



Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο

Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών

Τομέας Τοπογραφίας-Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης



Ανίχνευση κτιρίων με γεωμορφομετρία και αντικειμενοστρεφή
ανάλυση εικόνων

Διπλωματική Εργασία

Μπέκα Στυλιανή

Επιβλέπων: Αργιαλάς Δημήτριος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ-ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

«ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπέκα Στυλιανή

Επιβλέπων: Αργιαλάς Δημήτριος

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

.....
Δ.Αργιαλάς

Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Β.Καραθανάση

Αν. Καθηγήτρια ΕΜΠ

.....
Κ.Καράντζαλος

Επ.Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Μπέκα Στυλιανή

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Μπέκα Στυλιανή, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και αντικείμενο της είναι η αυτοματοποιημένη ανίχνευση κτιρίων από την ψηφιακή επεξεργασία δεδομένων εικόνων που έχουν ληφθεί από μέσα τηλεπισκόπησης.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι διττός και αφορά τόσο στην εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων, όσο και στην ολοκλήρωση του απαραίτητου γνωστικού υποβάθρου για την εμπειριστατωμένη μελέτη-επεξεργασία θεμάτων τηλεπισκόπησης με την χρήση ψηφιακών αλγορίθμων, με την εφαρμογή επιστημονικά ορθής μεθοδολογίας διαχείρισης των δεδομένων.

Επιβλέπων Καθηγητής είναι ο κ. Δημήτριος Αργιαλάς, Διευθυντής του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ.

Η εργασία μου στα πλαίσια της παρούσας, μου προσέφερε ευρύ πεδίο επιστημονικών γνώσεων, πολύτιμη εμπειρία για την αντιμετώπιση σύνθετων τεχνολογικά αντικειμένων και κυρίως την ικανοποίηση για τη ολοκλήρωση των στόχων που έθεσα προσωπικά, σε ότι αφορά την εκπόνηση της.

Ευχαριστώ από καρδιάς τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αργιαλά, όχι μόνο για την ανάθεση του θέματος αυτού και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας, αλλά και για τις υψηλής στάθμης γνωστικές βάσεις και συμβουλές που μου προσέφερε, την συνεχή και αποτελεσματική καθοδήγηση του και κυρίως για την αμέριστη συμπαράσταση του σ' όλα τα στάδια της δουλειάς μου.

Επιπρόσθετα ευχαριστώ τον υποψήφιο Διδάκτορα Αργυρό Αργυρίδη, για την καθοδήγηση, την πολύτιμη βοήθειά του στα πρακτικά θέματα της διπλωματικής εργασίας, καθώς και για την υπομονή του για επίλυση κάθε απορίας και προβληματισμού μου.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου που στάθηκε δίπλα μου σε όλα τα σημαντικά βήματα της ζωής μου και κυρίως στην επίτευξη του στόχου ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανίχνευση κτιρίων από την ψηφιακή επεξεργασία δεδομένων εικόνων που έχουν ληφθεί από μέσα τηλεπισκόπησης. Για την ανίχνευση των κτιρίων στις εικόνες, εφαρμόζεται συστηματική και συνδυαστική μεθοδολογία εφαρμογής σύγχρονων ψηφιακών αλγορίθμων, αφενός μεν αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης (objects based image analysis) και αφετέρου δε γεω(μορφομετρικών) φίλτρων-δεικτών.

Τα δεδομένα που ήταν διαθέσιμα καταγράφηκαν σε περιοχή της Γερμανίας. Η περιοχή μελέτης αφορά σε εικόνα μεγέθους 7640 x 4440 εικονοστοιχείων (pixels), ανάλυσης (resolution) 0,5μέτρων, η οποία για την ευχερέστερη επεξεργασία της, διαιρέθηκε σε τρεις μικρότερες περιοχές με εικόνες μεγέθους 2565 x 4440 pixels η κάθε μια.

Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση υλοποιείται μέσω του λογισμικού εικόνων **e-Cognition (9.0)** και η γεωμορφομετρική ανάλυση μέσω του λογισμικού **System for Automated Geoscientific Analyses -SAGA-GIS (2.0.8)**.

Το λογισμικό **e-Cognition (9.0)**, αναπτύχθηκε από την **DEFINIENS Imaging GmbH** (πλέον **Trimble Navigation Ltd**), ενώ το λογισμικό **SAGA-GIS (2.0.8)** ανήκει στην κατηγορία ψηφιακών αλγορίθμων ανοικτής πηγής (**Free Open Source Software -FOSS**).

Η επεξεργασία των δεδομένων καθώς και το σύνολο των υπολογισμών και διερευνήσεων υλοποιούνται σε προσωπικό ηλεκτρονικό υπολογιστή λειτουργούντα σε περιβάλλον Microsoft Windows 7 -64 bit, ο οποίος είναι εφοδιασμένος με κεντρικό επεξεργαστή Intel Core i7 2700k, με 8 Gigabyte μνήμης RAM και ξεχωριστής Κάρτας Γραφικών εφοδιασμένης με 2 Gigabyte Video RAM.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι πολυφασματικά και υψομετρικά. Τα πολυφασματικά δεδομένα, έχουν ληφθεί από γραμμικό σαρωτή τεσσάρων καναλιών και τα υψομετρικά δεδομένα από σαρωτή τεχνολογίας LiDAR.

Τα εν λόγω δεδομένα συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού μεγίστων τιμών DSM FE Highest values.
- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους DTM (Digital Terrain Model)
- Ψηφιακό μοντέλο διαφορών DSM_FE-DSM_LE
- Ψηφιακά δεδομένα εικόνων στα τέσσερα φασματικά κανάλια Red, Green Blue, Infrared.

Από τα παραπάνω αρχικά δεδομένα που ήταν διαθέσιμα για τη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας, τα πρώτα τρία (υψομετρικά) εισάγονται στο λογισμικό **SAGA-GIS (2.0.8)** έτσι ώστε να δημιουργηθούν τα παρακάτω θεματικά επίπεδα:

- Διαφοράς του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Terrain Model, DTM) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού μεγίστων τιμών (DSM First Echo Highest Values) DIFF (FEH-DTM)
- Κλίσης (SLOPE) της διαφοράς του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας τελευταίου παλμού (DSM_LE) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του πρώτου παλμού (DSM_FE) και
- Τοπογραφικού δείκτη τραχύτητας του εδάφους (TRI) της διαφοράς του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας τελευταίου παλμού (DSM_LE) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του πρώτου παλμού (DSM_FE) .

Τα παραπάνω θεματικά επίπεδα, μαζί με τα αρχικά Ψηφιακά δεδομένα εικόνων στα τέσσερα φασματικά κανάλια Red, Green Blue & Infrared, εισάγονται στο λογισμικό **e-Cognition (9.0)**, προκειμένου να υλοποιηθεί η αντικειμενοστρεφής ανάλυση.

Η ανάλυση πραγματοποιείται με δύο μεθοδολογικές προσεγγίσεις, κατ' αρχήν ξεχωριστά για κάθε μια από τις τρεις περιοχές στις οποίες χωρίζεται η αρχική εικόνα και στη συνέχεια και με την εφαρμογή στις δύο τελευταίες περιοχές, ενιαίας βάσης γνώσης που δημιουργείται στο λογισμικό **e-Cognition**, με βάση τις κατηγορίες της πρώτης περιοχής μελέτης.

Στην πρώτη μεθοδολογική προσέγγιση, η επεξεργασία των δεδομένων στις τρεις υπό επεξεργασία περιοχές, περιλαμβάνει την δημιουργία δύο (2) επιπέδων κατάτμησης και ισάριθμων επιπέδων ταξινόμησης. Αρχικά τα αντικείμενα διαχωρίζονται σε ψηλά και χαμηλά και εντοπίζονται και οι ακμές. Η τελική ταξινόμηση πραγματοποιείται στο δεύτερο επίπεδο, αποτέλεσμα της οποίας είναι ο εντοπισμός των κτιρίων.

Σε όλες τις εξεταζόμενες περιοχές ακολουθούνται παρόμοιες διαδικασίες, με λίγες μόνο τροποποιήσεις στα όρια των πεδίων τιμών των ιδιοτήτων των κατηγοριών που δημιουργήθηκαν στο στάδιο της ταξινόμησης.

Στη δεύτερη μεθοδολογική προσέγγιση, μετά από τη δημιουργία, στο λογισμικό **e-Cognition 9.0**, βάσης γνώσης για τις κατηγορίες της πρώτης περιοχής, διερευνάται και εφαρμογή της ως ενιαίας βάσης γνώσης, για την αυτοματοποιημένη αναγνώριση κτιρίων από παρόμοια δεδομένα στις περιοχές δύο και τρία.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα κτίρια εντοπίστηκαν και με τις δύο μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν.

Κατόπιν, ακολουθεί αξιολόγηση των ταξινομήσεων η οποία πραγματοποιείται με χρήση των εργαλείων που ενσωματώνει το λογισμικό **e-Cognition (9.0)**. Συγκεκριμένα, οι ταξινομήσεις αξιολογούνται με τρεις τρόπους, τη μέθοδο καλύτερης ταξινόμησης (best classification result), τη μέθοδο σταθερότητας ταξινόμησης

(classification stability) και τη μέθοδο του πίνακα σύγκρισης βασισμένου σε δείγματα (error matrix based on samples).

Για την πρώτη μεθοδολογική προσέγγιση (ανάλυση των περιοχών ξεχωριστά), η αξιολόγηση των ταξινομήσεων δίνει πολύ καλά αποτελέσματα και οι μέσες τιμές όλων σχεδόν των κατηγοριών (τάξεων), κυμαίνονται κοντά στη μονάδα. Αντίστοιχα για τη δεύτερη μεθοδολογική προσέγγιση (ανάλυση με ενιαία βάση γνώσης) η αξιολόγηση δίνει επίσης πολύ καλά αποτελέσματα και οι μέσες τιμές όλων σχεδόν των κατηγοριών κυμαίνονται μεταξύ του 0,83 και της μονάδας.

Ειδικότερα, η αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγκρισης βασισμένου σε δείγματα με την οποία εξασφαλίζεται σχεδόν απόλυτα η απαιτούμενη σαφήνεια αξιολόγησης, αποδίδει εξαιρετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, η συνολική ακρίβεια του δεύτερου επιπέδου κατάτμησης – ταξινόμησης, κυμαίνεται μεταξύ 0,9 και 0,98 ανεξάρτητα μεθοδολογικής προσέγγισης και αντίστοιχα ο δείκτης “Κάπα” (Kappa Index of Agreement) κυμαίνεται μεταξύ 0,88 και 0,98.

Μετά την ολοκλήρωση της αξιολόγησης των ταξινομήσεων ακολουθεί η καταγραφή των συμπερασμάτων που αφορούν τόσο στη συνολική εμπειρία, που αποκομίσθηκε από την υλοποίηση της παρούσας εργασίας, όσο και σε επιμέρους αντικείμενα της μεθοδολογίας υλοποίησης. Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με τη διατύπωση των προοπτικών που ανοίγονται από την παρούσα, αφενός σαν θέματα περαιτέρω εξέτασης και αφετέρου σαν πρακτικές εφαρμογές της μεθοδολογίας που εφαρμόσθηκε.

Λέξεις Κλειδιά:

Αντικειμενοστρεφής Ανάλυση, Κτίρια, e-Cognition, SAGA-GIS, Ασαφής λογική, Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Ψ.Μ.Ε), Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (Ψ.Μ.Α), Γεωμορφομετρία, (γεω)Μορφομετρικά Φίλτρα, Κατάτμηση, Ταξινόμηση, LIDAR Δεδομένα, Αλγόριθμος Πολλαπλής Κατάτμησης Εικόνας (multiresolution segmentation), Κατάτμηση βάσει Ταξινόμησης, Συναρτήσεις συμμετοχής, Κλίση (SLOPE), Τοπογραφικός Δείκτης Τραχύτητας του Εδάφους (TRI).

ABSTRACT

“DETECTION OF BUILDINGS USING GEOMORPHOMETRY AND OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS”

Subject of this thesis is the detection of buildings, by employing systematic and combined use of *Object Based Image Analysis (O.B.I.A)* and *Morphometrical Analysis Filters-Indices* for processing of remote sensing data.

The available digital terrain data were taken from a region of Germany. The study region referred to a digital picture with overall dimensions of 7640 x 4440 pixels, and a resolution of 0,5meters, which was split to three (3) sub-regions, each consisting of 2565 x 4440 pixels, for more efficient processing.

The *Object Based Image Analysis* was performed utilizing the **e-Cognition (9.0)** software package and the *(geo)morphometry*, through the *System for Automated Geoscientific Analyses -SAGA-GIS (2.0.8)* software package.

The **e-Cognition (9.0)** software package, were developed by the **DEFINIENS Imaging GmbH** company (acquired by **Trimble Navigation Ltd**), whereas the **SAGA-GIS (2.0.8)** software package is a **Free Open Source Software (FOSS)** algorithm, developed initially by researchers from the Dept. of Physical Geography, Göttingen, whereas now its developers have moved to the Dept. of Physical Geography, Hamburg.

All processing tasks were carried out in a Microsoft Windows 7 – 64 bit operating PC equipped with an intel Core i7 2700K processor, 8GB of RAM and a discrete Graphics card with 2GB of Video RAM.

The available data were both multispectral data, received from an RGB/NIR line scanner, and elevation data taken from a LiDAR scanner. Specifically the data used are summarized as follows:

- A First Echo Digital Surface Model of Maximum Values (DSM FE Highest values).
- A Digital Terrain Model (DTM).
- A Digital Model that shows the Difference between the DSM_FE and the DSM_LE (DSM_FE-DSM_LE)
- Digital image data from four spectral channels Red, Green Blue, Infrared

Out of the original elevation data, which were available to carry out this work and with the help of the SAGA-GIS (2.0.8) software the following layers were produced:

- Difference of the DTM (Digital Terrain Model, DTM) from the First Echo Surface Model of Maximum Values (DSM FE Highest values) (FEH-DTM)
- Slope of the difference of the Last Echo Digital Surface Model (DSM_LE) from the First Echo Digital Surface Model (DSM_FE) and
- Topographical soil roughness index (TRI) of the difference of the Last Echo Digital Surface Model (DSM_LE) from the First Echo Digital Surface Model (DSM_FE)

The aforementioned layers, together with the available digital image data for the four color channels (Red, Green, Blue, & Infrared), are provided as input to the **e-Cognition** Software package, for the purpose of applying the Object Based Image Analysis (OBIA).

The OBIA is performed using two methodological approaches. Initially, it is applied separately to each one of the three (2565 x 4440 pixel) sub-regions, of the original image, and subsequently, the analysis is applied to the second and third sub-regions, based on the knowledge based created in the e-Cognition software package, for the first sub region's classes.

In the first methodological approach, data processing in all three sub-regions involved the creation of two (2) levels (Level 1 and Level 2) , at both the segmentation and the classification stages. Initially the objects were classified into “high” and “low” classes, and the edges were also detected. The final classification took place at the second level, the purpose of which was to identify the buildings.

The same processing steps were followed in all three sub-regions, with only a few adjustments made at the classes' properties range limits, which were created at the classification stage.

In the second methodological approach, subsequent to the formation in the **e-Cognition** software package, of a knowledge base for the classes of the first sub-region, an investigation was performed regarding its applicability, as a unified knowledge base, for the automated detections of the buildings belonging to any region, using similar available data from sub-regions two and three.

The results showed that the buildings were detected, with both methodological approaches.

Then, the assessment of the classifications was carried out using the **e-Cognition** software's integral tools. The results of the classifications were evaluated by the following three methods: best classification result, stability classification and error matrix based on the samples.

For the first methodological approach (*separated sub-region analysis*), the assessment of the classifications, provides very good results and for almost all classes, mean values are approaching the unity (1.0). Respectively, for the second methodological

approach (*unified knowledge base analysis*), the assessment of the classifications provides also very good results, and mean values for almost all classes vary between the 0,83 and the unity (1.0).

Specifically, the assessment of classifications, using the most reassuring “*error matrix based on the samples*” method, provides absolutely good results. In detail, the Level 2” *Overall accuracy*” for the second and the third sub-regions, varies between the values of 0,9 and 0,98 for both methodological approaches, and the “*Kappa Index of Agreement*” values, vary between 0,88 and 0,98.

Subsequent to the very satisfying assessment results, the thesis’s conclusions are, presented. These conclusions refer to both the overall experience acquired by the composition of the present thesis, and the various subjects examined using the followed methodologies.

The documentation is finalized by the thesis’ perspectives, regarding to the further research opportunities, and the practical applications, of the methodologies used in the present thesis.

Keywords:

Object-Based/Oriented Analysis, Buildings, e-Cognition, SAGA-GIS, Fuzzy Logic, Digital Terrain Model (D.T.M), Digital Surface Model (D.S.M), Geomorphometry, (geo)Morphometric filters, Segmentation, Classification, LiDAR data, Multiresolution Segmentation, Segmentation based on Classification, Membership Functions, Slope, Topographic Roughness Index (TRI).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
1.1	ΓΕΝΙΚΑ	20
1.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	21
1.3	ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	23
2	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ	24
2.1	ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ	24
2.1.1	Γενική Γεωμορφομετρία	25
2.1.2	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και Παράγωγά του	26
2.2	ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	30
2.2.1	Αρχή Λειτουργίας Τηλεπισκοπικών Ανιχνευτών	31
2.2.2	Κατηγορίες Δεκτών Ανιχνευόμενης Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας	32
2.2.3	Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Τηλεπισκοπικών Δεδομένων	33
2.2.4	Προεπεξεργασία Ανάλυση και Ερμηνεία Δεδομένων	34
2.2.4.1	Προεπεξεργασία	34
2.2.4.2	Ανάλυση και ερμηνεία	35
2.2.5	Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης	40
2.3	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ CCD	40
2.3.1	Μέθοδος Λειτουργίας CCD	41
2.4	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ LiDAR	43
2.4.1	Γενικά για την Τεχνολογία LiDAR	43
2.4.2	Μέθοδος Λειτουργίας LiDAR	45
2.4.3	Φαινόμενα που Λαμβάνουν Χώρο κατά την Λειτουργία LiDAR	49
2.4.4	Παράμετροι Λειτουργίας LiDAR	51
2.4.5	Περιγραφή και Τρόπος Λειτουργίας της Διάταξης LiDAR	53
2.4.6	Είδη LiDAR	54
2.4.7	Εφαρμογές LiDAR	55
2.5	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ/ΣΑΡΩΤΩΝ FALCON II ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ	56
2.6	ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ SAGA-GIS	61
2.7	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ	63
2.7.1	Γενικά	63
2.7.2	Οι Μεθοδολογίες της Κατάτμησης και της Ταξινόμησης των Εικόνων	64
2.8	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ «E-COGNITION»	68
2.8.1	Γενικές Πληροφορίες για το Λογισμικό	68
2.8.2	Κατάτμηση Εικόνας & Ταξινόμηση Αντικειμένων	71
2.8.2.1	Κατάτμηση Εικόνας	71
2.8.2.2	Ο Αλγόριθμος Πολλαπλής Κατάτμησης Εικόνας (multiresolution segmentation)	74
2.8.2.3	Κατάτμηση Βάσει Αλγορίθμων Ανακατασκευής του Σχήματος (Reshaping Algorithms)	77
2.8.3	Ιεραρχία των Αντικειμένων	79
2.8.4	Ιεραρχία των Κατηγοριών	81
2.8.5	Ασαφής Λογική (fuzzy logic)	83
2.8.5.1	Γενικά	83
2.8.5.2	Συναρτήσεις Συμμετοχής	83
2.8.5.3	Ασαφής Λογική στο Λογισμικό e-Cognition 9.0	84
2.8.6	Χαρακτηριστικά (features)	87

2.8.7	Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	93
2.8.8	Ταξινόμηση.....	97
2.8.8.1	Γενικά περί ταξινόμησης.....	97
2.8.8.2	Είδη Ταξινόμησης.....	98
2.8.8.3	Περιγραφή διαδικασίας ταξινόμησης.....	99
2.8.9	Αξιολόγηση ταξινόμησης.....	101
3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	103
3.1	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	103
3.2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	106
3.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (ΓΕΩ)ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΣΤΟ SAGA-GIS.....	116
3.3.1	(Γεω)μορφομετρικό Φίλτρο «Κλίση» (SLOPE):.....	122
3.3.2	Τοπογραφικός δείκτης τραχύτητας του εδάφους (TRI):.....	124
3.4	ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	126
3.4.1	Βλάστηση (αραϊή πυκνή και δένδρα).....	126
3.4.2	Κτίριο.....	127
3.4.3	Ασφαλτωμένο οδόστρωμα.....	128
3.4.4	Χώμα.....	128
3.4.5	Γέφυρα.....	129
3.4.6	Οργανωμένο έδαφος.....	129
3.4.7	Σκιά.....	130
3.5	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΙΣ ΤΡΕΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ.....	130
3.5.1	Περιοχή Μελέτης 1.....	131
3.5.1.1	Δημιουργία επιπέδου Level 1 και ταξινόμηση.....	136
3.5.1.2	Κατάτμηση βάσει ταξινόμησης (Level 2).....	146
3.5.2	Περιοχή Μελέτης 2.....	156
3.5.2.1	Δημιουργία επιπέδου Level 1 και ταξινόμηση.....	158
3.5.2.2	Κατάτμηση βάσει ταξινόμησης (Level 2).....	168
3.5.3	Περιοχή Μελέτης 3.....	175
3.5.3.1	Δημιουργία επιπέδου Level 1 και ταξινόμηση.....	177
3.5.3.2	Κατάτμηση βάσει ταξινόμησης (Level 2).....	183
3.6	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ.....	190
4	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ.....	195
4.1	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ.....	195
4.1.1	Αξιολόγηση με τη Μέθοδο Καλύτερης Ταξινόμησης (Best Classification Result).....	195
4.1.1.1	Περιοχή μελέτης 1.....	196
4.1.1.2	Περιοχή μελέτης 2.....	199
4.1.1.3	Περιοχή μελέτης 3.....	201
4.1.2	Αξιολόγηση με τη Μέθοδο Σταθερότητας της Ταξινόμησης (Classification Stability).....	203
4.1.2.1	Περιοχή μελέτης 1.....	204
4.1.2.2	Περιοχή μελέτης 2.....	207
4.1.2.3	Περιοχή μελέτης 3.....	209
4.1.3	Αξιολόγηση με τη Μέθοδο του Πίνακα Σύγκυσης Βασισμένου σε Δείγματα (Error Matrix Based on Samples).....	213
4.1.3.1	Περιοχή μελέτης 1.....	213
4.1.3.2	Περιοχή μελέτης 2.....	217
4.1.3.3	Περιοχή Μελέτης 3.....	221
4.2	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΝΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ.....	225
4.2.1	Αξιολόγηση με τη Μέθοδο Καλύτερης Ταξινόμησης (Best Classification Result).....	225

4.2.1.1	Εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης στην περιοχή μελέτης 2.....	225
4.2.1.2	Εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης στην περιοχή μελέτης 3.....	226
4.2.2	<i>Αξιολόγηση με τη Μέθοδο Σταθερότητας της Ταξινόμησης (Classification Stability)....</i>	228
4.2.2.1	Εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης στην περιοχή μελέτης 2.....	228
4.2.2.2	Εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης στην περιοχή μελέτης 3.....	229
4.2.3	<i>Αξιολόγηση με τη Μέθοδο του Πίνακα Σύγκρισης Βασισμένου σε Δείγματα (Error Matrix Based on Samples).....</i>	230
4.2.3.1	Εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης στην περιοχή μελέτης 2.....	230
4.2.3.2	Εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης στην περιοχή μελέτης 3.....	231
5	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	232
5.1	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	232
5.2	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	233
5.3	ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	236
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	238

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 2.1: ΒΗΜΑΤΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΠΗΓΗ:ΡΙΚΕ ET AL., 2009.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 2.2: ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΑΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ 3×3, ΠΗΓΗ: ΚΟΥΛΗ, 2014.....	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.3: ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΤΡΙ, ΠΗΓΗ: ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΟΥ, 2013.....	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.4: ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	31
ΕΙΚΟΝΑ 2.5: Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ CCD, ΠΗΓΗ: ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ, ΧΛΙΒΕΡΟΥ, 2013.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 2.6: ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ LIDAR, ΠΗΓΗ: HTTP://GULFSCI.USGS.GOV/TAMPABAY/DATA/1_LIDAR/IMAGES/EAARL1.GIF, 2015	46
ΕΙΚΟΝΑ 2.7: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΠΙΣΤΡΟΦΩΝ ΠΑΛΜΩΝ, ΠΗΓΗ: HTTP://LIDARCOMM.COM/ID31.HTML, 2015.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 2.8: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ LIDAR	53
ΕΙΚΟΝΑ 2.9: ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΣΑΡΩΤΗ FALCON II, ΠΗΓΗ: ALEXANDER, 2005	57
ΕΙΚΟΝΑ 2.10: ΠΛΗΡΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΑΡΩΤΗ FALCON II, ΠΗΓΗ: ALEXANDER, 2005	58
ΕΙΚΟΝΑ 2.11: ΔΕΙΓΜΑ ΣΑΡΩΣΗΣ «ΤΑΛΑΝΤΕΥΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ» ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ LIDAR FALCON II, ΠΗΓΗ: ALEXANDER, 2005.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 2.12: ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ SAGA-GIS, ΠΗΓΗ: SAGA USER GUIDE (VERSION 2.1.4) VOLUME 1, 2014	62
ΕΙΚΟΝΑ 2.13: ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΛΛΗΛΟΣΥΧΕΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΣΕ ΙΔΙΟ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ,. ΠΗΓΗ : E-COGNITION DEVELOPER 9.0 USER'S GUIDE, 2014	66
ΕΙΚΟΝΑ 2.14: ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ CHESSBOARD, ΠΗΓΗ : E-COGNITION DEVELOPER 9.0 USER'S GUIDE, 2014	72
ΕΙΚΟΝΑ 2.15: ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ QUADREE-BASED, ΠΗΓΗ : E-COGNITION DEVELOPER 9.0 USER'S GUIDE, 2014.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 2.16: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΣΕ ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (MULTIRESOLUTION SEGMENTATION). ΠΗΓΗ: ΜΠΑΜΠΟΥΡΔΑ, (2012)	75
ΕΙΚΟΝΑ 2.17: Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΟΠΩΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ ΣΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΔΙΑΛΟΓΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ.....	76
ΕΙΚΟΝΑ 2.18: ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΔΙΑΓΡΑΦΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ. ΠΗΓΗ: E- COGNITION DEVELOPER 9.0 USER'S GUIDE, 2014	78
ΕΙΚΟΝΑ 2.19: ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΣΥΝΕΝΩΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ. ΠΗΓΗ: E-COGNITION DEVELOPER 9.0 USER'S GUIDE, 2014	78
ΕΙΚΟΝΑ 2.20: ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ. ΠΗΓΗ: E-COGNITION DEVELOPER 9.0 USER'S GUIDE, 2014	79

ΕΙΚΟΝΑ 2.21: ΤΟ ΙΕΡΑΡΧΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΟΠΩΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΑ ΑΝΩΤΕΡΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ. ΠΗΓΗ: E-COGNITION DEVELOPER 9.0 USER’S GUIDE, 2014.....	80
ΕΙΚΟΝΑ 2.22: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ (Α) ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ, (Β) ΟΜΑΔΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ E-COGNITION ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2.....	82
ΕΙΚΟΝΑ 2.23: ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ M(X). ΠΗΓΗ: WIKIPEDIA.....	83
ΕΙΚΟΝΑ 2.24 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ «ΒΛΑΣΤΗΣΗ» ΚΑΙ ΟΡΙΑ ΑΣΑΦΕΙΑΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ NDVI	86
ΕΙΚΟΝΑ 2.25: ΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ FEATURE VIEW	87
ΕΙΚΟΝΑ 2.26: ΤΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ (FEATURES) ΠΟΥ ΠΑΡΕΧΕΙ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	88
ΕΙΚΟΝΑ 2.27: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ «ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ» (Α), ΤΗΣ «ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ» (Β) ΚΑΙ ΤΩΝ «ΣΚΕΛΕΤΩΝ» (Γ). ΠΗΓΗ: E-COGNITION DEVELOPER 9.0 USER’S GUIDE, 2014	93
ΕΙΚΟΝΑ 2.28: ΟΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ E-COGNITION. ΠΗΓΗ: E-COGNITION DEVELOPER 9.0 USER’S GUIDE, 2014.....	95
ΕΙΚΟΝΑ 2.29: ΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΠΟΥ ΠΑΡΕΧΕΙ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ E-COGNITION.....	100
ΕΙΚΟΝΑ 3.1: ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (1,2,3) ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΟΥ E-COGNITION.....	104
ΕΙΚΟΝΑ 3.2: ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (7640 X 4440 PIXELS), ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΕΣ (2565 X 4440 PIXELS Η ΚΑΘΕ ΜΙΑ.).....	105
ΕΙΚΟΝΑ 3.3: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ DSM ΠΡΩΤΩΝ ΚΑΙ ΤΕΛΕΥΤΑΙΩΝ ΠΑΛΜΩΝ ΜΕ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΠΗΓΗ: WIKIPEDIA ...	107
ΕΙΚΟΝΑ 3.4: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ DSM ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ DTM ΠΗΓΗ: WIKIPEDIA	108
ΕΙΚΟΝΑ 3.5: ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΡΩΤΩΝ ΠΑΛΜΩΝ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ (FEH)	109
ΕΙΚΟΝΑ 3.6: ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΡΩΤΩΝ ΠΑΛΜΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ (FEL)	109
ΕΙΚΟΝΑ 3.7: ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΩΝ ΠΑΛΜΩΝ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ (LEH)	110
ΕΙΚΟΝΑ 3.8: ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΩΝ ΠΑΛΜΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ (LEL).....	111
ΕΙΚΟΝΑ 3.9: ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ DTM	111
ΕΙΚΟΝΑ 3.10: ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΥ ΠΑΛΜΟΥ ΜΕ ΑΥΤΟ ΤΟΥ ΤΕΛΕΥΤΑΙΟΥ DSM_FE-DSM_LE	112
ΕΙΚΟΝΑ 3.11: ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΥ ΠΑΛΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ DSM_FE-DTM_LE	113
ΕΙΚΟΝΑ 3.12: ΈΝΤΑΣΗ (INTENSITY)	114
ΕΙΚΟΝΑ 3.13: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ SAGA GIS.....	117

ΕΙΚΟΝΑ 3.14: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΣΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	118
ΕΙΚΟΝΑ 3.15: ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ DTM (DIGITAL TERRAIN MODEL) ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ MEDIAN FILTER.....	119
ΕΙΚΟΝΑ 3.16: ΨΗΦΙΑΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΥ ΠΑΛΜΟΥ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DSM FE HIGHEST VALUES ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ MEDIAN FILTER	119
ΕΙΚΟΝΑ 3.17: ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΦΟΡΑΣ DSM_FE-DSM_LE ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ MEDIAN FILTER	120
ΕΙΚΟΝΑ 3.18: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (DIFF) ΤΟΥ MEDIAN DTM ΑΠΟ ΤΟ MEDIAN FEH	121
ΕΙΚΟΝΑ 3.19: ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΟΥ MEDIAN DTM ΑΠΟ ΤΟ MEDIAN FEH	122
ΕΙΚΟΝΑ 3.20: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (ΓΕΩ)ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ ΚΛΙΣΗΣ (SLOPE)	123
ΕΙΚΟΝΑ 3.21: ΕΦΑΡΜΟΓΗ (ΓΕΩ)ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ ΚΛΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΩΝ DSM	124
ΕΙΚΟΝΑ 3.22: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ TRI	125
ΕΙΚΟΝΑ 3.23: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ TRI ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΤΩΝ DSM .	125
ΕΙΚΟΝΑ 3.24: ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΣΤΟ ΨΕΥΔΕΓΧΡΩΜΟ ΣΥΝΘΕΤΟ (NIR-RED-GREEN).....	127
ΕΙΚΟΝΑ 3.25: ΚΤΙΡΙΑ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΓΧΡΩΜΟ ΣΥΝΘΕΤΟ (RED-GREEN-BLUE).....	127
ΕΙΚΟΝΑ 3.26: ΑΣΦΑΛΤΩΜΕΝΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΓΧΡΩΜΟ ΣΥΝΘΕΤΟ (RED-GREEN-BLUE)	128
ΕΙΚΟΝΑ 3.27: ΧΩΜΑ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΓΧΡΩΜΟ ΣΥΝΘΕΤΟ (RED-GREEN-BLUE).....	128
ΕΙΚΟΝΑ 3.28: ΓΕΦΥΡΑ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΓΧΡΩΜΟ ΣΥΝΘΕΤΟ (RED-GREEN-BLUE)	129
ΕΙΚΟΝΑ 3.29: ΟΡΓΩΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΓΧΡΩΜΟ ΣΥΝΘΕΤΟ (RED-GREEN-BLUE)	129
ΕΙΚΟΝΑ 3.30: ΣΚΙΑ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΓΧΡΩΜΟ ΣΥΝΘΕΤΟ (RED-GREEN-BLUE).....	130
ΕΙΚΟΝΑ 3.31: ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΔΙΑΛΟΓΟΥ ΤΟΥ E-COGNITION ΟΠΟΥ ΕΙΣΑΓΟΝΤΑΙ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ.....	132
ΕΙΚΟΝΑ 3.32: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ E-COGNITION ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΩΝ 4 ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΤΟΥ	133
ΕΙΚΟΝΑ 3.33: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ FEATURE VIEW.....	134
ΕΙΚΟΝΑ 3.34: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1	135
ΕΙΚΟΝΑ 3.35: ΙΕΡΑΡΧΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1 ΟΠΩΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ E-COGNITION	136
ΕΙΚΟΝΑ 3.36: ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 1, ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1 (ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΕ ΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ)	137
ΕΙΚΟΝΑ 3.37: ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 1, ΠΕΡΙΟΧΗΣ1	138
ΕΙΚΟΝΑ 3.38: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ LEVEL 1 ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1	138
ΕΙΚΟΝΑ 3.39: ΠΑΡΑΘΥΡΟ CREATE NEW ARITHMETIC FEATURE (SCALED NDVI ΚΑΙ VEGETATION INDEX)	140
ΕΙΚΟΝΑ 3.40: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ DENSE-VEGETATION (L1), ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1.....	141
ΕΙΚΟΝΑ 3.41: ΠΑΡΑΘΥΡΟ EDIT HSI TRANSFORMATION.....	141

ΕΙΚΟΝΑ 3.42: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ SOIL-LIKE (L1), ΠΕΡΙΟΧΗΣ1	144
ΕΙΚΟΝΑ 3.43: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ SPARSE-VEGETATION (L1) ΚΑΙ ASPHALT-SURFACES (L1), ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1 ..	144
ΕΙΚΟΝΑ 3.44: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ LEVEL 1 ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1.....	146
ΕΙΚΟΝΑ 3.45: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ FEATURE MERGE ΣΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ASPHALT-SURFACES (L1), ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1	147
ΕΙΚΟΝΑ 3.46: ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2, ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1 (ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΕ ΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ)	147
ΕΙΚΟΝΑ 3.47:ΣΥΝΘΗΚΗ RELATIVE AREA OF SUB-OBJECTS	149
ΕΙΚΟΝΑ 3.48:ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ TVI.....	150
ΕΙΚΟΝΑ 3.49: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ LEVEL 2, ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1.....	153
ΕΙΚΟΝΑ 3.50: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2	157
ΕΙΚΟΝΑ 3.51: ΙΕΡΑΡΧΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2 ΟΠΩΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ E- COGNITION	158
ΕΙΚΟΝΑ 3.52: ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 1, ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2 (ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΕ ΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ)	159
ΕΙΚΟΝΑ 3.53: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ LEVEL 1 ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2	160
ΕΙΚΟΝΑ 3.54: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ DENSE-VEGETATION (L1) ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2	160
ΕΙΚΟΝΑ 3.55: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ HIGH-OBJECTS (L1) ΚΑΙ LOW-OBJECTS (L1) ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2..	162
ΕΙΚΟΝΑ 3.56: ΔΕΙΚΤΗΣ BSCI	165
ΕΙΚΟΝΑ 3.57: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ MAN-MADE-EDGE (L1) ΚΑΙ TREE-EDGE (L1) ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2 .	166
ΕΙΚΟΝΑ 3.58: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ LEVEL 1 ΠΕΡΙΟΧΗ 2	167
ΕΙΚΟΝΑ 3.59: ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2, ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2 (ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΕ ΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ)	168
ΕΙΚΟΝΑ 3.60: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ BUILDINGS (L2) ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2.....	170
ΕΙΚΟΝΑ 3.61: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ LEVEL 2, ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2.....	171
ΕΙΚΟΝΑ 3.62: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ3	176
ΕΙΚΟΝΑ 3.63: ΙΕΡΑΡΧΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3 ΟΠΩΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ E- COGNITION	177
ΕΙΚΟΝΑ 3.64: ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 1, ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3 (ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΕ ΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ)	178
ΕΙΚΟΝΑ 3.65: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ LEVEL 1 ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3	178
ΕΙΚΟΝΑ 3.66: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ LEVEL 1, ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3.....	182
ΕΙΚΟΝΑ 3.67: ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2, ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3 (ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΕ ΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ)	183
ΕΙΚΟΝΑ 3.68: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ BUILDINGS (L2) ΚΑΙ BUILDING-WITH-LICHEN (L2).....	185
ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3.....	185
ΕΙΚΟΝΑ 3.69: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ LEVEL 2 ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3.....	186
ΕΙΚΟΝΑ 3.70: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΑΣΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΤΗ ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (LEVEL 1).....	191

ΕΙΚΟΝΑ 3.71: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΑΣΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΤΗ ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (LEVEL 2).....	191
ΕΙΚΟΝΑ 3.72: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΑΣΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΤΡΙΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (LEVEL 1)	192
ΕΙΚΟΝΑ 3.73: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ 2 ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ	193
ΕΙΚΟΝΑ 3.74: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ 3 ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ	194
ΕΙΚΟΝΑ 4.1: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1.....	197
ΕΙΚΟΝΑ 4.2: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1.....	198
ΕΙΚΟΝΑ 4.3: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2.....	200
ΕΙΚΟΝΑ 4.4: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2.....	201
ΕΙΚΟΝΑ 4.5: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3.....	202
ΕΙΚΟΝΑ 4.6: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3.....	203
ΕΙΚΟΝΑ 4.7: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1.....	205
ΕΙΚΟΝΑ 4.8: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1.....	206
ΕΙΚΟΝΑ 4.9: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2.....	208
ΕΙΚΟΝΑ 4.10: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2.....	209
ΕΙΚΟΝΑ 4.11: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3.....	211
ΕΙΚΟΝΑ 4.12: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3.....	212
ΕΙΚΟΝΑ 4.13: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ, ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ 2 ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2.....	226
ΕΙΚΟΝΑ 4.14: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ, ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ 3 ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2.....	227
ΕΙΚΟΝΑ 4.15: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ, ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ 2 ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2.....	228
ΕΙΚΟΝΑ 4.16: ΓΡΑΦΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ, ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ 3 ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2.....	230

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΦΥΣΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ.....	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ LIDAR.....	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΛΕΙΖΕΡ (LIDAR) ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΣΑΡΩΤΗ RGB/NIR ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ CCD FALCON II TOPOSYS.	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΛΕΣΤΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ E-COGNITION	97
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΠΟΥ ΔΙΑΘΕΤΟΥΝ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ TOPOSYS.....	115
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΕΔΙΑ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1	156
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3: ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΕΔΙΑ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2	174
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4: ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΕΔΙΑ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3	189
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1.....	196
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1.....	198
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2.....	199
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2.....	200
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3.....	202
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3.....	203
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1.....	204
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1.....	206
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2.....	207
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2.....	209
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3.....	210

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3.....	212
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.13: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΧΥΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1 ..	214
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.14: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΧΥΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 1 ..	216
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.15: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΧΥΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2 ..	218
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.16: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΧΥΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 2 ..	220
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.17: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΧΥΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 1 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3 ..	222
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.18: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΧΥΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3 ..	224
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.19: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ, ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ 2 ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2	225
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.20: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ, ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ 3 ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2	227
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.21: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ, ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ 2 ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2.....	229
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.22: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ, ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ, ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ 2 ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2.....	229
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.23: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΧΥΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ, ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ 2 ΓΙΑ ΤΟ LEVEL 2	231

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο αυτοματοποιημένος εντοπισμός κτιρίων από την επεξεργασία τηλεπισκοπικών εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης έχει ευνοηθεί ιδιαίτερα από την τεχνολογική εξέλιξη στους τομείς της πληροφορικής και των μέσων τηλεπισκόπησης, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται πλέον σε ευρεία έκταση εφαρμογών, ιδιαίτερα στους τομείς της κτηματολογική διαχείρισης, στην πολεοδομία, στην αξιολόγηση και διαχείριση κινδύνων και καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, στην παραγωγή δεδομένων GIS, στα τρισδιάστατα αστικοποιημένα αστικά μοντέλα αλλά και σε εφαρμογές που σχετίζονται με θέματα ασφαλείας. Η επιτυχής ανίχνευση κτιρίων επιτρέπει στους ερευνητές να αναλύσουν διάφορα φαινόμενα, βασιζόμενοι σε ουσιαστικά αστικά στοιχεία, χρησιμοποιώντας τεχνικές προσομοίωσης, με λογική ανάλυσης που “σκέφτεται” όπως ο άνθρωπος.

Οι παραδοσιακές μέθοδοι, όπως η τοπογραφία και η φωτογραμμετρία μερικές φορές δεν μπορούν να ικανοποιήσουν πλήρως ιδιαίτερα εξειδικευμένες ανάγκες μεταξύ άλλων και στον τομέα του εντοπισμού κτιρίων, κυρίως επειδή τα φασματικά χαρακτηριστικά των κτιρίων είναι παρόμοια με αντίστοιχα στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου.

Σήμερα η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών, όπως πχ. η τεχνολογία Light Detection And Ranging (εφεξής LiDAR), επιτρέπει τη γρήγορη, αξιόπιστη και αυτοματοποιημένη καταγραφή τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων με μεγάλη λεπτομέρεια, λόγω της εγγενούς δυνατότητάς της να καταγράφει πολύπλοκα και ακανόνιστα μοντέλα.

Έχει αναπτυχθεί πλήθος μεθόδων για την ανίχνευση κτιρίων, όπως η χρήση δεδομένων LiDAR, η χρήση μορφολογίας (Cho et al., 2004), η κατάτμηση εικόνας (Rottensteiner και Briese, 2003; Cho et al, 2004), η κατάτμηση και ταξινόμηση (Forlani et al., 2006), καθώς και μέθοδοι με βάση τους δείκτες βλάστησης (Sohn και Dowman, 2003 και 2007; Rottensteiner et al., 2003).

Σημειώνεται όμως ότι ακόμη και με την εφαρμογή νέων τεχνολογιών τηλεπισκόπησης, παραμένουν οι δυσκολίες όσον αφορά στην πλήρη ικανοποίηση των εξειδικευμένων αναγκών στον τομέα του εντοπισμού κτιρίων. Για παράδειγμα, έχουν αναπτυχθεί ελάχιστες μέθοδοι για τον εντοπισμό κτιρίων αποκλειστικά από δεδομένα LiDAR, λόγω της δυσκολίας που αντιμετωπίζεται για την πλήρη αφαίρεση της βλάστησης.

Προκύπτει λοιπόν ότι, προκειμένου για την πλήρη αξιοποίηση των δεδομένων των νέων τεχνολογιών τηλεπισκόπησης, υπάρχει η ανάγκη ανάπτυξης μεθοδολογίας που θα αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν.

Στα πλαίσια της παραπάνω ανάγκης εκπονήθηκε η παρούσα εργασία στην οποία αναπτύχθηκε μεθοδολογία που υπόσχεται να αντιμετωπίσει πολλά από τα υπάρχοντα προβλήματα στον τομέα του αξιόπιστου εντοπισμού κτιρίων από τηλεσκοπικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης. Εξάλλου, λαμβάνοντας υπόψη ότι η μελέτη και η αναγνώριση των βασικών φωτοερμηνευτικών κατηγοριών έχει κορεσθεί, επιλέχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, η στη συνέχεια περιγραφόμενη εναλλακτική αλλά εξαιρετικά ενδιαφέρουσα διερεύνηση, που συνδυάζει τη μορφομετρία με την αντικειμενοστρεφή ανάλυση.

1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας, είναι η ανίχνευση κτιρίων με τη χρήση εναλλακτικής μεθοδολογίας που συνδυάζει την συστηματική χρήση (γεω)μορφομετρικών φίλτρων-δεικτών και αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης.

Τα διαθέσιμα δεδομένα καταγράφηκαν σε περιοχή της Γερμανίας. Η περιοχή μελέτης αφορά σε εικόνα μεγέθους 7640 x 4440 εικονοστοιχείων (pixels), ανάλυσης (resolution) 0,5μέτρων, η οποία για την ευχερέστερη επεξεργασία της, διαιρέθηκε σε τρεις μικρότερες περιοχές με εικόνες μεγέθους 2565 x 4440 pixels η κάθε μια.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι πολυφασματικά και υψομετρικά. Τα πολυφασματικά δεδομένα, έχουν ληφθεί από γραμμικό σαρωτή τεσσάρων καναλιών και τα υψομετρικά δεδομένα από σαρωτή τεχνολογίας LiDAR.

Τα εν λόγω δεδομένα συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού μεγίστων τιμών DSM FE Highest values.
- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους DTM (Digital Terrain Model).
- Ψηφιακό μοντέλο διαφορών DSM_FE-DSM_LE.
- Ψηφιακά δεδομένα εικόνων στα τέσσερα φασματικά κανάλια Red, Green Blue, Infrared.

Για την υλοποίηση της μεθοδολογίας της εργασίας, χρησιμοποιούνται δύο κύριες προσεγγίσεις, αφενός μεν της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνων μέσω του λογισμικού **e-Cognition (9.0)** και αφετέρου δε της γεωμορφομετρίας, μέσω του λογισμικού **System for Automated Geoscientific Analyses -SAGA-GIS (2.0.8)**, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της προεπεξεργασίας – δημιουργίας παραγώγων της υψομετρικής πληροφορίας. Το λογισμικό **e-Cognition (9.0)**, αναπτύχθηκε από την **DEFINIENS Imaging GmbH** (πλέον **Trimble Navigation Ltd**), ενώ το λογισμικό **SAGA-GIS (2.0.8)** ανήκει στην κατηγορία ψηφιακών αλγορίθμων ανοικτής πηγής (**Free Open Source Software -FOSS**) και αναπτύσσεται πλέον με μέριμνα ομάδας επιστημονικού προσωπικού του Department of Physical Geography, Hamburg .

Από τα παραπάνω αρχικά δεδομένα που ήταν διαθέσιμα για τη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας, τα πρώτα τρία (υψομετρικά) εισάγονται στο λογισμικό **SAGA-GIS (2.0.8)** και προκύπτουν τα παρακάτω θεματικά επίπεδα με τους αντίστοιχους για κάθε περίπτωση σκοπούς:

- Για τον σκοπό της διάκρισης των υπέργειων αντικειμένων:

Θεματικό επίπεδο διαφοράς του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Terrain Model, DTM) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού μεγίστων τιμών (DSM First Echo Highest Values) DIFF (FEH-DTM)

- Για τον σκοπό της ανίχνευσης των ακμών:
 - Το Θεματικό επίπεδο κλίσης (SLOPE) της διαφοράς του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας τελευταίου παλμού (DSM_LE) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του πρώτου παλμού (DSM_FE), σε συνδυασμό με το
 - Το Θεματικό επίπεδο του Τοπογραφικού δείκτη τραχύτητας του εδάφους (TRI), της διαφοράς του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας τελευταίου παλμού (DSM_LE) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του πρώτου παλμού (DSM_FE) .

Διευκρινίζεται ότι τα θεματικά επίπεδα της Κλίσης (SLOPE) και του Τοπογραφικού δείκτη τραχύτητας του εδάφους (TRI), δημιουργήθηκαν για τον εντοπισμό των ακμών. Ακμή θεωρείται το σύνορο μεταξύ δύο ομογενών περιοχών μιας εικόνας που έχουν διαφορετικές εντάσεις φωτεινότητας, με άλλα λόγια αντιπροσωπεύει μια τοπική μεταβολή της φωτεινότητας. Οι ακμές βρίσκονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από μεγάλη κλίση και έντονη ετερογένεια εδάφους. Έτσι, οι περιοχές εκείνες, όπου ο ρυθμός μεταβολής του υψομέτρου (κλίση) παρουσιάζει μεγάλες τιμές, είναι πιθανά σημεία ύπαρξης ακμών. Επίσης, σε περιοχές όπου η μεταβολή του υψομέτρου μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων είναι μεγάλη, (μεγάλη ετερογένεια εδάφους), είναι επίσης πιθανό να περιέχονται ακμές.

Ο εντοπισμός των ακμών βοηθά στη συνέχεια στην ανίχνευση των κτιρίων, αφού τα υπόψη αντικείμενα, στο όριο των επιφανειών τους, (τομή οριζόντιων και κάθετων επιφανειών), παρουσιάζουν επίσης ακμές.

Τα παραπάνω θεματικά επίπεδα, μαζί με τα αρχικά Ψηφιακά δεδομένα εικόνων στα τέσσερα φασματικά κανάλια Red, Green Blue & Infrared, εισάγονται στο λογισμικό **e-Cognition (9.0)**, προκειμένου να υλοποιηθεί η αντικειμενοστρεφής ανάλυση.

Από τις τρεις υπό επεξεργασία περιοχές στις οποίες χωρίστηκε η αρχική εικόνα, στην πρώτη περιοχή, που αποτελείτο κυρίως από αγροτική έκταση μαζί με λίγο αστική, η επεξεργασία των δεδομένων περιλαμβάνει την δημιουργία δύο (2) επιπέδων κατάτμησης και ισάριθμων επιπέδων ταξινόμησης.

Στη δεύτερη περιοχή, που αποτελείτο καθαρά από αστική έκταση δημιουργούνται επίσης δύο (2) επίπεδα κατάτμησης και δύο (2) ταξινόμησης, όπως και στην πρώτη.

Στην τρίτη περιοχή, που περιείχε έναν συνδυασμό αγροτικής, αστικής και βιομηχανικής έκτασης, δημιουργήθηκαν επίσης δύο (2) επίπεδα κατάτμησης και δύο (2) ταξινόμησης, όπως και στις προηγούμενες.

Σε όλες τις εξεταζόμενες περιοχές ακολουθούνται παρόμοιες διαδικασίες, με λίγες μόνο τροποποιήσεις στα όρια των πεδίων τιμών των ιδιοτήτων των κατηγοριών που δημιουργήθηκαν στο στάδιο της ταξινόμησης.

Αρχικά σ' όλες τις περιοχές δημιουργείται το Επίπεδο 1 (Level 1), όπου επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των αντικειμένων σε ψηλά και χαμηλά. Αυτά στην συνέχεια διαιρούνται περαιτέρω σε άλλες κατηγορίες (π.χ ASPHALT, DENSE-VEGETATION, SOIL, IMPERVIOUS κ.τ.λ.) και εντοπίζονται οι ακμές. Το τελευταίο επίπεδο, που θα έχει σκοπό τον εντοπισμό των κτιρίων, θα είναι το Επίπεδο 2 (Level 2). Η τελική ταξινόμηση πραγματοποιείται στο Επίπεδο 2, αποτέλεσμα της οποίας είναι ο εντοπισμός των κτιρίων.

Μετά από τη δημιουργία βάσης γνώσης στο λογισμικό **e- Cognition 9.0**, για την πρώτη περιοχή, διερευνάται και εφαρμογή της ως ενιαίας βάσης γνώσης, για την αυτοματοποιημένη αναγνώριση κτιρίων από παρόμοια δεδομένα στις δύο άλλες περιοχές.

Τέλος, ακολουθεί αξιολόγηση των ταξινομήσεων που πραγματοποιείται με χρήση των εργαλείων που ενσωματώνει το λογισμικό **e-Cognition (9.0)**. Συγκεκριμένα, οι ταξινομήσεις αξιολογούνται με τρεις τρόπους, τη μέθοδο καλύτερης ταξινόμησης (best classification result), τη μέθοδο σταθερότητας ταξινόμησης (classification stability) και τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (error matrix based on samples).

1.3 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία διαμορφώθηκε σε πέντε κεφάλαια. Το *Πρώτο Κεφάλαιο* είναι το παρόν, και καλύπτει το αντικείμενο της εισαγωγής στο σκεπτικό, την γενική μεθοδολογία και την δομή της Εργασίας. Ακολουθεί το *Δεύτερο Κεφάλαιο*, το οποίο πραγματεύεται την ανασκόπηση της σχετικής με το θέμα βιβλιογραφίας. Κατόπιν, στο *Τρίτο Κεφάλαιο*, αναλύεται πλέον διεξοδικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και η υλοποίηση της για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της επιστημονικής διερεύνησης. Στη συνέχεια, στο *Τέταρτο Κεφάλαιο* παρουσιάζεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης που πραγματοποιήθηκε για κάθε περιοχή και επίπεδο ξεχωριστά, καθώς και η αξιολόγηση της εφαρμογής της ενιαίας βάσης γνώσης. Τέλος, στο *Πέμπτο Κεφάλαιο* αναφέρονται τα συμπεράσματα της διερεύνησης που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας καθώς και οι προοπτικές και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

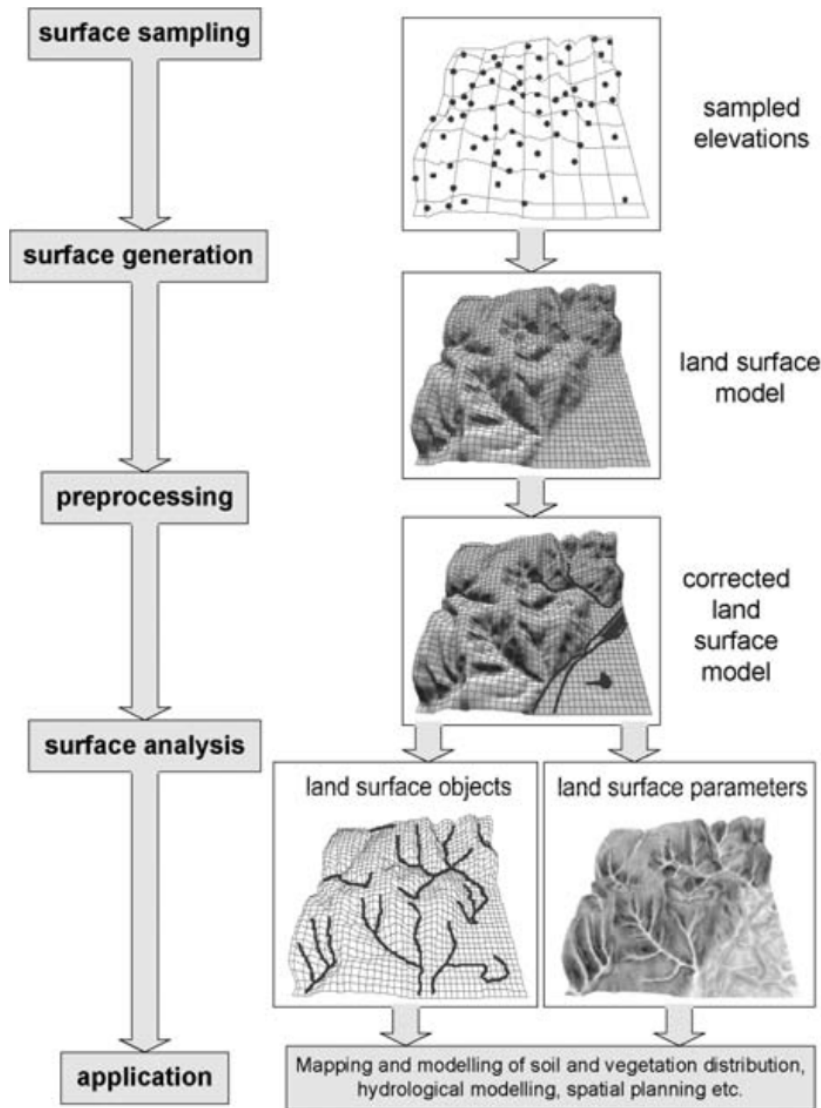
Στο παρόν Κεφάλαιο πραγματοποιείται γενική αναφορά στην επιστήμη της Γεωμορφομετρίας, και της Τηλεπισκόπησης, στις εφαρμογές τους καθώς και στα πλέον πρόσφατα χρησιμοποιούμενα μέσα Τηλεπισκόπησης. Παρατίθεται επίσης περιγραφή της μεθοδολογίας Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης και τέλος περιγράφονται στοιχεία εξοικείωσης με τους χρησιμοποιούμενους στην εργασία ψηφιακούς αλγόριθμους, δηλαδή των χρησιμοποιούμενων πακέτων λογισμικού **e-Cognition** και **SAGA-GIS**.

2.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ

Γεωμορφομετρία είναι η επιστήμη της ποσοτικής ανάλυσης της επιφάνειας του εδάφους (Pike, 1995). Πρόκειται για μία αναλυτική-χαρτογραφική αναπαράσταση της επιφάνειας του εδάφους μέσω υπολογιστικών συστημάτων χρησιμοποιώντας το υψόμετρο του εδάφους (Tobler, 1976,2000). Λανθασμένα πολλές φορές θεωρείται απλά ως ένας τομέας μελέτης των επιστημών της γεωμορφολογίας ή της γεωγραφίας, εντούτοις τα τελευταία κυρίως χρόνια η γεωμορφομετρία δεν αποτελεί πλέον μια συλλογή αριθμητικών μεθόδων και έχει εξελιχθεί σε ένα διεπιστημονικό πεδίο με αυστηρή συνέπεια (Pike, 1995). Η γεωμορφομετρία διακρίνεται στην **γενική**, η οποία ασχολείται με διακριτά επιφανειακά χαρακτηριστικά (π.χ. γεωμορφές) και στην **ειδική** που ασχολείται με συνεχή χαρακτηριστικά της επιφάνειας (Evans, 1972).

Η βάση για την γεωμορφομετρική ανάλυση είναι το υψόμετρο του εδάφους, επομένως για να παραχθούν οι παράμετροι και τα αντικείμενα που περιγράφουν την υπό μελέτη επιφάνεια χρειάζονται Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους – ΨΜΕ (*Digital Elevation Models-DEMs*), τα οποία στην συνέχεια αναφέρονται. Η διαδικασία της γεωμορφομετρικής ανάλυσης, συνοπτικά πραγματοποιείται στα παρακάτω πέντε (5) στάδια, που φαίνονται παραστατικά στην *Εικόνα 2.1*:

1. **Surface Sampling:** Μετρήσεις Πεδίου και Συλλογή Υψομετρικής πληροφορίας.
2. **Surface Generation:** Παραγωγή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM).
3. **Preprocessing:** Προεπεξεργασία και διόρθωση λαθών του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM)
4. **Surface Analysis:** Παραγωγή παραμέτρων και αντικειμένων
5. **Application:** Αξιοποίηση των παραγόμενων παραμέτρων και αντικειμένων (προϊόντων της γεωμορφομετρικής ανάλυσης σε εφαρμογές όπως κατανομή εδαφών και βλάστησης, υδρολογική μοντελοποίηση, χωροθέτηση τεχνικών έργων κλπ.



Εικόνα 2.1: Βήματα γεωμορφομετρικής ανάλυσης, Πηγή: Pike et al., 2009

Διευκρινίζεται ότι οι παράμετροι που παράγονται στο τέταρτο στάδιο της διαδικασίας; της γεωμορφομετρικής ανάλυσης (κλίση, προσανατολισμός, καμπυλότητα κτλ), περιγράφουν την μορφολογία του εδάφους, ενώ τα αντικείμενα που προκύπτουν έπειτα από το στάδιο της ταξινόμησης, είναι τα διακριτά μορφολογικά χαρακτηριστικά που συνθέτουν την επιφάνεια.

2.1.1 Γενική Γεωμορφομετρία

Ο Evans (1972) διαχώρισε τις μεθόδους γεωμορφομετρικής ανάλυσης σε δύο (2) κατηγορίες, αφενός μεν την γενική (general geomorphometry) και αφετέρου δε την ειδική (specific geomorphometry). Έτσι, ως **γενική γεωμορφομετρία** ορίζεται ο κλάδος ο οποίος ασχολείται με τη μέτρηση και ανάλυση χαρακτηριστικών της μορφολογίας του ανάγλυφου, που εφαρμόζονται σε κάθε συνεχή τραχεία επιφάνεια.

Οι ρίζες αυτής της προσέγγισης προέρχονται από την ανάλυση χαρτογραφικών δεδομένων, καθώς και από τους αντίστοιχους περιγραφικούς δείκτες που τα προσεγγίζουν (Glock, 1932). Σύμφωνα με τον Mark (1975) η ολοκλήρωση αυτής της προσέγγισης, έγκειται στην προσπάθεια ποσοτικοποίησης της “τραχύτητας” του εδάφους. Αρκετοί επιστήμονες προσπάθησαν να αναλύσουν περαιτέρω τις γεωμορφομετρικές παραμέτρους που προέρχονται από τα ΨΜΕ, με προεξάρχοντες τους Spreight (1973), Ohmori and Hirano (1984), Evans (1984) και Pike (1988). Ειδικότερα, ο Evans (1972) εφάρμοσε παραγοντική ανάλυση σε τέσσερα (4) στατιστικά μέτρα (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, ασυμμετρία, κύρτωση) του υψομέτρου, και στα γεωμορφομετρικά παράγωγα (κλίση, προσανατολισμός, καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης, καμπυλότητα κάθετα στη διεύθυνση της κλίσης). Με τον τρόπο αυτό, εντόπισε σημαντικές μεταβλητές, γεγονός που του έδωσε την δυνατότητα να μπορέσει να περιγράψει τις τοπικές διακυμάνσεις της γήινης επιφάνειας. Επιπρόσθετα, αναγνώρισε ότι πολλές από τις μορφομετρικές παραμέτρους που προκύπτουν από ένα ΨΜΕ, ποικίλλουν ανάλογα με το μέγεθος του πλέγματος (grid) που χρησιμοποιείται για να διαμορφωθεί η επιφάνεια σε ΨΜΕ. Επισημαίνεται ότι η έννοια της κλίμακας στην γεωμορφομετρική ανάλυση είναι σημαντική και αποτελεί τη βάση της μελέτης δημιουργίας του ΨΜΕ, επομένως δεν πρέπει να αγνοείται στην περιγραφή των γεωμορφών (Wood J.D, 1996).

2.1.2 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και Παράγωγά του

Από την εισαγωγή του (Miller & Laflamme, 1958) και έπειτα, το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ), έχει αποτελέσει τη βάση για ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών. Η χρήση του, έχει επεκταθεί στους τομείς της τοπογραφίας και φωτογραμμετρίας, στον σχεδιασμό και στη διαχείριση των πόρων, ακόμα και σε στρατιωτικούς σκοπούς. Επιπλέον, αξιοποιείται σε μελέτες περιβάλλοντος, καθώς και υδρολογικές εφαρμογές, όπως οι υδραυλικές μελέτες, ο έλεγχος πλημμυρών, ο σχεδιασμός και η χωροθέτηση εγκαταστάσεων αξιοποίησης υδατικών πόρων, κ.τ.λ.

Ειδικότερα, το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους αποτελεί ένα μαθηματικό μοντέλο της γήινης επιφάνειας, και σύμφωνα με τους Li et al. (2005) ορίζεται ως εξής:

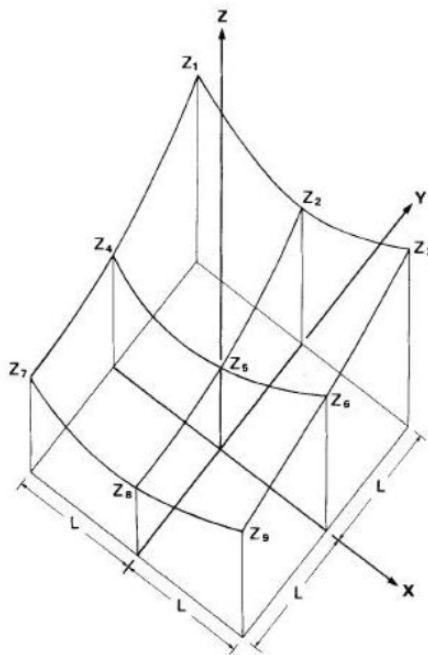
«Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους αποτελεί μια στατιστική απεικόνιση της συνεχούς επιφάνειας του εδάφους από έναν μεγάλο αριθμό επιλεγμένων σημείων με γνωστές τις συντεταγμένες τους X , Y , Z , σε ένα αυθαίρετο πεδίο αναφοράς» (Li et al., 2005)».

Η συλλογή των στοιχείων που είναι απαραίτητα για την δημιουργία του πραγματοποιείται με τις ακόλουθες τεχνικές:

- Αποτύπωση πεδίου με χρήση τοπογραφικών οργάνων υψηλής ακρίβειας.
- Εφαρμογή Φωτογραμμετρικών μεθόδων, χρησιμοποιώντας φωτογραμμετρικά όργανα και στερεοζεύγη αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων

- Χαρτογραφική ψηφιοποίηση σε υπάρχοντες τοπογραφικούς χάρτες
- Υπολογιστική προσομοίωση (π.χ. κλασματική γεωμετρία) (Νάκος, 1990), με χρήση δεδομένων από συστήματα τηλεπισκόπησης (συστήματα LiDAR - δορυφορική αλτιμετρία)

Το αντικείμενο εργασίας των Γεωμορφολόγων, καθώς και των αρμόδιων Μηχανικών όλων εξειδικεύσεων, των σχετικών με την μελέτη του ανάγλυφου της γης, έχουν καταστήσει τη σημασία της μελέτης της επιφάνειας της γης και τις επιπτώσεις της στην Τοπογραφία ως πρωταρχική. Για να εξαχθούν τα απαραίτητα μορφομετρικά χαρακτηριστικά, απαιτείται η ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου που να περιγράφει με την υψηλότερη δυνατή ακρίβεια τη διακύμανση της γήινης επιφάνειας. Οι Young (1978) και Evans (1979) ανέπτυξαν μέθοδο τοπογραφικής ανάλυσης που απέδιδε τέσσερις τοπογραφικούς δείκτες, δηλαδή εκείνους της κλίσης, του προσανατολισμού, της καμπυλότητας παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης (Profile Curvature) και της καμπυλότητας εγκάρσια στη διεύθυνση κλίσης (Planform Curvature). Η μέθοδος αυτή αναφερόταν στον τρόπο αναπαράστασης μιας πλήρους τετραγωνικής επιφάνειας (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2: Τρόπος αναπαράστασης μιας πλήρους τετραγωνικής επιφάνειας με φίλτρο διαστάσεων 3×3, Πηγή: Κούλη, 2014

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα **SAGA GIS** για να εξαχθούν όλοι οι απαραίτητοι δείκτες είναι η μέθοδος των L.W. Zevenbergen και C.R. Thorne (1987). Η μέθοδος αυτή βασίζεται κατά ένα μέρος στην προαναφερόμενη μέθοδο των Young και Evans, όμως είναι πιο εξελιγμένη, καθώς αναπαριστά με ακριβέστερο

τρόπο το μοντέλο της φυσικής γήινης επιφάνειας, μεταξύ των σημείων του πλέγματος.

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένα βασικά γεωμορφομετρικά φίλτρα και δείκτες, δύο (2) εκ των οποίων (κλίση και TRI) χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία:

- **Κλίση:**

Ως κλίση (*slope*) ορίζεται ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής της τιμής του υψομέτρου, για κάθε εικονοστοιχείο του χρησιμοποιούμενου ψηφιακού μοντέλου (εδάφους ή επιφανείας) και των οκτώ (8) γειτονικών του εικονοστοιχείων. Η κλίση, προσδιορίζει τον μεγαλύτερο από τους ρυθμούς μεταβολής υψομέτρου μεταξύ του υπόψη εικονοστοιχείου και των οκτώ (8) γειτονικών του για μια συγκεκριμένη θέση μιας δεδομένης επιφάνεια (Burrough and McDonell, 1998). Όπως φαίνεται στη Σχέση 2.1, Η κλίση δίνεται ουσιαστικά από την πρώτη παράγωγο της συντεταγμένης Z.

$$slope = \frac{\partial Z}{\partial S} = G * \cos \theta + H * \sin \theta \quad (2.1)$$

Όπου:

$$\cos \theta = \frac{-G}{\sqrt{G^2 + H^2}}$$

$$\sin \theta = \frac{-H}{\sqrt{G^2 + H^2}}$$

Οπότε:

$$slope = -\sqrt{G^2 + H^2} \quad (2.2)$$

Το αρνητικό πρόσημο στην παραπάνω Σχέση 2.2 υποδεικνύει ότι η κατεύθυνση της γωνίας θ έχει κάτωθεν κλίση, που κατά συνθήκη αγνοείται. Η μέγιστη κλίση της γωνίας θ (Σχέση 2.3), βρίσκεται ελαχιστοποιώντας την πρώτη παράγωγο της κλίσης (*slope*) ως προς τη γωνία:

$$\frac{\partial slope}{\partial \theta} = -G * \sin \theta + H * \cos \theta = 0$$

Οπότε:

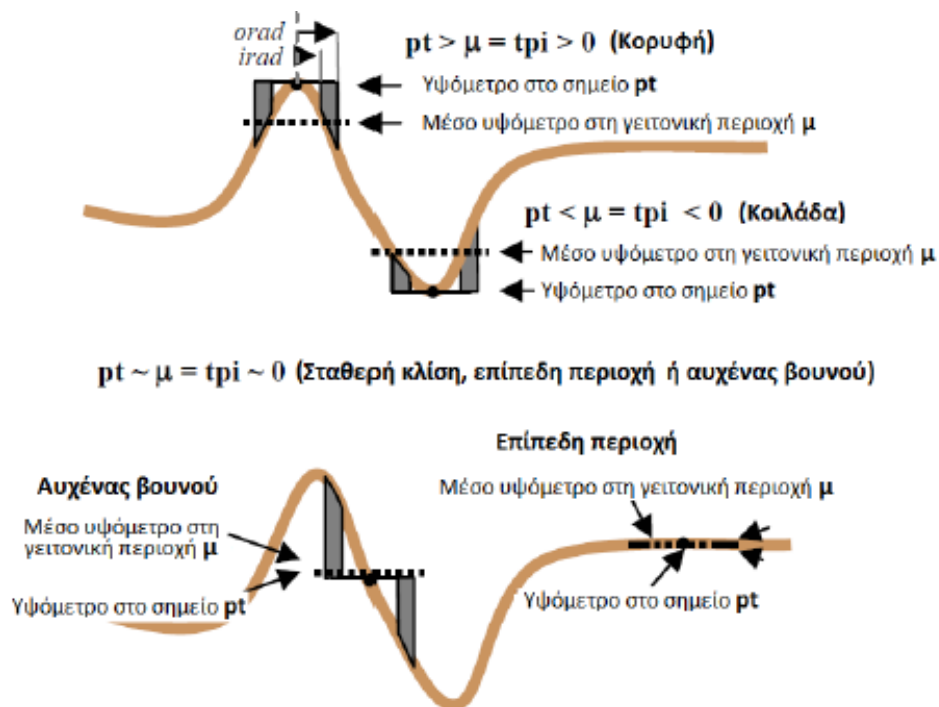
$$\theta = \arctan \frac{-H}{-G} \quad (2.3)$$

- **Δείκτης τοπογραφικής θέσης (Topographic Position Index):**

Ο δείκτης τοπογραφικής θέσης (*Topographic Position Index*), συγκρίνει το υψόμετρο κάθε εικονοστοιχείου του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, με το μέσο υψόμετρο της

γειτονικής περιοχής περί το εικονοστοιχείο. Οι **θετικές τιμές** του δείκτη τοπογραφικής θέσης, υποδηλώνουν τις **περιοχές** οι οποίες έχουν **μεγαλύτερο υψόμετρο** από το μέσο υψόμετρο της γύρω περιοχής και χαρακτηρίζονται ως **κορυφές**, ενώ **αρνητικές τιμές** του δείκτη τοπογραφικής θέσης, αναπαριστούν **περιοχές** οι οποίες βρίσκονται σε **μικρότερο υψόμετρο**, σε σχέση με το υψόμετρο των γειτονικών τους περιοχών και χαρακτηρίζονται ως **κοιλιάδες**. Περιοχές όπου η τιμή του δείκτη TPI είναι κοντά στο **μηδέν**, είτε είναι **επίπεδες περιοχές** (εάν η **κλίση** είναι **κοντά στο μηδέν**), είτε είναι **περιοχές σταθερής κλίσης** (αν η κλίση είναι **αρκετά μεγαλύτερη από το μηδέν**) (Εικόνα 2.3) (Weiss,2001).

Διευκρινίζεται ότι ο εν λόγω δείκτης δεν απαιτήθηκε να χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της επεξεργασίας των δεδομένων της παρούσας.



Εικόνα 2.3: Αναπαράσταση των τιμών του TPI, Πηγή: Αργυροπούλου, 2013

- **Δείκτης τοπογραφικής τραχύτητας (Topographic Ruggedness Index):**

Ο δείκτης αυτός αντιπροσωπεύει το βαθμό ετερογένειας που παρουσιάζει το έδαφος. Ο αλγόριθμος μέσω του οποίου προκύπτει, υπολογίζει τη συνολική μεταβολή του υψόμετρου μεταξύ ενός εικονοστοιχείου και των οκτώ (8) γειτονικών αντίστοιχών του.

$$TRI = Y * \sqrt{\sum (X_{i,j} + X_{0,0})^2}$$

Όπου:

$X_{i,j}$ το υψόμετρο κάθε γειτονικού εικονοστοιχείου

$X_{0,0}$ το υψόμετρο του κεντρικού εικονοστοιχείου

2.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και τέχνη της απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο δια μέσου της ανάλυσης δεδομένων, τα οποία έχουν αποκτηθεί από μέσο, που δεν είναι σε άμεση επαφή με το υπό έρευνα αντικείμενο, περιοχή, ή φαινόμενο.

Ειδικότερα, Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και τεχνική που ασχολείται με τις αρχές, τις αναλογικές και ψηφιακές μεθόδους και τα όργανα μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η από απόσταση συλλογή, επεξεργασία και ανάλυση ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών για τα διάφορα φαινόμενα ή αντικείμενα. Εφαρμόζεται σε επιστήμες όπως η δασολογία, η γεωλογία, γεωμορφολογία, ωκεανογραφία, κλιματολογία, γεωγραφία, περιφερειακή ανάπτυξη αλλά και στην καταγραφή και παρακολούθηση των φυσικών και ανθρώπινων διαθέσιμων γενικότερα (Αργιαλάς 1998).

Ο όρος της Τηλεπισκόπησης όπως φαίνεται και από τον παραπάνω ορισμό, είναι άμεσα συνδεδεμένος με την παρατήρηση από απόσταση, κάποιων φαινομένων και χαρακτηριστικών στην επιφάνεια της γης. Η υπόψη παρατήρηση είναι δυνατή είτε με παραδοσιακούς τρόπους φωτογράφισης, ή με τη χρήση προηγμένων, σύγχρονων τεχνολογικά μέσων, όπως π.χ. σαρωτών που ανιχνεύουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως μια 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 (αερόστατα, αεροπλάνα, ελικόπτερα, μη επανδρωμένα αεροχήματα).

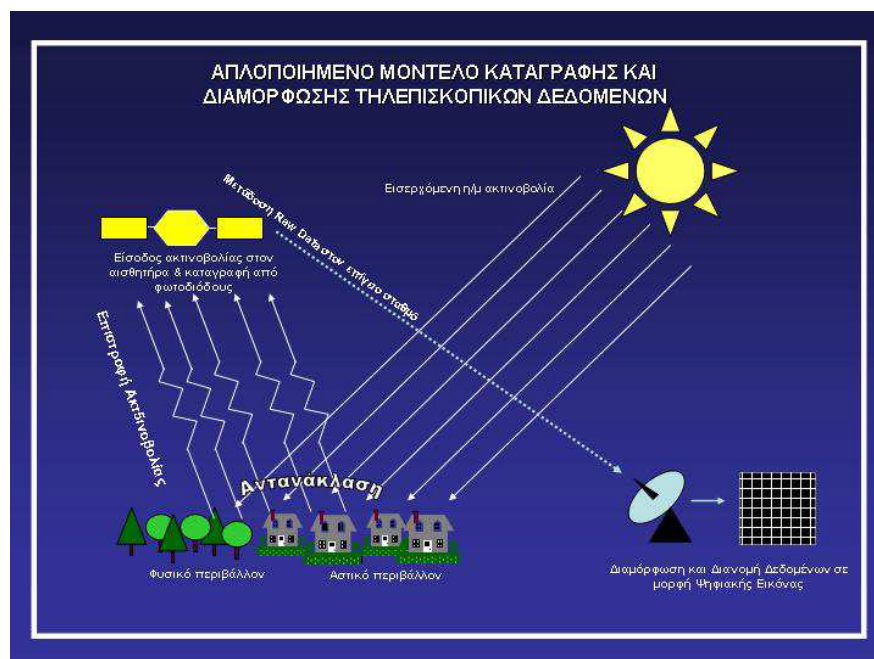
Οι πηγές ψηφιακών δεδομένων περιλαμβάνουν όχι μόνο τους γνωστούς δορυφόρους παρατήρησης και απεικόνισης της γης, αλλά και μετεωρολογικούς δορυφόρους, αερομεταφερόμενους σαρωτές ή να προέρχονται από την εκ των υστέρων σάρωση υπαρχόντων αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων ακόμα και δεδομένων υψηλής διακριτικής ικανότητας που έχουν συλλεχτεί από βιντεοκάμερες.

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα αποτελούν διάφορες καταγραφές της φυσικής και κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας, καθώς και του περιβάλλοντος όπως αυτά προκύπτουν σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή από τους αντίστοιχους δέκτες. Τα δεδομένα που μεταδίδονται από τους δέκτες, μετατρέπονται σε δισδιάστατους πίνακες ν -γραμμών και μ -στηλών, όπου η τιμή κάθε εικονοστοιχείου αντιπροσωπεύει την αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

2.2.1 Αρχή Λειτουργίας Τηλεπισκοπικών Ανιχνευτών

Τα μέσα (ανιχνευτές) που χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση της γήινης επιφάνειας, μετρούν το ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής (Η/Μ) ακτινοβολίας που αντανακλάται από τα διάφορα υλικά που υπάρχουν στην επιφάνεια. Κάθε αντικείμενο- επιφάνεια- υλικό, που βρίσκεται επάνω στη γη, παρουσιάζει μοναδικό τρόπο να αντανακλά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, σε διαφορετικά μήκη κύματος, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 2.4*. Παραδείγματος χάριν, η χλωροφύλλη, ανακλά σε μεγάλο βαθμό την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, στο πράσινο τμήμα του ορατού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και να την απορροφά στο μπλε και κόκκινο τμήμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αντιλαμβανόμαστε το πράσινο χρώμα των ζωντανών φυτών. Έτσι τα διάφορα υλικά εντοπίζονται και στη συνέχεια απεικονίζονται, χρησιμοποιώντας την συμπεριφορά τους, σε ότι αφορά την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης, οι ανιχνευτές για την αναπαράσταση των αντικειμένων, μπορούν να εντοπίσουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, είτε του ορατού φάσματος, ή του φάσματος πέρα από το ορατό. Με τον όρο πέρα από το ορατό φάσμα, εννοείται το φάσμα ακτινοβολίας στο εγγύς υπέρυθρο, στο μέσο υπέρυθρο, στο θερμικό υπέρυθρο, στα μικροκύματα, κ.λπ.. Έτσι, το αποτέλεσμα της εικόνας ποικίλει ανάλογα με τη φασματική ζώνη που λειτουργεί ο αισθητήρας. Για παράδειγμα, 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 2.4: Απλοποιημένο μοντέλο καταγραφής και διαμόρφωσης τηλεπισκοπικών δεδομένων

Όσον αφορά στον τρόπο που λαμβάνονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα ισχύουν τα εξής.

- Μία πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (π.χ. ο ήλιος) που εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις, φωτίζει την γήινη επιφάνεια, αφού περάσει μέσα από τα στρώματα της ατμόσφαιρας, γεγονός που περιορίζει το φασματικό εύρος της ακτινοβολίας που τελικά θα προσπέσει στην επιφάνεια.
- Ένα μέρος της τελικά προσπίπτουσας στην Γη ακτινοβολίας ανακλάται, ενώ άλλα μέρη είτε διαχέονται στο περιβάλλον, ή τέλος απορροφώνται και αποδίδονται και πάλι στο περιβάλλον.
- Η ακτινοβολία που ανακλάται, διέρχεται και πάλι μέσα από την ατμόσφαιρα στην κατεύθυνσή της προς το διάστημα.
- Σε πολύ μεγάλο ύψος (Συνήθως 300 ως 800 χιλιόμετρα από την επιφάνεια της Γης) έχουν τοποθετηθεί σε τροχιά οι τεχνητοί δορυφόροι, που είναι εξοπλισμένοι με τους ανιχνευτές.
- Η ακτινοβολία που ανακλάται προς το διάστημα, διέρχεται μέσα από πρισματικές διατάξεις που τη διαχωρίζουν σε φασματικές ζώνες προκαθορισμένου εύρους και στη συνέχεια οδηγείται σε φωτοδιόδους-CCDs, που μετατρέπουν την ακτινοβολία (ενέργεια) σε ηλεκτρικό σήμα.
- Το εν λόγω σήμα κβαντοποιείται σε μορφή δυαδικών αριθμών και μεταδίδεται προς τη Γη, όπου συλλέγεται από ειδικά εξοπλισμένους επίγειους σταθμούς (ground stations). Κατάλληλα μέσα των υπόψη σταθμών επεξεργάζονται, διορθώνουν και το τροποποιούν τα σήματα, ώστε αυτά να λάβουν την τελική μορφή ψηφιακής εικόνας που διανέμεται στους τελικούς χρήστες.

Ανάλογα με το χαρακτηριστικό που επιθυμούμε να μελετήσουμε, επιλέγεται ο κατάλληλος φασματικός τύπος του ανιχνευτή, έτσι ώστε να λαμβάνεται η μέγιστη ποσότητα πληροφοριών για κάθε μια περίπτωση. Εάν για παράδειγμα υπάρχει ενδιαφέρον να μελετηθούν τα παράκτια θαλάσσια οικοσυστήματα, θα πρέπει να εξετασθούν 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 μιας ακτογραμμής, θα απαιτηθεί το φασματικό τμήμα στο εγγύς υπέρυθρο, καθώς το νερό απορροφά πλήρως την Η/Μ ακτινοβολία σε αυτό το τμήμα, ενώ το έδαφος (ακτή) θα εμφανίζει ανάκλαση, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μια σαφής διαφοροποίηση που είναι κατάλληλη για την αποτύπωση του ορίου ύδατος και ακτής.

2.2.2 Κατηγορίες Δεκτών Ανιχνευόμενης Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας

Ανάλογα με την προέλευση της αντανακλώμενης και στη συνέχεια ανιχνευόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, τα χρησιμοποιούμενα μέσα συλλογής της, όπως σαρωτές και ανιχνευτές (ή αισθητήρες), μπορούν να διακριθούν σε παθητικούς και

ενεργητικούς. *Παθητικοί* είναι οι δέκτες που ανιχνεύουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από μία φυσική πηγή (συνήθως ο ήλιος), ενώ ενεργητικοί δέκτες 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 τον αριθμό των καναλιών που ανιχνεύουν και με το φασματικό τους εύρος. Ένας ανιχνευτής που καταγράφει σε μία μόνο 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*.

2.2.3 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Τηλεπισκοπικών Δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που μεταδίδονται από τους ανιχνευτές μετατρέπονται σε δισδιάστατους πίνακες *ν*-γραμμών και *μ*-στηλών, όπου η τιμή κάθε εικονοστοιχείου αντιπροσωπεύει την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Γενικά τα τηλεπισκοπικά δεδομένα- ψηφιακές εικόνες, χαρακτηρίζονται από τις παρακάτω ποιοτικές παραμέτρους:

- **Χωρική ανάλυση:** Είναι η χωρική διακριτική ικανότητα της εικόνας, δηλαδή το μέγεθος του εικονοστοιχείου (pixel) σε πραγματικές διαστάσεις. Η χωρική ανάλυση καθορίζει τις ελάχιστες διαστάσεις των αντικειμένων που είναι ικανά να αποτυπωθούν στη ψηφιακή εικόνα. Υψηλής χωρικής ανάλυσης εικόνες, έχουν μέγεθος pixel από 0,6 m έως και 15 m.
- **Φασματική ανάλυση:** Είναι το φασματικό εύρος κάθε φασματικού καναλιού. Εικόνες με μικρό φασματικό εύρος (π.χ. 10 νανόμετρα) χαρακτηρίζονται από υψηλή φασματική ανάλυση και προσφέρονται για λεπτομερή εξέταση-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. κατά το πόσο μπορεί ένα αντικείμενο γαλάζιας απόχρωσης να διακριθεί από ένα αντικείμενο μπλε απόχρωσης)

2.2.4 Προεπεξεργασία Ανάλυση και Ερμηνεία Δεδομένων

2.2.4.1 Προεπεξεργασία

Η ορθή αξιοποίηση των τηλεπισκοπικών δεδομένων προϋποθέτει την κατάλληλη **προεπεξεργασία** τους, ώστε να απαλειφθεί μια σειρά σφαλμάτων, αλλοιώσεων και μεταβολών, που εάν παρέμεναν θα υποβάθμιζαν την ποιότητα της τελικής πληροφορίας και θα οδηγούσαν αντίστοιχα σε εσφαλμένα ή αλλοιωμένα συμπεράσματα. Σκοπός της διόρθωσης εικόνων είναι η εξάλειψη των γεωμετρικών και ραδιομετρικών παραμορφώσεων που υφίσταται η εικόνα, κατά τη διαδικασία λήψης. Οι διορθώσεις που πρέπει να γίνουν αφορούν σε:

- **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 σχετικής 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 γενικά σε σφάλματα και αλλοιώσεις που προέρχονται από τα τεχνικά στοιχεία της διαδικασίας καταγραφής και μετάδοσης. Στις ραδιομετρικές διορθώσεις εντάσσονται και οι μέθοδοι που προσπαθούν να διορθώσουν ραδιομετρικά σφάλματα προερχόμενα από την επίδραση του ανάγλυφου, 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 εικονοστοιχείων (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 οι αλγόριθμοι MODTRAN ως μέθοδος μετάδοσης ακτινοβολίας

2.2.4.2 Ανάλυση και ερμηνεία

Η ανάλυση και η ερμηνεία είναι οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται μετά το στάδιο της προεπεξεργασίας. Η **ανάλυση** των τηλεπισκοπικών δεδομένων μπορεί να διακριθεί σε τρεις γενικές κατηγορίες: την ποσοτική ανάλυση, την ποιοτική ανάλυση και την οπτική ανάλυση (ή φωτοερμηνεία). Στην πρώτη κατηγορία 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 εικονοστοιχείων (pixels) ώστε να εξάγει πληροφορίες αναφερόμαστε σε οπτική ανάλυση. Κάθε κατηγορία απαιτεί διαφορετική αντιμετώπιση και διαφορετικές μεθόδους και εργαλεία ανάλυσης. Επίσης, σε κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες απαιτείται διαφορετική αντιμετώπιση ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων δεδομένων (χωρική ανάλυση, φασματική ανάλυση και ραδιομετρική ανάλυση).

Η ερμηνεία των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων μπορεί να γίνει, είτε οπτικά ή ψηφιακά (αυτόματα). Η οπτική ερμηνεία στηρίζεται κυρίως στην ποιοτική φωτοερμηνεία των εικόνων, ενώ η ψηφιακή στηρίζεται στην ποσοτική κατάταξη των εικονοστοιχείων μιας εικόνας σε συγκεκριμένες φασματικές κατηγορίες ή σε μεθόδους αναγνώρισης και εξαγωγής αντικειμένων. Τόσο η ποιοτική, όσο και η ποσοτική μέθοδος έχουν και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η επιτυχία της φωτοερμηνείας εξαρτάται από την επιδεξιότητα και εμπειρία του φωτοερμηνευτή στην αποτελεσματική χρησιμοποίηση των χωρικών, φασματικών και διαχρονικών πληροφοριών που αφορούν στο συγκριμένο γνωστικό πεδίο.

Η ενίσχυση των εικόνων συμβάλλει στην ποιοτικότερη και πιο εύκολη φωτοερμηνεία των δορυφορικών εικόνων, καθώς επιχειρεί να βελτιστοποιήσει της συμπληρωματικές ικανότητες ανθρώπου και υπολογιστή (Αργιολάς, 1998). Οι τεχνικές ενίσχυσης περιλαμβάνουν την κατωφλίωση τόνων του γκρι, την τεμαχιοποίηση και επέκταση ιστογράμματος, την εφαρμογή χωρικών φίλτρων, την ενίσχυση ακμών κ.α.

Η ψηφιακή επεξεργασία δορυφορικών εικόνων στηρίζεται στην ανάλυση και περιγραφή των αντικειμένων και των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας περισσότερο ως κατηγορίες, δηλαδή ως ομάδες όμοιων αντικειμένων παρά ως υλικών. Αυτός είναι άλλωστε και ο τρόπος που αντιλαμβάνεται μία εικόνα ο ανθρώπινος εγκέφαλος, δηλαδή τη χωρίζει σε ομοιογενείς περιοχές. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται *ταξινόμηση*. Υπάρχουν δύο ιδιότητες βάσει των οποίων

διαχωρίζουμε τις κατηγορίες που εμπεριέχονται σε μία εικόνα, ακόμα και αν κάποιες από αυτές αποτελούνται από τα ίδια υλικά. Οι ιδιότητες αυτές που είναι το σχήμα και το γενικότερο περιβάλλον. Επίσης, υπάρχουν δύο είδη ταξινόμησης με βάση τα φασματικά κριτήρια των αντικειμένων της εικόνας, η *επιβλεπόμενη* και η *μη επιβλεπόμενη*. Η διαφορά μεταξύ των δύο ειδών αφορά στο στάδιο της επίβλεψης, κατά το οποίο ο φωτοερμηνευτής αναγνωρίζει τις κατηγορίες που εμπεριέχονται στην εικόνα και ξεκινά τη δειγματοληψία, έτσι ώστε να τις περιγράψει με όσο το δυνατόν καταλληλότερα και αντιπροσωπευτικότερα χαρακτηριστικά. Αντίθετα, στην μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση περιλαμβάνονται αλγόριθμοι ομαδοποίησης των εικονοστοιχείων με βάση τις φυσικές ομαδοποιήσεις ή συσσωρεύσεις που ενυπάρχουν στις ψηφιακές τιμές της εικόνας (Αργιαλάς, 1998).

Η διαδικασία της ταξινόμησης εξελίχθηκε με την εισαγωγή του όρου «αντικείμενο» στην ανάλυση της εικόνας. Δε χρησιμοποιούνται πλέον όχι μόνο φασματικά αλλά και τοπολογικά και ιεραρχικά κριτήρια για την ταξινόμηση, όχι πλέον εικονοστοιχείων (pixels) αλλά αντικειμένων που προέκυψαν από μία επιβλεπόμενη διαδικασία κατάτμησης της εικόνας σε ομοιογενείς περιοχές. Αυτού του είδους η ταξινόμηση επιτρέπει την ανάπτυξη βάσης γνώσης και εμπειρών συστημάτων ανάλυσης των τηλεπισκοπικών δεδομένων.

α) Οπτική προσέγγιση:

Η διαδικασία της οπτικής αναγνώρισης η οποία συνδέεται με την ποιοτική προσέγγιση για ερμηνεία αποτελείται από τα εξής βήματα:

1) Διαδικασία ανίχνευσης: Η ανίχνευση εξαρτάται από τη διακριτική ικανότητα του δέκτη, η οποία ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή και το είδος του δορυφόρου. Η διακριτική ικανότητα διακρίνεται σε:

- **Χωρική διακριτική ικανότητα (Spatial Resolution):** Είναι η ικανότητα του δέκτη να ξεχωρίζει πολύ κοντινά αντικείμενα ή πληροφορίες στην απεικόνιση (ποσοτικά ισούται με τη μικρότερη απόσταση που μπορούν να έχουν δύο αντικείμενα, έτσι ώστε να εμφανίζονται ξεχωριστά).
- **Χρονική διακριτική ικανότητα (Temporal Resolution):** Είναι η ικανότητα του δέκτη η οποία σχετίζεται με τη συχνότητα λήψης απεικονίσεων για την ίδια γεωγραφική περιοχή.
- **Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (Radiometric Resolution):** Ορίζεται ως η ευαισθησία του δέκτη να καταγράφει διαφορές στην ισχύ του σήματος.
- **Φασματική διακριτική ικανότητα (Spectral Resolution):** Η ικανότητα η οποία περιλαμβάνει το εύρος των περιοχών του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στις οποίες πραγματοποιεί καταγραφές

έναν πολυφασματικό δέκτης, καθώς και τον αριθμό των καναλιών που χρησιμοποιούνται.

2) Διαδικασία αναγνώρισης αντικειμένων/εμφανίσεων στην περιοχή ενδιαφέροντος: Η αναγνώριση στη περιοχή ενδιαφέροντος περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Στάδιο αναγνώρισης γενικών κατηγοριών και σχημάτων.
- Στάδιο ανάλυσης ομοιοτήτων και διαφορών και τέλος.
- Στάδιο της συσχέτισης με το περιβάλλον, όπου χρησιμοποιούνται φωτοερμηνευτικά κλειδιά, πορίσματα επιγείων ελέγχων και πορίσματα δειγματοληψιών. Τα βασικά φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι: ο τόνος, το χρώμα, το μέγεθος, το σχήμα, το πρότυπο, η υφή, η σκιά, η θέση/τοποθεσία και η σχέση με το περιβάλλον.

3) Διαδικασία ανάλυσης: Η διαδικασία αυτή, περιλαμβάνει την οριοθέτηση των περιοχών που παρουσιάζουν ομοιογένεια ως προς τα χαρακτηριστικά τους.

4) Διαδικασία οριοθέτησης: Εδώ γίνεται η οριοθέτηση σε κατηγορίες η οποία και οδηγεί στην δημιουργία ενός θεματικού χάρτη της περιοχής που μας ενδιαφέρει, ο οποίος με τη σειρά του, μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (G.I.S).

Τα πλεονεκτήματα της οπτικής προσέγγισης είναι τα ακόλουθα (Αργιαλάς, 1998):

- Άμεση επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα με αποτέλεσμα υψηλού επιπέδου νοητικές αποφάσεις και συμπεράσματα.
- Παρουσιάζει βέλτιστα αποτελέσματα σε χωρικές εκτιμήσεις.
- Η αναγνώριση του σχήματος, των προτύπων υφής και των αντικειμένων είναι σχετικά εύκολη, για έμπειρους φωτοερμηνευτές σε εξειδικευμένα αντικείμενα,
- Όταν υπάρχουν έμπειροι φωτοερμηνευτές εξάγονται εύκολα συμπεράσματα.
- Οι γνώσεις του χρήστη μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά ποιοτικό τρόπο.

Από την άλλη πλευρά τα μειονεκτήματα της προσέγγισης είναι τα εξής:

- Δεν είναι αποτελεσματική η φωτοερμηνεία στον ακριβή καθορισμό της έκτασης των επιφανειών των διαφόρων ειδών εδαφοκάλυψης,

- Μόνο τρία κανάλια μπορούν να εξεταστούν ταυτόχρονα από τον φωτοερμηνευτή, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η φωτοερμηνευτική διαδικασία.
- Ο φωτοερμηνευτής δεν είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει όλο το εύρος της διαθέσιμης ραδιομετρικής διαχωριστικής ικανότητας των περισσοτέρων σαρωτών.
- Ο φωτοερμηνευτής μπορεί να αφομοιώσει ελάχιστα μόνο εικονοστοιχεία (pixels), σε μία δεδομένη χρονική στιγμή.
- Γενικά είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα προσέγγιση, με αποτέλεσμα να είναι δυσχεραίνεται η επεξεργασία μεγάλης ποσότητας δεδομένων.

β) Ψηφιακή προσέγγιση:

Η διαδικασία της ψηφιακής αναγνώρισης, για την οποία χρησιμοποιείται κυρίως ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, αποτελεί ίσως τη μοναδική λύση η οποία συνδέεται με την ποσοτική προσέγγιση για ερμηνεία, αποτελείται δε από τα εξής βήματα:

1) Μετατροπή της αναλογικής απεικόνισης σε ψηφιακή μορφή: Η εν λόγω μετατροπή αφορά στην περίπτωση των αεροφωτογραφιών με αποτύπωση σε φιλμ. (το βήμα αυτό δεν χρειάζεται, αν πρόκειται για δεδομένα που προέρχονται από δορυφόρους και λαμβάνονται απευθείας σε ψηφιακή μορφή).

2) Επεξεργασία δεδομένων: Που περιλαμβάνει συνήθως ραδιομετρική και γεωμετρική διόρθωση.

3) Εξαγωγή χαρακτηριστικών (feature extraction): Στο στάδιο αυτό επιλέγονται οι μετρήσεις που είναι απαραίτητες για την αναγνώριση ενός αντικείμενου/εμφάνισης και την ταξινόμησή του. Τα χαρακτηριστικά μπορεί να είναι χωρικά, φασματικά και χρονικά.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η ταξινόμηση εφαρμόζεται μια από τις παρακάτω δυο μεθόδους (Αργιαλάς, 1998) (οι μέθοδοι αναλύονται περισσότερο στο εδάφιο 2.8.8.2 *Είδη Ταξινόμησης*):

- **Επιβλεπόμενη ταξινόμηση:** Απαιτεί τη συλλογή από τον χρήστη δεδομένων εκπαίδευσης από κάθε θεματική κατηγορία. Το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης συνίσταται από εικονοστοιχεία (pixels) με γνωστή εκ των προτέρων ταυτότητα που ομαδοποιεί ο χρήστης, συνήθως σε πολύγωνα δεδομένων εκπαίδευσης πάνω στην οθόνη του συστήματος επεξεργασίας εικόνων και που χρησιμοποιούνται για την επίβλεψη του αλγορίθμου ταξινόμησης. Τα δεδομένα αυτά, τα οποία δεν είναι παρά μια ομάδα εικονοστοιχείων (pixels), θα “εκπαιδεύσουν” τον υπολογιστή να αναγνωρίζει τα διάφορα αντικείμενα/εμφανίσεις (θεματικές τάξεις), μέσω προσδιορισμού

στατιστικών παραμέτρων, όπως μέσους όρους, τυπική απόκλιση, πίνακες μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας. Στη συνέχεια οι παράμετροι αυτές συγκρίνονται με τις αντίστοιχες παραμέτρους άλλων περιοχών της απεικόνισης που είναι άγνωστες, μέσω συγκεκριμένου κάθε φορά αλγόριθμου ταξινόμησης, όπως ο αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας, ελάχιστης απόστασης, παραλληλεπιπέδου, Mahalanobis, κλπ, με τελικό αποτέλεσμα την ταξινόμηση όλων των pixel της απεικόνισης σε θεματικές τάξεις.

- **Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση:** Στη μέθοδο αυτή, σε αντίθεση με την προηγούμενη, δεν χρησιμοποιούνται δεδομένα εκπαίδευσης. Η ψηφιακή πολυφασματική εικόνα κατηγοριοποιείται σε ομοιογενείς (αλλά όχι σε θεματικές) φασματικές τάξεις, ανάλογα με τη “φασματική τους υπογραφή” χωρίς να πραγματοποιείται “εκπαίδευση” του υπολογιστή. Η σχέση των φασματικών τάξεων που ταξινομήθηκαν, με τις επιθυμητές θεματικές τάξεις προσδιορίζεται μετά το στάδιο της ταξινόμησης, με τη βοήθεια εργασίας πεδίου, με επίγειους ελέγχους και με σύγκριση αεροφωτογραφιών. Η μη επιβλεπόμενη προσέγγιση περιλαμβάνει τις μεθόδους ανάλυσης συσσωρεύσεων, τις μεθόδους επιλογής επικρατουσών τιμών του ιστογράμματος κ.α.

Επιπλέον, στην ψηφιακή προσέγγιση ανήκει και η μεθοδολογία της εξαγωγής χαρακτηριστικών-αντικειμένων από μια εικόνα. Η μέθοδος αυτή διακρίνεται σε δυο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία βασίζεται στην *εύρεση ορίων*, ενώ η δεύτερη, στην *εύρεση περιοχών*. Η εύρεση ορίων αναφέρεται σε τεχνικές ανίχνευσης ακμών και εξέλιξης ενεργών περιγραμμάτων, ενώ η εύρεση περιοχών βασίζεται σε τεχνικές τοπικής ανάλυσης επέκτασης-ένωσης περιοχών, σε τεχνικές στατιστικής ανάλυσης, και σε μεταβολικές μεθόδους.

Ανεξάρτητα από την εφαρμοζόμενη μεθοδολογία, ως πλεονεκτήματα της προσέγγισης αυτής χαρακτηρίζονται τα εξής:

- Απαιτεί μικρή ανθρώπινη παρέμβαση και συμβολή.
- Παρουσιάζει υψηλή ποσοτική ακρίβεια, η οποία προέρχεται από την δυνατότητα του υπολογιστή να επεξεργαστεί το κάθε εικονοστοιχείο (pixel) σε μια εικόνα.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επεξεργαστεί μια εικόνα στο επίπεδο του εικονοστοιχείου (pixel) και να αναγνωρίσει όσα εικονοστοιχεία (pixels) απαιτούνται στην εκάστοτε ανάλυση.
- Οι ποσοτικοί αλγόριθμοι μπορούν να επεξεργαστούν συγχρόνως πολυδιάστατα δεδομένα και να χρησιμοποιούν όλα τα επίπεδα της ραδιομετρικής διαχωριστικής ικανότητας.

Τέλος, ως μειονέκτημα της ψηφιακής προσέγγισης χαρακτηρίζεται το γεγονός ότι είναι ανεπαρκής στην απόδοση χωρικών και σημασιολογικών σχέσεων, κάτι που οφείλεται στην δυσκολία με την οποία μπορούν να εξαχθούν αποφάσεις για το σχήμα, το μέγεθος, τη διεύθυνση και την υφή με χρήση των μέχρι σήμερα γνωστών αλγορίθμων. Η πρόοδος με τις νέες τεχνικές της τεχνητής οράσεως και εμπειρικών συστημάτων, καθώς και τους υπολογιστές-λογισμικό παράλληλης επεξεργασίας μπορεί να βοηθήσουν στο να παρακαμφθούν μερικά από αυτά τα προβλήματα.

2.2.5 Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης

Οι πληροφορίες που λαμβάνουμε από τηλεπισκοπικούς ανιχνευτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μια απλή απεικόνιση ενός τμήματος της επιφάνειας του πλανήτη μας, έως τον υπολογισμό μεταβολής του ανάγλυφου μετά από έναν σεισμό. Πολλοί επιστημονικοί τομείς αξιοποιούν τα δεδομένα αυτά για διάφορους σκοπούς, σύμφωνα με τις ανάγκες τους: για παράδειγμα οι μετεωρολόγοι τα χρησιμοποιούν για την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας και την πρόβλεψη του καιρού, οι χωροτάκτες για τον σχεδιασμό χρήσεων γης, οι βιολόγοι για τη μελέτη των οικοσυστημάτων και την εφαρμογή και δοκιμή μοντέλων, οι γεωπόνοι για την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση γεωργικών εκτάσεων, οι δασολόγοι για την πρόγνωση και παρακολούθηση δασικών πυρκαγιών, οι ωκεανογράφοι για τη χαρτογράφηση των βιοφυσικών παραμέτρων των ωκεανών, οι γεωλόγοι για τον εντοπισμό κοιτασμάτων, οι τοπογράφοι για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους κ.ά..

2.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ CCD

Η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ονομάζεται ψηφιοποίηση (digitization ή quantization) και είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί είτε έμμεσα, με σάρωση της αναλογικής εικόνας, ή άμεσα, με απευθείας καταγραφή σε ψηφιακή μορφή.

Σε κάθε περίπτωση όμως χρησιμοποιείται μια τεχνική μετατροπής του αναλογικού σήματος (φως), σε ψηφιακό (analog-to-digital, A/D conversion). Μετά από σχετικές έρευνες και αντίστοιχη τεχνολογική πρόοδο, η μετατροπή αυτή επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση της ιδιότητας του πυριτίου να παράγει αρνητικώς φορτισμένα ιόντα όταν αυτά εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το ορατό φως. Μετατρέπεται δηλαδή το φως, που εξακολουθεί να είναι αναλογικό σήμα, σε ηλεκτρικό ρεύμα, που είναι ψηφιακά μετρήσιμο και αποθηκεύσιμο μέγεθος. Ένα από τα προϊόντα της σύγχρονης τεχνολογικής προόδου είναι και το φωτοευαίσθητο στοιχείο (sensor element, sel), το οποίο έχει σκοπό να υλοποιεί αυτήν ακριβώς την μετατροπή. Για την καταγραφή της ψηφιακής εικόνας, οι σύγχρονοι ψηφιακοί δέκτες έχουν ένα σύνολο από τέτοια φωτοευαίσθητα στοιχεία (sel), στη θέση όπου δημιουργείται το είδωλο της απεικόνισης από τα οπτικά στοιχεία (φακούς, κάτοπτρα κ.λπ.). Το εν λόγω σύνολο φωτοευαίσθητων στοιχείων, είναι προσαρμοσμένο πάνω σε μια βάση από ημιαγώγιμο υλικό και έχει ουσιαστικά τη

μορφή ενός μικροεπεξεργαστή (microchip). Η διάταξη αυτή έχει επικρατήσει να λέγεται αισθητήρας (sensor). Έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς διάφορες τεχνικές για την λειτουργία των αισθητήρων αυτών, όπως η MOS (Metal Oxide Semiconductor, Ημιαγωγός οξειδίου του μετάλλου) ή η CID (Charge Injection Device, συσκευή έγχυσης του φορτίου) και η CCD (Charge Couple Device, συσκευή συζευγμένου φορτίου). Η τελευταία γνώρισε μεγάλη ανάπτυξη και έτεινε να επικρατήσει στο σύνολο σχεδόν των συστημάτων ψηφιακής καταγραφής (σαρωτές, ψηφιακές μηχανές, βιντεοκάμερες κ.λπ.), μέχρι την εξάπλωση μιας παράλληλης τεχνολογίας της CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor, συμπληρωματικός ημιαγωγός οξειδίου του μετάλλου).

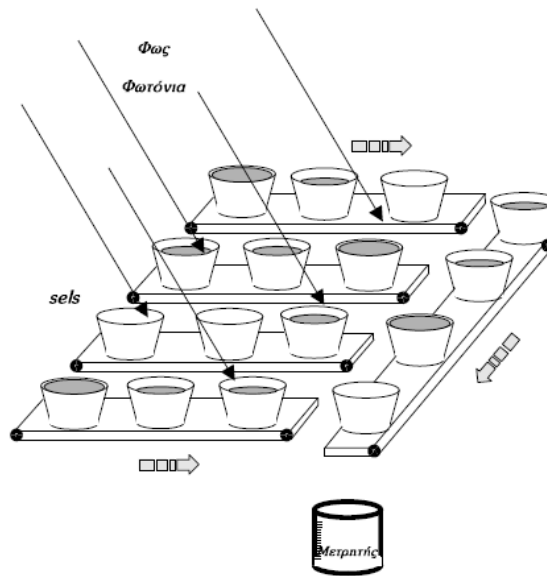
2.3.1 Μέθοδος Λειτουργίας CCD

Ο αισθητήρας Charge-Coupled device (CCD) είναι ένας φωτοευαίσθητος αισθητήρας, που μεταφράζεται ως διάταξη συζευγμένου φορτίου. Πρόκειται για ένα μεγάλης κλίμακας ολοκληρωμένο κύκλωμα, όπου βρίσκονται διατεταγμένα έως και μερικά εκατομμύρια στοιχεία (φωτοδίοδοι) ενός ημιαγωγίου φωτοευαίσθητου υλικού, συνήθως πυριτίου. Όταν ο ανιχνευτής CCD εκτίθεται σε φωτεινή πηγή, οι επιφάνειες των στοιχείων του αναλαμβάνουν την καταγραφή του φωτός, το οποίο μετατρέπουν σε ηλεκτρικό ρεύμα, καθώς σε κάθε ένα από τα στοιχεία απελευθερώνονται ηλεκτρικά φορτία (ηλεκτρόνια), σε ευθεία αναλογία με τα φωτόνια που προσκρούουν πάνω τους και στη συνέχεια το ηλεκτρικό ρεύμα μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα, από τον αντίστοιχο μετατροπέα. Το μέγεθος του μετράται διαγώνια και είναι ανάλογο με την ποιότητα της εικόνας.

Η διαδικασία καταγραφής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από έναν αισθητήρα CCD φαίνεται παραστατικά στην *Εικόνα 2.5*. Ο αισθητήρας αποτελείται συνήθως από μια ορθογωνική διάταξη (γραμμές και στήλες), μεγάλου αριθμού φωτοευαίσθητων στοιχείων (sel). Η πρόσπτωση του φωτός μπορεί να παρασταθεί από μια βροχή φωτονίων, τα οποία συλλέγονται από τα φωτοευαίσθητα στοιχεία. Όπως είναι φυσικό, κάθε φωτοευαίσθητο στοιχείο συλλέγει, διαφορετική ποσότητα φωτονίων, δεδομένου ότι προσπίπτει σε αυτό φως διαφορετικής έντασης. Η ποσότητα αυτή προκαλεί διέγερση ηλεκτρονίων, η οποία μεταφράζεται από κάθε φωτοευαίσθητο στοιχείο σε ηλεκτρικό δυναμικό (ρεύμα), το οποίο πρέπει να μετρηθεί και να καταγραφεί, δηλαδή να ψηφιοποιηθεί, σε μορφή αναγνωρίσιμη από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Έτσι κάθε σειρά ή στήλη, ανάλογα με το σύστημα λειτουργίας του αισθητήρα CCD, μεταφέρεται σε κάποιο μετρητή και καταγράφεται. Ουσιαστικά καταγράφεται το αναλογικό σήμα (ηλεκτρικό φορτίο) που φέρει κάθε φωτοευαίσθητο στοιχείο μετά την στιγμιαία έκθεση στο φως. Η καταμέτρηση αυτή μεταφράζεται από έναν απλό μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό σε μορφή αποθηκεύσιμη μαγνητικά. Μετά δε το τέλος της καταμέτρησης και καταγραφής αυτής, τα φωτοευαίσθητα στοιχεία είναι ελεύθερα και έτοιμα για την εκ νέου καταγραφή της επόμενης εικόνας.

Παρ' όλο που η καταμέτρηση και καταγραφή αυτή γίνεται σε πάρα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, διαρκεί χρονικά αρκετά ώστε να μην μπορεί να αγνοηθεί. Υπάρχει συνεπώς μια ακόμα απειροελάχιστη χρονική υστέρηση μεταξύ της έκθεσης στο φως και της καταγραφής της ψηφιακής εικόνας σε μαγνητικά αποθηκεύσιμη μορφή. Υπάρχουν αισθητήρες με ορθογωνική διάταξη στοιχείων, όπως αυτή που περιγράφηκε παραπάνω, αισθητήρες ενός στοιχείου, που σαρώνει με ταχύτητα κατά γραμμές την εικόνα, αλλά και αισθητήρες μιας γραμμής που σαρώνουν κάθετα την εικόνα. (Γεωργόπουλος, Χλιβερού, 2013)



Εικόνα 2.5: Η λειτουργία του αισθητήρα CCD, Πηγή: Γεωργόπουλος, Χλιβερού, 2013

Τα χρώματα των αντικειμένων αναγνωρίζονται από τον αισθητήρα ως ανακλάσεις, μέσω της ηλεκτρικής τάσης και διαφορετικά για κάθε βασική κατηγορία αισθητήρα.

Στους αισθητήρες διάταξης οι φωτοδιόδοι που χρησιμοποιούνται, είναι μονοαπορροφητικές. Αυτό υποδηλώνει πως κάθε φωτοδίοδος απορροφά μόνο φωτόνια συγκεκριμένης συχνότητας, ενώ παραμένει ανεπηρέαστη από τα φωτόνια διαφορετικών συχνοτήτων που προσπίπτουν στην επιφάνεια της. Έτσι, στους αισθητήρες αυτούς, υπάρχουν φωτοδιόδοι που απορροφούν μόνο φωτόνια που η συχνότητά τους αντιστοιχεί στο κόκκινο χρώμα του ορατού φάσματος, και αντίστοιχα άλλοι φωτοδιόδοι απορροφητικοί μόνο για το πράσινο και μπλε χρώμα (Red, Green, Blue-RGB). Όλα τα χρώματα σχηματίζονται από το συνδυασμό αυτών των τριών χρωμάτων, μέσω της διαδικασίας χρωματικής παρεμβολής. Το τελικό χρώμα προκύπτει από τον μέσο όρο των εντάσεων των ανακλώμενων φωτονίων, των γειτονικών εικονοστοιχείων του αντικειμένου. Τα υπόλοιπα χρώματα, προκύπτουν ως συνδυασμός τριών τάσεων από τις αντίστοιχες φωτοδιόδους, αφού είναι απαραίτητες τρεις διαφορετικές τάσεις για να αναπαραχθεί ένα χρώμα. Αν για παράδειγμα απαιτείται απόδοση του πορτοκαλί χρώματος, που πρόκειται για συνδυασμό του

κόκκινου και του μπλε, η φωτοδίοδος που αντιδρά στο κόκκινο θα παράγει μία τάσης μικρής τιμής όπως θα παράγει και η φωτοδίοδος που αντιδρά στο μπλε, ενώ αντίθετα η φωτοδίοδος που αντιδρά στο πράσινο, δεν θα παράγει τάση. Η μονάδα του αισθητήρα που πραγματοποιεί τη μετατροπή, αναγνωρίζει τις δύο αυτές μικρές τάσεις σαν πορτοκαλί χρώμα.

Ο γραμμικός αισθητήρας πραγματοποιεί τρεις λήψεις του ίδιου θέματος, όπου στην κάθε λήψη χρησιμοποιείται κόκκινο, πράσινο και μπλε φίλτρο. Συνεπώς, η τελική εικόνα προέρχεται από τον συνδυασμό των τριών χρωμάτων RGB.

Κάθε φωτοδίοδος δίνει ένα byte ψηφιακής πληροφορίας. Επειδή κάθε byte περιέχει οκτώ bits και κάθε bit έχει τιμή 1 ή 0, που αντιστοιχεί στο on και στο off του αισθητήρα, από όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των οκτώ bits προκύπτουν 256 συνδυασμοί, και τελικά κάθε φωτοδίοδος δύναται να αντιδράσει στην ένταση του φωτός που προσπίπτει με 256 διαφορετικές τιμές, πεδίου τιμών [0, 255], όπου στο 0 αντιστοιχεί μηδενική ένταση φωτός και στο 255 η μέγιστη. Επομένως, κάθε φωτοδίοδος αναλύει έως 256 διαφορετικά επίπεδα φωτός. Αν πολλαπλασιάσουμε τα επίπεδα του φωτός που διαβάσει κάθε μονοαπορροφητική φωτοδίοδος για το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε (256X256X256) προκύπτει ο αριθμός 16.777.216, που υποδηλώνει ότι ένας αισθητήρας CCD RGB μπορεί να διαβάσει 16.777.216 διαφορετικά χρώματα, αριθμός πολύ ικανοποιητικός για την αποτύπωση με ακρίβεια οποιουδήποτε χρώματος συναντάται στη φύση.

Το μέγεθος που χαρακτηρίζει έναν αισθητήρα είναι η ανάλυση, το πλήθος των εικονοστοιχείων που διαθέτει και το οποίο είναι ανάλογο με την ποιότητα της τελικής εικόνας. Η ποιότητα της εικόνας θεωρείται πολυπαραγοντική μεταβλητή, με συντελεστές, εκτός του πρωταρχικού παράγοντα της ανάλυσης, και το λογισμικό του αισθητήρα.

2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ LiDAR

Στην παρούσα ενότητα γίνεται αναφορά στην τεχνολογία Light Detection and Ranging (LiDAR). Αρχικά παρατίθεται η γενική περιγραφή του αισθητήρα LiDAR, και στη συνέχεια ακολουθούν η μέθοδος λειτουργίας του και τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά τη λειτουργία του. Πέραν τούτων, επισημαίνονται οι παράμετροι λειτουργίας του LiDAR και περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας και διάταξης του. Τέλος, αναφέρονται τα διάφορα είδη αισθητήρων LiDAR που υπάρχουν σήμερα.

2.4.1 Γενικά για την Τεχνολογία LiDAR

Η ονομασία LiDAR προέρχεται από τον όρο “*Light Detection and Ranging*”, ενώ αναφέρεται συχνά και ως Λείζερ Radar. Ο δέκτης του συστήματος LiDAR αποτελεί έναν εναλλακτικό δέκτη, ο οποίος παράγει υψομετρικά δεδομένα που δεν ήταν δυνατό να αποκτηθούν μέχρι την ανάπτυξη της τεχνολογίας του. Δεν φιλοδοξεί να

αντικαταστήσει τους συμβατικούς δέκτες (π.χ. Φωτομηχανές αεροφωτογραφίσεων), αλλά λειτουργεί συμπληρωματικά με τα υπόψη μέσα.

Η τεχνική LiDAR (*Light Detection And Ranging*) βασίζεται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας λέιζερ στην ατμόσφαιρα και ακολούθως, στην καταγραφή της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας λέιζερ. Η ατμόσφαιρα, αποτελούμενη από μόρια, αιωρούμενα σωματίδια (αερολύματα) κ.λπ., προκαλεί εξασθένηση της διερχόμενης απ' αυτήν ακτινοβολίας λέιζερ. Η σκεδαζόμενη ακτινοβολία συλλέγεται από ένα οπτικό τηλεσκόπιο και οδηγείται στο σύστημα λήψης και καταγραφής των σημάτων LiDAR. Η τεχνική LiDAR, αναλύοντας τα οπισθοσκεδαζόμενα σήματα που προέρχονται από την αλληλεπίδραση των συστατικών της ατμόσφαιρας με την ακτινοβολία λέιζερ, είναι ικανή να καθορίσει την κατακόρυφη κατανομή των κυριότερων ρύπων και συστατικών της ατμόσφαιρας με μεγάλη χωρική (περίπου 3-7 m) και χρονική ακρίβεια (από 10-30 s έως μερικά min.).

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου 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 προσπίπτει σ' ένα αντικείμενο, με ιδιαίτερα υψηλό βαθμό ακρίβειας (Mosaic Mapping Systems Inc, 2001).

Η τεχνική LiDAR εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στην Ελλάδα το έτος 1993, από το «Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας», του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης και αργότερα, το έτος 1999, από το «Εργαστήριο Ανάπτυξης Λείζερ και Εφαρμογές τους», του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου από τον Αναπληρωτή Καθηγητή Αλέξανδρο Παπαγιάννη. Η τεχνική LiDAR χρησιμοποιείται σήμερα στην Ελλάδα για τη μέτρηση της κατακόρυφης κατανομής των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων, του όζοντος, αλλά και των υδρατμών, των νεφών και της θερμοκρασίας της τροπόσφαιρας. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για τη μελέτη της δομής και της χώρο-χρονικής μεταβολής του Ατμοσφαιρικού Οριακού Στρώματος (ΑΟΣ), καθώς και για την ανίχνευση της εισροής αερολυμάτων (σωματίδια ερημικής σκόνης, καύσης βιομάζας, ηφαιστειακής τέφρας, κλπ.) στον Ελληνικό εναέριο χώρο, από το έδαφος έως ύψος 15.000-20.000 μέτρων, πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας.

Τέλος, τα πλεονεκτήματα της τεχνικής LiDAR έναντι των συμβατικών τεχνικών μέτρησης ατμοσφαιρικών ρύπων έγκεινται στα ακόλουθα :

- Έλλειψη επίδρασης στις μετρήσεις αέριων ρύπων και ατμοσφαιρικών παραμέτρων. Καταλληλότητα σε μετρήσεις «εξ' αποστάσεως» σε εφαρμογές καταγραφής βιομηχανικών εκπομπών (έλεγχος τήρησης περιβαλλοντικών διατάξεων) και εντοπισμού εστιών ρύπανσης (πχ. εστίες καύσης), σε αστικές και ημιαστικές περιοχές.

- Λήψη μετρήσεων και καταγραφής ατμοσφαιρικής ρύπανσης με πολύ μεγάλη χωρική (5-1000 m) και χρονική ακρίβεια (1-10 s).
- Μέτρηση σε πολύ μεγάλες αποστάσεις (από μερικά μέτρα έως 100-120 χλμ.).
- Μέτρηση σε πραγματικό χρόνο και λήψη μετρήσεων σε 1-2-3 διαστάσεις στο χώρο.
- Ικανότητα μέτρησης πολλαπλών ρυπαντών ταυτόχρονα.

2.4.2 Μέθοδος Λειτουργίας LiDAR

Οι αισθητήρες LiDAR (Light Detection and Ranging) επιτρέπουν τη συλλογή υψομετρικών δεδομένων μεγάλης πυκνότητας και εξαιρετικής ακρίβειας, κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες φωτισμού ή νέφωσης, χρησιμοποιώντας τεχνικές σάρωσης με παλμούς λέιζερ. Κάθε παλμός παρομοιάζεται με κύλινδρο φωτός συγκεκριμένης διαμέτρου και μήκους.

Οι αισθητήρες LiDAR βασίζονται στην αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με τα άτομα της ύλης. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ως μορφή ενέργειας, διαθέτει τις ιδιότητες σωματιδίου και κύματος και αποτελείται από σωματίδια που ονομάζονται φωτόνια. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας από την ύλη του στόχου της, πραγματοποιείται επειδή τα φωτόνια αλληλεπιδρούν με την ύλη αυτή, μεταφέροντας έτσι ενέργεια από τη δέσμη της ακτινοβολίας στο στόχο. Η ύλη του στόχου, σε διεγερμένη πλέον κατάσταση, ανακλά την ακτινοβολία εκπέμποντας φωτόνια με χαρακτηριστικές ενέργειες καθώς αυτή επιστρέφει σε καταστάσεις χαμηλότερης ενέργειας, ή στην θεμελιώδη κατάσταση. Εν προκειμένω, σαρώνεται περιοχή με παλμούς λέιζερ, μήκους κύματος κατάλληλα επιλεγμένου για το κάθε αντικείμενο εξέτασης. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλληλεπιδρά με σημεία της γήινης επιφάνειας και η ποσότητα αυτής που επιστρέφει, συλλέγεται και καταγράφεται από έναν οπτικό ανιχνευτή συστήματος λέιζερ. Οι μετρήσεις αυτές εμπεριέχουν πληροφορίες για την σύσταση των στοχευθέντων σημείων, τις αποστάσεις τους από τη γήινη επιφάνεια, καθώς και τη χωροταξική κατανομή τους. Επιπρόσθετα, καθίσταται δυνατή η εξαγωγή πληροφοριών για τα υψόμετρα τους, αν έχει καταγραφεί η θέση του αεροσκάφους-φορέα του δέκτη και η ακριβής θέση του αισθητήρα LiDAR πάνω σε αυτό.

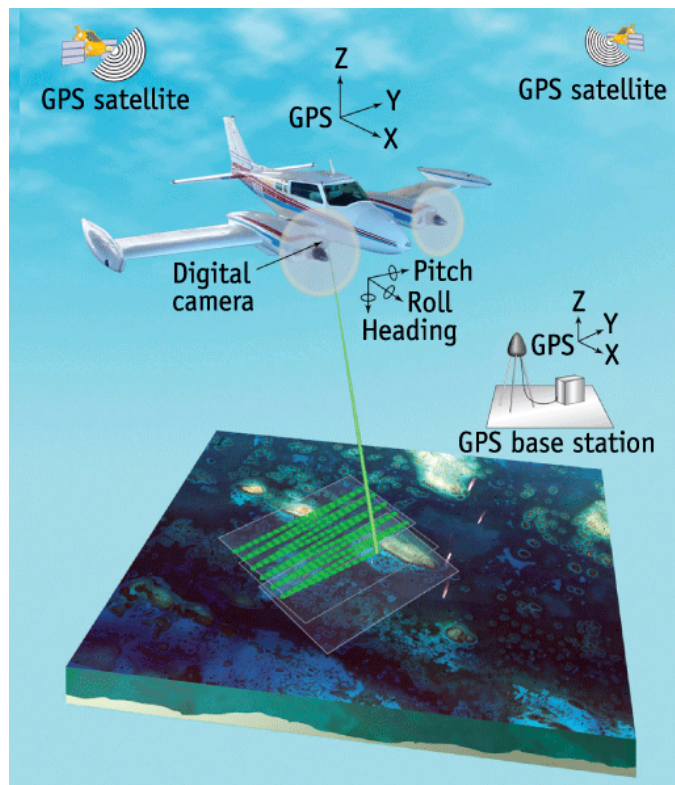
Η κάθετη εκπομπή του ανακλώμενου σήματος περιγράφεται από τις εξισώσεις 2.4 & 2.5 (Collis and Russel, 1976), για ακτίνα λέιζερ δεδομένου μήκους κύματος λ :

$$N_s(\lambda, R) = N_L(\lambda_L) * [\beta(\lambda, \lambda_L, \theta, R)\Delta R] * \frac{A}{R^2} * [T(\lambda_L, R)T(\lambda, R)] * [\eta(\lambda, \lambda_L)G(R)] + N_B \quad (2.4)$$

$$P_s(\lambda, R) = P_L(\lambda_L) * [\beta(\lambda, \lambda_L, \theta, R)\Delta R] * \frac{A}{R^2} * [T(\lambda_L, R)T(\lambda, R)] * [\eta(\lambda, \lambda_L)G(R)] + P_B \quad (2.5)$$

Όπου:

- $N_s(\mathbf{R})$: το αναμενόμενο πλήθος φωτονίων που αναμένεται να ληφθούν από απόσταση R
- N_L : το πλήθος των εκπεμπόμενων φωτονίων από την ακτίνα λέιζερ
- $\beta(\mathbf{R})$: συντελεστής της ποσότητας σκέδασης σε απόσταση R για γωνία θ
- ΔR : το πάχος της φασματικής ακτίνας λέιζερ
- A : το εμβαδόν του δέκτη
- $T(\mathbf{R})$: η εκπομπή μονής κατεύθυνσης του φωτός από την πηγή λέιζερ έως απόσταση R ή από απόσταση R μέχρι το δέκτη
- H : η οπτική αποδοτικότητα του συστήματος
- $G(\mathbf{R})$: ο γεωμετρικός παράγοντας του συστήματος
- N_B : τα αναμενόμενα φωτόνια ανά ακτίνα στη μονάδα του χρόνου λόγω θορύβου του υποβάθρου (π.χ. ηλιακή σκέδαση)
- P_s : η ισχύς της ακτίνας λέιζερ



Εικόνα 2.6: Αερομεταφερόμενο Σύστημα LiDAR, Πηγή:
http://gulfsce.usgs.gov/tampabay/data/1_LiDAR/images/Eaar11.gif, 2015

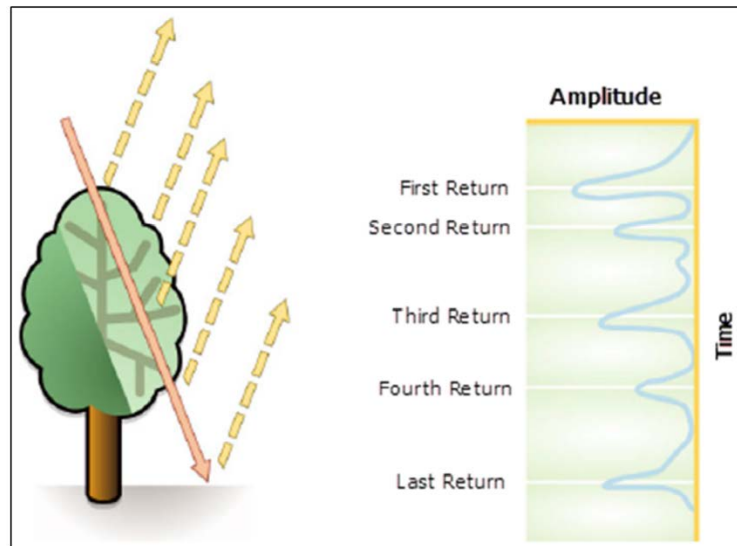
Ειδικότερα, ο αισθητήρας LiDAR εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία τύπου ακτινών φωτός λέιζερ σε ένα στόχο, τα άτομα της ύλης του οποίου αλληλεπιδρούν με την ακτινοβολία και την μεταβάλλουν. Μέρος των ακτινών ανακλάται πίσω στο αισθητήρα, όπου και αναλύεται. Μετά από συλλογή και επεξεργασία της ανάκλασης ακτινοβολίας από το στόχο και σαν αποτέλεσμα της αλλαγής των ιδιοτήτων του

ανακλώμενου φωτός, καθίσταται δυνατός ο καθορισμός ιδιοτήτων του, ενώ προκύπτουν και άλλες πληροφορίες τόσο για το στόχο, όσο και για την πορεία της ακτίνας προς αυτόν. Η απόσταση μεταξύ αισθητήρα και στόχου προσδιορίζεται από τον χρόνο μετάβασης και επιστροφής της ακτίνας λέιζερ.

Η καταγραφή των δεδομένων πραγματοποιείται με αεροσκάφος, στο κάτω μέρος της ατράκτου του οποίου έχουν τοποθετηθεί οι ενεργοί αυτοί αισθητήρες, σε συνδυασμό με αερομεταφερόμενο Δέκτη Παγκοσμίου Συστήματος Τοποθέτησης (Global Positioning System - GPS) και Αδρανειακό Σύστημα Πλοήγησης (Inertial Navigation System INS). Το σύστημα GPS είναι απαραίτητο για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων του μετακινούμενου αισθητήρα LiDAR, σε τρεις διαστάσεις (x, y, z), σε σχέση με έναν ή περισσότερους επίγειους σταθμούς – βάσεις αναφοράς GPS. Το INS, μέσω ενσωματωμένου σ' αυτό συστήματος Αδρανειακών Μετρήσεων (Inertial Measurement Unit-IMU) υπολογίζει άμεσα την κίνηση, την κατεύθυνση και τις περιστροφές του αεροσκάφους γύρω απ' τους άξονες συμμετρίας του, ορίζοντας το γωνιακό προσανατολισμό του αισθητήρα LiDAR με τους άξονες x, y και z. Ο αισθητήρας LiDAR μετρά τη γωνία σάρωσης των παλμών λέιζερ και σε συνδυασμό με τις μετρήσεις από το INS, ορίζεται ο γωνιακός προσανατολισμός κάθε παλμού. Επίσης ο αισθητήρας μετρά και το χρόνο που απαιτείται για την ανάκλαση, από το έδαφος ή από χαρακτηριστικά επί αυτού κάθε εκπεμπόμενου παλμού, έως και την στιγμή που θα επιστρέψει στον αισθητήρα. Ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα, εκπέμπονται σε μια σάρωση 5.000 έως 100.000 παλμοί λέιζερ το δευτερόλεπτο και καταγράφεται ο χρόνος που χρειάζεται ο παλμός για να επιστρέψει στο δέκτη του αισθητήρα. Από τον επιστρέφοντα παλμό προσδιορίζονται τα υψόμετρα της επιφάνειας που έχει σαρωθεί με ακρίβεια μερικών δεκάδων εκατοστών του μέτρου. Στη πτήση διαγώνιας κατεύθυνσης, το μέσο διάστημα των σημείων καθορίζεται από τη γωνία σάρωσης και το ύψος πτήσης του αεροσκάφους, ενώ στην πτήση ευθείας κατεύθυνσης, το μέσο αυτό διάστημα καθορίζεται από το ύψος πτήσης και την ταχύτητα του αεροσκάφους σε σχέση με τον αέρα.

Με την τεχνική LiDAR καταγράφεται το εκτιμώμενο υψόμετρο της πρώτης και της τελευταίας επιφάνειας από την οποία ανακλάται ο παλμός λέιζερ, ενώ παράλληλα λαμβάνονται πολλαπλές επιστροφές (για την ακρίβεια έως και πέντε ανά παλμό). Η πρώτη ανάκλαση που καταγράφεται από τον αισθητήρα επί του αεροσκάφους συγκροτεί το πρώτο αντικείμενο που στοχεύθηκε από τον παλμό λέιζερ, το οποίο ενδέχεται να ανήκει σε κορυφή δέντρου, σε στέγη κτηρίου, σε κάποιο σημείο στο έδαφος ή ακόμη και σ' ένα πτηνό σε πτήση, και για το οποίο υπολογίζεται η απόσταση του από τον αισθητήρα LiDAR. Όταν ο παλμός ανακλαστεί από μικρής διεισδυτικότητας, «μαλακό», στόχο, όπως π.χ. θόλο από φυλλώματα δέντρων, ο πρώτος παλμός αναπαριστά το ανώτατο επίπεδο αυτού του χαρακτηριστικού. Ωστόσο, η πορεία ενός τμήματος της δέσμης φωτός λέιζερ ενδέχεται να μην ανακοπεί από το θόλο των φυλλωμάτων και να συναντήσει ένα κλαδί δένδρου, οπότε στην περίπτωση αυτή συγκροτεί τη δεύτερη επιστροφή παλμού. Κατά την τελευταία ανάκλαση υπολογίζεται και καταγράφεται η απόσταση αισθητήρα και γήινης

επιφάνειας. Θεωρητικά, η τελευταία επιστροφή αναπαριστά το γυμνό έδαφος, χωρίς αυτό να αποτελεί απαραίτητο κανόνα, καθώς σε περιοχές πυκνής βλάστησης κανένα τμήμα του παλμού δεν διεισδύει έως το έδαφος. Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα δεδομένα του ανάγλυφου συλλέγονται μετά από περιόδους πτώσης των φυλλωμάτων. Από την αντιπαραβολή των εικόνων που δημιουργήθηκαν από τον πρώτο και από τον τελευταίο παλμό προκύπτει μία γενική ιδέα για το ανάγλυφο του εδάφους.



Εικόνα 2.7: Απεικόνιση επιστροφών παλμών, Πηγή: <http://LiDARcomm.com/id31.html>, 2015

Αξιοσημείωτη είναι η αναφορά και των χαρακτηριστικών που καθορίζουν τις δυνατότητες των δεκτών LiDAR, που είναι τα ακόλουθα:

- Ρυθμός επανάληψης παλμών (παλμοί /sec)
- Συχνότητα σάρωσης (ταχύτητα ταλάντωσης)
- Γωνία σάρωσης (IFOV)
- Ύψος πτήσης
- Απόσταση γραμμών πτήσης
- Πυκνότητα σημείων
- Εύρος κάλυψης
- Μήκος κύματος ($\lambda=532 - 1550 \text{ nm}$)

2.4.3 Φαινόμενα που Λαμβάνουν Χώρα κατά την Λειτουργία LiDAR

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές LiDAR για την τηλεπισκόπηση ατμοσφαιρικών παραμέτρων, οι οποίες βασίζονται σε αλληλεπιδράσεις της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και των συστατικών της ατμόσφαιρας. Έτσι υπάρχουν διατάξεις που βασίζονται στη σκέδαση της ακτινοβολίας λέιζερ κατά Rayleigh, στη σκέδαση Mie, στη σκέδαση Raman, στη σκέδαση συντονισμού, στο φθορισμό, στην απορρόφηση καθώς και στη διαφορική σκέδαση-απορρόφηση. Τα φαινόμενα, που λαμβάνουν χώρα κατά την αλληλεπίδραση μιας δέσμης λέιζερ και της ύλης που αυτή συναντά, περιγράφονται συνοπτικά στον επόμενο Πίνακα 2.1.

Οπτικό φαινόμενο	Φυσική περιγραφή
Απορρόφηση	Η αφαίρεση ενέργειας από μια δέσμη φωτός χωρίς επανεκπομπή. Πραγματοποιείται όταν το μήκος κύματος συμπίπτει με την ζώνη απορρόφησης του εν λόγω μορίου
Φθορισμός	Η αφαίρεση ενέργειας από μια δέσμη φωτός και στην συνέχεια η καθυστερημένη επανεκπομπή, συνήθως σε όλες τις κατευθύνσεις, στο αρχικό ή σε διαφορετικό (συνήθως μεγαλύτερο) μήκος κύματος.
Σκέδαση	Η αλλαγή διεύθυνσης ενός φωτονίου ή μιας δέσμης φωτός
Εξασθένηση	Η αφαίρεση ενέργειας από μια δέσμη φωτός από το συνδυαστικό αποτέλεσμα της απορρόφησης, της σκέδασης και του φθορισμού
Οπισθοσκέδαση	Σκέδαση σε γωνία 180° σε σχέση με την προσπίπτουσα δέσμη φωτός
Ελαστική σκέδαση	Σκέδαση χωρίς αλλαγή στο μήκος κύματος μεταξύ προσπίπτουσας και σκεδαζόμενης ακτινοβολίας: Άθροισμα της σκέδασης Mie και Rayleigh
Σκέδαση Mie	Ελαστική σκέδαση από αιωρούμενα σωματίδια και σταγόνες νεφών στα μήκη κύματος που αναφερόμαστε (355 και 532 nm)
Σκέδαση Rayleigh	Ελαστική σκέδαση από ατμοσφαιρικά μόρια στα μήκη κύματος που αναφερόμαστε (355 και 532 nm)
Σκέδαση Raman	Μη ελαστική σκέδαση που συμπεριλαμβάνει την αλλαγή του επιπέδου ενέργειας περιστροφής-τάλαντωσης του μορίου. Η αλλαγή της συχνότητας της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας αντιστοιχεί στην διαφορά ενέργειας μεταξύ της αρχικής και τελικής κατάστασης του μορίου
Σκέδαση συντονισμού	Η συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας λέιζερ, συμπίπτει με τη συχνότητα συγκεκριμένης ενεργειακής μετάπτωσης του ατόμου, διεγείρεται, και κατόπιν σκεδαρίζει αποδιεγυρόμενο, χωρίς μετατόπιση στο μήκος κύματος
Αποπόλωση	Η μερική οπισθοσκέδαση γραμμικά πολωμένης δέσμης φωτός σε ένα επίπεδο πόλωσης, κάθετο ή παράλληλο, στην διεύθυνση διάδοσης της δέσμης
Διαφορική σκέδαση και απορρόφηση	Η διαφορική εξασθένηση δύο ακτινών λέιζερ, όπως προκύπτει από τα οπισθοσκεδαζόμενα σήματα, όταν η συχνότητα της μίας ακτίνας συμπίπτει με τη συχνότητα γνωστής μοριακής μετάπτωσης, ενώ η συχνότητα της άλλης είναι ακριβώς μετά ή πριν από αυτή τη χαρακτηριστική συχνότητα

Πίνακας 2.1: Φυσική περιγραφή οπτικών φαινομένων

2.4.4 Παράμετροι Λειτουργίας LiDAR

Μαζί με κάθε τιμή θέσης x , y και z που καταγράφει ο αισθητήρας, αποθηκεύονται ταυτόχρονα και πρόσθετες πληροφορίες για τα σημεία στόχους. Τα ακόλουθα χαρακτηριστικά στοιχεία καταγράφονται και αποθηκεύονται για κάθε παλμό λέιζερ που εκπέμπεται-ανακλάται: η ένταση, ο αύξων αριθμός επιστροφής, ο συνολικός αριθμός επιστροφών, τιμές ταξινόμησης των σημείων, τα σημεία που βρίσκονται στην άκρη της γραμμής πτήσης, οι τιμές RGB, η ώρα GPS, η γωνία σάρωσης και η διεύθυνση σάρωσης. Ο επόμενος «Πίνακας 2.2» συνοψίζει τις παραμέτρους λειτουργίας που παρέχονται για κάθε σημείο καταγραφής δεδομένων του αισθητήρα LIDAR:

Χαρακτηριστική Ιδιότητα	Περιγραφή
Ένταση	Εκφράζει πόσο ισχυρή είναι η επιστροφή ενός παλμού λέιζερ που δημιούργησε το σημείο –στόχος LiDAR.
Αύξων αριθμός επιστροφής	Ένας εκπεμπόμενος παλμός λέιζερ μπορεί να έχει μέχρι και 5 επιστροφές ανάλογα με τις ιδιότητες του αντικειμένου από το οποίο ανακλάστηκε και τις δυνατότητες του σαρωτή λέιζερ που χρησιμοποιήθηκε για να συλλέξει τα δεδομένα. Η πρώτη επιστροφή ορίζεται ως επιστροφή νούμερο 1 ,η δεύτερη επιστροφή ως επιστροφή νούμερο 2, κ.ο.κ.
Συνολικός αριθμός επιστροφών	Ο αριθμός επιστροφών είναι ο συνολικός αριθμός των επιστροφών ενός δεδομένου παλμού. Για παράδειγμα, ένα σημείο δεδομένων λέιζερ μπορεί να είναι επιστροφή νούμερο 2 (αύξων αριθμός επιστροφής) με ένα συνολικό αριθμό επιστροφών ίσο με 5.
Ταξινόμηση σημείου	Κάθε σημείο-στόχος LiDAR που έχει υποστεί μετά-επεξεργασία, μπορεί να ταξινομηθεί ανάλογα με τον τύπο του αντικειμένου που προκάλεσε την ανάκλαση του παλμού. Τα σημεία-στόχοι LiDAR μπορούν να κατηγοριοποιηθούν, ως γυμνό έδαφος, κορυφές δέντρων, επιφάνεια νερού κ.ο.κ. Οι διαφορετικές κατηγορίες ορίζονται με τη χρήση ακέραιων αριθμητικών κωδικών στα αρχεία δυαδικής μορφής αποθήκευσης δεδομένων LiDAR (LAS).
Άκρη της γραμμής πτήσης	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.
RGB	Τα δεδομένα LiDAR μπορούν να αποδοθούν με κανάλια RGB. Η απόδοση αυτή συχνά προκύπτει από εικόνες που συλλέγονται ταυτόχρονα με την αποτύπωση LiDAR
Χρόνος GPS	Το χρονικό στιγμιότυπο GPS κατά το οποίο το σημείο λέιζερ εκπέμπεται από το αεροσκάφος.
Γωνία σάρωσης	Η γωνία σάρωσης παίρνει τιμές μεταξύ -90° και 90° . Στις 0° ο παλμός λέιζερ βρίσκεται ακριβώς κάτω από το αεροσκάφος, στο ναδίρ. Στις -90° , ο παλμός λέιζερ βρίσκεται αριστερά του αεροσκάφους, ενώ στις $+90^{\circ}$ ο παλμός λέιζερ βρίσκεται στην δεξιά του αεροσκάφους, ως προς τη διεύθυνση πτήσης. Η γωνία στα περισσότερα συστήματα LiDAR είναι μικρότερη από $\pm 30^{\circ}$
Διεύθυνση σάρωσης	Η διεύθυνση σάρωσης είναι η διεύθυνση κατά την οποία ταξίδευε το κάτοπτρο σάρωσης λέιζερ την ώρα του παλμού λέιζερ εξόδου. Η τιμή 1 δηλώνει θετική διεύθυνση σάρωσης και η τιμή 0 αρνητική. Η θετική τιμή υποδεικνύει ότι ο αισθητήρας κινείται από την αριστερή πλευρά προς την δεξιά πλευρά της διεύθυνσης πτήσης σε τροχιά και η αρνητική τιμή δηλώνει το αντίθετο.

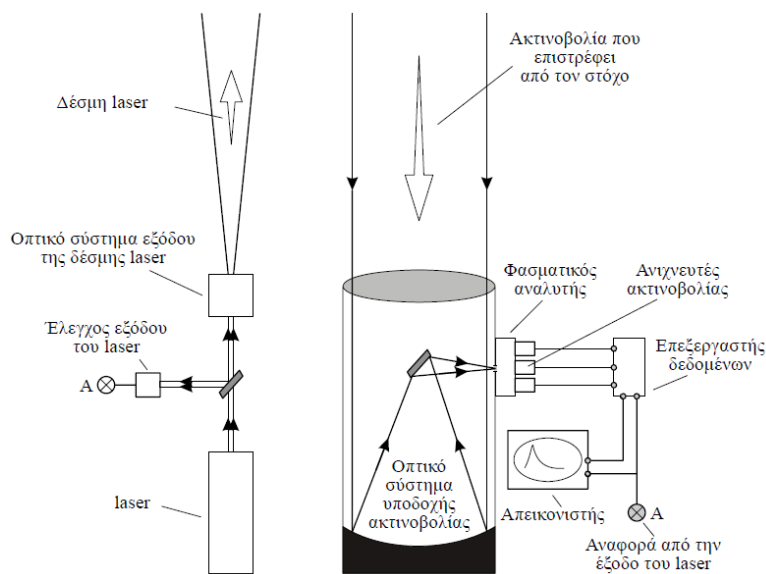
Πίνακας 2.2: Περιγραφή παραμέτρων λειτουργίας συστήματος LiDAR

2.4.5 Περιγραφή και Τρόπος Λειτουργίας της Διάταξης LiDAR

Η λειτουργία ενός συστήματος LiDAR, βασίζεται στις διεργασίες που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Προκειμένου δε να εξυπηρετηθούν οι σκοποί της χρησιμοποίησής του, το υπόψη σύστημα αισθητήρα αποτελείται από τα παρακάτω έξι (6) βασικά λειτουργικά συγκροτήματα:

- **Έναν Πομπό:** σε όλες τις πρακτικές εφαρμογές ο εν λόγω πομπός εκπέμπει παλμούς ακτινοβολίας λέιζερ.
- **Μία διάταξη οπτικών:** για την εκπομπή της δέσμης.
- **Ένα οπτικό σύστημα υποδοχής της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας,**
- **Έναν φωτοανιχνευτή:** για να κατευθυνθεί το επιλεγμένο οπτικό σήμα.
- **Ένα ηλεκτρονικό σύστημα:** για την επεξεργασία, απεικόνιση και αποθήκευση των μετρήσεων και
- **Έναν μετατροπέα του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό σήμα**

Η βασική δομή ενός συστήματος LiDAR μπορεί να συνοψιστεί από την παρακάτω σχηματική απεικόνιση της *Εικόνας 2.8*.



Εικόνα 2.8: Τυπική διάταξη ενός συστήματος LiDAR

2.4.6 Είδη LiDAR

Τα συστήματα LiDAR διακρίνονται σε κατηγορίες, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί για την κάλυψη διαφορετικών απαιτήσεων και εφαρμογών. Ανάλογα με τον μηχανισμό αλληλεπίδρασης ακτινοβολίας λέιζερ – ύλης έχουν αναπτυχθεί τα ακόλουθα αερομεταφερόμενα και δορυφορικά συστήματα:

- **LiDAR τύπου Doppler:** Βασίζεται στο γνωστό φαινόμενο Doppler και χρησιμοποιείται για μετεωρολογικές εφαρμογές, όπως πχ στον υπολογισμό της ταχύτητας στόχου. Όταν η ακτίνα φωτός που εκπέμπεται από το LiDAR προσκρούει σε στόχο κινούμενο από ή προς το όργανο, το μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που ανακλάται από το στόχο διαφέρει ελαφρώς από αυτό που εκπέμπεται. Αν ο στόχος απομακρύνεται από το όργανο, το ανακλώμενο φως έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος (red shift), ενώ στην αντίθετη περίπτωση θα έχει μικρότερο (blue shift). Ο στόχος ενδέχεται να είναι είτε συμπαγές αντικείμενο, ή ατμοσφαιρικός στόχος, όπως σκόνη ή στελέχη αερολυμάτων μεταφερόμενα από τον αέρα, οπότε και προσδιορίζεται η ταχύτητα και η διεύθυνση του αέρα.
- **LiDAR Διαφορικής Απορρόφησης (Differential Absorption LiDAR-DIAL):** Στηρίζεται στη μέτρηση της εξασθένησης της έντασης της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας. Επιλέγονται δύο διαφορετικά μήκη κύματος, έτσι ώστε το ένα να απορροφάται από τα μόρια του προς εξέταση στόχου, ενώ το άλλο όχι. Από τη διαφορά έντασης των δύο επιστρεφόντων κυμάτων συμπεραίνεται η κατανομή χημικών συγκεντρώσεων στην ατμόσφαιρα, όπως του όζοντος, των υδρατμών και των ρύπων.
- **LiDAR τύπου Raman:** Στηρίζεται στη συλλογή της επανασκεδαζόμενης ακτινοβολίας μέσω μηχανισμού Raman, η οποία έχει μήκη κύματος διαφορετικά από εκείνα της εκπεμπόμενης δέσμης. Συλλέγει την σκεδαζόμενη ακτινοβολία με σκοπό τον προσδιορισμό του είδους μορίων πρόσπτωσης και την συγκέντρωσή τους. Από τον τύπο αυτόν καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας στην κατώτερη ατμόσφαιρα.
- **LiDAR Φθορισμού (Fluorescence LiDAR-LIF):** Συλλέγει την ακτινοβολία που εκπέμπεται από διεγερμένο φθορίζοντα στόχο (το φάσμα φθορισμού κάθε μορίου χαρακτηρίζει και την ταυτότητά του), της οποίας το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο αυτού της πηγής. Με τον τρόπο αυτόν προσδιορίζεται το είδος των μορίων του στοχευθέντος αντικειμένου, η θερμοκρασία, η πυκνότητα του ανέμου και τα νέφη στην μέση-άνω ατμόσφαιρα καθώς και η πυκνότητα και η θερμοκρασία της στρατόσφαιρας και της μεσόσφαιρας.
- **LiDAR Απορρόφησης:** Το μετρούμενο μέγεθος είναι η ένταση της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας. Η εξασθένηση της δέσμης λέιζερ και η

συχνότητα της ακτινοβολίας παρέχουν πληροφορίες για τη συγκέντρωση και το είδος των μορίων των στοχευθέντων αντικειμένων.

- **LiDAR διπλής δέσμης:** Διαθέτει δύο δέσμες λέιζερ με μήκη κύματος που διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους. Οι δέσμες 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. Η σύγκριση των επιστρεφόμενων σημάτων εμπεριέχει πληροφορίες για το είδος και την συγκέντρωση των μορίων. Το υπόψη σύστημα LiDAR χρησιμοποιείται και για την μέτρηση της κατακόρυφης κατανομής όζοντος.
- **LiDAR υψομετρίας:** Παρέχει ακριβείς μετρήσεις της απόστασης του στόχου σε σχέση με ύψος-αναφοράς, για τον προσδιορισμό του γήινου ανάγλυφου.

2.4.7 Εφαρμογές LiDAR

Η τεχνολογία LiDAR βρίσκει ευρύ φάσμα εφαρμογών, λόγω της μεγάλης ακρίβειας συλλογής δεδομένων. Μερικές από τις πλέον χρησιμοποιούμενες αυτές ακολουθούν:

- Παραγωγή Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους στον κατασκευαστικό και μεταλλευτικό τομέα (οδικά και σιδηροδρομικά έργα, μεγάλα χωματουργικά έργα, επιφανειακά ορυχεία) για ογκομετρήσεις εκσκαφών & επιχωμάτων.
- 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 (Digital Elevation Models) στη γεωλογία και στη σεισμολογία, για εύρεση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τεκτονικών ρηγμάτων και ανοδικών μετατοπίσεων του φλοιού της γης.
- Χαρτογράφηση δασικών εκτάσεων, προσδιορισμός ύψους δένδρων, βιομάζας, και σύνταξη δασικών μητρώων.
- Ταχεία χαρτογράφηση παράκτιων ζωνών, έλεγχος διάβρωσης ακτών και αποτύπωση μεταβολών, παρακολούθηση ρυθμού μεταβολών παγετώνων.
- 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.
- Μέτρηση ατμοσφαιρικών ανέμων για προσδιορισμό κάθετης κατανομής μορίων αερολυμάτων και πυκνότητας στοιχείων της μέσης και άνω

ατμόσφαιρας, όπως Κάλιο, Νάτριο, Άζωτο, Οξυγόνο, στον τομέα της Φυσικής Περιβάλλοντος.

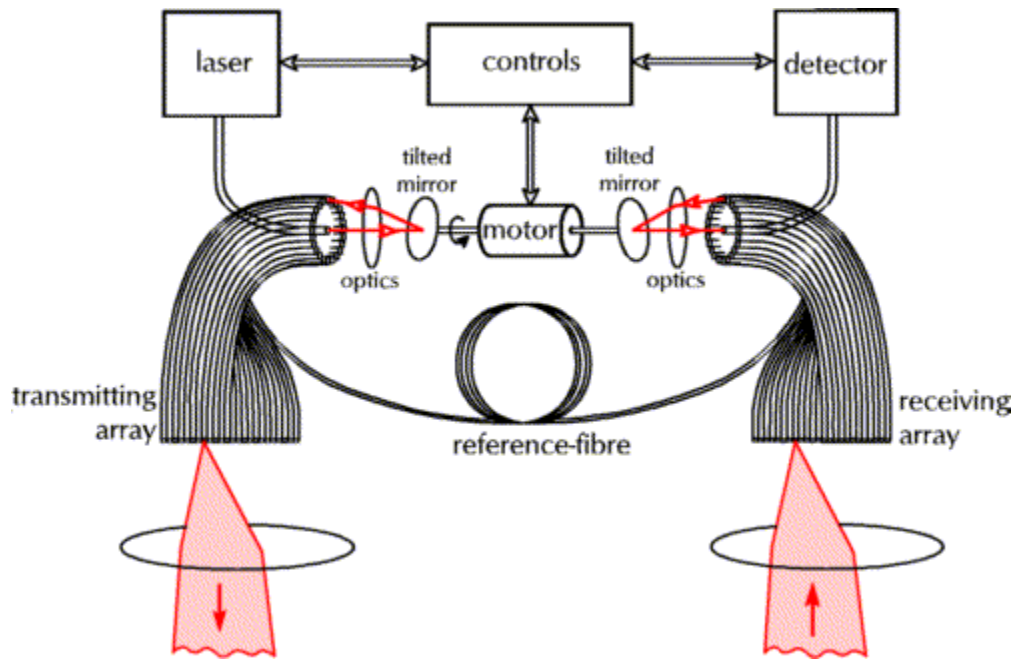
- Εκτίμηση του φωσφορίζοντος φυτοπλαγκτόν και γενικότερα της βιομάζας στα επιφανειακά στρώματα των ωκεανών, αλλά και του βάθους των θαλάσσιων επιφανειών για την εύρεση ρηχών υδρογραφικών λεκανών, στην ωκεανογραφία.
- Στρατιωτικές εφαρμογές, απόρρητες για λόγους ασφαλείας, όπως ανίχνευση κινητών και ακίνητων στόχων, λαμβάνουν χώρα εκμεταλλευόμενοι την τεχνολογία LiDAR.
- Στην αστρονομία Μέτρηση της θέσης της σελήνης με ακρίβεια χιλιοστού, έλεγχος της σχετικής της θέσης μέσω ανακλαστήρων τοποθετημένων στην επιφάνειά της, τοπογραφική αποτύπωση του Άρη μέσω οργάνου LiDAR επί δορυφόρου της NASA,.
- Έλεγχος του ορίου ταχύτητας κυκλοφορίας των οχημάτων για επιβολή του νόμου.
- Δημιουργία «έξυπνων» συστημάτων πλοήγησης (Adaptive Cruise Control) σε οχήματα νέας τεχνολογίας, αποσκοπώντας στον έλεγχο της οδού για προπορευμένα οχήματα και ανάλογη προσαρμογή της ταχύτητας του οχήματος φορέα, υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Η ανίχνευση των προπορευμένων οχημάτων σε συνδυασμό με τη γεωμετρία της κυκλοφοριακής λωρίδας, αλλά και περικλείοντας πληροφορίες σχετικά με τις τελευταίες κινήσεις των προπορευμένων οχημάτων, καθιστά δυνατή τη βελτίωση του σχήματος της οδού. (Joint road geometry estimation and vehicle tracking, Andreas Eidehall, Jochen Pohl, Fredrik Gustafsson).

2.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ/ΣΑΡΩΤΩΝ FALCON II ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ

Για τη συλλογή των δεδομένων της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκε σύστημα αισθητήρων/σαρωτών της εταιρείας TopoSys, υπό την ονομασία Falcon. Ο πρώτος αισθητήρας/σαρωτής που αναπτύχθηκε από την υπόψη εταιρία ήταν ο επονομαζόμενος ως Falcon I το 1996 και χρησιμοποιήθηκε έτσι ώστε να συλλέγει δεδομένα εφαρμογών που αφορούσαν στη Δυτική και την Κεντρική Ευρώπη. Το 2000 η εταιρία TopoSys εισήγαγε έναν περισσότερο εξελιγμένο αντίστοιχο σύστημα με την ονομασία Falcon II και το 2004 προσέθεσε στις υπηρεσίες της μία νεώτερη έκδοση του εν λόγω συστήματος. Σχετικά πρόσφατα, έχει αναπτυχθεί και έχει τεθεί σε λειτουργία ένα ακόμα μοντέλο Falcon, το αποκαλούμενο Falcon III που αποτελεί εξέλιξη των προηγούμενων.

Η σειρά αισθητήρων/σαρωτών Falcon ενσωματώνει μια προηγμένη και πολύ ενδιαφέρουσα τεχνολογία, υπό τη μορφή δύο γραμμικών συστοιχιών 128 οπτικών ινών, όπως φαίνεται στην «Εικόνα 2.9». Η πρώτη από αυτές τις συστοιχίες χρησιμοποιείται για τη μεταφορά και τη διανομή του σήματος των παλμών λέιζερ,

προς το έδαφος στην κατεύθυνση της εγκάρσιας τροχιάς, μέσω ενός οπτικού συστήματος (συστοιχία εκπομπής-*transmitting array*) που περιλαμβάνει την οπτική μονάδα, κι ένα ταλαντούμενο κάτοπτρο. Η δεύτερη συστοιχία (συστοιχία λήψης-*receiving array*) είναι πανομοιότυπη με την πρώτη και συνεργάζεται επίσης μ' ένα δεύτερο ταλαντούμενο κάτοπτρο πραγματοποιώντας αντίστροφη λειτουργία σε σχέση με την πρώτη, δηλαδή χρησιμοποιείται για την λήψη και προώθηση προς επεξεργασία – αποθήκευση των ανακλώμενων από το έδαφος σημάτων. Οι δύο αυτές συστοιχίες συνδέονται μεταξύ τους με οπτική ίνα αναφοράς.



Εικόνα 2.9: Συστοιχίες Οπτικών Ινών Σαρωτή Falcon II, Πηγή: Alexander, 2005

Το σύστημα αισθητήρα/σαρωτή Falcon εκπέμπει παλμούς λέιζερ με ρυθμό επανάληψης 83 kHz και σαρώνει με την υψηλή τιμή των 630 Hz, στο μήκος κύματος των 1540 nm. Το προκύπτον νέφος παλμών μεταδίδεται κατά μήκος μιας κεντρικής οπτικής ίνας στο ταλαντούμενο κάτοπτρο, που αντανακλά κάθε παλμό που βρίσκεται σε αλληλουχία, προς μία κυκλική διαδρομή διαμέσου διαδοχικών γειτονικών ινών της συστοιχίας εκπομπής. Οι ίνες μεταφέρουν τους παλμούς μέσα στο εστιακό επίπεδο του οπτικού συστήματος μετάδοσης, όπου και αναδύονται διαδοχικά κατά μήκος γραμμικής διαδρομής, στην κατεύθυνση της εγκάρσιας τροχιάς. Στη συνέχεια, μεταδίδονται από το οπτικό επίπεδο προς το έδαφος. Αντίστοιχα, για την συστοιχία λήψης οι παραλαμβανόμενες μετά την ανάκλασή τους ακτίνες, αφού μεταφερθούν κατά μήκος των ινών της, ανακλώνται στο δεύτερο ταλαντούμενο κάτοπτρο εντός του κεντρικού σωλήνα της συστοιχίας. Στη συνέχεια οι παλμοί διέρχονται διαμέσου ενός οπτικού φίλτρου προς τη δίοδο του δέκτη. Ουσιαστικά λοιπόν τα οπτικά συστήματα εκπομπής και λήψης επιτελούν την ίδια εργασία, πλην όμως λειτουργούν αντίστροφα.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται δεδομένα από το σύστημα Falcon II τα εξαρτήματα του οποίου, φαίνονται στην «*Εικόνα 2.10*». Το υπόψη σύστημα αποτελεί συνδυασμό ενός αισθητήρα λέιζερ (LiDAR) και ενός γραμμικού σαρωτή RGB/NIR τεχνολογίας CCD. Από τα παραπάνω μέσα προκύπτουν αντίστοιχα υψομετρικά δεδομένα και δεδομένα έντασης καθώς και πολυφασματικά δεδομένα.

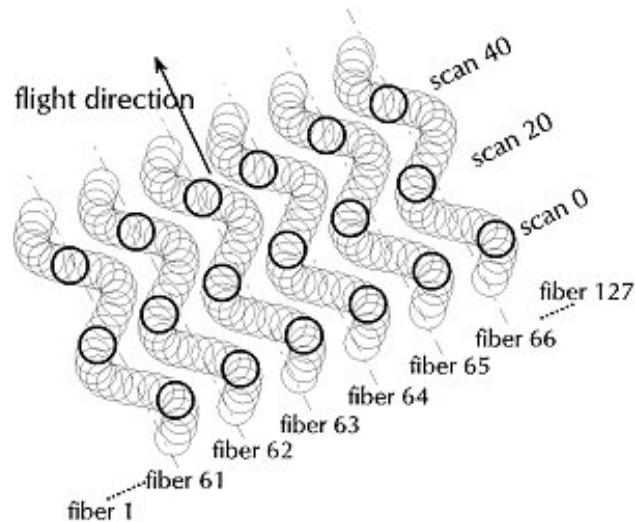
Όπως προαναφέρθηκε, για την εξασφάλιση ενός γεωμετρικά σταθερού προτύπου σάρωσης, ο κατασκευαστής του συστήματος (TopoSys) χρησιμοποιεί συστοιχίες οπτικών ινών. Έχει γίνει αντιληπτό από την εμπειρία χρήσης των συστημάτων LiDAR, ότι εναλλακτικοί μηχανισμοί εκτροπής, όπως ο περιστρεφόμενος καθρέπτης ή το περιστρεφόμενο πολύγωνο, δεν εγγυώνται την μηχανική σταθερότητα και τη συνεχή ευθυγράμμιση των μετρήσεων κατά τη διάρκεια αναταράξεων του αεροσκάφους-φορέα. Έτσι, στο συγκεκριμένο είδος σαρωτή υιοθετήθηκαν οι προαναφερόμενες συστοιχίες οπτικών ινών, όπου η μια δέσμη χρησιμοποιείται προκειμένου να εκτρέπει και άρα να εκπέμπει τους παλμούς λέιζερ στο έδαφος, και η δεύτερη (πανομοιότυπη) δέσμη χρησιμοποιείται για να παραλαμβάνει την επιστροφή των ανακλάσεων των παλμών.

Κατά την εμπρόσθια κίνηση του αεροσκάφους, και άρα του αισθητήρα, συλλέγεται πλήθος σημείων, που διαμορφώνει κανονικό γεωμετρικά πρότυπο προσανατολισμένο ως προς την κατεύθυνση της πτήσης, το οποίο παράγει ένα εκτεταμένο χωρικά υψομετρικό μοντέλο. Η υψηλή συχνότητα μέτρησης (83,000 μετρήσεις αποστάσεων το δευτερόλεπτο) και η αποτελεσματική κάλυψη των σημείων σκόπευσης, επιτρέπουν εύλογο έλεγχο για τις μετρημένες αποστάσεις. Έτσι λοιπόν, εξασφαλίζεται υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης στα αποτελέσματα των μετρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί με τη χρήση του συγκεκριμένου συστήματος.



Εικόνα 2.10: Πλήρες Σύστημα Σαρωτή Falcon II, Πηγή: Alexander, 2005

Για την επίτευξη υψηλότερης ανάλυσης των υψομετρικών μοντέλων και βελτίωση στην κάλυψη της γης, η TopoSys χρησιμοποιεί μέθοδο σάρωσης που αποκαλείται ως «ταλαντευόμενη μέθοδος». Στην «Εικόνα 2.11», γίνονται αντιληπτά τα πλεονεκτήματα της βελτιστοποίησης της διαδικασίας μέτρησης.



Εικόνα 2.11: Δείγμα σάρωσης «ταλαντευόμενης μεθόδου» συστήματος LiDAR Falcon II, Πηγή: Alexander, 2005

Επιπρόσθετα, λόγω του συνδυασμού της διάταξης οπτικών του συστήματος Falcon II, όπου η εκπεμπόμενη ακτίνα λέιζερ εκτρέπεται πλευρικά και της εμπρόσθιας κίνησης του αεροσκάφους-φορέα, επιτυγχάνεται σάρωση πλατιάς λωρίδας εδάφους. Για την κάλυψη δε μεγαλύτερων περιοχών, σαρώνονται πολλαπλές και παράλληλες, λωρίδες που αλληλεπικαλύπτονται.

Το σύστημα LiDAR που χρησιμοποιεί η TopoSys διαχωρίζει τις ανακλάσεις σε πρώτου και τελευταίου παλμού. Ο πρώτος παλμός σχηματίζει στην εικόνα, το πρώτο αντικείμενο που στοχεύθηκε από τον παλμό λέιζερ, το οποίο ενδέχεται να ανήκει είτε σε κορυφή δέντρου, είτε στέγη κτιρίου ή σε κάποιο σημείο στο έδαφος. Από τις καταγραφές των σημείων πρώτου παλμού προκύπτει το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (Digital Surface Model-DSM). Η τελευταία επιστροφή αναπαριστά το γυμνό έδαφος, με εξαίρεση τις περιοχές πυκνής και υψηλής βλάστησης, καθώς εξαιτίας της γωνίας σάρωσης κανένα τμήμα του παλμού δεν μπορεί να διεισδύσει έως το έδαφος. Από τις καταγραφές των σημείων τελευταίου παλμού δημιουργείται το Ψηφιακό Μοντέλο Ανάγλυφου (Digital Terrain Model-DTM).

Όπως προαναφέρθηκε, το σύστημα Falcon II είναι εξοπλισμένο και με γραμμικό σαρωτή RGB/NIR, ο οποίος μέσω CCD αισθητήρων, καταγράφει ταυτόχρονα δεδομένα λέιζερ και φασματικές πληροφορίες σε τέσσερα κανάλια, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται, τόσο η απλοποίηση και αυτοματοποίηση στη διαδικασία ταξινόμησης

των χρήσεων γης και των αντικειμένων που καταγράφονται, όσο και αξιολόγησης των δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα μετατροπής των φασματικών δεδομένων σε ορθοφωτογραφίες με τη χρήση συναφούς μοντέλου επιφανείας (LiDAR DSM). Ο υψηλός βαθμός ευαισθησίας και το ευρύ δυναμικό πεδίο του συστήματος, επιτρέπει την καταγραφή δεδομένων ακόμη και σε μέτριες συνθήκες φωτισμού, ενώ επιπλέον, η ενσωματωμένη στο σύστημα μονάδα ψηφιακής επεξεργασίας και αποθήκευσης έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει έως και 330 γραμμές μιας εικόνας ανά δευτερόλεπτο.

Συνοπτικά, τα χαρακτηριστικά του συστήματος Falcon II φαίνονται στον Πίνακα 2.3.

FALCON II				
ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ LiDAR		ΣΑΡΩΤΗΣ RGB/NIR		
Εμβέλεια	1600 m	Φασματικά κανάλια	Μπλε	450 nm - 490 nm
Ανάλυση απόστασης	1.95 cm		Πράσινο	500 nm - 580 nm
Πλάτος σάρωσης	14.3°		Κόκκινο	580 nm - 660 nm
Ρυθμός σάρωσης	653 Hz		Εγγύς Υπέρυθρο	770 nm - 890 nm
Ρυθμός παλμού λέιζερ	83 000 Hz	Εικονοστοιχεία (pixels) ανά κανάλι		682
Πραγματικός ρυθμός μέτρησης	83 000 ανά sec	Ανάλυση κατά μήκος πορείας πτήσης		0.5 mrad
Μήκος κύματος παλμού λέιζερ	1560 nm	Ρυθμός γραμμής		έως 330 Hz
Απόσταση ασφαλείας ματιού	0.5 m	Οπτικό πεδίο		21.6°
Καταγραφή δεδομένων	Πρώτος & Τελευταίος Παλμός-Ένταση	Άνοιγμα διαφράγματος φακού		1 : 1.4

Πίνακας 2.3: Χαρακτηριστικά αισθητήρα λέιζερ (LiDAR) και γραμμικού σαρωτή RGB/NIR τεχνολογίας CCD Falcon II TopoSys.

2.6 ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ SAGA-GIS

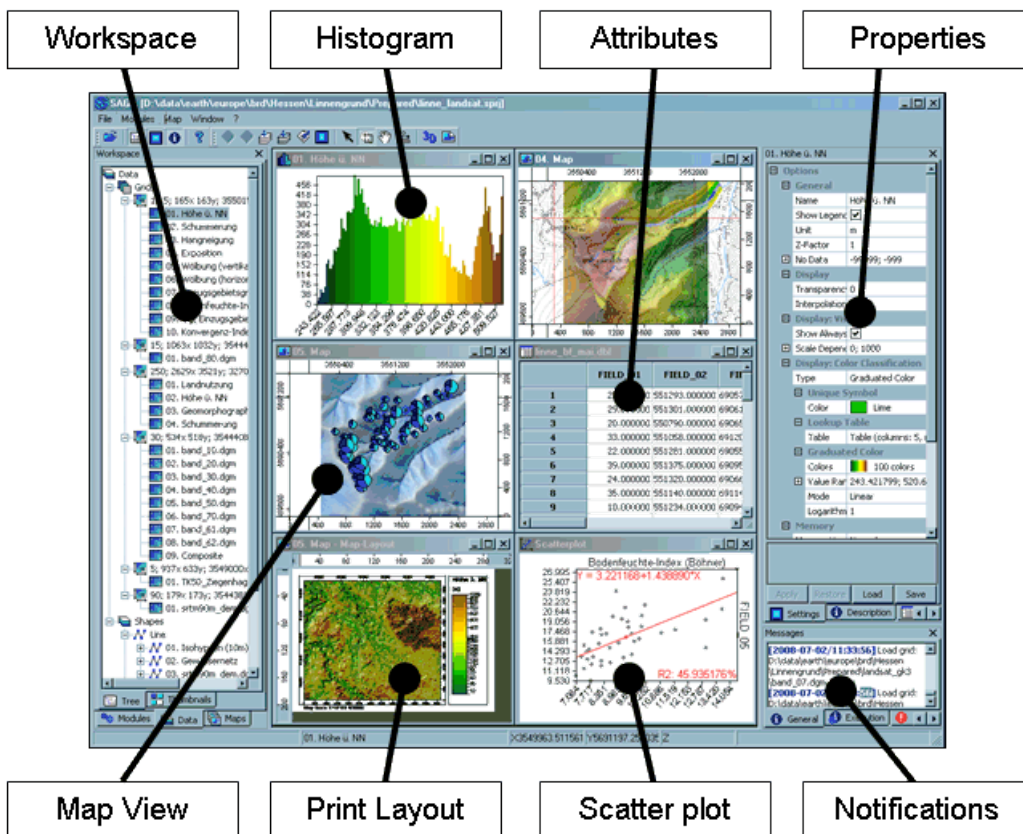
Το SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses) ανήκει στην κατηγορία ψηφιακών αλγορίθμων ανοικτής πηγής (**Free Open Source Software - FOSS**) και αναπτύσσεται πλέον με μέριμνα ομάδας επιστημονικού προσωπικού του Department of Physical Geography, Hamburg. Συγκροτείται ως πακέτο λογισμικού Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών, που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία χωρικών δεδομένων. Περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό αλγορίθμων (modules) από αρθρωμένα για ανάλυση διανυσματικά δεδομένα (σημεία, γραμμές και πολύγωνα), πινακοποιημένα δεδομένα, δεδομένα σε κάρναβο αλλά και εικονιστικά δεδομένα. Μεταξύ άλλων το πακέτο λογισμικού περιλαμβάνει ενότητες για γεωστατιστική, για ταξινόμηση εικόνων, για αλλαγές προβολικών συστημάτων, για εξομοίωση δυναμικών διαδικασιών (υδρολογία, ανάπτυξη τοπίου) και για ανάλυση τοπίου. Η λειτουργία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μέσω μιας διεπαφής με το χρήστη (GUI), είτε με τη γραμμή εντολών του συστήματος ή τέλος με τη χρήση της προγραμματιστικής διεπαφής, μέσω γλώσσας προγραμματισμού «C++». Το πακέτο λογισμικού SAGA GIS μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί μαζί με άλλους ψηφιακούς αλγορίθμους GIS, για την παραγωγή καλύτερων διανυσματικών δεδομένων. Τέλος, το πακέτο ενσωματώνει πολλές βιβλιοθήκες (*module library*), τόσο για την επεξεργασία των καθεαυτού DEM, DTM όσο και για την παραγωγή «προϊόντων» από αυτά (π.χ. χάρτης κλίσεων, καμπυλοτήτων, υδρογραφικών δικτύων, δείκτες Topographic Position Index).

Το SAGA βρίσκεται υπό ανάπτυξη από το έτος 2001, με το κέντρο ανάπτυξης του να βρίσκεται πλέον στο Ινστιτούτο Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου του Αμβούργου.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του εν λόγω πακέτου λογισμικού αυτού είναι τα ακόλουθα:

- Επιτρέπει πρόσβαση σε έναν μεγάλο αριθμό επιστημονικών αλγορίθμων μέσω του γραφικού περιβάλλοντος ή μέσω της γραμμής εντολών.
- Παρέχει δυνατότητα εισαγωγής/εξαγωγής σε πολλά διαφορετικά πρότυπα αρχείων.
- Επιτρέπει την αλλαγή προβολικού συστήματος/αναδόμηση δεδομένων
- Διευκολύνει τη διαχείριση διανυσματικών δεδομένων (συνένωση / τομή / περιγραφικά χαρακτηριστικά).
- Αναλύει εικονιστικά δεδομένα: παρεμβολή, ενσωματώνει ανάλυση κόστους
- Εξασφαλίζει διεξοδική ανάλυση εικόνας: φίλτρα, ανίχνευση ακμών, μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, κατάτμηση

- Επιτρέπει Ψηφιακή Ανάλυση Τοπίου: Δημιουργία γεωμορφομετρικών δεικτών, υδρογραφικά δίκτυα, διατομές, ισοϋψείς, ...
- Υπολογίζει Γεωστατιστικούς: αλγόριθμους όπως variogram fitting και kriging
- Ενσωματώνει γρήγορο γραφικό περιβάλλον για τη διαχείριση και οπτικοποίηση δεδομένων («Εικόνα 2.12»)
- Επιτρέπει τρισδιάστατη (3D) Οπτικοποίηση
- Συνεργάζεται με προγραμματιστικό περιβάλλον C++ και Python για δημιουργία νέων αλγορίθμων
- Παρέχει δυνατότητες σειριακού προγραμματισμού (scripting) μέσω γραμμής εντολών και μέσω Python
- Το πακέτο λογισμικού SAGA μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί μέσω της γλώσσας στατιστικών R μέσω του αλγόριθμου (module) RSAGA



Εικόνα 2.12: Το περιβάλλον του SAGA-GIS, Πηγή: SAGA User Guide (version 2.1.4) Volume 1, 2014

2.7 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ

2.7.1 Γενικά

Μέχρι σχετικά πρόσφατα οι μέθοδοι ανάλυσης των τηλεπισκοπικών δεδομένων είχαν ως στοιχειώδη μονάδα επεξεργασίας το εικονοστοιχείο (pixel). Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης χρησιμοποιούσαν αποκλειστικά φασματικά κριτήρια για την ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων σε κατηγορίες, δηλαδή η δημιουργία μιας κατηγορίας, στηριζόταν μόνο στη φασματική συγγένεια και γειτνίαση των επιμέρους εικονοστοιχείων. Συνεπώς οι προσεγγίσεις που γίνονταν έως τώρα, αναφέρονταν σε ένα μόνο επίπεδο, αυτό του εικονοστοιχείου αγνοώντας τις έννοιες της ιεραρχίας, της γειτνίασης και της κλίμακας (Burnett & Blaske, 2003). Οι φασματικές μέθοδοι ταξινόμησης όπως του εγγύτερου γείτονα, της μέγιστης πιθανοφάνειας κ.α. έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για μελέτες χρήσεων γης. Όταν όμως πρόκειται να γίνει μελέτη σε περίπλοκο περιβάλλον, όπως αυτό της αστικής γης, με υψηλής ανάλυσης δορυφορικά δεδομένα, η χρήση των φασματικών μεθόδων ταξινόμησης δε επαρκεί πλέον, καθώς με τη μέθοδο αυτή αγνοούνται βασικές σχέσεις ιεραρχίας και τοπολογίας των χαρακτηριστικών της εικόνας, πράγμα που επιδρά αρνητικά στην ακρίβεια της ταξινόμησης.

Τη λύση στο πρόβλημα αυτό ήρθε να δώσει η αντικειμενοστρεφής ανάλυση, μια πρωτοποριακή μέθοδος ψηφιακής ανάλυσης και ταξινόμησης εικόνας που σύμφωνα με τους Hay και Castilla (2006), ορίζεται ως:

«Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας αποτελεί μία ειδική εφαρμογή των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), που έχει σκοπό να εισάγει στην ανάλυση εικόνας σημασιολογικά αντικείμενα αυτής, τα οποία επιφέρουν χωρικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά».

Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση (Object Based Analysis-OBIA, ή Object Oriented Analysis), χρησιμοποιεί ως στοιχειώδη μονάδα το “αντικείμενο (object)”, δηλαδή μια ομάδα εικονοστοιχείων που έχει δημιουργηθεί βάσει κάποιων κριτηρίων που ορίζει ο χρήστης. Η μεθοδολογία αυτή λαμβάνει υπόψη την τηλεπισκοπική απεικόνιση, σαν ένα σύνολο ομοιογενών περιοχών-αντικειμένων. Τα κριτήρια αυτά ορίζονται μέσω της διαδικασίας της κατάτμησης πολλαπλών επιπέδων της εικόνας σε ομοιογενείς περιοχές, σε οποιοδήποτε επίπεδο ανάλυσης επιθυμεί ο χρήστης. Δημιουργώντας τέτοιες περιοχές εισάγονται στην ανάλυσή τοπολογικά και ιεραρχικά χαρακτηριστικά, χαρακτηριστικά σχήματος καθώς και χαρακτηριστικά για τις διάφορες σχέσεις που δημιουργούνται μεταξύ των αντικειμένων όπως π.χ. η μέση διαφορά φωτεινότητας ενός αντικειμένου με το διπλανό του. Η ανάλυση αυτή είναι εύκολα κατανοητή από το χρήστη, καθώς αναπαριστά τη διαδικασία που ακολουθεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος για την κατανόηση και ερμηνεία μίας εικόνας, δηλαδή την ομαδοποίηση των ομοιογενών περιοχών. Προϋπόθεση για την ανάπτυξη της Αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης αποτελεί η δημιουργία των αντικειμένων με τον

αλγόριθμο της κατάτμησης πολλαπλών επιπέδων. Η ανάλυση της εικόνας βασίζεται στα αντικείμενα, τα οποία αποτελούν και τα πρωτογενή δεδομένα της. Κάθε αντικείμενο περιλαμβάνει φασματικές πληροφορίες, πληροφορίες για το σχήμα του, για τους γείτονές του καθώς και για τα ανώτερα ή κατώτερα από αυτό αντικείμενα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ιδέα της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης υπήρχε από τη δεκαετία του 1960 και η πρώτη γλώσσα προγραμματισμού που είχε τέτοια χαρακτηριστικά ήταν η Simula-67.

2.7.2 Οι Μεθοδολογίες της Κατάτμησης και της Ταξινόμησης των Εικόνων

Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση επιτελείται μέσω δυο βασικών υπό-επεξεργασιών - προσεγγίσεων, της «κατάτμησης» και της «ταξινόμησης». Βασικό προαπαιτούμενο της υπό μελέτη μεθοδολογίας, είναι η κατάτμηση των δεδομένων, καθώς η διαδικασία αυτή δημιουργεί τα αντικείμενα/τμήματα, τα οποία θα μελετηθούν και θα ταξινομηθούν ακολούθως στο ομώνυμο στάδιο.

Η λογική της κατάτμησης των εικόνων πρωτοεμφανίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1970 (Haralick et al, 1973), όμως η μέθοδος κατάτμησης εικόνας παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το έτος 2000. Η μέθοδος αυτή κατάφερε να εφαρμοστεί στο λογισμικό του αλγόριθμου e-Cognition, όπως αναλύεται σε επόμενη παράγραφο. Οι διαδικασίες κατάτμησης έχουν αποτελέσει και συνεχίζουν να αποτελούν αντικείμενο μελέτης του τομέα της ανάλυσης εικόνας, με αποτέλεσμα να έχουν δημιουργηθεί πολλές σχετικές μεθοδολογίες. Κατά βάση, αυτό που επιδιώκεται στο αποτέλεσμα της κατάτμησης, είναι η αυτόματη εξαγωγή όλων των αντικειμένων ενδιαφέροντος μιας εικόνας, αναλόγως βέβαια του σκοπού για τον οποίο επιτελείται η επεξεργασία της εικόνας.

Η κατάτμηση επιτυγχάνεται με διαφορετικούς τρόπους. Στόχος της είναι να προκύψουν πρωτογενή αντικείμενα, τα οποία να μπορούν εν δυνάμει να δώσουν σημασιολογικά αντικείμενα με την διαδικασία της ταξινόμησης. Μια απλή μεθοδολογία, με χρήση *κατωφλίων*, συνήθως δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα από την άποψη της τελικής ποιότητας. Οι αλγόριθμοι ανάπτυξης περιοχών, ενώνουν ατομικά εικονοστοιχεία, ξεκινώντας από κάποια εικονοστοιχεία (pixels) τα οποία αποκαλούνται σπόροι (seeds). Η ποιότητα της κατάτμησης που επιτυγχάνεται μέσω των υπόψη αλγορίθμων, εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό των εικονοστοιχείων «σπόρων», ενώ συνήθως δεν είναι δυνατός ο έλεγχος των σημείων στα οποία ο αλγόριθμος θα σταματήσει να προσθέτει εικονοστοιχεία σε μια περιοχή (break points). Άλλη μια εναλλακτική μέθοδος είναι η *κατάτμηση βάσει της υφής των δεδομένων*, η οποία όμως μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε συγκεκριμένους τύπους δεδομένων, σε περιορισμένα είδη υφής και σε επιλύσεις ορισμένων μόνο προβλημάτων.

Περαιτέρω, μια ακόμα μέθοδος είναι η *προσέγγιση με χρήση βάσεων γνώσεων*, κατά την οποία ενσωματώνεται στην διαδικασία κατάτμησης, η γνώση που έχει προέλθει από περιοχές εκπαίδευσης και από άλλα δεδομένα. Σαν περιοχές εκπαίδευσης, ορίζονται τμήματα της εικόνας για τα οποία είναι γνωστή η χρήση γης που τα περιγράφει. Αυτή η μέθοδος, εκτός της κατάτμησης, ταυτόχρονα ταξινομεί και τα δεδομένα σε εννοιολογικές κατηγορίες, αλλά δεν δημιουργεί πάντα ομοιογενείς περιοχές.

Τέλος, εφαρμόζεται και η μέθοδος της *κατάτμησης σε πολλαπλά επίπεδα χωρικής ανάλυσης (multiresolution segmentation)*, η οποία υλοποιείται και στην παρούσα εργασία. Με την εν λόγω προσέγγιση, η υπό επεξεργασία εικόνα και γενικά τα υπό επεξεργασία δεδομένα, χωρίζονται σε αντικείμενα ενδιαφέροντος σε οποιαδήποτε επιθυμητή ανάλυση, με συνέπεια την επίτευξη δυνατότητας ταυτόχρονης αναπαράστασης των πληροφοριών της εικόνας σε διάφορες κλίμακες («*Εικόνα 2.13*»).

Η εξαγωγή αυτών των σημασιολογικών αντικειμένων συσχετίζεται πάντα με το υπό επίλυση πρόβλημα, ενώ η υφή και οι φασματικές ιδιότητες των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν, εξαρτώνται άμεσα από την κλίμακα κατάτμησης (Baatz και Schape 2002).

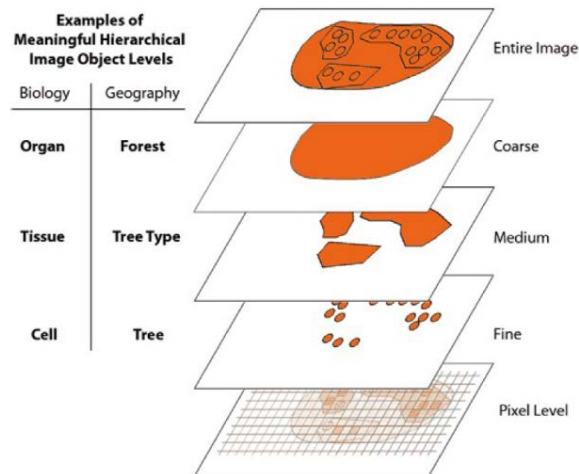
Η τελευταία αυτή μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας συνδυάζει αλγορίθμους ανάλυσης εικόνας χαμηλού, μεσαίου και υψηλού επιπέδου, σε ένα ενιαίο περιβάλλον λογισμικού (Αργιαλάς και Τζώτσος, 2002).

Η ταξινόμηση συνήθως εκτελείται μετά την κατάτμηση, αν και αυτό δεν είναι απόλυτο. Μπορούν να πραγματοποιηθούν ταξινομήσεις που να βασίζονται στην ελάχιστη απόσταση ενός αντικειμένου στο χώρο προτύπων, από τις διαθέσιμες κατηγορίες. Επίσης, μπορούν να εφαρμοστούν και αλγόριθμοι ομαδοποίησης (*clustering*) ή επιβλεπόμενες ταξινομήσεις με τη χρήση δειγμάτων.

Μια πολύ διαδεδομένη μέθοδος ταξινόμησης, είναι η ασαφής ταξινόμηση, όπου για κάθε αντικείμενο υπολογίζεται ένας ασαφής βαθμός συμμετοχής σε κάθε μια από τις διαθέσιμες προς ταξινόμηση κατηγορίες. Ο βαθμός αυτός υπολογίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά τα οποία έχει η κάθε κατηγορία και την ομοιότητα του αντικειμένου που είναι υποψήφιο προς ταξινόμηση προς τα χαρακτηριστικά αυτά. Στη συνέχεια, ο μέγιστος βαθμός συμμετοχής ταξινομεί το αντικείμενο στην κατηγορία για την οποία αυτός έχει προκύψει.

Υπάρχει ακόμη και η δυνατότητα ταξινόμησης με διαδικασίες τεχνητής νοημοσύνης, δηλαδή με διαδικασίες στηριγμένες στη γνώση, σε περιπτώσεις όπου η ταξινόμηση που ακολουθεί ένα στάδιο κατάτμησης, χρησιμοποιείται σε επόμενο στάδιο/επίπεδο, προκειμένου να γίνει εκ νέου κατάτμηση της εικόνας (κατάτμηση βάσει ταξινόμησης). Με την δημιουργία των αντικειμένων κατά την κατάτμηση, η εικόνα παύει να περιγράφεται πλέον μόνο από τις φασματικές ιδιότητες των εικονοστοιχείων

που την αποτελούν, καθώς ο ρόλος των μεμονωμένων pixels στις ανά εικονοστοιχείο προσεγγίσεις ταξινόμησης, αντιστοιχεί τώρα στα αντικείμενα, τα οποία και περιγράφονται από ένα πλήθος ιδιοτήτων, πέραν των φασματικών.



Εικόνα 2.13: Αναπαράσταση ιεραρχίας πολλαπλών επιπέδων αλληλοσχετιζόμενων αντικειμένων σε ίδιο και διαφορετικό επίπεδο,. Πηγή : e-Cognition Developer 9.0 User's Guide, 2014

Η ταξινόμηση βασίζεται στην «ασαφή λογική» (*fuzzy logic*), που επιτρέπει την ένταξη ευρέος φάσματος διαφόρων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των αντικειμένων που προέκυψαν από την κατάτμηση, όπως φασματικές τιμές, σχήμα, ή υφή, και σχέσεων μεταξύ αντικειμένων της εικόνας που ανήκουν σε δίκτυο. Η χρήση φυσικών ιδιοτήτων και χωρικών σχέσεων επιτρέπει την μετάβαση σε πολυπλοκότερες ταξινομήσεις. Έτσι, με χρήση αυτών των χαρακτηριστικών είτε μεμονωμένων είτε συνδυαστικών, καθώς και με χρήση, άλλοτε κατωφλίων και άλλοτε συναρτήσεων ασαφούς λογικής, επιτυγχάνεται η ταξινόμηση των αντικειμένων στις θεματικές ενότητες που έχουν επιλεγεί.

Η αντιμετώπιση της εικόνας σαν σύνολο εννοιολογικών ενοτήτων συνδράμει στην κατασκευή θεματικών τάξεων και συνεπώς κατάλληλης ιεραρχίας με κατηγορίες και υποκατηγορίες. Μια κατηγορία δε, ενδέχεται να αποτελεί υποκατηγορία περισσότερων διαφορετικών κατηγοριών. Στην περίπτωση αυτή, ο χρήστης προβαίνει σε συνένωση των επιμέρους κατηγοριών.

Μετά την ολοκλήρωση της ιεραρχικής δομής, επιτελείται η ταξινόμηση της εικόνας. Μέσω της ιεραρχίας, υλοποιείται μια αντικειμενοστρεφής αναπαράσταση των προς ταξινόμηση κατηγοριών και ταυτόχρονα, παρέχεται το λογικό πλαίσιο με βάση το οποίο θα πραγματοποιηθούν οι διαδικασίες κληροδότησης χαρακτηριστικών, από ορισμένες γενικότερες κατηγορίες σε πιο ειδικές. Τα χαρακτηριστικά των κατηγοριών και οι κανόνες, είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της αντικειμενοστρεφούς

διαδικασίας, αφού είναι ένα μέρος της αναπαράστασης των κατηγοριών και των αντικειμένων. Με άλλα λόγια, τα χαρακτηριστικά είναι το μέσο με το οποίο διαχωρίζονται τα αντικείμενα και οι κατηγορίες μεταξύ τους και αποκτούν την απαραίτητη μοναδικότητα ή την ομοιότητα. Οι ιδιότητες σε ένα αντικειμενοστρεφές σύστημα ανάλυσης εικόνας μπορούν να αφορούν στο χρώμα, στο σχήμα, στην υφή, στην σχέση του αντικειμένου με το περιβάλλον του, στην τοπολογία του με άλλες κατηγορίες, στην αλληλοκάλυψη με άλλα επίπεδα ανάλυσης κ.α. Επίσης, η κληρονομικότητα είναι πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της αντικειμενοστρεφούς διαδικασίας, καθώς επιτρέπει στον καθορισμό σχέσεων μέρους-όλου (*part-of-relationships*) και σχέσεων είδους (*kind-of-relationships*).

Από τις πληροφορίες που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της ταξινόμησης, επεξεργάζονται και ταξινομούνται εκ νέου τα αντικείμενα. Όταν οι επαναληπτικοί βρόγχοι ταξινόμησης-επεξεργασίας δεν εξάγουν πληροφορίες ικανές να μεταβάλλουν τις ιδιότητες ή τις σχέσεις των αντικειμένων-τεμαχίων, ολοκληρώνεται η αντικειμενοστρεφής ανάλυση και προκύπτει ο χωροταξικός και θεματικός χάρτης της εικόνας.

Τέλος, τα αποτελέσματα της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης μπορούν να εξαχθούν υπό μορφή ράστερ εικόνας και υπό μορφή πολυγώνων, διευκολύνοντας τη συνεργασία με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π- GIS). Η όλη διαδικασία της ανάλυσης μίας εικόνας μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα μικρού μεγέθους ψηφιακό πρωτόκολλο και να εφαρμοστεί σε άλλες παρόμοιες εικόνες, διατηρώντας σταθερές τις συνθήκες επεξεργασίας και αυτοματοποιώντας την διαδικασία (Αργιαλάς και Δερζέκος, 2002).

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται η αντικειμενοστρεφής ανάλυση για την ανίχνευση των κτιρίων. Σκοπός είναι η δημιουργία αντικειμένων, πάνω στα οποία θα αναπτυχθεί η διαδικασία ανίχνευσης τους, έτσι ώστε κάθε κτίριο να αναπαρίσταται από ένα ενιαίο και αυτόνομο αντικείμενο. Τα κτίρια παρουσιάζουν ένα μεγάλο εύρος φασματικών υπογραφών, ανάλογα με το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένη η οροφή τους π.χ. κεραμίδια, πλάκες κ.α. Συνεπώς λοιπόν η φασματική ανάλυση σε μία τέτοια περίπτωση δε θα επέτρεπε την ομαδοποίησή τους σε μία ενιαία κατηγορία, όπως επιτρέπει η αντικειμενοστρεφής ανάλυση. Κάποια αστικά χαρακτηριστικά, όπως οι τσιμεντένιες οροφές και οι ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι, παρουσιάζουν μεγάλη φασματική συγγένεια και ο μόνος τρόπος να τα διαχωρίσουμε είναι μέσω χαρακτηριστικών σχήματος, μεγέθους και γειννίας με άλλα αντικείμενα (Smith & Hoffmann, 2001). Για τους παραπάνω λόγους χρησιμοποιείται μεθοδολογία *αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης σε πολλαπλά επίπεδα χωρικής ανάλυσης*, της οποίας τα στάδια θα αναλυθούν με λεπτομέρεια στη συνέχεια.

2.8 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ «e-Cognition»

2.8.1 Γενικές Πληροφορίες για το Λογισμικό

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα βρίσκει εφαρμογή στο λογισμικό e-Cognition, το οποίο χρησιμοποιεί διάφορους αλγόριθμους προκειμένου να δημιουργήσει καταρχήν τα αντικείμενα, μέσω της διαδικασίας της κατάτμησης και στη συνέχεια να τα ταξινομήσει, με βάση την πληθώρα των χαρακτηριστικών που τα περιγράφουν κάθε φορά. Το λογισμικό αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης e-Cognition δημιουργήθηκε την εταιρία **Definiens Imaging GmbH** και μετά την αγορά των πνευματικών δικαιωμάτων του διατίθεται πλέον από την εταιρία **Trimble Navigation Ltd.** Κυκλοφορούν πολλές εκδόσεις του λογισμικού αυτού με πλέον πρόσφατη την έκδοση **9.0** που χρησιμοποιείται για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης.

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 δε έχει σχεδιαστεί κατάλληλα, 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. Όπως προαναφέρθηκε, παρά τις πολύχρονες έρευνες που βασίζονται σε μεθόδους ανάλυσης εικόνας με βάση τα μεμονωμένα εικονοστοιχεία, οι εν λόγω μέθοδοι, συχνά δεν είναι ικανές να αναγνωρίσουν χαρακτηριστικά τα οποία είναι προφανή, με μια απλή ανθρώπινη παρατήρηση. Όπως επεξηγήθηκε, αυτό συμβαίνει διότι η προσέγγιση μέσω μεμονωμένων pixels χρησιμοποιεί τη φασματική πληροφορία, που αναπαρίσταται από τις ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων σε ένα ή περισσότερα φασματικά κανάλια. Συνεπώς προσπαθεί να ταξινομήσει το κάθε εικονοστοιχείο, βασισμένη μόνο στα φασματικά του χαρακτηριστικά.

Αντίθετα, η προσέγγιση του πακέτου λογισμικού e-Cognition βασίζεται στο ότι η 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. Έτσι το εν λόγω λογισμικό βασίζεται και λειτουργεί στην κατεύθυνση της μεθόδου της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης που αναλύθηκε παραπάνω. Με βάση αυτή την μεθοδολογία, το λογισμικό e-Cognition δεν ταξινομεί τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας, αλλά τα πρωτογενή αντικείμενα που παράγονται κατά την κατάτμησης της. Στο πακέτο e-Cognition η ανάλυση εικόνας βασίζεται σε γειτονικές, ομογενείς περιοχές της εικόνας οι οποίες δημιουργούνται από μια αρχική κατάτμηση της. 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 γειτνιάσεις 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. Επισημαίνεται ότι το πρόγραμμα e-Cognition 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, στις περισσότερες φορές αντιστοιχούν σε πραγματικά αντικείμενα-θεματικές κατηγορίες.

Για την κατάτμηση των εικόνων στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος που έχει τη δυνατότητα να παράγει ομοιογενή αντικείμενα σε διαφορετικές κλίμακες (*multiresolution segmentation*). Η δυνατότητα αυτή πρακτικά σημαίνει ότι δίνεται διευκολύνεται ο χρήστης να παρεμβαίνει στο μέγεθος των πρωτογενών αντικειμένων, αλλάζοντας ορισμένες παραμέτρους. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται την ταυτόχρονη αναπαράσταση των πληροφοριών της εικόνας για διαφορετικές κλίμακες.

Κατά την εφαρμογή, ο χρήστης ορίζει το μέγεθος των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν για τις ανάγκες της μελέτης του. Το μέγεθος αυτό ορίζεται έμμεσα από την παράμετρο κλίμακας, δηλαδή το μέτρο της ανομοιογένειας που θα επιτραπεί από το πρόγραμμα, να παρουσιάζουν στο εσωτερικό τους τα αντικείμενα. Μαζί με την παράμετρο κλίμακας ο χρήστης αποφασίζει για τη βαρύτητα που θα δοθεί στη φασματική υπογραφή, ή αντίθετα στο σχήμα, για τη δημιουργία των αντικειμένων, καθώς και για το λείο της οριογραμμής ή αντίθετα το συμπαγές του σχήματός τους. Οι παράμετροι αυτοί μεταβάλλονται ανάλογα με το αντικείμενο και τις απαιτήσεις της κάθε μελέτης. Δεδομένου ότι στην παρούσα εργασία, όλα τα διαθέσιμα κανάλια του αισθητήρα που συνέλλεξε τα δεδομένα, 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).

Μόλις σχηματιστούν τα αρχικά αντικείμενα έχουν δημιουργηθεί και οι πρώτες σχέσεις γειτνίασης και ιεραρχίας. Με βάση τις σχέσεις αυτές αλλά και με τα άλλα εργαλεία που παρέχει το πακέτο, εξερευνώνται τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων και προχωρά η διαδικασία της ανάπτυξης βάσης γνώσης, για την αναγνώριση και την ταξινόμησή τους. Η ανάπτυξη βάσης γνώσης περιλαμβάνει τη δημιουργία κανόνων και χαρακτηριστικών με βάση τα οποία τα αρχικά αντικείμενα θα ταξινομηθούν στην κάθε κατηγορία. Η κάθε κατηγορία εσωκλείει μια σειρά από στοιχεία που την

περιγράφουν και τη διαχωρίζουν από τις υπόλοιπες. Το στάδιο αυτό προαπαιτεί αρχικά την προσεκτική φωτοερμηνεία της περιοχής έτσι ώστε να αναγνωριστούν και να δημιουργηθούν οι κατάλληλες κατηγορίες, ανάλογα με τις χρήσεις γης και τις εδαφοκαλύψεις που παρουσιάζονται στην εικόνα. Στη συνέχεια απαιτείται η εξερεύνηση όσο το δυνατόν περισσότερων χαρακτηριστικών του προγράμματος για την περιγραφή της κάθε κατηγορίας.

Ακολουθεί η διαδικασία της ταξινόμησης, η οποία «αναθέτει» τα αντικείμενα στις αντίστοιχες κατηγορίες υπακούοντας στους κανόνες που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Η κατηγοριοποίηση αυτή γίνεται με βάση την «ασαφή λογική», δηλαδή έναν αλγόριθμο που όχι μόνο αναθέτει ένα αντικείμενο σε μια κατηγορία, αλλά υπολογίζει επίσης και το ποσοστό συμμετοχής του σε αυτήν. Συνεπώς ένα αντικείμενο μπορεί να ανήκει σε δύο ή παραπάνω πιθανές κατηγορίες, όμως τελικά αποκτά την ταυτότητα της κατηγορίας εκείνης με την οποία «ταιριάζει» περισσότερο. Η *ασαφής λογική* εισάγεται στην ταξινόμηση με τη χρήση των συναρτήσεων συμμετοχής οι οποίες περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των τιμών του χαρακτηριστικού και του βαθμού συμμετοχής ενός αντικειμένου σε μία κατηγορία. Η χρήση της *ασαφούς λογικής* στη δημιουργία κανόνων για μια ταξινόμηση, επιτρέπει την εισαγωγή της γνώσης μέσα στην όλη διαδικασία και τον καθορισμό ενός είδους στρατηγικής για την ταξινόμηση αυτή (Definiens 2002).

Συχνά παρουσιάζεται η ανάγκη τα αποτελέσματα της ταξινόμησης να εισαχθούν σε ένα σύστημα GIS για την περαιτέρω επεξεργασία τους. Το πακέτο e-Cognition παρέχει τη δυνατότητα αυτόματης εξαγωγής των αντικειμένων σε πολύγωνα, τα οποία φέρουν είτε το όνομα της κατηγορίας στην οποία είχε ταξινομηθεί το αντικείμενο, ή οποιοδήποτε άλλο χαρακτηριστικό επιλέξει ο χρήστης. Στη συνέχεια τα πολύγωνα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν, είτε στο ίδιο το πακέτο για την επεξεργασία τους, ή να εισαχθούν σε κάποιο άλλο σύστημα με τη διανυσματική τους μορφή. Εφόσον επιλεγθεί η χρήση των πολυγώνων από το ίδιο το λογισμικό e-Cognition, η χρήση τους γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά που φέρουν κατά την εξαγωγή τους, με σκοπό π.χ. τη σύγκριση με κάποια άλλη ταξινόμηση.

Για την αξιολόγηση της ταξινόμησης που εφαρμόστηκε στην εικόνα, το πακέτο e-Cognition διαθέτει μια σειρά από εξεζητημένα στατιστικά εργαλεία ανάλυσης των ταξινομημένων αντικειμένων. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ένα αντικείμενο μπορεί να ανήκει σε παραπάνω από μία κατηγορίες όταν χρησιμοποιούμε την *ασαφή λογική* για την ταξινόμηση. Συνεπώς για να εξετάσουμε την αξιοπιστία και τη σταθερότητα της ταξινόμησης, πρέπει να υπολογιστούν τα διάφορα ποσοστά με βάση τα οποία το αντικείμενο αυτό συμπεριλήφθηκε στις επιμέρους κατηγορίες. Για να ποσοτικοποιηθεί η ποιότητα μίας κατηγορίας, όσον αφορά τα στατιστικά των αντικειμένων που την απαρτίζουν, χρησιμοποιείται ο παρακάτω κανόνας που επιβάλλει, ότι όσο περισσότερα είναι τα αντικείμενα μιας κατηγορίας, με βαθμό συμμετοχής στην κατηγορία αυτή ίσο με την μονάδα (1), τόσο πιο σαφής είναι η περιγραφή της κατηγορίας και αντίστροφα. Συμπληρωματικά υπολογίζονται επίσης

στατιστικά στοιχεία όπως η μέγιστη, η ελάχιστη, η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής και η τυπική απόκλιση.

2.8.2 Κατάτμηση Εικόνας & Ταξινόμηση Αντικειμένων

Οι διαδικασίες της κατάτμησης της εικόνας και της ταξινόμησης των αντικειμένων που προκύπτουν από αυτή είναι διαδικασίες κυκλικές και αλληλένδετες. Δεν αποτελούν μία μονόπλευρη σειρά διαδικασιών, αλλά έναν επαναλαμβανόμενο κύκλο έως ότου καταλήξουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτης, ο φωτοερμηνευτής τις εκτελεί διαδοχικά, πειραματιζόμενος κάθε φορά με τις παραμέτρους και τους κανόνες μέχρι να καταλήξει στον βέλτιστο συνδυασμό.

Ακολουθεί η αναλυτικότερη περιγραφή των διαδικασιών της κατάτμησης και της ταξινόμησης στο πακέτο λογισμικού e-Cognition.

2.8.2.1 Κατάτμηση Εικόνας

Πρώτο στάδιο ανάλυσης της εικόνας αποτελεί η κατάτμηση της. Στόχος της κατάτμησης όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι ο χωρισμός της εικόνας σε ομοιογενή τμήματα μέσω μιας τεχνικής συγχώνευσης τμημάτων της, με καθορισμό από τον χρήστη του επιθυμητού μεγέθους των τελικών αντικειμένων, της επιτρεπόμενης φασματικής ανομοιογένειας/ ομοιογένειας που θα παρουσιάζουν αυτά, αλλά και το πόσο συμπαγή και λεία θα είναι σχηματικά. (Δερζέκος και Αργιαλός 2002).

Στο λογισμικό e-Cognition, κατάτμηση της εικόνας ονομάζεται οποιαδήποτε διαδικασία δημιουργεί καινούργια αντικείμενα, ή μεταβάλλει τη μορφολογία των υπάρχοντων αντικειμένων της εικόνας με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Μια επιτυχημένη κατάτμηση οδηγεί σχεδόν πάντα σε αποτελεσματική ανάλυση εικόνων. Οι απαιτήσεις που πρέπει να καλυφθούν από την κατάτμηση, για να θεωρηθεί αυτή επιτυχής, διατυπώθηκαν στις αρχές της ανάπτυξης της κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης (Baatz, Schäpe & al., 2000) και είναι οι εξής:

- Η διαδικασία κατάτμησης πρέπει να παράγει υψηλής ομογένειας τεμάχια-αντικείμενα για τον καλύτερο διαχωρισμό και αναπαράσταση 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.
- Τα τεμάχια-αντικείμενα που προκύπτουν από την κατάτμηση να είναι παρόμοιου μεγέθους, καθώς σχεδόν όλες οι ιδιότητες των αντικειμένων είναι

εξαρτώμενες από την κλίμακα, και επιπλέον μόνο οι δομές σε παρόμοιες κλίμακες είναι συγκρίσιμες ποιοτικά και ως προς τις ιδιότητές τους.

- Η διαδικασία της κατάτμησης πρέπει να είναι παγκόσμια και εφαρμόσιμη σε πλήθος προβλημάτων.
- Τα αποτελέσματα της κατάτμησης πρέπει να είναι δυνατόν να αναπαραχθεί αξιόπιστα.
- Η κατάτμηση να ακολουθεί μια λογική αναλογία ακρίβειας αποτελέσματος-χρόνου επεξεργασίας, ακόμη και σε εικόνες μεγάλου μεγέθους.

Στο λογισμικό e-Cognition παρέχονται δύο στρατηγικές κατάτμησης:

- *Η από τα πάνω προς τα κάτω κατάτμηση*, όπου ένα αντικείμενο διαιρείται σε μικρότερα (**top down strategy**)

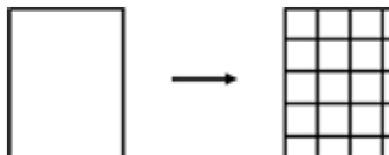
και

- *Η από τα κάτω προς τα πάνω κατάτμηση*, όπου μικρά αντικείμενα ενώνονται για τη δημιουργία ενός μεγαλύτερου (**bottom up strategy**)

2.8.2.1.1 Κατάτμηση με Top Down Strategy

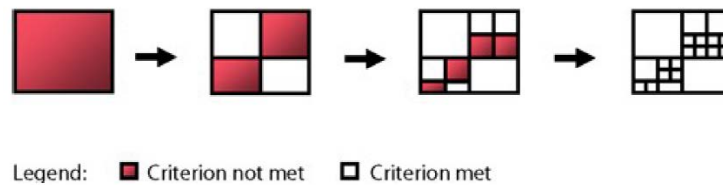
Η κατάτμηση με **top down strategy**, παρέχει τέσσερις μεθοδολογίες που συνοψίζονται ως εξής:

- α. Κατάτμηση Chessboard:** Είναι ο πιο απλός αλγόριθμος κατάτμησης που τεμαχίζει την εικόνα σε ίσα τετράγωνα, με διάσταση ίση με αυτή που ορίζει ο χρήστης.



Εικόνα 2.14: Κατάτμηση Chessboard, Πηγή : e-Cognition Developer 9.0 User's Guide, 2014

- β. Κατάτμηση Quadree-Based:** Ο εν λόγω αλγόριθμος, δημιουργεί τετράγωνα διαφορετικού μεγέθους, αφού ο χρήστης ορίσει κάποια κριτήρια ομοιογένειας. Η αρχική εικόνα διαιρείται σε τέσσερα τετράγωνα, κάθε ένα από τα οποία με τη σειρά τους διαιρούνται και αυτά σε άλλα τέσσερα κ.ο.κ. Η διαδικασία υποδιαίρεσης επαναλαμβάνεται έως ότου τα κριτήρια ομοιογένειας να πληρούνται σε κάθε τετράγωνο.



Εικόνα 2.15: Κατάτμηση Quadtree-based, Πηγή : e-Cognition Developer 9.0 User's Guide, 2014

γ. Κατάτμηση Constant Filter: Είναι εξαιρετικά ταχύς αλγόριθμος και τα αποτελέσματα της κατάτμησης χρησιμοποιούνται ως αρχικά δεδομένα για περαιτέρω επεξεργασία. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να απομονώνει τα αντικείμενα ενδιαφέροντος σε ένα μόνο βήμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, δεν χρειάζεται να δημιουργηθούν αντικείμενα μικρότερα από τα αντικείμενα ενδιαφέροντος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αρχικό βήμα ανάλυσης για την βελτίωση των τελικών αποτελεσμάτων ανάλυσης εικόνας. Ο υπόψη αλγόριθμος είναι πολύ χρήσιμος σε περιπτώσεις όπου τα αντικείμενα της εικόνας είναι ευδιάκριτα.

δ. Κατάτμηση Constant Split: Ο τελευταίος αλγόριθμος τύπου **top down**, είναι παραπλήσιος με τον **multi-threshold** (περιγράφεται παρακάτω). Αυτός διαιρεί την εικόνα σε σκοτεινές και φωτεινές περιοχές με βάση μία τιμή κατώφλιωσης, η οποία μεγιστοποιεί την αντίθεση μεταξύ των δύο περιοχών. Ο αλγόριθμος υπολογίζει το καταλληλότερο κατώφλι ξεχωριστά για κάθε αντικείμενο. Αρχικά πραγματοποιείται μία κατάτμηση Chessboard και μετά γίνεται διαχωρισμός σε κάθε τετράγωνο.

2.8.2.1.2 Κατάτμηση με Bottom Up Strategy

Η κατάτμηση με **bottom-up strategy**, παρέχει τρεις (3) μεθοδολογίες ως εξής:

α. Κατάτμηση Multiresolution: Ο εν λόγω αλγόριθμος, όπως θα αναλυθεί περισσότερο στη συνέχεια, καθόσον χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, ενώνει εικονοστοιχεία (pixels) ή υπάρχοντα αντικείμενα. Αναγνωρίζει και ενώνει τα pixel ή τα αντικείμενα ανάλογα με το επίπεδο κατάτμησης της εικόνας και τα ενώνει με γειτονικά, με βάση κάποια κριτήρια ομοιογένειας. Αυτά τα κριτήρια που ελέγχονται και μπορούν να τροποποιηθούν από τον χρήστη, είναι συνδυασμός φασματικών και σχηματικών.

β. Κατάτμηση Multi-threshold και Automatic Threshold: Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εμφανίστηκε για πρώτη φορά στο λογισμικό e-Cognition 8.7. Διαιρεί την εικόνα και ταξινομεί τα αντικείμενα με βάση ένα ορισμένο κατώφλι-τιμή για το εικονοστοιχείο (pixel). Το κατώφλι αυτό, μπορεί να οριστεί από τον χρήστη, ή ορίζεται αυτόματα με τον αλγόριθμο **Automatic Threshold**. Το κατώφλι μπορεί επίσης, να οριστεί για ολόκληρη την εικόνα ή

για ορισμένα αντικείμενα. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό μεθόδων ιστογράμματος και μετρήσεων ομοιογένειας της κατάτμησης σε πολλαπλά επίπεδα χωρικής ανάλυσης, προκειμένου να υπολογίσει ένα κατώφλι, με το οποίο θα διαιρεθεί ο επιλεγμένος αριθμός των εικονοστοιχείων σε δύο υποκατηγορίες.

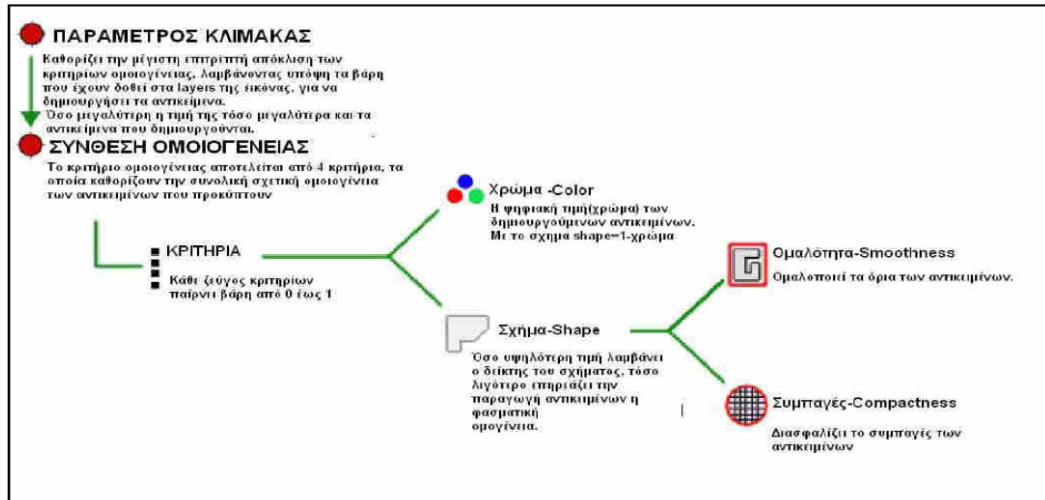
- γ. **Κατάτμηση Spectral Difference:** Ο αλγόριθμος αυτός ενώνει γειτονικά αντικείμενα, εφόσον η διαφορά της φασματικής τους τιμής είναι μικρότερη από την τιμή που έχει οριστεί ως μέγιστη φασματική διαφορά. Ο υπόψη αλγόριθμος δεν μπορεί να δημιουργήσει νέα αντικείμενα με βάση το επίπεδο των εικονοστοιχείων της εικόνας.

2.8.2.2 Ο Αλγόριθμος Πολλαπλής Κατάτμησης Εικόνας (multiresolution segmentation)

Η κατάτμηση πολλών επιπέδων αναπτύχθηκε με σκοπό την εξαγωγή ομογενών αντικειμένων, βάσει τόσο των τιμών των διάφορων χαρακτηριστικών σε επίπεδο εικονοστοιχείου, όσο και του σχήματός τους, σε οποιαδήποτε επίπεδο ανάλυσης επιλεγθεί. Είναι μία διαδικασία συνένωσης των εικονοστοιχείων που ξεκινά με αντικείμενα που αποτελούνται από ένα pixel, 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 μια επανάληψη, κάθε αντικείμενο συμμετέχει μία φορά και οι επαναλήψεις συνεχίζονται έως ότου να μην μπορεί να γίνει περαιτέρω συνένωση. Συνεπώς μεγαλύτερες τιμές κλίμακας (*scale parameter*) έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ανοχή στην ετερογένεια, και συνεπώς μεγαλύτερα αντικείμενα και αντίστροφα. Η παράμετρος κλίμακας εισάγεται στο πεδίο *Segmentation Settings*, του παραθύρου διαλόγου *Edit Process*.

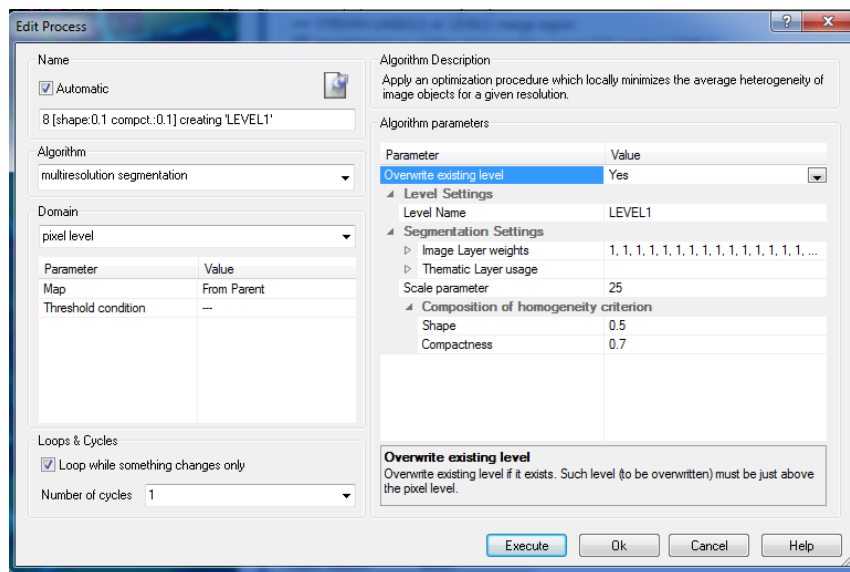
Η κατάτμηση πολλών επιπέδων είναι μία διαδικασία οπτικοποίησης η οποία ελαχιστοποιεί τη μέση ετερογένεια για ένα δεδομένο αριθμό αντικειμένων. Η ετερογένεια ορίζεται ως η συνδυαστική διαφοροποίηση στη συμμετοχή των φασματικών χαρακτηριστικών (τυπική απόκλιση) και του σχήματος (συμπαγές ή λείο αντικείμενο). Αρχικά ορίζεται η παράμετρος κλίμακας και κατόπιν εισάγονται οι παράμετροι του κριτηρίου ομοιογένειας, δηλαδή το κριτήριο χρώματος έναντι του κριτηρίου σχήματος. Κατόπιν η επιλογή του κριτηρίου σχήματος οδηγεί σε περαιτέρω διαχωρισμό στα κριτήρια προκειμένου να δοθεί βάρος είτε στο συμπαγές του σχήματος, ή στο λείο της οριογραμμής. (Εικόνες 2.16 και 2.17).



Εικόνα 2.16: Διάγραμμα ροής κατά την κατάτμηση σε πολλαπλά επίπεδα χωρικής ανάλυσης (multiresolution segmentation). Πηγή: Μπαμπουρδά, (2012)

- Η παράμετρος κλίμακας 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, ενός ανώτερου επιπέδου κατάτμησης. Έτσι, 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), όπως περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα. 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.
- Η παράμετρος που καθορίζει τα ειδικά βάρη των φασματικών καναλιών της εικόνας, επιτρέπει την ακριβή αποτίμηση των φασματικών πληροφοριών τους, ανάλογα με το αποτέλεσμα που επιθυμείται από την κατάτμηση. Όσο μεγαλύτερο είναι το ειδικό βάρος που δίνεται σε ένα κανάλι, τόσο περισσότερη είναι η πληροφορία που θα χρησιμοποιηθεί από αυτό κατά την κατάτμηση. Επίσης είναι δυνατή η εισαγωγή και θεματικών επιπέδων ψηφιακών μοντέλων εδάφους, αντί φασματικών καναλιών.

- Το κριτήριο του χρώματος είναι ένας δείκτης του βαθμού στον οποίο θα συμμετέχει η φασματική υπογραφή στη συνένωση των εικονοστοιχείων ή των αντικειμένων. Είναι ανταγωνιστικό του κριτηρίου του σχήματος το οποίο δημιουργεί αντικείμενα με όσο το δυνατόν πιο κανονικό σχήμα αγνοώντας τη φασματική πληροφορία.
- Το κριτήριο του σχήματος χωρίζεται στα επιμέρους κριτήρια που αφορούν το συμπαγές του σχήματος ή αντίθετα το λείο της οριογραμμής. Το πρώτο συμβάλλει στη δημιουργία συμπαγών αντικειμένων δηλαδή όχι ιδιαίτερα μακρόστενων, ενώ αντίθετα το δεύτερο συμβάλλει στο σχηματισμό αντικειμένων με πιο λείο περίγραμμα και όχι συμπαγές. Οι τιμές των κριτηρίων ομοιογένειας συμπληρώνεται στο πεδίο «Κριτήρια ομοιογένειας» (*Composition of homogeneity Criterion*) στα αντίστοιχα υποπεδία «Σχήμα» (*Shape*) και «Συμπαγές Σχήματος» (*Compactness*). Τα κριτήρια «Χρώμα» (*Color*) και «Λείο Οριογραμμής» (*Smoothness*) αντίστοιχα εφόσον λειτουργούν ανταγωνιστικά, λαμβάνουν αυτόματα τιμές “1- *Shape*” και “1- *Compactness*”.



Εικόνα 2.17: Ο αλγόριθμος πολλαπλής κατάτμησης όπως παρουσιάζεται στο παράθυρο διαλόγου και οι παράμετροί του.

Οι βασικές αρχές αυτού του είδους κατάτμησης είναι οι ακόλουθες:

- Τα αντικείμενα που δημιουργούνται, πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά μίας κλάσης με ακρίβεια. Τα αντικείμενα αυτά, πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερα και το περίγραμμά τους όσο το δυνατόν πιο λείο. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η δημιουργία των τελικών αντικειμένων είναι πάντα μία διαδικασία αλληλεπίδρασης της κατάτμησης, της ταξινόμησης και της επόμενης κατάτμησης οπότε από το στάδιο

της κατάτμησης, ο φωτοερμηνευτής θα πρέπει να αξιολογεί τα αντικείμενα εκτός των άλλων, λαμβάνοντας υπόψη και την ταξινόμηση που θα ακολουθήσει.

- Είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάρος στο κριτήριο του χρώματος και τόσο βάρος στο κριτήριο σχήματος όσο χρειάζεται για τη δημιουργία αντικειμένων με λείο περίγραμμα και συμπαγές σχήματος. Ο λόγος που υπάρχει ο κανόνας αυτός, είναι ότι η φασματική πληροφορία που μας δίνει η εικόνα, είναι η σημαντικότερη όλων των δεδομένων που εμπεριέχονται σε αυτήν. Η χρήση μεγάλου βάρους στο κριτήριο του σχήματος μπορεί να περιορίσει την ποιότητα της κατάτμησης.
- Μία αποτελεσματική μέθοδος για την κατάτμηση της εικόνας είναι ο πειραματισμός και η εκτέλεση πολλών κατατμήσεων με διαφορετικές παραμέτρους, μέχρις ότου να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Αν οι εικόνες είναι πολύ μεγάλες, τότε υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας ενός αντιπροσωπευτικού τμήματός τους και στη συνέχεια μόλις αποφασιστούν οι κατάλληλες παράμετροι για την κατάτμηση, να εφαρμοστεί σε ολόκληρη την εικόνα.

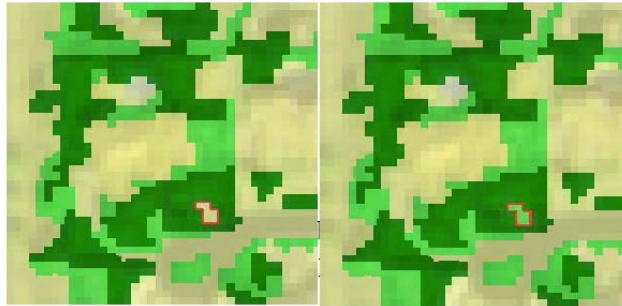
2.8.2.3 Κατάτμηση Βάσει Αλγορίθμων Ανακατασκευής του Σχήματος (Reshaping Algorithms).

Όλοι οι αλγόριθμοι που ανήκουν στην κατηγορία αλγορίθμων ανακατασκευής σχήματος (reshaping algorithms), ανήκουν τεχνικά στις στρατηγικές της κατάτμησης. Οι αλγόριθμοι αυτοί δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό αντικειμένων που δεν ανήκουν σε κατηγορίες, διότι απαιτούν προϋπάρχοντα κατηγοριοποιημένα αντικείμενα της εικόνας. Πολλές φορές ο αλγόριθμος ανακατασκευής αναφέρεται ως κατάτμηση βάσει ταξινόμησης (classification-based segmentation), επειδή χρησιμοποιεί συνήθως πληροφορίες για την κατηγορία των αντικειμένων της εικόνας που πρόκειται να συγχωνευθεί ή να κοπεί.

Κατάτμηση βάσει ταξινόμησης: Τυπικά, τα αντικείμενα της εικόνας δημιουργούνται από τον αλγόριθμο κατάτμησης πολλαπλών επιπέδων, περικλείοντας στο εσωτερικό τους τις πρωτογενείς ιδιότητες τους. Οι εννοιολογικές τους όμως πληροφορίες εισάγονται με τη διαδικασία της ταξινόμησης. Πολύ συχνά, τα αντικείμενα ενδιαφέροντος του χρήστη δεν είναι ομογενή. Η κατάτμηση βάσει ταξινόμησης, είναι μια διαδικασία εξαγωγής ή εκλέπτυνσης των αντικειμένων της εικόνας, που στηρίζεται στη διαδικασία της ταξινόμησης. Ως εκ τούτου, τα αντικείμενα ενδιαφέροντος μπορούν πλέον να δημιουργηθούν με βάση πιο σύνθετους και εννοιολογικούς κανόνες, προκειμένου να εξυπηρετήσουν καλύτερα τους σκοπούς της εκάστοτε μελέτης. Η κατάτμηση βάσει ταξινόμησης εκτελείται από μια ομάδα αλγορίθμων οι οποίοι ονομάζονται «Αλγόριθμοι Ανακατασκευής του Σχήματος» (Reshaping Algorithms). Οι αλγόριθμοι αυτοί θα συνενώσουν ή θα κατατμήσουν τα

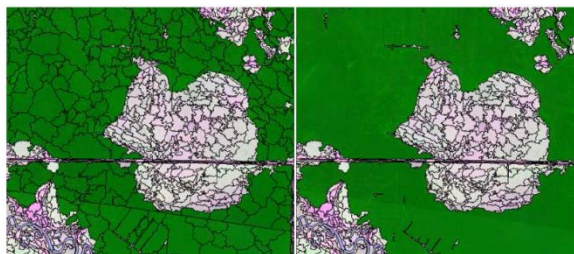
αντικείμενα, με βάση τα υπό-αντικείμενά τους. Οι πιο συνηθισμένοι από τους υπόψη αλγόριθμους είναι οι παρακάτω:

- **Διαγραφή Αντικειμένων (Remove Objects):** Ο αλγόριθμος αυτός συνενώνει τα αντικείμενα που θα επιλεγούν από το χρήστη στο πεδίο εφαρμογής, με τα αντικείμενα που έχουν το μέγιστο κοινό όριο, όπως φαίνεται στην «Εικόνα 2.18». Το παράθυρο διαλόγου του αλγορίθμου «Διαγραφή Αντικειμένων» περιλαμβάνει τα πεδία «Πεδίο Εφαρμογής», όπου συμπληρώνεται το επίπεδο στο οποίο θα εφαρμοστεί ο αλγόριθμος, η κατηγορία ή οι κατηγορίες στις οποίες θα ανήκουν τα υποψήφια αντικείμενα που θα διαγραφούν, η συνθήκη που θα πρέπει να πληρούν τα αντικείμενα αυτά και το αν ο αλγόριθμος θα εφαρμοστεί με επαναλήψεις. Τέλος, στο πεδίο «Τελική Κατηγορία» (*Target Class*) συμπληρώνεται η κατηγορία με την οποία θα συγχωνευτούν τα υποψήφια αντικείμενα.



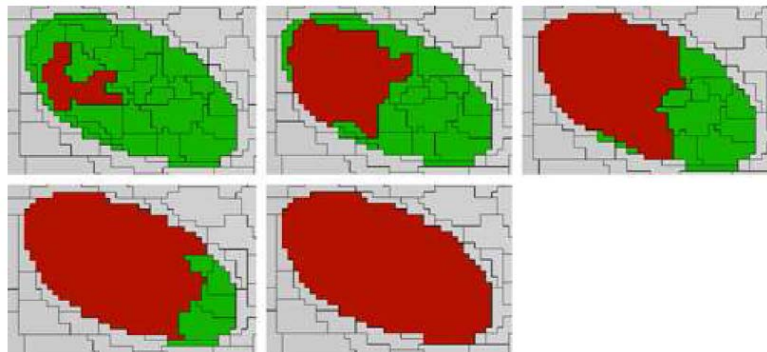
Εικόνα 2.18: Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου Διαγραφή Αντικειμένων. Πηγή: *e-Cognition Developer 9.0 User's Guide, 2014*

- **Συνένωση Περιοχών (Merge Region):** Ο αλγόριθμος αυτός συνενώνει τα αντικείμενα που θα επιλεγούν από το χρήστη στο πεδίο εφαρμογής, όπως φαίνεται στην «Εικόνα 2.19». Το παράθυρο διαλόγου του αλγορίθμου «Συνένωση Αντικειμένων» περιλαμβάνει τα πεδία «Πεδίο Εφαρμογής» όπου συμπληρώνεται το επίπεδο στο οποίο θα εφαρμοστεί ο αλγόριθμος, η κατηγορία ή οι κατηγορίες των οποίων τα αντικείμενα θα ενωθούν, η συνθήκη που θα πρέπει να πληρούν τα αντικείμενα αυτά, το αν ο αλγόριθμος θα εφαρμοστεί με επαναλήψεις, το αν θα ενωθούν και τα υπέρ-αντικείμενα της κατηγορίας και τέλος το αν θα χρησιμοποιηθούν ή όχι θεματικά επίπεδα.



Εικόνα 2.19: Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου Συνένωση Περιοχών. Πηγή: *e-Cognition Developer 9.0 User's Guide, 2014*

- **Επέκταση Περιοχών (Grow Region):** Επεκτείνει τα αντικείμενα που θα επιλεγούν από το χρήστη στο πεδίο εφαρμογής, ενώνοντάς τα με τα γειτονικά αντικείμενα (υποψήφια αντικείμενα για συνένωση), με βάση τη συνθήκη που θα οριστεί στις παραμέτρους του αλγορίθμου όπως φαίνεται στην «Εικόνα 2.20». Ο αλγόριθμος αυτός λειτουργεί σε έναν μόνο κύκλο, δηλαδή για κάθε φορά που θα εκτελείται, συνενώνει τα εν λόγω αντικείμενα με τα αμέσως γειτονικά τους που είναι υποψήφια για συνένωση. Για το λόγο αυτό υπάρχει η επιλογή να λειτουργεί σε κύκλους, μέχρι να αλλάξουν τα υποψήφια γειτονικά αντικείμενα. Το παράθυρο διαλόγου του αλγορίθμου «Συνένωση Αντικειμένων» περιλαμβάνει τα πεδία «Πεδίο Εφαρμογής» όπου συμπληρώνεται το επίπεδο στο οποίο θα εφαρμοστεί ο αλγόριθμος, η κατηγορία, ή οι κατηγορίες των οποίων τα αντικείμενα θα επεκταθούν, η συνθήκη που θα πρέπει να πληρούν τα αντικείμενα αυτά, το αν ο αλγόριθμος θα εφαρμοστεί με επαναλήψεις, οι υποψήφιες κατηγορίες που θα αντικατασταθούν από τις κατηγορίες που θα επεκταθούν, το αν θα ενωθούν και τα υπέρ-αντικείμενα και τέλος το αν θα χρησιμοποιηθούν ή όχι θεματικά επίπεδα.



Εικόνα 2.20: Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου Επέκταση Περιοχών. Πηγή: e-Cognition Developer 9.0 User's Guide, 2014

2.8.3 Ιεραρχία των Αντικειμένων

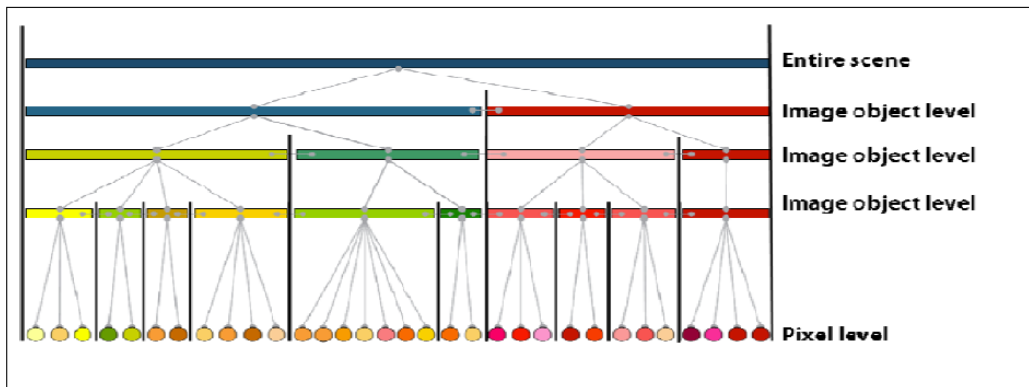
Οι αλγόριθμοι κατάτμησης που εφαρμόζονται στο e-Cognition δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας ενός ιεραρχικού δικτύου αντικειμένων, το οποίο αναπαριστά την πληροφορία της εικόνας με διαφορετική χωρική ανάλυση ανάλογα, με τις παραμέτρους του αλγορίθμου. Το ιεραρχικό δίκτυο είναι δομημένο με τρόπο ώστε κάθε αντικείμενο να γνωρίζει ποια είναι τα γειτονικά του, το περιεχόμενό τους και ποια είναι τα υπό-αντικείμενα και τα υπέρ-αντικείμενά του. Συνεπώς μπορούν να οριστούν οι σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων και να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή πληροφοριών για όλη την εικόνα.

Στο λογισμικό e-Cognition δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει ανώτερα, κατώτερα και ενδιάμεσα επίπεδα αντικειμένων από τα υφιστάμενα. Γνωρίζοντας ότι

στο πρόγραμμα χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος συνένωσης των αντικειμένων ανά δύο, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

- Κάθε κατάτμηση χρησιμοποιεί τα αντικείμενα της εικόνας τα οποία ανήκουν σε κατώτερο επίπεδο, ως δομικούς λίθους για την ακόλουθη συνένωση των αντικειμένων σε νέα τμήματα της εικόνας.
- Ταυτόχρονα, τα όρια των επόμενων μεγαλύτερων επιπέδων τηρούνται αυστηρά. Για το λόγο αυτό, δεν είναι δυνατό να δημιουργήσουμε ένα επίπεδο με μεγαλύτερα αντικείμενα από αυτά που περιέχονται στο ανώτερό του. Συνεπώς δεν είναι επίσης δυνατό να δημιουργήσουμε ένα επίπεδο, με μικρότερα αντικείμενα από το κατώτερό του.

Στην «Εικόνα 2.21» παρουσιάζεται σχηματικά το ιεραρχικό δίκτυο, όπως αυτό δομείται από το κατώτερο επίπεδο (δηλαδή εκείνο των εικονοστοιχείων), προς το ανώτερο επίπεδο αντικειμένων, καθώς και οι δύο προαναφερθείσες συνθήκες.



Εικόνα 2.21: Το ιεραρχικό δίκτυο των αντικειμένων της εικόνας όπως αναπτύσσεται από το κατώτερο επίπεδο των εικονοστοιχείων στα ανώτερα επίπεδα των αντικειμένων. Πηγή: *e-Cognition Developer 9.0 User's Guide, 2014*

Το ιεραρχικό δίκτυο των αντικειμένων δίνει τη δυνατότητα για καινοτόμες τεχνικές επεξεργασίας όπως οι εξής:

- Τα αντικείμενα που προέκυψαν από διαφορετικής κλίμακας κατατμήσεις και δημιούργησαν διαφορετικά επίπεδα, μπορούν να αναπαρασταθούν ταυτόχρονα και να ταξινομηθούν στα αντίστοιχα επίπεδα συγκριτικά μεταξύ τους.
- Το σχήμα των αντικειμένων μπορεί να διορθωθεί, ενώνοντας τα υπό-αντικείμενα του κατώτερου επιπέδου.
- Τα διάφορα επίπεδα μπορούν να κατατμηθούν με βάση διαφορετικά δεδομένα. Για παράδειγμα, ένα ανώτερο επίπεδο μπορεί να δημιουργηθεί με βάση ένα θεματικό επίπεδο, ενώ ένα κατώτερο μπορεί να δημιουργηθεί με

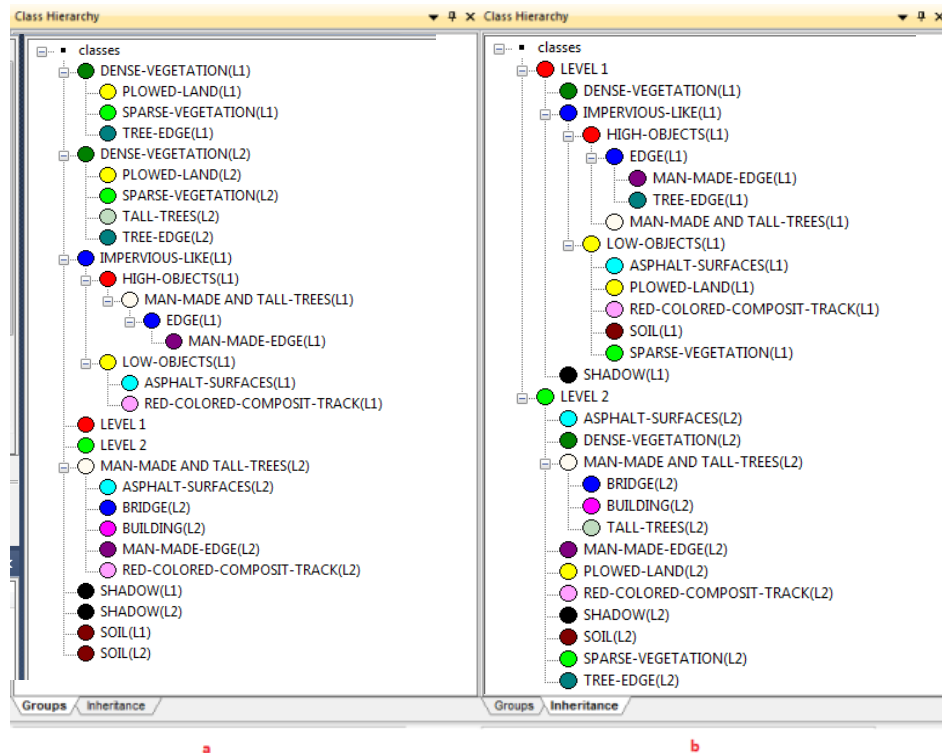
βάση τα φωτοερμηνευτικά δορυφορικά δεδομένα. Η ταξινόμηση δε των αντικειμένων, που φέρουν τη θεματική πληροφορία στο ανώτερο επίπεδο, μπορεί να γίνει με βάση τη σύσταση των αντικειμένων στο κατώτερο επίπεδο. Η τεχνική αυτή επιτρέπει την ταυτόχρονη επεξεργασία διαφορετικών τύπων δεδομένων όχι μόνο ανεξάρτητα, αλλά και μεταξύ τους.

- Το ιεραρχικό δίκτυο επιτρέπει την ταξινόμηση των υπό-αντικειμένων σε σχέση με τα ανώτερά τους.

2.8.4 Ιεραρχία των Κατηγοριών

Η ιεραρχία των κατηγοριών ή αλλιώς «*class hierarchy*», περιέχει όλες τις κατηγορίες της ταξινόμησης σε μία ιεραρχική δομή. Οι σχέσεις που ορίζονται σε αυτήν έχουν διπλή σημασία και έτσι η μία αφορά στην κληροδοσία χαρακτηριστικών, από τη μητρική κατηγορία στις θυγατρικές, ενώ η άλλη στις εννοιολογικές ομάδες όπου ανήκει η κάθε κατηγορία. Οι σχέσεις αυτές περιγράφονται στα πεδία «*Κληρονομιά*» (*Inheritance*) και «*Ομάδες*» (*Groups*) αντίστοιχα.

- **Κληρονομιά:** Οι περιγραφές των κατηγοριών μεταφέρονται από τη μητρική κατηγορία στις θυγατρικές της. Ο σκοπός που δημιουργήθηκε ο ορισμός της κληροδοσίας χαρακτηριστικών, είναι η μείωση της πολυπλοκότητας και του πλεονασμού των περιγραφών των κατηγοριών.
- **Ομάδες:** Οι κατηγορίες συνδυάζονται σε μία ανώτερη, αποκλειστικά με βάση εννοιολογικά κριτήρια. Ο σκοπός που δημιουργήθηκε η δυνατότητα εννοιολογικής ομαδοποίησης, είναι η ένωση εννοιολογικά παρόμοιων κατηγοριών οι οποίες χωρίστηκαν κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης.



Εικόνα 2.22: Παράδειγμα ιεραρχίας (α) κληρονομιάς, (β) ομάδων κατηγοριών στο λογισμικό e-Cognition της Περιοχής 2

Οι δύο αυτές πλευρές των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των κατηγοριών αλληλοσυμπληρώνονται, καθώς η ιεραρχία της κληροδοσίας (Εικόνα 2.22α) χωρίζει και διαφοροποιεί τις κατηγορίες με βάση τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων, ενώ η ιεραρχία των ομάδων (Εικόνα 2.22β) επιτρέπει την ένωσή τους σε εννοιολογικό πλαίσιο. Στα πλαίσια της ιεραρχίας κληροδότησης (*Inheritance hierarchy*), δημιουργούνται γονικές κατηγορίες (*parent classes*), οι οποίες υποδιαιρούνται σε κατηγορίες-γόνους (*child classes*). Οι κατηγορίες-γόνους διαθέτουν τα γενικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που κληρονόμησαν από τις γονικές κατηγορίες στο πεδίο «Κληρονομημένα» (*Inherited*), οι οποίες μπορεί να είναι περισσότερες από μία, και επιπλέον τις χαρακτηριστικές ιδιότητες που περιγράφουν αποκλειστικά τις ίδιες στο πεδίο «Περιεχόμενα» (*Contained*). Αξίζει να σημειωθεί ότι εξασφαλίζεται ο συγχρονισμός όλων των κατηγοριών-γόνων, ώστε αλλαγές στη γονική κατηγορία να κληρονομούνται αυτόματα σε όλες. Παραδείγματος χάριν, όπως παρατηρείται στην Εικόνα 2.22α, όπου φαίνονται οι κατηγορίες της Περιοχής 2 της παρούσας μελέτης (υποδιαίρεση της εικόνας εργασίας), η γονική κατηγορία “LOW-OBJECTS (L1)” περιγράφεται από μέσες φασματικές τιμές και κληρονομεί αυτή την ιδιότητα στις κατηγορίες-γόνους “ASPHALT-SURFACES (L1)” και “RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1)”. Αν η συγκεκριμένη ιεραρχία κατηγοριών εφαρμοστεί σε άλλη περιοχή, με ελάχιστα διαφορετική φασματική υπογραφή, η ιδιότητα που περιέγραφε την agriculture μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα. Δεν χρειάζεται να προσαρμοστούν όλες οι κατηγορίες-γόνους, επειδή με τον συγχρονισμό λόγω της ιεραρχίας κληροδότησης, έχουν μορφοποιηθεί αυτόματα.

2.8.5 Ασαφής Λογική (fuzzy logic)

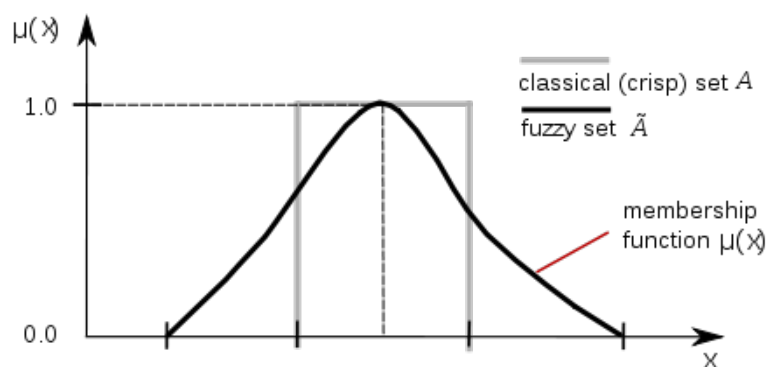
2.8.5.1 Γενικά

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 «απόλυτα όχι» και το 1 στο «απόλυτα ναι». Όλες οι τιμές μεταξύ 0 και 1 αναπαριστούν μια περισσότερο ή λιγότερη αβέβαιη δήλωση του «όχι» και του «ναι».

Γενικότερα, σύμφωνα με την ασαφή λογική μια πρόταση μπορεί να είναι αληθής "με κάποιο βαθμό αληθείας" και όχι απόλυτα αληθής ή ψευδής. Η προσέγγιση αυτή απετέλεσε επανάσταση στη θεωρία της λογικής, γιατί ξέφυγε από το μοντέλο που κυριαρχούσε επί χιλιετίες, δηλαδή το μοντέλο του «είτε μηδέν ή ένα» (είτε αληθές ή ψευδές). Η διατύπωση της εν λόγω προσέγγισης πραγματοποιήθηκε το 1965 από τον καθηγητή του πανεπιστημίου Berkley της Καλιφόρνιας, Lofti Zadeh.

2.8.5.2 Συναρτήσεις Συμμετοχής

Ο Zadeh συνειδητοποίησε ότι η επικρατούσα μέχρι τότε προσέγγιση του δυαδικού τρόπου αναπαράστασης της πληροφορίας, κατά τον οποίο η τιμή μιας μεταβλητής είτε ανήκει, ή δεν ανήκει σε ένα υποσύνολο του πεδίου ορισμού δεν αντιπροσώπευε τον πραγματικό τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου και έτσι οδηγούσε σε λογικά αδιέξοδα. Εισήγαγε λοιπόν ένα διευρυμένο τρόπο αναπαράστασης, όπου μια τιμή ανήκει ταυτόχρονα σε πολλά υποσύνολα, με κάποιο βαθμό συμμετοχής στο κάθε ένα. Στη ουσία ο βαθμός συμμετοχής εκφράζει το βαθμό βεβαιότητας, του κατά πόσο η τιμή ανήκει στο συγκεκριμένο υποσύνολο. Η μαθηματική σχέση, η οποία καθορίζει τον βαθμό συμμετοχής ενός στοιχείου σε ένα ασαφές σύνολο ονομάζεται συνάρτηση συμμετοχής $\mu(x)$ (Εικόνα 2.23). Το πεδίο ορισμού της συνάρτησης αυτής είναι το $[0,1]$ όπου το 0 σημαίνει ψευδές και το 1 αληθές.



Εικόνα 2.23: Συνάρτηση συμμετοχής $\mu(x)$. Πηγή: Wikipedia

Στην *Εικόνα 2.23*, στον άξονα των x τοποθετούνται οι τιμές ασάφειας που ορίζουν ή δεν ορίζουν το χαρακτηριστικό σε κάποια κατηγορία, ενώ στον άξονα των y φαίνεται ο βαθμός συμμετοχής που θα πάρει το χαρακτηριστικό για την συγκεκριμένη κατηγορία.

Η συνάρτηση συμμετοχής, καθορίζεται από το αριστερό και δεξί όριο τιμών, δηλαδή το εύρος τιμών ασάφειας, σε συνδυασμό με τη κατάλληλη κάθε φορά συναρτησιακή σχέση που θα εισάγει ο χρήστης. Στο αριστερό όριο, ο χρήστης δηλώνει τη μικρότερη τιμή ασάφειας, δηλαδή την τιμή από την οποία θεωρεί ότι ξεκινούν οι τιμές των χαρακτηριστικών των αντικειμένων μιας συγκεκριμένης κατηγορίας, ενώ στο δεξί όριο, μπαίνει η μεγαλύτερη τιμή, δηλαδή η τιμή στην οποία το χαρακτηριστικό των αντικειμένων της συγκεκριμένης κατηγορίας παύει να είναι αρκετό για την περιγραφή της. Γίνεται φανερό ότι η τιμή ενός χαρακτηριστικού, μετατρέπεται σε βαθμό συμμετοχής σε κάποια κατηγορία, μέσω της συναρτησιακής σχέσης που εφαρμόζεται κάθε φορά.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής (membership functions) είναι εύκολες στην δημιουργία τους και προσαρμόζονται εξίσου εύκολα και αποτελεσματικά για κάθε χαρακτηριστικό. Επίσης, προσφέρουν μια καταφανή σχέση μεταξύ των τιμών ενός χαρακτηριστικού και του βαθμού συμμετοχής που θα έχει αυτό, σε κάποια τάξη ή κατηγορία.

2.8.5.3 Ασαφής Λογική στο Λογισμικό e-Cognition 9.0

Η ασαφής λογική χρησιμοποιείται από το λογισμικό e-Cognition για την ταξινόμηση στις αντίστοιχες θεματικές κατηγορίες, των πρωτογενών αντικειμένων που προκύπτουν από την κατάτμηση εικόνων, με βάση ειδοποιείς ιδιότητες των εν λόγω αντικειμένων (*ταξινόμηση ασαφούς λογικής*). Η εν λόγω διαδικασία (ταξινόμηση ασαφούς λογικής) είναι σχετικά απλή και 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 γειτνίασης με τα υπόλοιπα αντικείμενα μιας εικόνας και έπειτα αποδίδονται, βάσει αυτών των ιδιοτήτων, βαθμοί συμμετοχής για κάθε διαθέσιμη κατηγορία. Περαιτέρω, οι συναρτήσεις συμμετοχής των ιδιοτήτων του κάθε αντικειμένου, μπορούν να συνδυαστούν με ασαφείς τελεστές *or*, *and*, *mean*. Έτσι, στο τέλος, μέσω των ασαφών συναρτήσεων συμμετοχής, αντιστοιχίζεται σε κάθε αντικείμενο μια ασαφής τιμή συμμετοχής στο διάστημα $[0,1]$ για κάθε διαθέσιμη κατηγορία. Διευκρινίζεται ότι οι βαθμοί συμμετοχής βρίσκονται μεν ο κάθε ένας στο διάστημα $[0,1]$, αλλά αντίθετα με τους απόλυτους ταξινομητές, 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. Η τιμή μηδέν (0) σημαίνει πως τα αντικείμενα με μια συγκεκριμένη τιμή χαρακτηριστικού, δεν ανήκουν στην κατηγορία, ενώ η τιμή ένα (1) σημαίνει πως ανήκουν εξ' ολοκλήρου σ' αυτήν. Το γεγονός όμως ότι ένα αντικείμενο παρουσιάζει ποσοστά συμμετοχής για όλες τις διαθέσιμες κατηγορίες, κάνει την ταξινόμηση πιο ευέλικτη δίνοντας τη δυνατότητα ταξινόμησης του αντικειμένου στην αμέσως επόμενη "πιθανή" κατηγορία, όταν δεν πληρούνται κάποιο κριτήριο.

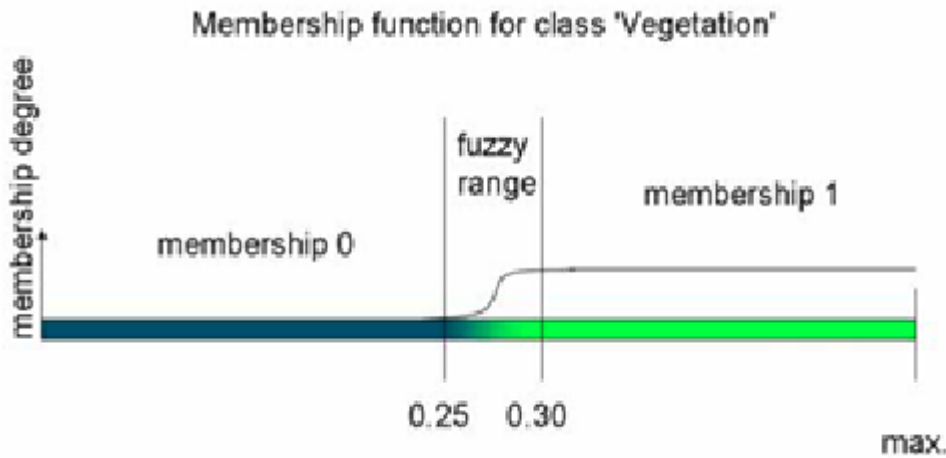
Εξαιτίας του ενδεχομένου κάποιο αντικείμενο να αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα για την καταχώρηση άλλων αντικειμένων σε κατηγορίες, η διαδικασία της ταξινόμησης είναι επαναληπτική, με αριθμό κύκλων (επαναλήψεων) που καθορίζεται από το χρήστη. Το εκάστοτε αντικείμενο επαναταξινομείται συνυπολογίζοντας τις αλλαγές στην ταξινόμηση του νέου συνόλου αντικειμένων της εικόνας. 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 την περιγραφή της (*class description*), η οποία συνίσταται από ένα σύνολο ασαφών μαθηματικών εκφράσεων, επιτρέποντας την εκτίμηση των ιδιαίτερων ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών και των λογικών τους λειτουργιών. Οι συναρτήσεις συμμετοχής χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που μία κατηγορία έχει ένα χαρακτηριστικό με ομαλές μεταβάσεις στο εσωτερικό της.

Παραδείγματος χάρη, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 2.2.4*, αν θέλουμε να βρούμε ένα κατώφλι για τις τιμές του δείκτη βλάστησης (Normalized Vegetation Index- NDVI) στην κατηγορία VEGETATION (Βλάστηση) και σε κάποιες περιοχές η τιμή του είναι ίση με «0.25», ενώ σε άλλες είναι «0.3», τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις συναρτήσεις συμμετοχής για να περιγράψουμε τη διαφοροποίηση αυτή.

Έτσι, εάν έχει οριστεί ένα διάστημα τιμών για τη συνάρτηση συμμετοχής, από 0.25 έως 0.3, με μία φθίνουσα συνάρτηση, αυτό θα σημαίνει ότι:

- Τα αντικείμενα με τιμές μικρότερες από 0.25, θα έχουν τιμή συμμετοχής στη συγκεκριμένη κατηγορία ίση με 0.
- Τα αντικείμενα με τιμές μεγαλύτερες από 0,3. θα έχουν τιμή συμμετοχής ίση με 1.
- Τα αντικείμενα με τιμές μεταξύ 0,25-0,3 θα έχουν τιμές συμμετοχής μεταξύ 0 και 1, με βάση την κλίση της συνάρτησης που επιλέχθηκε.



Εικόνα 2.24 Συνάρτηση συμμετοχής των αντικειμένων στην κατηγορία «Βλάστηση» και όρια ασάφειας του χαρακτηριστικού NDVI

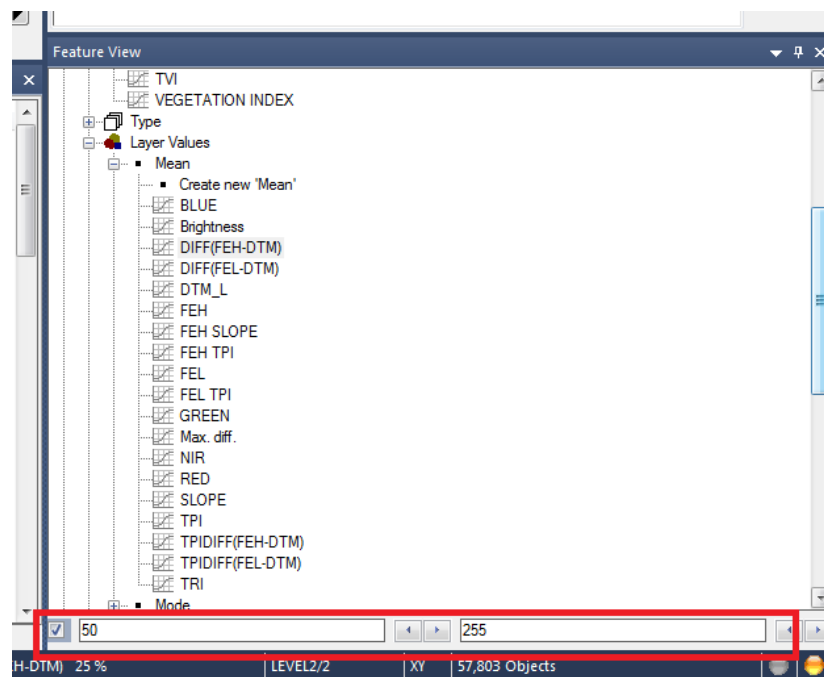
Στο λογισμικό e-Cognition, οι συναρτήσεις συμμετοχής εισάγονται στο πεδίο «Περιγραφή Κατηγορίας» (*class description*). Σε αντίθεση με τον ορισμό μιας τιμής κατοφλίου, η συμμετοχή σε μία κατηγορία δεν είναι μόνο μηδέν (0) ή ένα (1), αλλά μπορεί να είναι οποιαδήποτε τιμή μέσα σε αυτό το διάστημα τιμών. Αυτό σημαίνει ότι ένα αντικείμενο μπορεί να ανήκει σε μία κατηγορία με ένα συγκεκριμένο ποσοστό, βάσει του πόσο καλά ταιριάζουν οι τιμές του χαρακτηριστικού, με αυτές της εξεταζόμενης κατηγορίας.

Οι συναρτήσεις είναι εύκολο να τροποποιηθούν και να προσαρμοστούν σε κάθε χαρακτηριστικό. Δίνουν δε τη δυνατότητα δημιουργίας άμεσης σχέσης μεταξύ των τιμών του χαρακτηριστικού και του βαθμού συμμετοχής ενός αντικειμένου σε μία κατηγορία. Με την εφαρμογή τέτοιων ασαφών συναρτήσεων συμμετοχής σε πολλές κατηγορίες, ένα αντικείμενο μπορεί να ανήκει σε περισσότερες από μία κατηγορίες.

Το λογισμικό παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο που επιτρέπει την απεικόνιση των ιδιοτήτων των αντικειμένων μίας εικόνας με γραφική απεικόνιση, παρέχοντας οπτική ερμηνεία στην ιδιαιτερότητα ενός ορισμένου χαρακτηριστικού πρωτογενούς αντικειμένου σε όλα τα αντικείμενα της εικόνας. Το εργαλείο αυτό είναι το παράθυρο «*Feature View*», (Εικόνα 2.25), το οποίο δίνει τιμές για το οποιοδήποτε χαρακτηριστικό του αντικειμένου που ενδιαφέρει το χρήστη. 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 χρησιμοποιούμενοι συχνά είναι οι κανονικοποιημένοι δείκτες βλάστησης. Τα σχεσιακά χαρακτηριστικά, συγκρίνουν το χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός αντικείμενου με τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα άλλων αντικειμένων, είτε περιβαλλόντων είτε υπό-αντικειμένων. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα περιγράφονται πιο αναλυτικά στην παρακάτω ενότητα.

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.



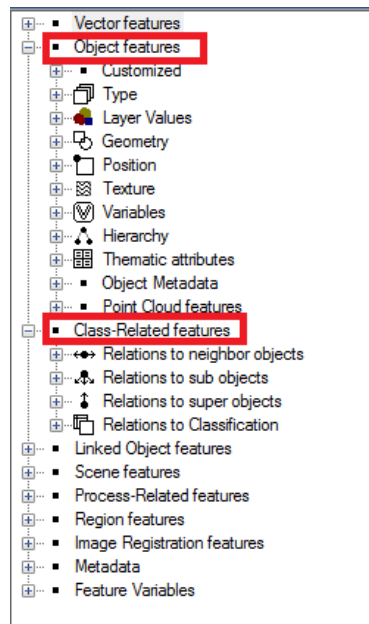
Εικόνα 2.25: Το παράθυρο Feature View

2.8.6 Χαρακτηριστικά (features)

Τα χαρακτηριστικά (features) που προσφέρει το e-Cognition 9.0 (Εικόνα 2.26) χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, στα χαρακτηριστικά που συσχετίζονται με το αντικείμενο (*Object-features*) και σ' εκείνα που συσχετίζονται με την κατηγορία (*Class-related features*).

Τα χαρακτηριστικά αυτά συσχετίζονται με ιδιότητες του αντικείμενου, όπως η μέση τιμή (*Mean*) ή η τυπική απόκλιση (*Standard deviation*) φωτεινότητας στα διάφορα

κανάλια, το σχήμα του αντικειμένου (*Shape*) κτλ. Επίσης, συνδέονται με ιδιότητες που συσχετίζουν το αντικείμενο με την κατηγορία στην οποία ανήκει, ή με διαφορετικό επίπεδο κατάτμησης (π.χ *Relations to sub objects-Existence of*) κτλ.



Εικόνα 2.26: Το χαρακτηριστικά (features) που παρέχει το λογισμικό

Τα βασικότερα από τα χαρακτηριστικά που προσφέρει το λογισμικό συνοψίζονται ως εξής:

- **Mean:** Η μέση τιμή υπολογίζεται από τις ψηφιακές τιμές, του συνόλου των εικονοστοιχείων που διαμορφώνουν το αντικείμενο, για το εκάστοτε επίπεδο. Υπολογίζεται επίσης για τα αντικείμενα της εικόνας, η μέση φωτεινότητα (**mean brightness**), διαχωρισμένη από την ποσότητά τους, χρησιμοποιώντας το άθροισμα των μέσων ψηφιακών τιμών των επιπέδων που περιέχουν φασματική πληροφορία,.
- **Standard deviation:** Η Σταθερή απόκλιση υπολογίζεται από όλες τις ψηφιακές τιμές, του συνόλου των εικονοστοιχείων που διαμορφώνουν το αντικείμενο, για το εκάστοτε επίπεδο.

- **Ratio:** Η αναλογία εκάστοτε επιπέδου, υπολογίζεται από το λόγο της μέσης τιμής ενός αντικειμένου του επιπέδου, προς το άθροισμα όλων των φασματικών μέσων τιμών του επιπέδου. Διευκρινίζεται ότι για την πρόσληψη λογικών αποτελεσμάτων χρησιμοποιούνται μόνο επίπεδα που περιέχουν φασματική πληροφορία. Η αναλογία προς υπερ-αντικείμενο (**ratio to super-object**) υπολογίζεται από το λόγο της μέσης τιμής ενός αντικειμένου του επιπέδου προς τη μέση τιμή του υπερ-αντικειμένου του στο επίπεδο.
- **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. Πεδίο τιμών ιδιότητας [0, μέγεθος εικόνας].
- **Length:** Είναι το μήκος του αντικειμένου και ορίζεται ως η διαφορά των συντεταγμένων των ακραίων σημείων του. Χρησιμοποιείται πολλές φορές σαν κανόνας ανάλογα με το πόσο μεγάλο μήκος πρέπει να έχουν τα προς ανίχνευση αντικείμενα. Για παράδειγμα τα αντικείμενα των οροφών των κτιρίων, συνήθως έχουν μικρότερο μήκος από αυτά του δρόμου.
- **Border Length:** Το μήκος της πλευράς ενός αντικειμένου της εικόνας, ορίζεται ως το άθροισμα των αποστάσεων μεταξύ των άκρων του αντικειμένου που συνορεύουν με άλλα αντικείμενα, ή βρίσκονται στην άκρη της εικόνας. Η διαφορά με το χαρακτηριστικό “μήκος” είναι ότι δεν υπολογίζεται το μέγιστο μήκος του αντικειμένου, αλλά το άθροισμα των πλευρών που συνορεύουν με άλλα αντικείμενα. Χρησιμοποιείται και αυτό κατά τον ίδιο τρόπο.
- **Length / Width:** Ένα άλλο χρήσιμο χαρακτηριστικό που προσφέρει το λογισμικό είναι η αναλογία του μήκους προς το πλάτος του πολυγώνου. Το πρόγραμμα υπολογίζει το μέγιστο μήκος και πλάτος του αντικειμένου και έπειτα τον λόγο του μήκους προς το πλάτος. Όπως είναι φυσικό, ο λόγος αυτός αναδεικνύει τα μακρόστενα αντικείμενα και συνεπώς είναι ένα χρήσιμο εργαλείο κατά τον εντοπισμό των δρόμων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ενός αντικειμένου, τόσο πιο μακρόστενο είναι. Επιπλέον ο λόγος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αντίστροφα, ώστε να αποφευχθεί η ταξινόμηση άλλων περιοχών ως δρόμων.
- **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 του εν λόγω χαρακτηριστικού, τα κτίρια αναπαριστώνται με πολύ φωτεινούς τόνους.

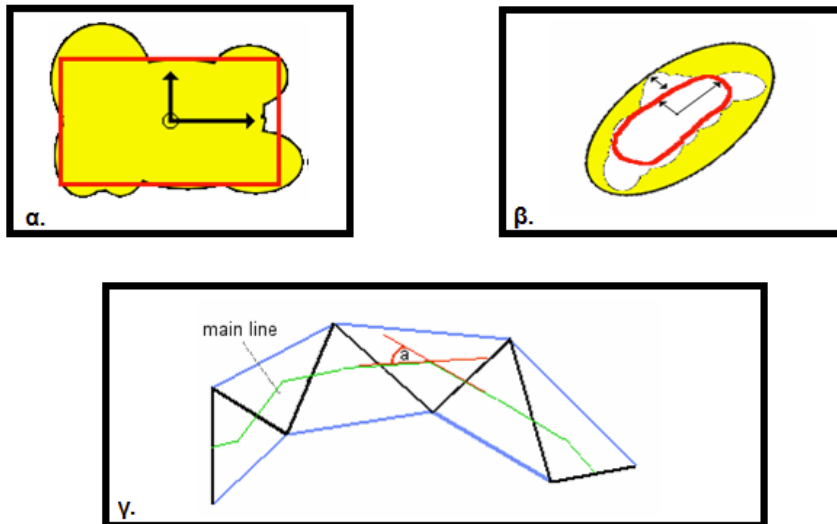
- **Mean Difference to Super-objects / Sub-objects:** Είναι η διαφορά της μέσης τιμής ενός αντικειμένου της εικόνας σε ένα επίπεδο και της μέσης τιμής του υπερ-αντικειμένου ή υπο-αντικειμένου του. Με τη χρήση του χαρακτηριστικού αυτού, ανιχνεύονται πιο εύκολα σε κάποιες περιπτώσεις οι οροφές των κτιρίων. 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 φάσμα, 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.
- **Main direction:** Ορίζεται από την κατεύθυνση της μεγαλύτερης εκ των δύο ιδιοτιμών του πίνακα συνδιακύμανσης της χωρικής κατανομής του αντικειμένου της εικόνας.
- **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 προς το εμβαδό του υπέρ-αντικειμένου του. Αν

προκύψει στη συγκεκριμένη ιδιότητα τιμή (1), συμπεραίνεται ότι το εξεταζόμενο αντικείμενο είναι πανομοιότυπο με το υπέρ-αντικείμενο. Για την περιγραφή του εκάστοτε αντικειμένου, συνιστάται η χρήση του ως προς το υπέρ-αντικείμενο του σχετικού εμβαδού, προς το εμβαδόν που αυτό καλύπτει στο υπέρ-αντικείμενο. Το πεδίο τιμών της ιδιότητας είναι $[0, 1]$.

- **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 τα αντικείμενα μιας προκαθορισμένης τάξης είναι ίση με μονάδα, τότε το αντικείμενο αυτό περικλείεται εξ ολοκλήρου από τα αντικείμενα της άλλης τάξης. Αν αντίστοιχα η σχετική γειτνίαση 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 υπό-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 υπό-αντικειμένου μιας προκαθορισμένης τάξης. Αν υπάρχει, (exists), η τιμή του χαρακτηριστικού είναι ίση με μονάδα, αλλιώς είναι ίση με μηδέν.
- **Elliptic fit:** Περιγράφει πόσο καλά προσαρμόζεται ένα αντικείμενο σε μια έλλειψη παρόμοιων διαστάσεων και αναλογιών. Παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1, με το 0 να δηλώνει μηδενική προσαρμογή και το 1 πλήρη.
- **Texture:** Το χαρακτηριστικό της υφής μπορεί να υπολογιστεί για τα αντικείμενα της εικόνας με διάφορους τρόπους. Οι νεότεροι τρόποι υπολογισμού στηρίζονται στην ανάλυση των υπο-αντικειμένων και είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι όταν πρόκειται για δεδομένα με έντονη υφή. Ομοίως χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά που στηρίζονται στον πίνακα σύμπτωσης του Haralick. Ο πίνακας σύμπτωσης στο παγχρωματικό επίπεδο (Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)) αποτελεί ομαδοποιημένη διάταξη του πόσο συχνά εμφανίζονται διαφορετικοί συνδυασμοί των τόνων του γκρι, σε μια περιοχή της εικόνας. Στο συγκεκριμένο λογισμικό, η υφή κατά Haralick υπολογίζεται για όλα τα εικονοστοιχεία των αντικειμένων. Για τον υπολογισμό της ανομοιογένειας ως προς τις διάφορες διευθύνσεις υπολογίζεται πρώτα το σύνολο της ανομοιογένειας για όλες τις διευθύνσεις

(0° , 45° , 90° , 135°). Η γωνία 0° αντιπροσωπεύει την κάθετη διεύθυνση, η αντίστοιχη των 90° την οριζόντια κλπ. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το χαρακτηριστικό «υφή κατά Haralick» και συγκεκριμένα «υφή κατά Haralick ομοιογένειας» προς όλες τις διευθύνσεις.

- **Level:** Το πλήθος των επιπέδων αντικειμένων εικόνας στο οποίο ενδέχεται να ενταχθεί ένα αντικείμενο της εικόνας. Αποτελεί απαραίτητο γνώρισμα για εργασίες ταξινόμησης σε διάφορα επίπεδα αντικειμένων εικόνας, έτσι ώστε να καθίσταται πάντα δυνατός ο προσδιορισμός του επιπέδου, για κάθε περιγραφή κατηγορίας (*class description*).
- **Rectangular Fit:** Για τον υπολογισμό της ορθογωνίας προσαρμογής δημιουργείται αρχικά ένα παραλληλόγραμμο, ίσου εμβαδού με το προς μελέτη αντικείμενο και στη συνέχεια υπολογίζεται ο λόγος μήκος/πλάτος. Στη συνέχεια συγκρίνεται το εμβαδόν του αντικειμένου που βρίσκεται εκτός του υποθετικού παραλληλογράμμου, με το εμβαδόν που βρίσκεται εντός. Ανάλογα με το πόσο ταιριάζει λοιπόν το αντικείμενο με το αντίστοιχο υποθετικό παραλληλόγραμμο ίδιου εμβαδού, το χαρακτηριστικό «Ορθογώνια Προσαρμογή» (Εικόνα 2.25 (α)) λαμβάνει τιμές από 0 έως 1, όπου με 0 δεν εφαρμόζει καθόλου και με 1 εφαρμόζει απόλυτα.
- **Roundness:** Περιγράφει το πόσο ταιριάζει το σχήμα ενός αντικειμένου, με μία έλλειψη. Υπολογίζεται από τη διαφορά δύο ελλείψεων, όπου η μία περιβάλλει το εν λόγω αντικείμενο, ενώ η άλλη σχηματίζεται στο εσωτερικό του. Η διαφορά αυτή υπολογίζεται από τις ακτίνες των δύο ελλείψεων (Εικόνα 2.25 (β)).
- **Based on Skeletons:** Για την καλύτερη κατανόηση του σχήματος των αντικειμένων δημιουργήθηκαν χαρακτηριστικά που βασίζονται στην εσωτερική δομή τους (σκελετοί). Οι σκελετοί αποτελούνται από μία βασική κεντρική γραμμή και από γραμμές μικρότερου μήκους, τα «κλαδιά». Το δίκτυο αυτό δημιουργείται από τους κόμβους, που προκύπτουν από τα κέντρα των τριγώνων που προκύπτουν με τριγωνισμό κατά Delaunay. Τα χαρακτηριστικά που εμπεριέχονται σε αυτήν την κατηγορία, είναι ο βαθμός που διακλαδώνεται ένας σκελετός, το μέσο μήκος των διακλαδώσεων, ο αριθμός των διακλαδώσεων προς μια κατεύθυνση, οι αναλογίες καμπυλότητα/μήκος, & μήκος/πλάτος κ.α. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.27 (γ), η κεντρική γραμμή είναι η πράσινη και προκύπτει από την ένωση των κέντρων των τριγώνων, που περιγράφονται από τις μπλε και μαύρες γραμμές.



Εικόνα 2.27: Σχηματική αναπαράσταση της «Ορθογώνιας Προσαρμογής» (α), της «Κυκλικής Προσαρμογής» (β) και των «Σκελετών» (γ). Πηγή: e-Cognition Developer 9.0 User's Guide, 2014

2.8.7 Συναρτήσεις Συμμετοχής


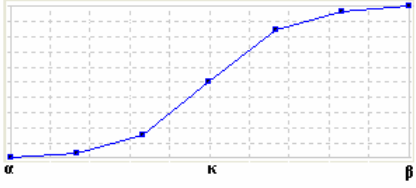

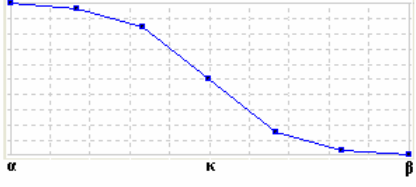

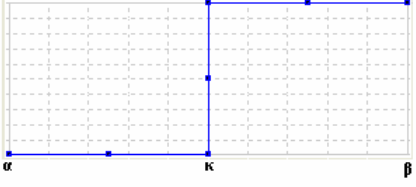

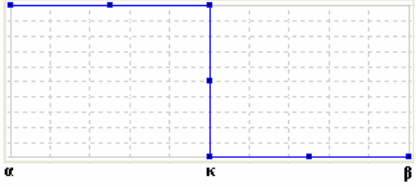
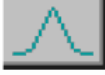
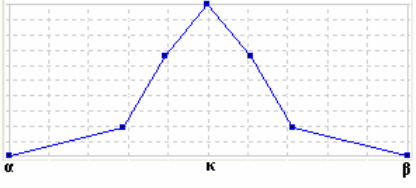

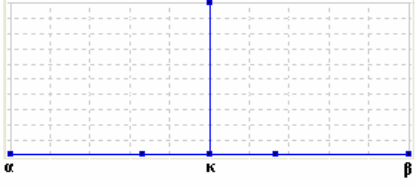

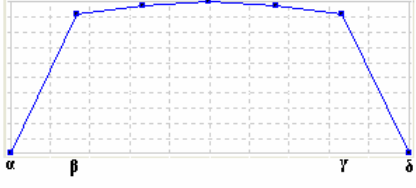

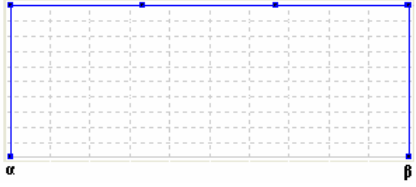
Όπως προαναφέρθηκε στ *εδάφιο* 2.8.5.2 του παρόντος Κεφαλαίου, οι συναρτήσεις συμμετοχής αποτελούν μία απλή μέθοδο για την αναγωγή οποιουδήποτε διαστήματος τιμών ενός χαρακτηριστικού, στο διάστημα $[0,1]$, όπως απαιτεί άλλωστε η ασαφής λογική. Οι βασικότερες συναρτήσεις που περιλαμβάνονται στο λογισμικό e-Cognition είναι οι ακόλουθες:

- **Larger than (μεγαλύτερο από):** Είναι μία συνάρτηση μορφής S , όπου αν x η τιμή του χαρακτηριστικού γνωρίσματος, β η μέγιστη τιμή του πεδίου τιμών, ισχύει για $x \geq \beta$, το αντικείμενο να συμμετέχει στην κατηγορία που το γνώρισμα περιγράφει, με βαθμό συμμετοχής 1.
- **Smaller than (μικρότερο από):** Συνάρτηση μορφής Z , αντίστροφη δηλαδή της S , όπου αν x η τιμή του χαρακτηριστικού γνωρίσματος, α η 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):** Είναι η απλοποιημένη συνάρτηση μορφής S , που ορίζεται και αναπαρίσταται παρόμοια με την S , με τη διαφορά ότι η καμπύλη αντικαθίσταται από ευθεία.

- **Smaller than (μικρότερο από):** Είναι η απλοποιημένη συνάρτηση μορφής Z η οποία ορίζεται και αναπαρίσταται παρόμοια με την Z , με τη διαφορά ότι η καμπύλη αντικαθίσταται από ευθεία.
- **Approximate Gaussian:** Είναι η κατά προσέγγιση Γκαουσιανή συνάρτηση, όπου αν x η τιμή του χαρακτηριστικού γνώρισματος, κ η αριθμητική μέση τιμή του πεδίου τιμών, ισχύει για x που τείνει στο κ , το αντικείμενο συμμετέχει στην κατηγορία που περιγράφει το γνώρισμα, 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 περιγράφει το γνώρισμα με βαθμό συμμετοχής 1, μόνο για μία συγκεκριμένη τιμή.
- **About Range:** Είναι συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής, όπου αν x η τιμή του χαρακτηριστικού γνώρισματος, α η ελάχιστη τιμή του πεδίου τιμών, δ η μέγιστη τιμή του πεδίου τιμών, ισχύει για $x \in [\alpha, \delta]$, το αντικείμενο να συμμετέχει στην κατηγορία που περιγράφει το γνώρισμα, με βαθμό συμμετοχής που ανήκει στο πεδίο τιμών $[0, 1]$.
- **Full range:** Είναι η απλοποιημένη συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής η οποία 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 γνώρισματος, α ελάχιστη τιμή του πεδίου τιμών, β μέγιστη τιμή του πεδίου τιμών, ισχύει για $x \in [\alpha, \beta]$, το αντικείμενο να συμμετέχει στην κατηγορία που περιγράφει το γνώρισμα με βαθμό συμμετοχής.

Η κλίση του διαγράμματος κάθε συνάρτησης συμμετοχής περιγράφει τον υπολογισμό του βαθμού συμμετοχής της συγκεκριμένης συνάρτησης, για κάποια ιδιότητα ενός αντικειμένου.

Στην *Εικόνα 2.28*, φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις των παραπάνω συναρτήσεων συμμετοχής.

Function Form	Button	Function Slope
Larger Than		
Smaller Than		
Larger Than		
Smaller Than		
Approximate Gaussian		
Singleton		
About Range		
Full Range		

Εικόνα 2.28: Οι συναρτήσεις συμμετοχής στο λογισμικό e-Cognition. Πηγή: e-Cognition Developer 9.0 User's Guide, 2014

Οι συναρτήσεις συμμετοχής αποτελούν έναν απλό και κατανοητό τρόπο ταξινόμησης, που προσφέρει ταυτόχρονα ιδιαίτερη διαφάνεια στον υπολογισμό των βαθμών συμμετοχής.

Όπως αναφέρθηκε και πριν, ο βαθμός συμμετοχής του κάθε αντικειμένου στο χαρακτηριστικό που περιγράφεται ανήκει στο πεδίο τιμών $[0,1]$ και αναπαρίσταται στον άξονα των τεταγμένων Y .

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 τεταγμένων X .

Η ιδιότητα που περιγράφει μία κατηγορία αποτελεί και το κριτήριο ταξινόμησης των αντικειμένων 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. Έτσι, το αντικείμενο ταξινομείται ή όχι στην κατηγορία που η ιδιότητα περιγράφει.

Εάν η κατηγορία ορίζεται πλήρως από μία και μόνο ιδιότητα, ο βαθμός συμμετοχής του αντικειμένου στην κατηγορία, είναι ίσος με το βαθμό συμμετοχής του στην ιδιότητα. Τις περισσότερες όμως φορές, οι κατηγορίες διαθέτουν περισσότερες της μίας ιδιότητες, ως κριτήρια ταξινόμησης. Έτσι πρέπει να γίνει συνδυασμός των επιμέρους βαθμών συμμετοχής, για τον υπολογισμό μίας τελικής τιμής αυτού.

Το σκοπό αυτό εξυπηρετούν οι τελεστές ($\text{and}(\min)$, $\text{or}(\max)$ κ.α.). Με τη χρήση των τελεστών καθίσταται δυνατή η δημιουργία σύνθετων κριτηρίων ταξινόμησης και η δόμηση λεπτομερών εννοιολογικών περιγραφών των θεματικών κατηγοριών.

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2.4) επεξηγούνται οι εν λόγω τελεστές.

and(min)	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.
and (*)	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
or (max)	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.
mean (arithm.)	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.
mean (geo.)	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.
not	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.

Πίνακας 2.4: Περιγραφή τελεστών στο λογισμικό e-Cognition

2.8.8 Ταξινόμηση

Μετά την κατάτμηση, τα διαθέσιμα προς ανάλυση στοιχεία, είναι πλέον ένα πεπερασμένο πλήθος αντικειμένων και όχι ένα μεγάλο σύνολο μεμονωμένων εικονοστοιχείων. Έτσι, με την διαδικασία της ταξινόμησης τα τεμάχια-αντικείμενα ενοποιούνται, με επιβολή παραμέτρων εξαρτημένων από τις ιδιότητες και τις αλληλοσυσχετίσεις των αντικειμένων, σε σύνολα αντίστοιχα των κατηγοριών που αναμένεται να προκύψουν «εκ πείρας» στην φωτοερμηνευτική.

2.8.8.1 Γενικά περί ταξινόμησης

Σκοπός της διαδικασίας της ταξινόμησης είναι η αυτόματη κατηγοριοποίηση όλων των εικονοστοιχείων – στη δεδομένη περίπτωση τεμαχίων – μιας εικόνας, σε διάφορες τάξεις κάλυψης γης ή αντικείμενα (Αργιαλάς, 1999). Στο λογισμικό e-Cognition, η ταξινόμηση νοείται ως η διαδικασία σύνδεσης των κατηγοριών μιας

ιεραρχίας τάξεων (*class hierarchy*) με τα αντικείμενα μιας εικόνας. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της ταξινόμησης, κάθε αντικείμενο, ανάλογα με την πιθανότητα να πληροί τα τιθέμενα κριτήρια που περιγράφονται σε κάθε κατηγορία, καταχωρείται είτε σε συγκεκριμένη κατηγορία, είτε ως αταξινομητο. Οι σχέσεις που ορίζουν την κάθε κατηγορία μεταφέρονται σε αυτό και κατά συνέπεια συνδέεται με την ιεραρχία τάξεων. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι ένας θεματικός χάρτης με αντικείμενα στα οποία έχουν αποδοθεί τα στοιχεία της κατηγορίας όπου εντάχθηκαν. Αν η ταξινόμηση αξιολογηθεί ως επιτυχής, τότε στα αντικείμενα έχουν αποδοθεί οι πραγματικές φασματικές, εννοιολογικές ιδιότητες και αλληλοσυσχετίσεις με άλλα αντικείμενα ή κατηγορίες της ιεραρχίας. Για να είναι πιο αποτελεσματική η ταξινόμηση χρησιμοποιείται η ασαφής λογική (*fuzzy logic*) που περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο.

2.8.8.2 Είδη Ταξινόμησης

Όπως αναφέρθηκε και στο εδάφιο 2.2.4.2, οι μέθοδοι ταξινόμησης είναι δύο, δηλαδή αυτή της επιβλεπόμενης και αυτή της μη- επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

- Η **επιβλεπόμενη μέθοδος ταξινόμησης** έγκειται στη συλλογή δεδομένων εκπαίδευσης από τις κατηγορίες ενδιαφέροντος της εικόνας, στον υπολογισμό των φασματικών υπογραφών και στην περιγραφή των ιδιοτήτων της κάθε κατηγορίας κάλυψης γης, αλλά και στην κατάταξη του κάθε τεμαχίου- αντικειμένου, που προέκυψε από την κατάτμηση σε θεματικές κατηγορίες, μέσω εφαρμογής απόλυτων ταξινομητών, δηλαδή κάποιων από τους αλγόριθμους κατάτμησης που αναλύονται στη συνέχεια. Με τον τρόπο αυτό, στο στάδιο της επίβλεψης, εκπαιδεύεται το σύστημα στην αντιστοίχιση αντικειμένων και κατηγορίας. Από την ποιότητα της μη αυτοματοποιημένης αυτής διαδικασίας εκπαίδευσης και τη συλλογή ενός συνόλου στατιστικών στοιχείων που περιγράφουν τα πρότυπα φασματικής απόκρισης, για την κάθε θεματική κατηγορία που θα ταξινομηθεί στην εικόνα, καθορίζεται η επιτυχία της ταξινόμησης, καθώς όσο πιο αντιπροσωπευτικά και πλήρη είναι τα δεδομένα εκπαίδευσης, τόσο πιο αποδεκτά θα είναι τα αποτελέσματα της ταξινόμησης. Στο στάδιο της ταξινόμησης, τα φασματικά πρότυπα που βρίσκονται στην εικόνα, εκτιμώνται από τον αλγόριθμο που έχει επιλεγεί κάνοντας χρήση προκαθορισμένων κανόνων απόφασης, με σκοπό τον προσδιορισμό του κάθε αντικειμένου. Τελικά, το κάθε αντικείμενο της εικόνας ταξινομείται στην κατηγορία κάλυψης γης με την οποία παρουσιάζει τις περισσότερες ομοιότητες. Αν δεν εμφανίζει επαρκείς ομοιότητες με καμία κατηγορία, τότε καταχωρείται στην κατηγορία άγνωστο.
- Η **μη επιβλεπόμενη μέθοδος ταξινόμησης** χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των φασματικών κατηγοριών μιας εικόνας, και ως μέθοδος ταξινόμησης στην περίπτωση έλλειψης δεδομένων εκπαίδευσης. Δεν χρησιμοποιούνται δεδομένα επίβλεψης, αλλά περιλαμβάνονται ημιαυτόματοι στατιστικοί αλγόριθμοι που εξετάζουν τις τιμές των ιδιοτήτων των αντικειμένων

μιας εικόνας και τα ταξινομούν αρχικά σε φασματικές κατηγορίες και ύστερα τα αντιστοιχίζουν σε διάφορες εννοιολογικές κατηγορίες, που αναφέρονται σε πραγματικές εμφανίσεις της φυσικής γήινης επιφάνειας.

Ο συνδυασμός επιβλεπόμενης και μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης καλείται υβριδική ταξινόμηση και χρησιμοποιείται για βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων.

Αν και η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση πλεονεκτεί έναντι της επιβλεπόμενης ως προς τη δυνατότητα αναγνώρισης φασματικών κατηγοριών που ενδεχομένως δεν είχαν ανιχνευθεί από τον φωτοερμηνευτή, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση υπερέχει τελικά, καθώς με την επίβλεψη-εκπαίδευση του αλγορίθμου ταξινόμησης, έτσι ώστε να αναγνωρίζει τα φασματικά χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας, συντελείται μεγάλης ακρίβειας περιγραφή των κατηγοριών.

2.8.8.3 Περιγραφή διαδικασίας ταξινόμησης

Αρχικά δημιουργούνται στο λογισμικό e-Cognition οι κατηγορίες και στη συνέχεια προσδίδονται τα αντικείμενα της εικόνας σε αυτές. Όλες οι κατηγορίες και το περιεχόμενό τους αποθηκεύονται στο παράθυρο «Περιγραφή Κατηγορίας» (*Class Description*) και μπορούν να δομηθούν με έναν εννοιολογικό τρόπο στην Ιεραρχία Κατηγοριών (*Class Hierarchy*) και έτσι να κληροδοτήσουν ή να κληρονομήσουν τα χαρακτηριστικά τους.

Το λογισμικό e-Cognition παρέχει ένα σύνολο εργαλείων για αξιοποίηση των διαφόρων χαρακτηριστικών των αντικειμένων, προκειμένου αυτά να ταξινομηθούν στις κατάλληλες θεματικές κατηγορίες. Παρέχει δε, δύο τρόπους ορισμού των συνθηκών των ιδιοτήτων των αντικειμένων:

- **Τη χρήση των κατωφλίων:** όπου ελέγχεται εάν τα αντικείμενα τηρούν τις συνθήκες ορίων των ιδιοτήτων των αντικειμένων ή όχι και
- **Τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής:** όπου ορίζεται ο βαθμός συμμετοχής που πρέπει να πληροί η εκάστοτε ιδιότητα του αντικειμένου.

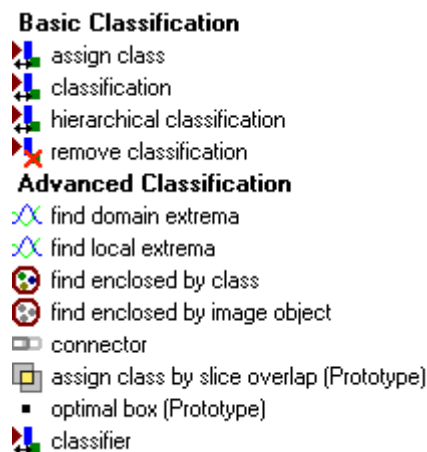
Πιο αναλυτικά, η ταξινόμηση **ασαφούς λογικής**, πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

- Με τη χρήση δειγμάτων (*samples*), που ορίζει ο χρήστης για κάθε κατηγορία και την εφαρμογή της ασαφούς εκδοχής του αλγόριθμου του εγγύτερου γείτονα.
- Με τη χρήση συναρτήσεων συμμετοχής (*membership functions*). Οι συναρτήσεις συμμετοχής ορίζονται από το χρήστη και αφορούν τις ιδιότητες των αντικειμένων

Για κάθε αντικείμενο υπολογίζεται η τιμή συμμετοχής του σε κάθε κατηγορία και κατατάσσεται σ' εκείνη την κατηγορία, όπου το αντικείμενο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή συμμετοχής (Gercek, 2010).

Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης που παρέχονται από το e-Cognition είναι οι ακόλουθοι (Εικόνα 2.29):

- **Αλγόριθμος ταξινόμησης Assign Class:** Είναι ο πιο απλός αλγόριθμος ταξινόμησης. Χρησιμοποιεί μία τιμή-κατώφλι για να καθορίσει εάν ένα αντικείμενο ανήκει σε μία κατηγορία ή όχι. Ο αλγόριθμος αυτός, χρησιμοποιείται όταν η χρήση ενός μόνο κατωφλίου είναι αποτελεσματική για την ταξινόμηση.
- **Αλγόριθμος Classification:** Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί τις συνθήκες που ορίζουν τις κατηγορίες για να ταξινομήσει τα αντικείμενα. Χρησιμοποιείται είτε όταν απαιτείται η χρήση ασαφούς λογικής στις συναρτήσεις συμμετοχής, ή όταν απαιτείται ο συνδυασμός συνθηκών για τον ορισμό μίας κατηγορίας.
- **Αλγόριθμος Hierarchical Classification:** Ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται σε εφαρμογές με πολυσύνθετη ιεραρχία κατηγοριών, όπου πραγματοποιείται ταξινόμηση αντικειμένων που βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης.
- **Αλγόριθμος Advanced Classification:** Ο αλγόριθμος εκτελεί ειδικές εφαρμογές. Ο χρήστης ορίζει τόσο τις ίδιες παραμέτρους με αυτές που πρέπει να ορίσει κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου *Classification*, όσο και τις επιπρόσθετες ειδικές παραμέτρους.



Εικόνα 2.29: Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης που παρέχει το λογισμικό e-Cognition.

Στην παρούσα μελέτη εφαρμόζεται ο αλγόριθμος «*Hierarchical Classification*», με σκοπό τη δημιουργία και χρήση δύο επιπέδων κατάτμησης.

2.8.9 Αξιολόγηση ταξινόμησης

Μετά την ολοκλήρωση της ταξινόμησης δεδομένων, είναι σκόπιμη η αξιολόγηση της ορθότητας των αποτελεσμάτων της. Η πρώτη εκτίμηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης μπορεί να πραγματοποιηθεί εποπτικά, από τον φωτοερμηνευτή. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή είναι καθαρά υποκειμενική και δεν εξαγάγει 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 e-Cognition παρέχει σε κάθε επίπεδο κατάτμησης και ταξινόμησης, εργαλεία τόσο οπτικοποίησης των στατιστικών αποτελεσμάτων, όσο και αξιολόγησης ακρίβειας, τα οποία αναλύονται παρακάτω:

- **Εργαλείο Αξιολόγησης «Βάσει αποτελέσματος της Καλύτερης Ταξινόμησης (best classification result)**

Με το συγκεκριμένο εργαλείο του λογισμικού e-Cognition 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. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα αξιολόγησης του τρόπου με τον οποίον την περιγράφουν τα αντικείμενα της εκάστοτε κατηγορίας. Ο γραφικός τρόπος αναπαράστασης της αξιολόγησης οπτικοποιείται με έγχρωμη εικόνα, στην οποία η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στο πράσινο, για το μη αμφιλεγόμενο αντικείμενο στην τιμή (1) και στο κόκκινο, για το απόλυτα αμφιλεγόμενο αντικείμενο στην τιμή (0).

- **Εργαλείο Αξιολόγησης «Της σταθερότητας ταξινόμησης» (classification stability)**

Με το υπόψη εργαλείο του λογισμικού e-Cognition, η ταξινόμηση αξιολογείται μέσω του υπολογισμού της απόκλισης των δύο μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής του κάθε 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 στο πράσινο, για το μη αμφιλεγόμενο αντικείμενο στην τιμή (1) και στο κόκκινο, για το απόλυτα αμφιλεγόμενο αντικείμενο στην τιμή (0).

- **Εργαλείο Αξιολόγησης «Πίνακας Σύγκρισης Βασισμένου σε Δείγματα» (error matrix based on samples)**

Με το εργαλείο αυτό του λογισμικού e-Cognition αξιολογείται η ταξινόμηση μέσω δειγμάτων επιλεγμένων από τα αντικείμενα της εικόνας. Συγκεκριμένα, από τα δείγματα προκύπτει ο πίνακας σύγκρισης, 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 καταχωρήθηκαν σε αυτήν όλα τα δείγματά της.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα δεδομένα καταγράφηκαν σε περιοχή της Γερμανίας. Με δεδομένη την διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ, η περιοχή μελέτης μεγέθους 7640 x 4440 εικονοστοιχείων (pixels), χωρίστηκε σε τρεις μικρότερες περιοχές μεγέθους 2565 x 4440 pixels η καθεμία (Εικόνα 3.1) για ταχύτερη επεξεργασία με δεδομένη τη διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ του χρησιμοποιούμενου Η/Υ. Ο διαχωρισμός της αρχικής εικόνας έγινε στο λογισμικό e-Cognition και χρησιμοποιήθηκε η εντολή *subset selection*.

Η πρώτη από τις μικρότερες περιοχές, αποτελείται από αγροτική έκταση μαζί με λίγο αστική, η δεύτερη αποτελείται καθαρά από αστική έκταση και η τελευταία από συνδυασμό αγροτικής, αστικής και βιομηχανικής (Εικόνα 3.2).

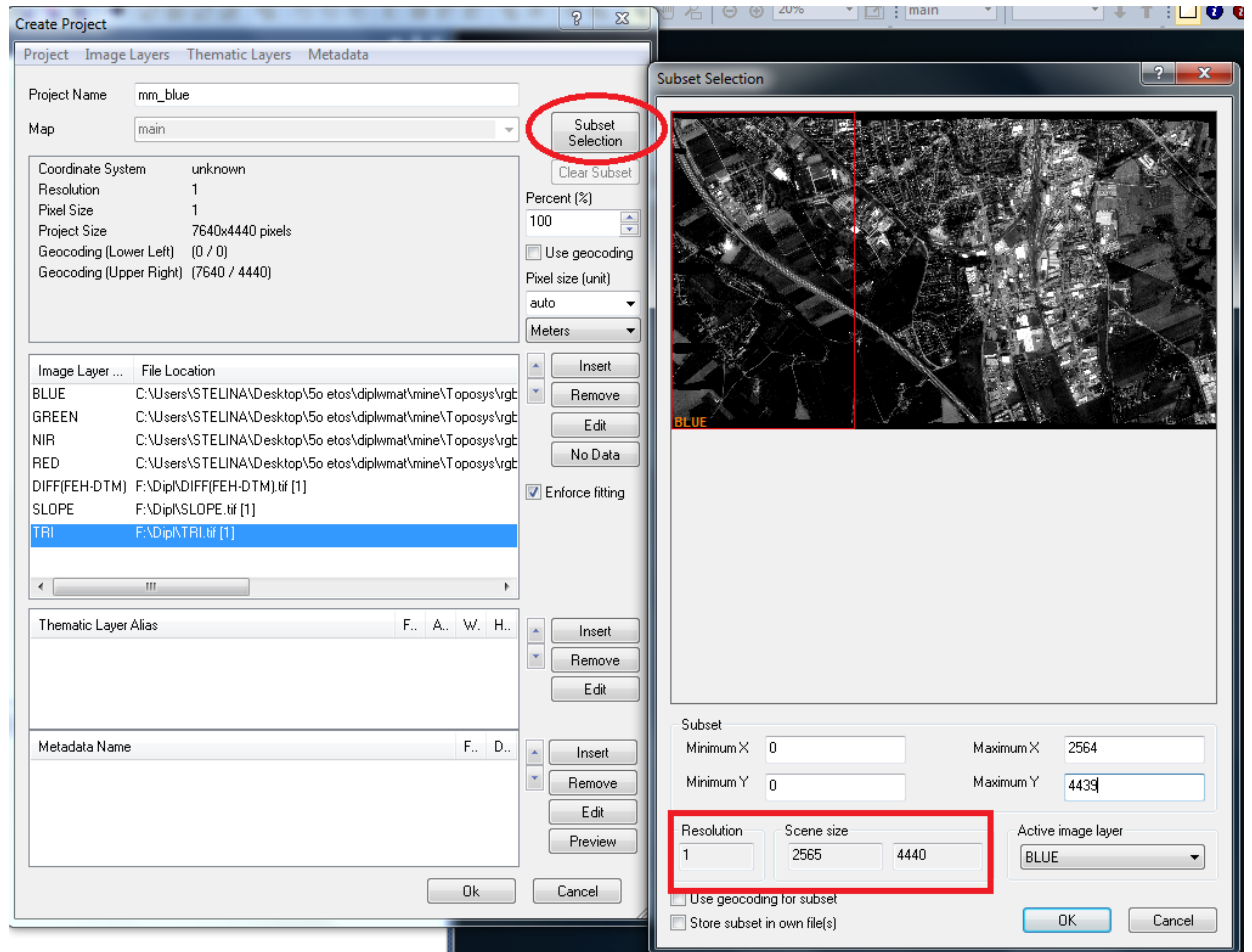
Ο διαχωρισμός, της εικόνας σε τρεις περιοχές, πέραν της διευκόλυνσης στους υπολογισμούς, συντέιει και στην διερεύνηση της καταλληλότητας γενικής εφαρμογής (σ' όλες τις περιοχές) της μεθοδολογίας ανάλυσης της πρώτης περιοχής. Συνέβαλε δηλαδή στην εξέταση του κατά πόσο η βάση γνώσης που δημιουργείται για την πρώτη περιοχή, θα είναι κατάλληλη και για την δεύτερη και την τρίτη.

Για τον διαχωρισμό της περιοχής μελέτης αρχικά χρειάστηκε να γίνει εισαγωγή των παρακάτω επτά (7) θεματικών επιπέδων:

- Τέσσερα (4) φασματικά επίπεδα (**RED, GREEN, BLUE, INFRARED**)
- Ένα (1) επίπεδο διαφοράς (**DIFF**) του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Terrain Model, DTM) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού μεγίστων τιμών (DSM First Echo Highest Values) ήτοι της **DIFF (FEH-DTM)**.
- Ένα (1) επίπεδο κλίσης (**SLOPE**) της διαφοράς του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας τελευταίου παλμού (DSM_LE) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του πρώτου παλμού (DSM_FE).
- Ένα (1) επίπεδο τοπογραφικού δείκτη τραχύτητας του εδάφους (**TRI**) της διαφοράς του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας τελευταίου παλμού (DSM_LE) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του πρώτου παλμού (DSM_FE).

Διευκρινίζεται ότι το παραπάνω αναφερόμενο θεματικό επίπεδο διαφοράς του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Terrain Model, DTM) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού μεγίστων τιμών (DSM First Echo Highest Values) **DIFF (FEH-DTM)**, δημιουργήθηκε για τον σκοπό της διάκρισης των υπέργειων αντικειμένων. Αντίστοιχα, τα θεματικά επίπεδα κλίσης (**SLOPE**) και τοπογραφικού δείκτη τραχύτητας του εδάφους (**TRI**), δημιουργήθηκαν για τον σκοπό της ανίχνευσης των ακμών. Ο εντοπισμός των ακμών βοηθά στη συνέχεια στην ανίχνευση των κτιρίων, αφού τα υπόψη αντικείμενα, στο όριο των επιφανειών τους, (τομή οριζόντιων και κάθετων επιφανειών), παρουσιάζουν επίσης ακμές.

Ο τρόπος δημιουργίας των επιπέδων παρατίθεται στα επόμενα εδάφια.



Εικόνα 3.1: Διαχωρισμός ευρύτερης περιοχής σε τρεις περιοχές μελέτης (1,2,3) στο λογισμικό του e-Cognition



ΠΕΡΙΟΧΗ 1

ΠΕΡΙΟΧΗ 2

ΠΕΡΙΟΧΗ 3

Εικόνα 3.2: Διαχωρισμός ευρύτερης περιοχής μελέτης (7640 x 4440 pixels), σε τρεις υποπεριοχές (2565 x 4440 pixels η κάθε μια.)

3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

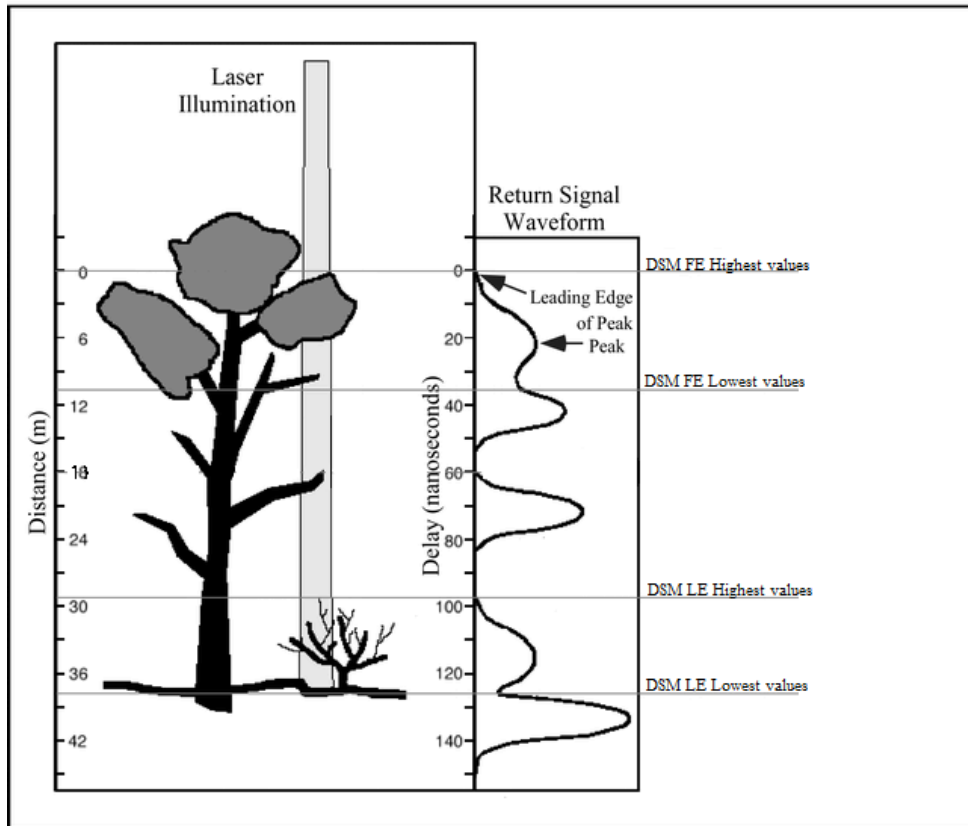
Τα δεδομένα μελέτης προήλθαν από την εταιρεία **TopoSys**, που πραγματοποίησε μετρήσεις μέσω του συστήματος FALCON II, το οποίο συνδυάζει τη χρήση αισθητήρα λέιζερ (LiDAR) και γραμμικού σαρωτή RGB/NIR τεχνολογίας CCD. Από τον υπόψη συνδυασμό προκύπτουν τα ακόλουθα υψομετρικά και πολυφασματικά δεδομένα καθώς και δεδομένα έντασης:

- **Ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα:**
 - Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας *DSM* (*Digital Surface Model*) με:
 - α Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού *DSM FE*
 - i Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού μεγίστων τιμών **DSM FE Highest values (FEH)**
 - ii Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού ελαχίστων τιμών **DSM FE Lowest values (FEL)**
 - β Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας τελευταίου παλμού *DSM LE*
 - i Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας τελευταίου παλμού μεγίστων τιμών **DSM LE Highest values (LEH)**
 - ii Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας τελευταίου παλμού ελαχίστων τιμών **DSM LE Lowest values (LEL)**
- **Ψηφιακό μοντέλο εδάφους *DTM* (*Digital Terrain Model*)**
- **Ψηφιακά μοντέλα διαφορών**
 - DSM_FE-DSM_LE
 - Ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου DSM_FE-DTM_LE
- **Δεδομένα έντασης (*intensity data*)**
- **Ψηφιακά δεδομένα εικόνων στα τέσσερα φασματικά κανάλια Red, Green Blue, Near Infrared.**

Τα ψηφιακά μοντέλα επιφανείας *DSM* καταγράφονται από αισθητήρα λέιζερ (LiDAR) και αποτελούν υψομετρικά μοντέλα, τα οποία αναπαριστούν την επιφάνεια της γης μαζί με ανθρωπογενείς κατασκευές (κτιρίων, γεφυρών, οδών), βλάστηση και άλλα αντικείμενα (οχήματα, στύλοι ηλεκτροδότησης κ.λπ.). Από τους πρώτους παλμούς που επιστρέφουν στον αισθητήρα δημιουργείται το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας πρώτων παλμών (*DSM FE*), που αναπαριστά τις κορυφές αδιαπέρατων αντικειμένων και τα ανώτατα επίπεδα διαπερατών αντικειμένων. Αντίστοιχα από τους τελευταίους παλμούς δημιουργείται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους τελευταίων παλμών (*DSM LE*), όπου αναπαρίστανται οι κορυφές αδιαπέρατων αντικειμένων και το έδαφος κάτω από τα αδιαπέρατα αντικείμενα.

Για το κάθε *DSM* πρώτων και τελευταίων παλμών δημιουργούνται επιπλέον δύο *DSM* ελαχίστων και δύο μεγίστων τιμών υψομέτρων, καθώς σε κάθε παλμό μετράται για κάθε εικονοστοιχείο που θα απεικονιστεί, πλήθος τιμών διαφορετικών υψομέτρων ως αποτέλεσμα των ανακλάσεων διαφόρων γειτονικών αντικειμένων (π.χ. οχήματος, οδού, πεζοδρομίου).

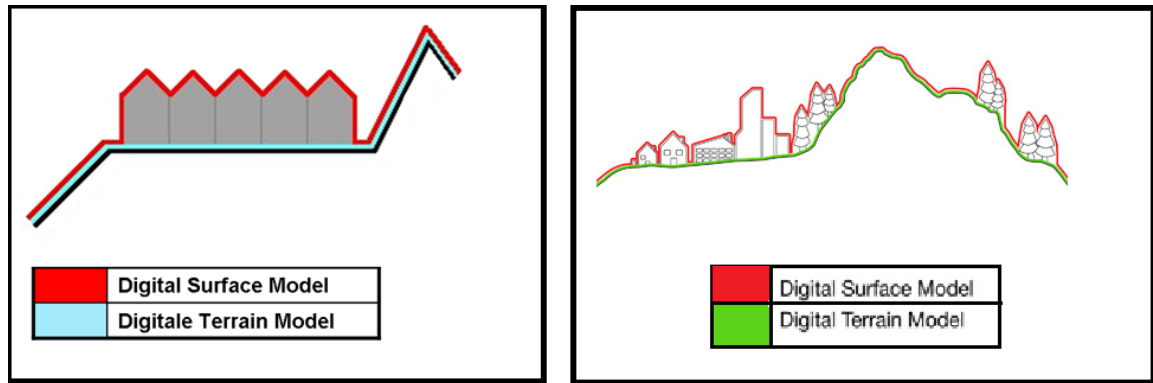
Σχηματική αναπαράσταση των προαναφερόμενων Ψηφιακών Μοντέλων Επιφανείας *DSM*, φαίνεται στην *Εικόνα 3.3*. Εδώ, απεικονίζεται ο πρώτος και ο τελευταίος παλμός (First Eco-FE & Last Eco - LE), μαζί με τα δύο επιπλέον επίπεδα ελαχίστων και μεγίστων τιμών υψομέτρου τους (Lowest & Highest values).



Εικόνα 3.3: Απεικόνιση Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας DSM πρώτων και τελευταίων παλμών με τα επίπεδα ελαχίστων και μεγίστων τιμών υψομέτρων Πηγή: Wikipedia

Πριν επεξηγηθούν τα διάφορα δεδομένα της περιοχής μελέτης, αξίζει να επισημανθεί η διαφορά του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας *DSM* (*Digital Surface Model*), από το Ψηφιακό μοντέλο εδάφους *DTM* (*Digital Terrain Model*), ώστε να γίνουν πιο αντιληπτές οι επεξεργασίες που ακολούθησαν.

- Το Ψηφιακό μοντέλο εδάφους *DTM* (*Digital Terrain Model*), παρουσιάζει την επιφάνεια του εδάφους, χωρίς την βλάστηση και τις ανθρωπογενείς κατασκευές.
- Αντίθετα, το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας *DSM* (*Digital Surface Model*), παρουσιάζει την επιφάνεια του εδάφους μαζί με ανθρωπογενείς κατασκευές, τη βλάστηση και τα άλλα αντικείμενα (οχήματα, στύλοι ηλεκτροδότησης κ.λπ.), όπως φαίνεται στην *Εικόνα 3.4*.



Εικόνα 3.4: Απεικόνιση του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας DSM σε σχέση με το Ψηφιακό μοντέλο εδάφους DTM Πηγή: Wikipedia

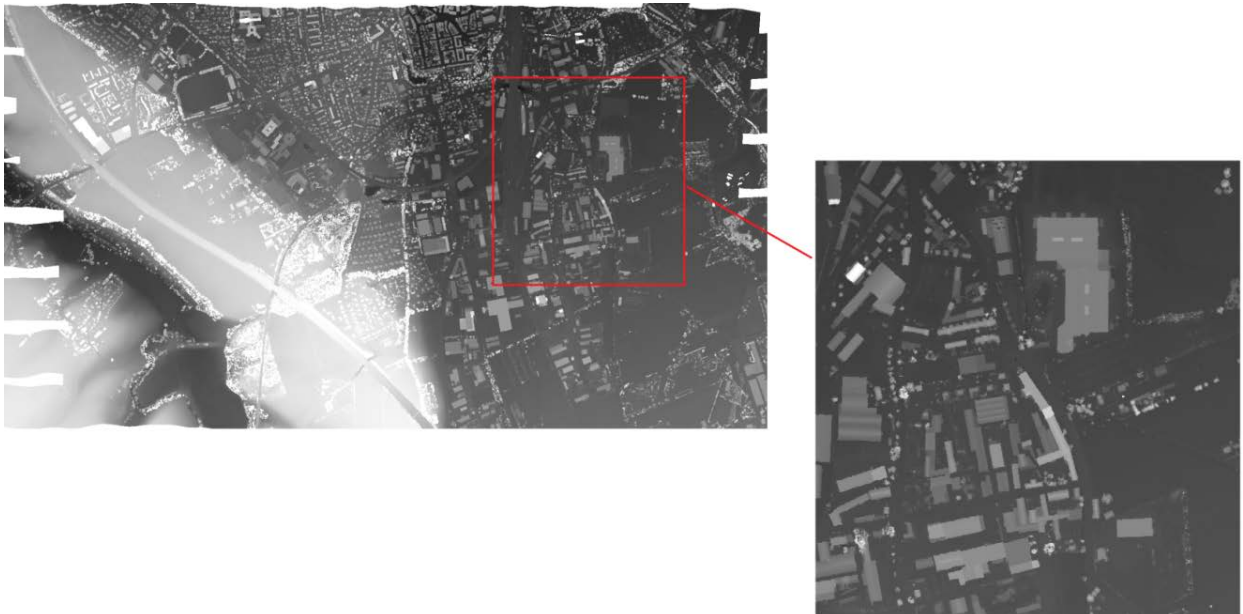
Τα εικονοστοιχεία τα οποία έχουν τις μέγιστες τιμές υψομέτρων του πρώτου παλμού συγκροτούν το Ψηφιακό Μοντέλο DSM FE highest values (FEH), όπου αναπαρίστανται τα ανώτατα επίπεδα διαπερατών και μη αντικειμένων (κορυφές και κλαδιά δέντρων, στέγες κτιρίων, οροφές οχημάτων, στύλοι ηλεκτροδότησης κλπ.).

Αντίστοιχα, τα εικονοστοιχεία τα οποία έχουν τις ελάχιστες τιμές υψομέτρων του πρώτου παλμού συγκροτούν το Ψηφιακό Μοντέλο DSM FE lowest values (FEL), στο οποίο φαίνονται τα φυλλώματα και τα κλαδιά των δέντρων, ενώ παράλληλα αναπαρίσταται μικρότερο το εμβαδόν των κτιρίων.

Στις Εικόνες 3.5 και 3.6 φαίνονται τα ψηφιακά μοντέλα επιφανείας πρώτων παλμών μέγιστου και ελαχίστου υψομέτρου και γίνεται εστίαση σε τυχαία περιοχή για καλύτερη οπτική κατανόηση. Στις εικόνες αυτές μπορούν να παρατηρηθούν τα ψηλά αντικείμενα (κτίρια, δένδρα), με αποχρώσεις του γκρι και άσπρου τόνου και τα χαμηλά (έδαφος, ασφαλτος, καλλιεργήσιμες εκτάσεις), με σκούρους έως και μαύρους τόνους.



Εικόνα 3.5: Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας πρώτων παλμών μεγίστου υψομέτρου (FEH)



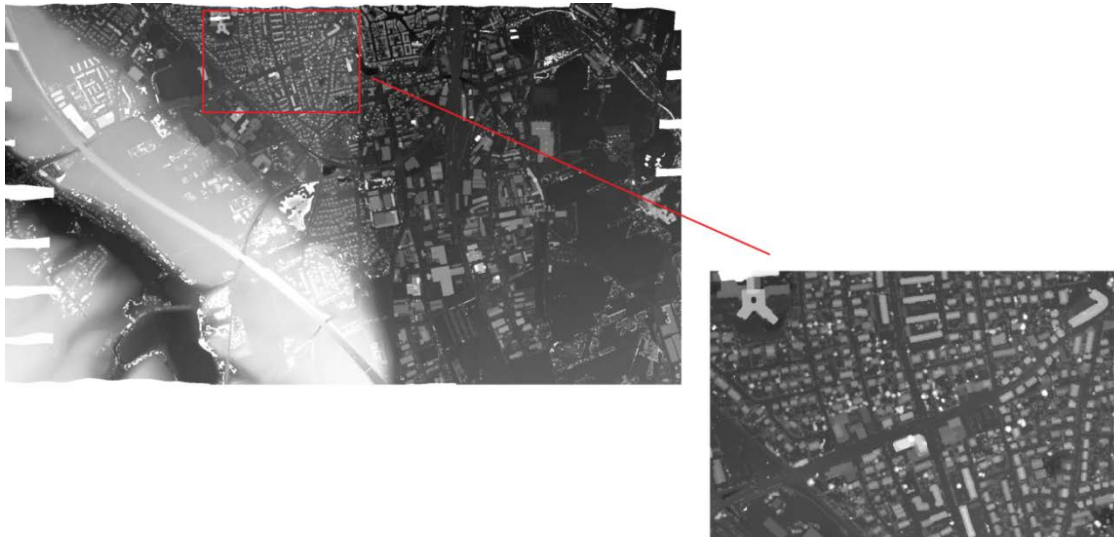
Εικόνα 3.6: Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας πρώτων παλμών ελαχίστου υψομέτρου (FEL)

Τα εικονοστοιχεία στα οποία προσδίδονται οι μέγιστες τιμές υψομέτρων του τελευταίου παλμού συγκροτούν το DSM LE highest values (LEH), όπου αναπαρίστανται τα κατώτατα τμήματα των αντικείμενων που έχουν σκοπευθεί, όπως

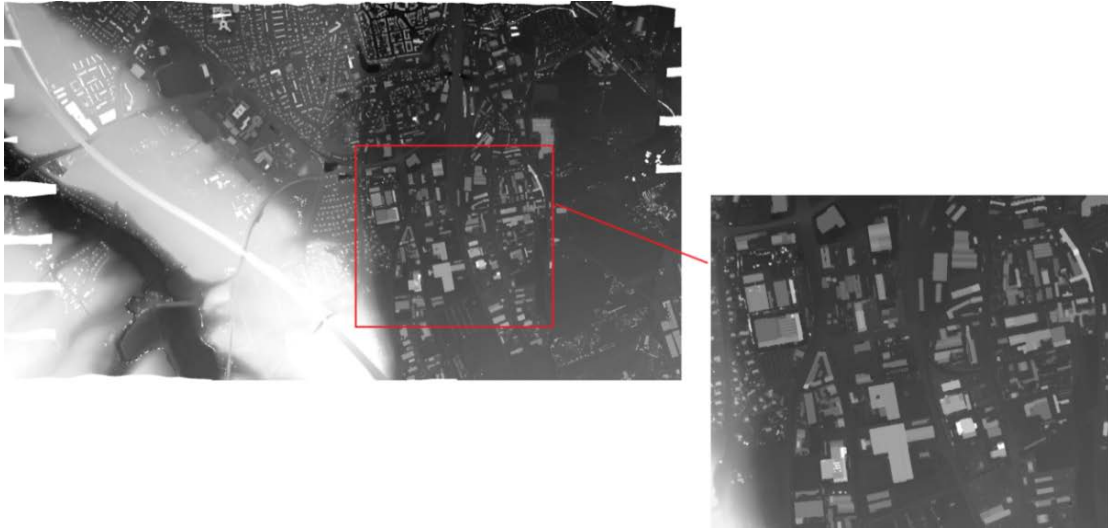
τα οχήματα, οι βάσεις κορμών δέντρων, οι ακάλυπτοι χώροι μεταξύ κτιρίων, οι βάσεις κτιρίων με πλακοσκεπή, οι στέγες κτιρίων με κεραμοσκεπή έως τα όριά τους, ενώ εξαφανίζονται τα φυλλώματα των δέντρων.

Ομοίως, το DSM LE lowest values (LEL), συγκροτείται από τα εικονοστοιχεία με τις ελάχιστες τιμές υψομέτρων του τελευταίου παλμού. Σε αυτό, εξαφανίζονται τα μικρά σε εμβαδό και ύψος αντικείμενα, όπως οχήματα και δέντρα, αλλά από την άλλη αναπαρίστανται οι ελάχιστες επιφάνειες των κτιρίων που απέχουν από το πραγματικό τους εμβαδό, καθώς τείνει να διατηρηθεί το πραγματικό εμβαδόν των ακάλυπτων χώρων μεταξύ κτιρίων.

Οι *Εικόνες 3.5 και 3.6* παραθέτουν αντιπροσωπευτικές απεικονίσεις του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας τελευταίων παλμών μέγιστου (*Εικόνα 3.7*) και ελαχίστου υψομέτρου (*Εικόνα 3.8*)



Εικόνα 3.7: Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας τελευταίων παλμών μέγιστου υψομέτρου (LEH)



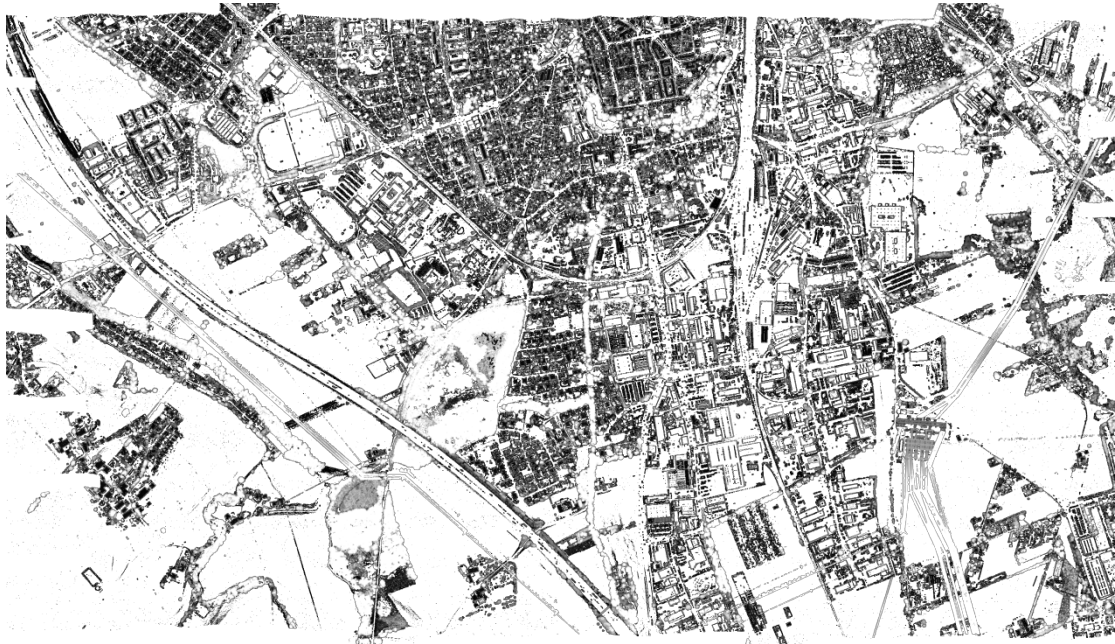
Εικόνα 3.8: Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας τελευταίων παλμών ελαχίστου υψομέτρου (LEL)

Στο ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο εδάφους DTM (Εικόνα 3.9) αναπαρίστανται η επιφάνεια του εδάφους, απαλλαγμένη από βλάστηση και ανθρωπογενείς κατασκευές. Τα δεδομένα για την κατασκευή του υπόψη μοντέλου προέρχονται από το αντίστοιχο υψομετρικό τελευταίου παλμού ελαχίστων τιμών (DSM LE Lowest values, LEL), έτσι ώστε η πιθανότητα να προσκρούσει ο παλμός στο έδαφος, να είναι μεγαλύτερη από την πιθανότητα να προσκρούσει σε αντικείμενα.

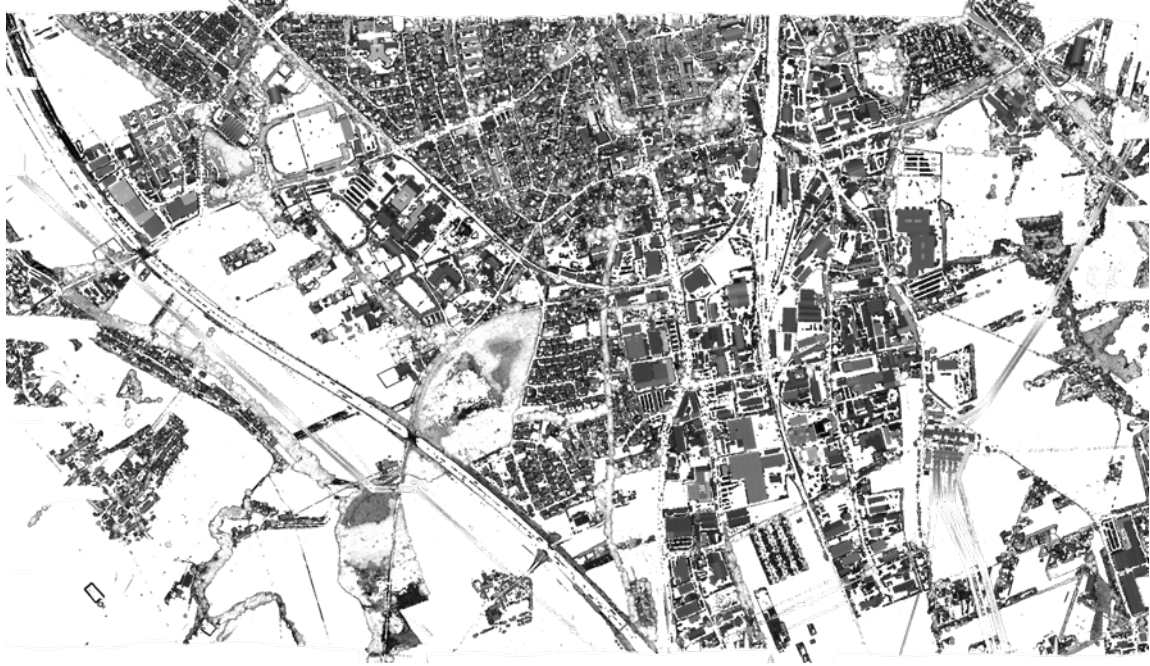


Εικόνα 3.9: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους DTM

Τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα διαφορών προκύπτουν από την πράξη της αφαίρεσης δύο ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων. Στο υψομετρικό μοντέλο διαφοράς του μοντέλου επιφανείας πρώτου παλμού με αυτό του τελευταίου **DSM_FE-DSM_LE** (Εικόνα 3.10), απεικονίζονται οι επιφάνειες βλάστησης κάθε ύψους και τα όρια των κατασκευών χωρίς τις στέγες, ενώ στο υψομετρικό μοντέλο διαφοράς του μοντέλου επιφανείας πρώτου παλμού με το μοντέλο εδάφους **DSM_FE-DTM_LE** (Εικόνα 3.11), απεικονίζονται τα αντικείμενα με μεγάλο ύψος, όπως κεραμοσκεπές, πλακοσκεπές, δέντρα, και αντικείμενα που δεν ανήκουν στο ανάγλυφο, όπως για παράδειγμα τα οχήματα.



Εικόνα 3.10: Υψομετρικό μοντέλο διαφοράς του μοντέλου επιφανείας πρώτου παλμού με αυτό του τελευταίου **DSM_FE-DSM_LE**



Εικόνα 3.11: Υψομετρικό μοντέλο διαφοράς του μοντέλου επιφανείας πρώτου παλμού με το μοντέλο εδάφους DSM_FE-DTM_LE

Το σύστημα σαρωτών της εταιρείας TopoSys, (Falcon II) παρέχει δεδομένα έντασης, τα οποία ουσιαστικά είναι μετρήσεις της έντασης του σήματος της παλμικής ακτινοβολίας λέιζερ που ανακλάται από κάποιο στόχο (Εικόνα 3.12). Η ένταση αυτή εκφράζει πόσο ισχυρή είναι η επιστροφή ενός παλμού λέιζερ που δημιούργησε ο στόχος, οπότε είναι επόμενο τα δεδομένα της έντασης να παρέχουν πληροφορίες για τις ιδιότητες των υλικών των ανακλώμενων επιφανειών. Για το σύστημα Falcon II, η τιμή της μετρούμενης έντασης εξαρτάται από την ανακλαστικότητα του στόχου σε μήκος κύματος 1.5 μm , και καταγράφεται στον τελευταίο παλμό. Βάσει της θέσης και του ύψους πτήσης του αισθητήρα LiDAR, κάθε μέτρηση της έντασης συγχρονίζεται με μετρήσεις μήκους και οι τιμές της μετατρέπονται από το σύστημα, κατά τρόπο ώστε να ανήκουν στο πεδίο τιμών [0, 255] με συγκεκριμένες χωρικές συντεταγμένες.



Εικόνα 3.12: Ένταση (intensity)

Τα ψηφιακά δεδομένα εικόνων καταγράφονται από γραμμικό σαρωτή RGB/NIR τεχνολογίας CCD στα τέσσερα φασματικά κανάλια Red, Green, Blue, Near Infrared. Ακολουθεί η γεωμετρική διόρθωση τους και η γεωαναφορά τους με τη συνδρομή ψηφιακού μοντέλου επιφανείας, το οποίο έχει συγκροτηθεί από υψομετρικά δεδομένα, ληφθέντα ταυτόχρονα με τα φασματικά, στο παγκόσμιο γεωδαιτικό datum **WGS '84**. Στη συνέχεια, μέσω διαμόρφωσης της φωτεινότητας, της αντίθεσης και των χρωμάτων, πραγματοποιείται ραδιομετρική ενίσχυση της εικόνας, ώστε να τονιστούν οι χρήσεις γης. Κάθε φασματικό κανάλι έχει σχεδιαστεί ώστε να αντιστοιχεί σε διαφορετική περιοχή του οπτικού φάσματος, να διακρίνονται εντονότερα ορισμένες χρήσεις γης και να εξυπηρετεί διαφορετική εφαρμογή. Τα τέσσερα (4) φασματικά κανάλια περιγράφονται συνοπτικά στον *Πίνακα 3.1*.

Κανάλι	Μήκος Κύματος (nm)	Εφαρμογές
Μπλε (Blue)	450-490	Σχεδιάστηκε για να διεισδύει στις υδάτινες επιφάνειες. Είναι Χρήσιμο για χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών, τη διάκριση ειδών φυτοκάλυψης, τη χαρτογράφηση δασικών περιοχών και ανθρωπογενών κατασκευών.
Πράσινο (Green)	500-580	Σχεδιάστηκε για να διακρίνονται διάφορα είδη βλάστησης καθώς και το στάδιο ανάπτυξής τους. Δευτερευόντως χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ανθρωπογενών κατασκευών
Κόκκινο (Red)	580-680	Σχεδιάστηκε για να καταγράφει στην περιοχή απορρόφησης της χλωροφύλλης. Χρήσιμο για τη διάκριση διαφορετικών ειδών φυτών. Δευτερευόντως χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ανθρωπογενών κατασκευών.
Εγγύς Υπέρυθρο(Infrared)	770-890	Χρήσιμο στον προσδιορισμό των ειδών βλάστησης, της βιομάζας, στη χαρτογράφηση της περιεχόμενης υγρασίας του εδάφους και στη διάκριση υδάτινων επιφανειών από άλλες χρήσεις γης

Πίνακας 3.1: Φασματικά Κανάλια που διαθέτουν τα δεδομένα TopoSys

Από το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν και αναφέρονται στη συνέχεια τα ακόλουθα

- Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού μεγίστων τιμών DSM FE Highest values (FEH)
- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους DTM (Digital Terrain Model)
- Ψηφιακό μοντέλο διαφορών DSM_FE-DSM_LE
- Ψηφιακά δεδομένα εικόνων στα τέσσερα φασματικά κανάλια Red, Green Blue, Infrared.

Για τα παραπάνω μοντέλα θεωρείται σκόπιμο να διευκρινισθεί ο λόγος επιλογής τους που ήταν για κάθε ένα απ' αυτά ο ακόλουθος:

- Το Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού μεγίστων τιμών DSM FE Highest values (DSM_FEH), επιλέχθηκε διότι από όλα τα ψηφιακά μοντέλα επιφανείας, αυτό ήταν το μόνο που απεικόνιζε τα ανώτερα επίπεδα των αντικειμένων με το πραγματικό τους εμβαδό.
- Επίσης, το Ψηφιακό μοντέλο εδάφους DTM (Digital Terrain Model), επιλέχθηκε για να αφαιρεθεί στη συνέχεια από το DSM_FEH, έτσι ώστε να προκύψουν τα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω από την γήινη επιφάνεια (υπέργεια αντικείμενα).
- Η επιλογή του Ψηφιακού μοντέλου διαφορών (DSM_FE-DSM_LE) έγινε, διότι το εν λόγω μοντέλο, απεικόνιζε τα όρια των κατασκευών χωρίς τις στέγες. Η υπόψη επιλογή αποδείχθηκε πολύ χρήσιμη, αφού με τη γνώση των ορίων και με την εφαρμογή (γεω)μορφομετρικών φίλτρων (SLOPE) και δεικτών (TRI), μπορούν να προκύψουν οι ακμές (όρια των κατασκευών).
- Τέλος, τα Ψηφιακά δεδομένα εικόνων στα τέσσερα φασματικά κανάλια Red, Green Blue, Infrared, επιλέχθηκαν ώστε να υπάρχουν φασματικά δεδομένα.

Επισημαίνεται ακόμη ότι τα δεδομένα ψηφιακά μοντέλα εδάφους της TopoSys παρουσίαζαν σε μικρή έκταση τοπικές ελλείψεις πληροφοριών υψομέτρων σε κάποια από τα αντικείμενα που περιείχαν. Το γεγονός αυτό ξεπεράστηκε με την ομαλοποίηση που επιφέρει η εφαρμογή του φίλτρου διαμέσων, πλην όμως επισημαίνεται ότι οι μέσες τιμές διαμορφώνονται από τις διαθέσιμες πληροφορίες και άρα η πληρότητα του αποτελέσματος επηρεάζεται από τις τυχόν ελλείψεις στοιχείων στα δεδομένα. Για το λόγο αυτό θεωρήθηκε και αναφέρεται στη συνέχεια στην Ενότητα 5.3 (προοπτικές) ότι είναι χρήσιμη η εφαρμογή της μεθοδολογίας της παρούσας και σε δεδομένα χωρίς ελλείψεις υψομετρικών πληροφοριών, προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση του πληρέστερου Ψ.Μ.Ε στις εξαγόμενες πληροφορίες και ταξινομήσεις.

3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (ΓΕΩ)ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΣΤΟ SAGA-GIS

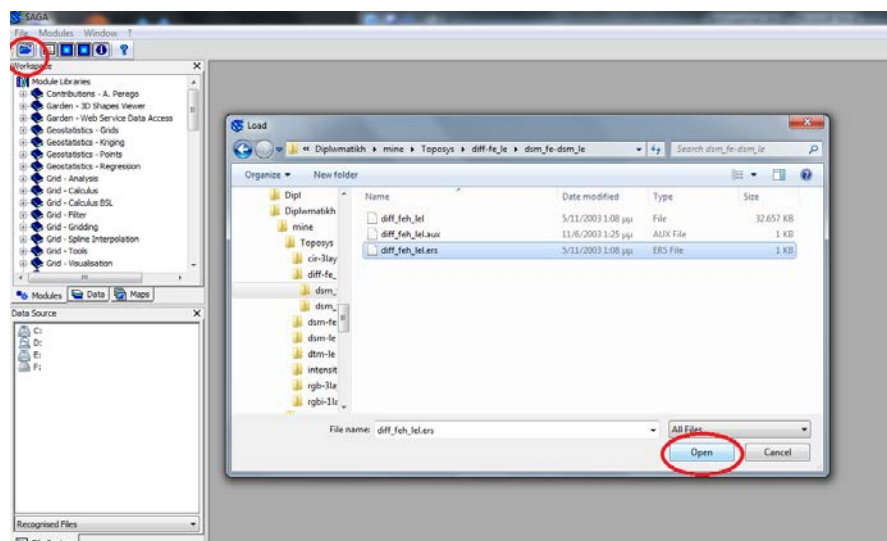
Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους Ψ.Μ.Ε, αποτελεί ένα σύνολο υψομετρικών τιμών που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα σημεία, με γνωστές γεωγραφικές συντεταγμένες στην γήινη επιφάνεια. Όπως φαίνεται και στην ενότητα 2.1.2 της παρούσας, όπου δίδεται ο ορισμός του, κατά Li et al (2005), το Ψ.Μ.Ε είναι το βασικό αρχείο δεδομένων για οποιαδήποτε επιπλέον διαδικασία μοντελοποίησης ψηφιακού ανάγλυφου (Gercek, 2010).

Από τα δεδομένα του TopoSys, που αναφέρθηκαν παραπάνω, σε πρώτο στάδιο εισήχθησαν στο λογισμικό του **SAGA GIS (2.0.8)**, ώστε να δημιουργηθούν τα

παράγωγή τους καθώς και να εμπλουτιστούν και με (γεω)μορφομετρικά χαρακτηριστικά τα ακόλουθα:

- Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού μεγίστων τιμών **DSM FE Highest values**
- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους **DTM (Digital Terrain Model)**
- Ψηφιακό μοντέλο διαφοράς **DSM_FE-DSM_LE**

Αρχικά, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 3.13*, τα δεδομένα εισήχθησαν σε μορφή *.ers* στο λογισμικό και προβλήθηκαν στην οθόνη.

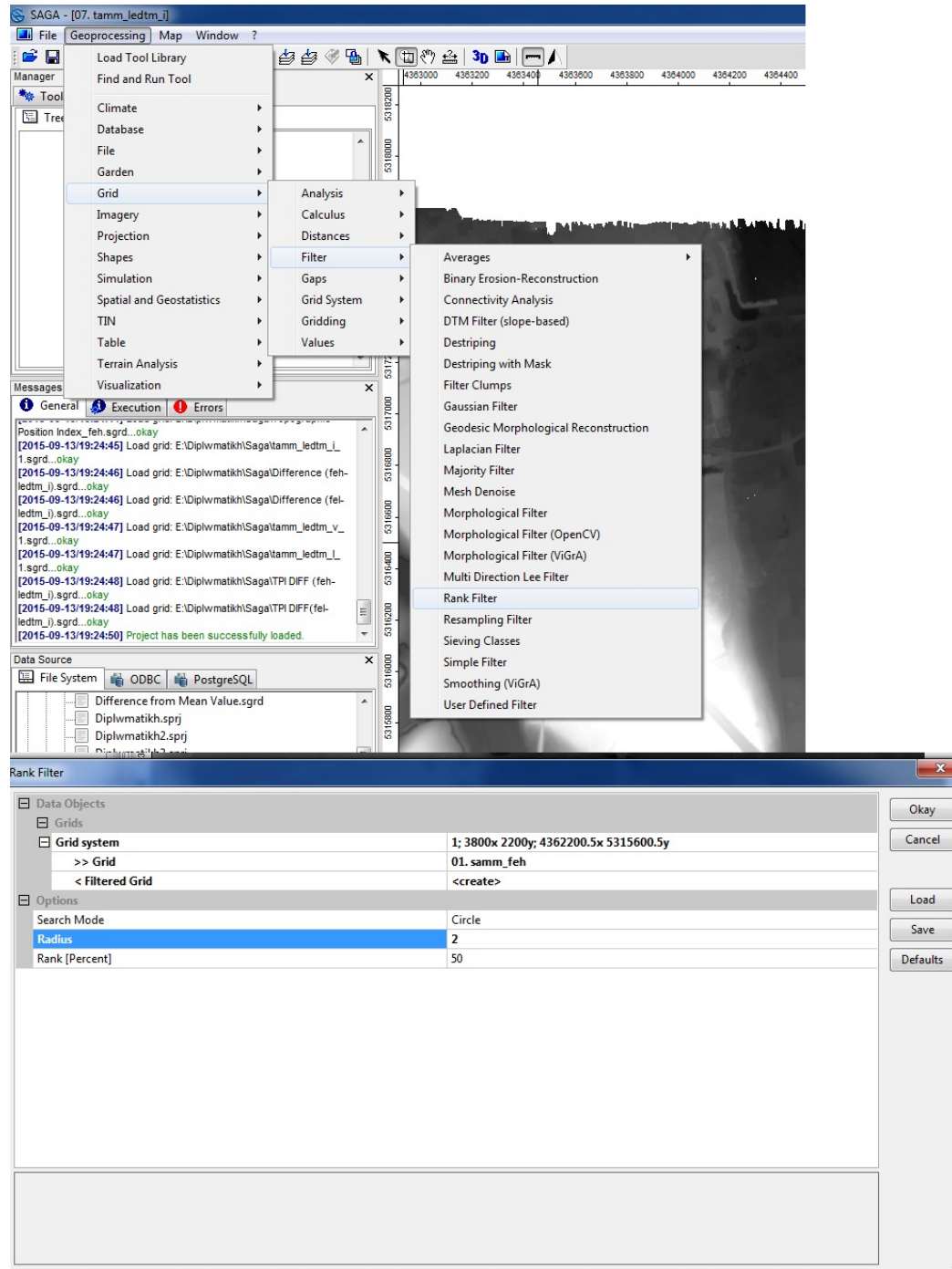


Εικόνα 3.13: Εισαγωγή δεδομένων στο SAGA GIS

Για να εξαλειφθεί ο θόρυβος που υπήρχε στα Ψηφιακά Μοντέλα εφαρμόστηκε, στο καθένα από αυτά, φίλτρο διαμέσου (**Median Filter**) (*Εικόνα 3.14*). Το φίλτρο διαμέσου βασίζεται σε ένα παράθυρο μεγέθους JxK κινούμενο σε όλη την εικόνα. Για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας υπολογίζεται μία νέα τιμή, η οποία εξάγεται από την τιμή φωτεινότητας του μεσαίου εικονοστοιχείου, εξ όλων των περιεχομένων στο παράθυρο εικονοστοιχείων, κατόπιν της διαδοχικής τους διάταξης από εκείνο με τη μικρότερη φωτεινότητα έως εκείνο με τη μεγαλύτερη. Αν το γινόμενο JxK είναι περιττό, τότε η διάμεσος του παραθύρου υπολογίζεται από το εικονοστοιχείο $(JxK+1)/2$. Επισημαίνεται ότι η τελική προκύπτουσα τιμή φωτεινότητας είναι ακριβώς ίση με κάποια από τις υπάρχουσες, ώστε να εξαλειφθούν τυχόν σφάλματα στρογγυλοποίησης, σε περίπτωση που επιβάλλεται η ύπαρξη αποκλειστικά ακέραιων αριθμών. Το μειονέκτημα που παρουσιάζει, είναι η απώλεια πληροφορίας από τα όρια των αντικειμένων.

Στο λογισμικό SAGA-GIS, σύμφωνα με το Module Library Documentation, το φίλτρο διαμέσου προκύπτει εάν το rank (percent) τεθεί ίσο με πενήντα (50). Επίσης

επιλέχθηκε ακτίνα ίση με δύο (2), που αντιστοιχεί σε φίλτρο διαμέσου (Median Filter) με διαστάσεις 5x5 εικονοστοιχείων (pixels).



Εικόνα 3.14: Εφαρμογή φίλτρου διαμέσου στα Ψηφιακά Μοντέλα

Στις *Εικόνες 3.15, 3.16 και 3.17* φαίνεται η επίδραση της εφαρμογής του φίλτρου διαμέσου σε κάθε ένα από τα τρία ψηφιακά μοντέλα που προαναφέρθηκαν.



Εικόνα 3.15: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους DTM (Digital Terrain Model) μετά την εφαρμογή του Median Filter



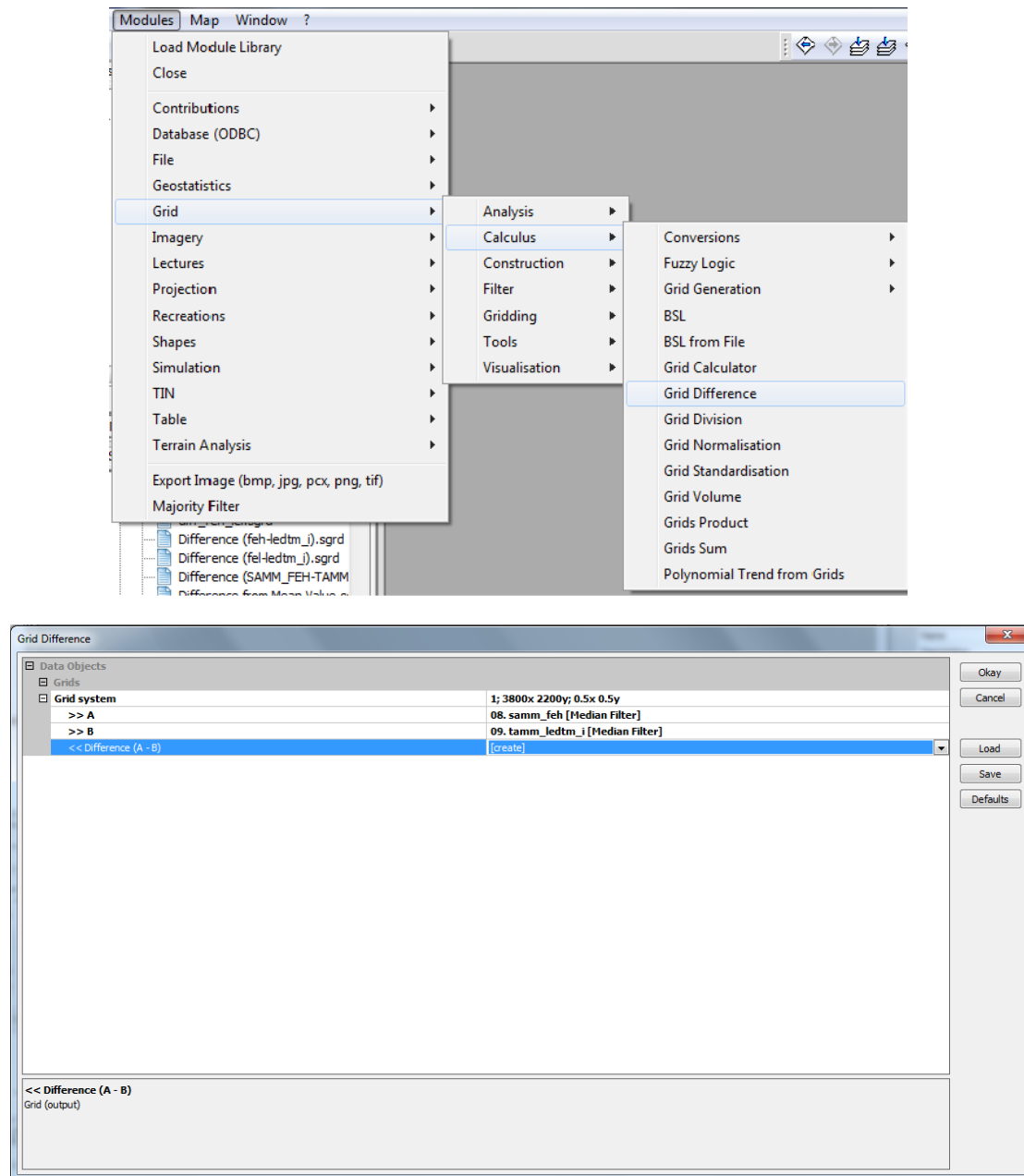
Εικόνα 3.16: Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού μεγίστων τιμών DSM FE Highest values μετά την εφαρμογή του Median Filter



Εικόνα 3.17: Ψηφιακό μοντέλο διαφοράς $DSM_{FE} - DSM_{LE}$ μετά την εφαρμογή του Median Filter

Ακολούθησε υπολογισμός της επεξεργασμένης με Median Filter διαφοράς DSM_FE-DTM, του (γεω)μορφομετρικού φίλτρου της κλίσης (**SLOPE**) και του τοπογραφικό δείκτη τραχύτητας του εδάφους (**TRI**) Σκοπός της εφαρμογής των παραπάνω, ήταν η χρήση τους ως θεματικά επίπεδα (layers) στο project που δημιουργήθηκε στην συνέχεια στο λογισμικό **e-Cognition** για την ανίχνευση των κτιρίων.

Στη συνέχεια για τη διάκριση των υπέργειων αντικειμένων (σε επόμενο στάδιο εφαρμογής, στο λογισμικό e-Cognition), υπολογίστηκε η διαφορά (εφεξής **DIFF**) του **Median DTM** από το **Median DSM_FEH** (Εικόνα 3.18).



Εικόνα 3.18: Υπολογισμός διαφοράς (DIFF) του Median DTM από το Median FEH

Το μοντέλο DSM_FEH, αναπαριστά την επιφάνεια της γης μαζί με τα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω της, ενώ το DTM απεικονίζει το ανάγλυφο της, οπότε η διαφορά τους παρουσιάζει τα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω από την γήινη επιφάνεια. Στο αποτέλεσμα που προέκυψε από το SAGA GIS (Εικόνα 3.19), τα υπέργεια αντικείμενα εμφανίζονται με γκρι και άσπρο χρώμα και το έδαφος (επιφάνεια της γης) με μαύρο.

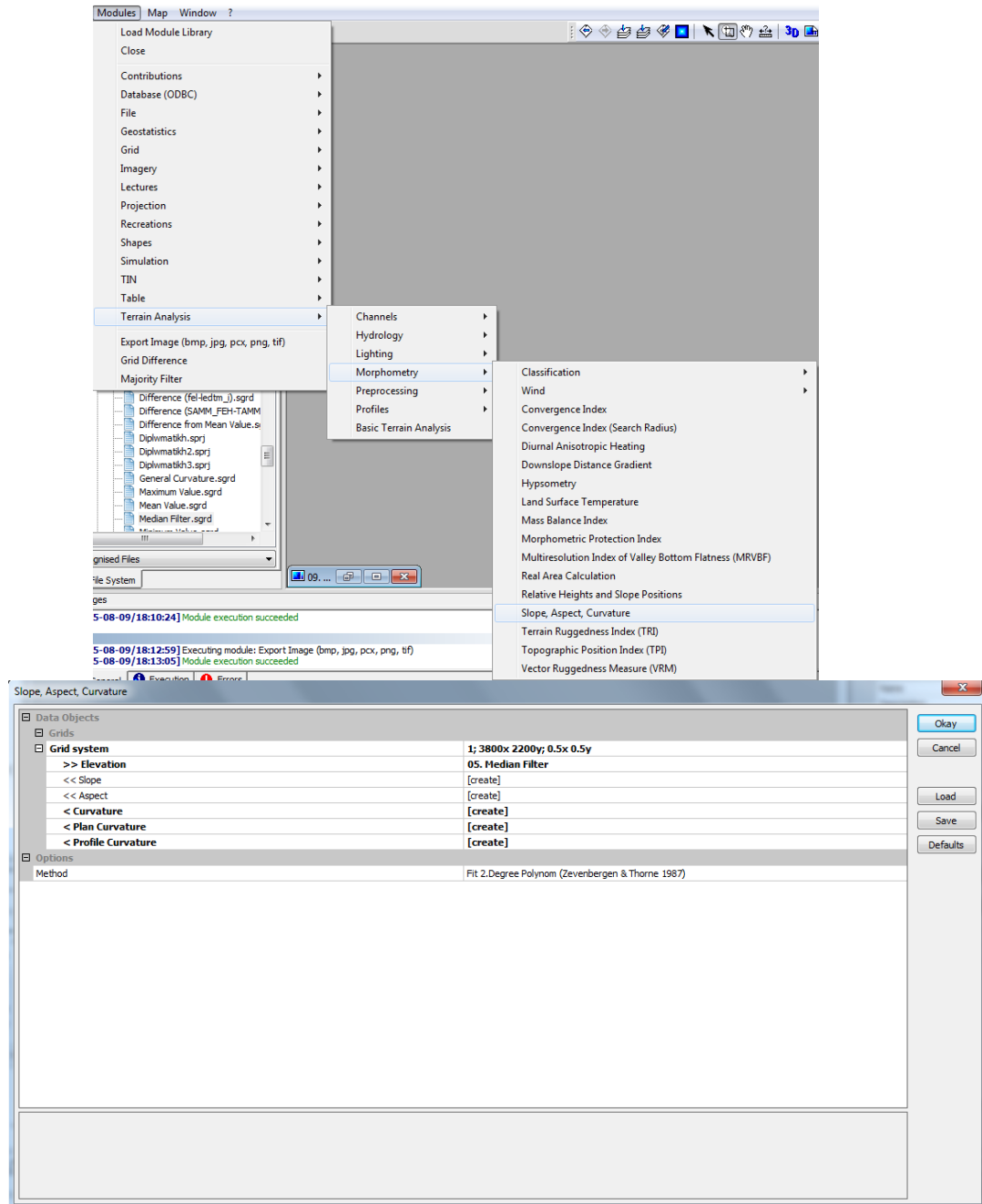


Εικόνα 3.19: Διαφορά του Median DTM από το Median FEH

3.3.1 (Γεω)μορφομετρικό Φίλτρο «Κλίση» (SLOPE):

Ο αλγόριθμος μετράει το ρυθμό μεταβολής του υψομέτρου στην κατεύθυνση της μέγιστης κλίση. Η κλίση (εφεξής **SLOPE**) συνήθως υπολογίζεται με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών, όπως εξηγήθηκε αναλυτικότερα στην ενότητα 2.1.2 της παρούσας.

Η διαδικασία εφαρμογής του (γεω)μορφομετρικού φίλτρου **SLOPE** στο λογισμικό SAGA GIS φαίνεται ενδεικτικά στην Εικόνα 3.20 ενώ η επίδραση στο μοντέλο της διαφοράς των DSM φαίνεται στην Εικόνα 3.21.



Εικόνα 3.20: Υπολογισμός (γεω)μορφομετρικού φίλτρου κλίσης (SLOPE)



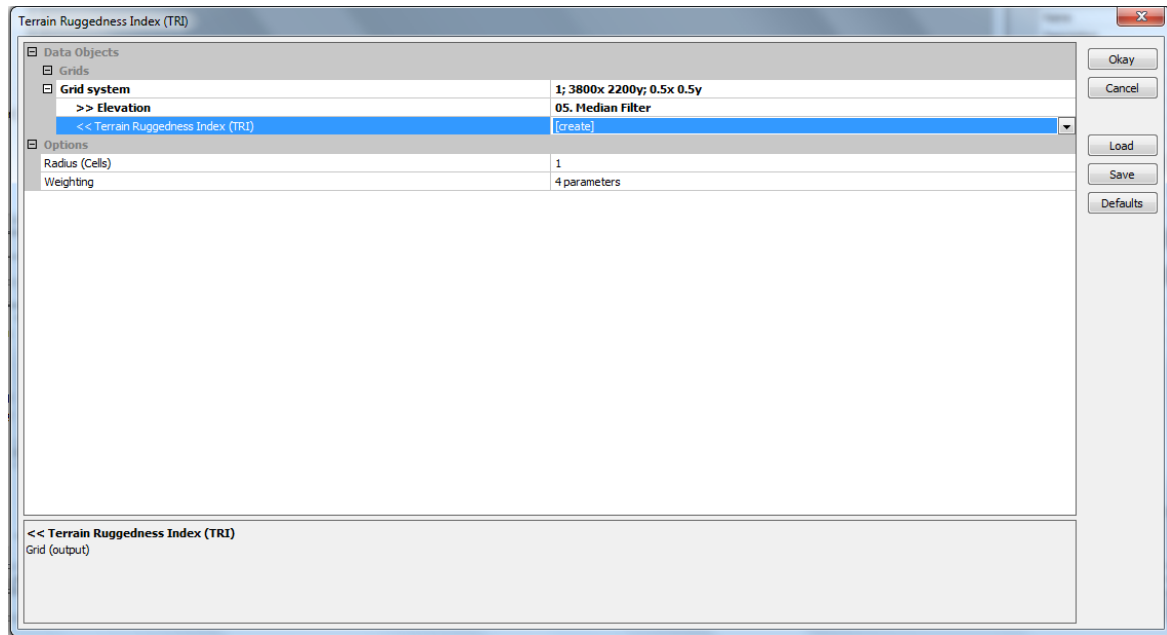
Εικόνα 3.21: Εφαρμογή (γεω)μορφομετρικού φίλτρου κλίσης στην εικόνα της διαφοράς των DSM

Στην Εικόνα 3.21 επισημαίνεται ότι οι περιοχές με έντονες κλίσεις, που μας ενδιαφέρουν για την εξαγωγή κτιρίων, παρουσιάζονται με ανοιχτούς τόνους του γκρι και με άσπρο. Αντίστοιχα, οι σκούροι τόνοι υποδηλώνουν περιοχές ήπιας κλίσης.

3.3.2 Τοπογραφικός δείκτης τραχύτητας του εδάφους (TRI):

Ο τοπογραφικός δείκτης τραχύτητας εδάφους απεικονίζει το βαθμό ετερογένειας που παρουσιάζει το έδαφος. Ο αλγόριθμος, όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.1.2, υπολογίζει τη συνολική μεταβολή του υψομέτρου μεταξύ ενός εικονοστοιχείου και των οκτώ γειτονικών του (Riley et.al, 1999).

Η διαδικασία εφαρμογής του τοπογραφικού δείκτη TRI στο λογισμικό SAGA GIS φαίνεται ενδεικτικά στην Εικόνα 3.22 ενώ η επίδραση στο μοντέλο της διαφοράς των DSM φαίνεται στην Εικόνα 3.23.



Εικόνα 3.22: Υπολογισμός τοπογραφικού δείκτη TRI



Εικόνα 3.23: Εφαρμογή τοπογραφικού δείκτη TRI στην εικόνα της διαφοράς των DSM

Στην Εικόνα 3.23 του TRI, επισημαίνεται ότι με ανοιχτούς τόνους του γκρι απεικονίζονται οι περιοχές με μεγάλο δείκτη TRI (περιοχές ενδιαφέροντος), ενώ με σκούρους, ή μαύρους τόνους, παρουσιάζονται περιοχές με χαμηλό δείκτη TRI που πλησίαζε το μηδέν.

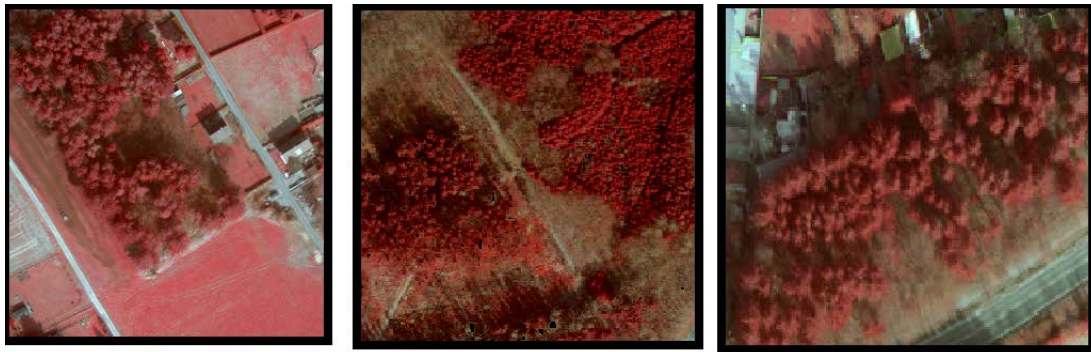
3.4 ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Οι εικόνες των τριών υποδιαίρεσεων της αρχικής περιοχής που μελετήθηκαν, (Περιοχές 1, 2 και 3) καλύπτουν μεγάλη έκταση, οπότε περιέχουν πολλές κατηγορίες. Οι κατηγορίες που παρατηρήθηκαν σε όλες τις εικόνες των τριών περιοχών, είναι η βλάστηση (πυκνή, αραιή), τα κτίρια, η άγονη γη, οι ασφαλτοστρωμένες περιοχές, το οργωμένο έδαφος, το χώμα, τα δένδρα και οι περιοχές με ταρτάν. Επίσης, στις εικόνες της πρώτης και δεύτερης υποπεριοχής υπήρχαν και γέφυρες. Για την καλύτερη φωτοερμηνεία της εικόνας χρησιμοποιήθηκε το ψευδέγχρωμο σύνθετο (NIR-RED-GREEN) και η ενίσχυση Standard Deviation (τυπική απόκλιση) η οποία εντείνει τις διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ του εδάφους και των κτιρίων ειδικά των τσιμεντένιων. Το σύνθετο αυτό παρουσίαζε τις τιμές του εγγύς υπέρυθρου σε αντίστοιχες εντάσεις του κόκκινου, δηλαδή όσο πιο υψηλή ήταν η ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο τόσο πιο έντονα κόκκινο εμφανιζόταν ένα αντικείμενο. Αυτός ο τρόπος προβολής είναι συνηθισμένος, όταν σε μία εικόνα υπάρχει βλάστηση η οποία ανακλά έντονα στο εγγύς υπέρυθρο και άρα παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα, του οποίου οι εντάσεις διακρίνονται πιο εύκολα από εκείνες του πράσινου. Τα αντικείμενα που ανακλούσαν πολύ στο κόκκινο (κεραμοσκεπές, ταρτάν στα γήπεδα) εμφανίζονταν πράσινα και τέλος τα αντικείμενα που ανακλούσαν στο πράσινο (δρόμοι, οργωμένες περιοχές) εμφανίζονταν μπλε. Παρακάτω παρατίθεται επεξήγηση της κάθε κατηγορίας.

3.4.1 Βλάστηση (αραιή πυκνή και δένδρα)

Η βλάστηση αποτέλεσε ένα εύκολα αναγνωρίσιμο χαρακτηριστικό, καθώς εμφανιζόταν με πράσινο χρώμα στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο (RED-GREEN-BLUE), και με κόκκινο στο ψευδέγχρωμο σύνθετο (NIR-RED-GREEN) (Εικόνα 3.24). Παρουσιαζόταν σε μεγάλες εκτάσεις της εικόνας στην περίπτωση των δασών και των αγροτικών περιοχών, με χαρακτηριστικό πρότυπο καλλιέργειας, όταν αυτή υπήρχε, ενώ στην περίπτωση του αστικού πρασίνου είχε μικρή έκταση και συνόρευε με κτίρια ή άλλες υποδομές. Στο εσωτερικό της παρουσιαζόντουσαν συνήθως σκιές λόγω του μικρού ή μεγάλου ύψους της. Για να μελετηθεί με λεπτομέρεια η βλάστηση συνήθως χρησιμοποιούνται ψευδέγχρωμα σύνθετα όπως το (NIR-RED-GREEN) ή (FIR-NIR-RED) κ.α., τα οποία εμφανίζουν την βλάστηση κόκκινη καθώς οι διαβαθμίσεις του κόκκινου είναι πιο εύκολα αντιληπτές από αυτές του πράσινου. Για την αναγνώρισή της στις εικόνες έγινε χρήση του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης **NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) = (NIR-RED)/(RED+NIR)**. Ο δείκτης αυτός έχει προέλθει από το κλάσμα NIR/RED το οποίο δίνει υψηλές τιμές ανακλαστικότητας για τη βλάστηση, καθώς αυτή ανακλά πολύ στο εγγύς υπέρυθρο και λίγο στο κόκκινο. Επειδή όμως από το κλάσμα αυτό δεν προκύπτουν τιμές εύκολα διαχειρίσιμες, αφαιρέθηκαν και προστέθηκαν οι τιμές του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου αντίστοιχα σε αριθμητή και παρανομαστή και

πλέον οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από -1 έως 1. Οι συνήθεις τιμές του NDVI για τη βλάστηση είναι άνω του 0.3.



ΠΕΡΙΟΧΗ 1

ΠΕΡΙΟΧΗ 2

ΠΕΡΙΟΧΗ 3

Εικόνα 3.24: Βλάστηση στο ψευδέγχρωμο σύνθετο (NIR-RED-GREEN)

3.4.2 Κτίριο

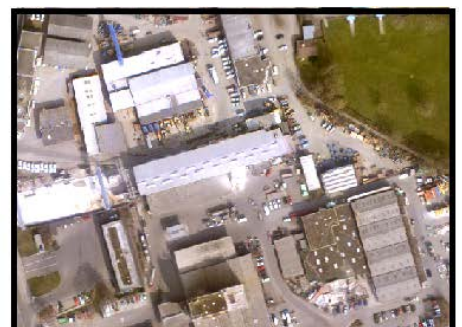
Τα κτίρια (Εικόνα 3.25) αποτέλεσαν μια εύκολα αναγνωρίσιμη κατηγορία λόγω του σχήματός τους και του λευκού, κόκκινου ή σκούρου γκρι χρώματος τους, ανάλογα με το είδος της ταράτσας, στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο (RED-GREEN-BLUE). Αναγνωρίστηκαν εύκολα από τις σκιές που δημιουργούσαν στις εικόνες λόγω της υψομετρικής διαφοράς τους με τους γειτονικούς δρόμους, αυλές ή τον ακάλυπτο χώρο στο συνεχές σύστημα δόμησης. Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό εντοπισμού τους ήταν οι ακμές (όρια) τους.



ΠΕΡΙΟΧΗ 1



ΠΕΡΙΟΧΗ 2



ΠΕΡΙΟΧΗ 3

Εικόνα 3.25: Κτίρια στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο (RED-GREEN-BLUE)

3.4.3 Ασφαλτωμένο οδόστρωμα

Οι εκτάσεις του ασφαλτοστρωμένου οδοστρώματος χαρακτηρίστηκαν από το μακρόστενο σχήμα τους καθώς και επειδή παρουσίαζαν καμπυλώσεις, είχαν ποικίλα μεγέθη και εντοπίζονταν αυτοκίνητα στο εσωτερικό τους. Εμφανίζονταν μπλε-γκρι στο ψευδέγχρωμο σύνθετο (NIR-RED-GREEN) και γκρι/σκούρο γκρι στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο (Εικόνα 3.26)



ΠΕΡΙΟΧΗ 1



ΠΕΡΙΟΧΗ 2



ΠΕΡΙΟΧΗ 3

Εικόνα 3.26: Ασφαλτωμένο οδόστρωμα στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο (RED-GREEN-BLUE)

3.4.4 Χώμα

Στο φυσικό σύνθετο το χώμα φαινόταν καφέ και στο ψευδέγχρωμο σύνθετο (NIR-GREEN-BLUE) κόκκινο-καφέ. Ανακλούσε εξίσου την κόκκινη και την υπέρυθη ακτινοβολία (Εικόνα 3.27).



ΠΕΡΙΟΧΗ 1



ΠΕΡΙΟΧΗ 2



ΠΕΡΙΟΧΗ 3

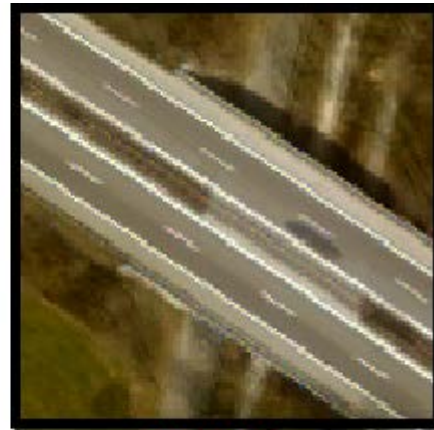
Εικόνα 3.27: Χώμα στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο (RED-GREEN-BLUE)

3.4.5 Γέφυρα

Οι γέφυρες αποτέλεσαν και αυτές μια εύκολα αναγνωρίσιμη κατηγορία λόγω του σχήματός τους (μακρόστενες) και της γειτονικής τους θέσης με δρόμους. Αναγνωρίστηκαν επίσης από τις σκιές λόγω της υψομετρικής διαφοράς τους με τους δρόμους (Εικόνα 3.28)



ΠΕΡΙΟΧΗ 1



ΠΕΡΙΟΧΗ 2

Εικόνα 3.28: Γέφυρα στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο (RED-GREEN-BLUE)

3.4.6 Οργωμένο έδαφος

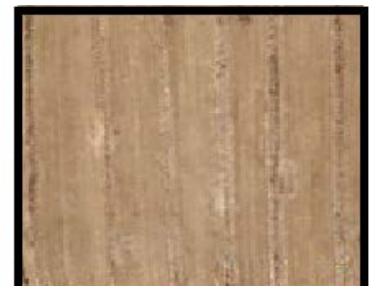
Το οργωμένο έδαφος ήταν μια κατηγορία που καταλάμβανε σχετικά μεγάλη έκταση στις εικόνες. Ήταν εύκολα αναγνωρίσιμη λόγω της μεγάλης έκτασής της, του μπλε-πράσινου ή γκρι ή καφέ χρώματός της, στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο (RED-GREEN-BLUE) και των τυπικών της γραμμώσεων (Εικόνα 3.29). Επιπρόσθετα, η κατηγορία αυτή είχε ακανόνιστο σχήμα και ποικίλη υφή.



ΠΕΡΙΟΧΗ 1



ΠΕΡΙΟΧΗ 2



ΠΕΡΙΟΧΗ 3

Εικόνα 3.29: Οργωμένο έδαφος στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο (RED-GREEN-BLUE)

3.4.7 Σκιά

Οι σκιές παρατηρήθηκαν σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο, ή σε κατοικημένες περιοχές, όπου τα κτίρια ή άλλα έργα υποδομής είχαν υψομετρικές διαφορές με τον περιβάλλοντα χώρο. Παρατηρήθηκαν επίσης σε δασικές περιοχές, ή σε καλλιέργειες όπου τα φυτά είχαν απόσταση μεταξύ τους και δημιουργούνταν σκιάσεις μεταξύ εδάφους και φυτού. Είχαν μαύρο ή πολύ σκούρο γκρι χρώμα και το σχήμα τους ήταν ανάλογο με το αντικείμενο-πηγή της σκιάς (Εικόνα 3.30).



ΠΕΡΙΟΧΗ 1



ΠΕΡΙΟΧΗ 2



ΠΕΡΙΟΧΗ 3

Εικόνα 3.30: Σκιά στο φυσικό έγχρωμο σύνθετο (RED-GREEN-BLUE)

3.5 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΙΣ ΤΡΕΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ

Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση βασίζεται στην ιδέα του ότι η σημαντική πληροφορία για την προσέγγιση της φωτοερμηνείας, δεν βρίσκεται στο επίπεδο των εικονοστοιχείων (pixel), αλλά στο επίπεδο των σημασιολογικών αντικειμένων της εικόνας και στις μεταξύ τους σχέσεις.

Ένα πακέτο λογισμικού για να θεωρείται ότι εφαρμόζει την αρχή της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης, πρέπει να παρέχει τις εξής δυνατότητες:

- Εκτέλεση διαδικασίας κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης
- Ορισμός και ιεράρχηση των κατηγοριών.
- Καθιέρωση χαρακτηριστικών και κανόνων στις κατηγορίες
- Ταξινόμηση των πρωτογενών αντικειμένων σε σημασιολογικά αντικείμενα.
- Εκτέλεση ενδεχόμενων βημάτων μετά-κατάτμησης και μετά-ταξινόμησης για βελτίωση αποτελεσμάτων.

Ο στόχος της κατάτμησης είναι να προκύψουν πρωτογενή αντικείμενα, τα οποία μπορούν να δώσουν σημασιολογικά αντικείμενα με την διαδικασία της ταξινόμησης. Η διαδικασία της κατάτμησης, πρέπει να παράγει μεν μεγάλα αντικείμενα, αλλά ταυτόχρονα δε και να καλύπτει τα κριτήρια του ορίου και της ομοιογένειας του χρώματος.

Μέσω της διαδικασίας καθιέρωσης της ιεραρχίας των κατηγοριών, υλοποιείται μια αναπαράσταση (αντικειμενοστρεφής), των προς ταξινόμηση κατηγοριών. Παράλληλα

παρέχεται το λογικό πλαίσιο, με βάση το οποίο θα πραγματοποιηθούν οι διαδικασίες κληροδότησης των χαρακτηριστικών. Η εν λόγω κληροδότηση γίνεται από γενικές σε ειδικές κατηγορίες.

Τα χαρακτηριστικά των κατηγοριών και οι κανόνες, είναι το βασικό μέσο διαχωρισμού των αντικειμένων και καθορίζουν την μοναδικότητα ή την ομοιότητά τους.

Τέλος, η ταξινόμηση αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης, αφού μέσω της υπόψη διαδικασίας, κάθε αντικείμενο, που έχει προκύψει από την κατάτμηση, αποδίδεται σε μία κατηγορία. Γενικά, η διαδικασία αυτή είναι βασισμένη στην ασαφή λογική και αξιοποιεί τα χαρακτηριστικά των κατηγοριών.

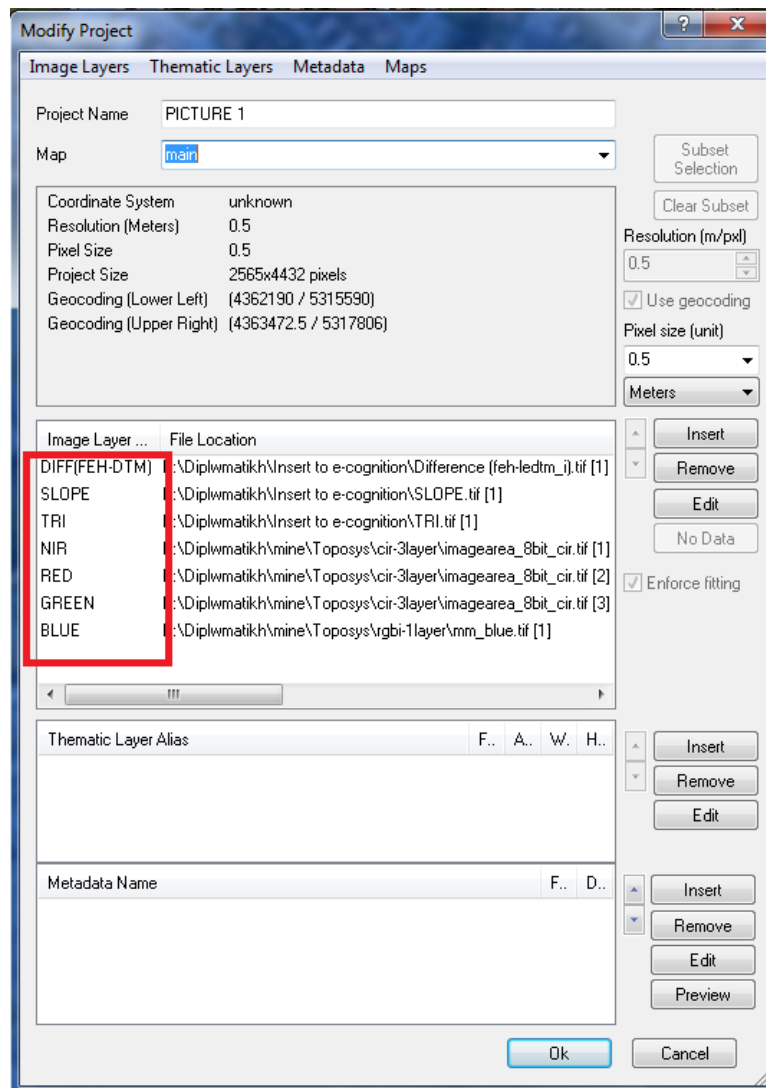
Η παραπάνω μεθοδολογία πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό **e-Cognition έκδοση 9.0**. Για την κατάτμηση των εικόνων χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος *πολλαπλής κατάτμησης εικόνας (multiresolution segmentation)*, που έχει τη δυνατότητα παραγωγής ομοιογενών αντικειμένων, σε διαφορετικές κλίμακες.

3.5.1 Περιοχή Μελέτης 1

Επί της πρώτης (εφεξής Περιοχή 1), από τις τρεις περιοχές, εισήχθησαν αρχικά τα επτά (7) θεματικά επίπεδα (layers), όπως φαίνεται στην *Εικόνα 3.31*, τα οποία αποτελούν τη βάση για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των αντικειμένων. Χρησιμοποιήθηκαν θεματικά επίπεδα (layers) μορφής *.tiff* τα οποία είναι τα εξής:

- Τέσσερα (4) φασματικά επίπεδα (**RED, GREEN, BLUE, INFRARED**) που απεικονίζουν την περιοχή μελέτης
- Ένα (1) επίπεδο που απεικονίζει την διαφορά (**DIFF**) του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Terrain Model, DTM) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας πρώτου παλμού μεγίστων τιμών (DSM First Echo Highest Values) **DIFF (FEH-DTM)**
- Ένα (1) επίπεδο που απεικονίζει την κλίση (**SLOPE**) της διαφοράς του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας τελευταίου παλμού (DSM_LE) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του πρώτου παλμού (DSM_FE)
- Ένα (1) επίπεδο που απεικονίζει τον τοπογραφικό δείκτη τραχύτητας του εδάφους (**TRI**) της διαφοράς του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας τελευταίου παλμού (DSM_LE) από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας του πρώτου παλμού (DSM_FE)

Τα επίπεδα **DIFF (FEH-DTM)**, **SLOPE**, **TRI**, προέκυψαν από το λογισμικό SAGA-GIS στο στάδιο της προεπεξεργασίας, με τη διαδικασία που αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα.



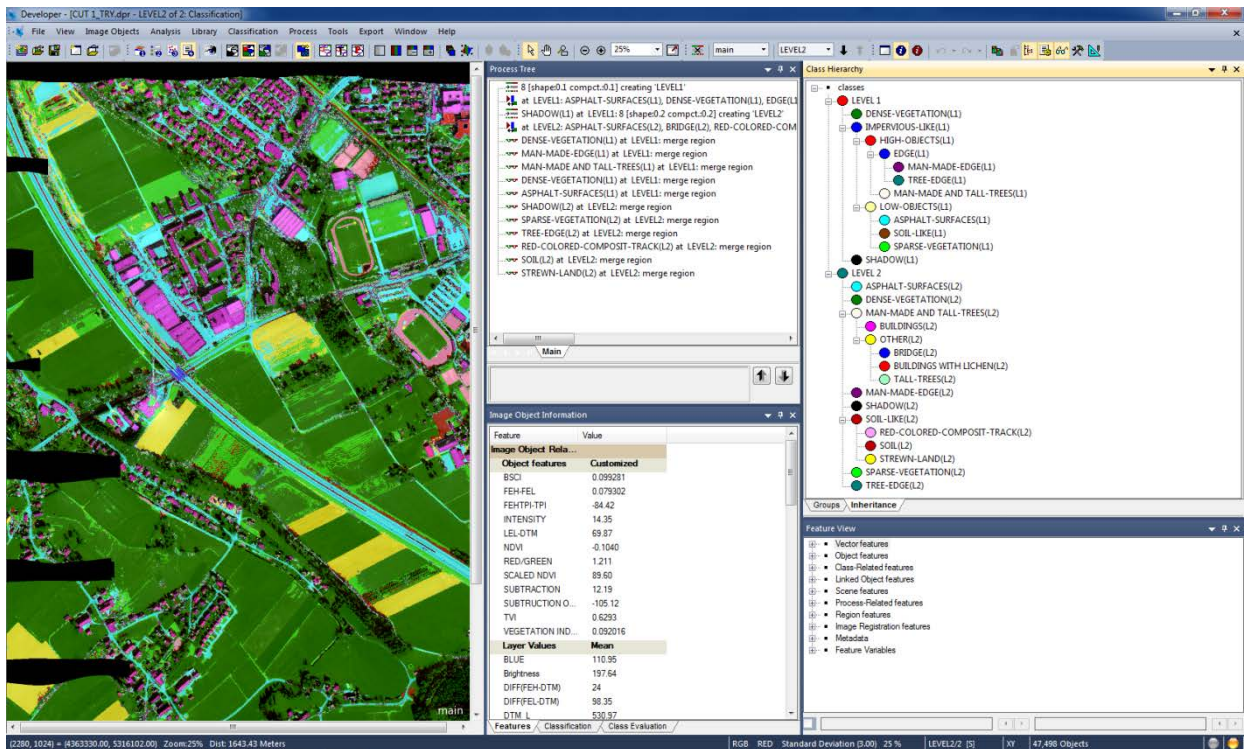
Εικόνα 3.31: Παράθυρο διαλόγου του e-Cognition όπου εισάγονται τα επίπεδα

Αφού πραγματοποιήθηκε η απεικόνιση των δεδομένων, ακολούθησε ένα σύνολο δοκιμαστικών κατατμήσεων τύπου *πολλαπλής κατάτμησης εικόνας (multiresolution segmentation)* και επιλέχθηκαν τα κριτήρια της κατάτμησης, με τη διαδικασία δοκιμής και απόρριψης (trial and error).

Το επόμενο βήμα, μετά την κατάτμηση των εικόνων, είναι η δημιουργία των κατηγοριών, με την επιλογή και εφαρμογή διαγνωστικών χαρακτηριστικών, τα οποία ορίζουν την κάθε κατηγορία ξεχωριστά. Για την καλύτερη μεθόδευση της διαδικασίας, δίπλα σε κάθε συγκεκριμένη κατηγορία σημειώνεται εντός παρενθέσεως αριθμός, που δηλώνει σε ποιο επίπεδο κατάτμησης πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση της.

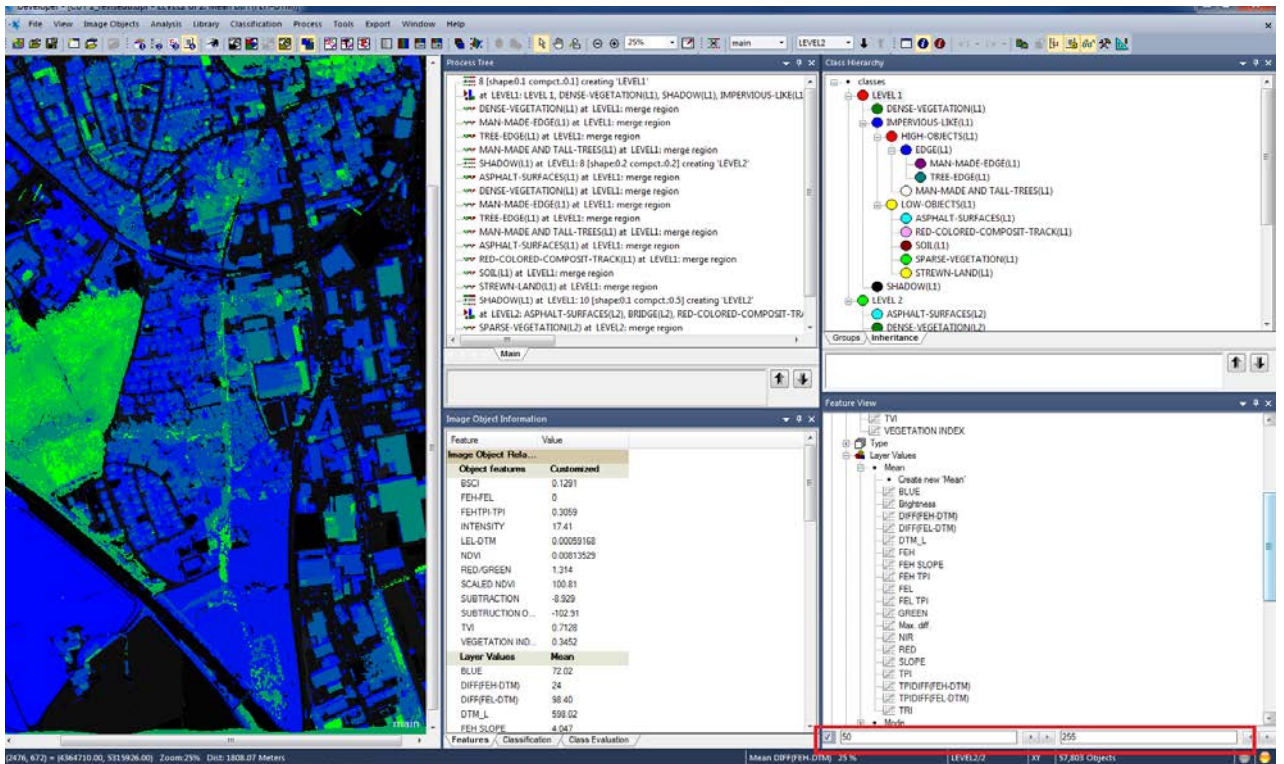
Τα βασικά εργαλεία του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκαν, είναι τα παρακάτω τέσσερα (4), όπου τα παράθυρα επιλογών και ρυθμίσεων των ιδιοτήτων και της διαδικασίας φαίνονται στην *Εικόνα 3.32*:

- *Process Tree*, στο οποίο διαμορφώθηκαν οι αλγόριθμοι κατάτμησης και ταξινόμησης.
- *Class Hierarchy*, στο οποίο πραγματοποιήθηκε ο ορισμός και η ιεραρχία των κατηγοριών.
- *Feature view*, το οποίο δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέγει οποιοδήποτε χαρακτηριστικό και να απεικονίζει τα αντικείμενα που βρίσκονται εντός των επιθυμητών ορίων που ορίζει ο ίδιος.
- *Image object information*, στο οποίο ο χρήστης επιλέγει τα χαρακτηριστικά (και τις τιμές αυτών), που θα είναι ορατά για κάθε αντικείμενο κατάτμησης.



Εικόνα 3.32: Περιβάλλον του προγράμματος *e-Cognition* και προβολή των 4 βασικών παραθύρων του. Το εργαλείο *Feature View* είναι πολύ σημαντικό τόσο για την ερμηνεία των δεδομένων, όσο και για τη δημιουργία και τον ορισμό των κατηγοριών. Για κάθε χαρακτηριστικό (*feature*) και για κάθε επίπεδο κατάτμησης, υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης των αντικειμένων που βρίσκονται εντός των επιθυμητών ορίων που ορίζει ο χρήστης.

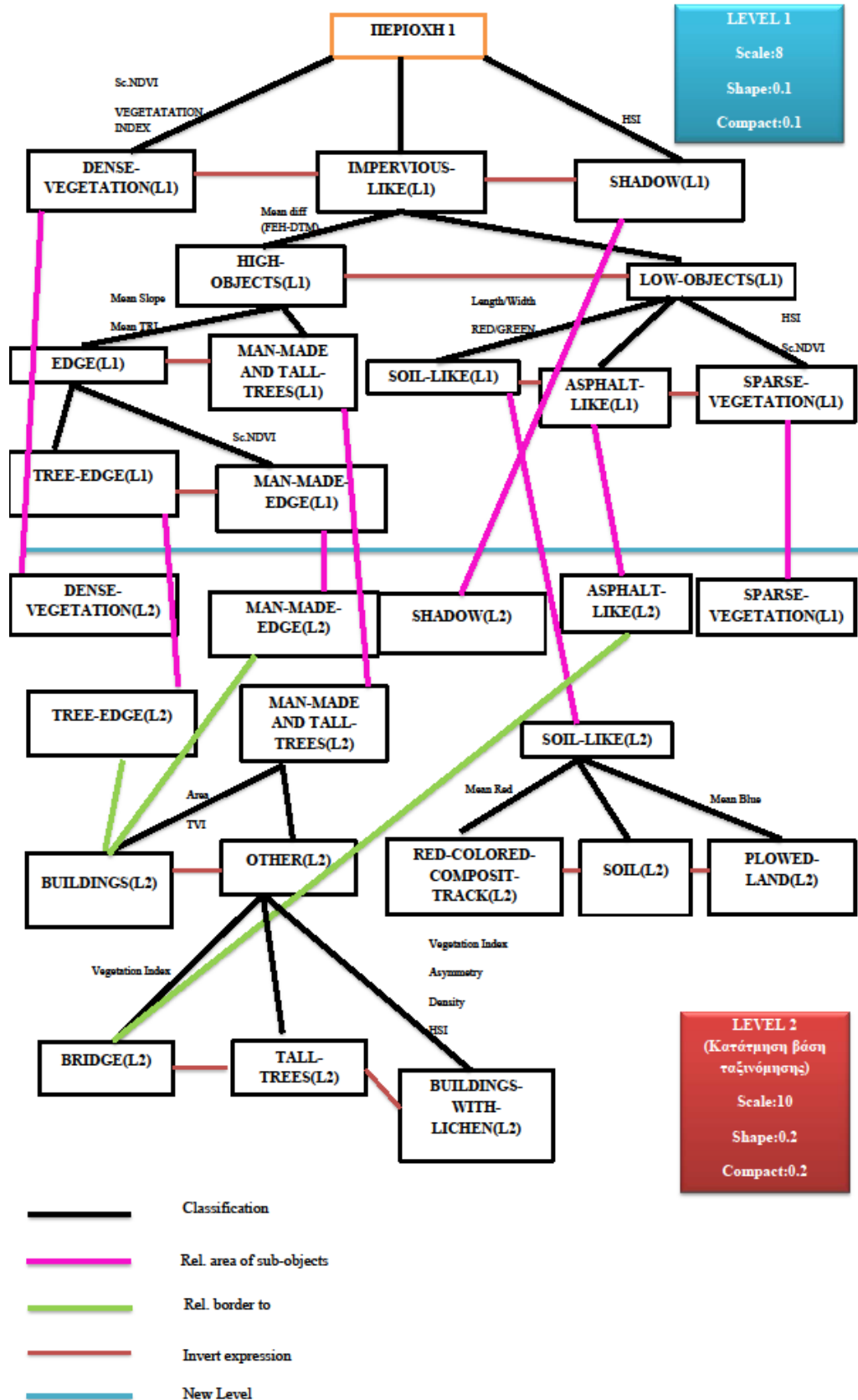
Ένα παράδειγμα του εργαλείου *Feature View* παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.33. Εδώ, οι τιμές υψομέτρου αντιστοιχίζονται σε τιμές φωτεινότητας. Έτσι, στην εικόνα Εικόνα 3.33 φαίνονται τα όρια της κατηγορίας «ψηλά αντικείμενα» δηλαδή εκείνα των οποίων η διαφορά FEH-DTM είναι μεγαλύτερη της τιμής φωτεινότητας του 50. Διευκρινίζεται ότι με μπλε χρώμα απεικονίζονται τα αντικείμενα που έχουν τιμή φωτεινότητας κοντά στο 55 και με πράσινο χρώμα τα αντικείμενα που έχουν τιμή κοντά στο 255.



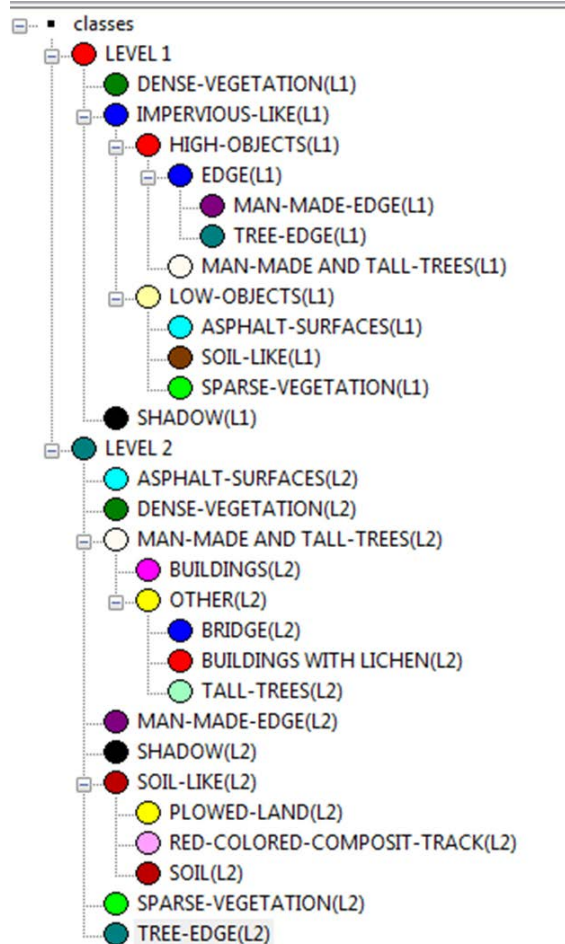
Εικόνα 3.33: Παράδειγμα της χρήσης του εργαλείου Feature View

Για την επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε, προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω (**bottom-up**). Μ' αυτήν, αρχικά δημιουργείται επίπεδο κατάτμησης με αντικείμενα μικρού μεγέθους, τα οποία περιγράφουν επαρκώς τα δεδομένα. Έπειτα δε από την ένωση τους, παράγονται τα αντικείμενα της ζητούμενης κατάτμησης. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, δημιουργήθηκαν δυο επίπεδα κατάτμησης (Level 1 &2) όπου το Level 2 ήταν το ανώτερο.

Το τελευταίο στάδιο είναι η ταξινόμηση των κατηγοριών που έχουν δημιουργηθεί στο κάθε επίπεδο κατάτμησης ξεχωριστά. Στις Εικόνες 3.34 και 3.35 φαίνονται αντίστοιχα η διαγραμματική παρουσίαση ιεραρχίας κατηγοριών όλων των επιπέδων ανάλυσης της πρώτης περιοχής μελέτης, (Εικόνα 3.34) και η ιεραρχία των κατηγοριών (Εικόνα 3.35)



Εικόνα 3.34: Διαγραμματική παρουσίαση ιεραρχίας κατηγοριών όλων των επιπέδων ανάλυσης Περιοχής 1



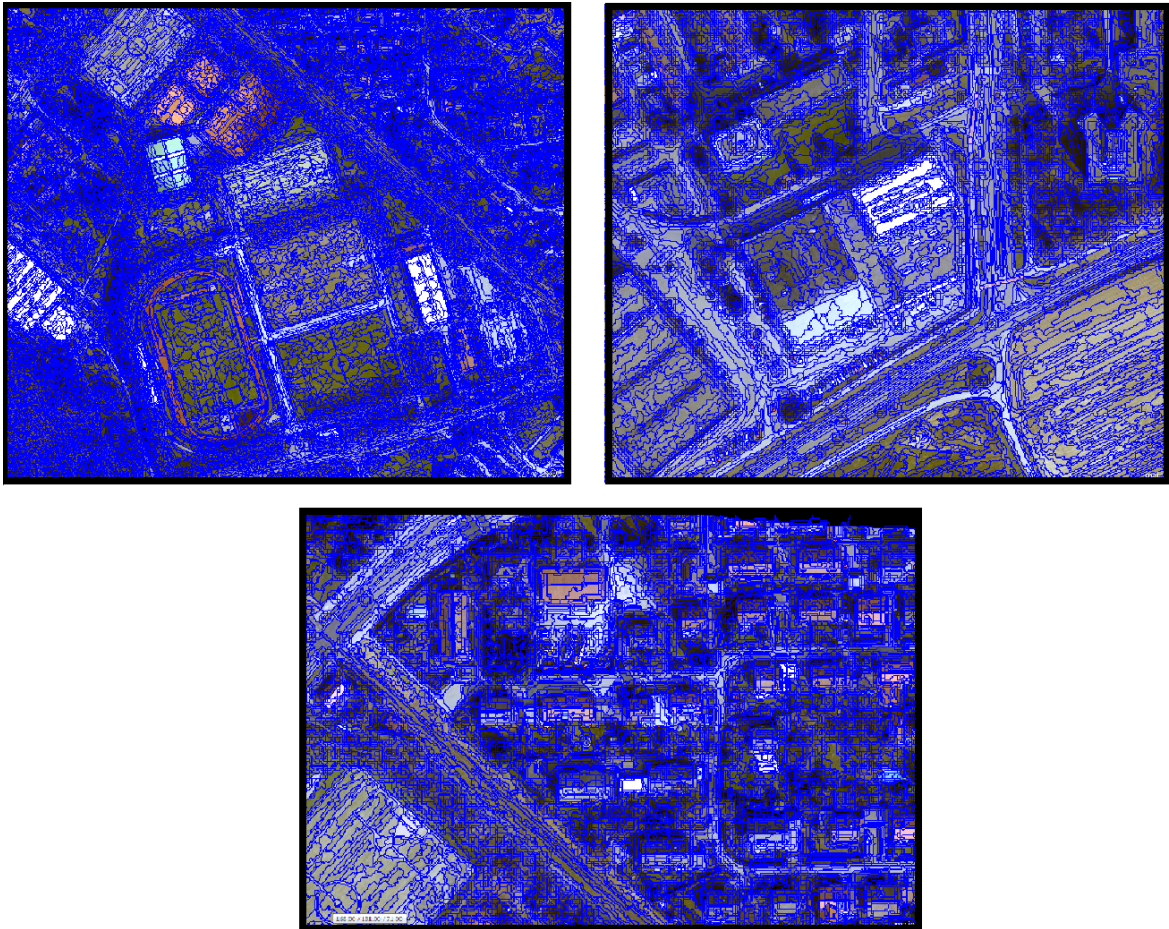
Εικόνα 3.35: Ιεραρχία κατηγοριών Περιοχής 1 όπως παρουσιάζεται στο λογισμικό e-Cognition

3.5.1.1 Δημιουργία επιπέδου Level 1 και ταξινόμηση

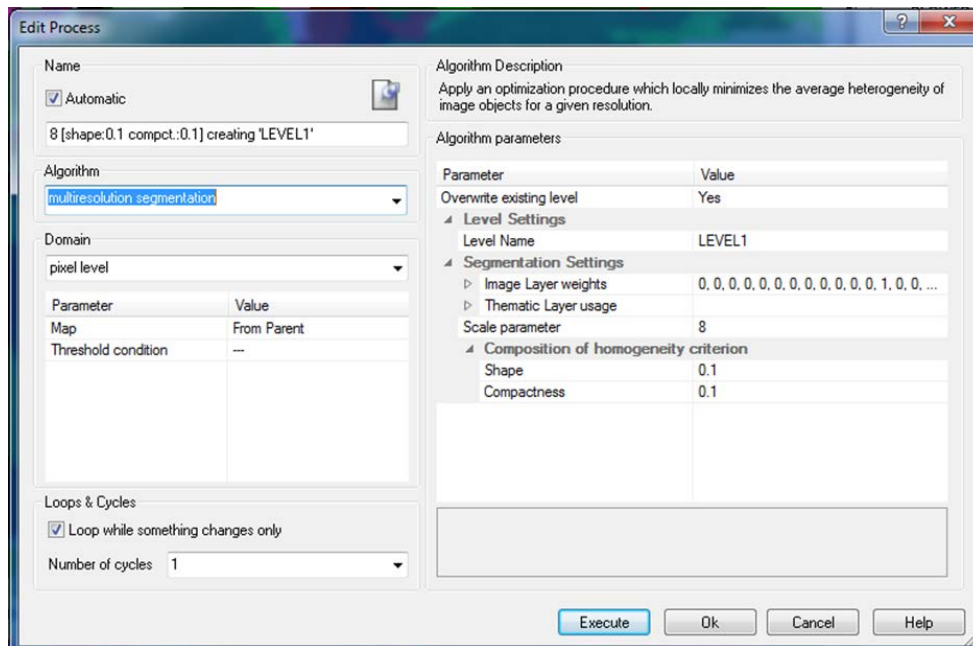
α. Κατάτμηση

Στο πρώτο επίπεδο κατάτμησης επιδιώκεται ο διαχωρισμός των αντικειμένων σε ψηλά και χαμηλά, η περαιτέρω διαίρεση τους (άσφαλτος, βλάστηση, χώμα κ.τ.λ.) και τέλος η εύρεση των ακμών (ορίων) των ψηλών αντικειμένων. Επιλέχθηκε μία μικρή παράμετρος κλίμακας ίση με **8**, με σκοπό τη δημιουργία μικρών αλλά και ομοιογενών αντικειμένων. Για τον διαχωρισμό της βλάστησης, της σκιάς της ασφάλτου, των ανθρωπογενών ακμών και των ακμών των δένδρων, δόθηκε στα θεματικά επίπεδα **RED, BLUE, GREEN, NIR**, βάρος ίσο με τη μονάδα. Επιπρόσθετα για τον διαχωρισμό των κτιρίων και των δένδρων από τα επίγεια αντικείμενα, δόθηκε στο επίπεδο **DIFF(FEH-DTM)** μοναδιαίο (1) βάρος. Τέλος, για την ανάδειξη των ακμών δόθηκε στα επίπεδα **SLOPE και TRI** βάρος ίσο με ένα (1).

Το κριτήριο σχήματος (shape) έναντι χρώματος (color), τέθηκε ίσο με **0,1**, επειδή τα φασματικά δεδομένα είναι μια παράμετρος για την δημιουργία ορθότερων σχημάτων, σε ότι αφορά τον διαχωρισμό της βλάστησης από τα άλλα αντικείμενα. Για την διάκριση μεταξύ των οδών, επειδή οι ακμές στην εικόνα διαθέτουν επίμηκες σχήμα, δόθηκε βαρύτητα στο κριτήριο του λείου των ορίων των τεμαχίων (smoothness) και το κριτήριο συμπαγούς σχήματος (compactness) τέθηκε ίσο με **0,1** (Εικόνες 3.36 και 3.37).



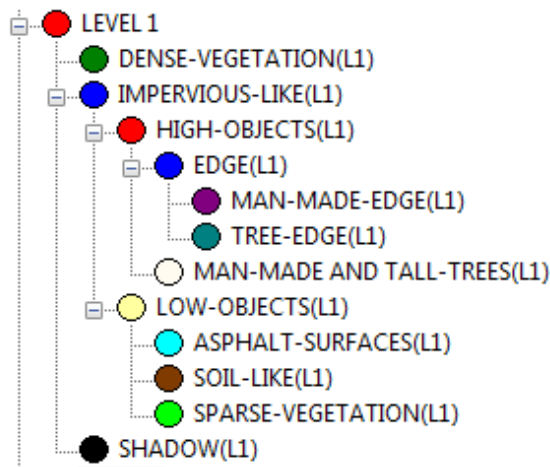
Εικόνα 3.36: Κατάμηση επιπέδου 1, Περιοχής 1 (εστίαση σε ορισμένες περιοχές)



Εικόνα 3.37: Επιλογές παραμέτρων κατάτμησης επιπέδου 1, Περιοχής1

β. Ταξινόμηση

Μετά την εργασία της κατάτμησης, πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των κατηγοριών. Τα αντικείμενα που προέκυψαν από το προηγούμενο στάδιο της κατάτμησης καταχωρήθηκαν μέσω σύνταξης ιεραρχίας, στις κατηγορίες που φαίνονται στην Εικόνα 3.38:



Εικόνα 3.38: Κατηγορίες Level 1 Περιοχής 1

Στο συγκεκριμένο “Επίπεδο 1” (Level 1) πρωταρχικό μέλημα ήταν η εύρεση των ακμών των κτιρίων (**MAN – MADE – EDGE (L1)**). Σε κάθε κατηγορία χρησιμοποιήθηκαν τα ελάχιστα δυνατά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όπου τα ακριβή

όρια του κάθε χαρακτηριστικού, προέκυψαν έπειτα από δοκιμές και παρατηρήσεις με τη βοήθεια του οπτικού εργαλείου *Feature View*. Αναλυτικότερα, τα χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας ήταν τα ακόλουθα:

(1). DENSE-VEGETATION (L1):

Η βλάστηση παρουσίαζε υψηλότερη ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο (Infrared) κανάλι από ότι στο πράσινο και στο κόκκινο, οπότε στην έγχρωμη υπέρυθρη εικόνα εμφανιζόταν ως κόκκινη. Ο **κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI (Normalized Vegetation Index)** χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της βλάστησης και εκφράζεται από την *Σχέση 3.1*:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3.1)$$

όπου NIR και RED οι ψηφιακές τιμές του εικονοστοιχείου στο κανάλι του εγγύς υπέρυθρου και του κόκκινου αντίστοιχα. Ο δείκτης NDVI, στηρίζεται στην ιδιότητα των υγιών φυτών να απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία στην φασματική περιοχή που ανήκει η φωτοσυνθετική ενεργός ακτινοβολία (PAR), την οποία χρησιμοποιούν ως ενέργεια. Από την σχεδίασή του, ο δείκτης αυτός μπορεί να πάρει τιμές από πλην ένα, έως ένα (-1 έως 1) και από τον ορισμό του (στη *Σχέση 3.1*), συμπεραίνεται ότι η πυκνή βλάστηση θα παίρνει θετικές τιμές (περίπου 0,3 με 0,8). Για να αποκλείονται οι αρνητικές τιμές του δείκτη και να είναι περισσότερο διαχειρίσιμες οι τιμές που λαμβάνονται, έγινε χρήση του δείκτη **SCALED NDVI** όπου

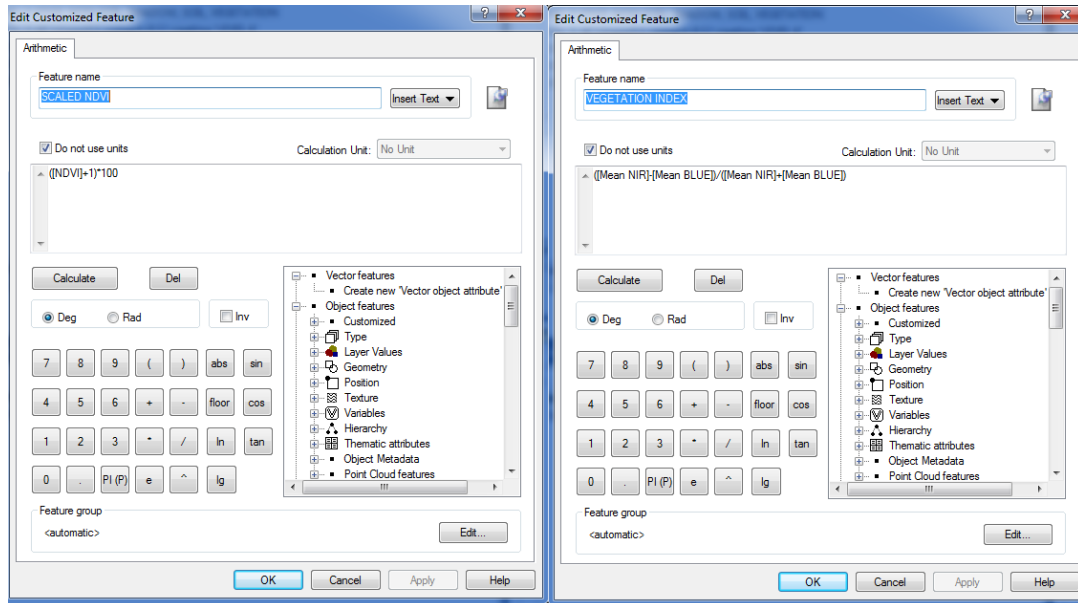
$$SCALED NDVI = (NDVI + 1) \times 100. \quad (3.2)$$

Ακόμα, για την διαφοροποίηση της “καθαρής βλάστησης” από κτίρια που είχαν όμοια φασματικά χαρακτηριστικά με αυτή, δημιουργήθηκε ως *arithmetic feature* ο δείκτης **Vegetation Index** (*Σχέση 3.3*)

$$Vegetation Index = \frac{NIR - BLUE}{NIR + BLUE} \quad (3.3)$$

Η βλάστηση παίρνει τιμές κοντά στη μονάδα, αφού ανακλά πολύ την υπέρυθρη ακτινοβολία και πολύ λίγο την μπλε, σε αντίθεση με τα κτίρια, που ανακλούν και τις δυο ακτινοβολίες.

Η διαχείριση ανίχνευσης της βλάστησης που προαναφέρθηκε πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό μέσω του παραθύρου Create New Arithmetic Feature (Scaled NDVI και Vegetation Index) (Εικόνα 3.39)



Εικόνα 3.39: Παράθυρο Create New Arithmetic Feature (Scaled NDVI και Vegetation Index)

Μετά τα παραπάνω η κατηγορία DENSE VEGETATION (L1) περιγράφεται ως εξής (Εικόνα 3.40):

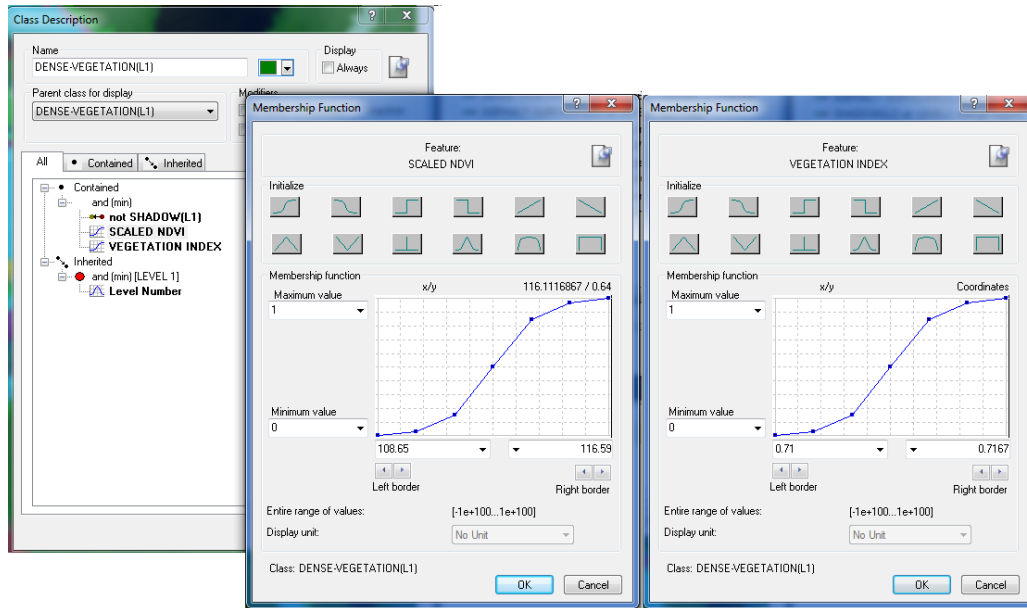
Οπότε:

ΑΝ ο δείκτης **SCALED NDVI** είναι **μεγαλύτερος από 116,59**

ΚΑΙ ο δείκτης **VEGETATION INDEX** είναι **μεγαλύτερος από 0,7167**

ΚΑΙ δεν είναι **SHADOW (L1)** (not **SHADOW (L1)**)

ΤΟΤΕ το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία DENSE-VEGETATION (L1)**



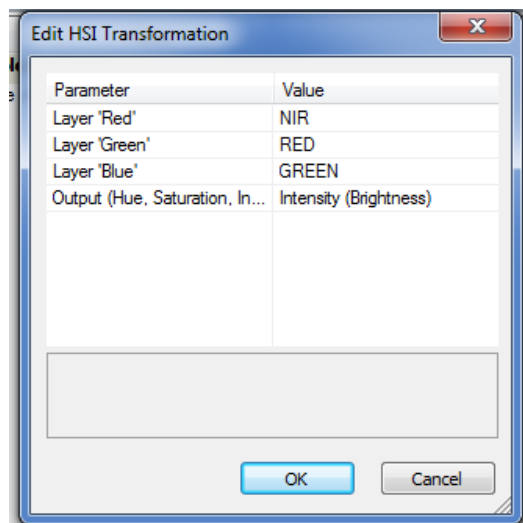
Εικόνα 3.40: Περιγραφή κατηγορίας DENSE-VEGETATION (L1), Περιοχής 1

(2). SHADOW (L1):

Η σκιά στην Περιοχή 1, εμφανιζόταν με μαύρο ή σκούρο γκρι χρώμα και παρουσιαζόταν είτε σε εκτάσεις με έντονο ανάγλυφο, είτε σε κατοικημένες περιοχές, ή μεταξύ δασικών περιοχών. Όπως φάνηκε με την χρήση του εργαλείου *Feature View*, οι τιμές έντασης (HSI Transformation – Intensity) (Εικόνα 3.41), είναι χαμηλές σε σχέση με άλλες κατηγορίες, οπότε:

ΑΝ η τιμή του δείκτη *HSI Transformation – Intensity* ($R=NIR$, $G=RED$, $B=GREEN$) είναι **μικρότερη από 0,4**

ΤΟΤΕ το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία SHADOW (L1)**



Εικόνα 3.41: Παράθυρο Edit HSI Transformation

(3). IMPERVIOUS-LIKE (L1), HIGH-OBJECTS (L1), LOW-OBJECTS (L1):

Τα αντικείμενα που δεν ανήκουν στην κατηγορία SHADOW (L1) (σκιά) και DENSE-VEGETATION (L1) (πυκνή βλάστηση) ταξινομούνται στην κατηγορία IMPERVIOUS-LIKE (L1):

Οπότε:

ΑΝ ΔΕΝ είναι το αντικείμενο DENSE-VEGETATION (L1) (not DENSE-VEGETATION (L1))

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι το αντικείμενο SHADOW (L1) (not SHADOW (L1))

TOTE το αντικείμενο ταξινομείται στην κατηγορία IMPERVIOUS-LIKE (L1)

Στη συνέχεια η κατηγορία αυτή, με τη χρήση της διαφοράς του ψηφιακού μοντέλου εδάφους από το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (**DIFF(FEH-DTM)**) χωρίστηκε σε ψηλά (HIGH-OBJECTS (L1)) και χαμηλά (LOW-OBJECTS (L1)) αντικείμενα. Η διαφορά αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση των υπέργειων αντικειμένων, καθώς το μοντέλο DSM αναπαριστά τη γήινη επιφάνεια συμπεριλαμβανομένων των αντικειμένων επί αυτής, ενώ το μοντέλο DTM αναπαριστά το ανάγλυφο, απαλλαγμένο από κάθε αντικείμενο. Με τη βοήθεια του *Feature View*, παρατηρήθηκε ότι τιμές μέχρι 50 m αναπαριστούν την επιφάνεια του εδάφους απαλλαγμένη από τα κτίρια, τις γέφυρες και τα δένδρα. Έτσι στην κατηγορία HIGH-OBJECTS (L1) ταξινομούνται αντικείμενα που παίρνουν τιμές **DIFF(FEH-DTM)** μεγαλύτερες του 50.

(4). ASPHALT-SURFACES (L1), SOIL-LIKE (L1), SPARSE-VEGETATION (L1):

Τα χαμηλά αντικείμενα (LOW-OBJECTS (L1)), ταξινομήθηκαν περαιτέρω στις κατηγορίες ASPHALT-SURFACES (L1), SOIL-LIKE (L1) και SPARSE-VEGETATION (L1). Δεν χρειάστηκε να γίνει νέα κατάτμηση και ταξινόμηση, σε πρόσθετο επίπεδο, καθώς από δοκιμή προέκυψε ότι οι παράμετροι της κατάτμησης για δοκιμαστικό νέο επίπεδο ήταν παρόμοιες με αυτές του Level 1.

Επειδή το χρώμα της περιοχής (SOIL-LIKE (L1)) παρουσιάζει υψηλή ανακλαστικότητα στο κόκκινο κανάλι και χαμηλή στο πράσινο, για την ανάδειξη του χρησιμοποιήθηκε ο λόγος **RED/GREEN**. Ακόμα, για να διαχωριστεί το χρώμα από περιοχές ασφάλτου (ASPHALT-SURFACES (L1)), έγινε χρήση του γεωμετρικού χαρακτηριστικού **Length/Width**. (Εικόνα 3.42).

Στην κατηγορία αραιή βλάστηση (SPARSE-VEGETATION (L1)), ανήκαν όλα τα αντικείμενα που είχαν το παραμικρό είδος βλάστησης, (φαίνονταν ανοιχτό κόκκινο και ροζ), όμως δεν είχαν αρκετά μεγάλο δείκτη **SCALED NDVI**, ώστε να χαρακτηρισθούν ως πυκνή βλάστηση (DENSE-VEGETATION (L1)). Όλα τα

υπόλοιπα αντικείμενα ταξινομήθηκαν ως ASPHALT-SURFACES (L1) (Εικόνα 3.43).

Ανακεφαλαιώνοντας:

- Για τα αντικείμενα SOIL-LIKE (L1) ισχύει:

ΑΝ το αντικείμενο έχει τιμή *Length/Width* **μικρότερη από 20**

ΚΑΙ η τιμή του λόγου *RED/GREEN* είναι **μεγαλύτερη από 1,3**

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι *SPARSE-VEGETATION (L1)* (*not SPARSE-VEGETATION (L1)*)

ΤΟΤΕ το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία SOIL-LIKE (L1)**

- Για τα αντικείμενα SPARSE-VEGETATION (L1) ισχύει:

ΑΝ το αντικείμενο έχει τιμή του δείκτη *HSI Transformation – Intensity (R=NIR, G=RED, B=GREEN)* **μεγαλύτερη από 0,5237**

ΚΑΙ ο δείκτης *SCALED NDVI* είναι **μεγαλύτερος από 100**

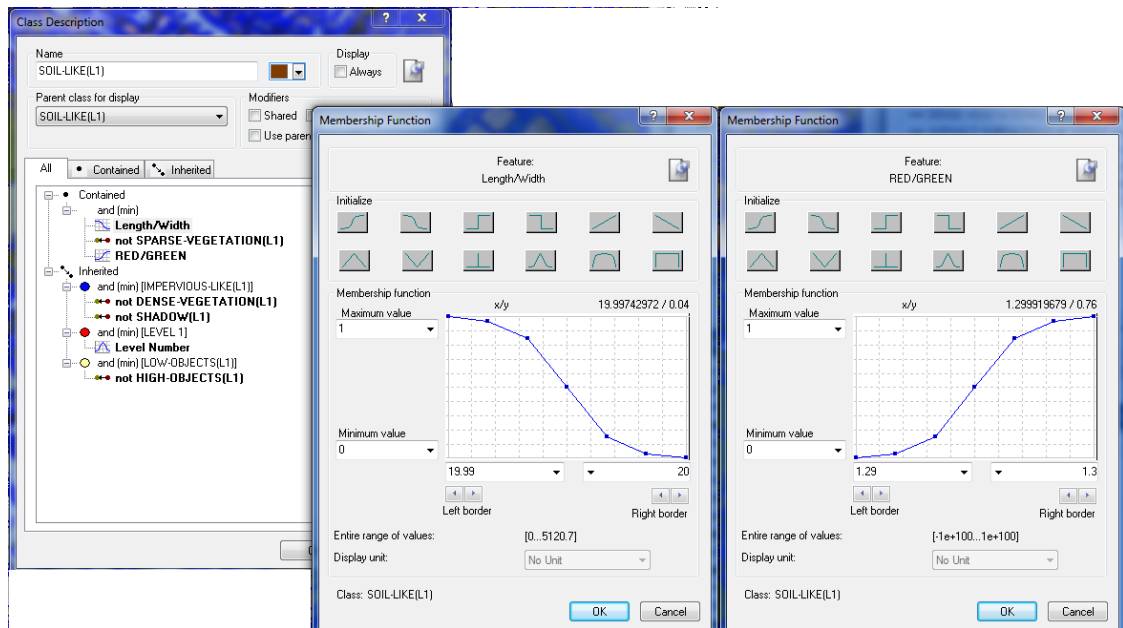
ΤΟΤΕ το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία SPARSE-VEGETATION (L1)**

- Για τα αντικείμενα SPARSE-VEGETATION (L1) ισχύει

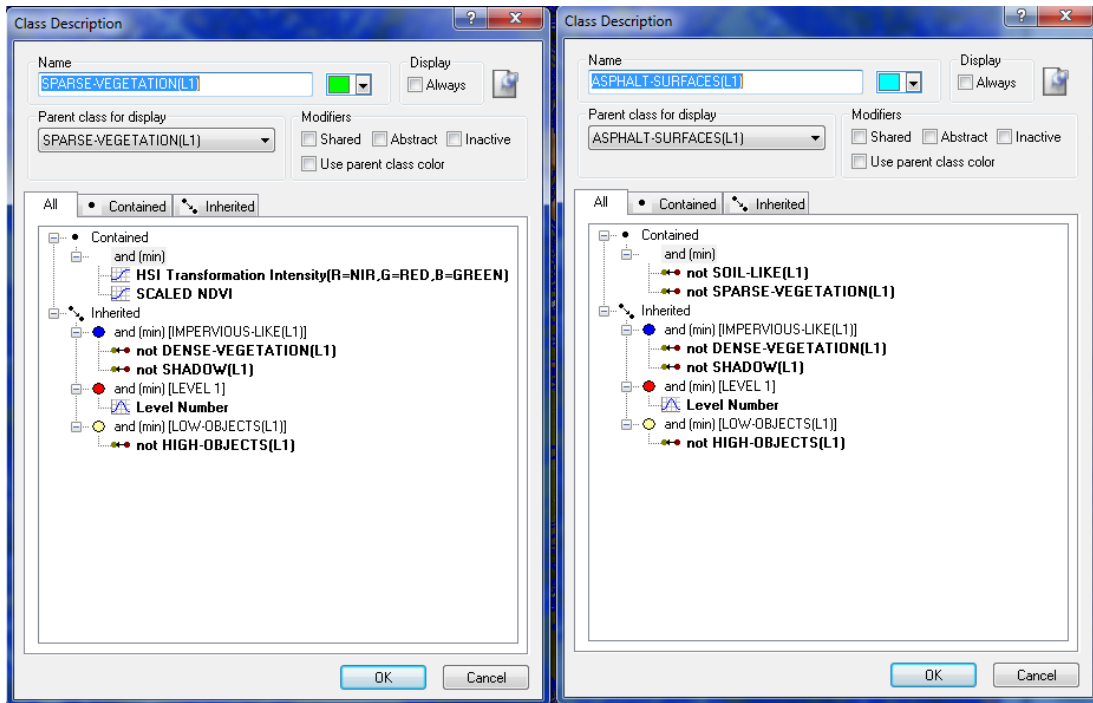
ΑΝ ΔΕΝ είναι το αντικείμενο *SOIL-LIKE (L1)* (*not SOIL-LIKE (L1)*)

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι το αντικείμενο *SPARSE-VEGETATION (L1)* (*not SPARSE-VEGETATION (L1)*)

ΤΟΤΕ το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία ASPHALT-SURFACES (L1)**



Εικόνα 3.42: Περιγραφή κατηγορίας SOIL-LIKE (L1), Περιοχής 1



Εικόνα 3.43: Κατηγορίες SPARSE-VEGETATION (L1) και ASPHALT-SURFACES (L1), Περιοχής 1

(5). EDGE (L1):

Ακμή (όριο) θεωρείται το σύνορο μεταξύ δύο ομογενών περιοχών μιας εικόνας που έχουν διαφορετικές εντάσεις φωτεινότητας, με άλλα λόγια αντιπροσωπεύει μια τοπική μεταβολή της φωτεινότητας. Παρουσιάζεται όπου υπάρχει αλλαγή κλίσης και βρίσκεται μεταξύ δύο σταθερών περιοχών. Ως εκ τούτου, τεχνικές τοπικής διαφόρισης της εικόνας μπορούν να παράγουν τελεστές ανίχνευσης ακμών.

Για τον εντοπισμό των ακμών της εικόνας χρησιμοποιήθηκε το (γεω)μορφομετρικό φίλτρο «Κλίση» (SLOPE) και ο δείκτης TRI, αφού περιοχές στις οποίες εντοπίζονται ακμές υπάρχει ετερογένεια εδάφους και έντονη κλίση, οπότε:

AN το αντικείμενο έχει κλίση (SLOPE) **μεγαλύτερη από 92,9**

ΚΑΙ ο δείκτης ετερογένειας εδάφους (TRI) είναι **μεγαλύτερος από 44,9**

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία EDGE (L1)**

Τα αντικείμενα που προέκυψαν από την κατάτμηση και δεν είναι ακμές, ταξινομούνται στην κατηγορία MAN-MADE AND TALL-TREES (L1)

(6). MAN-MADE-EDGE (L1), TREE-EDGE (L1):

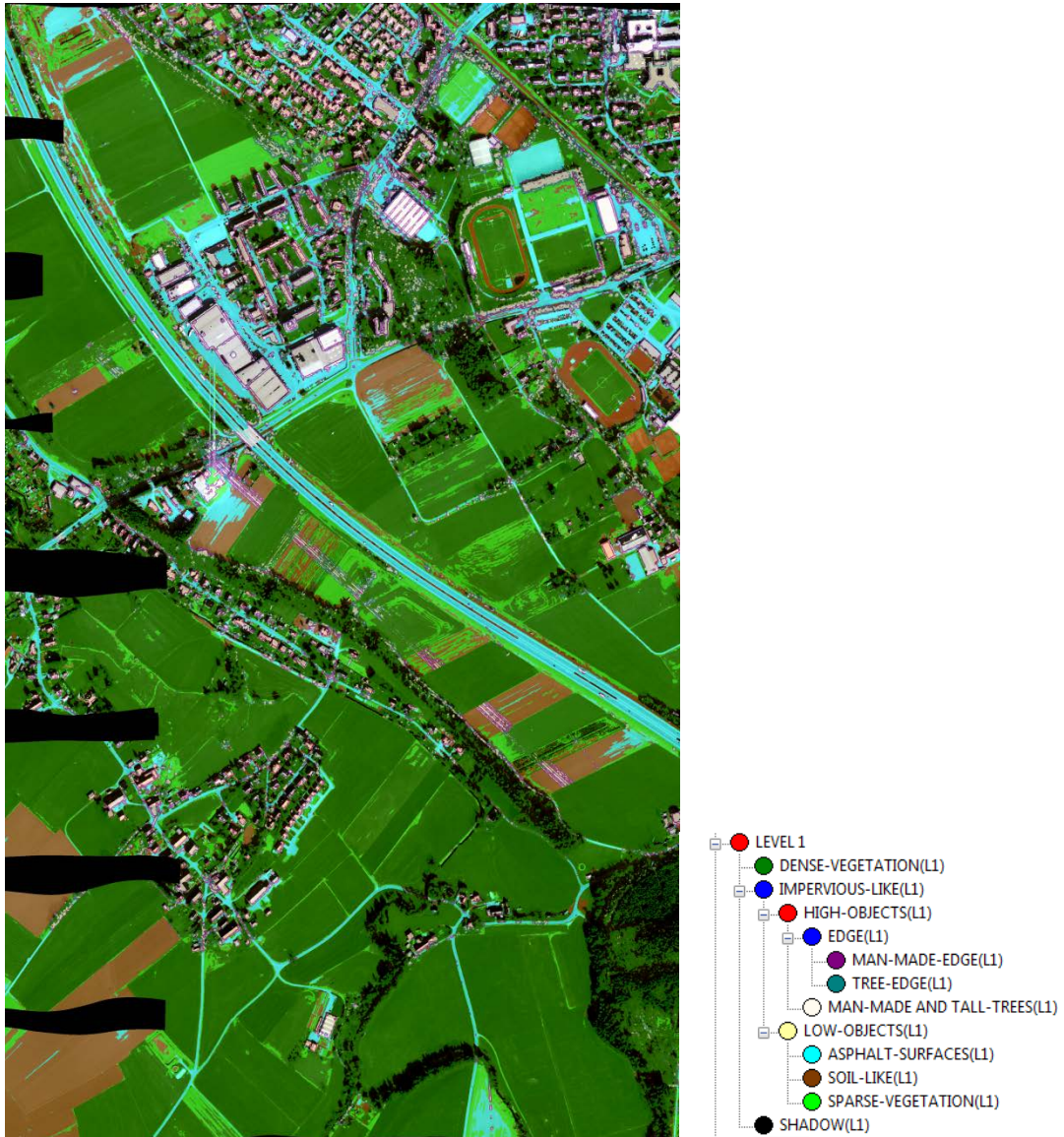
Η ταξινόμηση προχώρησε και σ' ένα περαιτέρω βήμα, αφού στο επίπεδο αυτό πραγματοποιήθηκε και διαχωρισμός των ακμών σε ανθρωπογενείς και σε ακμές δένδρων, με τη χρήση του δείκτη Scaled NDVI, έτσι:

AN το αντικείμενο έχει τιμή του δείκτη **SCALED NDVI μικρότερη από 105**

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία MAN-MADE-EDGE (L1)**

όποιο αντικείμενο δεν ήταν ανθρωπογενής ακμή (MAN-MADE-EDGE (L1)) ταξινομήθηκε ως TREE-EDGE (L1).

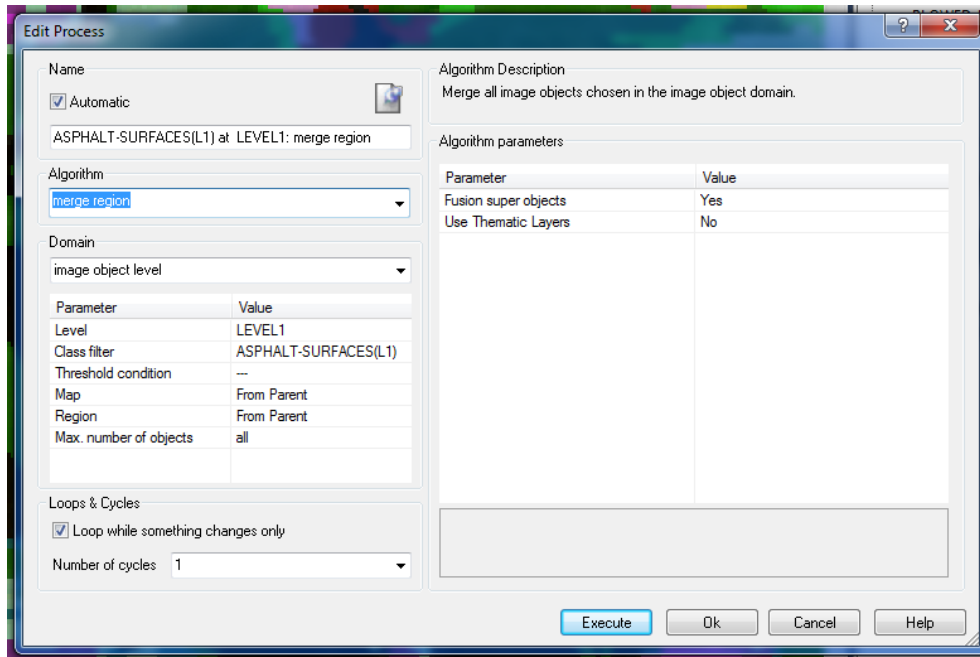
Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης φαίνονται στην *Εικόνα 3.44*:



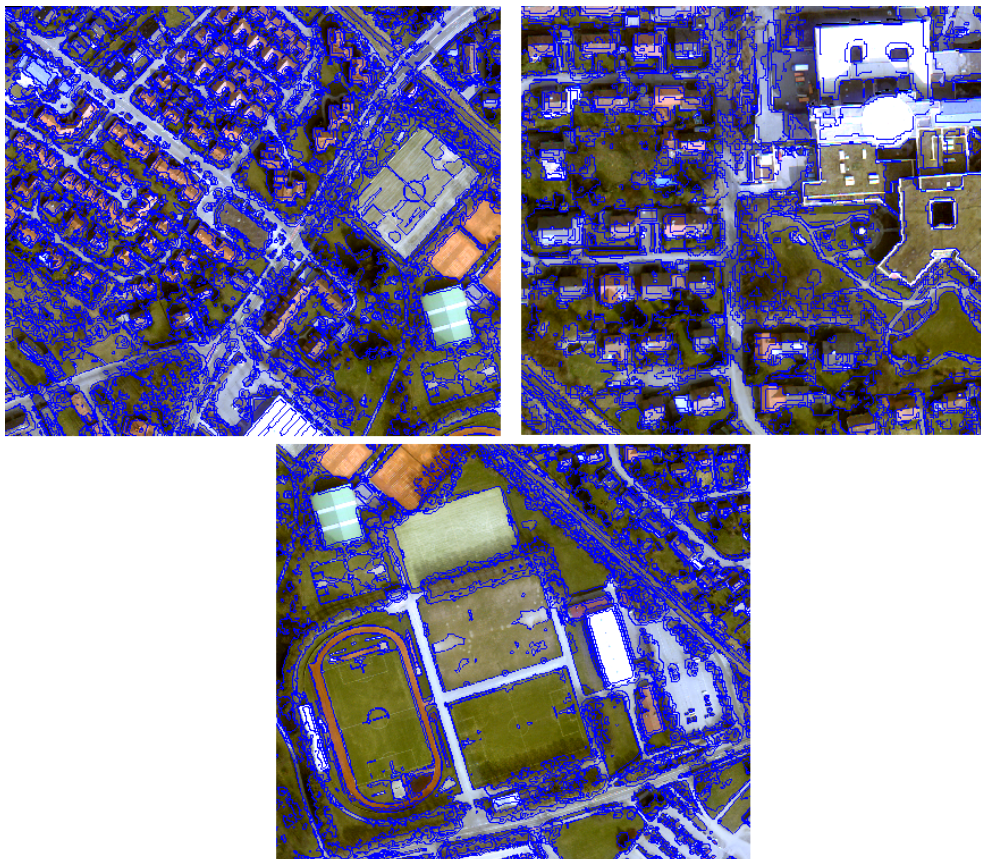
Εικόνα 3.44: Ταξινόμηση Level 1 Περιοχής 1

3.5.1.2 Κατάτμηση βάσει ταξινόμησης (Level 2)

Το τελευταίο επίπεδο κατάτμησης ήταν το Level 2 και σκοπός της δημιουργίας του ήταν ο εντοπισμός των κτιρίων. Με τη καθιέρωση του επιπέδου επιδιώχθηκε η καλύτερη δυνατή ταξινόμηση των κτιρίων και έτσι επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί κατάτμηση βάσει ταξινόμησης (*classification-based segmentation*) και συγκεκριμένα συνένωση βάσει ταξινόμησης (*classification-based fusion*) (Εικόνα 3.45). Με τον τρόπο αυτό, όλα τα παρακείμενα αντικείμενα που παρίσταναν χρήσεις γης και άρα χαρακτηρίζονταν από πανομοιότυπες δομές, καθώς και εκείνα που αποτελούσαν μέρος όμοιων δομικών ενοτήτων, συγχωνεύονταν σε νέα ενοποιημένα αντικείμενα. Τα αντικείμενα που προέκυπταν από τη συνένωση τοποθετούνταν σε νέο επίπεδο (Level 2) μεγαλύτερης κλίμακας (10) (Εικόνα 3.46).



Εικόνα 3.45: Παράδειγμα χρήσης της feature Merge στην κατηγορία ASPHALT-SURFACES (L1), Περιοχής 1



Εικόνα 3.46: Κατάμηση επιπέδου 2, Περιοχής 1 (εστίαση σε ορισμένες περιοχές)

Στη συνέχεια έγινε νέα ταξινόμηση, στα ενοποιημένα πλέον αντικείμενα που αντιπροσώπευαν τις διάφορες κατηγορίες. Η επιλογή και τα ακριβή όρια κάθε χαρακτηριστικού γνωρίσματος για την σαφή περιγραφή της εκάστοτε κατηγορίας

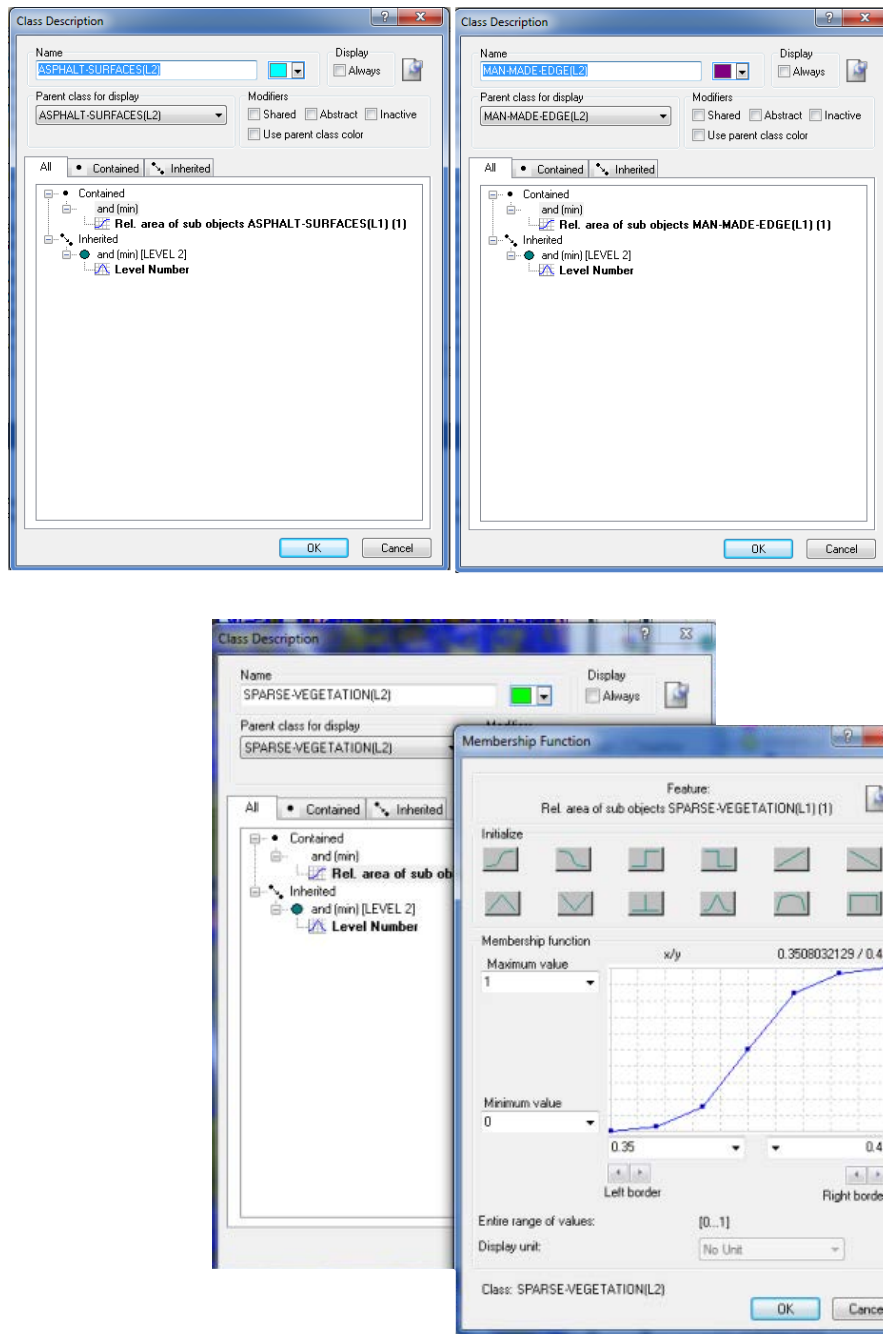
προέκυψαν έπειτα από παρατηρήσεις και δοκιμές επί της εικόνας. Επιπρόσθετα, εισήχθησαν γνωρίσματα εξαρτημένα από τις κατηγορίες (*class-related features*) των Επιπέδων 1 και 2. Πιο αναλυτικά σε αυτό το σημείο ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα των κατηγοριών BUILDINGS (L2), BRIDGE (L2), BUILDINGS-WITH-LICHEN (L2) και TALL-TREES (L2). Επίσης, η κατηγορία του Level 1 SOIL-LIKE (L1) διαχωρίστηκε σε τρεις άλλες: SOIL (L2), RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L2) και PLOWED-LAND (L2). Οι περιγραφές των κατηγοριών διαμορφώθηκαν ως εξής:

(1). ASPHALT-SURFACES (L2), DENSE-VEGETATION (L2), MAN-MADE AND TALL-TREES (L2), MAN-MADE-EDGE (L2), SHADOW (L2), SOIL-LIKE (L2), SPARSE-VEGETATION (L2) και TREE-EDGE (L2):

Εδώ δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες:

- ASPHALT-SURFACES (L2)
- DENSE-VEGETATION (L2)
- MAN-MADE AND TALL-TREES (L2)
- MAN-MADE-EDGE (L2)
- SHADOW (L2)
- SOIL-LIKE (L2)
- SPARSE-VEGETATION (L2)
- TREE-EDGE (L2)

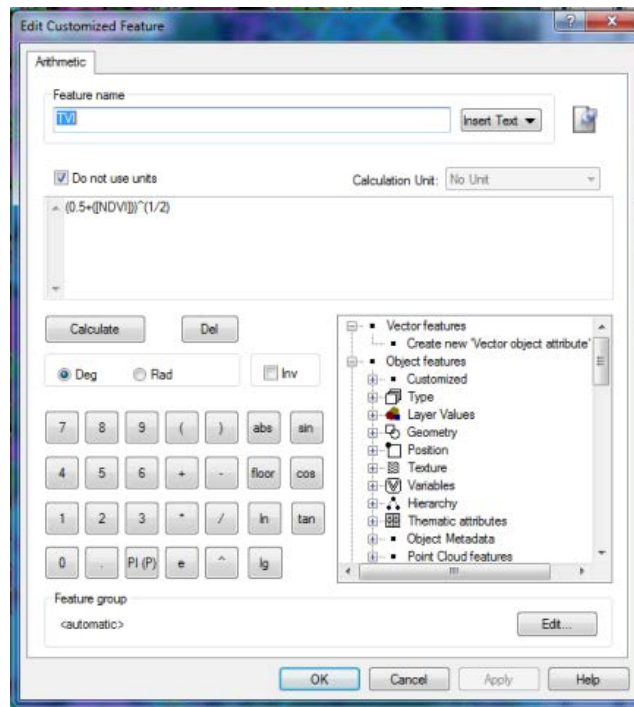
με τέτοιο τρόπο, ώστε τα αντικείμενα τους να έχουν ίδιο σχετικό εμβαδό με τα υπό-αντικείμενα των αντίστοιχων κατηγοριών του Level 1 (*relative area of sub objects*) (Εικόνα 3.47). Με άλλα λόγια τα αντικείμενα του Level 1 που έχουν ταξινομηθεί σε αυτές τις κατηγορίες διατήρησαν την ταξινόμησή τους.



Εικόνα 3.47: Συνθήκη relative area of sub-objects

(2). BUILDINGS (L2), OTHER (L2):

Ο δείκτης Transformed Vegetation Index (TVI), είναι ένας δείκτης βλάστησης, που τροποποιεί τον δείκτη NDVI, προσθέτοντας σε αυτόν τη σταθερά 0,5 και στη συνέχεια λαμβάνοντας την τετραγωνική ρίζα των αποτελεσμάτων (Εικόνα 3.48).



Εικόνα 3.48: Υπολογισμός δείκτη TVI

Διευκρινίζεται ότι η σταθερά 0.5 προστίθεται για την αποφυγή αρνητικών τιμών του δείκτη NDVI. Ο υπολογισμός της τετραγωνικής ρίζας προορίζεται για τη διόρθωση των τιμών του NDVI που προσεγγίζουν την κατανομή Poisson. Τέλος, από άποψη παραγωγής εικόνας ή ανίχνευσης της βλάστησης, δεν υπάρχει καμία τεχνική διαφορά μεταξύ των δεικτών NDVI και TVI (Deering et al., 1975).

Για την ανίχνευση των κτιρίων χρησιμοποιήθηκε εκτός των άλλων ιδιοτήτων και ο δείκτης TVI. Η κατηγορία των κτιρίων, που δεν περιείχαν ίχνος βλάστησης, παρατηρήθηκε με την χρήση του feature view, ότι ανακλούσε σχεδόν παρόμοια σε όλα τα κανάλια (υπέρυθρο, πράσινο, κόκκινο και μπλε) με συνέπεια να παρουσιάζει μικρές τιμές του δείκτη TVI, γεγονός που ήταν αναμενόμενο, αφού ο εν λόγω δείκτης προέρχεται από τροποποίηση του NDVI.

Τα αντικείμενα που είχαν ταξινομηθεί ως MAN-MADE AND TALL-TREES (L2) διαχωρίστηκαν σε κτίρια (BUILDINGS (L2)) και OTHER (L2), οπότε:

AN το αντικείμενο έχει εμβαδό (*area*) **μεγαλύτερο από 106 m²**

ΚΑΙ το σχετικό του σύνορο με την κατηγορία **MAN-MADE-EDGE (L2)** (*relative border to MAN-MADE-EDGE (L2)*) είναι **μεγαλύτερο από 0,2561**

ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ το σχετικό του σύνορο με την κατηγορία **TREE-EDGE (L2)** (*relative border to TREE-EDGE (L2)*) είναι **μικρότερο από 0,3744**

ΚΑΙ ο δείκτης **TVI** είναι **μικρότερος από 0,74**

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία BUILDINGS (L2)**

Τα αντικείμενα που δεν πληρούν τις συνθήκες της παραπάνω κατηγορίας, ανήκουν στην κατηγορία OTHER (L2)

(3). BUILDINGS-WITH-LICHEN (L2), BRIDGE (L2) και TALL-TREES (L2):

Στην εικόνα παρατηρήθηκαν κτίρια που στην οροφή τους περιείχαν βλάστηση (λειχήνες) και έτσι αποτέλεσαν μία διαφορετική κατηγορία από τα BUILDINGS (L2), οπότε:

AN η ασυμμετρία (*asymmetry*) του αντικειμένου είναι **μικρότερη από 0,68599**

ΚΑΙ έχει πυκνότητα (*density*) **μεγαλύτερη από 1,701**

ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ η τιμή του δείκτη *HSI Transformation – Intensity (R=NIR, G=RED, B=GREEN)* είναι **μικρότερη από 0,5951**

ΚΑΙ ο δείκτης *VEGETATION INDEX* είναι **μικρότερος από 0,5792**

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι *BRIDGE (L2) (not BRIDGE (L2))*

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία BUILDINGS-WITH-LICHEN (L2)**

Επίσης:

AN το σχετικό σύνορο του αντικειμένου με την κατηγορία *ASPHALT-SURFACE (L2)* (*relative border to ASPHALT-SURFACE (L2)*) είναι **μεγαλύτερο από 0,6925**

ΚΑΙ ο δείκτης *VEGETATION INDEX* είναι **μικρότερος από 0,1871**

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία BRIDGE (L2)**

Τέλος, στην κατηγορία TALL-TREES (L2), ανήκουν αντικείμενα που δεν είναι γέφυρες(BRIDGE (L2)) και κτίρια με λειχήνες (BUILDINGS-WITH-LICHEN (L2))

(4). PLOWED-LAND (L2):

Στην περιοχή μελέτης 1 παρατηρήθηκαν εκτάσεις με έντονο ανάγλυφο και μεγάλη ανακλαστικότητα στην μπλε ακτινοβολία., έτσι:

AN το αντικείμενο έχει φασματική τιμή μπλε (*Mean BLUE*) **μεγαλύτερη από 46,3**

TOTE **ταξινομείται στην κατηγορία PLOWED-LAND (L2)**

(5). RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L2):

Η κατηγορία αυτή παρατηρείται στο δάπεδο των γηπέδων και των αθλητικών εγκαταστάσεων. Ανακλά πολύ την κόκκινη ακτινοβολία και στο ψευδέγχρωμο σύνθετο (NIR-RED-GREEN), εμφανίζεται με έντονο πράσινο χρώμα, οπότε:

ΑΝ το αντικείμενο έχει φασματική τιμή κόκκινου (*Mean RED*) **μεγαλύτερη από 130,9**

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι *PLOWED-LAND (L2)* (*not PLOWED-LAND (L2)*)

ΤΟΤΕ ταξινομείται στην κατηγορία RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L2)





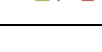













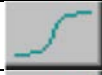



(6). SOIL (L2):


















Τα αντικείμενα που δεν ανήκαν στις δυο παραπάνω κατηγορίες (PLOWED-LAND (L2), RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L2)), ταξινομήθηκαν ως SOIL (L2)










Έτσι, στην *Εικόνα 3.49* φαίνεται η τελική ταξινόμηση του Επιπέδου 2, της Περιοχής 1 και ακολουθεί ο *Πίνακας 3.2* με τις συναρτήσεις συμμετοχής των κατηγοριών της.



Εικόνα 3.49: Ταξινόμηση Level 2, Περιοχής 1

Επίπεδο	Κατηγορία	Χαρακτηριστικό	Συνάρτηση συμμετοχής	Min Τιμή	Max Τιμή	
LEVEL 1	DENSE-VEGETATION (L1)	and	SCALED NDVI		108,65	116,59
			not SHADOW (L1)		-	-
			VEGETATION INDEX		0,71	0,7165
	SHADOW (L1)	and	HSI		0,39	0,4
	IMPERVIOUS-LIKE (L1)	and	not SHADOW (L1)		-	-
			not DENSE-VEGETATION (L1)		-	-
	HIGH-OBJECTS (L1)	and	Mean DIFF (FEH-DTM)		49,9	50
	LOW-OBJECTS (L1)	and	not HIGH-OBJECTS (L1)		-	-
	EDGE (L1)	and	Mean Slope		92	92,9
			Mean TRI		40	44,9
	MAN-MADE AND TALL-TREES (L1)	and	not EDGE (L1)		-	-
	MAN-MADE-EDGE (L1)	and	SCALED NDVI		103	105
	TREE-EDGE (L1)	and	not MAN-MADE-EDGE (L1)		-	-
	ASPHALT-SURFACES (L1)	and	not SOIL-LIKE (L1)		-	-
			not SPARSE-VEGETATION (L1)		-	-
	SOIL-LIKE (L1)	and	Length/Width		19,99	20
			RED/GREEN		1,29	1,30
			not SPARSE-VEGETATION (L1)		-	-
	SPARSE-VEGETATION (L1)	and	HSI		0,4689	0,5237
			SCALED NDVI		99	100
	LEVEL 1	and	Level Number		0	2
LEVEL 2	ASPHALT-SURFACES	and	Rel.area of sub objects		0,35	0,45

(L2)		ASPHALT-SURFACES (L1)1			
DENSE-VEGETATION (L2)	and	Rel.area of sub objects DENSE-VEGETATION (L1)1		0,35	0,45
MAN-MADE AND TALL-TREES (L2)	and	Rel.area of sub objects MAN-MADE AND TALL-TREES (L1)1		0,35	0,45
BUILDINGS (L2)	and	Area		105	106
		Rel.border to MAN-MADE EDGE (L2)		0,256	0,2561
		Rel.border to TREE EDGE (L2)		0,3743	0,3744
		TVI		0,739	0,74
OTHER (L2)	and	not BUILDINGS (L2)		-	-
BRIDGE (L2)	and	Rel.border to ASPHALT-SURFACES (L2)		0,62951	0,6925
		VEGETATION INDEX		0,187	0,1871
BUILDINGS WITH LICHEN (L2)	and	Asymmetry		0,6859	0,68599
		Density		1,7	1,701
		HSI		0,595	0,5951
		VEGETATION INDEX		0,5791	0,5792
		not BRIDGE (L2)		-	-
TALL-TREES (L2)	and	not BRIDGE (L2)		-	-
		not BUILDINGS WITH LICHEN (L2)		-	-
MAN-MADE-EDGE (L2)	and	Rel.area of sub objects MAN-MADE-EDGE		0,25	0,35

			(L1)1			
SHADOW (L2)	and	Rel.area of sub objects SHADOW (L1)1		0,35	0,45	
SPARSE-VEGETATION (L2)	and	Rel.area of sub objects SPARSE-VEGETATION (L1)1		0,35	0,45	
TREE-EDGE (L2)	and	Rel.area of sub objects TREE-EDGE (L1)1		0,25	0,35	
RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L2)	and	Mean RED		130	130,9	
		not PLOWED-LAND (L2)		-	-	
PLOWED-LAND (L2)	and	Mean BLUE		46	46,3	
SOIL (L2)	and	not PLOWED-LAND (L2)		-	-	
		not RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L2)		-	-	
LEVEL 2	and	Level Number		1	3	

Πίνακας 3.2: Συναρτήσεις συμμετοχής και πεδία τιμών των κατηγοριών της Περιοχής 1

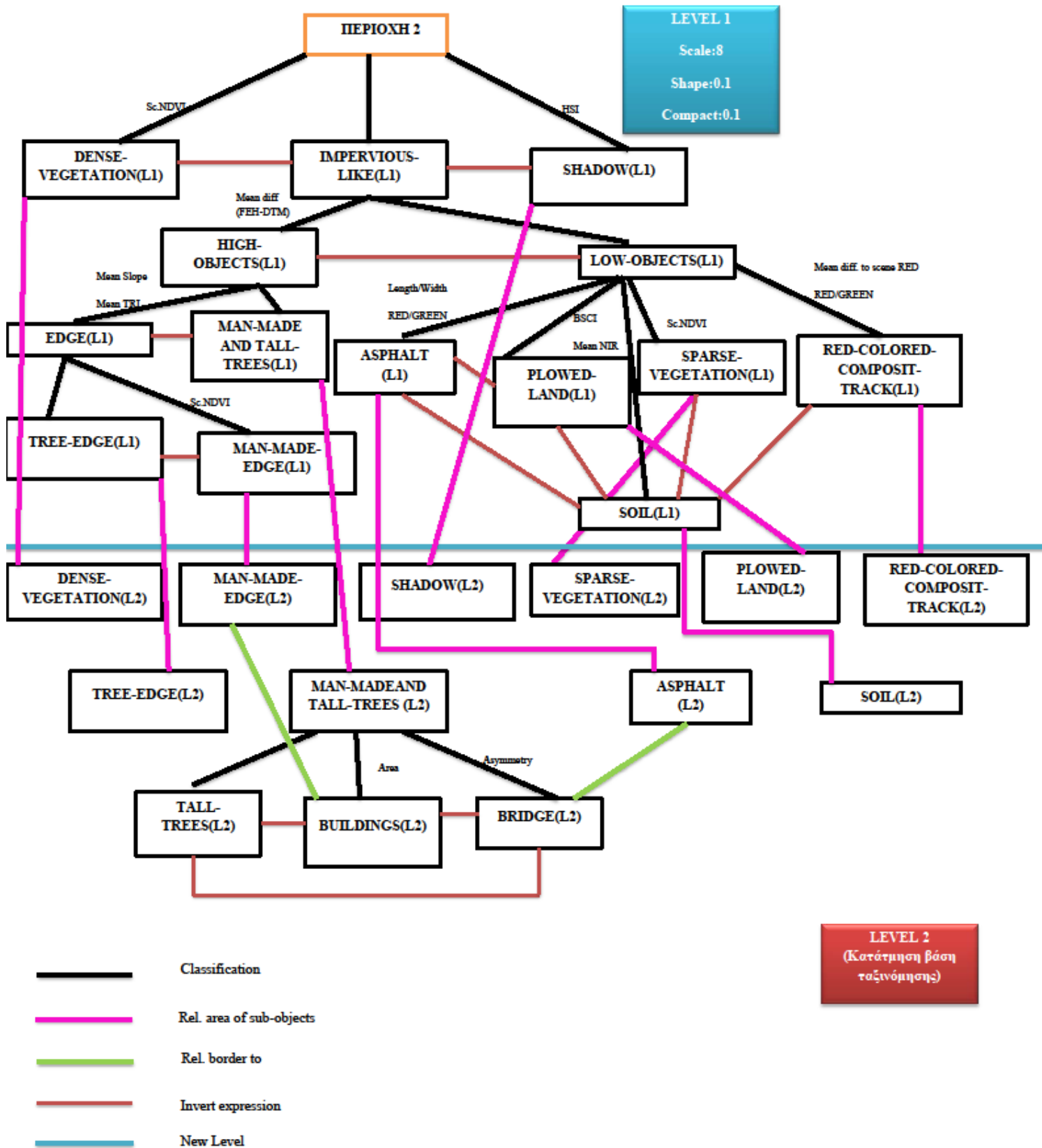
3.5.2 Περιοχή Μελέτης 2

Επί της δεύτερης από τις τρεις υποδιαιρέσεις της αρχικής εικόνας (εφεξής Περιοχή 2), εισήχθησαν τα επτά (7) θεματικά επίπεδα (layers), όπως ακριβώς έγινε και στην περιοχή 1. Τα εν λόγω επίπεδα ήταν τα ακόλουθα:

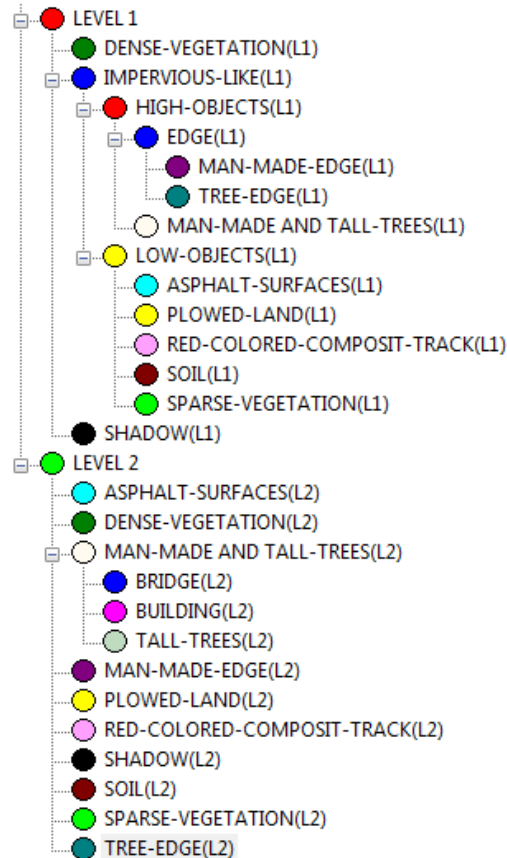
- Τέσσερα (4) φασματικά επίπεδα (**RED, GREEN, BLUE, INFRARED**)
- Ένα (1) επίπεδο **DIFF (FEH-DTM)**
- Ένα (1) επίπεδο (**SLOPE**)
- Ένα (1) επίπεδο (**TRI**)

Επίσης, χρησιμοποιήθηκε η από κάτω προς τα πάνω προσέγγιση κατάτμησης (bottom-up) και το Level 2 ήταν το ανώτερο επίπεδο.

Στις Εικόνες 3.50 και 3.51 φαίνονται αντίστοιχα η διαγραμματική παρουσίαση ιεραρχίας κατηγοριών όλων των επιπέδων ανάλυσης της δεύτερης περιοχής μελέτης, (Εικόνα 3.50) και η ιεραρχία των κατηγοριών (Εικόνα 3.51)



Εικόνα 3.50: Διαγραμματική παρουσίαση ιεραρχίας κατηγοριών όλων των επιπέδων ανάλυσης της Περιοχής 2

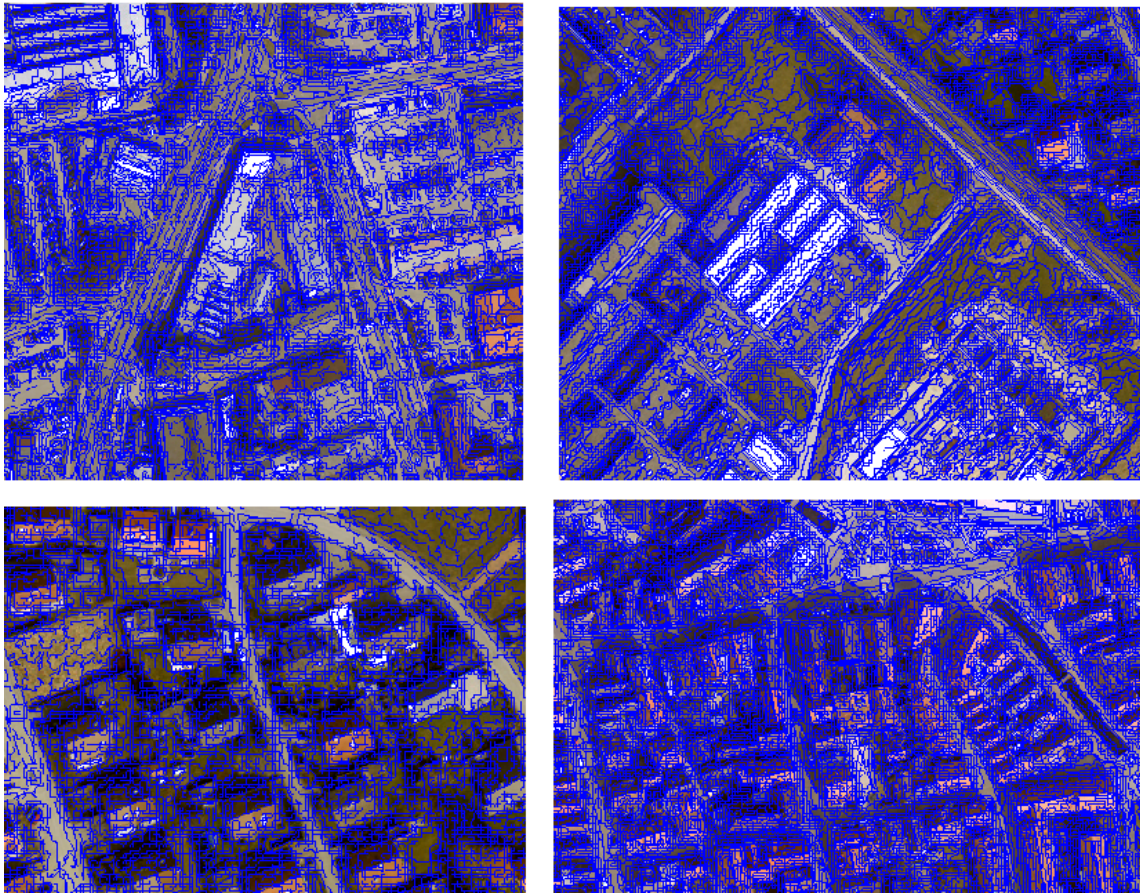


Εικόνα 3.51: Ιεραρχία κατηγοριών Περιοχής 2 όπως παρουσιάζεται στο λογισμικό e-Cognition

3.5.2.1 Δημιουργία επιπέδου Level 1 και ταξινόμηση

α. Κατάτμηση

Οι παράμετροι της κατάτμησης του επιπέδου 1 (Level 1) της Περιοχής 2, παρέμειναν όμοιες με αυτές του αντίστοιχου της πρώτης περιοχής μελέτης (Level 1 της Περιοχής 1). Όπως και πριν, έτσι και εδώ επιλέχθηκε μικρή παράμετρος κλίμακας ίση με **8**, και το κριτήριο σχήματος (shape) έναντι χρώματος (color), τέθηκε ίσο με **0,1**. Επίσης, για τον ίδιο λόγο όπως και στην Περιοχή 1 (για διάκριση μεταξύ των οδών καθώς και λόγω του ότι οι ακμές στην εικόνα παρουσίαζαν επίμηκες σχήμα), το κριτήριο συμπαγούς σχήματος (compactness) τέθηκε ίσο με **0,1**. Τέλος στα θεματικά επίπεδα (layers) **RED, BLUE, GREEN, NIR, DIFF(FEH-DTM) SLOPE** και **TRI** δόθηκε και εδώ βάρος ίσο με ένα (1), για τους λόγους που αναλύθηκαν στην Περιοχή 1 (Εικόνα 3.52).

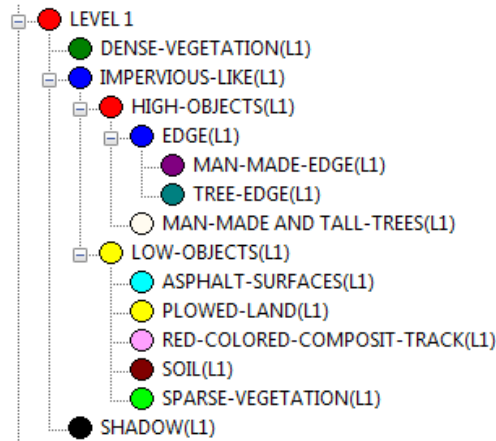


Εικόνα 3.52: Κατάμηση επιπέδου 1, Περιοχής 2 (εστίαση σε ορισμένες περιοχές)

β. Ταξινόμηση

Η ταξινόμηση της Περιοχής 2 είναι σχεδόν ίδια με αυτή της Περιοχής 1. Οι τυχόν διαφορές που προκύπτουν αφορούν στην περαιτέρω ταξινόμηση των LOW-OBJECTS (L1) στο πρώτο επίπεδο (Level 1) και όχι στο δεύτερο (Level 2), στην αλλαγή διαστημάτων ασάφειας και στην προσθήκη ή αντικατάσταση κάποιων κανόνων. Η σειρά οργάνωσης των διαδικασιών και εφαρμογής των αλγορίθμων παραμένει αμετάβλητη. Ο σκοπός της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου παραμένει ο ίδιος, δηλαδή η εύρεση των ακμών των κτιρίων (**MAN – MADE – EDGE (L1)**).

Τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν τις κατηγορίες δε μεταβλήθηκαν ιδιαίτερα, για αυτό δεν επαναλαμβάνεται η επεξήγησή τους, καθόσον έγιναν απλώς κάποιες μετατροπές στα διαστήματα ασάφειάς τους. Τα αντικείμενα καταχωρήθηκαν μέσω σύνταξης ιεραρχίας στις ακόλουθες κατηγορίες (Εικόνα 3.53):



Εικόνα 3.53: Κατηγορίες Level 1 Περιοχής 2

(1). DENSE-VEGETATION (L1):

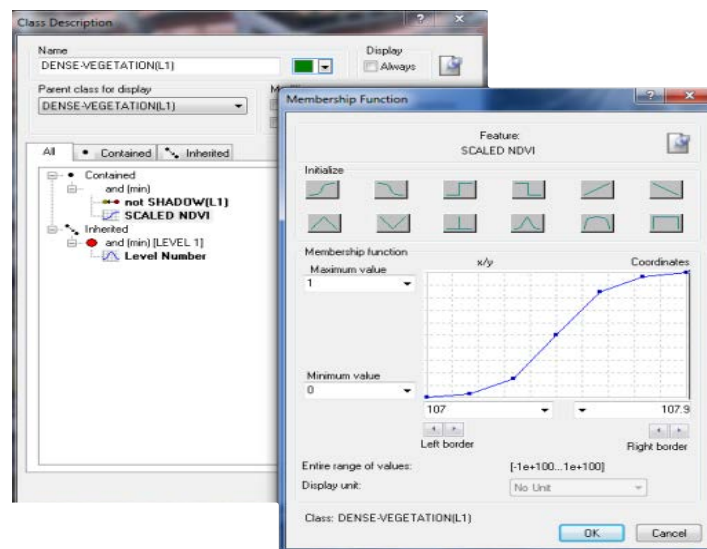
Η βλάστηση στην δεύτερη περιοχή μελέτης (αστική περιοχή) είναι εμφανώς λιγότερη από την αντίστοιχη της Περιοχής 1 (αγροτική περιοχή), καθώς επίσης και σε πολύ πιο ήπια φωτοσυνθετική δραστηριότητα (μικρότερος δείκτης SCALED NDVI). Εδώ δεν χρειάστηκε να γίνει χρήση του δείκτη VEGETATION INDEX, αφού τα φασματικά χαρακτηριστικά της βλάστησης δεν έμοιαζαν με καμιάς άλλης κατηγορίας (Εικόνα 3.54).

Οπότε:

ΑΝ ο δείκτης SCALED NDVI είναι μεγαλύτερος από 107,9

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι SHADOW (L1) (not SHADOW (L1))

TOTE το αντικείμενο ταξινομείται στην κατηγορία DENSE-VEGETATION (L1)



Εικόνα 3.54: Περιγραφή κατηγορίας DENSE-VEGETATION (L1) Περιοχής 2

(2). SHADOW (L1):

Στην Περιοχή 2, όπως και στην πρώτη περιοχή, η σκιά (SHADOW (L1)) ανιχνεύτηκε με τη χρήση του εργαλείου *Feature View*. Οι τιμές έντασης (HSI Transformation – Intensity), της σκιάς είναι χαμηλές σε σχέση με άλλες κατηγορίες, οπότε:

ΑΝ η τιμή του δείκτη *HSI Transformation – Intensity (R=NIR, G=RED, B=GREEN)* είναι **μικρότερη από 0,3746**

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία SHADOW (L1)**

(3). IMPERVIOUS-LIKE (L1), HIGH-OBJECTS (L1), LOW-OBJECTS (L1):

Στην κατηγορία IMPERVIOUS-LIKE (L1), ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα που δεν ανήκαν στις δύο προηγούμενες κατηγορίες.

ΑΝ ΔΕΝ είναι *DENSE-VEGETATION (L1) (not DENSE-VEGETATION (L1))*

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι *SHADOW (L1) (not SHADOW (L1))*

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία IMPERVIOUS-LIKE (L1)**

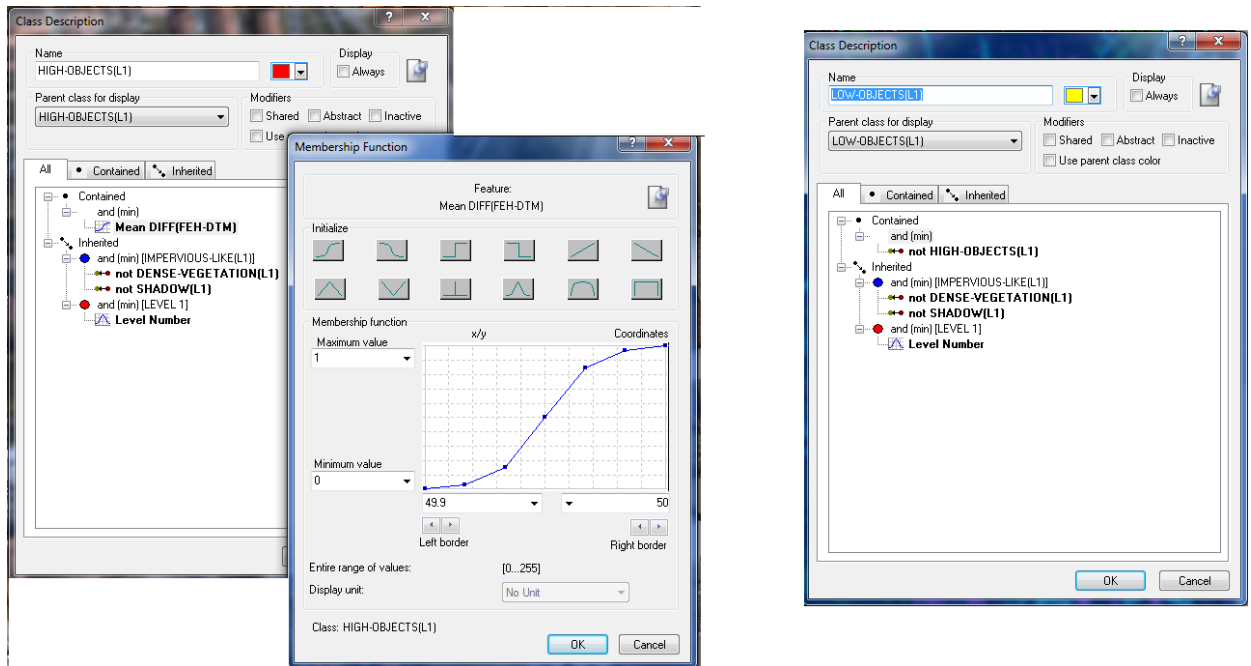
Τα αντικείμενα αυτής της κατηγορίας χωρίστηκαν σε ψηλά (HIGH-OBJECTS (L1)) και χαμηλά (LOW-OBJECTS (L1)), με τη χρήση της διαφοράς **DIFF(FEH-DTM)**. Το ύψος των υπέργειων αντικειμένων που αναπαριστούν κτίρια, γέφυρες και δένδρα ήταν και εδώ από 50 m και πάνω. Η τιμή αυτή του ύψους δεν άλλαξε σε σχέση με την πρώτη περιοχή, αφού και οι δύο υποδιαιρέσεις αποτελούσαν υποσύνολο της αρχικής εικόνας μιας σχεδόν επίπεδης περιοχής, όπου το ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας δεν παρουσίαζε πολλές και απότομες μεταβολές (Εικόνα 3.55).

ΑΝ η τιμή της διαφοράς *DIFF(FEH-DTM)* είναι **μεγαλύτερη από 50**

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία HIGH-OBJECTS (L1)**

ΑΝ ΔΕΝ είναι *HIGH-OBJECTS (L1) (not HIGH-OBJECTS (L1))*

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία LOW-OBJECTS (L1)**



Εικόνα 3.55: Περιγραφή κατηγοριών HIGH-OBJECTS (L1) και LOW-OBJECTS (L1) Περιοχής 2

(4). ASPHALT-SURFACES (L1), RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1) SOIL (L1), SPARSE-VEGETATION (L1), PLOWED-LAND (L1):

Πριν από την ανάλυση της ταξινόμησης των χαμηλών αντικειμένων της Περιοχής 2 κρίνεται σκόπιμη η σύντομη αναφορά στον δείκτη Οργανικού Φλοιού του Εδάφους (**Biological Soil Crust Index -BSCI**), που χρησιμοποιείται, στα πλαίσια της επεξεργασίας της δεύτερης και τρίτης περιοχής. Η χρήση του εν λόγω δείκτη κρίθηκε αναγκαία προκειμένου να ταξινομηθούν ορθά οι κατηγορίες *SOIL (L1)* και *PLOWED-LAND (L1)* που παρουσίαζαν παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά τα οποία δεν μπορούσαν να διαχωριστούν με τη χρήση άλλου δείκτη.

Ο δείκτης BSCI αφορά στο ποσοστό οργανικών συστατικών που περιέχουν τα ανώτερα στρώματα του εδαφικού ορίζοντα. Τα οργανικά αυτά συστατικά, περιλαμβάνουν κάθε ζωικό ή φυτικό υπόλειμμα το οποίο παραμένει στα ανώτερα στρώματα του εδαφικού ορίζοντα. Ορισμένες φορές δε στα εδάφη σχηματίζεται οργανικό φλοιός, αποτελούμενος από π.χ. κοινότητες βρύων, λειχήνων, αγριμονίων, αλγών, μυκήτων, κυανοβακτηρίων και βακτηρίων. Ανάλογα με τα περιεχόμενα οργανικά συστατικά, τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως ανόργανα ή οργανικά. Τα ανόργανα εδάφη αποτελούν τη συντριπτική πλειοψηφία των καλλιεργούμενων εδαφών παγκοσμίως και τα περιεχόμενα οργανικά συστατικά τους κυμαίνονται από ελάχιστα ίχνη έως και 30%, συνήθως όμως ευρίσκονται σε ποσοστό μικρότερο του 10%. Αντίθετα, τα οργανικά εδάφη περιέχουν οργανικά συστατικά σε πολύ υψηλά ποσοστά.

Η ποσότητα οργανικών συστατικών του εδάφους ασκεί σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά φασματικής ανακλαστικότητας των εκτεθειμένων εδαφών. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του οργανικού περιεχομένου στα ανώτερα τμήματα του εδάφους, τόσο μεγαλύτερη είναι η απορρόφηση της προσπίπτουσας ενέργειας και τόσο χαμηλότερη η ανακλαστικότητα.

Οι Chen et al. (2005) ανέπτυξαν έναν δείκτη οργανικού φλοιού του εδάφους **BSCI (Biological Soil Crust Index)**, που φαίνεται στη Σχέση 3.4 και είναι ενδεικτικός για την περιεκτικότητα σε οργανικά συστατικά, των ανωτέρων στρωμάτων του εδάφους.

$$BSCI = \frac{1 - L * |R_{red} - R_{green}|}{\left(\frac{R_{green} + R_{red} + R_{nir}}{3}\right)} \quad (3.4)$$

Όπου:

R_{green} και R_{red} , η ανακλαστικότητα στο πράσινο και το κόκκινο κανάλι αντίστοιχα, και L είναι ένας συντελεστής προσαρμογής για να ενισχύσει την απόλυτη διαφορά ανάμεσα στα R_{green} και R_{red} .

Από τον υπόψη δείκτη προέκυψε η τροποποιημένη μορφή (Hamada et al (2014)) που φαίνεται στη Σχέση 3.5 και χρησιμοποιήθηκε όπως φαίνεται στην *Εικόνα 3.56*.

$$BSCI = \frac{\sqrt{|R_{red} - R_{green}|}}{\left(\frac{R_{green} + R_{red} + R_{nir}}{3}\right)} \quad (3.5)$$

Μικρές τιμές του δείκτη (κάτω από 3) σχετίζονται με ανόργανα εδάφη και ειδικότερα τα καλλιεργήσιμα παρουσιάζουν τιμές περί το 0,1.

Τα χαμηλά αντικείμενα της δεύτερης περιοχής (LOW-OBJECTS (L1)), ταξινομήθηκαν περαιτέρω στις κατηγορίες *ASPHALT-SURFACES (L1)*, *SOIL-LIKE (L1)* και *PLOWED-VEGETATION (L1)*, όπως και στη Περιοχή 1.

Αρχικά, τα αντικείμενα που δεν παρουσίαζαν ίχνος βλάστησης τοποθετήθηκαν στην κατηγορία που ταίριαζαν περισσότερο τα χαρακτηριστικά τους με βάση την ταξινόμηση (*ASPHALT-SURFACES (L1)*, *RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1)*).

Η κατηγορία της ασφάλτου περιγράφηκε με παρόμοια χαρακτηριστικά όπως και στην Περιοχή 1 (υψηλή τιμή γεωμετρικού χαρακτηριστικού **Length/Width** και χαμηλή τιμή του λόγου **RED/GREEN**), οπότε:

AN ένα αντικείμενο έχει τιμή *Length/Width* **μεγαλύτερη από 21**

ΚΑΙ η τιμή του λόγου **RED/GREEN** είναι **μικρότερη από 1,3**

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι **PLOWED-LAND (L1) (not PLOWED-LAND (L1))**

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία ASPHALT-SURFACES (L1)**

Η κατηγορία RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK, που παρατηρήθηκε στο δάπεδο των αθλητικών εγκαταστάσεων, ανακλούσε πολύ την κόκκινη ακτινοβολία και λιγότερο την πράσινη, για αυτό και στην περιγραφή της χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης **RED/GREEN** και η μέση διαφορά που παρουσιάζει το αντικείμενο, ως προς τη συνολική εικόνα στο κόκκινο κανάλι (**mean diff. to scene RED**), έτσι:

ΑΝ η μέση διαφορά του αντικειμένου ως προς τη συνολική εικόνα στο κόκκινο κανάλι (**mean diff. to scene RED**) είναι **μεγαλύτερη από 50**

ΚΑΙ η τιμή του λόγου **RED/GREEN** είναι **μεγαλύτερη από 1,41**

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1)**

Στη συνέχεια, τα αντικείμενα που παρουσίαζαν το παραμικρό είδος βλάστησης, διαχωρίστηκαν στις κατηγορίες SPARSE-VEGETATION (L1) και PLOWED-LAND (L1). Η διαφορά μεταξύ τους ήταν το ότι η αραιή βλάστηση (SPARSE-VEGETATION (L1)), είχε μεγαλύτερους δείκτες **SCALED NDVI** και **Biological Soil Crust Index (BSCI)**, ενώ η κατηγορία PLOWED-LAND (L1) ανακλούσε περισσότερο την υπέρυθρη ακτινοβολία καθώς λόγω της καλλιέργειας του εδάφους αντιπροσώπευε έκταση με χαμηλό ποσοστό οργανικών συστατικών, οπότε:

ΑΝ το αντικείμενο έχει τιμή του δείκτη **SCALED NDVI** **μεγαλύτερη από 102,1**

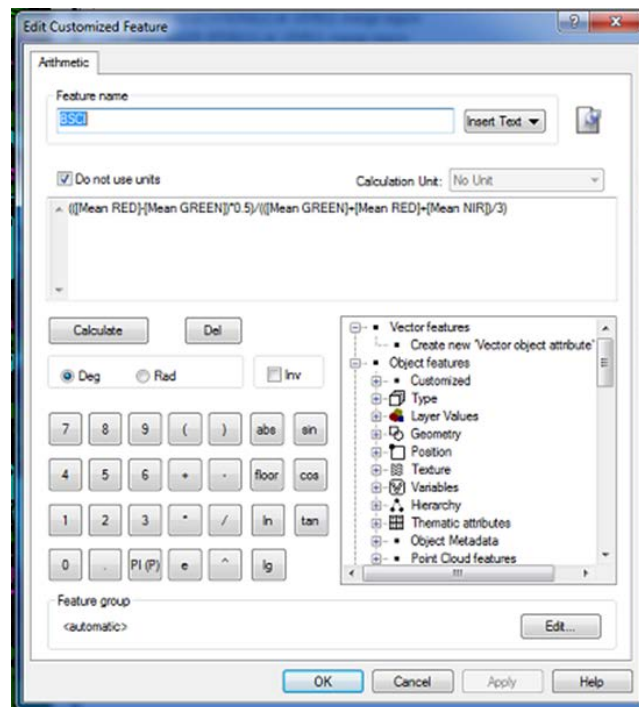
TOTE **ταξινομείται στην κατηγορία SPARSE-VEGETATION (L1)**

και

ΑΝ το αντικείμενο έχει φασματική τιμή υπέρυθρου (**Mean NIR**) **μεγαλύτερη από 163,1**

ΚΑΙ η τιμή του λόγου **BSCI** είναι **από 0,1038 έως 0,121**

TOTE **ταξινομείται στην κατηγορία PLOWED-LAND (L1)**



Εικόνα 3.56: Δείκτης BSCI

Τα αντικείμενα που δεν ανήκαν στις παραπάνω κατηγορίες (ASPHALT-SURFACES (L1), RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1), SPARSE-VEGETATION (L1) και PLOWED-LAND (L1).), ταξινομήθηκαν ως SOIL (L1).

(5). EDGE (L1):

Όπως προαναφέρθηκε, ο κύριος λόγος δημιουργίας του Level 1, ήταν η ανίχνευση των ακμών (ορίων), ώστε στο επόμενο επίπεδο (Level 2), να γίνει εντοπισμός των κτιρίων.

Για την εύρεση των ακμών της εικόνας χρησιμοποιήθηκε η κλίση (SLOPE) και ο δείκτης TRI, αφού οι περιοχές στις οποίες εντοπίζονται ακμές, χαρακτηρίζονται από ετερογένεια εδάφους και έντονη κλίση, έτσι

ΑΝ το αντικείμενο έχει κλίση (SLOPE) **μεγαλύτερη από 93**

ΚΑΙ ο δείκτης ετερογένειας εδάφους (TRI) είναι **μεγαλύτερος από 45**

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία EDGE (L1)**

Τα αντικείμενα που προέκυψαν από την κατάτμηση και δεν είναι ακμές, ταξινομούνται στην κατηγορία MAN-MADE AND TALL-TREES (L1).

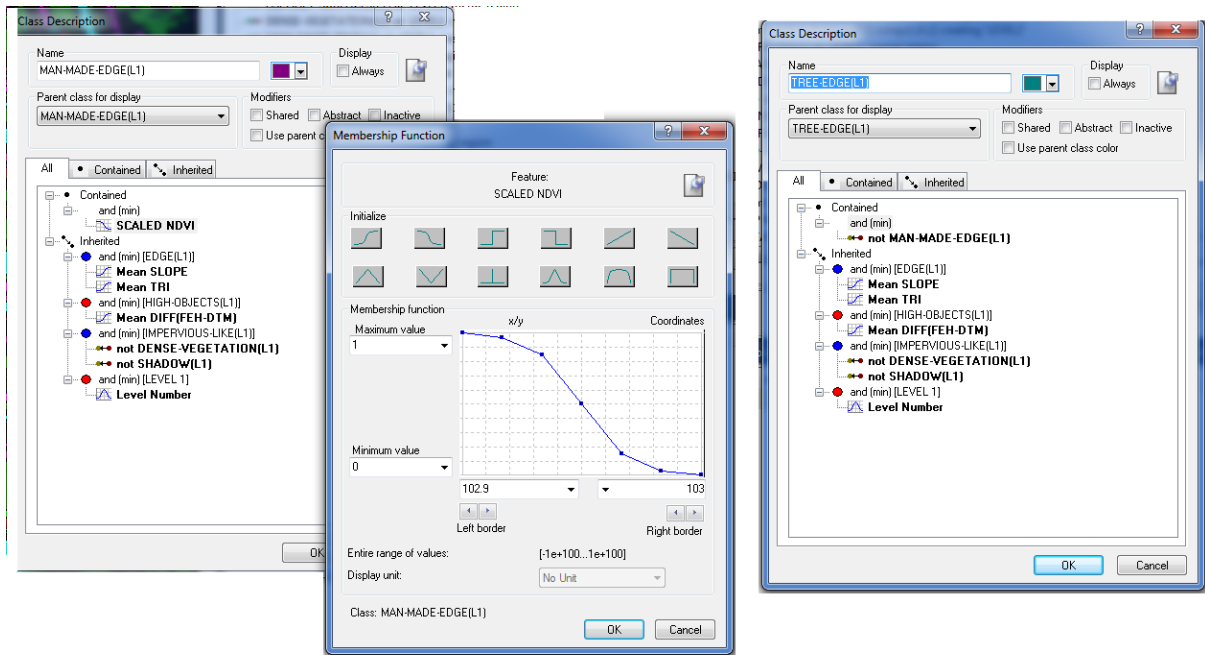
(6). MAN-MADE-EDGE (L1), TREE-EDGE (L1):

Όπως στην πρώτη περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκε και διαχωρισμός των ακμών σε ανθρωπογενείς και σε ακμές δένδρων, με τη χρήση του δείκτη Scaled NDVI (Εικόνα 3.57), έτσι:

ΑΝ το αντικείμενο έχει τιμή του δείκτη *SCALED NDVI* μικρότερη από 103

ΤΟΤΕ το αντικείμενο ταξινομείται στην κατηγορία *MAN-MADE-EDGE (L1)*

όποιο αντικείμενο δεν ήταν ανθρωπογενής ακμή (*MAN-MADE-EDGE (L1)*) ταξινομήθηκε ως *TREE-EDGE (L1)*.



Εικόνα 3.57: Περιγραφή κατηγοριών *MAN-MADE-EDGE (L1)* και *TREE-EDGE (L1)* Περιοχής 2

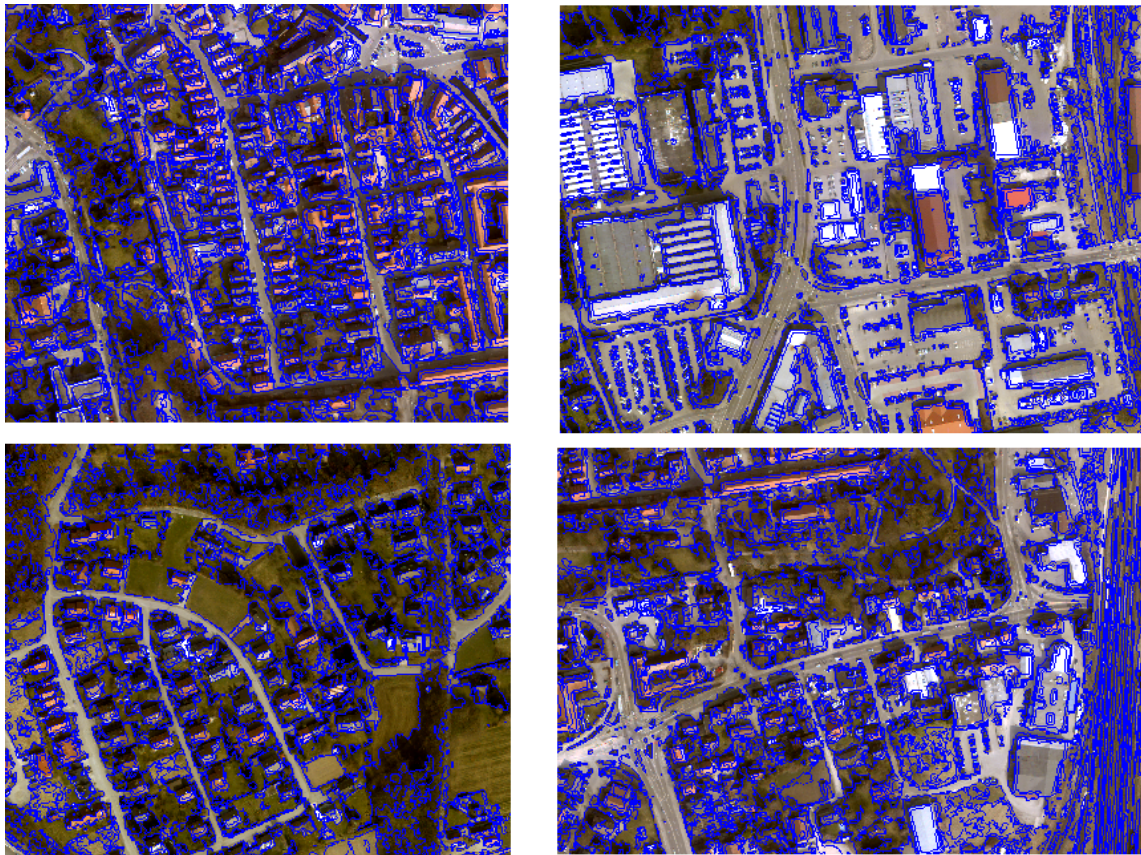
Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης φαίνονται στην *Εικόνα 3.58*:



Εικόνα 3.58: Ταξινόμηση Level 1 Περιοχή 2

3.5.2.2 Κατάτμηση βάσει ταξινόμησης (Level 2)

Το Επίπεδο2 ήταν το ανώτερο επίπεδο κατάτμησης. Όπως έχει αναφερθεί στις προηγούμενες ενότητες, σκοπός της καθιέρωσης του ήταν ο εντοπισμός των κτιρίων. Για την καλύτερη δυνατή ταξινόμηση επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί κατάτμηση βάσει ταξινόμησης (*classification-based segmentation*) και συγκεκριμένα συνένωση βάσει ταξινόμησης (*classification-based fusion*). Όλα τα παρακείμενα αντικείμενα που παρίσταναν χρήσεις γης και άρα χαρακτηρίζονταν από πανομοιότυπες δομές, καθώς και αντικείμενα που αποτελούσαν μέρος όμοιων δομικών ενοτήτων, συγχωνεύονταν σε νέα ενοποιημένα αντικείμενα. Εκείνα δε που προέκυπταν από τη συνένωση τοποθετούνταν στο **Επίπεδο 2** (Level 2) κλίμακας ίσης με δέκα (10) (Εικόνα 3.59).



Εικόνα 3.59: Κατάτμηση επιπέδου 2, Περιοχής 2 (εστίαση σε ορισμένες περιοχές)

Στη συνέχεια έγινε νέα ταξινόμηση στα ενοποιημένα πλέον αντικείμενα που αντιπροσώπευαν τις διάφορες κατηγορίες και εισήχθησαν γνωρίσματα εξαρτημένα από τις κατηγορίες (*class-related features*) των Επιπέδων 1 και 2. Η κατηγορία MAN-MADE AND TALL-TREES (L2) σε αυτό το επίπεδο, διαχωρίστηκε περαιτέρω στις θυγατρικές της: BUILDINGS (L2), BRIDGE (L2) και TALL-TREES (L2). Κτίρια με λειχήνες δεν εντοπίστηκαν, καθώς η πλειοψηφία του είχε κεραμοσκεπή και

τα ελάχιστα κτίρια με επίπεδη οροφή είτε δεν περιείχαν λειχήνες, ή αυτές βρίσκονταν στις ακμές τους, που είχαν ταξινομηθεί από το προηγούμενο επίπεδο ως ακμές δένδρων.

Οι περιγραφές των κατηγοριών διαμορφώθηκαν ως εξής:

(1).MAN-MADE AND TALL-TREES (L2), DENSE-VEGETATION (L2), SHADOW (L2), ASPHALT-SURFACES (L2), RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L2), SOIL (L2), SPARSE-VEGETATION (L2), PLOWED-LAND (L2), MAN-MADE-EDGE (L2) και TREE-EDGE (L2):

Εδώ δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες:

- ASPHALT-SURFACES (L2)
- DENSE-VEGETATION (L2)
- MAN-MADE AND TALL-TREES (L2)
- MAN-MADE-EDGE (L2)
- SHADOW (L2)
- SOIL(L2)
- SPARSE-VEGETATION (L2)
- TREE-EDGE (L2)
- RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L2)
- PLOWED-LAND (L2)

με τρόπο ώστε τα αντικείμενα τους, να έχουν ίδιο σχετικό εμβαδό με τα υπό-αντικείμενα των αντίστοιχων κατηγοριών του Level 1 (*relative area of sub objects*).

(2). BUILDINGS (L2):

Η κατηγορία αυτή, που η εύρεση της αποτέλεσε και το στόχο της παρούσας εργασίας, περιγράφηκε χρησιμοποιώντας κριτήρια σχήματος (*Εικόνα 3.60*), οπότε.

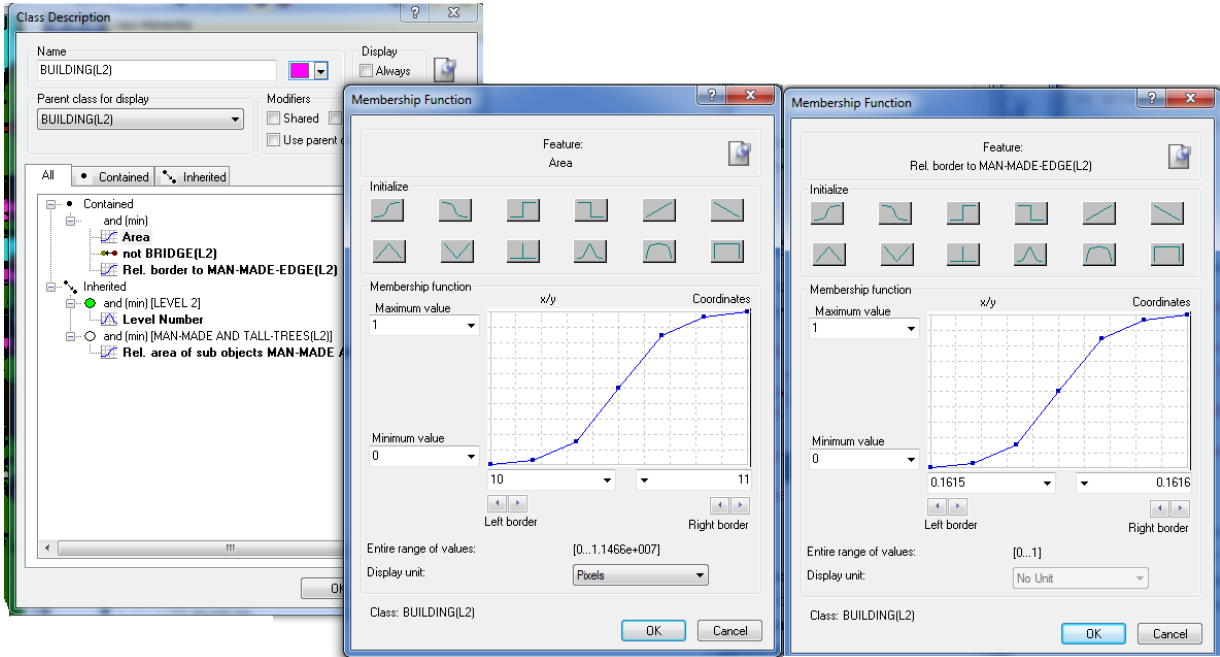
ΑΝ το αντικείμενο έχει εμβαδό (*area*) **μεγαλύτερο από 11 m²**

ΚΑΙ το σχετικό του σύνορο με την κατηγορία **MAN-MADE-EDGE (L2)** (*relative border to MAN-MADE-EDGE (L2)*) είναι **μεγαλύτερο από 0,1616**

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι **BRIDGE (L2)** (*not BRIDGE (L2)*)

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία BUILDINGS (L2)**

Το εμβαδό που ορίστηκε ως ελάχιστο κατώφλι ήταν πολύ μικρότερο από αυτό που είχε επιλεγεί στην Περιοχή 1. Η επιλογή αυτή έγινε διότι στην Περιοχή 2 που ήταν αστική και περιελάμβανε κυρίως οικίες, τα περισσότερα κτίρια ήταν πολύ μικρότερα σε σχέση με τα κτίρια της πρώτης περιοχής.



Εικόνα 3.60: Περιγραφή κατηγορίας BUILDINGS (L2) Περιοχής 2

(3). BRIDGE (L2):

Στην άκρη της Περιοχής 2, παρατηρήθηκε μία γέφυρα που και αυτή περιγράφηκε, χρησιμοποιώντας αφενός κριτήριο σχήματος και αφετέρου τη σχέση της θέσης της γέφυρας, με την ασφαλτο.

ΑΝ το σχετικό σύνορο του αντικείμενου με την κατηγορία **ASPHALT-SURFACE (L2)** (*relative border to ASPHALT-SURFACE (L2)*) είναι **μεγαλύτερο από 0,41**

ΚΑΙ έχει ασυμμετρία (*Asymmetry*) **μεγαλύτερη από 0,8995**

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία BRIDGE (L2)**






















(4). TALL-TREES (L2):




















Τέλος, στην κατηγορία TALL-TREES (L2), ανήκουν αντικείμενα που δεν είναι γέφυρες (BRIDGE (L2)) και κτίρια (BUILDINGS(L2))




Έτσι, στην Εικόνα 3.61 φαίνεται η τελική ταξινόμηση του Επιπέδου 2, της Περιοχής 2 και ακολουθεί ο Πίνακας 3.3, με τις συναρτήσεις συμμετοχής των κατηγοριών της



Εικόνα 3.61: Ταξινόμηση Level 2, Περιοχής 2

Επίπεδο	Κατηγορία	Χαρακτηριστικό	Συνάρτηση συμμετοχής	Min Τιμή	Max Τιμή	
LEVEL 1	DENSE-VEGETATION (L1)	and	SCALED NDVI		107	107,9
			not SHADOW (L1)		-	-
	SHADOW (L1)	and	HSI		0,3745	0,3746
	IMPERVIOUS-LIKE (L1)	and	not SHADOW (L1)		-	-
			not DENSE-VEGETATION (L1)		-	-
	HIGH-OBJECTS (L1)	and	Mean DIFF (FEH-DTM)		49,9	50
	LOW-OBJECTS (L1)	and	not HIGH-OBJECTS (L1)		-	-
	EDGE (L1)	and	Mean Slope		92,9	93
			Mean TRI		44,9	45
	MAN-MADE AND TALL-TREES (L1)	and	not EDGE (L1)		-	-
	MAN-MADE-EDGE (L1)	and	SCALED NDVI		102,9	103
	TREE-EDGE (L1)	and	not MAN-MADE-EDGE (L1)		-	-
	ASPHALT-SURFACES (L1)	and	Length/Width		19	21
			not PLOWED-LAND (L1)		-	-
			RED/GREEN		1,3089	1,309
	SOIL (L1)	and	not ASPHALT-SURFACES (L1)		-	-
			not SPARSE-VEGETATION (L1)		-	-
			not RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1)		-	-
			not PLOWED-LAND (L1)		-	-
	SPARSE-VEGETATION (L1)	and	SCALED NDVI		102	102,1
RED-COLORED-COMPOSIT-	and	Mean diff. to scene RED		49,9	50	

	TRACK (L1)		RED/GREEN		1,4	1,41
	PLOWED-LAND (L1)	and	BSCI		0,1038	0,121
			Mean NIR		163	163,1
	LEVEL 1	and	Level Number		0	2
LEVEL 2	ASPHALT-SURFACES (L2)	and	Rel.area of sub objects ASPHALT-SURFACES (L1)1		0,25	0,35
	DENSE-VEGETATION (L2)	and	Rel.area of sub objects DENSE-VEGETATION (L1)1		0,35	0,45
	MAN-MADE AND TALL-TREES (L2)	and	Rel.area of sub objects MAN-MADE AND TALL-TREES (L1)1		0,25	0,35
	BRIDGE (L2)	and	Asymmetry		0,8994	0,8995
			Rel.border to ASPHALT-SURFACES (L2)		0,4	0,41
	BUILDING (L2)	and	Rel.border to MAN-MADE-EDGE (L2)		0,1615	0,1616
			Area		10	11
			not BRIDGE (L2)		-	-
	TALL-TREES (L2)	and	not BRIDGE (L2)		-	-
	TALL-TREES (L2) MAN-MADE-EDGE (L2)	and	not BUILDINGS (L2)		-	-
			Rel.area of sub objects MAN-MADE-EDGE (L1)1		0,25	0,35
	RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L2)	and	Rel.area of sub objects RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1)1		0,25	0,35
	SHADOW (L2)	and	Rel.area of sub objects SHADOW (L1)1		0,25	0,35
	SOIL (L2)	and	Rel.area of sub objects SOIL (L1)1		0,25	0,35
SPARSE-VEGETATION (L2)	and	Rel.area of sub objects SPARSE-VEGETATION (L1)1		0,25	0,35	

	PLOWED-LAND (L2)	and	Rel.area of sub objects PLOWED- LAND (L1)1		0,25	0,35
	TREE-EDGE (L2)	and	Rel.area of sub objects TREE- EDGE (L1)1		0,25	0,35
	LEVEL 2	and	Level Number		1	3

Πίνακας 3.3: Συναρτήσεις συμμετοχής και πεδία τιμών των κατηγοριών της Περιοχής 2

3.5.3 Περιοχή Μελέτης 3

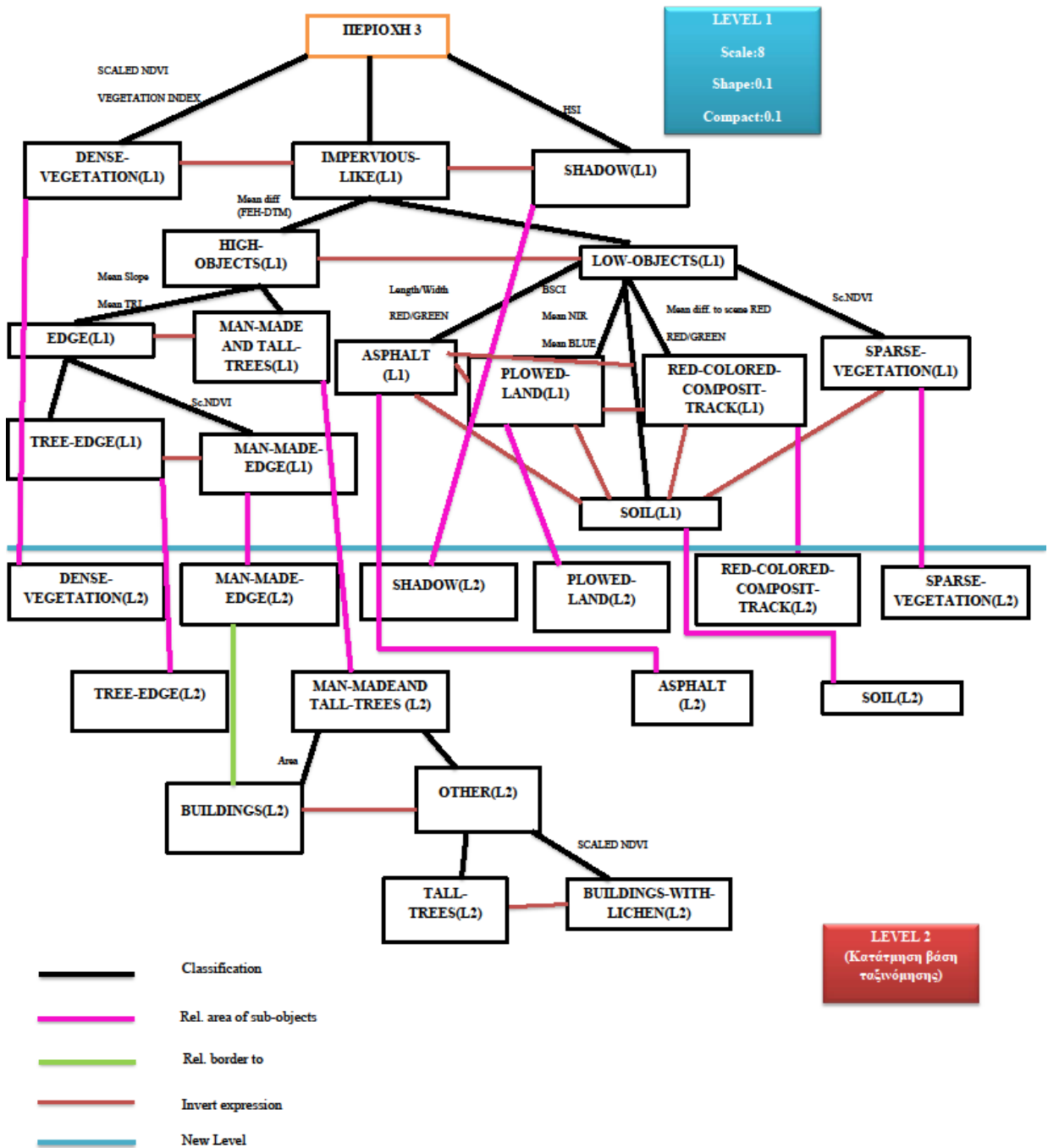
Μετά την επεξεργασία των δύο πρώτων υποδιαίρέσεων της αρχικής εικόνας, σειρά είχε η τρίτη (εφεξής Περιοχή 3), όπου αρχικά εισήχθησαν τα παρακάτω επτά (7) θεματικά επίπεδα (layers), όπως και στις δύο προηγούμενες,

- Τέσσερα (4) φασματικά επίπεδα (**RED, GREEN, BLUE, INFRARED**)
- Ένα (1) επίπεδο **DIFF (FEH-DTM)**
- Ένα (1) επίπεδο (**SLOPE**)
- Ένα (1) επίπεδο (**TRI**)

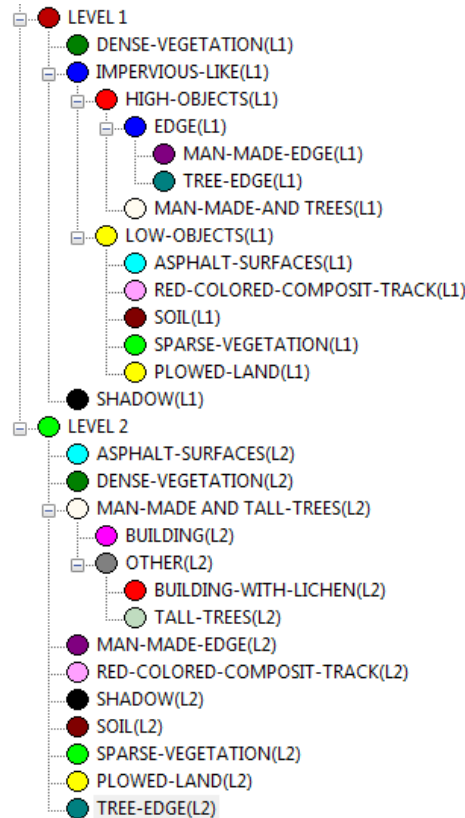
Στη συνέχεια οι επεξεργασίες που ακολουθήθηκαν ήταν παρόμοιες με αυτές των προηγούμενων δύο περιοχών, δηλαδή πραγματοποιήθηκε:

- Κατάτμηση τύπου *multiresolution segmentation* και δημιουργία του Level 1
- Ταξινόμηση αντικειμένων στις κατηγορίες του Level 1
- Κατάτμηση βάσει ταξινόμησης (*classification-based segmentation*) και δημιουργία του Level 2
- Ταξινόμηση στα ενοποιημένα αντικείμενα που αντιπροσώπευαν τις διάφορες κατηγορίες του Level 2.

Στις Εικόνες 3.62 και 3.63 φαίνονται αντίστοιχα η διαγραμματική παρουσίαση ιεραρχίας κατηγοριών όλων των επιπέδων ανάλυσης της τρίτης περιοχής μελέτης, (Εικόνα 3.62) και η ιεραρχία των κατηγοριών (Εικόνα 3.63).



Εικόνα 3.62: Διαγραμματική παρουσίαση ιεραρχίας κατηγοριών όλων των επιπέδων ανάλυσης Περιοχής3

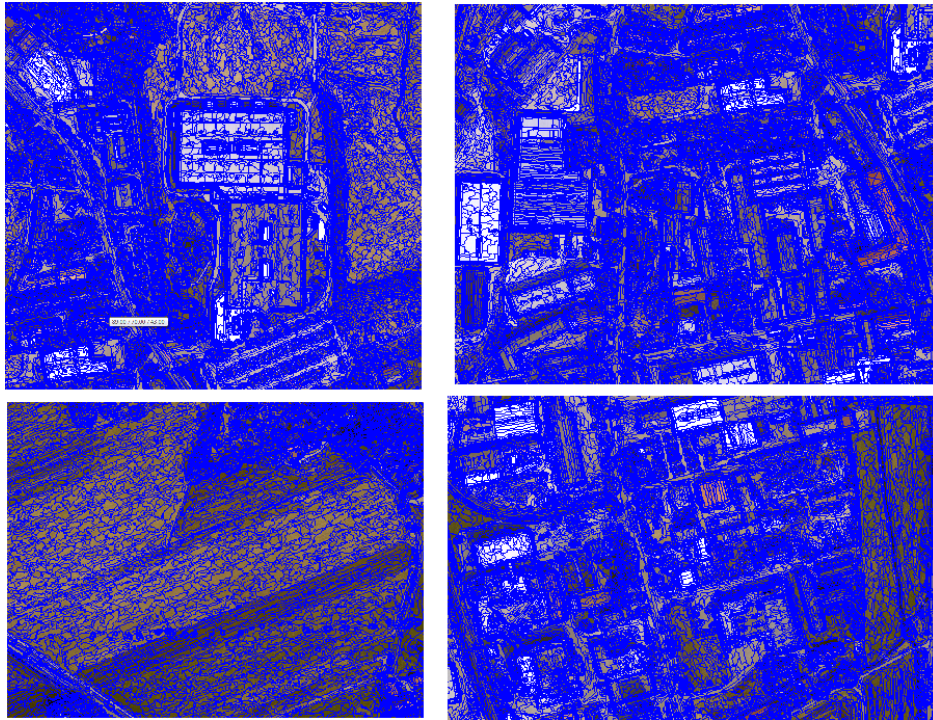


Εικόνα 3.63: Ιεραρχία κατηγοριών Περιοχής 3 όπως παρουσιάζεται στο λογισμικό *e-Cognition*

3.5.3.1 Δημιουργία επιπέδου Level 1 και ταξινόμηση

α. Κατάτμηση

Η διαδικασία της κατάτμησης και οι παράμετροι της παρέμειναν όμοιες με αυτές των προηγούμενων δύο περιοχών. Επιλέχθηκε μία μικρή παράμετρος κλίμακας ίση με **8**, και το κριτήριο σχήματος (shape) έναντι χρώματος (color), τέθηκε ίσο με **0,1**. Επίσης, για την διάκριση μεταξύ των οδών καθώς και λόγω του ότι οι ακμές στην εικόνα διαθέτουν επίμηκες σχήμα, το κριτήριο συμπαγούς σχήματος (compactness) τέθηκε ίσο με **0,1**. Τέλος στα θεματικά επίπεδα (layers) **RED, BLUE, GREEN, NIR, DIFF(FEH-DTM) SLOPE και TRI** δόθηκε και εδώ βάρος ίσο με ένα (1) (Εικόνα 3.64).

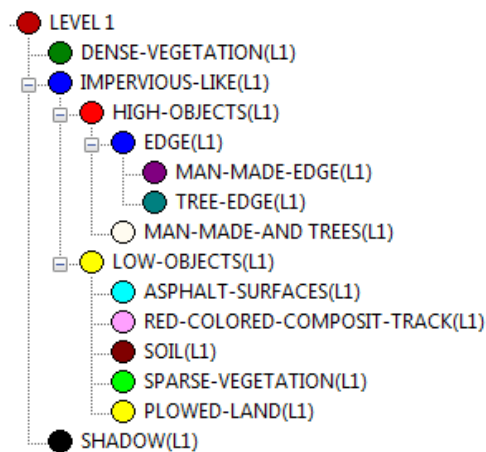


Εικόνα 3.64: Κατάτμηση επιπέδου 1, Περιοχής 3 (εστίαση σε ορισμένες περιοχές)

β Ταξινόμηση

Στη συνέχεια ακολούθησε ταξινόμηση των κατηγοριών του Επιπέδου 1 (Level 1). Η ταξινόμηση αυτή ήταν ίδια με εκείνη της Περιοχής 2 και οι όποιες διαφορές αφορούσαν μόνο στα διαστήματα ασάφειας και στην προσθήκη ή αντικατάσταση κάποιων κανόνων. Όπως έχει γίνει προαναφερθεί κατά την επεξεργασία των δύο πρώτων περιοχών, σκοπός της ταξινόμησης αυτού του επιπέδου ήταν η εύρεση των ακμών των κτιρίων (**MAN – MADE – EDGE (L1)**).

Τα αντικείμενα που προέκυψαν από την διαδικασία της κατάτμησης καταχωρήθηκαν μέσω σύνταξης ιεραρχίας στις ακόλουθες κατηγορίες (Εικόνα 3.65):



Εικόνα 3.65: Κατηγορίες Level 1 Περιοχής 3

(1). DENSE-VEGETATION (L1):

Η βλάστηση στην Περιοχή 3 (αγροτικές, αστικές και βιομηχανικές εκτάσεις) είναι εμφανώς λιγότερη από την πρώτη περιοχή (αγροτικές εκτάσεις), πλην όμως είναι περισσότερη από την δεύτερη περιοχή (αστικές εκτάσεις). Ο δείκτης SCALED NDVI της τρίτης περιοχής παρατηρήθηκε ότι είναι μεγαλύτερος από αυτόν της δεύτερης, πλην όμως μικρότερος από εκείνον της Περιοχής 1, γεγονός που συμπεραίνεται και από τη σύστασή τους. Για την διαφοροποίηση της «καθαρής βλάστησης» από κτίρια που είχαν όμοια φασματικά χαρακτηριστικά με αυτή, εκτός από τον δείκτη SCALED NDVI, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης **Vegetation Index**. Οπότε, η κατηγορία DENSE VEGETATION (L1) περιγράφεται ως εξής:

*ΑΝ ο δείκτης SCALED NDVI είναι **μεγαλύτερος από 109,6***

*ΚΑΙ ο δείκτης VEGETATION INDEX είναι **μεγαλύτερος από 0,5901***

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι SHADOW (L1) (not SHADOW (L1))

*TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία DENSE-VEGETATION (L1)***

(2). SHADOW (L1):

Η σκιά (SHADOW (L1)) λόγω της χαμηλής της έντασης (intensity), ανιχνεύτηκε και πάλι με τη χρήση των τιμών έντασης (HSI Transformation – Intensity). Σε αυτήν την περιοχή μελέτης, με τη βοήθεια του *feature view*, βρέθηκαν τα ακριβή όρια της κατηγορίας αυτής, οπότε:

*ΑΝ η τιμή του δείκτη HSI Transformation – Intensity (R=NIR, G=RED, B=GREEN) είναι **από 0 έως 0,396***

*TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία SHADOW (L1)***

(3). IMPERVIOUS-LIKE (L1), HIGH-OBJECTS (L1), LOW-OBJECTS (L1):

Τα αντικείμενα που δεν είναι SHADOW (L1) (σκιά) και δεν είναι DENSE-VEGETATION (L1) (πυκνή βλάστηση), ταξινομούνται σε αυτήν την κατηγορία, έτσι:

ΑΝ ΔΕΝ είναι το αντικείμενο DENSE-VEGETATION (L1) (not DENSE-VEGETATION (L1))

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι το αντικείμενο SHADOW (L1) (not SHADOW (L1))

*TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία IMPERVIOUS-LIKE (L1)***

Στη συνέχεια, με τη χρήση της διαφοράς **DIFF(FEH-DTM)** τα αντικείμενα αυτής της κατηγορίας χωρίστηκαν σε ψηλά (HIGH-OBJECTS (L1)) και χαμηλά (LOW-

OBJECTS (L1)). Το ύψος των υπέργειων αντικειμένων που αναπαριστούν κτίρια, γέφυρες και δένδρα ήταν και εδώ από 50 m και πάνω, οπότε:

AN η τιμή της διαφοράς **DIFF(FEH-DTM)** είναι **μεγαλύτερη από 50**

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία HIGH-OBJECTS (L1)**

AN δεν είναι το αντικείμενο **HIGH-OBJECTS (L1)** (*not HIGH-OBJECTS (L1)*)

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία LOW-OBJECTS (L1)**

(4). ASPHALT-SURFACES (L1), RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1) SOIL (L1), SPARSE-VEGETATION (L1), PLOWED-LAND (L1):

Τα χαμηλά αντικείμενα (LOW-OBJECTS (L1)), όπως και στις Περιοχές 1 και 2 ταξινομήθηκαν περαιτέρω στις κατηγορίες *ASPHALT-SURFACES (L1)*, *RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1)*, *SOIL (L1)*, *SPARSE-VEGETATION (L1)*, *PLOWED-LAND (L1)*.

Αρχικά, τα αντικείμενα που δεν παρουσίαζαν ίχνος βλάστησης τοποθετήθηκαν στην κατηγορία που ταίριαζαν περισσότερο τα χαρακτηριστικά τους, με βάση την ταξινόμηση (*ASPHALT-SURFACES (L1)*, *RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1)*).

Η κατηγορία της ασφάλτου περιγράφηκε με τα χαρακτηριστικά **Length/Width** και **RED/GREEN**, (υψηλή τιμή γεωμετρικού χαρακτηριστικού Length/Width και χαμηλή τιμή του λόγου RED/GREEN), οπότε:

AN το αντικείμενο έχει τιμή **Length/Width μεγαλύτερη από 20,19**

ΚΑΙ η τιμή του λόγου **RED/GREEN** είναι **μικρότερη από 1,31**

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι **PLOWED-LAND (L1)** (*not PLOWED-LAND (L1)*)

TOTE το αντικείμενο ταξινομείται στην κατηγορία **ASPHALT-SURFACES (L1)**

Η κατηγορία RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK, που παρατηρήθηκε στο δάπεδο των αθλητικών εγκαταστάσεων, ανακλούσε πολύ την κόκκινη ακτινοβολία και λιγότερο την πράσινη, για αυτό και στην περιγραφή της χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης **RED/GREEN** και η μέση διαφορά που παρουσιάζει το αντικείμενο, ως προς τη συνολική εικόνα στο κόκκινο κανάλι (**mean diff. to scene RED**), έτσι:

AN η μέση διαφορά του αντικειμένου ως προς τη συνολική εικόνα στο κόκκινο κανάλι (**mean diff. to scene RED**) είναι **μεγαλύτερη από 60,14**

ΚΑΙ η τιμή του λόγου **RED/GREEN** είναι **από 1,317 έως 1,834**

ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΔΕΝ είναι **PLOWED-LAND (L1)** (*not PLOWED-LAND (L1)*)

ΚΑΙ ΔΕΝ είναι ASPHALT-SURFACES (L1) (not ASPHALT-SURFACES (L1))

TOTE το αντικείμενο ταξινομείται στην κατηγορία RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1)

Τέλος, τα αντικείμενα που παρουσίαζαν το παραμικρό είδος βλάστησης, χωρίστηκαν στις κατηγορίες SPARSE-VEGETATION (L1) και PLOWED-LAND (L1). Η αραιή βλάστηση, SPARSE-VEGETATION (L1), παρουσίαζε μεγαλύτερους δείκτες **SCALED NDVI** και **BSCI**, ενώ η PLOWED-LAND (L1) ανακλούσε περισσότερο την υπέρυθρη και την μπλε ακτινοβολία, οπότε:

AN το αντικείμενο έχει τιμή του δείκτη SCALED NDVI μεγαλύτερη από 101

TOTE ταξινομείται στην κατηγορία SPARSE-VEGETATION (L1)

AN το αντικείμενο έχει φασματική τιμή υπέρυθρου (Mean NIR) μεγαλύτερη από 142

ΚΑΙ φασματική τιμή μπλε (Mean BLUE) μικρότερη από 89

ΚΑΙ η τιμή του δείκτη BSCI είναι μεγαλύτερη από 0,1301

TOTE το αντικείμενο ταξινομείται στην κατηγορία PLOWED-LAND (L1)

Τα αντικείμενα που δεν ανήκαν στις παραπάνω κατηγορίες (ASPHALT-SURFACES (L1), RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1), SPARSE-VEGETATION (L1) και PLOWED-LAND (L1)), ταξινομήθηκαν ως SOIL (L1).

(5). EDGE (L1):

Για την εύρεση των κτιρίων στο επόμενο επίπεδο χρειάζεται, όπως έχει προαναφερθεί, να βρεθούν οι ακμές (όρια). Η διαδικασία εντοπισμού τους ήταν όμοια με αυτή των άλλων δυο περιοχών της μελέτης. Ακμές, βρίσκονται σε περιοχές με μεγάλη κλίση και έντονη ετερογένεια εδάφους, έτσι:

AN το αντικείμενο έχει κλίση (SLOPE) μεγαλύτερη από 92

ΚΑΙ ο δείκτης ετερογένειας εδάφους (TRI) είναι μεγαλύτερος από 54

TOTE το αντικείμενο ταξινομείται στην κατηγορία EDGE (L1)

Τα αντικείμενα που προέκυψαν από την κατάτμηση και δεν είναι ακμές, ταξινομούνται στην κατηγορία MAN-MADE AND TALL-TREES (L1).

(6). MAN-MADE-EDGE (L1), TREE-EDGE (L1):

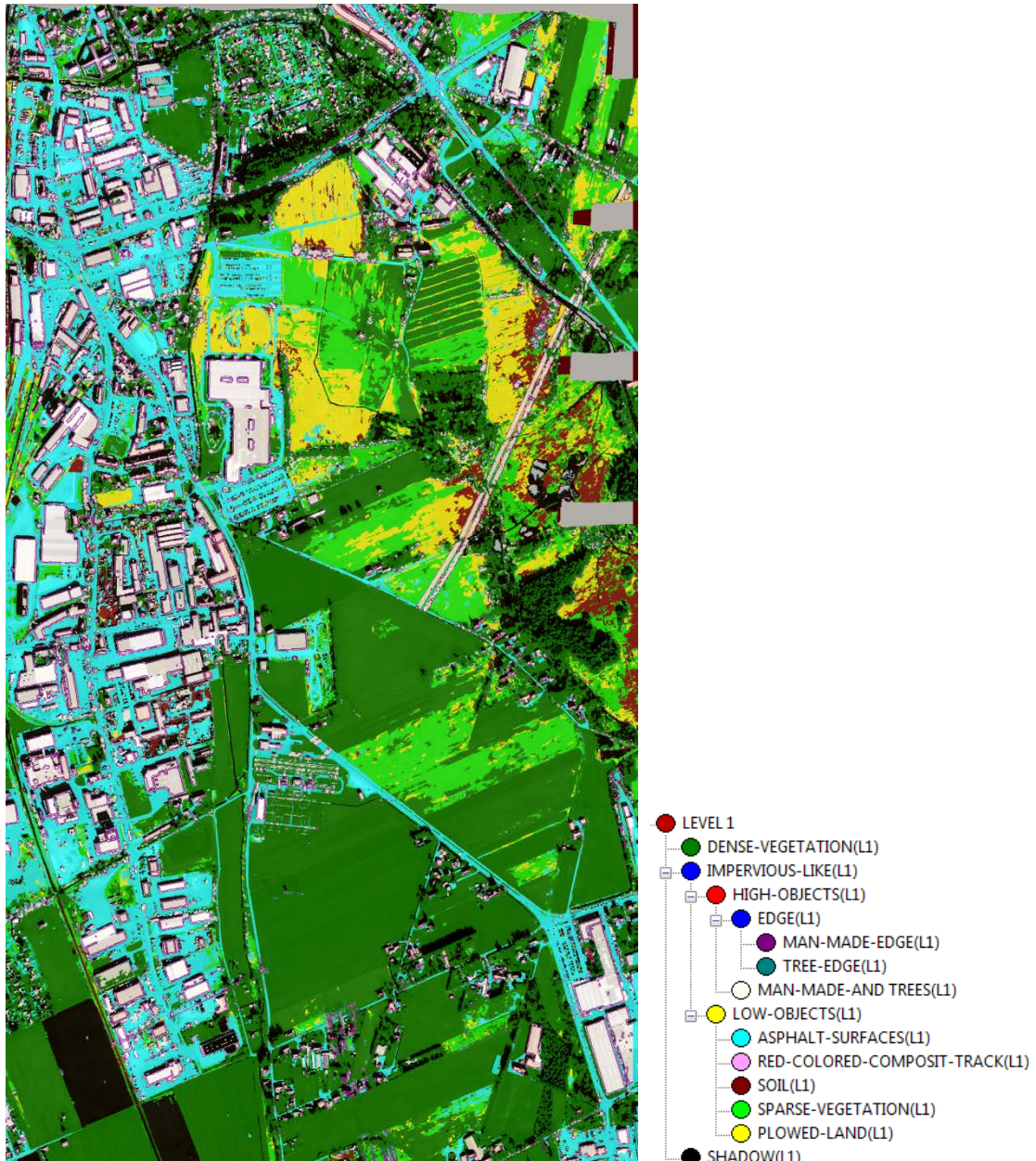
Η ταξινόμηση των ακμών (ορίων), προχώρησε περαιτέρω, για να γίνει διευκολυνθεί ο ορθός εντοπισμός των κτιρίων στο επόμενο στάδιο. Σε αυτό το επίπεδο πραγματοποιήθηκε επίσης και διαχωρισμός των ακμών σε ανθρωπογενείς και σε ακμές δένδρων, με τη χρήση του δείκτη Scaled NDVI, οπότε:

ΑΝ το αντικείμενο έχει τιμή του δείκτη *SCALED NDVI* μικρότερη από 103

ΤΟΤΕ το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία MAN-MADE-EDGE (L1)**

Όποιο αντικείμενο δεν ήταν ανθρωπογενής ακμή (MAN-MADE-EDGE (L1)) ταξινομήθηκε ως TREE-EDGE (L1).

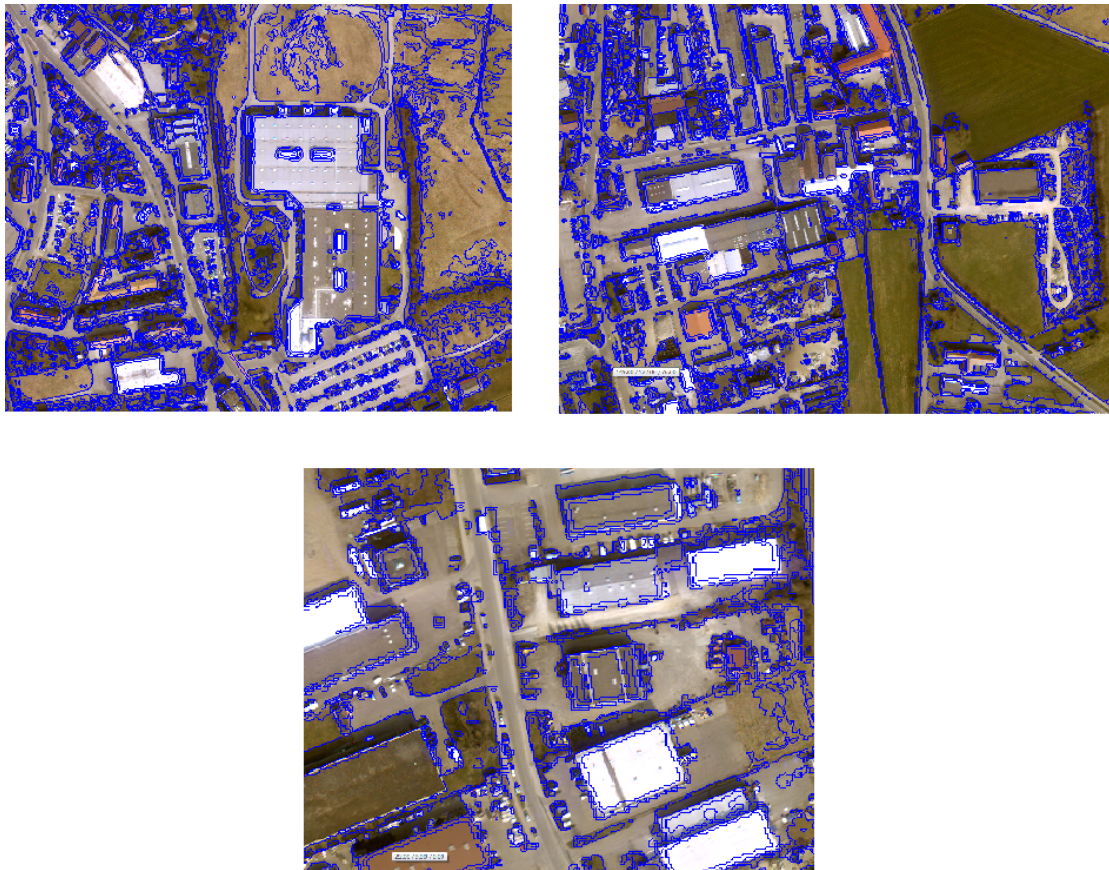
Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης φαίνονται στην *Εικόνα 3.66*:



Εικόνα 3.66: Ταξινόμηση Level 1, Περιοχής 3

3.5.3.2 Κατάτμηση βάσει ταξινόμησης (Level 2)

Το Level 2 ήταν το ανώτερο επίπεδο κατάτμησης της Περιοχής 3 και ταυτόχρονα αποτέλεσε το πιο βασικό, αφού σε αυτό έγινε η εύρεση των κτιρίων και η τελική ταξινόμηση των αντικειμένων. Πραγματοποιήθηκε κατάτμηση βάσει ταξινόμησης (*classification-based segmentation*) και συγκεκριμένα συνένωση βάσει ταξινόμησης (*classification-based fusion*), με την κλίμακα ίση με 10. Με τον τρόπο αυτό όλα τα παρακείμενα αντικείμενα που παρίσταναν χρήσεις γης με πανομοιότυπες δομές, καθώς και αντικείμενα που αποτελούσαν μέρος όμοιων δομικών ενοτήτων, συγχωνεύονταν σε νέα ενοποιημένα αντικείμενα. Αυτά δε που προέκυπταν από τη συνένωση, τοποθετούνταν σε νέο επίπεδο (Level 2) μεγαλύτερης κλίμακας (10) (Εικόνα 3.67).



Εικόνα 3.67: Κατάτμηση επιπέδου 2, Περιοχής 3 (εστίαση σε ορισμένες περιοχές)

Ακολούθησε αντίστοιχη διαδικασία με εκείνη που εφαρμόστηκε και στις άλλες δύο περιοχές. Δηλαδή πραγματοποιήθηκε νέα ταξινόμηση στα ενοποιημένα πλέον αντικείμενα, που αντιπροσώπευαν τις διάφορες κατηγορίες και εισήχθησαν γνωρίσματα εξαρτημένα από τις κατηγορίες (*class-related features*) των Επιπέδων 1. Η κατηγορία MAN-MADE AND TALL-TREES (L2) σε αυτό το επίπεδο,

διαχωρίστηκε στις περεταίρω θυγατρικές της: BUILDINGS (L2), και OTHER (L2). Στην συνέχεια, η κατηγορία OTHER (L2) διαχωρίστηκε στις BUILDING-WITH-LICHEN (L2) και TALL-TREES (L2).

Οι περιγραφές των κατηγοριών διαμορφώθηκαν ως εξής:

(1).MAN-MADE AND TALL-TREES (L2), DENSE-VEGETATION (L2), SHADOW (L2), ASPHALT-SURFACES (L2), RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L2), SOIL (L2), SPARSE-VEGETATION (L2), PLOWED-LAND (L2), MAN-MADE-EDGE (L2) και TREE-EDGE (L2):

Εδώ δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες:

- ASPHALT-SURFACES (L2)
- DENSE-VEGETATION (L2)
- MAN-MADE AND TALL-TREES (L2)
- MAN-MADE-EDGE (L2)
- SHADOW (L2)
- SOIL(L2)
- SPARSE-VEGETATION (L2)
- TREE-EDGE (L2)
- RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L2)
- PLOWED-LAND (L2)

με τέτοιο τρόπο, ώστε τα αντικείμενα τους να έχουν ίδιο σχετικό εμβαδό με τα υπό-αντικείμενα των αντίστοιχων κατηγοριών του Level 1 (*relative area of sub objects*).

(2). BUILDINGS (L2) και OTHER (L2):

Η υπόψη κατηγορία, περιγράφηκε χρησιμοποιώντας κριτήρια σχήματος. Το εμβαδό που ορίστηκε ως ελάχιστο κατώφλι είναι ίσο με εκείνο της Περιοχής 1 και μεγαλύτερο από αυτό που είχε επιλεγεί στην Περιοχή 2. Η επιλογή αυτή έγινε, διότι στην Περιοχή 3, τα περισσότερα κτίρια ήταν μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, έτσι:

AN το αντικείμενο έχει εμβαδό (*area*) **μεγαλύτερο από 50 m²**

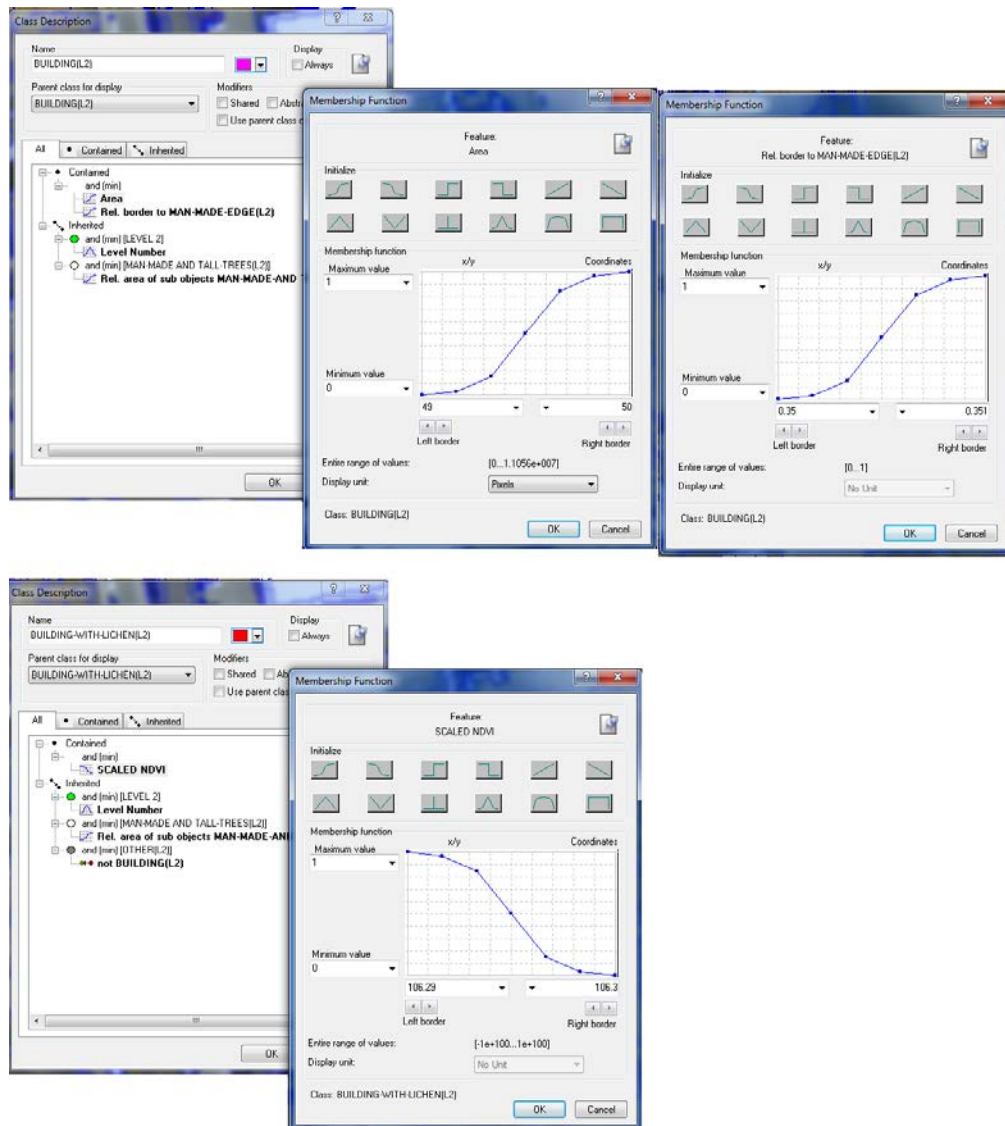
ΚΑΙ το σχετικό του σύνορο με την κατηγορία **MAN-MADE-EDGE (L2)** (*relative border to MAN-MADE-EDGE (L2)*) είναι **μεγαλύτερο από 0,351**

TOTE το αντικείμενο **ταξινομείται στην κατηγορία BUILDINGS (L2)**

Στην κατηγορία OTHER (L2), εντάχθηκαν τα αντικείμενα που δεν ήταν κτίρια.

(3). BUILDING-WITH-LICHEN (L2):

Όπως προαναφέρθηκε, η κατηγορία OTHER (L2) διαχωρίστηκε στις θυγατρικές BUILDING-WITH-LICHEN (L2) και TALL-TREES (L2). Η κατηγορία BUILDING-WITH-LICHEN (L2), περιείχε τα κτίρια που στην οροφή τους είχαν βλάστηση (λειχήνες), και για να ξεχωρίσουν από την κατηγορία των ψηλών δένδρων χρησιμοποιήθηκε το γεγονός ότι τα κτίρια με λειχήνες παρουσιάζουν χαμηλότερο δείκτη SCALED NDVI (Εικόνα 3.68).



Εικόνα 3.68: Περιγραφή κατηγοριών BUILDINGS (L2) και BUILDING-WITH-LICHEN (L2)

Περιοχής 3

(4). TALL-TREES (L2):








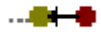









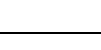

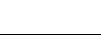

Τέλος, στην κατηγορία TALL-TREES (L2), ανήκουν αντικείμενα που δεν είναι BUILDING-WITH-LICHEN (L2)




















Έτσι, στην *Εικόνα 3.69* φαίνεται η τελική ταξινόμηση του Επιπέδου 2, της Περιοχής 3 και ακολουθεί ο *Πίνακας 3.4*, με τις συναρτήσεις συμμετοχής των κατηγοριών της.



- LEVEL 1
- DENSE-VEGETATION(L1)
- IMPERVIOUS-LIKE(L1)
- HIGH-OBJECTS(L1)
- EDGE(L1)
 - MAN-MADE-EDGE(L1)
 - TREE-EDGE(L1)
 - MAN-MADE-AND TREES(L1)
- LOW-OBJECTS(L1)
 - ASPHALT-SURFACES(L1)
 - RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK(L1)
 - SOIL(L1)
 - SPARSE-VEGETATION(L1)
 - PLOWED-LAND(L1)
- SHADOW(L1)
- LEVEL 2
- ASPHALT-SURFACES(L2)
- DENSE-VEGETATION(L2)
- MAN-MADE AND TALL-TREES(L2)
 - BUILDING(L2)
 - OTHER(L2)
 - BUILDING-WITH-LICHEN(L2)
 - TALL-TREES(L2)
- MAN-MADE-EDGE(L2)
- RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK(L2)
- SHADOW(L2)
- SOIL(L2)
- SPARSE-VEGETATION(L2)
- PLOWED-LAND(L2)
- TREE-EDGE(L2)

Εικόνα 3.69: Ταξινόμηση Level 2 Περιοχής 3

Επίπεδο	Κατηγορία	Χαρακτηριστικό	Συνάρτηση συμμετοχής	Min Τιμή	Max Τιμή	
LEVEL 1	DENSE-VEGETATION (L1)	SCALED NDVI		104	109,6	
		not SHADOW (L1)		-	-	
		VEGETATION INDEX		0,575199	0,5901	
	SHADOW (L1)	and	HSI		0	0,396
	IMPERVIOUS-LIKE (L1)	and	not SHADOW (L1)		-	-
			not DENSE-VEGETATION (L1)		-	-
	HIGH-OBJECTS (L1)	and	Mean DIFF (FEH-DTM)		49,9	50
	LOW-OBJECTS (L1)	and	not HIGH-OBJECTS (L1)		-	-
	EDGE (L1)	and	Mean Slope		90	92
			Mean TRI		53,9	54
	MAN-MADE AND TALL-TREES (L1)	and	not EDGE (L1)		-	-
	MAN-MADE-EDGE (L1)	and	SCALED NDVI		102,9	103
	TREE-EDGE (L1)	and	not MAN-MADE-EDGE (L1)		-	-
	ASPHALT-SURFACES (L1)	and	Length/Width		18	20,19
			not PLOWED-LAND (L1)		-	-
			RED/GREEN		1,309	1,31
	SOIL (L1)	and	not ASPHALT-SURFACES (L1)		-	-
			not SPARSE-VEGETATION (L1)		-	-
			not RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1)		-	-
			not PLOWED-LAND (L1)		-	-
SPARSE-VEGETATION (L1)	and	SCALED NDVI		100	101	

	RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1)	and	Mean diff. to scene RED		60,13	60,14	
			RED/GREEN		1,317	1,834	
			not ASPHALT-SURFACES (L1)		-	-	
			not PLOWED-LAND (L1)		-	-	
	PLOWED-LAND (L1)	and	BSCI		0,13	0,1301	
			Mean NIR		141,9	142	
			Mean BLUE		88,9	89	
	LEVEL 1	and	Level Number		0	2	
	LEVEL 2	ASPHALT-SURFACES (L2)	and	Rel.area of sub objects ASPHALT-SURFACES (L1)1		0,35	0,45
		DENSE-VEGETATION (L2)	and	Rel.area of sub objects DENSE-VEGETATION (L1)1		0,35	0,45
MAN-MADE AND TALL-TREES (L2)		and	Rel.area of sub objects MAN-MADE AND TALL-TREES (L1)1		0,35	0,45	
OTHER (L2)		and	not BUILDING (L2)		-	-	
BUILDING (L2)		and	Rel.border to MAN-MADE-EDGE (L2)		0,35	0,351	
			Area		49	50	
BUILDING-WITH-LICHEN (L2)		and	SCALED NDVI		106,29	106,3	
TALL-TREES (L2)		and	not BUILDING-WITH-LICHEN (L2)		-	-	
MAN-MADE-EDGE (L2)		and	Rel.area of sub objects MAN-MADE-EDGE (L1)1		0,35	0,45	
RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L2)		and	Rel.area of sub objects RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1)1		0,35	0,45	
SHADOW (L2)	and	Rel.area of sub objects SHADOW		0,35	0,45		

			(L1)1			
	SOIL (L2)	and	Rel.area of sub objects SOIL (L1)1		0,35	0,45
	SPARSE-VEGETATION (L2)	and	Rel.area of sub objects SPARSE-VEGETATION (L1)1		0,35	0,45
	PLOWED-LAND (L2)	and	Rel.area of sub objects PLOWED-LAND (L1)1		0,35	0,45
	TREE-EDGE (L2)	and	Rel.area of sub objects TREE-EDGE (L1)1		0,35	0,45
	LEVEL 2	and	Level Number		1	3

Πίνακας 3.4: Συναρτήσεις συμμετοχής και πεδία τιμών των κατηγοριών της Περιοχής 3

3.6 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ

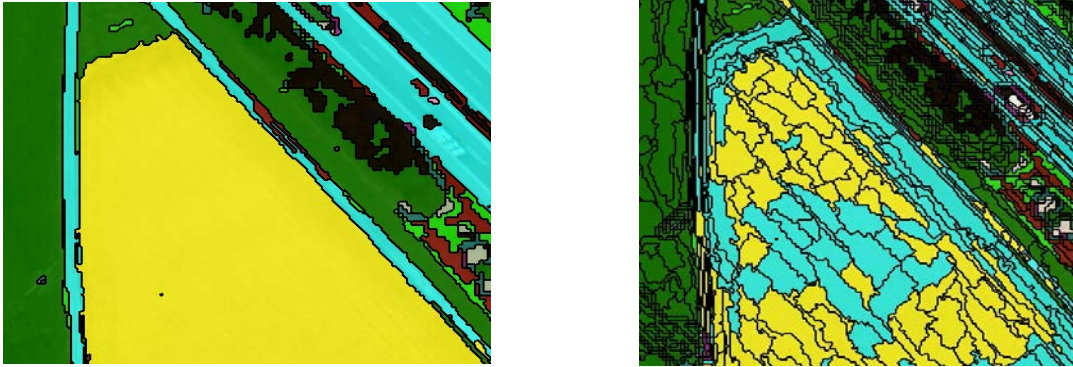
Μετά την ολοκλήρωση της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης στις τρεις περιοχές μελέτης, και για σκοπούς πληρότητας της εργασίας πραγματοποιήθηκε περαιτέρω διερεύνηση του κατά πόσο η βάση γνώσης που δημιουργήθηκε για την πρώτη περιοχή, ήταν κατάλληλη για εφαρμογή και στις άλλες δύο.

Από την υπόψη διερεύνηση διαπιστώθηκε ότι κατά την εφαρμογή της βάσης γνώσης από την πρώτη περιοχή, στις άλλες δύο περιοχές, προέκυπτε θεματική σύγχυση μεταξύ των ακολούθων κατηγοριών:

- DENSE-VEGETATION (L1) και (L2)
- IMPERVIOUS-LIKE (L1)
- HIGH-OBJECTS (L1)
- LOW-OBJECTS (L1)
- MAN-MADE AND TALL-TREES (L1) και (L2)
- ASPHALT-SURFACES (L1) και (L2)
- SOIL (L1) και (L2)
- SPARSE-VEGETATION (L1) και (L2)
- RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK (L1) και (L2)
- PLOWED-LAND (L1) και (L2)
- TALL-TREES (L2)

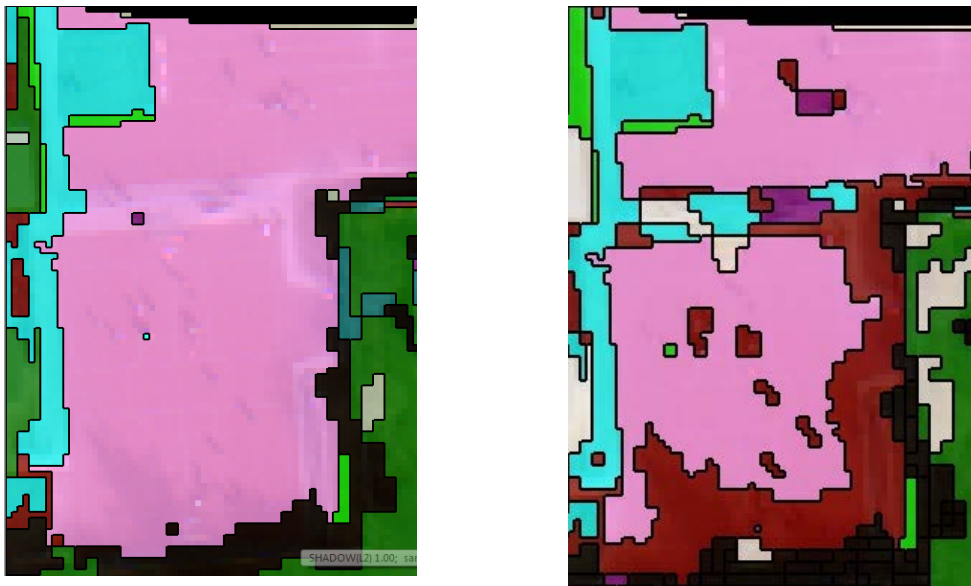
Όπως φαίνεται και στις *Εικόνες 3.70 έως και 3.72*, όπου παρουσιάζονται ορισμένα αποτελέσματα από τις ταξινομήσεις που έγιναν στις Περιοχές 2 & 3, οι κατηγορίες που δεν σχετίζονται με κτίρια εμφάνιζαν μεταξύ τους εμπλοκές.

Για παράδειγμα, στην *Εικόνα 3.70* φαίνεται το Επίπεδο 1 (Level 1), μετά το στάδιο της κατάτμησης και της ταξινόμησης της δεύτερης περιοχής (Περιοχή 2). Στα αριστερά παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της μεθοδολογίας ανάλυσης κάθε περιοχής ξεχωριστά, που ακολουθήθηκε στο *εδάφιο 3.5* του παρόντος Κεφαλαίου και αντίστοιχα, στα δεξιά το αποτέλεσμα μετά από την εφαρμογή της βάσης γνώσης που δημιουργήθηκε για την πρώτη περιοχή (Περιοχή 1). Εδώ διαπιστώθηκε ότι η κατηγορία ASPHALT-SURFACES, εμπλέκεται με την κατηγορία PLOWED-LAND .



Εικόνα 3.70: Σύγκριση βασικής μεθοδολογίας με εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης της πρώτης περιοχής στη δεύτερη περιοχή (Level 1)

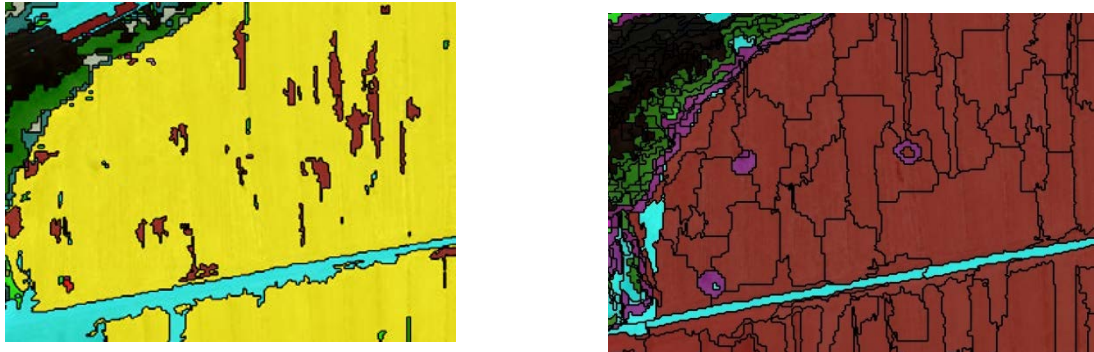
Αντίστοιχα, στην Εικόνα 3.71 φαίνεται το Επίπεδο 2 (Level 2), μετά το στάδιο της κατάτμησης και της ταξινόμησης της δεύτερης περιοχής (Περιοχή 2). Στα αριστερά, όπως και πριν, παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της μεθοδολογίας, του εδαφίου 3.5 και στα δεξιά το αποτέλεσμα μετά από την εφαρμογή της βάσης γνώσης της πρώτης περιοχής. Εδώ παρατηρήθηκε ότι η κατηγορία RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK, εμπλέκεται με τη SOIL, την TALL-TREES, και την ASPHALT-SURFACES.



Εικόνα 3.71: Σύγκριση βασικής μεθοδολογίας με εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης της πρώτης περιοχής στη δεύτερη περιοχή (Level 2)

Στην Εικόνα 3.72 φαίνεται το Επίπεδο 1 (Level 1), μετά το στάδιο της κατάτμησης και της ταξινόμησης, της τρίτης περιοχής (Περιοχή 3). Όπως και στις προηγούμενες, στα αριστερά της εικόνας παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της μεθοδολογίας που του εδαφίου 3.5 και στα δεξιά το αποτέλεσμα μετά από την εφαρμογή της βάσης γνώσης που δημιουργήθηκε για την πρώτη περιοχή (Περιοχή 1). Εδώ παρατηρήθηκε ότι η

κατηγορία PLOWED-LAND εμπλέκεται με τη SOIL και την ASPHALT-SURFACES.



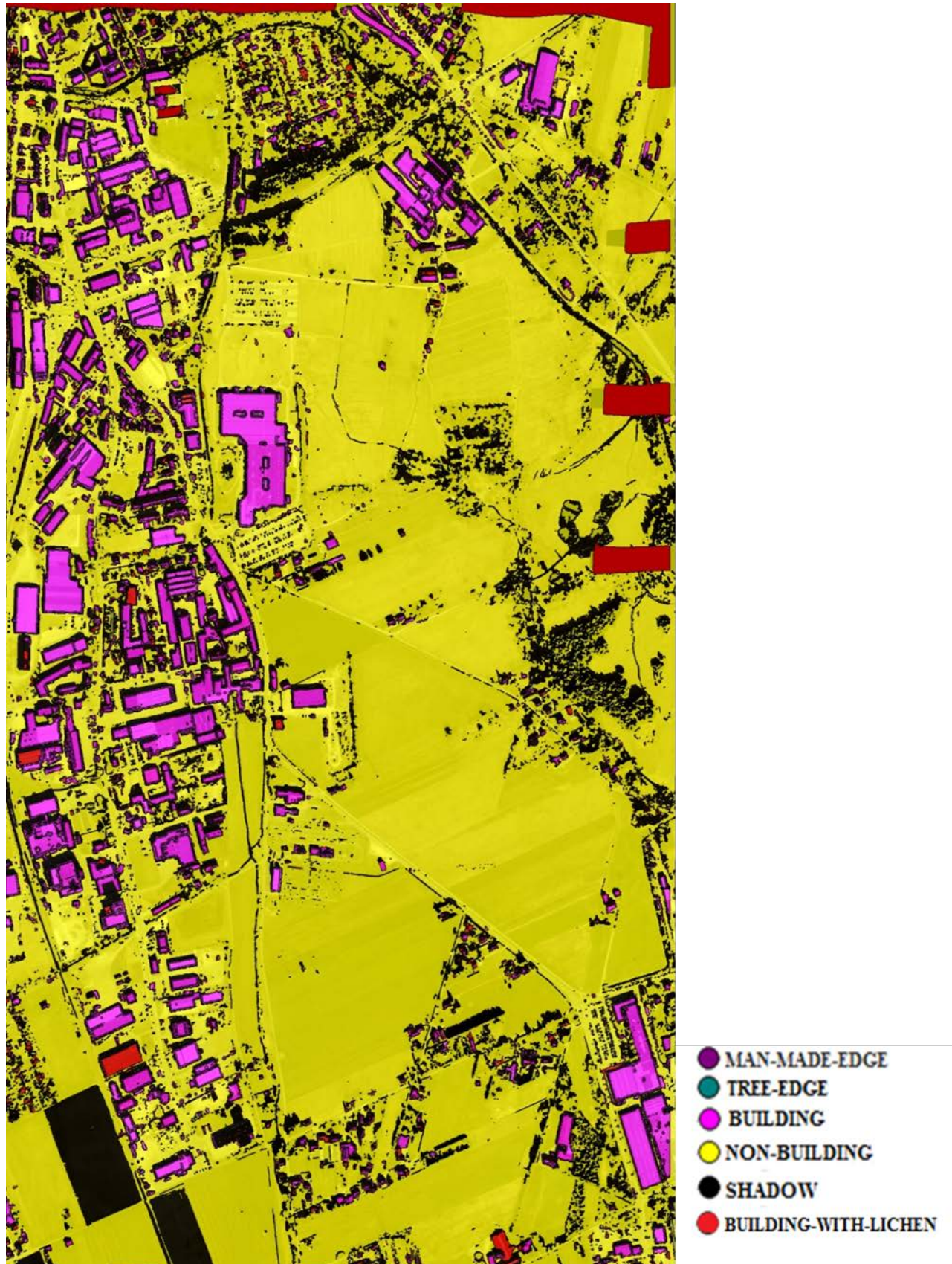
Εικόνα 3.72: Σύγκριση βασικής μεθοδολογίας με εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης της πρώτης περιοχής στην τρίτη περιοχή (Level 1)

Διευκρινίζεται ότι οι κατηγορίες SHADOW (L1) και (L2), EDGE (L1), TREE-EDGE (L1) και (L2), MAN-MADE-EDGE (L1) και (L2), BUILDING (L2) και η κατηγορία BUILDING-WITH-LICHEN (L2) της τρίτης περιοχής, ταξινομήθηκαν ορθά, και παρόμοια με τη μεθοδολογία ανάλυσης κάθε περιοχής ξεχωριστά, που ακολουθήθηκε στο *εδάφιο 3.5*. Ότι δεν ήταν κτίριο χαρακτηριζόταν ως NON-BUILDING. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται τόσο από οπτική επισκόπηση, όσο και από την αξιολόγηση ακρίβειας ταξινόμησης των αντικειμένων, που φαίνεται στη συνέχεια, στο *εδάφιο 4.2*.

Επισημαίνεται ότι σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η ανίχνευση των κτιρίων στην δοθείσα εικόνα. Τα εν λόγω αντικείμενα ταξινομήθηκαν σωστά και με την εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης, οπότε η ανίχνευση των κτιρίων επιτεύχθηκε ανεξάρτητα της εφαρμοσθείσας μεθοδολογίας. Οι εμπλοκές που διαπιστώθηκαν αφορούσαν μόνο στα αντικείμενα NON-BUILDING, η ανίχνευση των οποίων εκφεύγει του σκοπού της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 3.73: Εφαρμογή Εννιαίας Βάσης Γνώσης στην Περιοχή 2 για την ανίχνευση των κτιρίων



Εικόνα 3.74: Εφαρμογή Εννιαίας Βάσης Γνώσης στην Περιοχή 3 για την ανίχνευση των κτιρίων

4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Μετά το στάδιο της ταξινόμησης και για την τεκμηρίωση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, κρίθηκε σκόπιμη η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της. Η εν λόγω αξιολόγηση, όπως αναφέρθηκε και στο *εδάφιο 2.8.9*, του Κεφαλαίου «**Ανασκόπηση Πεδίου**», πραγματοποιήθηκε μέσω διαθέσιμων εργαλείων του λογισμικού **e-Cognition**, και ειδικότερα με τη χρήση των ακόλουθων τριών (3):

- Το εργαλείο αξιολόγησης Την Μέθοδο «βάσει αποτελέσματος της καλύτερης ταξινόμησης» (Best Classification Result)
- Το εργαλείο αξιολόγησης Την Μέθοδο «της σταθερότητας ταξινόμησης (Classification Stability)
- Το εργαλείο αξιολόγησης Την Μέθοδο πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples)

4.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΞΧΩΡΙΣΤΑ

Αρχικά αξιολογείται η ταξινόμηση των τριών περιοχών μελέτης ξεχωριστά, σύμφωνα με την μεθοδολογία που περιγράφεται στο *εδάφιο 3.5*. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται με τις τρεις μεθόδους που προαναφέρθηκαν, δηλαδή: της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result), της σταθερότητας της ταξινόμησης (Classification Stability) και του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples).

4.1.1 Αξιολόγηση με τη Μέθοδο Καλύτερης Ταξινόμησης (Best Classification Result)

Δεδομένο του ότι το λογισμικό e-Cognition βασίζεται κατά την ταξινόμηση στην ασαφή λογική, η οποία χρησιμοποιείται για τον ορισμό των κατηγοριών (*classes*), το εργαλείο BEST CLASSIFICATION RESULT, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ελέγχει το βαθμό συμμετοχής ενός αντικειμένου σε περισσότερες από μία τάξεις. Με το εργαλείο αυτό, η τελική ταξινόμηση του εκάστοτε αντικειμένου πραγματοποιείται στην τάξη για την οποία παρουσιάζει το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Ένα χρήσιμο μέτρο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων είναι η διερεύνηση του κατά πόσο υψηλές είναι οι τιμές των μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής, βάσει των οποίων διαμορφώθηκε η τελική ταξινόμηση των αντικειμένων. Το εξαγόμενο αποτέλεσμα της εν λόγω αξιολόγησης είναι αριθμητικό και γραφικό.

Το αριθμητικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης είναι ένας πίνακας με τιμές που προέκυψαν από στατιστικές συναρτήσεις, για τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής με τους οποίους ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα στην εκάστοτε τάξη. Στον πίνακα αυτό, παρουσιάζονται ο αριθμός των αντικειμένων που ανήκουν στην κάθε κλάση και τέσσερα στατιστικά στοιχεία (ελάχιστο, μέγιστο, μέσος όρος και τυπική απόκλιση),

τα οποία αναφέρονται στους βαθμούς συμμετοχής. Τιμές του μέσου όρου βαθμού συμμετοχής, άνω του **0,75** χαρακτηρίζουν την επιτυχή ταξινόμηση των κατηγοριών.

Το γραφικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης είναι μια εικόνα, όπου εάν απεικονίζεται η εξεταζόμενη περιοχή εξ' ολοκλήρου με πράσινο χρώμα, αυτό δηλώνει ότι οι κατηγορίες ταξινομήθηκαν με τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής. Εάν η απεικόνιση πραγματοποιείται με κόκκινο χρώμα είναι ενδεικτική εμπλοκών μεταξύ των κατηγοριών και τέλος εάν πραγματοποιείται με πορτοκαλί χρώμα, τότε η ταξινόμηση θεωρείται μερικά επιτυχής.

4.1.1.1 Περιοχή μελέτης 1

4.1.1.1.1 Level 1

Η ακρίβεια ταξινόμησης του Level 1 της πρώτης περιοχής, αξιολογήθηκε αρχικά με τη μέθοδο βάσει αποτελέσματος καλύτερης ταξινόμησης (best classification result), όπου διερευνήθηκε το πόσο υψηλές ήταν οι τιμές των μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής βάσει των οποίων έγινε η τελική ταξινόμηση των τμημάτων. Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το Επίπεδο 1 της Περιοχής 1 φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.1, και το γραφικό αποτέλεσμα παρατίθεται στην Εικόνα 4.1.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
DENSE-VEGETATION(L1)	45088	0.95759094115	0.10560792949	0.50018513203	1
SHADOW(L1)	68146	0.99421288375	0.039850295827	0.50029838085	1
IMPERVIOUS-LIKE(L1)	20955	0.97529305439	0.083875744967	0.50058364868	1
HIGH-OBJECTS(L1)	18800	0.97512934428	0.08433346996	0.50164401531	1
LOW-OBJECTS(L1)	2155	0.9767212447	0.079757025293	0.50058364868	1
ASPHALT-SURFACES(L1)	2155	0.9767212447	0.079757025293	0.50058364868	1
SOIL-LIKE(L1)	17776	0.96474140584	0.096648376652	0.5	1
SPARSE-VEGETATION(L1)	21511	0.96540957275	0.096425197338	0.50052660704	1
EDGE(L1)	5720	0.98203614913	0.071089941158	0.50339120626	1
MAN-MADE AND TALL-TREES(L1)	18800	0.97512934428	0.08433346996	0.50164401531	1
MAN-MADE-EDGE(L1)	5720	0.98203614913	0.071089941158	0.50339120626	1
TREE-EDGE(L1)	19260	0.95216902852	0.11105794852	0.50018513203	1

Πίνακας 4.1: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης, για το Level 1 της Περιοχής 1

Από το γραφικό αποτέλεσμα της Εικόνας 4.1 εξάγεται το συμπέρασμα ότι η συντριπτική πλειονότητα των αντικειμένων του Level 1 δεν είναι αμφιλεγόμενη, καθώς το πράσινο χρώμα αντιστοιχεί σε απόλυτα μη αμφιλεγόμενο αντικείμενο με βαθμό συμμετοχής 1.0. Επίσης, σύμφωνα με τον στατιστικό Πίνακα 4.1, παρατηρήθηκε ότι τα αντικείμενα ταξινομήθηκαν στις κατηγορίες που

αντιστοιχούσαν με μέσο όρο βαθμών συμμετοχής 0,972 και πολύ μικρή απόκλιση, της τάξης του $\pm 0,084$ και άρα η ταξινόμηση βάσει καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης θεωρήθηκε επιτυχής και οι κατηγορίες (classes) ταξινομήθηκαν με τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής.



Εικόνα 4.1: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης, για το Level 1 της Περιοχής 1

4.1.1.1.2 Level 2

Ακολούθησε ακρίβεια ταξινόμησης του Level 2 της πρώτης περιοχής με την μέθοδο βάσει αποτελέσματος καλύτερης ταξινόμησης. Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 1 φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.2, και το γραφικό αποτέλεσμα παρατίθεται στην Εικόνα 4.2.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
DENSE-VEGETATION(L2)	29097	0.99997366786	0.002894922591	0.52859050035	1
TALL-TREES(L2)	9637	0.99992049535	0.0050298363019	0.52859050035	1
BRIDGE(L2)	13	0.94986944015	0.11160824464	0.68875217438	1
ASPHALT-SURFACES(L2)	1924	1	0	1	1
MAN-MADE-EDGE(L2)	5079	1	0	1	1
TREE-EDGE(L2)	7399	1	0	1	1
SOIL-LIKE(L2)	0				
SPARSE-VEGETATION(L2)	6042	1	0	1	1
BUILDINGS(L2)	480	0.99918693217	0.010744583477	0.82831537724	1
BUILDINGS WITH LICHEN(L2)	52	0.99588081355	0.022081243991	0.84388309717	1
MAN-MADE AND TALL-TREES(L2)	9328	0.99952034552	0.011753293341	0.53888887167	1
OTHER(L2)	3769	0.9989164382	0.018069163916	0.53888887167	1
RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK(L2)	1832	0.99812650264	0.023756752816	0.53888887167	1
SOIL(L2)	3567	0.99919377406	0.01460834891	0.63943088055	1
PLOWED-LAND(L2)	1855	1	0	1	1

Πίνακας 4.2: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης, για το Level 2 της Περιοχής 1



Εικόνα 4.2: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης, για το Level 2 της Περιοχής 1

Όπως και για το Επίπεδο 1, από το γραφικό αποτέλεσμα της Εικόνας 4.2 εξάγεται το συμπέρασμα ότι η συντριπτική πλειονότητα των αντικειμένων του Level 2 δεν ήταν αμφιλεγόμενη, αφού όλα τα αντικείμενα απεικονίζονταν με πράσινο χρώμα. Επίσης, σύμφωνα με τον στατιστικό Πίνακα 4.2, παρατηρήθηκε ότι τα αντικείμενα ταξινομήθηκαν στις κατηγορίες που αντιστοιχούσαν με μέσο όρο βαθμών συμμετοχής 0,995 και τυπική απόκλιση ίση με $\pm 0,025$, που είναι κοντά στο μηδέν, οπότε η ταξινόμηση βάσει καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης της περιοχής

μελέτης 1 θεωρήθηκε επιτυχής και οι κατηγορίες ταξινομήθηκαν με τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής.

4.1.1.2 Περιοχή μελέτης 2

4.1.1.2.1 Level 1

Η ακρίβεια ταξινόμησης του Level 1 της δεύτερης περιοχής, με τη μέθοδο βάσει αποτελέσματος καλύτερης ταξινόμησης (best classification result), φαίνεται στον στατιστικό Πίνακα 4.3 και το γραφικό αποτέλεσμα απεικονίζεται στην Εικόνα 4.3.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
DENSE-VEGETATION(L1)	21508	0.98823236519	0.057313409784	0.50184351206	1
SHADOW(L1)	144207	0.99994416691	0.0015921991664	0.5672031045	1
IMPERVIOUS-LIKE(L1)	37357	0.99812052117	0.023411226966	0.5	1
HIGH-OBJECTS(L1)	31931	0.99822574825	0.022673047924	0.5	1
LOW-OBJECTS(L1)	5426	0.99750127941	0.027346465012	0.5074468255	1
EDGE(L1)	13115	0.99943676043	0.012975413565	0.5	1
MAN-MADE AND TALL-TREES(L1)	31931	0.99822574825	0.022673047924	0.5	1
MAN-MADE-EDGE(L1)	13115	0.99943676043	0.012975413565	0.5	1
TREE-EDGE(L1)	6789	0.98559684508	0.062063573452	0.50184351206	1
SOIL(L1)	7603	0.99853311332	0.02009280011	0.51001816988	1
ASPHALT-SURFACES(L1)	4297	0.99860416253	0.02087450463	0.5074468255	1
SPARSE-VEGETATION(L1)	4622	0.98492460664	0.06352405215	0.50351291895	1
RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK(L1)	1129	0.99330368086	0.043742193887	0.53620690107	1
PLOWED-LAND(L1)	925	0.99864541208	0.019052319546	0.57638460398	1

Πίνακας 4.3: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης, για το Level 1 της Περιοχής 2

Και σε αυτήν την περιοχή τα αντικείμενα του Level 1, δεν ήταν αμφιλεγόμενα αφού απεικονίζονταν με πράσινο χρώμα. Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.3, ο μέσος όρος βαθμού συμμετοχής ήταν 0,994 και τυπική απόκλιση ίση με $\pm 0,029$, οπότε η ταξινόμηση βάσει καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης θεωρήθηκε και εδώ επιτυχής και οι κατηγορίες ταξινομήθηκαν με τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής.



Εικόνα 4.3: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης, για το Level 1 της Περιοχής 2

4.1.1.2.2 Level 2

Όπως και για το Επίπεδο 1, τα αντικείμενα του Level 2 της υπόψη περιοχής χαρακτηρίστηκαν ως μη-αμφιλεγόμενα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.4 όπου τα αντικείμενα απεικονίζονται πράσινα. Από τον Πίνακα 4.4 προκύπτει δε ότι ο μέσος όρος βαθμού συμμετοχής ήταν 0,997 και η τυπική απόκλιση ίση με $\pm 0,009$, οπότε η ταξινόμηση βάσει καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης θεωρήθηκε και εδώ επιτυχής και οι κατηγορίες ταξινομήθηκαν με τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
DENSE-VEGETATION(L2)	16718	1	0	1	1
MAN-MADE-EDGE(L2)	7301	1	0	1	1
TREE-EDGE(L2)	3133	1	0	1	1
MAN-MADE AND TALL-TREES(L2)	16596	0.99999646933	0.0003515495035	0.95776861906	1
BUILDING(L2)	5367	1	0	1	1
TALL-TREES(L2)	2798	1	0	1	1
BRIDGE(L2)	21	0.99720976182	0.0094812185516	0.95776861906	1
ASPHALT-SURFACES(L2)	3031	1	0	1	1
RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK(L2)	876	1	0	1	1
SOIL(L2)	5979	1	1,23E-02	1	1
SPARSE-VEGETATION(L2)	4062	1	0	1	1
PLOWED-LAND(L2)	765	1	1,22E-02	1	1
SHADOW(L2)	9167	1	0	1	1

Πίνακας 4.4: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης, για το Level 2 της Περιοχής 2



Εικόνα 4.4: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης, για το Level 2 της Περιοχής 2

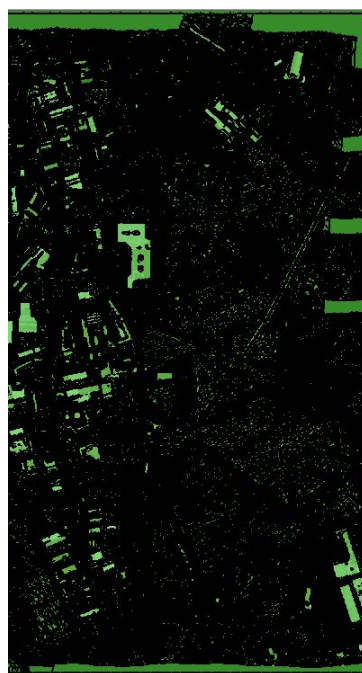
4.1.1.3 Περιοχή μελέτης 3

4.1.1.3.1 Level 1

Τα αριθμητικά αποτελέσματα για την ακρίβεια ταξινόμησης του Level 1 της τρίτης περιοχής, με τη μέθοδο *βάσει αποτελέσματος καλύτερης ταξινόμησης*, που φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.5, καθώς και το γραφικό αποτέλεσμα που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.5, έδειξαν ότι τα αντικείμενα του Level 1, δεν είναι αμφιλεγόμενα. Τα αντικείμενα απεικονίζονταν με πράσινο χρώμα, έχουν μέσο όρο βαθμού συμμετοχής ίσο με 0,997 και τυπική απόκλιση ίση με $\pm 0,044$, οπότε η ταξινόμηση θεωρήθηκε και εδώ επιτυχής και οι κατηγορίες ταξινομήθηκαν με τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
DENSE-VEGETATION(L1)	154676	0.98471842759	0.065017597142	0.5	1
SHADOW(L1)	74040	1	0	1	1
IMPERVIOUS-LIKE(L1)	83268	0.99731055648	0.02900871144	0.5	1
HIGH-OBJECTS(L1)	25894	0.99256560875	0.048089579431	0.5	1
LOW-OBJECTS(L1)	57374	0.99945204351	0.012760137051	0.51131528616	1
SPARSE-VEGETATION(L1)	20402	0.9735101405	0.083699602328	0.50028276443	1
PLOWED-LAND(L1)	9637	0.99163707651	0.049684974247	0.5000847578	1
ASPHALT-SURFACES(L1)	56940	0.99944786695	0.012808583975	0.51131528616	1
SOIL(L1)	10328	0.98775490339	0.058267741176	0.50174707174	1
RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK(L1)	434	1	0	1	1
MAN-MADE-EDGE(L1)	10663	0.99926005328	0.015241423669	0.50535321236	1
TREE-EDGE(L1)	9445	0.97146880181	0.088987185653	0.5009163022	1
EDGE(L1)	10663	0.99926005328	0.015241423669	0.50535321236	1
MAN-MADE-AND TREES(L1)	25894	0.99256560875	0.048089579431	0.5	1

Πίνακας 4.5: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης, για το Level 1 της Περιοχής 3



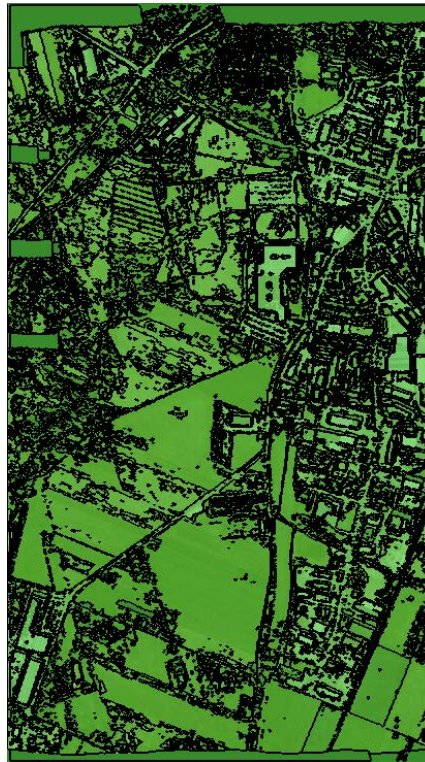
Εικόνα 4.5: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης, για το Level 1 της Περιοχής 3

4.1.1.3.2 Level 2

Ακολουθώντας, τα αριθμητικά αποτελέσματα για την ακρίβεια ταξινόμησης του Level 2 της τρίτης περιοχής, που φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.6 καθώς και το γραφικό αποτέλεσμα που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.6, έδειξαν ότι τα αντικείμενα του Level 2, δεν είναι αμφιλεγόμενα. Αυτά απεικονίζονταν με πράσινο χρώμα, είχαν μέσο όρο βαθμού συμμετοχής ίσο με 0,999 και τυπική απόκλιση ίση με $\pm 0,007$. Συνεπώς και η ταξινόμηση του Level 2 ήταν επιτυχής και οι κατηγορίες ταξινομήθηκαν με τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
BUILDING(L2)	9186	0.99997369807	0.0023861171706	0.77167832851	1
DENSE-VEGETATION(L2)	22654	0.99997359207	0.0028686436009	0.58389830589	1
MAN-MADE-EDGE(L2)	7984	1	1.07E-02	1	1
TREE-EDGE(L2)	7275	1	1.12E-02	1	1
ASPHALT-SURFACES(L2)	3467	1	1.15E-02	1	1
RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK(L2)	354	1	0	1	1
SOIL(L2)	4560	1	0	1	1
SPARSE-VEGETATION(L2)	5823	1	0	1	1
MAN-MADE AND TALL-TREES(L2)	20991	0.99998848985	0.0015785315255	0.77167832851	1
OTHER(L2)	3821	1	1.09E-02	1	1
PLOWED-LAND(L2)	2855	1	0	1	1
SHADOW(L2)	6850	1	0	1	1
BUILDING-WITH-LICHEN(L2)	7986	0.99996974587	0.0025590947682	0.77167832851	1
TALL-TREES(L2)	2594	0.99976937348	0.0084746486551	0.58389830589	1

Πίνακας 4.6: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης, για το Level 2 της Περιοχής 3



Εικόνα 4.6: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης, για το Level 2 της Περιοχής 3

4.1.2 Αξιολόγηση με τη Μέθοδο Σταθερότητας της Ταξινόμησης (Classification Stability)

Όπως προαναφέρθηκε, με την προηγούμενη μέθοδο best classification result, για κάθε αντικείμενο, λαμβάνεται υπόψη μόνο η κατηγορία για την οποία παρουσίαζε το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Κατά συνέπεια η αξιολόγηση της σαφήνειας περιγραφής της κατηγορίας, δεν ήταν δυνατόν να βασίζεται αποκλειστικά σε αυτήν

την μέθοδο και έτσι η ακρίβεια της ταξινόμησης εξετάσθηκε συμπληρωματικά και με τη μέθοδο *σταθερότητας ταξινόμησης* (classification stability).

Όπως αναφέρθηκε αναλυτικότερα στο εδάφιο 2.8.9, περί της εν λόγω μεθόδου, η αξιολόγηση αυτή βασίζεται στην απόκλιση που έχουν οι δύο μεγαλύτεροι βαθμοί συμμετοχής του εκάστοτε αντικειμένου. Το εξαγόμενο αποτέλεσμα της εν λόγω αξιολόγησης είναι αριθμητικό και γραφικό.

Το αριθμητικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης είναι πίνακας με τιμές που προέκυψαν από στατιστικές συναρτήσεις, για τις διαφορές των δύο μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής για κάθε κατηγορία. **Τιμές άνω του 0,75 χαρακτηρίζουν την επιτυχή ταξινόμηση των κατηγοριών.**

Το γραφικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης είναι μια εικόνα, όπου εάν απεικονίζεται η εξεταζόμενη περιοχή εξ' ολοκλήρου με πράσινο χρώμα, αυτό δηλώνει ότι οι κατηγορίες ταξινομήθηκαν με επιτυχία. Εάν η απεικόνιση πραγματοποιείται με κόκκινο χρώμα είναι ενδεικτική εμπλοκών μεταξύ των κατηγοριών και τέλος εάν πραγματοποιείται με πορτοκαλί χρώμα, τότε η ταξινόμηση θεωρείται μερικά επιτυχής.

4.1.2.1 Περιοχή μελέτης 1

4.1.2.1.1 Level 1

Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το Επίπεδο 1 της Περιοχής 1, φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.7 και το γραφικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης παρατίθεται στην Εικόνα 4.7.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
DENSE-VEGETATION(L1)	45088	0.91936178132	0.21113801615	0.00037023425102	1
SHADOW(L1)	68146	0.98911697131	0.079111756965	0.00059676170349	1
IMPERVIOUS-LIKE(L1)	20955	0.95293079315	0.16722051147	0.0011672973633	1
HIGH-OBJECTS(L1)	18800	0.95260813493	0.16814465744	0.003288008221	1
LOW-OBJECTS(L1)	2155	0.95574563054	0.15890280646	0.0011672973633	1
ASPHALT-SURFACES(L1)	2155	0.95574563054	0.15890280646	0.0011672973633	1
SOIL-LIKE(L1)	17776	0.93341934477	0.19290303424	0	1
SPARSE-VEGETATION(L1)	21511	0.93432210584	0.19249404664	0.0010531842709	1
EDGE(L1)	5720	0.96628874408	0.14141353368	0.006782412529	1
MAN-MADE AND TALL-TREES(L1)	18800	0.95260813493	0.16814465744	0.003288008221	1
MAN-MADE-EDGE(L1)	5720	0.96628874408	0.14141353368	0.006782412529	1
TREE-EDGE(L1)	19260	0.90897570788	0.22226236491	0.00037023425102	1

Πίνακας 4.7: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, για το Level 1 της Περιοχής 1

Παρατηρώντας το γραφικό αποτέλεσμα της Εικόνας 4.7 φαίνεται ότι απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, αντικείμενα που ανήκουν στις κατηγορίες TREE-EDGE (L1) και DENSE-VEGETATION(L1), ενώ όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα έχουν πράσινο ή πορτοκαλί χρώμα. Μελετώντας όμως τα αριθμητικά αποτελέσματα του Πίνακα 4.7, προκύπτει ότι η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με τη δεύτερη καλύτερη

ταξινόμηση, έπαιρνε τιμές μεγαλύτερες από 0,908 που είναι σαφώς πάνω από 0,75 και άρα εξαιρετικά ικανοποιητικές. Η τυπική απόκλιση επίσης, έπαιρνε τιμές πολύ κοντά στο μηδέν, άρα από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι η αξιολόγηση της ταξινόμησης του Level 1 και με αυτή τη μέθοδο χαρακτηρίζεται ως επιτυχής.



Εικόνα 4.7: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, για το Level 1 της Περιοχής 1

4.1.2.1.2 Level 2

Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 1, φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.8 και το γραφικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης παρατίθεται στην Εικόνα 4.8.

Από την Εικόνα 4.8, λόγω της απεικόνισης των αντικειμένων αποκλειστικά με πράσινο χρώμα, αποκλείεται οποιαδήποτε εμπλοκή μεταξύ των τάξεων και συνεπώς δεν υπάρχουν αμφιλεγόμενα αντικείμενα. Επιπλέον βλέποντας τα αριθμητικά αποτελέσματα του στατιστικού Πίνακα 4.8, για τις τάξεις που ανήκουν στο Level 2, παρατηρείται ότι η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με τη δεύτερη καλύτερη ταξινόμηση, έπαιρνε τιμές πάνω από 0,90 και τυπική απόκλιση κοντά στο μηδέν που

είναι εξαιρετικά ικανοποιητικές τιμές. Από τα αποτελέσματα αυτά ήταν εμφανές ότι η ταξινόμηση ήταν απολύτως σταθερή. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αντικείμενα των κατηγοριών BUILDINGS (L2) και BUILDINGS-WITH-LICHEN (L2) είχαν βαθμό συμμετοχής και τυπική απόκλιση $0,999 \pm 0,021$ και $0,993 \pm 0,043$ αντίστοιχα, άρα η ταξινόμηση των κατηγοριών ενδιαφέροντος ήταν απόλυτα επιτυχής.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
SHADOW(L2)	5506	1	0	1	1
DENSE-VEGETATION(L2)	29097	0.99995331212	0.0057269555806	0.05718100071	1
TALL-TREES(L2)	9637	0.99985903527	0.0099505674625	0.05718100071	1
BRIDGE(L2)	13	0.90198515929	0.2237726507	0.37750434875	1
ASPHALT-SURFACES(L2)	1924	1	0	1	1
MAN-MADE-EDGE(L2)	5079	1	0	1	1
TREE-EDGE(L2)	7399	1	0	1	1
SOIL-LIKE(L2)	0				
SPARSE-VEGETATION(L2)	6042	1	0	1	1
BUILDINGS(L2)	480	0.9985040123	0.021223096003	0.65663072467	1
BUILDINGS WITH LICHEN(L2)	52	0.99287856571	0.043127010877	0.68776620924	1
MAN-MADE AND TALL-TREES(L2)	9328	0.9991098805	0.023208740589	0.07777773142	1
OTHER(L2)	3769	0.9979875403	0.035684330825	0.07777773142	1
RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK(L2)	1832	0.99655525782	0.046826168075	0.07777773142	1
SOIL(L2)	3567	0.99839669315	0.029208041644	0.27886176109	1
PLOWED-LAND(L2)	1855	1	0	1	1

Πίνακας 4.8: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, για το Level 2 της Περιοχής 1



Εικόνα 4.8: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, για το Level 2 της Περιοχής 1

4.1.2.2 Περιοχή μελέτης 2

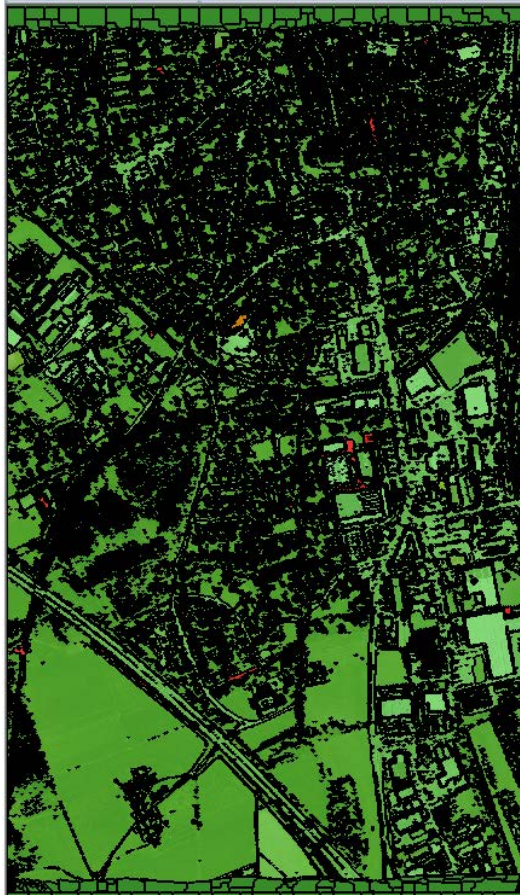
4.1.2.2.1 Level 1

Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το Επίπεδο 1 της Περιοχής 2, φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.9 και το γραφικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης παρατίθεται στην Εικόνα 4.9.

Παρατηρώντας το γραφικό αποτέλεσμα της Εικόνας 4.9 φαίνεται ότι απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, αντικείμενα που ανήκουν στην κατηγορία ASPHALT-SURFACES (L1) και ήταν αμφιλεγόμενα, ενώ όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα είχαν πράσινο ή πορτοκαλί χρώμα. Μελετώντας όμως τα αριθμητικά αποτελέσματα του Πίνακα 4.9, προκύπτει ότι η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με τη δεύτερη καλύτερη ταξινόμηση, έπαιρνε τιμές μεγαλύτερες από 0,853 που είναι σαφώς πάνω από 0,75 και άρα εξαιρετικά ικανοποιητικές. Η τυπική απόκλιση επίσης, έπαιρνε τιμές πολύ κοντά στο μηδέν (με εξαίρεση αυτή των ASPHALT-SURFACES (L1) που ήταν $\pm 0,353$), οπότε από την συνεκτίμηση των παραπάνω αποτελεσμάτων εξάγεται το συμπέρασμα ότι η αξιολόγηση της ταξινόμησης του Level 1 και με αυτή τη μέθοδο χαρακτηρίζεται ως επιτυχής.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
DENSE-VEGETATION(L1)	21508	0.96816001555	0.15057252713	0	1
SHADOW(L1)	144207	0.99993899638	0.0027325814105	0.13440620899	1
IMPERVIOUS-LIKE(L1)	37357	0.97984814403	0.13569482274	0	1
HIGH-OBJECTS(L1)	31931	0.9966415146	0.045007953495	0	1
LOW-OBJECTS(L1)	5426	0.8810222841	0.32159529147	0	1
EDGE(L1)	13115	0.99894025327	0.025734878599	0	1
MAN-MADE AND TALL-TREES(L1)	31931	0.9966415146	0.045007953495	0	1
MAN-MADE-EDGE(L1)	13115	0.99894025327	0.025734878599	0	1
TREE-EDGE(L1)	6789	0.97331152102	0.12309661681	0.0036869943142	1
SOIL(L1)	7603	0.9972660318	0.039794741635	0.02003633976	1
ASPHALT-SURFACES(L1)	4297	0.85312418439	0.35337267159	0	1
SPARSE-VEGETATION(L1)	4622	0.92728295171	0.24048188109	0	1
RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK(L1)	1129	0.9872030941	0.08690584913	0.072413802147	1
PLOWED-LAND(L1)	925	0.99147589133	0.089106651276	0	1

Πίνακας 4.9: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, για το Level 1 της Περιοχής 2



Εικόνα 4.9: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, για το Level 1 της Περιοχής 2

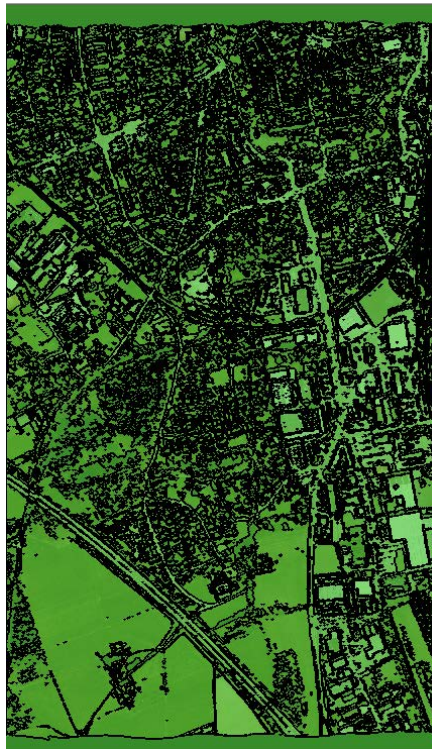
4.1.2.2.2 Level 2

Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 2 φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.10 και το γραφικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης παρατίθεται στην Εικόνα 4.10.

Από την Εικόνα 4.10, λόγω της απεικόνισης των αντικειμένων αποκλειστικά με πράσινο χρώμα, αποκλείεται οποιαδήποτε εμπλοκή μεταξύ των τάξεων και συνεπώς δεν υπάρχουν αμφιλεγόμενα αντικείμενα. Επιπλέον βλέποντας τα αριθμητικά αποτελέσματα του στατιστικό Πίνακα 4.10, για τις τάξεις που ανήκουν στο Level 2, παρατηρείται ότι η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με τη δεύτερη καλύτερη ταξινόμηση, έπαιρνε τιμές πάνω από 0,997 και τυπική απόκλιση κοντά στο μηδέν. Από τα αποτελέσματα αυτά είναι προφανές ότι η ταξινόμηση ήταν απόλυτα σταθερή.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
DENSE-VEGETATION(L2)	16718	0.99981332599	0.013362235083	0	1
MAN-MADE-EDGE(L2)	7301	0.99959505206	0.018385008169	0	1
TREE-EDGE(L2)	3133	0.99936698697	0.025046301455	0.0039130449295	1
MAN-MADE AND TALL-TREES(L2)	16596	0.99974934306	0.01450344669	0	1
BUILDING(L2)	5367	1	0	1	1
TALL-TREES(L2)	2798	1	0	1	1
BRIDGE(L2)	21	0.99720976182	0.0094812185516	0.95776861906	1
ASPHALT-SURFACES(L2)	3031	0.99962230861	0.018349314339	0	1
RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK(L2)	876	1	0	1	1
SOIL(L2)	5979	1	1.23E-02	1	1
SPARSE-VEGETATION(L2)	4062	1	0	1	1
PLOWED-LAND(L2)	765	1	1.22E-02	1	1
SHADOW(L2)	9167	0.99995744243	0.0040744292649	0.60987472534	1

Πίνακας 4.10: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, για το Level 2 της Περιοχής 2



Εικόνα 4.10: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, για το Level 2 της Περιοχής 2

4.1.2.3 Περιοχή μελέτης 3

4.1.2.3.1 Level 1

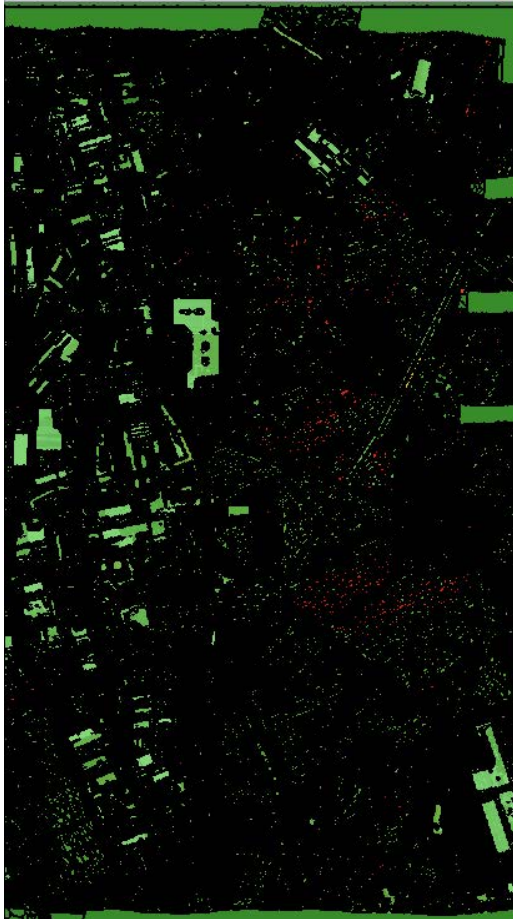
Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το Επίπεδο 1 της Περιοχής 3 φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.11 και το γραφικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης παρατίθεται στην Εικόνα 4.11.

Παρατηρώντας το γραφικό αποτέλεσμα της *Εικόνας 4.11* φαίνεται ότι απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, αντικείμενα που είχαν ταξινομηθεί στην κατηγορία SPARSE-VEGETATION (L1), που σημαίνει ότι ήταν αμφιλεγόμενα.

Μελετώντας όμως τα αριθμητικά αποτελέσματα του *Πίνακα 4.11*, προκύπτει ότι η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με τη δεύτερη καλύτερη ταξινόμηση, έπαιρνε τιμές μεγαλύτερες από 0,783 που είναι πάνω από 0,75 και τυπικές αποκλίσεις κοντά στο μηδέν. Οι εν λόγω τιμές κυμαίνονται μεταξύ ικανοποιητικών έως εξαιρετικά ικανοποιητικών. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι κύριος στόχος αξιολόγησης του Επιπέδου 2, ήταν η ορθή ταξινόμηση των κατηγοριών MAN-MADE AND TREES (L1), MAN-MADE-EDGE (L1) και TREE-EDGE (L1). Τα αντιπροσωπευτικά αντικείμενά των παραπάνω τριών κατηγοριών συμμετείχαν σε αυτές με υψηλή μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με τη δεύτερη καλύτερη ταξινόμηση, ($0,986 \pm 0,096$, $0,999 \pm 0,030$ και $0,946 \pm 0,178$ αντίστοιχα). Το γεγονός ότι η πλειονότητα των κατηγοριών παρήγαγε μη αμφιλεγόμενα αντικείμενα, οδηγεί στο συμπέρασμα της επιτυχούς αξιολόγησης της ταξινόμησης.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
DENSE-VEGETATION(L1)	154676	0.91623691958	0.25576629568	0	1
SHADOW(L1)	74040	1	0	1	1
IMPERVIOUS-LIKE(L1)	83268	0.87548595825	0.32533953526	0	1
HIGH-OBJECTS(L1)	25894	0.98582585694	0.095634128541	0	1
LOW-OBJECTS(L1)	57374	0.82568741995	0.37618307678	0	1
SPARSE-VEGETATION(L1)	20402	0.78305898746	0.47541702578	0	1
PLOWED-LAND(L1)	9637	0.87687045721	0.30624182088	0	1
ASPHALT-SURFACES(L1)	56940	0.8319805232	0.37061686873	0	1
SOIL(L1)	10328	0.97615335894	0.11820316697	0	1
RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK(L1)	434	0.8387300135	0.00091293801941	0	1
MAN-MADE-EDGE(L1)	10663	0.99859588144	0.030286199858	0.010706454515	1
TREE-EDGE(L1)	9445	0.94584478343	0.17750043848	0.0018326342106	1
EDGE(L1)	10663	0.99859588144	0.030286199858	0.010706454515	1
MAN-MADE-AND TREES(L1)	25894	0.98582585694	0.095634128541	0	1

Πίνακας 4.11: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, για το Level 1 της Περιοχής 3



Εικόνα 4.11: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, για το Level 1 της Περιοχής 3

4.1.2.3.2 Level 2

Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 3 φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.12 και το γραφικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης παρατίθεται στην Εικόνα 4.12.

Από την Εικόνα 4.12, λόγω της απεικόνισης των αντικειμένων αποκλειστικά με πράσινο χρώμα, αποκλείεται οποιαδήποτε εμπλοκή μεταξύ των τάξεων και συνεπώς δεν υπάρχουν αμφιλεγόμενα αντικείμενα.

Επιπλέον βλέποντας τα αριθμητικά αποτελέσματα του στατιστικό Πίνακα 4.12, για τις τάξεις που ανήκουν στο Level 2, παρατηρείται ότι η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με τη δεύτερη καλύτερη ταξινόμηση, έπαιρνε τιμή πάνω από 0,999 και τυπική απόκλιση κοντά στο μηδέν. Από τα αποτελέσματα αυτά είναι προφανές εμφανές ότι η ταξινόμηση ήταν απόλυτα σταθερή.

Επιπλέον, στον Πίνακα 4.12 φαίνεται ότι οι κατηγορίες ενδιαφέροντος BUILDING (L2) και BUILDING-WITH-LICHEN (L2) είχαν και οι δύο, συμμετάσχει στην

ταξινόμηση με μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με τη δεύτερη καλύτερη ταξινόμηση της τάξης του $0,999 \pm 0,005$.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
BUILDING(L2)	9186	0.99994884268	0.0047662046576	0.54335665703	1
DENSE-VEGETATION(L2)	22654	0.99995080934	0.0056991780749	0.16779661179	1
MAN-MADE-EDGE(L2)	7984	1	1.07E-02	1	1
TREE-EDGE(L2)	7275	1	1.12E-02	1	1
ASPHALT-SURFACES(L2)	3467	1	1.15E-02	1	1
RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK(L2)	354	1	0	1	1
SOIL(L2)	4560	1	0	1	1
SPARSE-VEGETATION(L2)	5823	1	0	1	1
MAN-MADE AND TALL-TREES(L2)	20991	0.99997761273	0.0031530685396	0.54335665703	1
OTHER(L2)	3821	1	1.09E-02	1	1
PLOWED-LAND(L2)	2855	1	0	1	1
SHADOW(L2)	6850	1	0	1	1
BUILDING-WITH-LICHEN(L2)	7986	0.99994115562	0.0051117251602	0.54335665703	1
TALL-TREES(L2)	2594	0.99957040663	0.016837381551	0.16779661179	1

Πίνακας 4.12: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, για το Level 2 της Περιοχής 3



Εικόνα 4.12: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, για το Level 2 της Περιοχής 3

4.1.3 Αξιολόγηση με τη Μέθοδο του Πίνακα Σύγκρισης Βασισμένου σε Δείγματα (Error Matrix Based on Samples)

Από τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων χρήσης των δύο προηγούμενων μεθόδων φαίνεται ότι δεν εξασφαλίζεται σε απόλυτο βαθμό η απαιτούμενη σαφήνεια αξιολόγησης. Για το λόγο αυτό, επιλέγεται τελικά η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης και με τη μέθοδο του πίνακα σύγκρισης βασισμένου σε δείγματα (error matrix based on samples).

Με τη μέθοδο αυτή αξιολογείται η ταξινόμηση μέσω δειγμάτων επιλεγμένων από τα αντικείμενα της εικόνας. Συγκεκριμένα, από τα δείγματα προκύπτει ο πίνακας σύγκρισης, 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 μηδέν (0), σημαίνει ότι κανένα από τα δείγματα της κατηγορίας δεν ταξινομήθηκε σε αυτήν και η τιμή ένα (1), σημαίνει ότι όλα τα δείγματά της καταχωρήθηκαν σε αυτήν.

Τα δείγματα λαμβάνονται επί της εικόνας βάσει φωτοερμηνευτικής εμπειρίας και δηλώνεται η καταχώρησή τους στις αντίστοιχες κατηγορίες. Οι κατηγορίες των δειγμάτων αντιστοιχίζονται με τις κατηγορίες της ταξινόμησης, συγκρίνονται και τελικά προκύπτει πίνακας σύγκρισης. Επισημαίνεται ότι τα επιλεγθέντα δείγματα για την αξιολόγηση, είναι διαφορετικά από εκείνα της ταξινόμησης του εγγύτερου γείτονα, τα οποία έχουν οπωσδήποτε ταξινομηθεί στις ορθές κατηγορίες.

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης με χρήση αυτής της μεθόδου για τις τρεις περιοχές μελέτης παρουσιάζονται στα επόμενα εδάφια.

4.1.3.1 Περιοχή μελέτης 1

Για το Επίπεδο 1 της Περιοχής 1, από την παρατήρηση του «Πίνακα σύγκρισης βασισμένου σε δείγματα για το Level 1 της Περιοχής 1», (Πίνακας 4.13), παρατηρείται ότι η τιμή της «συνολικής ακρίβειας» (overall accuracy) είναι ίση με 0,910 και ο «Δείκτης Συμφωνίας Κάπα» (Kappa Index of Agreement, KIA) είναι ίσος με 0,894, τιμές που χαρακτηρίζουν την ταξινόμηση ως επιτυχή.

User Class \ Sample	DENSE - VEGETATION (L1)	SHADOW (L1)	ASPHALT - SURFACES (L1)	SOIL -LIKE (L1)	SPARSE - VEGETATION (L1)	MAN - MADE AND TALL- TREES (L1)	MAN - MADE - EDGE (L1)	TREE - EDGE (L1)	Sum
DENSE - VEGETATION (L1)	10	0	0	0	0	0	0	0	10
SHADOW (L1)	0	41	0	2	0	0	2	0	45
ASPHALT - SURFACES (L1)	0	0	9	1	1	0	0	0	11
SOIL - LIKE (L1)	0	0	1	29	1	0	0	0	31
SPARSE - VEGETATION (L1)	0	0	0	3	22	0	0	1	26
MAN - MADE AND TALL - TREES (L1)	0	0	0	2	0	41	3	1	47
MAN - MADE - EDGE (L1)	0	0	0	0	0	0	21	0	21
TREE - EDGE (L1)	0	0	0	0	0	0	1	20	21
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	10	41	10	37	24	41	27	22	
Producer	1	1	0.9	0.78378378378	0.91666666667	1	0.77777777778	0.90909090909	
User	1	0.91111111111	0.81818181818	0.93548387097	0.84615384615	0.87234042553	1	0.95238095238	
Hellden	1	0.95348837209	0.85714285714	0.85294117647	0.88	0.93181818182	0.875	0.93023255814	
Short	1	0.91111111111	0.75	0.74358974359	0.78571428571	0.87234042553	0.77777777778	0.86956521739	
KIA Per Class	1	1	0.89452736318	0.74675227714	0.90501792115	1	0.753344968	0.89909566873	
Overall Accuracy	0.91037735849								
KIA	0.89444997642								

Πίνακας 4.13: Πίνακας σύγκρισης βασισμένος σε δείγματα για το Level 1 της Περιοχής 1

Στη συνέχεια, για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 1, από την παρατήρηση του «Πίνακα σύγκρισης βασισμένου σε δείγματα για το Level 2 της Περιοχής 1» (Πίνακας 4.14), προκύπτει ότι για τις κύριες κατηγορίες ενδιαφέροντος BUILDINGS (L2) και BUILDINGS-WITH-LICHEN (L2), όλα τα ληφθέντα δείγματα που είχαν δηλωθεί, καταχωρήθηκαν στις σωστές κατηγορίες.

Επιπλέον, τόσο η τιμή του «Δείκτης Συμφωνίας Κάπα» (Kappa Index of Agreement, KIA), που είναι ίση με 0,878, όσο και η τιμή της «συνολικής ακρίβειας» (overall accuracy) που είναι ίση με 0,892 υποδεικνύουν ότι γενικότερα η ταξινόμηση ήταν αξιόπιστη, οι κατηγορίες της περιγράφηκαν επαρκώς και ειδικότερα η ταξινόμηση των κτιρίων έγινε επιτυχώς. Συνεπώς, ο ορισμός των κατηγοριών και κατ' επέκταση η ταξινόμηση στο σύνολό της για την Περιοχή 1, χαρακτηρίζεται και με αυτή τη μέθοδο ως επιτυχής.

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ

Μπέκα Στυλιανή

User Class \ Sample	SHADOW (L2)	DENSE - VEGETATION (L2)	TALL - TREES (L2)	BRIDGE (L2)	ASPHALT - SURFACES (L2)	MAN - MADE-EDGE (L2)	TREE - EDGE (L2)	SPARSE - VEGETATION (L2)	BUILDINGS (L2)	BUILDINGS WITH LICHEN (L2)	RED - COLORED - COMPOSIT - TRACK (L2)	SOIL (L2)	PLOWED - LAND (L2)	Sum
SHADOW (L2)	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
DENSE - VEGETATION (L2)	0	11	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	13
TALL - TREES (L2)	0	0	13	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	17
BRIDGE (L2)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
ASPHALT - SURFACES (L2)	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10
MAN - MADE-EDGE (L2)	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	9
TREE - EDGE (L2)	0	0	4	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	18
SPARSE - VEGETATION (L2)	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	2	2	0	15
BUILDINGS (L2)	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	37
BUILDINGS WITH LICHEN (L2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
RED - COLORED - COMPOSIT - TRACK (L2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	6
SOIL (L2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8
PLOWED - LAND (L2)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	6	8
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	15	11	18	1	10	10	19	11	37	1	7	12	6	158
Producer	1	1	0.7222222222	1	1	0.9	0.73684210526	1	1	1	0.71428571429	0.6666666667	1	
User	1	0.84615384615	0.76470588235	1	1	1	0.77777777778	0.73333333333	1	1	0.83333333333	1	0.75	
Hellden	1	0.91666666667	0.74285714286	1	1	0.94736842105	0.75675675676	0.84615384615	1	1	0.76923076923	0.8	0.85714285714	
Short	1	0.84615384615	0.59090909091	1	1	0.9	0.60869565217	0.73333333333	1	1	0.625	0.66666666667	0.75	
KIA Per Class	1	1	0.68873128448	1	1	0.89395973154	0.7030075188	1	1	1	0.7030075188	0.64888888889	1	
Overall Accuracy	0.89240506329													
KIA	0.87810854965													

Πίνακας 4.14: Πίνακας σύγκρισης βασισμένος σε δείγματα για το Level 2 της Περιοχής 1

4.1.3.2 Περιοχή μελέτης 2

Για το Επίπεδο 1 της Περιοχής 2, από την παρατήρηση του «Πίνακα σύγκρισης βασισμένου σε δείγματα για το Level 1 της Περιοχής 2», (Πίνακας 4.15), παρατηρείται ότι η τιμή της «συνολικής ακρίβειας» (overall accuracy) είναι ίση με 0,988 και ο «Δείκτης Συμφωνίας Κάπα» (Kappa Index of Agreement, ΚΙΑ) είναι ίσος με 0,986, τιμές που χαρακτηρίζουν την ταξινόμηση ως απόλυτα επιτυχή.

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ

Μπέκα Στυλιανή

User Class \ Sample	DENSE - VEGETATION (L1)	SHADOW (L1)	MAN - MADE AND TALL - TREES (L1)	MAN - MADE - EDGE (L1)	TREE - EDGE (L1)	SOIL (L1)	ASPHALT - SURFACES (L1)	SPARSE - VEGETATION (L1)	RED - COLORED - COMPOSIT - TRACK (L1)	PLOWED - LAND (L1)	Sum
DENSE - VEGETATION (L1)	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
SHADOW (L1)	0	103	0	0	0	0	0	0	0	0	103
MAN - MADE AND TALL - TREES (L1)	0	0	23	1	0	0	0	0	0	0	24
MAN - MADE - EDGE (L1)	0	0	0	71	0	0	0	0	0	0	71
TREE - EDGE (L1)	0	0	0	1	15	0	0	0	0	0	16
SOIL (L1)	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	19
ASPHALT - SURFACES (L1)	0	0	0	0	0	0	9	0	0	1	10
SPARSE - VEGETATION (L1)	0	0	0	0	0	1	0	22	0	0	23
RED - COLORED - COMPOSIT - TRACK (L1)	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5
PLOWED - LAND (L1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	44	103	23	73	15	20	9	22	5	26	
Producer	1	1	1	0.97260273973	1	0.95	1	1	1	0.96153846154	
User	1	1	0.95833333333	1	0.9375	1	0.9	0.95652173913	1	1	
Hellden	1	1	0.97872340426	0.98611111111	0.96774193548	0.97435897436	0.94736842105	0.97777777778	1	0.98039215686	
Short	1	1	0.95833333333	0.97260273973	0.9375	0.95	0.9	0.95652173913	1	0.96153846154	
KIA Per Class	1	1	1	0.96537149259	1	0.94704049844	1	1	1	0.95848595849	
Overall Accuracy	0.98823529412										
KIA	0.985748567										

Πίνακας 4.15: Πίνακας σύγκρισης βασισμένος σε δείγματα για το Level 1 της Περιοχής 2

Στη συνέχεια, για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 2, από την παρατήρηση του «Πίνακα σύγκρισης βασισμένου σε δείγματα για το Level 2 της Περιοχής 2» (Πίνακας 4.16), προκύπτει ότι για την κύρια κατηγορία ενδιαφέροντος BUILDINGS (L2), όλα τα ληφθέντα δείγματα που είχαν δηλωθεί, καταχωρήθηκαν στις σωστές κατηγορίες.

Επιπλέον, τόσο η τιμή του «Δείκτης Συμφωνίας Κάπα» (Kappa Index of Agreement, ΚΙΑ), που είναι ίση με 0,979, όσο και η τιμή της «συνολικής ακρίβειας» (overall accuracy) που είναι ίση με 0,983 υποδεικνύουν ότι γενικότερα η ταξινόμηση ήταν αξιόπιστη, οι κατηγορίες της περιγράφηκαν επαρκώς και ειδικότερα η ταξινόμηση των κτιρίων έγινε επιτυχώς. Συνεπώς, ο ορισμός των κατηγοριών και κατ' επέκταση η ταξινόμηση στο σύνολό της για την Περιοχή 2, χαρακτηρίζεται και με αυτή τη μέθοδο ως επιτυχής.

User Class \ Sample	DENSE - VEGETATION (L2)	MAN - MADE-EDGE (L2)	TREE - EDGE (L2)	BUILDING(L2)	TALL - TREES (L2)	BRIDGE (L2)	ASPHALT - SURFACES (L2)	RED - COLORED - COMPOSIT - TRACK (L2)	SOIL (L2)	SPARSE - VEGETATION (L2)	PLOWED -LAND (L2)	SHADOW (L2)	Sum
DENSE - VEGETATION (L2)	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	19
MAN - MADE - EDGE (L2)	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
TREE - EDGE (L2)	0	0	27	0	0	0	0	0	0	1	0	0	28
BUILDING (L2)	0	0	0	103	0	0	0	0	0	0	0	0	103
TALL - TREES (L2)	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	25
BRIDGE (L2)	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
ASPHALT - SURFACES (L2)	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	11
RED - COLORED - COMPOSIT - TRACK (L2)	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	6
SOIL (L2)	0	0	0	0	0	0	0	0	11	2	0	0	13
SPARSE - VEGETATION (L2)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	11	0	0	12
PLOWED - LAND (L2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8
SHADOW (L2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	24
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	18	34	27	103	26	3	11	6	11	14	9	24	275
Producer	1	1	1	1	0.96153846154	1	1	1	1	0.78571428571	0.88888888889	1	
User	0.94736842105	1	0.96428571429	1	1	1	1	1	0.84615384615	0.91666666667	1	1	
HeIden	0.97297297297	1	0.98181818182	1	0.98039215686	1	1	1	0.91666666667	0.84615384615	0.94117647059	1	
Short	0.94736842105	1	0.96428571429	1	0.96153846154	1	1	1	0.84615384615	0.73333333333	0.88888888889	1	
KIA Per Class	1	1	1	1	0.95785440613	1	1	1	1	0.77632950991	0.88569144684	1	
Overall Accuracy	0.98251748252												
KIA	0.97870692993												

Πίνακας 4.16: Πίνακας σύγχυσης βασισμένος σε δείγματα για το Level 2 της Περιοχής 2

4.1.3.3 Περιοχή Μελέτης 3

Για το Επίπεδο 1 της Περιοχής 3, από την παρατήρηση του «Πίνακα σύγκρισης βασισμένου σε δείγματα για το Level 1 της Περιοχής 3», (Πίνακας 4.17), παρατηρείται ότι η τιμή της «συνολικής ακρίβειας» (overall accuracy) είναι ίση με 0,986 και ο «Δείκτης Συμφωνίας Κάπα» (Kappa Index of Agreement, ΚΙΑ) είναι ίσος με 0,983, τιμές που χαρακτηρίζουν την ταξινόμηση ως απόλυτα επιτυχή.

User Class \ Sample	DENSE - VEGETATION (L1)	SHADOW (L1)	SPARSE - VEGETATION (L1)	PLOWED - LAND (L1)	ASPHALT - SURFACES (L1)	SOIL (L1)	RED - COLORED - COMPOSIT - TRACK (L1)	MAN - MADE - EDGE (L1)	TREE - EDGE (L1)	MAN - MADE - AND TREES (L1)	Sum
DENSE - VEGETATION (L1)	117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117
SHADOW (L1)	0	43	0	0	0	0	0	0	0	0	43
SPARSE - VEGETATION (L1)	0	0	28	1	0	0	0	0	0	0	29
PLOWED - LAND (L1)	0	0	0	16	0	0	1	0	0	0	17
ASPHALT - SURFACES (L1)	0	0	1	0	12	2	0	0	0	0	15
SOIL (L1)	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	25
RED - COLORED - COMPOSIT - TRACK (L1)	0	0	0	0	0	1	15	0	0	0	16
MAN - MADE - EDGE (L1)	0	0	0	0	0	0	0	77	0	0	77
TREE - EDGE (L1)	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	31
MAN - MADE - AND TREES (L1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	51
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	117	43	29	17	12	28	16	77	31	51	
Producer	1	1	0.96551724138	0.94117647059	1	0.89285714286	0.9375	1	1	1	
User	1	1	0.96551724138	0.94117647059	0.8	1	0.9375	1	1	1	
Hellden	1	1	0.96551724138	0.94117647059	0.88888888889	0.94339622642	0.9375	1	1	1	
Short	1	1	0.93333333333	0.88888888889	0.8	0.89285714286	0.88235294118	1	1	1	
KIA Per Class	1	1	0.96296622097	0.93870122306	1	0.88609307359	0.9350308642	1	1	1	
Overall Accuracy	0.98574821853										
KIA	0.98315393542										

Πίνακας 4.17: Πίνακας σύγκρισης βασιμμένος σε δείγματα για το Level 1 της Περιοχής 3

Στη συνέχεια, για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 3, από την παρατήρηση του «Πίνακα σύγκρισης βασισμένου σε δείγματα για το Level 2 της Περιοχής 3» (Πίνακας 4.18), προκύπτει ότι για τις κύριες κατηγορίες ενδιαφέροντος, BUILDINGS (L2) και BUILDING-WITH-LICHEN (L2), όλα τα ληφθέντα δείγματα που είχαν δηλωθεί, καταχωρήθηκαν στις σωστές κατηγορίες.

Επιπλέον, τόσο η τιμή του «Δείκτης Συμφωνίας Κάπα» (Kappa Index of Agreement, KIA), που είναι ίση με 0,974, όσο και η τιμή της «συνολικής ακρίβειας» (overall accuracy) που είναι ίση με 0,977 υποδεικνύουν ότι γενικότερα η ταξινόμηση ήταν αξιόπιστη, οι κατηγορίες της περιγράφηκαν επαρκώς και ειδικότερα η ταξινόμηση των κτιρίων έγινε επιτυχώς. Συνεπώς, ο ορισμός των κατηγοριών και κατ' επέκταση η ταξινόμηση στο σύνολό της για την Περιοχή 3, χαρακτηρίζεται και με αυτή τη μέθοδο ως επιτυχής.

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ

Μπέκα Στυλιανή

User Class \ Sample	BUILDING (L2)	DENSE - VEGETATION (L2)	MAN - MADE - EDGE (L2)	TREE - EDGE (L2)	ASPHALT - SURFACES (L2)	RED - COLORED - COMPOSIT - TRACK (L2)	SOIL (L2)	SPARSE - VEGETATION (L2)	PLOWED - LAND (L2)	SHADOW (L2)	BUILDING - WITH - LICHEN (L2)	TALL - TREES (L2)	Sum
BUILDING (L2)	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
DENSE - VEGETATION (L2)	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
MAN - MADE - EDGE (L2)	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
TREE - EDGE (L2)	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	2	31
ASPHALT - SURFACES (L2)	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	12
RED - COLORED - COMPOSIT - TRACK (L2)	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12
SOIL (L2)	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	0	43
SPARSE - VEGETATION (L2)	0	0	0	0	0	0	0	16	2	0	0	0	18
PLOWED - LAND (L2)	0	0	0	0	0	1	0	1	17	0	0	0	19
SHADOW (L2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	37
BUILDING - WITH - LICHEN (L2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	16
TALL - TREES (L2)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	39	40
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	37	10	30	30	12	13	43	17	19	37	16	41	305
Producer	1	1	1	0.9666666667	1	0.92307692308	1	0.94117647059	0.89473684211	1	1	0.9512195122	
User	1	1	1	0.93548387097	1	1	1	0.88888888889	0.89473684211	1	1	0.975	
Hellden	1	1	1	0.95081967213	1	0.96	1	0.91428571429	0.89473684211	1	1	0.96296296296	
Short	1	1	1	0.90625	1	0.92307692308	1	0.84210526316	0.80952380952	1	1	0.92857142857	
KIA Per Class	1	1	1	0.96289537713	1	0.91992648989	1	0.93748719	0.88774383511	1	1	0.9438564197	
Overall Accuracy	0.97704918033												
KIA	0.97447546177												

Πίνακας 4.18: Πίνακας σύγκρισης βασισμένος σε δείγματα για το Level 2 της Περιοχής 3

4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΝΙΑΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ

Ολοκληρώνοντας το παρόν Κεφάλαιο, παρουσιάζεται η αξιολόγηση της ταξινόμησης με την μεθοδολογία που αφορά στην ενιαία βάση γνώσης, που δημιουργήθηκε για την πρώτη περιοχή και εφαρμόστηκε στις άλλες δύο. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται επίσης με τις τρεις μεθόδους, που εφαρμόστηκαν στο *εδάφιο 4.1*, με μόνη διαφορά το ότι για την εφαρμογή της ενιαίας βάσης γνώσης, αξιολογείται μόνο το δεύτερο επίπεδο (Level 2) της ταξινόμησης.

4.2.1 Αξιολόγηση με τη Μέθοδο Καλύτερης Ταξινόμησης (Best Classification Result)

4.2.1.1 Εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης στην περιοχή μελέτης 2

Η ακρίβεια ταξινόμησης του Level 2 της δεύτερης περιοχής, αξιολογήθηκε αρχικά με τη μέθοδο *βάσει αποτελέσματος καλύτερης ταξινόμησης* (best classification result), όπου διερευνήθηκε το πόσο υψηλές ήταν οι τιμές των μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής, βάσει των οποίων έγινε η τελική ταξινόμηση των τμημάτων. Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 2 φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.19, και το γραφικό αποτέλεσμα παρατίθεται στην Εικόνα 4.13.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
NON-BUILDING(L2)	16613	1	1,18E-02	1	1
MAN-MADE-EDGE(L2)	7301	1	0	1	1
TREE-EDGE(L2)	105	1	0	1	1
BUILDING(L2)	5367	1	0	1	1
SHADOW(L2)	9167	1	0	1	1

Πίνακας 4.19: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης της ενιαίας βάσης γνώσης, στην Περιοχή 2 για το Level 2



Εικόνα 4.13: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης της ενιαίας βάσης γνώσης, στην Περιοχή 2 για το Level 2

Από το γραφικό αποτέλεσμα της Εικόνας 4.13 εξάγεται το συμπέρασμα ότι η συντριπτική πλειονότητα των αντικειμένων του Level 2 δεν είναι αμφιλεγόμενη, καθώς το πράσινο χρώμα αντιστοιχεί σε απόλυτα μη αμφιλεγόμενο αντικείμενο με βαθμό συμμετοχής ένα (1.0). Επίσης, σύμφωνα με τον στατιστικό Πίνακα 4.19, παρατηρήθηκε ότι τα αντικείμενα ταξινομήθηκαν στις κατηγορίες που αντιστοιχούσαν με μέσο όρο βαθμών συμμετοχής ίσο με ένα (1.0) και πολύ μικρή τυπική απόκλιση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατηγορία των κτιρίων (BUILDING), είχε μοναδιαίο (1) βαθμό συμμετοχής και τυπική απόκλιση ίση με το μηδέν (0). Άρα η ταξινόμηση βάσει καλύτερου αποτελέσματος ταξινόμησης θεωρήθηκε επιτυχής και η ενιαία βάση γνώσης, που δημιουργήθηκε για την πρώτη περιοχή, μπορεί να εφαρμοστεί στην δεύτερη περιοχή με βάση αυτή τη μέθοδο αξιολόγησης.

4.2.1.2 Εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης στην περιοχή μελέτης 3

Ακολούθησε ακρίβεια ταξινόμησης του Level 2 της τρίτης περιοχής με την μέθοδο βάσει αποτελέσματος καλύτερης ταξινόμησης. Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 3 φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.20, και το γραφικό αποτέλεσμα παρατίθεται στην Εικόνα 4.14.



Εικόνα 4.14: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης της ενιαίας βάσης γνώσης, στην Περιοχή 3 για το Level 2

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
BUILDING(L2)	9185	0.99997369521	0.0023862470434	0.77167832851	1
NON-BUILDING(L2)	20420	0.99999181685	0.00034046216609	0.98582679033	1
MAN-MADE-EDGE(L2)	7984	1	1,07E-02	1	1
TREE-EDGE(L2)	747	1	0	1	1
SHADOW(L2)	6848	1	1,15E-02	1	1
BUILDING-WITH-LICHEN(L2)	7985	0.99996974208	0.0025592549846	0.77167832851	1

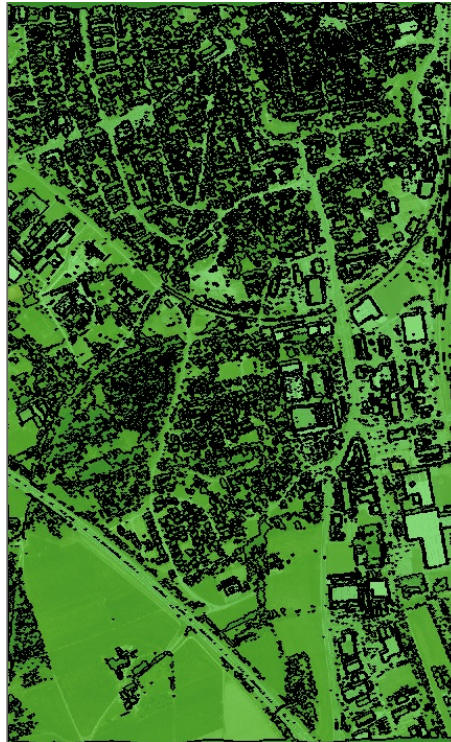
Πίνακας 4.20: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος της ταξινόμησης της ενιαίας βάσης γνώσης, στην Περιοχή 3 για το Level 2

Παρατηρώντας το γραφικό αποτέλεσμα της Εικόνας 4.14 φαίνεται ότι απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, αντικείμενα που ανήκουν στην κατηγορία NON-BUILDING (L2) και ήταν αμφιλεγόμενα, ενώ όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα είχαν πράσινο χρώμα. Μελετώντας όμως τα αριθμητικά αποτελέσματα του Πίνακα 4.20, προκύπτει ότι ο μέσος όρος βαθμού συμμετοχής όλων των κατηγοριών, ήταν σχεδόν ίσος με τη μονάδα καθώς και η τυπική απόκλιση έπαιρνε τιμές πολύ κοντά στο μηδέν. Οπότε από την συνεκτίμηση των παραπάνω αποτελεσμάτων εξάγεται το συμπέρασμα ότι η αξιολόγηση της ταξινόμησης του Level 2 χαρακτηρίζεται ως επιτυχής. Ακόμη, η ενιαία βάση γνώσης, που δημιουργήθηκε για την πρώτη περιοχή, μπορεί να εφαρμοστεί στην τρίτη περιοχή με βάση αυτή τη μέθοδο αξιολόγησης.

4.2.2 Αξιολόγηση με τη Μέθοδο Σταθερότητας της Ταξινόμησης (Classification Stability)

4.2.2.1 Εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης στην περιοχή μελέτης 2

Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 2, φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.21 και το γραφικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης παρατίθεται στην Εικόνα 4.15.



Εικόνα 4.15: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης της σταθερότητας της ταξινόμησης της ενιαίας βάσης γνώσης, στην Περιοχή 2 για το Level 2

Από την Εικόνα 4.15, λόγω της απεικόνισης των αντικειμένων αποκλειστικά με πράσινο χρώμα, αποκλείεται οποιαδήποτε εμπλοκή μεταξύ των τάξεων και συνεπώς δεν υπάρχουν αμφιλεγόμενα αντικείμενα. Επιπλέον παρατηρώντας τα αριθμητικά αποτελέσματα του στατιστικού Πίνακα 4.21, για τις τάξεις που ανήκουν στο Level 2, προκύπτει ότι η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με τη δεύτερη καλύτερη ταξινόμηση, έπαιρνε τιμές πάνω από 0,99 και τυπική απόκλιση κοντά στο μηδέν, που είναι εξαιρετικά ικανοποιητικές τιμές. Από τα αποτελέσματα αυτά ήταν εμφανές ότι η ταξινόμηση ήταν απολύτως σταθερή. Από τα παραπάνω συνάγεται το συμπέρασμα ότι, η ενιαία βάση γνώσης που δημιουργήθηκε για την πρώτη περιοχή, μπορεί να εφαρμοστεί στην δεύτερη περιοχή με βάση και αυτή τη μέθοδο αξιολόγησης.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
NON-BUILDING(L2)	16613	0.99977396598	0.013737182536	1	1
MAN-MADE-EDGE(L2)	7301	0.99959505206	0.018385008169	0	1
TREE-EDGE(L2)	105	1	0	1	1
BUILDING(L2)	5367	1	0	1	1
SHADOW(L2)	9167	0.99995744243	0.0040744292649	0.60987472534	1

Πίνακας 4.21: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, της ενιαίας βάσης γνώσης, στην Περιοχή 2 για το Level 2

4.2.2.2 Εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης στην περιοχή μελέτης 3

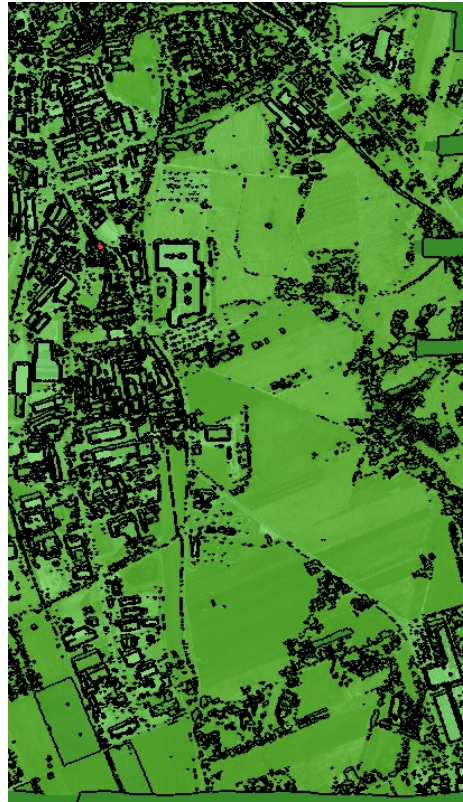
Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 3 φαίνονται στον στατιστικό Πίνακα 4.22 και το γραφικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης παρατίθεται στην Εικόνα 4.16.

Από την Εικόνα 4.16, φαίνεται ότι απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, αντικείμενα που είχαν ταξινομηθεί στην κατηγορία NON-BUILDING (L2) που σημαίνει ότι ήταν αμφιλεγόμενα. Η πλειοψηφία όμως των αντικειμένων, (μαζί με τις κατηγορίες ενδιαφέροντος BUILDING (L2) και BUILDING – WITH - LICHEN(L2)), απεικονίζονται με πράσινο χρώμα και συνεπώς δεν αποτελούν αμφιλεγόμενα αντικείμενα.

Επιπλέον παρατηρώντας τα αριθμητικά αποτελέσματα του στατιστικού Πίνακα 4.22, για τις τάξεις που ανήκουν στο Level 2, παρατηρείται ότι η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης με τη δεύτερη καλύτερη ταξινόμηση, έπαιρνε τιμές πάνω από 0,999 και τυπική απόκλιση κοντά στο μηδέν. Από τα αποτελέσματα αυτά είναι προφανές ότι η ταξινόμηση ήταν απόλυτα σταθερή. Έτσι και πάλι, η ενιαία βάση γνώσης που δημιουργήθηκε για την πρώτη περιοχή, μπορεί να εφαρμοστεί στην τρίτη περιοχή με βάση και αυτή τη μέθοδο αξιολόγησης.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
BUILDING(L2)	9185	0.999948837	0.004766464	0.54335665703	1
NON-BUILDING(L2)	20420	0.999991817	0.000340462	0.98582679033	1
MAN-MADE-EDGE(L2)	7984	1	1,07E-02	1	1
TREE-EDGE(L2)	747	1	0	1	1
SHADOW(L2)	6848	1	1,15E-02	1	1
BUILDING-WITH-LICHEN(L2)	7985	0.999941148	0.005112045	0.54335665703	1

Πίνακας 4.22: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης σταθερότητας της ταξινόμησης, της ενιαίας βάσης γνώσης, στην Περιοχή 2 για το Level 2



Εικόνα 4.16: Γραφικό αποτέλεσμα αξιολόγησης της σταθερότητας της ταξινόμησης της ενιαίας βάσης γνώσης, στην Περιοχή 3 για το Level 2

4.2.3 Αξιολόγηση με τη Μέθοδο του Πίνακα Σύγκρισης Βασισμένου σε Δείγματα (Error Matrix Based on Samples)

4.2.3.1 Εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης στην περιοχή μελέτης 2

Για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 2, από την παρατήρηση του «Πίνακα σύγκρισης βασισμένου σε δείγματα για το Level 2 της Περιοχής 2» (Πίνακας 4.23), προκύπτει ότι για την κύρια κατηγορία ενδιαφέροντος BUILDING (L2), όλα τα ληφθέντα δείγματα που είχαν δηλωθεί, καταχωρήθηκαν στις σωστές κατηγορίες.

Επιπλέον, τόσο η τιμή του «Δείκτης Συμφωνίας Κάπα» (Kappa Index of Agreement, KIA), που είναι ίση με 0,889, όσο και η τιμή της «συνολικής ακρίβειας» (overall accuracy) που είναι ίση με 0,896 υποδεικνύουν ότι γενικότερα η ταξινόμηση ήταν αξιόπιστη, οι κατηγορίες της περιγράφηκαν επαρκώς και ειδικότερα η ταξινόμηση των κτιρίων έγινε επιτυχώς. Συνεπώς, η ενιαία βάση γνώσης, που δημιουργήθηκε για την πρώτη περιοχή, μπορεί να εφαρμοστεί στην δεύτερη περιοχή.

User Class \ Sample	NON-BUILDING (L2)	MAN - MADE-EDGE (L2)	TREE - EDGE (L2)	BUILDING(L2)	SHADOW (L2)	Sum
NON-BUILDING (L2)	25	0	0	0	0	25
MAN - MADE - EDGE (L2)	0	20	0	0	0	20
TREE - EDGE (L2)	0	2	27	0	0	29
BUILDING (L2)	0	0	0	50	0	50
SHADOW (L2)	0	0	0	0	18	18
unclassified	0	0	0	0	0	0
Sum	25	22	27	50	18	142
Producer	1	1	1	1	1	
User	0.94736842105	0.88736843505	0.96428571429	1	1	
Hellden	0.97297297297	0.89737532105	0.98181818182	1	1	
Short	0.94736842105	0.84966852551	0.96428571429	1	1	
KIA Per Class	1	1	1	1	1	
Overall Accuracy	0.89551748252					
KIA	0.88870692993					

Πίνακας 4.23: Πίνακας σύγκρισης βασισμένος σε δείγματα της ενιαίας βάσης γνώσης, στην Περιοχή 2 για το Level 2

4.2.3.2 Εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης στην περιοχή μελέτης 3

Στη συνέχεια, για το Επίπεδο 2 της Περιοχής 3, από την παρατήρηση του «Πίνακα σύγκρισης βασισμένου σε δείγματα για το Level 2 της Περιοχής 3» (Πίνακας 4.24), προκύπτει ότι για τις κύριες κατηγορίες ενδιαφέροντος BUILDING (L2) και BUILDING-WITH-LICHEN (L2), όλα τα ληφθέντα δείγματα που είχαν δηλωθεί, καταχωρήθηκαν στις σωστές κατηγορίες.

Επιπλέον, τόσο η τιμή του «Δείκτης Συμφωνίας Κάπα» (Kappa Index of Agreement, KIA), που είναι ίση με 0,956, όσο και η τιμή της «συνολικής ακρίβειας» (overall accuracy) που είναι ίση με 0,949 υποδεικνύουν ότι γενικότερα η ταξινόμηση ήταν αξιόπιστη, οι κατηγορίες της περιγράφηκαν επαρκώς και ειδικότερα η ταξινόμηση των κτιρίων έγινε επιτυχώς. Συνεπώς, ο ορισμός των κατηγοριών και κατ' επέκταση η ταξινόμηση στο σύνολό της για την Περιοχή 3, χαρακτηρίζεται και με αυτή τη μέθοδο ως επιτυχής. Συνεκτιμώντας λοιπόν όλα τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι η ενιαία βάση γνώσης, που δημιουργήθηκε για την πρώτη περιοχή, μπορεί να εφαρμοστεί στην τρίτη περιοχή.

5 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

5.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, διερευνήθηκε η δυνατότητα ανίχνευσης κτιρίων μέσω της χρήσης αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης και (γεω)μορφομετρικών φίλτρων-δεικτών. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πολυφασματικά και υψομετρικά (LiDAR) και αφορούσαν εικόνα 7640 x 4440 εικονοστοιχείων και ανάλυσης 0,5 μέτρων, που είχε ληφθεί σε περιοχή της Γερμανίας.

Τα πακέτα λογισμικού που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της εργασίας ήταν το **e-Cognition (9.0)** και το **SAGA-GIS (2.0.8)**. Η διαδικασία της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης πραγματοποιήθηκε με το πακέτο *e-Cognition* και η προεπεξεργασία – δημιουργία παραγώγων της υψομετρικής πληροφορίας με το *SAGA-GIS*.

Αρχικά εφαρμόστηκε στα υψομετρικά δεδομένα φίλτρο εξάλειψης θορύβου (Median Filter), με τη χρήση του πακέτου SAGA-GIS και στη συνέχεια δημιουργήθηκαν τα παράγωγά των υψομετρικών δεδομένων. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε η διαφορά του Median DTM από το Median DSM_FEH, με σκοπό τη διάκριση των υπέργειων αντικειμένων. Επίσης, υπολογίστηκε το (γεω)μορφομετρικό φίλτρο κλίσης (SLOPE) και ο δείκτης TRI της διαφοράς DSM_FE-DSM_LE.

Όπως προαναφέρθηκε, η αντικειμενοστρεφής ανάλυση, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των εργαλείων του λογισμικού e-Cognition. Επιχειρήθηκε η απλούστερη δυνατή δόμηση ιεραρχιών, περιγραφών κατηγοριών και το ελάχιστο πλήθος επιπέδων κατάτμησης, ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα. Προκειμένου να επιτευχθεί η επιδίωξη αυτή, πραγματοποιήθηκε μία σειρά αλληπάλληλων δοκιμών ως προς τους συνδυασμούς μεταξύ των παραμέτρων κατάτμησης.

Με δεδομένη τη διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ του χρησιμοποιούμενου Η/Υ, για την βέλτιστη επεξεργασία της, η περιοχή μελέτης μεγέθους 7640 x 4440 εικονοστοιχείων (pixels), χωρίστηκε σε τρεις μικρότερες περιοχές μεγέθους 2565 x 4440 pixels η καθεμία. Η διαδικασία της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης πραγματοποιήθηκε παρόμοια και στις τρεις (3) υποδιαιρέσεις της αρχικής περιοχής.

Αρχικά δημιουργήθηκε το επίπεδο 1 (Level 1) που επιδίωκε τον διαχωρισμό των αντικειμένων σε ψηλά και χαμηλά. Αυτά στην συνέχεια διαιρέθηκαν περαιτέρω σε άλλες κατηγορίες (ASPHALT, DENSE-VEGETATION, SOIL, IMPERVIOUS κ.τ.λ.). Το εν λόγω επίπεδο σχεδιάστηκε με μικρή παράμετρο κλίμακας οκτώ (8), με σκοπό τη δημιουργία μικρών αλλά ομοιογενών αντικειμένων.

Το δεύτερο και τελευταίο επίπεδο ήταν το επίπεδο 2 (Level 2), που είχε σκοπό τον εντοπισμό των κτιρίων (BUILDING (L2)) και στις τρεις υποδιαιρέσεις της αρχικής

περιοχής και τα οποία τελικά εντοπίστηκαν. Πέραν τούτων στις υποδιαιρέσεις **1** και **3** της αρχικής περιοχής υπήρχε και η κατηγορία **BUILDING-WITH-LICHEN (L2)** η οποία περιείχε κτίρια που εμφάνιζαν λειχήνες στις οροφές τους. Το επίπεδο 2 δημιουργήθηκε με τη μέθοδο της κατάταξης βάσει ταξινόμησης και συγκεκριμένα, με τη μέθοδο της συνένωσης βάσει ταξινόμησης (*classification-based fusion*), προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή ταξινόμηση των κτιρίων.

Η εφαρμογή του εργαλείου «*merge region*» ήταν καθοριστική για την ορθή και ενιαία απεικόνιση των αντικειμένων, κυρίως του επιπέδου 2 (Level 2).

Περαιτέρω διερευνήθηκε η εφαρμογή βάσης γνώσης της πρώτης περιοχής που δημιουργήθηκε στο λογισμικό **e-Cognition 9.0**, ως ενιαίας βάσης γνώσης, για την αυτοματοποιημένη αναγνώριση κτιρίων από παρόμοια δεδομένα στην δεύτερη και τρίτη περιοχή.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αντικειμενοστρεφή ανάλυση των εικόνων, αξιολογήθηκαν στη συνέχεια με τρεις τρόπους: τη μέθοδο καλύτερης ταξινόμησης (best classification result), τη μέθοδο σταθερότητας ταξινόμησης (classification stability) και τη μέθοδο του πίνακα σύγκρισης βασισμένου σε δείγματα (error matrix based on samples). Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε τόσο για την μεθοδολογία ανάλυσης των τριών περιοχών ξεχωριστά, όσο και για την μεθοδολογία εφαρμογής στις Περιοχές 2 & 3, ενιαίας βάσης γνώσης, που προέκυψε από την βάση γνώσης που δημιουργήθηκε για την πρώτη περιοχή. Τα αποτελέσματα και των τριών αξιολογήσεων ήταν απόλυτα ικανοποιητικά, ανεξάρτητα από την μεθοδολογία ανάλυσης (ξεχωριστή ανάλυση περιοχών ή εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσης), οπότε επιβεβαιώνεται ότι οι ταξινομήσεις των εικόνων ήταν επιτυχείς και τεκμηριώνεται η επιστημονική επάρκεια των μεθοδολογιών που ακολουθήθηκαν.

5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όσον αφορά στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας, συνεκτιμώντας το σύνολο των αναλύσεων και των αποτελεσμάτων της, προέκυψαν τα παρακάτω κύρια συμπεράσματα:

- Κατ' αρχήν πιστοποιήθηκε ότι η χρήση της γεωμορφομετρίας και της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας, σε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, αποτελεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για τον αυτοματοποιημένο εντοπισμό κτιρίων.
- Πιστοποιήθηκε ακόμα ότι με την εφαρμογή επιστημονικά ορθής μεθόδευσης, ο προαναφερόμενος συνδυασμός αποδίδει αποτελέσματα υψηλής αξιοπιστίας, που μπορούν να ενισχύσουν, εάν όχι και να υποκαταστήσουν τις παραδοσιακές μεθόδους ανάλυσης εικόνας.

- Ταυτόχρονα, επιβεβαιώθηκε ότι για την διασφάλιση ορθότητας της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας, είναι απαραίτητη η γνωστική επάρκεια, τόσο επί του θεωρητικού υποβάθρου των συναφών επιστημών, όσο και επί των δυνατοτήτων, περιορισμών, ιδιαιτεροτήτων και λειτουργιών των χρησιμοποιούμενων πακέτων λογισμικού.
- Η ομαλή ολοκλήρωση της παρούσας, εντός λογικού για την έκτασή της χρόνου, πιστοποιεί ότι η ΣΑΤΜ του ΕΜΠ παρέχει στους φοιτητές της το απαραίτητο γνωστικό υπόβαθρο, τόσο επί των συναφών επιστημών όσο και επί του χρησιμοποιούμενου λογισμικού.
- Βεβαίως, όπως σε κάθε πολύπλοκο επιστημονικά πρόβλημα, η συνεισφορά της εμπειρίας και των αποκτούμενων με το χρόνο δεξιοτήτων του μελετητή, είναι επίσης σημαντική και αποτελεί το δεύτερο βασικό παράγοντα επιτυχούς υλοποίησης.

Περαιτέρω, εξετάζοντας τον σχεδιασμό της μεθοδολογίας υλοποίησης της μελέτης, από την άποψη του ποιος είναι ο συντελεστής με την μεγαλύτερη βαρύτητα, ανάμεσα στο γνωστικό υπόβαθρο και την εμπειρία του μελετητή, εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Στο στάδιο της εξοικείωσης με την περιοχή μελέτης είναι σημαντική η εμπειρία του φωτοερμηνευτή, διότι θα πρέπει να αναγνωρίζονται, με την πρώτη επισκόπηση της εικόνας τα χαρακτηριστικά εκείνα στοιχεία της που επηρεάζουν τα επόμενα στάδια της εργασίας.
- Στο στάδιο της κατάτμησης των εικόνων επειδή απαιτούνται πολλές επαναλήψεις προκειμένου να εντοπισθεί ο ορθός συνδυασμός της κλίμακας, του χρώματος, του συμπαγούς του σχήματος και της ομαλότητας της οριογραμμής, η επιτυχής ολοκλήρωση της διαδικασίας θεωρείται ότι επηρεάζεται κυρίως από την εμπειρία και τις αποκτούμενες με το χρόνο δεξιότητες του φωτοερμηνευτή και δευτερευόντως από το γνωστικό υπόβαθρο του μελετητή.
- Με τη σειρά του, το στάδιο της ταξινόμησης των αντικειμένων στις κατηγορίες, επηρεάζεται εξίσου από το γνωστικό υπόβαθρο (για την γνώση των χαρακτηριστικών που περιγράφουν τις κατηγορίες) και την εμπειρία του φωτοερμηνευτή, προκειμένου να γίνεται ο ορθότερος συνδυασμός των χαρακτηριστικών των κατηγοριών κατά την ταξινόμηση.
- Σε ότι δε αφορά στο στάδιο της αξιολόγησης της αξιοπιστίας των ταξινομήσεων, κύριο λόγο έχει το γνωστικό υπόβαθρο του φωτοερμηνευτή επί του λογισμικού που χρησιμοποιείται στην αντικειμενοστρεφή ανάλυση.

Τέλος, αναφορικά με την εφαρμογή των μεθοδολογιών εργασίας επισημάνθηκαν τα ακόλουθα:

- Κατά την επεξεργασία των εικόνων παρατηρήθηκε το φαινόμενο να υπάρχει σχετικά μεγάλο εύρος φασματικής πληροφορίας ακόμη και στην ίδια θεματική κατηγορία (πχ βλάστηση), λόγω της ιδιαίτερα μεγάλης χωρικής και φασματικής ανάλυσης. Το γεγονός αυτό δυσχέραινε το έργο της ταξινόμησης.
- Η σύνταξη κανόνων ασαφούς λογικής στην αντικειμενοστρεφή ανάλυση, επιτρέπει την αναγνώριση περισσότερων αντικειμένων και τη δυνατότητα διάκρισης αυτών που είναι εσφαλμένα ταξινομημένα, επειδή για το κάθε αντικείμενο, υπολογίζεται ο βαθμός συμμετοχής του σε κάθε διατιθέμενη κατηγορία.
- Η ταξινόμηση σε κατηγορίες, των αντικειμένων που προκύπτουν από την κατάτμηση επιταχύνεται, όταν χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά περιγραφής των κατηγοριών που είναι αδιαμφισβήτητα (π.χ. μεγάλες τιμές δείκτη NDVI για περιγραφή της βλάστησης).
- Παρά το γεγονός ότι τα δεδομένα περιείχαν πολύ λεπτομερή χωρική ανάλυση, επειδή υπήρχε ευρύ φάσμα εδαφοκαλύψεων καθώς και έντονη συγγενεία μεταξύ τους, η αναγνώριση των κτιρίων, όταν τίθεντο φασματικοί περιορισμοί ήταν ιδιαίτερα δύσκολη. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού μπορούν να χρησιμοποιούνται υψομετρικά και σχηματικά χαρακτηριστικά.
- Επειδή στην παρούσα εργασία καταβλήθηκε προσπάθεια γενικού ορισμού της περιγραφής των κατηγοριών, βασισμένης σε κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όλων των τύπων τους, είναι δυνατό, με λίγες τροποποιήσεις (στα όρια των πεδίων τιμών των ιδιοτήτων) να εφαρμόζεται σε οποιαδήποτε δεδομένα ακόμα και από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές (ίδιας όμως ακρίβειας) και τα αντικείμενα να ταξινομούνται ορθά, αφού οι περιοχές μελέτης επιλέχθηκαν έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν τα βασικά είδη εκτάσεων που μπορούν να εντοπιστούν σε μία εικόνα.
- Η βάση γνώσης που δημιουργήθηκε για την κατηγορία των κτιρίων της πρώτης περιοχής, παρουσιάστηκε ως κατάλληλη και για τα κτίρια της δεύτερης και τρίτης περιοχής. Οι υπόλοιπες κατηγορίες των περιοχών δύο και τρία, πλην των κτιρίων, των σκιών και των ακμών, δεν ταξινομήθηκαν ορθά με τα χαρακτηριστικά των αντίστοιχων κατηγοριών της πρώτης περιοχής, με συνέπεια να υπάρχει εμπλοκή μεταξύ τους. Για να αντιμετωπισθούν οι εμπλοκές αυτές χρειάζεται να επαναχαρακτηρισθούν οι κατηγορίες αυτές, έτσι ώστε να είναι κατάλληλες για εφαρμογή σ' όλες τις περιοχές. Προφανώς λοιπόν πρόκειται για νέα στρατηγική επίλυσης, γεγονός που ξεφεύγει από τον σκοπό της παρούσας εργασίας.

- Γενικότερα, επειδή το σύνολο κανόνων που σχεδιάστηκαν για τις κατατιμήσεις και ταξινομήσεις της περιοχής μελέτης, μπορεί να εξαχθεί και να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε συλλογή δεδομένων που διαθέτει παρόμοια χαρακτηριστικά και να οδηγήσει σε μια ταξινόμηση ικανοποιητικής ακρίβειας, οι μεθοδολογίες της παρούσας είναι χρήσιμες για οποιονδήποτε εφαρμογή προγράμματος τηλεπισκόπησης (πχ. εξέλιξη του Google Earth, με τυχόν αναβάθμιση του, έτσι ώστε να περιέχει δεδομένα υπέρυθρης ακτινοβολίας και υψομετρικά δεδομένα), δημιουργώντας έτσι επιπλέον θεματικά επίπεδα στην περιοχή επιλογής του. Η δυνατότητα αυτή θα μπορούσε να αναδείξει την Τηλεπισκόπηση, εκτός από εργαλείο έρευνας και ως χρηστικό εργαλείο και για εμπορικούς σκοπούς.

5.3 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερόμενα και με δεδομένα τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, παρατίθενται στη συνέχεια προτάσεις για μελλοντική επέκταση της σχετικής διερεύνησης :

- Η εφαρμογή της μεθοδολογίας της παρούσας σε πληρέστερο ψηφιακό μοντέλο εδάφους, το οποίο θα παρουσιάζει πληροφορίες υψομέτρων για όλα τα αντικείμενα που περιέχει, προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση του πληρέστερου Ψ.Μ.Ε στις εξαγόμενες πληροφορίες και ταξινομήσεις.
- Η χρήση της μεθοδολογίας επί δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από υπερφασματικούς τηλεπισκοπικούς σαρωτές, προκειμένου να διερευνηθεί η επίδρασή τους στα αποτελέσματα ταξινόμησης των κτιρίων. Επισημαίνεται οι εν λόγω σαρωτές επιτρέπουν τη διάκριση χαρακτηριστικών με στοιχεία απορρόφησης και ανάκλασης, σε πολύ στενά εύρη μήκους κύματος, που είναι αδύνατο να διαχωριστούν από τους πολυφασματικούς σαρωτές.
- Η ταξινόμηση ορισμένων κατηγοριών που εφαρμόστηκε στη παρούσα, όπως π.χ. ASPHALT-SURFACES και RED-COLORED-COMPOSIT-TRACK, θα μπορούσε να βοηθήσει στον εντοπισμό περιοχών καταφυγής, σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όπως π.χ. πλημμύρες, σεισμοί, φωτιές, καταιγίδες, τσουνάμι, κ.α., παρέχοντας άμεσες προβλέψεις και επικαιροποιημένους χάρτες για την αντιμετώπιση των δυσμενών αυτών καταστάσεων.
- Η μεθοδολογία της παρούσας μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού των σκεπών των κτιρίων, για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών Panels. Μετά τον υπολογισμό του συνολικού διαθέσιμου εμβαδού των σκεπών, διευκολύνεται ο υπολογισμός της παραγωγικής δυνατότητας ηλιακής ενέργειας που θα

προέκυπτε από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στις σκεπές των κτιρίων ολόκληρων περιοχών και διευκολύνεται ο μακροσκοπικός σχεδιασμός εφαρμογής σ' αυτές ηλεκτροδότησης από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

- Για την περαιτέρω διερεύνηση της μεθοδολογίας ενιαίας βάσης γνώσης που δημιουργείται στο λογισμικό αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης, μπορεί να αναπτυχθεί νέα στρατηγική επίλυσης. Η στρατηγική αυτή θα αφορά στην περιγραφή των κατηγοριών με χαρακτηριστικά κατάλληλα για την εφαρμογή ενιαίας βάσης γνώσεις σ' όλες τις περιοχές.
- Τέλος η μεθοδολογία της παρούσας παρέχει όπως είναι φυσικό δυνατότητα πληθώρας εφαρμογών που σχετίζονται με τον εντοπισμό αυθαιρέτων κτιρίων, παραβάσεων και παραβιάσεων χρήσης γης, εποικισμού δασικών εκτάσεων, ταχείας ανάπτυξης κτηματολογίου, χάραξης συγκοινωνιακών έργων σε αστικές περιοχές κ.ο.κ

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΑ:

- Αργιαλάς Δ., 1999. Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση. Διδακτικές Σημειώσεις ΣΑΤΜ. Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 368 σελ.
- Γεωργόπουλος Α, Χλιβερού Ρ, 2013. Στοιχεία Φωτογραφικής Τεχνικής. Διδακτικές Σημειώσεις ΣΑΤΜ. Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 132 σελ.
- Καραθανάση Β, 2014. Ειδικά Κεφάλαια Τηλεπισκόπησης. Διδακτικές Σημειώσεις ΣΑΤΜ. Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 460 σελ.
- Wilson J.P, Gallant J.C, 2000. Terrain Analysis, Principles and Applications. John Willey & Sons Inc, 469 p.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ:

- Αργυροπούλου Κ. Ε, 2013. Αυτόματη Αναγνώριση Ρηξιγενών Ζωνών με Αντικειμενοστρεφή Ανάλυση σε Ψηφιακό Μοντέλο Υποθαλάσσιου Αναγλύφου, στην Περιοχή του Βορείου Αιγαίου. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ. Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης. Ιούλιος 2013. Αθήνα.
- Κούλη Ρ., 2014. Αυτόματη Αναγνώριση των Γεωμορφολογικών και Μορφοτεκτονικών Δομών με Αντικειμενοστρεφή Ανάλυση Εικόνας σε Ψηφιακό Μοντέλο Υποθαλάσσιου Αναγλύφου στην περιοχή νότια της Κρήτης. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ. Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης. Απρίλιος 2014. Αθήνα.
- Μιχαηλίδου Α. Σ., 2011. Αυτόματη Ανίχνευση Μεταβολών Κτισμάτων στο Περιαστικό Χώρο από Δορυφορικές Απεικονίσεις Πολύ Υψηλής Διακριτικής Ικανότητας Μέσω Ανάπτυξης Ασαφούς Βάσης Γνώσης σε Αντικειμενοστρεφές Περιβάλλον Ανάλυσης Εικόνων. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ. Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης. Ιούλιος 2011. Αθήνα.
- Μπαμπουρδά Δ., 2012. Διερεύνηση Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης Εικόνας, για την Εξαγωγή (Γεω)μορφολογικών Χαρακτηριστικών, από Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου Πυθμένα. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ. Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης. Οκτώβριος 2012. Αθήνα.
- Σαμοΐλη Σ., 2008. Αυτόματη Αναγνώριση Οχημάτων από Πολυφασματικά & Υψομετρικά Δεδομένα LiDAR με Αντικειμενοστρεφή Ανάλυση. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ. Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης. Ιούλιος 2008. Αθήνα.

ΕΚΔΟΣΕΙΣ - ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ:

- Αργιαλάς Δ. και Τζώτσος Α., 2007. «Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνας στην Τηλεπισκόπηση, Θεωρία και Εφαρμογές». Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Αθήνα, 22 και 23 Φεβρουαρίου 2007, σελ.8-18.
- Abdullah S.M., Awrangjeb M. and Lu G., 2014. «LiDAR Segmentation Using Suitable Seed Points for 3D Building Extraction.» The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3, ISPRS Technical Commission III Symposium, 5–7 Zurich, Switzerland September 2014, pp. 1-8
- Alexander A., 2005. «New Airborne Lidar Sensor Systems». TopoSys GmbH, Moscow, 2005, pp.5
- Carneiro C., Voegtle T., Morello E. and Golay F., 2010. «Digital Urban Morphometrics: Automatic Extraction and Assessment of Morphological Properties of Buildings», Research Article. Blackwell Publishing Ltd, Lausanne, Switzerland, Aug 23 2010, pp.497-531.
- Yuki Hamada, Mark A. Grippo, Karen P.Smith, Argonne National Laboratory – Environmental Science Division “Long Term Monitoring of Utility Scale Solar Energy Development and Application of Remote Sensing Technologies” (Sept 2014) pp 25 & 40-41.
- Jin Chen,, Ming Yuan Zhangb, Le Wangc, Hiroto Shimazaki, Masayuki Tamura «A new index for mapping lichen-dominated biological soil crusts in desert areas» Remote Sensing of Environment Vol.96 (2005), pp 165 – 175
- Joshi B., Baluyan H., Hinai A.A., Woon W.L., 2014. «Automatic Rooftop Detection Using a Two-stage Classification». Department of Electrical Engineering and Computer Science (EECS), UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation, Abu Dhabi, UAE, 2014, pp.285-290
- Meng X., Wang L., and Currit N., 2009. «Morphology-based Building Detection from Airborne Lidar Data». American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 75, No. 4.April 2009, pp. 437–442.

- Menga L., Wang L., Silván-Cárdenas J. L., Currit N., 2009. «A multi-directional ground filtering algorithm for airborne LIDAR». ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 64. Elsevier B.V., 2009, pp. 117-124.
- Morgan M, Tempfli K., 2000. «Automatic Building Extraction from Airborne Laser Scanning Data». Technical Commission III, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B3. Amsterdam 2000, pp. 616-623.
- Pike R.J, Evans I.S., Hengl T, 2009. «Geomorphometry: A Brief Guide. In: Hengl T, Reuter H (Eds.)» & «Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Series Developments in Soil Science» Vol.33, Elsevier, pp 3-30.

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ – MANUALS :

- Cimmery V, SAGA version 2.1.4, User Guide, 2014. Volume 1, August 2014.
- Cimmery V, SAGA version 2.1.4, User Guide, 2014. Volume 2, August 2014.
- e-Cognition Developer 9.0 Reference Book, 2014. Trimble Documentation, München, Germany.
- e-Cognition Developer 9.0 User Guide, 2014. Trimble Documentation, München, Germany.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΧΩΡΟΙ:

- https://books.google.gr/books?id=YTxmbD3px0QC&pg=PA65&lpg=PA65&dq=FALCON+II+scanner&source=bl&ots=vlNKpAbiJD&sig=Hsq1KoKrGMRLU8Kon7MluPElcl&hl=el&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=FALCON%20II%20scanner&f=false, (Αύγουστος 2015)
- http://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing, (Αύγουστος 2015)
- http://gulfsoci.usgs.gov/tampabay/data/1_lidar/images/Eaar11.gif, (Αύγουστος 2015)
- <http://lidarcomm.com/id31.html>, (Αύγουστος 2015)
- http://live.osgeo.org/el/overview/saga_overview.html, (Αύγουστος 2015)
- <http://www.lidar-uk.com/how-lidar-works/>, (Αύγουστος 2015)
- <http://www.lifesos.eu/index.php/impairment-organic-matter>, (Αύγουστος 2015)
- http://www.saga-gis.org/saga_module_doc/2.1.4/grid_filter_9.html
(Αύγουστος 2015)
- <http://www.toposys.com/>, (Αύγουστος 2015)
- <http://www.trimble.com/Imaging/aerial-mapping.aspx>, (Αύγουστος 2015)