμένων της εικόνας να προσαρμόζεται στη κλίμακα που απαιτείται από κάθε εφαρμογή, εφόσον το πρόβλημα κάθε ανάλυσης εικόνας ασχολείται με δομές συγκεκριμένης χωρικής ανάλυσης και βασίζεται σε συγκεκριμένου μεγέθους δεδομένα.
- Σχεδόν όλες οι ιδιότητες των αντικειμένων της εικόνας εξαρτώνται από την παράμετρο της κλίμακας. Μόνο οι δομές σε παρόμοιες κλίμακες είναι συγκρίσιμα ποιοτικά και ως προς τις ιδιότητές τους, για αυτό τα προκύπτοντα από τη διαδικασία κατάτμησης αντικείμενα θα πρέπει να είναι παρόμοιου σχετικά μεγέθους.
- Η διαδικασία της κατάτμησης πρέπει να είναι παγκόσμια και εφαρμόσιμη σε πλήθος προβλημάτων.
- Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης θα πρέπει να μπορούν να αναπαραχθούν αξιόπιστα.
- Η κατάτμηση να ακολουθεί μια λογική αναλογία ακρίβειας αποτελέσματος-χρόνου επεξεργασίας, ακόμη και σε εικόνες μεγάλου μεγέθους

Για την διεκπεραίωση της διαδικασίας κατάτμησης κάποιες σημαντικές αποφάσεις θα πρέπει να παρθούν, σχετικά με τον αριθμό των επιπέδων κατάτμησης αλλά και με τις περισσότερο κατάλληλες παραμέτρους που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον καθορισμό των επιπέδων αυτών (Mallinis, 2006). Οι παράμετροι που καθορίζονται για την κατάτμηση των εικόνων είναι το βάρος με το οποίο το κάθε κανάλι θα συμμετέχει, τα βάρη που θα δοθούν στα κριτήρια κατάτμησης, δηλαδή το φασματικό κριτήριο και το κριτήριο σχήματος και τέλος η παράμετρος κλίμακας. Αυτές μπορούν να τροποποιηθούν από επίπεδο σε επίπεδο ή ανάλογα με την εφαρμογή και τον προς επίτευξη κάθε φορά στόχο.

- **Παράμετρος κλίμακας:** (scale parameter) Είναι όρος που ρυθμίζει το επιθυμητό μέγεθος και την μέγιστη επιτρεπόμενη ετερογένεια των παραγόμενων αντικειμένων (segments). Το μέγεθος των τεμαχίων έχει εύρος τιμών από ολόκληρη την εικόνα έως το μεμονωμένο εικονοστοιχείο. Τα όρια του κάθε τεμαχίου που δημιουργείται από κάθε επίπεδο κατάτμησης, και αναπαρίστανται από διανυσματικά πολύγωνα δεν πρέπει να έρχονται σε σύγκρουση με τα όρια προϋπαρχόντων πολυγώνων ανώτερου επιπέδου κατάτμησης. Ήτοι, πολύγωνα που δημιουργούνται από μικρότερο επίπεδο, και συνεπώς μικρότερο συντελεστή κλίμακας, αποτελούν τμήματα των πολυγώνων μεγαλύτερου επιπέδου. Για να αποφευχθεί οποιαδήποτε παραβίαση του κανόνα αυτού δημιουργούνται επίπεδα κατάτμησης με σειρά είτε από το επίπεδο με τον μεγαλύτερο συντελεστή κλίμακας σε αυτό με τον μικρότερο (top-down), είτε από το επίπεδο με τον μικρότερο συντελεστή κλίμακας σε αυτό με τον μεγαλύτερο (bottom-up). Η από πάνω προς τα κάτω(top-down)κατάτμηση οδηγεί σε διάσπαση των περιοχών που δεν πληρούν τα κριτήρια κατάτμησης, ενώ η από κάτω προς τα πάνω(bottom-up) διαιρεί ολόκληρη την εικόνα συγχωνεύοντας εικονοστοιχεία που βάσει των τιθέμενων κριτηρίων εμφανίζουν υψηλό βαθμό καταλληλότητας για συγχώνευση και συγκροτούν ενότητα.
- **Παράμετρος χρώματος:** (color criterion). Η παράμετρος αυτή ρυθμίζει τη βαρύτητα που θα δοθεί, κατά την κατάτμηση, στα φασματικά χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων που απαρτίζουν το παραγόμενο αντικείμενο. Το φασματικό κριτήριο δεν μπορεί να έχει τιμή μικρότερη από 0.1, εξαιτίας του προφανούς γεγονότος ότι χωρίς φασματικές πληροφορίες εικόνας, τα αντικείμενα που θα προκύψουν επίσης δεν θα έχουν φασματικές πληροφορίες.
- **Παράμετρος σχήματος:** (shape criterion) Ρυθμίζει, κατά την ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων τα οποία θα συγκροτήσουν ένα αντικείμενο, τη βαρύτητα που θα δίνεται κατά την κατάτμηση στο τελικό σχήμα του αντικειμένου των εικονοστοιχείων που απαρτίζουν το παραγόμενο αντικείμενο. Στην περίπτωση που δίνεται έμφαση στο σχήμα του εκάστοτε παραγόμενου αντικειμένου, δίνεται η επιλογή μεταξύ ομαλότερων ορίων στα αντικείμενα μέσω της παραμέτρου smoothness και κανονικότητας σχημάτων μέσω της παραμέτρου compactness που αποτελούν συμπληρωματικές παραμέτρους.



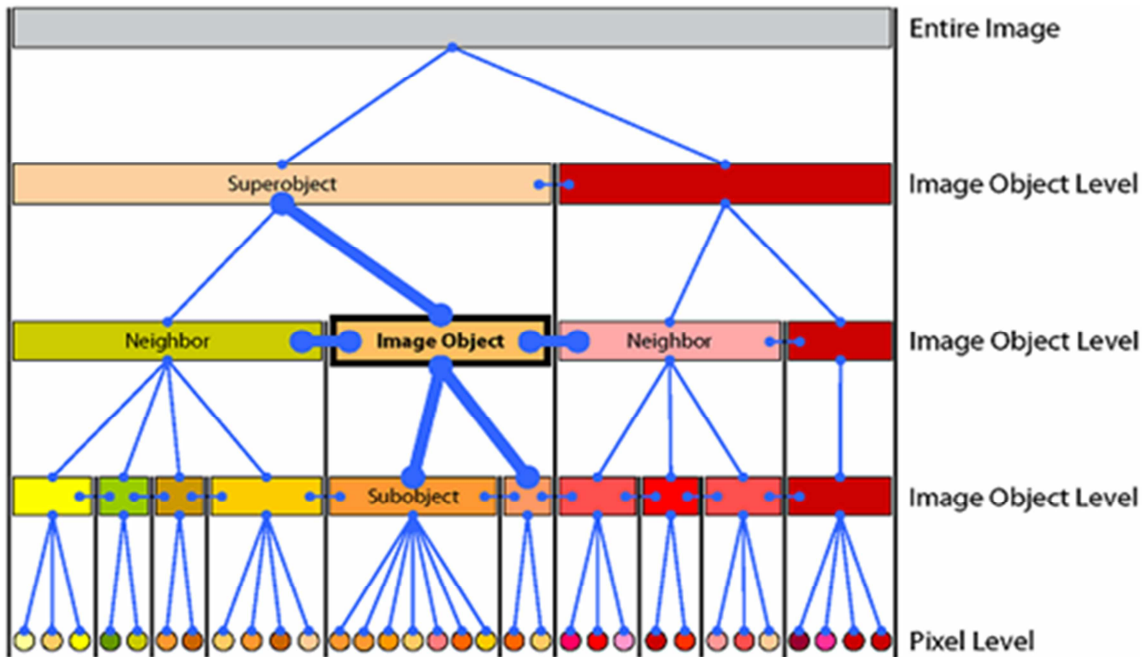
Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι ο βαθμός συμμετοχής της φασματικής πληροφορίας του κάθε καναλιού της προς μελέτη εικόνας προσδιορίζεται από το βάρος που θα του ανατεθεί ενώ υπάρχει και δυνατότητα αποκλεισμού καναλιών με ανάθεση μηδενικού βάρους.



Εικόνα 2-10: Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης με παραμέτρους κλίμακας 25 (a), 50 (b), 75 (c)

### 2.5.3 Ιεραρχικό δίκτυο αντικειμένων

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



Εικόνα 2-11: Το ιεραρχικό δίκτυο των αντικειμένων της εικόνας αναπτυγμένο από το κατώτερο επίπεδο στα ανώτερα

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

Εκτός από την νέα αυτή μέθοδο κατάτμησης, το λογιστικό eCognition, προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας ιεραρχίας πολλαπλών επιπέδων από ομοιογενή ως προς το τόνο αντικείμενα της εικόνας, τα οποία κάθε στιγμή γνωρίζουν τόσο τους γείτονες τους στο ίδιο επίπεδο, αλλά και τα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω ή κάτω από αυτά. Ταυτόχρονα γίνεται υπολογισμός

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

---

στατιστικών παραμέτρων που αφορούν στις τιμές χρώματος των αντικειμένων (μέσες τιμές τόνου, τυπικές αποκλίσεις, υφή κ.α.), αλλά και ιδιοτήτων που αφορούν στο σχήμα των αντικειμένων (προσανατολισμός, μήκος, πλάτος, επιμήκυνση, καμπυλότητα, συμπαγότητα κ.α.). Μέσω αυτών των στατιστικών μεγεθών, της ιεραρχίας κλάσεων που ορίζει ο χρήστης με βάση, τόσο τις εννοιολογικές όσο και τις φασματικές δομές που χρειάζεται να ταξινομήσει, αλλά και των χωρικών– φασματικών σχέσεων των κλάσεων μεταξύ τους, πραγματοποιείται η ταξινόμηση των αντικειμένων.

Η ταξινόμηση στο eCognition πραγματοποιείται με ασαφή λογική. Η ασαφής λογική καθορίζει όχι μόνο την τιμή συμμετοχής ενός αντικειμένου σε μια κατηγορία αλλά και την τιμή συμμετοχής του αντικειμένου για όλες τις διαθέσιμες κατηγορίες. Η αναπαράσταση των κατηγοριών γίνεται είτε με μια ασαφή εκδοχή του αλγορίθμου του Εγγύτερου Γείτονα (Nearest Neighbour) είτε με ένα σύνολο ασαφών προσδιορισμών των ιδιοτήτων των αντικειμένων, που εκφράζονται από τις συναρτήσεις συμμετοχής. Η τιμή συμμετοχής υπολογίζεται κάθε φορά από τον αντίστοιχο ταξινομητή που χρησιμοποιείται. Οι ταξινομητές μπορούν να συνυπάρχουν κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης μέσω τελεστών της ασαφούς λογικής όπως οι AND, OR, MEAN κ.α. (eCognition User Guide 2001).

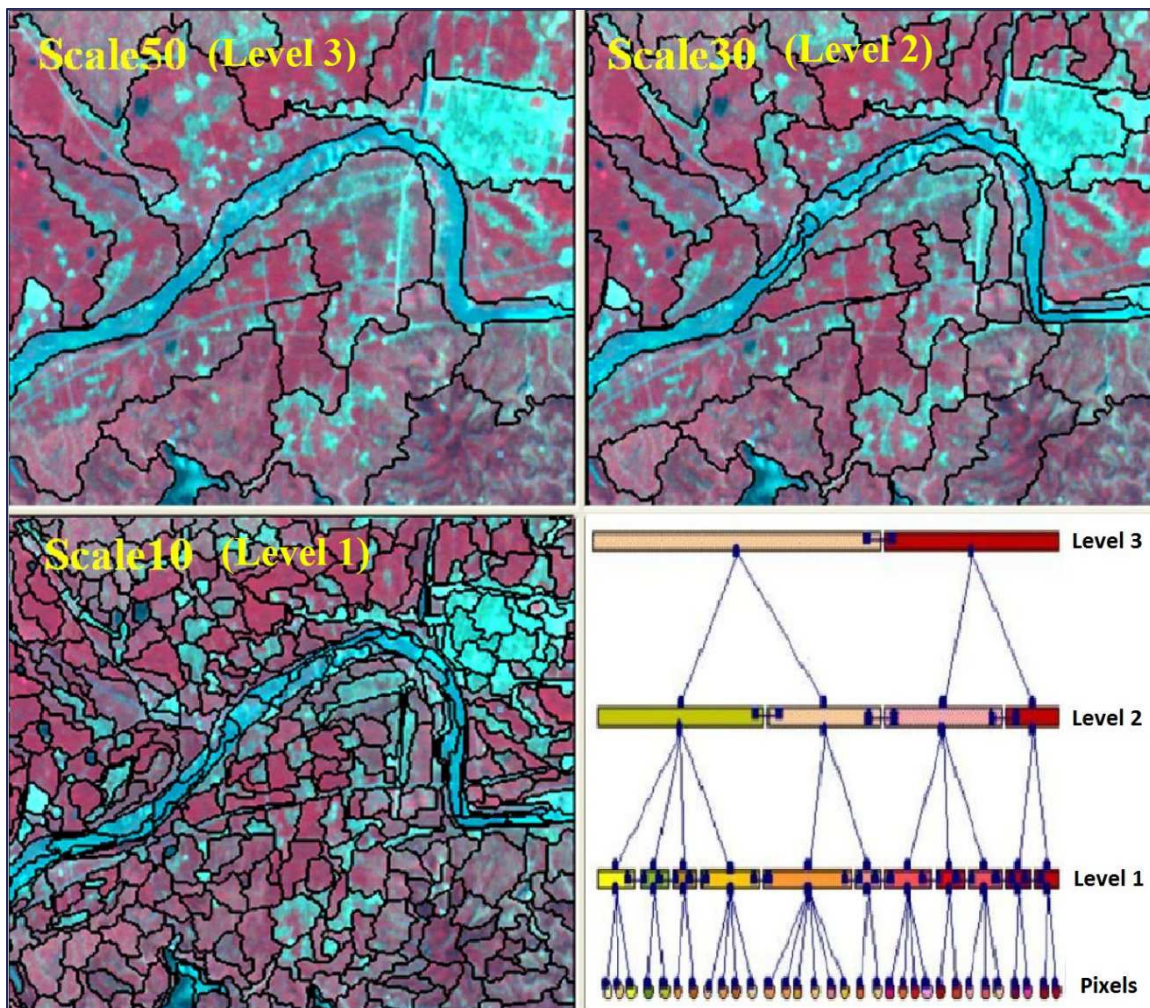
Παρόλο που μέρος της μεθοδολογίας και η φιλοσοφία αυτού του λογισμικού υπήρχε εννοιολογικά ή και τμηματικά εφαρμοσμένη στον χώρο των εμπειρών συστημάτων και της ανάλυσης εικόνας (Argialas and Harlow 1990, Baatz and Schäpe 2000), ήταν η πρώτη φορά που έγινε υλοποίηση όλων αυτών των χαρακτηριστικών σε ένα ενιαίο λογισμικό. Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι στην ψηφιακή τηλεπισκόπηση δεν υπήρχε λογισμικό το οποίο να μπορεί να προσομοιώσει την ποιοτική διαδικασία εκείνη κατά την οποία ο φωτοερμηνευτής αξιολογεί αφ' ενός μεν τα σχήματα των αντικειμένων και αφ' ετέρου την γειννίαση των περιοχών μελέτης, και την γενικότερη σχέση τους με το περιβάλλον. Για πρώτη φορά έγινε εφικτή η ποσοτική αναπαράσταση σε σχέσεις γειννίασης μεταξύ αντικειμένων εικόνας αλλά και αναπαράστασης στατιστικών χρώματος και σχήματος των αντικειμένων ως προς το περιβάλλον τους (Αργιαλάς, Τζώτσος).

Τέλος, τα αποτελέσματα της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης μπορούν να εξαχθούν υπό τη μορφή εικόνας raster, αλλά και υπό μορφή πολυγώνων, διευκολύνοντας τη συνεργασία με Συστήματα Πληροφοριών Γης (ΣΓΠ- GIS). Η όλη διαδικασία ανάλυσης μιας εικόνας μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα μικρό

μεγέθους ψηφιακό πρωτόκολλο και να εφαρμοστεί σε άλλες παρόμοιες εικόνες, διατηρώντας σταθερές τις συνθήκες επεξεργασίας και αυτοματοποιώντας την.

### 2.5.4 Ιεραρχία τάξεων

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



Εικόνα 2-12: Ιεραρχία επιπέδων ανάλυσης με διαφορετικές κατατμήσεις

Η υψηλή μεταβλητότητα των σχημάτων στις αστικές περιοχές από τις μικρές δομές όπως τα σπίτια μέχρι τις μεγάλες των ενδοαστικών ανοιχτών χώρων απαιτεί έναν μεγάλο αριθμό, ρυθμισμένων με ακρίβεια, επιπέδων κατάτμησης. Η απεικόνιση των τμημάτων που ταιριάζουν με τις πραγματικές κατασκευές σε ένα

επίπεδο θα ήταν συμφέρουσα για μια βέλτιστη χρησιμοποίησή τους κατά την διαδικασία της ταξινόμησης. Η βέλτιστη κατάτμηση των τμημάτων σε ένα επίπεδο θα είχε ως αποτέλεσμα να αναπαραχθούν τα μεγάλα τμήματα που αντιπροσωπεύουν παραδείγματος χάριν τις περιοχές βλάστησης από ένα μεγάλο τμήμα και τα σπίτια από μικρά τμήματα δίπλα-δίπλα χωρίς να συγχωνεύονται σε κάποιο πρόσθετο αντικείμενο κατά την διαδικασία μιας θεματικής ταξινόμησης (Σταματάκης Ι. 2009).

Έτσι, αντικείμενα από διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης (χωρικής) και διαφορετικών θεματικών εννοιών πρέπει να συνδυαστούν στις περισσότερες εφαρμογές. Το σχήμα στην Εικόνα 2-11 παρουσιάζει το ιεραρχικό δίκτυο των επιπέδων κατάτμησης και τη δυνατότητα δημιουργίας ενός επιθυμητού αριθμού επιπέδων κατάτμησης με μεγέθη τμήματος που βελτιστοποιούνται με την καλύτερη αντιπροσώπευση των πραγματικών κατασκευών.

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

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

- Δημιουργώντας ένα ιεραρχικό δίκτυο από αντικείμενα της εικόνας χρησιμοποιώντας την κατάτμηση. Τα τμήματα του πάνω επιπέδου της εικόνας αναπαριστούν μεγάλης κλίμακας αντικείμενα, ενώ των χαμηλότερων επιπέδων αντικείμενα αναπαριστούν μικρής κλίμακας αντικείμενα.
- Ταξινομώντας τα παράγωγα αντικείμενα βάσει των φυσικών τους ιδιοτήτων. Αυτό επίσης σημαίνει πως τα ονόματα των κατηγοριών και της ιεραρχίας τους είναι αντιπροσωπευτικά στο χαρτογραφημένο πραγματικό πεδίο και στις

φυσικά μετρήσιμες ιδιότητες των αντικειμένων. Χρησιμοποιώντας μηχανισμού «κληρονομιάς» επιταχύνεται ο στόχος της ταξινόμησης ενώ ταυτόχρονα γίνεται πιο ακριβής.

- Περιγράφοντας τις σημασιολογικές σχέσεις των αντικειμένων του δικτύου σύμφωνα με τις σχέσεις γειτονίας ή τις σχέσεις των υπό- και υπέρ-αντικειμένων. Αυτό συνήθως οδηγεί σε μια βελτίωση του αποτελέσματος της ταξινόμησης.
- Συναθροίζοντας τα ταξινομημένα αντικείμενα σε σημασιολογικές ομάδες (semantic groups), οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω σε μια βασισμένη στην ταξινόμηση κατάτμηση (classification-based segmentation). Τότε, τα παράγωγα παρακείμενα τμήματα μπορούν να εξαχθούν και να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον GIS. Οι σημασιολογικές ομάδες, μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω ανάλυση γειννίαςης.

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

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

### 2.5.5 Ασαφής λογική

Η ασαφής λογική είναι μια μαθηματική προσέγγιση για τον ποσοτικό προσδιορισμό αβέβαιων μαθηματικών εκφράσεων. Η βασική ιδέα έγκειται στην αντικατάσταση δύο απόλυτων λογικών εκφράσεων όπως το «ναι» και το «όχι», με ένα συνεχές πεδίο τιμών  $[0, 1]$ , όπου το 0 αντιστοιχεί στο «απολύτως όχι» και το 1 στο «απολύτως ναι». Όλες οι τιμές μεταξύ 0 και 1 αναπαριστούν μια περισσότερο ή λιγότερη αβέβαιη δήλωση του «όχι» και του «ναι».

Η ταξινόμηση ασαφούς λογικής αποτελεί μία απλή τεχνική, η οποία ουσιαστικά μετατρέπει τις τιμές των χαρακτηριστικών από ένα αυθαίρετο διάστημα σε ασαφείς τιμές μεταξύ του 0 και του 1, υποδεικνύοντας με τον τρόπο αυτό τον

βαθμό συμμετοχής σε μία συγκεκριμένη κατηγορία. Αυτό το ασαφές διάστημα τιμών για τον διαχωρισμό των αντικειμένων ορίζεται πάνω σε έναν χώρο προτύπων. Για κάθε αντικείμενο υπολογίζονται ιδιότητες που αφορούν τον τόνο, το σχήμα και τις σχέσεις γειννίασης με τα υπόλοιπα αντικείμενα και έπειτα αποδίδονται, βάσει αυτών των ιδιοτήτων, βαθμοί συμμετοχής για κάθε διαθέσιμη κατηγορία. Οι βαθμοί συμμετοχής βρίσκονται ο κάθε ένας στο διάστημα $[0,1]$ , αλλά σε αντίθεση με τη περίπτωση των απόλυτων ταξινομητών, αυτοί δεν αθροίζονται στη μονάδα και αποτελούν μέτρο της ασαφοποίησης με την οποία το τμήμα θα κατατασσόταν στην κάθε κατηγορία. Τελικά η μεγαλύτερη τιμή συμμετοχής ταξινομεί το αντικείμενο στην αντίστοιχη κατηγορία.

Εξαιτίας του ενδεχομένου κάποιο αντικείμενο να αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα για την καταχώρηση άλλων αντικειμένων σε κατηγορίες, η διαδικασία της ταξινόμησης είναι επαναληπτική, με αριθμό κύκλων (επαναλήψεων) που καθορίζεται από το χρήστη. Το εκάστοτε αντικείμενο επαναταξινομείται συνυπολογίζοντας τις αλλαγές στην ταξινόμηση του νέου συνόλου αντικειμένων της εικόνας. Απώτερος στόχος της διαδικασίας αυτής είναι η βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων σειράς ταξινομήσεων, μέσω του απολύτου καθορισμού των αντικειμένων σε κατηγορίες

Κάθε κατηγορία σε μία ταξινόμηση που πραγματοποιείται στο συγκεκριμένο λογισμικό, περιέχει μία περιγραφή αυτής (class description), η οποία συνίσταται από ένα σύνολο ασαφών μαθηματικών εκφράσεων, επιτρέποντας την εκτίμηση των ιδιαίτερων ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών και των λογικών τους λειτουργιών. Το λογισμικό παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο που επιτρέπει την απεικόνιση των ιδιοτήτων των αντικειμένων μίας εικόνας κατά έναν γραφικό τρόπο, παρέχοντας μία οπτική ερμηνεία στην ιδιαιτερότητα ενός ορισμένου χαρακτηριστικού πρωτογενούς αντικειμένου σε όλα τα αντικείμενα της εικόνας (πλαίσιο διαλόγου Feature View).

Αυτή η οπτική παρουσίαση των ιδιοτήτων των αντικειμένων μίας εικόνας βοηθά τον χρήστη να αναπτύξει και να δηλώσει ρητά τους κατάλληλους κανόνες για τον ορισμό της κάθε κατηγορίας.

Για την περιγραφή των αντικειμένων και των κατηγοριών, εκτός των χαρακτηριστικών που διαθέτει ήδη το λογισμικό, παρέχονται επιπλέον στον χρήστη εργαλεία για την εισαγωγή καινούριων χαρακτηριστικών, συντιθέμενων από τα ήδη υπάρχοντα. Επιτρέπεται με τον τρόπο αυτό η δημιουργία αντίστοιχα επιπλέον αριθμητικών (Arithmetic features) και συγγενών (Relational features)

χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Τα πρώτα προκύπτουν από τον συνδυασμό των ήδη υπαρχόντων χαρακτηριστικών με αριθμητικούς τελεστές. Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας χαρακτηριστικών αποτελούν οι λόγοι καναλιών, μεταξύ των οποίων συχνά χρησιμοποιούμενοι είναι οι κανονικοποιημένοι δείκτες βλάστησης. Τα σχεσιακά χαρακτηριστικά συγκρίνουν το χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός αντικειμένου με τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα άλλων αντικειμένων, είτε περιβαλλόντων είτε υποαντικειμένων.

Η ασαφής λογική επιτρέπει την καλύτερη περιγραφή των εννοιών που δεν έχουν αυστηρά καθορισμένα όρια, είναι σε κάποιο βαθμό υποκειμενικές και η νοητική διεργασία τις συγκεκριμενοποιεί περαιτέρω, λαμβάνοντας υπόψη το γενικότερο πλαίσιο στο οποίο εντάσσονται.

### 2.5.6 Χαρακτηριστικά (features) στο λογισμικό eCognition

Τα χαρακτηριστικά αυτά που ενσωματώνει το eCognition μπορούν να απαντηθούν στη διεθνή βιβλιογραφία και ως δείκτες ή περιγραφές (indices, descriptions). Διαθέσιμα χαρακτηριστικά στο eCognition εκτός των άλλων το μέγεθος (area), το μήκος του ορίου (border length), η ασυμμετρία (asymmetry), ο λόγος μήκους προς πλάτος (length/width), η πυκνότητα (density), που αποτελούν δείκτες σχήματος αλλά και άλλα όπως είναι οι μέσες τιμές των καναλιών της εικόνας (mean values), οι τυπικές αποκλίσεις των τιμών των καναλιών (standard deviation), καθώς και άλλα πολλά που μπορούν να ευρεθούν στο παράθυρο feature view στο κεντρικό μενού του λογισμικού.

Τα χαρακτηριστικά που επιλέγονται για την περιγραφή και ταξινόμηση των τάξεων, επιλέγονται βάσει των εκ των προτέρων γνωστών ιδιοτήτων των προς αναγνώριση αντικειμένων και με επισκόπηση των στατιστικών των ιδιοτήτων των αντικειμένων της εκάστοτε κατάτμησης ταξινόμησης σε κατάλληλα γραφικά εργαλεία του λογισμικού (feature view). Στο παράθυρο διαλόγου *feature view* ο χρήστης μπορεί να δει, οπτικά πλέον, ένα γενικό διαχωρισμό των αντικειμένων που έχουν δημιουργηθεί από το προηγούμενο στάδιο της κατάτμησης.

Επιλέγοντας διαφορετικά «κλειδιά» (features), το κάθε αντικείμενο παρουσιάζεται με διάφορες διαβαθμίσεις του γκρι, ανάλογα με τη συμμετοχή του στο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό(feature) και ως εκ τούτου γίνεται σχετικά εύκολα ο διαχωρισμός των κλάσεων. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να προχωρήσει στη δημιουργία μιας βάσης γνώσης, με λεπτομερέστερες και πιο πολύπλοκες περιγραφές για εννοιολογικές (θεματικές)



## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

---

κατηγορίες εδαφοκάλυψης πέραν των φασματικών τους χαρακτηριστικών. Στη συνέχεια αναφέρονται κάποια από τα βασικά features που περιλαμβάνονται στο λογισμικό:

- **Area:** Σε μια μη γεωαναφερμένη εικόνα, το εμβαδόν ενός εικονοστοιχείου θεωρείται ίσο με τη μονάδα. Έτσι, το εμβαδόν ενός αντικειμένου σε αυτή την περίπτωση θα συμπίπτει με τον αριθμό των εικονοστοιχείων που το αποτελούν. Αν η εικόνα έχει γεωαναφορά, το εμβαδόν ενός αντικειμένου υπολογίζεται από το πραγματικό εμβαδόν ενός εικονοστοιχείου πολλαπλασιασμένο με τον αριθμό των εικονοστοιχείων που απαρτίζουν το αντικείμενο.
- **Length:** Είναι το μήκος του αντικειμένου και ορίζεται ως η διαφορά των συντεταγμένων των ακραίων σημείων του. Χρησιμοποιείται πολλές φορές σαν κανόνας ανάλογα με το πόσο μεγάλο μήκος πρέπει να έχουν τα προς ανίχνευση αντικείμενα. Για παράδειγμα τα αντικείμενα των οροφών των κτιρίων συνήθως έχουν μικρότερο μήκος από αυτά του δρόμου.
- **Area:** Σε μη γεωαναφερθέντα δεδομένα, το εμβαδόν ενός μοναδικού εικονοστοιχείου έχει τιμή 1. Επομένως, το εμβαδόν εκάστοτε αντικείμενου της εικόνας είναι το πλήθος των εικονοστοιχείων που το σχηματίζουν. Αν η εικόνα έχει γεωαναφορά, το εμβαδόν ενός αντικείμενου της εικόνας είναι το πραγματικό εμβαδόν ενός εικονοστοιχείου επί το πλήθος των εικονοστοιχείων που σχηματίζουν το αντικείμενο. Πεδίο τιμών ιδιότητας [0, μέγεθος εικόνας].
- **Border Length:** Το μήκος της πλευράς ενός αντικείμενου της εικόνας ορίζεται ως το άθροισμα των αποστάσεων μεταξύ των άκρων του αντικείμενου που συνορεύουν με άλλα αντικείμενα ή βρίσκονται στην άκρη της εικόνας. Η διαφορά με το χαρακτηριστικό “μήκος” είναι ότι δεν υπολογίζεται το μέγιστο μήκος του αντικείμενου αλλά το άθροισμα των πλευρών που συνορεύουν με άλλα αντικείμενα. Χρησιμοποιείται και αυτό κατά τον ίδιο τρόπο.
- **Length / Width:** Ένα άλλο χρήσιμο χαρακτηριστικό είναι το μήκος προς πλάτος του πολυγώνου. Το πρόγραμμα υπολογίζει το μέγιστο μήκος και πλάτος του αντικείμενου και έπειτα τον λόγο μήκος προς πλάτος. Όπως είναι φυσικό ο λόγος αυτός αναδεικνύει τα μακρόστενα αντικείμενα και άρα είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο κατά τον εντοπισμό των δρόμων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ενός αντικείμενου τόσο πιο μακρόστενο είναι.

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

---

Επιπλέον ο λόγος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αντίστροφα ώστε να αποφευχθεί η ταξινόμηση άλλων περιοχών ως δρόμοι.

- **Absolute Mean Difference to Neighbors:** Είναι η μέση τιμή των διαφορών της μέσης τιμής ενός αντικειμένου από τις μέσες τιμές των γειτονικών πολυγώνων στο συγκεκριμένο κανάλι, δίνοντας βάρος στην κάθε μία διαφορά ανάλογο με το μήκος του συνόρου με το κάθε γειτονικό αντικείμενο. Αυτή η διαφορά στις φασματικές τιμές χρησιμεύει ιδιαίτερα στην ανίχνευση των κτιρίων γιατί συνήθως έχουν μεγάλες διαφορές στις τιμές με τα γύρω αντικείμενα και έτσι με την εφαρμογή αυτού του χαρακτηριστικού αναπαριστώνται με πολύ φωτεινούς τόνους.
- **Mean Difference to Super-objects / Sub-objects:** Είναι η διαφορά της μέσης τιμής ενός αντικειμένου της εικόνας σε ένα επίπεδο και της μέσης τιμής του υπερ-αντικειμένου του (ή υπο-αντικειμένου). Με τη χρήση αυτού του χαρακτηριστικού ανιχνεύονται πιο εύκολα σε κάποιες περιπτώσεις οι οροφές των κτιρίων. Αυτό συμβαίνει διότι κάποιοι τύποι οροφών έχουν μεγάλη τιμή ανακλαστικότητας σε σχέση με τις γύρω θεματικές κατηγορίες. Η χρήση αυτού του χαρακτηριστικού δίνει καλύτερα αποτελέσματα όταν δημιουργηθεί ένα ανώτερο επίπεδο με πολύ μεγαλύτερη κλίμακα έτσι ώστε να ομογενοποιηθούν τα φασματικά χαρακτηριστικά της περιοχής και να υπολογιστεί η διαφορά της μέσης τιμής των οροφών από τη μέση τιμή αυτής της νέας μεγάλης περιοχής.
- **Mean Difference to Scene:** Είναι η διαφορά της μέσης τιμής ενός αντικειμένου της εικόνας με την μέση τιμή του συνόλου της εικόνας. Όταν υπολογίζεται σε ένα υπέρυθρο κανάλι συμβάλει στην καλύτερη ανίχνευση και ταξινόμηση των περιοχών σκίασης. Αυτό συμβαίνει διότι στο υπέρυθρο αλλά και στο σύνολο της εικόνας οι σκιές έχουν πολύ μικρή ανακλαστικότητα με αποτέλεσμα η διαφορά των μέσων τιμών να είναι και πάλι μικρή και να απεικονίζονται μαύρες.
- **Density:** Υπολογίζεται από την περιοχή της εικόνας που καλύπτεται από το αντικείμενο διαιρούμενη με την ακτίνα του και εκφράζει το πόσο συμπαγές είναι ένα αντικείμενο.
- **Asymmetry:** Η ασυμμετρία ενός αντικειμένου είναι ανάλογη του μήκους του. Κάθε αντικείμενο μιας εικόνας προσεγγίζεται από έλλειψη. Από το λόγο των μηκών της κύριας και δευτερεύουσας ακτίνας της έλλειψης υπολογίζεται η ασυμμετρία.

- **Ratio:** Η αναλογία εκάστοτε επιπέδου  $L$  υπολογίζεται από το λόγο της μέσης τιμής ενός αντικειμένου του επιπέδου  $L$  και του αθροίσματος όλων των φασματικών μέσων τιμών του επιπέδου.
- **Relative area of super object:** Υπολογίζεται από το λόγο του εμβαδού του εξεταζόμενου αντικειμένου και του εμβαδού του υπέρ-αντικειμένου του. Αν προκύψει στη συγκεκριμένη ιδιότητα τιμή 1, συμπεραίνεται ότι το εξεταζόμενο αντικείμενο είναι πανομοιότυπο με το υπέρ-αντικείμενο. Συνιστάται η χρήση του σχετικού εμβαδού ως προς το υπέρ-αντικείμενο, για την περιγραφή του εκάστοτε αντικειμένου ως προς το εμβαδόν που αυτό καλύπτει στο υπέρ-αντικείμενο. Πεδίο τιμών ιδιότητας  $[0, 1]$ .
- **Relative border to:** Το χαρακτηριστικό αυτό αναφέρεται στο μήκος των κοινών ορίων γειτονικών αντικειμένων. Ουσιαστικά, καθορίζει το λόγο του μήκους των κοινών ορίων δυο γειτονικών αντικειμένων προς τη συνολική περίμετρο του ενός. Αν η σχετική γειτνίαση ενός αντικειμένου ως προς αντικείμενα μιας προκαθορισμένης τάξης είναι ίση με μονάδα, το αντικείμενο αυτό περικλείεται εξ ολοκλήρου από τα αντικείμενα της άλλης τάξης. Αν είναι ίση με μισή μονάδα (0.5) τότε το κοινό του όριο με τα άλλα αντικείμενα είναι η μισή του περίμετρος.
- **Relative area of class:** Ο λόγος του εμβαδού που καταλαμβάνουν υπο-αντικείμενα καταχωρημένα σε συγκεκριμένη κατηγορία προς το συνολικό εμβαδόν του εξεταζόμενου αντικειμένου. Πεδίο τιμών ιδιότητας  $[0, 1]$ .
- **Distance to:** Η απόσταση (σε εικονοστοιχεία) του κέντρου του αντικειμένου μιας τάξης με το κέντρο του πλησιέστερου αντικειμένου μιας άλλης προκαθορισμένης τάξης. Τα αντικείμενα που βρίσκονται στη γραμμή που ενώνει τα δυο κέντρα θα πρέπει να ανήκουν στην προκαθορισμένη τάξη.
- **Existence of:** Ελέγχει την ύπαρξη τουλάχιστον ενός υπο-αντικειμένου μιας προκαθορισμένης τάξης. Αν υπάρχει, η τιμή του χαρακτηριστικού είναι ίση με μονάδα, αλλιώς είναι ίση με μηδέν.
- **Elliptic fit:** Περιγράφει πόσο καλά ένα αντικείμενο προσαρμόζεται σε μια έλλειψη παρόμοιων διαστάσεων και αναλογιών. Παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1 με το 0 να δηλώνει μηδενική προσαρμογή και το 1 πλήρη.

- **Standard deviation:** Η τυπική απόκλιση υπολογίζεται από όλες τις ψηφιακές τιμές του συνόλου των εικονοστοιχείων που διαμορφώνουν το αντικείμενο για το εκάστοτε επίπεδο.
- **Mean of sub objects: standard deviation:** Η τυπική απόκλιση των μέσων τιμών των υπο-αντικειμένων. Η εν λόγω ιδιότητα είναι πιο ουσιώδης από την απλή τυπική απόκλιση που υπολογίζεται από τιμές μεμονωμένων εικονοστοιχείων (layer values), καθώς από μια θεωρητικά λογική κατάτμηση, προκύπτει ότι η τυπική απόκλιση των μέσων τιμών των υπο-αντικειμένων εκτιμάται από ομοιογενείς και εννοιολογικά σημαντικές επιφάνειες. Στην περίπτωση που το μέγεθος των υπο-αντικειμένων ελαχιστοποιείται, η τιμή του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού γνωρίσματος προσεγγίζει την τυπική απόκλιση από μεμονωμένα εικονοστοιχεία. Πεδίο τιμών ιδιότητας [0, ανάλογα με το βάθος bits των δεδομένων].
- **Main direction:** Η κύρια διεύθυνση ορίζεται από την κατεύθυνση της μεγαλύτερης εκ των δύο ιδιοτιμών του πίνακα συνδιακύμανσης της χωρικής κατανομής του αντικειμένου της εικόνας.

### 2.5.7 Ταξινόμηση

Αφού προηγηθεί η κατάτμηση πολλαπλών επιπέδων, καθορίζονται όλα τα χαρακτηριστικά και οι τοπολογικές σχέσεις των αντικειμένων στα πλαίσια ενός ιεραρχικού δικτύου. Η διαδικασία της ταξινόμησης, δίνει νόημα στα αντικείμενα που δημιουργούνται κατά την κατάτμηση. Οι μέθοδοι ταξινόμησης είναι δυο. Η ταξινόμηση βάσει κανόνων ασαφούς λογικής (Fuzzy logic membership functions) και η ταξινόμηση βάσει του εγγύτερου γείτονα (Nearest neighbor). Είναι επίσης δυνατός και ο συνδυασμός των μεθόδων αυτών, με αποτέλεσμα τον ακριβέστερο δυνατό ορισμό των ιδιοτήτων και κατά συνέπεια την περισσότερο επιτυχή ταξινόμηση. Τόσο ο εγγύτερος γείτονας όσο και οι συναρτήσεις συμμετοχής αποτελούν επιβλεπόμενες μεθόδους ταξινόμησης.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής αποτελούν μία απλή μέθοδο για την αναγωγή οποιουδήποτε διαστήματος τιμών ενός χαρακτηριστικού, στο διάστημα [0,1], όπως απαιτεί άλλωστε η ασαφής λογική. Οι βασικότερες συναρτήσεις που περιλαμβάνονται στο λογισμικό είναι:

- **Larger than (μεγαλύτερο από), συνάρτηση μορφής S:** όπου αν  $x$  τιμή του χαρακτηριστικού γνωρίσματος,  $\beta$  μέγιστη τιμή του πεδίου τιμών, ισχύει για  $x \geq$

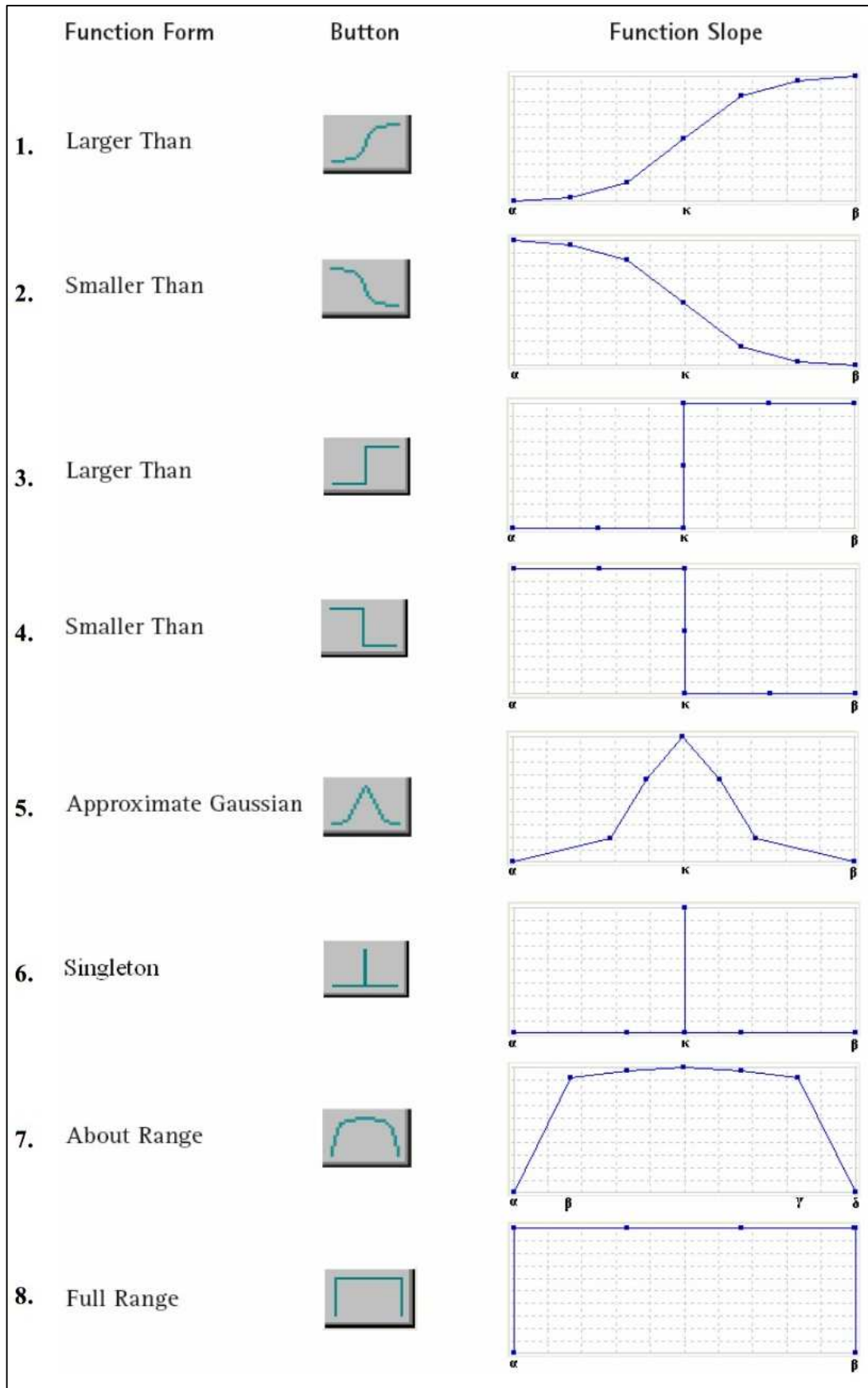
## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

---

$\beta$ , το αντικείμενο να συμμετέχει στην κατηγορία που το γνώρισμα περιγράφει, με βαθμό συμμετοχής 1.

- **Smaller than (μικρότερο από), συνάρτηση μορφής Z:** η αντίστροφη της S, όπου αν  $x$  τιμή του χαρακτηριστικού γνωρίσματος,  $\alpha$  ελάχιστη τιμή του πεδίου τιμών, ισχύει για  $x \leq \alpha$ , το αντικείμενο να συμμετέχει στην κατηγορία που το γνώρισμα περιγράφει, με βαθμό συμμετοχής 1.
- **Larger than (μεγαλύτερο από), απλοποιημένη συνάρτηση μορφής S** ορίζεται και αναπαρίσταται παρόμοια με την S, με τη διαφορά ότι η καμπύλη αντικαθίσταται από ευθεία.
- **Smaller than (μικρότερο από), απλοποιημένη συνάρτηση μορφής Z** ορίζεται και αναπαρίσταται παρόμοια με την Z, με τη διαφορά ότι η καμπύλη αντικαθίσταται από ευθεία.
- **Approximate Gaussian, κατά προσέγγιση Γκαουσιανη συνάρτηση:** αν  $x$  τιμή του χαρακτηριστικού γνωρίσματος,  $\kappa$  αριθμητική μέση τιμή του πεδίου τιμών, ισχύει για  $x$  τείνει στο  $\kappa$ , το αντικείμενο να συμμετέχει στην κατηγορία που το γνώρισμα περιγράφει, με βαθμό συμμετοχής 1.
- **Singleton συνάρτηση:** ορίζεται και αναπαρίσταται παρόμοια με την Gaussian με τη διαφορά ότι οι καμπύλες αντικαθίστανται από ευθείες και το αντικείμενο συμμετέχει στην κατηγορία που το γνώρισμα περιγράφει με βαθμό συμμετοχής 1, μόνο για μία συγκεκριμένη τιμή.
- **About Range, συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής:** αν  $x$  τιμή του χαρακτηριστικού γνωρίσματος,  $\alpha$  ελάχιστη τιμή του πεδίου τιμών,  $\delta$  μέγιστη τιμή του πεδίου τιμών, ισχύει για  $x \in [\alpha, \delta]$ , το αντικείμενο να συμμετέχει στην κατηγορία που το γνώρισμα περιγράφει με βαθμό συμμετοχής που ανήκει στο πεδίο τιμών  $[0, 1]$ .
- **Full range/ απλοποιημένη συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής:** ορίζεται και αναπαρίσταται παρόμοια με την συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής, με τη διαφορά ότι τα σκέλη της είναι κατακόρυφα. Ως εκ τούτου, αν  $x$  η τιμή του χαρακτηριστικού γνωρίσματος,  $\alpha$  ελάχιστη τιμή του πεδίου τιμών,  $\beta$  μέγιστη τιμή του πεδίου τιμών, ισχύει για  $x \in [\alpha, \beta]$ , το αντικείμενο να συμμετέχει στην κατηγορία που το γνώρισμα περιγράφει με βαθμό συμμετοχής.

Στην *εικόνα 2-13* απεικονίζεται και η γραφική μορφή των αναφερθέντων συναρτήσεων.



*Εικόνα 2-13: Οι συναρτήσεις συμμετοχής στο λογισμικό eCognition*

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

Οι συναρτήσεις συμμετοχής αποτελούν έναν απλό και κατανοητό τρόπο ταξινόμησης, που προσφέρει ταυτόχρονα ιδιαίτερη διαφάνεια στον υπολογισμό των βαθμών συμμετοχής. Σε κάθε συνάρτηση, ο βαθμός συμμετοχής του κάθε αντικείμενου στο χαρακτηριστικό που περιγράφεται, αναπαρίσταται στον άξονα των τεταγμένων  $Y$  με τιμή που ανήκει στο πεδίο τιμών  $[0,1]$ , ενώ το εύρος του πεδίου τιμών του κάθε χαρακτηριστικού που περιγράφει μια κατηγορία, στο οποίο πρέπει να ανήκει κατά κάποιο βαθμό το εκάστοτε εξεταζόμενο αντικείμενο ώστε να καταχωρηθεί σε αυτήν, αναπαρίσταται στον άξονα των τετμημένων  $X$ . Η ιδιότητα που περιγράφει μία κατηγορία αποτελεί και το κριτήριο ταξινόμησης των αντικείμενων σε αυτήν. Έτσι για κάθε εξεταζόμενο αντικείμενο, “εάν η τιμή του ανήκει στο πεδίο τιμών της εξεταζόμενης ιδιότητας”, προκύπτει μέσω της κατανομής της συνάρτησης, ο βαθμός συμμετοχής του στην ιδιότητα και το αντικείμενο ταξινομείται ή όχι στην κατηγορία που η ιδιότητα περιγράφει. Στην περίπτωση που η κατηγορία ορίζεται πλήρως από μία και μόνο ιδιότητα, ο βαθμός συμμετοχής του αντικείμενου στην κατηγορία είναι ίσος με το βαθμό συμμετοχής του στην ιδιότητα. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι κατηγορίες διαθέτουν περισσότερες της μίας ιδιότητες, ως κριτήρια ταξινόμησης. Τότε κρίνεται απαραίτητος ο συνδυασμός των επιμέρους βαθμούς συμμετοχής για τον υπολογισμό μίας τελικής τιμής αυτού. Το σκοπό αυτό εξυπηρετούν οι τελεστές ( $\text{and}(\text{min})$ ,  $\text{or}(\text{max})$  κ.α.). Με τη χρήση τελεστών καθίσταται δυνατή η δημιουργία σύνθετων κριτηρίων ταξινόμησης και η δόμηση λεπτομερών εννοιολογικών περιγραφών των θεματικών κατηγοριών.

Πίνακας 2-4: Περιγραφή τελεστών στο eCognition

<b>and (min)</b>	Η τελική τιμή του βαθμού συμμετοχής που προκύπτει από το πεδίο τιμών των ιδιοτήτων που περιγράφουν την κατηγορία, μετά την εφαρμογή του συγκεκριμένου τελεστή ορίζεται ως ο ελάχιστος βαθμός συμμετοχής.
<b>and ( *)</b>	Η τελική τιμή του βαθμού συμμετοχής που προκύπτει από το πεδίο τιμών των ιδιοτήτων που περιγράφουν την κατηγορία, μετά την εφαρμογή του συγκεκριμένου τελεστή ορίζεται ως το γινόμενο όλων των βαθμών συμμετοχής.
<b>or (max)</b>	Η τελική τιμή του βαθμού συμμετοχής που προκύπτει από το πεδίο τιμών των ιδιοτήτων που περιγράφουν την κατηγορία, μετά την εφαρμογή του συγκεκριμένου τελεστή ορίζεται ως ο μέγιστος βαθμός συμμετοχής.

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

<b>mean (arithm.)</b>	Η τελική τιμή του βαθμού συμμετοχής που προκύπτει από το πεδίο τιμών των ιδιοτήτων που περιγράφουν την κατηγορία, μετά την εφαρμογή του συγκεκριμένου τελεστή ορίζεται ως ο αριθμητικός μέσος όρος όλων των βαθμών συμμετοχής.
<b>mean (geo.)</b>	Η τελική τιμή του βαθμού συμμετοχής που προκύπτει από το πεδίο τιμών των ιδιοτήτων που περιγράφουν την κατηγορία, μετά την εφαρμογή του συγκεκριμένου τελεστή ορίζεται ως ο γεωμετρικός μέσος όρος όλων των βαθμών συμμετοχής.
<b>not</b>	Η τελική τιμή του βαθμού συμμετοχής που προκύπτει από το πεδίο τιμών της ιδιότητας που περιγράφει την κατηγορία, μετά την εφαρμογή του συγκεκριμένου τελεστή ορίζεται ως ο συμπληρωματικός βαθμός συμμετοχής.

Στις περιπτώσεις που οι κατηγορίες ταξινομούνται βάσει πολυάριθμων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, παρά τη χρησιμότητα και τις δυνατότητες των συναρτήσεων συμμετοχής, είναι προτιμότερη η χρήση της δεύτερης μεθόδου ταξινόμησης που διατίθεται από το λογισμικό, δηλαδή του αλγορίθμου της εγγύτερης γειτνίασης. Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία αρκετά απλή όσο και δοκιμασμένη μέθοδο ταξινόμησης. Η ταξινόμηση των αντικειμένων γίνεται βάσει των φασματικών τιμών, σε κάποιο δεδομένο χώρο προτύπων. Για την υλοποίηση αυτής της μεθόδου, απαιτείται αρχικά από το χρήστη να ορίσει για κάθε κατηγορία πρότυπα φασματικής απόκρισης, να υποδείξει δηλαδή αντιπροσωπευτικά δείγματα για κάθε μία κατηγορία ως δεδομένα εκπαίδευσης. Ο αλγόριθμος ακολούθως εξετάζει κάθε ένα από τα προς ταξινόμηση τμήματα και εντοπίζει σε ποίο από τα δείγματα που έχουν υποδειχθεί πλησιάζει περισσότερο φασματικά. Τελικά το δείγμα που βρίσκεται εγγύτερα του αντικειμένου, δηλώνει και την κατηγορία στην οποία θα ταξινομηθεί. Η μέθοδος της εγγύτερης γειτνίασης είναι μία υπολογιστικά εύκολη μέθοδος ταξινόμησης,

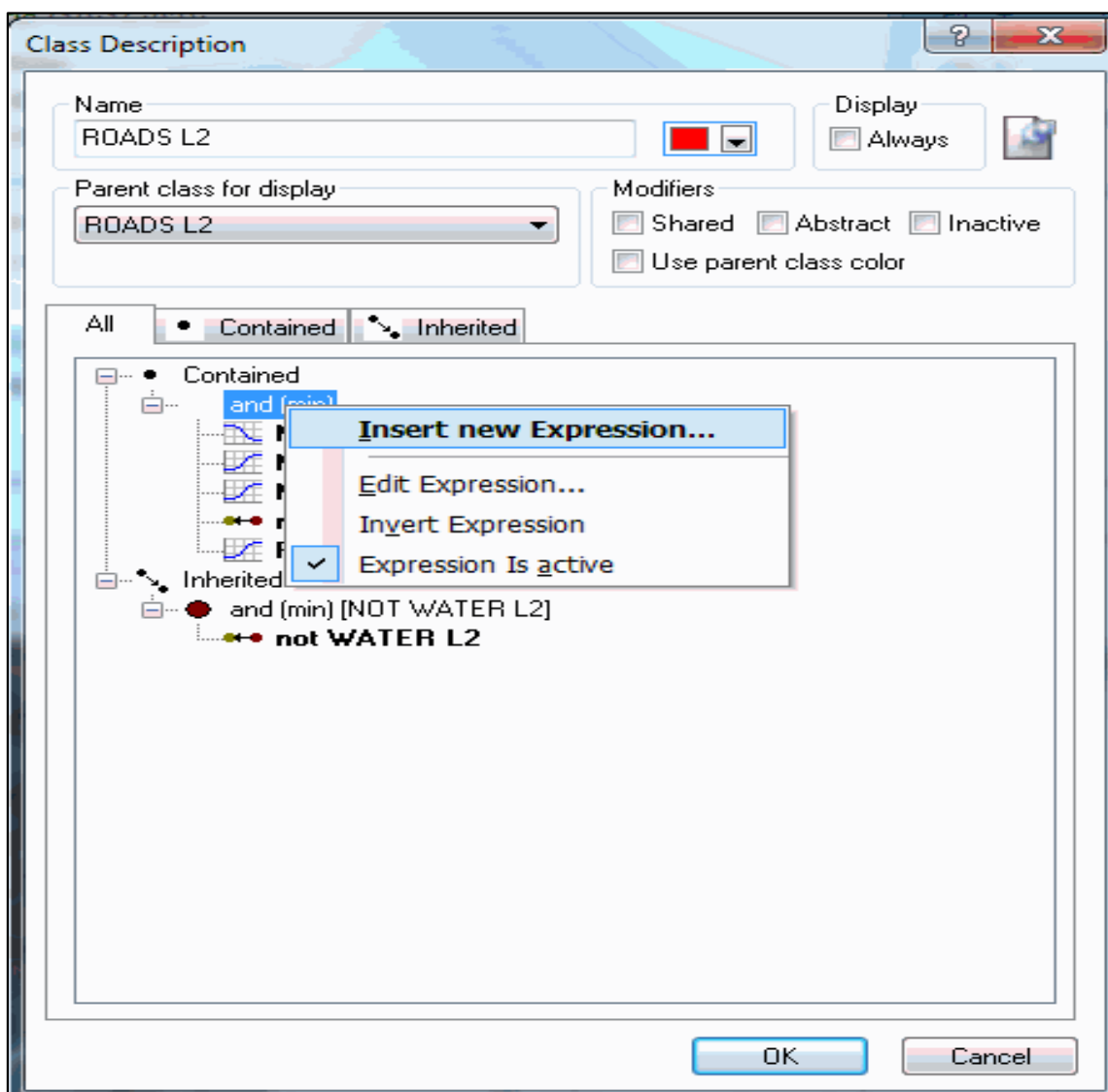
ωστόσο απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά τον ορισμό των δειγμάτων, καθώς μία αστοχία στο βήμα αυτό μπορεί να οδηγήσει στη λανθασμένη ταξινόμηση κάποιων αντικειμένων.

Απαραίτητος είναι τόσο ο καθορισμός των θεματικών κατηγοριών στις οποίες θα γίνει η ταξινόμηση των πρωτογενών αντικειμένων, όσο και των ιδιοτήτων που αποτελούν τα κύρια χαρακτηριστικά διαχωρισμού τους, προκειμένου να ξεκινήσει η διαδικασία της ταξινόμησης. Ο ορισμός μίας κατηγορίας, είτε με τον εγγύτερο γείτονα είτε με τις συναρτήσεις συμμετοχής, γίνεται στο πλαίσιο διαλόγου `class description` με την επιλογή της εντολής `“insert new expression”`



## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

(βλ. εικόνα 2-12). Πολλές φορές ωστόσο, οι ιδιότητες που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό μίας ,κατηγορίας μπορεί να είναι εξαρτημένες από άλλες κατηγορίες του συστήματος ταξινόμησης και για τον λόγο αυτό ονομάζονται «ιδιότητες εξαρτημένες από κατηγορίες» ή «class-related features» και εμπεριέχονται στην αντίστοιχη ομάδα χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Αναφέρονται στην ταξινόμηση έτερων αντικειμένων, τα οποία επηρεάζουν την ταξινόμηση του εξεταζόμενου αντικειμένου. Όταν επιλέγονται χρειάζεται απόλυτη αναφορά, όπως για παράδειγμα να αναφέρονται σε αντικείμενα που έχουν ταξινομηθεί αποκλειστικά, είτε με τη χρήση ιδιοτήτων επί αντικειμένων (object features) είτε με τη μέθοδο του εγγύτερου γείτονα (Nearest Neighbor). Στις περιπτώσεις αυτές η όλη διαδικασία ολοκληρώνεται μέσω της επιλογής “with class related features” στο πλαίσιο διαλόγου classification settings, αφού γίνεται χρήση τέτοιων χαρακτηριστικών για την περιγραφή των κατηγοριών του συστήματος ταξινόμησης.



Εικόνα 2-14: Ορισμός χαρακτηριστικού στο eCognition

### 2.5.8 Κατάτμηση βάσει ταξινόμησης

Στα πλαίσια της κατάτμησης βάσει ταξινόμησης, (classification based segmentation) η εικόνα διαιρείται με χρήση της βάσης γνώσης που έχει δημιουργηθεί σε προηγούμενο στάδιο ταξινόμησης. Συνδυάζονται έτσι πληροφορίες για το σχήμα των αντικειμένων από διάφορα επίπεδα με διαφορετικές παραμέτρους κλίμακας κατάτμησης, προκειμένου να εκτελεστεί μια νέα κατάτμηση, η οποία θα δημιουργήσει δομικές ομάδες (structural groups) με εννοιολογικά ομογενή αντικείμενα βέλτιστου μεγέθους. Στην κατάτμηση βάσει ταξινόμησης τα αντικείμενα παράγονται με δυο ουσιαστικά εναλλακτικούς τρόπους:

#### Συνένωση βάσει ταξινόμησης (classification based fusion)

Κύρια αρχή αυτής της μεθόδου είναι ότι όλα τα παρακείμενα αντικείμενα που αναπαριστούν ίδιες χρήσεις γης, και άρα χαρακτηρίζονται από πανομοιότυπες δομές, καθώς και αντικείμενα που αποτελούν μέρος όμοιων δομικών ενοτήτων, συγχωνεύονται σε ένα νέο, μεγαλύτερο αντικείμενο. Τα αντικείμενα που προκύπτουν από τη συνένωση, τοποθετούνται είτε σε νέο επίπεδο μεγαλύτερης κλίμακας από αυτής του επιπέδου αναφοράς, είτε στο ίδιο επίπεδο, με αποτέλεσμα όμως τα αρχικά αντικείμενα να διαγραφούν.

#### Βελτιστοποίηση των ορίων και των σχημάτων με χρήση υπό-αντικειμένων (classification based shape correction of image objects depending on sub-objects):

Η συγκεκριμένη μέθοδος πραγματοποιείται μέσω 2 διαφορετικών οδών:

- **Βελτιστοποίηση των ορίων (classification based border optimization):** Στην τεχνική αυτή, υποαντικείμενα που βρίσκονται στα όρια των υπεραντικειμένων και αποτελούν μέλη διαφορετικών δομικών ομάδων από τα υπεραντικείμενα τους, ομαδοποιούνται εκ νέου προκειμένου να αποτελέσουν υποαντικείμενα παρακείμενου υπεραντικείμενου, μέλους ίδιας με αυτά δομικής ομάδας. Ως αποτέλεσμα αποτελεί μεταβάλλονται οι περιοχές που αναπαρίστανται από επηρεαζόμενα υπεραντικείμενα. Δηλαδή η περιοχή που χάνει κάποιο υπεραντικείμενο, καταλαμβάνεται από το νέο υπεραντικείμενο
- **Εξαγωγή αντικειμένων/υπό-αντικειμένων (classification based image object extraction):** Στην συγκεκριμένη μέθοδο, η εξαγωγή των υπο-αντικειμένων δεν αφορά μόνο αυτά που βρίσκονται στα όρια των υπεραντικειμένων, αλλά όλα τα υπο-αντικείμενα του επιπέδου αναφοράς, ακόμη

και αυτά που βρίσκονται σε κεντρικά γεωγραφικά σημεία των υπερ-αντικειμένων.

### 2.5.9 Αξιολόγηση ταξινόμησης

Μετά την ολοκλήρωση της ταξινόμησης δεδομένων, αναγκαία είναι η αξιολόγηση της ορθότητας των αποτελεσμάτων της. Μία πρώτη εκτίμηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης μπορεί να πραγματοποιηθεί εποπτικά, από τον εκάστοτε φωτοερμηνευτή. Η μέθοδος αυτή ωστόσο είναι καθαρά υποκειμενική και ως εκ τούτου δεν είναι σε θέση να εξάγει αξιόπιστα και συγκρίσιμα αποτελέσματα. Συχνά η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εκτελείται επίσης μέσω σύγκρισης της προς αξιολόγησης ταξινόμησης με κάποια αντίστοιχη παλαιότερη, παραγομένη με διαφορετικές μεθόδους ταξινόμησης και γενικότερης ανάλυσης εικόνας. Βασική προϋπόθεση είναι οι δύο αυτές ταξινομήσεις να διαθέτουν συγκρίσιμη πληροφορία.

Το λογισμικό eCognition παρέχει σε κάθε επίπεδο κατάτμησης και ταξινόμησης εργαλεία που οπτικοποιούν τα στατιστικά αποτελέσματα και τέσσερεις μεθόδους υπολογισμού της εκτίμησης ακρίβειας, οι παρατίθενται και αναλύονται παρακάτω:

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

Με την συγκεκριμένη μέθοδο αξιολογείται η ταξινόμηση μέσω της εκτίμησης του βαθμού συμμετοχής των αντικειμένων στην περιγραφή κατηγορίας. Λόγω της ασαφούς λογικής της ταξινόμησης, το εκάστοτε αντικείμενο διαθέτει βαθμούς συμμετοχής σε πολλές κατηγορίες, αλλά καταχωρείται σε αυτήν για την οποία παρουσιάζει τον μέγιστο βαθμό συμμετοχής. Το αριθμητικό εξαγόμενο της αξιολόγησης είναι πίνακας με τιμές που προέκυψαν από στατιστικές συναρτήσεις για τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής με τους οποίους ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα στην εκάστοτε κατηγορία.

Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα αξιολόγησης του τρόπου με τον οποίον τα αντικείμενα της εκάστοτε κατηγορίας την περιγράφουν. Ο γραφικός τρόπος αναπαράστασης της αξιολόγησης οπτικοποιείται με έγχρωμη εικόνα, στην οποία η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί για το μη αμφιλεγόμενο αντικείμενο (1.0) στο πράσινο και για το απόλυτα αμφιλεγόμενο αντικείμενο (0.0) στο Κόκκινο.

### Μέθοδος της σταθερότητας ταξινόμησης (classification stability)

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

### Μέθοδος πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε TTA μάσκα (error matrix based on TTA mask)

Με τη μέθοδο αυτή αξιολογείται η ταξινόμηση μέσω δειγμάτων ληφθέντων είτε στο eCognition είτε σε έτερο λογισμικό που εισάγονται ως TTA μάσκα, και συγκρίνονται με επίγεια δείγματα βάσει εικονοστοιχείων. Οι κατηγορίες της μάσκας αντιστοιχίζονται με τις κατηγορίες της ταξινόμησης, συγκρίνονται και προκύπτει πίνακας σύγχυσης, στην πρώτη στήλη του οποίου εμφανίζονται οι κατηγορίες της προς εκτίμηση ταξινόμησης, στις επόμενες το πλήθος των εικονοστοιχείων της ταξινόμησης που καλύπτονται από την TTA μάσκα ανά κατηγορία και στην τελευταία καταχωρούνται τα αθροίσματα των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν στην εξεταζόμενη ταξινόμηση. Στην τελευταία γραμμή αναγράφονται τα αθροίσματα των εικονοστοιχείων από την μάσκα ανά κατηγορία. Βάσει των διαφορών των αθροισμάτων που προκύπτουν αξιολογείται η ποιότητα της ταξινόμησης. Επιπρόσθετα σε αυτήν, λειτουργούν τα κριτήρια ακριβείας που βρίσκονται στο κάτω μέρος του πίνακα σύγχυσης και διαθέτουν εύρος τιμών [0,1], με 1 την υψηλότερη ακρίβεια ταξινόμησης. Μοναδική εξαίρεση του θετικού πεδίου τιμών, αποτελεί ο Κάππα Δείκτης Συμφωνίας (Kappa Index of Agreement), που λαμβάνει και αρνητικές τιμές.

### Μέθοδος πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (error matrix based on samples)

Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με την προηγούμενη, αλλά για την αξιολόγηση της ταξινόμησης διαχειρίζεται δείγματα επιλεγμένα από τα αντικείμενα της εικόνας και όχι από εικονοστοιχεία. Υπογραμμίζεται ότι τα επιλεχθέντα δείγματα για την αξιολόγηση της ταξινόμησης είναι διαφορετικά από εκείνα που ελήφθησαν για την ταξινόμηση εγγύτερου γείτονα, τα οποία έχουν οπωσδήποτε ταξινομηθεί στις ορθές κατηγορίες. Επομένως, από νέα δείγματα προκύπτει ο πίνακας σύγχυσης, στον οποίο στην πρώτη στήλη εμφανίζονται οι κατηγορίες

των δειγμάτων, στη δεύτερη το πλήθος των ληφθέντων δειγμάτων για κάθε κατηγορία και στις υπόλοιπες ο λόγος των δειγμάτων που καταχωρήθηκαν σε αυτήν την κατηγορία. Η τιμή 0 σημαίνει ότι κανένα από τα δείγματα της κατηγορίας δεν ταξινομήθηκε σε αυτήν και η τιμή 1 ότι όλα τα δείγματά της καταχωρήθηκαν σε αυτήν

### 2.6 ΑΔΙΑΠΕΡΑΣΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

#### 2.6.1 Σημαντικότητα Αδιαπέραστων Επιφανειών

Σε πολλές περιοχές παγκοσμίως, η οικονομική ανάπτυξη όπως προκύπτει από το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Α.Ε.Π.) έχει πλέον συγκεντρωθεί στις πόλεις. Παρατηρώντας από ψηλά, η πλειοψηφία της αστικής ανάπτυξης φαίνεται να αποτελείται από αδιαπέραστες επιφάνειες. Οι επιφάνειες αυτές περιλαμβάνουν δρόμους, πεζοδρόμια, κτήρια, στέγες κτηρίων, χώρους στάθμευσης, διαδρόμους αεροδρομίων και άλλες τεχνητές επιφάνειες που εμποδίζουν την απορρόφηση του νερού (Small, 2002) Κάποιες περιπτώσεις αδιαπέραστων επιφανειών απεικονίζονται και στην *εικόνα 2-14*.

Από τις αρχές του 21 αιώνα, η αστική εξάπλωση από το εσωτερικό των πόλεων στα προάστια προβληματίζει τους πολεοδόμους. Η αστική εξάπλωση συμβαίνει καθώς ο πληθυσμός των προαστίων αυξάνεται και συνήθως επεκτείνεται προς την οριζόντια διεύθυνση (δημιουργώντας υπό-περιοχές) αλλά και προς την κατακόρυφη διεύθυνση (πολυκατοικίες, ουρανοξύστες). Η αύξηση αυτή του πληθυσμού οφείλεται στην αυτοματοποίηση-εκβιομηχάνιση στον αγροτικό τομέα, που προκαλεί μεγάλη μετακίνηση πληθυσμού από τις περιοχές αυτές με σκοπό τις ευνοϊκότερες εργασιακές προοπτικές, την ανάγκη για εκπαίδευση, τις καλύτερες παροχές υγείας και την συνεχή ενσωμάτωση στη σύγχρονη οικονομία (Kaya, 2007) Παρά το γεγονός ότι η συνολική έκταση που καταλαμβάνεται από τις πόλεις και τα προάστια τους είναι μικρή σε σύγκριση με τις αγροτικές περιοχές, οι πόλεις πλέον στεγάζουν πάνω από το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού (Small, 2002). Μια σημαντική συνέπεια της εξάπλωσης των προαστίων και της αστικοποίησης αποτελεί η μόνιμη μείωση της διηθητικής ικανότητας του νερού λόγω της εξάπλωσης των αδιαπέραστων επιφανειών. Η κυρίαρχη τάση στο παρελθόν στην αστική αρχιτεκτονική ήταν να δημιουργηθούν αδιαπέραστες επιφάνειες για την επίτευξη της οικονομικής ανάπτυξης και να υποβαθμίσει τις φυσικές εναλλακτικές μεθόδους διαχείρισης της απορροής (Holman-Dodds et al, 2003)

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

Οι αδιαπέραστες επιφάνειες αποτελούν τον σημαντικότερο και συνηθέστερο τύπο χρήσης γης και εδαφοκάλυψης στο αστικό και περιαστικό περιβάλλον, και ταυτόχρονα είναι χρήσιμες σαν δείκτης ποιότητας χερσαίων και υδρόβιων οικοσυστημάτων. (Yang et al, 2003) Κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας, δεδομένου ότι οι αστικές επιφάνειες είναι κυρίως αδιαπέραστες και διοχετεύονται σε ανθρωπογενείς αποχετεύσεις, η απορροή αυξάνεται κατά μεγάλο ποσοστό. Το περίσσειμα αυτό απορροής συνήθως συγκεντρώνεται σε μεγάλες πόλεις μακριά από λεκάνες ή λιμνοθάλασσες και διηθείται αργά στη λεκάνη απορροής.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Εικόνα 2-15: Περιπτώσεις αδιαπέραστων επιφανειών:**  
(a) Οροφή κτηρίου, (b) Χώρος στάθμευσης, (c) δρόμος, (d) διάδρομος προσαπογείωσης,  
(e) πεζοδρόμιο, (f) προβλήτα λιμανιού

Η αστικοποίηση και οι αδιαπέραστες επιφάνειες μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες πλημμύρες κατά τη διάρκεια βροχής λόγω της έλλειψης διήθησης ( Kamini et al, 2006) Το πλεόνασμα απορροής λόγω αδιαπέραστων επιφανειών είναι συνήθως αρκετά μολυσμένο και περιέχει υψηλά επίπεδα τοξικών μετάλλων ( Fulkerson et al, 2007 , Roberts et al 2009) Αυτό οφείλεται εν μέρει στο ότι οι αδιαπέραστες επιφάνειες δεν είναι φυσικό έδαφος όπου ωφέλιμα βακτήρια μπορούν να διασπαστούν τα απόβλητα σε απλούστερα συστατικά με σκοπό την τελική απορρόφηση τους από το έδαφος. Οι αλλαγές στις χρήσεις γης λόγω των αδιαπέραστων επιφανειών θα αλλάξουν εντελώς τη δυναμική της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, το οποίο είναι αναπόσπαστο κομμάτι της λειτουργίας του οικοσυστήματος. (Chadwick et al, 2006) Λόγω αλλαγών στην περιεκτικότητα της οργανικής ύλης που προκαλείται από τις αδιαπέραστες επιφάνειες, υπάρχει μια αλλαγή στο περιεχόμενο του διαλυμένου οργανικού άνθρακα, το οποίο επηρεάζει το σχηματισμό ορισμένων στελεχών βακτηρίων βοηθητικών στην αποσύνθεση και τον έλεγχο της ρύπανσης (Harbott & Grace, 2005)

Οι αδιαπέραστες επιφάνειες επιτρέπουν μερικές φορές αφού συσσωρευτούν τα περιβαλλοντικά προβλήματα κατόπιν να επηρεάσουν και άλλους τομείς. Κάποιες φορές λόγω υπερφόρτωσης των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων, η μολυσμένη ποσότητας απορροής συχνά παραμένει σε μορφή ακατέργαστων λυμάτων και απορρίπτεται απευθείας σε λεκάνες απορροής (Passerat et al, 2011). Καθώς η απορροή αυτή απορρίπτεται απευθείας σε γειτονικά υδάτινα σώματα, οι ρύποι υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού. Εντοπίζονται συχνά βακτήρια όπως: σαλμονέλα και *Escherichia coli* (*E.coli*) τα οποία με τη σειρά τους επηρεάζουν αρνητικά τους υδρόβιους οργανισμούς μέσω του μειωμένου βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD). Τελικός αποδέκτης ο άνθρωπος του οποίου η υγεία επηρεάζεται μέσω της κατανάλωσης ψαριών. Η απορροή λόγω των αδιαπέραστων επιφανειών μπορεί να μεταβάλει φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες των οικοσυστημάτων γύρω από ρεύματα. Με λιγότερα υπόγεια ύδατα διαθέσιμα για αναπλήρωση στις αστικές περιοχές, η υπεδάφια ροή του νερού που τροφοδοτούσε τα αστικά ρεύματα συχνά μειώνεται, με απρόβλεπτες συνέπειες στην φυσική ισορροπία του ρεύματος που οδηγεί σε όλο και σοβαρότερα προβλήματα. Ως αποτέλεσμα, οι περισσότερες αστικές περιοχές έχουν συχνά αστικό σύστημα ρευμάτων το οποίο παραμένει ξηρό το μεγαλύτερο μέρος του έτους λόγω της απουσίας της φυσικής αναπλήρωσης και τελικά μένει να εξαρτάται από τη ροή των λυμάτων. Αυτή η ροή λυμάτων στα αστικά ρεύματα οφείλεται σε εσκεμμένη απόρριψη ρύπων στα φυσικά συστήματα ροής. Είναι επιτακτική ανάγκη να εστιαστεί η προσοχή στην αναπλήρωση του υδροφόρου ορίζοντα, καθώς οι αδιαπέραστες επιφάνειες μειώνουν το ρυθμό της φυσικής

υδρολογικής αναπλήρωσης. Υπάρχει μια αντίστροφη σχέση μεταξύ του ποσοστού των αδιαπέραστων επιφανειών και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που εντοπίζονται σε μια αστική περιοχή (Johnson, 2004) Συνοψίζοντας, η ποσότητα της επιφανειακής απορροής αυξάνεται και η ποιότητα της αναπλήρωσης των υπογείων υδάτων μειώνεται λόγω των αδιαπέραστων επιφανειών (Ericson & Stefan, 2009)

Ένα ακόμη αποτέλεσμα της αστικής ανάπτυξης στα φυσικά οικοσυστήματα είναι πως η επέκταση των αδιαπέραστων επιφανειών συμβαίνει συχνά εις βάρος της βλάστησης. Όταν η μείωση της βλάστησης συγκρίνεται με το ποσοστό της βροχόπτωσης που μετατρέπεται σε απορροή, η σχέση της με την αύξηση των πλημμυρών γίνεται εμφανής. Σε συνδυασμό με την παρεμπόδιση των φρεατίων αποχετεύσεων τέτοια φαινόμενα της αστικοποίησης συχνά προκαλούν έντονες πλημμύρες. Το αποτέλεσμα είναι σύνηθες, αλλά ταυτόχρονα ελάχιστα κατανοητό χαρακτηριστικό του αστικού περιβάλλοντος. Μεγάλο μέρος της αβεβαιότητας που σχετίζεται με την πρόβλεψη μιας πλημμύρας οφείλεται στην έλλειψη επικαιροποιημένων υδρολογικών δεδομένων. Αυτό περιορίζει την κατανόηση της γενικότερης εικόνας για την τρέχουσα κατάσταση της λεκάνης υπό εξέταση. Ένα συνδυαστικό υδρολογικό μοντέλο που βασίζεται σε δεδομένα εδαφοκάλυψης προερχόμενα από τηλεπισκόπηση, καθώς και δεδομένα της λεκάνης και του εδάφους προερχόμενα από κατάλληλο υδρολογικό μοντέλο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει τον κίνδυνο πλημμύρας από μεγάλες και συνεχείς αιχμές σε ακραίες βροχοπτώσεις. (Flood et al, 2004) Διάφορα μοντέλα χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη αδιαπέραστων επιφανειών έμμεσα προβλέποντας τις παραμέτρους πλημμυρών όπως το Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere (WetSpa), SPAtially Referenced Regressions on Watershed attributes (SPARROW) και Vegetation-Impervious Surface-Soil (V-I-S) (Chormanski et al, 2008, Montzka et al, 2008, Roberts et al, 2009, Wend & Lu, 2009)

Ένα συνολικό ποσοστό αδιαπέραστης επιφάνειας της τάξης του 5-6% θεωρείται κρίσιμο όριο για την υποβάθμιση του ρεύματος γύρω από τις αστικές περιοχές. (Morse et al, 2003, Slonecker & Tiley, 2004) Οι Ericson & Stefan (2009) διαπίστωσαν ότι μια αύξηση 18% σε αδιαπέραστες επιφάνειες μπορεί να μειώσει την αναπλήρωση της ευρύτερη λεκάνης απορροής από 20% μέχρι και 40% της αρχικής τιμής της. Οι Goldshleger et al (2009) δεν βρήκαν καμία σημαντική αλλαγή στην απορροή για 20% ή λιγότερο αδιαπέραστη περιοχή, μια αύξηση της απορροής βρέθηκε με 20% έως 40% αδιαπέραστη περιοχή και μια βέβαιη αύξηση στην απορροή για περισσότερο από 40% αδιαπέραστη περιοχή. Η



αυξημένη αυτή απορροή, ενισχύει την ευαισθησία σε πλημύρα. Επειδή η αδιαπέραστες περιοχές είναι καλός δείκτης της αστικής ανάπτυξης, η αδιαπεραστότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διερεύνηση κοινωνικοοικονομικών παραγόντων όπως η εκτίμηση του πληθυσμού, η πυκνότητα πληθυσμού, οι πλημύρες βιοτικό επίπεδο, και άλλων κοινωνικών συνθηκών. (Wu & Murray, 2003) Οι αδιαπέραστες επιφάνειες οι οποίες παγιδεύουν ζέστη την ημέρα και την απελευθερώνουν κατά τη διάρκεια της νύχτας, είναι επίσης χρήσιμοι δείκτες για τις επιπτώσεις του φαινομένου της θερμικής νησίδας (urban heat island effect) (Yuan & Bauer, 2007) Η ανίχνευση των αδιαπέραστων επιφανειών είναι χρήσιμη σε πληθώρα αστικών μελετών μεταξύ των άλλων: αστικές πλημύρες, διαχείριση λεκανών απορροής, ποιότητα του νερού, αστική ρύπανση, χωροταξικός σχεδιασμός, φαινόμενο αστικής νησίδας, ανάλυση της αστικής κυκλοφορίας. (Goetz et al, 2003, Wu & Murray, 2003 Slonecker & Tilley, 2004, Chadwick et al 2006, ) Οι αδιαπέραστες επιφάνειες δεν είναι μόνο ένα κρίσιμο στοιχείο στην ποσοτικοποίηση της αστικής εξάπλωσης, αλλά και σε άλλες εφαρμογές φυσικών επιστημών συμπεριλαμβανομένης της εκτίμησης δασικών λεκανών απορροής, τον εντοπισμό της θαλάσσιας εκροής και άλλες οικολογικές χρήσεις. (Goetz et al, 2003, Ellis et al, 2006, Xu & Gong, 2007)

Η καλύτερη οικονομική λύση για τη μείωση της απορροής στις αστικές περιοχές και την άμβλυση του αντίκτυπου των αδιαπέραστων εδαφών αποτελεί η χρήση πράσινων στεγών σε ορισμένες επίπεδες αδιαπέραστες επιφάνειες όπως τα κτήρια (Gettler & Rowe, 2006). Αυτές οι πράσινες στέγες, παγιδεύουν, διατηρούν και σταδιακά απελευθερώνουν το νερό της βροχής σε αντίθεση με τις συμβατικές στέγες. (Carter & Rasmussen, 2006) Καθίσταται επίσης σημαντική ή πραγματοποίηση της αστικής εξάπλωσης γύρω από προ-υπάρχουσα βλάστηση παρά να επιλεγεί η λύση της υλοτόμησης. Με αυτό τον τρόπο το έδαφος μπορεί να «αναπνεύσει» και να αναπληρώσει σταδιακά τον υδροφόρο ορίζοντα. Ορισμένες από τις στρατηγικές πρωτοβουλίες που έχουν στην διάθεσή τους οι πολεοδόμοι είναι εκτός των άλλων:

- Ο σχεδιασμός και η δενδροφύτευση (Volder et al, 2009)
- Η χρήση διαπερατού σκυροδέματος, η αλλιώς πράσινου σκυροδέματος (Volder et al, 2009)
- Η χρησιμοποίηση πράσινων στεγών (green roof) στην αστική γεωργία (Urban farming) αλλά και με σκοπό τη μείωση της απορροής (VanWoert et al, 2005, Carter & Rasmussen, 2006)

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

- Η δημιουργία και αξιοποίηση κήπων βροχής. Πρόκειται για μια φυτεμένη περιοχή βυθισμένη στο έδαφος που επιτρέπει την απορροή του νερού της βροχής από τις αδιαπέραστες επιφάνειες. Μειώνει την απορροή από την βροχή επιτρέποντας στο νερό να εισχωρήσει στο έδαφος και κατ' επέκταση συνεισφέρει στην βελτίωση της ποιότητας των γειτονικών υδάτινων σωμάτων. Ένας κήπος βροχής μπορεί να μειώσει την ποσότητα της ρύπανσης που καταλήγει στα ρέματα και ρυάκια μέχρι και 30%.
- Η χρήση κατασκευασμένων αστικών υγροτόπων (living machines) με σκοπό τον έλεγχο της ρύπανσης των υδάτων μέσω φυτοεξυγίανσης (Persson et al, 1999, Harrngton & McInnes). Φυτοεξυγίανση είναι μια διαδικασία όπου χρησιμοποιούνται φυτά για την εξυγίανση ρυπασμένων εδαφών, υλικών καθιζήσεως και υδάτων (επιφανειακών ή υπόγειων), μέσω της απομάκρυνσης, διάσπασης και σταθεροποίησης των ρυπαντών.

Όλες οι παραπάνω στρατηγικές ή ένας συνδυασμός τους, θα πρέπει να εφαρμοστεί για τη μείωση των επιβλαβών επιπτώσεων των αδιαπέραστων επιφανειών. Ομάδες μηχανικών δοκιμάζουν τη χρήση οικοδομικών υλικών που αποσκοπούν στη μείωση της ρύπανσης (Ford, 2010) και την ανάπτυξη ημιπερατών λύσεων όσον αφορά τις αδιαπέραστες επιφάνειες.



**Εικόνα 2-16: Μειώνοντας τον αντίκτυπο των αδιαπέραστων επιφανειών: Αστική Γεωργία**  
(Πηγή: <http://images.nationalgeographic.com>)



**Εικόνα 2-17: Μειώνοντας τον αντίκτυπο των αδιαπέραστων επιφανειών: Πράσινη οροφή στο The Marriott Hotel, Victoria, BC, Canada**

(Πηγή: <https://www.flickr.com/photos/pnwra/429831152>)



**Εικόνα 2-18: Μειώνοντας τον αντίκτυπο των αδιαπέραστων επιφανειών: Πράσινη ανοικοδόμηση**

(Πηγή: <http://www.arctecon.com/images/logos/green-building-coolio11.jpg>)



*Εικόνα 2-19: Μειώνοντας τον αντίκτυπο των αδιαπέραστων επιφανειών: Πορώδες οδόστρωμα  
(Πηγή: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Permeable\\_paver\\_demonstration.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Permeable_paver_demonstration.jpg))*



*Εικόνα 2-20: Μειώνοντας τον αντίκτυπο των αδιαπέραστων επιφανειών: Κήπος βροχής  
(Πηγή: <http://www.esf.edu/ere/endreny/GICalculator/RainGardenTN.jpg>)*

### 2.6.2 Τηλεπισκόπηση αστικών περιοχών

Έχει διαπιστωθεί ότι η τηλεπισκόπηση είναι οικονομικά αποδοτική για τον αστικό σχεδιασμό (Yu & Ng, 2007) Παρόλο που η τηλεπισκόπηση σε αστικές περιοχές είναι ένα ισχυρό εργαλείο, η χαρτογράφηση και η ανίχνευση μεταβολών είναι δύσκολη καθώς οι ανθρωπογενείς διεργασίες λειτουργούν σε αρκετά μεταβαλλόμενες χωρικές και χρονικές κλίμακες. (Arlin, 2006) Επί του παρόντος, η τηλεπισκόπηση από μόνη της δεν μπορεί να αντικαταστήσει παραδοσιακές και χειροκίνητες μεθόδους παρατήρησης, καθώς το χρονικό διάστημα μεταξύ δειγματοληψιών των διαθέσιμων εικόνων είναι ανεπαρκές για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε μια ταχέως αναπτυσσόμενη περιοχή. Το κόστος για τις παραδοσιακές προσεγγίσεις αποτυπώσεων υπερβαίνει μακράν το συνολικό κόστος ενός μοντέλου μια ολοκληρωμένης προσέγγισης που βασίζεται στην τηλεπισκόπηση.

Επιπλέον, για την πραγματοποίηση συχνών ενημερώσεων, το κόστος της τηλεπισκοπικής προσέγγισης θα μειωθεί εφόσον αυτή αξιολογηθεί από τους φορείς χάραξης της πολιτικής με σκοπό την οικονομική αποδοτικότητα και την εκμετάλλευση των οικονομιών κλίμακας. Ακόμη και αν η παράμετρος κόστος δεν υπολογιστεί, η χαρτογράφηση και η ανίχνευση μεταβολών με τηλεπισκόπηση είναι δύσκολο να ολοκληρωθεί σε εύλογο χρονικό διάστημα εξαιτίας άλλων παραγόντων: Έλλειψη εκπαιδευμένου προσωπικού, το αυξανόμενο κόστος αποθήκευσης και υπολογισμού για την ανάλυση τηλεπισκοπικών δεδομένων, η συσχέτιση των υπάρχοντων δεδομένων με νέα στοιχεία, και κυρίως ή έλλειψη αξιόπιστων εργαλείων αυτοματοποίησης στη ροή εργασίας που θα συντόμευαν τους χρόνους επεξεργασίας.

Για να γίνει περισσότερο κατανοητό το τελευταίο ζήτημα, μπορεί να μην υπάρχει προηγούμενη ανάλυση Χρήσεων γής και εδαφοκάλυψης ενώ νεώτερες τηλεπισκοπικές εικόνες έχουν αγοραστεί. Μια απλή ενημέρωση της αστικής βάση δεδομένων μεταξύ δυο εικόνων από διαφορετικές ημερομηνίες μπορεί να απαιτήσει σημαντικό χρόνο λόγω διαφορετικών προβολών, ζητήματα ποιοτικού ελέγχου, εξαφάνιση υπάρχοντων χαρακτηριστικών, αλλαγές ονομάτων σε δρόμους ή άλλα χαρακτηριστικά. Αυτά τα χρονικά, χωρικά, υλικοτεχνικά ζητήματα, απαιτούν τον κατάλληλο σχεδιασμό για να ενημερωθεί η πληροφορία Χρήσεων γής και εδαφοκάλυψης. Η καινοτομία είναι απαραίτητη για την μείωση των επιπλοκών που προκύπτουν από τα παραπάνω και την απλοποίηση της ροής εργασιών στα συστήματα Γεωγραφικών πληροφοριών. (Arlin, 2006)

Από την έναρξη λειτουργίας των δορυφόρων IKONOS (προέρχεται από την ελληνική λέξη εικόνα) Quickbird στις αρχές της δεκαετίας του 2000, η γενική τάση στην τηλεπισκόπηση είναι ως προς την αύξηση της χωρικής και ραδιομετρικής ανάλυσης των εικόνων. Αυτοί οι σύγχρονοι δορυφόροι έχουν ποιότητα εικόνας κατά πολύ ανώτερη από τους αντίστοιχους παλαιότερης γενιάς. Παραδοσιακά, οι δορυφόροι που επικεντρώνονται στον καιρό είχαν υψηλή ραδιομετρική ανάλυση, ενώ δορυφόροι σχεδιασμένοι για ανάλυση Χρήσεων γης και εδαφοκάλυψης είχαν υψηλή χωρική ανάλυση για σαφέστερη φωτοερμηνεία. Ωστόσο, οι δορυφόροι νέας γενιάς κατάφεραν να αυξήσουν τόσο την ραδιομετρική όσο και την χωρική ανάλυση, καθιστώντας τους χρήσιμους και στην χαρτογράφηση και ανίχνευση μεταβολών. (Fiete, 2007) Η αύξηση της ραδιομετρικής και χωρικής ανάλυσης μαζί με την εμπορικοποίηση της τηλεπισκόπησης και την ενσωμάτωση νεότερων μεθόδων από άλλους παρεμφερείς τομείς όπως η ανάλυση εικόνων στην ιατρική και η υπολογιστική όραση, έχει οδηγήσει σε μια σειρά από νέες προσεγγίσεις ταξινόμησης. Σε αυτό συνεισφέρει επίσης η αύξηση της διαθέσιμης υπολογιστικής ισχύος. Ο μεγάλος όγκος και η συνθετότητα των εικόνων απαιτεί μια αυτοματοποιημένη προσέγγιση για την ταξινόμηση και ένα αυξημένο επίπεδο πολυπλοκότητας στην επεξεργασία εικόνας. (Im et al, 2008) Ο μεγάλος όγκος και η συνθετότητα των εικόνων απαιτεί μια αυτοματοποιημένη προσέγγιση για την ταξινόμηση και ένα αυξημένο επίπεδο πολυπλοκότητας στην επεξεργασία εικόνας. (Im et al, 2008)

Η πρόσφατη βιβλιογραφία σχετική με την τηλεπισκόπηση είναι γεμάτη με νέες μεθόδους ταξινόμησης που προσεγγίζουν τον αυτοματισμό, όπως τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, δένδρα αποφάσεων η βάσεων γνώσης, rough sets, κυματομορφές, τυχαία πεδία Markov, ασαφή λογική, αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνας. (Zhang & Foody, 2001, Im & Jensen, 2005, Leung et al, 2007, Luo et al.,2007, Meher et al., 2007; Hu & Weng, 2009; Weng et al., 2009).

Οι περισσότερες από αυτές τις pixel-based μεθόδους ταξινόμησης, με υψηλής χωρικής ανάλυσης εικόνες, έχουν καταγεγραμμένα προβλήματα στην ταξινόμηση αστικών περιοχών, και δεν πετυχαίνουν σωστή απεικόνιση των γεωγραφικών αντικειμένων λόγω σύγχυσης μεταξύ των χρήσεων γης/εδαφοκαλύψεων (Fisher, 1997; Weng & Lu, 2009). Αυτό πηγάζει από το γεγονός ότι η ακριβής αντιστοίχιση pixel σε pixel χρησιμοποιώντας γεωμετρική διόρθωση είναι δύσκολη στις μέτριες και χαμηλές χωρικές αναλύσεις, λόγω της παρουσίας μεικτών pixel και την απουσία ευδιάκριτων σημείων σύνδεσης GPS, προκαλώντας σφάλματα στην ταξινόμηση μεταξύ διαφορετικών χρήσεων γης/εδαφοκάλυψης. (Townshend et al., 2000;) Σφάλματα στην ταξινόμηση

μπορεί επίσης να προκύψουν λόγω του ότι ένα μεγάλο ποσοστό του θορύβου προέρχεται από τα γειτονικά pixel λόγω πορώδων συνόρων μετάβασης, που οδηγεί σε ένα αρκετά χαμηλό signal to noise ratio. (Zhou, 2006; Im et al., 2008). Αρκετές μελέτες έχουν αναφέρει ότι εσφαλμένη ταξινόμηση προκύπτει όταν χρησιμοποιείται υψηλή χωρική ανάλυση και σαν ταξινομητής επιλέγεται αυτός της μέγιστης πιθανοφάνειας σε ετερογενές αστικό περιβάλλον. Επίσης, με τις υψηλές χωρικές αναλύσεις, οι παραδοσιακές pixel-based τεχνικές ταξινόμησης ενδέχεται να μην είναι τόσο πετυχημένες όσο η προηγούμενη γενιά των αισθητήρων. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην υψηλή συχνότητα των μεταβατικών κατηγοριών, στην οριζόντια παραμόρφωση, στην εσωτερική στατιστική διακύμανση της κατηγορίας. (Zhou, 2006; Im et al., 2008) Με την αυξανόμενη χωρική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση στις πρόσφατες τηλεπισκοπικές εικόνες και την αυξανόμενη χρήση τους στις αστικές μελέτες, οι αστικές περιοχές θα είναι αναγνωρίσιμες ως φασματικές οντότητες που έχουν γεωμετρικό σχήμα και υφή. (Addink et al., 2007).

### 2.6.3 Τηλεπισκόπηση αστικών αδιαπέραστων επιφανειών

Διάφορες τηλεπισκοπικές μελέτες έχουν διεξαχθεί προκειμένου να καταγραφούν και να αξιολογηθούν οι επιβλαβείς επιπτώσεις την αδιαπέραστων επιφανειών στο αστικό περιβάλλον ανά τον κόσμο (Yang et al., 2003). Παρά το γεγονός ότι πολλά πολεοδομικά αστικά περιβαλλοντικά μέτρα που χρησιμοποιούνται μπορούν να μετρηθούν-αξιολογηθούν επιτόπου, κάποια είναι περισσότερο κατάλληλα για τηλεπισκόπηση, εν μέρει επειδή στην τηλεπισκόπηση μετράται η ανακλώμενη ακτινοβολία, η οποία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανακλαστικότητα των αστικών επιφανειακών χαρακτηριστικών. (Yu & Ng, 2007). Οι αδιαπέραστες επιφάνειες τόσο σημαντικές στον τομέα του περιβαλλοντικού σχεδιασμού που έχουν χαρακτηριστεί ως ένα από τα βασικά συστατικά της αμερικάνικης Εθνικής βάσης δεδομένων κάλυψης γής (National Land Cover Database) (Yang et al., 2003; Smith et al, 2010). Η ανίχνευση των αστικών αδιαπέραστων επιφανειών είναι δύσκολη λόγω των έντονων φασματικών και χρονικών μεταβολών στην ανακλαστικότητα των αστικών περιοχών. (Yu & Ng, 2007). Σε γενικές γραμμές, οι αστικές περιοχές στο κέντρο της πόλης είναι αρκετά διαφορετικές από τις αντίστοιχες των προαστίων ή των αγροτικών περιοχών σε επίπεδο πυκνότητας, με τον υψηλότερο κατακερματισμό να συναντάται στις αστικές παρυφές και στις νεόδμητες αστικές υπό-ενότητες (Yu & Ng, 2007).

Η ακριβής και αυτοματοποιημένη χαρτογράφηση των αστικών αδιαπέραστων επιφανειών είναι ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που δεν έχουν αντιμετωπιστεί επαρκώς με τη χρήση τηλεπισκόπησης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες από τις προηγούμενες μελέτες είχαν χρησιμοποιήσει χαμηλής μέχρι μεσαίας χωρικής ανάλυσης αισθητήρες όπως ο πολυφασματικός σαρωτής Landsat (MSS), ο Landsat Thematic Mapper (T.M) και Système Pour l'Observation de la Terre (SPOT) για την ανάδειξη των αδιαπέραστων επιφανειών. (Blaschke & Strobl, 2001, Yuan & Bauer, 2006, Hu & Weng, 2009). Αρκετές μελέτες προς τα τέλη της δεκαετίας του 2000 έχουν επικεντρωθεί στην χρησιμοποίηση αισθητήρων υψηλής χωρικής ανάλυσης όπως IKONOS, QuickBird και αερομεταφερόμενα υπερ-φασματικά δεδομένα. (Blaschke & Strobl, 2001, van der Linden & Hostert, 2009, Weng et al., 2009). Άλλοι έχουν μελετήσει τις αδιαπέραστες επιφάνειες σε επίπεδο sub-pixel χρησιμοποιώντας φασματική ανάλυση μείγματος, δένδρα αποφάσεων, τεχνητά νευρωνικά δίκτυα με αυτό-οργανωνόμενο χάρτη ή multi-layer perception network (Hay et al, 2005; Yuan & Bauer, 2006; Hu & Weng, 2009; Weng et al., 2009).

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των υπαρχόντων μελετών για τις αδιαπέραστες επιφάνειες αποτελεί η εξάρτησή τους σε ένα μόνο είδος δεδομένων ή σε μια περιορισμένη περιοχή μελέτης. Δεν υπάρχει επίσης σαφής σύγκλιση απόψεων στις μελέτες σχετικά με το πώς ακριβώς ορίζονται οι αδιαπέραστες επιφάνειες και από τι συνίστανται (Slonecker & Tilley, 2004, Weng, 2009). Επηρεάζονται έτσι οι εκτιμήσεις των ταξινομήσεων και δυσχεραίνεται η απευθείας σύγκριση των διαφορετικών μελετών.

Για τις αστικές περιοχές, η ακρίβεια της ταξινόμησης στις προαναφερθέντες μελέτες αποδείχθηκε ότι δεν είναι σοβαρός περιορισμός. Σε γενικές γραμμές οι εκτιμήσεις ακρίβειας ήταν λογικές, ξεπερνώντας ένα κατώφλι της τάξης του 70%. Η χαρτογράφηση των αδιαπέραστων επιφανειών χρειάζεται υψηλή χωρική ανάλυση καθώς είναι σημαντικότερη η διάκριση και η ταξινόμηση σε σύγκριση με υψηλότερη φασματική ή ραδιομετρική ανάλυση (Jensen et al, 2005). Η ανάγκη της υψηλής χωρικής ανάλυσης μεταφράζεται στην εξέταση της υψής και του γενικού πλαισίου (context) τα οποία παρέχονται από μεθόδους όπως η φασματική ανάλυση μίγματος, αντικειμενοστραφής και άλλες μεθόδους βασιζόμενες στην υφή. (Jensen et al, 2005).

Επίσης, προκειμένου να αποκαλυφθεί η πολυπλοκότητα των μεταβολών του τοπίου λόγω της αύξησης των αδιαπέραστων επιφανειών, χρειάζονται διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα για τον εντοπισμό της εκκίνησης καθώς και

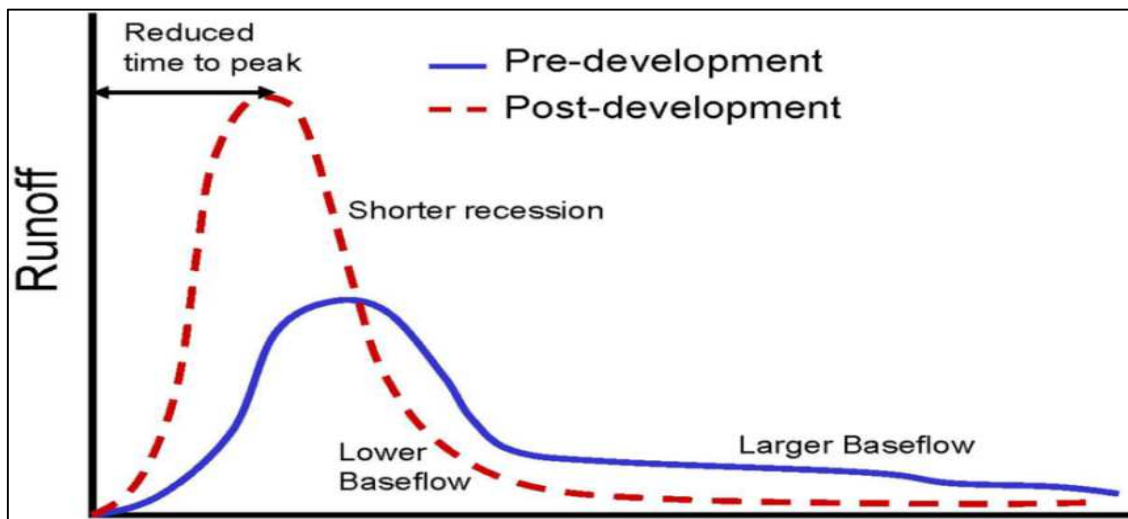


μεταγενέστερων χρονικών μεταβολών του τοπίου. (Hay et al., 2001). Μια τηλεπισκοπική μελέτη καταδεικνύει επίσης, πως μια sub-pixel εκτίμηση των αδιαπέραστων επιφανειών χρησιμοποιώντας μεσαίας ανάλυσης εικόνες μπορεί να θεωρηθεί ως μια χρήσιμη εναλλακτική λύση σε σχέση με μια ακριβή χαρτογράφηση υψηλής ανάλυσης για την μοντελοποίηση των βροχοπτώσεων και απορροής σε μια τυπική λεκάνη απορροής. (Chormanski et al, 2008) Οι αστικές αδιαπέραστες επιφάνειες επηρεάζονται επίσης από δυο μοναδικά τηλεπισκοπικά φαινόμενα τα οποία επηρεάζουν άμεσα την ακρίβεια: τις σκιές και τα κρυμμένα αντικείμενα λόγω της off-nadir look angle του τηλεπισκοπικού αισθητήρα. (van der Linden, Hostert, 2009). Η αντικειμενοστραφής ανάλυση βασίζεται σε μια λογική ομαδοποίηση των pixel που είναι πιο αντιπροσωπευτική των πραγματικών συνθηκών στη γη. (Kampouraki et al, 2007).

### 2.6.4 Σημασία στην μοντελοποίηση της απορροής και του υδάτινου ισοζυγίου

Σε γενικές γραμμές, οι πολεοδόμοι χρησιμοποιούν τη στρατηγική της χρήσης λεκανών απορροής (συνήθως δασών) κοντά σε πόλεις για τον έλεγχο των πλημμυρών, ενώ καταγράφουν τις παρατηρήσεις πεδίου για να επιβλέπουν τις μεταβλητές του νερού στα σημαντικά υδάτινα σώματα. Κατ' ελάχιστο, καταγράφουν την εκροή, την ποιότητα του νερού, και την έμμεση διάβρωση του εδάφους όπως υποδεικνύεται από την θολερότητα του νερού και κατ' επέκταση την μεταφορά ιζήματος. Αυτές οι λεκάνες απορροής ή τα δάση κατακρατούν το πλεόνασμα απορροής και του επιτρέπουν να απορροφηθεί καθυστερώντας έτσι την μεταφορά του στα υδάτινα σώματα. Τα δάση αυτά αυξάνουν επίσης την συνολική εξατμισοδιαπνοή και μετριάζουν τις πλημύρες. Τεχνικές τηλεπισκόπησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέρος μιας ολοκληρωμένης μελέτης για να προσδιοριστεί μια ευρείας κλίμακας αναγνώριση των συνθηκών του εδάφους και των δέντρων, που παρέχουν πληροφορίες για την μοντελοποίηση της δημιουργίας της απορροής και τον έλεγχο της διαχείρισης των λεκανών απορροής. (Onda et al., 2010).

Η υδρολογική μοντελοποίηση της αστικής απορροής συχνά επηρεάζεται αρνητικά από την έλλειψη επαρκούς πληροφορίας για της συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής (Montzka et al, 2008) επειδή περιλαμβάνει παραδοσιακή αποτύπωση η οποία είναι δαπανηρή λόγω του εργατικού κόστους και βασίζεται στην κρίση εμπειρογνομόνων σχετικά με την μέση αδιαπεραστότητα διάφορων τύπων της αστικής γής. (Chormanski et al., 2008)



Εικόνα 2-21: Μεταβολές στον υδρολογικό κύκλο καθώς αυξάνεται η κάλυψη με αδιαπέραστες επιφάνειες  
(Πηγή: [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_MEDIA/nrcs143\\_024824.jpg](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_MEDIA/nrcs143_024824.jpg))

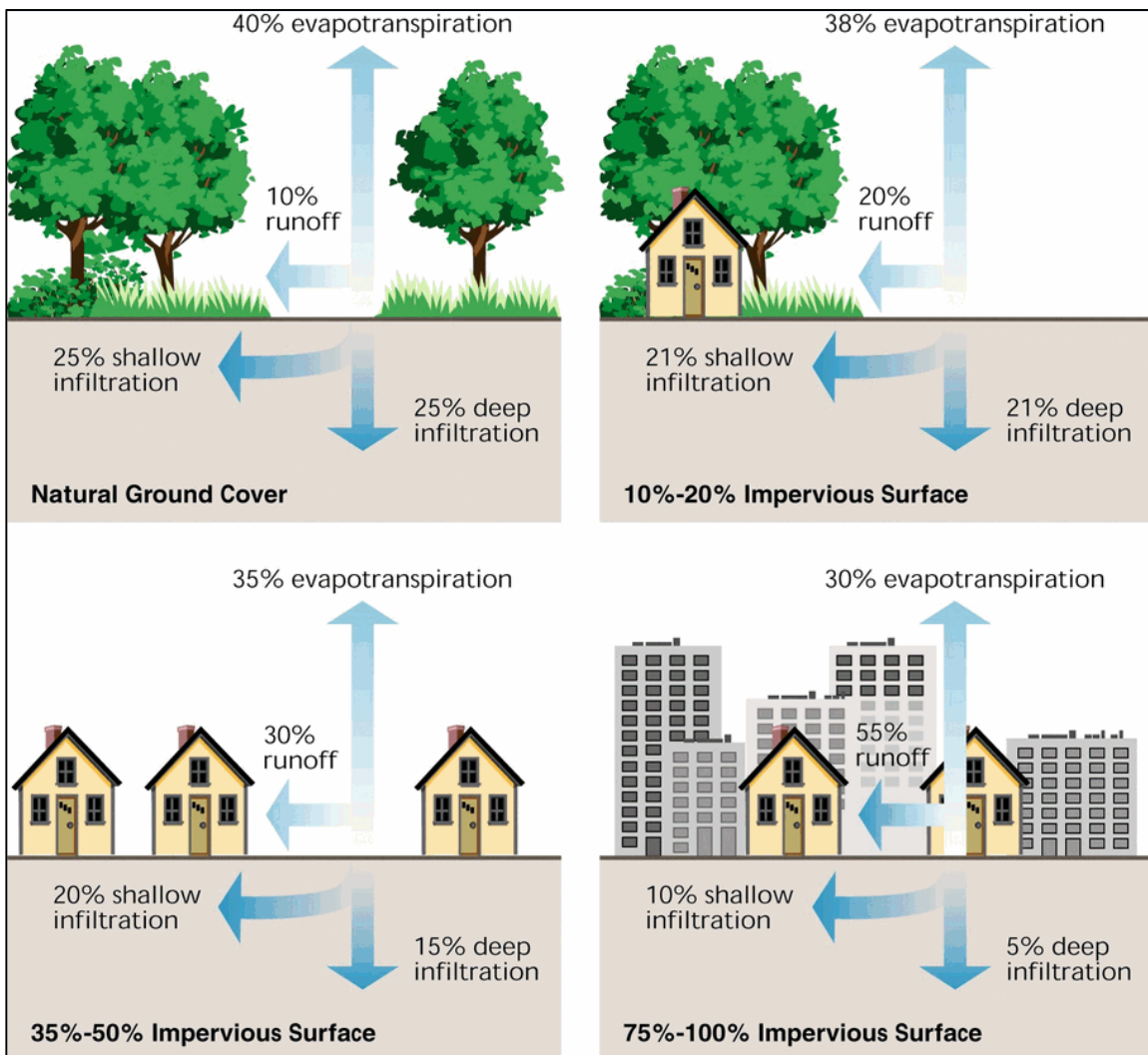
Η μοντελοποίηση της απορροής και η κατανόηση της υδραυλικής της ροής της απορροής στα ποτάμια είναι σημαντική. Καθώς αυξάνεται ο ανθρώπινος πληθυσμός στις αστικές περιοχές, αυξάνεται και η χρησιμοποίηση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων. Η παρακολούθηση της κατανάλωσης, της ποιότητας και της εναπόθεσης του νερού όπως ορίζουν οι προδιαγραφές της διαχείρισης υδατικών πόρων έχουν εξελιχθεί σε σημαντικό ζήτημα, επηρεαζόμενη από το γενικότερο πλαίσιο της αυξανόμενης κατασπατάλησης υδάτων. Η πλήρης υδρολογική μοντελοποίηση είναι χρήσιμη για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων των μοντέλων ανάπτυξης του νερού, την εκτίμηση των αδιαπέραστων περιοχών την συμπλήρωση διαφόρων παραμέτρων σε ποικίλα υδρολογικά μοντέλα, και τον σχεδιασμό των υδατικών πόρων. (Jat et al, 2008)

Η τηλεπισκόπηση έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για υδρολογικές μελέτες και τη διαχείριση των υδατικών πόρων. (Matsushita & Fukushima, 2009) Έχει επίσης αναγνωριστεί ως χρήσιμη για την παρακολούθηση των αλλαγών στην υδρολογία και για την εκτίμηση των πιθανοτήτων πλημμύρας σε μια λεκάνη απορροής σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. (Chen et al., 2008) Στην συγκεκριμένη μελέτη, οι συγγραφείς προσομοίωσαν δυο βροχοπτώσεις από τις παρατηρήσεις μιας συλλογής μετεωρολογικών σταθμών βάσης του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού. (Chen et al., 2008)

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

Η τηλεπισκόπηση μπορεί συχνά να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια ακραίων βροχοπτώσεων με τη λήψη δειγμάτων της ποιότητας νερού και σχηματίζοντας εκτιμήσεις της μολυσμένης απορροής ή της συνολικής έκτασης της πλημύρας μέσα σε ένα καθορισμένο

χρονικό εύρος. (Brodie et al, 2010) Υπάρχει η ανάγκη συχνής συλλογής δειγμάτων νερού για να χρησιμεύσει ως μια βάση μοντέλο σε φυσιολογικές συνθήκες χωρίς πλημμύρα.



**Εικόνα 2-22: Σχηματική απεικόνιση του αποτελέσματος της αστικοποίησης στην υδρολογία**

(Πηγή: <http://www.mdpi.com/2073-4441/6/4/1069/htm>)

Τεχνικές τηλεπισκόπησης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη πλημμυρικής επικινδυνότητας μιας νεόδμητης αστικής περιοχής κατασκευάζοντας έναν κατανοητό δείκτη ευαισθησίας-ευπάθειας. Η πρόβλεψη περιλαμβάνει τον σχηματισμό ενός ολοκληρωμένου μοντέλου το οποίο λαμβάνει

υπόψη την μέγιστη απορροή/εκροή, παρακολουθεί την ποιότητα του νερού, εκτιμά την τρέχουσα έκταση των αδιαπέραστων επιφανειών, και εκτιμά την εξατμισοδιαπνοή στις αστικές περιοχές. (Matsushita & Fukushima, 2009)

Ένα τέτοιο ολοκληρωμένο μοντέλο μπορεί επίσης να ποσοτικοποιήσει την ευαισθησία βασισμένο στο ποσοστό των αδιαπέραστων επιφανειών στις αστικές περιοχές. Σε περίπτωση υπέρβασης συγκεκριμένων ποσοστών έκτασης αδιαπέραστων περιοχών μπορεί να προβλεφθεί εάν υπάρχει αυξημένη ευαισθησία σε πλημύρα. (Goldshleger et al, 2009) Ο συνολικός όγκος και η ένταση της εκροής σε μια λεκάνη απορροής καθορίζεται κυρίως από την παρουσία αδιαπέραστων επιφανειών. (Chormanski et al., 2008) Οι Chormanski et al., (2008) εξέτασαν τον αντίκτυπο συμβατικών και τηλεπισκοπικών μεθόδων για την εκτίμηση της κάλυψης των αδιαπέραστων επιφανειών στην πρόβλεψη των αιχμών εκροής. Στην μελέτη τους διαπίστωσαν πως η παρουσία αδιαπέραστων επιφανειών παράγει σημαντικά υψηλότερες εκτιμήσεις της αιχμής της απορροής με την τηλεπισκοπική μέθοδο σε σύγκριση με τις συμβατικές προσεγγίσεις, που υποτίμησαν την αιχμή της απορροής.

### 2.6.5 Επικρατούσες τάσεις και μέθοδοι στην τηλεπισκόπηση αδιαπέραστων επιφανειών

Η υπάρχουσα βιβλιογραφία στην τηλεπισκόπηση θεωρεί μια επιφάνεια αδιαπέραστη, ως είδος ενός επιφανειακού υλικού, κάλυψης εδάφους ή χρήση γης. Η απόκλιση στην εννοιολογική άποψη έστρεψε την έρευνα σε τρεις βασικές κατευθύνσεις. Διάφοροι αλγόριθμοι που βασίζονται στο επίπεδο των pixel εφαρμόζονται κυρίως σε μεσαίας ανάλυσης και σπανιότερα σε υψηλής ανάλυσης εικόνες, με σκοπό την εκτίμηση και χαρτογράφηση των αδιαπέραστων επιφανειών ως είδος επιφανειακού υλικού. Οι βασιζόμενοι σε pixel αλγόριθμοι χρησιμοποιήθηκαν για όλα είδη των εικόνων με διάφορες χωρικές αναλύσεις για την ταξινόμηση των αδιαπέραστων επιφανειών ως είδος εδαφοκάλυψης ή χρήσης γης. Μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών εφαρμόστηκαν κυρίως σε εικόνες υψηλής ανάλυσης, αεροφωτογραφίες και δεδομένα LIDAR , με σκοπό την ανίχνευση δρόμων και κτηρίων, υποδηλώνοντας έμμεσα τις αδιαπέραστες επιφάνειες σαν ειδικό τύπο εδαφοκάλυψης/χρήσης γης. Οι ερευνητικές αυτές κατευθύνσεις ενίοτε αναμιγνύονται σε μια μελέτη, άλλα αποτελούν σαφώς διαφορετικές ερευνητικές «παραδόσεις» και έχουν προσεγγιστεί από διαφορετικές πλευρές. Ενώ η εξαγωγή χαρακτηριστικών αποτελεί αγαπημένο αντικείμενο έρευνας στην Ευρώπη και σε μικρότερο βαθμό στην Ασία, στην

Βόρεια Αμερική έχει δοθεί περισσότερο έμφαση στην χαρτογράφηση των αδιαπέραστων επιφανειών ως έναν ειδικό τύπο κάλυψης/χρήσης γης.

Πολλές ερευνητικές προσπάθειες έχουν προσανατολιστεί προς τη χωρική ετερογένεια των αστικών τοπίων, την ιδανική χωρική ανάλυση για τις αστικές περιοχές χαρτογράφησης, καθώς και προς τους περιορισμούς των υφιστάμενων τηλεπισκοπικών αισθητήρων. Από την άλλη πλευρά, λιγότερες ερευνητικές προσπάθειες έχουν αφιερωθεί στην φασματική ποικιλομορφία των αδιαπέραστων επιφανειών και των φασματικών απαιτήσεων για την τηλεπισκόπησή τους. Υπερφασματικές απεικονίσεις έχουν εφαρμοστεί στις μελέτες για την βλάστηση και το νερό αλλά ελάχιστα στις αδιαπέραστες επιφάνειες. Παρομοίως, οι γεωμετρικές ιδιότητες (ιδιαίτερα η τρισδιάστατη υπόσταση) του αστικού περιβάλλοντος έχουν τύχει μικρής προσοχής από την επιστημονική κοινότητα. Οι ψηφιακές ορθοφωτογραφίες έχουν γίνει ευρέως διαθέσιμες σε εθνικό επίπεδο, και είναι κατάλληλες για την παρακολούθηση και αξιολόγηση των συνθηκών της επιφάνειας, αλλά τα στερεο-ζεύγη των φωτογραφιών αποκτήθηκαν μόνο για περιορισμένες περιοχές, κυρίως για μετρήσεις, όχι για την χαρτογράφηση των αστικών αδιαπέραστων επιφανειών. Η προοπτική των δεδομένων LIDAR έχει στρέψει κάποιο ενδιαφέρον στην εξαγωγή των κτηρίων αλλά σε μικρότερο βαθμό στους δρόμους. Η μικρότερη προσοχή έχει δοθεί στην χρονική ανάλυση, την αλλαγή και εξέλιξη των αδιαπέραστων επιφανειών σε βάθος χρόνου, και τις χρονικές απαιτήσεις για την αστική χαρτογράφηση. Επομένως, υπάρχει μεγάλη ανάγκη για κάλυψη των χρονικών απαιτήσεων στην αστική τηλεπισκόπηση και πως σχετίζεται με την φασματική και χωρική ανάλυση, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων του αστικού περιβάλλοντος. Τα ερευνητικά αυτά χαρακτηριστικά οφείλουν να συνθεθούν με τις ικανότητες των διαφόρων απομακρυσμένων αισθητήρων.

Η πλειονότητα των προηγούμενων μελετών για τις αδιαπέραστες επιφάνειες έχει χρησιμοποιήσει εικόνες μεσαίας χωρικής ανάλυσης. Τα μοντέλα, οι μέθοδοι και οι αλγόριθμοι ανάλυσης εικόνας σε αστική τηλεπισκόπηση έχουν προσαρμοστεί σε μεγάλο βαθμό προς της εικόνες παρόμοιας ανάλυσης. Η έλευση υψηλής χωρικής ανάλυσης δορυφορικών εικόνων, διαστημικών υπερφασματικών εικόνων και δεδομένων LIDAR, έδωσε μια άνευ προηγουμένου ευκαιρία στην τηλεπισκόπηση αστικών περιοχών, και ταυτόχρονα ανταγωνίζεται τις παραδοσιακές μεθόδους τηλεπισκόπησης, τα μοντέλα και τους αλγόριθμους επεξεργασίας εικόνων. Η προοπτική της αξιοποίησης της ευκαιρίας για συνδυασμό της συνεχώς αυξανόμενης υπολογιστικής ισχύος, των πλουσιότερων και ικανότερων ψηφιακών δεδομένων, και των προηγμένων αλγορίθμων έχει

## Κεφάλαιο 2 | Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

οδηγήσει τον τομέα της τηλεπισκόπησης αστικών περιοχών στα σύνορα ενός νέου επιστημονικού ορίζοντα. Οι ακόλουθες αναδυόμενες τάσεις στις τεχνικές επεξεργασίας εικόνας και μεθόδους ανάλυσης εικόνας θα συμβάλουν στην πρόοδο της τηλεπισκόπησης των αδιαπέραστων επιφανειών στο μέλλον. Οι τάσεις αυτές περιλαμβάνουν:

- attribute analysis και εξαγωγή πληροφορίας από πιο ισχυρά μοντέλα ANN (artificial neural network) και έμπειρα συστήματα βασιζόμενα σε βάσεις γνώσης.
- Αντικειμενοστραφής ανάλυση.
- Βελτιωμένη αστική χαρτογράφηση μέσω δεδομένων και συγχώνευσης δεδομένων εικόνων (image fusion) διαφορετικών αισθητήρων, περιοχών μήκους κύματος, χωρικής, φασματικής και χρονικής ανάλυσης.

Επιπρόσθετα, παρατηρείται αυξανόμενος αριθμός μελετών που εξερευνούν την συνδυαστική χρήση τοπικών, χωρικών πληροφοριών και δεδομένων υψής, μαζί με τα φασματικά χαρακτηριστικά των αδιαπέραστων επιφανειών.

Data spatial resolution	Sensor type	Techniques used	References
Low (>100 m)	MODIS NDVI AVHRR	Regression, complement of vegetation fraction, Complement of vegetation fraction	Lu et al., 2008; Boegh et al., 2009 Carlson & Arthur, 2000
Medium (10–100 m)	DMS-OLS	Regression	Elvidge et al., 2007; Lu et al., 2008
	Landsat MSS	Complement of vegetation fraction, LSMA/rule-based classification, expert system	Gillies et al., 2003; Powell et al., 2008; Elmore & Guinn, 2010
	Landsat TM	SubPixel classifier (Erdas Imagine), regression, complement of vegetation fraction, LSMA	Civco et al., 2002; Carlson, 2004; Bauer et al., 2007; Yuan et al., 2008
	Landsat ETM+	SubPixel classifier (Erdas Imagine), CART, LSMA, ANN, MESMA	Civco et al., 2002; Yang et al., 2003; Wu & Murray, 2003; Lu & Weng, 2006; Lee & Lathrop, 2006; Powell et al., 2007
High (<10 m)	ASTER	LSMA, ANN	Weng & Hu, 2008; Hu & Weng, 2009; Weng et al., 2009
	SPOT	CART, object-based	Yang et al., 2009; Tan et al., 2009
	IKONOS	PCA/morphological operators, ANN, decision tree, LSMA, MLC	Cablak & Minor, 2003; Lu & Weng, 2009; Mohapatra and Wu, 2007
Airborne Data	QuickBird	Multiple agent segmentation and classification, object-based, hybrid classification	Lu et al., in press; Yuan & Bauer, 2006; Zhou and Wang, 2008
	HyMap	SVM	Linden and Hostert, 2009
	Digitized color orthophoto-graph 1:50,000 aerial photograph	MLC, spectral clustering, expert systems Manual interpretation	Hodgson et al., 2003 Phinn et al., 2002

Note: PCA – principal component analysis; ANN – artificial neural network; LSMA – linear spectral mixture analysis; MLC – maximum likelihood classifier; CART – classification and regression tree; MESMA – multiple endmember spectral mixture analysis; SVM – support vector machine.

### Εικόνα 2-23: Επιλεγμένη βιβλιογραφία στην τηλεπισκόπηση αστικών αδιαπέραστων επιφανειών

(Πηγή: Weng, Q., Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends, Remote Sensing of Environment, 2011)

## 3. Μεθοδολογία

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται λόγος περί των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη του στόχου, δηλαδή την αναγνώριση των αδιαπέραστων επιφανειών στις τρεις διαφορετικές περιοχές μελέτης.

### 3.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 1

Η περιοχή Μελέτης 1 βρίσκεται στην περιοχή του Παλαιού Φαλήρου. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διαθέσιμα δεδομένα, και στην συνέχεια ακολουθεί η φωτοερμηνεία, οι κατατμήσεις και οι ταξινομήσεις που πραγματοποιήθηκαν.

#### 3.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Ο Δήμος Παλαιού Φαλήρου ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα ΝΟΤΙΟΥ ΤΟΜΕΑ ΑΘΗΝΩΝ που βρίσκεται στην Περιφέρεια Αττικής, σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας όπως διαμορφώθηκε με το πρόγραμμα “Καλλικράτης”.

Η έκτασή του είναι 4,6 τετραγωνικά χιλιόμετρα, ενώ το μήκος της παραλίας του στο Σαρωνικό είναι περίπου 4 χλμ. Απέχει περίπου 9 χλμ από το κέντρο της Αθήνας (συνδέεται με τη Λεωφόρο Συγγρού), 13 χιλιόμετρα από το λιμάνι του Πειραιά (συνδέεται με τη Λεωφόρο Ποσειδώνος) και περίπου 40 χιλιόμετρα από το Διεθνές Αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος. Το Παλαιό Φάληρο βρίσκεται στη νότια πλευρά του νομού Αττικής και συνορεύει με τους δήμους Καλλιθέας, Νέας Σμύρνης, Αγίου Δημητρίου και Αλίμου.

Η επίσημη ονομασία είναι “το Παλαιόν Φάληρον”. Έδρα του δήμου είναι το Παλαιό Φάληρο και ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα Στερεάς Ελλάδας. Κατά τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας με το σχέδιο “Καποδίστριας”, μέχρι το 2010, το Παλαιό Φάληρο ανήκε στο Τοπικό Διαμέρισμα Παλαιού Φαλήρου, του πρώην Δήμου ΠΑΛΑΙΟΥ ΦΑΛΗΡΟΥ του Νομού ΑΤΤΙΚΗΣ. Το Παλαιό Φάληρο έχει υψόμετρο 20 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας, σε γεωγραφικό πλάτος 37,926422877° και γεωγραφικό μήκος 23,6965509958°

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο εσωτερικό του δήμου και αποτελείται από 12 οικοδομικά τετράγωνα. Χαρακτηρίζεται από πυκνή δόμηση, συναντώνται κυρίως πολυκατοικίες και οι εστίες πρασίνου είναι περιορισμένες.



*Εικόνα 3-1: Γενική εποπτεία της Περιοχής Μελέτης 1  
(Πηγή: Google maps)*

### 3.1.2 Δεδομένα

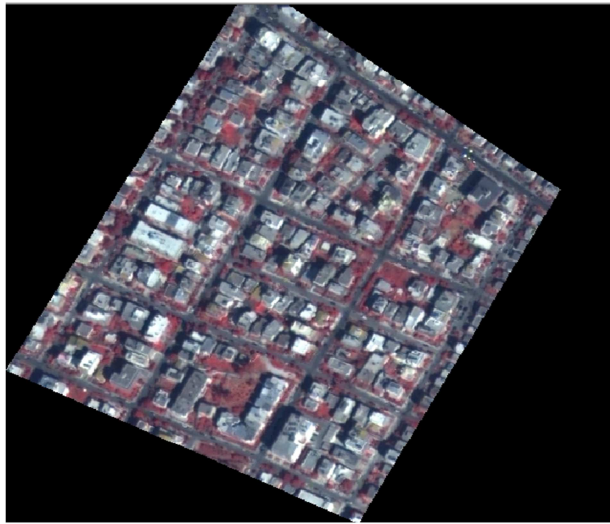
Τα διαθέσιμα δεδομένα τα οποία εισήχθησαν στο λογισμικό και χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση περιλαμβάνουν:

- Μια δορυφορική απεικόνιση IKONOS, τεσσάρων φασματικών καναλιών (RED, GREEN, BLUE, NIR) και διαστάσεων 482 x 525 εικονοστοιχείων. Η χωρική ανάλυση των τεσσάρων καναλιών είναι 1 μέτρο και η ραδιομετρική 16 bit. Η εικόνα είναι γεωμετρικά διορθωμένη ως προς το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87), με ελλειψοειδές αναφοράς GRS 80 και σύστημα προβολής την Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή UTM ζώνη 35.
- Κτηματολογικά διανυσματικά δεδομένα που εισήχθησαν σαν raster later και συμμετείχαν στην επεξεργασία με ένα κανάλι. Διαστάσεις 581 x 633 εικονοστοιχεία, χωρική ανάλυση 0,83 μέτρα και ραδιομετρική 8 bit.



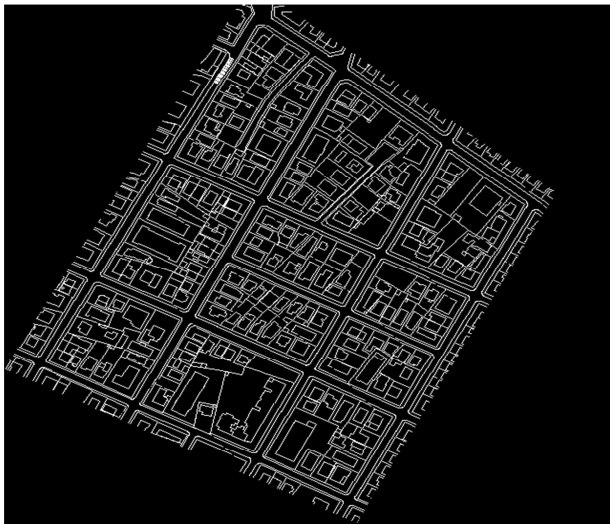
## Κεφάλαιο 3 | Μεθοδολογία και Υλοποίηση

- Υψομετρικά δεδομένα LIDAR ενός παλμού (top response), προϊόν αερομεταφερόμενου Σαρωτή Laser (Laserscanner), χωρικής ανάλυσης 1m, και ραδιομετρικής 32bit.



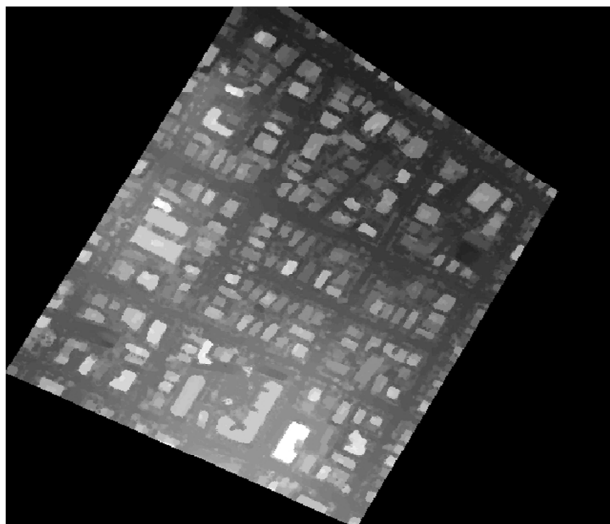
### Δεδομένα IKONOS:

- Διαστάσεις εικόνας: 482 x 525 pixel
- Ραδιομετρική ανάλυση: 16Bit
  - Χωρική ανάλυση: 1m
  - 4 κανάλια R-G-B-NIR



### Κτηματολογικά Δεδομένα:

- Διαστάσεις εικόνας: 581 x 633 pixel
- Ραδιομετρική ανάλυση: 8Bit
- Χωρική ανάλυση: 0.83m

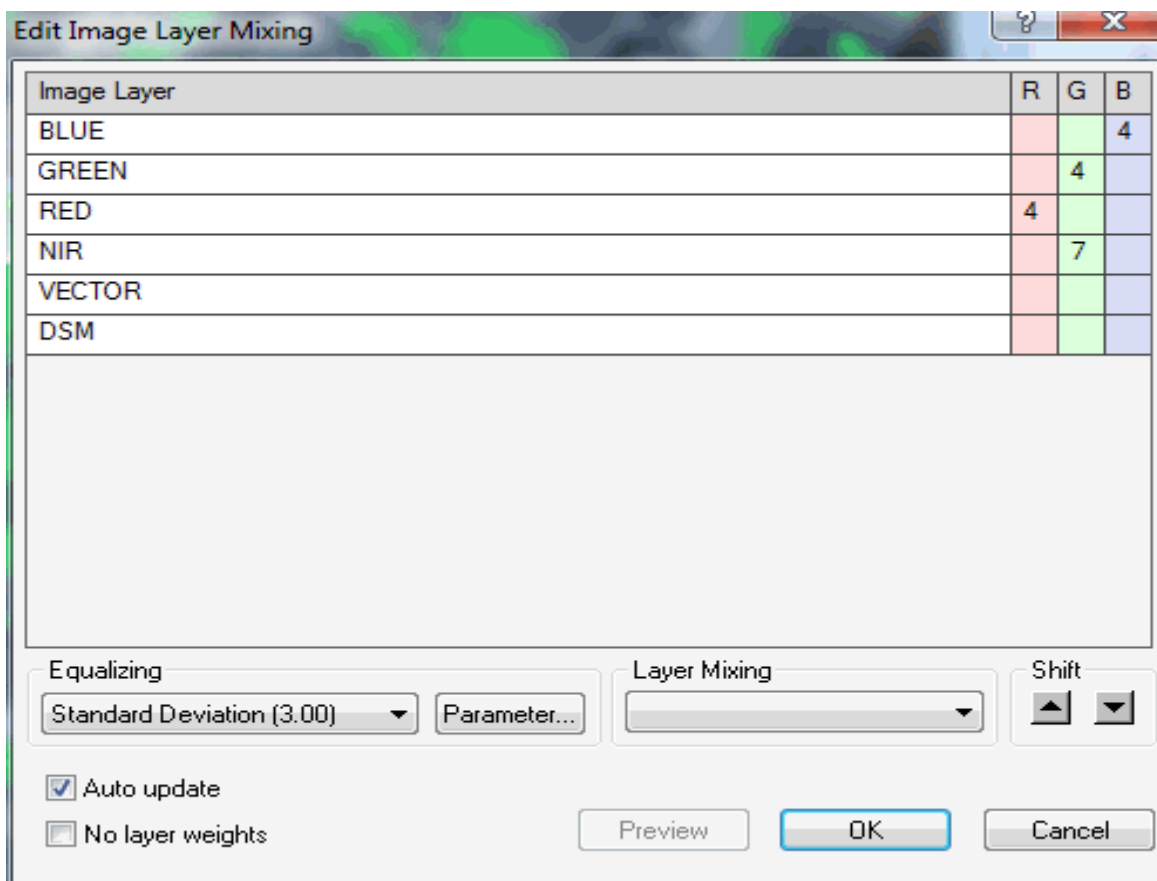


### Υψομετρικά Δεδομένα:

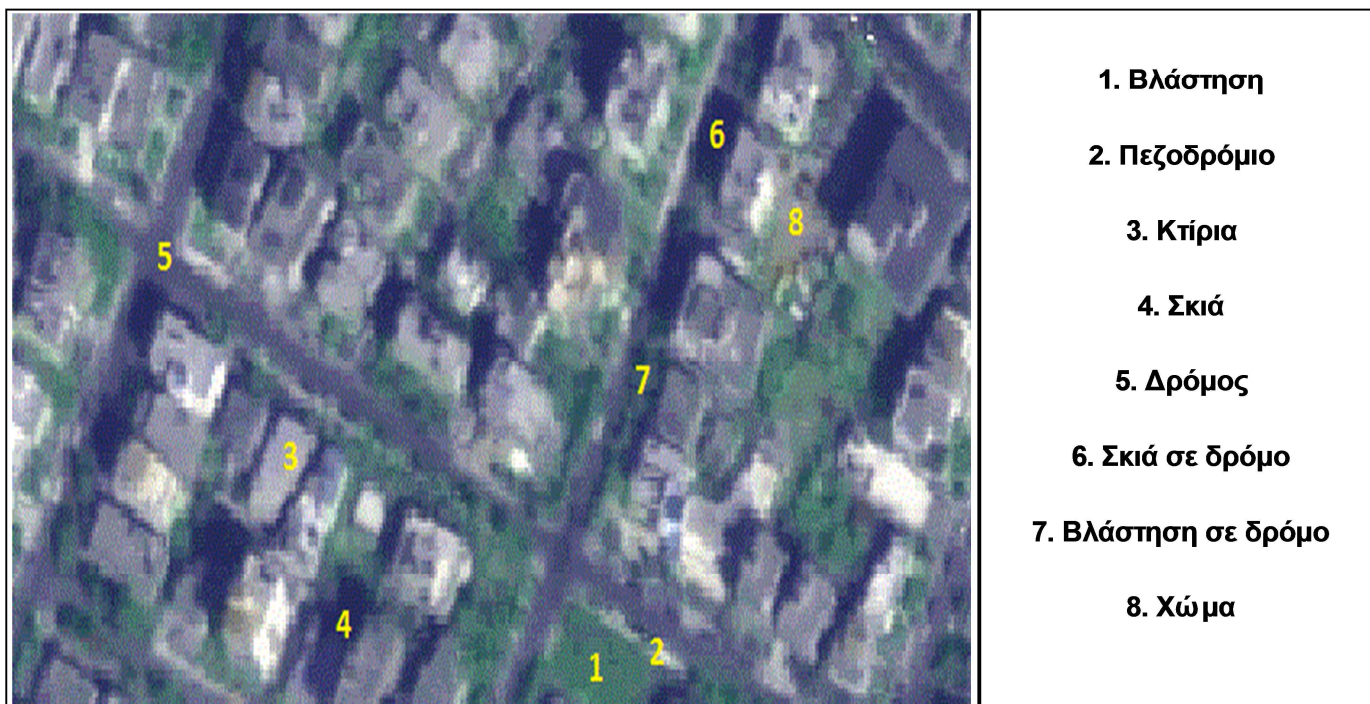
- Διαστάσεις εικόνας: 482 x 633 pixel
- Ραδιομετρική ανάλυση: 32Bit
- Χωρική ανάλυση: 1m

### 3.1.3 Φωτοερμηνεία

Στην δοθείσα εικόνα διακρίνονται διάφορες κατηγορίες. Σκοπός της φωτοερμηνευτικής διαδικασίας αποτελεί η ανίχνευση και ο εντοπισμός όλων των φασματικών και θεματικών κατηγοριών, κάτι στο οποίο διευκολύνει η υψηλή διακριτική ικανότητα της εικόνας. Το λογισμικό eCognition επιτρέπει τη δημιουργία έγχρωμων σύνθετων συνδυάζοντας μεταξύ τους τα διαθέσιμα κανάλια ακόμη και με διαφορετικά βάρη. Τα πλέον συνηθισμένα σύνθετα είναι το RGB 3-2-1 στο οποίο απεικονίζεται η γήινη επιφάνεια με φυσικά χρώματα και το RGB 4-3-2 που χρησιμεύει στην ανάδειξη της βλάστησης, καθώς απεικονίζεται με κόκκινο έντονο χρώμα. Στην προκειμένη επελέχθη ένα ψευδέχρωμο σύνθετο (NIR-RED-GREEN-BLUE) με βάρη 7-4-4-4 αντίστοιχα. Σαν ενίσχυση χρησιμοποιήθηκε η Standard Deviation με σκοπό να εντείνει περαιτέρω τις διαφορές μεταξύ των κατηγοριών. Το οπτικό αποτέλεσμα είναι να παρουσιάζεται η βλάστηση με έντονο πράσινο χρώμα λόγω της απεικόνισης του εγγύς υπέρυθρου καναλιού στο πράσινο. Ως γνωστόν, η βλάστηση παρουσιάζει υψηλή ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο και ο άμεσος οπτικός διαχωρισμός της από τα υπόλοιπα αντικείμενα βοηθάει στην εμφάνιση των χαρακτηριστικών τους. Τα υπόλοιπα αντικείμενα στην προκειμένη περίπτωση απεικονίζονται με το φυσικό τους χρώμα.



Εικόνα 3-2: Επιλογή συνδυασμού καναλιών στο eCognition



Πίνακας 3-1: Φωτοερμηνεία Περιοχής Π. Φαλήρου

### 3.1.4 Κατατμήσεις

Όπως έχει αναφερθεί, για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της κατάτμησης απαιτούνται αρκετές και επαναλαμβανόμενες δοκιμές έως ότου προκύψουν αντικείμενα που θα είναι αντιπροσωπευτικά των θεματικών κατηγοριών που θέλουμε να ανιχνεύσουμε και να ταξινομήσουμε κάθε φορά.

#### 3.1.4.1 Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης

Γίνεται αντιληπτό, πως η βέλτιστη κατάτμηση για την ταξινόμηση κάποιας θεματική κατηγορία δε θα είναι αντιπροσωπευτική για κάποια άλλη, για αυτό και σε όλες τις προσεγγίσεις από εδώ και πέρα δημιουργούνται διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης που να εξυπηρετούν την εκάστοτε στρατηγική για την επίτευξη του τελικού στόχου που είναι και η ανίχνευση και η εξαγωγή των αδιαπέραστων επιφανειών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούνται πέντε επίπεδα κατάτμησης τα οποία κατατμήθηκαν με τον αλγόριθμο κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης (multiresolution segmentation) που διαθέτει το λογισμικό. Το 5ο (Level 5) και ανώτερο επίπεδο δημιουργήθηκε για τον διαχωρισμό της περιοχής ενδιαφέροντος από το φόντο. Στο Level 4 σκοπός είναι η ανάδειξη των

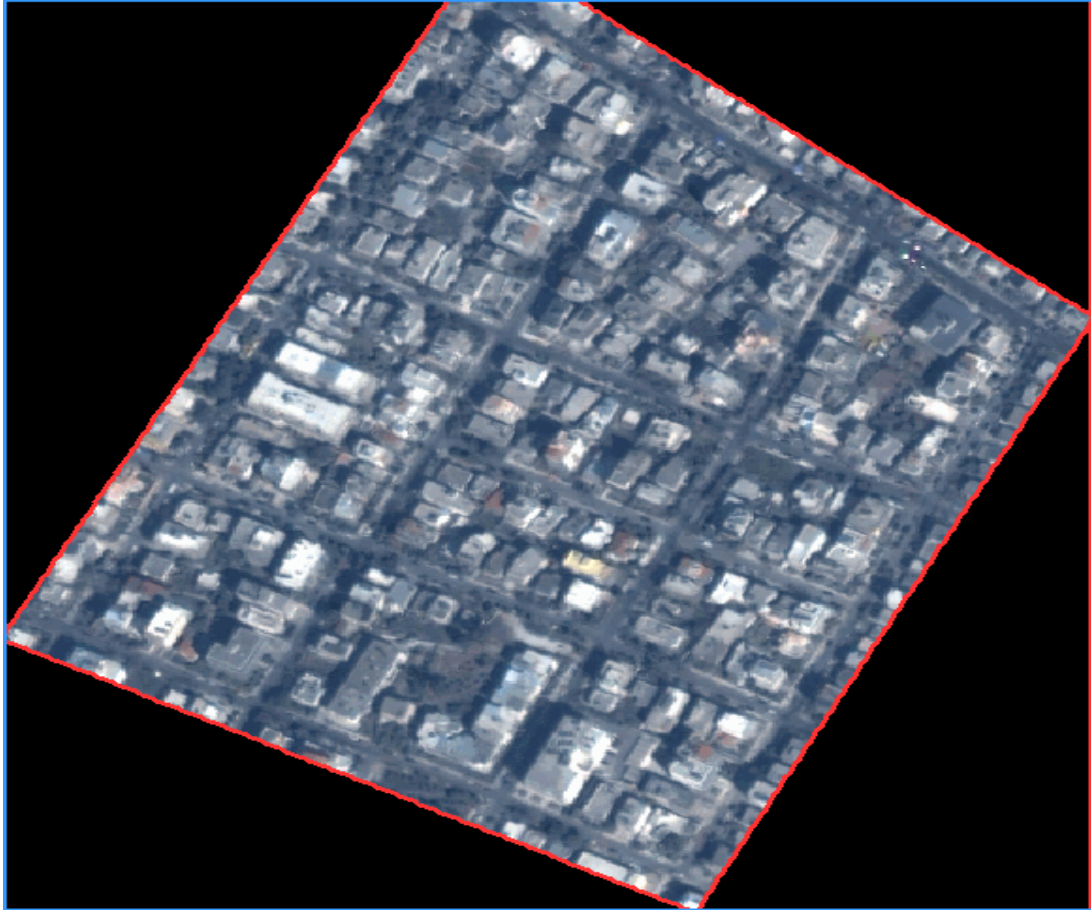
οικοδομικών τετραγώνων και ο διαχωρισμός τους από τους δρόμους, ενώ στο Level 2 η ανάδειξη των κτιρίων. Το επόμενο επίπεδο που δημιουργήθηκε είναι το Level 1 για την διάκριση της βλάστησης ενώ το τελικό επίπεδο στο οποίο προκύπτει συμπέρασμα για τα ποσοστά των αδιαπέραστων υλικών ανά οικοδομικό τετράγωνο είναι το Level 3.

Εν ολίγοις, η σειρά δημιουργίας των επιπέδων ήταν: **5→4→2→1→3**

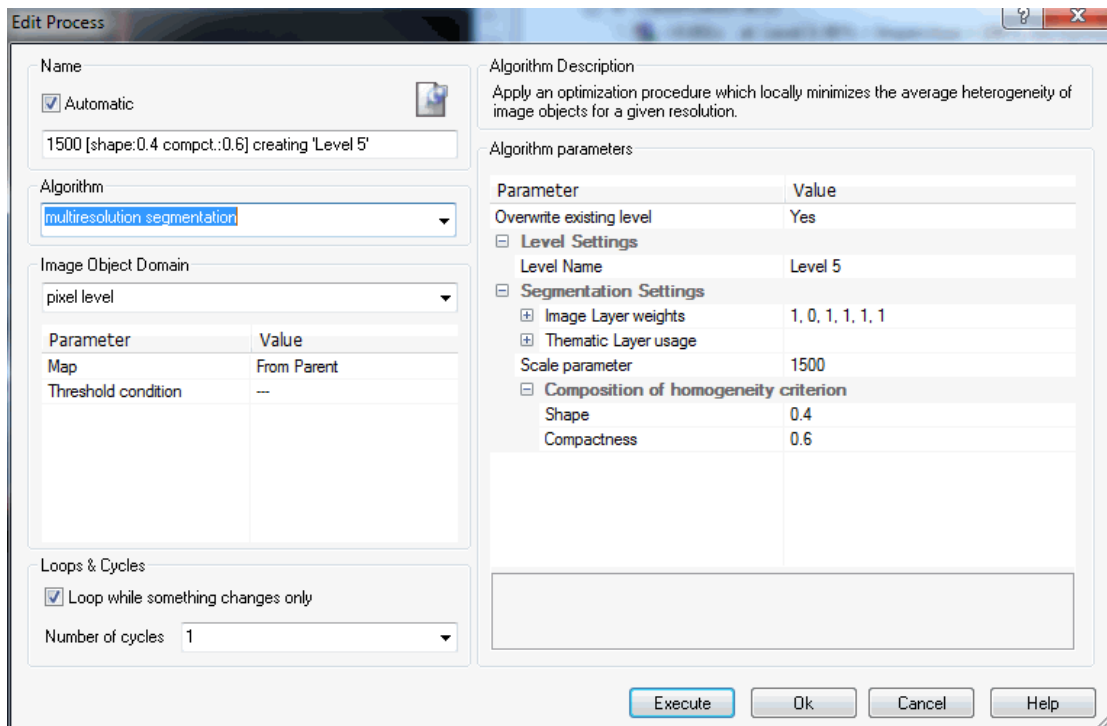
### 3.1.4.2 Κατάτμηση 5<sup>ου</sup> επιπέδου

Στο 1ο επίπεδο κατάτμησης, όπως αναφέρθηκε, ζητούμενο είναι ο διαχωρισμός της περιοχής ενδιαφέροντος από το φόντο. Πρόκειται για το πλέον χονδρόκοκκο επίπεδο καθώς δημιουργήθηκαν μόλις 4 αντικείμενα (objects).

Μετά από εκτεταμένες δοκιμές και πειραματισμούς (trial and error) όπως απαιτεί η επαναληπτική διαδικασία της κατάτμησης, δημιουργήθηκε αναγκαστικά πάνω από το επίπεδο των εικονοστοιχείων τα εικόνας, επελέχθη κλίμακα 1500, ώστε να προκύψουν αρκετά μεγάλα αντικείμενα, κριτήριο χρώματος 0.6 και σχήματος 0.4 που χωρίζεται σε 0.6 συμπαγές του σχήματος και 0.4 λείο της οριογραμμής. Δόθηκε ισοδύναμο βάρος (1) στα τέσσερα φασματικά κανάλια καθώς και στα διανυσματικά δεδομένα των οικοδομικών τετραγώνων ώστε να αξιοποιηθεί όλη η διαθέσιμη φασματική πληροφορία.



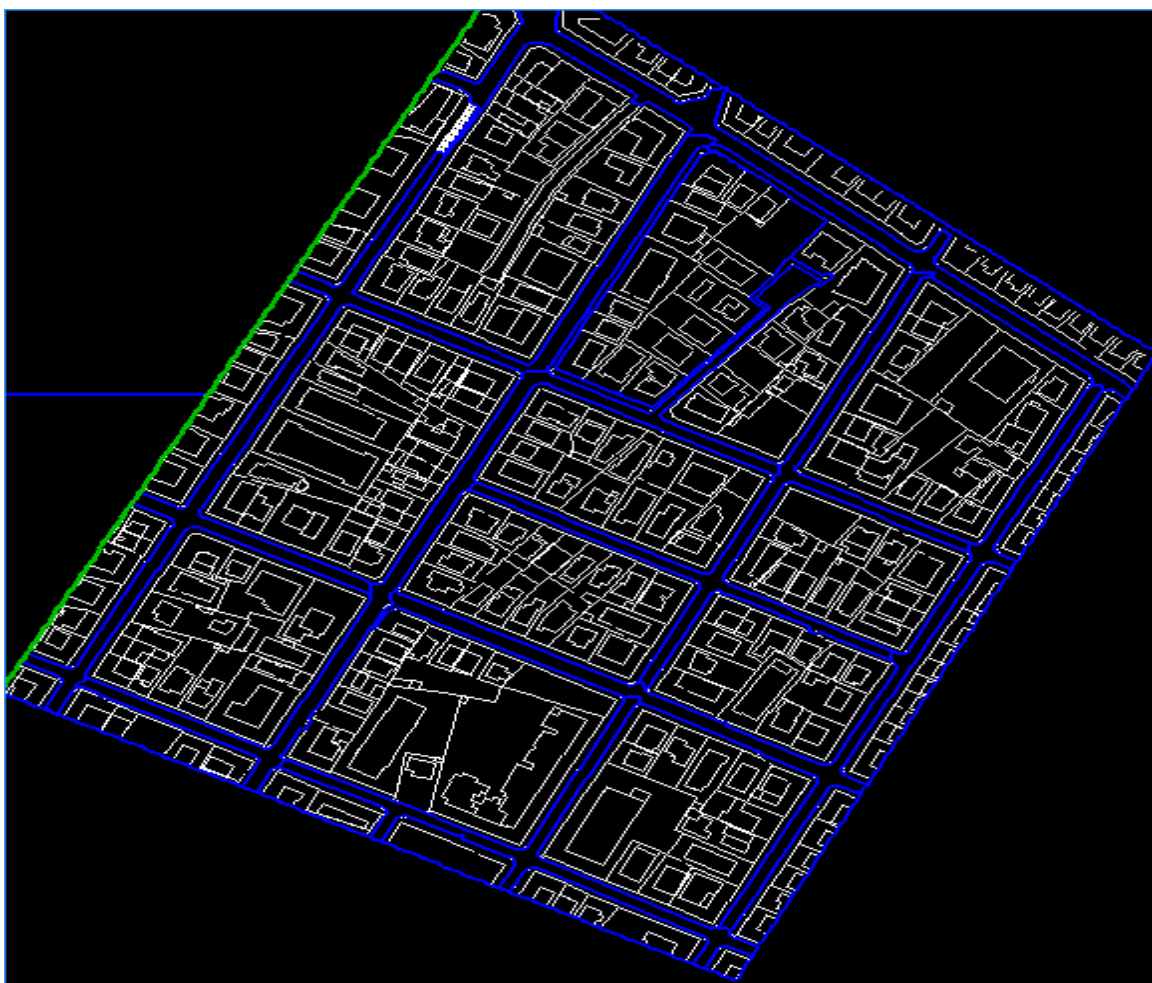
Εικόνα 3-3: Αποτέλεσμα κατάτμησης 5<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1



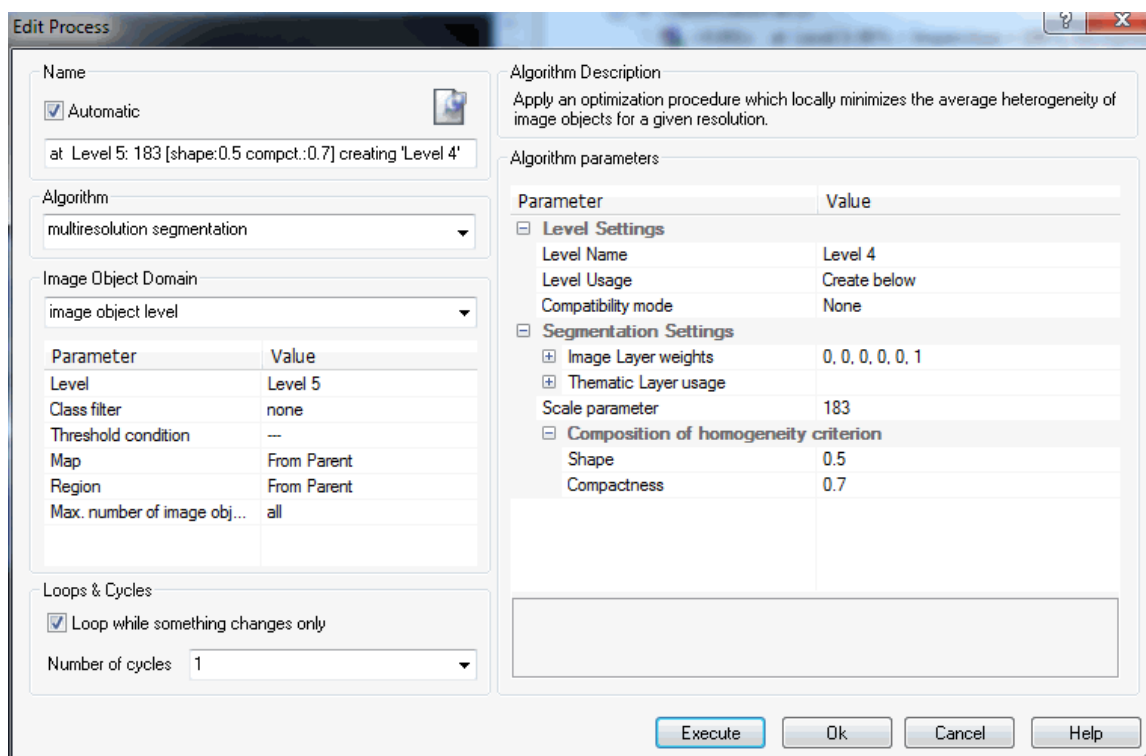
Εικόνα 3-4: Παράμετροι κατάτμησης 5<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1

### 3.1.4.3 Κατάτμηση 4<sup>ου</sup> επιπέδου

Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε η κατάτμηση του 2ου κατά σειρά επιπέδου, στο οποίο στόχος ήταν να δημιουργηθούν αντικείμενα που θα προσεγγίζουν το μέγεθος των οικοδομικών τετραγώνων. Η εικόνα που περιέχει τα κτηματολογικά διανυσματικά δεδομένα, περιλαμβάνει ουσιαστικά μόνο άσπρο και μαύρο τόνο, όπου άσπρη απεικονίζεται το σύνολο της πληροφορίας (δρόμοι, πεζοδρόμια, κτίρια κλπ) και μαύρο το φόντο. Η συγκεκριμένη κατάτμηση κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς δύναται να ξεχωρίσει αρκετά εύκολα και αποτελεσματικά την διάκριση των οικοδομικών τετραγώνων από τους δρόμους, κάτι στο οποίο συμβάλει καθοριστικά η ύπαρξη των κτηματολογικών δεδομένων. Για αυτό τον σκοπό, δημιουργήθηκε κάτω από το επίπεδο 5 (create below) και δόθηκε αποκλειστικό βάρος (1) στο κανάλι που απεικονίζονται τα κτηματολογικά δεδομένα. Παράμετρος κλίμακας επελέχθη το 183, ενώ το φασματικό κριτήριο όσο και το κριτήριο σχήματος ορίστηκαν σε 0.5. Το τελευταίο χωρίστηκε σε 0.7 συμπαγές του σχήματος και 0.3 λείο της οριογραμμής.



Εικόνα 3-5: Αποτέλεσμα κατάτμησης 4<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1



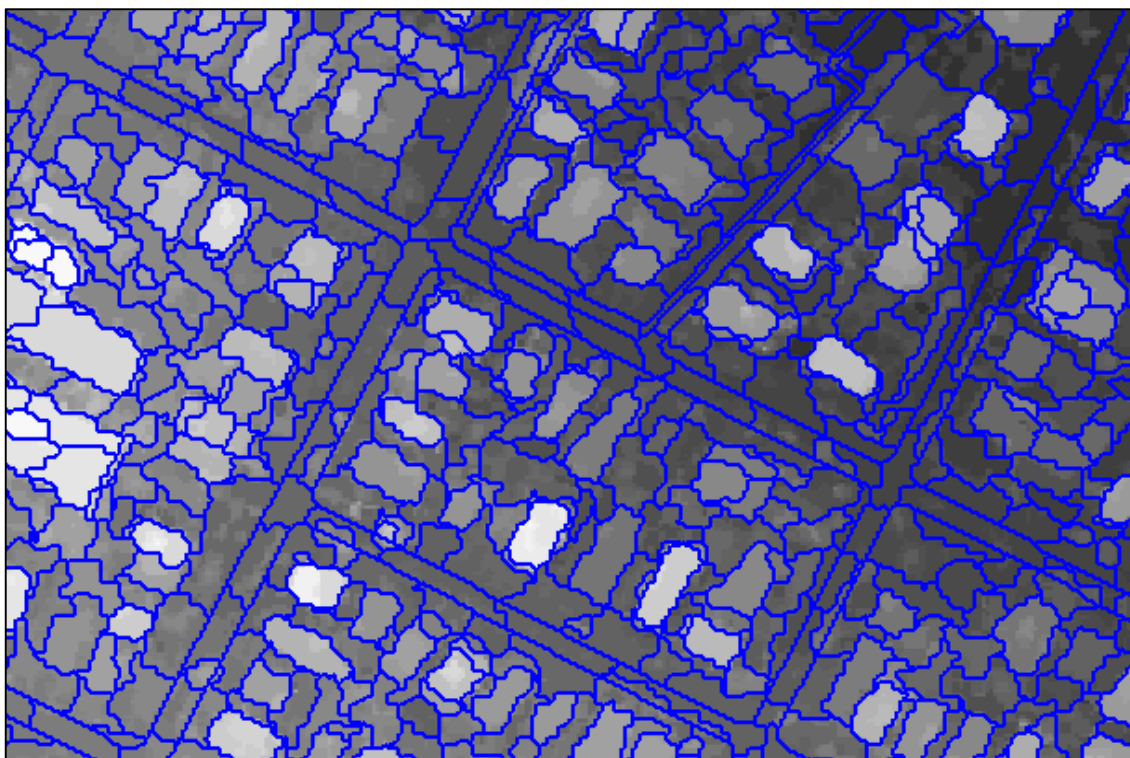
**Εικόνα 3-6: Παράμετροι κατάτμησης 4<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1**

### 3.1.4.4 Κατάτμηση 2<sup>ου</sup> επιπέδου

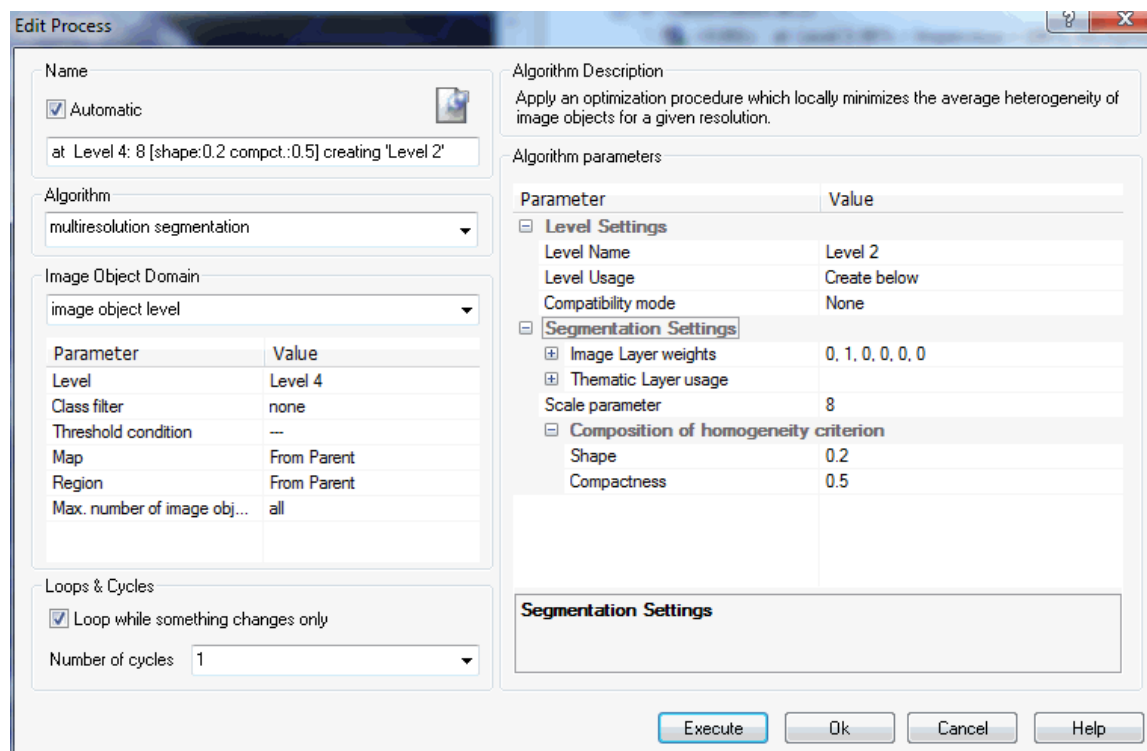
Στο επόμενο επίπεδο κατάτμησης, το οποίο δημιουργήθηκε κάτω από το επίπεδο 4 (create below), επιχειρείται η απόδοση των οροφών των κτιρίων. Η εικόνα των υψομετρικών δεδομένων LIDAR αποτελείται από διακυμάνσεις των τόνων του γκρι, οπότε λόγω ανάγκης για ομοιογένεια των αντικειμένων έπρεπε να δοθεί μεγάλο βάρος στο φασματικό κριτήριο (0,8) και 0,2 στο κριτήριο σχήματος. Επετεύχθη έτσι η φασματική ομοιογένεια των πολυγώνων και περιορίστηκε η πιθανότητα συγχώνευσης εικονοστοιχείων διαφορετικών θεματικών κατηγοριών. Το συγκεκριμένο πρόβλημα ήταν περισσότερο ορατό σε περιοχές που είχαν υψόμετρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Για παράδειγμα, ο δρόμος, το πεζοδρόμιο που βρίσκεται δίπλα του και η αυλή του σπιτιού που συνορεύει έχουν παρόμοια υψομετρική πληροφορία και άρα απεικονίζονται με παραπλήσιους τόνους του γκρι. Υπήρχε κίνδυνος να προκύψουν αντικείμενα κατά την κατάτμηση τα οποία θα περιείχαν εικονοστοιχεία και από τις τρεις αυτές κατηγορίες. Για την κατάτμηση, δόθηκε αποκλειστικό βάρος (1) στο Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας και μηδενικό βάρος στα υπόλοιπα κανάλια. Η κλίμακα είναι ίση με 8. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω,

## Κεφάλαιο 3 | Μεθοδολογία και Υλοποίηση

το φασματικό κριτήριο ορίστηκε σε 0.8 και το κριτήριο σχήματος 0.2 το οποίο ισομοιράστηκε σε ομαλότητα των ορίων και συμπαγούς του σχήματος.



**Εικόνα 3-7: Αποτέλεσμα κατάτμησης 2<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1**

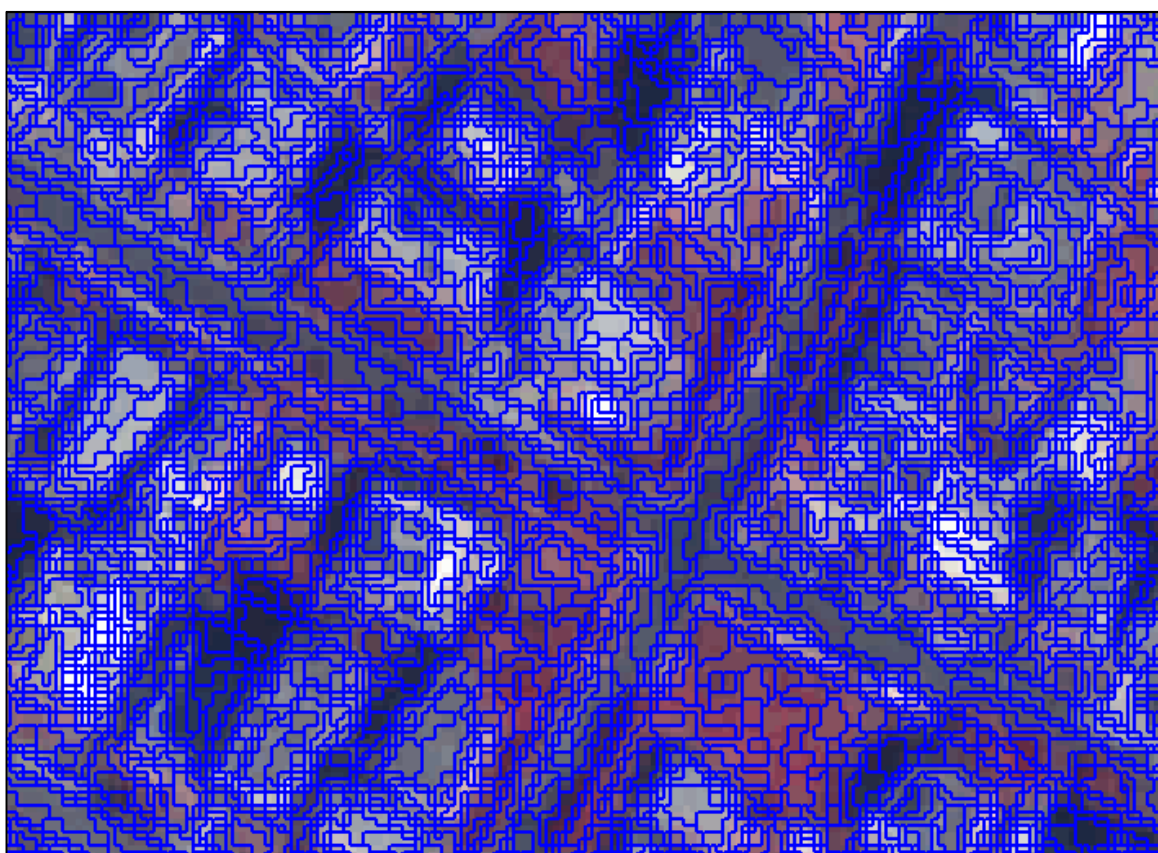


**Εικόνα 3-8: Παράμετροι κατάτμησης 2<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1**

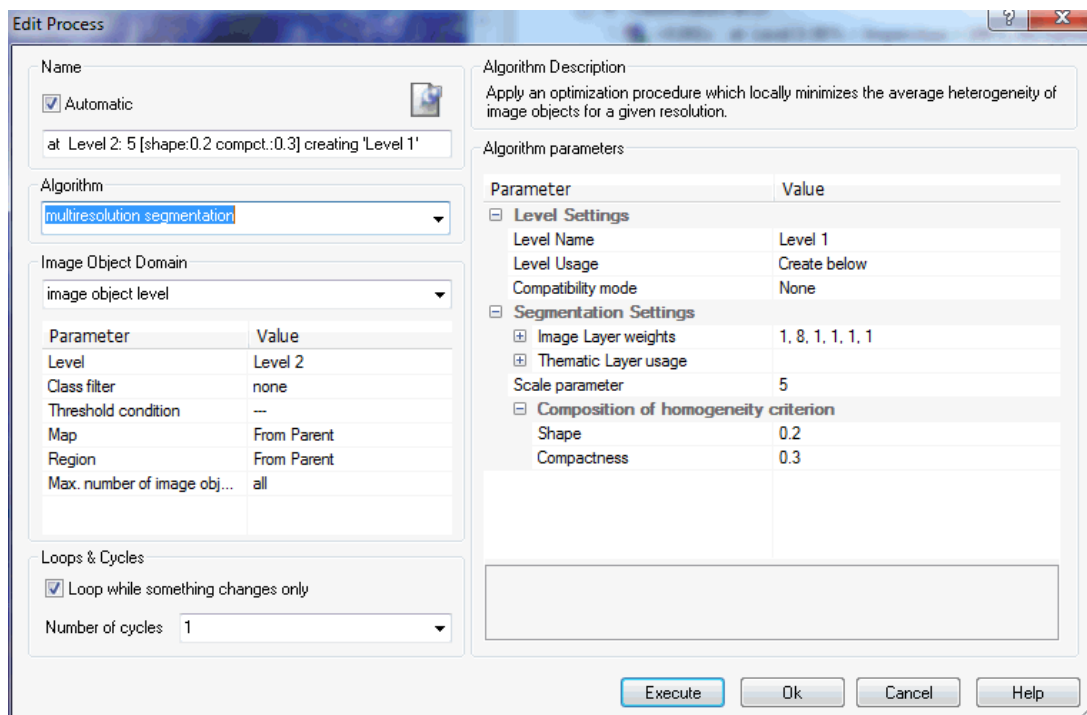


### 3.1.4.5 Κατάτμηση 1<sup>ου</sup> επιπέδου

Για την επίλυση του προβλήματος που περιγράφηκε παραπάνω, δηλαδή της δημιουργίας αντικειμένων μη αντιπροσωπευτικών για κάποιες συγκεκριμένες θεματικές κατηγορίες, δημιουργήθηκε κάτω από το Level 2 (create below) το παρόν λεπτόκοκκο επίπεδο, ξεκινώντας από την άλλη άκρη και υιοθετώντας μια bottom up προσέγγιση. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκαν αντικείμενα που περιείχαν ταυτόχρονα εμφανίσεις πεζοδρομίων και αυλών ή ακάλυπτων χώρων με κοντινά υψόμετρα. Λόγω των πολύ μικρών αντικειμένων που θα δημιουργηθούν, μπορούν να βγουν συμπεράσματα για την υφή της εικόνας και να αναδειχθεί η βλάστηση. Χρησιμοποιήθηκαν για την κατάτμηση όλα τα διαθέσιμα κανάλια, δόθηκε όμως πολύ μεγαλύτερη βαρύτητα στο κανάλι του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας. Συγκεκριμένα, δόθηκε βάρος 1 στα κανάλια της δορυφορικής εικόνας IKONOS και στα κτηματολογικά δεδομένα, και βάρος 8 στο κανάλι του Ψ.Μ.Ε. Η κλίμακα καθορίστηκε στο 5 για να δημιουργηθούν πολύ μικρά αντικείμενα, το φασματικό κριτήριο 0.9 και 0.1 στο σχηματικό, το οποίο χωρίστηκε σε 0.3 συμπαγές του σχήματος και 0.7 ομαλότητα των ορίων.



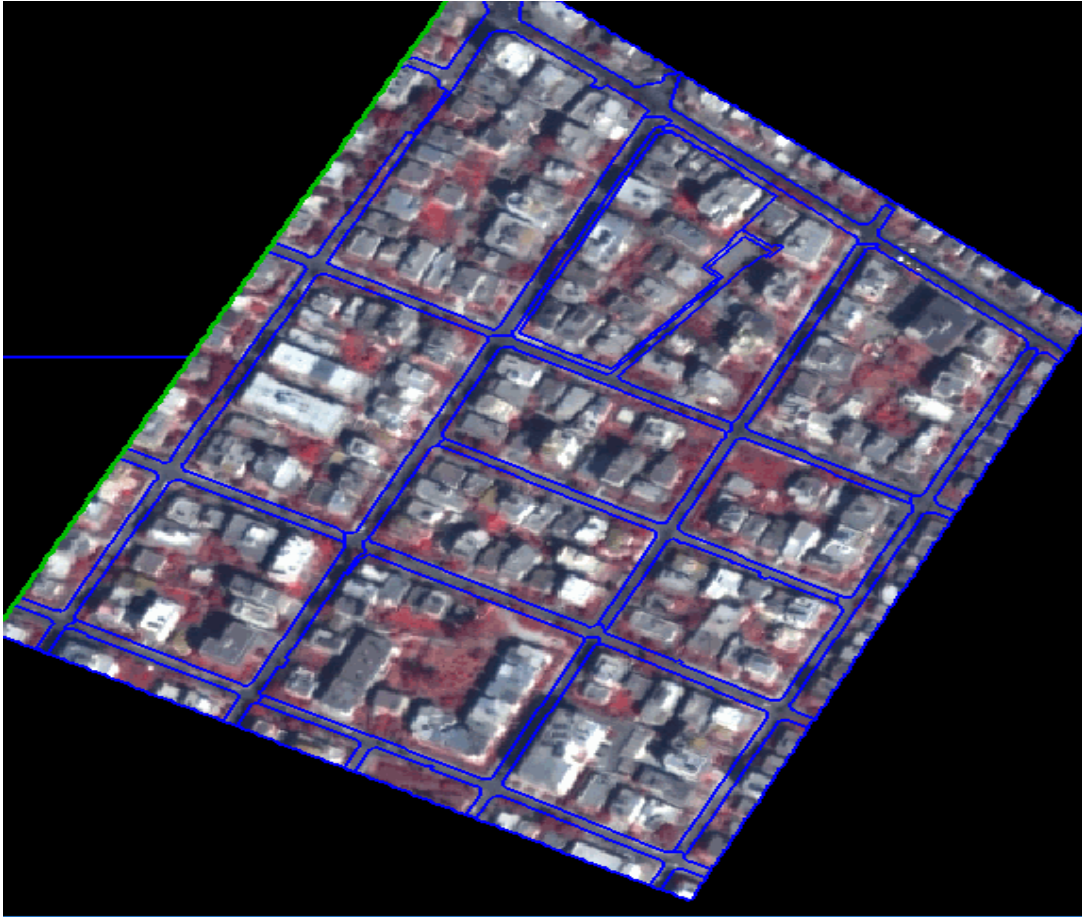
Εικόνα 3-9: Αποτέλεσμα κατάτμησης 1<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1



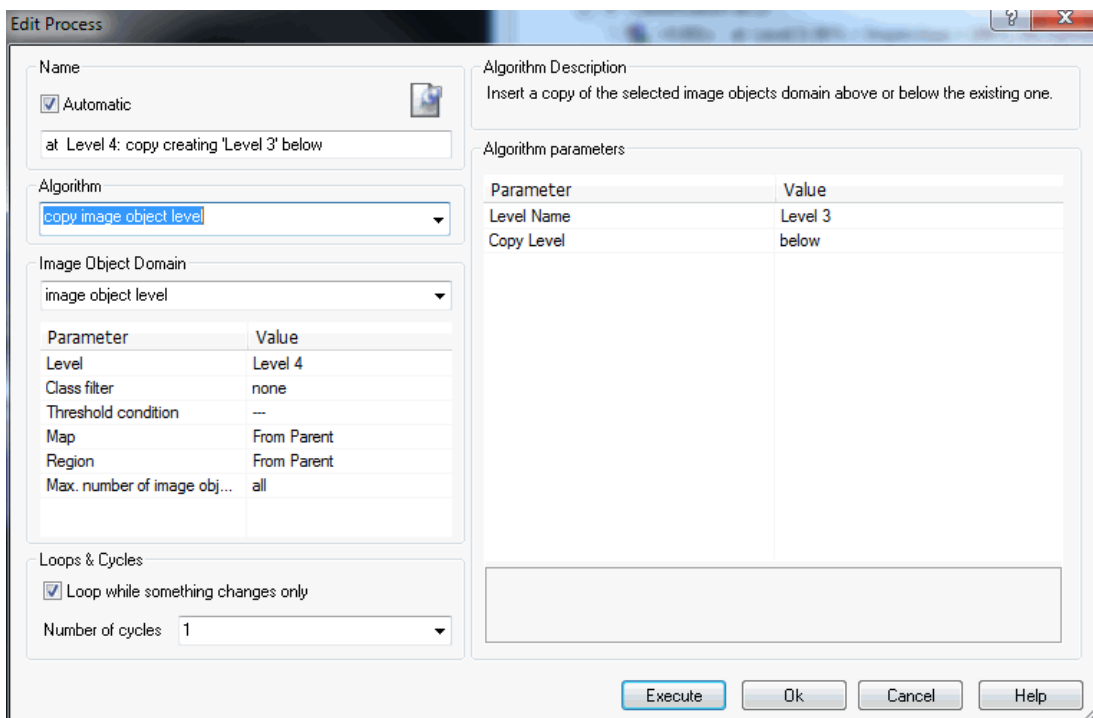
Εικόνα 3-10: Παράμετροι κατάτμησης 1<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1

### 3.1.4.6 Κατάτμηση 3<sup>ου</sup> επιπέδου

Στο τελευταίο επίπεδο κατάτμησης που δημιουργήθηκε και αποτελεί και το κύριο, έγινε η τελική ταξινόμηση της εικόνας. Πρόκειται ουσιαστικά για αντιγραφή του 4ου επιπέδου και τοποθέτηση του κάτω από τον εαυτό του (χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος copy image object level). Απώτερος στόχος της ταξινόμησης είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων για την κάλυψη κάθε οικοδομικού τετραγώνου από αδιαπέραστες επιφάνειες. Στο επίπεδο 4 όπως περιγράφηκε παραπάνω επετεύχθη η διάκριση των οικοδομικών τετραγώνων με τη βοήθεια κυρίως των διανυσματικών δεδομένων από το κτηματολόγιο.



Εικόνα 3-11: Αποτέλεσμα κατάμησης 3<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1



Εικόνα 3-12: Παράμετροι κατάμησης 3<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1

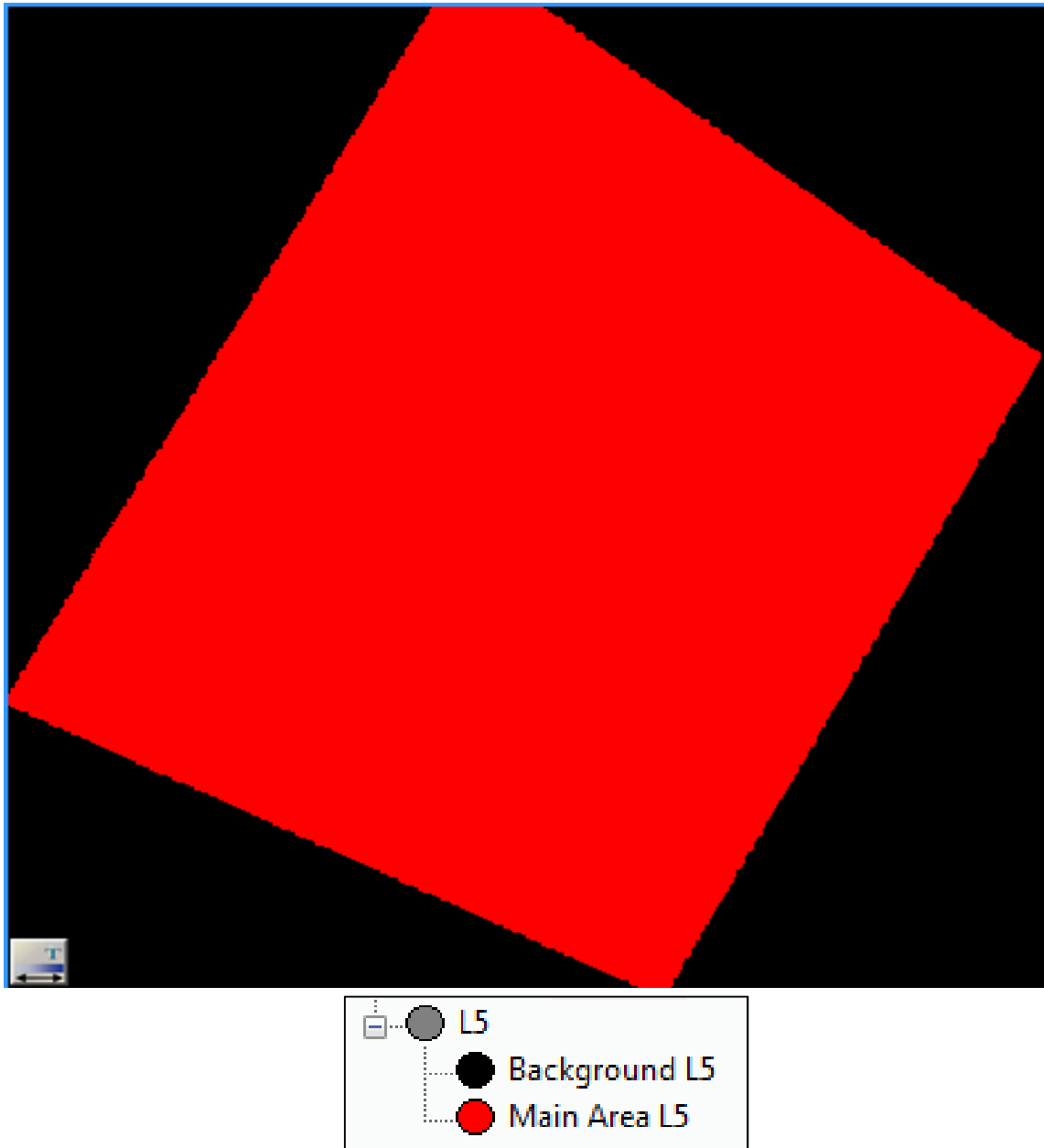
### 3.1.5 Ταξινομήσεις

Ακολουθεί η διαδικασία της ταξινόμησης των δεδομένων, η οποία αποτελεί το σημαντικότερο κομμάτι της παρούσης εργασίας, καθώς μετά την εκτέλεση της φαίνεται στην πράξη κατά πόσο έχουν ή όχι επιτευχθεί οι στόχοι που τέθηκαν εξ' αρχής. Για τη διαδικασία της ταξινόμησης προηγήθηκε μια προεργασία κατά την οποία σχεδιάστηκε θεωρητικά η προσέγγιση που επρόκειτο να επιχειρηθεί για την παραγωγή των σωστών αποτελεσμάτων. Σύμφωνα με τη στρατηγική που σχεδιάστηκε, η σειρά με την οποία ταξινομούνται τα δημιουργούμενα επίπεδα ακολουθεί τη σειρά με την οποία δημιουργήθηκαν για λόγους που θα εξηγηθούν εκτενώς στην εξέταση της ταξινόμησης του κάθε επιπέδου. Στο λογισμικό eCognition οι κανόνες της ταξινόμησης εισάγονται σε μορφή χαρακτηριστικών (features) κάθε κλάσης. Κάθε feature ελέγχεται από μια συνάρτηση συμμετοχής (membership function). Όλες οι κλάσεις συνδέονται με σχέσεις που περιγράφονται από μια ιεραρχία. (Ρηγόπουλος, 2008)

#### 3.1.5.1 Ταξινόμηση 5<sup>ου</sup> επιπέδου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ταξινόμηση ακολουθεί τη σειρά της κατάτμησης, έτσι πρώτο θα ταξινομηθεί το Level 5. Έχοντας δημιουργηθεί και κατατμηθεί για να διαχωρίσει το φόντο από την περιοχή ενδιαφέροντος, στην ταξινόμησή του θα έχει την αντίστοιχη κατεύθυνση.

Δημιουργήθηκαν έτσι οι κατηγορίες *Background L5* και *Main Area L5*. Η διάκρισή τους είναι αρκετά εύκολη δεδομένου του ότι το φόντο είναι μαύρο, και εφόσον χρησιμοποιηθεί η ιδιότητα (brightness) της εικόνας. Η περιγραφή της κατηγορίας *Background L5*, γίνεται με βάση την ιδιότητα brightness και τη χρήση μια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής σιγμοειδούς μορφής (S) αρνητικής κλίσης. Το διάστημα ασάφειας ορίστηκε μεταξύ 2 και 2,1. Το αποτέλεσμα θα ήταν το ίδιο και εάν δηλώναμε απλά να ταξινομηθούν στην κατηγορία *Background L5* όλα τα αντικείμενα με brightness μικρότερο από 2. Η κατηγορία *Main Area L5*, ορίστηκε σαν συμπληρωματική της *Background L5* (not *Background L5*). Αμφότερες οι παραπάνω κατηγορίες εισήχθησαν κάτω από την γενική κατηγορία *L5*.



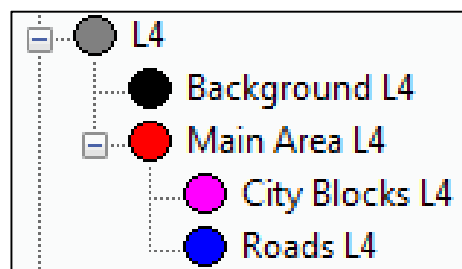
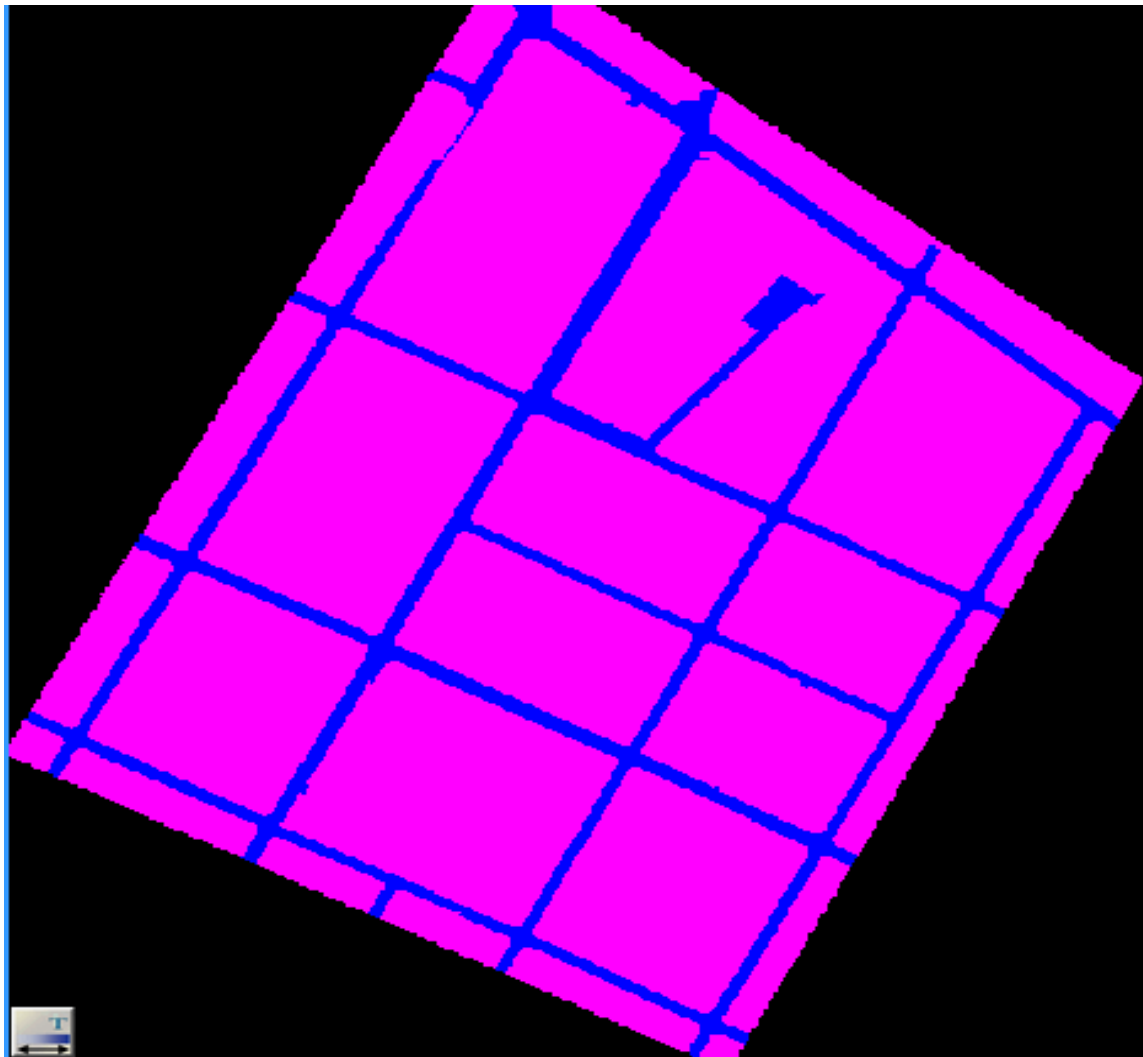
*Εικόνα 3-13: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 5<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1*

### 3.1.5.2 Ταξινόμηση 4<sup>ου</sup> επιπέδου

Έχοντας πλέον διαχωρίσει με ακρίβεια το φόντο από την περιοχή ενδιαφέροντος, στο 4ο επίπεδο δόθηκε έμφαση στην διάκριση και ερμηνεία των οντοτήτων που είχαν προκύψει από την κατάτμησή του. Σκοπός είναι δηλαδή ή όσο το δυνατόν καλύτερη ερμηνεία των δρόμων και οικοδομικών τετραγώνων. Δεδομένης της ύπαρξης των διανυσματικών κτηματολογικών δεδομένων, η διαδικασία αυτή διευκολύνθηκε αρκετά. Η υλοποίηση της ταξινόμησης του *Level 4* βασίστηκε στα αποτελέσματα της προηγούμενης ταξινόμησης του *Level 5*.

Δημιουργήθηκε η κατηγορία *Background L4*, έτσι ώστε τα αντικείμενα της να εμπεριέχονται στα υπέρ-αντικείμενα της κατηγορίας *Background L5*. (Existence of super-objects *Background L5*). Χρησιμοποιήθηκε μια ασαφής συνάρτηση μορφής S θετικής κλίσης με διάστημα ασάφειας 0 έως 1. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα του φόντου στο *Level 5* θα διατηρήσουν την ταξινόμησή τους και στο *Level 4*. Η κατηγορία *Main Area L4*, ορίστηκε ως συμπληρωματική της *Background L4* ( *Not Background L4*). Όπως και πριν, οι κατηγορίες αυτές τοποθετήθηκαν κάτω από την μητρική *L4*. Στην πράξη, δημιουργώντας τις ίδιες κατηγορίες με το ανώτερο *Level*, μεταφέρθηκαν μαζί και οι ιδιότητές τους. Γενικά στην ταξινόμηση, ταξινομείται σε κάθε επίπεδο η πληροφορία που μπορεί να οριστεί σαφώς στο συγκεκριμένο, και στη συνέχεια μεταφέρεται σε ανώτερα η κατώτερα επίπεδα.

Για την περαιτέρω διάκριση των δρόμων από τα οικοδομικά τετράγωνα ορίστηκαν οι κατηγορίες *City Blocks L4* και *Roads L4*. Για τον διαχωρισμό της κατηγορίας μετά από πειραματισμό με τις ιδιότητες *area*, *rectangular fit*, *border length*, και *length* επελέχθη η *rectangular fit*. Η παράμετρος αυτή περιγράφει πόσο καλά ένα αντικείμενο «χωράει» σε ένα παραλληλόγραμμο παρόμοιων διαστάσεων και αναλογιών. Παρατηρήθηκε ότι τα αντικείμενα που συμβάδιζαν με τα οικοδομικά τετράγωνα είχαν *rectangular fit* πολύ μεγάλο περίπου 0.9 κατά μέσο όρο, ενώ τα αντικείμενα που ταυτίζονταν με τους δρόμους είχαν τιμή αρκετά μικρότερη. Επελέχθη έτσι κάθε αντικείμενο με *rectangular fit* μεγαλύτερο από 0,3 να ταξινομείται ως *City Blocks L4*. Η κατηγορία *Roads L4* συμπληρώνει την προαναφερθείσα (*not City Blocks L4*).



Εικόνα 3-14: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 4<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1

### 3.1.5.3 Ταξινόμηση 1<sup>ου</sup> επιπέδου

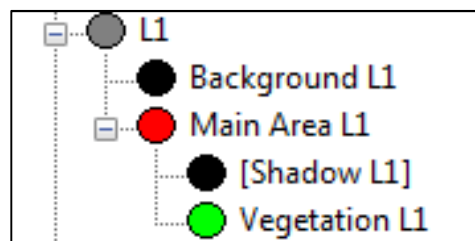
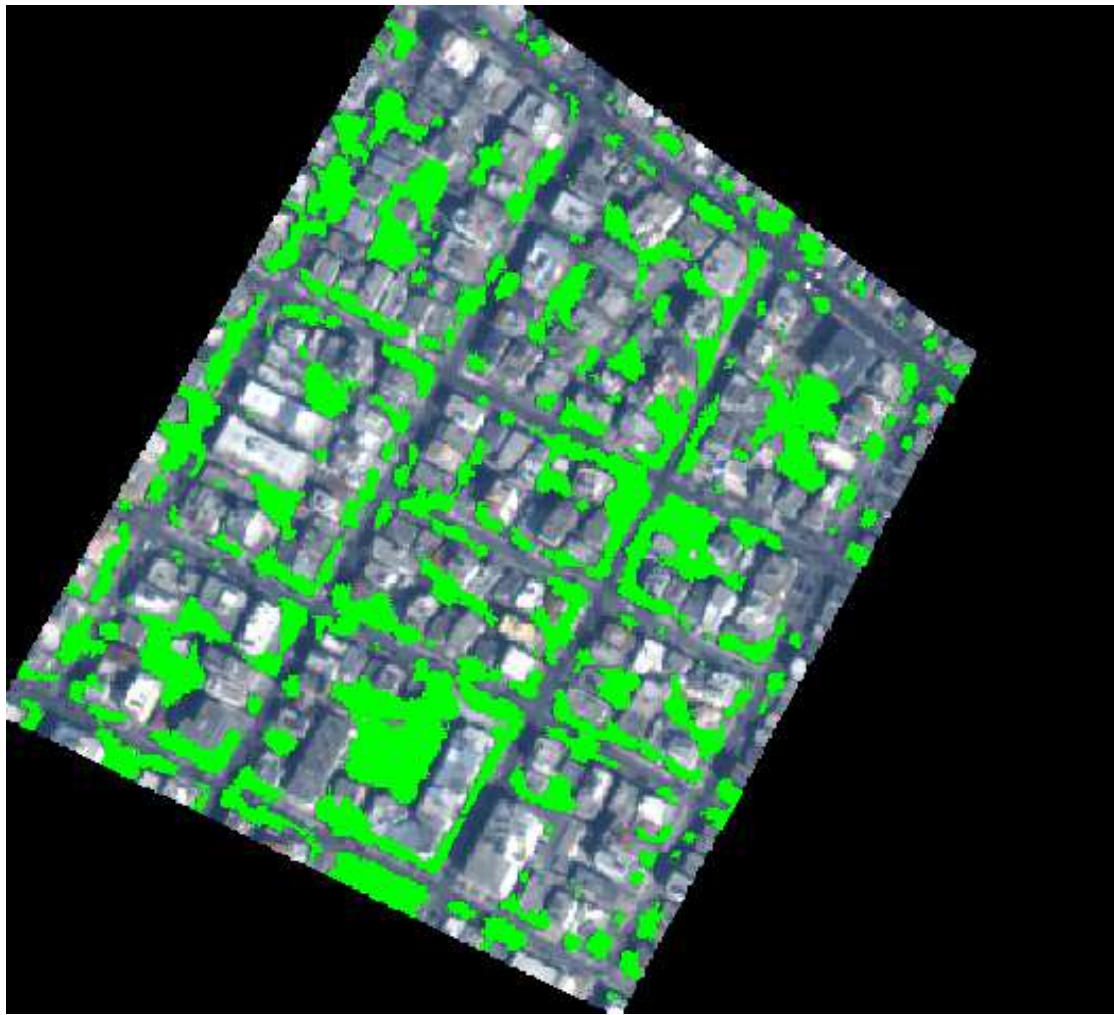
Επόμενο θα ταξινομηθεί το 1ο επίπεδο. Η πορεία της ταξινόμησης τώρα συνεχίζεται από το άλλο άκρο, και σκοπός της ταξινόμησης του τρέχοντος λεπτόκοκκου επιπέδου (στο οποίο είχε δοθεί σχεδόν αποκλειστικό βάρος στο φασματικό κριτήριο με 0.9) είναι η ανάδειξη της βλάστησης. Χρησιμοποιήθηκε ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI (Normalised Difference Vegetation Index)=(NIR-RED)/(RED+NIR). Ο δείκτης αυτός έχει προέλθει από το κλάσμα NIR/RED το οποίο παρουσιάζει ενδιαφέρον λόγω των υψηλών τιμών ανακλαστικότητας της βλάστησης στο εγγύς υπέρυθρο και της χαμηλής ανακλαστικότητας στο κόκκινο αντίστοιχα. Οι τιμές όμως του παραπάνω κλάσματος δεν είναι εύκολα διαχειρίσιμες, επελέχθη να κανονικοποιηθεί αφαιρώντας και προσθέτοντας τις τιμές του κόκκινου και εγγύς υπέρυθρου από τον αριθμητή και παρονομαστή αντίστοιχα. Προκύπτει έτσι ένα αποτέλεσμα μεταξύ -1 και 1. Μια περαιτέρω τροποποίηση για λόγους καλύτερης κατωφλίωσης των τιμών περιγράφεται παρακάτω. Το αποτέλεσμα είναι πλέον ο δείκτης να λαμβάνει τιμές από 0 έως 200.

$$\text{Scaled NDVI} = (\text{NDVI} + 1.0) * 100$$

Δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες *Background L1* και *Main Area L1* οι οποίες ορίστηκαν με τον κανόνα να υπάρχουν οι αντίστοιχες κατηγορίες σαν super objects στο *Level 5*. (Existence of super objects *Background L5* και *Main Area L5* αντίστοιχα.) Η κατηγορία *Vegetation L1* τοποθετήθηκε κάτω από την μητρική *Main Area L1* και ταξινομήθηκε χρησιμοποιώντας το customize feature “Scaled NDVI” που περιγράφηκε παραπάνω και μια ασαφή συνάρτηση συμμετοχής μορφής S. Το διάστημα ασάφειας ορίστηκε μεταξύ 108 και 110 μετά από πολλαπλές δοκιμές στο feature view του λογισμικού.

Επιχειρήθηκε και η δημιουργία μια κατηγορίας για τον διαχωρισμό των σκιών σε αυτό το επίπεδο ταξινόμησης. Ο στόχος της τελικής ταξινόμησης είναι η εξαγωγή του ποσοστού των αδιαπέραστων επιφανειών μέσα στα οικοδομικά τετράγωνα. Παρατηρώντας ότι η πλειονότητα των σκιών είτε πέφτει πάνω στους δρόμους (οι οποίοι έχουν οριστεί σε ανώτερο επίπεδο) και της γενικά μη σύμπτωσης των σκιών μέσα στα οικοδομικά τετράγωνα με την βλάστηση (η οποία είναι ανταγωνιστική κατηγορία με τα αδιαπέραστα υλικά) δεν κρίθηκε σκόπιμη η ιδιαίτερη ενασχόληση με μια τέτοια κατηγορία.





Εικόνα 3-15: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 1<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1

### 3.1.5.4 Ταξινόμηση 2<sup>ου</sup> επιπέδου

Στη συνέχεια ταξινομείται το υπέρ-επίπεδο του *Level 1*, το *Level 2*. Υπενθυμίζεται πως είχε καταταμηθεί λαμβάνοντας αποκλειστικά οπ' όψιν τα υψομετρικά δεδομένα LIDAR δημιουργώντας αντικείμενα που προσέγγιζαν τις οροφές των κτηρίων οι οποίες τώρα ζητούμενο είναι να ταξινομηθούν.

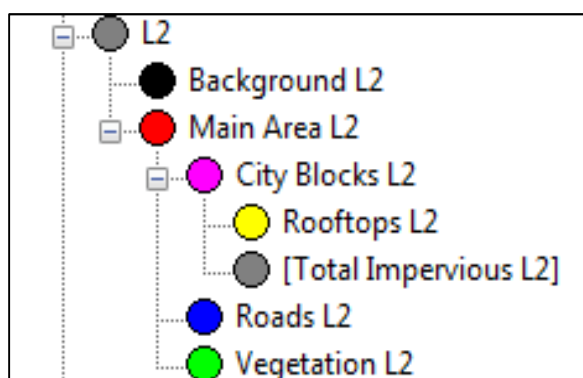
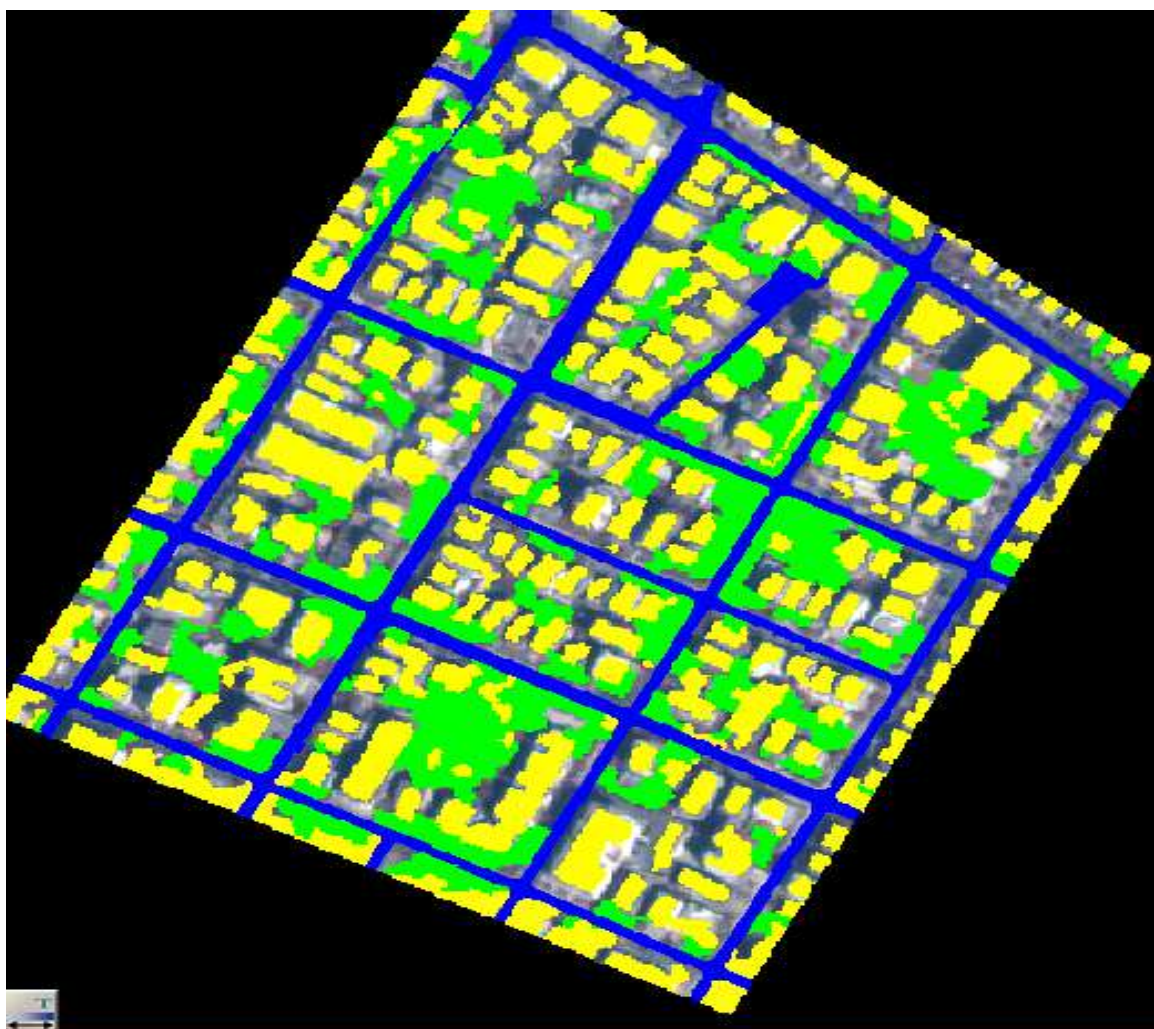
Αρχικά δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες κατηγορίες που είχαν περιγραφεί και στα προηγούμενα επίπεδα, ώστε να μεταφερθεί η πληροφορία τους και να διευκολυνθεί η ταξινόμηση του τρέχοντος επιπέδου. Δημιουργήθηκε έτσι η κατηγορία *Background L2* με τη βοήθεια μιας ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής της ύπαρξης της κατηγορίας *Background L5* σαν υπέρ-αντικείμενο (*Existence of super objects Background L5*). Η συνάρτηση είναι μορφής *S* και το διάστημα ασάφειας παίρνει τιμές από 0 έως 1. Η κατηγορία *Main Area L2* ορίστηκε ως συμπληρωματική της (not *Background L2*). Αμφότερες τοποθετήθηκαν κάτω από την μητρική κατηγορία "L2"

Έπειτα ακολούθησε ο ορισμός των αντίστοιχων κατηγοριών από το *Level 4*, οι οποίες στις οποίες διακρίνονται οι δρόμοι από τα οικοδομικά τετράγωνα. Δημιουργήθηκε οι κατηγορία *City Blocks L2* με κανόνα να ταξινομηθεί σε αυτήν όποιο αντικείμενο είχε ταξινομηθεί και ως *City Blocks L4* με βαθμό συμμετοχής τουλάχιστον 0,1 (*Existence of super objects City Blocks L4* με συνάρτηση συμμετοχής *S* και διάστημα ασάφεια 0 έως 0,1). Κατά τον ίδιο τρόπο ταξινομήθηκε και η κατηγορία *Roads L2* με μια συνάρτηση συμμετοχής *S* της ύπαρξης της κατηγορίας *Roads L4* και διάστημα τιμών 0 έως 0,1 (*Existence of super objects Roads L4*). Όσον αφορά τη βλάστηση, δημιουργήθηκε η κατηγορία *Vegetation L2*, και ταξινομήθηκε με τη συνθήκη του όταν ένα αντικείμενο του τρέχοντος επιπέδου αποτελείται τουλάχιστον κατά το 50% από υπο-αντικείμενα ταξινομημένα στην κατηγορία *Vegetation L1*, τότε να ταξινομείται και στην αντίστοιχη κατηγορία του *Level 2*. Συγκεκριμένα, η κατηγορία *Vegetation L2* ταξινομήθηκε με τη βοήθεια μια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής του σχετικού εμβαδού της υπο-κατηγορίας *Vegetation L1* (*Relative area of sub objects Vegetation L1*). Η συνάρτηση είναι μορφής *S* και το διάστημα ασάφειας μεταξύ 0,45 και 0,55.

Εφόσον έχουν ταξινομηθεί οι παραπάνω κατηγορίες, σειρά έχει μια κατηγορία που αντιπροσωπεύει τα κτίρια της εικόνας. Η παρατήρηση στην οποία θα βασιστεί η ταξινόμηση της νέας κατηγορίας *Rooftops L2*, είναι πως τα σπίτια λόγω του μεγαλύτερου υψομέτρου τους σε σχέση με τα γειτονικά αντικείμενα, εμφανίζονται στο κανάλι των υψομετρικών δεδομένων LIDAR με πιο φωτεινούς

## Κεφάλαιο 3 | Μεθοδολογία και Υλοποίηση

τόνους από ότι οι γείτονες. Δημιουργήθηκε λοιπόν μια ασαφής συνάρτηση συμμετοχής της μέσης διαφοράς μεταξύ των γειτονικών αντικειμένων στο υψομετρικό κανάλι (*Mean.Difference to Neighbors DSM*). Η συνάρτηση είναι μορφής S θετικής κλίσης, και το διάστημα ασάφειας μετά από πειραματισμό με την επιλογή *feature view* του λογισμικού, ορίστηκε μεταξύ 1,6 και 1,7. Η κατηγορία *Rooftops L2*, όπως ορίζει και η ιεραρχία τάξεων του λογισμικού, έχει επίσης κληρονομήσει τις ιδιότητες των κατηγοριών *City Blocks L2* και *Main Area L2*, ως θυγατρική τους κατηγορία.



Εικόνα 3-16: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 2<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ1

### 3.1.5.5 Ταξινόμηση 3<sup>ου</sup> επιπέδου

Το τελικό επίπεδο που θα ταξινομηθεί είναι το 3ο επίπεδο. Υπενθυμίζεται ότι αποτελεί αντιγραφή του 4<sup>ου</sup> επιπέδου και άρα αποτελείται από τα ίδια αντικείμενα. Σκοπός της τελικής ταξινόμησης είναι η εξαγωγή των ποσοστών των αδιαπέραστων επιφανειών σε επίπεδο οικοδομικών τετραγώνων και η μετέπειτα κατάταξή τους σε κατηγορίες βάσει αυτού του χαρακτηριστικού.

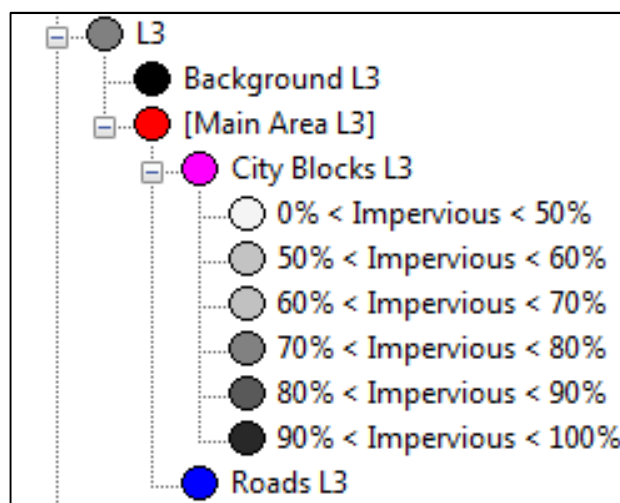
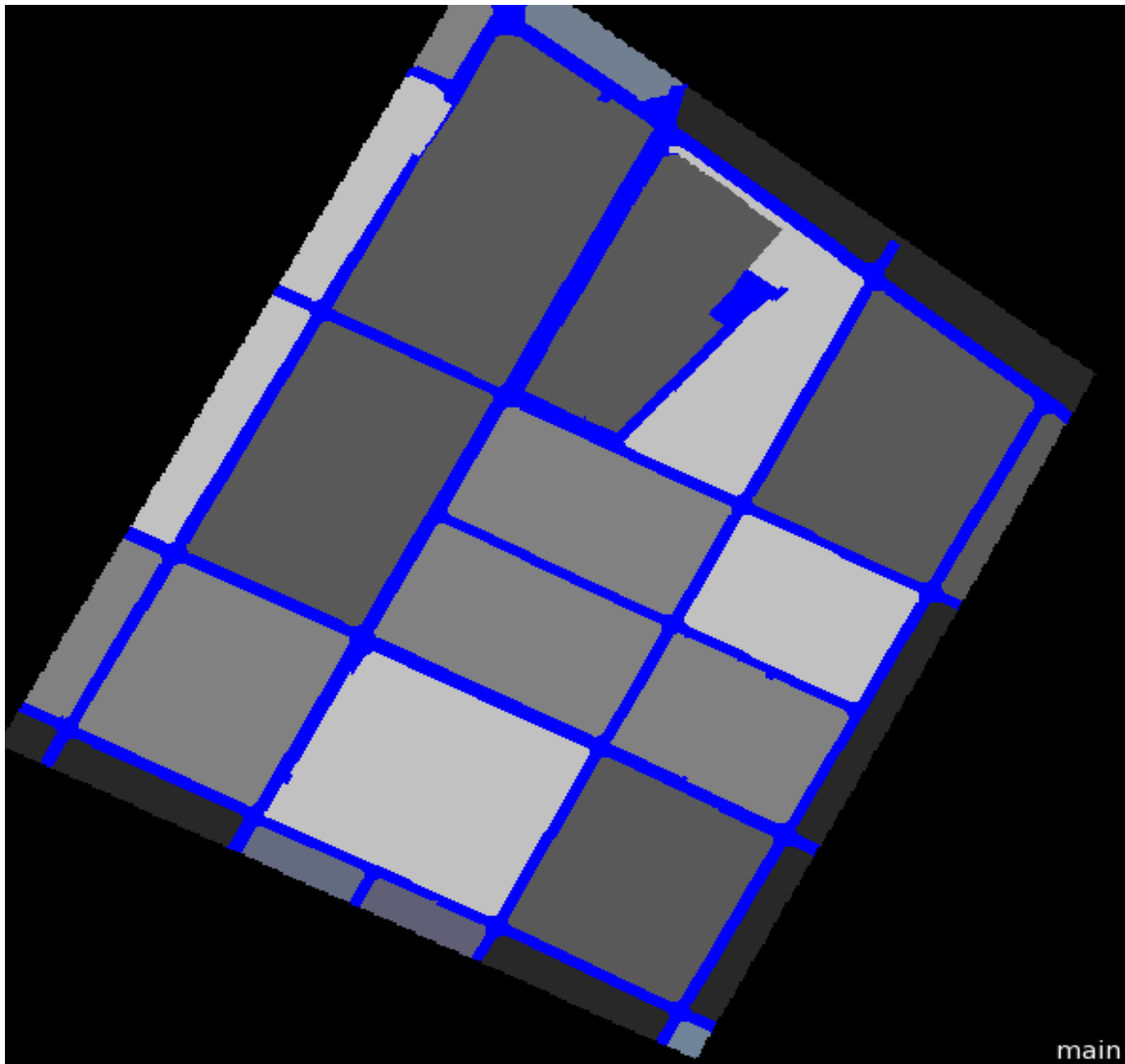
Όπως προηγουμένως, ορίστηκαν οι αντίστοιχες κατηγορίες που είχαν δημιουργηθεί και ταξινομηθεί στα προηγούμενα επίπεδα. Η κατηγορία *Background L3* ορίστηκε με μια ασαφή συνάρτηση συμμετοχής της ύπαρξης αντικειμένων της κατηγορίας *Background L5* (*Existence of super object Background L5*). Η συνάρτηση είναι τύπου S θετικής κλίσης και το εύρος της ασάφειας κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Η κατηγορία *Main Area L3* ορίστηκε ως συμπληρωματική της προαναφερθείσας. (*not Background L5*). Οι δρόμοι *Roads L3*, αντιστοίχως, ταξινομήθηκαν βάσει της ύπαρξης υπέρ-αντικειμένων *Roads L4* και μιας ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής S με τιμές από 0 μέχρι 1. Η κατηγορία *City Blocks L3*, ταξινομήθηκε βάση της ύπαρξης υπέρ-αντικειμένων της κατηγορίας *City Blocks L4* και η συνάρτηση συμμετοχής τύπου *Singleton* που χρησιμοποιήθηκε έχει εύρος ασάφειας 0 έως 2.

Για την εξαγωγή συμπεράσματος για το ποσοστό κάλυψης των οικοδομικών τετραγώνων από αδιαπέραστες επιφάνειες επιλέχθηκε σύμφωνα με το ποσοστό που αυτές καταλαμβάνουν, να δημιουργηθούν έξι κατηγορίες. Χρησιμοποιήθηκαν 6 διαβαθμίσεις του γκρι για την σήμανση των υποκατηγοριών ώστε να είναι οπτικά ευκολότερα διαχωρίσιμες μεταξύ τους. Όσο πιο σκούρο απεικονίζεται ένα οικοδομικό τετράγωνο, τόσο μεγαλύτερο ποσοστό του αποτελείται από αδιαπέραστα υλικά. Δεδομένου του ότι έχουν διακριθεί σαφώς τα όρια των οικοδομικών χρησιμοποιώντας και τα διανυσματικά δεδομένα του κτηματολογίου, τα αυστηρά ορισμένα οικοδομικά τετράγωνα προσθέτουν στο αισθητικό αποτέλεσμα

Η αναλογία των αδιαπέραστων επιφανειών σε ένα οικοδομικό τετράγωνο ως προς το συνολικό του εμβαδό, (λαμβάνοντας πάντα υπ' όψιν την τρέχουσα εδαφοκάλυψη της περιοχής μελέτης), είναι αντιστρόφως ανάλογη της αντίστοιχης αναλογίας της βλάστησης. Οι έξι θυγατρικές υποκατηγορίες της κατηγορίας *City Blocks L3* που δημιουργήθηκαν είναι οι εξής:

- $0\% < \text{Impervious} < 50\%$
- $50\% < \text{Impervious} < 60\%$
- $60\% < \text{Impervious} < 70\%$
- $70\% < \text{Impervious} < 80\%$
- $80\% < \text{Impervious} < 90\%$
- $90\% < \text{Impervious} < 100\%$



















Ο κύριος και βασικός διαχωρισμός των κατηγοριών έχει πραγματοποιηθεί κατά την ταξινόμηση του Level 2, στο οποίο έχουν μεταφερθεί όλες οι ταξινομήσεις των αντικειμένων των ανώτερων και κατώτερων επιπέδων, όπου αυτά έχουν ταξινομηθεί και αναγνωρισθεί καλύτερα. Έτσι, για να περιγραφεί κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες, χρησιμοποιήθηκε μια συνάρτηση συμμετοχής του σχετικού εμβαδού των υπό-αντικειμένων της κατηγορίας Vegetation L2, ως προς τα αντικείμενα των εκάστοτε προαναφερθέντων κατηγοριών. Για παράδειγμα, στην κατηγορία  $[0\% < \text{Impervious} < 50\%]$  χρησιμοποιήθηκε ο κανόνας “*Relative area of sub objects Vegetation L2*” με τη βοήθεια μια συνάρτησης μορφής Π με εύρος τιμών από 0.5 έως 1. Αυτό σημαίνει πως σε περίπτωση που ένα αντικείμενο του Level 3 καταλαμβάνεται κατά τουλάχιστον 50% από αντικείμενα που στο Level 2 έχουν ταξινομηθεί ως Vegetation, τότε στο τρέχον επίπεδο το αντικείμενο αυτό θα ταξινομηθεί στην κατηγορία η οποία περιέχει το πολύ 50% αδιαπέραστα υλικά. Αντίστοιχα, στην κατηγορία  $[90\% < \text{Impervious} < 100\%]$ , η οποία αποτελείται από αντικείμενα που είναι κατά τουλάχιστον 90% αδιαπέραστα, προϋποθέτει τα αντίστοιχα υπο-αντικείμενα ταξινομημένα σαν βλάστηση να καταλαμβάνουν έως το 10% του υπερ-αντικειμένου του τρέχοντος επιπέδου.

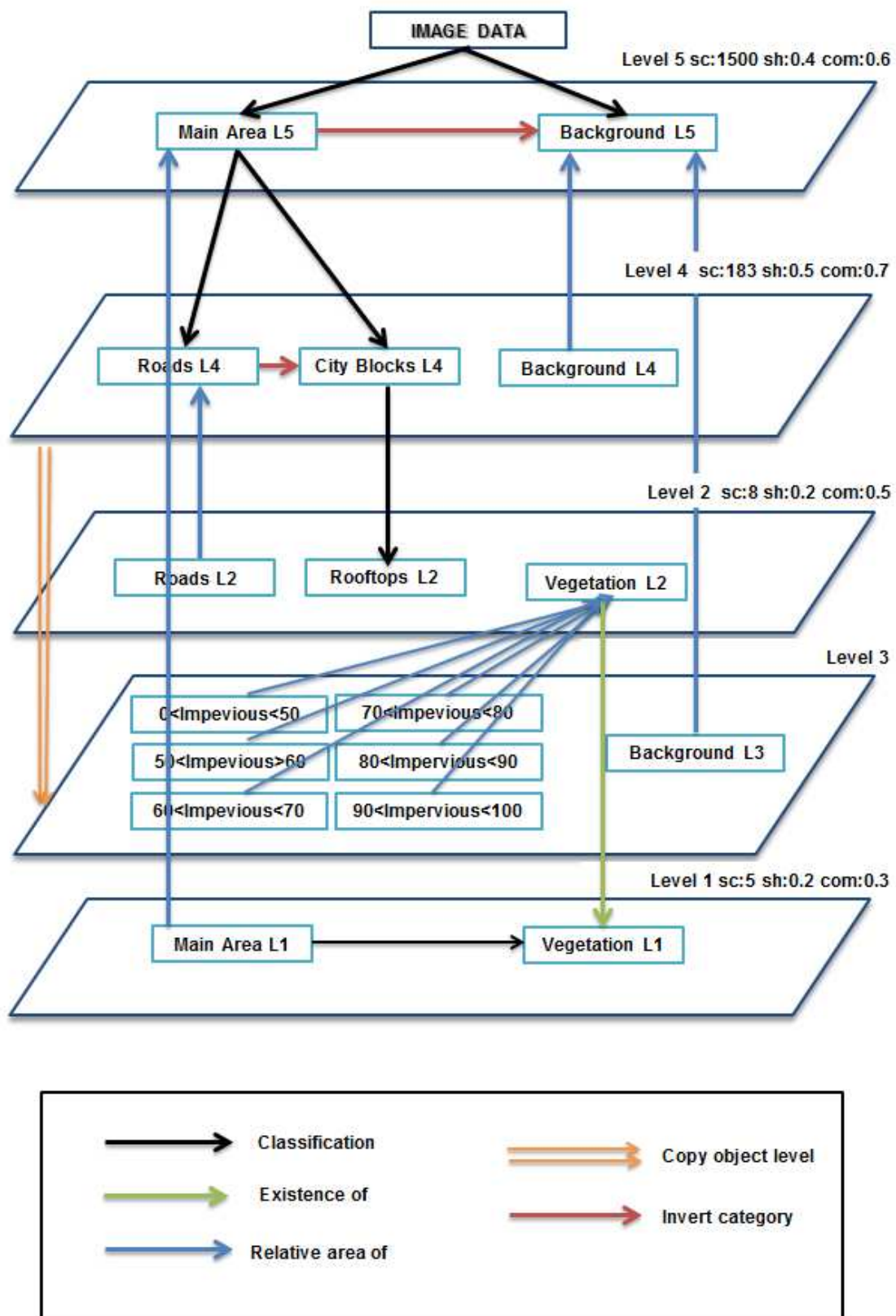


Εικόνα 3-17: Αποτέλεσμα τελικής ταξινόμησης 3ου επιπέδου ΠΜ1

## Κεφάλαιο 3 | Μεθοδολογία και Υλοποίηση

**Πίνακας 3-1: Κανόνες ταξινόμησης των κατηγοριών όλων των επιπέδων**

Επίπεδο	Κατηγορίες	Χαρακτηριστικό	Συνάρτηση συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
5	Background L5	Brightness		1	2
	Main Area L5	Not Background L5			
4	Background L4	Existence of super objects Background L5(1)		0	2
	Main Area L4	Not Background L4			
	City Blocks L4	Rectangular Fit	>	0.3	
	Roads L4	Not City Blocks L4			
1	Background L1	Existence of super objects Background L5(4)		0	2
	Main Area L1	Not Background L1			
	Vegetation L1	Scaled NDVI		108	110
2	Background L2	Existence of super objects Background L5(3)		0	2
	Main Area L2	Not Background L2			
	City Blocks L2	Existence of super objects City Blocks L4(2)		0	2
	Rooftops L2	Mean Difference to neighbors DSM (0)		1.6	1.7
	Roads L2	Existence of super objects Roads L4(2)		0	1
	Vegetation L2	Relative area of sub objects Vegetation L1(1)		0.45	0.55
3	Background L3	Existence of super objects Background L5(2)		0	2
	Main Area L3	Not Background L3			
	City Blocks L3	Existence of super objects City Blocks L4(1)		0	2
	Roads L3	Existence of super objects Roads L4(1)		0	2
	0% < Impervious < 50%	Rel.area of sub objects Vegetation L2(1)		0.5	1
	50% < Impervious < 60%	Rel.area of sub objects Vegetation L2(1)		0.4	0.5
	60% < Impervious < 70%	Rel.area of sub objects Vegetation L2(1)		0.3	0.4
	70% < Impervious < 80%	Rel.area of sub objects Vegetation L2(1)		0.2	0.3
	80% < Impervious < 90%	Rel.area of sub objects Vegetation L2(1)		0.1	0.2
	90% < Impervious < 100%	Rel.area of sub objects Vegetation L2(1)		0	0.1



Εικόνα 3-18: Διάγραμμα ροής για την ταξινόμηση των επιπέδων της ΠΜ1



### 3.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 2

Η περιοχή Μελέτης 2 βρίσκεται στην περιοχή της Γλυφάδας. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διαθέσιμα δεδομένα, και στην συνέχεια ακολουθεί η φωτοερμηνεία, οι κατατμήσεις και οι ταξινομήσεις που πραγματοποιήθηκαν.

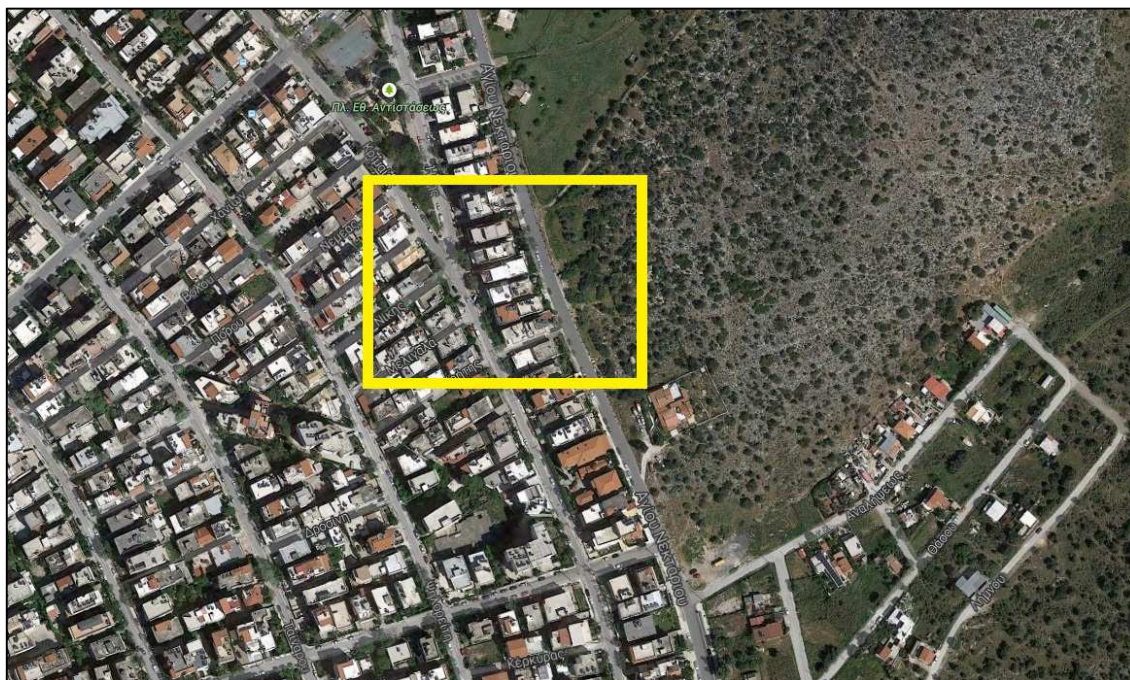
#### 3.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Η Γλυφάδα, έδρα του ομώνυμου δήμου, είναι παραλιακό προάστιο, παρά την Άκρα Πούντα του Σαρωνικού, στα νότια του πολεοδομικού συγκροτήματος της Αθήνας, έκτασης 25 τετρ. χλμ. Από την Αθήνα απέχει περίπου 14 χλμ. και από το Φάληρο περίπου 7,5 χλμ. Διοικητικά ανήκει στην περιφέρεια Αττικής και στη Νομαρχία Αθηνών.

Ο δήμος της Γλυφάδας κατά την αρχαιότητα ονομαζόταν δήμος της Αιξωνής και ήταν γνωστός για την Αιξωνική Τρίγλη (είδος ιχθύος – το μπαρμπούνι). Η ονομασία "Γλυφάδα" είναι πρόσφατη και προέρχεται από τα πηγάδια της περιοχής που το νερό τους είναι υφάλμυρο, κοινώς γλυφό.

Σημειώνεται ότι με την εφαρμογή της νέας διοικητικής διαίρεσης της χώρας κατά το Πρόγραμμα Καλλικράτης ουδεμία μεταβολή επήλθε στο Δήμο, σύμφωνα με το άρθρο 1,§ 5.1.Β αυτού.

Η συνοικία της Τερψιθέας, στην οποία βρίσκεται η προς μελέτη περιοχή, αποτελεί το βορειότερο και πυκνότερα δομημένο τμήμα του δήμου. Περικλείεται από τα Μαυροβούνια (τμήμα του όρους Υμηττός), την Άνω Γλυφάδα και το Δήμο Αργυρούπολης. Η περιοχή μελέτης αποτελεί ακραίο τμήμα του οικισμού και συνορεύει με τους πρόποδες του Υμηττού. Πρόκειται για περιοχή αμιγούς κατοικίας όχι ιδιαίτερα πυκνοκατοικημένης λόγω απόστασης από το αστικό κέντρο. Αποτελείται κυρίως από διώροφες-τριώροφες μονοκατοικίες και κάποιες πολυκατοικίες, οι πλειοψηφία των οποίων δείχνει να έχει κατασκευαστεί τα τελευταία 20 χρόνια.



*Εικόνα 3-19: Γενική εποπτεία της Περιοχής Μελέτης 2  
(Πηγή : google maps)*

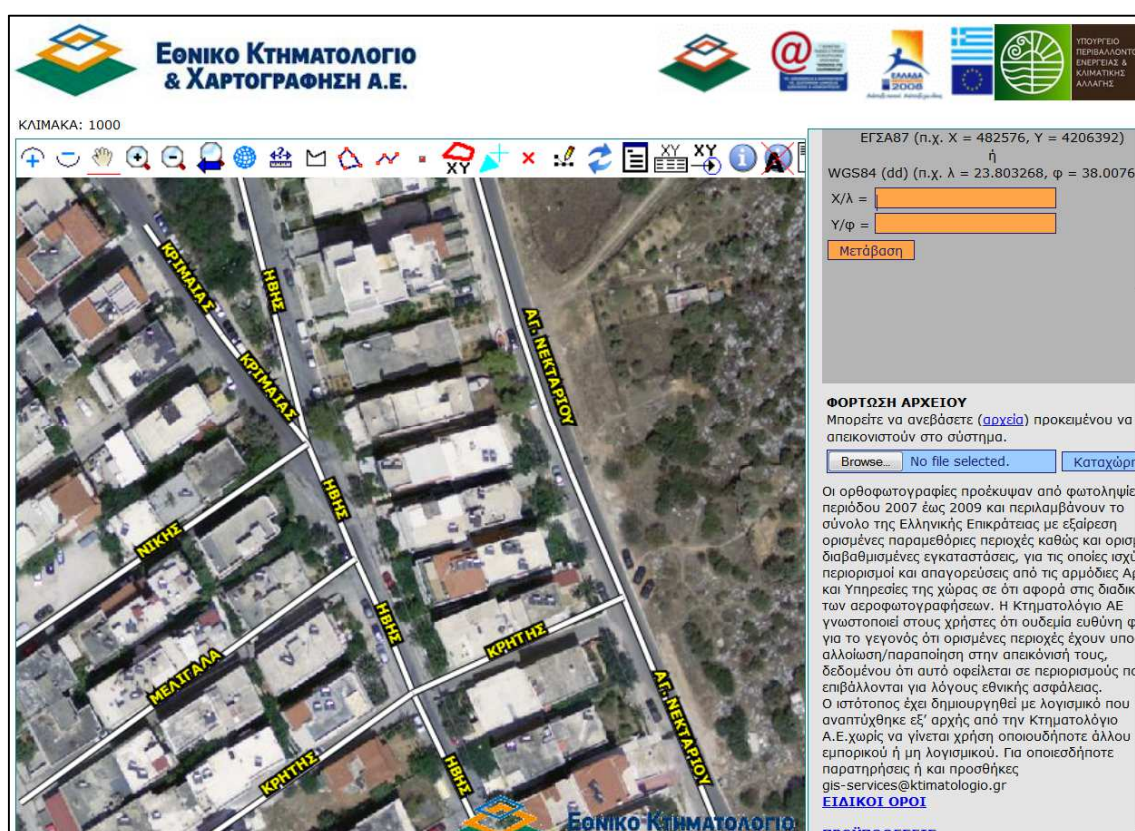
### 3.2.2 Δεδομένα

Η εικόνα μελέτης έχει εξαχθεί από την διαδικτυακή υπηρεσία θέασης ορθοφωτοχαρτών της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. Η εφαρμογή της ιστοσελίδας του Κτηματολογίου προσφέρει δυνατότητες μετακίνησης (pan) zoom in, zoom out, μέτρησης απόστασης, μέτρησης εμβαδού κ.α. Πρόκειται για ένα να παρόμοιο εργαλείο με το Google Maps, όχι ίσως τόσο εύχρηστο, σίγουρα όμως με καλύτερη ανάλυση εικόνας και περισσότερες.

Οι ορθοφωτογραφίες, που παρέχονται με αυτή την υπηρεσία, αφορούν στο σύνολο της Ελληνικής Επικράτειας με εξαίρεση ορισμένες παραμεθόριες περιοχές καθώς και ορισμένες διαβαθμισμένες εγκαταστάσεις, για τις οποίες ισχύουν περιορισμοί και απαγορεύσεις από τις αρμόδιες Αρχές και Υπηρεσίες της χώρας σε ότι αφορά στις διαδικασίες των αεροφωτογραφήσεων. Η χωρική ανάλυση των εικόνων είναι 20cm για τις αστικές περιοχές και 50cm για τις υπόλοιπες περιοχές της χώρας. Οι ορθοφωτογραφίες αυτές, οι οποίες προέκυψαν από φωτοληψίες περιόδου 2007 έως 2009, αποτελούν το πλέον πρόσφατα ενημερωμένο χαρτογραφικό υλικό με τη μεγαλύτερη δυνατή ανάλυση.

## Κεφάλαιο 3 | Μεθοδολογία και Υλοποίηση

Το φωτογραφικό υλικό είναι διαθέσιμο και μέσω WMS (WebMappingService) έκδοσης 1.1.0 σε γεωγραφικό σύστημα WGS84. Το WMS είναι ένα ανοικτό πρότυπο που έχει οριστεί από το OGC (OpenGISconsortium) και το οποίο παρέχει μια κοινή τυποποιημένη διεπαφή για πρόσβαση σε θεματικές ενότητες χαρτών που παρέχονται από κάποιον χωρικό εξυπηρετητή. Οι χρήστες αυτών των διεπαφών (interface) που είναι συμβατοί με αυτό το ανοικτό πρότυπο μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους ασχέτως με το λογισμικό πελάτη (clientsoftware) που χρησιμοποιούν. Ο σχετικός ιστότοπος είναι: <http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx>



Εικόνα 3-20: Γραφικό περιβάλλον διαδικτυακής εφαρμογής κτηματολογίου

Όσον αφορά την εικόνα που θα χρησιμοποιηθεί προς μελέτη, επεξεργασία και ταξινόμηση, όπως αναφέρθηκε έχει εξαχθεί απ' ευθείας από την εφαρμογή της Κτηματολόγιο Α.Ε χρησιμοποιώντας στην κλίμακα την επιλογή «1000», η οποία κρίθηκε οπτικά καταλληλότερη για την μετέπειτα διάκριση και ταξινόμηση των κατηγοριών από τις οποίες απαρτίζεται. Οι διαστάσεις της εικόνας είναι 804\* 615

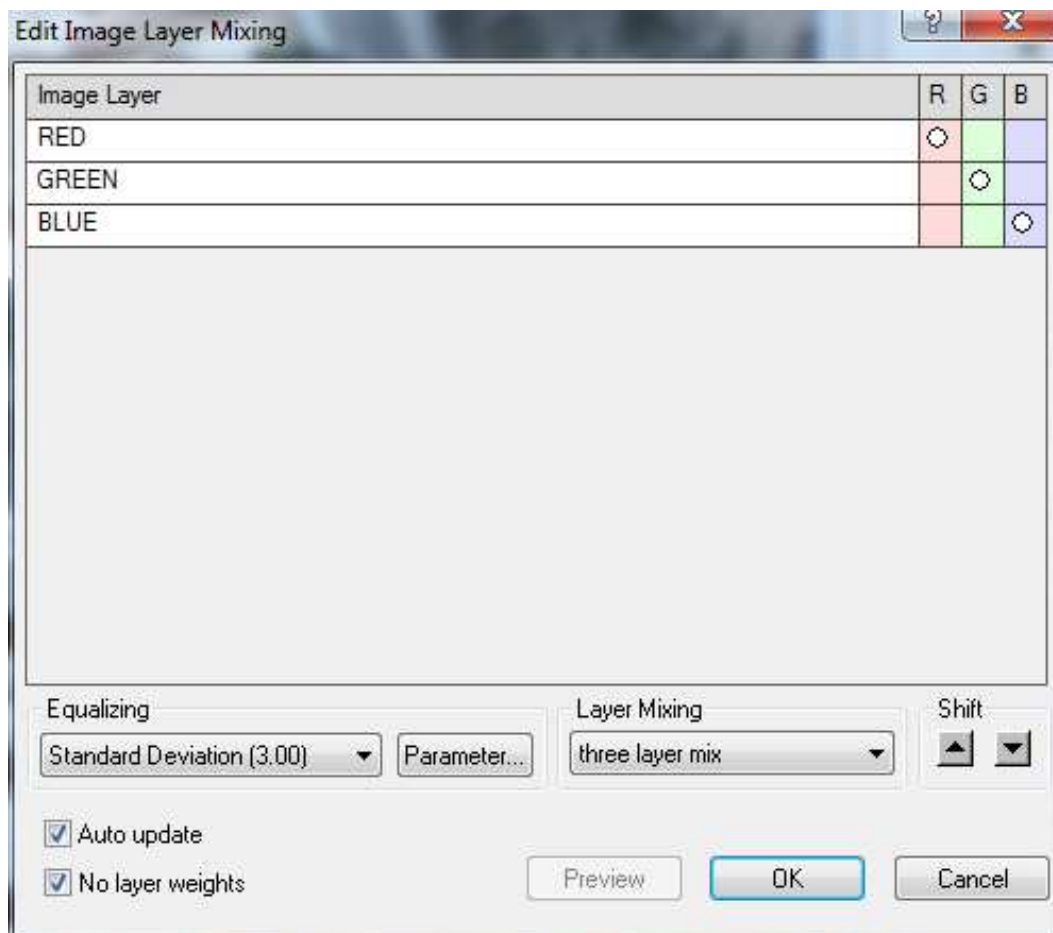
pixel, η ραδιομετρική ακρίβεια 8 bit και περιλαμβάνει 3 κανάλια: RED, GREEN, BLUE.

Θεωρητικά, το ιδανικό αποτέλεσμα από την ανάλυση και ταξινόμηση της προαναφερθείσας εικόνας θα ήταν η εξαγωγή ενός ruleset, τόσο γενικού αλλά και ταυτόχρονα συγκεκριμένου ώστε παίρνοντας με τη διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω μια άλλη εικόνα από μια οποιαδήποτε περιοχή της Ελλάδας με παρόμοια εδαφοκάλυψη, να μπορούσε να ταξινομηθεί αυτόματα με σχετικά καλή ακρίβεια. Ο πρώτος περιορισμός που συναντάται είναι ο περιορισμός στα 3 βασικά κανάλια RED, GREEN, BLUE. Κάτι τέτοιο αποκλείει τη χρήση των εξαιρετικά χρήσιμων δεικτών όπως οι NDVI, MSAVI, NDWI και άλλων που προκύπτουν από λόγους καναλιών και χρησιμοποιούν το (εγγύς) υπέρυθρο κανάλι. Κατά δεύτερον, οι διάφορες εικόνες ανά περιοχή έχουν υποστεί ψηφιακές ενισχύσεις χρησιμοποιώντας διαφορετικό αλγόριθμο κάθε φορά με αποτέλεσμα να μεταβάλλονται ανομοιογενώς οι ψηφιακές τιμές τους. Για παράδειγμα έστω ότι χρησιμοποιείται το χαρακτηριστικό “brightness” για την ανάδειξη των σκιασμένων επιφανειών. Τα όρια της συνάρτησης συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν και βάση της ασαφούς λογικής ταξινομήθηκαν σωστά οι σκιές, κατόπιν εφαρμογής σε διαφορετική εικόνα το πιθανότερο είναι να οδηγήσουν σε πολύ χειρότερο αποτέλεσμα ταξινόμησης.

### 3.2.3 Φωτοερμηνεία

Σκοπός της φωτοερμηνευτικής διαδικασίας αποτελεί η ανίχνευση και ο εντοπισμός όλων των φασματικών και θεματικών κατηγοριών, κάτι στο οποίο διευκολύνει η υψηλή διακριτική ικανότητα της εικόνας. Το λογισμικό eCognition επιτρέπει τη δημιουργία έγχρωμων σύνθετων συνδυάζοντας μεταξύ τους τα διαθέσιμα κανάλια ακόμη και με διαφορετικά βάρη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση αρκεστήκαμε στο RGB 3-2-1 στο οποίο απεικονίζεται η γήινη επιφάνεια με φυσικά χρώματα. Σαν ενίσχυση χρησιμοποιήθηκε η Standard Deviation με σκοπό να εντείνει περαιτέρω τις διαφορές μεταξύ των κατηγοριών. Ως αποτέλεσμα η βλάστηση ξεχωρίζει με το πράσινο χρώμα, τα κτήρια λόγω του παραλληλόγραμου σχήματος και το λευκό/κόκκινο/σκούρο γκρι χρώμα τους ανάλογα του υλικού της ταράτσας. Η άγονη γή είναι αναγνωρίσιμη λόγω της ωχρού χρώματος ενώ οι δρόμοι λόγω του στενόμακρου σχήματος, του σχετικά ομοιόμορφου χρώματος, και των αυτοκινήτων στο εσωτερικό τους. Οι σκιές παρατηρούνται σε σημεία έντονης υψομετρικής διαφοράς με τον περιβάλλοντα χώρο και χαρακτηρίζονται από το σκούρο γκρι/μαύρο χρώμα τους.

Πίνακας 3-2: Φωτοερμηνεία στην περιοχή μελέτης 1



Εικόνα 3-21: Επιλογή συνδυασμού καναλιών προς απεικόνιση

### 3.2.4 Κατατμήσεις

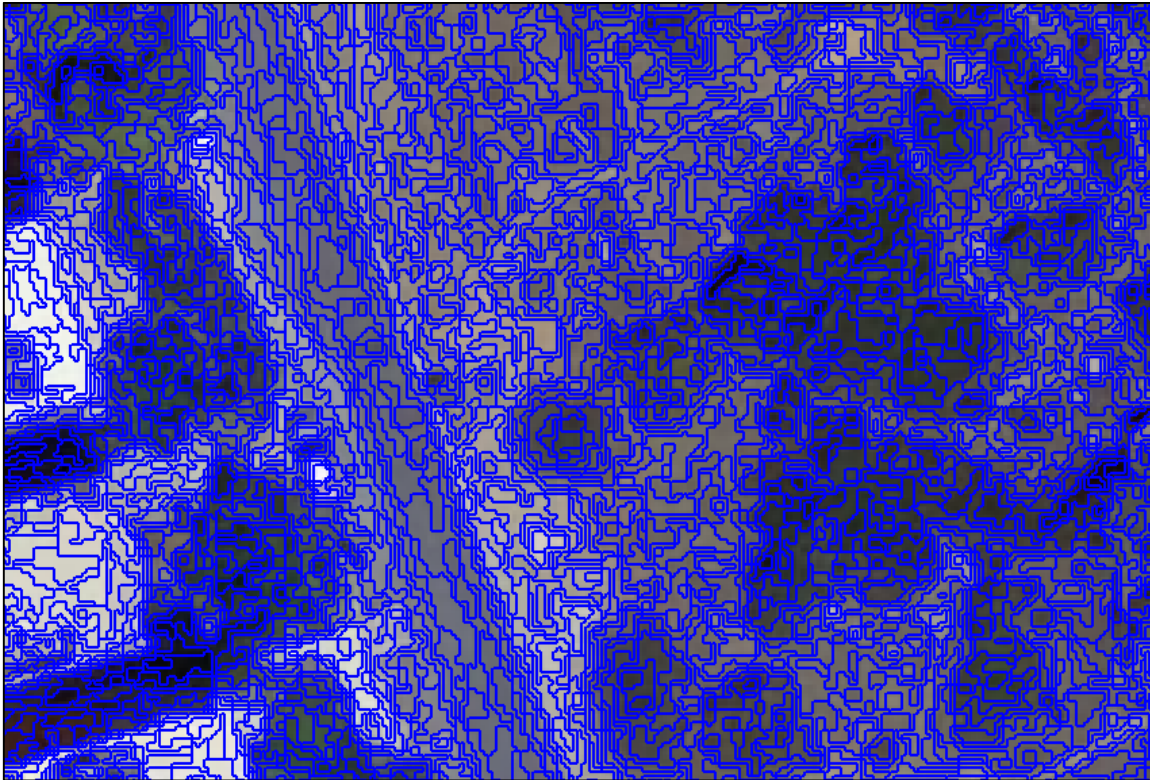
Όπως έχει αναφερθεί, σκοπός της κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης είναι η δημιουργία των πρωτογενών αντικειμένων και κατ' επέκταση του ιεραρχικού δικτύου που θα επακολουθήσει μέσω των επιπέδων κατάτμησης

#### 3.2.4.1 Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης

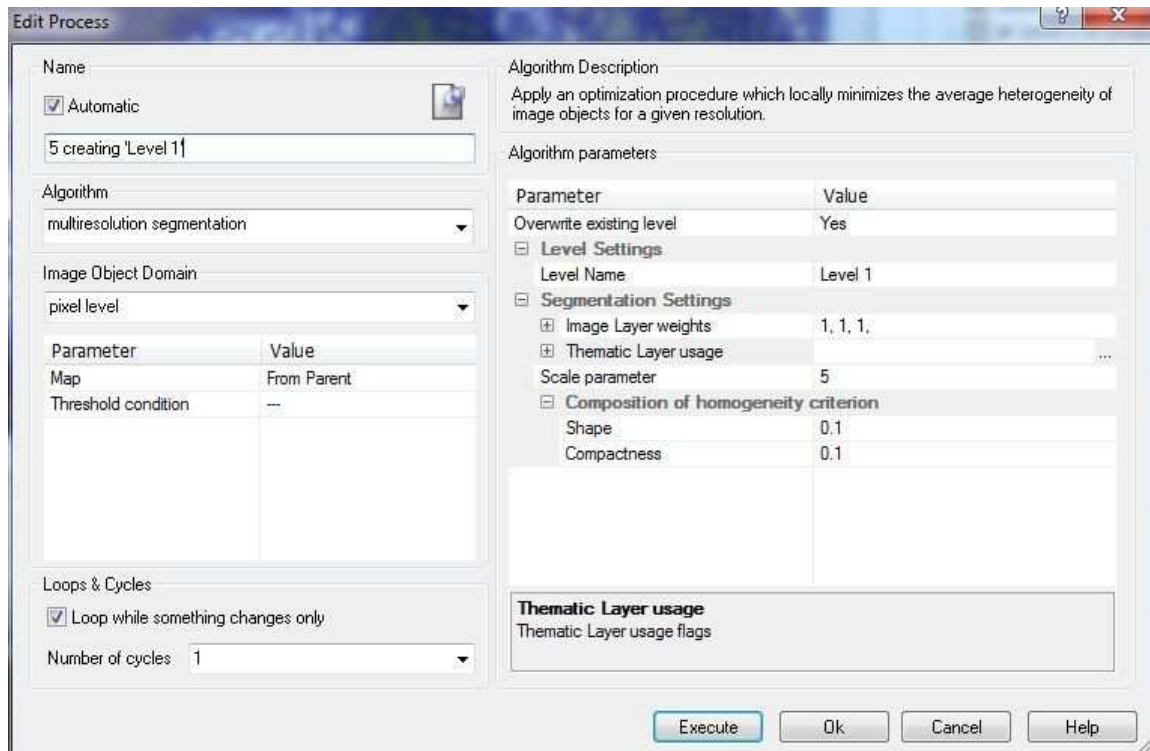
Για την κατάτμηση όλων των επιπέδων επελέγη ο αλγόριθμος κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης (multiresolution segmentation) ο οποίος περιλαμβάνεται στο λογισμικό. Αρχικά δημιουργήθηκε ένα λεπτόκοκκο επίπεδο για την ανάδειξη της βλάστησης, το *Level 1*. Στην συνέχεια, επάνω από το *Level 1* δημιουργήθηκε το *Level 3* με έμφαση στο σχηματικό κριτήριο για το σωστό διαχωρισμό των δρόμων και στο οποίο θα μεταφερθούν οι ταξινομήσεις των ανώτερων και κατώτερων επιπέδων για την τελική ταξινόμηση. Πάνω από το *Level 3* δημιουργήθηκε ένα αρκετά πιο χονδρόκοκκο επίπεδο, το *Level 4* με σκοπό τον εντοπισμό των κτηρίων. Κατόπιν δημιουργείται πάνω από το *Level 1*, Το *Level 2* ένα βοηθητικό επίπεδο με ίδιες παραμέτρους με το *Level 3*. Τέλος δημιουργείται και ένα *Level 5* αποτελώντας αντιγραφή του *Level 4*, και αποσκοπεί στον διαχωρισμό τεχνητού και φυσικού περιβάλλοντος.

#### 3.2.4.2 Κατάτμηση 1<sup>ου</sup> επιπέδου

Η κυκλική και επαναληπτική διαδικασία δοκιμών της κατάτμησης ξεκίνησε από το επίπεδο 1. Πρόκειται για ένα λεπτόκοκκο επίπεδο, πρωταρχικός στόχος του οποίου αποτελεί η αναγνώριση της βλάστησης. Βασίζεται στο επίπεδο των pixel (pixel level) και για την κατάτμηση χρησιμοποιήθηκαν και τα 3 διαθέσιμα κανάλια με βάρος ίσο με τη μονάδα, έτσι ώστε να αξιοποιηθεί όλη η διαθέσιμη φασματική πληροφορία. Επελέχθη μια πολύ μικρή παράμετρος κλίμακας, και δόθηκε μεγάλη έμφαση στο φασματικό κριτήριο και στο λείο των ορίων των αντικειμένων. Η βλάστηση, έχοντας ακανόνιστη μορφή στις διάφορες εμφανίσεις της, αντιπροσωπεύεται ευκολότερα από μικρά μη συμπαγή αντικείμενα. Συγκεκριμένα, η παράμετρος κλίμακας ορίστηκε ίση με 5, στο κριτήριο σχήματος δόθηκε τιμή 0,1 και στο συμπαγές των αντικειμένων πάλι 0,1. Συνεπώς, το φασματικό κριτήριο έχει τιμή 0,9 και το λείο των αντικειμένων 0,9.



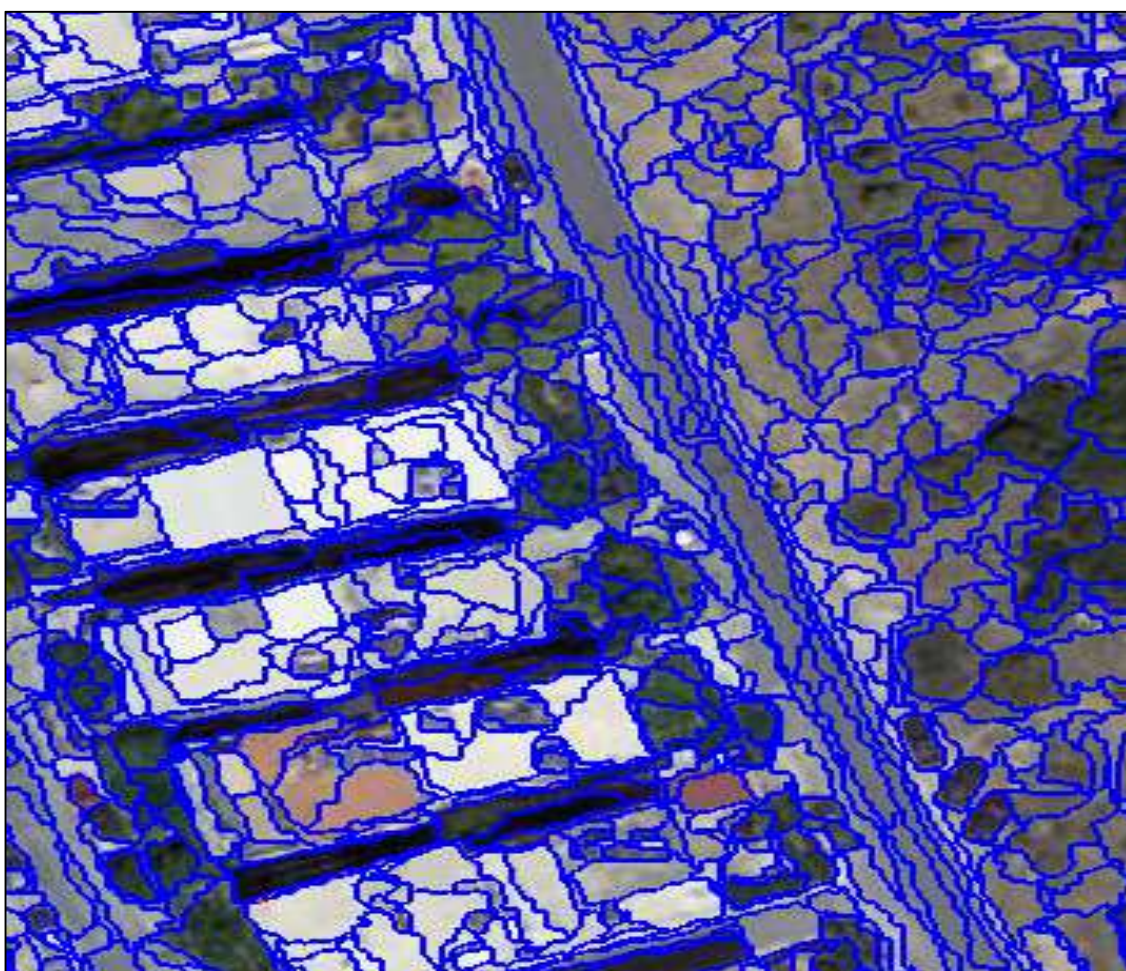
Εικόνα 3-22: Αποτέλεσμα κατάτμησης 1<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2



Εικόνα 3-23: Παράμετροι κατάτμησης 1<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2

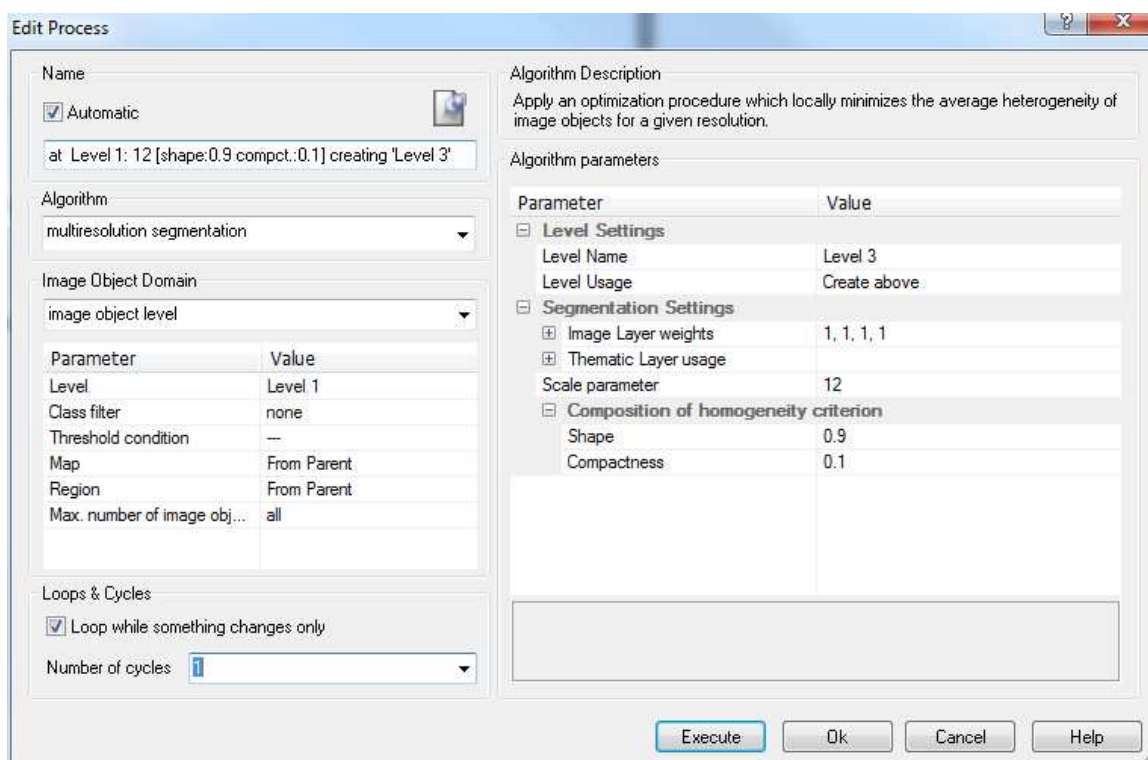
### 3.2.4.3 Κατάτμηση 3<sup>ου</sup> επιπέδου

Στα πλαίσια της κατάτμησης του 3ου επιπέδου, πρωταρχικό μέλημα αποτέλεσε όπως προ-αναφέρθηκε η δημιουργία αντικειμένων που να αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν καλύτερα τους δρόμους. Το *Level 3* δημιουργήθηκε επάνω από το *Level 1* (create above). Κατόπιν δοκιμών επιλέχθηκε παράμετρος κλίμακας ίση με 12. Στην τελική κατάτμηση του επιπέδου δόθηκε πολύ μεγάλο βάρος στο κριτήριο σχήματος και στην ομαλότητα των ορίων. Κατ' αυτό τον τρόπο δημιουργούνται μακρόστενα αντικείμενα που ταυτίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό με την θεματική κατηγορία των δρόμων. Στο κριτήριο σχήματος δόθηκε συντελεστής 0.9 (άρα 0.1 στο φασματικό κριτήριο) και στην ομαλότητα των ορίων 0.1 (άρα 0.9 στο συμπαγές των αντικειμένων) Στην κατάτμηση συμμετέχουν και αυτή τη φορά και τα 3 διαθέσιμα κανάλια με βάρος 1.



Εικόνα 3-24: Αποτέλεσμα κατάτμησης 3<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2

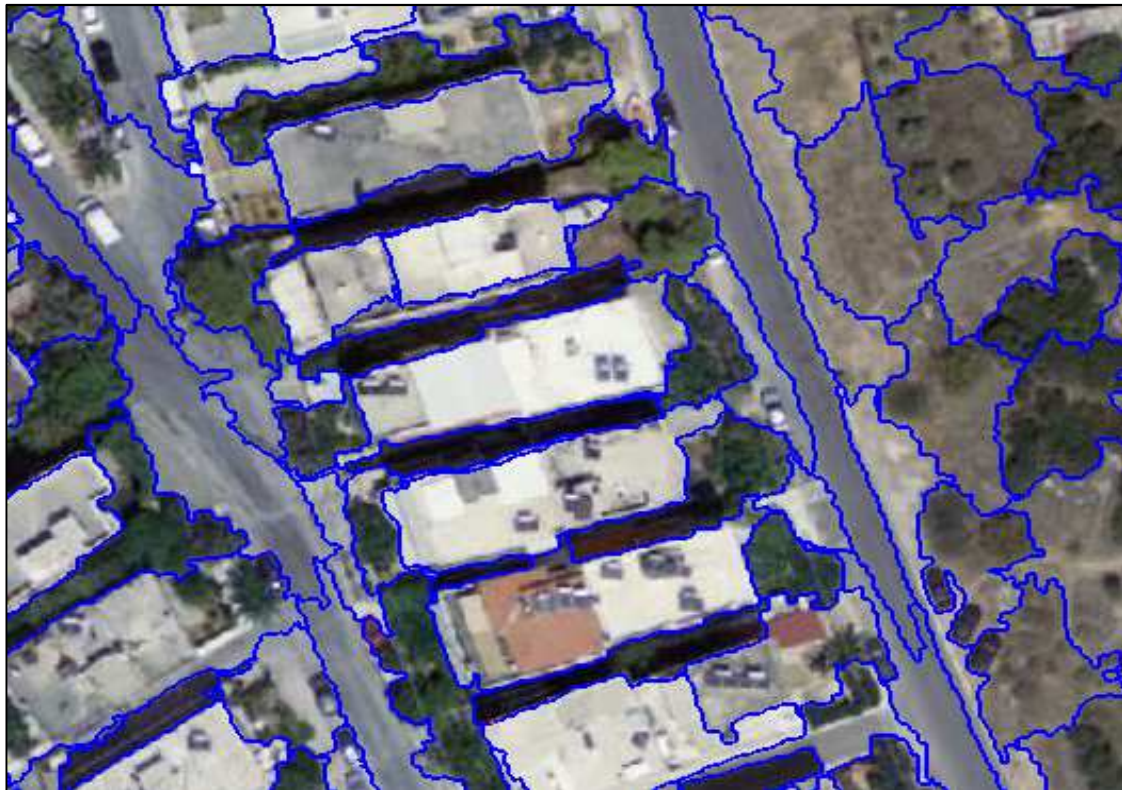




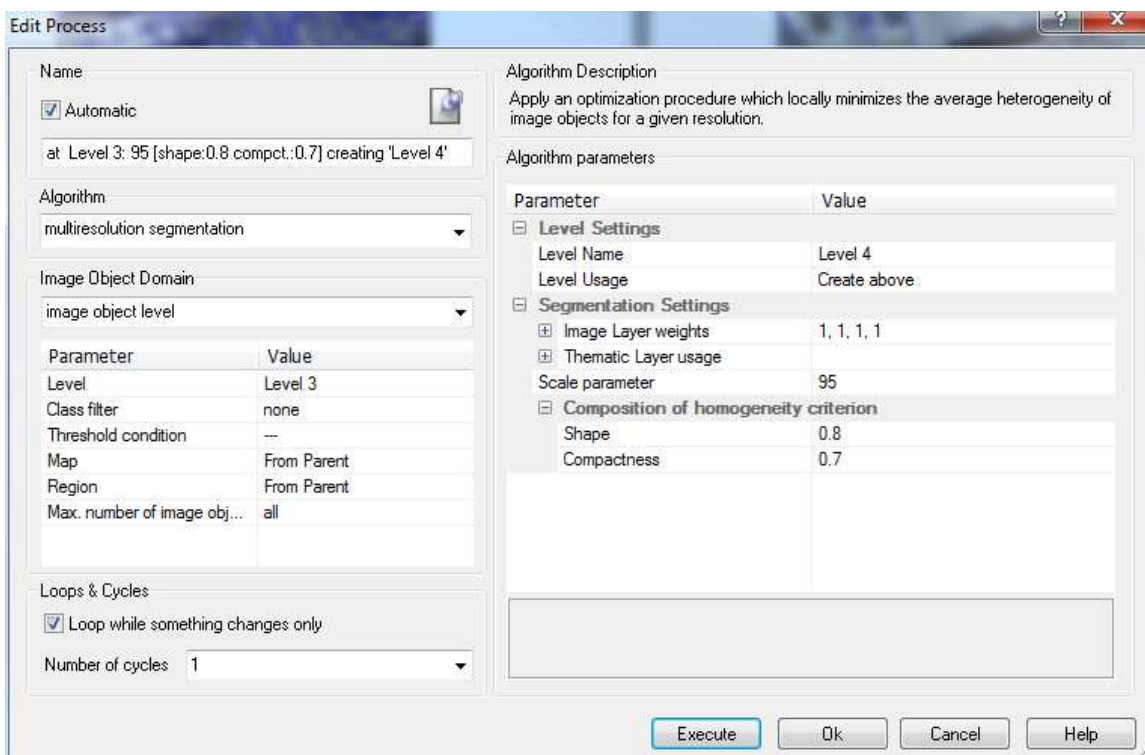
Εικόνα 3-25: Παράμετροι κατάτμησης 3<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2

### 3.2.4.4 Κατάτμηση 4<sup>ου</sup> επιπέδου

Στο τρέχον επίπεδο κατάτμησης, επιχειρείται η απόδοση των κτηρίων. Στόχος είναι η δημιουργία αντικειμένων αρκετά μεγάλων ώστε να προσεγγίζουν αποτελεσματικά τις ταρατσες των κτηρίων. Δημιουργήθηκε επάνω από το επίπεδο 3 (create above) και τελική παράμετρος κλίμακας που επελέγη είναι 95, αρκετά μεγαλύτερη από αυτές των προηγούμενων επιπέδων. Κοιτάζοντας τα κτήρια από ψηλά χαρακτηρίζονται από αυστηρή γεωμετρία σε σχέση με τις υπόλοιπες θεματικές κατηγορίες. Δόθηκε έτσι μεγάλο βάρος (ίσο με 0.8) στο κριτήριο σχήματος, και αντιστοίχως 0.7 στο κριτήριο συμπαγότητας. Το φασματικό κριτήριο και το κριτήριο ομαλότητας των ορίων έλαβαν τιμές 0.2 και 0.3 αντίστοιχα.



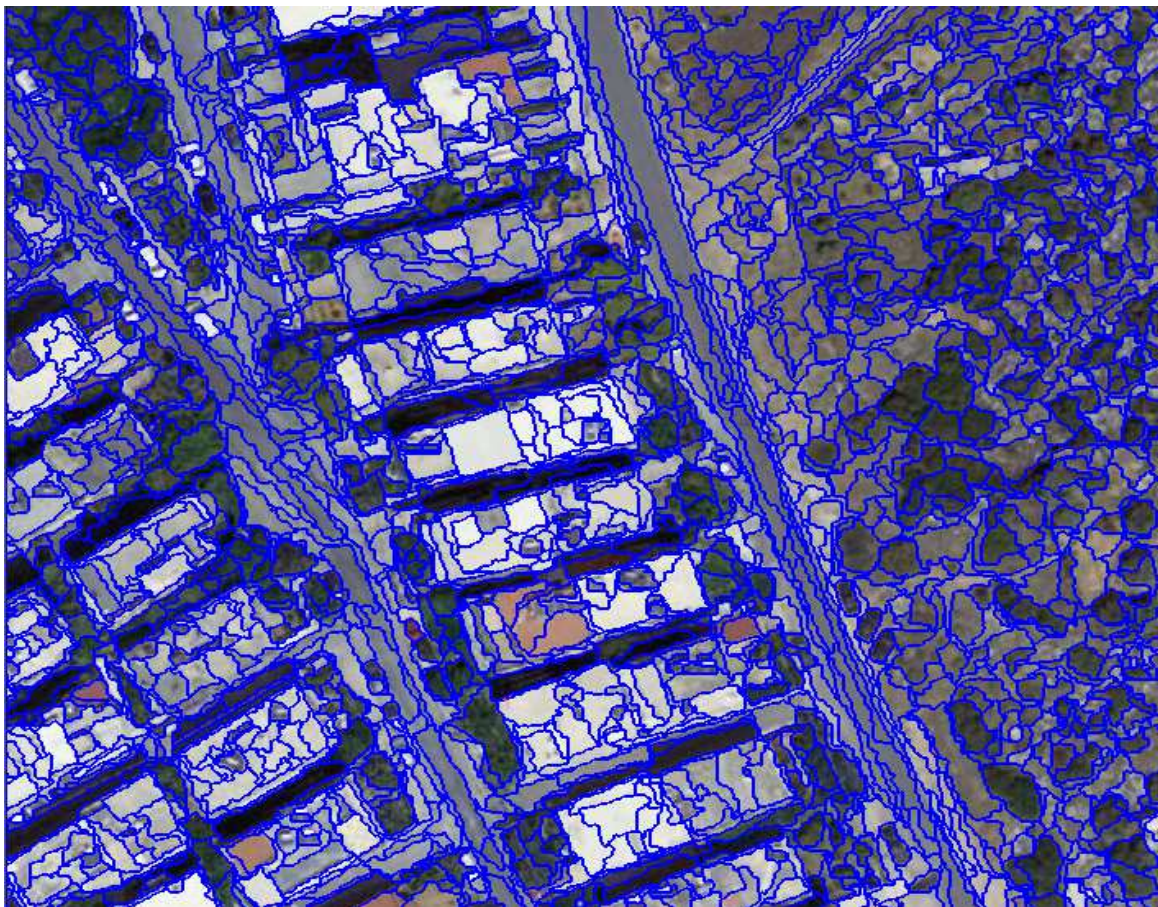
Εικόνα 3-27: Αποτέλεσμα κατάτμησης 4<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2



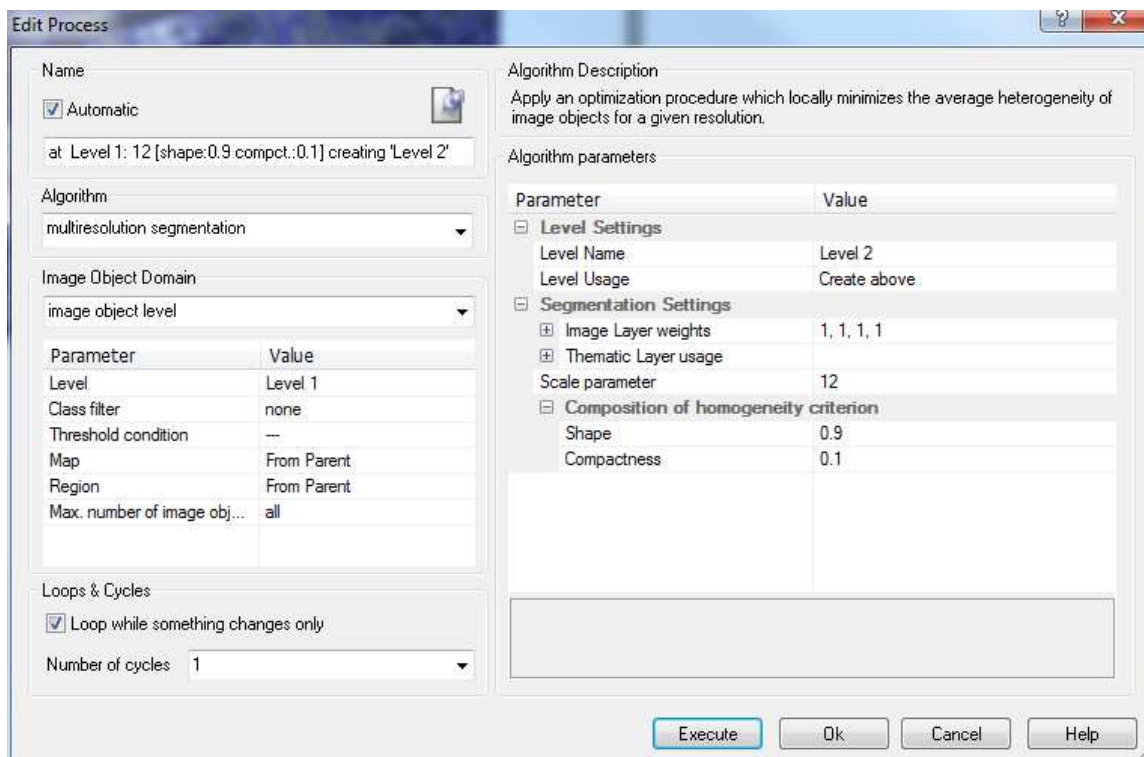
Εικόνα 3-26: Παράμετροι κατάτμησης 4<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2

### 3.2.4.5 Κατάτμηση 2<sup>ου</sup> επιπέδου

Πρόκειται για βοηθητικό επίπεδο που δημιουργήθηκε πάνω από το επίπεδο 1 και πρόκειται να εξυπηρετήσει στο συνδυασμό δυο κατηγοριών που θα προκύψουν κατά την ταξινόμηση του επιπέδου 3 και κατατμήθηκε χρησιμοποιώντας τις ίδιες παραμέτρους με αυτό. Συγκεκριμένα, τα κανάλια της εικόνας συμμετέχουν στην κατάτμηση ισοδύναμα και βάρος ίσο με 1, ενώ η παράμετρος κλίμακας έχει τιμή 12. Το κριτήριο σχήματος έχει τιμή 0.9 (άρα το κριτήριο χρώματος 0.1) και τα αντίστοιχα βάρη στην συμπαγότητα και ομαλότητας των αντικειμένων ορίζονται σε 0.1 και 0.9 αντίστοιχα.



Εικόνα 3-28: Αποτέλεσμα κατάτμησης 2<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2



Εικόνα 3-29: Παράμετροι κατάτμησης 2<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2

### 3.2.4.6 Κατάτμηση 5<sup>ου</sup> επιπέδου

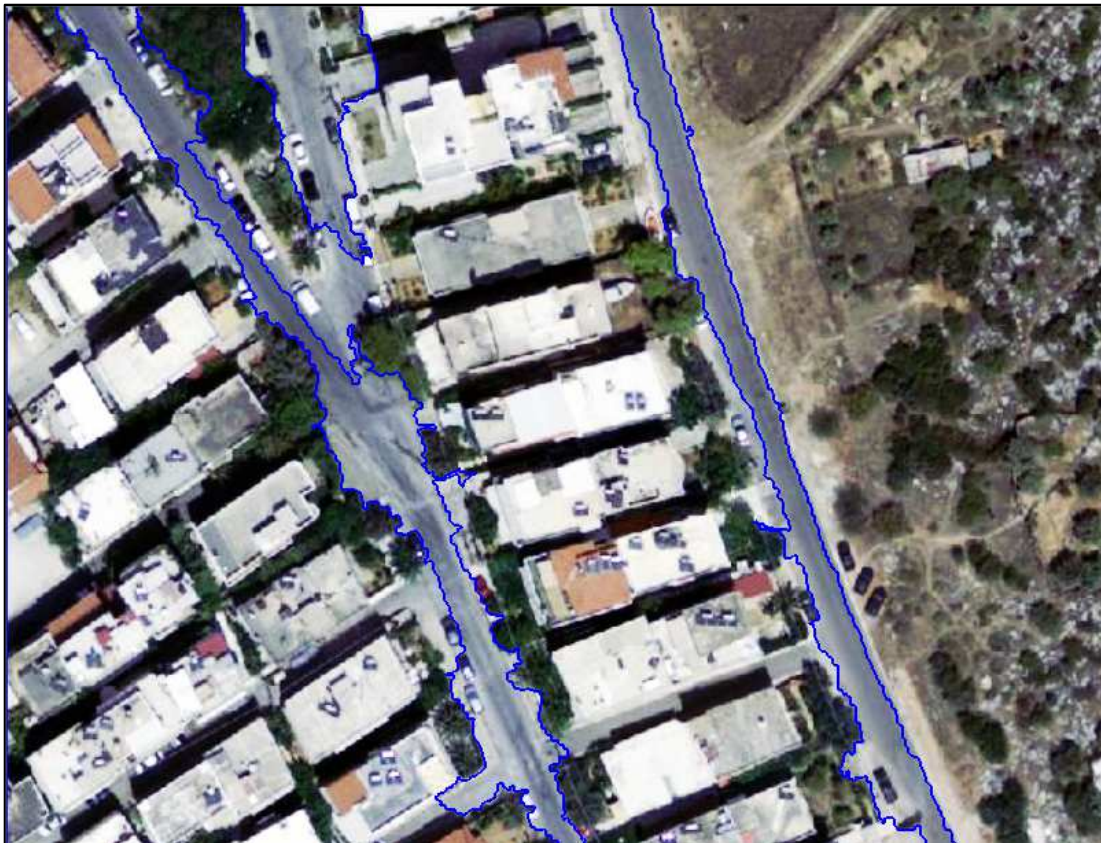
Το 5<sup>ο</sup> επίπεδο αποτελεί βοηθητικό επίπεδο για την μετέπειτα κατάτμηση του 6<sup>ου</sup> επιπέδου. Δημιουργήθηκε πάνω από το 4<sup>ο</sup> επίπεδο και αποτελεί αντιγραφή αυτού ενώ σκοπός του ήταν ο απλός διαχωρισμός των δρόμων από τα αντικείμενα που δεν είναι δρόμοι. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε κατάτμηση βάσει ταξινόμησης, συγκεκριμένα συγχωνευτήκαν σε αυτό τα αντικείμενα που είχαν ταξινομηθεί στο επίπεδο 3 ως δρόμοι.

### 3.2.4.7 Κατάτμηση 6<sup>ου</sup> επιπέδου

Το 6<sup>ο</sup> επίπεδο αποτελεί και αυτό ένα βοηθητικό επίπεδο στο οποίο επιδιώκεται ο διαχωρισμός της εικόνας σε τεχνητό και φυσικό περιβάλλον. Δημιουργήθηκε πάνω από το 5<sup>ο</sup> επίπεδο και αποτελεί αντιγραφή αυτού.



*Εικόνα 3-31: Αποτέλεσμα κατάτμησης 5<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2*



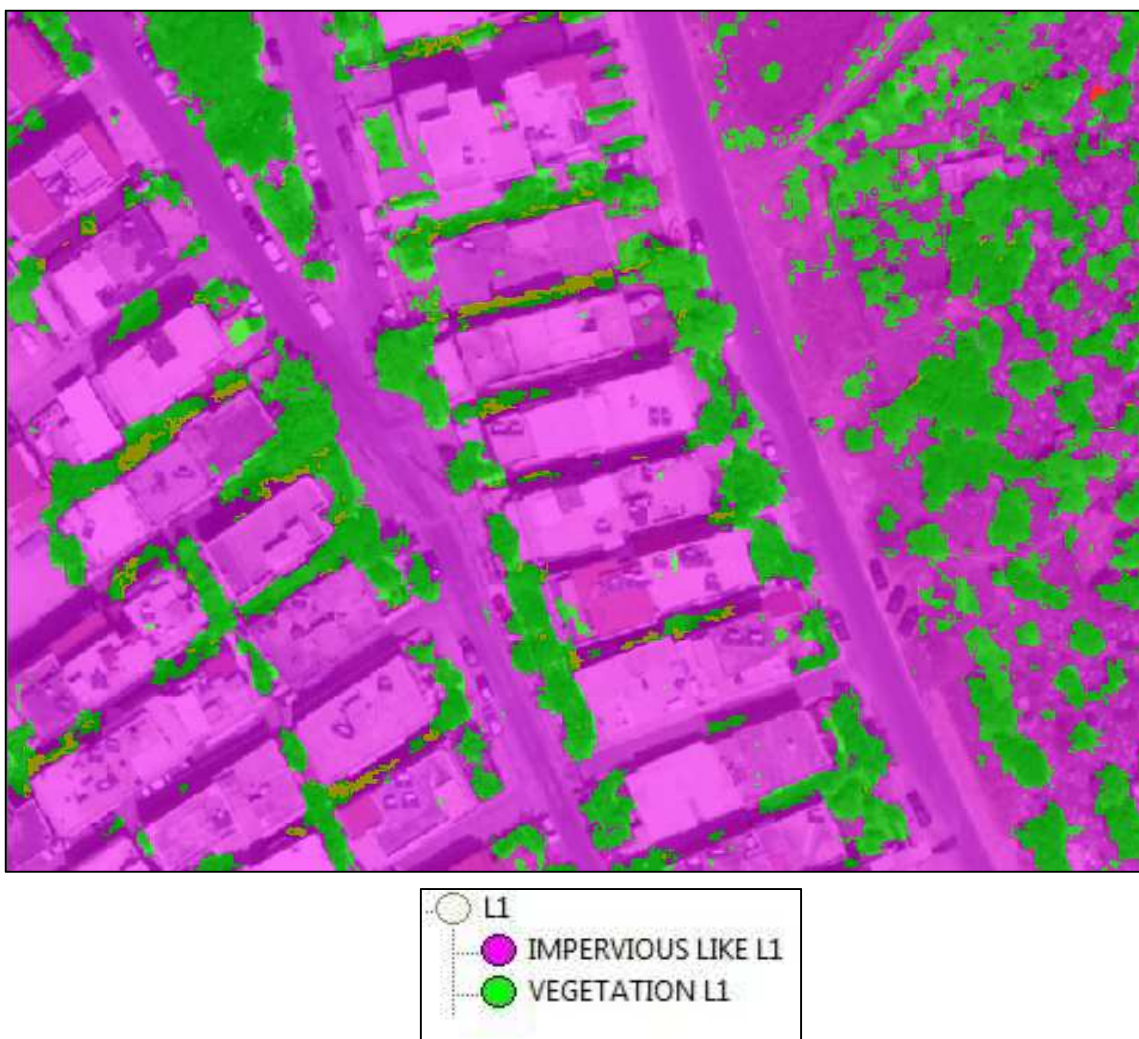
*Εικόνα 3-30: Αποτέλεσμα κατάτμησης 6<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2*

### 3.2.5 Ταξινομήσεις

Όπως και στην πρώτη περιοχή μελέτης, οι ταξινομήσεις θα πραγματοποιηθούν χρησιμοποιώντας την ασαφή λογική. Στα πλαίσια αυτής της μεθόδου, αρχικά και για κάθε αντικείμενο υπολογίζεται ένας ασαφής βαθμός συμμετοχής σε κάθε μια από τις διαθέσιμες προς ταξινόμηση κατηγορίες. Ο βαθμός συμμετοχής υπολογίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά τα οποία έχει η κάθε κατηγορία και την ομοιότητα προς αυτά του αντικειμένου που είναι υποψήφιο προς ταξινόμηση. Στη συνέχεια, ο μέγιστος βαθμός συμμετοχής ταξινομεί το αντικείμενο στην κατηγορία για την οποία αυτός έχει προκύψει. (Αργιαλάς, Τζώτσος 2007). Στην προκειμένη περίπτωση η σειρά ταξινομήσεων των επιπέδων δεν συμπίπτει με τη σειρά δημιουργίας τους.

#### 3.2.5.1 Ταξινόμηση 1<sup>ου</sup> επιπέδου

Στο πρώτο επίπεδο της ταξινόμησης, στόχος είναι η ανίχνευση της βλάστησης και ο διαχωρισμός της από τις υπόλοιπες κατηγορίες. Γενικά, στις ταξινομήσεις βλάστησης εκμεταλλευόμαστε την ιδιότητά της να ανακλά περισσότερο την υπέρυθρη ακτινοβολία και λιγότερο την κόκκινη. Η διαφορά αυτή ανακλαστικότητας είναι πολύτιμη και πάνω σε αυτήν έχουν βασιστεί κάποιοι αρκετά διαδεδομένοι και αξιόπιστοι δείκτες βλάστησης. Παραδείγματα των οποίων αποτελούν οι NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) και MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index). Στην περίπτωση μας όμως, ελλείπει ενός υπέρυθρου καναλιού, θα πρέπει να αρκεστούμε σε άλλα φασματικά χαρακτηριστικά και κανόνες. Αρχικά δημιουργούνται 2 κατηγορίες: *Vegetation L1* και *Impervious Like L1*. Για τον εντοπισμό της βλάστησης χρησιμοποιήθηκε το χαρακτηριστικό *ratio GREEN*, το οποίο υπολογίζεται από το λόγο της μέσης τιμής ενός αντικειμένου του τρέχοντος επιπέδου και του αθροίσματος των φασματικών μέσων τιμών του επιπέδου, για το πράσινο κανάλι. Με τη βοήθεια του παραπάνω χαρακτηριστικού και μια συνάρτησης συμμετοχής τύπου S, πραγματοποιήθηκε η ζητούμενη ταξινόμηση, με απαίτηση το *ratio GREEN* να παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 0.341.



Εικόνα 3-32:Αποτέλεσμα ταξινόμησης 1<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2

### 3.2.5.2 Ταξινόμηση 4<sup>ου</sup> επιπέδου

Η ταξινόμηση συνεχίζει από το άλλο άκρο. Στο χονδρόκοκκο επίπεδο Level 4, επιχειρείται η αναγνώριση των κτηρίων. Αρχικά δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες κατηγορίες που είχαν περιγραφεί και στα προηγούμενα επίπεδα: *Impervious Like L4* και *Vegetation L4*, ώστε να μεταφερθεί η πληροφορία τους και να διευκολυνθεί η ταξινόμηση του τρέχοντος επιπέδου. Η κατηγορία *Vegetation L4* ορίζεται με μια ασαφή συνάρτηση τύπου S του σχετικού εμβαδού των αντικειμένων του επιπέδου L4 ως προς αυτά του υπο-αντικειμένου *Vegetation L1*. Η κατηγορία *Impervious Like L4* ορίζεται με την αντιστροφή της κατηγορίας *Vegetation L4 (not Vegetation L4)*

Κατόπιν, δημιουργήθηκε η κατηγορία *Rooftops L4*, ως θυγατρική της *Impervious Like L4*. Για την ταξινόμησή της χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι κανόνες. Αρχικά, επελέγη τα υποψήφια προς ταξινόμηση αντικείμενα της κατηγορίας *Rooftops L4* να μην προέρχονται από αντικείμενα που έχουν ήδη ταξινομηθεί σαν *Vegetation L4*. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το χαρακτηριστικό *Absolute mean Difference to neighbors RED*. Πρόκειται για τη μέση τιμή των διαφορών της μέσης τιμής ενός αντικειμένου από τις μέσες τιμές των γειτονικών πολυγώνων στο κόκκινο κανάλι, δίνοντας βάρος στην κάθε μία διαφορά ανάλογο με το μήκος του συνόρου με το κάθε γειτονικό αντικείμενο. Αυτή η διαφορά στις φασματικές τιμές χρησιμεύει ιδιαίτερα στην ανίχνευση των κτιρίων γιατί συνήθως έχουν μεγάλες διαφορές στις τιμές με τα γύρω αντικείμενα και έτσι με την εφαρμογή αυτού του χαρακτηριστικού αναπαριστώνται με πολύ φωτεινούς τόνους. Η συνάρτηση συμμετοχής σιγμοειδούς μορφής και θετικής κλίσης που θα ταξινομήσει τα αντικείμενα βάσει του παραπάνω χαρακτηριστικού έχει διάστημα ασάφειας από 43 έως 44. Έγινε επίσης χρήση του feature *Mean difference to scene BLUE*. Είναι η διαφορά της μέσης τιμής ενός αντικειμένου της εικόνας με την μέση τιμή του συνόλου της εικόνας για το μπλέ κανάλι. Συμβάλει στη καλύτερη ανίχνευση/ταξινόμηση των κτηρίων λόγω της υψηλής ανακλαστικότητας στο μπλε κανάλι. Το διάστημα ασάφειας της συνάρτησης S που χρησιμοποιήθηκε βρίσκεται μεταξύ 10 και 11.

Στη συνέχεια, το χαρακτηριστικό Area με χρήση μια ασαφούς συνάρτησης τύπου S και όρια ασάφειας 1110 και 1104 θέτει ένα ελάχιστο εμβαδό για τα αντικείμενα που μας ενδιαφέρουν. Για το ραφινάρισμα του σχήματος και τον αποκλεισμό πολύ μακρόστενων αντικειμένων χρησιμοποιήθηκε το feature *elliptic fit*, το οποίο περιγράφει πόσο καλά ένα αντικείμενο προσαρμόζεται σε μια έλλειψη παρόμοιων διαστάσεων και αναλογιών. Η σχετική συνάρτηση συμμετοχής S έχει όρια ασάφειας μεταξύ 0.4 και 0.42. Στην ίδια κατεύθυνση για περαιτέρω ραφινάρισμα του σχήματος των αντικειμένων έτσι ώστε να περιλαμβάνονται κυρίως τα κτήρια χρησιμοποιήθηκε το feature *Length/Width* με μια ασαφή συνάρτηση συμμετοχής Z και διάστημα ασάφειας μεταξύ 3.5 και 3.6.





Εικόνα 3-33: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 4<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2

### 3.2.5.3 Ταξινόμηση 3<sup>ου</sup> επιπέδου

Στο τρέχον επίπεδο κύριος στόχος είναι η ανίχνευση των κύριων δρόμων που εμφανίζονται στην εικόνα. Όπως και νωρίτερα δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες *Impervious Like L3* και *Vegetation L3*. Η κατηγορία *Vegetation L3* ταξινομείται βάσει του σχετικού εμβαδού των αντικειμένων της υποκατηγορίας *Vegetation L1* ως προς τα αντικείμενα αυτής. (*Relative area of sub objects Vegetation L1*) Χρησιμοποιείται μια ασαφής συνάρτηση S με διάστημα ασάφειας 0.45 έως 0.55. Η κατηγορία *Impervious Like L3* ορίζεται ως *Not Vegetation L3*. Ως θυγατρικές κατηγορίες της κατηγορίας *Impervious Like L3* δημιουργήθηκαν οι *Rooftops L3*, *Roads L3*, *Shaded Impervious L3* και *Rest Impervious L3*. Έχοντας ταξινομήσει τις στέγες των κτηρίων στο προηγούμενο επίπεδο, ένα αντικείμενο του τρέχοντος επιπέδου επιλέγεται να ταξινομηθεί σαν κτήριο εαν και το υπερ-

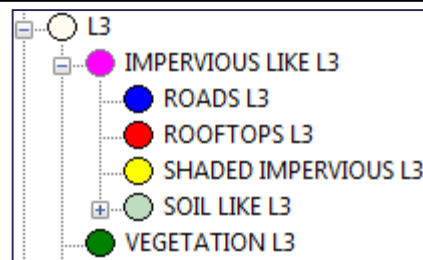
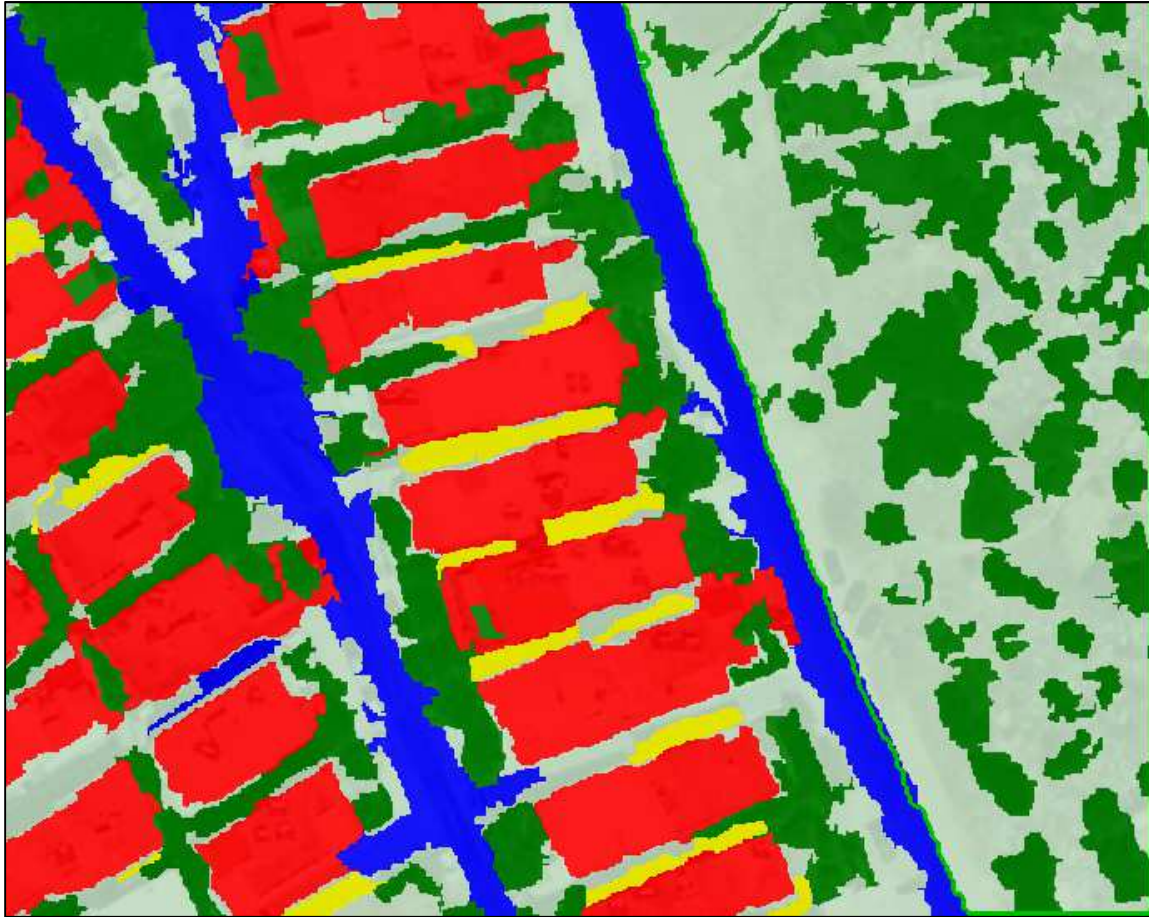
αντικείμενό του βρίσκεται στην ίδια κατηγορία. (Existence of super objects *Rooftops L4*). Έγινε χρήση μιας ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής  $S$  με διάστημα ασάφειας 0.45 έως 0.55. Όσον αφορά την ταξινόμηση των δρόμων, αρχικά επελέγη ο κανόνας *not Rooftops L3*, δηλαδή εάν ένα αντικείμενο ταξινομείται σαν *Rooftop* στο τρέχον επίπεδο να μην μπορεί να το διεκδικήσει και η κατηγορία *Roads*. Στη συνέχεια δοκιμάστηκαν κανόνες όπως οι *Length*, *Length/Width* και *Asymmetry* οι οποίοι κατά κανόνα είναι χρήσιμοι στην ταξινόμηση εκμεταλλευόμενοι το μακρόστενο σχήμα των αντικειμένων που αντιπροσωπεύουν τους δρόμους.

Δεδομένης της υψηλής χωρικής ανάλυσης της εικόνας προς μελέτη και παρόλο του γεγονότος ότι στην κατάτμηση του τρέχοντος επιπέδου δόθηκε μεγάλο βάρος στο σχήμα (0.8) η μεγάλη φασματική ετερογένεια ακόμη και στις ίδιες φασματικές κατηγορίες οδήγησε στην δημιουργία αντικειμένων διαφόρων μεγεθών και διαστάσεων. Ως αποτέλεσμα, οι κανόνες που στηρίζονται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων δεν παρείχαν σημαντική βοήθεια στην διάκριση των δρόμων, και σε μερικές περιπτώσεις περιορίζουν τόσο το αποτέλεσμα ώστε κάποια αντικείμενα που ανήκουν στους δρόμους να μην ταξινομούνται σε αυτούς. Κατόπιν δοκιμών διαπιστώθηκε η χρησιμότητα του κριτηρίου της αναλογίας των τιμών του μπλε ως προς τα άλλα κανάλια (*Ratio Blue*). Συγκεκριμένα, η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε με μια ασαφή συνάρτηση  $S$  θετικής κλίσης και διάστημα ασάφειας 0.332 έως 0.336. Επόμενος κανόνας που βελτίωσε την ανίχνευση των δρόμων είναι η *κατ' απόλυτη τιμή μέση διαφορά των αντικειμένων ως προς τα γειτονικά τους στο κόκκινο κανάλι. (Mean difference to neighbors(abs) RED)* Χρησιμοποιήθηκε μια ασαφής συνάρτηση συμμετοχής  $Z$  με διάστημα ασάφειας 33 έως 35. Κάποια μικρά μεμονωμένα αντικείμενα αρκετά απομακρυσμένα στα δεξιά της εικόνας που είχαν ταξινομηθεί ως δρόμοι τέθηκαν εκτός κατηγορίας εφαρμόζοντας τον κανόνα *Relative border to Roads L3*. Όντας αποκομμένα από τα σωστά ταξινομημένα ως δρόμους αντικείμενα είχαν μικρό έως μηδενικό σχετικό όριο με τα υπόλοιπα αντικείμενα της ίδιας κατηγορίας οπότε μια ασαφής συνάρτηση συμμετοχής  $S$  με όρια 0 έως 0.2 βοήθησε στην μη συμπερίληψη των συγκεκριμένων αντικειμένων στην κατηγορία των δρόμων.

Για την ταξινόμηση της κατηγορίας *Shaded Impervious L3* χρησιμοποιήθηκε το χαρακτηριστικό *Circular Mean Blue (R1:User, 3, R2: Same(=R1), border)*, η τιμή του οποίου μέσω μιας ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής  $S$  ορίστηκε μικρότερη του 46. Η κατηγορία *Soil Like L3* ορίζεται από την αντιστροφή των

## Κεφάλαιο 3 | Μεθοδολογία και Υλοποίηση

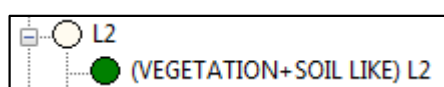
προαναφερθέντων κατηγοριών (*not Roads L3 and not Rooftops L3 and not Vegetation L3*) Η κατηγορία αυτή θα διαχωριστεί περαιτέρω στη συνέχεια.



Εικόνα 3-34: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 3<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2

### 3.2.5.4 Ταξινόμηση 2<sup>ου</sup> επιπέδου

Στόχος του 2<sup>ου</sup> επιπέδου είναι η δημιουργία μια κατηγορίας που περιλαμβάνει τις ήδη ταξινομημένες κατηγορίες *Soil Like* και *Vegetation* του 3<sup>ου</sup> επιπέδου. Απώτερος σκοπός είναι ο διαχωρισμός σε ανώτερο επίπεδο της εικόνας σε φυσικό και τεχνητό περιβάλλον. Η επίτευξη αυτού του σκοπού θα οδηγήσει με τη σειρά του στον διαχωρισμό των αντικειμένων της κατηγορίας *Soil Like L3* που αναφέρθηκε νωρίτερα κατά την ταξινόμηση του *Level 3*. Δημιουργήθηκε λοιπόν η κατηγορία (*Vegetation+Soil Like*) *L2* η οποία περιλαμβάνει αντικείμενα που είχαν ταξινομηθεί είτε ως *Vegetation L2* είτε ως *Soil Like L2*. Οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι *Existence of super objects Soil Like L3* or *Existence of super objects Vegetation L3*. Και για τους δύο κανόνες χρησιμοποιήθηκε η *singleton* συνάρτηση.

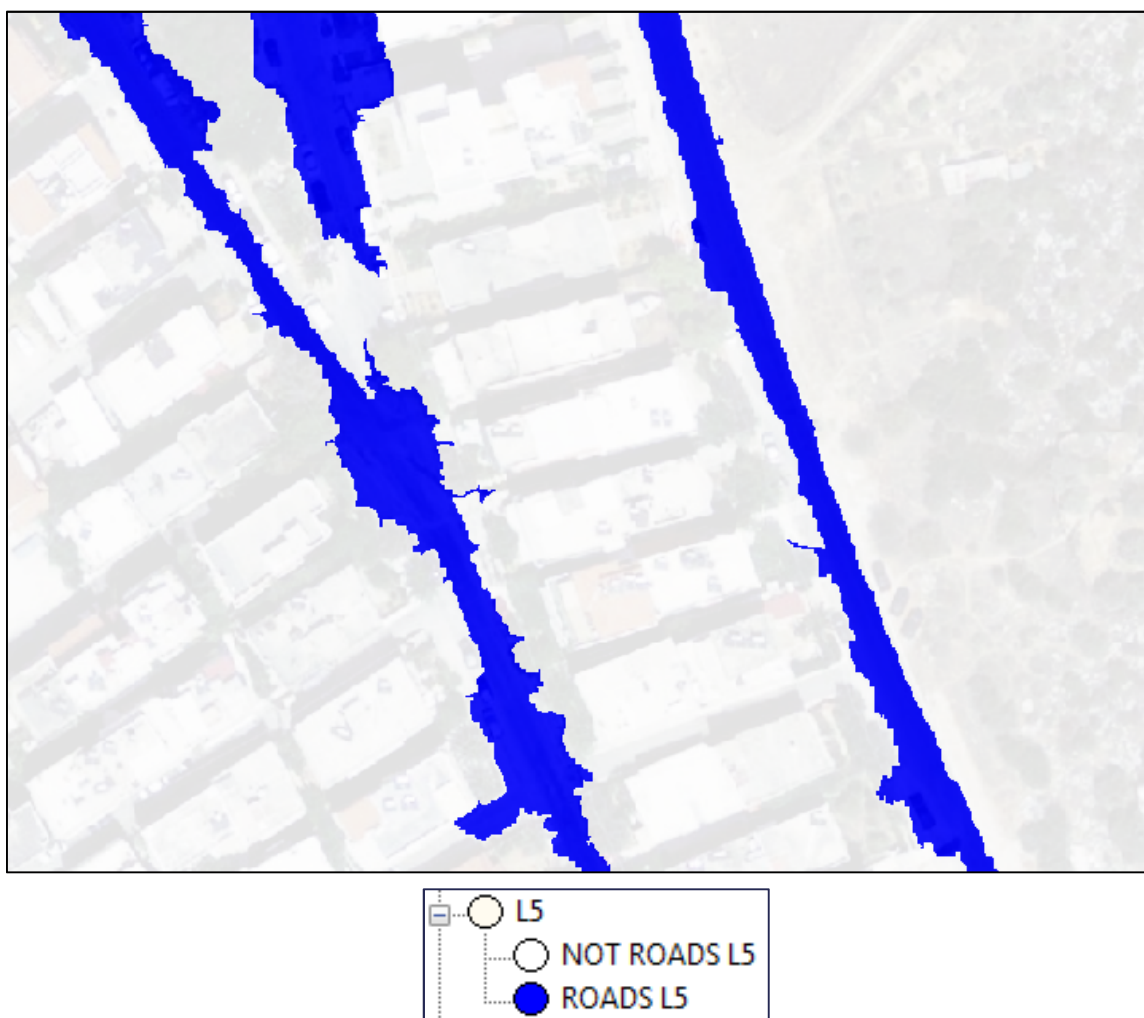


Εικόνα 3-35: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 2<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2

### 3.2.5.5 Ταξινόμηση 5<sup>ου</sup> επιπέδου

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το επίπεδο 5 δημιουργήθηκε επικουρικά, για να βοηθήσει στην δημιουργία και ταξινόμηση του 6<sup>ου</sup>. Δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες *Roads L5* και *Not Roads L5*. Ως αντικείμενα της κατηγορίας *Roads L5* επελέγη να ταξινομούνται αυτά τα οποία αποτελούνται τουλάχιστον κατά 50% από αντικείμενα της κατηγορίας *Roads L3*. Η συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε ήταν μορφής S. Για την κατηγορία *Not Roads L5* έγινε αντιστροφή.

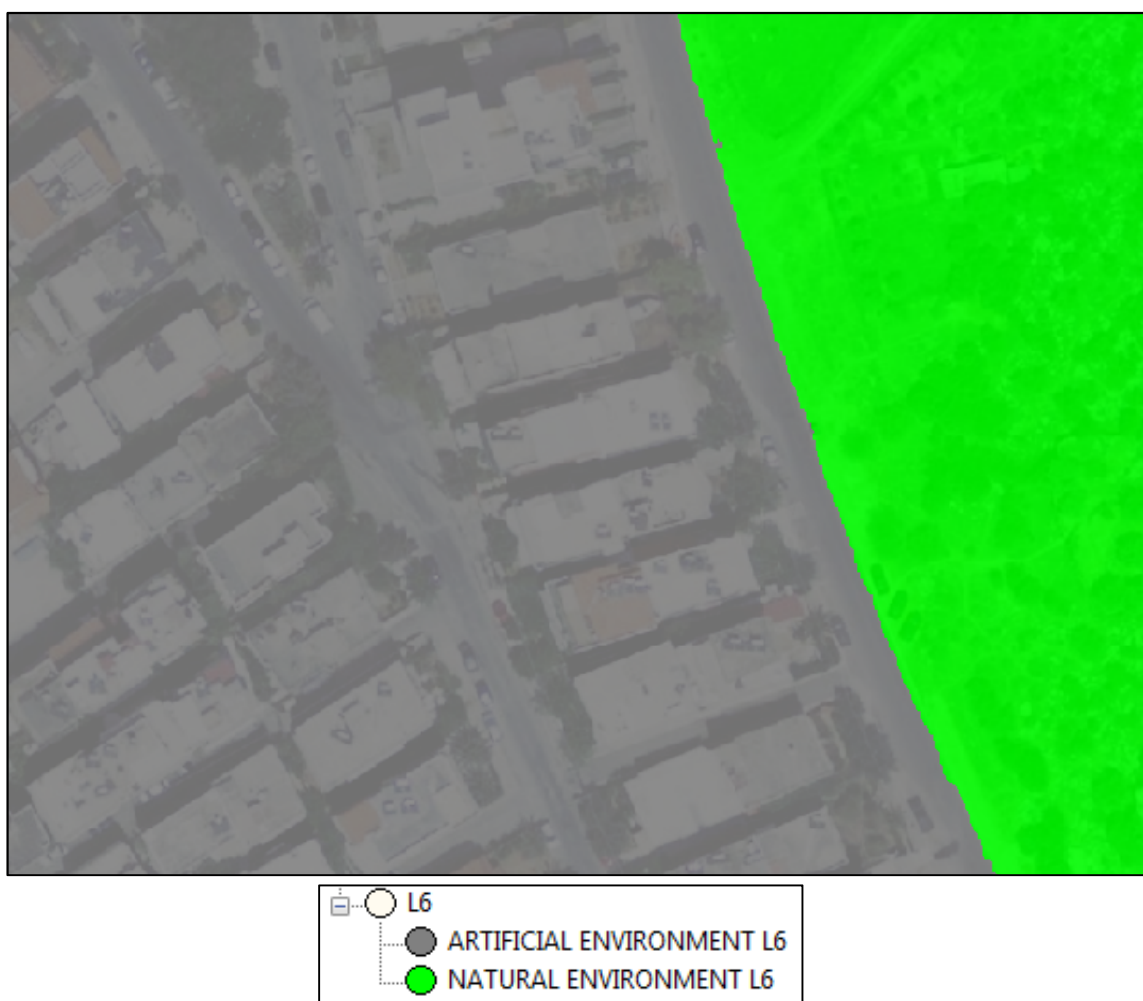
Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε συγχώνευση στα αντικείμενα των δρόμων (*merge*), επιλέγοντας ως υποψήφια τα αντικείμενα της κατηγορίας *Roads L3*. Η ενέργεια αυτή πραγματοποιείται ώστε η κατάτμηση του 6<sup>ου</sup> επιπέδου να διατηρήσει το σωστό σχήμα στους δρόμους, οι οποίοι με τη σειρά τους θεωρούμε ότι διαχωρίζουν το φυσικό από το τεχνητό περιβάλλον.



Εικόνα 3-36: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 5<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2

### 3.2.5.6 Ταξινόμηση 6<sup>ου</sup> επιπέδου

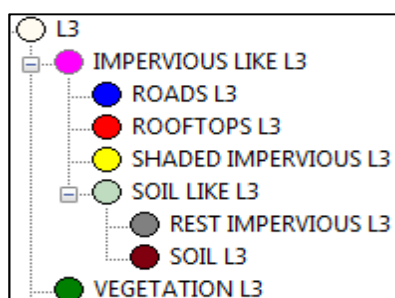
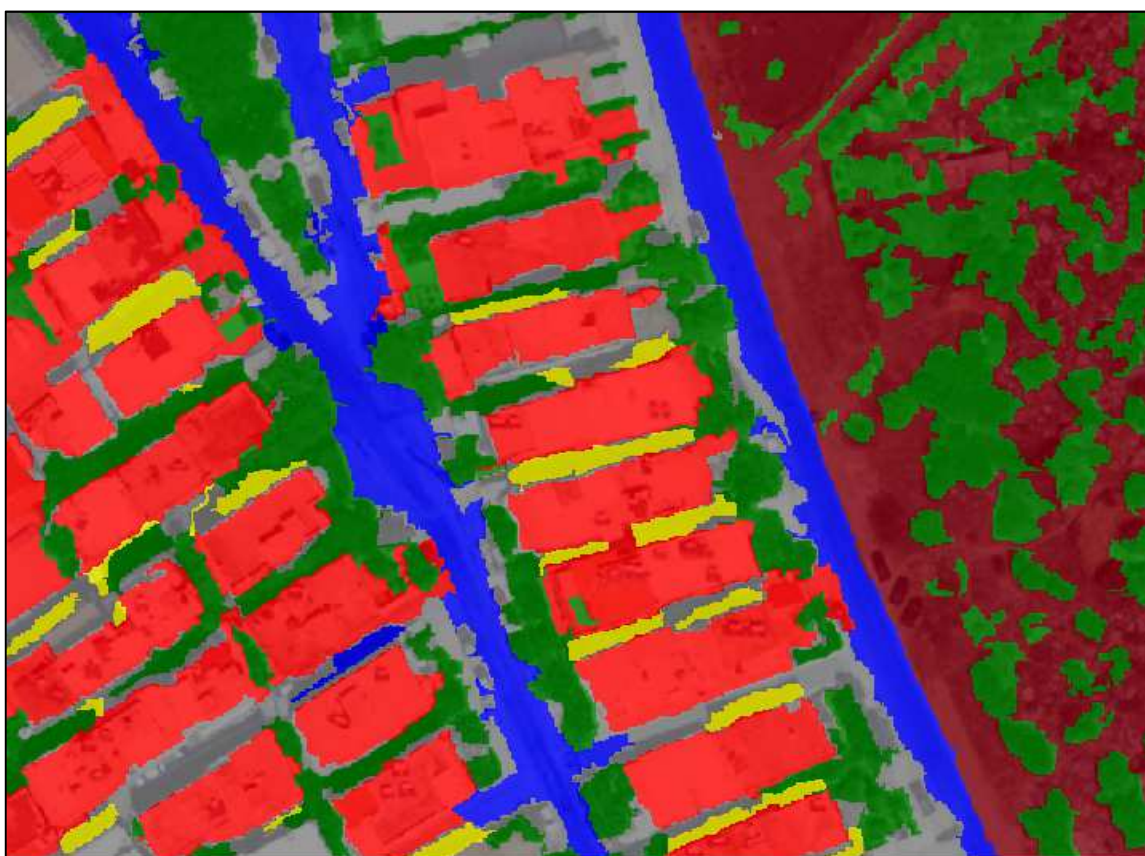
Έχοντας εφαρμόσει νωρίτερα την κατάτμηση βάσει ταξινόμησης στο επίπεδο 5, με αντιγραφή του πάνω από τον εαυτό του προκύπτει το επίπεδο 6. Πραγματοποιείται μια νέα συγχώνευση στο τρέχον επίπεδο αυτή τη φορά, για τα αντικείμενα της κατηγορίας Not Roads L5. Προκύπτουν έτσι νέα πολύ μεγαλύτερα αντικείμενα που διαχωρίζονται μεταξύ τους από τους δρόμους. Με το σκεπτικό που αναφέρθηκε προηγουμένως, ότι δηλαδή οι δρόμοι διαχωρίζουν το φυσικό από το τεχνητό περιβάλλον, θα προχωρήσει η ταξινόμηση του επιπέδου. Δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες *Natural Environment L6* και *Artificial Environment L6*. Στην κατηγορία *Natural Environment L6*, θα ταξινομηθούν τα αντικείμενα τα οποία αποτελούνται τουλάχιστον κατά 50% από αντικείμενα της υποκατηγορίας (*Vegetation+Soil Like*) L2. Η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της σιγμοειδούς συνάρτησης συμμετοχής.



Εικόνα 3-37: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 6<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ2

### 3.2.5.7 Μετά-ταξινόμηση 3<sup>ου</sup> επιπέδου (Τελική ταξινόμηση)

Νωρίτερα περιγράφηκε η ταξινόμηση του επιπέδου 3. Σε μια μετά-ταξινόμηση του ίδιου επιπέδου, επιχειρήθηκε ο περαιτέρω διαχωρισμός της κατηγορίας *Soil Like L3*. Σε αυτό τον σκοπό συντέλεσαν οι κατατμήσεις και ταξινομήσεις των επιπέδων 2,5 και 6. Έχοντας πλέον δημιουργήσει τις κατηγορίες *Natural Environment L6* και *Artificial Environment L6*, η κατηγορία *Soil Like L3* θα διαχωριστεί σε *Soil L3* και *Rest Impervious L3* (πεζοδρόμια και αυλές σπιτιών) ανάλογα με τα αντίστοιχα υπέρ-αντικείμενα του 6<sup>ου</sup> επιπέδου. Συγκεκριμένα, εάν ένα αντικείμενο βρίσκεται κάτω από ένα υπέρ-αντικείμενο της κατηγορίας *Natural Environment L6* θα ταξινομηθεί ως *Soil L3*, ενώ στην περίπτωση που από πάνω υπάρχει αντικείμενο *Artificial Environment L6* τότε θα καταταγεί ως *Rest Impervious L3*. Χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση συμμετοχής *singleton*.



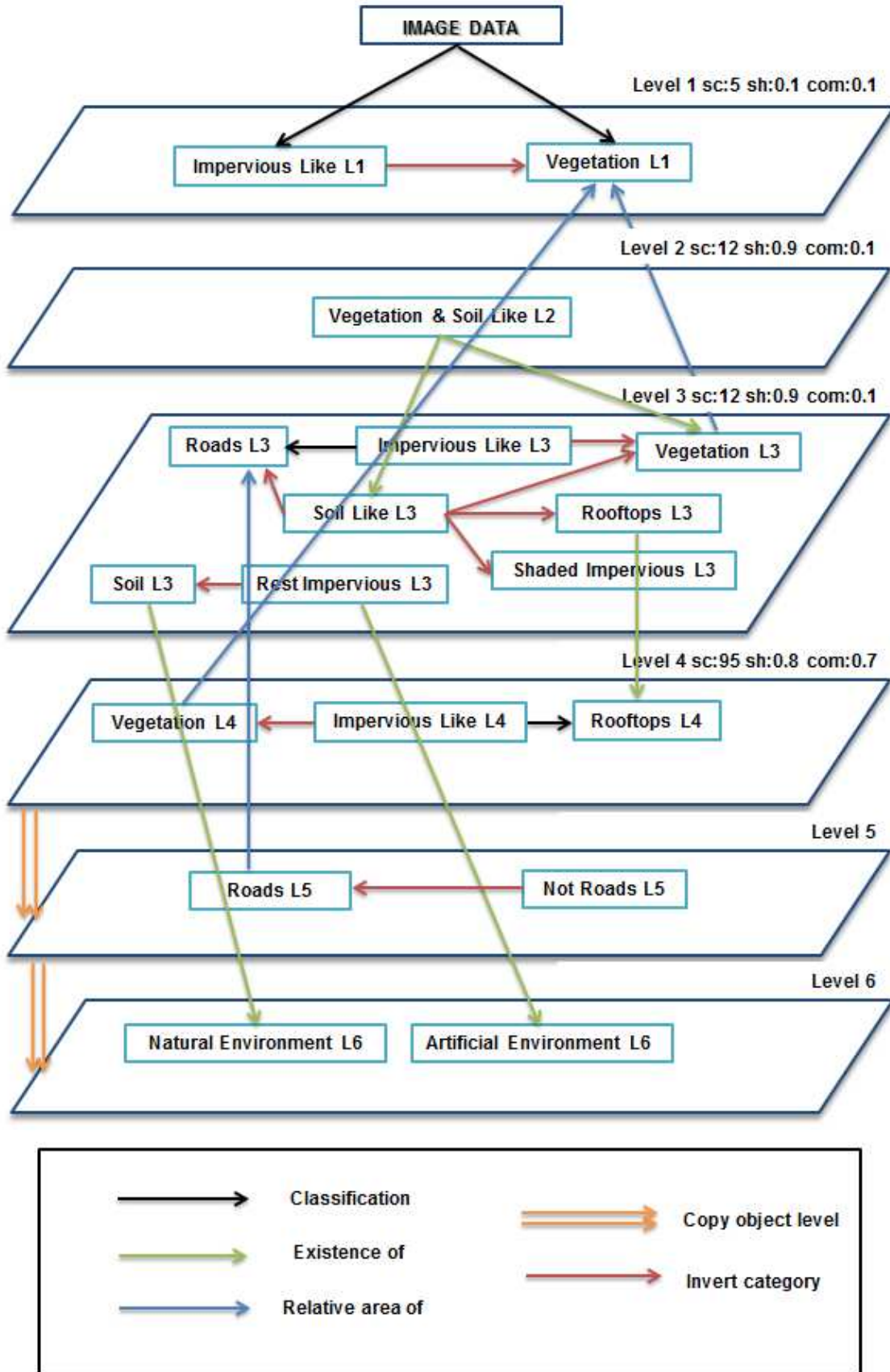
Εικόνα 3-38: Αποτέλεσμα τελικής ταξινόμησης ΠΜ2

## Κεφάλαιο 3 | Μεθοδολογία και Υλοποίηση

**Πίνακας 3-3: Κανόνες ταξινόμησης κατηγοριών όλων των επιπέδων ΠΜ2**

Επίπεδο	Κατηγορίες		Χαρακτηριστικό	Συνάρτηση συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο	
1	Vegetation L1		Ratio Green		0.34	0.35	
	Shadow L1		Contrast to neighbor pixels BLUE(3)		-1204	-1200	
	Impervious Like L1		Not Vegetation L1				
2	(Vegetation+Soil Like) L2	or	Existence of super objects Soil Like L3(1)		0	2	
			Existence of super objects Vegetation L3(1)		0	2	
3	Vegetation L3		Relative area of sub objects Vegetation L1(2)		0.45	0.55	
	Impervious Like L3	and	Not Vegetation L3				
			Rel.area of sub objects Impervious Like L1(2)		0.45	0.55	
	Rooftops L3		Existence of super objects Rooftops L4(1)		0	2	
	Roads L3	and	Not Rooftops L3				
			Mean difference to neighbors (abs) RED(0)		33	35	
			Ratio Blue		0.332	0.336	
			Relative border to Roads L3		0	0.2	
	Shaded Impervious L3	and	Distance to Rooftops L3		19	20	
			Circular Mean BLUE (R1:User,3,R2:Same(=R1),border)		45	47	
	Soil Like L3	and	not Roads L3				
not Rooftops L3							
not Vegetaion L3							
not Shaded Impervious L3							
3+	Soil L3		Existence of super objects Natural Environment L6(3)		0	2	
	Rest Impervious L3		not Soil L3				
4	Vegetation L4		Relative area of sub objects Vegetation L1(3)		0.45	0.55	
	Impervious Like L4		Not Vegetation L4				
	Rooftops L4	and	Area		1100	1104	
			Elliptic Fit		0.4	0.42	
			Length/Width		3.5	3.6	
			Mean diff to scene BLUE		10	11	
			Mean difference to neighbors (abs)RED(0)		42	44	
Not Vegetation L4							
5	Roads L5		Relative area of sub objects Roads L3(2)		0.45	0.55	
	Not Roads L5		not Roads L5				
6	Natural Environment L6		Relative area of sub objects (Vegetation+Soil Like) L2(4)		0.55	0.65	
	Artificial Environment L6		not Natural Environment L6				





Εικόνα 3-39: Διάγραμμα ροής για την ταξινόμηση των επιπέδων της ΠΜ2

### 3.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 3

Η περιοχή Μελέτης 3 βρίσκεται στην περιοχή του Πόρτο Ράφτη. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διαθέσιμα δεδομένα, και στην συνέχεια ακολουθεί η φωτοερμηνεία, οι κατατμήσεις και οι ταξινομήσεις που πραγματοποιήθηκαν.

#### 3.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Η περιοχή του Πόρτο Ράφτη, η αλλιώς Λιμάνι Μαρκοπούλου, αποτελεί παράλια κωμόπολη (υψόμ. 10 μ.) της Νομαρχία Ανατολικής Αττικής, 35 χλμ. ΝΑ της Αθήνας. Διοικητικά ανήκει στον Δήμο Μαρκοπούλου Μεσογαίας και έχει 7131 κατοίκους (2001). Μέχρι το 1953 ονομαζόταν Πόρτο-Ράφτη, ενώ μέχρι το 1981 Λιμάνι Μεσογαίας.

Ο Δήμος Μαρκοπούλου Μεσογαίας είναι δήμος της ανατολικής Αττικής. Βρίσκεται στην περιοχή των Μεσογείων και συνορεύει με τους δήμους Παιανίας, Σπάτων, Καλυβίων Θορικού, Κρωπίας, Αρτέμιδας και με την κοινότητα Κουβαρά. Αποτελείται από ένα κοινοτικό διαμέρισμα, καταλαμβάνει έκταση 81,8 τ.χλμ. και ο πληθυσμός της σύμφωνα με την απογραφή του 2011 είναι 20.040 κάτοικοι. Έδρα του δήμου είναι το Μαρκόπουλο Μεσογαίας.

Το Πόρτο Ράφτη σήμερα είναι γνωστό θέρετρο της Ανατολικής Αττικής ενώ σε αυτό βρίσκεται η Δημοτική πλαζ (Αυλάκι). Είναι από τις περιοχές, μαζί με το Μαρκόπουλο την Κερατέα και το Κορωπί που γνώρισαν μεγάλη οικιστική ανάπτυξη μετά τα έργα που πραγματοποιήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή το 2004. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζει η περιοχή, καθώς και ολόκληρα τα Μεσόγεια, είναι η δημιουργία ολοκληρωμένου συστήματος αποχέτευσης και ύδρευσης. Στα όρια του δήμου Μαρκοπούλου που ανήκει περιλαμβάνεται και ο ιστορικού ενδιαφέροντος τόπος της Βραυρώνας. Σήμερα εξυπηρετείται από την Αττική Οδό και τους γειτονικούς σταθμούς του μετρό και προαστιακού "Κορωπί". Επιπλέον, έχει κατατεθεί μελέτη για επέκταση του προαστιακού από το Κορωπί προς το Λαύριο, με ενδιάμεσους σταθμούς "Μαρκόπουλο", "Καλύβια", "Κερατέα".

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει κάποιες πολυκατοικίες, μικρότερες κατοικίες στο βόρειο κομμάτι, μικρές καλλιέργειες και κάποια τμήματα χέρσας γης. Το παράλιο κομμάτι διαθέτει επίσης κάποιες μικρές μαρίνες.



*Εικόνα 3-40: Επιλογή υπο-περιοχής από την εικόνα του Πόρτο Ράφτη*

### 3.3.2 Δεδομένα

Η διαθέσιμη δορυφορική απεικόνιση προέρχεται από τον δορυφόρο WorldView2 και περιλαμβάνει τμήμα της περιοχής του Πόρτο Ράφτη. Πρόκειται για πολυφασματική απεικόνιση 8 καναλιών: Coastal Blue, Blue, Green, Yellow, Red, Red Edge, Near Infrared 1 και Near Infrared 2. Οι διαστάσεις της εικόνας είναι 3860 x 3511 εικονοστοιχεία, ενώ η χωρική ανάλυση είναι ιδιαίτερα υψηλή, της τάξης των 0.5 μέτρων. Η ραδιομετρική ανάλυση είναι 8Bit. Σαν ελλειψοειδές αναφοράς χρησιμοποιείται το GRS 80 και σύστημα προβολής η Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή UTM ζώνη 34. Για τη εφαρμογή της μεθόδου επελέγη ένα τμήμα (subset) διαστάσεων 1115 x 1115 pixels, το οποίο κρίθηκε κατάλληλο λόγω της αναλογίας του σε άσφαλτο, δομημένο και χέρσο περιβάλλον.

### 3.3.3 Φωτοερμηνεία

Οι κατηγορίες που παρατηρούνται στην εικόνα του 2004 είναι η θάλασσα, η βλάστηση, τα κτίρια, η άγονη γη, οι δρόμοι. Στην βλάστηση, εκτός από τα τις περιοχές με αραιή βλάστηση, τα διάσπαρτα δένδρα που διακρίνονται περί των δρόμων και μέσα στα οικοδομικά τετράγωνα, συγκαταλέγονται και κάποιες δενδροκαλλιέργειες. Τα κτήρια μπορούν να διαχωριστούν περαιτέρω σε κτήρια με κεραμοσκεπές ή τσιμεντοσκεπές, σκεπές με μόνωση ή με πλάκες. Όσον αφορά την κατηγορία των δρόμων, υπάρχουν δρόμοι εντός αστικής περιοχής, ένας παραλιακός δρόμος αλλά και χωματόδρομοι. Η βλάστηση, λόγω υψηλής ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο, διαχωρίζεται ευκολότερα σε κάποιο ψευδέχρωμο σύνθετο π.χ NIR-GREEN-BLUE. Όσο πιο υψηλή η ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο τόσο πιο έντονο κόκκινο θα εμφανίζεται ένα αντικείμενο. Τα κτήρια είναι εύκολα αναγνωρίσιμα λόγω του τετραγωνισμένου/πολυγωνικού τους σχήματα και του χρώματος ανάλογα το είδος της ταράτσας. Παρουσιάζουν επίσης λεία υφή. Οι δρόμοι έχουν μακρόστενο σχήμα παρουσιάζουν καμπυλώσεις, και το χρώμα τους ποικίλει ανάλογα το είδος τους. Το νερό καταλαμβάνει μεγάλο τμήμα της εικόνας και είναι εύκολα αναγνωρίσιμο από το χαρακτηριστικό μπλε χρώμα.



Εικόνα 3-41: Φωτοερμηνεία περιοχής Πόρτη Ράφτη

### 3.3.4 Κατατμήσεις

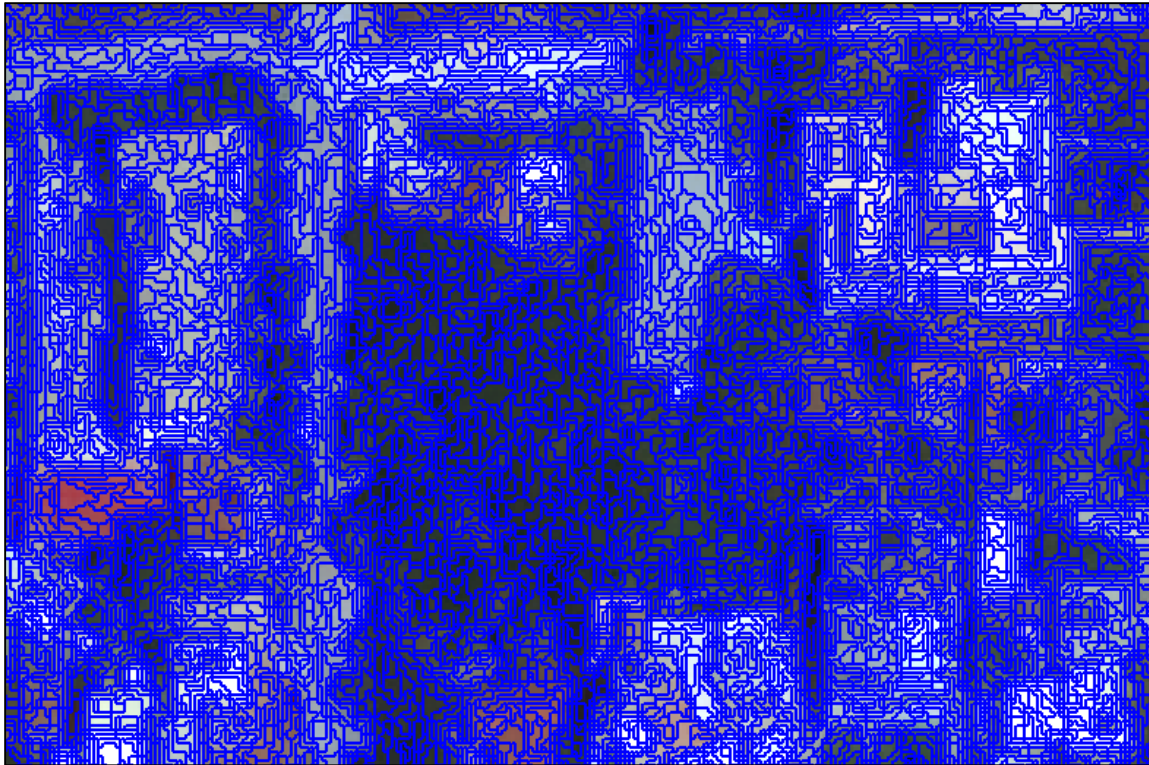
Όπως έχει αναφερθεί, για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της κατάτμησης απαιτούνται αρκετές και επαναλαμβανόμενες δοκιμές έως ότου προκύψουν αντικείμενα που θα είναι αντιπροσωπευτικά των θεματικών κατηγοριών που θέλουμε να ανιχνεύσουμε και να ταξινομήσουμε κάθε φορά.

#### 3.3.4.1 Κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης

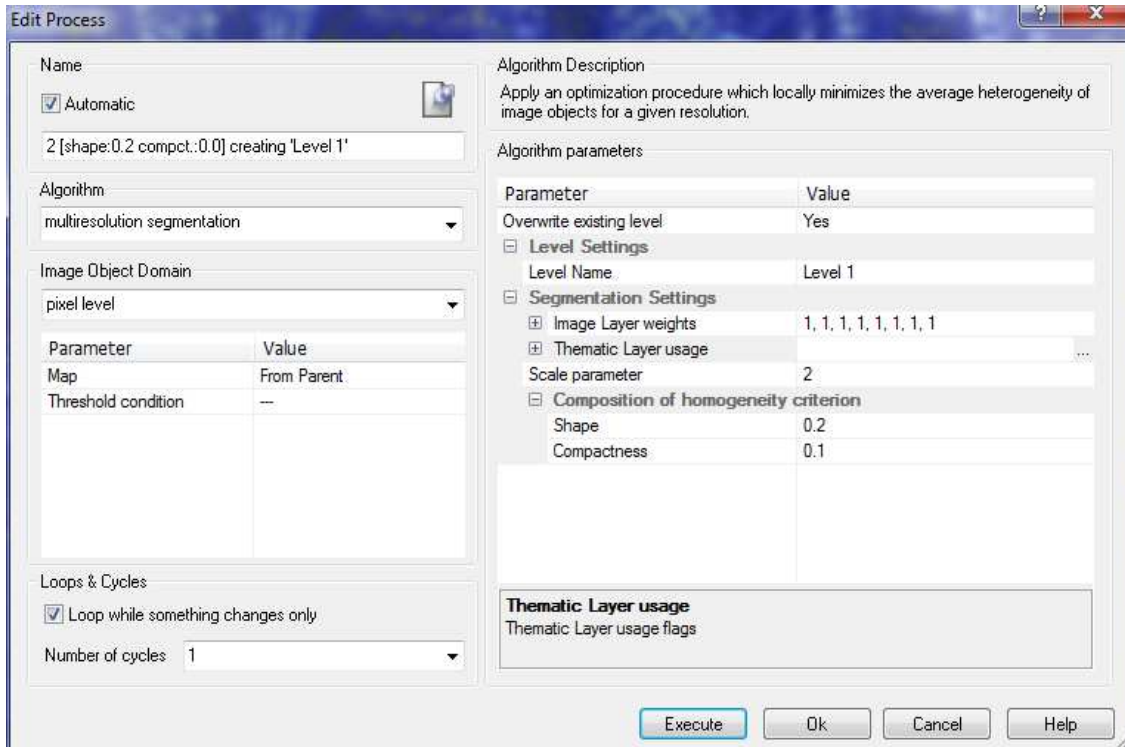
Η κατάτμηση των έξι επιπέδων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με τον αλγόριθμο κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης. (multiresolution segmentation). Η διαδικασία ξεκίνησε από το πρώτο επίπεδο, που περιλαμβάνει πολλά μικρά αντικείμενα προς αναγνώριση της βλάστησης. Ακολούθησαν τα επίπεδα τρία και τέσσερα για την ανίχνευση των δρόμων και κτηρίων αντίστοιχα. Το βοηθητικό επίπεδο πέντε στο οποίο πραγματοποιήθηκε ενοποίηση των αντικειμένων των δρόμων δημιουργήθηκε αντιγράφοντας το τέσσερα πάνω από τον εαυτό του. Το έκτο επίπεδο που παρουσιάζει την κατάταξη των οικοδομικών ενοτήτων ανάλογα με το ποσοστό των αδιαπέραστων επιφανειών που διαθέτουν δημιουργήθηκε πάνω από το πέμπτο. Ένα ακόμη βοηθητικό επίπεδο, το επίπεδο δύο, τοποθετήθηκε πάνω από το πρώτο και σε αυτό συγχωνεύτηκαν δύο κατηγορίες που ταξινομήθηκαν στο τέταρτο επίπεδο.

#### 3.3.4.2 Κατάτμηση 1<sup>ου</sup> επιπέδου

Κύριος στόχος του πρώτου επιπέδου αποτελεί η αναγνώριση της βλάστησης. Πρόκειται για ένα λεπτόκοκκο επίπεδο, και βασίζεται στο επίπεδο των pixel (pixel level). Για την κατάτμηση χρησιμοποιήθηκαν και τα οκτώ διαθέσιμα κανάλια με βάρος ίσο με τη μονάδα, έτσι ώστε να αξιοποιηθεί όλη η διαθέσιμη φασματική πληροφορία. Επελέχθη μια πολύ μικρή παράμετρος κλίμακας, και δόθηκε μεγάλη έμφαση στο φασματικό κριτήριο και το κριτήριο και στο να είναι λεία τα όρια των αντικειμένων. Η βλάστηση, έχοντας ακανόνιστη μορφή στις διάφορες εμφανίσεις της, αντιπροσωπεύεται ευκολότερα από μικρά μη συμπαγή αντικείμενα. Συγκεκριμένα, η παράμετρος κλίμακας ορίστηκε ίση με 2, στο κριτήριο σχήματος δόθηκε τιμή 0,2 και στην συμπαγότητα 0,1 με αποτέλεσμα το φασματικό κριτήριο να ισούται με 0,8 και το λείο των αντικειμένων με 0,2.



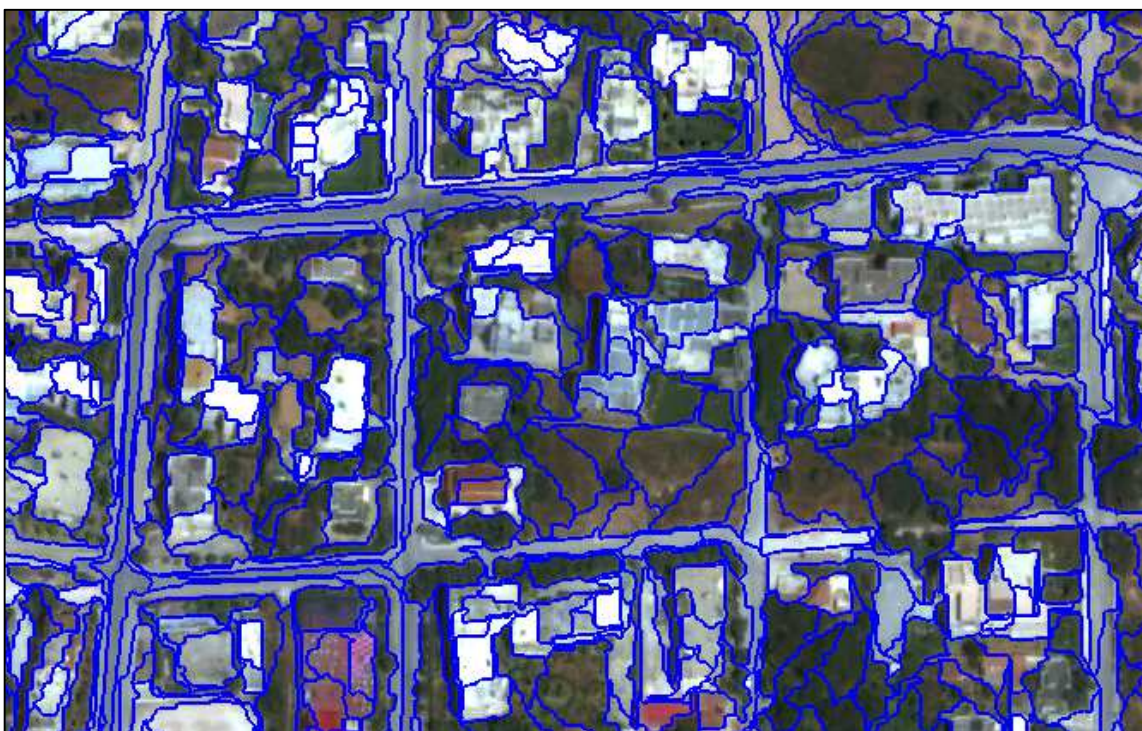
Εικόνα 3-42: Αποτέλεσμα κατάτμησης 1<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3



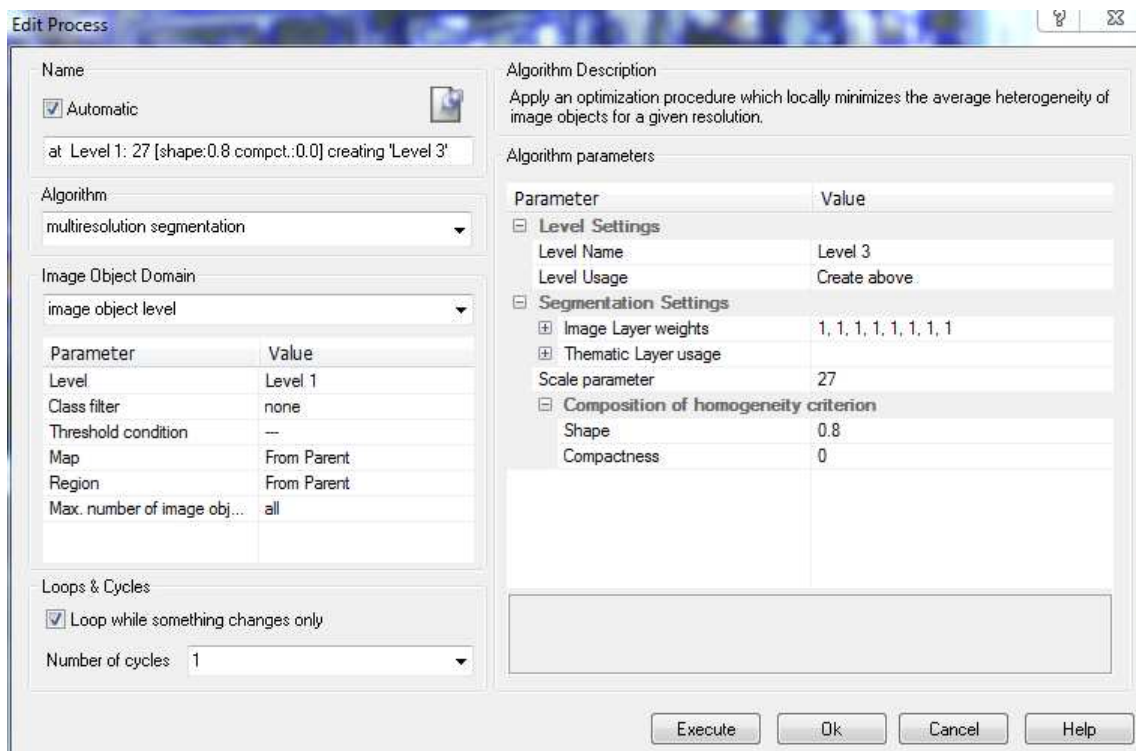
Εικόνα 3-43: Παράμετροι κατάτμησης 1<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3

### 3.3.4.3 Κατάτμηση 3<sup>ου</sup> επιπέδου

Κατά την κατάτμηση του 3ου επιπέδου, κύριο μέλημα αποτέλεσε όπως η δημιουργία αντικειμένων που να αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν καλύτερα τους δρόμους. Το *Level 3* δημιουργήθηκε επάνω από το *Level 1* (create above). Κατόπιν δοκιμών επιλέχθηκε παράμετρος κλίμακας ίση με 27. Στην τελική κατάτμηση του επιπέδου δόθηκε πολύ μεγάλο βάρος στο κριτήριο σχήματος και στην ομαλότητα των ορίων. Κατ' αυτό τον τρόπο δημιουργούνται μακρόστενα αντικείμενα που ταυτίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό με την θεματική κατηγορία των δρόμων. Στο κριτήριο σχήματος δόθηκε συντελεστής 0.8 ( άρα 0.2 στο φασματικό κριτήριο) και 0 στη συμπαγότητα (1 στο λείο των αντικειμένων). Στην κατάτμηση συμμετέχουν και αυτή τη φορά και τα οκτώ διαθέσιμα κανάλια με βάρος 1.



Εικόνα 3-44: Αποτέλεσμα κατάτμησης 3<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3

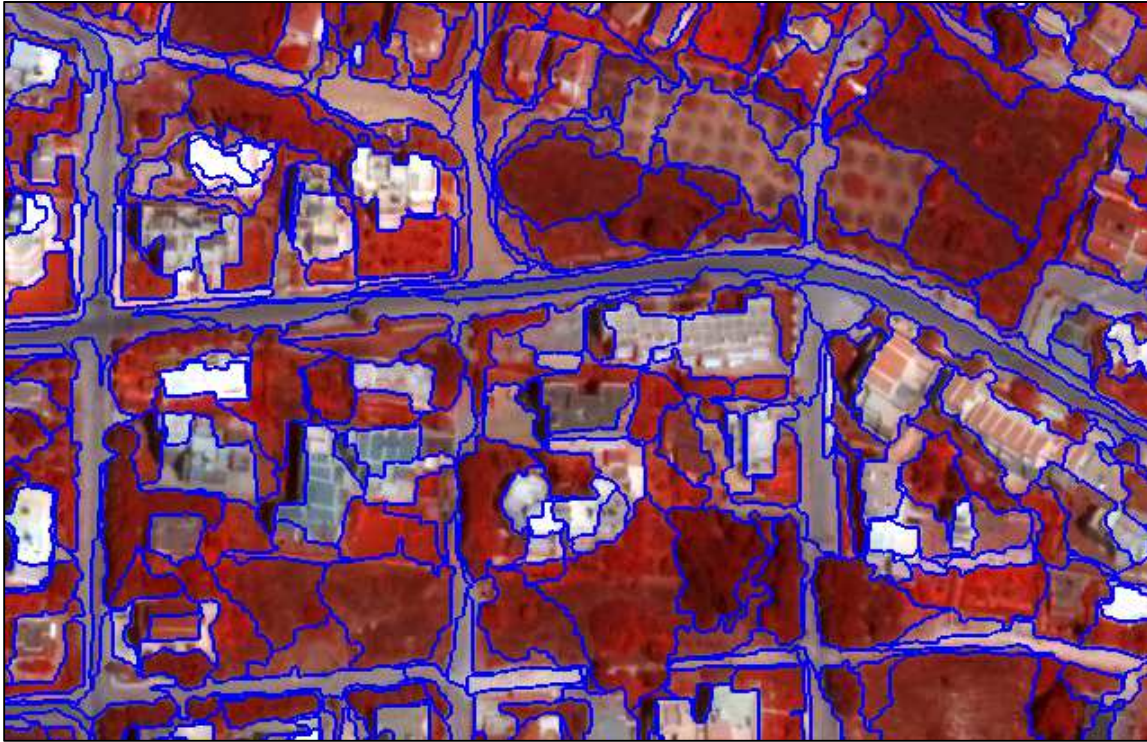


Εικόνα 3-45: Παράμετροι κατάτμησης 3<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3

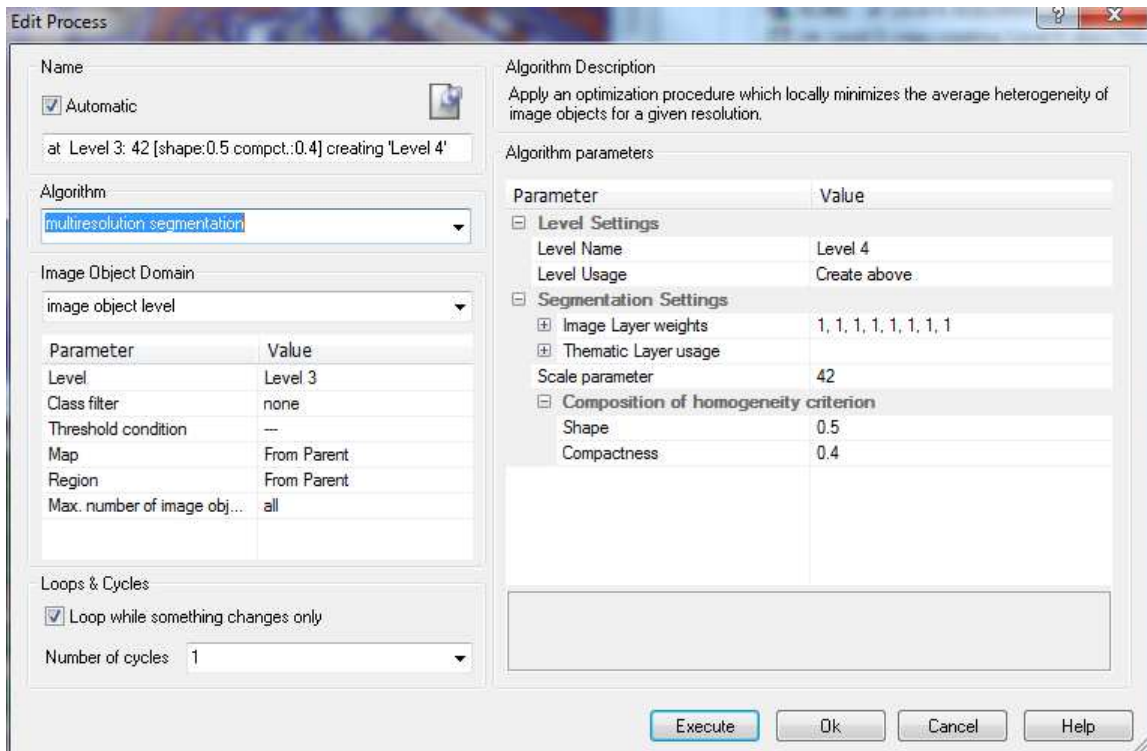
### 3.3.4.4 Κατάτμηση 4<sup>ου</sup> επιπέδου

Στο τέταρτο επίπεδο κατάτμησης, το οποίο δημιουργήθηκε πάνω από το επίπεδο 3 (create above), επιχειρείται η απόδοση των οροφών των κτιρίων. Λόγω ανάγκης για ομοιογένεια των αντικειμένων αλλά ταυτόχρονα έμφαση στο σχήμα των αντικειμένων, δόθηκε ίσο βάρος στο φασματικό και το κριτήριο σχήματος (0,5). Η συμπαγότητα πήρε τιμή 0,4 και αυτό που απέτρεψε μια μεγαλύτερη τιμή ήταν το σχετικά ακανόνιστο και όχι τετράγωνο σχήμα που παρατηρήθηκε στα κτήρια. Το λείο των αντικειμένων συνεπώς ορίστηκε ίσο με 0,6. Η παράμετρος κλίμακας που δημιουργήσε αντικείμενα που «εφάρμοζαν» καλύτερα στα περιγράμματα των κτηρίων ήταν 42 ενώ για άλλη μια φορά χρησιμοποιήθηκαν όλα τα διαθέσιμα κανάλια με το ίδιο βάρος.





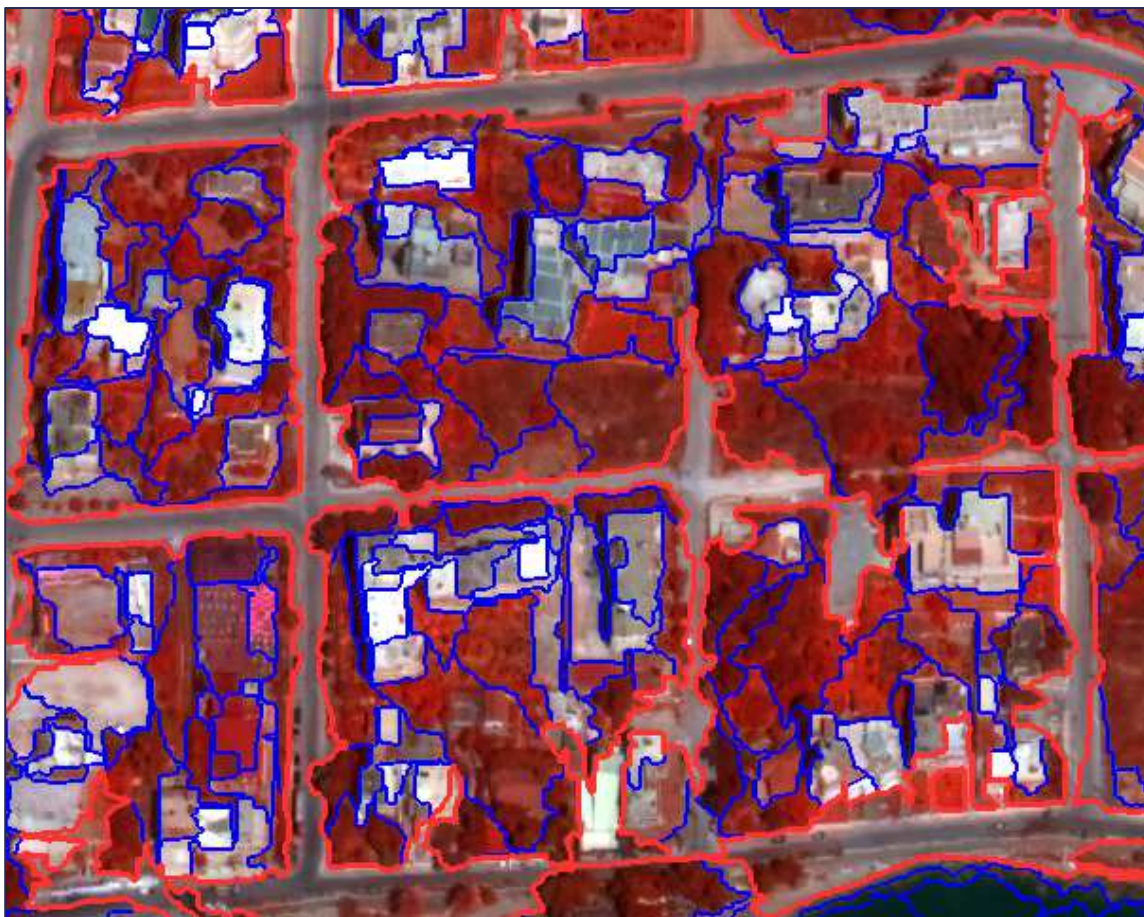
Εικόνα 3-47: Αποτέλεσμα κατάτμησης 4<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3



Εικόνα 3-46: Παράμετροι κατάτμησης 4<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3

### 3.3.4.5 Κατάτμηση 5<sup>ου</sup> επιπέδου

Το πέμπτο επίπεδο αποτελεί αντιγραφή του τέταρτου (copy image object level) και διαθέτει τις ίδιες παραμέτρους με αυτό. Στην συνέχεια της επεξεργασίας, στο επίπεδο αυτό πραγματοποιήθηκε κατάτμηση βάσει ταξινόμησης, συγκεκριμένα έγινε συγχώνευση (merge) των αντικειμένων των δρόμων που είχαν ταξινομηθεί στο επίπεδο τέσσερα.



Εικόνα 3-48: Αποτέλεσμα κατάτμησης 5<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3

### 3.3.4.6 Κατάτμηση 2<sup>ου</sup> επιπέδου

Το επίπεδο δύο χρησιμοποιήθηκε επικουρικά, προκειμένου να δημιουργήσει μια υπέρ-κατηγορία που περιλαμβάνει τις κατηγορίες *χώμα* και *βλάστηση* που ταξινομήθηκαν στο τέταρτο επίπεδο. Διαθέτει παράμετρο κλίμακας 12, κριτήριο σχήματος 0,7 και συμπαγότητα 0,1. Δημιουργήθηκε πάνω από το επίπεδο ένα και στην κατάτμηση συμμετείχαν όλα τα κανάλια με ίδιο βάρος.

### 3.3.4.7 Κατάτμηση 6<sup>ου</sup> επιπέδου

Σκοπός του έκτου επιπέδου είναι ο διαχωρισμός της εικόνας σε ενότητες που προσομοιάζουν όσο το δυνατόν οικοδομικά τετράγωνα. Σε αυτό βοήθησε σημαντικά το ότι δημιουργήθηκε πάνω από το επίπεδο πέντε, στο οποίο είχε πραγματοποιηθεί συγχώνευση των αντικείμενων των δρόμων. Το κριτήριο σχήματος και η συμπαγότητα έλαβαν τιμή 0,7 έτσι ώστε να δημιουργηθούν σχετικά τετραγωνισμένα μεγάλα αντικείμενα. Για το λόγο αυτό η κλίμακα ορίστηκε ίση με 200 ενώ στην κατάτμηση συμμετείχαν και τα 8 κανάλια με βάρος ίσο με τη μονάδα.



Εικόνα 3-49: Αποτέλεσμα κατάτμησης 6<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3

### 3.3.5 Ταξινομήσεις

Όπως και στις προηγούμενες περιοχές μελέτης, οι ταξινομήσεις θα πραγματοποιηθούν χρησιμοποιώντας την ασαφή λογική. Στα πλαίσια αυτής της μεθόδου, αρχικά και για κάθε αντικείμενο υπολογίζεται ένας ασαφής βαθμός συμμετοχής σε κάθε μια από τις διαθέσιμες προς ταξινόμηση κατηγορίες. Ο βαθμός συμμετοχής υπολογίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά τα οποία έχει η κάθε κατηγορία και την ομοιότητα προς αυτά του αντικειμένου που είναι υποψήφιο προς ταξινόμηση. Στη συνέχεια, ο μέγιστος βαθμός συμμετοχής ταξινομεί το αντικείμενο στην κατηγορία για την οποία αυτός έχει προκύψει. (Αργιαλάς, Τζώτσος 2007)

#### 3.3.5.1 Ταξινόμηση 1<sup>ου</sup> επιπέδου

Στο επίπεδο ένα στόχος είναι η ανάδειξη της βλάστησης. Αρχικά δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες *Water L1* και *Not Water L1*. Για την αναγνώριση των υδάτων συνήθως χρησιμοποιείται ο κανονικοποιημένος δείκτης νερού NDWI (Normalized Difference Water Index)

$$NDWI = \frac{NIR - BLUE}{NIR + BLUE}$$

Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιήθηκε το κανάλι Coastal Blue αντί του Blue το NIR2 του WorldView2 και προέκυψε ο δείκτης NDWI2.

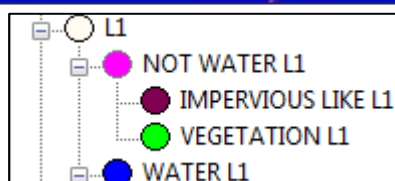
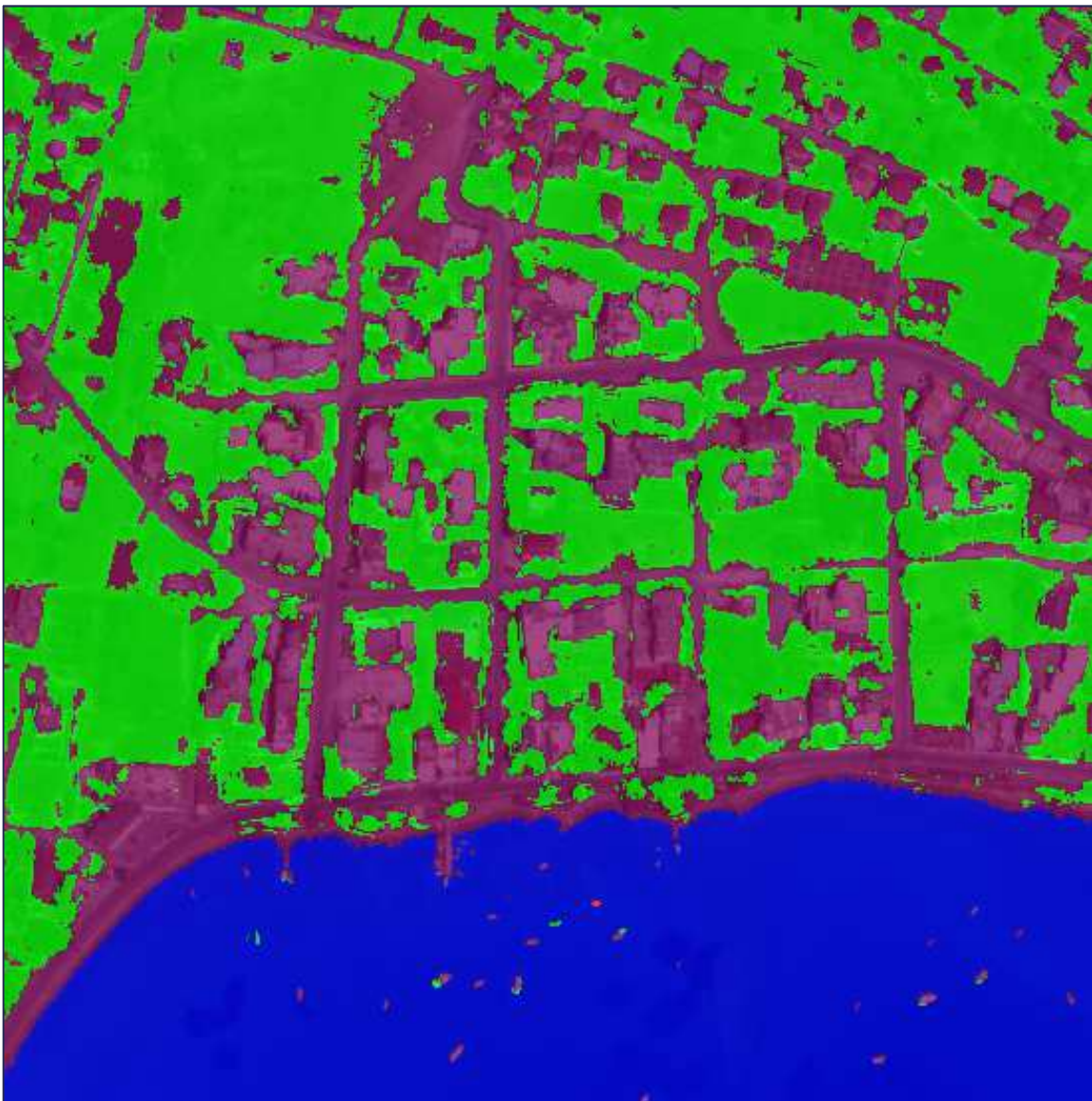
$$NDWI2 = \frac{NIR2 - COASTAL}{NIR2 + COASTAL}$$

Στην κατηγορία *Water L1* ορίστηκε να ταξινομούνται τα αντικείμενα με NDWI2 μικρότερο του 0.33 χρησιμοποιώντας μια ασαφή συνάρτηση συμμετοχής τύπου S. Με αντιστροφή της συγκεκριμένης κατηγορίας ορίστηκε και η κατηγορία *Not Water L1*. Σαν θυγατρικές κατηγορίες της *Not Water L1* δημιουργήθηκαν οι *Vegetation L1* και *Impervious Like L1*. Για την αναγνώριση της βλάστησης χρησιμοποιήθηκε ο Red Edge NDVI (RENDVI) μια παραλλαγή του δείκτη NDVI, ο οποίος χρησιμοποιεί την πληροφορία από το κανάλι Red Edge. Ο συγκεκριμένος δείκτης είναι πολύ χρήσιμος στην γεωργία ακριβείας, την παρακολούθηση δασών και στην ανίχνευση της καταπόνησης της βλάστησης (vegetation stress), καθώς αναδεικνύει ανεπαίσθητες αλλά ανιχνεύσιμες ευαισθησίες πολύ πριν οι μεταβολές γίνουν ορατές (Lasica, 2014).

## Κεφάλαιο 3 | Μεθοδολογία και Υλοποίηση

$$\text{Modified RENDVI} = \left( \frac{\text{NIR2} - \text{RED EDGE}}{\text{NIR2} + \text{RED EDGE}} + 1 \right) * 100$$

Έτσι, στην κατηγορία Vegetation L1 και με τη βοήθεια μιας ασαφούς συνάρτησης S ταξινομούνται τα αντικείμενα που εμφανίζουν τιμή στον Modified RENDVI μεγαλύτερη του 109,5. Η κατηγορία Impervious Like L1 ορίστηκε ως “not Vegetation L1”



Εικόνα 3-50: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 1<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3

### 3.3.5.2 Ταξινόμηση 3<sup>ου</sup> επιπέδου

Κατά την ταξινόμηση του 3<sup>ου</sup> επιπέδου, επιχειρήθηκε η αναγνώριση των δρόμων της εικόνας. Επελέχθησαν κανόνες τέτοιοι ώστε στην ίδια κατηγορία να περιέχονται οι ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι αλλά και οι χωματόδρομοι. Αρχικά δημιουργήθηκαν οι βασικές κατηγορίες που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ταξινόμηση. Στην κατηγορία *Water L3* ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα τα οποία αποτελούνται τουλάχιστον κατά 50% από αντικείμενα της *υποκατηγορίας Water L1*. Για την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε μια ασαφής συνάρτηση τύπου S. Ως *Not Water L3* ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα που δεν ανήκαν στην παραπάνω κατηγορία. Αντίστοιχα, με τη χρήση μια σιγμοειδούς συνάρτησης, τα αντικείμενα που αντιπροσωπεύονταν κατά πάνω από 50% από υπό-αντικείμενα της κατηγορίας *Vegetation L1*, ταξινομήθηκαν ως *Vegetation L3*.

Όσον αφορά τους δρόμους η κατηγορία *Roads L3* η οποία είναι θυγατρική της *Not Water L3*, λόγω των μακρόστενων αντικειμένων που περιέχουν, το αρχικό κριτήριο διαχωρισμού τους από τα υπόλοιπα αντικείμενα ήταν ο λόγος *μήκος/πλάτος (Length/Width)*, ο οποίος επελέγη να παίρνει τιμές πάνω από 1,45. Το επόμενο κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν η *πυκνότητα (Density)*, και τα αντικείμενα επελέγη να διαθέτουν τιμή μικρότερη από 1,65 στο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ώστε να ταξινομηθούν ως δρόμοι. Για τον περαιτέρω διαχωρισμό των δρόμων από τις άλλες κατηγορίες, χρησιμοποιήθηκε το χαρακτηριστικό *Mean difference to scene* στο κανάλι *Coastal*, και συγκεκριμένα απαιτήθηκε τα αντικείμενα να διαθέτουν τιμή πάνω από 5,1. Ο διαχωρισμός αυτός ήταν εφικτός λόγω της υψηλότερης ανακλαστικότητας των δρόμων στο συγκεκριμένο κανάλι σε σχέση με τα υπόλοιπα αντικείμενα της εικόνας. Το χαρακτηριστικό *Relative border to Water L3* < 0.35 προστέθηκε ώστε να αποκλειστούν κάποια αντικείμενα που ταξινομούσανταν λανθασμένα ως δρόμοι ενώ στην πραγματικότητα ήταν κομμάτια από της προβλήτα. Το τελευταίο κριτήριο που βοήθησε στον αποκλεισμό κάποιων ασύνδετων αντικειμένων που είχαν ταξινομηθεί ως δρόμοι ήταν το *Relative border to Roads L3*, το οποίο ορίστηκε να παίρνει τιμές πάνω από 0,035.



Εικόνα 3-51: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 3<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3

### 3.3.5.3 Ταξινόμηση 4<sup>ου</sup> επιπέδου

Στο τέταρτο επίπεδο, ζητούμενο ήταν η ταξινόμηση των κτηρίων. Όπως και νωρίτερα, δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες *Water L4*, *Vegetation L4*. Η απαίτηση ήταν τα αντικείμενα τους να αποτελούνται τουλάχιστον κατά 50% από υπο-αντικείμενα των κατηγοριών *Water L1* και *Vegetation L1* αντίστοιχα. Η ταξινόμηση έγινε με χρήση σιγμοειδούς ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής. Η κατηγορία *Not Water L4* ορίστηκε ως συμπληρωματική της *Water L4*. Δημιουργήθηκε επίσης η κατηγορία *Roads L4*, και με τη χρήση μια σιγμοειδούς συνάρτησης σε αυτήν θα ταξινομηθούν τα αντικείμενα τα οποία καταλαμβάνονται τουλάχιστον κατά 50% από υπό-αντικείμενα της κατηγορίας *Roads L3*.

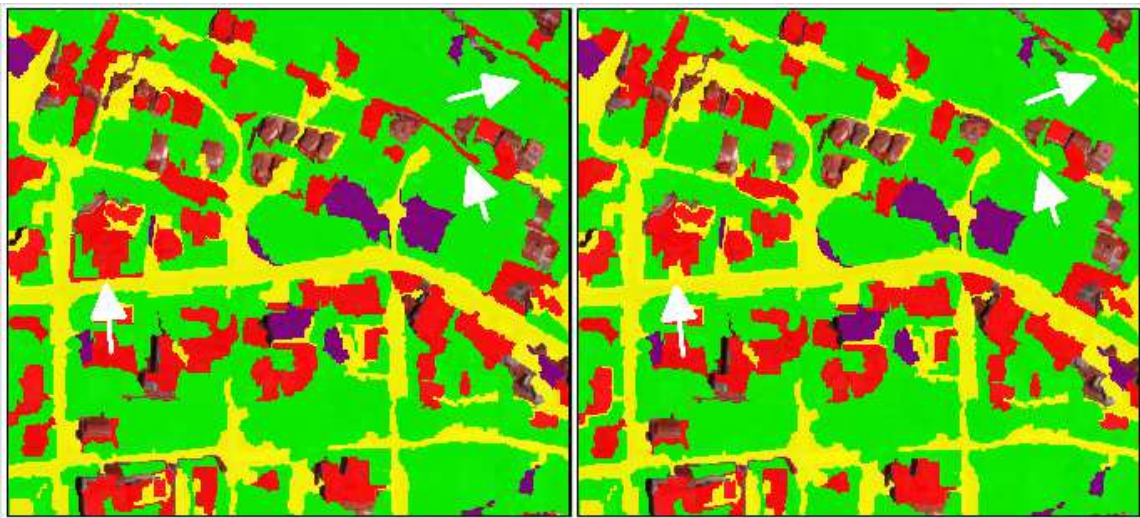
Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν δυο νέες κατηγορίες, στις οποίες ταξινομήθηκαν τα εναπομείναντα αντικείμενα της εικόνας. Οι κατηγορίες *Buildings L4* και *Soil L4*. Πρώτα δημιουργήθηκε η κατηγορία *Buildings L4*, και τα έτσι ώστε να ακολουθεί τα κριτήρια *not Roads L4* και *not Vegetation L4*. Οι διαφορές ανακλαστικότητας των αντικειμένων που αντιπροσώπευαν τα κτήρια έχριζαν χρήσιμη την δημιουργία του κριτηρίου *Mean difference to scene BLUE > 7,1* λόγω της υψηλής ανακλαστικότητας τους στο μπλε κανάλι. Προστέθηκε ένα ακόμη κριτήριο σχετικό με την υφή κατά Haralick, συγκεκριμένα απαιτήθηκε τα αντικείμενα των κτηρίων στο *GLCM Homogeneity (quick 8/11) BLUE (all dir.)* να διαθέτουν τιμή μικρότερη του 0,5. Το συγκεκριμένο κριτήριο ήταν χρήσιμο στον διαχωρισμό των κτηρίων από αντικείμενα που αντιπροσώπευαν περιοχές με χώμα/ έδαφος λόγω διαφορετικής υφής. Τέλος, το κριτήριο *Relative border to Water L4 < 0.25*, βοήθησε στον αποκλεισμό από την κατηγορία κάποιων αντικειμένων που εφάπτονταν με τη θάλασσα.

Στην κατηγορία *Soil L4*, ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα που αντιστοιχούσαν σε χώμα/έδαφος στην εικόνα. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν οι κανόνες *not Roads L4*, *not Buildings L4*, *Not Vegetation L4*, ώστε να αποκλειστούν από τα υποψήφια προς ταξινόμηση αντικείμενα τα ήδη σωστά ταξινομημένα αντικείμενα των πιο πάνω κατηγοριών. Στην συνέχεια, οι διαφορές ανακλαστικότητας μεταξύ των καναλιών κόκκινο και πράσινο, βοήθησαν στον διαχωρισμό του εδάφους περαιτέρω. Συγκεκριμένα, με τη χρήση μιας ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής τύπου S, ορίστηκε τα υποψήφια προς ταξινόμηση αντικείμενα στην κατηγορία *Soil L4* να διαθέτουν λόγο *Red/Green* μικρότερο του 112,5. Ο κανόνας αυτός θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για τον προσδιορισμό των κτηρίων, καθώς διευκολύνει στην ανάδειξη των ανοιχτόχρωμων ταρατσών. Το τελευταίο χαρακτηριστικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν η υφή κατά Haralick. Στην κατηγορία

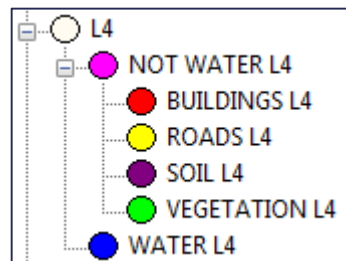
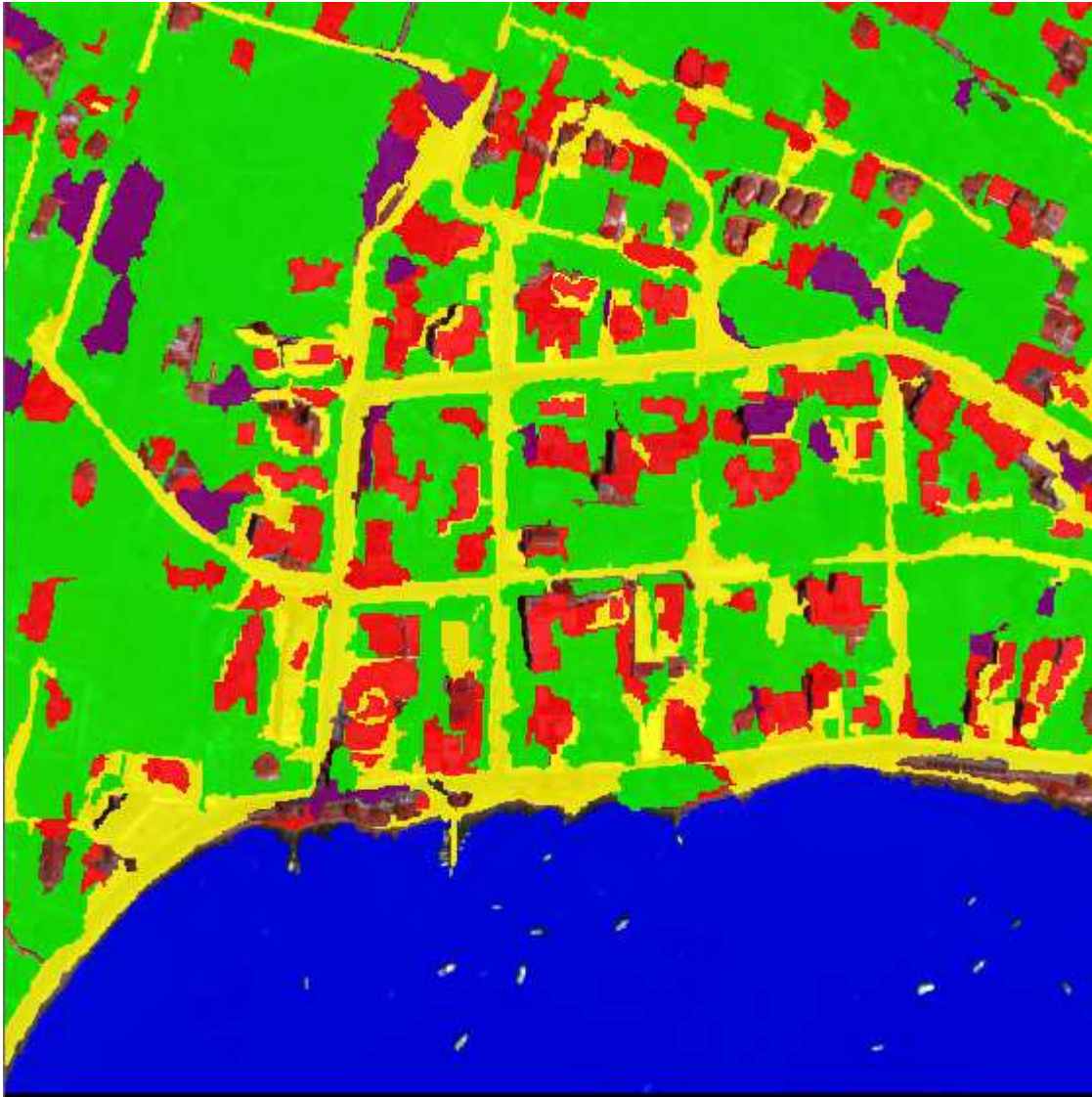


*Soil L4*, ορίστηκε να ταξινομηθούν αντικείμενα με *GLCM Homogeneity (quick 8/11) BLUE (all dir)* μεγαλύτερο του 0,35.

Μετά την ταξινόμηση του 4<sup>ου</sup> επιπέδου, εκτελείται ο αλγόριθμος *assign class*, για την κατηγορία *Buildings L4*, με υποψήφια για ταξινόμηση την κατηγορία *Roads L4*. Αυτό γίνεται γιατί κάποια στενόμακρα αντικείμενα των δρόμων έχουν απορροφηθεί από τα κτήρια λόγω φασματικής σύγχυσης. Έτσι, χρησιμοποιώντας ως κριτήριο το *Shape index > 3*, τα αντικείμενα αυτά επαναταξινομούνται ως δρόμοι.



Εικόνα 3-52: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου *assign class*



Εικόνα 3-53: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 4<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3

#### 3.3.5.4 Ταξινόμηση 2<sup>ου</sup> επιπέδου

Σκοπός της ταξινόμησης του 2<sup>ου</sup> επιπέδου αποτέλεσε η δημιουργία μιας συγκεντρωτικής κατηγορίας στην οποία συμμετείχαν οι κατηγορίες Vegetation L4 και Soil L4. Βάσει της κατηγορίας αυτής, στην μετέπειτα ταξινόμηση του 6<sup>ου</sup> επιπέδου, εξήχθη το ποσοστό των αδιαπέραστων επιφανειών ανά πολεοδομική

## Κεφάλαιο 3 | Μεθοδολογία και Υλοποίηση

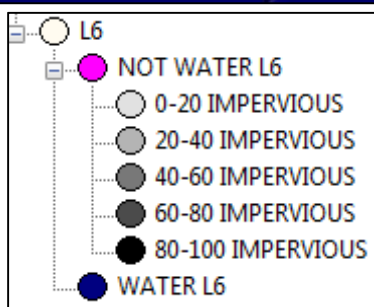
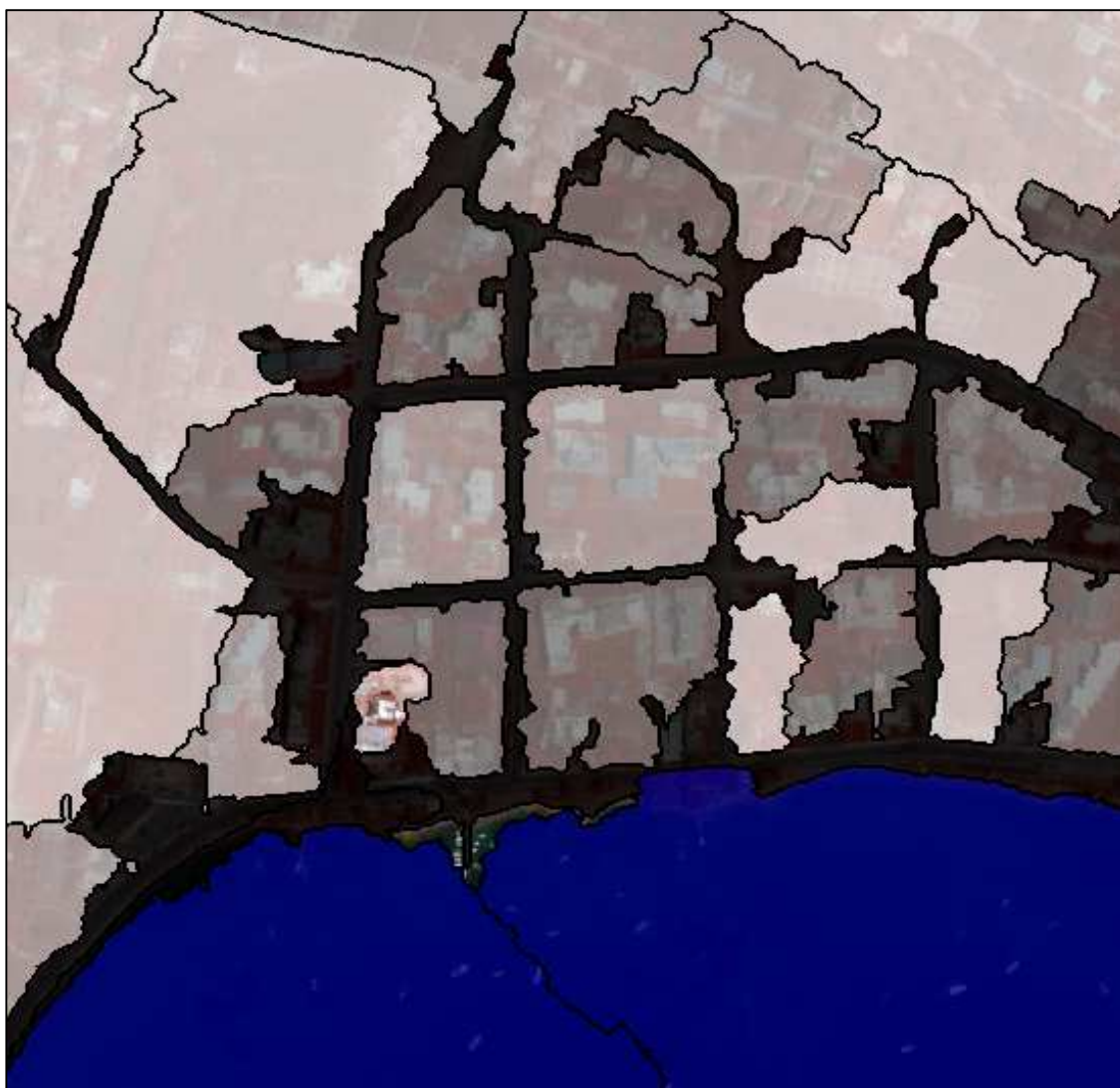
ενότητα που προσομοιάζει σε οικοδομικό τετράγωνο. Όπως και νωρίτερα, δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες Water L2 και Not Water L2. Η κατηγορία Water L2 ταξινομήθηκε με τον κανόνα Relative area of sub objects L1 και τη χρήση σιγμοειδούς συνάρτησης συμμετοχής ενώ η Not Water L2, με τον κανόνα Not Water L2. Η κατηγορία Soil & Vegetation L2, περιλαμβάνει αντικείμενα που ταξινομήθηκαν είτε ως Vegetation L4, είτε ως Soil L4. Συγκεκριμένα, ένα αντικείμενο ταξινομείται ως Soil & Vegetation L2 εάν αποτελεί υπό-αντικείμενο σε οποιαδήποτε από τις δύο προ-αναφερθέντες κατηγορίες.



Εικόνα 3-54: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 2<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3

### 3.3.5.5 Ταξινόμηση 6<sup>ου</sup> επιπέδου

Αποτελεί το επίπεδο τελικής ταξινόμησης, στο οποίο αξιοποιώντας τις ενδιάμεσες ταξινομήσεις και την κατηγορία Soil & Vegetation L2, εξάγεται συμπέρασμα για το ποσοστό που καταλαμβάνουν οι αδιαπέραστες επιφάνειες σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο, τα οποία κατατάσσονται σε 5 κλάσεις ανάλογα με το ποσοστό αυτό.



Εικόνα 3-55: Αποτέλεσμα ταξινόμησης 6<sup>ου</sup> επιπέδου ΠΜ3

Οι ταξινομήσεις των κατηγοριών είχαν ήδη πραγματοποιηθεί στα προηγούμενα επίπεδα, με το σύνολό τους να έχει μεταφερθεί στο τέταρτο επίπεδο. Στο έκτο επίπεδο, αφού δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες *Water L6* και *Not Water 6*, δημιουργήθηκαν άλλες 5 υποκατηγορίες στην τελευταία που αναφέρονται σε επίπεδο οικοδομικών τετραγώνων. Η κατηγορία *Water L6*, περιέχει αντικείμενα των οποίων τουλάχιστον το 50% του εμβαδού τους καταλαμβάνονται από υπό-αντικείμενα της κατηγορίας *Water L1*. Η κατηγορία *not Water L6*, αποτελεί *invert selection* της προαναφερθείσας.

Οι πέντε υποκατηγορίες, θυγατρικές κατηγορίες της *Not Water L6*, ορίστηκαν βάσει του ποσοστού κατά το οποίο αποτελούνται από αντικείμενα της υποκατηγορίας *Soil & Vegetation L2*. Συγκεκριμένα οι κατηγορίες είχαν ως εξής:



























- 0-20 Impervious
- 20-40 Impervious
- 40-60 Impervious
- 60-80 Impervious
- 80-100 Impervious

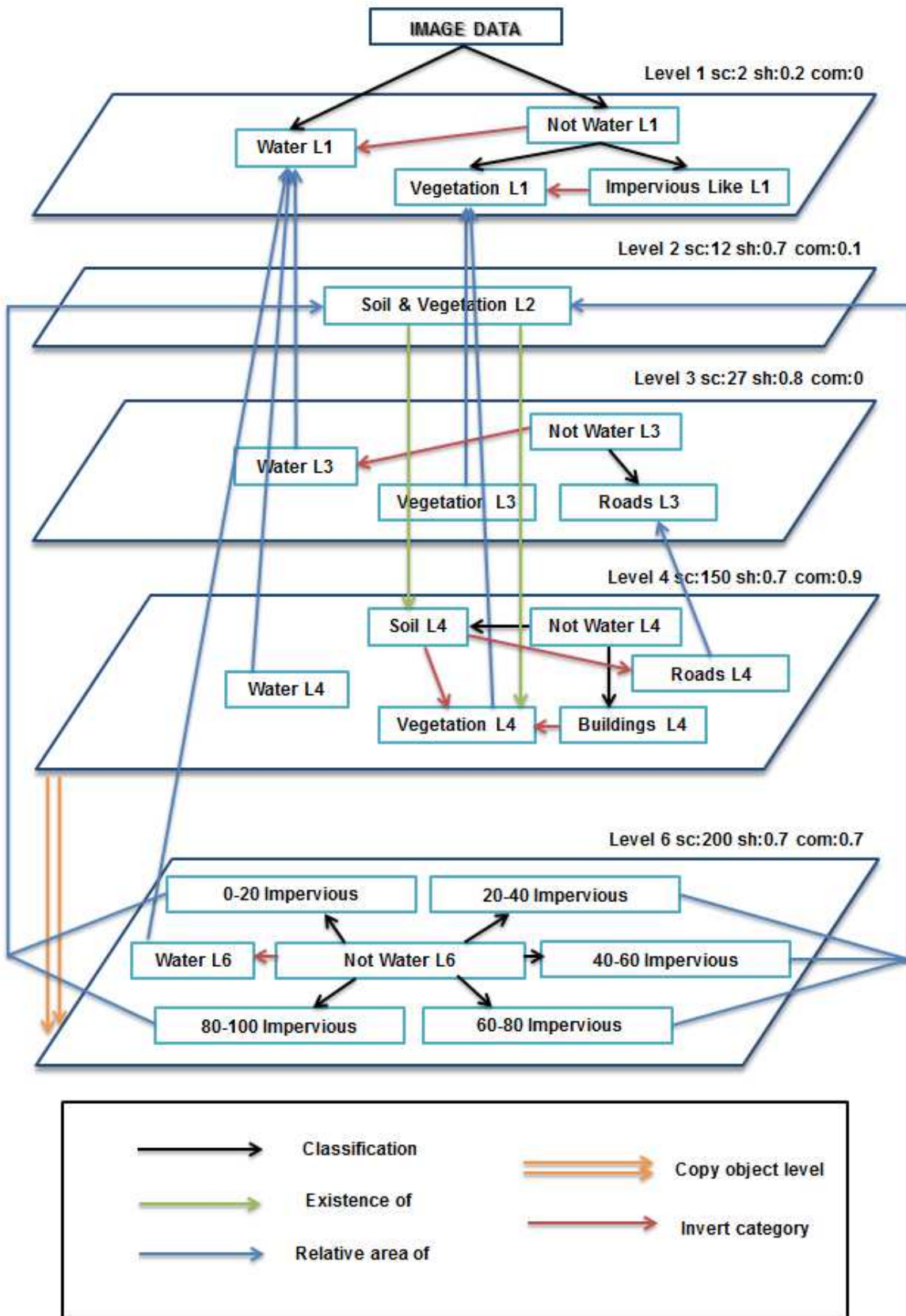
Για την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε η απλοποιημένη συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής (*full range*) και τα διαστήματα ασάφειας της κάθε κατηγορίας ήταν αντιστρόφως ανάλογα με τα ποσοστά των κλάσεων. Για παράδειγμα, στην κατηγορία 0-20 Impervious ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα του επιπέδου 6 των οποίων η έκταση καταλαμβάνόταν τουλάχιστον κατά 80% από υπό-αντικείμενα της κατηγορίας *Soil & Vegetation L2*.

Οι κανόνες ταξινόμησης όλων των κατηγοριών όλων των επιπέδων απεικονίζονται στον πίνακα 3-4.

## Κεφάλαιο 3 | Μεθοδολογία και Υλοποίηση

**Πίνακας 3-4: Κανόνες ταξινόμησης όλων των επιπέδων ΠΜ3**

Επίπεδο	Κατηγορίες		Χαρακτηριστικό	Συνάρτηση συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
1	Water L1		NDWI		0.32	0.34
	Not Water L1		Not Water L1			
	Vegetation L1		Scaled RENDVI		109	110
	Impervious Like L1		Not Vegetation L1			
2	Water L2		Relative area of sub objects Water L1(1)		0.45	0.55
	Not Water L2		Not Water L2			
	Soil & Vegetation L2	or	Existence of super objects Soil L4(2)		0	2
			Existence of super objects Vegetation L4(2)		0	2
3	Water L3		Relative area of sub objects Water L1(2)		0.45	0.55
	Not Water L3		Not Water L3			
	Vegetation L3		Relative area of sub objects Vegetation L1(2)		0.45	0.55
	Roads L3	and	Mean difference to scene Coastal		5	5.2
			Relative border to Roads L3		0.03	0.04
			Relative border to Water L3		0.3	0.4
			Length/Width		1.4	1.5
			Density		1.6	1.7
4	Water L4		Relative area of sub objects Water L1(3)		0.45	0.55
	Not Water L4		Not Water L4			
	Vegetation L4		Relative area of sub objects Vegetation L1(3)		0.45	0.55
	Roads L4		Relative area of sub objects Roads L3(1)		0.5	0.55
	Buildings L4	and	Not Roads L4			
			Not Vegetation L4			
			Relative border to Water L4		0.2	0.3
			Mean difference to scene Blue		7	7.2
			GLCM Homogeneity (quick 8/11) BLUE (all dir)		0.5	0.51
	Soil L4	and	Not Roads L4			
			Not Buildings L4			
			Not Vegetation L4			
Red/Green				112	113	
GLCM Homogeneity (quick 8/11) BLUE (all dir)				0.34	0.35	
6	Water L6		Relative area of sub objects Water L1(5)		0.55	0.65
	Not Water L6		Not Water L6			
	0-20 Impervious		Rel.area of sub objects Soil & Vegetation L2(4)		0.8	1
	20-40 Impervious		Rel.area of sub objects Soil & Vegetation L2(4)		0.6	0.6
	40-60 Impervious		Rel.area of sub objects Soil & Vegetation L2(4)		0.4	0.6
	60-80 Impervious		Rel.area of sub objects Soil & Vegetation L2(4)		0.2	0.4
	80-100 Impervious		Rel.area of sub objects Soil & Vegetation L2(4)		0	0.2



Εικόνα 3-56: Διάγραμμα ροής για την ταξινόμηση των επιπέδων της ΠΜ3

## 4. Αξιολόγηση

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

Μετά την διαδικασία της ταξινόμησης δεδομένων, αναγκαία είναι η αξιολόγηση της ορθότητας των αποτελεσμάτων της. Μία πρώτη εκτίμηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης μπορεί να πραγματοποιηθεί εποπτικά, από τον εκάστοτε φωτοερμηνευτή. Η μέθοδος αυτή ωστόσο είναι καθαρά υποκειμενική και ως εκ τούτου δεν είναι σε θέση να εξάγει αξιόπιστα και συγκρίσιμα αποτελέσματα. Συχνά η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εκτελείται επίσης μέσω σύγκρισης της προς αξιολόγησης ταξινόμησης με κάποια αντίστοιχη παλαιότερη, παραγομένη με διαφορετικές μεθόδους ταξινόμησης και γενικότερης ανάλυσης ικόνας. Βασική προϋπόθεση είναι οι δύο αυτές ταξινομήσεις να διαθέτουν συγκρίσιμη πληροφορία.

Το λογισμικό eCognition παρέχει σε κάθε επίπεδο κατάτμησης και ταξινόμησης μεθόδους που οπτικοποιούν τα στατιστικά αποτελέσματα:

- Μέθοδος με βάση το αποτέλεσμα της καλύτερης ταξινόμησης (best classification result)
- Μέθοδος της σταθερότητας ταξινόμησης (classification stability)
- Μέθοδος πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε TTA μάσκα (error matrix based on TTA mask)
- Μέθοδος πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (error matrix based on samples)

Στην παρούσα εργασία, θα παρουσιαστούν ανά μέθοδο αξιολόγησης τόσο γραφικά όσο και μέσω υπολογισμού στατιστικών όλα τα επίπεδα και οι αντίστοιχες περιοχές μελέτης.



### 4.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΚΑΛΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (BEST CLASSIFICATION RESULT)

Ένα αντικείμενο ενδέχεται να ανήκει μερικώς σε περισσότερες της μίας κατηγορίες, ανάλογα με τον βαθμό στον οποίο τα χαρακτηριστικά του πλησιάζουν τις περιγραφές των εκάστοτε κλάσεων. Η τελική ταξινόμηση του κάθε αντικειμένου πραγματοποιείται στην κατηγορία για την οποία παρουσιάζει το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Ως εκ τούτου, ένα χρήσιμο μέτρο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων αποτελεί η διερεύνηση του πόσο υψηλές ήταν οι τιμές των μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής βάσει των οποίων διαμορφώθηκε η τελική ταξινόμηση των αντικειμένων. Η δυνατότητα αυτή παρέχεται στο λογισμικό eCognition με το εργαλείο «Αποτέλεσμα καλύτερης Ταξινόμησης»

Όσον αφορά το οπτικό αποτέλεσμα των τρόπων αξιολόγησης, αναφέρεται ότι τα αντικείμενα που απεικονίζονται με πράσινο χρώμα είναι αυτά που ταξινομήθηκαν με τη μικρότερη αμφισβήτηση, ενώ αυτά που απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, ακριβώς το αντίθετο. Οι επεξηγήσεις του πίνακα στατιστικών παρατίθενται παρακάτω:

Πίνακας 4-1: Επεξήγηση στοιχείων πίνακα αξιολόγησης

Στοιχεία πίνακα στατιστικών	Περιγραφή
<b>Class</b>	το όνομα της κατηγορίας.
<b>Objects</b>	Δίνει το σύνολο των αντικειμένων που έχουν ταξινομηθεί στην κλάση
<b>Mean</b>	Ο μέσος όρος της διαφοράς ανάμεσα στο μέσο όρο της διαφοράς ανάμεσα στον πρώτο και δεύτερο βαθμό των βαθμών των συναρτήσεων συμμετοχής των αντικειμένων για την κατηγορία
<b>StdDev</b>	η τυπική απόκλιση
<b>Minimum</b>	Παίρνει τιμή διάφορη του 1 αν υπάρχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο που έχει ταξινομηθεί με υψηλή αβεβαιότητα στην κατηγορία
<b>Maximum</b>	Παίρνει τιμή 1 αν υπάρχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο που πληροί 100% τις συνθήκες για να ταξινομηθεί στην κατηγορία που ταξινομήθηκε τελικώς.

### 4.1.1 Περιοχή Μελέτης 1

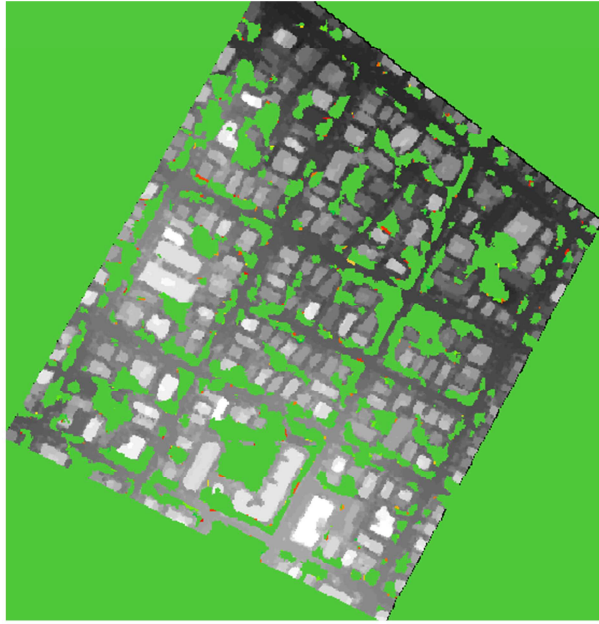
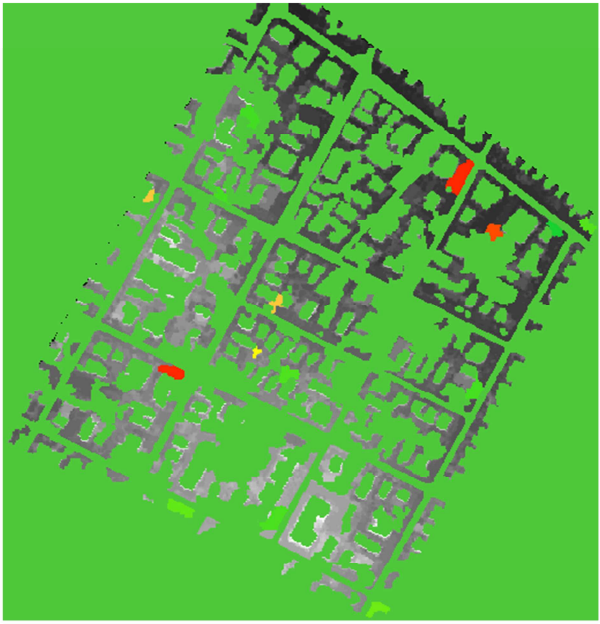
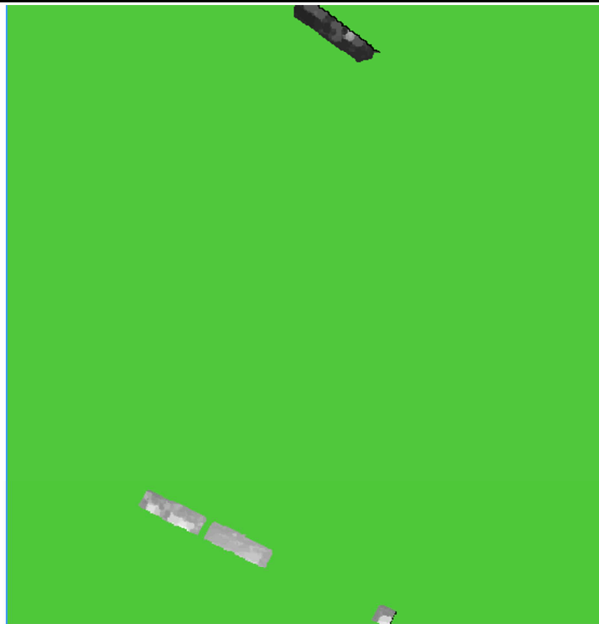
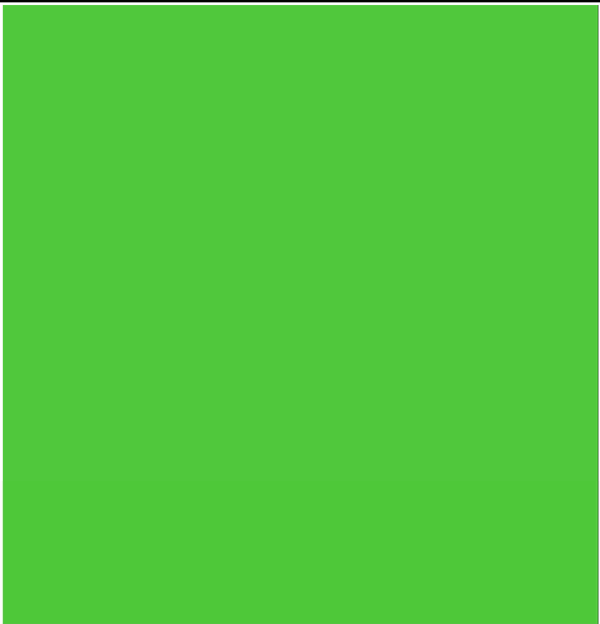
Με μια ματιά στις απεικονίσεις είναι φανερό ότι όλα τα αντικείμενα των επιπέδων 1, 2, 3 και 4 δεν είναι καθόλου αμφιλεγόμενα, καθώς το πράσινο χρώμα κυριαρχεί απόλυτα. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τους στατιστικούς πίνακες όπου οι τιμές των βαθμών συμμετοχής των αντικειμένων στην κατηγορία είναι εξαιρετικά υψηλές και η συντριπτική πλειοψηφία των αντικειμένων είναι απόλυτα μη αμφιλεγόμενα με βαθμό συμμετοχής 1.

Στο Level 2, το επίπεδο στο οποίο έχουν μεταφερθεί οι ταξινομήσεις των προηγούμενων επιπέδων και θα μπορούσε να θεωρηθεί ως πιο σύνθετο, η κατάσταση είναι παρόμοια με το πράσινο χρώμα να κυριαρχεί και τους βαθμούς συμμετοχής των κατηγοριών να προσεγγίζουν τη μονάδα. Μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής μετά από τις κατηγορίες Background L2 και Roads L2 που έχουν βαθμό 1, παρουσιάζει η κατηγορία Rooftops L2 ( $0.99529 \pm 0.0541$ ), η οποία δημιουργήθηκε και ταξινομήθηκε στο συγκεκριμένο επίπεδο. Οι ελάχιστοι βαθμοί συμμετοχής από την άλλη, στην πλειοψηφία τους είναι αρκετά χαμηλοί, γεγονός που σημαίνει ότι ναι μεν τα αντικείμενα πληρούσαν σε μεγάλο βαθμό τα κριτήρια ταξινόμησης στην τελική τους κατηγορία, αλλά ταυτόχρονα κάποια αντικείμενα εξ' αυτών διεκδικούνταν σε μεγάλο βαθμό από άλλες κατηγορίες.

Στο επίπεδο 3 της τελικής ταξινόμησης τα αντικείμενα είναι απολύτως μη αμφιλεγόμενα με βαθμό συμμετοχής 1. Λογικό αποτέλεσμα δεδομένου ότι ουσιαστικά αποτελεί μετά-ταξινόμηση που βασίζεται στα αποτελέσματα της ταξινόμησης του 2<sup>ου</sup> επιπέδου. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των αξιολογήσεων που αφορούν την Περιοχή Μελέτης 1 παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-2.

# Κεφάλαιο 4 | Αξιολόγηση

Πίνακας 4-2: Αποτελέσματα αξιολόγησης ΠΜ1 επιπέδων 1,2,3,4 βάσει της καλύτερης ταξινόμησης

Level 1 - Best Classification Result						Level 2 - Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Background L1	397	1	0	1	1	Background L2	226	1	0	1	1
Main Area L1	10224	0.9523701	0.1662428	0.101	1	Main Area L2	1023	0.985	0.0918430793	0.1161538	1
Vegetation L1	10224	0.9523701	0.1662428	0.101	1	City Blocks L2	480	0.9952937	0.05410410391	0.1998791	1
						Roads L2	262	1	0	1	1
						Rooftops L2	480	0.9952937	0.05410410391	0.1998791	1
						Vegetation L2	281	0.9533965	0.156	0.1161538	1
Level 3 - Best Classification Result						Level 4 - Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Background L3	5	1	0	1	1	Main Area L4	34	1	0	1	1
Main Area L3	30	1	0	1	1	Background L4	5	1	0	1	1
City Blocks L3	23	1	0	1	1	City Blocks L4	27	1	0	1	1
Roads L3	7	1	0	1	1	Roads L4	7	1	0	1	1
60% < Impervious < 70%	5	1	0	1	1						
70% < Impervious < 80%	6	1	0	1	1						
90% < Impervious < 100%	6	1	0	1	1						
80% < Impervious < 90%	6	1	0	1	1						
0% < Impervious < 50%	0										
50% < Impervious < 60%	0										

### 4.1.2 Περιοχή Μελέτης 2



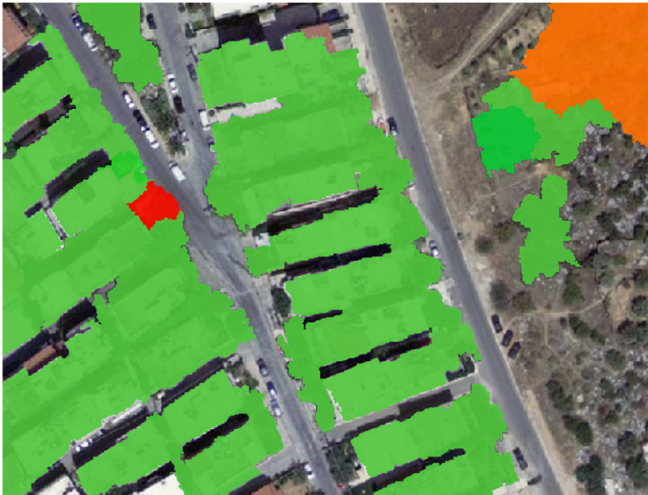

Τα επίπεδα που συμμετείχαν στην αξιολόγηση της ΠΜ2 ήταν τα 1, 3, 4 και 5. Τα υπόλοιπα είχαν επικουρικό χαρακτήρα και εμφάνιζαν απόλυτα μη αμφιλεγόμενα ταξινομημένα αντικείμενα.

Τα επίπεδα 1 και 5, στα οποία ταξινομήθηκαν μόνο 2 κατηγορίες στο καθένα εμφανίζουν άριστα αποτελέσματα. Αυτό επιβεβαιώνεται τόσο από την οπτική παρατήρηση και την απόλυτη κυριαρχία του πράσινου χρώματος, όσο και από τους βαθμούς συμμετοχής που είτε ταυτίζονται με την μονάδα είτε προσεγγίζουν πάρα πολύ. Στο επίπεδο 4, η ταξινόμηση των σπιτιών είναι απόλυτα μη αμφιλεγόμενη με βαθμό συμμετοχής 1. Η βλάστηση με βαθμό συμμετοχής 0.887 είναι περισσότερο αμφιλεγόμενη όμως δεν επηρεάζει την ακρίβεια της τελικής ταξινόμησης της εικόνας καθώς η συγκεκριμένη κατηγορία δεν διαχωρίστηκε στο επίπεδο 4 αλλά μεταφέρθηκε από το επίπεδο στο οποίο είχε ταξινομηθεί νωρίτερα. Ο χαμηλότερος βαθμός συμμετοχής επιβεβαιώνεται και από την οπτική επισκόπηση των αποτελεσμάτων.

Το επίπεδο 3, στο οποίο πραγματοποιήθηκε η τελική ταξινόμηση, παρόλο που υπήρξε η αναγνώριση νέων κατηγοριών και μεταφορά των προηγούμενων, χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλούς βαθμούς συμμετοχής για το σύνολο των κατηγοριών του. Μεγαλύτερους βαθμούς συμμετοχής παρουσιάζει η κατηγορία Rooftops L3 (0,999) και Soil L3 (0,996). Ο πίνακας 4-3 παρουσιάζει τα αποτελέσματα των αξιολογήσεων.

## Κεφάλαιο 4 | Αξιολόγηση

**Πίνακας 4-3: Αποτελέσματα αξιολόγησης ΠΜ2 επιπέδων 1,3,4,5 βάσει της καλύτερης ταξινόμησης**

Level 1 - Best Classification Result						Level 3 - Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
IMPERVIOUS LIKE L1	31618	0.993	0.0436556283	0.5	1	ROOFTOPS L3	809	0.9997179	0.005633477232	0.8684615	1
VEGETATION L1	9336	0.9797724	0.07467686619	0.5	1	VEGETATION L3	617	0.9934785	0.03960560976	0.584	1
						REST IMPERVIOUS L3	451	0.9917628	0.04988841934	0.5	1
						SOIL L3	419	0.996	0.029960307	0.64	1
						ROADS L3	162	0.9917841	0.04401279011	0.5647026	1
						SHADED IMPERVIOUS L3	35	0.9723759	0.08985625198	0.5656250	1
Level 4 - Best Classification Result						Level 5 - Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
ROOFTOPS L4	33	1	0	1	1	NOT ROADS L5	110	0.998	0.02128612868	0.7757275	1
VEGETATION L4	28	0.887	0.2606037	0.106	1	ROADS L5	3	1	0	1	1

### 4.1.3 Περιοχή Μελέτης 3



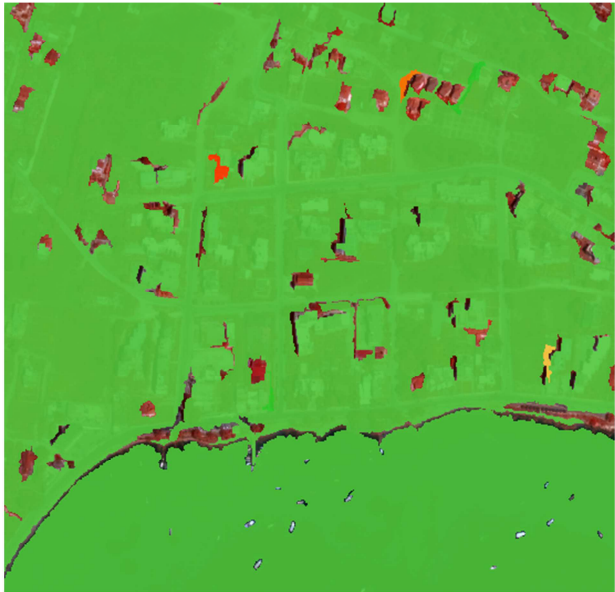

Στην περιοχή μελέτης 3, τόσο από την οπτική παρατήρηση των αποτελεσμάτων όσο και από τις τιμές των βαθμών συμμετοχής, το σύνολο των ταξινομήσεων που αφορούν τα κυριότερα επίπεδα 1,3,4 και 6 κρίνονται ως μη αμφιλεγόμενες.

Στο επίπεδο 1, όπου ταξινομήθηκαν το νερό, η βλάστηση και τα αδιαπέραστα υλικά γενικής φύσης, οι ταξινομήσεις είναι απόλυτα μη αμφιλεγόμενες, με τους βαθμούς συμμετοχής πρακτικά να τείνουν στο 1. Παρόμοια είναι η εικόνα και στα επίπεδα 3 και 6, όπου ο μικρότερος βαθμός συμμετοχής ήταν 0,998 ενώ 5 από τις 6 κατηγορίες του επιπέδου 6 είναι απόλυτα μη αμφιλεγόμενες με βαθμό συμμετοχής 1.

Το επίπεδο 4, χαρακτηρίζεται επίσης από μεγάλους βαθμούς συμμετοχής, με το νερό να έχει τιμή 1 ενώ οι κατηγορίες βλάστηση δρόμοι και κτήρια της τάξης του 0.99. Οι ελάχιστοι βαθμοί συμμετοχής από την άλλη, στην πλειοψηφία τους είναι αρκετά χαμηλοί, γεγονός που σημαίνει ότι ναι μεν τα αντικείμενα πληρούσαν σε μεγάλο βαθμό τα κριτήρια ταξινόμησης στην τελική τους κατηγορία, αλλά ταυτόχρονα κάποια αντικείμενα εξ' αυτών διεκδικούνταν σε μεγάλο βαθμό από άλλες κατηγορίες.

## Κεφάλαιο 4 | Αξιολόγηση

**Πίνακας 4-4: Αποτελέσματα αξιολόγησης ΠΜ3 επιπέδων 1,3,4,6 βάσει της καλύτερης ταξινόμησης**

Level 1- Best Classification Result						Level 3 - Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
IMPERVIOUS LIKE L1	102211	0.9943011	0.04061698088	0.5	1	VEGETATION L3	597	0.9874984	0.07998960924	0.1483784	1
VEGETATION L1	85764	0.9933815	0.04354141202	0.5022777	1	ROADS L3	273	0.9807074	0.103	0.2295335	1
WATER L1	11472	0.9994319	0.01192063663	0.5533898	1	WATER L3	193	1	0.001178521053	0.9835849	1
Level 4 - Best Classification Result						Level 6 - Best Classification Result					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
VEGETATION L4	402	0.9888033	0.07370261548	0.1483784	1	40-60 IMPERVIOUS	10	1	0	1	1
L4	390	0.9935622	0.05701181066	0.1242210	1	0-20 IMPERVIOUS	9	1	0	1	1
ROADS L4	200	0.998	0.01775323722	0.7943709	1	20-40 IMPERVIOUS	7	1	0	1	1
BUILDINGS L4	190	0.989	0.0793645415	0.1242210	1	80-100 IMPERVIOUS	4	0.9935648	0.01114617178	0.9742590	1
WATER L4	105	1	0	1	1	WATER L6	2	1	0	1	1
SOIL L4	29	0.948	0.1171609	0.542	1	60-80 IMPERVIOUS	1	1	0	1	1

### 4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (CLASSIFICATION STABILITY)

Στην αξιολόγηση των ταξινομήσεων βάσει της σταθερότητας της ταξινόμησης, γίνεται η σύγκριση μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου βαθμού συμμετοχής με βάση τον οποίο ταξινομήθηκε ένα αντικείμενο στην κάθε κατηγορία. Συγκρίνοντας τα δύο αυτά αποτελέσματα φαίνεται ουσιαστικά το πόσο σταθερή είναι η ταξινόμηση.

#### 4.2.1 Περιοχή Μελέτης 1

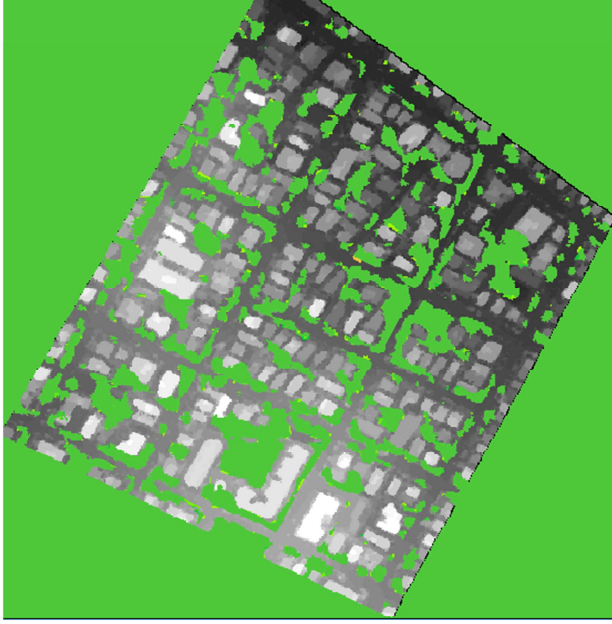
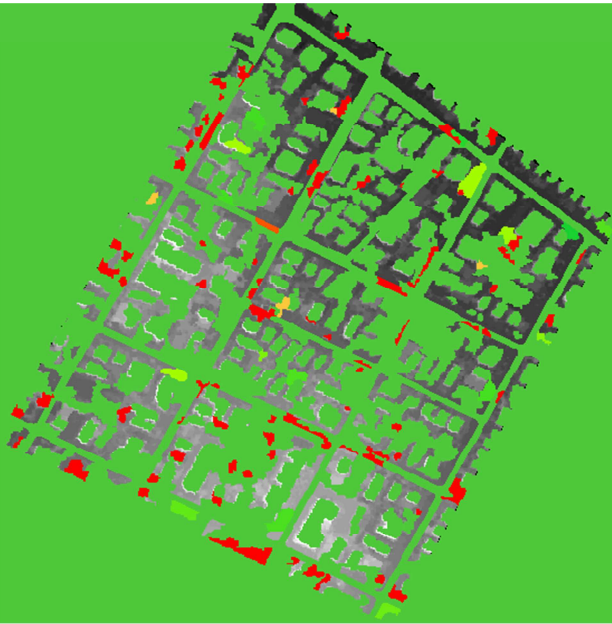


Στα επίπεδα 1, 3 και 4 φαίνεται πως η ποιότητα της ταξινόμησης είναι πολύ καλή. Οι μέσοι βαθμοί συμμετοχής των αντικειμένων στις κατηγορίες είναι εξαιρετικά ικανοποιητικοί κάτι που επιβεβαιώνεται και από την οπτική παρατήρηση των αποτελεσμάτων.

Στο επίπεδο 2 που παρουσιάζει τις περισσότερες κατηγορίες είναι λογικό να παρατηρείται μεγαλύτερη αστάθεια. Μεγαλύτερη σταθερότητα παρουσιάζει η κατηγορία *Vegetation L2* ( $\beta = 0.952 \pm 0.1573$ ) ενώ στον αντίποδα βρίσκονται οι κατηγορίες *Rooftops L2* και *City Blocks L2* ( $\beta = 0.8478 \pm 0.35437$ ). Από τα στατιστικά γίνεται αντιληπτό πως κάποια αντικείμενα έχουν μηδενικό ελάχιστο βαθμό συμμετοχής ( $\text{minimum}=0$ ), αντιπαραβάλλοντας το οποίο όμως με την γραφική απεικόνιση των αντικειμένων διαπιστώνεται πως πρόκειται για λίγα αντικείμενα.



## Κεφάλαιο 4 | Αξιολόγηση

**Πίνακας 4-5: Αποτελέσματα αξιολόγησης ΠΜ1 επιπέδων 1, 2, 3, 4 βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης**

Level 1 - Classification Stability						Level 2 - Classification Stability					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Main Area L1	10224	0.9523701	0.1662428	0.101	1	Background L2	226	1	0	1	1
Vegetation L1	10224	0.9523701	0.1662428	0.101	1	Vegetation L2	281	0.952	0.1573663	0.1161538	1
Background L1	397	1	0	1	1	Main Area L2	1023	0.8714783	0.3227002	0	1
						Rooftops L2	480	0.8478014	0.3543751	0	1
						City Blocks L2	480	0.8478014	0.3543751	0	1
						Roads L2	262	0.8285398	0.3743719	0	1
Level 3 - Classification Stability						Level 4 - Classification Stability					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Roads L3	7	1	0	1	1	Main Area L4	34	1	0	1	1
Main Area L3	30	1	0	1	1	Background L4	5	1	0	1	1
City Blocks L3	23	1	0	1	1	City Blocks L4	27	1	0	1	1
Background L3	5	1	0	1	1	Roads L4	7	1	0	1	1
90% < Impervious < 100%	6	1	0	1	1						
80% < Impervious < 90%	6	1	0	1	1						
70% < Impervious < 80%	6	1	0	1	1						
60% < Impervious < 70%	5	1	0	1	1						
50% < Impervious < 60%	0										
0% < Impervious < 50%	0										

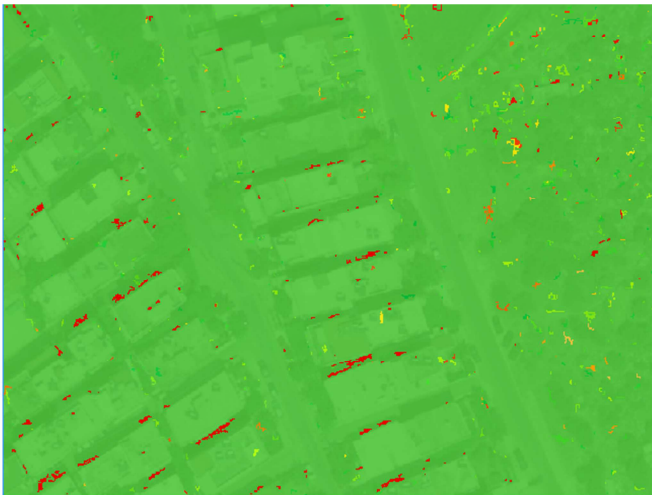

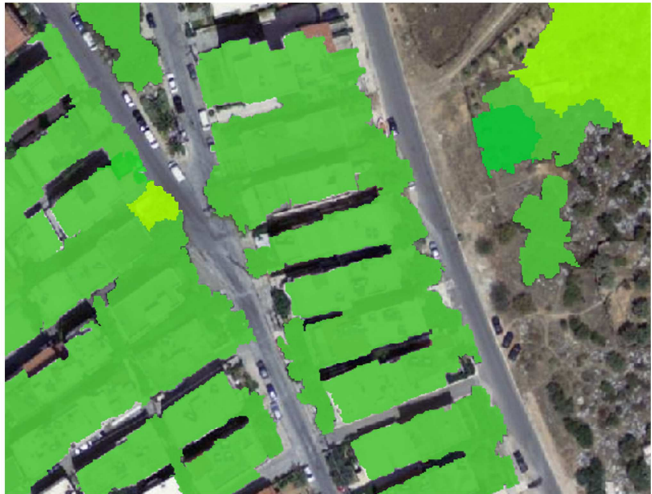

### 4.2.2 Περιοχή Μελέτης 2

Στο επίπεδο 5, οι δρόμοι παρουσιάζουν απόλυτη σταθερότητα με βαθμό συμμετοχής 1. Αντίστοιχα υψηλή σταθερότητα διαθέτουν οι κατηγορίες *Vegetation L1* και *Impervious L1*. Παρόλο που οπτικά φαίνονται αρκετά μικρά αντικείμενα με μικρότερη σταθερότητα ταξινόμησης, σε σχέση με τον τεράστιο συνολικό αριθμό των αντικειμένων λόγω λεπτής κατάτμησης, οι βαθμοί συμμετοχής διατηρούνται σε πολύ υψηλά επίπεδα (0,962 και 0,981 αντίστοιχα). Η ταξινόμηση των κτηρίων στο επίπεδο 4 παρουσιάζει απόλυτη σταθερότητα και η κατηγορία βλάστηση πολύ καλή επίσης με βαθμό συμμετοχής (0,887).

Οι κατηγορίες που ταξινομήθηκαν στο τελικό επίπεδο 3, χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή σταθερότητα. Οι περισσότερες κατηγορίες παρουσιάζουν βαθμούς συμμετοχής σχεδόν 1, με μικρότερο το 0,946 της κατηγορίας *Shaded Impervious L3*, οποίος παρ' όλα αυτά είναι πολύ υψηλός. Οι ελάχιστοι βαθμοί συμμετοχής από την άλλη, στην πλειοψηφία τους είναι αρκετά χαμηλοί, γεγονός που σημαίνει ότι ναι μεν τα αντικείμενα πληρούσαν σε μεγάλο βαθμό τα κριτήρια ταξινόμησης στην τελική τους κατηγορία, αλλά ταυτόχρονα κάποια αντικείμενα εξ' αυτών διεκδικούνταν σε μεγάλο βαθμό από άλλες κατηγορίες. Σε αντιπαράθεση με την οπτική επισκόπηση όμως, τα αντικείμενα αυτά είναι πολύ λίγα.

## Κεφάλαιο 4 | Αξιολόγηση

**Πίνακας 4-6: Αποτελέσματα αξιολόγησης PM2 επιπέδων 1, 3, 4, 5 βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης**

Level 1 - Classification Stability						Level 3 - Classification Stability					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
IMPERVIOUS LIKE L1	31618	0.9817700	0.112	0	1	SOIL LIKE L3	870	0.9882645	0.08266007368	0	1
VEGETATION L1	9336	0.962	0.1484092	0.0001683235168	1	ROOFTOPS L3	809	0.9995553	0.009786722188	0.737	1
						VEGETATION L3	617	0.9881468	0.07798882561	0.168	1
						REST IMPERVIOUS L3	451	0.9841462	0.09928693173	0	1
						SOIL L3	419	0.9926973	0.05948556824	0.28	1
						ROADS L3	162	0.9788550	0.1156253	0	1
						SHADED IMPERVIOUS L3	35	0.9466137	0.1798502	0.1312500	1
Level 4 - Classification Stability						Level 5 - Classification Stability					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
ROOFTOPS L4	33	1	0	1	1	NOT ROADS L5	110	0.996	0.04257225594	0.5514549	1
VEGETATION L4	28	0.887	0.2606037	0.106	1	ROADS L5	3	1	0	1	1

### 4.2.3 Περιοχή Μελέτης 3

Στην περιοχή μελέτης 3, το επίπεδο 1 εμφανίζει πολύ μεγάλη ευστάθεια, όμως διακρίνονται κάποια διάσπαρτα αντικείμενα με μικρή έως μηδενική ευστάθεια, που επιβεβαιώνεται και από τους πολύ μικρούς ελάχιστους βαθμούς συμμετοχής. Το πλήθος αυτών των αντικειμένων όμως είναι τόσο μικρό που η βαρύτητά τους είναι αμελητέα στο σύνολο της ταξινόμησης.



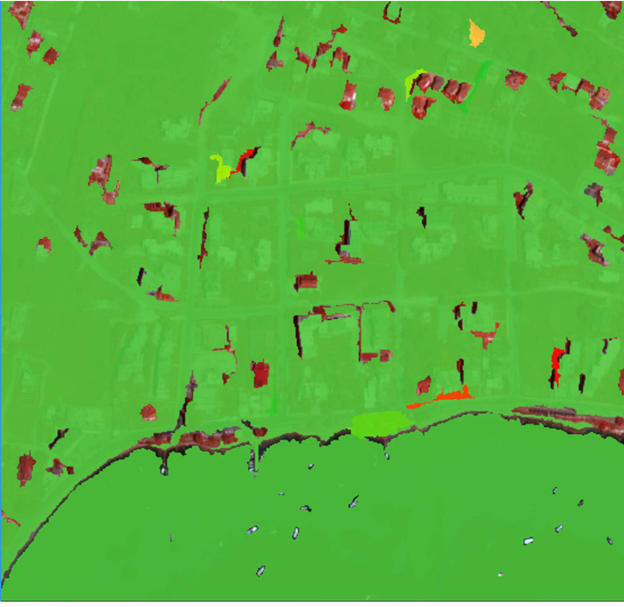
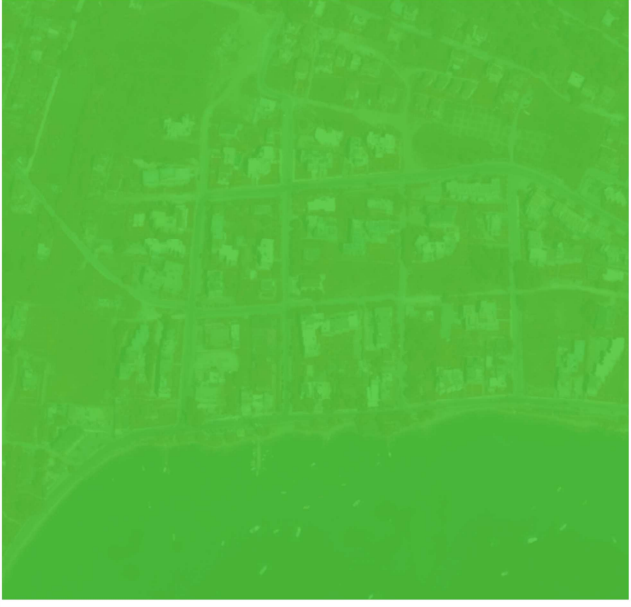
Στο επίπεδο 3, παρατηρείται οπτικά αλλά και από τους βαθμούς συμμετοχής επίσης πολύ υψηλή ευστάθεια. Η βλάστηση έχει τον μικρότερο βαθμό συμμετοχής με 0,961 ενώ το νερό τον μεγαλύτερο με 1. Κατά την παρατήρηση των αποτελεσμάτων του επιπέδου 4, το σύνολο των κατηγοριών εμφανίζουν μεγάλη σταθερότητα με μικρότερη αυτή του εδάφους που παρουσιάζει βαθμό συμμετοχής 0,93.

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, οι ελάχιστοι βαθμοί συμμετοχής, στην πλειοψηφία τους είναι αρκετά χαμηλοί, γεγονός που σημαίνει ότι ναι μεν τα αντικείμενα πληρούσαν σε μεγάλο βαθμό τα κριτήρια ταξινόμησης στην τελική τους κατηγορία, αλλά ταυτόχρονα κάποια αντικείμενα εξ' αυτών διεκδικούνταν σε μεγάλο βαθμό από άλλες κατηγορίες. Σε αντιπαράβολή με την οπτική επισκόπηση όμως, τα αντικείμενα αυτά είναι πολύ λίγα.

Το επίπεδο 6, παρουσιάζει απόλυτη ευστάθεια, το οποίο συνοδεύεται επίσης από ελάχιστους βαθμούς συμμετοχής που τείνουν στην μονάδα.

# Κεφάλαιο 4 | Αξιολόγηση

Πίνακας 4-7: Αποτελέσματα αξιολόγησης ΠΜ3 επιπέδων 1, 3, 4, 6 βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης

Level 1 - Classification Stability						Level 3 - Classification Stability					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
IMPERVIOUS LIKE L1	102211	0.9892970	0.08060176076	0	1	VEGETATION L3	597	0.9858548	0.08926027461	0.01873767376	1
VEGETATION L1	85764	0.9875392	0.08645289823	0.004555314779	1	ROADS L3	273	0.9614720	0.165	0	1
WATER L1	11472	0.9988890	0.02376010527	0.1067797	1	WATER L3	193	1	0.001178521053	0.9835849	1
Level 4 - Classification Stability						Level 6 - Classification Stability					
											
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum	Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
VEGETATION L4	402	0.9875170	0.08103594354	0.1483784	1	40-60 IMPERVIOUS	10	1	0	1	1
L4	390	0.9852264	0.1051716	0	1	0-20 IMPERVIOUS	9	1	0	1	1
ROADS L4	200	0.986	0.104	0	1	20-40 IMPERVIOUS	7	1	0	1	1
BUILDINGS L4	190	0.9844050	0.1064497	0	1	80-100 IMPERVIOUS	4	0.9935648	0.01114617178	0.9742590	1
WATER L4	105	1	0	1	1	WATER L6	2	1	0	1	1
SOIL L4	29	0.9301766	0.1626920	0.3368984	1	60-80 IMPERVIOUS	1	1	0	1	1

### 4.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ (ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΧΥΣΗΣ)

Οι πίνακες σφαλμάτων συγκρίνουν τη σχέση μεταξύ γνωστών επίγειων δεδομένων αναφοράς (αληθών δεδομένων) και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων μιας αυτόματης διαδικασίας ταξινόμησης, κατηγορία προς κατηγορία. Οι πίνακες αυτοί είναι τετραγωνικοί, με αριθμό γραμμών και στηλών ίσο με τον αριθμό των προς εκτίμηση της ακρίβειας κατηγοριών. Ένας πίνακας σύγχυσης προκύπτει επιλέγοντας ένα υποσύνολο εικονοστοιχείων ή πολυγώνων, που συχνά ονομάζονται περιοχές ελέγχου. Μπορεί να ληφθεί επίσης υπόψη η σχετική σημασία της κάθε κατηγορίας και να προσαρμοστεί αναλόγως ο αριθμός του δειγμάτων που θα κριθεί επαρκής για κάθε κατηγορία. Για την όσο το δυνατόν περισσότερο αξιόπιστη εξαγωγή συμπερασμάτων απαιτείται λήψη επαρκών δειγμάτων με τη βοήθεια φωτοερμηνείας τα οποία καλύπτουν όλες τις τυχόν φασματικές διαφοροποιήσεις που συναντώνται σε κάθε θεματική κατηγορία. Μετά από την επιλογή των περιοχών ελέγχου (Test Training Areas) δημιουργείται η αντίστοιχη μάσκα (TTA Mask) και κατόπιν εξάγεται ο πίνακας που βασίζεται σε αυτήν (Error Matrix based on TTA mask) Ο πίνακας αυτός αναφέρεται σε εικονοστοιχεία όχι αντικείμενα.

Στην κύρια διαγώνιο του τετραγωνικού πίνακα σύγχυσης βρίσκονται τα τμήματα που επελέγησαν για περιοχές ελέγχου και ταξινομήθηκαν ορθά στις κατάλληλες κατηγορίες εδαφοκάλυψης. Τα υπόλοιπα στοιχεία εκτός της διαγωνίου αποτελούν σφάλματα παράλειψης ή συμπερίληψης της ταξινόμησης. Τα μη διαγώνια στοιχεία των στηλών του πίνακα αντιπροσωπεύουν τα σφάλματα παράλειψης (αποκλεισμού) ενώ τα μη διαγώνια στοιχεία των σειρών αποτελούν τα σφάλματα συμπερίληψης. Πιο συγκεκριμένα, τα σφάλματα αποκλεισμού αφορούν τις ακρίβειες του παραγωγού (Producer) οι οποίες είναι ενδεικτικές του πόσο καλά ταξινομούνται τα τμήματα του δείγματος ελέγχου της δεδομένης κατηγορίας κάλυψης γης. Έτσι οι ακρίβειες μεμονωμένων κατηγοριών μπορούν να υπολογιστούν, διαιρώντας τον συνολικό αριθμό των ορθά ταξινομημένων τμημάτων κάθε κατηγορίας (πάνω στη κύρια διαγώνιο), με το συνολικό αριθμό των τμημάτων κάθε στήλης (αριθμός των τμημάτων που επιλέχθηκαν ως δείγμα για έλεγχο, της συγκεκριμένης κατηγορίας). Τα σφάλματα συμπερίληψης, αφορούν τις ακρίβειες ταξινόμησης του χρήστη, που προκύπτει από την διαίρεση του πλήθους των ορθά ταξινομημένων τμημάτων κάθε κατηγορίας (πάνω στη κύρια διαγώνιο), με τον συνολικό αριθμό των τμημάτων που ταξινομήθηκαν στην κατηγορία αυτή (σύνολο της γραμμής).

### 4.3.1 Περιοχή Μελέτης 1

Η αξιολόγηση και η επιλογή των δειγμάτων πραγματοποιείται για το επίπεδο *Level 2* και οι θεματικές κατηγορίες είναι: *Vegetation*, *Rooftops* και *Roads*. Επιλέγησαν αρκετές περιοχές ελέγχου για όλες τις κατηγορίες σε όλο το εύρος της εικόνας. Δημιουργήθηκε η μάσκα ΤΤΑ (εικόνα 4-1) και κατόπιν ο πίνακας σύγχυσης (πίνακας 4-3). Παρατηρώντας τον πίνακα σύγχυσης διαπιστώνεται μια πολύ ικανοποιητική συνολική ακρίβεια (*Overall Accuracy*) που αντιστοιχεί σε 0.923. Οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη είναι εξίσου ικανοποιητικές. Ο δείκτης ΚΙΑ (*Kappa index of agreement*), (Rosenfield and Fitzpatrick-Lins 1986, Congalton 1991, Silva 1999) αντιστοιχεί σε 0.894 και υπολογίζεται από τον τύπο:

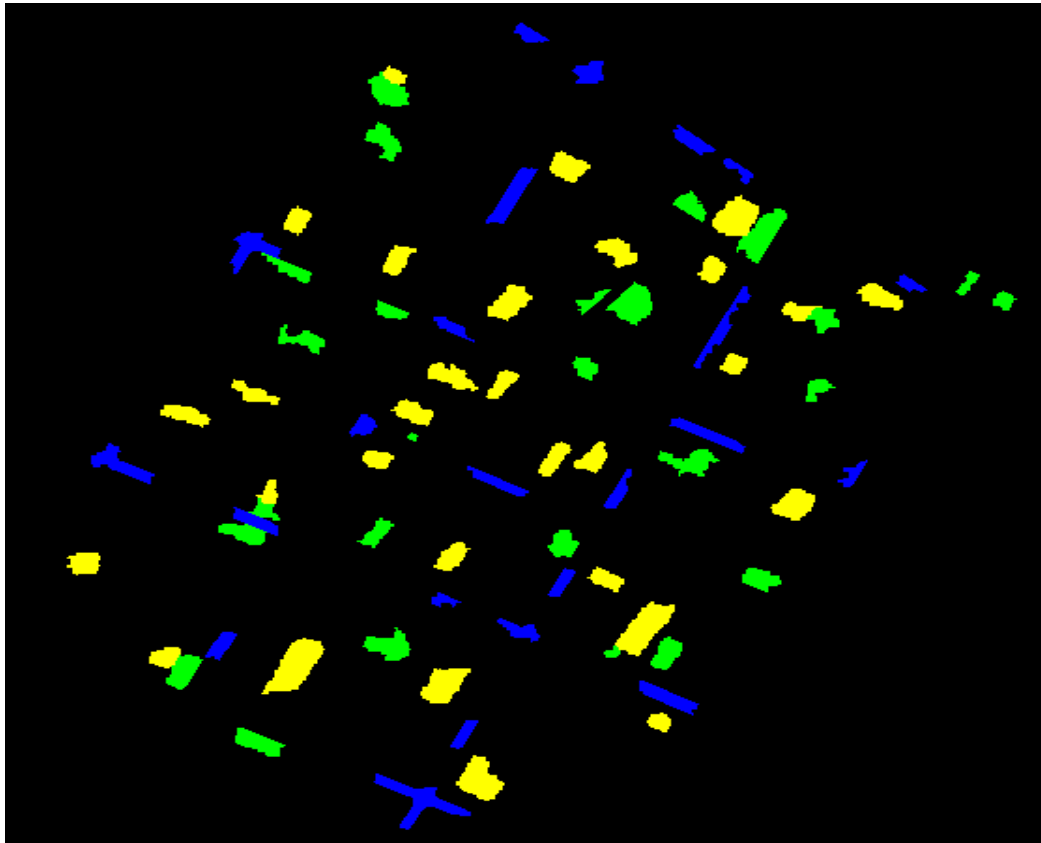
$$KIA = \frac{P(A) - P(E)}{1 - P(E)}$$

Όσον αφορά τα σφάλματα παράλειψης (αποκλεισμού) διαπιστώνονται τα εξής:

- Στην κατηγορία *Roads*, από το σύνολο των 4544 pixels της εικόνας, ταξινομήθηκαν σωστά τα 4432 ενώ τα υπόλοιπα 112 παρέμειναν αταξινόμητα.
- Στην κατηγορία *Rooftops* από τα 7469 συνολικά pixels τα 6885 ταξινομήθηκαν σωστά ενώ τα υπόλοιπα 584 παρέμειναν αταξινόμητα.
- Από 5207 pixels της κατηγορίας *Vegetation*, ταξινομήθηκαν σωστά τα 4692 ενώ 515 απορροφήθηκαν από την κατηγορία *Rooftops*.

Αναφορικά με τα σφάλματα συμπερίληψης:

- 515 pixels της κατηγορίας *Vegetation* συμπεριλήφθηκαν στην κατηγορία *Rooftops L2*.



*Εικόνα 4-1: TTA mask Περιοχής Μελέτης 1*

*Πίνακας 4-8: Πίνακας σύγκρισης Περιοχής Μελέτης 1*

User \ Reference Class	Roads L2	Rooftops L2	Vegetation L2	Sum
<b>Confusion Matrix</b>				
Roads L2	4432	0	0	4432
Rooftops L2	0	6885	515	7400
Vegetation L2	0	0	4692	4692
unclassified	112	446	0	558
Sum	4544	7331	5207	
<b>Accuracy</b>				
Producer	0.9753521	0.9391625	0.901	
User	1	0.9304054	1	
Hellden	0.9875223	0.9347634	0.948	
Short	0.9753521	0.8775172	0.901	
KIA Per Class	0.9667166	0.8926640	0.8636400	
<b>Totals</b>				
<b>Overall Accuracy</b>	<b>0.9371853</b>			
<b>KIA</b>	<b>0.905</b>			



### 4.3.2 Περιοχή Μελέτης 2

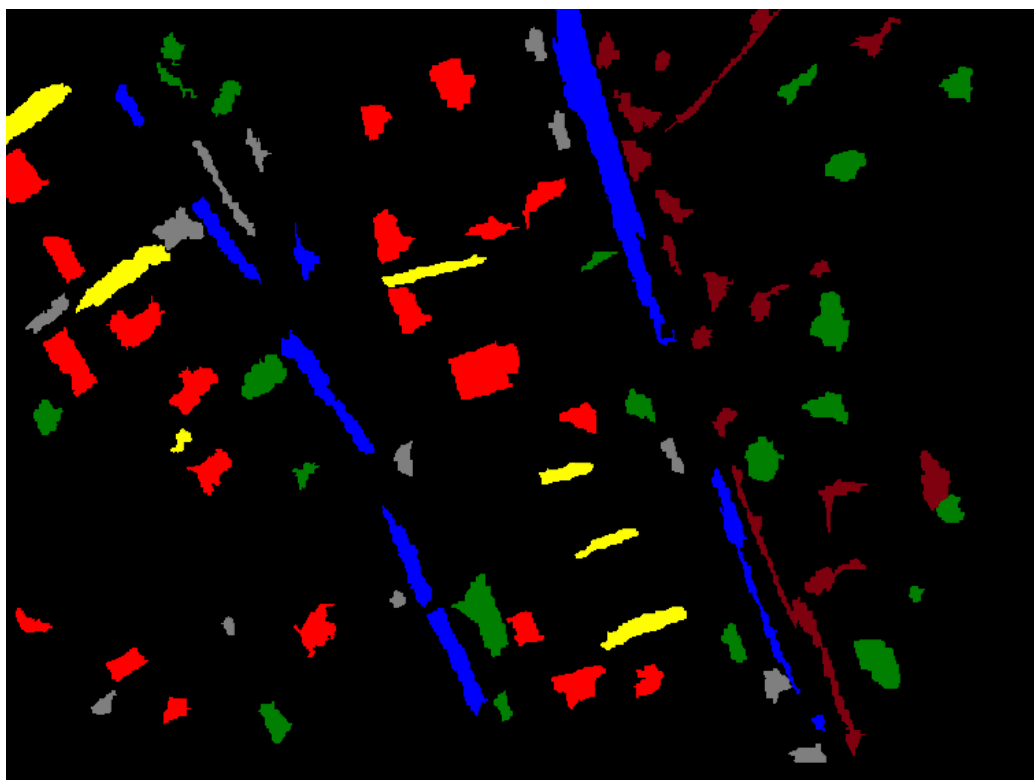
Η αξιολόγηση και επιλογή περιοχών ελέγχου πραγματοποιείται στο επίπεδο της τελικής ταξινόμησης, το επίπεδο 3. Όπως και στην προηγούμενη περιοχή, χρησιμοποιήθηκαν αρκετές περιοχές ελέγχου για κάθε κατηγορία σε όλο το εύρος της εικόνας. Οι κατηγορίες που περιλαμβάνει το επίπεδο 3 είναι: *Vegetation*, *Roads*, *Rooftops*, *Soil*, *Shaded Impervious*, *Rest Impervious*. Δημιουργήθηκε η μάσκα TTA (εικόνα 4-2) βάσει των περιοχών ελέγχου, και στην συνέχεια ο πίνακας σύγχυσης (πίνακας 4-7). Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε πολύ υψηλή συνολική ακρίβεια (0.916) με αντίστοιχα υψηλό δείκτη ΚΙΑ. Οι ακρίβειες χρήστη είναι σε υψηλά επίπεδα για το σύνολο των κατηγοριών, ενώ παρόμοια κατάσταση εντοπίστηκε στις ακρίβειες παραγωγού με εξαίρεση την χαμηλότερη ακρίβεια της κατηγορίας *Rest Impervious L3*.

Παρατηρήσεις για τα σφάλματα αποκλεισμού:

- Στην κατηγορία *Vegetation L3*, από τα 9846 pixels της εικόνας, ταξινομήθηκαν σωστά τα 8633, ενώ 1056 ταξινομήθηκαν ως *Soil L3* και 154 ως *Rest Impervious L3*.
- Στην κατηγορία *Shaded Impervious L3*, από τα 4819 pixels ταξινομήθηκαν σωστά τα 4666 και 154 απορροφήθηκαν από την κατηγορία *Rest Impervious L3*.
- Από τα 3965 pixels της κατηγορία *Rest Impervious L3*, τα 2619 ταξινομήθηκαν σωστά, 282 ταξινομήθηκαν ως *Roads L3* και 1064 ως *Rooftops L3*.
- Όλα τα pixels των κατηγοριών *Roads L3* και *Rooftops L3* ταξινομήθηκαν σωστά.

Όσον αφορά τα σφάλματα συμπερίληψης:

- 1462 pixels της κατηγορία *Soil L3*, ταξινομήθηκαν στην κατηγορία *Vegetation L3*.
- 1064 pixels της κατηγορίας *Rest Impervious L3*, ταξινομήθηκαν λανθασμένα στην κατηγορία *Rooftops L3*.
- 154 pixels της κατηγορίας *Vegetation L3* και 153 της κατηγορίας *Shaded Impervious L3* ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως *Rest Impervious L3*.



**Εικόνα 4-2: TTA mask Περιοχής Μελέτης 2**

**Πίνακας 4-9: Πίνακας σύγκρισης Περιοχής Μελέτης 2**

User \ Reference Class	ROADS L3	VEGETATION L3	ROOFTOPS L3	SHADED IMPERVIOUS L3	REST IMPERVIOUS L3	SOIL L3	Sum
<b>Confusion Matrix</b>							
ROADS L3	11264	0	0	0	282	0	11546
VEGETATION L3	0	8636	0	0	0	1462	10098
ROOFTOPS L3	0	0	12800	0	1064	0	13864
SHADED IMPERVIOUS L3	0	0	0	4666	0	0	4666
REST IMPERVIOUS L3	0	154	0	153	2619	0	2926
SOIL L3	0	1056	0	0	0	5794	6850
unclassified	0	0	0	0	0	0	0
Sum	11264	9846	12800	4819	3965	7256	
<b>Accuracy</b>							
Producer	1	0.8771075	1	0.9682507	0.6605296	0.7985116	
User	0.9755760	0.8552189	0.9232545	1	0.895	0.8458394	
HeIden	0.9876370	0.866	0.96	0.9838693	0.7601219	0.8214944	
Short	0.9755760	0.7637071	0.9232545	0.9682507	0.613	0.697	
KIA Per Class	1	0.846	1	0.965	0.6394066	0.7664885	
<b>Totals</b>							
<b>Overall Accuracy</b>	<b>0.9164965</b>						
<b>KIA</b>	<b>0.896</b>						

### 4.3.3 Περιοχή Μελέτης 3

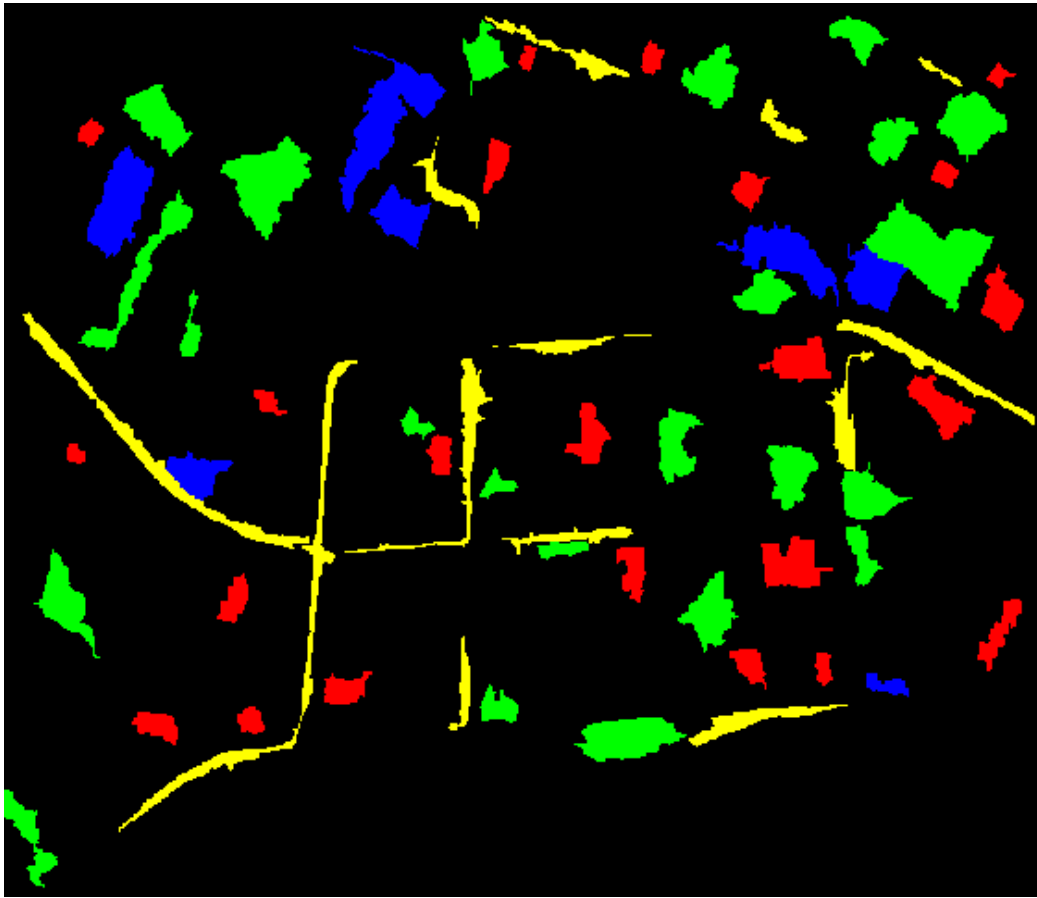
Το επίπεδο 4, αποτελεί το πλέον αντιπροσωπευτικό επίπεδο προς αξιολόγηση βάσει του πίνακα σύγχυσης, καθώς περιέχει το σύνολο των κατηγοριών, όπως αυτές έχουν ταξινομηθεί στο συγκεκριμένο, ή μεταφερθεί από ενδιάμεσα επίπεδα. Οι κατηγορίες που περιλαμβάνει είναι οι: *Vegetation L4*, *Roads L4*, *Buildings L4*, *Soil L4*. Μετά την επιλογή των περιοχών ελέγχου από τις οποίες προέκυψε η αντίστοιχη TTA mask (εικόνα 4-3), δημιουργήθηκε ο πίνακας σύγχυσης (πίνακας 4-10). Με μια πρώτη ματιά, η συνολική ακρίβεια είναι πολύ υψηλή (0,925) καθώς και ο δείκτης KIA (0,896). Οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη κυμαίνονται επίσης σε ικανοποιητικά επίπεδα. Η κατηγορία *Soil L4* διαθέτει την μικρότερη ακρίβεια παραγωγού, που μας προϊδεάζει για σφάλματα αποκλεισμού στην κατηγορία αυτή, ενώ η κατηγορία *Buildings L4* την μικρότερη ακρίβεια χρήστη, που σημαίνει πιθανότατα αυξημένα σφάλματα συμπερίληψης.

Σχόλια για τα σφάλματα αποκλεισμού:

- Από 26272 pixels της κατηγορίας *Roads L4*, ταξινομήθηκαν σωστά τα 25961 ενώ 311 απορροφήθηκαν από την κατηγορία *Buildings L4*.
- Στην κατηγορία *Buildings L4*, από τα 24888 pixels της εικόνας, ταξινομήθηκαν σωστά τα 20932 και 3967 παρέμειναν αταξινομήτα.
- Από 23303 pixels της κατηγορίας *Soil L4*, ταξινομήθηκαν σωστά τα 17958 ενώ 5345 απορροφήθηκαν από την κατηγορία *Buildings L4*.
- Το σύνολο των pixel της κατηγορίας *Vegetation L4* ταξινομήθηκε σωστά.

Αναφορικά με τα σφάλματα συμπερίληψης:

- 5345 pixels της κατηγορία *Soil L4* και 311 pixels της κατηγορίας *Roads L4* ταξινομήθηκαν λανθασμένα στην κατηγορία *Buildings L4*.
- Στις υπόλοιπες κατηγορίες, δεν παρατηρήθηκε το φαινόμενο λανθασμένης συμπερίληψης από κάποια άλλη.



*Εικόνα 4-3: TTA mask Περιοχής Μελέτης 3*

*Πίνακας 4-10: Πίνακας σύγχυσης Περιοχής Μελέτης 3*

User \ Reference Class	ROADS L4	BUILDINGS L4	VEGETATION L4	SOIL L4	Sum
<b>Confusion Matrix</b>					
ROADS L4	25961	0	0	0	25961
BUILDINGS L4	311	20932	0	5345	26588
VEGETATION L4	0	0	54310	0	54310
SOIL L4	0	0	0	17958	17958
unclassified	0	3956	0	0	3956
Sum	26272	24888	54310	23303	
<b>Accuracy</b>					
Producer	0.9881623	0.841	1	0.7706304	
User	1	0.7872725	1	1	
Hellden	0.994	0.8132722	1	0.8704588	
Short	0.9881623	0.6853064	1	0.7706304	
KIA Per Class	0.9851732	0.7996894	1	0.7334602	
<b>Totals</b>					
<b>Overall Accuracy</b>	<b>0.9253570</b>				
<b>KIA</b>	<b>0.8957290</b>				

### 4.4 Συνολική αποτίμηση ακρίβειας

Ακολουθεί μια συγκριτική παράθεση των αποτελεσμάτων τα οποία εξήχθησαν από την τρίτη μέθοδο αξιολόγησης που περιγράφηκε παραπάνω, δηλαδή της αξιολόγησης βάσει δειγμάτων ελέγχου-πίνακα σύγχυσης. Η μέθοδος αυτή κρίθηκε περισσότερο αντιπροσωπευτική και πληρέστερη εφόσον τηρηθούν οι προδιαγραφές εφαρμογής της.

Αν υποθέσουμε πως τα επιμέρους στάδια της ανάλυσης εικόνας στο λογισμικό για την εξαγωγή του αποτελέσματος πραγματοποιήθηκαν με την ίδια ευστοχία, λεπτομέρεια και αποτελεσματικότητα στις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις, συμπεραίνουμε πώς ο συνδυασμός δεδομένων στην ΠΜ1 ήταν ικανός να δώσει τα καλύτερα αποτελέσματα. Υπενθυμίζεται πως στην περιοχή μελέτης 1 εκτός από τα ψηφιακά δεδομένα τεσσάρων καναλιών του δορυφόρου IKONOS, υπήρχαν διαθέσιμα κτηματολογικά διανυσματικά δεδομένα με πληροφορία για τα οικοδομικά τετράγωνα, καθώς και υψομετρικά δεδομένα LIDAR πρώτου παλμού.

Ωστόσο, οι ακρίβειες και στις 3 περιπτώσεις ήταν παρόμοιες, συγκεκριμένα οι συνολικές ακρίβειες υπολογίστηκαν σε 0.937, 0.916, 0.925 και οι δείκτες κ 0.905, 0.896 και 0.895 για τις ΠΜ1, ΠΜ2 και ΠΜ3 αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει την ευελιξία του λογισμικού να αποδώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα με διαφορετικά δεδομένα μετά από τη δημιουργία κατάλληλης βάσης γνώσης.

	ΠΜ1	ΠΜ2	ΠΜ3
<b>Overall Accuracy</b>	<b>0.937</b>	0.916	0.925
<b>K index</b>	<b>0.905</b>	0.896	0.895
<b>Διαθέσιμα δεδομένα</b>	IKONOS data 4ch LIDAR data Cadastral data	Aerial photo 3ch	WorldView2 data 8ch

*Εικόνα 4-4: συγκριτική αποτίμηση ακρίβειας ταξινομήσεων των περιοχών μελέτης*

# 5. Συμπεράσματα

## 5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκαν μέθοδοι για την αυτόματη αναγνώριση των αδιαπέραστων επιφανειών και έγινε προσπάθεια για τη δημιουργία βάσης γνώσης με όσο το δυνατότερο ευρεία εφαρμογή. Χρησιμοποιήθηκαν διαφόρων τύπων δεδομένα και πολυφασματικές εικόνες διαφορετικών περιοχών. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται ως εξής:

- Γενική αρχή της εν λόγω εργασίας ήταν η προσπάθεια γενικού ορισμού της περιγραφής της κατηγορίας των αδιαπέραστων επιφανειών, βασισμένης στα κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα και τις κατηγορίες από τις οποίες συντίθεται, ώστε με την εφαρμογή της να εναρμονίζεται με οποιαδήποτε δεδομένα ίδιας ακρίβειας από αστικές περιοχές με λίγες μόνο τροποποιήσεις στα όρια των πεδίων τιμών των ιδιοτήτων, και να παρέχει αξιόλογης ακρίβειας αναγνώριση και ταξινόμησή τους. Δημιουργείται έτσι μια βάση δεδομένων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλα δεδομένα παρομοίου περιβάλλοντος και κλίμακας σχεδόν αυτούσια ή με ορισμένες μετατροπές για καλύτερη προσαρμογή των πεδίων τιμών των ιδιοτήτων στα δεδομένα. Η σαφήνεια περιγραφής της εκάστοτε κατηγορίας και η αποφυγή ορισμού αλληλεπικαλυπτόμενων πεδίων τιμών ιδιοτήτων με άλλες κατηγορίες, εξασφαλίζει την μεγαλύτερη αξιοπιστία της ταξινόμησης. Υπογραμμίζεται ότι ο υπερβολικός περιορισμός των πεδίων ορισμών, αντίκειται στην ασαφή λογική της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης και οδηγεί στη δημιουργία υποκειμενικής βάσης δεδομένων ανεφάρμοστης σε ευρύτερα πλαίσια δεδομένων.
- Βασικό συμπέρασμα αποτελεί το ότι η αντικειμενοστραφής ανάλυση υπερτερεί έναντι της ανάλυσης βάσει μεμονωμένων εικονοστοιχείων, καθώς το στοιχείο αναφοράς είναι ένα αντικείμενο που διαθέτει σχηματικά και φασματικά χαρακτηριστικά, τα οποία προσφέρονται για τη δόμηση κανόνων περιγραφής κατηγοριών στις οποίες ενδέχεται να ταξινομηθεί, μέσω διατιθέμενων φασματικών, σχηματικών και νέων σχετικιστικών ιδιοτήτων, κατασκευασθέντων ανάλογα με το ζητούμενο, και βάσει των σχέσεων μεταξύ αντικειμένων του ιδίου, ανωτέρου ή κατωτέρου επιπέδου ανάλυσης (Manson et al, 2002)

- Η αντικειμενοστραφής ανάλυση των εικόνων, παρά την αδιαμφισβήτητη χρησιμότητά της, εμπεριέχει πλείστες πολύπλοκες εξαρτήσεις. Για τη μείωση της πολυπλοκότητας, μέσα από μία σειρά δοκιμών επιχειρήθηκε εν τέλει η απλούστερη δυνατή δόμηση ιεραρχιών και κατηγοριών, το ελάχιστο πλήθος επιπέδων κατάτμησης και τεμαχίων, κατηγοριών και ιδιοτήτων, που θα λειτουργούσε ώστε να ταξινομηθούν ορθότερα τα ζητούμενα αντικείμενα. Αναπόσπαστο κομμάτι της αντικειμενοστραφούς μεθοδολογίας αποτελεί η κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης, διαδικασία που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε να οδηγήσει στην παραγωγή αντικειμένων κατάλληλων για την εξαγωγή του ζητούμενου κατά περίπτωση, τα οποία θα περιέχουν εκτός της φασματικής και νοηματική πληροφορία. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό πραγματοποιήθηκε μία σειρά αλληπάλληλων δοκιμών ως προς τους συνδυασμούς μεταξύ των παραμέτρων κατάτμησης.
- Οι χωρικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων, πλεονέκτημα της μεθόδου της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης, αποτελούν απαραίτητη παράμετρο της συνολικής διαδικασίας ταξινόμησης την οποία και βελτιώνουν σημαντικά.
- Η ευελιξία που προσφέρει το λογισμικό eCognition στο να διαχειριστεί ταυτόχρονα πολλούς τύπους δεδομένων συμμετεχόντων στην διαδικασία ανάλυσης εικόνας. Διευκολύνονται σημαντικά οι διαδικασίες της κατάτμησης και ταξινόμησης και μέσω πειραματισμών προκύπτουν οι βέλτιστοι παράμετροι για την επεξεργασία των δεδομένων. Στις ταξινομήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας, παράλληλα με την πολυφασματική δορυφορική εικόνα ήταν εφικτή η χρησιμοποίηση τόσο κτηματολογικών όσο και υψομετρικών δεδομένων όπου αυτά ήταν διαθέσιμα, με σκοπό αφού εξεταστεί η χρησιμότητά τους στην ανάλυση να συμβάλουν στην λεπτομερέστερη επεξεργασία και εξαγωγή συμπερασμάτων.
- Σημαντικό ρόλο στην ανίχνευση και στην εξαγωγή των αδιαπέραστων επιφανειών συντελεί η χωρική διακριτική ικανότητα των απεικονίσεων με αποτέλεσμα όταν αυτή είναι υψηλή (όπως στην προκειμένη περίπτωση) το αποτέλεσμα της ταξινόμησης να είναι αρκετά ικανοποιητικό.
- Η βέλτιστη κατάτμηση για την ταξινόμηση κάποιας θεματικής κατηγορίας δε θα είναι αντιπροσωπευτική για κάποια άλλη, για αυτό και σε όλες τις προσεγγίσεις δημιουργήθηκαν πολλαπλά επίπεδα κατάτμησης που εξυπηρετούσαν την εκάστοτε στρατηγική για την επίτευξη του τελικού στόχου.
- Ακόμη και με την απουσία του πολύ σημαντικού υπέρυθρου καναλιού και των πρόσθετων υψομετρικών ή κτηματολογικών δεδομένων, στην Περιοχή

Μελέτης 2, το αποτέλεσμα όσον αφορά την διάκριση των αδιαπέραστων επιφανειών ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητικό.

- Συγκρίνοντας μεταξύ τους τις ακρίβειες των ταξινομήσεων και για τις τρεις περιοχές όπως προέκυψαν από τους πίνακες σύγχυσης, διαπιστώνεται η πολύ κοντινή συνολική ακρίβεια και στις τρεις περιπτώσεις, παρόλο που τα αρχικά δεδομένα ήταν αρκετά διαφορετικά. Στην πρώτη περίπτωση υπήρχε μια εικόνα IKONOS, υψομετρικά και κτηματολογικά δεδομένα, στην δεύτερη εικόνα προϊόν αεροφωτογράφισης, και στην τρίτη μια εικόνα WorldView2. Παρ' όλα αυτά, οι συνολικές ακρίβειες είναι για τις περιοχές μελέτης 1, 2 και 3, είναι 0,927, 0,916 και 0,926 αντίστοιχα.

### 5.2 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

- Το σύνολο κανόνων που χρησιμοποιήθηκε για τις κατατμήσεις και ταξινομήσεις των περιοχών μελέτης (και ιδιαίτερα της Περιοχής Μελέτης 2 που χρησιμοποιήθηκαν εικόνες του κτηματολογίου), μπορεί να εξαχθεί και να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε σετ δεδομένων που διαθέτει παρόμοια χαρακτηριστικά και να οδηγήσει σε μια ταξινόμηση ικανοποιητικής ακρίβειας. Η εφαρμογή καθίσταται έτσι ιδιαίτερα χρήσιμη για οποιοδήποτε χρήστη προγράμματος δορυφορικής επισκόπησης (πχ. Google Earth), δημιουργώντας έτσι επιπλέον θεματικά επίπεδα αδιαπέραστων επιφανειών στην περιοχή επιλογής του. Η δυνατότητα αυτή θα μπορούσε να αναδείξει την Τηλεπισκόπηση ως εργαλείο και για καθημερινούς εκτός από χρηστικό εργαλείο για ερευνητικούς σκοπούς.
- Η χρήση υπερφασματικών δεδομένων υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας θα μπορούσε να δώσει ακόμη καλύτερα αποτελέσματα στην ταξινόμηση των αδιαπέραστων επιφανειών. Ο σκοπός των υπερφασματικών τηλεπισκοπικών σαρωτών είναι να επιτρέψουν τη διάκριση μεταξύ των διάφορων καταγεγραμμένων χαρακτηριστικών, τα οποία παρουσιάζουν διαγνωστικά αναγνωριστικά στοιχεία απορρόφησης και ανάκλασης σε πολύ στενά εύρη μήκους κύματος, γεγονός που καθιστά αδύνατο τον διαχωρισμό τους στα σχετικά μεγάλα εύρη μηκών κύματος των φασματικών καναλιών των πολυφασματικών σαρωτών. Ενώ ένα ευρείας ζώνης σύστημα μπορεί να διαχωρίσει μόνο τις γενικές διαφορές μεταξύ των τύπων των υλικών, ένας υπερφασματικός σαρωτής επιτυγχάνει λεπτομερή αναγνώριση των υλικών και ποσοτικοποίηση της ποικιλίας τους. (Αργιαλάς, 2000) Η προοπτική αυτή θα ήταν αρκετά χρήσιμη και στην επεξεργασία της των Περιοχών Μελέτης 2



και 3. Κατά την επεξεργασία των εικόνων παρατηρήθηκε το φαινόμενο λόγω της ιδιαίτερα μεγάλης χωρικής και φασματικής ανάλυσης να υπάρχει σχετικά μεγάλο εύρος φασματικής πληροφορίας ακόμη και στην ίδια θεματική κατηγορία (π.χ δρόμοι, κτήρια ), το οποίο βεβαίως δυσχέραινε το έργο της ταξινόμησης.

- Η ακριβής και γρήγορη ταξινόμηση των αδιαπέραστων επιφανειών θα μπορούσε να βοηθήσει στην διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης όπως πλημμύρες, σεισμοί, φωτιές, καταιγίδες, τσουνάμι, παρέχοντας άμεσες προβλέψεις και επικαιροποιημένους χάρτες για την αντιμετώπιση των καταστάσεων αυτών.

# Βιβλιογραφία

## Βιβλία:

- Αργιαλάς Δ. (2000), "Φωτοερμηνεία- Τηλεπισκόπηση", Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Αργιαλάς Δ. (1998), "Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση", Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Argialas, D., and Harlow C., 1990. : Computational Image Interpretation Models: An Overview and a Perspective. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing
- Goetz, S.J., Wright, R.K., Smith, A.J., Zinecker, E., & Schaub, E. 2003. IKONOS imagery for resource management: Tree cover, impervious surfaces, and riparian buffer analyses in the mid-Atlantic region

## Διπλωματικές εργασίες:

- Αγαθαγγέλου Μ., 2008. Σύγκριση Παραδοσιακών Και Αντικειμενοστραφών Τεχνικών Τηλεπισκόπησης, Κάλυψης Χρήσης Γης από Τηλεπισκοπικά Δεδομένα QUICKBIRD Στην Επαρχία Πάφου. ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Αθήνα, 2008.
- Σαμοΐλη Σ., 2008. Αυτόματη Αναγνώριση Οχημάτων Από Πολυφασματικά & Υψομετρικά Δεδομένα LiDAR με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση. ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Αθήνα, Ιούλιος 2008.
- Δερζέκος Π., 2002. Μελέτη του αστικού πράσινου με αντικειμενοστραφή ανάλυση δεδομένων Ikonos". ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Αθήνα, 2002.
- Δήμητρα Γ. Σκανδάλη, 2010. Ανάπτυξη βάσης γνώσης σε περιβάλλον αντικειμενοστραφούς ανάλυσης ψηφιακών τηλεπισκοπικών δεδομένων με σκοπό την αυτόματης οριοθέτησης της παράκτιας ζώνης αιγιαλού.
- Πατεράκης Π., 2010. Ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου με αντικειμενοστραφή ανάλυση πολυφασματικών δεδομένων Quickbird. . Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης.

- Σταματάκης Ε.Ιωάννης, 2009. Ανίχνευση και Εξαγωγή του Οδικού Δικτύου με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση Υπερφασματικών Δεδομένων Αερομεταφερόμενου Σαρωτή. ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Αθήνα Μάρτιος 2009

#### **Διδακτορικές Διατριβές:**

Κολοκούσης Θ. Π. (2008), “Ανάπτυξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Υπερφασματικών και Θερμικών Ψηφιακών Τηλεπισκοπικών Δεκτών για την Ανίχνευση Παρακτίων και Υποθαλασσίων Πηγών Νερού”, Διδακτορική Διατριβή, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2008.

#### **Επιστημονικά άρθρα- Δημοσιεύσεις:**

- Δερζέκος Π. και Αργιαλάς Δ., 2002. Διερεύνηση της Χρήσης Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης Δεδομένων IKONOS για τη Μελέτη του Αστικού Πράσινου. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΕΜΠ Αθήνα, 28 Φεβρουαρίου και 1 Μαρτίου 2002.
- Αργιαλάς Δ. και Τζώτσος Α., 2007. Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνας στην Τηλεπισκόπηση. Θεωρία και Εφαρμογές. ΕΜΠ, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Αθήνα, 22 και 23 Φεβρουαρίου 2007.

#### **Ξένη βιβλιογραφία:**

- Antonio Wolf, 2010. Using WorldView 2 Vis-NIR MSI Imagery to Support Land Mapping and Feature Extraction Using Normalized Difference Index Ratios. Ball Aerospace & Technologies Corp, Ohio, 2010.
- Kaya, S. 2007. Multitemporal analysis of rapid urban growth in Istanbul using remotely sensed data. Environmental Engineering Science.
- Aplin, P. 2006. On scales and dynamics in observing the environment. International Journal of Remote Sensing.

- Chormanski, J., Van de Voorde, T., De Roeck, T., Batelaan, O., & Canters, F. 2008. Improving distributed runoff prediction in urbanized catchments with remote sensing based estimates of impervious surface cover.
- Passerat, J., Ouattara, N.K., Mouchel, J.M., Rocher, V., & Servais, P. 2011. Impact of an intense combined sewer overflow event on the microbiological water quality of the Seine River. *Water Research*.
- Zhou, G. 2006. Detecting the socioeconomic conditions of urban neighborhoods through wavelet analysis of remotely sensed imagery. Ph.D. dissertation, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, United States.
- Small, C. 2002. Multitemporal analysis of urban reflectance. *Remote Sensing of Environment*.
- Chadwick, M.A., Dobberfuhl, D.R., Benke, A.C., Hurn, A.D., Suberkropp, K., & Thiele, J.E. 2006. Urbanization affects stream ecosystem function by altering hydrology, chemistry, and biotic richness.
- Yu, X.J., & Ng, C.N. 2007. Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban-rural transects: A case study of Guangzhou, China. *Landscape and Urban Planning*.
- Jensen, J.R. 2004. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 3rd edn. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.
- Onda, Y., Gomi, T., Mizugaki, S., Nonoda, T., & Sidle, R.C. 2010. An overview of the field and modelling studies on the effects of forest devastation on flooding and environmental issues.
- Weng, Q., Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends, *Remote Sensing of Environment*(2011), doi:10.1016/j.rse.2011.02.030
- Amit Kulkarni, 2012, An object based image analysis approach for detecting urban impervious surfaces, The Department of Geography and Anthropology, B.E., University of Pune, 1997
- Small, C. 2002. Multitemporal analysis of urban reflectance. *Remote Sensing of Environment*
- Slonecker, T.E., & Tilley, J.S. 2004. An evaluation of the individual components and accuracies associated with the determination of impervious area. *GIScience and Remote Sensing*

- Todd Updike, Chris Comp, 2010, Radiometric Use of WorldView-2 Imagery, 2010, DigitalGlobe® Inc.
- Erickson, T.O., & Stefan, H.G. 2009. Natural groundwater recharge response to urbanization: Vermillion River watershed, Minnesota. Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE
- Crowell, M., Hirsch, E., & Hayes, T. L. 2007. Improving FEMA's coastal risk assessment through the National Flood Insurance Program: An historical overview. Marine Technology Society Journal
- Matsushita, B., & Fukushima, T. 2009. Methods for retrieving hydrologically significant surface parameters from remote sensing: a review for applications to east Asia region. Hydrological Processes
- Schiff, R., & Benoit, G. 2007. Effects of impervious cover at multiple spatial scales on coastal watershed streams. Journal of the American Water Resources Association,

#### **Διαδίκτυακoi Ιστοτόποι:**

- [http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_GR/SEMGYZ4PVFG\\_0.html](http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/SEMGYZ4PVFG_0.html)
- <http://www.digitalglobe.com/about-us/content-collection#ikonos>
- <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/quickbird/>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Remote\\_sensing](http://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing)
- <http://www.lidar-uk.com/how-lidar-works/>
- [http://www.geomatics.gr/en/technologies/lidar\\_systemshttp://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Types\\_of\\_lidar/015w00000052000000/](http://www.geomatics.gr/en/technologies/lidar_systemshttp://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Types_of_lidar/015w00000052000000/)
- <http://www.raingardennetwork.com/>
- [http://el.wikipedia.org/wiki/Δήμος\\_Μαρκόπουλου\\_Μεσογαίας](http://el.wikipedia.org/wiki/Δήμος_Μαρκόπουλου_Μεσογαίας)
- <http://www.exelisvis.com/Home/NewsUpdates/TabId/170/ArtMID/735/ArticleID/14061/Beyond-NDVI.aspx>
- <http://edition.cnn.com/2010/TECH/innovation/08/06/concrete.pollution.solution/index.html>
- <http://grass.osgeo.org/grass70/manuals/i.vi.html>
- <http://www.ktimatologio.gr/Pages/Default.aspx>

- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161796802872>

**Άλλες πηγές:**

- eCognition Reference Book. 2011. Trimble eCognition® Developer 8.64.1 Reference Book.
- eCognition User Guide. 2011. Trimble eCognition® Developer 8.64.1 User Guide.

# Παράρτημα

## Χρήσιμοι δείκτες

- **DVI:** Difference Vegetation Index  
 $DVI = NIR - Red$
- **GVI:** Green Vegetation Index (Tasseled Cap, Landsata TM)  
 $GVI = (-.2848 * TM1) + (-.2435 * TM2) + (-.5436 * TM3) + (.7243 * TM4) + (.0840 * TM5) + (-.1800 * TM7)$
- **NDVI:** Normalized Difference Vegetation Index  
 $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$
- **MSAVI2:** Second Modified Soil Adjusted Vegetation Index  
 $MSAVI2 = (1/2) * (2(NIR+1) - \sqrt{(2*NIR+1)^2 - 8(NIR-red)})$
- **NDWI:** Normalized Difference Water Index  
 $NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$
- **RENDVI:** Red Edge NDVI (WorldView2)  
 $RENDVI = (Red\ Edge - NIR2) / (Red\ Edge + NIR2)$
- **NDSI:** Normalized Difference Soil Index (WorldView2)  
 $NDSI = (Green - Yellow) / (Green + Yellow)$
- **NFHD:** Non Homogeneous Feature Difference (WorldView2)  
 $NFHD = (Red\ Edge - Coastal) / (Red\ Edge + Coastal)$

## Πηγές:

- <http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s03.html>
- [http://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote\\_sensing\\_methods:modified\\_soil-adjusted\\_vegetation\\_index](http://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote_sensing_methods:modified_soil-adjusted_vegetation_index)
- [http://www.exelisvis.com/portals/0/pdfs/envi/8\\_bands\\_Antonio\\_Wolf.pdf](http://www.exelisvis.com/portals/0/pdfs/envi/8_bands_Antonio_Wolf.pdf)