



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)
"ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΟΡΕΙΝΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΩΝ"

**«Ανίχνευση μεταβολών χρήσεων/καλύψεων
της στην περιοχή του Πηλίου με χρήση
Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης ψηφιακών
τηλεπισκοπικών απεικονίσεων»**

Κτενά Κυριακή

Μηχανικός Χωροταξίας, Πολεοδομίας &
Περιφερειακής Ανάπτυξης Πανεπιστημίου
Θεσσαλίας

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Επιβλέπων:

Αργιαλάς Δ., Καθηγητής ΕΜΠ

Περιβάλλον

και

Ανάπτυξη

Αθήνα, Ιούνιος 2016

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



«Ανίχνευση μεταβολών χρήσεων/καλύψεων της στην περιοχή του Πηλίου με χρήση Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Κτενά Α. Κυριακή

Διπλωματούχος Μηχανικός Χωροταξίας, Πολεοδομίας &
Περιφερειακής Ανάπτυξης Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάστηκε επιτυχώς.

Η τριμελής επιτροπή

.....
Αργιαλάς Δημήτριος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Καραθανάση Βασιλεία
Αναπληρ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Καράντζαλος Κων/νος
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2016

Πρόλογος

Η διπλωματική εργασία που ακολουθεί πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Δ.Π.Μ.Σ. «Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών» του Ε.Μ.Π. που διεξάγεται στο Μέτσοβο. Αντικείμενό της ήταν η διερεύνηση της εξέλιξης των χρήσεων γης σε μία ορεινή περιοχή μέσω της χρήσης μεθόδων και τεχνικών Τηλεπισκόπησης σε δορυφορικές απεικονίσεις. Η συγγραφή της έγινε με σκοπό να βοηθήσει στη δημιουργία μίας βάσης γνώσεων, που θα παρέχει πολύτιμα δεδομένα, τα οποία λόγω των ιδιοτήτων που εμφανίζουν οι ορεινές περιοχές, δεν είναι δυνατή η απόκτησή τους με εναλλακτικό τρόπο και τα οποία θα συμβάλλουν ουσιαστικά στην ανάπτυξη, στη βελτίωση της κατάστασης και στην αντιμετώπιση των προβλημάτων των περιοχών αυτών. Πρόκειται για μια πολυδιάστατη μελέτη που για την εκπόνησή της, η βοήθεια ορισμένων ανθρώπων έπαιξε καταλυτικό ρόλο και για το λόγο αυτό, θα ήθελα να τους εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ.

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτριο Αργιαλά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την περάτωση του δύσκολου αυτού εγχειρήματος, καθώς και για την εύστοχη καθοδήγηση και την σημαντική υποστήριξή του σε όλο το διάστημα εκπόνησης της εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα Κολοκούση Πολυχρόνη του εργαστηρίου της Τηλεπισκόπησης, για την πολύτιμη βοήθειά του στα πρακτικά ζητήματα της διπλωματικής, για τη γενικότερη διάθεση συνεργασίας καθώς και για την αμέριστη υπομονή και το χρόνο του ανά πάσα στιγμή σε κάθε δυσκολία ολοκλήρωσης της έρευνας. Σημαντική ήταν και η συμβολή της εξεταστικής επιτροπής, της κ. Καραθανάση Βασιλείας και του κ. Καράντζαλου Κωνσταντίνου, με την ανάγνωσή και την παράθεση χρήσιμων παρατηρήσεων επ' αυτής. Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω σε όλους τους ανθρώπους που γνώρισα κατά τη διάρκεια παρακολούθησης του μεταπτυχιακού προγράμματος, για τη μετάδοση βασικών γνώσεων και εμπειριών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και να αφιερώσω τη διπλωματική μου εργασία στην οικογένειά μου και στους φίλους μου, που ήταν πάντα δίπλα μου όλο αυτό το διάστημα και γενικότερα με στηρίζουν σε κάθε στάδιο της ζωής μου.

Περίληψη

Η κατανόηση του τρόπου ανάπτυξης μιας ορεινής περιοχής είναι μείζονος σημασίας για τους μελετητές και κυρίως για τους χωροτάκτες και πολεοδόμους, ιδιαίτερα στην ελληνική πραγματικότητα, όπου ο ορεινός χώρος αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια προσπάθεια διερεύνησης της διαχρονικής εξέλιξης και των μεταβολών των βασικών κατηγοριών χρήσης/κάλυψης της ορεινής περιοχής του Πηλίου τις τελευταίες δεκαετίες με τη βοήθεια φωτοερμηνευτικών και ψηφιακών τηλεπισκοπικών μεθόδων και τεχνικών. Μεγαλύτερη έμφαση δόθηκε στις αλλαγές που αφορούν στη βλάστηση και στα δημόσια έργα που κατασκευάστηκαν, όπως λόγου χάρη στο οδικό δίκτυο κ.λπ.

Για την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου έγινε χρήση της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης με το πρόγραμμα eCognition της εταιρίας DEFINIENS Imaging GmbH. Αξιοποιήθηκαν το CORINE Land Cover και δύο τηλεπισκοπικές εικόνες από τον δορυφόρο Landsat 5 TM, τα ψηφιακά δεδομένα των οποίων περιλάμβαναν απεικονίσεις του Πηλίου για την 24^η Ιουλίου το 2003 και το 2009. Στην περιοχή μελέτης εφαρμόστηκαν δύο βασικές ταξινομήσεις με παρόμοια λογική, μία για την κάθε ημερομηνία, ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Η ανάλυση της κάθε εικόνας περιέλαβε τρία επίπεδα κατάτμησης και τα ανάλογα επίπεδα ταξινόμησης με βασικό επίπεδο προβολής των τελικών κατηγοριών το δεύτερο. Το πρώτο και κατώτερο επίπεδο έγινε με σκοπό την εμφάνιση του γενικού καθεστώτος εδαφοκάλυψης των εικόνων, όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό κατά την πρώτη φωτοερμηνεία της εικόνας, ενώ στο τρίτο επίπεδο προσδιορίστηκαν οι ανθρώπινες κατασκευές και το άγονο έδαφος. Οι ταξινομήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση δειγμάτων, με τη δημιουργία μιας βάσης γνώσης αποτελούμενη από κανόνες που στηρίζονται σε φασματικά, τοπολογικά, γεωμετρικά κριτήρια και κριτήρια υψής, και με την εφαρμογή αλγόριθμων ανακατασκευής σχήματος.

Στη συνέχεια, για τον εντοπισμό των μεταβολών που υφίστανται στην περιοχή έρευνας, συγκρίθηκαν οι δύο ταξινομήσεις με τη δημιουργία του κατάλληλου Πίνακα Ανίχνευσης Μεταβολών (ΠΑΜ), με τον οποίο παρατηρήθηκαν οι αξιόλογες προς απεικόνιση μεταβολές οι οποίες και τελικά χαρτογραφήθηκαν.

Η ολοκλήρωση των ταξινομήσεων πραγματοποιήθηκε με την εκτίμηση της ακρίβειάς τους, που εφαρμόστηκε στο τρίτο και δεύτερο επίπεδο ταξινόμησης για κάθε εικόνα χωριστά. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της μεθόδου “Best Classification Result” και “Classification Stability” και με το σχεδιασμό Πίνακα Σύγκυσης για τις δύο ταξινομήσεις, με την επιλογή δεδομένων ελέγχου μέσω φωτοερμηνείας.

Τα αποτελέσματα κρίθηκαν μερικώς ικανοποιητικά, καθώς παρατηρήθηκε σύγκυση σε αρκετές κατηγορίες και κυρίως στις δομημένες περιοχές και το οδικό δίκτυο, γεγονός που οφείλεται στην άναρχη οικιστική ανάπτυξη, στη χαμηλή διακριτική ικανότητα των δορυφορικών απεικονίσεων αλλά και στη μορφολογία και μεγάλη έκταση της περιοχής. Βέβαια, με την προϋπόθεση ότι θα χρησιμοποιηθούν πιο κατάλληλες δορυφορικές απεικονίσεις και γενικότερα τα κατάλληλα ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα, η διαχρονική ανίχνευση μεταβολών με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία κρίνεται σημαντική και απαραίτητη για τον αναπτυξιακό, χωροταξικό και περιβαλλοντικό σχεδιασμό και μπορεί να συμβάλλει στην εξαγωγή ορθολογικών και χρήσιμων αποτελεσμάτων.

Λέξεις Κλειδιά:

Ανίχνευση μεταβολών, Χρήσεις/καλύψεις γης, Αντικειμενοστραφής ανάλυση, Ασαφής λογική, Δορυφορικά δεδομένα Landsat, Πήλιο

Abstract

“Change detection of land cover/use in the region of Pelion from remote sensing imagery using Object-Based Image Analysis”

Understanding the manner in which mountain areas develop is of major importance for researchers and especially for urban planners, particularly in the greek reality, where the mountainous area is facing major problems.

This study is an attempt to investigate the main land use/land cover changes in the mountainous Pelion region over the recent decades by photointerpretation and digital remote sensing methods and techniques. Greater emphasis was given to changes concerning vegetation and public constructions, as for example roads, etc.

The software used in order to achieve this goal was the eCognition by DEFINIENS Imaging GmbH Company, based on object-based image analysis (O.B.I.A.). The CORINE Land Cover and two remote sensing images from the satellite Landsat 5 TM were used. The digital data contained images of Pelion on 24 July for years 2003 and 2009. Two basic classification algorithms with the same logic were developed in the study area, one for each date, in order to find the best results.

The analysis of each image included three levels of segmentation and classification. The second level was used for the presentation of the final classes and for change detection. The first and lowest level was created in order to show the three basic land covers/classes of the area, as they can be seen during the first photo interpretation of the image, while in the third level human constructions and barren soil were identified. Classification was accomplished through samples and by the creation of a knowledge base consisting of rules based on spectral, topological, geometric and texture characteristics, and also through applying shape reconstruction algorithms.

To identify the changes that occur in the study area, the two classification results were compared by the creation of the appropriate Change Detection Matrix, through which the valuable changes were observed and eventually mapped.

The completion of the classifications was achieved by estimating their accuracy, which was applied to the third and second level of classification for each image separately. This process was realized with the implementation of the "Best Classification Result" method and "Classification Stability" method and with the design of a "Confusion Matrix" for both classification results, selecting training areas by photo-interpretation.

The results were considered as partly satisfactory, since confusion was observed in several categories, especially in urban areas and roads, a fact that is due to discontinuous urban fabric, low spatial resolution of satellite data and to the morphology and the large area of the region. On the other hand, this methodology of change detection is considered important and necessary for the developmental, spatial and environmental planning and would contribute in reaching acceptable and useful results, providing that the most appropriate satellite imaging and generally, appropriate qualitative and quantitative data will be used.

Key words:

Change detection, Land use/cover, Object-based image analysis, Fuzzy logic, Landsat satellite data, Pelion

Περιεχόμενα

Ευρετήριο Εικόνων	11
Ευρετήριο Πινάκων.....	15
Ευρετήριο Διαγραμμάτων	16
1. Εισαγωγή.....	17
2. Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου.....	21
2.1. Τηλεπισκόπηση	21
2.2. Τηλεπισκοπικά Δεδομένα Landsat	23
2.2.1. Landsat 5 TM.....	26
2.3. Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνων.....	28
2.3.1. Εισαγωγή στο Λογισμικό eCognition.....	29
2.3.2. Κατάτμηση Εικόνας.....	32
2.3.3. Ιεραρχικό Δίκτυο Αντικειμένων	35
2.3.4. Ταξινόμηση Βάσει Κατάτμησης.....	37
2.3.5. Ασαφής Λογική / Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	39
2.3.6. Ιεραρχία Κατηγοριών / Τάξεων	42
2.3.7. Χαρακτηριστικά / Ιδιότητες Αντικειμένων	44
2.3.8. Κατάτμηση βάσει ταξινόμησης	48
2.3.9. Αξιολόγηση Ταξινόμησης	50
2.3.9.1. Αξιολόγηση Βάσει της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability).....	51
2.3.9.2. Αξιολόγηση Βάσει του Μεγαλύτερου Βαθμού Συμμετοχής (Best Classification Result)	52
2.3.9.3. Αξιολόγηση Βάσει Δεδομένων Ελέγχου (Πίνακας Σύγκρισης).....	53
2.4. Ανίχνευση Μεταβολών	54
2.4.1. Βασικοί Παράγοντες στην Ανίχνευση Μεταβολών.....	55
2.4.2. Μέθοδοι Ανίχνευσης Μεταβολών	59
2.4.2.1. Επίθεση Εικόνων.....	60
2.4.2.2. Αφαίρεση – Διαίρεση Εικόνων	60
2.4.2.3. Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών	61
2.4.2.4. Μέθοδος Σύγκρισης Μετά Από Ταξινομήσεις	61
2.4.2.5. Διάλυση Φασματικών Μεταβολών	62

2.4.2.6. Άμεση Ψηφιοποίηση και Φωτοερμηνεία των Μεταβολών Πάνω στην Οθόνη	63
3. Μεθοδολογία και Υλοποίηση	64
3.1. Περιοχή Μελέτης	64
3.2. Διαθέσιμα Δεδομένα Μελέτης	67
3.2.1. Ψηφιακές Τηλεπισκοπικές Απεικονίσεις.....	67
3.2.2. Λογισμικά	73
3.3. Φωτοερμηνεία Εικόνων.....	74
3.4. Χαρακτηριστικά Κατηγοριών	83
3.5. Υλοποίηση Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης στην Εικόνα του 2003	88
3.5.1. Κατάτμηση Πολλαπλής Ανάλυσης Εικόνας.....	88
3.5.1.1. Κατάτμηση 1ου Επιπέδου	90
3.5.1.2. Κατάτμηση 2ου Επιπέδου	91
3.5.1.3. Κατάτμηση 3ου Επιπέδου	93
3.5.2. Ταξινόμηση Επιπέδων Κατάτμησης.....	95
3.5.2.1. Ταξινόμηση 1 ^{ου} Επιπέδου	99
3.5.2.2. Ταξινόμηση 3 ^{ου} Επιπέδου	106
3.5.2.3. Ταξινόμηση 2 ^{ου} Επιπέδου	119
3.5.3. Αλγόριθμοι Ανακατασκευής Σχήματος.....	133
3.6. Υλοποίηση Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης στην Εικόνα του 2009	135
3.6.1. Κατάτμηση Πολλαπλής Ανάλυσης Εικόνας.....	135
3.6.2. Ταξινόμηση Επιπέδων Κατάτμησης.....	137
3.7. Ανίχνευση Μεταβολών	146
4. Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων.....	156
4.1. Αξιολόγηση Βάσει της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability)	156
4.1.1. Αξιολόγηση Ταξινομήσεων της Απεικόνισης του 2003.....	157
4.1.2. Αξιολόγηση Ταξινομήσεων της Απεικόνισης του 2009	160
4.2. Αξιολόγηση Βάσει του Μεγαλύτερου Βαθμού Συμμετοχής (Best Classification Result).....	162
4.2.1. Αξιολόγηση Ταξινομήσεων της Απεικόνισης του 2003.....	162
4.2.2. Αξιολόγηση Ταξινομήσεων της Απεικόνισης του 2009.....	165
4.3. Αξιολόγηση Βάσει Δεδομένων Ελέγχου (Πίνακας Σύγχυσης).....	167
4.3.1. Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων της Απεικόνισης του 2003	168

4.3.2. Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων της Απεικόνισης του 2009	170
5. Συμπεράσματα - Προοπτικές	172
5.1. Προοπτικές	174
Βιβλιογραφία.....	176

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Διαδικασία συλλογής τηλεπισκοπικών δεδομένων.....	22
Εικόνα 2: Τηλεπισκοπικές απεικονίσεις διάφορων περιοχών από τους δορυφόρους Landsat	24
Εικόνα 3: Χρονολογικό γράφημα διάρκειας ζωής των δορυφόρων Landsat	25
Εικόνα 4: Φωτογραφία δορυφόρου Landsat 5 TM.....	27
Εικόνα 5: Ηλιοσύγχρονη τροχιά των Landsat 4 και 5	28
Εικόνα 6: Το περιβάλλον του eCognition	30
Εικόνα 7: Παράθυρο διαλόγου του αλγόριθμου πολλαπλής κατάταξης επιπέδων	33
Εικόνα 8: Ιεραρχικό δίκτυο αντικειμένων της εικόνας	36
Εικόνα 9: Παράθυρο διαλόγου του αλγόριθμου “Hierarchical Classification”.....	39
Εικόνα 10: Συνάρτηση συμμετοχής του χαρακτηριστικού NDVI με τιμές ασάφειας 0.25 έως 0.30 μορφής S θετικής κλίσης	40
Εικόνα 11: Συνάρτηση συμμετοχής των αντικειμένων στην κατηγορία «Βλάστηση» και... όρια ασάφειας του χαρακτηριστικού NDVI.	41
Εικόνα 12: Συναρτήσεις συμμετοχής στο λογισμικό eCognition.....	41
Εικόνα 13: Ιεραρχία κατηγοριών στις καρτέλες “Inheritance” και “Groups”	43
Εικόνα 14: Παράθυρο διαλόγου “Class Description”	44
Εικόνα 15: Εργαλειοθήκη “Feature View”.....	45
Εικόνα 16: Παράθυρο διαλόγου αλγόριθμου “Remove Objects” και συνθήκη καταφλίσωσης	49
Εικόνα 17: Παράθυρο διαλόγου αλγόριθμου “ Find Enclosed by Class ” και συνθήκη καταφλίσωσης	50
Εικόνα 18: Περιοχή μελέτης.....	64
Εικόνα 19: (α) Περιοχή μελέτης από την εφαρμογή “Google Earth”, (β) Κατηγορίες χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης με βάση το CORINE Land Cover 2000	68
Εικόνα 20: Περιοχή μελέτης το έτος 2003 (α) σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 3,2,1 (RGB) και (β) σε έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 4,3,2 (RGB)	69
Εικόνα 21: Περιοχή μελέτης το έτος 2009 (α) σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 3,2,1 (RGB) και (β) σε έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 4,3,2 (RGB)	69
Εικόνα 22: Δημιουργία “Project” και ορισμός αλληλουχίας των καναλιών	71
Εικόνα 23: (α) Ορισμός υποπεριοχής με τη βοήθεια συντεταγμένων (β) Περιοχή μελέτης. 71	
Εικόνα 24: Παράθυρο διαλόγου “Edit Customized Feature” για τη δημιουργία του δείκτη “NDVI”.....	85
Εικόνα 25: Παράθυρο διαλόγου “Edit Customized Feature” για τη δημιουργία του δείκτη “NDWI”.....	86
Εικόνα 26: Παράθυρο διαλόγου “Edit Customized Feature” για τη δημιουργία του δείκτη “Soil Index”	87
Εικόνα 27: Παράθυρο διαλόγου “Edit Customized Feature” για τη δημιουργία του δείκτη “Area/Length”	88
Εικόνα 28: Κατάταξη πρώτου επιπέδου με παράμετρο κλίμακας 2, κριτήριο σχήματος 0.1 και συμπαγούς του σχήματος 0.5	91
Εικόνα 29: Κατάταξη δευτέρου επιπέδου με παράμετρο κλίμακας 3, κριτήριο σχήματος 0.1 και συμπαγούς του σχήματος 0.5	93

Εικόνα 30: Κατάτμηση τρίτου επιπέδου με παράμετρο κλίμακας 4, κριτήριο σχήματος 0.3 και συμπαγούς του σχήματος 0.3	94
Εικόνα 31: (α) Τμήμα αρχικής εικόνας, (β) Τμήμα κατάτμησης πρώτου επιπέδου, (γ) Τμήμα κατάτμησης δευτέρου επιπέδου, (δ) Τμήμα κατάτμησης τρίτου επιπέδου	95
Εικόνα 32: Θεματικές κατηγορίες πρώτου επιπέδου.....	99
Εικόνα 33: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Vegetation (L1)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “NDVI”	100
Εικόνα 34: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 0.02 έως 0.05 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “NDVI” για την κατηγορία “Vegetation (L1)”	101
Εικόνα 35: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Water bodies (L1)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “NDWI”	101
Εικόνα 36: Απεικόνιση (α) σε όλη την εικόνα, (β) σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών 0 έως 0.04 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “NDWI” για την κατηγορία “Water bodies (L1)	102
Εικόνα 37: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Impervious (L1)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Soil Index”	103
Εικόνα 38: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 0.3 έως 0.5 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Soil index” για την κατηγορία “Impervious (L1)”	103
Εικόνα 39: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πρώτου επιπέδου στην εικόνα του 2003	104
Εικόνα 40: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πρώτου επιπέδου σε τμήματα της εικόνας του 2003	105
Εικόνα 41: Θεματικές κατηγορίες τρίτου επιπέδου.....	107
Εικόνα 42: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Impervious (L3)” , (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects”	108
Εικόνα 43: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0 έως 0.3 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Rel. area of sub objects” για την κατηγορία “Impervious (L3)”	108
Εικόνα 44: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Vegetation (L3)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects”	109
Εικόνα 45: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0.2 έως 0.4 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Rel. area of sub objects” για την κατηγορία “Vegetation (L3)”	109
Εικόνα 46: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Water bodies (L3)” , (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects”	110
Εικόνα 47: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0.5 έως 0.7 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Rel. area of sub objects” για την κατηγορία “Water bodies (L3)”	110
Εικόνα 48: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Roads (L3)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Density”, (γ) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Length/Width”, (δ) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Area/Length”,(ε) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. border to”	112
Εικόνα 49: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 1.20 έως 1.26 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “Density” για την κατηγορία “Roads (L3)”	112

Εικόνα 50: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 1.2 έως 4.8 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Length/Width” για την κατηγορία “Roads (L3)”	113
Εικόνα 51: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 2.0 έως 2.6 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “Area/Length” για την κατηγορία “Roads (L3)”.....	113
Εικόνα 52: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0 έως 1 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “Rel. border to” για την κατηγορία “Roads (L3)”.....	114
Εικόνα 53: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Industrial units (L3)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Nir/Green”	114
Εικόνα 54: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 1.46 έως 1.48 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “Nir/Green” για την κατηγορία “Industrial units (L3)”	115
Εικόνα 55: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Urban area (L3)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean diff. to scene blue”.....	115
Εικόνα 56: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 13 έως 17 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Mean diff. to scene blue” για την κατηγορία “Urban area (L3)”	116
Εικόνα 57: Περιγραφή κατηγορίας “Bare soil (L3)”.....	116
Εικόνα 58: Αποτέλεσμα ταξινόμησης τρίτου επιπέδου στην εικόνα του 2003	117
Εικόνα 59: Αποτέλεσμα ταξινόμησης τρίτου επιπέδου σε τμήματα της εικόνας του 2003	118
Εικόνα 60: Θεματικές κατηγορίες δευτέρου επιπέδου	121
Εικόνα 61: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Vegetation (L2)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects”	121
Εικόνα 62: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0.2 έως 0.4 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Rel. area of sub objects” για την κατηγορία “Vegetation (L2)”	122
Εικόνα 63: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Water bodies (L2)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects”	122
Εικόνα 64: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0.5 έως 0.7 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης “Rel. area of sub objects” για την κατηγορία “Water bodies (L2)”.....	122
Εικόνα 65: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Bare soil (L2)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of super objects”.....	123
Εικόνα 66: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0 έως 1 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Existence of super objects” για την κατηγορία “Bare soil (L2)”.....	123
Εικόνα 67: Περιγραφή κατηγοριών (α)“Roads (L2)”, (β)“Industrial units (L2)”, (γ)“Urban area (L2)”.....	124
Εικόνα 68: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0 έως 1 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Existence of super objects” για την κατηγορία “Roads (L2)”.....	124
Εικόνα 69: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0 έως 1 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Existence of super objects” για την κατηγορία “Industrial units (L2)”	124

Εικόνα 70: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0 έως 1 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Existence of super objects” για την κατηγορία “Urban area (L2)”	125
Εικόνα 71: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Forests (L2)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “NDVI”	126
Εικόνα 72: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Non-arable irrigated land (L2)”, Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης των κανόνων (β) “NDVI” και (γ) “Rel. border to” ..	126
Εικόνα 73: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 0.45 έως 0.47 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “NDVI” για την κατηγορία “Forests (L2)”	126
Εικόνα 74: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 0.22 έως 0.24 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “NDVI” για την κατηγορία “Non-arable irrigated land (L2)”	127
Εικόνα 75: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 0 έως 1 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “Rel. border to” για την κατηγορία “Non-arable irrigated land (L2)”	127
Εικόνα 76: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Agricultural areas (L2)”, Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης των κανόνων (β) “Mean blue” και (γ) “Rel. border to”	128
Εικόνα 77: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 75 έως 77 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Mean blue” για την κατηγορία “Agricultural areas (L2)”	128
Εικόνα 78: Περιγραφή κατηγορίας “Shrubs – herbaceous vegetation (L2)”	129
Εικόνα 79: Αποτελέσματα ταξινόμησης δευτέρου επιπέδου στην εικόνα του 2003	129
Εικόνα 80: Αποτέλεσμα ταξινόμησης δευτέρου επιπέδου σε τμήματα της εικόνας του 2003	130
Εικόνα 81: (α) Ταξινόμηση πριν την εφαρμογή του αλγόριθμου “Remove objects”, (β) Ταξινόμηση μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου “Remove objects”	134
Εικόνα 82: (α) Ταξινόμηση πριν την εφαρμογή του αλγόριθμου “ Find enclosed by class ”, (β) Ταξινόμηση μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου “ Find enclosed by class ”	135
Εικόνα 83: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Industrial units (L3)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Nir/Green”	140
Εικόνα 84: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 1.49 έως 1.51 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “Nir/Green” για την κατηγορία “Industrial units (L3)”	141
Εικόνα 85: Περιγραφή κατηγορίας “Forests (L2)”	141
Εικόνα 86: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Agricultural areas (L2)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean blue”	142
Εικόνα 87: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 77 έως 79 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Mean blue” για την κατηγορία “Agricultural areas (L2)”	142
Εικόνα 88: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Non-arable irrigated land (L2)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “NDVI”	143
Εικόνα 89: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 0.16 έως 0.18 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “NDVI” για την κατηγορία “Non-arable irrigated land (L2)”	143
Εικόνα 90: Αποτελέσματα ταξινόμησης δευτέρου επιπέδου στην εικόνα του 2009	144

Εικόνα 91: Αποτέλεσμα ταξινόμησης δευτέρου επιπέδου σε τμήματα της εικόνας του 2009	145
Εικόνα 92: Αποτελέσματα επίθεσης των εικόνων του 2003 και 2009 για την περιοχή μελέτης	147
Εικόνα 93: Αποτελέσματα επίθεσης των εικόνων του 2003 και 2009 για τμήματα της περιοχής.....	148
Εικόνα 94: Παράθυρο διαλόγου “Semi-Automatic Classification Plugin”	150
Εικόνα 95: Παράθυρο διαλόγου “Raster Calculator”	152
Εικόνα 96: Απεικόνιση μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης από το 2003 στο 2009 με βάση τις ταξινομήσεις των δορυφορικών εικόνων του 2003 και του 2009	153
Εικόνα 97: Παραδείγματα απεικόνισης μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης από το 2003 στο 2009 με βάση τις ταξινομήσεις των δορυφορικών εικόνων του 2003 και του 2009.....	154
Εικόνα 98: Γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2003 (α) του πρώτου επιπέδου, (β) του δευτέρου επιπέδου και (γ) του τρίτου επιπέδου.....	160
Εικόνα 99: Γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2009 (α) του πρώτου επιπέδου, (β) του δευτέρου επιπέδου και (γ) του τρίτου επιπέδου.....	162
Εικόνα 100: Γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2003 (α) του πρώτου επιπέδου, (β) του δευτέρου επιπέδου και (γ) του τρίτου επιπέδου.....	165
Εικόνα 101: Γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2009 (α) του πρώτου επιπέδου, (β) του δευτέρου επιπέδου και (γ) του τρίτου επιπέδου.....	167
Εικόνα 102: Δείγματα ελέγχου της απεικόνισης του 2003.....	168
Εικόνα 103: Δείγματα ελέγχου της απεικόνισης του 2009.....	170

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά δορυφόρων Landsat και των τηλεπισκοπικών δεκτών τους....	25
Πίνακας 2: Μεταδεδομένα τηλεπισκοπικής απεικόνισης 2003	72
Πίνακας 3: Μεταδεδομένα τηλεπισκοπικής απεικόνισης 2009	73
Πίνακας 4: Κατηγορίες χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης έπειτα από φωτοερμηνεία	76
Πίνακας 5: Παράμετροι κατάτμησης ανά επίπεδο	95
Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά, συναρτήσεις συμμετοχής και όρια ασάφειας για τις κατηγορίες όλων των επιπέδων	132
Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά, συναρτήσεις συμμετοχής και όρια ασάφειας για τις κατηγορίες όλων των επιπέδων	139
Πίνακας 8: Πίνακας Ανίχνευσης Μεταβολών (ΠΑΜ) με χρήση αντικειμενοστραφών ταξινομήσεων για τις εικόνες των 2003 και 2009 για την περιοχή μελέτης.....	150
Πίνακας 9: Σημαντικές ποσοστιαίες μεταβολές κάλυψης γης μεταξύ των ταξινομήσεων του 2003 και του 2009	151

Πίνακας 10: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2003	157
Πίνακας 11: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του δεύτερου επιπέδου βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2003	158
Πίνακας 12: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2003	159
Πίνακας 13: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2009	160
Πίνακας 14: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του δεύτερου επιπέδου βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2009	161
Πίνακας 15: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2009	161
Πίνακας 16: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2003	163
Πίνακας 17: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του δεύτερου επιπέδου βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2003	164
Πίνακας 18: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2003	164
Πίνακας 19: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2009	165
Πίνακας 20: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του δεύτερου επιπέδου βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2009	166
Πίνακας 21: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2009	166
Πίνακας 22: Πίνακας Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2003	169
Πίνακας 23: Πίνακας Σύγκρισης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2009	171

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής ταξινόμησης της εικόνας του 2003	98
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής ταξινόμησης εικόνας 2009	136

1. Εισαγωγή

Οι ορεινές περιοχές της Ελλάδας, αλλά και γενικότερα του κόσμου, χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη και μοναδική φυσική και κοινωνικοοικονομική πραγματικότητα. Η Ελλάδα θεωρείται μία ορεινή χώρα (περίπου το 70% του εδάφους της είναι ορεινό) και διαθέτει σημαντικό φυσικό πλούτο, έντονα πολιτισμικά χαρακτηριστικά και πλούσιο ενεργειακό δυναμικό. Η σημασία τους κρίνεται αδιαμφισβήτητη, παρόλα αυτά όμως, οι ορεινοί οικισμοί της είναι αρκετά υποτιμημένοι και αντιμετωπίζουν μεγάλα προβλήματα, γεγονός που αποδεικνύεται και από την έλλειψη ειδικού νομοθετικού πλαισίου και από το γεγονός ότι, όλες οι ορεινές περιοχές της Ελλάδας χαρακτηρίζονται ως μειονεκτικές περιοχές, με βάση μία αναθεωρημένη οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το 1981 (Καλιαμπάκος, 2013).

Τα προβλήματα των ορεινών περιοχών της Ελλάδας, όπως άλλωστε συμβαίνει στην πλειοψηφία των ορεινών περιοχών, εστιάζονται κυρίως στην εγκατάλειψη και ερήμωσή τους, στην γήρανση του πληθυσμού, στον οικονομικό μαρασμό, στον κατακερματισμό των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, στη μικρή βλαστητική περίοδο, στις ακραίες καιρικές συνθήκες, στο έντονα και ραγδαία εναλλασσόμενο ανάγλυφο, στην έλλειψη βασικών υποδομών σε θέματα υγείας, παιδείας, επικοινωνίας κ.λπ. και στις απειλές που δέχεται το ιδιαίτερα ευαίσθητο και ευάλωτο φυσικό και πολιτισμικό περιβάλλον τους (Μιχαηλίδου και Ρόκος, 2004). Τα θέματα αυτά είναι απόρροια τόσο των ιδιαιτεροτήτων του ελληνικού φυσικού περιβάλλοντος, όσο και των κοινωνικών, πολιτικών, πολιτισμικών και οικονομικών συνθηκών και συγκυριών οι οποίες καθόρισαν σε μεγάλο βαθμό συγκεκριμένες περιόδους της ελληνικής ιστορίας (Ρόκος, 2004).

Η κατάσταση στην ορεινή Ελλάδα επιδεινώνεται εξαιτίας της έλλειψης σχεδιασμού, διαχείρισης και προστασίας αυτών των περιοχών από τους αρμόδιους φορείς. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, σε αυτές τις περιοχές παρέχονται ελάχιστες επιδοτήσεις, η «εκπαιδευτική μεταρρύθμιση» ξεκίνησε κλείνοντας σχολεία και ένα μεγάλο μέρος τους υφίσταται τις συνέπειες, των ιδιαίτερα συχνών φυσικών καταστροφών, οι οποίες

προκαλούνται σε σημαντικό βαθμό από τις κλιματικές μεταβολές που προκαλούν η υπερπαραγωγή και η υπερκατανάλωση των «ανεπτυγμένων» χωρών (Παπαδημάτου και Ρόκος, 2004). Αξίζει να αναφερθεί ότι, μόλις την τελευταία δεκαετία άρχισαν να λαμβάνονται ειδικά μέτρα για την προστασία και την ανάπτυξη των ορεινών περιοχών της χώρας μας (Μιχαηλίδου και Ρόκος, 2004).

Συνεπώς συμπεραίνεται ότι, η προστασία αυτών των οικισμών και ο προσεκτικός σχεδιασμός είναι μείζονος σημασίας. Βέβαια, για την λήψη οποιουδήποτε μέτρου και απόφασης είναι απαραίτητη η γνώση της κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας και των φυσικών διαθεσίμων της συγκεκριμένης περιοχής. *«Φυσικά διαθέσιμα είναι εκείνοι οι χρήσιμοι για το ανθρώπινο γένος πόροι που υπάρχουν στη γη, στην ατμόσφαιρα στο υπέδαφος και τους ωκεανούς ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης φυσικών βιολογικών και χημικών φαινομένων και τον κάθε φύσης παρεμβάσεων του ανθρώπου κατά τη διάρκεια της ιστορίας του πλανήτη μας»* (Ρόκος, 1980).

Η σωστή και πλήρης καταγραφή των φυσικών διαθεσίμων αποφέρει πολλά οφέλη σε επιστημονικό, θεωρητικό και οικονομικό επίπεδο. Λαμβάνοντας υπόψη τη διεθνή οικονομική κρίση γίνεται εύκολα κατανοητή η επιτακτική ανάγκη της χρήσης τεχνολογικών μεθόδων για τη συγκέντρωση σχετικών δεδομένων, διότι με οποιοδήποτε άλλο τρόπο η πλειοψηφία των απαραίτητων διαδικασιών θα χαρακτηριστεί ως εξαιρετικά χρονοβόρα και με μεγάλο κόστος (Φώτη, 2011).

Η Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση, ως η επιστήμη παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση με τη χρήση δορυφορικών απεικονίσεων ανά χρονικά διαστήματα και για ολόκληρο τον κόσμο, προσεγγίζει καλύτερα από κάθε άλλη επιστήμη τη λύση του συγκεκριμένου προβλήματος. Η συμβολή της σε πολλούς τομείς της ανθρωπότητας είναι μεγάλη, καθώς παρέχονται δεδομένα, όπως χρήσεις γης, καμένες εκτάσεις, καιρικά φαινόμενα, καταστροφές από πλημμύρες και σεισμούς βραχυχρόνια και μακροχρόνια κ.λπ., τα οποία δεν θα ήταν εφικτό να εξασφαλιστούν με διαφορετικό τρόπο. Σε περιοχές όπως οι ορεινές, που είναι δύσκολα προσβάσιμες, με έντονο ανάγλυφο και έντονα καιρικά φαινόμενα και με ελλειψείς ή ανύπαρκτες σε ορισμένες περιπτώσεις διαθέσιμες πληροφορίες για την φυσική και κοινωνικοοικονομική πραγματικότητα τους, η σημασία της Τηλεπισκόπησης αποδεικνύεται ακόμα μεγαλύτερη.

Βέβαια, παράλληλα με την αύξηση των δεδομένων, υπάρχει ταυτόχρονη αύξηση των διαθέσιμων εφαρμογών της Τηλεπισκόπησης. Οι ολοένα και αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών οδήγησαν στη δημιουργία νέων αλγόριθμων με περισσότερες δυνατότητες, καλύτερο περιβάλλον και πιο αποδοτικών στη διαχείριση του όγκου δεδομένων. Μία σημαντική εφαρμογή της συναντάται στην ανίχνευση μεταβολών από διαχρονικές δορυφορικές ή εναέριες εικόνες, η οποία είναι μία μέθοδος που βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη αυτήν τη χρονική περίοδο και η χρήση της συνεχώς αυξάνεται, καθώς πλεονεκτεί από άποψη κόστους, χρόνου και έκτασης περιοχής που αναλύεται. Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις, όπως αναθεώρηση των χαρτών και του οδικού δικτύου, αλλαγές στις χρήσεις γης, παρατήρηση των καλλιεργειών, εποπτεία της δόμησης κ.ά.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή του σχεδιασμού και της ανάπτυξης μιας μεθοδολογίας αντικειμενοστραφούς ανάλυσης, με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων του δορυφόρου Landsat, με σκοπό να συμβάλει στην ανίχνευση και στον εντοπισμό των μεταβολών στις χρήσεις/καλύψεις γης στην περιοχή του Πηλίου. Με τον τρόπο αυτό θα προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με τη πραγματοποίηση ή μη αλλαγών στις χρήσεις γης της περιοχής και θα εντοπιστούν χωρικά αυτές οι αλλαγές, αλλά ταυτόχρονα θα δημιουργηθεί και μία βάση γνώσης για την απόκτηση αυτών των σημαντικών δεδομένων. Δευτερεύων στόχος, είναι η παρουσίαση των δυνατοτήτων που προσφέρει η Τηλεπισκόπηση στον τομέα της ανίχνευσης των μεταβολών της κάλυψης γης και να τονιστεί η χρησιμότητα, η λειτουργικότητα, η ταχύτητα αλλά και οι αδυναμίες αυτής της τεχνικής.

Η ανίχνευση των μεταβολών των χρήσεων γης δεν είναι μόνο ακαδημαϊκού ενδιαφέροντος, καθώς μπορεί περαιτέρω να χρησιμοποιηθεί σαν μια πολύτιμη πηγή δεδομένων για στρατηγικές εφαρμογές και για το σχεδιασμό, την ανάλυση και τη διαφύλαξη του περιβάλλοντος. Η παρατήρηση των μεταβολών και η ανακάλυψη των προτύπων με τα οποία αυτές εμφανίζονται μπορούν να δώσουν σημαντικά στοιχεία σε χωροτάκτες, περιβαλλοντολόγους, τοπογράφους και σε άλλες παρεμφερείς ειδικότητες για λάθη που έγιναν στο παρελθόν και συνεπώς αυτά να αποφευχθούν ή και να διορθωθούν όπου αυτό είναι δυνατό. Επιπλέον, η ανίχνευση μεταβολών

μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία μιας οργανωμένης εικόνας της υφιστάμενης κατάστασης, η οποία να ενημερώνεται τακτικά.

Συνεπώς, η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μπορεί να αποτελέσει μία βάση γνώσης με σημαντικές πληροφορίες για την περιοχή του Πηλίου και να αξιοποιηθεί από τις τοπικές αρχές ως βοηθητικό στοιχείο στη λήψη μέτρων και αποφάσεων για τη διαφύλαξη και τη μελλοντική ανάπτυξη της περιοχής. Επιπροσθέτως, η μεθοδολογία που αναλύεται για τη συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να εφαρμοστεί με κάποιες διαφοροποιήσεις και σε άλλες μελέτες ορεινών περιοχών, χωρίς να χρειάζεται η πραγματοποίηση όλων των χρονοβόρων και απαιτητικών διαδικασιών από την αρχή.

Το λογισμικό που επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί είναι το eCognition, διότι προσφέρει τις απαραίτητες και κατάλληλες τεχνικές για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Με το συγκεκριμένο πρόγραμμα τα εικονοστοιχεία θα ενωθούν με μεθόδους κατάτμησης σε αντικείμενα και μέσω των χαρακτηριστικών τους, όπως μέγεθος, σχέση με τα γειτονικά τους, θέση στο χώρο και πολλών άλλων ιδιοτήτων, θα γίνει η ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων, ώστε να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση των μεταβολών των χρήσεων/καλύψεων γης της περιοχής μελέτης, που αποτελεί και το βασικό στόχο της διπλωματικής εργασίας.

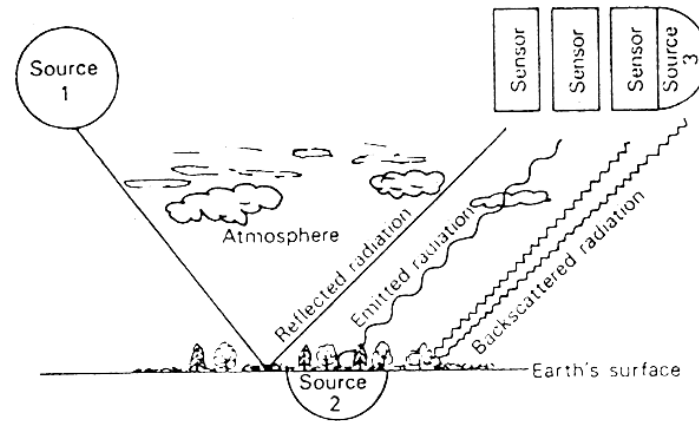
2. Ανασκόπηση Επιστημονικού Πεδίου

2.1. Τηλεπισκόπηση

Η Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing στη διεθνή βιβλιογραφία) είναι η επιστήμη και τεχνική που ασχολείται με τις αρχές, τις αναλογικές και ψηφιακές μεθόδους και τα όργανα με τα οποία επιτυγχάνεται από απόσταση η συλλογή, επεξεργασία και ανάλυση ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών για τη γη, τους ωκεανούς και το περιβάλλον γενικότερα, αλλά και για οποιοδήποτε αντικείμενο, φαινόμενο, γεγονός και συμβάν ή και για οποιαδήποτε διαδικασία μεταβολής τους (Ρόκος, 1996). Ο ορισμός της Τηλεπισκόπησης, με την ευρύτερη έννοια, είναι η απόκτηση πληροφορίας, σχετική με την ιδιότητα ενός αντικειμένου ή ενός φαινομένου, από μια συσκευή καταγραφής που δεν βρίσκεται σε φυσική επαφή με το αντικείμενο παρατήρησης για τη συλλογή δεδομένων σχετικών με το περιβάλλον (Διαμαντοπούλου, 2013).

Η παρατήρηση της επιφάνειας της γης γίνεται με τη χρήση ψηφιακών σαρωτών (τηλεπισκοπικών ανιχνευτών) που ανιχνεύουν την αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα. Οι σαρωτές μπορεί να είναι εγκατεστημένοι σε τεχνητούς δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη σε μετεωρολογικούς δορυφόρους ή να βρίσκονται σε αερομεταφερόμενα μέσα (αεροσκάφη, ελικόπτερα). Η πηγή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η διαδρομή της μέσα από την ατμόσφαιρα, η αλληλεπίδρασή της με το αντικείμενο και η καταγραφή της ακτινοβολίας από τον αισθητήρα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο (Βατούγιου, 2014). Επιπλέον, η ακτινοβολία περιέχει πληροφορίες σχετικά με την επιφάνεια του αντικειμένου και εξυπηρετεί στο διαχωρισμό των αντικειμένων σύμφωνα με το χρώμα και την υφή τους¹.

¹ Πηγή: http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/index.html. [Ημερομηνία πρόσβασης: 12/9/2015].



Εικόνα 1: Διαδικασία συλλογής τηλεπισκοπικών δεδομένων
Πηγή: Αργιαλάς, 1998

Η Τηλεπισκόπηση αναγκάζεται να χρησιμοποιεί οπτικές αλλά και ψηφιακές τεχνικές για την αναγνώριση και ερμηνεία των αντικειμένων καθώς και την ταξινόμηση θεματικών ενοτήτων από πολυφασματικές εικόνες. Οι μεν ψηφιακές τεχνικές αναγνώρισης αντικειμένων στηρίζονται κατά μεγάλο βαθμό στην ποσοτική κατάταξη των εικονοστοιχείων, οι δε οπτικές τεχνικές αναγνώρισης αντικειμένων στηρίζονται κυρίως στην ποιοτική φωτοερμηνεία πολυφασματικών εικόνων (Αργιαλάς, 1999).

Γενικά, τα τηλεπισκοπικά δεδομένα χαρακτηρίζονται από τα τις παρακάτω ιδιότητες (Μαραγκουδάκης, 2014):

- Χωρική ανάλυση: Είναι το μέγεθος του pixel σε πραγματικές διαστάσεις. Στην πράξη ανάλυση καθορίζει τις ελάχιστες διαστάσεις των αντικειμένων που μπορούν να αποτυπωθούν στη ψηφιακή εικόνα.
- Φασματική ανάλυση: Είναι το φασματικό εύρος κάθε φασματικού καναλιού.
- Ραδιομετρική ανάλυση: Είναι η φασματική διακριτική ικανότητα, δηλαδή το πόσο εύκολα ή δύσκολα μπορούν να διακριθούν υλικά γειτονικής φασματικής συμπεριφοράς σε μια εικόνα.

Η ψηφιακή επεξεργασία δορυφορικών εικόνων περιλαμβάνει διαδικασίες διόρθωσης και αποκατάστασης, ενίσχυσης και ταξινόμησης και στηρίζεται στην ανάλυση και περιγραφή των αντικειμένων και των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας περισσότερο ως κατηγορίες, δηλαδή ως ομάδες όμοιων αντικειμένων παρά ως υλικά.

Αυτός είναι άλλωστε και ο τρόπος που αντιλαμβάνεται μία εικόνα ο ανθρώπινος εγκέφαλος, δηλαδή χωρίζοντάς τη σε ομοιογενείς περιοχές (Μιχαηλίδου, 2011).

Με βάση τα παραπάνω η Τηλεπισκόπηση μπορεί να θεωρηθεί ότι καλύπτει εύρος εφαρμογών, όπως η δασολογία, η γεωλογία, η γεωμορφολογία, η ωκεανογραφία, η κλιματολογία, η γεωγραφία, η βιολογία, η χωροταξία, η περιφερειακή ανάπτυξη αλλά και η καταγραφή και παρακολούθηση των φυσικών και ανθρώπινων διαθέσιμων γενικότερα (Καρτάλης και Φειδάς, 2007). Στην πράξη, τα επιτεύγματα της τηλεπισκόπησης εκτός από τα εξειδικευμένα πεδία επιστημών, χρησιμοποιούνται και στην καθημερινή ζωή, όπως για παράδειγμα η πρόγνωση του καιρού που γίνεται αξιοποιώντας δεδομένα από μετεωρολογικούς δορυφόρους.

Συνεπώς, τα πολυάριθμα πλέον τηλεπισκοπικά δεδομένα με την αυξανόμενη χωρική και φασματική τους διακριτική ικανότητα και σε συνδυασμό με τις προηγμένες τεχνικές εξαγωγής της πληροφορίας αποτελούν μία πολύτιμη πηγή πληροφοριών για την ανάπτυξη και βιώσιμη διαχείριση του πλανήτη (Αϊναλή, 2012).

2.2. Τηλεπισκοπικά Δεδομένα Landsat

Η αξιοποίηση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων για τη μελέτη της γης ξεκίνησε, όταν οι τεχνικές δυνατότητες των δορυφόρων που βρίσκονταν σε τροχιά γύρω από τη γη, ακολούθησαν τη ραγδαία ανάπτυξη των δυνατοτήτων των Η/Υ για τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων (Αγαθαγγέλου, 2008). Παρέχουν πολύτιμα στοιχεία για την εξαγωγή άπειρων ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών για τη φυσική και την κοινωνικοοικονομική πραγματικότητα του πλανήτη, αλλά και για τις πολυδιάστατες διαλεκτικές σχέσεις, αλληλεξαρτήσεις και αλληλεπιδράσεις τους και τις τάσεις μεταβολών τους δια μέσου του χρόνου και για αυτό το λόγο κρίνονται μεγάλης σημασίας (Ρέντζιος, 2009).

Παρά το γεγονός ότι, η παρακολούθηση της ατμόσφαιρας της Γης από μετεωρολογικούς δορυφόρους θεωρούνταν χρήσιμη σε μεγάλο βαθμό από το 1960, η

αξιοποίηση δεδομένων εδάφους από το διάστημα ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του 1960².

Τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, το Υπουργείο Εσωτερικών και το Υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α. μαζί με τη NASA, προσπάθησαν να σχεδιάσουν τον πρώτο δορυφόρο παρατήρησης της γης. Ο στόχος τους επιτεύχθηκε το 1972, με την εκτόξευση του ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), ο οποίος αργότερα μετονομάστηκε σε Landsat 1³. Ο πολυφασματικός σαρωτής (MSS) που έφερε είχε διακριτική ικανότητα 80 μέτρων και είχε 4 φασματικά κανάλια. Οι πρώτες πληροφορίες που καταγράφηκαν, παρείχαν πληροφορίες ανυπολόγιστης αξίας λόγω της μοναδικότητάς τους (Αγαθαγγέλου, 2008). Από τότε εκτοξεύτηκαν ακόμα επτά δορυφόροι, παρέχοντας πολύτιμα δεδομένα για ολόκληρο τον πλανήτη.



Εικόνα 2: Τηλεπισκοπικές απεικονίσεις διάφορων περιοχών από τους δορυφόρους Landsat
Πηγή: U.S. Geological Survey, <http://landsat.usgs.gov>

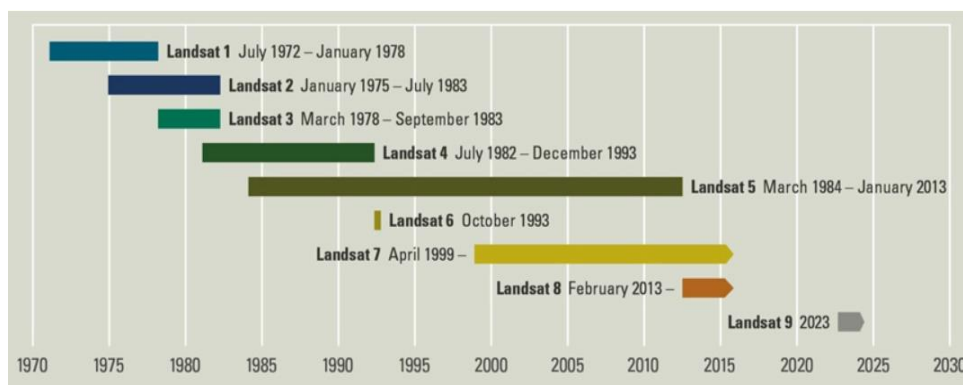
Οι εκτοξεύσεις του Landsat 2 και Landsat 3 ακολούθησαν το 1975 και το 1978 αντίστοιχα, ενώ έπαψαν να στέλνουν ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις στη γη το 1982 και το 1983 αντίστοιχα.

Ακολούθησε η εκτόξευση του δορυφόρου Landsat 4, τον Ιούλιο του 1982, ο οποίος μετέφερε τον Θεματικό Χαρτογράφο (TM) που πλέον είχε διακριτική ικανότητα 30 μέτρων (120 μέτρων στη θερμική ζώνη) και 7 φασματικά κανάλια. (Παραλυκίδης, 2010). Αυτά τα χαρακτηριστικά διέθετε και ο Landsat 5 που ξεκίνησε το 1984 και παρείχε υψηλής ποιότητας, παγκόσμια δεδομένα της επιφάνειας της γης για 28 χρόνια και 10 μήνες, θέτοντας επίσημα ένα νέο παγκόσμιο ρεκόρ Γκίνες. Ο Landsat 6 μετά από μια αποτυχημένη εκτόξευση, δεν έγινε δυνατό να τεθεί σε τροχιά το 1993 (Βατούγιου, 2014).

² Πηγή: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3166> [Ημερομηνία πρόσβασης: 12/5/2016].

³ Πηγή: http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php [Ημερομηνία πρόσβασης: 12/3/2016].

Ο Landsat 7 εκτοξεύθηκε με επιτυχία τον Απρίλιο του 1999 και μαζί με τον Landsat 8, ο οποίος ξεκίνησε το 2013, συνεχίζει να παρέχει καθημερινά παγκόσμια δεδομένα. Η καινοτομία αυτού του δορυφόρου σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές είναι ο σαρωτής ETM+, καθώς έχει τα ίδια 7 φασματικά κανάλια με τον προκατόχο του, χωρικής ανάλυσης 30 μέτρων (εκτός της θερμικής ζώνης με 60 μέτρα), αλλά έχει μία παγχρωματική φασματική ζώνη (PAN), χωρικής ανάλυσης 15 μέτρων (Αγαθαγγέλου, 2008). Ο Landsat 9 έχει προγραμματιστεί διστακτικά να ξεκινήσει το 2023⁴.



Εικόνα 3: Χρονολογικό γράφημα διάρκειας ζωής των δορυφόρων Landsat
Πηγή: U.S. Geological Survey, <http://landsat.usgs.gov>

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά δορυφόρων Landsat και των τηλεπισκοπικών δεκτών τους

Δορυφόρος	Εκτόξευση	Κανάλια RBV	Κανάλια MSS	Κανάλια TM ή ETM	Κανάλια OLI/TIRS	Τροχιά
Landsat 1	23/7/1972	1,2,3	4,5,6,7			18 ημ./900 Km
Landsat 2	22/1/1975	1,2,3	4,5,6,7			18 ημ./900 Km
Landsat 3	5/3/1978	1	4,5,6,7,8			18 ημ./900 Km
Landsat 4	16/7/1982		4,5,6,7	1,2,3,4,5,6,7		16 ημ./705 km
Landsat 5	1/3/1984		4,5,6,7	1,2,3,4,5,6,7		16 ημ./705 km
Landsat 6	5/10/1993			1,2,3,4,5,6,7 +PAN (ETM)		16 ημ./705 km
Landsat 7	15/4/1999			1,2,3,4,5,6,7 +PAN (ETM+)		16 ημ./705 km
Landsat 8	11/2/2013				1,2,3,4,5,6,7,9 +PAN +TIRS 1, TIRS2	16 ημ./705 km

Πηγή: Βατούγιου, 2014, Landsat science – Nasa, <http://landsat.gsfc.nasa.gov>, Ιδία επεξεργασία

⁴ Πηγή: http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php [Ημερομηνία πρόσβασης: 12/3/2016].

Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις Landsat αξιοποιούνται σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών, λόγω χάρη στην καταγραφή και χαρτογράφηση των φυσικών και ανθρωπίνων διαθεσίμων, στην παρακολούθηση των χρήσεων/καλύψεων γης, στη διερεύνηση της κατάστασης και της ποιότητας του φυσικού περιβάλλοντος κ.λπ. (Ρέντζιος, 2009).

Από την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου του προγράμματος Landsat, σχεδιάστηκαν και τέθηκαν σε λειτουργία αρκετοί δορυφόροι με διαφορετικά χαρακτηριστικά βέβαια, όπως οι WorldView, Orbview, QuickBird, Ikonos, Terra, Spot, Aster κ.ά. Αυτή τη στιγμή, υπάρχουν δορυφορικά συστήματα που μπορούν να αποκτήσουν πληροφορία για σχεδόν όλα τα διαθέσιμα μέρη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και με μεγέθη εικονοστοιχείων που ξεκινούν από κάποια εκατοστά και φτάνουν το 1km (Θέμελης, 2010).

Στο εδάφιο που ακολουθεί γίνεται ανάλυση του δορυφόρου Landsat 5 και των κυριότερων χαρακτηριστικών του, διότι οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα διπλωματική εργασία προέρχονται από τον συγκεκριμένο δορυφόρο.

2.2.1. Landsat 5 TM

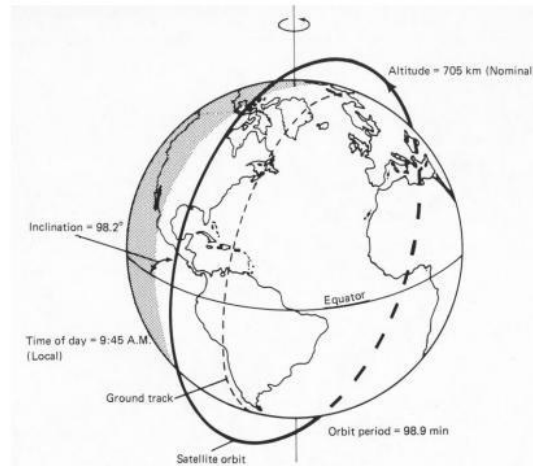
Ο δορυφόρος Landsat 5 TM εκτοξεύτηκε την 1^η Μαρτίου το 1984 και σταμάτησε να λειτουργεί οριστικά τον Ιανουάριο του 2013, ενώ είχε σχεδιαστεί με διάρκεια ζωής τρία χρόνια. Χρειάζονται 16 ημέρες για μία πλήρη κάλυψη της γης (ήταν 18 ημέρες για τους Landsat 1, 2, 3) και συνεπώς παρείχε τη δυνατότητα συστηματικής παρακολούθησης φαινομένων και χαρακτηριστικών, τα οποία εξελίσσονταν έως και 23 φορές μέσα στη διάρκεια ενός έτους και μάλιστα την ίδια ώρα σε κάθε συγκεκριμένη περιοχή. Επιπλέον, οι τροχιές των Landsat 4 και 5 είχαν διαφορά φάσης 8 ημερών, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επαναλαμβανόμενη κάλυψη από τους τηλεπισκοπικούς τους δέκτες της ίδιας περιοχής κάθε 8 ημέρες (Ρέντζιος, 2009).



Εικόνα 4: Φωτογραφία δορυφόρου Landsat 5 TM
Πηγή: Landsat science – Nasa, <http://landsat.gsfc.nasa.gov>

Ο Landsat 5 ήταν εφοδιασμένος, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, με δύο πολυφασματικούς δέκτες, τον πολυφασματικό σαρωτή MSS και τον Θεματικό Χαρτογράφο (TM), ο οποίος τον καθιστούσε πολύτιμο τηλεπισκοπικό δέκτη εξαιτίας της μεγάλης χωρικής και φασματικής διακριτικής του ικανότητας. Ο MSS ήταν όμοιος με εκείνον των Landsat 1, 2 και 3 και διέθετε τα εξής κανάλια: το κανάλι 4, που ήταν ευαίσθητο στο ορατό πράσινο (0.5 έως 0.6 μm), το κανάλι 5, που ήταν στο ορατό κόκκινο (0.6 έως 0.7 μm) και τα κανάλια 6 και 7, που ήταν στο εγγύς υπέρυθρο (0.7 έως 0.8 μm) και (0.8 έως 1.1 μm) αντίστοιχα⁵. Ο πολυφασματικός δέκτης TM είχε 7 φασματικές ζώνες. Οι τρεις πρώτες ήταν ευαίσθητες στο ορατό τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, 0.45 έως 0.52 μm (μπλε), 0.52 έως 0.60 μm (πράσινο) και 0.63 έως 0.69 μm (κόκκινο), το κανάλι 4 ήταν ευαίσθητο στο εγγύς υπέρυθρο (0.76 έως 0.90 μm), τα κανάλια 5 και 7 στο μέσο υπέρυθρο (1.55 έως 1.75 μm και 2.08 έως 2.35 μm αντίστοιχα) και τέλος, το κανάλι 6 στην περιοχή του θερμικού υπέρυθρου (10.4 έως 12.5 μm) (Βατούγιου, 2014). Η χωρική διακριτική ικανότητα του TM ήταν 30 μέτρα για όλα τα κανάλια πλην του θερμικού υπέρυθρου, το οποίο είχε 120 μέτρα.

⁵Πηγή: http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php [Ημερομηνία πρόσβασης: 12/3/2016].



Εικόνα 5: Ηλιοσύγχρονη τροχιά των Landsat 4 και 5
Πηγή: Αργιαλάς, 1999

Το ύψος πτήσης έφτανε τα 705 km και είχε ηλιοσύγχρονη, κυκλική και πολική (με κλίση 98.2° ως προς τον Ισημερινό) τροχιά. Η ζώνη σάρωσης παρέμεινε 185 km x 170 km. Τέλος, οι απεικονίσεις του δορυφόρου Landsat 5 αρχειοθετούνταν στο Landsat Worldwide Reference System (WRS) σε 233 paths και 248 rows (Αργιαλάς, 1999).

2.3. Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνων

Η ψηφιακή επεξεργασία των τηλεπισκοπικών δεδομένων γινόταν μέχρι προ ολίγων ετών σε λογισμικά από αλγορίθμους και μαθηματικά μοντέλα που λάμβαναν ως μονάδα το εικονοστοιχείο και τα φασματικά του χαρακτηριστικά για την ομαδοποίησή τους (Καραγιάννης, 2011).

Επομένως, 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 (Blaschke, 2005).

Οι φασματικές μέθοδοι ταξινόμησης, όπως της μέγιστης πιθανοφάνειας, της ελάχιστης απόστασης κ.ά., μπορούν να δώσουν αξιόλογα αποτελέσματα σε κάποια είδη μελετών. Όταν όμως πρόκειται να γίνει μελέτη σε περίπλοκο περιβάλλον, όπως αυτό της αστικής γης για παράδειγμα, με υψηλής ανάλυσης δορυφορικά οι

φασματικές μέθοδοι ταξινόμησης αγνοούν βασικές σχέσεις ιεραρχίας και τοπολογίας των χαρακτηριστικών της εικόνας, πράγμα που επιδρά αρνητικά στην ακρίβεια της ταξινόμησης (Doxani et al., 2007).

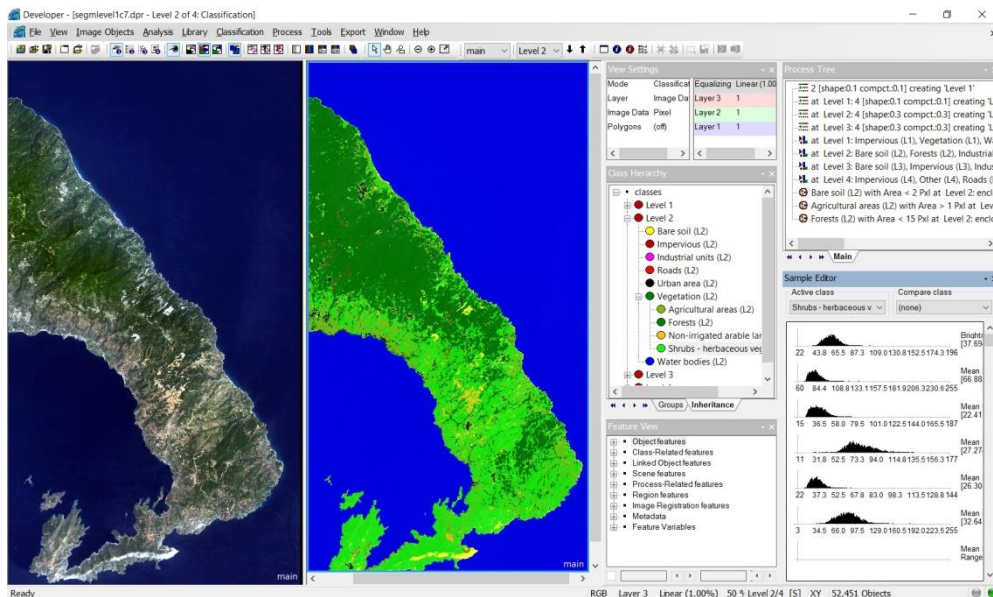
Τη λύση στο πρόβλημα αυτό ήρθε να δώσει η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας ή αλλιώς O.B.I.A. (Object-Based Image Analysis), η οποία αποτελεί την πιο σύγχρονη προσέγγιση όσον αφορά στην ταξινόμηση τηλεπισκοπικών δεδομένων (Μαραγκουδάκης 2014). “Ως βασικός στόχος της είναι η ανάπτυξη των κατάλληλων θεωριών, μεθόδων και εργαλείων για την αναπαραγωγή (ακόμα και υπέρβαση) του ανθρώπινου τρόπου ερμηνείας τηλεπισκοπικών εικόνων με ημιαυτόματο ή αυτόματο τρόπο, που θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της επαναληψιμότητας και της παραγωγής με παράλληλη μείωση της υποκειμενικότητας, του χρόνου και του εργατικού κόστους” (Chen, et al., 2009).

Η αντικειμενοστραφής ανάλυση χρησιμοποιεί ως στοιχειώδη μονάδα το αντικείμενο, δηλαδή μια ομάδα εικονοστοιχείων που δημιουργείται βάσει κάποιων κριτηρίων που ορίζει ο χρήστης. Τα κριτήρια αυτά ορίζονται μέσω της διαδικασίας της κατάτμησης πολλαπλών επιπέδων της εικόνας, η οποία αποτελεί τη βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης, καθώς μέσω αυτής δημιουργούνται τα πρωτογενή δεδομένα της εικόνας, δηλαδή τα αντικείμενα (Addink et al., 2012). Με αυτό τον τρόπο 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 κ.ά. (Bock et al., 2005; Hussain et al., 2013). Η ανάλυση αυτή είναι εύκολα κατανοητή, διότι αναπαριστά τη διαδικασία που ακολουθεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος για την κατανόηση και ερμηνεία μίας εικόνας (Addink et al., 2012).

2.3.1. Εισαγωγή στο Λογισμικό eCognition

Το eCognition αποτελεί ένα σύγχρονο λογισμικό το οποίο επεξεργάζεται τηλεπισκοπικά δεδομένα με τη μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης. Το

λογισμικό αυτό δημιουργήθηκε και διατίθεται από τη γερμανική εταιρία DEFiNiENS Imaging GmbH⁶.



Εικόνα 6: Το περιβάλλον του eCognition

Σκοπός του eCognition είναι να βελτιώσει την ποιότητα ταξινόμησης και να επιταχύνει την ταξινόμηση των εικόνων με μεγαλύτερη ακρίβεια. Επίσης, έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ξεπερνάει τους πολλαπλούς περιορισμούς και τις αδυναμίες των παραδοσιακών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή χαρακτηριστικών από τηλεπισκοπικές εικόνες πολύ μεγάλης διακριτικής ικανότητας (Αγαθαγγέλου, 2008). Βασική αρχή του λογισμικού είναι ότι στην ανάλυση εικόνας η σημαντική πληροφορία για την προσέγγιση της φωτοερμηνείας δεν βρίσκεται στο επίπεδο των εικονοστοιχείων, αλλά στο επίπεδο σημασιολογικών αντικειμένων της εικόνας και στις μεταξύ τους σχέσεις (Hofman, 2001). Κύριο χαρακτηριστικό αυτής της προσέγγισης είναι η δημιουργία φωτοερμηνευτικής βάσης γνώσης με αντικειμενοστραφή προγραμματισμό σε πολλαπλά επίπεδα ανάλυσης και με χρήση ασαφούς λογικής (Αργιαλάς και Τζώτζος, 2002).

Οι Baatz και Schäpe (2000) ήταν οι πρώτοι που παρουσίασαν αυτό το λογισμικό κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης. Η ανάλυση των εικόνων με τη χρήση του eCognition γίνεται με κατάτμηση της εικόνας σε σημασιολογικά αντικείμενα, τα

⁶ Πηγή: <http://ecognition.cc/download/userguide.pdf> [Ημερομηνία πρόσβασης: 3/5/2016].

οποία δρουν ως δομικοί λίθοι για την επακόλουθη ανάλυση εικόνας και την ταξινόμηση. Θεμελιώδη δυνατότητα της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης είναι η ανταπόκριση των αντικειμένων που προκύπτουν από την κατάτμηση με τα αντικείμενα της επιφάνειας της γης (Lein, 2012). Ακολουθεί ο διαχωρισμός των αντικειμένων σε κλάσεις και η εισαγωγή σε αυτά κανόνων, οι οποίοι καθορίζονται από τον χρήστη και περιγράφουν την ταυτότητα των αντικειμένων σε κάθε κλάση. Αυτός ο τρόπος διευκολύνει την ταχύτητα επεξεργασίας και ανάλυσης γεωχωρικών δεδομένων (Αϊναλή, 2012). Οι ιδιότητες σε ένα αντικειμενοστραφές σύστημα ανάλυσης εικόνας μπορούν να αφορούν το χρώμα, το σχήμα, τη υφή, τη σχέση του αντικειμένου με το περιβάλλον του, την τοπολογία του με άλλες κατηγορίες κ.ά. (Φαναρά, 2011).

Οι αλγόριθμοι κατάτμησης χρησιμοποιούνται για να χωρίσουν την εικόνα, η οποία αντιπροσωπεύεται από το σύνολο των εικονοστοιχείων ή από συγκεκριμένα αντικείμενα άλλων πεδίων σε μικρότερα αντικείμενα ή ακόμα και να συνενώσει μικρά αντικείμενα σε μεγαλύτερα (Μιχαηλίδου, 2011). Το eCognition παρέχει τη δυνατότητα χρήσης πολλών αλγορίθμων κατάτμησης από τον πιο απλό όπως η κατάτμηση-σκακιέρα έως στον πιο εξειδικευμένο όπως η κατάτμηση πολλαπλών επιπέδων⁷.

Εκτός από την νέα αυτή μέθοδο κατάτμησης, το λογισμικό προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας ιεραρχίας πολλαπλών επιπέδων από ομοιογενή ως προς το τόνο αντικείμενα της εικόνας, τα οποία κάθε στιγμή γνωρίζουν τόσο τους γείτονες τους στο ίδιο επίπεδο, αλλά και τα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω ή κάτω από αυτά (Αϊναλή, 2012). Επίσης, ο χρήστης μπορεί να παρέμβει στο μέγεθος των πρωτογενών αντικειμένων αλλάζοντας ορισμένες παραμέτρους και να αξιοποιεί το σύνολο των διαφόρων χαρακτηριστικών των αντικειμένων (Μαραγκουδάκης, 2014). Με τα χαρακτηριστικά αυτά να μεν ταξινομεί τα αντικείμενα σε θεματικές κατηγορίες με βάση την ασαφής λογική, αλλά υπολογίζει και το ποσοστό συμμετοχής τους σε αυτήν. 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 (Doxani et al., 2007).

⁷ Πηγή: <http://ecognition.cc/download/userguide.pdf> [Ημερομηνία πρόσβασης: 3/5/2016].

Οι διαδικασίες της κατάτμησης της και της ταξινόμησης δεν αποτελούν μία μονόπλευρη σειρά διαδικασιών αλλά αντιθέτως, είναι διαδικασίες κυκλικές και αλληλένδετες και επαναλαμβάνονται έως ότου καταλήξουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα (Μιχαηλίδου, 2011).

Παρόλο που μέρος της μεθοδολογίας και η φιλοσοφία αυτού του λογισμικού υπήρχε εννοιολογικά ή και τμηματικά εφαρμοσμένη στον χώρο των έμπειρων συστημάτων και της ανάλυσης εικόνας, ήταν η πρώτη φορά που έγινε υλοποίηση όλων αυτών των χαρακτηριστικών σε ένα ενιαίο λογισμικό (Argialas and Harlow, 1990). Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι στην ψηφιακή τηλεπισκόπηση δεν υπήρχε λογισμικό το οποίο να μπορεί να προσομοιώσει την ποιοτική διαδικασία εκείνη κατά την οποία ο φωτοερμηνευτής αξιολογεί αφ' ενός μεν τα σχήματα των αντικειμένων και αφ' ετέρου την γειτνίαση των περιοχών μελέτης, και την γενικότερη σχέση τους με το περιβάλλον. Για πρώτη φορά έγινε εφικτή η ποσοτική αναπαράσταση σε σχέσεις γειτνίασης μεταξύ αντικειμένων εικόνας αλλά και αναπαράστασης στατιστικών χρώματος και σχήματος των αντικειμένων ως προς το περιβάλλον τους (Αργιαλάς και Τζώτσος, 2002).

Τέλος, σημαντική δυνατότητα που παρέχει το λογισμικό είναι η εύκολη συνεργασία του με τα Συστήματα Πληροφοριών Γης (GIS), επειδή τα αποτελέσματα της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης μπορούν να εξαχθούν υπό μορφή πολυγώνων. Επιπλέον, η όλη διαδικασία ανάλυσης μιας 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 (Blaschke, 2010).

2.3.2. Κατάτμηση Εικόνας

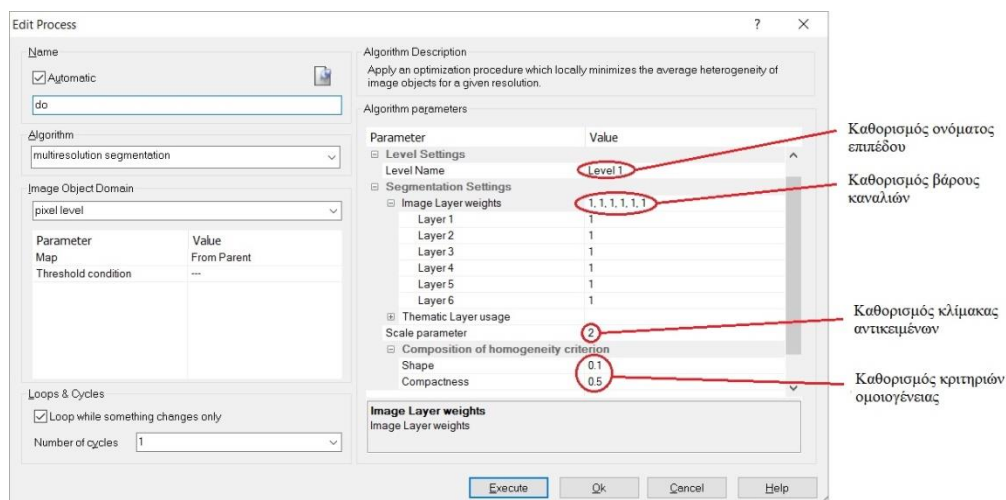
Χαρακτηριστικό στοιχείο της αντικειμενοστραφούς προσέγγισης, είναι το στάδιο της κατάτμησης της εικόνας σε ομοιογενή τμήματα, γνωστής και ως κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης (multiresolution segmentation). Η κατάτμηση αποτελεί πάντα το πρώτο βήμα που εκτελείται στην επεξεργασία μιας εικόνας, καθώς οποιαδήποτε άλλη διαδικασία ανάλυσης της εικόνας απαιτεί τα αρχικά αντικείμενα (Μιχαηλίδου,

2011). Η κατάτμηση πολλών επιπέδων ξεκινά με αντικείμενα που αποτελούνται από ένα εικονοστοιχείο τα οποία στη συνέχεια συνενώνονται σε ένα σύνολο πρωτογενών αντικειμένων, κάθε ένα από τα οποία αποτελεί μία εννοιολογική ενότητα εικονοστοιχείων με παρόμοιες φασματικές ιδιότητες (Φαναρά, 2011).

Η κατάτμηση μιας εικόνας εξαρτάται τόσο από τις ανάγκες του ερευνητή όσο και από τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν. Οι δύο αυτοί παράγοντες καθορίζουν το μέγεθος των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν, καθώς το βάθος της ανάλυσης και επεξεργασίας της εικόνας και η ευκρίνεια και ο διαφορετικός αριθμός φασματικών καναλιών των δορυφόρων επηρεάζουν την κλίμακα των αντικειμένων (Αϊναλή, 2012).

Ο χρήστης είναι σε θέση να αποφασίσει τον αριθμό των επιπέδων κατάτμησης, το μέγεθος τμημάτων, τη φασματική ομοιογένεια που θα παρουσιάζουν, καθώς και σε ποιο βαθμό τα αντικείμενα αυτά θα έχουν σχήμα συμπαγές ή λείο, ανάλογα με τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής (Μαλλίνης, 2006). Έτσι ο αλγόριθμος είναι σε θέση να χρησιμοποιεί τόσο κριτήρια τόνου και χρώματος της εικόνας όσο και κριτήρια σχήματος των αντικειμένων (Παπαγεωργίου, 2007).

Επί της ουσίας, οι παράμετροι που καθορίζονται για την κατάτμηση των εικόνων είναι το βάρος με το οποίο το κάθε κανάλι θα συμμετέχει, τα βάρη που θα δοθούν στο φασματικό κριτήριο και στο κριτήριο σχήματος και τέλος η παράμετρος κλίμακας (Βλέπε Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Παράθυρο διαλόγου του αλγόριθμου πολλαπλής κατάτμησης επιπέδων

Παρακάτω αναλύονται, οι βασικότεροι παράμετροι του Αλγόριθμου Πολλαπλής Κατάτμησης:

1. Παράμετρος κλίμακας (scale parameter)

Είναι όρος που ρυθμίζει το επιθυμητό μέγεθος και την μέγιστη επιτρεπόμενη ετερογένεια των παραγόμενων αντικειμένων (segments) (Φώτη, 2011). Το μέγεθος των τμημάτων έχει εύρος τιμών από ολόκληρη την εικόνα έως το μεμονωμένο εικονοστοιχείο. Μεγαλύτερες τιμές κλίμακας έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ανοχή στην ετερογένεια άρα μεγαλύτερα αντικείμενα και αντίστροφα (Μαραγκουδάκης, 2014). Ένας γενικός κανόνας για την επιλογή της καταλληλότερης κατάτμησης είναι ότι επιδιώκονται τα μεγαλύτερα δυνατά αντικείμενα, τα οποία ωστόσο αποδίδουν όλες τις λεπτομέρειες που επιβάλλεται να αποδοθούν στον τελικό χάρτη της ταξινόμησης και αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά κάθε κλάσης με ακρίβεια. Με άλλα λόγια στόχος είναι να δημιουργηθούν, μέσω της κατάτμησης, αντικείμενα με σημαντική σημασιολογική υπόσταση (Σιώρα, 2011).

Συνήθως, δημιουργούνται επίπεδα κατάτμησης με σειρά είτε από το επίπεδο με τον μεγαλύτερο συντελεστή κλίμακας σε αυτό με τον μικρότερο (top-down), είτε από το επίπεδο με τον μικρότερο συντελεστή κλίμακας σε αυτό με τον μεγαλύτερο (bottom-up). Η από πάνω προς τα κάτω (top-down) κατάτμηση οδηγεί σε διάσπαση των περιοχών που δεν πληρούν τα κριτήρια κατάτμησης, ενώ η από κάτω προς τα πάνω διαιρεί ολόκληρη την εικόνα συγχωνεύοντας εικονοστοιχεία που βάσει των τιθέμενων κριτηρίων εμφανίζουν υψηλό βαθμό καταλληλότητας για συγχώνευση και συγκροτούν ενότητα (Ρέντζιος, 2009).

2. Παράμετρος χρώματος (color criterion)

Η παράμετρος αυτή ρυθμίζει τη βαρύτητα που θα δοθεί, κατά την κατάτμηση, στα φασματικά χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων που απαρτίζουν το παραγόμενο αντικείμενο. Το χρώμα και το σχήμα λαμβάνουν πάντα συμπληρωματικές τιμές με άθροισμα τη μονάδα (Σιώρα, 2011). Το φασματικό κριτήριο δεν μπορεί να έχει τιμή μικρότερη από 0.1, εξαιτίας του προφανούς γεγονότος ότι χωρίς φασματικές πληροφορίες εικόνας, τα αντικείμενα που θα προκύψουν επίσης δεν θα έχουν φασματικές πληροφορίες (Μαραγκουδάκης, 2014). Ειδικά για την κατάτμηση

πολλών επιπέδων είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάρος στο κριτήριο του χρώματος, διότι η φασματική πληροφορία που μας δίνει η εικόνα είναι η σημαντικότερη όλων των δεδομένων που εμπεριέχονται σε αυτήν (Μιχαηλίδου, 2011).

3. Παράμετρος σχήματος (shape criterion)

Με αυτή τη παράμετρο ορίζεται η βαρύτητα που θα δίνεται κατά την κατάτμηση στο τελικό σχήμα του παραγόμενου αντικειμένου. Το κριτήριο του σχήματος συμβάλλει στο αποτέλεσμα μιας κατάτμησης, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις δεδομένων με μεγάλες εναλλαγές στην υφή (Φώτη, 2011). Το κριτήριο του σχήματος χωρίζεται στα επιμέρους κριτήρια που αφορούν το συμπαγές του σχήματος (Compactness) ή αντίθετα το λείο της οριογραμμής (Smoothness). Το πρώτο συμβάλλει στη δημιουργία συμπαγών αντικειμένων δηλαδή όχι ιδιαίτερα μακρόστενων ενώ αντίθετα το δεύτερο συμβάλλει στο σχηματισμό αντικειμένων με πιο λείο περίγραμμα (Μιχαηλίδου, 2011). Το συμπαγές του σχήματος ως κριτήριο χρησιμοποιείται για να βελτιστοποιήσει τα όρια των αντικειμένων ως προς την κανονικότητά τους και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπως η ανάδειξη των αστικών περιοχών, των κτιρίων κ.λπ., όπου τα πολύγωνα έχουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές αλλά διαφέρουν σημαντικά στο σχήμα (Σιώρα, 2011). Αντιθέτως, η ομαλότητα της οριογραμμής καθορίζεται για την ανάδειξη επιμηκών αντικειμένων, όπως είναι το οδικό δίκτυο (Αϊναλή, 2012).

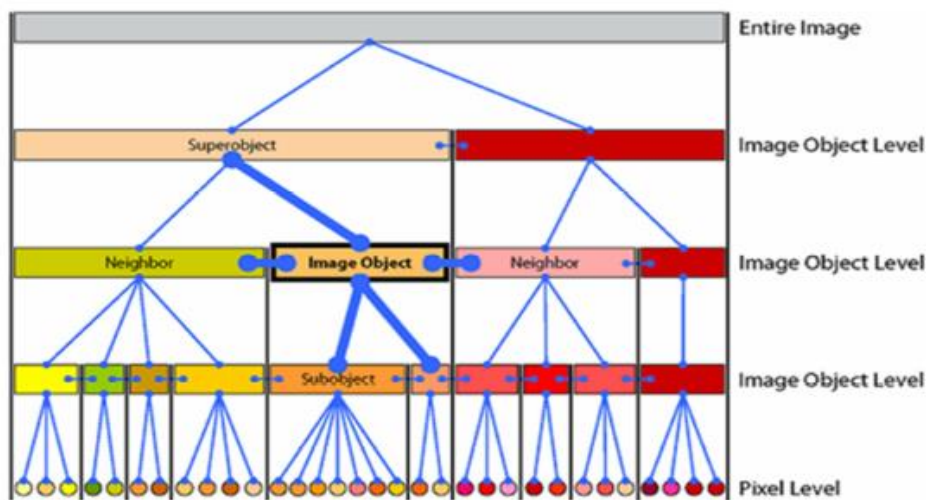
Μία αποτελεσματική μέθοδος για την κατάτμηση της εικόνας είναι ο πειραματισμός και η εκτέλεση πολλών κατατμήσεων με διαφορετικές παραμέτρους μέχρι να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Αν οι εικόνες είναι πολύ μεγάλες τότε υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας ενός αντιπροσωπευτικού τμήματός τους και στη συνέχεια μόλις αποφασιστούν οι κατάλληλες παράμετροι για την κατάτμηση να εφαρμοστεί σε όλη την εικόνα (Μιχαηλίδου, 2011).

2.3.3. Ιεραρχικό Δίκτυο Αντικειμένων

Οι διάφοροι αλγόριθμοι κατάτμησης που εφαρμόζονται στο eCognition δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει ανώτερα, κατώτερα και ενδιάμεσα επίπεδα

αντικειμένων από τα υφιστάμενα. Με άλλα λόγια, επιτρέπεται η δημιουργία ενός ιεραρχικού δικτύου αντικειμένων το οποίο αναπαριστά την πληροφορία της εικόνας με διαφορετική χωρική ανάλυση ανάλογα τις παραμέτρους του αλγορίθμου.

Το ιεραρχικό δίκτυο είναι έτσι δομημένο ώστε κάθε αντικείμενο να γνωρίζει ποια είναι τα γειτονικά του, το περιεχόμενό τους και ποια είναι τα υπο-αντικείμενα και τα υπερ-αντικείμενά του. Συνεπώς, μπορούν να οριστούν οι σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων και να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή πληροφοριών για όλη την εικόνα (Φαναρά, 2011).



Εικόνα 8: Ιεραρχικό δίκτυο αντικειμένων της εικόνας
Πηγή: Μαραγκουδάκης, 2014

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, η συνένωση περιορίζεται από τα όρια των υπερ-αντικειμένων, τα οποία τηρούνται αυστηρά. Για το λόγο αυτό δεν είναι δυνατόν να δημιουργηθεί ένα επίπεδο με μεγαλύτερα αντικείμενα από αυτά που περιέχονται στο ανώτερό του (Μιχαηλίδου, 2011). Συνεπώς, διαφαίνεται ότι η αλληλουχία με την οποία κατατμούνται τα επίπεδα είναι σημαντική (Μαραγκουδάκης, 2014).

Το εμβαδόν των υπερ-αντικειμένων καθορίζεται από το άθροισμα των εμβαδών των υπο-αντικειμένων που περιέχουν, το ίδιο και για τα υπο-αντικείμενα, καθώς το

δίκτυο είναι τοπολογικά ορισμένο. Πρακτικά αυτό το άθροισμα υλοποιείται εύκολα, αφού στο συγκεκριμένο λογισμικό όλες οι τεχνικές κατάτμησης είναι αλγόριθμοι συνένωσης περιοχών. Κάθε επίπεδο δομείται βάσει των απευθείας υπο-αντικειμένων του, δηλαδή τα υπο-αντικείμενα ενός επιπέδου ενώνονται σε μεγαλύτερα στο επόμενο επίπεδο (Ρέντζιος, 2009).

Αξίζει να αναφερθεί ότι, το ιεραρχικό δίκτυο των αντικειμένων δίνει την δυνατότητα για καινοτόμες τεχνικές επεξεργασίες. Για παράδειγμα τα αντικείμενα που προέκυψαν από διαφορετικής κλίμακας κατατμήσεις και δημιουργήσαν διαφορετικά επίπεδα μπορούν να αναπαρασταθούν ταυτόχρονα και να ταξινομηθούν στα αντίστοιχα επίπεδα συγκριτικά μεταξύ τους. Επιπλέον, τα διάφορα επίπεδα μπορούν να κατατμηθούν με βάση διαφορετικά δεδομένα, λόγω χάρη ένα ανώτερο επίπεδο μπορεί να δημιουργηθεί με βάση ένα θεματικό επίπεδο ενώ ένα κατώτερο με βάση τα φωτοερμηνευτικά δορυφορικά δεδομένα (Ρέντζιος, 2009). Η ταξινόμηση των αντικειμένων, που φέρουν τη θεματική πληροφορία, στο ανώτερο επίπεδο μπορεί να γίνει με βάση τη σύσταση των αντικειμένων στο κατώτερο. Η τεχνική αυτή επιτρέπει την ταυτόχρονη επεξεργασία διαφορετικών τύπων δεδομένων όχι μόνο ανεξάρτητα αλλά και μεταξύ τους. Τέλος, το ιεραρχικό δίκτυο επιτρέπει την ταξινόμηση των υπο-αντικειμένων σε σχέση με τα ανώτερά τους (Μιχαηλίδου, 2011).

2.3.4. Ταξινόμηση Βάσει Κατάτμησης

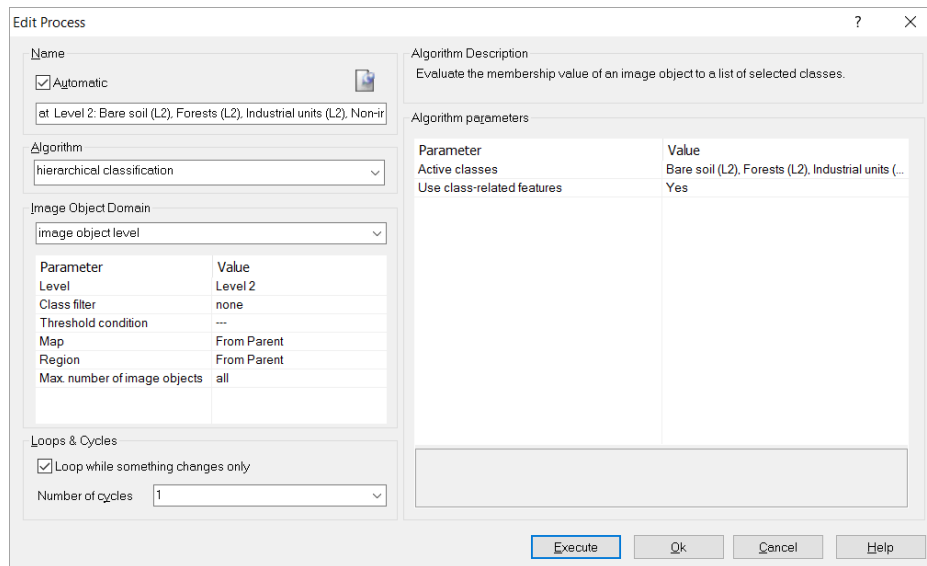
Η ταξινόμηση δεδομένων από αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες είναι μία πολύ διαδεδομένη προσέγγιση στις κοινότητες της Φωτογραμμετρίας και της Τηλεπισκόπησης (Πατεράκης, 2010). Σκοπός της ταξινόμησης είναι η αυτόματη κατηγοριοποίηση όλων των εικονοστοιχείων μιας εικόνας σε διάφορες τάξεις κάλυψης γης ή αντικείμενα (Αργιαλάς, 1999). Στο eCognition η ταξινόμηση αυτή αφορά στα αντικείμενα που δημιουργούνται μετά την κατάτμηση και όχι στα εικονοστοιχεία (Μιχαηλίδου, 2011). Μέσω της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης είναι δυνατή η ταξινόμηση διάφορων τύπων αντικειμένων, ακόμα και υπο-αντικειμένων (Ρόκος, 2005).

Στην ουσία υπάρχουν δυο μέθοδοι για να ταξινομηθεί μια εικόνα με τη χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού. Ο συνδυασμός των δύο αυτών μεθόδων που παρέχεται αυξάνει σε μεγάλο βαθμό τις δυνάμεις του όσο αφορά την ταξινόμηση (Μαραγκουδάκης, 2014). Συνδυάζει την υπολογιστική ισχύ που προσφέρει ο υπολογιστής στους φασματικούς διαχωρισμούς και υπολογισμούς καθώς και τις δυνατότητες ενός έμπειρου φωτοερμηνευτή, ο οποίος δίνει σημασία και στα σχήματα και στη θέση και στο μοτίβο και σε άλλα χαρακτηριστικά που αναγνωρίζει, καθώς κάνει χρήση της εμπειρίας όταν θεωρείται απαραίτητη (Αγαθαγγέγου, 2008).

Σε γενικές γραμμές, οι 2 μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση αποτελούν επιβλεπόμενες μεθόδους ταξινόμησης και είναι οι ακόλουθοι (Σιώρα, 2011):

1. Η ταξινόμηση με τη χρήση κανόνων (συναρτήσεων συμμετοχής), γνωστή και ως ταξινόμηση βάσει ασαφούς λογικής, η οποία θα αναπτυχθεί στο επόμενο υποεδάφιο.
2. Η ταξινόμηση με τη χρήση του αλγόριθμου του Εγγύτερου Γείτονα (Nearest Neighbor) ή του Τυπικού Εγγύτερου Γείτονα (Standard Nearest Neighbor)

Η μέθοδος του Εγγύτερου Γείτονα είναι μια γρήγορη μέθοδος ταξινόμησης, η οποία καθορίζεται βάσει της φωτοερμηνευτικής ικανότητας του χρήστη και της γνώσης του για την περιοχή έρευνας. Ο τρόπος λειτουργίας της μεθόδου είναι η συλλογή χαρακτηριστικών δειγμάτων (training areas) των αντικειμένων που ανήκουν σε κάποιες κατηγορίες, είτε με επίγειους ελέγχους, είτε με φωτοερμηνεία (Φώτη, 2011). Στη συνέχεια τα υπόλοιπα αντικείμενα της εικόνας ταξινομούνται με βάση τα δείγματα αυτά, με τη χρήση του αλγόριθμου “Hierarchical Classification” (Βλέπε Εικόνα 9). Κατά συνέπεια, ο παράγοντας του μεγέθους των αντικειμένων και ο αριθμός των δειγμάτων για κάθε κλάση, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ταξινόμηση. Για την ορθή λειτουργία της μεθόδου είναι απαραίτητο να επιλέγονται δείγματα με το ίδιο συνολικό μέγεθος και τον ίδιο αριθμό, ο οποίος είναι ανάλογος του μεγέθους της εικόνας (Αϊναλή, 2012).



Εικόνα 9: Παράθυρο διαλόγου του αλγόριθμου “Hierarchical Classification”

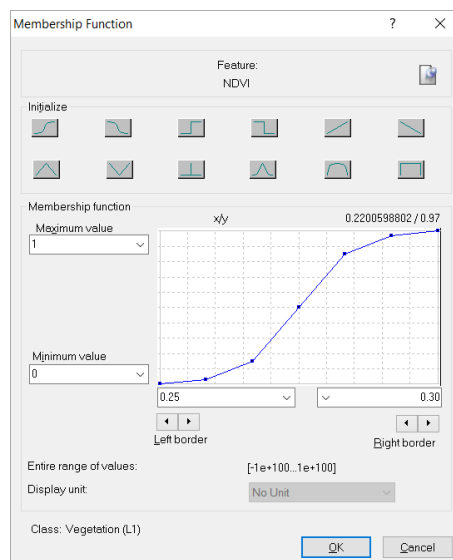
Εν κατακλείδι, όπως προαναφέρθηκε και προηγουμένως, το λογισμικό eCognition, προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας ιεραρχίας πολλαπλών επιπέδων από ομοιογενή ως προς το τόνο αντικείμενα της εικόνας, τα οποία κάθε στιγμή γνωρίζουν τόσο τους γείτονες τους στο ίδιο επίπεδο, αλλά και τα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω ή κάτω από αυτά (Ρέντζιος, 2009). Ταυτόχρονα γίνεται υπολογισμός στατιστικών παραμέτρων που αφορούν στις τιμές χρώματος των αντικειμένων (μέσες τιμές τόνου, τυπικές αποκλίσεις, υφή κ.ά.), αλλά και ιδιοτήτων που αφορούν στο σχήμα των αντικειμένων (προσανατολισμός, μήκος, πλάτος, επιμήκυνση, καμπυλότητα κ.λπ.). Μέσω αυτών των στατιστικών μεγεθών, της ιεραρχίας κλάσεων που ορίζει ο χρήστης με βάση, τόσο τις εννοιολογικές όσο και τις φασματικές δομές που χρειάζεται να ταξινομήσει, αλλά και των χωρικών – φασματικών σχέσεων των κλάσεων μεταξύ τους, πραγματοποιείται η ταξινόμηση των αντικειμένων (Μαραγκουδάκης, 2014).

2.3.5. Ασαφής Λογική / Συναρτήσεις Συμμετοχής

Η ασαφής λογική είναι ένας αλγόριθμος ταξινόμησης, ο οποίος επιτρέπει ένα αντικείμενο να ανήκει σε δύο κατηγορίες και να ταξινομείται σε αυτή που έχει το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής, σε αντίθεση με τους κλασικούς αλγόριθμους

ταξινόμησης που περιορίζουν ένα τμήμα να ανήκει αποκλειστικά σε μία κατηγορία ή να μην ανήκει σε καμία (Μπουλούγαρη, 2010).

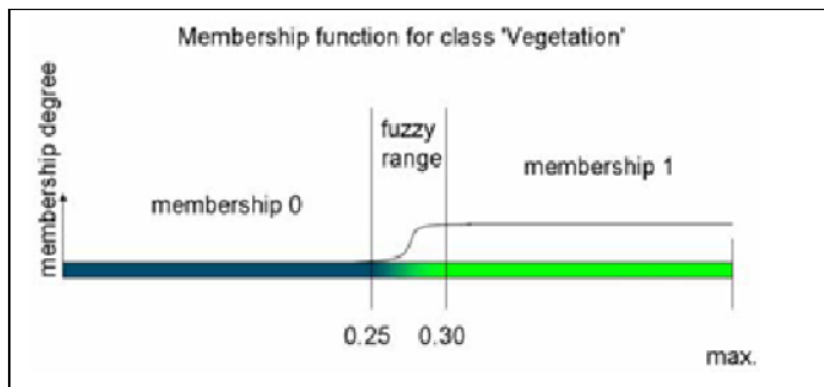
Η μέθοδος βάσει κανόνων ασαφούς λογικής προσπαθεί να προσδιορίσει τα αντικείμενα που ανήκουν σε κάθε κατηγορία με τη χρήση συναρτήσεων συμμετοχής. Η λογική των ασαφών συναρτήσεων είναι ότι τα φαινόμενα που χαρακτηρίζουν τις κατηγορίες μιας εικόνας μεταλλάσσονται σταδιακά. Οι τιμές συμμετοχής στις συναρτήσεις δεν μπορούν να είναι αυστηρά ανάμεσα σε δυο αριθμούς και πρέπει να υπάρχει ένα διάστημα ασάφειας. Στον άξονα των x μπαίνουν 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 τη συγκεκριμένη κατηγορία (Βλέπε Εικόνα 10) (Φώτη, 2011).



Εικόνα 10: Συνάρτηση συμμετοχής του χαρακτηριστικού NDVI με τιμές ασάφειας 0.25 έως 0.30 μορφής S θετικής κλίσης

Επιπλέον, η ασαφής λογική καθορίζει όχι μόνο την τιμή συμμετοχής ενός αντικειμένου σε μια κατηγορία αλλά και την τιμή συμμετοχής του αντικειμένου για όλες τις διαθέσιμες κατηγορίες (Gamanya et al., 2009). Όπως γίνεται φανερό η μεγαλύτερη τιμή συμμετοχής ταξινομεί το αντικείμενο στην αντίστοιχη τάξη. Οι τιμές των χαρακτηριστικών των αντικειμένων κυμαίνονται μεταξύ του διαστήματος ασάφειας 0 και 1 ανάλογα τη συμμετοχή των αντικειμένων σε μια συγκεκριμένη κατηγορία. Το μηδέν σημαίνει πως τα αντικείμενα δεν ανήκουν στην κατηγορία ενώ το ένα σημαίνει πως ανήκουν σε αυτήν εξ' ολοκλήρου (Φαναρά, 2011).

Οι συναρτήσεις συμμετοχής (membership functions), οι οποίες ορίζουν το βαθμό συμμετοχής ενός χαρακτηριστικού για την περιγραφή μιας κατηγορίας στο διάστημα ασάφειας $[0,1]$, είναι εύκολες στην δημιουργία τους και προσαρμόζονται εξίσου εύκολα και αποτελεσματικά για κάθε χαρακτηριστικό. Προσφέρουν επίσης μια καταφανή σχέση μεταξύ των τιμών ενός χαρακτηριστικού και του βαθμού συμμετοχής που θα έχει αυτό, σε κάποια τάξη ή κατηγορία (Παπαγεωργίου, 2007).



Εικόνα 11: Συνάρτηση συμμετοχής των αντικειμένων στην κατηγορία «Βλάστηση» και όρια ασάφειας του χαρακτηριστικού NDVI.

Πηγή: Μιχαηλίδου, 2011

Οι συναρτήσεις παίρνουν διάφορες μορφές και είναι οι εξής:

	Μεγαλύτερο από (Συνάρτηση μορφής S)
	Μικρότερο από (Συνάρτηση μορφής Z)
	Μεγαλύτερο από μία σαφώς ορισμένη τιμή (απλοποιημένη συνάρτηση S)
	Μικρότερο από μία σαφώς ορισμένη τιμή (απλοποιημένη συνάρτηση μορφής Z)
	Μεγαλύτερο από (γραμμικής κατανομή)
	Μικρότερο από (γραμμική κατανομή)
	Γραμμική, τριγωνική κατανομή
	Γραμμική, ανάστροφα τριγωνική κατανομή
	Μία μοναδική τιμή (συνάρτηση Singleton)
	Κατά προσέγγιση κατανομή Gaussian
	Συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής
	Απλοποιημένη συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής

Εικόνα 12: Συναρτήσεις συμμετοχής στο λογισμικό eCognition

Πηγή: Βατούγιου, 2014

Επομένως, το εύρος τιμών ασάφειας μιας συνάρτησης συμμετοχής καθορίζεται από το αριστερό και δεξί όριο τιμών, σε συνδυασμό με τη κατάλληλη κάθε φορά συνάρτηση. Έτσι η συμμετοχή ενός χαρακτηριστικού, για την περιγραφή μιας κατηγορίας, δεν ορίζεται με ένα απόλυτο «ναι» ή «όχι». Στο αριστερό όριο, ο χρήστης δηλώνει τη μικρότερη τιμή ασάφειας, δηλαδή την τιμή στην οποία 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 υφίσταται επαρκές για την περιγραφή της (Παπαγεωργίου, 2007).

Οι κατηγορίες στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν αρκεί να περιγράφονται από έναν μόνο κανόνα, αλλά από συνδυασμούς αυτών. Για το λόγο αυτό υπάρχουν λογικοί τελεστές όπως “and”, “or” “not”, “mean” και άλλοι έτσι ώστε να ενωθούν οι κανόνες στην περιγραφή της κατηγορίας. Ο τελεστής “and” εισάγεται όταν για να ταξινομηθεί ένα αντικείμενο σε μια συγκεκριμένη κατηγορία πρέπει να πληροί και τους δύο κανόνες ταυτόχρονα, ενώ ο τελεστής “or” εισάγεται όταν για να ταξινομηθεί ένα αντικείμενο σε μια συγκεκριμένη κατηγορία πρέπει να πληροί έναν από αυτούς (Μιχαηλίδου, 2011). Ο τελεστής “mean” υπολογίζει τον αριθμητικό μέσο όρο των βαθμών συμμετοχής και ο τελεστής “not” αντιστρέφει την τιμή του βαθμού συμμετοχής μιας κατηγορίας (Μπουλούγαρη, 2010).

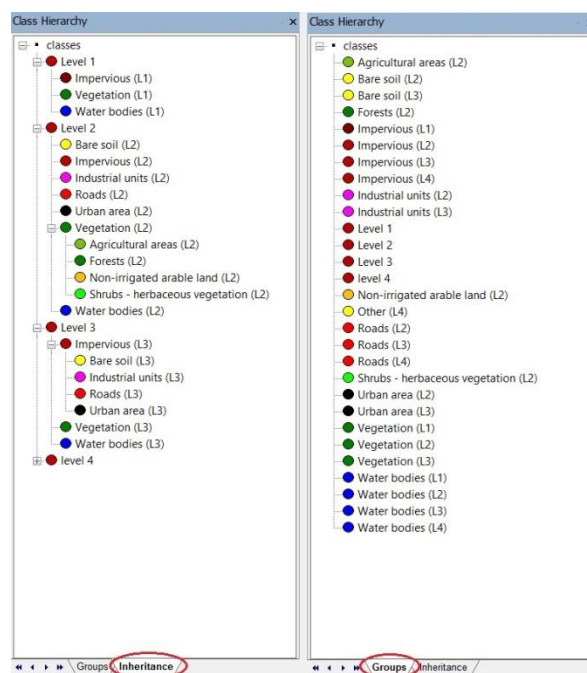
2.3.6. Ιεραρχία Κατηγοριών / Τάξεων

Αρχικά στο λογισμικό eCognition δημιουργούνται οι κατηγορίες και στη συνέχεια αποθηκεύονται στο παράθυρο διαλόγου “Class Hierarchy”. Η κλάση είναι μία θεματική κατηγορία, στην οποία ανήκουν τα αντικείμενα με παρόμοια δομή, συμπεριφορά και σχέσεις και το σύνολο των κλάσεων αποτελούν τον πυρήνα της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης (Χατζηγεωργίου, 2005). Ο καθορισμός των κλάσεων γίνεται από το χρήστη και εξαρτάται από τις ανάγκες της έρευνας και από τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που διαθέτει (Αϊναλή, 2012).

Η ιεραρχία των κατηγοριών αποτελεί το πλαίσιο που χρησιμοποιεί το λογισμικό για τη διατύπωση της γνωσιακής βάσης για την ταξινόμηση των αντικειμένων της

εικόνας. Περιέχει όλες τις κατηγορίες ενός σχεδιαγράμματος ταξινόμησης, δομημένο σε μορφή ιεραρχίας (Batz and Shape, 2000). Οι σχέσεις που ορίζονται σε αυτήν έχουν διπλή σημασία, η μία αφορά στην κληροδοσία χαρακτηριστικών από τη μητρική κατηγορία στις θυγατρικές και η άλλη τις εννοιολογικές ομάδες στις οποίες ανήκει η κάθε κατηγορία.

Οι σχέσεις αυτές περιγράφονται στα πεδία «Κληρονομιά» (Inheritance) και «Ομάδες» (Groups) αντίστοιχα. Το πεδίο “Inheritance” σχετίζεται με την άμεση απόκτηση ορισμένων χαρακτηριστικών, καθώς οι περιγραφές των κατηγοριών μεταφέρονται από τη μητρική κατηγορία στις θυγατρικές της. Κάθε κατηγορία μπορεί να έχει μια υπό- ή υπέρ-κατηγορία και κατά συνέπεια να κληρονομήσει τις ιδιότητές από μια ή περισσότερες υπο-κατηγορίες (ή υπέρ-κατηγορίες) (Σιόρα, 2011). Ο σκοπός που δημιουργήθηκε ο ορισμός της κληροδοσίας χαρακτηριστικών είναι η μείωση της πολυπλοκότητας και του πλεονασμού των περιγραφών των κατηγοριών. Από την άλλη στο πεδίο “Groups” οι κατηγορίες συνδυάζονται οπτικά σε μία ανώτερη αποκλειστικά με βάση εννοιολογικά κριτήρια (Μιχαηλίδου, 2011).

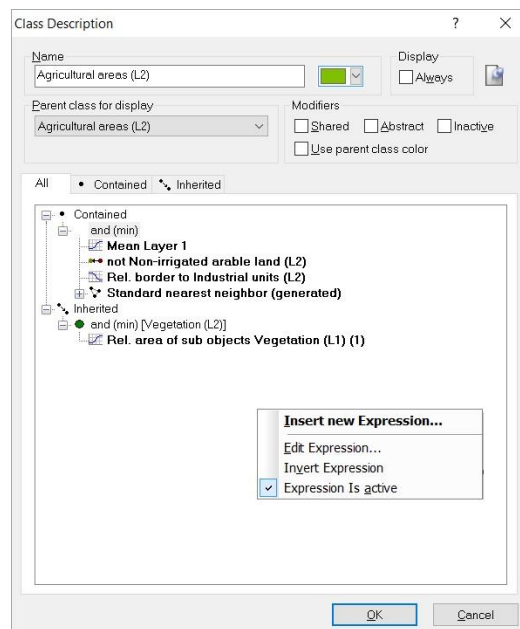


Εικόνα 13: Ιεραρχία κατηγοριών στις καρτέλες “Inheritance” και “Groups”

Ο λόγος που δημιουργήθηκε η δυνατότητα εννοιολογικής ομαδοποίησης είναι για να ενώσει εννοιολογικά παρόμοιες κατηγορίες οι οποίες χωρίστηκαν κατά τη διαδικασία

της ταξινόμησης. Οι δύο αυτές πλευρές των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των κατηγοριών αλληλοσυμπληρώνονται καθώς η ιεραρχία της κληροδοσίας χωρίζει και διαφοροποιεί τις κατηγορίες με βάση τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων ενώ η ιεραρχία των ομάδων επιτρέπει την ένωσή τους σε εννοιολογικό πλαίσιο (Φαναρά, 2011).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η περιγραφή της μητρικής κατηγορίας μεταβιβάζεται και στην περιγραφή της θυγατρικής στο πεδίο “Inherited”, ενώ στο πεδίο “Contained” περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της ίδιας της κατηγορίας (Βλέπε Εικόνα 14).



Εικόνα 14: Παράθυρο διαλόγου “Class Description”

2.3.7. Χαρακτηριστικά / Ιδιότητες Αντικειμένων

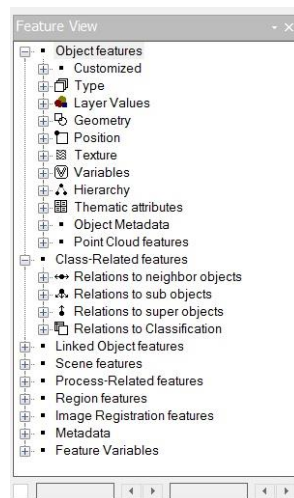
Το λογισμικό eCognition παρέχει εκτός από τον αλγόριθμο του εγγύτερου γείτονα, ακόμη ένα τρόπο για ταξινόμηση, ο οποίος αποτελεί και την καινοτομία του. Δίνει στον φωτοερμηνευτή, ανάλογα με τις ικανότητες και την εμπειρία του, τη δυνατότητα να αξιοποιήσει τις περισσότερο χρήσιμες πληροφορίες που παρέχουν τα αντικείμενα σε σχέση με τα μεμονωμένα εικονοστοιχεία. Με αυτό τον τρόπο

επεκτείνονται οι δυνατότητες να βρεθούν τρόποι να κατηγοριοποιηθούν τα αντικείμενα (Αγαθαγγέλου, 2008).

Κάθε αντικείμενο της εικόνας έχει ένα μεγάλο αριθμό ιδιοτήτων οι οποίες ονομάζονται χαρακτηριστικά του αντικειμένου και διακρίνονται δυο βασικές κατηγορίες (Αγαθαγγέλου, 2008; Σιώρα, 2011):

- Χαρακτηριστικά των αντικειμένων, που αφορούν όσα χαρακτηριστικά μπορούν να υπολογιστούν από την πληροφορία που περιέχει το κάθε αντικείμενο.
- Χαρακτηριστικά γνωρίσματα κλάσεων (Class-Related features), τα οποία αναφέρονται στις ταξινομήσεις άλλων αντικειμένων (γειτονικών, υπό και υπέρ αντικειμένων) της εικόνας, οι οποίες, με της σειρά τους, λαμβάνονται υπόψη για την ταξινόμηση των αντικειμένων του υπό εξέταση επιπέδου.

Στην διεθνή βιβλιογραφία τα χαρακτηριστικά αυτά συναντώνται και ως δείκτες, μέτρα ή περιγραφές (αντίστοιχα features, indices, measures, descriptions). Διαθέσιμα χαρακτηριστικά στο eCognition είναι για παράδειγμα το μέγεθος (area), το μήκος του ορίου e (border length), η ασυμμετρία (asymmetry), ο λόγος μήκους προς πλάτος (length/width), η πυκνότητα (density), που αποτελούν δείκτες σχήματος αλλά και οι μέσες τιμές των καναλιών της εικόνας (mean values), οι τυπικές αποκλίσεις των τιμών των καναλιών (standard deviation), καθώς και άλλα πολλά που βρίσκονται στο παράθυρο “Feature View” στο κεντρικό μενού. (Μαραγκουδάκης, 2014).



Εικόνα 15: Εργαλειοθήκη “Feature View”

Το παράθυρο διαλόγου “Feature View” παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες για τα διάφορα χαρακτηριστικά και ιδιότητες του κάθε αντικειμένου αλλά και πληροφορίες αξιολόγησης για την ίδια την ταξινόμηση⁸. Περιέχει πρωτογενή χαρακτηριστικά των αντικειμένων όπως χρώμα, σχήμα, υφή, ιεραρχία αλλά και χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις κατηγορίες της ταξινόμησης όπως για παράδειγμα σχέσεις με γειτονικές κατηγορίες, με υποκατηγορίες, με υπερ-κατηγορίες, σχέσεις με την ίδια την ταξινόμηση κ.ά. Δίνεται ακόμη η δυνατότητα δημιουργίας νέων χαρακτηριστικών (Customised Features) είτε αριθμητικών είτε σχεσιακών μεταξύ των αντικειμένων, τα οποία μπορούν να αποθηκευτούν και να χρησιμοποιούνται από τον χρήστη σε οποιαδήποτε μελέτη. Τα αριθμητικά χαρακτηριστικά δημιουργούνται από πράξεις ήδη υπάρχοντων χαρακτηριστικών ενώ τα σχεσιακά συγκρίνουν τις τιμές του χαρακτηριστικού ενός αντικειμένου με τις τιμές του χαρακτηριστικού άλλων αντικειμένων (Μιχαηλίδου, 2011).

Επιλέγοντας διαφορετικά «κλειδιά» (features), το κάθε αντικείμενο παρουσιάζεται με διάφορες διαβαθμίσεις του γκρι, ανάλογα με τη συμμετοχή του στο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό και ως εκ τούτου γίνεται σχετικά εύκολα ο διαχωρισμός των κλάσεων. Ο τόνος της απεικόνισης του χαρακτηριστικού είναι φωτεινότερος, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του χαρακτηριστικού (Σιώρα, 2011). Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να προχωρήσει στη δημιουργία μιας βάσης γνώσης, με λεπτομερέστερες και πιο πολύπλοκες περιγραφές για εννοιολογικές κατηγορίες εδαφοκάλυψης πέραν των φασματικών τους χαρακτηριστικών (Παπαγεωργίου, 2007). Ο αριθμός των διαθέσιμων κανόνων είναι αρκετά μεγάλος, αλλά δεν είναι δύσκολο να βρεθούν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες.

Η επιλογή των χαρακτηριστικών για την περιγραφή και ταξινόμηση των τάξεων γίνεται με βάση τις εκ των προτέρων γνωστές ιδιότητες των προς αναγνώριση αντικειμένων και με επισκόπηση των στατιστικών των ιδιοτήτων των αντικειμένων της εκάστοτε κατάτμησης/ταξινόμησης στα κατάλληλα γραφικά εργαλεία του λογισμικού (Ρέντζιος, 2009). Ο εντοπισμός και η κατάλληλη χρήση των ιδιοτήτων με την αξιοποίηση των συναρτήσεων συμμετοχής που συμβάλλουν στη διάκριση των

⁸ Πηγή: <http://ecognition.cc/download/userguide.pdf> [Ημερομηνία πρόσβασης: 3/5/2016].

κατηγοριών είναι πολύ σημαντικό βήμα για την επίτευξη μιας σωστής και ακριβούς ταξινόμησης (Αγαθαγγέλου, 2008).

Στη συνέχεια αναφέρονται τα χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται στο λογισμικό και χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής:

- Mean: Πρόκειται για τη μέση τιμή όλων των εικονοστοιχείων που ορίζουν ένα αντικείμενο στα κανάλια του δορυφόρου.
- Area: Το εμβαδόν του κάθε αντικειμένου της εικόνας είναι το πλήθος των εικονοστοιχείων που το απαρτίζουν. Αν η εικόνα έχει γεωαναφορά τότε, το εμβαδόν ενός αντικειμένου είναι το πραγματικό εμβαδόν ενός εικονοστοιχείου επί το πλήθος των εικονοστοιχείων που το αποτελούν. Οι τιμές του κυμαίνονται από 0 έως το μέγεθος της εικόνας.
- Length / Width: Αφορά το λόγο του μέγιστου μήκους προς το μέγιστο πλάτος των αντικειμένων. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι πολύ χρήσιμο στην ανάδειξη μακρόστενων αντικειμένων, όπως είναι το οδικό δίκτυο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ενός αντικειμένου τόσο πιο μακρόστενο είναι.
- Mean Difference to Scene: Είναι η διαφορά της μέσης τιμής ενός αντικειμένου της εικόνας με την μέση τιμή του συνόλου της εικόνας.
- Density: Υπολογίζεται από την περιοχή της εικόνας που καλύπτεται από το αντικείμενο διαιρούμενη με την ακτίνα του και εκφράζει το πόσο συμπαγές είναι ένα αντικείμενο. Η ιδανική μορφή για το συμπαγές ενός αντικειμένου είναι το τετράγωνο, κι όσο πιο τετραγωνισμένο είναι τόσο μεγαλύτερη η τιμή του χαρακτηριστικού αυτού.
- Relative border to: Το χαρακτηριστικό αυτό αναφέρεται στο μήκος των κοινών ορίων γειτονικών τμημάτων. Αν η σχετική γειτνίαση ενός αντικειμένου με τα αντικείμενα μίας άλλης κατηγορίας είναι ίση με τη μονάδα, το αντικείμενο αυτό περικλείεται εξ' ολοκλήρου από τα αντικείμενα της άλλης τάξης.

- Relative area of sub objects: Πρόκειται για το ποσοστό από το εμβαδόν ενός αντικειμένου που καλύπτεται από μια συγκεκριμένη κατηγορία σύμφωνα με τα ταξινομημένα υπο-αντικείμενα ενός επιπέδου. Οι τιμές που δέχεται είναι από 0 έως 1, με τη μονάδα να σημαίνει ότι το εξεταζόμενο τμήμα είναι πανομοιότυπο με το υπό-αντικείμενο του.
- Existence of super objects: Η συνάρτηση αυτή ελέγχει την ύπαρξη του υπερ-αντικειμένου σε μια κατηγορία. Και σε αυτό το χαρακτηριστικό το πεδίο τιμών είναι από 0 έως 1, με τη μονάδα να δηλώνει την ύπαρξη του υπερ-αντικειμένου.

2.3.8. Κατάτμηση βάσει ταξινόμησης

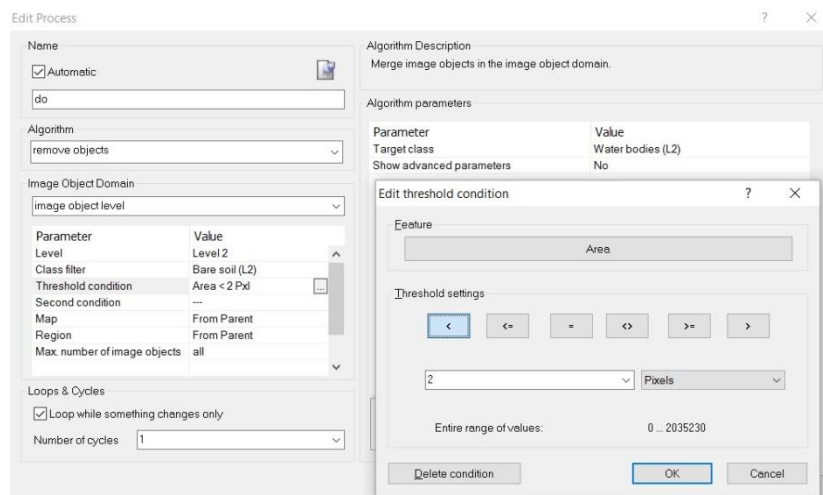
Πολλές φορές παρατηρείται ότι, τα αντικείμενα που προκύπτουν έπειτα από την ταξινόμηση της εικόνας δεν είναι ομογενή. Η κατάτμηση βάσει ταξινόμησης (classification based segmentation) είναι μια διαδικασία εξαγωγής ή εκλέπτυνσης των αντικειμένων της εικόνας που στηρίζεται στη βάση γνώσης που έχει δημιουργηθεί από την ταξινόμηση (Μιχαηλίδου, 2011). Ως εκ τούτου συνδυάζονται πιο σύνθετες και εννοιολογικές πληροφορίες, προκειμένου να εκτελεστεί μια νέα κατάτμηση, η οποία θα βελτιστοποιήσει το μέγεθος και την ομοιογένεια των αντικειμένων (Μαραγκουδάκης, 2014).

Στο λογισμικό eCognition η κατάτμηση βάσει ταξινόμησης εκτελείται από μια ομάδα αλγορίθμων, οι οποίοι ονομάζονται αλγόριθμοι ανακατασκευής σχήματος (Reshaping Algorithms). Οι πιο γνωστοί είναι ο αλγόριθμος “Remove Objects”, ο αλγόριθμος “Merge Region”, ο αλγόριθμος “Grow Region”, ο αλγόριθμος “Convert to Sub-objects” και ο αλγόριθμος “Find Enclosed by Class”. Η λειτουργία τους αφορά στην συνένωση ή στον διαχωρισμό των αντικειμένων με βάση τα υπο-αντικείμενά τους. Στην παρούσα διπλωματική αξιοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι “Remove Objects” και “Find enclosed by class”, οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω.

2.3.8.1. Αλγόριθμος “Remove Objects”

Με τον αλγόριθμο Διαγραφή Αντικειμένων, επιλέγεται μια κατηγορία της οποίας τα πολύγωνα που πληρούν κάποια συγκεκριμένα κριτήρια διαγράφονται από αυτή την κατηγορία και ενσωματώνονται σε μια άλλη κατηγορία (Φώτη, 2011). Επί της ουσίας, ο αλγόριθμος αυτός συνενώνει τα αντικείμενα που θα επιλεγούν από το χρήστη στο πεδίο εφαρμογής με τα αντικείμενα που έχουν το μέγιστο κοινό όριο (Μιχαηλίδου, 2011).

Στο παράθυρο διαλόγου του αλγορίθμου 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, το αν ο αλγόριθμος θα εφαρμοστεί με επαναλήψεις και τέλος στο η κατηγορία με την οποία θα συγχωνευτούν τα υποψήφια αντικείμενα.

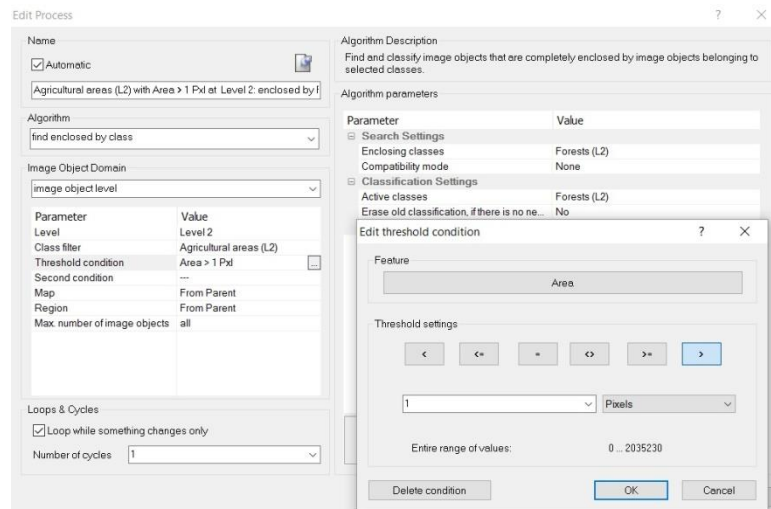


Εικόνα 16: Παράθυρο διαλόγου αλγορίθμου “Remove Objects” και συνθήκη κατοφλίωσης

2.3.8.2. Αλγόριθμος “Find Enclosed by Class”

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος επιτρέπει την συγχώνευση των τμημάτων μιας κατηγορία, τα οποία περικλείονται από μία άλλη θεματική κλάση και πληρούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις με αυτή την κατηγορία που τα περικλείει.

Στο παράθυρο διαλόγου του αλγορίθμου, συμπληρώνονται οι ίδιοι παράμετροι όπως και στο αντίστοιχο του αλγορίθμου “Remove Objects”, με τη μόνη διαφορά ότι, η κατηγορία με την οποία θα συγχωνευτούν τα υποψήφια αντικείμενα δηλώνεται στα πεδία “Enclosing Classes” και “Active Classes”.



Εικόνα 17: Παράθυρο διαλόγου αλγόριθμου “ Find Enclosed by Class ” και συνθήκη κατωφλίσωσης

2.3.9. Αξιολόγηση Ταξινόμησης

Η εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων θεωρείται μείζονος σημασίας και απαραίτητη για μια ολοκληρωμένη και αξιόπιστη έρευνα. Δυστυχώς, μέχρι σήμερα, η ικανότητα διεξαγωγής ψηφιακών ταξινομήσεων κάλυψης γης υπερβαίνει κατά πολύ την ικανότητα ποσοτικοποίησης της ακρίβειας. Μάλιστα, αυτό το πρόβλημα, μερικές φορές, εμποδίζει την εφαρμογή αυτοματοποιημένων τεχνικών ταξινόμησης κάλυψης γης, ακόμα και αν το κόστος τους είναι μικρότερο σε σύγκριση με το κόστος των πιο παραδοσιακών μέσων συλλογής δεδομένων.

Η κεντρική ιδέα του όλου θέματος περικλείεται στη φράση: «Μια ταξινόμηση δεν έχει ολοκληρωθεί, μέχρι να εκτιμηθεί η ακρίβειά της» (Αργιαλάς, 1999). Επομένως, όταν ολοκληρωθεί η ταξινόμηση, ακολουθεί η αξιολόγηση της ακρίβειάς της. Το στάδιο επιβάλλεται για την εξαγωγή συμπερασμάτων, διότι εκφράζει κατά πόσο λειτουργούν σωστά οι αλγόριθμοι, οι κανόνες και οι συναρτήσεις συμμετοχής για την παραγωγή της επεξεργασμένης εικόνας (Φαναρά, 2011).

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης αξιολογούνται αρχικά από το χρήστη κάνοντας φωτοερμηνεία της εικόνας και εξετάζοντας την ορθότητα των αποτελεσμάτων με την ισχύουσα πραγματικότητα. Η μέθοδος αυτή αποτελεί υποκειμενική εκτίμηση και δεν είναι σε θέση να εξάγει αξιόπιστα και συγκρίσιμα αποτελέσματα. Βέβαια, ο βαθμός αξιοπιστίας αυξάνεται με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με επίγειους χάρτες που έχουν γίνει στην περιοχή έρευνας ή άλλες ταξινομήσεις που έχουν γίνει έπειτα από προσεκτική επίγεια παρατήρηση και έχουν τις ίδιες κατηγορίες. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου αποτελεί ένα τρόπο ελέγχου της ταξινόμησης και διαπίστωσης τυχόν σφαλμάτων. (Μαραγκουδάκης, 2014).

Έπειτα, το λογισμικό του eCognition διαθέτει λειτουργίες αξιολόγησης της ακρίβειας της ταξινόμησης και εργαλεία που οπτικοποιούν τα αποτελέσματα. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γίνεται με στατιστικά στοιχεία (μέγιστη και ελάχιστη τιμή, μέση τιμή, τυπική απόκλιση) και με σαφή δειγματοληπτικά αντικείμενα για κάθε κατηγορία αξιολόγησης. Ο έλεγχος αξιοπιστίας μπορεί να γίνει χωριστά για κάθε επίπεδο ταξινόμησης (Αϊναλή, 2012).

Οι μέθοδοι αξιολόγησης των αποτελεσμάτων με τη χρήση του eCognition είναι:

- Σταθερότητα της ταξινόμησης (Classification Stability)
- Καλύτερο αποτέλεσμα ταξινόμησης (Best Classification Result)
- Πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples)
- Πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε TTA μάσκα (Error Matrix Based on TTA Mask)

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν οι τρεις πρώτες μέθοδοι και για αυτό το λόγο αναλύονται παρακάτω.

2.3.9.1. Αξιολόγηση Βάσει της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability)

Η μέθοδος “Classification Stability” αποτελεί το πρώτο εργαλείο για τον έλεγχο αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Η ταξινόμηση των αντικειμένων με τη χρήση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης βασισμένη σε ασαφή λογική, παρουσιάζει μεγάλη

πιθανότητα σφάλματος εφόσον ένα αντικείμενο μπορεί να ανήκει σε περισσότερες από μια κατηγορίες (Gamanya et al., 2009).

Η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει πληροφορίες για την αβεβαιότητα με την οποία ένα αντικείμενο ανήκει σε μια κατηγορία συγκρίνοντας το βαθμό συμμετοχής του στην κατηγορία που ταξινομήθηκε με αυτόν της δεύτερης υποψήφιας κατηγορίας (Μιχαηλίδου, 2011).

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 (Μαραγκουδάκης, 2014). Τα αποτελέσματα της ευστάθειας τη ταξινόμησης είναι τέσσερα αριθμητικά στοιχεία ανά κατηγορία ταξινόμησης για τη διαφορά μεταξύ πρώτου και δεύτερου βαθμού συμμετοχής που αφορούν την ελάχιστη, την μέγιστη, τη μέση και την τυπική απόκλιση (Παπαγεωργίου, 2007).

Ο γραφικός τρόπος αναπαράστασης της αξιολόγησης οπτικοποιείται με έγχρωμη εικόνα, στην οποία η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί για το μη αμφιλεγόμενο αντικείμενο [1.0] στο πράσινο και για το απόλυτα αμφιλεγόμενο αντικείμενο [0.0] στο κόκκινο (Μαραγκουδάκης, 2014).

Ωστόσο, αυτός ο τρόπος αξιολόγησης, με βάση τους βαθμούς δεν παρέχει ασφαλή συμπεράσματα για την αξιοπιστία της ταξινόμησης. Ο λόγος είναι ότι, όσο υψηλός και αν είναι ο μεγαλύτερος βαθμός συμμετοχής, υπάρχει περίπτωση ο δεύτερος μεγαλύτερος βαθμός συμμετοχής σε κάποια άλλη κατηγορία να έχει εξίσου υψηλή τιμή (Φαναρά, 2011).

2.3.9.2. Αξιολόγηση Βάσει του Μεγαλύτερου Βαθμού Συμμετοχής (Best Classification Result)

Ένα άλλο εργαλείο που διαθέτει το eCognition είναι το “Best Classification Result”. Με την συγκεκριμένη μέθοδο αξιολογείται η ταξινόμηση μέσω της εκτίμησης του βαθμού συμμετοχής των αντικειμένων στην περιγραφή μιας 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 (Μαραγκουδάκης, 2014).

Η μέθοδος “Best Classification Result” προβάλλεται γραφικά και στατιστικά για τα αντικείμενα της εικόνας στο επιλεγμένο επίπεδο ταξινόμησης. Από την εξαγωγή των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι η ταξινόμηση με την υψηλότερη τιμή, θεωρείται ως το καλύτερο αποτέλεσμα ταξινόμησης (Μιχαηλίδου, 2011).

Το στατιστικό εξαγόμενο προβάλλεται με τη μορφή πίνακα, στον οποίο οι τιμές προέρχονται από τις στατιστικές συναρτήσεις του μέγιστου βαθμού συμμετοχής του αντικειμένου στην κατηγορία (Φαναρά, 2011).

Επιπρόσθετα δίνεται η δυνατότητα αξιολόγησης του τρόπου με τον οποίο τα αντικείμενα περιγράφουν την κατηγορία στην οποία ανήκουν. Όπως στην περίπτωση της σταθερότητας ταξινόμησης, και σε αυτή τη μέθοδο ο βαθμός ασάφειας προβάλλεται με γραφική αναπαράσταση του έγχρωμου σύνθετου. Η αναπαράσταση γίνεται με μια έγχρωμη εικόνα στην οποία με σκούρο πράσινο προβάλλεται η μη ασάφεια [1,0] και με έντονο κόκκινο η απόλυτη ασάφεια [0,0] (Αϊναλή, 2012).

2.3.9.3. Αξιολόγηση Βάσει Δεδομένων Ελέγχου (Πίνακας Σύγκυσης)

Ο Πίνακας Σύγκυσης συγκρίνει τη σχέση μεταξύ γνωστών επίγειων δεδομένων αναφοράς (αληθών δεδομένων) και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων μιας αυτόματης διαδικασίας ταξινόμησης, κατηγορία προς κατηγορία (Παπαγεωργίου, 2007). Κατά συνέπεια, απαραίτητη προϋπόθεση για τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι η συλλογή δειγματοληπτικών αντικειμένων για κάθε κατηγορία, ώστε να γίνει η σωστή αξιολόγηση της ποιότητας της ταξινόμησης. Τα δείγματα ελέγχου επιλέγονται με βάση τη γνώση του χρήστη, ότι ανήκουν στη συγκεκριμένη κατηγορία και είναι διαφορετικά από τα αντικείμενα του εγγύτερου γείτονα. Επιπλέον, ο αριθμός των δειγμάτων ελέγχου πρέπει να είναι ανάλογος και ισομεγέθης για κάθε κατηγορία (Αϊναλή, 2012).

Επί της ουσίας, ο Πίνακας Σύγκυσης είναι ένας τετραγωνικός πίνακας, με αριθμό γραμμών και στηλών ίσο με τον αριθμό των κατηγοριών, των οποίων επιχειρείται η

εκτίμηση της ακρίβειας (Παπαγεωργίου, 2007). Τα αποτελέσματα του πίνακα εμφανίζουν σφάλματα παράλειψης και σφάλματα συμπερίληψης μεταξύ των κατηγοριών. Τα σφάλματα παράλειψης ή αποκλεισμού δηλώνουν τα στοιχεία των στηλών, τα οποία αποκλίνουν από τη διαγώνιο, ενώ στα σφάλματα συμπερίληψης εντοπίζονται τα στοιχεία των γραμμών, τα οποία αποκλίνουν από τη διαγώνιο (Αργιαλάς, 1998).

2.4. Ανίχνευση Μεταβολών

Η φυσική γήινη επιφάνεια καλύπτεται από πληθώρα φυσικών και τεχνητών αντικειμένων, όπως η βλάστηση, οι ανθρώπινες κατασκευές, το υδρογραφικό δίκτυο, τα διάφορα είδη πετρωμάτων κ.λπ. Ορισμένα από αυτά είναι στατικά και δεν μεταβάλλονται καθόλου ή μεταβάλλονται σπάνια με το πέρασμα του χρόνου. Αντίθετα, κάποια άλλα χαρακτηρίζονται ως δυναμικά, διότι εμφανίζουν συχνότερες μεταβολές διαχρονικά (Jensen, 1996).

Ο όρος μεταβολή αναφέρεται στην μετατροπή ενός αντικειμένου ή ενός φαινομένου σε κάτι άλλο εξαιτίας κάποιας διαδικασίας ή δράσης (Hornsby and Egenhofer, 2000). Η ανίχνευση μεταβολών είναι η διαδικασία αναγνώρισης των διαφορών σε επίπεδο αντικειμένων και φαινομένων με την παρακολούθησή τους σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και με την επεξεργασία δεδομένων πολλαπλών χρονικών στιγμών, έτσι ώστε να αναλυθούν διαχρονικά οι επιπτώσεις τους (Singh, 1989). Σκοπός της είναι η παροχή πληροφοριών σχετικά με το είδος, την χωρική κατανομή και το ποσοστό των αλλαγών, αλλά και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων (Lu et al., 2004).

Η έγκαιρη και ακριβής ανίχνευση μεταβολών των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της Γης δημιουργεί τη βάση για την καλύτερη κατανόηση των σχέσεων και αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ανθρωπίνων και των φυσικών φαινομένων με σκοπό την καλύτερη διαχείριση και χρήση των φυσικών διαθέσιμων (Lu et al., 2004).

Η ανάλυση αυτών των αλλαγών είναι απαραίτητη σε πολλά πεδία έρευνας και βρίσκει εφαρμογή σε πολλές επιστημονικές μελέτες όπως η καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος, ο ρυθμός της αποψίλωσης, οι μεταβολές σε παράκτιες

ζώνες, η αξιολόγηση του κινδύνου, η ανάλυση της παγκόσμιας πληθυσμιακής αύξησης και ανάπτυξης και άλλα πολλά.

Η ανάγκη για ανίχνευση μεταβολών δεν αφορά μόνο σε φαινόμενα αλλά και στις χρήσεις γης ή εδαφοκαλύψεις που παρατηρούνται σε μια περιοχή. Σε αυτές τις περιπτώσεις αναλύονται οι ιδιότητες των χρήσεων/καλύψεων γης χρησιμοποιώντας γεωανηγμένα δορυφορικά δεδομένα πολλαπλών χρονικών στιγμών (Μιχαηλίδου, 2011). Τα δορυφορικά δεδομένα απαιτείται να προέρχονται από κατάλληλο τηλεπισκοπικό σύστημα, ώστε να καθίσταται δυνατή η αναγνώριση των κατηγοριών κάλυψης γης που ενδιαφέρουν προς ανίχνευση (Καραγιάννης, 2011).

Η ανίχνευση μεταβολών σε ανθρωπογενείς κατασκευές χρησιμοποιώντας εικόνες τηλεπισκόπησης έχει αξία και σε πολεοδομικά θέματα καθώς και στην ενημέρωση και αναθεώρηση χαρτών, όπου με την άμεση επαλήθευση της πληροφορίας που παρέχει ο χάρτης ή οι βάσεις δεδομένων γεωγραφικών πληροφοριών, διευκολύνονται καθοριστικά οι χρήστες στη λήψη αποφάσεων σε μια σειρά σημαντικών θεμάτων (Καραγιάννης, 2011; Καραλής, 2008). Με τη χρήση τεχνικών αυτόματης αλλαγών αυτές οι διαδικασίες απλοποιούνται και γίνονται πολύ πιο γρήγορα, σε σχέση με τις χρονοβόρες και κουραστικές διαδικασίες ψηφιοποίησης και ενημέρωσης των δεδομένων GIS (Geographic Information System) (Phalke, 2005).

2.4.1. Βασικοί Παράγοντες στην Ανίχνευση Μεταβολών

Η επιτυχημένη ανίχνευση μεταβολών, όπως και οι περισσότερες τηλεπισκοπικές διαδικασίες, προϋποθέτει τη γνώση και κατανόηση πολλών και διαφορετικών παραγόντων που άπτονται του τηλεπισκοπικού συστήματος και του περιβάλλοντος της προς επεξεργασία περιοχής (Καραλής, 2008). Στην ιδανική περίπτωση, τα δεδομένα θα πρέπει να παρέχονται από τηλεπισκοπικό σύστημα που διατηρεί σταθερούς το χρόνο λήψης, τη χωρική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, δηλαδή ατμοσφαιρικές συνθήκες, εδαφική υγρασία, φαινολογικά χαρακτηριστικά και επίπεδο της παλίρροιας (Jensen, 2005). Αναλυτικότερα, αναφέρονται τα εξής για τους συγκεκριμένους παράγοντες (Jensen, 2005; Jensen, 1996, Hussain et al., 2013):

- Χρονική ανάλυση

Αρχικά, οι διαχρονικές εικόνες θα πρέπει, κατά το δυνατόν, να έχουν ληφθεί κατά την ίδια ώρα, ώστε να περιορίζεται η επίδραση της γωνίας ύψους του ηλίου η οποία επηρεάζει την ένταση της ακτινοβολίας που μετράται σε κάθε σημείο του πεδίου κατόπτευσης. Κατά δεύτερον, θα πρέπει τα δεδομένα να έχουν ληφθεί κατά την ίδια ημέρα του χρόνου, για να αποφεύγεται η επίδραση από την εποχιακή θέση του ηλίου σχετικά με τη γη, καθώς και από τα εποχιακά χαρακτηριστικά της βλάστησης, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σφάλματα στην ανίχνευση μεταβολών.

- Χωρική ανάλυση και γωνία λήψης

Η ακριβής χωρική προσαρμογή των διαχρονικών εικόνων είναι απαραίτητη για την ψηφιακή ανίχνευση μεταβολών. Συνήθως τα δεδομένα προέρχονται από συστήματα με το ίδιο στιγμιαίο πεδίο κατόπτευσης (Instantaneous Field Of View, IFOV), όμως, υπάρχει περίπτωση τα δεδομένα να έχουν συλλεχθεί από διαφορετικά συστήματα με ανόμοιο IFOV. Στις περιπτώσεις αυτές, θα πρέπει να γίνει εκλογή της ελάχιστης χαρτογραφικής μονάδας και έπειτα να γίνει αναδόμηση των δεδομένων σε αυτή τη διάσταση εικονοστοιχείου, όπου τα δεδομένα θα παρέχουν πληροφορία ίδιας ακρίβειας με την αρχική τους ανάλυση. Επιπλέον, η γεωμετρική προσαρμογή θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) ≤ 0.5 φατνίου.

Εξίσου σημαντικός παράγοντας αποτελεί και η ίδια γωνία λήψης των δεδομένων, διότι οι διαφορές στις τιμές ανακλαστικότητας των εικόνων προκαλούν προβλήματα στη διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών. Για παράδειγμα μια εικόνα που ελήφθη από το δορυφόρο SPOT με γωνία 20° από το ναδίρ θα έχει σημαντικές διαφορές στην καταγραφείσα πληροφορία φωτεινότητας σε σχέση με μια άλλη που λήφθηκε με γωνία 0° εξαιτίας της διαφορετικής σκιάς των αντικειμένων.

- Φασματική ανάλυση

Θεμελιώδης προϋπόθεση για να ανιχνευθεί μεταβολή είναι η ύπαρξη διαφορετικής τιμής στην φασματική απόκριση του ίδιου εικονοστοιχείου στις δύο εικόνες, εφόσον

έχουν αλλάξει τα βιοφυσικά υλικά με το πέρασμα του χρόνου. Οι αισθητήρες των δορυφόρων καταγράφουν την ανακλιθείσα ακτινοβολία σε περιοχές του φάσματος σύμφωνα με τα επικρατέστερα φασματικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων. Όμως, δεν έχουν όλοι οι δορυφόροι τις ίδιες δυνατότητες, οπότε σε περίπτωση που τα δεδομένα προέρχονται από διαφορετικούς δορυφόρους, ο αναλυτής θα πρέπει να επιλέξει κανάλια που προσεγγίζουν το ένα το άλλο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, κάποιοι αλγόριθμοι ανίχνευσης μεταβολών δεν λειτουργούν ικανοποιητικά όταν ταυτίζονται κανάλια ενός δέκτη με τα αντίστοιχα άλλου δέκτη.

- Ραδιομετρική ανάλυση

Τα δεδομένα δορυφορικών δεκτών έχουν συνήθως ραδιομετρική ανάλυση 8-bit, με τιμές φωτεινότητας από 0 έως 255. Στην περίπτωση όμως που οι διαχρονικές εικόνες έχουν διαφορετική ραδιομετρική ανάλυση, τότε η εικόνα χαμηλότερης ανάλυσης είναι απαραίτητο να αποσυμπίεστεί στην τιμή της υψηλότερης για τους σκοπούς της ανίχνευσης μεταβολών. Βέβαια, η ακρίβεια των αποσυμπιεσμένων τιμών φωτεινότητας δεν είναι καλύτερη από την αρχική.

- Ατμοσφαιρικές συνθήκες

Η ύπαρξη νεφών ή αυξημένης υγρασίας κατά την ημέρα λήψης των δεδομένων, αποτελεί αρνητικό παράγοντα. Η σκιά των νεφών σκοτεινιάζει τα αντικείμενα και προκαλεί μεταβολή στις καταγραφείσες φασματικές τιμές και συνεπώς, αλλοίωση στα αποτελέσματα της ταξινόμησης των εικόνων. Το αποδεκτό επίπεδο κάλυψης νεφών δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 20%. Σε περίπτωση που υφίσταται μεγαλύτερο ποσοστό συννεφιάς, απαιτείται προσεκτικός χειρισμός στην εξαγωγή πληροφορίας (λόγου χάρη η φωτοερμηνεία να πραγματοποιηθεί από αεροφωτογραφίες).

- Εδαφική υγρασία

Ιδιαίτερα υγρό ή ξηρό έδαφος κατά τη διάρκεια μιας από τις ημερομηνίες λήψης, είναι δυνατόν να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στη διαδικασία της ανίχνευσης

μεταβολών, οπότε οι συνθήκες εδαφικής υγρασίας θα πρέπει να είναι πανομοιότυπες για τις χρησιμοποιούμενες διαχρονικές εικόνες. Κρίνεται σκόπιμο να εξετάζονται οι καταγραφές ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, ώστε να προσδιορίζεται το ποσό της βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης κατά τις μέρες ή εβδομάδες πριν την ημέρα λήψης των εικόνων. Όταν η εδαφική υγρασία εμφανίζει διαφορές μόνο για συγκεκριμένα τμήματα της περιοχής μελέτης, τότε είναι αναγκαίο να εφαρμοστεί ξεχωριστή ανάλυση για την περιοχή αυτή.

- Χαρακτηριστικά φαινολογικού κύκλου

Φαινολογία είναι η επιστήμη που μελετά τη σχέση μεταξύ περιοδικά επαναλαμβανόμενων βιολογικών ή φυσικών φαινομένων (όπως η αποδημία των πτηνών ή η άνθιση των φυτών) και των παραγόντων του κλίματος ή του περιβάλλοντος που μπορεί να επηρεάζουν τα φαινόμενα αυτά. Αυτός ο κύκλος των φαινομένων υπαγορεύει το πότε θα πρέπει να συλλεχθούν τα τηλεπισκοπικά δεδομένα, έτσι ώστε να εξαχθεί η μέγιστη δυνατή πληροφορία. Φαινολογικά χαρακτηριστικά εμφανίζουν όχι μόνο τα φυσικά, αλλά και τα τεχνητά οικοσυστήματα. Επομένως, είναι απαραίτητη η γνώση των βιοφυσικών χαρακτηριστικών σε οικοσυστήματα φυτών, εδάφους και ύδατος, όπως επίσης και των κύκλων ανάπτυξης ανθρωπογενών φαινομένων, όπως η οικιστική ανάπτυξη, η επέκταση του δικτύου μεταφορών κ.λπ.

- Επίπεδο της παλίρροιας

Το επίπεδο της παλίρροιας είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για τη συλλογή δορυφορικών δεδομένων με σκοπό την ανίχνευση μεταβολών σε ακτές και θα πρέπει να είναι ίδιο για όλες τις ψηφιακές εικόνες. Σε γενικές γραμμές, θα πρέπει να υπολογίζεται το επίπεδο της παλίρροιας κατά τις χρονικές στιγμές λήψης και να αποφεύγεται η περίοδος της πλημμυρίδας, ενώ στην πλειοψηφία των περιοχών, προτιμείται η λήψη εικόνων κατά την περίοδο της μέσης άμπωτης. Η επίδραση της παλίρροιας ποικίλει αρκετά από περιοχή σε περιοχή και κρίνεται απαραίτητη η αναζήτηση εναλλακτικών πηγών δεδομένων, όπως αεροφωτογραφίες, για την ορθή αποτύπωση της ακτής.

2.4.2. Μέθοδοι Ανίχνευσης Μεταβολών

Η επιλογή του κατάλληλου αλγόριθμου ανίχνευσης μεταβολών είναι πολύ σημαντική διότι, πρώτον, επηρεάζει τον τύπο της ταξινόμησης που θα εφαρμοστεί και δεύτερον, καταδεικνύει το βαθμό που δύναται να εξαχθεί η ζητούμενη πληροφορία από τις διαθέσιμες εικόνες (Hussain et al., 2013).

Για την ανίχνευση των μεταβολών υπάρχουν φασματικές μέθοδοι και μέθοδοι με βάση τα αντικείμενα (Mas, 1999; Aray and Hergarten, 2008). Οι πρώτες είναι κατάλληλες για τηλεπισκοπικές απεικονίσεις τύπου Landsat, MODIS, SPOT κ.ά., ενώ για δεδομένα υψηλής διακριτικής ικανότητας είναι προτιμότερες οι τεχνικές με αντικειμενοστραφής ανάλυση (Chen et al., 2012a; Lang, 2008). Οι μέθοδοι ανίχνευσης μεταβολών, διαχωρίζονται στις εξής βασικές κατηγορίες: α) Πράξεις απεικονίσεων, β) Μεταμόρφωση, γ) Ταξινόμηση, δ) Προηγμένα μοντέλα, ε) GIS και στ) Οπτική ανάλυση (Lu et al., 2004).

Για την ανίχνευση των μεταβολών που παρουσιάζονται στα αντικείμενα δύο εικόνων το eCognition δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής τριών μεθόδων, που εστιάζουν σε διαφορετικό επίπεδο πληροφορίας η καθεμία. Η πρώτη μέθοδος στηρίζεται στις μεταβολές των πρωτογενών δεδομένων, δηλαδή στις τιμές των χαρακτηριστικών των αντικειμένων, η δεύτερη στηρίζεται στις μεταβολές που παρατηρούνται στις ταξινομήσεις των αντικειμένων και η τελευταία στις μεταβολές που παρουσιάζονται σε θεματικό επίπεδο (Μιχαηλίδου, 2011). Αξίζει να αναφερθεί ότι, στην αντικειμενοστραφής ανάλυση μπορούν να αξιοποιηθούν και οι αλλαγές στα χαρακτηριστικά σχήματος (Niemeyer et al., 2008).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι ευρέως διαδεδομένοι αλγόριθμοι φασματικής ανίχνευσης μεταβολών και όχι οι αλγόριθμοι ανίχνευσης μεταβολών με βάση τα αντικείμενα, διότι στη συγκεκριμένη διπλωματική εφαρμόστηκε αυτός ο τύπος μεθόδων.

2.4.2.1. Επίθεση Εικόνων

Στο eCognition υπάρχει η δυνατότητα της επίθεσης διαφορετικών ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, κατά την οποία εισάγεται ένα μόνο κανάλι της κάθε εικόνας σε διαφορετικό “layer” (Red, Green, Blue), ώστε να εντοπιστούν οπτικά οι αλλαγές των εικόνων. Για παράδειγμα, έχοντας δύο δορυφορικές απεικονίσεις διαφορετικών χρονολογιών, ορίζεται το κόκκινο κανάλι της πρώτης στο “Red layer”, το πράσινο κανάλι της δεύτερης στο “Green layer” και κανένα κανάλι στο “Blue layer”. Προκύπτει μία εικόνα με αποχρώσεις των χρωμάτων κόκκινο, πράσινο και κίτρινο, στην οποία το κόκκινο και πράσινο χρώμα υποδηλώνουν τις μεταβολές που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των δύο χρονολογιών, ενώ με κίτρινο εμφανίζονται οι χρήσεις γης που δεν μεταβλήθηκαν (ίσες ποσότητες κόκκινου και πράσινου δημιουργούν κίτρινο) (Jensen, 2005).

Η μέθοδος αυτή είναι σημαντική καθώς, επιτρέπει την ταυτόχρονη παρατήρηση δύο ή και τριών τηλεπισκοπικών δεδομένων διαφορετικής χρονολογίας, προσφέροντας ποιοτικές πληροφορίες σχετικά με τις αλλαγές στην περιοχή μελέτης, αλλά από την άλλη μεριά δεν παρέχει ποσοτικά στοιχεία για τις εκτάσεις που μεταβλήθηκαν από τη μια χρήση γης σε κάποια άλλη (Jensen, 2005).

2.4.2.2. Αφαίρεση – Διαίρεση Εικόνων

Οι μεταβολές στην περίπτωση αυτή προκύπτουν αφαιρώντας ή διαιρώντας τις τιμές φωτεινότητας των φαντίων σε ένα κανάλι της μιας εικόνας από ή προς τις τιμές στο αντίστοιχο κανάλι της άλλης εικόνας (Καραλής, 2008). Οι πράξεις γίνονται εικονοστοιχείο προς εικονοστοιχείο σε κάθε κανάλι με σκοπό κάθε κανάλι να παράγει μία νέα εικόνα η οποία θα αντιπροσωπεύει την αλλαγή μεταξύ των δύο αρχικών (Singh, 1989; Yuan et al., 2005). Στην περίπτωση της αφαίρεσης καναλιών, τα αποτελέσματα παίρνουν θετικές και αρνητικές τιμές στις περιοχές όπου υπάρχει αλλαγή της τιμής φωτεινότητας και μηδενικές τιμές στις περιοχές που δεν συναντώνται αλλαγές στην νέα εικόνα (Lu et al., 2004). Στην περίπτωση της διαίρεσης καναλιών, ισχύει η ίδια λογική, μόνο που οι περιοχές στις οποίες δεν παρατηρείται μεταβολή παίρνουν τη μονάδα ως τιμή, ενώ οι περιοχές που θα έχουν

υποστεί αλλαγή θα έχουν τιμές υψηλότερες ή χαμηλότερες από τη μονάδα ανάλογα με τη φύση της αλλαγής (Singh, 1989).

Οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι είναι χρήσιμοι για ανίχνευση μεταβολών που συνήθως εμφανίζονται σε ένα μόνο κανάλι, ή εάν δεν διατίθενται πολυφασματικές εικόνες. Επίσης, μπορούν να εφαρμοστούν σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές και να δώσουν ακριβή αποτελέσματα (Καραλής, 2008). Βέβαια, με αυτή τη μέθοδο να μεν προσδιορίζονται οι περιοχές που έχουν υποστεί αλλαγές χωρίς όμως να διευκρινίζεται το είδος των αλλαγών αυτών (από – προς πληροφορίες) (Jensen, 2005).

2.4.2.3. Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών

Κατά τη μέθοδο αυτή αποτίθεται η μία εικόνα πάνω στην άλλη αφού πρώτα έχουν αναλυθεί σε κύριες συνιστώσες και στη συνέχεια μελετώνται ως μία εικόνα. Ο Yuan (2005) παρατήρησε ότι οι πρωτεύουσες εικόνες των κυρίων συνιστωσών αναδεικνύουν τις διαφορές στην ανακλαστικότητα και στη ραδιομετρία ενώ οι δευτερεύουσες εικόνες τις τοπικές (Μιχαηλίδου, 2011).

Οι Li και Yeh (1998) επισήμαναν τη χρησιμότητα της μεθόδου αυτής στην ανίχνευση ραγδαίων αλλαγών στις χρήσεις γης μιας περιοχής. Το γεγονός ότι απαιτείται μόνο μία ταξινόμηση στη συμπιεσμένη εικόνα των κυρίων συνιστωσών, διευκολύνει ακόμη περισσότερο τον εντοπισμό μεταβολών. Δυστυχώς, και με αυτή τη μέθοδο δεν εντοπίζεται το είδος των αλλαγών και γενικότερα δεν είναι διαθέσιμες ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με τις θεματικές κατηγορίες που μεταβλήθηκαν.

2.4.2.4. Μέθοδος Σύγκρισης Μετά Από Ταξινόμησης

Πρόκειται για μία ποσοτική μέθοδο που χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Προϋποθέτει την ξεχωριστή επεξεργασία και ταξινόμηση των εικόνων των διαφορετικών ημερομηνιών (το οποίο θεωρείται ένα από τα μειονεκτήματά της) και στη συνέχεια τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των ταξινόμησεων με σκοπό την εξαγωγή των περιοχών που έχουν αλλάξει (Singh, 1989; Yuan et al., 2005). Η

σύγκριση γίνεται “pixel” προς “pixel”, δημιουργώντας έναν Πίνακα Ανίχνευσης Μεταβολών (Change Detection Matrix). Ο Πίνακας Ανίχνευσης Μεταβολών (ΠΑΜ) είναι ένας τετραγωνικός πίνακας καταγραφής εικονοστοιχείων, στον οποίο ως γραμμές ορίζονται οι κατηγορίες της απεικόνισης που έχει ληφθεί την προγενέστερη ημερομηνία (ΑΠΟ) και ως στήλες οι κατηγορίες της επόμενης απεικόνισης (ΠΡΟΣ). Κάθε κελί καταγράφει το πλήθος των εικονοστοιχείων που εμφανίζονται σε κάθε εποχή ανά κατηγορία (Κολοκούσης κ.ά., 2007).

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, χρησιμοποιούνται και οι δύο τρόποι ταξινόμησης, επιβλεπόμενη και μη. Η αυτόνομη ταξινόμηση των δύο εικόνων ελαχιστοποιεί το πρόβλημα της κανονικοποίησης των ατμοσφαιρικών διαφορών καθώς και των διαφορών που προκύπτουν από το δέκτη στις δύο ημερομηνίες (Μιχαηλίδου, 2011).

Το κύριο μειονέκτημα που παρουσιάζει η μέθοδος αυτή είναι η εξάρτηση του αποτελέσματος από τις δύο προηγούμενες ταξινομήσεις. Με άλλα λόγια, τα πιθανά σφάλματα των ταξινομήσεων επηρεάζουν την ακρίβεια του χάρτη των μεταβολών (Jensen, 1996). Οι τρεις κύριες πηγές σφαλμάτων σύμφωνα με τους Shi και Ehlers (1996) στη διαδικασία ανίχνευσης μεταβολών με τη μέθοδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι: α) η υποκειμενικότητα στη διαδικασία συλλογής περιοχών εκπαίδευσης, β) η κατανομή των χαρακτηριστικών σε μία κατηγορία είναι κανονική στον αλγόριθμο της ταξινόμησης και γ) η ύπαρξη αβεβαιότητας ακόμα και στη διαδικασία καθορισμού του τι είναι μεταβολή.

Είναι σκόπιμο να τονιστεί ότι, παρά τα μειονεκτήματα που εμφανίζει η μέθοδος σύγκρισης μετά από ταξινομήσεις, παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες για το ποιες κατηγορίες και σε τι ποσοστό μεταβλήθηκαν και σε ποια κατηγορία μετατράπηκαν. Επιπλέον, είναι εύκολα κατανοητή, ενώ όταν διεξάγεται από έμπειρους αναλυτές αντιπροσωπεύει έναν αξιόλογο τρόπο για την παραγωγή αποτελεσμάτων σχετικών με την ανίχνευση μεταβολών.

2.4.2.5. Διάνυσμα Φασματικών Μεταβολών

Ο Yuan (2005) όρισε το διάνυσμα φασματικών μεταβολών ενός εικονοστοιχείου ως το διάνυσμα που αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ του πολυφασματικού ψηφιακού

διανύσματος ενός εικονοστοιχείου στις δύο ημερομηνίες. Ένα τέτοιο διάνυσμα περιγράφει τον προσανατολισμό και την έκταση μιας μεταβολής από μία ημερομηνία σε μία άλλη (Jensen, 2005). Το αποτέλεσμα περικλείει δύο εικόνες, η μία περιλαμβάνει την απόλυτη τιμή του διανύσματος συνεπώς την έκταση της μεταβολής και η άλλη την κατεύθυνσή του. Η σύγκριση της έκτασης των μεταβολών με βάση μία τιμή κατώφλιωσης καθορίζει την αλλαγή και η κατεύθυνση του διανύσματος καθορίζει το είδος της (Singh, 1989).

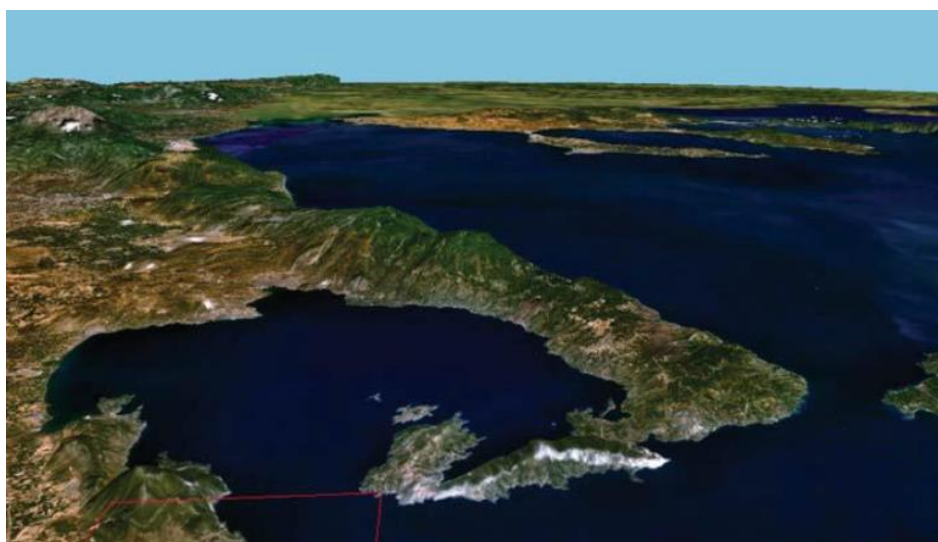
2.4.2.6. Άμεση Ψηφιοποίηση και Φωτοερμηνεία των Μεταβολών Πάνω στην Οθόνη

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει φωτοερμηνεία της εικόνας και ψηφιοποίηση των μεταβλημένων περιοχών (Lu et al., 2004). Εφαρμόζεται κυρίως σε δορυφορικά δεδομένα υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας και ψηφιακές αεροφωτογραφίες. Χρησιμοποιείται για την ενημέρωση βάσεων δεδομένων με άμεση φωτοερμηνεία (Μιχαηλίδου, 2011). Ο τρόπος αυτός ανίχνευσης μεταβολών γίνεται αρκετά εύκολος όταν οι αεροφωτογραφίες ή οι δορυφορικές εικόνες είναι τοπολογικά συνδεδεμένες μέσω της αντικειμενοστραφής ανάλυσης, έτσι ώστε τα πολύγωνα που εμφανίζουν κάποιο χαρακτηριστικό στην πρώτη εικόνα να ταυτίζονται με τα αντικείμενα της δεύτερης εικόνας (Masroor et al., 2013).

3. Μεθοδολογία και Υλοποίηση

3.1. Περιοχή Μελέτης

Το Πήλιο βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της Θεσσαλίας, στο Νομό Μαγνησίας και εκτείνεται με κατεύθυνση ΒΔ προς ΝΑ σχηματίζοντας την χερσόνησο της Μαγνησίας που διαχωρίζει τον Παγασητικό κόλπο με το Αιγαίο και καταλήγει στο ακρωτήριο του Τρίκερι. Αποτελεί το βασικό βουνό του νομού και το υψόμετρο του φτάνει στα 1.624 μέτρα, με ψηλότερη κορυφή το Ξεφόρτι ή Πουριανός Σταυρός (Φωτιάδης, 2010).



Εικόνα 18: Περιοχή μελέτης
Πηγή: <http://landsat.gsfc.nasa.gov>

Η περιοχή του Πηλίου περιλαμβάνει τους δήμους Αγριάς, Αργαλαστής, Αρτέμιδας, Αφετών, Ζαγοράς, Μηλέων, Μουρεσίου, Πορταριάς και Σηπιάδος και τις κοινότητες Μακρυνίτσας και Τρικερίου. Στο σύνολο της, ανέρχεται σε 920.000 στρέμματα περίπου και καταλαμβάνει το 34.9% της συνολικής έκτασης του νομού Μαγνησίας (Μακρή, 2012). Ο πραγματικός πληθυσμός της περιοχής, με βάση την απογραφή του 2001, ανέρχεται στους 33.293, ενώ είχε υποστεί σημαντική πληθυσμιακή

συρρίκνωση τις προηγούμενες δεκαετίες, λόγω της απουσίας επαρκούς οικονομικής δραστηριότητας και της έλλειψης βασικής υποδομής⁹.

Το Πήλιο έχει έντονο ανάγλυφο, κυρίως ορεινό και ημιορεινό, με μεγάλες κλίσεις και η μορφολογία του επηρεάζεται από τη γειτνίασή του με το Αιγαίο. Το τοπίο εμφανίζει μεγάλη ποικιλομορφία και ακολουθεί τις μεταβολές του ανάγλυφου, με σημαντικότερες τις εξής μορφές: 1) τοπίο ορεινών εκτάσεων, όπου κυριαρχεί η δασική βλάστηση, 2) τοπίο ημιορεινών περιοχών, με κύριο χαρακτηριστικό την μίξη της χαμηλής δασικής βλάστησης με φρυγανοτόπους και καλλιέργειες και 3) τοπίο παράκτιων εκτάσεων, όπου κατά τόπους παρατηρούνται έντονα τα σημάδια των ανθρωπογενών παρεμβάσεων (Χαρατσάρη, 2011). Όσον αφορά τα πετρώματα, το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής (περίπου το 70%) είναι σχιστόλιθοι (φυλλίτες και γνεύσιοι), ενώ στο νοτιοανατολικό τμήμα υπάρχουν σερπεντίνες και τρεις θέσεις με ασβεστόλιθους (Φωτιάδης, 2010).

Το κλίμα στην περιοχή ανήκει στον τύπο του θαλάσσιου Μεσογειακού και χάρη στην επίδραση της θάλασσας είναι εύκρατο. Χαρακτηρίζεται από μέσο θερμομετρικό εύρος και μέσες βροχοπτώσεις που διανέμονται ανομοιόμορφα κατά τη διάρκεια του έτους (Μακρή, 2012). Εμφανίζει δύο διαφορετικές κλιματολογικές ζώνες, λόγω της γεωγραφικής του θέσης και της μορφολογίας του εδάφους. Η πρώτη ζώνη περιλαμβάνει τις παραθαλάσσιες περιοχές και χαρακτηρίζεται από βόρειους ανέμους και υψηλά επίπεδα υγρασίας. Εμφανίζει ήπιο και βροχερό χειμώνα, άνοιξη και φθινόπωρο με υψηλά επίπεδα βροχοπτώσεων και ζεστό και ξηρό καλοκαίρι. Αντιθέτως, στη δεύτερη ζώνη που αφορά τους ορεινούς όγκους, κατά τη διάρκεια του χειμώνα επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, έντονες βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις, ενώ το καλοκαίρι επικρατούν δροσερές συνθήκες (Κουβάτας, 2012).

Το Πήλιο είναι κατάφυτο και εύφορο μέρος, με ενδιαφέρουσα βιοποικιλότητα και πλούσιο υδροφόρο ορίζοντα. Χαρακτηρίζεται ως περιοχή ιδιαίτερου φυσικού κάλλους και διαθέτει αρκετές εκτάσεις που έχουν συμπεριληφθεί στο δίκτυο NATURA 2000 (Φωτιάδης, 2010). Η χλωρίδα του είναι πλούσια σε δάση πλατάνου, οξιάς, καστανιάς, σκληρόφυλλα είδη μεσογειακών δέντρων, διαπλάσεις αρκεύθων,

⁹ Πηγή: <http://www.statistics.gr> [Ημερομηνία πρόσβασης: 13/9/2015]

σκλήθρα, λουλούδια (τουλάχιστον 620 taxa¹⁰) και σε πολλά αρωματικά φαρμακευτικά βότανα (πάνω από 50). Συνολικά στην περιοχή εμφανίζονται 3 ζώνες βλάστησης όπου συναντώνται πυκνά δάση μέχρι μακί και έχουν διακριθεί 14 οικότοποι, που περιλαμβάνονται στην Οδηγία 92/43 της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αναλυτικότητα, οι ζώνες βλάστησης του Πηλίου είναι: 1) Δάση οξιάς και ελάτης στα μεγαλύτερα υψόμετρα και κυρίως στα βόρεια, 2) Παραμεσόγεια ζώνη, που καταλαμβάνει τα μέσα υψόμετρα του βουνού και κυριαρχούν δάση δρυός και καστανιάς και 3) Ευμεσογειακή ζώνη στα χαμηλότερα σημεία του βουνού, όπου υπάρχουν αυτοφυή φυτά και αρωματικά βότανα με θεραπευτικές και φαρμακευτικές ιδιότητες, όπως το φασκόμηλο, το θυμάρι και το τσάι¹¹. Πρέπει να σημειωθεί ότι, στο Πήλιο η αλλοίωση του περιβάλλοντος βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, γεγονός που οφείλεται στη χαμηλή τουριστική ανάπτυξη της περιοχής.

Όσον αφορά στην οικονομία της περιοχής μελέτης, ο πρωτογενής τομέας έχει αναπτυχθεί στον πλέον βασικό παράγοντα διαμόρφωσης της οικονομικής φυσιολογίας της περιοχής, εξαιτίας της γεωγραφικής θέσης και της γονιμότητας του εδάφους. Η γεωργία αποτελεί τον κύριο κλάδο απασχόλησης στον πρωτογενή τομέα παραγωγής, με εκτάσεις υψηλής γεωργικής παραγωγικότητας στην πεδινή παραλιακή ζώνη από Αγριά έως Κορωπί και από Πουρί έως Μούρεσι (Μακρή, 2012). Το εύφορο έδαφος αλλά και το ιδιαίτερο κλίμα με τις συχνές βροχοπτώσεις, επιτρέπει την καλλιέργεια πολλών οπωροφόρων (καλύπτουν το 45% της καλλιεργούμενης έκτασης), με κυρίαρχο το μήλο, ενώ πρόσφατα ξεκίνησαν και προσπάθειες παραγωγής κτηνοτροφικών προϊόντων. Άλλα γεωργικά προϊόντα εκτός από τα μήλα, που παράγονται στην περιοχή είναι αγλάδια, ελιές, αμύγδαλα, καρύδια, σύκα, εσπεριδοειδή, αμπέλια (μόνο για κατανάλωση οίνου), κηπευτικά είδη, κερασιές και τσίπουρο (Μαυρουδάκης, 2010). Ειδικά το μήλο Ζαγοράς, προϊόν Προστατευόμενης Ονομασίας Προέλευσης (ΠΟΠ), επιτυγχάνει σημαντικές επιδόσεις με διακίνηση σε όλη την Ελλάδα και στο εξωτερικό. Επιπλέον, η συλλογή και η εμπορία των βοτάνων αποτελεί κύρια απασχόληση των κατοίκων (Παλουμπής και Σιδηρόπουλος, 2013).

Η κτηνοτροφία, ενώ δεν κατέχει σημαντική θέση στην τοπική παραγωγή, αποτελεί στις περισσότερες περιπτώσεις, συμπληρωματική οικονομική δραστηριότητα για

¹⁰ Taxon είναι ταξινομική μονάδα φυτών (π.χ. γένος, είδος, υποείδος, ποικιλία) και taxa ο πληθυντικός του (Φωτιάδης, 2010).

¹¹ Πηγή: <http://www.discoverpelio.com/el/h-fysi-toy-pilioy> [Ημερομηνία πρόσβασης: 3/5/2016]

τους αγρότες της περιοχής (Μαυρουδάκης, 2010). Ο κλάδος της ζωικής παραγωγής στο Πήλιο εντοπίζεται στην εκτροφή βοοειδών, προβάτων, αιγών, χοίρων, ίππων, κουνελιών, πουλερικών και στην αλιεία και μελισσοκομία (Παλουμπής και Σιδηρόπουλος, 2013).

Στο δευτερογενή τομέα, κυρίαρχη θέση κατέχει ο κλάδος της μεταποίησης και ο κλάδος των κατασκευών και της βιοτεχνίας (σιδηρουργεία, ξυλουργεία, επιπλοποιεία, εργαστήρια γλυκισμάτων, ελαιοτριβεία) και τέλος, στον τριτογενή τομέα παραγωγής, ο κλάδος των υπηρεσιών και του τουρισμού απορροφά το μεγαλύτερο ποσοστό του ενεργού πληθυσμού. Η ποικιλομορφία και ο πλούτος του οικοσυστήματος του Πηλίου σε συνδυασμό με την χαρακτηριστική, απaráμιλλης ομορφιάς και πλήρως εναρμονισμένης με το φυσικό περιβάλλον, πηλιορείτικη αρχιτεκτονική, προσελκύουν πλήθος τουριστών κατά τη διάρκεια όλων των εποχών (Κουβάτας, 2012). Από την άλλη μεριά, πρόβλημα αποτελεί το γεγονός ότι ο κύριος όγκος των επισκεπτών συγκεντρώνεται σε ορισμένους μόνο οικισμούς, ενώ κάποιοι άλλοι υποδέχονται ένα μικρό μόνο μέρος και κατά συνέπεια μειώνονται τα τουριστικά τους οφέλη από την τουριστική εκμετάλλευση.

Σχετικά με τις χρήσεις γης που επικρατούν στην περιοχή, των οποίων η διερεύνηση αποτελεί και έναν από τους στόχους της παρούσας διπλωματικής, αναφέρεται ότι, το 25% της έκτασης αφορά αγροτικές χρήσεις, το 54% την δασοπονία, το 10% τον τουρισμό και την αναψυχή και το 5% αστικές/βιομηχανικές χρήσεις και τα μεταφορικά δίκτυα¹².

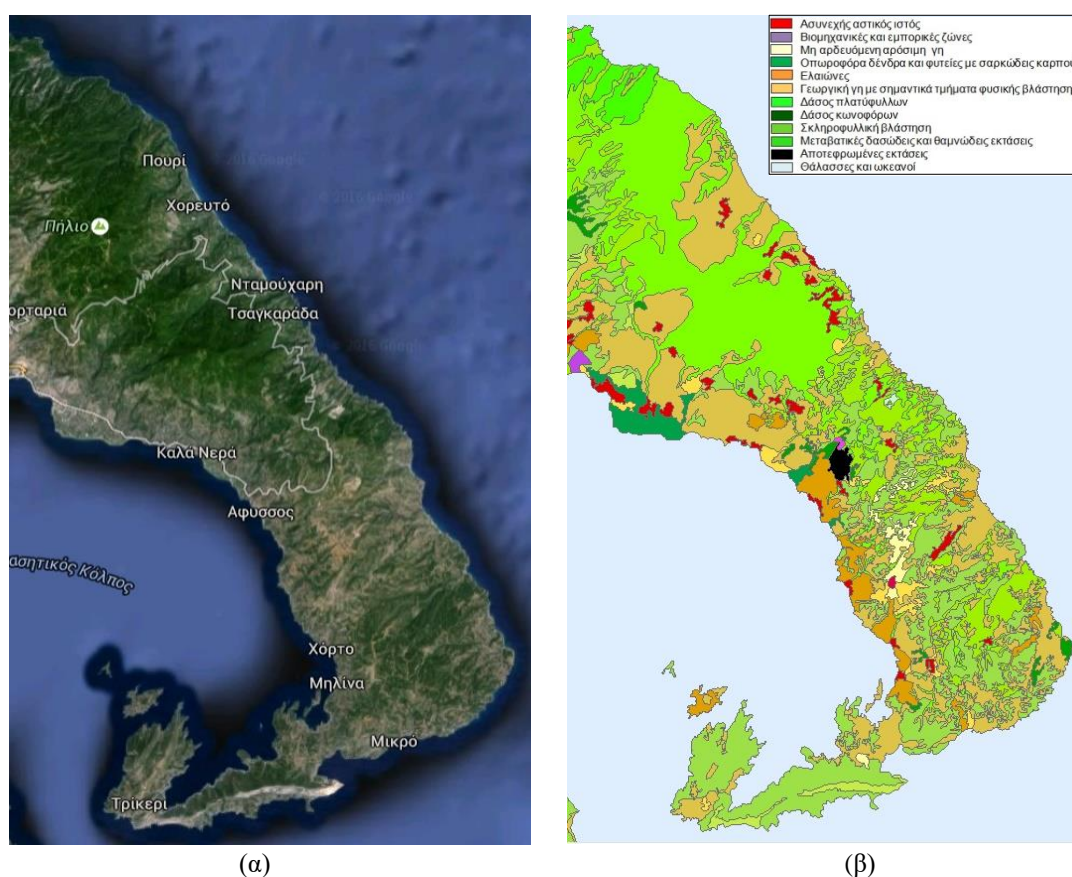
3.2. Διαθέσιμα Δεδομένα Μελέτης

3.2.1. Ψηφιακές Τηλεπισκοπικές Απεικονίσεις

Τα δεδομένα που επιλέχθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν δορυφορικές εικόνες Landsat, οι οποίες διατίθενται δωρεάν από την Επιστημονική Υπηρεσία της Κυβέρνησης των Ηνωμένων Πολιτειών “United States Geological Survey” (USGS), στην ιστοσελίδα <http://www.glovis.usgs.gov>. Ο USGS

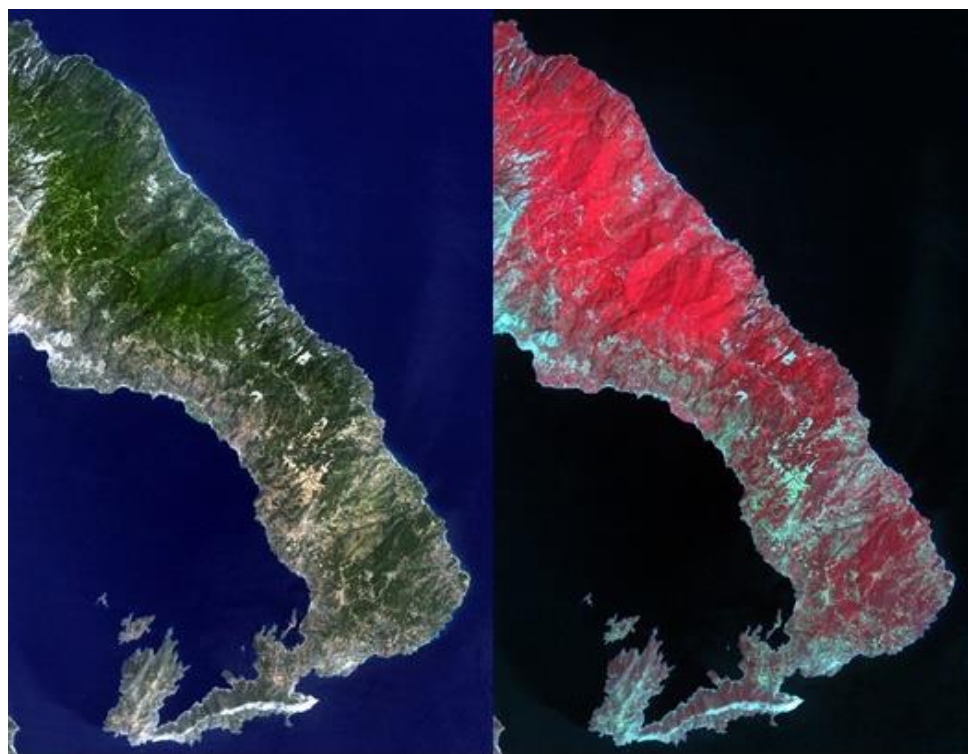
¹² Πηγή: http://ornithologiki.gr/page_iba.php?aID=64 [Ημερομηνία πρόσβασης: 7/4/2016]

πρόκειται για έναν επιστημονικό οργανισμό που παρέχει πληροφόρηση σχετικά με την υγεία των οικοσυστημάτων και του περιβάλλοντος, τους φυσικούς κινδύνους, τους φυσικούς πόρους, τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, τις μεταβολές των χρήσεων γης και πολλών άλλων τομέων. Η επιλογή και η απόκτηση των εικόνων πραγματοποιήθηκε ύστερα από εγγραφή στην υπηρεσία GLOVIS (Global Visualization Viewer) του οργανισμού USGS. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ένα αρχείο tiff, το οποίο είναι αποτέλεσμα επεξεργασίας και παρουσιάζει τις επίσημες κατηγορίες που ορίζονται από το σύστημα χαρτογράφησης CORINE Land Cover για το 2000, για τη περιοχή μελέτης, όπως επίσης και η εφαρμογή “Google Earth” (Βλέπε Εικόνα 19).



Εικόνα 19: (α) Περιοχή μελέτης από την εφαρμογή “Google Earth”, (β) Κατηγορίες χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης με βάση το CORINE Land Cover 2000

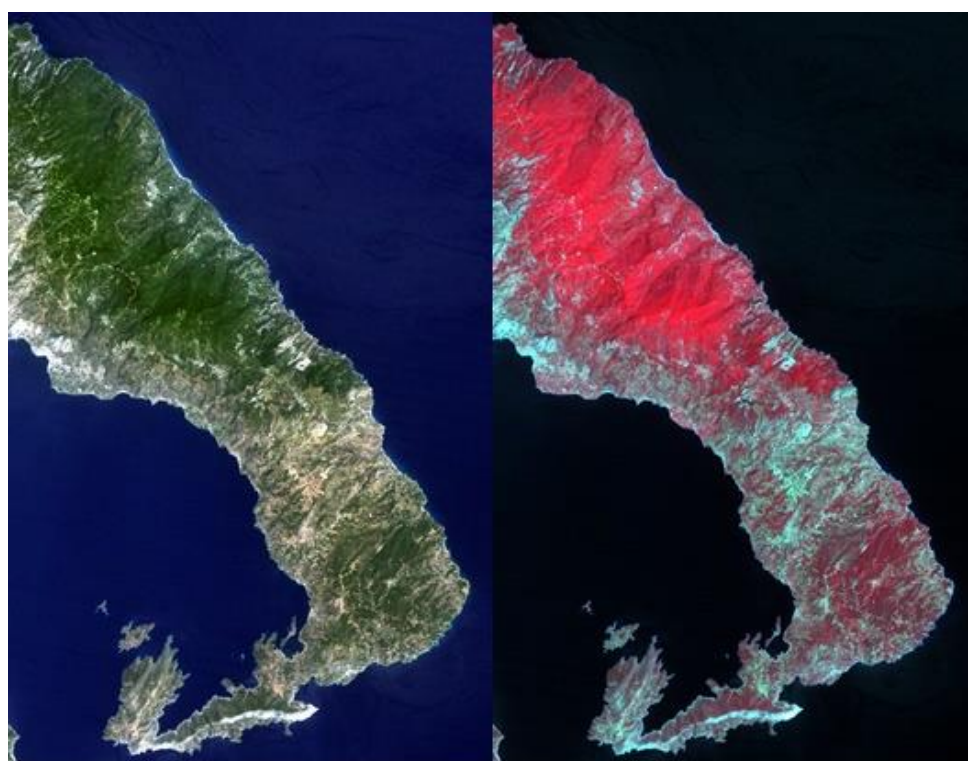
Αναλυτικότερα, χρησιμοποιήθηκαν δύο δορυφορικές εικόνες που απεικόνιζαν το Πήλιο. Η επιλογή των εικόνων έγινε με βασικό σκεπτικό να μπορούν να εντοπιστούν οι κύριες αλλαγές στις καλύψεις γης τα τελευταία χρόνια. Οι ακριβείς ημερομηνίες καταγραφής των δορυφορικών δεδομένων είναι για τη πρώτη εικόνα η 24^η Ιουλίου το 2003 στις 8:41 από το δορυφόρο Landsat 5 TM (Βλέπε Εικόνα 20) και για τη δεύτερη η 24^η Ιουλίου το 2009, στις 8:53 από ίδιο δορυφόρο (Βλέπε Εικόνα 21).



(α)

(β)

Εικόνα 20: Περιοχή μελέτης το έτος 2003 (α) σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 3,2,1 (RGB) και (β) σε έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 4,3,2 (RGB)



(α)

(β)

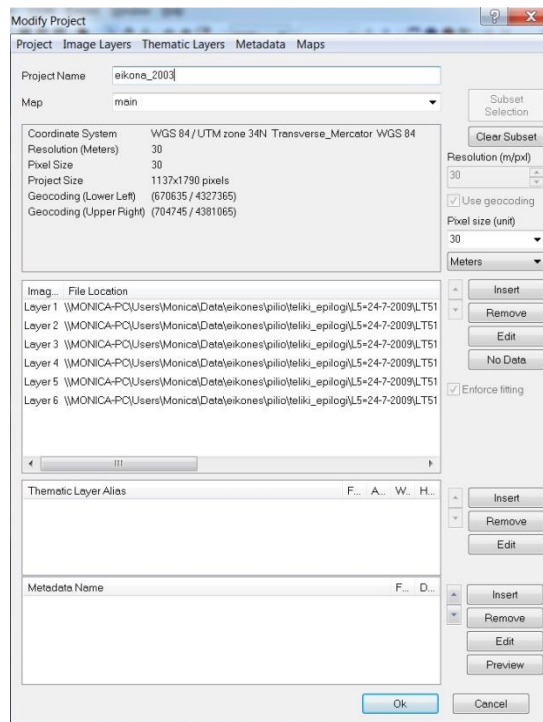
Εικόνα 21: Περιοχή μελέτης το έτος 2009 (α) σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 3,2,1 (RGB) και (β) σε έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 4,3,2 (RGB)

Επιπλέον, η καθαρότητα των εικόνων από σύννεφα θεωρήθηκε βασικό κριτήριο για την επιλογή τους. Η ύπαρξη συννεφιάς, όπως επίσης και η ύπαρξη χιονιών σε ορεινές περιοχές και έντονης υγρασίας, συνήθως αποτελούν βασικούς λόγους απόρριψης μιας δορυφορικής εικόνας, διότι καθιστούν δύσκολη την φωτοερμηνεία της περιοχής και ελαττώνουν την ακρίβεια και την ορθότητα των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, τα χιόνια, τα σύννεφα και η υγρασία δεν αποτελούν μόνιμες θεματικές κατηγορίες σε χάρτες (Χαριλόγης, 2009). Βέβαια, με την αύξηση των εμπορικών τηλεσκοπικών δορυφόρων που παρατηρείτε τις μέρες μας, είναι ευκολότερο να βρεθούν δεδομένα χωρίς συννεφοκάλυψη, αλλά πάλι υπάρχουν περίοδοι του χρόνου που αυτό είναι δύσκολο (Αγαθαγγέλου, 2008). Για την περιοχή του Πηλίου, ο μεγαλύτερος αριθμός των ελεύθερων εικόνων από σύννεφα βρέθηκε μεταξύ του Μαΐου και του Σεπτεμβρίου.

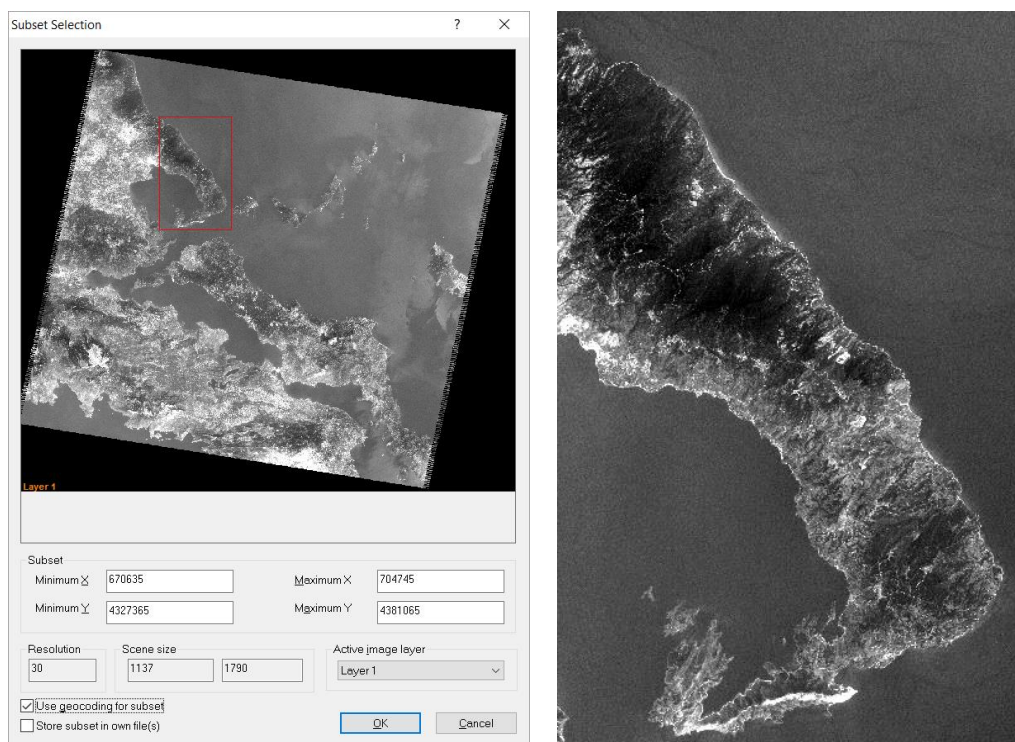
Συνεπώς, στην επιλογή των δορυφορικών απεικονίσεων δόθηκε σημασία στους παραπάνω παράγοντες και επιλέχθηκε ο μήνας Ιούλιος, ο οποίος εντάσσεται στην καλοκαιρινή περίοδο και η πιθανότητα ύπαρξης σύννεφων και χιονιών είναι αρκετά περιορισμένη. Επιπροσθέτως, τους καλοκαιρινούς μήνες μεγάλο μέρος των καλλιεργειών βρίσκεται σε κατάσταση προχωρημένης ανάπτυξης γεγονός που διευκολύνει την ανίχνευση τους και τη διερεύνηση των διαφορετικών τους τύπων.

Και για τις δύο εικόνες οι γήινες συντεταγμένες των αρχικών δεδομένων έχουν προέλθει από το ελλειψοειδές αναφοράς, όπως ορίζεται από το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (WGS84). Στη συνέχεια, οι γήινες συντεταγμένες προβάλλονται σε δύο διαστάσεις σύμφωνα με την Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή UTM ζώνη 34 που αναπτύχθηκε από μηχανικούς στο Αμερικανικό Σώμα Στρατού. Η προβολή είναι σύμμορφη και διατηρεί τις γωνίες και τα σχήματα, ενώ παραμορφώνει τις αποστάσεις και τις επιφάνειες (Βατούγιου, 2014).

Τέλος, με τη βοήθεια του λογισμικού eCognition πραγματοποιήθηκε περικοπή των εικόνων από τις αρχικές τους διαστάσεις, ώστε να επιλεγθεί μόνο η περιοχή ενδιαφέροντος (Βλέπε Εικόνα 22 και Εικόνα 23). Το αρχικό μέγεθος της εικόνας του 2003 ήταν 7901 x 7020 pixels και μετά την περικοπή έγινε 1137 x 1790 pixels. Με βάση την εικόνα του 2003, επιλέχθηκε η ίδια ακριβώς περιοχή με το ίδιο μέγεθος και για τη δεύτερη απεικόνιση.



Εικόνα 22: Δημιουργία “Project” και ορισμός αλληλουχίας των καναλιών



(α)

(β)

Εικόνα 23: (α) Ορισμός υποπεριοχής με τη βοήθεια συντεταγμένων (β) Περιοχή μελέτης

Ακολουθεί η παρουσίαση σε πίνακα των τεχνικών χαρακτηριστικών της κάθε μίας τηλεπισκοπικής εικόνας ξεχωριστά:

Πίνακας 2: Μεταδεδομένα τηλεπισκοπικής απεικόνισης 2003

Χαρακτηριστικά Δεδομένων	Τιμές Χαρακτηριστικών
Landsat Scene Identifier	LT51830332003205MTI01
Spacecraft Identifier	LANDSAT 5
Sensor Mode	N/A
Station Identifier	MTI - Matera, Italy
Date Acquired	24/7/2003
Day/Night	DAY
Start Time	2003:205:08:41:04.91769
Stop Time	2003:205:08:41:31.53063
WRS Path	183
WRS Row	33
Map Projection	UTM
Datum	WGS84
Ellipsoid	WGS84
UTM Zone	34
Data Category	NOMINAL
Data Type Level 1	TM L1T
Sensor Anomalies	BUMPER_MODE
Acquisition Quality	9
Quality Band 1-7	9
Cloud Cover	0
Sun Elevation	5.946.368.195
Sun Azimuth	12.040.988.209
Corner Upper Left Latitude	39.86327 (39°51'47.77"N)
Corner Upper Left Longitude	22.22529 (22°13'31.04"E)
Corner Upper Right Latitude	39.80172 (39°48'06.19"N)
Corner Upper Right Longitude	24.97110 (24°58'15.96"E)
Corner Lower Left Latitude	37.96587 (37°57'57.13"N)
Corner Lower Left Longitude	22.19308 (22°11'35.09"E)
Corner Lower Right Latitude	37.90833 (37°54'29.99"N)
Corner Lower Right Longitude	24.86702 (24°52'01.27"E)
Browse Exists	Yes

Πηγή: <http://earthexplorer.usgs.gov>

Πίνακας 3: Μεταδεδομένα τηλεπισκοπικής απεικόνισης 2009

Χαρακτηριστικά Δεδομένων	Τιμές Χαρακτηριστικών
Landsat Scene Identifier	LT51830332009205MOR00
Spacecraft Identifier	LANDSAT 5
Sensor Mode	BUMPER
Station Identifier	MOR - Moscow, Russia
Date Acquired	24/7/2009
Day/Night	DAY
Start Time	2009:205:08:53:30.02025
Stop Time	2009:205:08:53:56.63325
WRS Path	183
WRS Row	33
Map Projection	UTM
Datum	WGS84
Ellipsoid	WGS84
UTM Zone	34
Data Category	NOMINAL
Data Type Level 1	TM L1T
Sensor Anomalies	No
Acquisition Quality	9
Quality Band 1-7	9
Cloud Cover	0
Sun Elevation	614.156.967
Sun Azimuth	12.482.512.081
Corner Upper Left Latitude	39.86349 (39°51'48.56"N)
Corner Upper Left Longitude	22.20425 (22°12'15.30"E)
Corner Upper Right Latitude	39.80172 (39°48'06.19"N)
Corner Upper Right Longitude	24.97110 (24°58'15.96"E)
Corner Lower Left Latitude	37.96608 (37°57'57.89"N)
Corner Lower Left Longitude	22.17260 (22°10'21.36"E)
Corner Lower Right Latitude	37.90833 (37°54'29.99"N)
Corner Lower Right Longitude	24.86702 (24°52'01.27"E)
Browse Exists	Yes

Πηγή: <http://earthexplorer.usgs.gov>

3.2.2. Λογισμικά

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας η πλειοψηφία των διαδικασιών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού eCognition Developer 8, ενώ για την ανίχνευση μεταβολών αξιοποιήθηκαν οι δυνατότητες του λογισμικού Quantum GIS

2.14¹³. Επίσης, αξιοποιήθηκε το πρόγραμμα “Google Earth”, που διαθέτει εικόνες μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης, για τον ορθότερο συσχετισμό των βασικότερων τύπων χρήσης/κάλυψης γης με τις κατηγορίες του CORINE Land Cover. Το συγκεκριμένο σύστημα χαρτογράφησης διαθέτει πρότυπα των κατηγοριών σε εικόνες Landsat και έτσι μπορεί να επιτευχθεί αντιστοίχιση.

3.3. Φωτοερμηνεία Εικόνων

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή οποιασδήποτε τεχνικής επεξεργασίας αποτελεί η επαρκής γνώση της περιοχής μελέτης. Στο παρόν εδάφιο γίνεται προσπάθεια δημιουργίας προτύπων φωτοερμηνείας για τις διαθέσιμες Landsat εικόνες. Στη συγκεκριμένη διαδικασία βοήθησε η χρήση εικόνων μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης από το πρόγραμμα «Google Earth», ώστε να εντοπιστούν οι βασικότεροι τύποι χρήσης/κάλυψης γης και να συσχετιστούν με τις επίσημες κατηγορίες που ορίζονται από το σύστημα χαρτογράφησης CORINE Land Cover, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Ο σκοπός της φωτοερμηνείας είναι η ανίχνευση και η ταυτοποίηση των αντικειμένων, φαινομένων και εδαφοκαλύψεων τόσο από φασματικής αλλά και από εννοιολογικής άποψης. Η διαδικασία της φωτοερμηνείας των εικόνων εμπεριέχει διάφορα στάδια πολυπλοκότητας, από την απευθείας αναγνώριση αντικειμένων μέχρι την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν στις τοπικές συνθήκες (Παπαγεωργίου, 2007). Ένα παράδειγμα απευθείας αναγνώρισης θα μπορούσε να θεωρηθεί η αναγνώριση ενός κόμβου ή ενός ποταμού.

Η διαδικασία της οπτικής ερμηνείας απεικονίσεων πραγματοποιείται σε τρία βασικά στάδια. Το πρώτο είναι η ανίχνευση (detection), που εξαρτάται από τη διακριτική ικανότητα του δέκτη. Το δεύτερο στάδιο είναι η αναγνώριση αντικειμένων και εμφανίσεων (recognition/identification) στην περιοχή ενδιαφέροντος, κατά το οποίο

¹³ Το Quantum GIS (QGIS) είναι ένα λογισμικό GIS ανοιχτού κώδικα, φιλικό στο χρήστη, όπου μπορεί να γίνει απεικόνιση, διαχείριση, επεξεργασία, ανάλυση και σύνθεση χαρτών. Ενσωματώνει ισχυρές αναλυτικές δυνατότητες μέσω της ολοκλήρωσής του με το GRASS. Υποστηρίζει πολλαπλά διανυσματικά, εικονιστικά πρότυπα αρχείων, πολλαπλούς τύπους βάσεων δεδομένων και αντίστοιχη λειτουργικότητα για αυτά (https://live.osgeo.org/el/overview/qgis_overview.html).

αρχικά γίνεται αναγνώριση γενικών κατηγοριών και σχημάτων, ακολουθεί η ανάλυση των ομοιοτήτων και διαφορών και, τέλος, πραγματοποιείται συσχέτιση με το περιβάλλον, όπου χρησιμοποιούνται φωτοερμηνευτικά κλειδιά, πορίσματα επιγείων ελέγχων και δειγματοληψιών (Αγαθαγγέλου, 2008). Ως φωτοερμηνευτικό κλειδί ορίζεται το σύνολο των ειδοποιών χαρακτηριστικών μιας περιοχής, τα οποία έχουν συγκεντρωθεί με συνεπή τρόπο και βοηθούν είτε στην αναγνώριση, σε πρώτο βαθμό, είτε στην αξιολόγηση του κατά πόσο καλά έχει οριστεί μία αντίστοιχη περιοχή σε κάποια άλλη απεικόνιση. Εν μέρει, είναι η ταυτότητα της κάθε κατηγορίας κάλυψης γης, με όλα τα χαρακτηριστικά και τις ανοχές του. Τα φωτοερμηνευτικά κλειδιά θεωρούνται χρήσιμα, καθώς εξασφαλίζουν ταχύτητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου αεροφωτογραφιών και δορυφορικών λήψεων και δυνατότητα συλλογής ταυτόχρονα πολλών τύπων πληροφοριών αλλά και δεδομένων, για τα οποία δεν υπάρχει κάποιος άλλος τρόπος απόκτησής τους (Χαιρετάκης, 2012). Τα βασικά φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη εργασία είναι ο τόνος, το χρώμα, το μέγεθος, το σχήμα, το πρότυπο, η υφή, η σκιά, η θέση/τοποθεσία και η σχέση με το περιβάλλον. Αφού ολοκληρωθεί η αναγνώριση, μπορούν να οριοθετηθούν περιοχές που παρουσιάζουν ομοιογένεια ως προς τα χαρακτηριστικά τους, το οποίο αποτελεί και το τελευταίο στάδιο αυτής της διαδικασίας, το στάδιο της ανάλυσης (analysis) (Αγαθαγγέλου, 2008).





Αρχικά, εντοπίστηκαν τα φωτοερμηνευτικά πρότυπα από την δορυφορική εικόνα του 2003 για τη λήψη δειγμάτων εκπαίδευσης και ελέγχου, τα οποία εφαρμόστηκαν και στην εικόνα του 2009, διότι οι δύο απεικονίσεις εμφανίζουν σε γενικές γραμμές τις ίδιες κατηγορίες χρήσεων γης. Οι προς μελέτη εικόνες εξαιτίας του γεγονότος ότι καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή του Πηλίου εμφανίζουν πολλές τάξεις, όμως δεν ήταν δυνατό να συμπεριληφθούν όλες στην ταξινόμηση, καθώς θα δημιουργούνταν προβλήματα τεχνικής φύσεως. Συνεπώς, από την αναλυτική και προσεκτική μελέτη των δορυφορικών εικόνων, αποφασίστηκαν οι 9 ακόλουθες αντιπροσωπευτικές θεματικές κατηγορίες, με ορισμένες να καλύπτουν σε μεγάλο βαθμό την περιοχή μελέτης και με ορισμένες άλλες απλά να αντιστοιχούν σε κάποια μικρή έκταση:






- Υδάτινες επιφάνειες (Water bodies)
- Βλάστηση (Vegetation) με τις εξής υποκατηγορίες:
 - Δασικές εκτάσεις (Forests)

- Θαμνώδης και ποώδης βλάστηση (Shrubs – herbaceous vegetation)
 - Μη - αρδευόμενη καλλιεργήσιμη γη (Non – irrigated arable land)
 - Γεωργικές περιοχές (Agricultural areas)
- Αστική περιοχή (Urban area)
 - Άγονο έδαφος (Bare soil)
 - Οδικό δίκτυο (Roads)
 - Βιομηχανική ζώνη (Industrial units)

Αξίζει να σημειωθεί ότι, η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση δεν αποτελεί την μόνη σωστή επιλογή, καθώς ανάλογα με τις ανάγκες και τον σκοπό της κάθε μελέτης μπορεί να διαφοροποιηθεί τελείως ο τρόπος σκέψης και οι διαδικασίες ακόμα και για τις ίδιες τηλεπισκοπικές απεικονίσεις.

Πίνακας 4: Κατηγορίες χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης έπειτα από φωτοερμηνεία

A/A	Κατηγορίες	Ποιοτικά Χαρακτηριστικά	Παράδειγμα από την περιοχή μελέτης
1	Δασικές εκτάσεις	<u>Απόχρωση:</u> Πράσινο έντονο <u>Σχήμα:</u> Ακαθόριστο <u>Υφή:</u> Λεπτόκοκκη	
2	Θαμνώδης και ποώδης βλάστηση	<u>Απόχρωση:</u> Πράσινο ανοιχτό ή καφέ <u>Σχήμα:</u> Ακαθόριστο <u>Υφή:</u> Μέτρια	
3	Μη - αρδευόμενη καλλιεργήσιμη γη	<u>Απόχρωση:</u> Άσπρο, ώχρα ή ανοιχτό καφέ <u>Σχήμα:</u> Ακαθόριστο <u>Υφή:</u> Μέτρια	
4	Γεωργικές περιοχές	<u>Απόχρωση:</u> Σκούρο πράσινο, σκούρο πράσινο με καφέ, σκούρο γκρι ή καφέ <u>Σχήμα:</u> Ακαθόριστο <u>Υφή:</u> Λεπτόκοκκη ή μέτρια	

5	Αστική περιοχή	<u>Απόχρωση:</u> Άσπρο ή ανοιχτό γκρι <u>Σχήμα:</u> Ακαθόριστο <u>Υφή:</u> Λεπτόκοκκη	
6	Άγονο έδαφος	<u>Απόχρωση:</u> Άσπρο ή γκρι <u>Σχήμα:</u> Ακαθόριστο <u>Υφή:</u> Έντονη	
7	Οδικό δίκτυο	<u>Απόχρωση:</u> Λευκό, ώχρα ή γκρι <u>Σχήμα:</u> Μακρόστενο <u>Υφή:</u> Λεία	
8	Βιομηχανική ζώνη	<u>Απόχρωση:</u> Άσπρο, γκρι ή τόνοι του καφέ <u>Σχήμα:</u> Πολυγωνικό <u>Υφή:</u> Ετερογενής χοντρόκοκκη	
9	Υδάτινες επιφάνειες	<u>Απόχρωση:</u> Μπλε σκούρο <u>Σχήμα:</u> Ακαθόριστο <u>Υφή:</u> Λεία	

- Βλάστηση

Μεγάλο ποσοστό της έκτασης της περιοχής απαρτίζεται από διάφορα είδη βλάστησης. Αποτελεί μία αρκετά εύκολα αναγνωρίσιμη κατηγορία με το γυμνό μάτι, καθώς εμφανίζεται πάντοτε με πράσινο χρώμα και ανάλογα με τον τύπο βλάστησης παρουσιάζεται με συγκεκριμένο μοτίβο. Το δάσος για παράδειγμα παρουσιάζεται σε μεγάλες εκτάσεις σε μια εικόνα, ενώ οι καλλιέργειες έχουν συγκεκριμένο σχήμα. Για την αποτελεσματικότερη και πιο λεπτομερή διαπίστωση της βλάστησης χρησιμοποιήθηκαν τα έγχρωμα σύνθετα Landsat TM 4,3,2 (RGB) ή Landsat TM

5,4,3 (RGB) ή Landsat TM 4,5,3 (RGB) στα οποία η βλάστηση εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα και οι διαβαθμίσεις του κόκκινου ήταν πιο εύκολα αντιληπτές από αυτές του πράσινου. Σημαντική βοήθεια στον εντοπισμό αυτής της τάξης παρείχε και ο Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI.

Κρίθηκε σκόπιμο να διαχωριστεί σε επιμέρους θεματικές κατηγορίες αφενός μεν για να είναι πιο εφικτή η ταξινόμηση και με καλύτερα αποτελέσματα και αφετέρου για να υπάρξει μεγαλύτερη ανάλυση σχετικά με τις μεταβολές των καλύψεων γης.

- Μη - αρδευόμενη καλλιεργήσιμη γη

Ουσιαστικά σε αυτή την κατηγορία ανήκει η οργωμένη γη χωρίς παραγόμενη κάλυψη από βλάστηση κατά την ημερομηνία λήψης της δορυφορικής εικόνας. Οι καλλιέργειες που αφορούν αυτήν την κατηγορία είναι συνήθως όσπρια, δημητριακά, λαχανικά, λουλούδια, κτηνοτροφικά, βιομηχανικά, αρωματικά και θεραπευτικά φυτά, φυτά από τα οποία παράγονται καρυκεύματα, φυτά με βρώσιμες ρίζες και γη σε αγρανάπαυση (Χαιρετάκης, 2012). Αυτές οι περιοχές εμφανίζονται με ωχρή απόχρωση και μεγάλο μέρος του πολυγώνου τους είναι πιο φωτεινό έχοντας αντίθεση με το περιβάλλον του. Στις δύο εικόνες παρατηρήθηκε μη - αρδευόμενη καλλιεργήσιμη γη σε αρκετά σημεία και σε μεγάλη έκταση κοντά στον οικισμό της Αργαλαστής. Βέβαια, απαιτήθηκε μεγάλη προσοχή κατά τον καθορισμό, έτσι ώστε να μην υπάρξει σύγχυση με τα υπόλοιπα είδη καλλιεργειών της περιοχής.

- Γεωργικές περιοχές

Στην περιοχή του Πηλίου οι γεωργικές περιοχές που συναντώνται σε μεγαλύτερο βαθμό είναι γεωτεμάχια που ευδοκιμούν οπωροφόρα δέντρα (μεμονωμένα ή μικτά είδη) και περιοχές φυτεμένες με ελαιόδεντρα. Επιπλέον, παρατηρούνται περιοχές με καλλιέργειες οι οποίες περιλαμβάνουν διάσπαρτες σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης, στις οποίες δεν υπάρχει ομοιογενής εδαφοκάλυψη για 25 ή και περισσότερα εκτάρια.

Οι παραπάνω καλλιέργειες εμφανίζουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές και οι δορυφορικές εικόνες Landsat δεν βοηθούν στον διαχωρισμό με το περιβάλλον τους. Κατά συνέπεια, η προσπάθεια διάκρισής τους απαιτούσε μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία με πολλά δείγματα, ώστε να διαπιστωθούν οι τυχόν μικροδιαφορές στις ψηφιακές τους τιμές, αλλά και χωρίς σίγουρα αποτελέσματα. Για αυτό τον λόγο όλες οι γεωργικές περιοχές συμπεριλήφθηκαν στην ίδια θεματική κατηγορία.

Τα έγχρωμα σύνθετα που βοήθησαν στον εντοπισμό των καλλιεργειών ήταν τα Landsat TM 3,2,1 (RGB), Landsat TM 4,3,2 (RGB) και Landsat TM 4,5,3 (RGB). Αναλυτικότερα, τα οπωροφόρα δέντρα παρουσιάζονταν με κόκκινο χρώμα στο έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 4,3,2 (RGB) και περιέβαλαν τα χωριά, οι ελαιώνες με σκούρο πράσινο και ελάχιστο καφέ που μαρτυράει γυμνό έδαφος στο έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 3,2,1 (RGB) και βρίσκονταν κοντά με άλλες αγροτικές περιοχές και τέλος, οι γεωργικές περιοχές με τμήματα φυσικής βλάστησης εμφάνιζε αντίθεση με το περιβάλλον της στα έγχρωμα σύνθετα Landsat TM 4,3,2 (RGB) και Landsat TM 4,5,3 (RGB).

- Δασικές εκτάσεις

Η χρήση γης που κυριαρχεί στις δορυφορικές εικόνες είναι τα δάση. Πρόκειται για εκτάσεις αποτελούμενες από πλατύφυλλα είδη βλάστησης, κωνοφόρα είδη βλάστησης και συνδυασμό των δύο παραπάνω ειδών αλλά και άλλων δέντρων. Επίσης συμπεριλαμβάνονται θάμνοι και θαμνώδη υποστρώματα. Η αναγνώρισή τους από τους άλλους τύπους βλάστησης πραγματοποιήθηκε χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα, καθώς απεικονίζονται με σκούρο πράσινο χρώμα στο έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 3,2,1 (RGB) και με έντονο κόκκινο στο Landsat TM 4,3,2 (RGB) και το μέγεθός τους είναι τις περισσότερες φορές αρκετά μεγάλο. Η ανάλυση των δασικών περιοχών σε υποκατηγορίες (δάση κωνοφόρων, δάση πλατύφυλλων και μικτά δάση) δεν έγινε, διότι δεν θα παρείχε περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τις μεταβολές των χρήσεων γης και δεν θα βοηθούσε στην επίτευξη καλύτερου αποτελέσματος. Επιπλέον, στα δάση πλατύφυλλων όταν υπάρχουν σκιές, τότε αυτά συχνά συγχέονται με τα δάση κωνοφόρων, ενώ τα μικτά δάση λόγω διαφορετικών φασματικών υπογραφών είναι δύσκολος ο διαχωρισμός τους από τα άλλα δύο είδη δάσους.

- Θαμνώδης και ποώδης βλάστηση

Μια άλλη θεματική κατηγορία που καταλαμβάνει μεγάλο ποσοστό της έκτασης της περιοχής μελέτης είναι η θαμνώδης και ποώδης βλάστηση. Εμφανίζεται σε περιοχές όπου δεν έχουν υπάρξει ανθρωπογενής επεμβάσεις και αποτελείται από πολλούς ή πιο αραιούς θάμνους και από διάσπαρτα μεμονωμένα δέντρα. Επίσης, μπορεί να αντιπροσωπεύει την υποβάθμιση ενός δασικού οικοσυστήματος (λόγου χάρη φυτά που έχουν κάποια ασθένεια) ή την αναγέννηση ενός δάσους. Στις εικόνες εμφανίζεται με συνδυασμό του πράσινου και του καφέ χρώματος στο έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 3,2,1 (RGB) και του πορτοκαλί και του πράσινου χρώματος Landsat TM 4,5,3 (RGB). Ενδείκνυται η χρήση αεροφωτογραφιών και δασικών χαρτών για να γίνει η διάκρισή τους από τα δάση και τις καλλιέργειες, όπως επίσης και ο Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης.

- Αστική περιοχή

Με τον όρο αστικό συνήθως νοείται η επιφάνεια της γης που αποτελείται από αδιαπέρατα υλικά όπως το τσιμέντο (Φώτη, 2011). Στην περιοχή του Πηλίου, όπως ήταν αναμενόμενο, υπάρχουν οικισμοί μικρής έκτασης και με άναρχη δόμηση και αρκετά μεμονωμένα κτίσματα κατοικιών, γεγονός που δυσκόλεψε σε σημαντικό βαθμό τον εντοπισμό τους. Με βάση το CORINE land cover όλοι οι οικισμοί ανήκουν στην κατηγορία 1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός, εκτός από την Αργαλαστή που ανήκει στην κατηγορία 1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός. Το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας των περιοχών διακεκομμένης αστικής δόμησης καλύπτεται από κτίρια, δρόμους και τεχνητά καλυμμένες επιφάνειες, που όμως δεν μπορούν να διαχωριστούν από περιοχές καλυμμένες με βλάστηση και γυμνό έδαφος, το ποσοστό των οποίων κυμαίνεται γύρω στο 30-80% της συνολικής επιφάνειας. Η αδυναμία διαχωρισμού των οικισμών από το γυμνό έδαφος και την βλάστηση αποτέλεσε ένα από τα βασικότερα προβλήματα στην ταξινόμηση των δύο δορυφορικών απεικονίσεων.

Η φωτοερμηνεία της συγκεκριμένης θεματικής κατηγορίας έγινε στα έγχρωμα σύνθετα Landsat TM 3,2,1 (RGB) και Landsat TM 4,3,2 (RGB), όπου εμφανίζονταν με αποχρώσεις του γκρι και του άσπρου στο πρώτο και με αποχρώσεις του κυανού

και του άσπρου στο δεύτερο. Επιπλέον, τα αντικείμενα της κατηγορίας αυτής έχουν υψηλές τιμές ανακλαστικότητας στο μπλε κανάλι, καθώς η πλειοψηφία των σπιτιών είναι χτισμένα με τις γνωστές για την ομορφιά τους Πηλιορείτικες πλάκες.

- Βιομηχανική ζώνη

Σε αυτήν την κατηγορία το μεγαλύτερο μέρος του εδάφους καλύπτεται από τεχνητές επιφάνειες όπως τσιμέντο, άσφαλτος, ασφαλτικό σκυρόδεμα ή πεπιεσμένο έδαφος ενώ υπάρχουν και κτίρια και/ή διάσπαρτη βλάστηση, γυμνό έδαφος και άλλες κατασκευές που γειτνιάζουν σε αυτές, όπως είναι οι χώροι στάθμευσης. Συνήθως η έκτασή τους είναι μεγαλύτερη από 25 εκτάρια (Χαιρετάκης, 2012).

Στις δορυφορικές απεικονίσεις διακρίνεται μία βιομηχανική μονάδα, το εργοστάσιο ΑΓΕΤ Ηρακλής Βόλου, που βρίσκεται 4 χλμ. από την πόλη του Βόλου και συγκεκριμένα στο Δήμο Αγριάς. Ιδρύθηκε το 1924 και πρόκειται για το μεγαλύτερο εργοστάσιο και μία από τις πιο σημαντικές μονάδες της Lafarge Beton ABEE¹⁴, με δυναμικότητα πάνω από 3.2 εκατ. τόνους. Οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες επιτρέπουν την παραγωγή διαφόρων τύπων χύδην και σακευμένου τσιμέντου, τσιμέντο υψηλής αντοχής, τσιμέντο τοιχοποιίας και γενικών οικοδομικών χρήσεων¹⁵. Το εργοστάσιο διαθέτει φυσικό λιμάνι και εντάσσεται ανάμεσα στις μεγαλύτερες τσιμεντοβιομηχανίες της Ευρώπης, Ασίας και Αμερικής (Κουβάτας, 2012).

Ο εντοπισμός της ακριβής θέσης του εργοστασίου αποδείχθηκε εύκολος, διότι παρόλο που η απόχρωσή του στα έγχρωμα σύνθετα Landsat TM 3,2,1 (RGB) και Landsat TM 4,3,2 (RGB) ήταν ίδια με αυτή του αστικού ιστού, το μέγεθός του ήταν αρκετά μεγαλύτερο με αποτέλεσμα να ξεχωρίζει από κατηγορίες που είχαν παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά.

¹⁴ Η Lafarge Beton ABEE είναι θυγατρική εταιρεία της ΑΓΕΤ Ηρακλής και δραστηριοποιείται στον κλάδο του τσιμέντου, του σκυροδέματος και των αδρανών υλικών. Εισήλθε στην ελληνική αγορά τσιμέντου το 2001 και κατέχει την πλειοψηφία των μετοχών της ΑΓΕΤ Ηρακλής (Lafarge, <http://www.lafarge.gr>).

¹⁵ Πηγή: http://www.lafarge.gr/wps/portal/gr/el/2_5_1-VolosPlant [Ημερομηνία πρόσβασης: 8/2/2016]

- Οδικό δίκτυο

Το οδικό δίκτυο στην πλειοψηφία των περιπτώσεων θεωρείται ένα εύκολα αναγνωρίσιμο χαρακτηριστικό των εικόνων, λόγω του συγκεκριμένου σχήματός του. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζεται με μακρόστενο σχήμα, παρουσιάζει καμπυλώσεις και παρουσιάζει διαφορές στο μήκος, στο πλάτος και στο υλικό από το οποίο έχει κατασκευαστεί, ανάλογα με το είδος του δρόμου. Επίσης, συνήθως έχει κοινό όριο με πολλές και διαφορετικές κατηγορίες λόγω του μακρόστενού της σχήμα.

Δυστυχώς, στην περιοχή μελέτης η συγκεκριμένη θεματική κατηγορία δεν είναι διακριτή και μπερδεύεται με τις υπόλοιπες κατηγορίες, λόγω της χαμηλής διακριτικής ικανότητας των απεικονίσεων αλλά και της ποιότητας του οδικού δικτύου. Παρατηρούνται κυρίως χωματόδρομοι και επαρχιακοί δρόμοι, που σε αρκετά σημεία είναι υπερβολικά στενοί και σε ακόμα περισσότερα έχουν καλυφθεί από τη γειτονική βλάστηση. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από πολλές στροφές, οπότε χάνουν το χαρακτηριστικό τους σχετικά με το μακρόστενο σχήμα. Ο μόνος δρόμος που διακρίνεται πιο καθαρά είναι η εθνική οδός, που και αυτή όμως στο μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασής της χάνεται.

Οι χωματόδρομοι που παρατηρούνται στην εικόνα φαίνονται με ωχρό χρώμα και με μικρό μήκος, οι επαρχιακοί οδοί φαίνονται με ανοιχτό γκρι χρώμα και η εθνική οδός με λευκό χρώμα και μεγαλύτερο πλάτος. Η απόχρωσή τους σε έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 3,2,1 (RGB) είναι σκούρο γκρι, όπως επίσης και σε έγχρωμο σύνθετο Landsat TM 4,3,2 (RGB)

- Άγονο έδαφος

Το άγονο έδαφος αφορά βράχια και πέτρινους σχηματισμούς και είναι μια κατηγορία που καταλαμβάνει σχετικά μεγάλη έκταση στο Πήλιο, καθώς πρόκειται για ορεινή περιοχή που διαθέτει ορεινούς όγκους, οι οποίοι δεν καλύπτονται εξ' ολοκλήρου από βλάστηση. Σε αυτή τη τάξη συμπεριλήφθηκαν και οι παραλίες, οι αμμόλοφοι και εκτάσεις με άμμο ή με βότσαλα στις παράκτιες τοποθεσίες αλλά και μπροστά από παράκτιους οικισμούς. Θεωρείται εύκολα ανιχνεύσιμη λόγω της μεγάλης έκτασής της, του ακανόνιστου σχήματός της και του γκρι ή λευκού χρώματός της, παρόλα

αυτά όμως είναι δύσκολος ο διαχωρισμός της από χρήσεις γης, όπως η αστική γη και το οδικό δίκτυο, που αποτελούν κυρίως τιμεντένιες επιφάνειες. Συνήθως, για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος αξιοποιούνται τοπογραφικοί χάρτες, όπου τέτοιες περιοχές έχουν διαφορετική απόχρωση και Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους, τα οποία παρουσιάζουν απότομες κλίσεις σε μεγαλύτερα υψόμετρα.

- Υδάτινες επιφάνειες

Μεγάλο ποσοστό των εικόνων καλύπτεται από θάλασσα, ενώ στην τηλεπισκοπική εικόνα του 2009 υφίσταται μία τεχνητή έκταση νερού. Πρόκειται για φράγμα που βρίσκεται βορειοδυτικά του χωριού Αφέτες στην περιοχή Παναγιώτικο και κατασκευάστηκε το χρονικό διάστημα 1999 έως 2004. Σκοπός του συγκεκριμένου έργου ήταν η ύδρευση του Δήμου Νοτίου Πηλίου και η ωφέλιμη χωρητικότητα του είναι 1.620.000 m³ νερού¹⁶.

Η αναγνώριση των υδάτινων επιφανειών ήταν και η πιο εύκολη καθώς έχουν το χαρακτηριστικό έντονο μπλε χρώμα του νερού, που είναι διακριτό με το γυμνό μάτι. Για περισσότερη ακρίβεια χρησιμοποιήθηκαν και τα έγχρωμα σύνθετα Landsat TM 4,3,2 (RGB) και Landsat TM 4,5,3 (RGB), στα οποία το νερό εμφανίζεται σε μπλε σκούρα προς μαύρη απόχρωση.

3.4. Χαρακτηριστικά Κατηγοριών

Για την όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη και ορθότερη αποτύπωση των θεματικών κατηγοριών χρήσεις/κάλυψης γης δημιουργήθηκαν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα (Customized Features), τα οποία δεν υπάρχουν ενσωματωμένα στο λογισμικό. Ο στατιστικός τύπος αυτών των δεικτών μπορούν να υπολογιστούν με τη χρήση των στατιστικών δεδομένων των φασματικών υπογραφών που είναι ενσωματωμένα στο σύστημα. Η αξιοποίησή τους κρίνεται ζωτικής σημασίας, καθώς συμβάλλουν στον σωστό διαχωρισμό των θεματικών τάξεων και

¹⁶ Πηγή: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/6.6.pdf> [Ημερομηνία πρόσβασης: 14/4/2016]

συνεπώς, στην ουσιαστική βελτίωση των αποτελεσμάτων της κάθε ταξινόμησης. Για τη διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκαν ο Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης “NDVI”, ο δείκτης “Soil-like Index”, ο δείκτης “NDWI” και ο δείκτης “Area/Length” που αναλύονται παρακάτω.

- Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης “NDVI”

Η ανάγκη εντοπισμού της βλάστησης με τεχνική ψηφιακής επεξεργασίας, οδήγησε στη δημιουργία δεικτών βλάστησης (Vegetation Indices), ήδη από την δεκαετία του 1970, για τη χαρτογράφηση της βλάστησης σε πλανητικό επίπεδο (Φώτη, 2011). Σκοπός τους είναι να τονιστούν οι περιοχές με βλάστηση σε σχέση με άλλες κατηγορίες εδαφοκάλυψης σε μια πολυκάναλη εικόνα, διευκολύνοντας έτσι την φωτοερμηνεία.

Ο πιο γνωστός δείκτης βλάστησης είναι ο Κανονικοποιημένος δείκτης “NDVI” (Normalized Difference Vegetation Index), ένας λόγος ανάμεσα στη διαφορά ανάκλασης του εγγύς υπέρυθρου (NIR) και κόκκινου (Red), διαιρούμενος με το άθροισμα αυτών (Βατούγιου, 2014). Ο δείκτης αυτός έχει προέλθει από το κλάσμα Nir / Red , το οποίο δίνει υψηλές τιμές ανακλαστικότητας για τη βλάστηση καθώς η βλάστηση ανακλά πολύ στο εγγύς υπέρυθρο και λίγο στο κόκκινο. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται η υψηλή ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο (Μιχαηλίδου, 2011). Οι τιμές του κυμαίνονται από -1 έως +1, ενώ οι συνήθεις τιμές του για τη βλάστηση είναι περίπου από 0.3 και πάνω. Αυτό σημαίνει ότι, οι τιμές από 0.3 και πάνω δείχνουν περιοχές με βλάστηση και όσο πιο κοντά στο +1 είναι τόσο πιο πυκνή βλάστηση υπάρχει στην περιοχή, ενώ οι υπόλοιπες τιμές δηλώνουν περιοχές χωρίς βλάστηση. Ο τύπος που δίνει τον Κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης “NDVI” είναι (Αϊναλή, 2012):

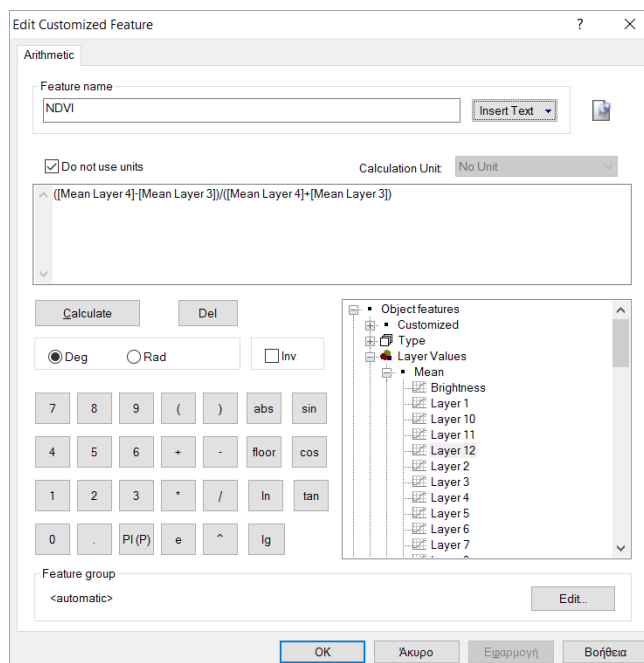
$$NDVI = (Nir - Red) / (Red + Nir)$$

όπου, Nir: η μέση τιμή στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι και

Red: η μέση τιμή στο κόκκινο κανάλι

Μεγάλος αριθμός ερευνών έχουν συσχετίσει τον “NDVI” με αρκετά φαινόμενα βλάστησης, όπως η εποχιακή δυναμική της βλάστησης, η αποψίλωση δασών, η εκτίμηση της βιομάζας, ο προσδιορισμός της ποσοστιαίας κάλυψης του κ.ά. Βέβαια, θα πρέπει να επισημανθεί η ύπαρξη παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν τις παρατηρήσεις του “NDVI”, οι οποίες είναι άσχετες με τη βλάστηση. Ενδεικτικά αναφέρεται η μεταβλητότητα στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (Παπαγεωργίου, 2007).

Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται στο “Create new Arithmetic Feature”, στο πεδίο “Customized” και παρουσιάζεται στην Εικόνα 24, ενώ οι δοκιμές και η εύρεση των σωστών ορίων καταφλίωσης του στην εικόνα γίνεται με το παράθυρο “Feature View”. Τα τμήματα που συμμετέχουν στη κατηγορία της βλάστησης, σύμφωνα με το διάστημα ασάφειας που έχει τεθεί στο αριστερό και δεξί όριο, απεικονίζονται στην εικόνα με μπλε ή πράσινο χρώμα.



Εικόνα 24: Παράθυρο διαλόγου “Edit Customized Feature” για τη δημιουργία του δείκτη “NDVI”

- Δείκτης “NDWI”

Ο δείκτης που χρησιμοποιήθηκε για την ανάδειξη των υδάτινων επιφανειών και συγκεκριμένα της θάλασσας, ήταν ο ακόλουθος λόγος:

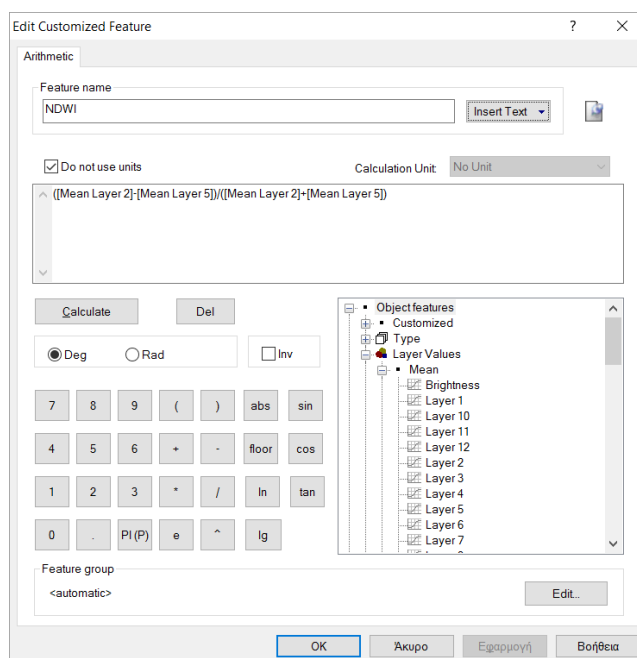
$$NDWI = (Green - Swir) / (Green + Swir)$$

όπου, Green: η μέση τιμή στο πράσινο κανάλι και

Swir: η μέση τιμή στο μέσο υπέρυθρο κανάλι

Ο συνδυασμός των καναλιών μπλε και εγγύς υπέρυθρο, με το τελευταίο στον παρονομαστή λόγω χαμηλών τιμών ανακλαστικότητας, ο συγκεκριμένος δείκτης εξαλείφει την παρουσία του γυμνού εδάφους και της βλάστησης.

Στη συνέχεια παρατίθεται το παράθυρο διαλόγου για τη δημιουργία του κανόνα “NDWI”.



Εικόνα 25: Παράθυρο διαλόγου “Edit Customized Feature” για τη δημιουργία του δείκτη “NDWI”

- Δείκτης “Soil Index”

Ο δείκτης “Soil Index” παρείχε σημαντική βοήθεια στην διαφοροποίηση της βλάστησης από τα αδιαπέρατα υλικά που συναντώνται στο Πήλιο. Το έδαφος παρατηρήθηκε ότι παρουσιάζει υψηλή ανακλαστικότητα στο κόκκινο κανάλι και χαμηλή ανακλαστικότητα στο μπλε κανάλι. Συνεπώς, θέτοντας στον αριθμητή τις μέσες τιμές στο κόκκινο κανάλι και στον παρονομαστή τις χαμηλές τιμές

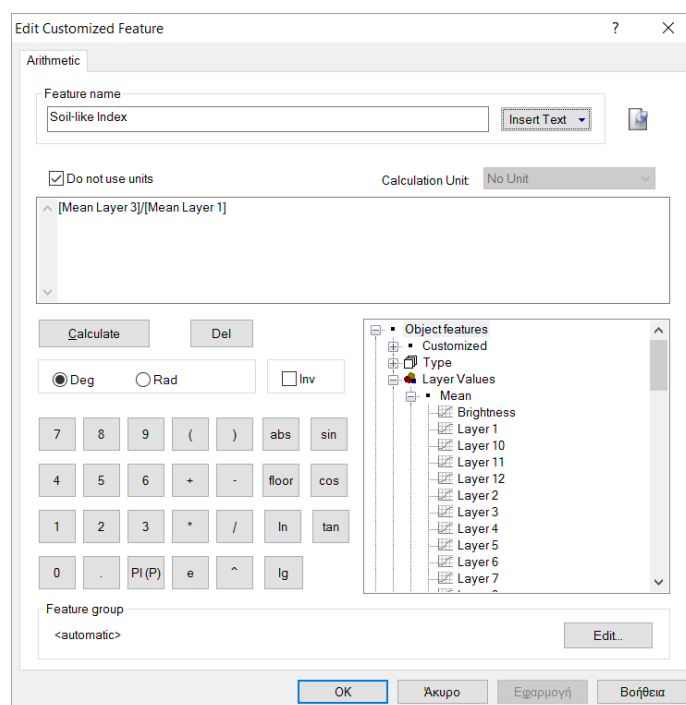
ανακλαστικότητα στο μπλε, όπως φαίνεται παρακάτω, δημιουργείται ένας δείκτης που αναδεικνύει το γυμνό έδαφος.

$$\text{Soil Index} = \text{Red} / \text{Blue}$$

όπου, Blue: η τιμή στο μπλε κανάλι και

Red: η τιμή στο κόκκινο κανάλι

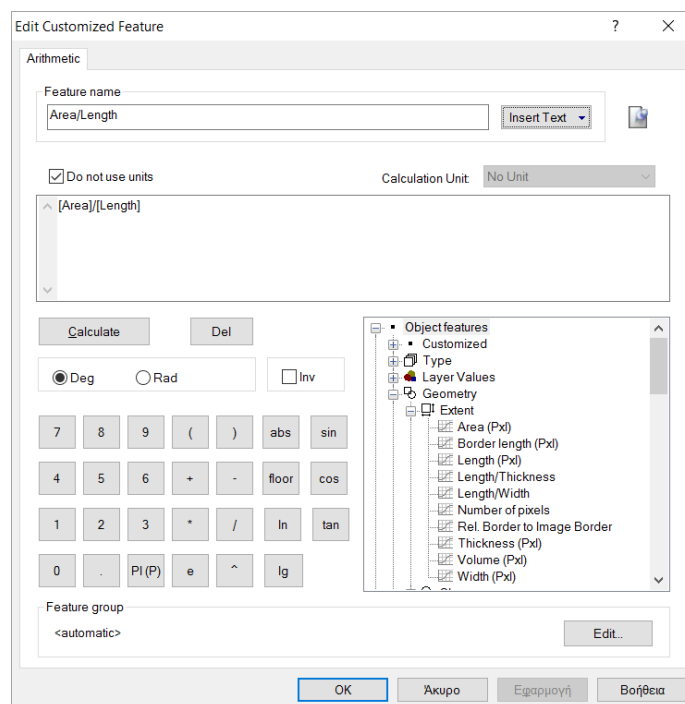
Παρακάτω παρουσιάζεται το παράθυρο διαλόγου για τη δημιουργία του κανόνα “Soil Index”.



Εικόνα 26: Παράθυρο διαλόγου “Edit Customized Feature” για τη δημιουργία του δείκτη “Soil Index”

- Δείκτης “Area/Length”

Το εμβαδόν ενός αντικειμένου υπολογίζεται από το πραγματικό εμβαδόν ενός εικονοστοιχείου πολλαπλασιασμένο με τον αριθμό των εικονοστοιχείων που απαρτίζουν το αντικείμενο (Παναγιωτίδης, 2013). Ο λόγος του εμβαδού προς το μήκος θεωρήθηκε αρκετά χρήσιμο, σε συνδυασμό με άλλους κανόνες, στον εντοπισμό του οδικού δικτύου της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 27: Παράθυρο διαλόγου “Edit Customized Feature” για τη δημιουργία του δείκτη “Area/Length”

3.5. Υλοποίηση Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης στην Εικόνα του 2003

3.5.1. Κατάτμηση Πολλαπλής Ανάλυσης Εικόνας

Όπως αναφέρθηκε και στο εδάφιο 2., η αντικειμενοστραφής ανάλυση δεδομένων, που χρησιμοποιεί και εφαρμόζει το λογισμικό eCognition, καθιστά την ερμηνεία της εικόνας πιο εύκολη και με σαφώς αυξημένες δυνατότητες. Στην προκειμένη περίπτωση, ο μελετητής καλείται να διαχειριστεί ένα συγκεκριμένο αριθμό πολυγώνων (segments) και όχι ένα αρκετά μεγαλύτερο πλήθος εικονοστοιχείων της κάθε εικόνας. Περαιτέρω τα πολύγωνα αυτά προσαρμόζονται όσον αφορά στο μέγεθος και τη φασματική τους ομοιογένεια στις ανάγκες της εκάστοτε εργασίας.

Στην παρούσα διπλωματική εφαρμόζεται η κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης με σκοπό τη δημιουργία των πρωτογενών αντικειμένων και άρα του ιεραρχικού δικτύου θεματικών κατηγοριών, όπως θα προκύψει από τα επίπεδα κατάτμησης. Στην αντικειμενοστραφή ανάλυση, η κατάτμηση της εικόνας σε αντικείμενα και η ύπαρξη πολλών επιπέδων κρίνεται η βασική προϋπόθεση για οποιαδήποτε περαιτέρω

επεξεργασία. Με αυτόν τον τρόπο, καθίσταται δυνατή η εφαρμογή κανόνων, οι οποίοι συμβάλλουν σημαντικά στον καλύτερο διαχωρισμό των θεματικών τάξεων.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το eCognition Developer 8., όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο εδάφιο. Αφού πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή και η απεικόνιση των δεδομένων, στη συνέχεια εκτελέστηκε ένα σύνολο δοκιμών κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης με τον αλγόριθμο “multiresolution segmentation”, με την εφαρμογή αρκετών συνδυασμών παραμέτρου κλίμακας, κριτηρίων ομοιογένειας (φασματικό και σχήματος) και βαρών για κάθε θεματικό επίπεδο (image layer). Η διαδικασία της κατάτμησης αποτελεί μια κυκλική διαδικασία δοκιμής των παραπάνω παραμέτρων, πολλών πειραματισμών και άμεσης αξιολόγησης των αποτελεσμάτων από το χρήστη. Κάθε φωτοερμηνευτής μπορεί να βρει δικούς του συνδυασμούς χωρίς να σημαίνει ότι έχει κάνει λάθος επιλογές. Οι συνδυασμοί που μπορούν να πραγματοποιηθούν για όλες τις παραμέτρους είναι αμέτρητοι, αλλά θα πρέπει να γίνει εκείνη η επιλογή που θα δώσει το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα που θα είναι και κατάλληλο για τον ανάλογο με την περίπτωση σκοπό. Συγκεκριμένα, δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στο φασματικό κριτήριο, για να επιτευχθεί η ακριβέστερη ταξινόμηση των χρήσεων/καλύψεων γης, καθώς οι συγκεκριμένες κατηγορίες που ορίστηκαν, χαρακτηρίζονται από ακανόνιστο σχήμα, όπως για παράδειγμα η βλάστηση. Επιπλέον, όλα τα φασματικά κανάλια περιέχουν χρήσιμες πληροφορίες, και για αυτό το λόγο δόθηκε σε όλα το ίδιο ακριβώς βάρος, δηλαδή η τιμή που ορίστηκε ήταν η μονάδα. Εφόσον πρόκειται για κανάλια που προέρχονται από τον ίδιο δέκτη και έχουν όμοια χωρική και ραδιομετρική ικανότητα, δεν υπάρχει λόγος να τους ανατεθούν διαφορετικά βάρη (Hoffman, 2001).

Εν τέλει επιλέχθηκαν τρία διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης για κάθε εικόνα, έπειτα από αρκετές δοκιμαστικές προσπάθειες εύρεσης, της όσο το δυνατόν καταλληλότερης επιλογής. Αρχικά, δημιουργήθηκε το πρώτο και κατώτερο επίπεδο κατάτμησης και έπειτα διαμορφώθηκαν τα υπόλοιπα επίπεδα πάνω από το πρώτο με την εντολή “Create above” στο παράθυρο διαλόγου “multiresolution segmentation”. Με αυτό τον τρόπο ο αλγόριθμος “multiresolution segmentation” δημιουργεί το επόμενο επίπεδο με βάση τα ήδη υπάρχοντα αντικείμενα του πρώτου επιπέδου, τα οποία θεωρεί ως δομικά στοιχεία, δημιουργώντας μια ιεραρχία από ανώτερα και κατώτερα αντικείμενα. Τα αντικείμενα του νέου επιπέδου τα αντιλαμβάνεται σαν

υπερ-αντικείμενα του αρχικού, ενώ αυτά του πρώτου επιπέδου σαν υπο-αντικείμενα του δευτέρου επιπέδου. Το ίδιο ισχύει και για το τρίτο επίπεδο κατάτμησης.

Το πρώτο επίπεδο (Level 1) δημιουργήθηκε με σκοπό τη διάκριση των γενικών κατηγοριών της εικόνας, δηλαδή τη βλάστηση, τα αδιαπέρατα υλικά και τις υδάτινες επιφάνειες. Το τρίτο επίπεδο (Level 3) αποτελεί το επίπεδο με τη μεγαλύτερη κλίμακα κατάτμησης και επομένως, και με τα μεγαλύτερα αντικείμενα, και στόχευε στη διάκριση των υποκατηγοριών τεχνητές επιφάνειες και άγονης γης. Το δεύτερο (Level 2) αποτελεί ενδιάμεσο επίπεδο και σε αυτό πραγματοποιήθηκε η προβολή του αποτελέσματος των υπολοίπων επιπέδων και αναπτύχθηκε η τελική ταξινόμηση, αφού πρώτα εντοπίστηκαν τα βασικά είδη βλάστησης.

Στη συνέχεια αναλύεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία των επιπέδων κατάτμησης για την δορυφορική εικόνα του 2003. Τα επίπεδα κατάτμησης παρουσιάζονται με τη σειρά με την οποία δημιουργήθηκαν. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την απεικόνιση του 2009 παρουσιάζεται σε επόμενο εδάφιο.

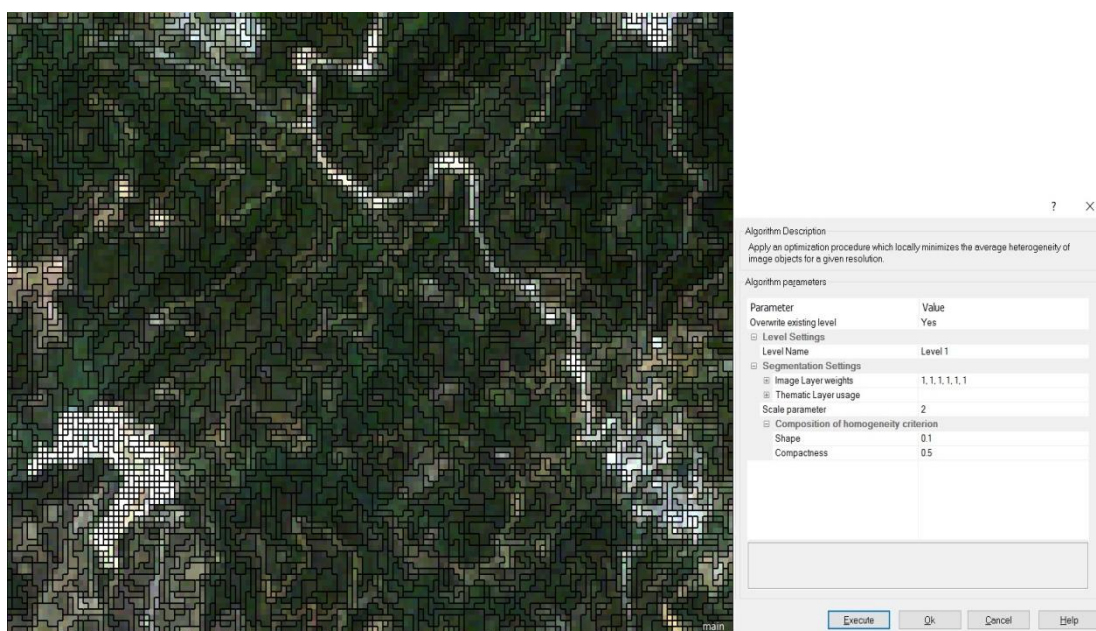
3.5.1.1. Κατάτμηση 1ου Επιπέδου

Η κατάτμηση του πρώτου επιπέδου (Level 1) εφαρμόστηκε για εποπτικούς σκοπούς της εδαφοκάλυψης και για τη ταξινόμηση των γενικών χαρακτηριστικών των χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης. Έπειτα από αρκετές κατατμήσεις με διαφορετικές παραμέτρους κλίμακας και ομοιογένειας, επιλέχθηκε μια μικρού μεγέθους παράμετρος κλίμακας (scale parameter) ίση με 2 και έτσι δημιουργήθηκαν πολύγωνα με μικρό μέγεθος, ώστε να μπορούν να εντοπιστούν ικανοποιητικά οι τρεις βασικές κατηγορίες και να μην περιλαμβάνει το κάθε αντικείμενο διαφορετικά είδη εδαφοκάλυψης. Η βλάστηση είθισται να ταξινομείται στα επίπεδα μικρότερης κλίμακας, ώστε να περιορίζεται η πιθανότητα εσφαλμένης ταξινόμησης μιας περιοχής ως βλάστηση.

Σχετικά με τις παραμέτρους ομοιογένειας, βαρύτητα δόθηκε στο χρώμα, αντί του σχήματος, το οποίο δεν έχει ιδιαίτερη σημασία, από τη στιγμή που το μέγεθος των αντικειμένων τείνει να είναι ένα εικονοστοιχείο. Επομένως, στο κριτήριο χρώματος (color) δόθηκε η τιμή 0.9 και στο κριτήριο του σχήματος (shape) 0.1, το οποίο

μοιράστηκε στα επιμέρους κριτήρια του δίνοντας ίσα βάρη 0.5 στις δύο συνιστώσες του που αφορούν στο λείο της οριογραμμής (smoothness) και στο συμπαγές του σχήματος (compactness). Η απόδοση ίσων βαρών οφείλεται στο γεγονός ότι, η εξαγωγή συμπερασμάτων γίνεται με βάση την υφή των αντικειμένων, οπότε δεν απαιτείται η εστίαση σε κάποιο συγκεκριμένο κριτήριο σχήματος. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν όλα τα κανάλια της εικόνας έτσι ώστε να αξιοποιηθεί όλη η διαθέσιμη φασματική πληροφορία, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως.

Στην Εικόνα 28 που ακολουθεί παρουσιάζεται η δορυφορική απεικόνιση του 2003 μετά την κατάτμησή της, μαζί με τα περιγράμματα των πολυγώνων που σχηματίστηκαν και ο αλγόριθμος που εφαρμόστηκε.



Εικόνα 28: Κατάτμηση πρώτου επιπέδου με παράμετρο κλίμακας 2, κριτήριο σχήματος 0.1 και συμπαγούς του σχήματος 0.5

3.5.1.2. Κατάτμηση 2ου Επιπέδου

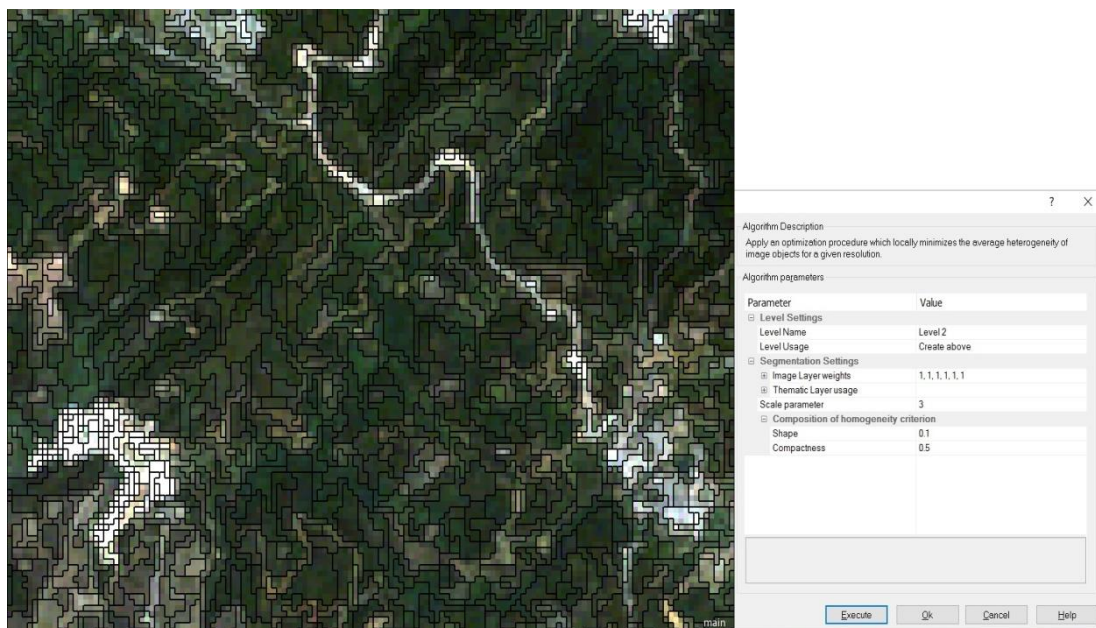
Η κατάτμηση 2ου επιπέδου (Level 2) είναι η βασικότερη και απαιτείται μεγάλη προσοχή κατά το σχεδιασμό του, καθώς σε αυτό το επίπεδο θα καθοριστούν η ιεραρχία των κατηγοριών, θα εξερευνηθούν οι μεταξύ τους σχέσεις, θα προβληθούν κατηγορίες από τα επίπεδα ανώτερης και κατώτερης κλίμακας και θα εφαρμοστεί η τελική ταξινόμηση της εικόνας. Παράλληλα, αυτό το επίπεδο κατάτμησης

χρησίμευσε ως ένα ευρύτερο πλαίσιο πληροφορίας για την περιοχή μελέτης, το οποίο ήταν αναγκαίο για τον επιθυμητό περαιτέρω διαχωρισμό της βλάστησης σε εννοιολογικές υποκατηγορίες. Στόχος του συγκεκριμένου επιπέδου είναι η δημιουργία αντικειμένων που θα καθιστούν ικανή την ανάδειξη όλων των θεματικών κατηγοριών, έτσι όπως έχουν οριστεί στο εδάφιο 3.3. Φωτοερμηνεία Εικόνων.

Η παράμετρος κλίμακας που αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί είναι η τιμή 3, καθώς τα πρωτογενή αντικείμενα δεν πρέπει να είναι ούτε υπερβολικά μεγάλα, αλλά ούτε και μικρά, ώστε να μην σχηματίζεται μεγάλος αριθμός περιττών πολυγώνων στο εσωτερικό ομογενών περιοχών, δίνοντας «θόρυβο» στα αποτελέσματα της κατάτμησης, αλλά ούτε να χάνεται η πληροφορία που θα συνέβαλλε στο σωστό διαχωρισμό των χρήσεων γης. Επί της ουσίας, η δημιουργία κάποιων περιττών αντικειμένων ήταν αναπόφευκτη, όμως το βασικότερο όλων είναι ότι στην πλειοψηφία της απεικόνισης επιτεύχθηκε ο σωστός διαχωρισμός.

Παρομοίως, με το 1^ο επίπεδο κατάτμησης, όπου δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στο φασματικό κριτήριο, έτσι και το 2^ο επίπεδο δημιουργήθηκε αποκλειστικά με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά των δεδομένων και ίσο κριτήριο συμπαγούς του σχήματος και λείου της οριογραμμής, για τους λόγους που διευκρινίστηκαν στην κατάτμηση του 1^{ου} επιπέδου. Συγκεκριμένα, οι παράμετροι που υιοθετήθηκαν για το δεύτερο επίπεδο ήταν: βάρος φασματικού κριτηρίου 0.9 και βάρος κριτηρίου σχήματος 0.1, που μοιράζεται κατά 0.5 στο λείο της οριογραμμής και κατά 0.5 στο συμπαγές των τμημάτων.

Στην Εικόνα 29 φαίνεται το αποτέλεσμα της κατάτμησης 2^{ου} επιπέδου με παράμετρο κλίμακας 3.



Εικόνα 29: Κατάτμηση δευτέρου επιπέδου με παράμετρο κλίμακας 3, κριτήριο σχήματος 0.1 και συμπαγούς του σχήματος 0.5

3.5.1.3. Κατάτμηση 3ου Επιπέδου

Η δημιουργία του 3ου και ανώτερου επιπέδου κατάτμησης (Level 3) κρίθηκε σκόπιμη για να είναι δυνατή η ανάλυση της γενικής κατηγορίας αδιαπέρατα υλικά σε υποκατηγορίες. Στην ουσία, πρόκειται για ένα ενδιάμεσο επίπεδο που χρειαζόταν για βοηθητικούς σκοπούς, δηλαδή για να πραγματοποιείται μετάβαση από τις μητρικές στις θυγατρικές κατηγορίες και για τον εντοπισμό του οδικού δικτύου.

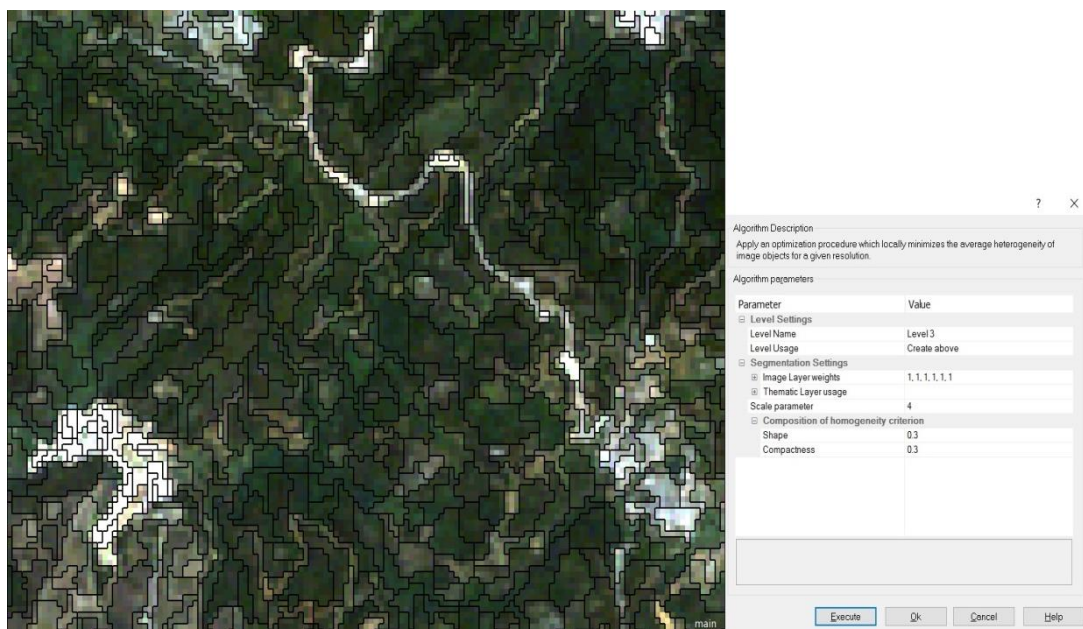
Για την οριστική διαλογή του καταλληλότερου μεγέθους αντικειμένων, έγιναν αρκετές δοκιμές και σχετικά με την παράμετρο κλίμακας και με το κριτήριο ομοιογένειας, με τη λογική ότι τα αντικείμενα που θα σχηματιστούν θα πρέπει να έχουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέγεθος αρκεί να μη λειτουργεί εις βάρος της ακρίβειας που απαιτείται. Δόθηκε μεγάλη σημασία στο να μην χαθεί χρήσιμη πληροφορία.

Τελικά, από τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν, τα βέλτιστα αποτελέσματα απέδωσε ο συνδυασμός: κλίμακα με τιμή 4 και βάρος στο φασματικό κριτήριο με τιμή ίση με 0.7, ενώ του σχήματος ίση με 0.3. Λόγω του σκοπού της κατάτμησης, δόθηκε έμφαση και στο κριτήριο του χρώματος αλλά και του σχήματος. Σχετικά με

το λείο της οριογραμμής και το συμπαγές του σχήματος, δόθηκαν οι τιμές 0.7 και 0.3 αντίστοιχα, έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η ανάδειξη γραμμικών στοιχείων.

Με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου κλίμακας από 2 σε 4, επετράπη η συγχώνευση ήδη υπάρχοντων τμημάτων σε μεγαλύτερα. Επίσης, με το χαμηλό βάρος που δόθηκε στο κριτήριο που αφορά στο συμπαγές του σχήματος εξασφαλίστηκε ότι τα αντικείμενα που θα προκύψουν μετά τη συγχώνευση θα είναι επιμήκη. Αποτέλεσμα της παραπάνω επιλογής ήταν να συγχωνευτούν κατά κανόνα επιμέρους τμήματα κατά μήκος των δρόμων.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της κατάτμησης 3^{ου} επιπέδου με παράμετρο κλίμακας 4.

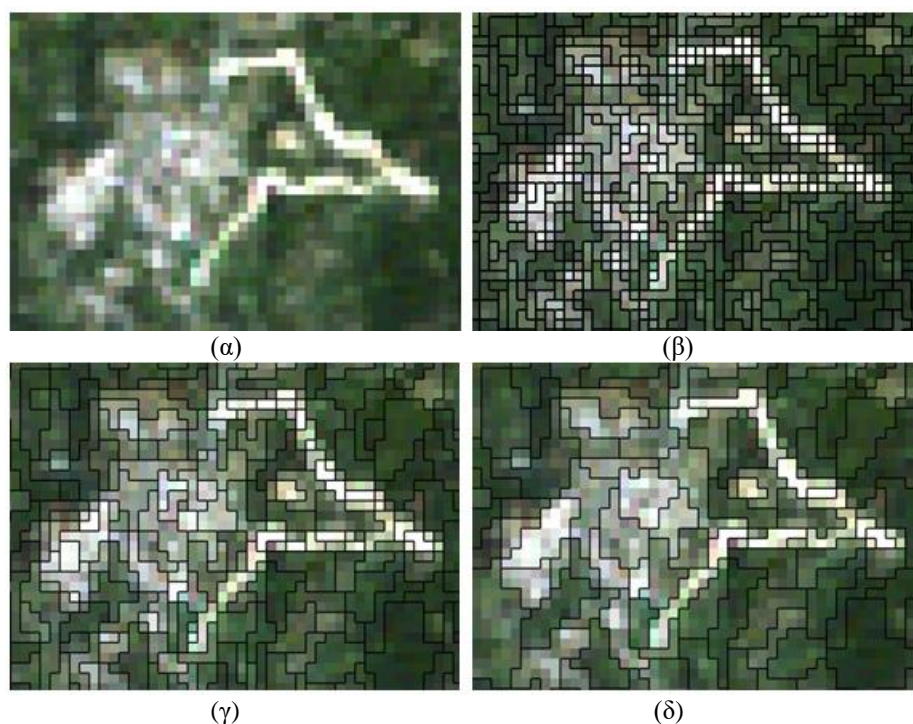


Εικόνα 30: Κατάτμηση τρίτου επιπέδου με παράμετρο κλίμακας 4, κριτήριο σχήματος 0.3 και συμπαγούς του σχήματος 0.3

Συνοψίζοντας, παρατίθεται ένας πίνακας με όλες τις παραμέτρους κατάτμησης ανά επίπεδο για τη δορυφορική απεικόνιση του 2003 και μια εικόνα με την οπτική παρουσίαση των διαφορετικών επιπέδων κατάτμησης.

Πίνακας 5: Παράμετροι κατάτμησης ανά επίπεδο

Επίπεδο	Παράμετροι - Κριτήρια Κατάτμησης				
	Scale	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	2	0.9	0.1	0.5	0.5
2	3	0.9	0.1	0.5	0.5
3	4	0.7	0.3	0.7	0.3



Εικόνα 31: (α) Τμήμα αρχικής εικόνας, (β) Τμήμα κατάτμησης πρώτου επιπέδου, (γ) Τμήμα κατάτμησης δευτέρου επιπέδου, (δ) Τμήμα κατάτμησης τρίτου επιπέδου

3.5.2. Ταξινόμηση Επιπέδων Κατάτμησης

Μετά την ολοκλήρωση της κατάτμησης, ακολουθεί το στάδιο της ταξινόμησης, κατά το οποίο αναθέτονται τα αντικείμενα σε θεματικές κατηγορίες και έτσι αρχίζει η εικόνα να αποκτά μια εννοιολογική διάσταση. Στην ουσία, δημιουργείται η βάση γνώσης για τον εντοπισμό των χρήσεων γης και την μετέπειτα ανίχνευση των μεταβολών. Το κομμάτι της ταξινόμησης των δεδομένων αποτέλεσε το κυριότερο μέρος της διπλωματικής εργασίας, καθώς μετά την εκτέλεσή της, φαίνεται στην πράξη κατά πόσο έχουν επιτευχθεί οι στόχοι που τέθηκαν. Η ακρίβειά της θα

επηρεάσει και το τελικό αποτέλεσμα της εργασίας, οπότε είναι βασική και απαραίτητη προϋπόθεση ο σωστός ορισμός των κατηγοριών αλλά και των χαρακτηριστικών των χρήσεων γης της εικόνας, με τη δημιουργία των κατάλληλων κανόνων.

Για τη διαδικασία της ταξινόμησης προηγήθηκε μια προεργασία κατά την οποία σχεδιάστηκε θεωρητικά η προσέγγιση που επιχειρήθηκε για την παραγωγή των σωστών αποτελεσμάτων. Η στρατηγική που σχεδιάστηκε για τη σειρά με την οποία θα ταξινομούνταν τα τρία επίπεδα της κατάτμησης, δεν ακολουθεί τη σειρά με την οποία δημιουργήθηκαν τα επίπεδα αυτά. Τα επίπεδα ταξινομήθηκαν με τη σειρά 1-3-2.

Γενικά, ο στόχος για κάθε επίπεδο της ταξινόμησης ήταν:

- Η αξιοποίηση κάθε πιθανής φασματικής και σημασιολογικής πληροφορίας που περιείχε το καθένα από αυτά.
- Η δημιουργία σε κάθε επίπεδο θεματικών κατηγοριών που θα μπορούσαν να προσδιοριστούν ορθά και
- Η συγκέντρωση όλης της πληροφορίας στο τελευταίο επίπεδο (Level 2), ώστε να γίνει σε αυτό η τελική ταξινόμηση όλων των δεδομένων.

Η διαδικασία της ταξινόμησης εφαρμόστηκε σε όλα τα επίπεδα που σχηματίστηκαν έπειτα από το στάδιο της κατάτμησης, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο αλληπάλλληλα επίπεδα ταξινόμησης, προχωρώντας από το γενικό στο ειδικό. Η αλληλοσυσχέτιση των επιπέδων κατάτμησης έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ιεραρχικού δικτύου στα αντικείμενα της εικόνας. Τα ανώτερα επίπεδα αναπαριστούν μεγάλης κλίμακας αντικείμενα, ενώ τα χαμηλότερα επίπεδα αναπαριστούν μικρότερα αντικείμενα.

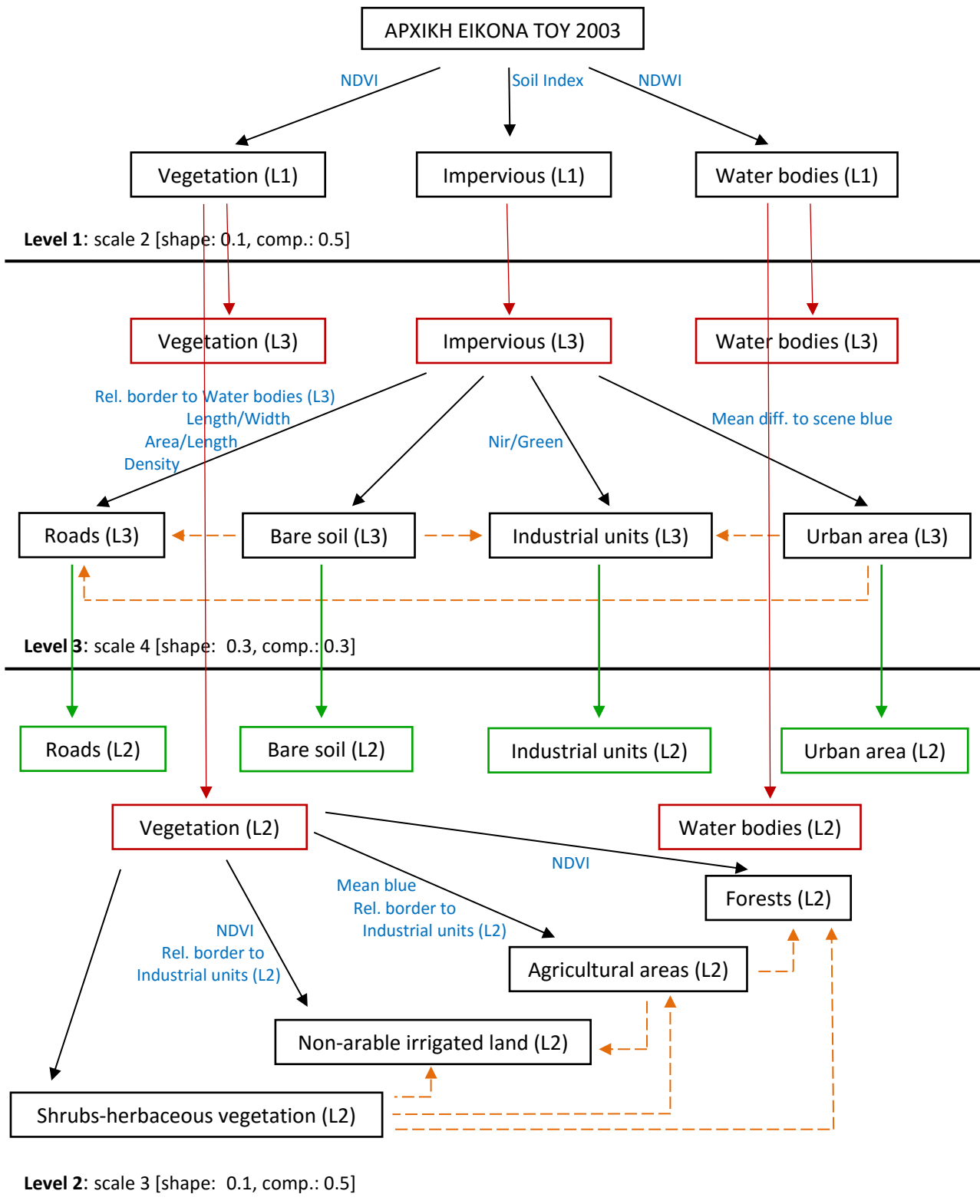
Πριν το στάδιο της ταξινόμησης προηγείται το στάδιο του ορισμού των θεματικών τάξεων που έχουν παρατηρηθεί στην δορυφορική απεικόνιση, από το παράθυρο διαλόγου “Class Hierarchy”. Η κάθε τάξη προσδιορίζεται από ένα σύνολο κανόνων και χαρακτηριστικών/ιδιοτήτων, σύμφωνα με τα οποία γίνεται η αντιστοίχιση των αντικειμένων στην κάθε κατηγορία. Επιπλέον, γίνεται διαχωρισμός των τάξεων σε μητρικές και θυγατρικές, έτσι ώστε οι θυγατρικές να κληρονομούν τα

χαρακτηριστικά των μητρικών τους κατηγοριών και στις μητρικές να παρέχεται η δυνατότητα να περιλαμβάνουν πιο λεπτομερείς περιγραφές εννοιολογικών κατηγοριών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην ταξινόμηση ακολουθήθηκε μία συγκεκριμένη διαδικασία μεταφοράς των μητρικών κατηγοριών σε όλα τα επίπεδα, με σκοπό όλα τα χαρακτηριστικά και οι περιγραφές των κατηγοριών να κληροδοτούνται στις θυγατρικές κατηγορίες με ιεραρχική σειρά και να μην ξεκινούν οι ταξινομήσεις του εκάστοτε επιπέδου από μηδενική βάση.

Αφού, λοιπόν, ορίστηκαν οι θεματικές κατηγορίες της εικόνας, πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των αντικειμένων με την επιλογή δειγμάτων (Samples) για κάθε κλάση και την εφαρμογή της ασαφούς εκδοχής του αλγορίθμου του εγγύτερου γείτονα (Nearest neighbor) και με τη ταυτόχρονη χρησιμοποίηση συναρτήσεων συμμετοχής (Membership functions). Η επιλογή των περιοχών εκπαίδευσης έγινε με τη χρήση του εργαλείου “Select Samples” και με το παράθυρο διαλόγου “Sample Editor”, με το οποίο μπορεί να ελεγχθεί η καταλληλότητα των δειγμάτων. Έπειτα εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος “Hierarchy Classification”, αφού πρώτα καθορίστηκε ποια μεταβλητή θα χρησιμοποιηθεί, που στην συγκεκριμένη περίπτωση ήταν οι μέσοι όροι των φασματικών τιμών των καναλιών της εικόνας από το “Edit Standard NN Feature Space”. Για την τελική επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού χαρακτηριστικών ταξινόμησης πραγματοποιήθηκαν πολυάριθμες δοκιμές, με βάση είτε ήδη υπάρχουσες μελέτες, είτε από προσωπική έρευνα.

Ολόκληρη η διαδικασία της ταξινόμησης αποτυπώνεται οπτικά στο διάγραμμα ροής, όπου διακρίνονται η ιεραρχία των κατηγοριών που δημιουργήθηκαν, οι κανόνες και τα χαρακτηριστικά των χρήσεων γης και οι σχέσεις μεταξύ τους. Τα επίπεδα τοποθετούνται ανάλογα με την προτεραιότητα της προβολής τους, για αυτό το λόγο το δεύτερο επίπεδο είναι και το τελευταίο. Τα κόκκινα βέλη αντιστοιχούν στις κατηγορίες που προβάλλονται από τα χαμηλότερα προς τα υψηλότερα επίπεδα, ενώ τα πράσινα βέλη αντιστοιχούν στις κατηγορίες που προβάλλονται από τα ανώτερα στα κατώτερα επίπεδα.

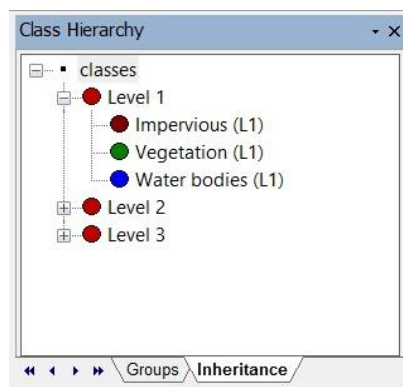
Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής ταξινόμησης της εικόνας του 2003



- Ταξινόμηση
- Προβολή υπο-αντικειμένων
- Προβολή υπερ-αντικειμένων
- Αντιστροφή κατηγορίας

3.5.2.1. Ταξινόμηση 1^ο Επιπέδου

Το πρώτο επίπεδο που ταξινομήθηκε ήταν το επίπεδο 1 (Level 1). Το συγκεκριμένο επίπεδο είχε καταταμηθεί με πολύ μικρή παράμετρο κλίμακας και τίθεται ως κατάλληλο για την ταξινόμηση των πρωτογενών χρήσεων γης, οι οποίες είναι η αδιαπέραστη επιφάνεια, η βλάστηση και τα υδάτινα σώματα, όπως προαναφέρθηκε στο εδάφιο 3.5.1. Ακολουθήθηκε, δηλαδή, μια αναλυτική προσέγγιση, που εστιάζει στην παρουσία ή την απουσία της βλάστησης. Προκειμένου να γίνει αυτός ο διαχωρισμός στην εικόνα, ορίστηκαν τρεις γενικές κατηγορίες “Impervious (L1)” με καφέ χρώμα για την αδιαπέραστη επιφάνεια, “Vegetation (L1)” με πράσινο χρώμα για τη βλάστηση και “Water Bodies (L1)” με μπλε χρώμα για τα υδάτινα σώματα (Βλέπε Εικόνα 32). Η ονοματολογία αυτή επιλέχθηκε, έτσι ώστε το όνομα της κάθε κλάσης να υποδηλώνει το περιεχόμενό της. Επίσης, οι τρεις αυτές κατηγορίες ορίστηκαν ως υποκατηγορίες μίας γενικότερης με το όνομα “Level 1”, που αφορά στο επίπεδο που θα εφαρμόζονται, ώστε να αρχίσει να διαμορφώνεται σιγά σιγά το ιεραρχικό δίκτυο των θεματικών τάξεων. Η ομαδοποίηση κατηγοριών σε εννοιολογικές ενότητες πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της ιεραρχίας ομαδοποίησης (groups hierarchy), σύμφωνα με την οποία παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων.



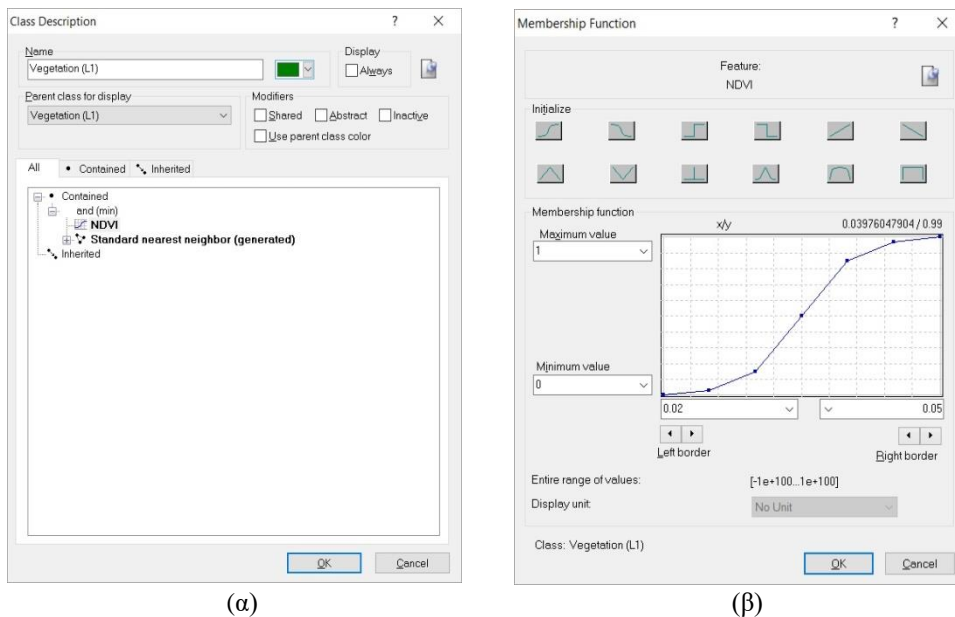
Εικόνα 32: Θεματικές κατηγορίες πρώτου επιπέδου

Το πρώτο βήμα της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της εγγύτερης γειτνίασης ως προς τις μέσες φασματικές τιμές στα έξι κανάλια και ορίστηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα για τις κύριες φασματικές και εννοιολογικές κατηγορίες που εντοπίστηκαν, κατόπιν φωτοερμηνείας της εικόνας.

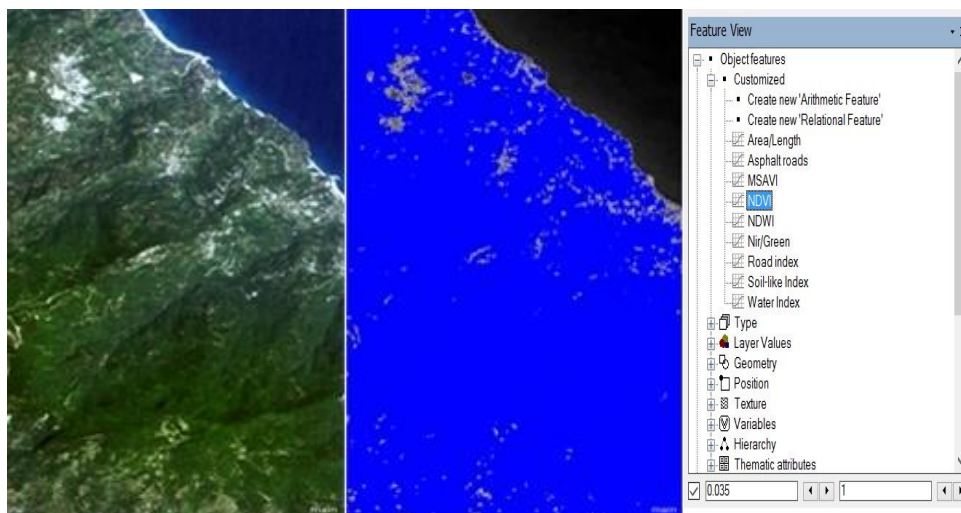
Το δεύτερο βήμα της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου πραγματοποιήθηκε με τη δημιουργία βάσης γνώσης με τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων.

Αναλυτικότερα, για την περιγραφή της κατηγορίας “Vegetation (L1)” χρησιμοποιήθηκε ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης “NDVI”, ο οποίος αποτελεί τον πλέον κατάλληλο για τον προσδιορισμό της βλάστησης. Οι τιμές ασάφειας που δόθηκαν στο δείκτη “NDVI” είναι 0.02 έως 0.05 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης. Όταν ένα αντικείμενο έχει τιμή στο χαρακτηριστικό “NDVI” μικρότερη από 0.02 τότε δεν διεκδικείται από την κατηγορία της βλάστησης, ενώ για τιμή μεγαλύτερη από 0.05 το αντικείμενο ταξινομείται ως βλάστηση. Οι τιμές του δείκτη που χρησιμοποιήθηκαν, όπως για τους υπόλοιπους δείκτες και κανόνες δεν αποτελούν αντικειμενικά και επιστημονικά ακλόνητα όρια διαχωρισμού, αλλά σχετικά όρια, που προέκυψαν από επαναληπτικές δοκιμές και ελέγχους. Αξίζει να σημειωθεί ότι, επιχειρήθηκε η χρήση του δείκτη βλάστησης “MSAVI”, ο οποίος περιγράφει καλύτερα το σύστημα γυμνού εδάφους και βλάστησης, αλλά τα λιγότερα ικανοποιητικά αποτελέσματά του, οδήγησαν στην απόρριψη του συγκεκριμένου δείκτη.

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια της ασαφούς ζώνης για την κατηγορία αυτή, όπως θα γίνει και για τις υπόλοιπες κατηγορίες.

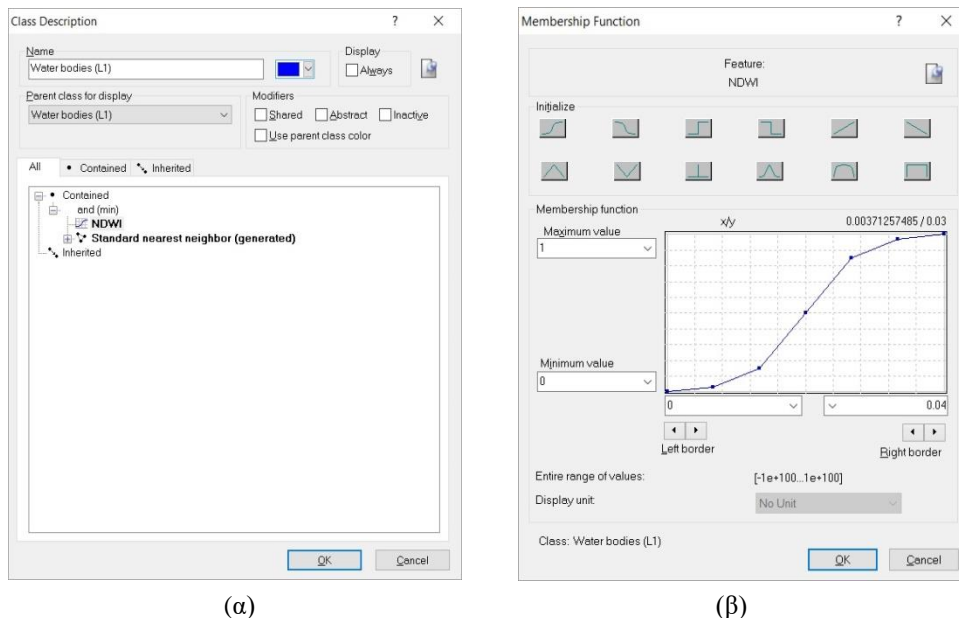


Εικόνα 33: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Vegetation (L1)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “NDVI”



Εικόνα 34: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 0.02 έως 0.05 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “NDVI” για την κατηγορία “Vegetation (L1)”

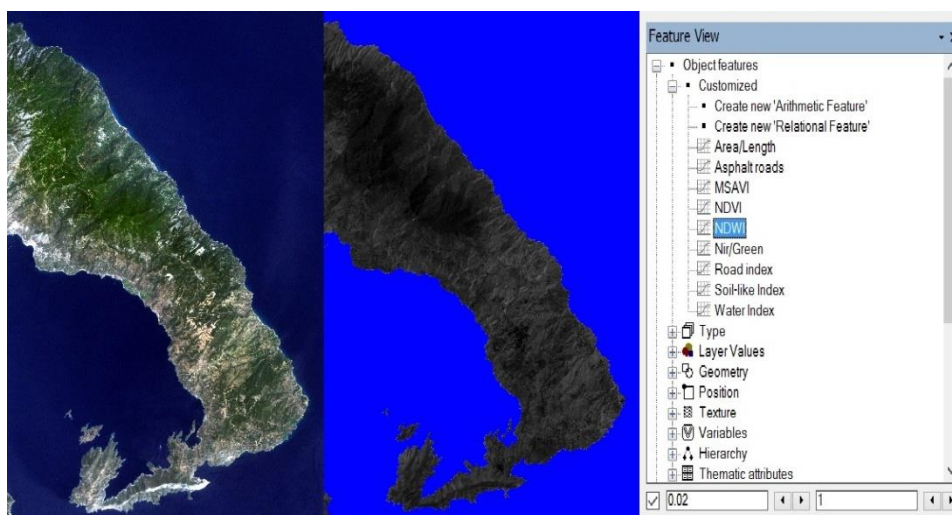
Στη συνέχεια ορίστηκε η κατηγορία “Water Bodies (L1)” με τη δημιουργία του δείκτη νερού “NDWI” (Normalised Difference Water Index), ο οποίος χρησιμοποιεί το πράσινο φάσμα και μια περιοχή στο μέσο υπέρυθρο. Το διάστημα τιμών που δόθηκαν στο δείκτη “NDWI” είναι 0 έως 0.04 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης.



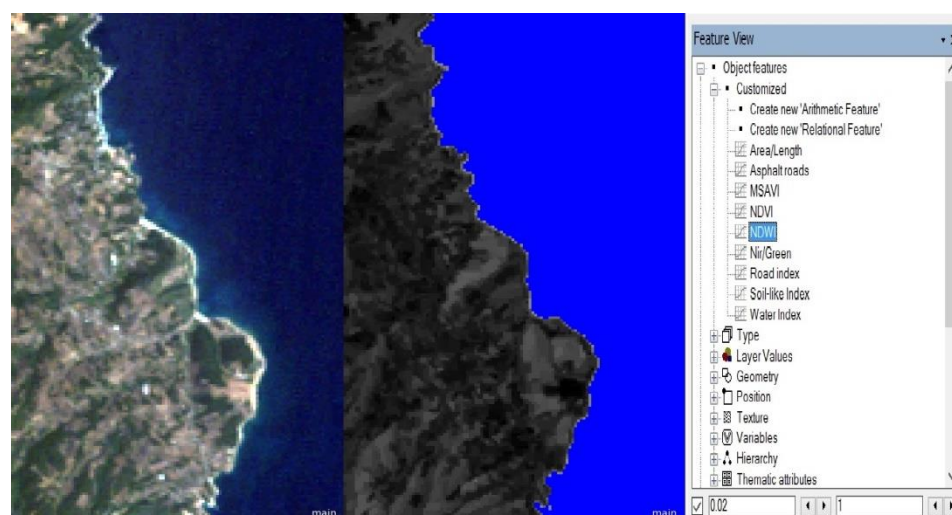
(α)

(β)

Εικόνα 35: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Water bodies (L1)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “NDWI”



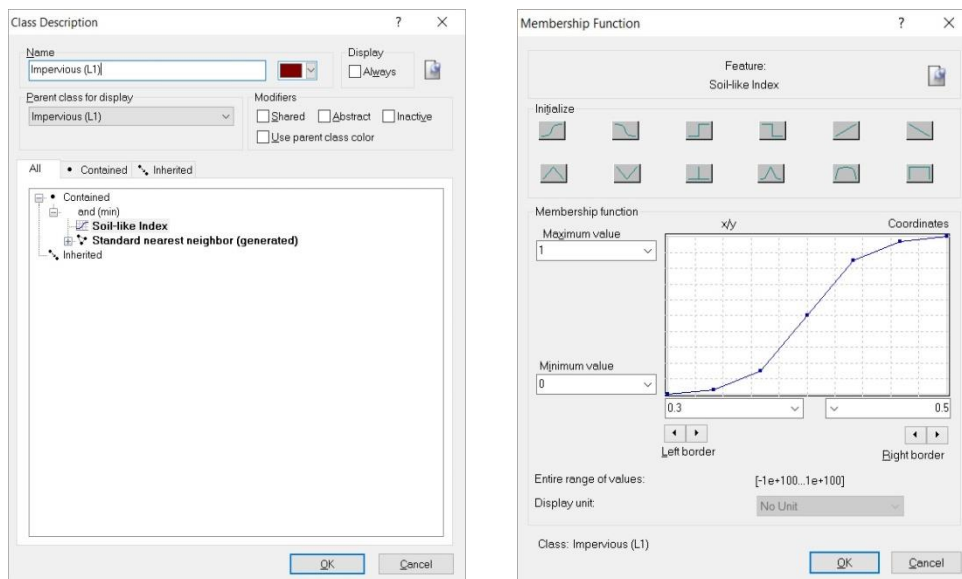
(α)



(β)

Εικόνα 36: Απεικόνιση (α) σε όλη την εικόνα, (β) σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασφών 0 έως 0.04 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “NDWI” για την κατηγορία “Water bodies (L1)”

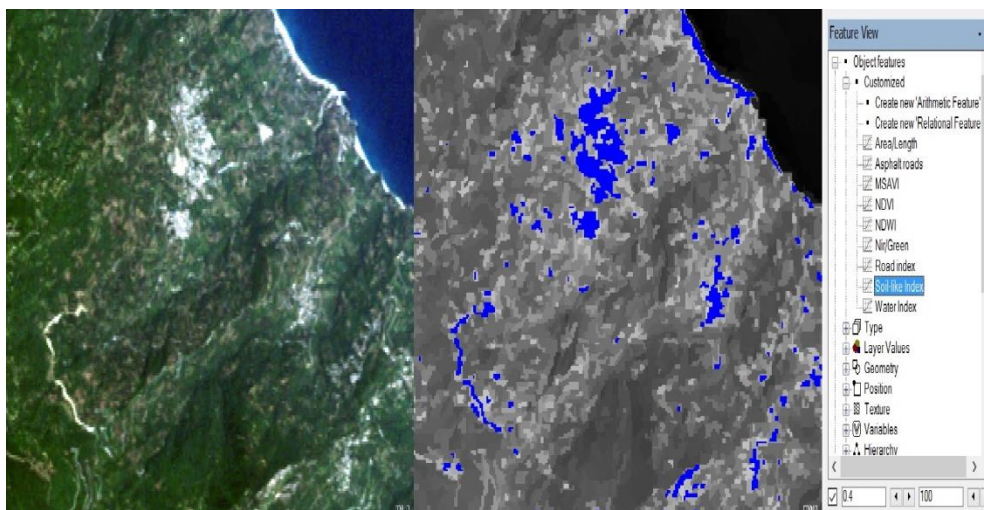
Τέλος, για την περιγραφή της κατηγορίας “Impervious (L1)” οι δοκιμές με δείκτες που υπάρχουν μέσα στο λογισμικό του eCognition, δεν έφεραν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ως εκ τούτου έγινε χρήση του δείκτη “Soil Index”, με σκοπό την ενίσχυση της υψηλής ανακλαστικότητας που παρουσιάζει το χρώμα στο κόκκινο κανάλι θέτοντας στον παρανομαστή τις χαμηλές τιμές ανακλαστικότητας που παρατηρήθηκαν στο μπλε και με την απόρριψη των υπόλοιπων τάξεων. Επομένως, γίνεται ο συνδυασμός των κανόνων “not Water Bodies (L1)”, “not Vegetation (L1)” και ο δείκτης “Soil Index” με τιμές ασάφειας 0.3 έως 0.5 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης.



(α)

(β)

Εικόνα 37: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Impervious (L1)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Soil Index”



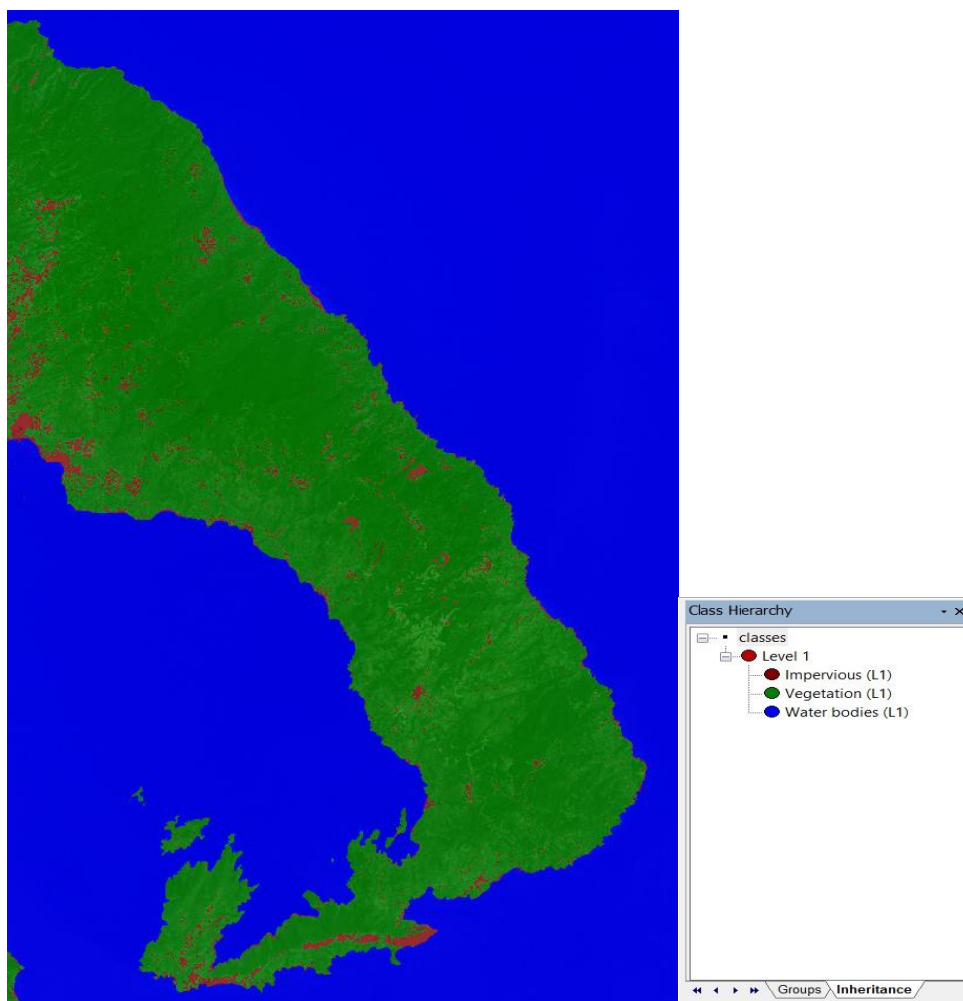
Εικόνα 38: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 0.3 έως 0.5 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Soil index” για την κατηγορία “Impervious (L1)”

Σε όλες της κατηγορίες του πρώτου επιπέδου που περιγράφονται από μια συνάρτηση, έχει χρησιμοποιηθεί ο λογικός τελεστής “AND” και συνεπώς, σε κάθε περίπτωση ο αλγόριθμος της ταξινόμησης επιλέγει την ελάχιστη τιμή των κριτηρίων (τομή).

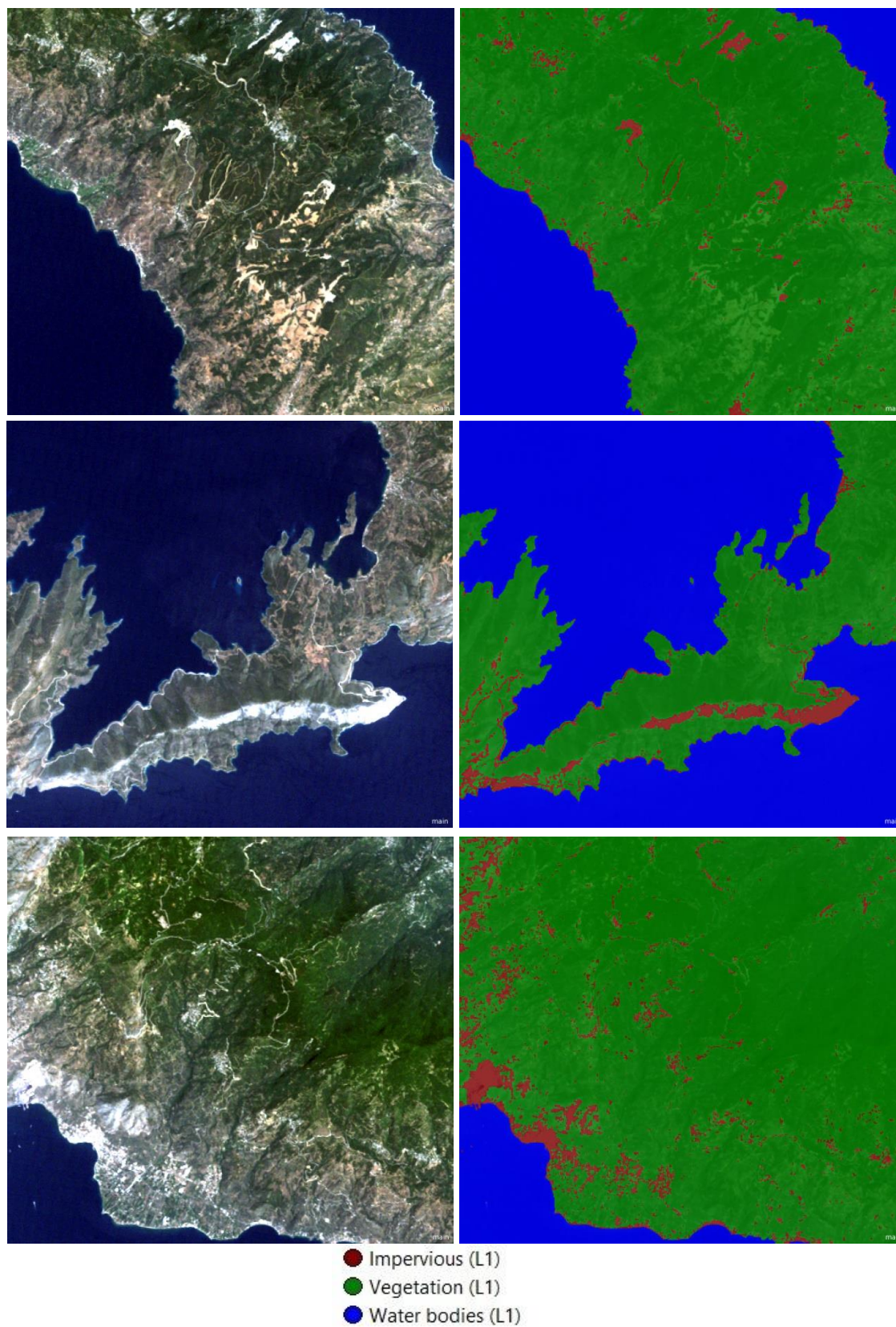
Μετά τον καθορισμό των χαρακτηριστικών της κάθε κατηγορίας, συνδυάστηκαν οι κανόνες και οι τιμές των χαρακτηριστικών και ολοκληρώθηκε η διαδικασία της

ιεραρχικής ταξινόμησης του επιπέδου, με τη χρησιμοποίηση του αλγόριθμου “Hierarchy Classification”.

Στις εικόνες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του Level 1, καθώς και οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν για το επίπεδο αυτό.



Εικόνα 39: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πρώτου επιπέδου στην εικόνα του 2003



Εικόνα 40: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πρώτου επιπέδου σε τμήματα της εικόνας του 2003

Πρέπει να σημειωθεί ότι, στην ταξινόμηση του επιπέδου προέκυψαν προβλήματα τα οποία δημιούργησαν σφάλματα. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το σημαντικότερο πρόβλημα προκλήθηκε από το γεγονός ότι το οδικό δίκτυο και οι οικισμοί δεν μπορούσαν να εντοπιστούν στο σύνολό τους, και λόγω χαμηλής διακριτικής ικανότητας της εικόνας αλλά και εξαιτίας των παρόμοιων φασματικών τους υπογραφών με την κατηγορία της βλάστησης σε κάποιες περιπτώσεις. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι, ορισμένα τμήματα των δρόμων έχουν καλυφθεί από φυλλώματα δέντρων και θάμνων, τόσο στον άξονά τους όσο και στις οριογραμμές δεξιά και αριστερά, και μεταξύ των διάσπαρτων σπιτιών παρεμβάλλεται μεγάλο ποσοστό βλάστησης. Κατά συνέπεια, αντικείμενα που θα έπρεπε να ταξινομηθούν ως “Impervious (L1)”, ταξινομήθηκαν ως “Vegetation (L1)”.

3.5.2.2. Ταξινόμηση 3^ο Επιπέδου

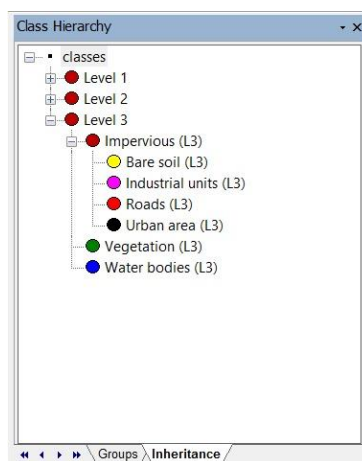
Στη συνέχεια ταξινομήθηκε το τρίτο επίπεδο, στο οποίο επιχειρήθηκε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες τάξεις ώστε να ερμηνευτούν με τον καλύτερο τρόπο τα αντικείμενα που είχαν προκύψει προηγουμένως κατά την κατάτμησή του και να διακριθούν οι ανθρώπινες κατασκευές και το άγονο έδαφος. Στην ουσία, ταξινομούνται αντικείμενα τα οποία, λόγω της μέσης υψηλής τιμής φωτεινότητας που παρουσιάζουν, δεν ταξινομούνται σωστά σε πιο λεπτόκοκκο επίπεδο ανάλυσης.

Για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης του Level 3 ακολουθήθηκε η ίδια αντιμετώπιση με την ταξινόμηση που έγινε προηγουμένως στο Level 1 (επιλογή δειγμάτων για όλες τις καινούργιες κατηγορίες, χρήση συναρτήσεων συμμετοχής και εφαρμογή του αλγόριθμου του εγγύτερου γείτονα), με τη μόνη διαφορά τη χρήση των αποτελεσμάτων της προηγούμενης ταξινόμησης για να βοηθήσουν στον ορισμό των νέων κατηγοριών.

Ορίστηκαν λοιπόν οι κατηγορίες “Impervious (L3)”, “Vegetation (L3)” και “Water Bodies (L3)” να περιέχουν αντικείμενα στα οποία υπάρχει η κατηγορία “Impervious (L1)”, “Vegetation (L3)” και “Water Bodies (L3)” αντίστοιχα σαν υποαντικείμενα. Η συγκεκριμένη διαδικασία έγινε χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της σχέσης των χαρακτηριστικών με υπό-αντικείμενα “Relations to sub objects”. Με τον τρόπο αυτό

εξασφαλίστηκε ότι όλα τα αντικείμενα που είχαν ταξινομηθεί σε συγκεκριμένες κατηγορίες στο κατώτερο επίπεδο θα διατηρήσουν την ταξινόμησή τους αυτή και θα μεταφέρονται οι ιδιότητές αυτών των κατηγοριών στο τρέχον επίπεδο. Η κατηγορία “Impervious (L3)” αναλύθηκε στις θυγατρικές του κατηγορίες “Bare soil (L3)” με κίτρινο χρώμα, “Industrial unit (L3)” με φούξια χρώμα, “Roads (L3)” με κόκκινο χρώμα και “Urban area (L3)” με μαύρο χρώμα.

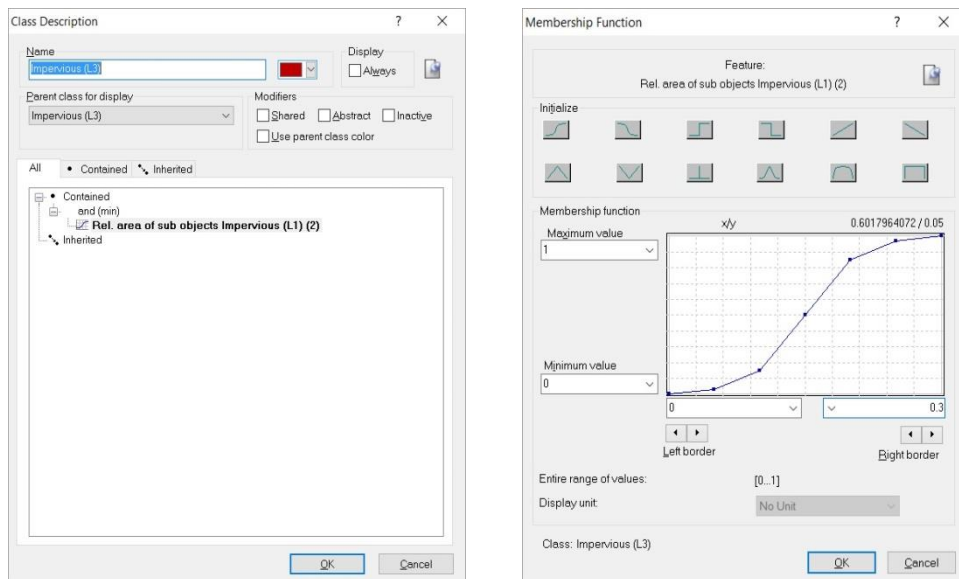
Ομοίως με το πρώτο επίπεδο, δημιουργήθηκε για όλο το τρίτο επίπεδο μία συνολική υπερ-κατηγορία “Level 3”, που περιλάμβανε όλες τις θεματικές τάξεις, που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 41: Θεματικές κατηγορίες τρίτου επιπέδου

Αναλυτικότερα, στην κατηγορία “Impervious (L3)” εφαρμόστηκε ο κανόνας σχετικής επιφάνειας “Relative area of sub objects Impervious (L1) (2)”, οι τιμές του οποίου κυμαίνονται από 0 έως 0.3 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης. Ο αριθμός (2) προσδιορίζει την απόσταση του επιπέδου που ορίζεται από το επίπεδο που κληρονομείται και οι τιμές ορίζουν ότι εάν στα νέα αντικείμενα το 15% εμπεριέχει αδιαπέρατα υλικά, τότε αυτή η επιφάνεια εντάσσεται στην κατηγορία “Impervious (L3)”. Δίνεται μια μικρή προτεραιότητα στην ταξινόμηση της αδιαπέραστης επιφάνειας, ώστε να είναι δυνατόν να κατηγοριοποιηθούν ως διακεκομμένη δόμηση αντικείμενα, τα οποία εκτός από οικιστική περιοχή έχουν σημαντικό τμήμα βλάστησης. Στην περίπτωση που τα αντικείμενα αυτά ταξινομηθούν ως βλάστηση θα έχει χαθεί πληροφορία. Ο ίδιος ακριβώς κανόνας χρησιμοποιήθηκε και για τις κατηγορίες “Vegetation (L3)” και “Water Bodies (L3)”, με τιμές 0.2 έως 0.4 στην συνάρτηση συμμετοχής για τη βλάστηση, ενώ για τα

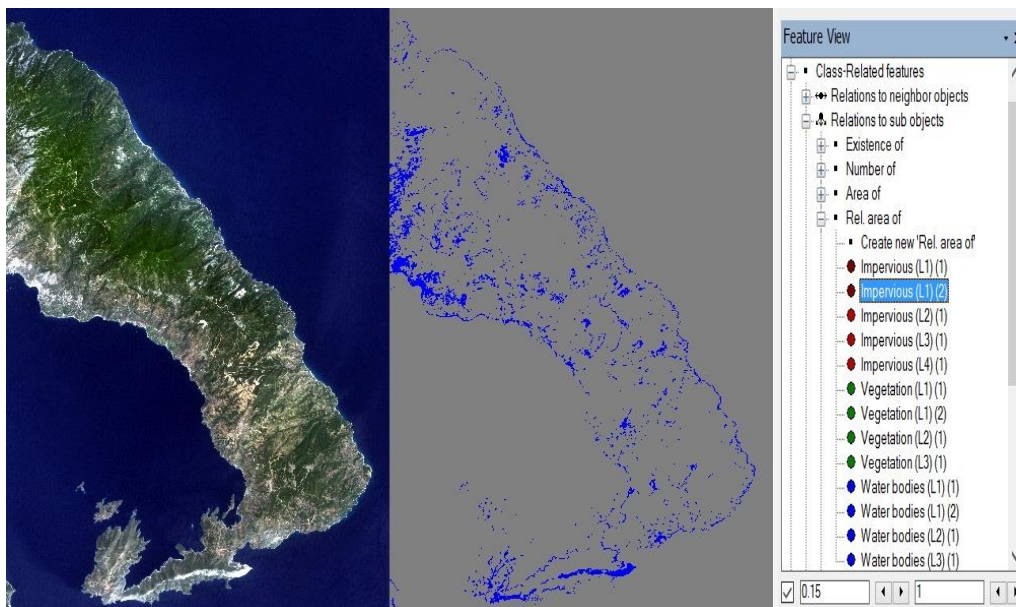
ύδατα, υιοθετήθηκε η συνήθης ασαφής ζώνη μεταφοράς πληροφορίας, δηλαδή μεταξύ 50% και 70%. Η προβολή των υδάτινων επιφανειών, που στην εικόνα του 2003 αφορά μόνο θάλασσα, βελτιώνει την κατηγορία των οδών χρησιμοποιώντας σχέσεις γειτνίασης, διότι ήταν συχνό το φαινόμενο σύγχυσης της ακτογραμμής με το οδικό δίκτυο.



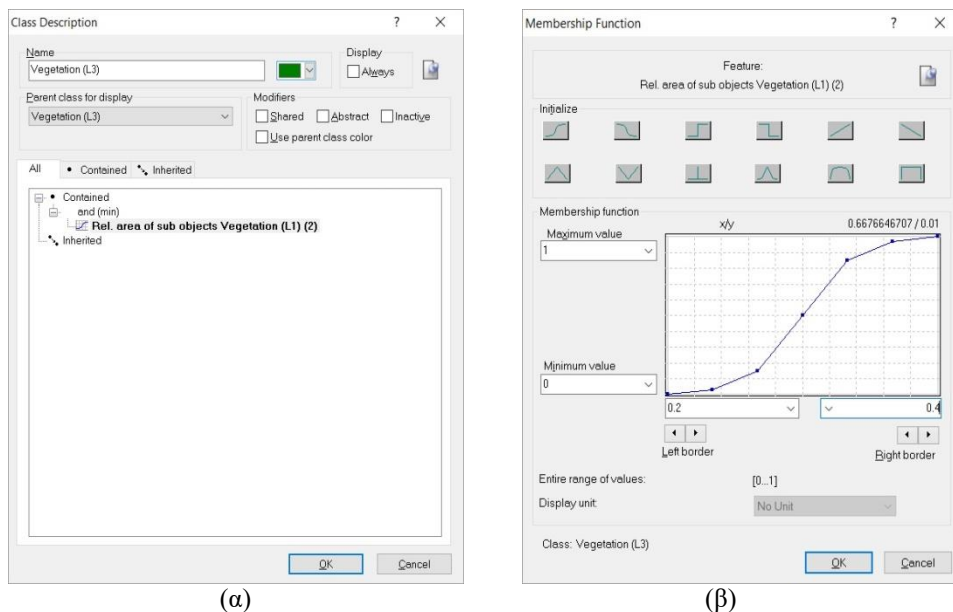
(α)

(β)

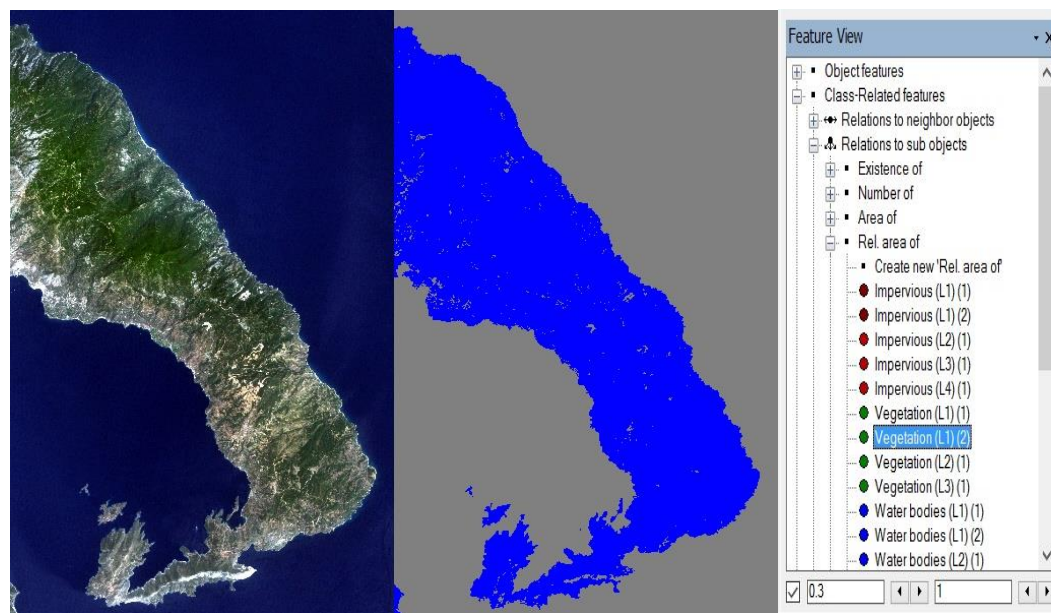
Εικόνα 42: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Impervious (L3)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects”



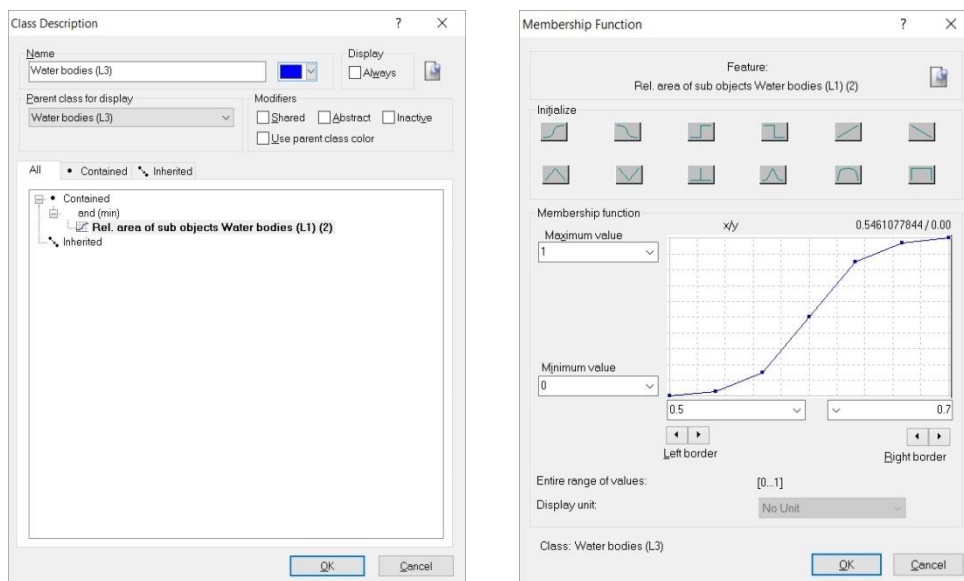
Εικόνα 43: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμές ασαφών ορίων 0 έως 0.3 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Rel. area of sub objects” για την κατηγορία “Impervious (L3)”



Εικόνα 44: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Vegetation (L3)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects”



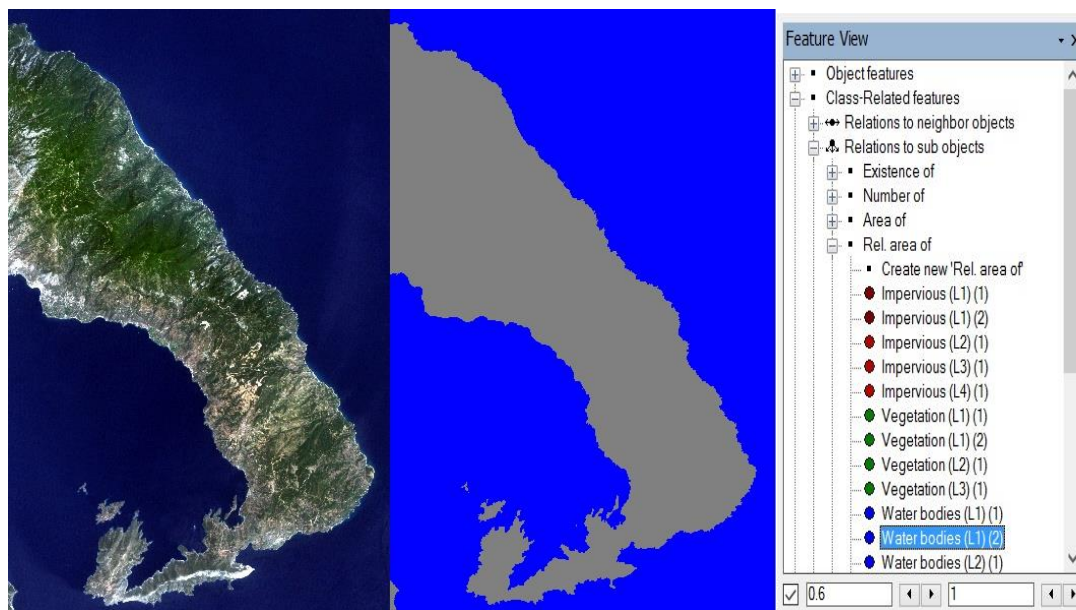
Εικόνα 45: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμές ασαφών ορίων 0.2 έως 0.4 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Rel. area of sub objects” για την κατηγορία “Vegetation (L3)”



(α)

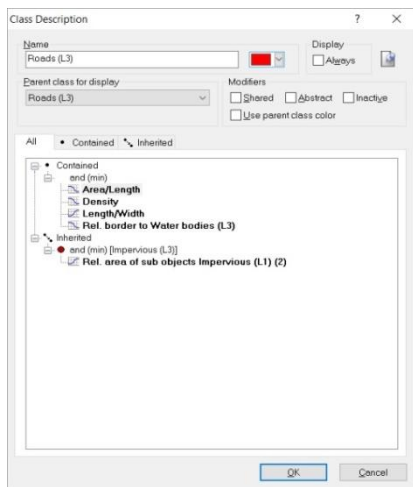
(β)

Εικόνα 46: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Water bodies (L3)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects”

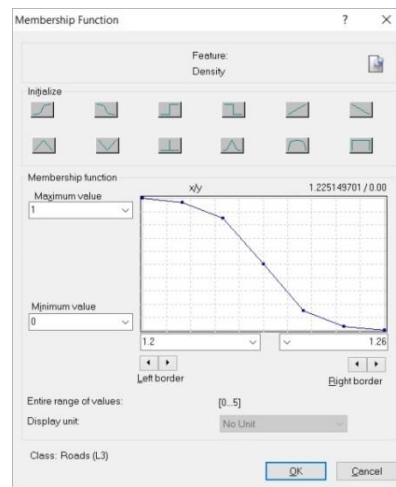


Εικόνα 47: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμές ασαφών ορίων 0.5 έως 0.7 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Rel. area of sub objects” για την κατηγορία “Water bodies (L3)”

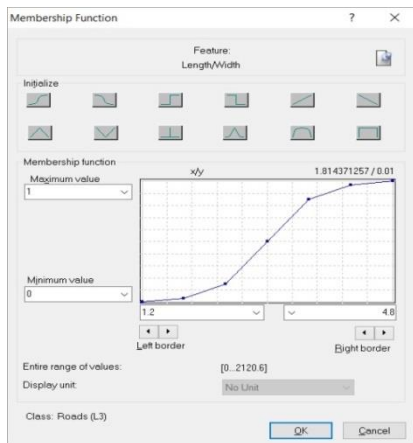
Το λογισμικό eCognition επιτρέπει τη χρήση, πέρα των φασματικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών του σχήματος. Η κατηγορία του οδικού δικτύου “Roads (L3)” εμφανίζει παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά με τις υπόλοιπες υποκατηγορίες της μητρικής κατηγορίας “Impervious (L3)” και ο διαχωρισμός της προέκυψε από τον συνδυασμό τεσσάρων συναρτήσεων συμμετοχής με το λογικό τελεστή “AND” (τομή). Πιο συγκεκριμένα, αντλήθηκε πληροφορία από τις ιδιότητες του σχήματος των αντικειμένων “Density”, “Length/Width” και “Area/Length” που κατασκευάστηκε στο “Feature View” και από σχέσεις γειννιάσης με τις υδάτινες επιφάνειες. Ο τελευταίος κανόνας χρησιμοποιήθηκε διότι παρατηρήθηκαν τμήματα του οδικού δικτύου που συγγέονταν με την ακτογραμμή. Το διάστημα τιμών που δόθηκε στο χαρακτηριστικό “Density” είναι 0.3 έως 1.7 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης, στο “Length/Width” είναι 0.8 έως 4.8 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης, στο “Area/Length” είναι 1.8 έως 2.7 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης και τέλος στο “Rel. border to Water bodies (L3)” είναι 0 έως 1 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης.



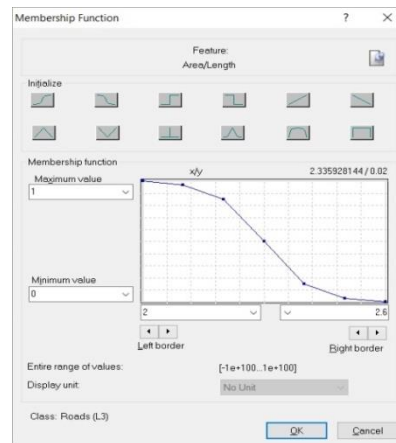
(α)



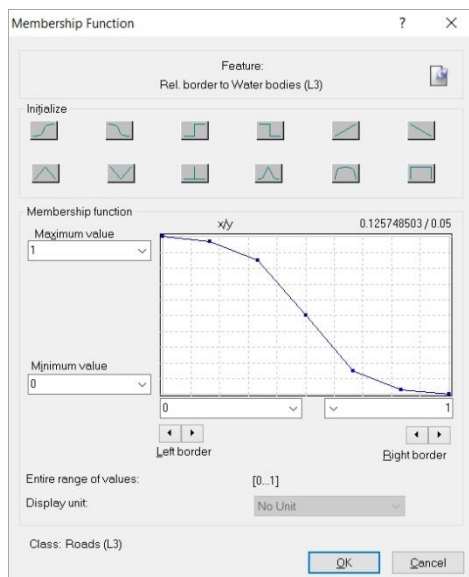
(β)



(γ)

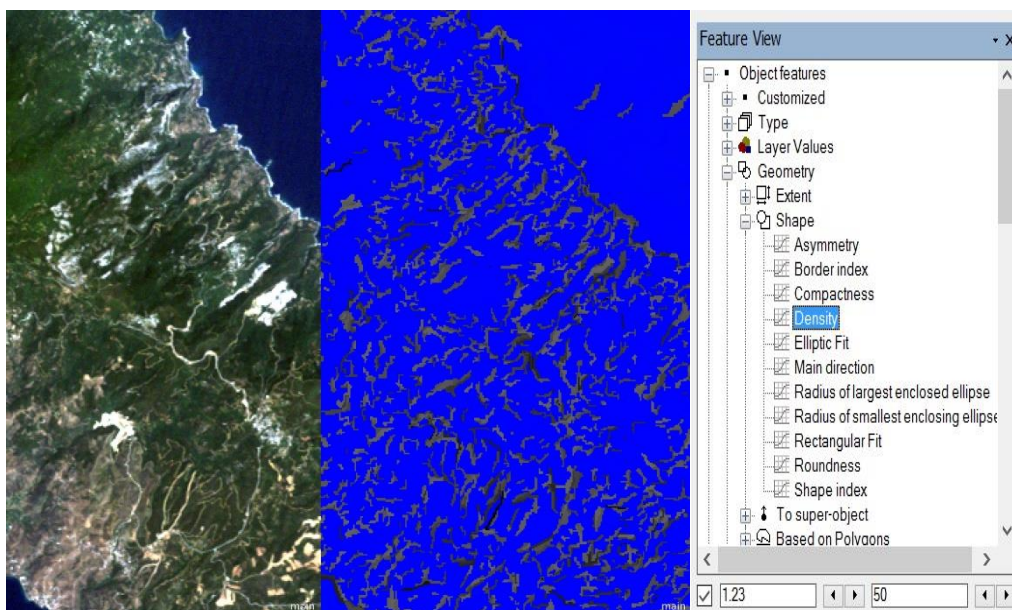


(δ)

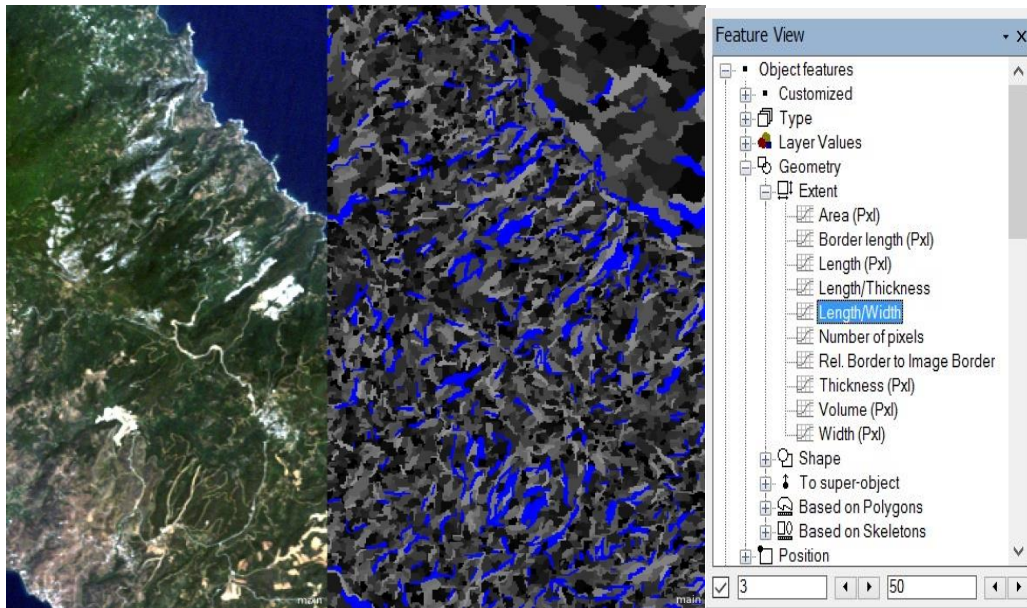


(ε)

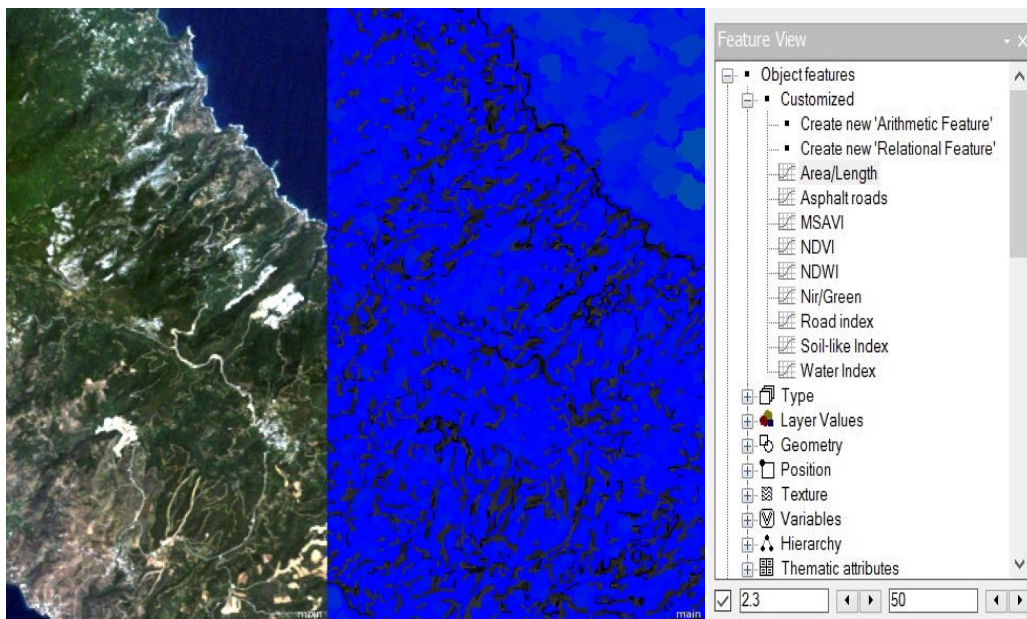
Εικόνα 48: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Roads (L3)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Density”, (γ) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Length/Width”, (δ) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Area/Length”, (ε) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. border to”



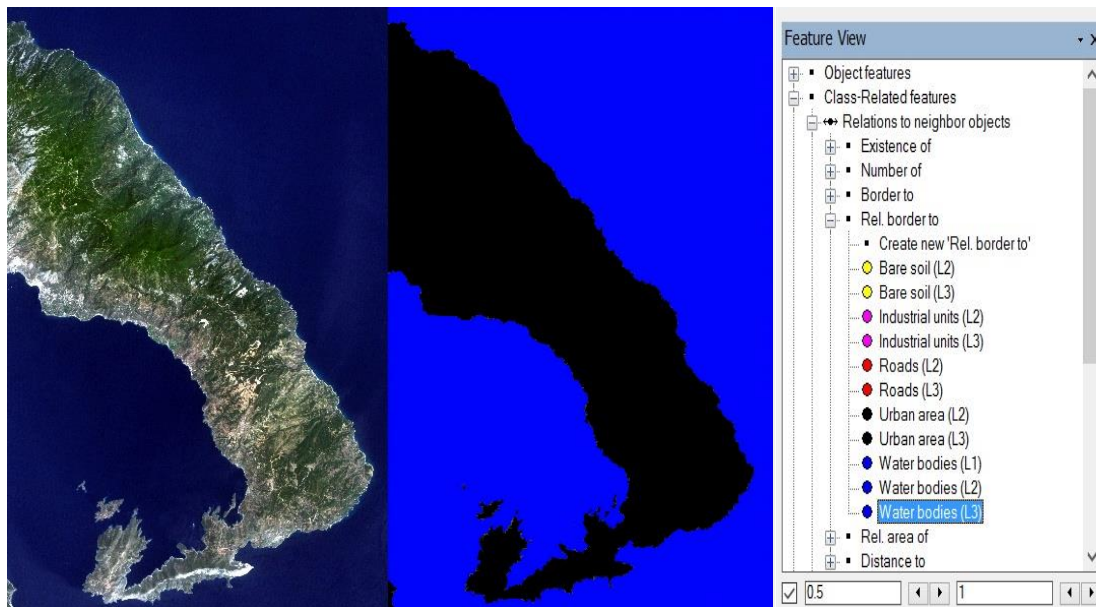
Εικόνα 49: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 1.20 έως 1.26 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “Density” για την κατηγορία “Roads (L3)”



Εικόνα 50: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 1.2 έως 4.8 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Length/Width” για την κατηγορία “Roads (L3)”

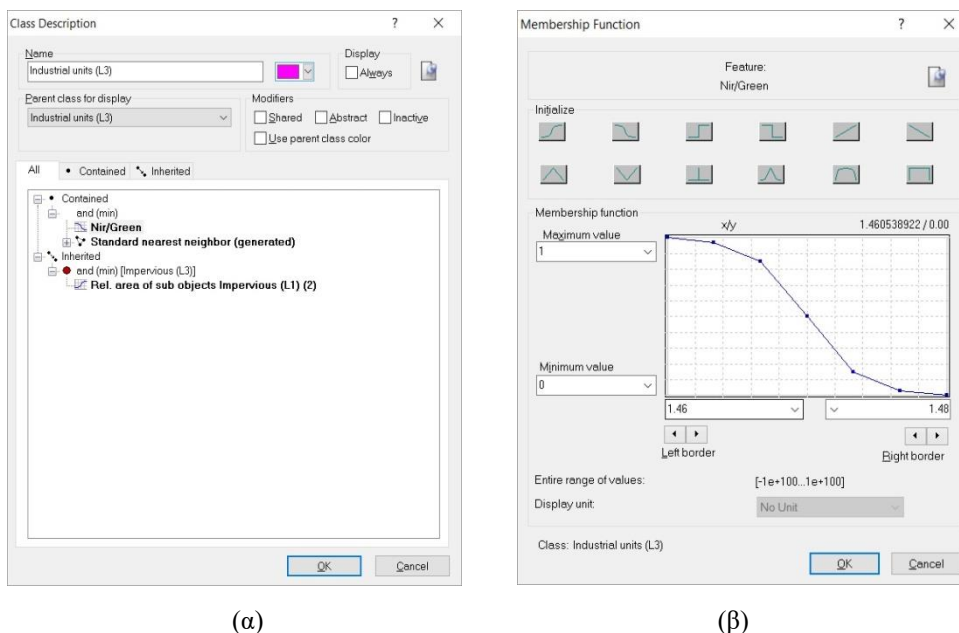


Εικόνα 51: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 2.0 έως 2.6 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “Area/Length” για την κατηγορία “Roads (L3)”

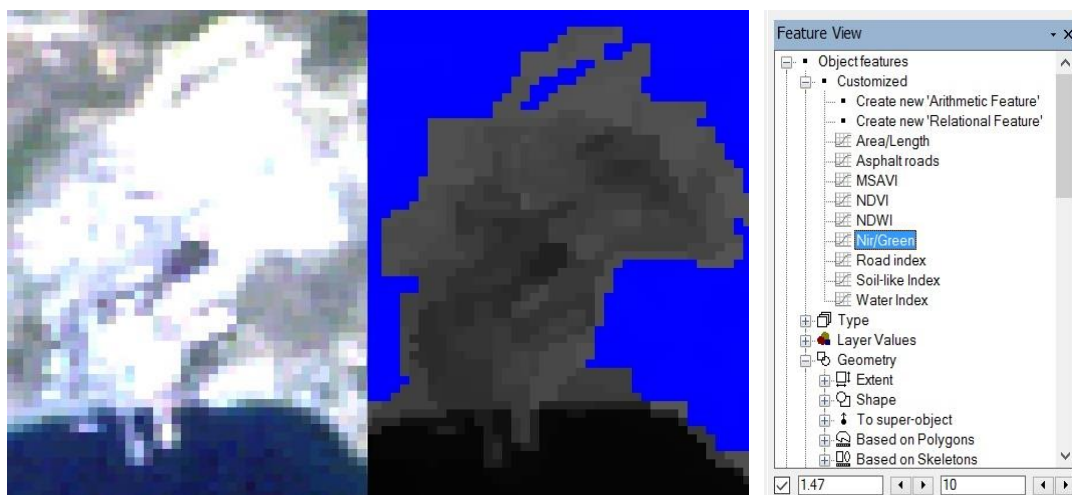


Εικόνα 52: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμές ασαφών ορίων 0 έως 1 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “Rel. border to” για την κατηγορία “Rods (L3)”

Για την κατηγορία “Industrial unit (L3)” αξιοποιήθηκε ο λόγος των τιμών του εγγύς υπέρυθρου καναλιού προς το πράσινο κανάλι με απόδοση τιμών ασάφειας 1.46 έως 1.48 και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S με αρνητική κλίση.

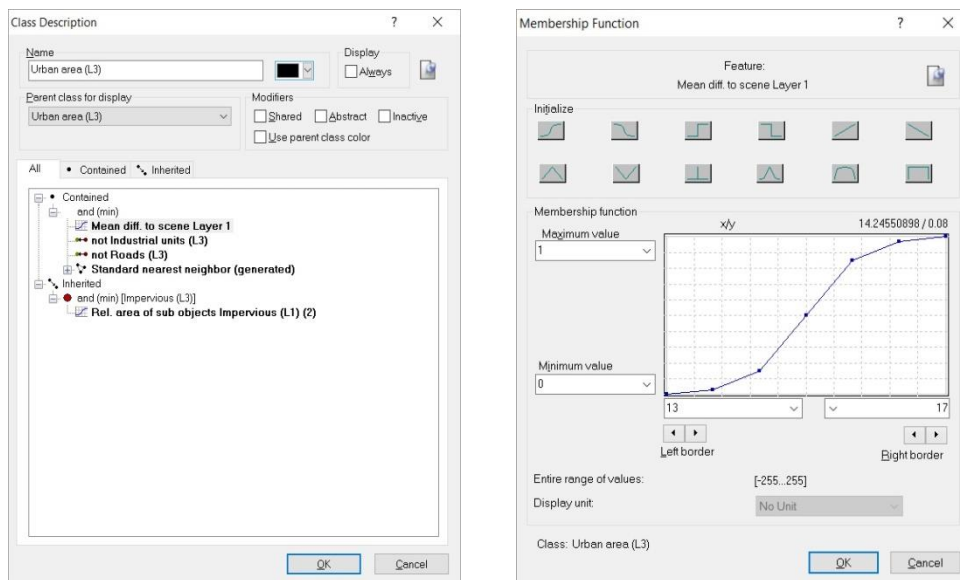


Εικόνα 53: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Industrial units (L3)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Nir/Green”



Εικόνα 54: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 1.46 έως 1.48 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “Nir/Green” για την κατηγορία “Industrial units (L3)”

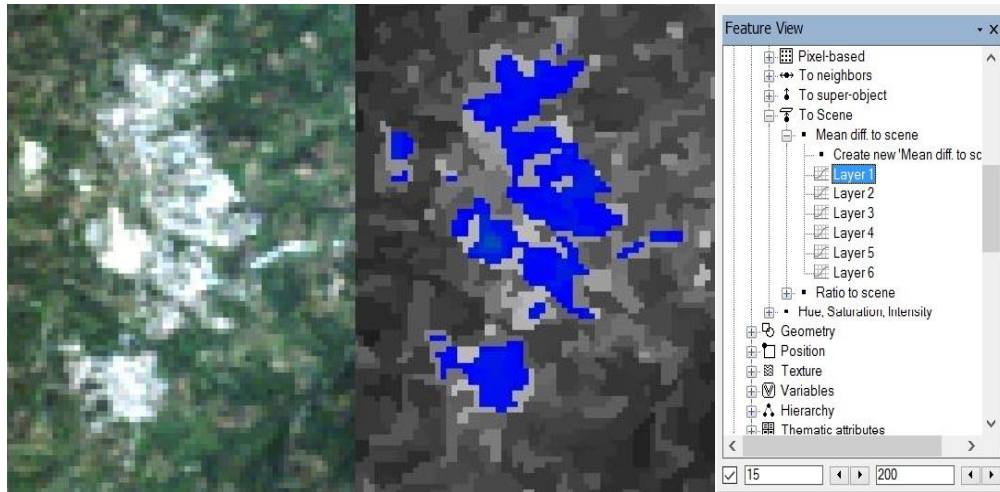
Για την ταξινόμηση της τεχνητής επιφάνειας “Urban area (L3)” χρησιμοποιήθηκε ο κανόνας “Mean difference to scene” στο μπλε κανάλι με τιμές ασάφειας από 13 έως 17 και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S με θετική κλίση και ο κανόνας “not Roads (L3)” και “not Industrial Units (L3)”, ώστε να μην συγχέεται με το οδικό δίκτυο και τη βιομηχανική ζώνη.



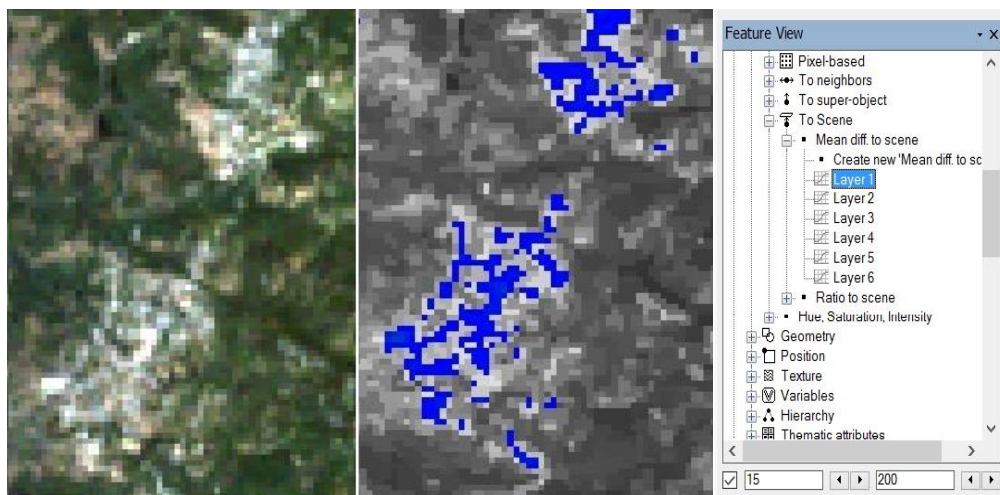
(α)

(β)

Εικόνα 55: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Urban area (L3)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean diff. to scene blue”

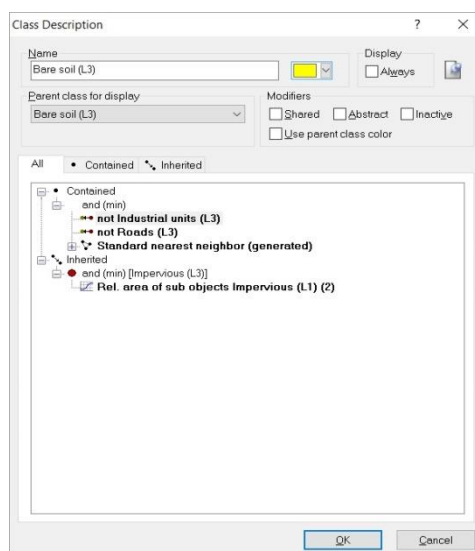


(α)



(β)

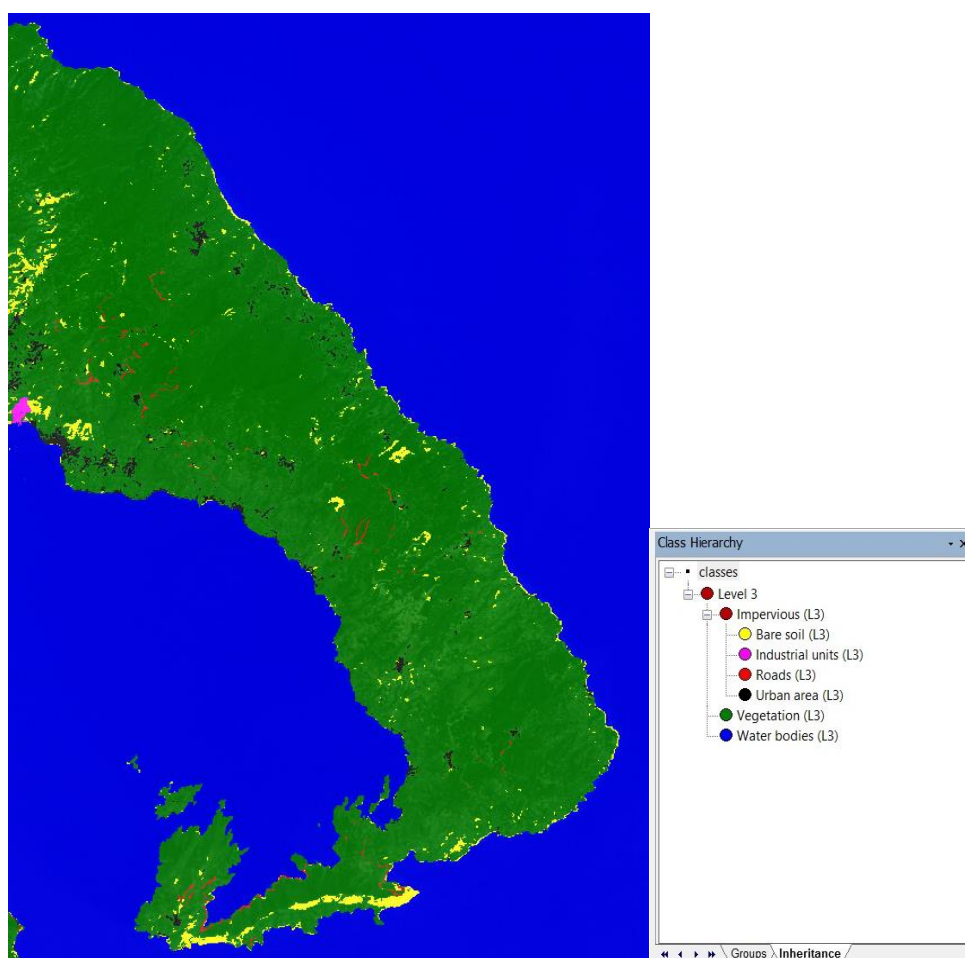
Εικόνα 56: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 13 έως 17 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Mean diff. to scene blue” για την κατηγορία “Urban area (L3)”



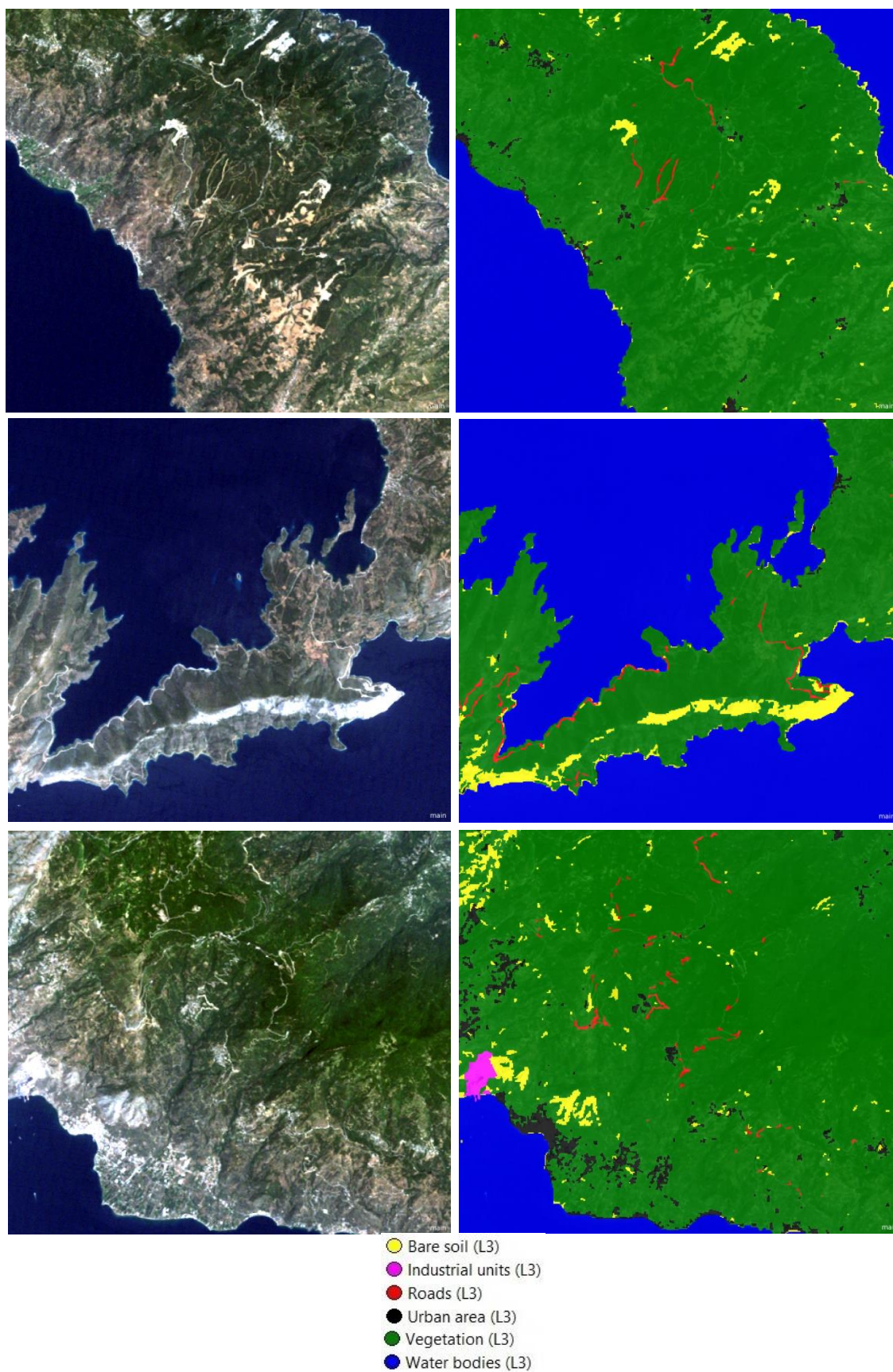
Εικόνα 57: Περιγραφή κατηγορίας “Bare soil (L3)”

Τέλος, η άγονη επιφάνεια “Bare soil (L3)” για την αποφυγή τυχόν ανάμιξη των τιμών ασάφειας με τις κατηγορίες του οδικού δικτύου και της βιομηχανικής ζώνης και τη πιθανή σύγχυση τους, ορίστηκε από την αντιστροφή των δύο παραπάνω κατηγοριών (Invert Expression).

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του Level 3, καθώς και οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν για το επίπεδο αυτό.



Εικόνα 58: Αποτέλεσμα ταξινόμησης τρίτου επιπέδου στην εικόνα του 2003



Εικόνα 59: Αποτέλεσμα ταξινόμησης τρίτου επιπέδου σε τμήματα της εικόνας του 2003

Μετά την εφαρμογή της ταξινόμησης το βασικότερο σφάλμα που εντοπίστηκε ήταν η σύγχυση των κατηγοριών “Bare soil (L3)” και “Urban area (L3)”. Κάποια αντικείμενα που έπρεπε να καταχωρηθούν ως άγονη γη ταξινομούνταν ως αστική περιοχή και κάποια άλλα που ανήκαν στον αστικό ιστό ταξινομούνταν ως έδαφος. Η κατηγορία των αστικών περιοχών είναι μία από τις πιο σύνθετες κατηγορίες στις ταξινομήσεις εκτεταμένων περιοχών και αυτό επειδή τα τιμμεντένια κτίρια έχουν παρόμοια φασματική υπογραφή με αυτή των βράχων και των λατομείων ενώ τα κεραμοσκεπή κτίρια έχουν φασματική υπογραφή παρόμοια με αυτήν του εδάφους, ακόμα και σε ψηφιακές απεικονίσεις υψηλής διακριτικής ικανότητας (π.χ. IKONOS, QuickBird κ.λπ.). Συγκεκριμένα στην περιοχή μελέτης, το είδος της δορυφορικής εικόνας, το υλικό κατασκευής της στέγης των σπιτιών, οι Πηλιορείτικες πλάκες δηλαδή, που εμφανίζουν ακριβώς την ίδια φασματική υπογραφή με το άγονο έδαφος και οι διάσπαρτοι, μικροί και αραιοί οικισμοί καθιστούν ανέφικτη τη διάκρισή τους (ακόμα και με φωτοερμηνεία) και την ταξινόμησή τους. Ως εκ τούτου, το συγκεκριμένο πρόβλημα δεν αντιμετωπίστηκε ούτε έπειτα από την επιλογή περισσότερων δειγμάτων αλλά ούτε και με τη χρήση των υπόλοιπων παραμέτρων και κριτηρίων του προγράμματος.

3.5.2.3. Ταξινόμηση 2^{ου} Επιπέδου

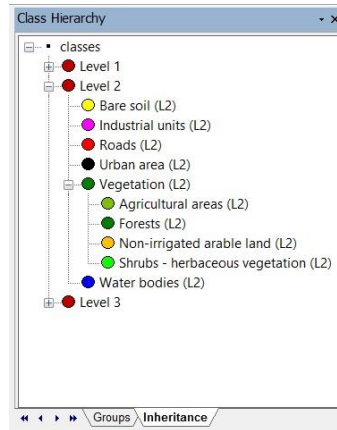
Τέλος, ταξινομήθηκε και το δεύτερο επίπεδο, το οποίο αποτελεί το βασικό επίπεδο στο οποίο θα γίνει προσπάθεια να διαχωριστούν όσο το δυνατό περισσότερες θεματικές κατηγορίες, τόσο από προβολές υπό και υπέρ-αντικειμένων, όσο και από τις ιδιότητες των αυτών αντικειμένων, ώστε να υπάρχει μία συνολική άποψη για τις χρήσεις γης της περιοχή που εξετάζεται. Η διαφοροποίηση αυτή αυξάνει την ακρίβεια της ταξινόμησης και συνεπώς, την ακρίβεια με την οποία μπορούν να εντοπιστούν οι αλλαγές στις καλύψεις γης της περιοχής. Στην ουσία, σε αυτό το επίπεδο θα δημιουργηθεί ο τελικός θεματικός χάρτης χρήσεων και κάλυψης γης, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί και για την διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών, αφού πρώτα εξειδικευτεί η κατηγορία της βλάστησης και αναλυθεί στις θυγατρικές της. Από τη διεθνή βιβλιογραφία είναι γνωστό ότι, η χημεία των φυλλωμάτων και γενικά της βλάστησης επηρεάζει το πράσινο κανάλι. Σε αυτό παρατηρείται ισχυρή

ανάκλαση από τη χλωροφύλλη, διακρίνοντας με αυτό τον τρόπο τα είδη της βλάστησης (Παπαγεωργίου, 2009).

Συνεπώς, τα δύο παραπάνω επίπεδα έπρεπε να συνδυαστούν όσον αφορά στη βλάστηση, στις υδάτινες επιφάνειες και στις κατηγορίες του τρίτου επιπέδου. Από το πρώτο επίπεδο οι κατηγορίες “Vegetation (L1)” και “Water Bodies (L1)” εξήχθησαν, δηλαδή προβλήθηκαν, στο δεύτερο επίπεδο στη θέση της κατηγορίας “Vegetation (L2)” και “Water Bodies (L2)”, ενώ από το τρίτο επίπεδο προβλήθηκαν οι κατηγορίες “Bare soil (L3)”, “Industrial unit (L3)”, “Roads (L3)” και “Urban area (L3)” στη θέση των κατηγοριών “Bare soil (L2)”, “Industrial unit (L2)”, “Roads (L2)” και “Urban area (L2)”. Με τη διαδικασία αυτή τα τμήματα που έχουν ταξινομηθεί στις παραπάνω κατηγορίες στο πρώτο και τρίτο επίπεδο εμφανίζονται στο δεύτερο, μεταφέροντας την ταξινόμησή τους.

Αρχικά, δημιουργήθηκαν ακριβώς οι αντίστοιχες κατηγορίες με αυτές που είχαν ήδη δημιουργηθεί στο προηγούμενο επίπεδο που ταξινομήθηκε, δηλαδή στο Level 3, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Για την αποτελεσματικότερη ταξινόμηση της εικόνας, αναλύθηκε η βλάστηση στις θυγατρικές της κατηγορίες: “Forests (L2)” για τις δασικές εκτάσεις με σκούρο πράσινο χρώμα, “Shrubs – herbaceous vegetation (L2)” για τη θαμνώδη και ποώδη βλάστηση με ανοιχτό πράσινο, “Non – irrigated arable land (L2)” για τη μη-αρδευόμενη καλλιεργήσιμη γη με πορτοκαλί ανοιχτό και “Agricultural areas (L2)” για τις γεωργικές περιοχές με λαδί χρώμα. Οι συγκεκριμένες κατηγορίες κληρονόμησαν τα χαρακτηριστικά της μητρικής τους κατηγορίας, δηλαδή της βλάστησης και απομονώθηκαν ώστε να μην διεκδικούνται από άλλες κατηγορίες.

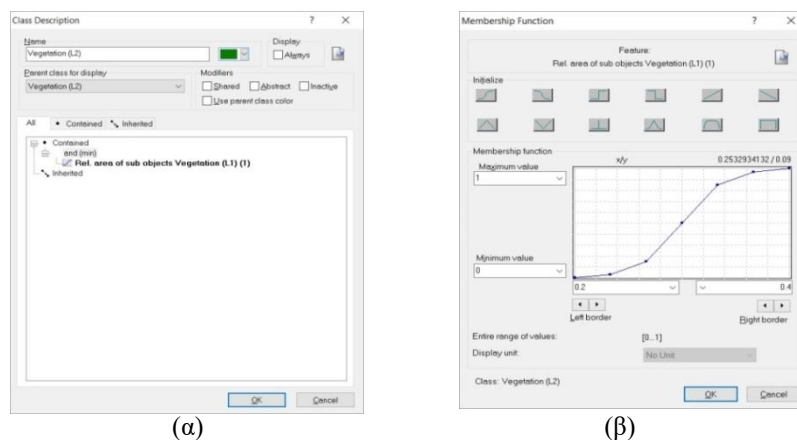
Πριν γίνει η ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου δημιουργήθηκε η γενική κατηγορία “Level 2”, στην οποία εισήχθησαν οι υποκατηγορίες του συγκεκριμένου επιπέδου σαν κατηγορίες-παιδιά (child classes), ώστε να υπάρξει ιεραρχία τάξεων και ομαδοποίησης.



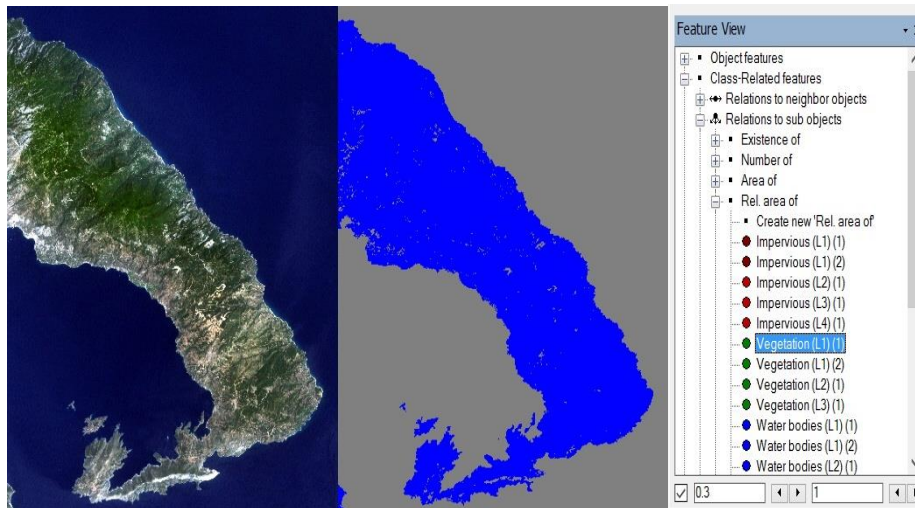
Εικόνα 60: Θεματικές κατηγορίες δευτέρου επιπέδου

Μετά τη δημιουργία των πρόσθετων θεματικών τάξεων στο παράθυρο διαλόγου “Class Hierarchy”, κατά το πρώτο στάδιο της ταξινόμησης γίνεται η περιγραφή τους με τη συλλογή δειγμάτων εκπαίδευσης για κάθε καινούργια κλάση, τα οποία επιλέχθηκαν έπειτα από την φωτοερμηνεία της εικόνας. Εν συνεχεία, η ταξινόμηση γίνεται με τον αλγόριθμο του Εγγύτερου Γείτονα (*Nearest Neighbor*) και βελτιώνεται με τη δημιουργία κανόνων και την απόδοση τιμών στα διάφορα χαρακτηριστικά των κατηγοριών για τον καλύτερο διαχωρισμό των αντικειμένων.

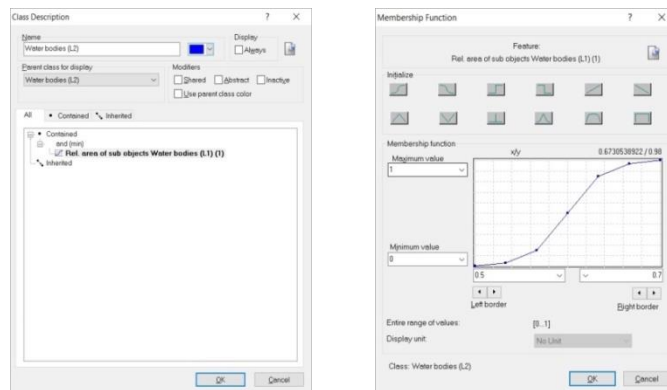
Συγκεκριμένα, η περιγραφή των κατηγοριών “Vegetation (L2)” και “Water Bodies (L2)” έγινε με τον κανόνα σχετικής επιφάνειας “Relative area of sub objects”, με τιμές ασάφειας να κυμαίνονται από 0.2 έως 0.4 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης για τη βλάστηση και από 0.5 έως 0.7 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης για τις υδάτινες μάζες.



Εικόνα 61: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Vegetation (L2)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects”



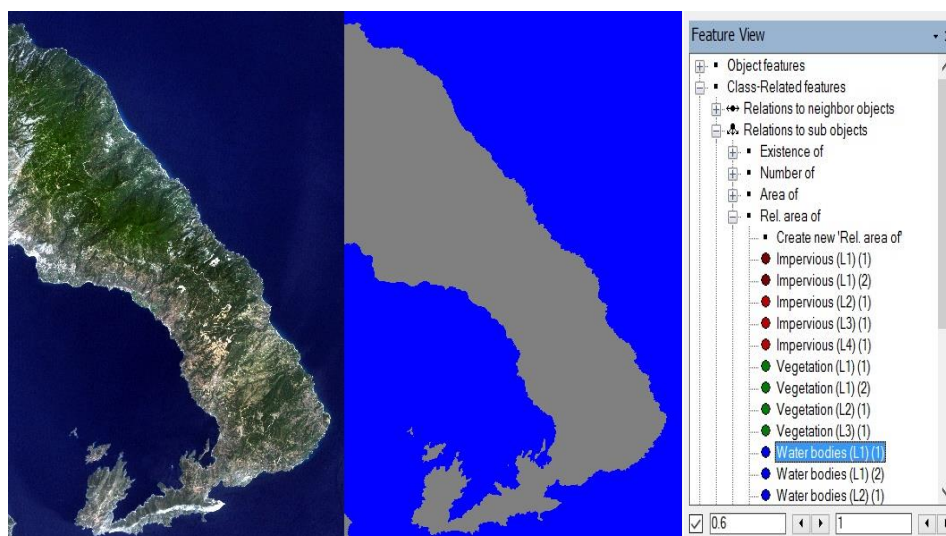
Εικόνα 62: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμές ασαφών ορίων 0.2 έως 0.4 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Rel. area of sub objects” για την κατηγορία “Vegetation (L2)”



(α)

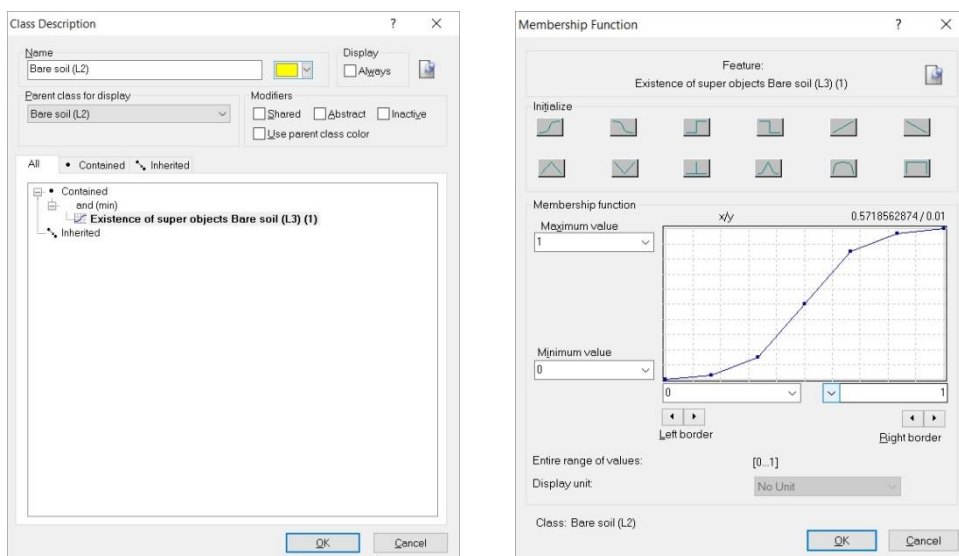
(β)

Εικόνα 63: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Water bodies (L2)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Rel. area of sub objects”



Εικόνα 64: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμές ασαφών ορίων 0.5 έως 0.7 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης “Rel. area of sub objects” για την κατηγορία “Water bodies (L2)”

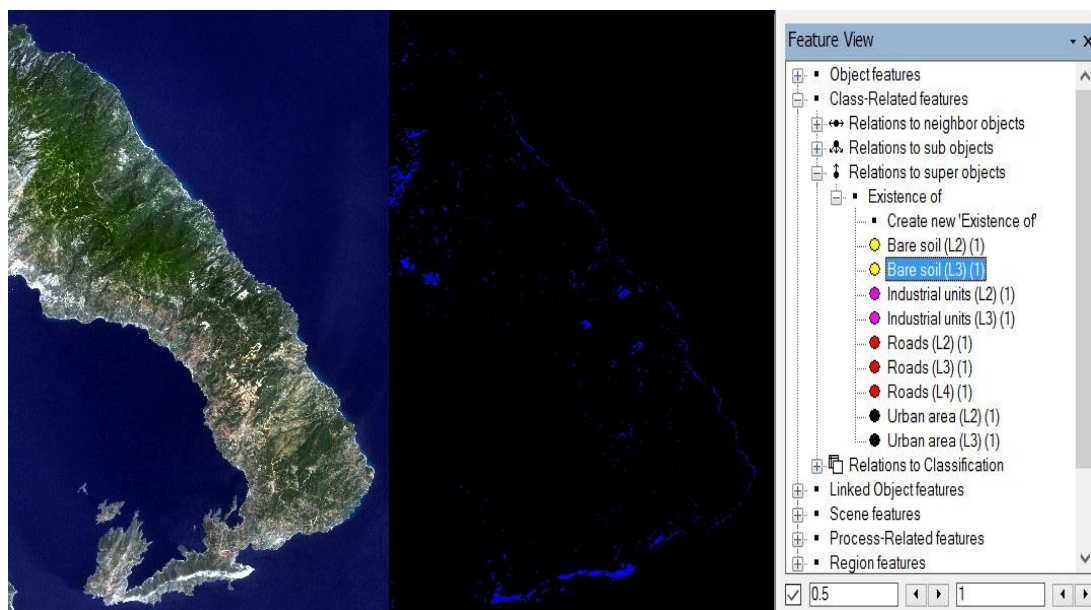
Οι θεματικές κατηγορίες του άγονου εδάφους, της αστικής περιοχής, του οδικού δικτύου και της βιομηχανικής ζώνης προβλήθηκαν από τα υπέρ-αντικείμενα του τρίτου επιπέδου με τη χρήση χαρακτηριστικών συνδεόμενων με κατηγορίες “Class related features” και ειδικότερα με τον κανόνα “Existence of super-objects”. Το διάστημα τιμών είναι από 0 έως 1 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης και όλες τις κατηγορίες.



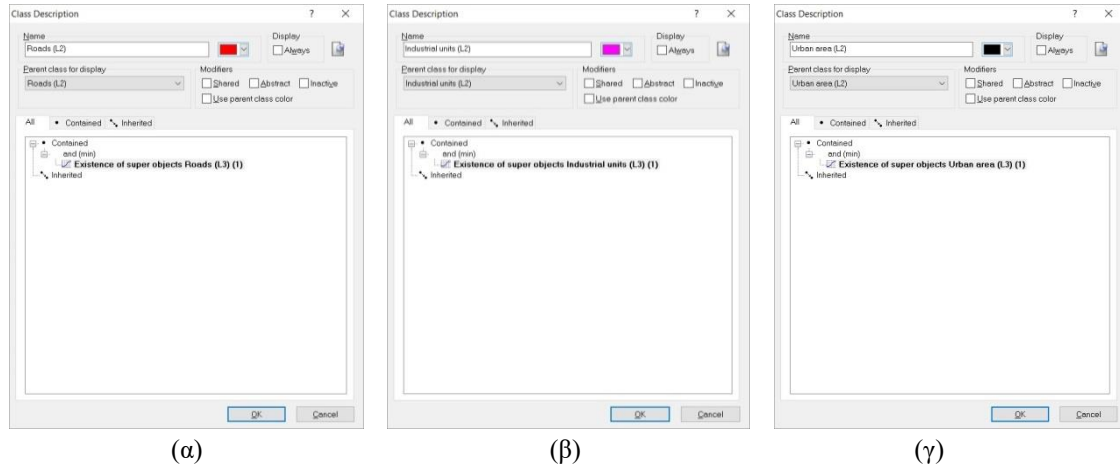
(α)

(β)

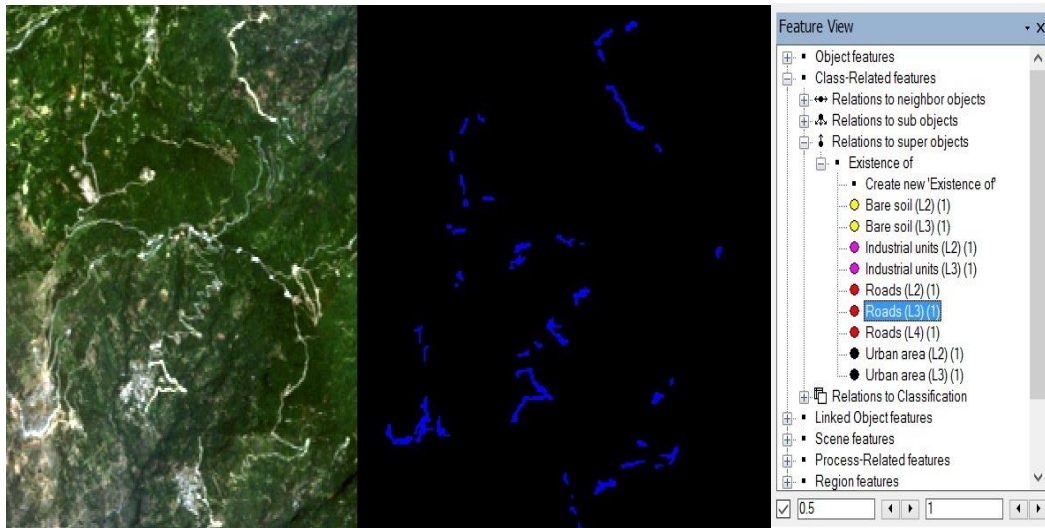
Εικόνα 65: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Bare soil (L2)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Existence of super objects”



Εικόνα 66: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0 έως 1 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Existence of super objects” για την κατηγορία “Bare soil (L2)”



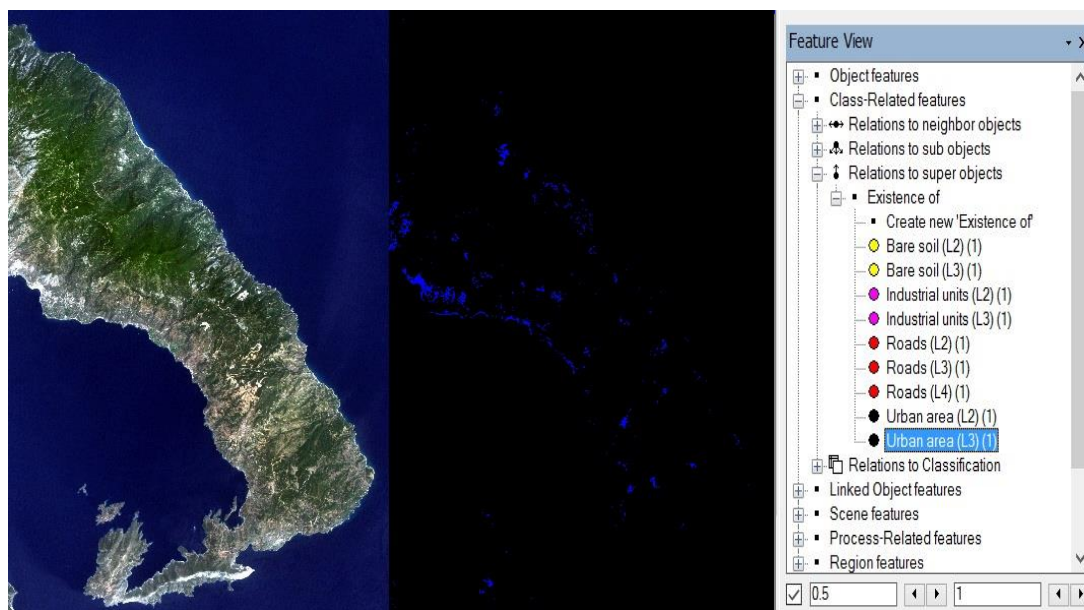
Εικόνα 67: Περιγραφή κατηγοριών (α) “Roads (L2)”, (β) “Industrial units (L2)”, (γ) “Urban area (L2)”



Εικόνα 68: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0 έως 1 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Existence of super objects” για την κατηγορία “Roads (L2)”



Εικόνα 69: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0 έως 1 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Existence of super objects” για την κατηγορία “Industrial units (L2)”

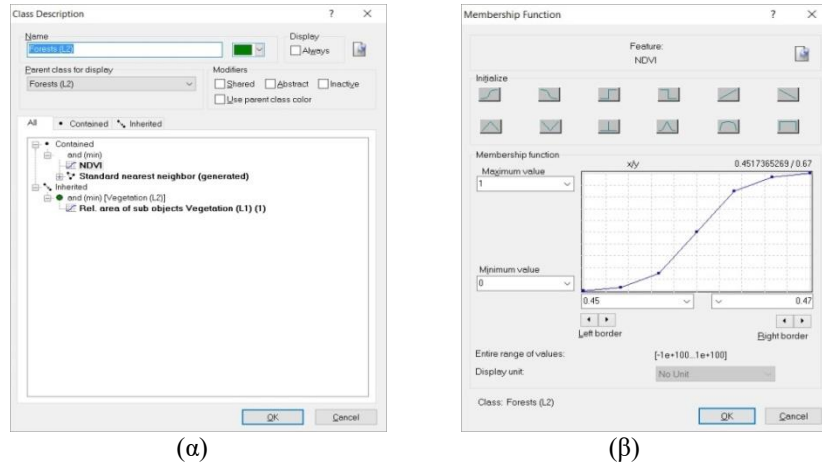


Εικόνα 70: Απεικόνιση σε ολόκληρη την εικόνα μέσης τιμής ασαφών ορίων 0 έως 1 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Existence of super objects” για την κατηγορία “Urban area (L2)”

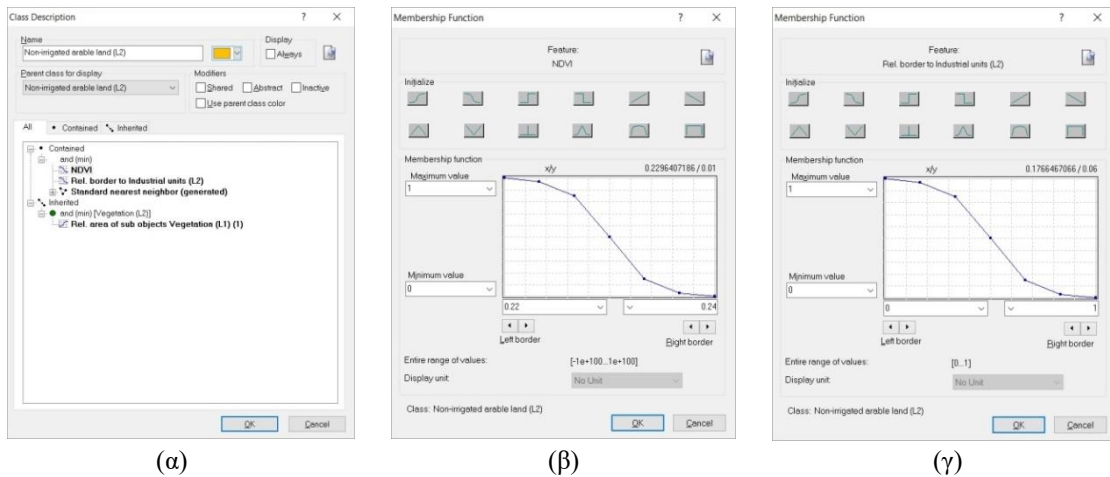
Από τη φωτοερμηνεία της εικόνας και την απεικόνιση των τιμών του χαρακτηριστικού “NDVI”, προέκυψε ο διαχωρισμός των κατηγοριών “Forests (L2)” και “Non – irrigated arable land (L2)” ως εξής:

- Η κατηγορία “Forests (L2)” ορίστηκε με τη βοήθεια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής μορφής S θετικής κλίσης, με διάστημα τιμών από 0.45 έως 0.47, αφού από την τιμή 0.46 και πάνω τα δάση εντοπίζονταν με μεγάλη ακρίβεια και
- Η κατηγορία “Non – irrigated arable land (L2)” ορίστηκε με τη βοήθεια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής μορφής S αρνητικής κλίσης, με διάστημα τιμών από 0.22 έως 0.24.

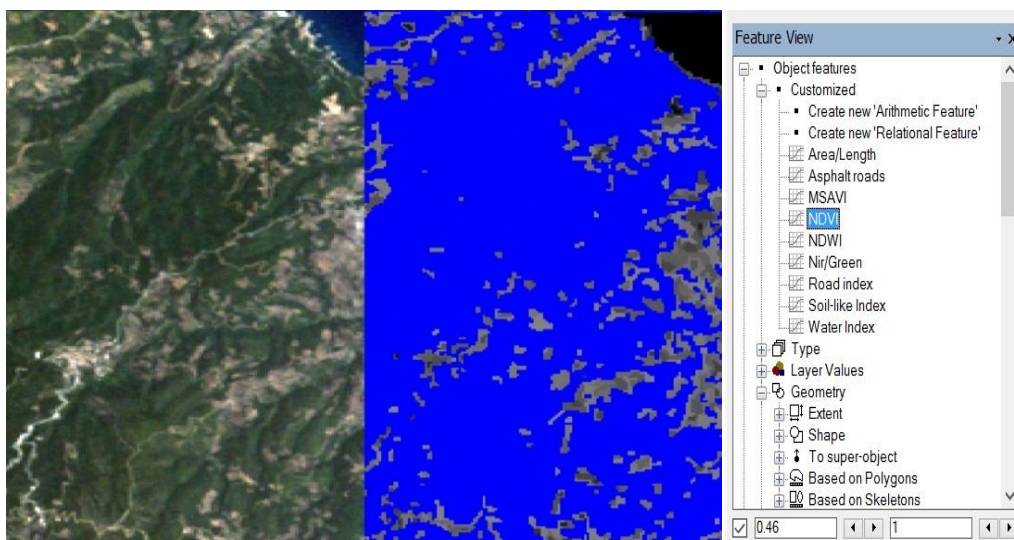
Στην κατηγορία της μη – αρδευόμενης καλλιεργήσιμης γης “Non – irrigated arable land (L2)” χρησιμοποιήθηκε επιπλέον και ο κανόνας συσχέτισης, “Rel. border to” με τη κατηγορία “Industrial unit (L2)” με τιμές ασάφειας από 0 έως 1, με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης. Ο λόγος για τον οποίο αξιοποιήθηκε ο συγκεκριμένος κανόνας σχετίζεται με το γεγονός ότι, κατά την εκτέλεση της ταξινόμησης παρατηρήθηκε η λανθασμένη εμφάνιση μη – αρδευόμενης καλλιεργήσιμης γης να συνορεύει με τη βιομηχανική μονάδα της ΑΓΕΤ.



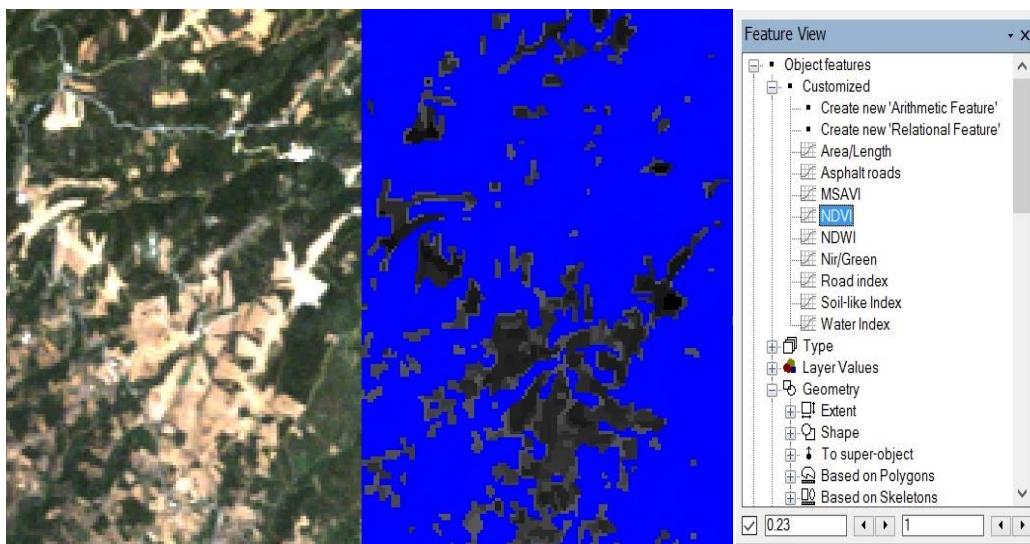
Εικόνα 71: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Forests (L2)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “NDVI”



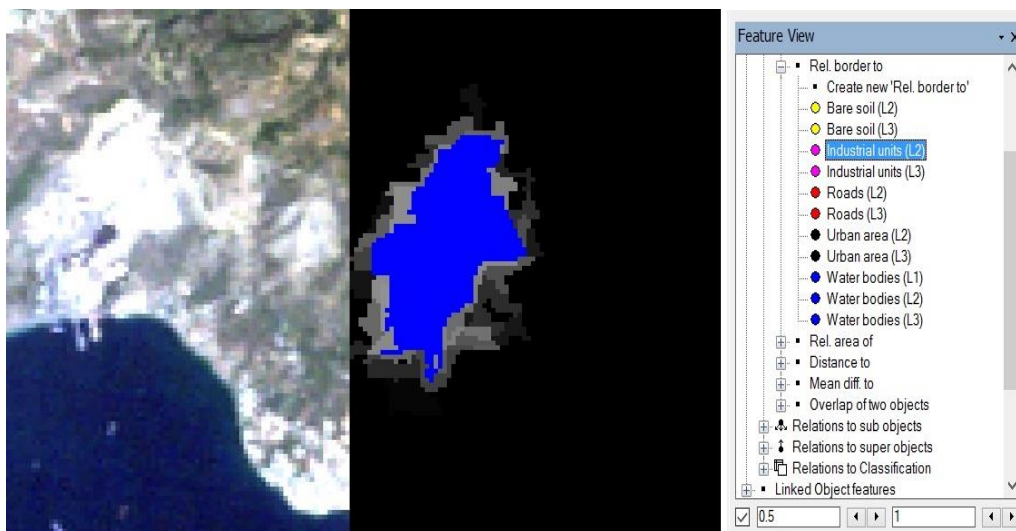
Εικόνα 72: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Non-arable irrigated land (L2)”, Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης των κανόνων (β) “NDVI” και (γ) “Rel. border to”



Εικόνα 73: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμές ασαφών ορίων 0.45 έως 0.47 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “NDVI” για την κατηγορία “Forests (L2)”



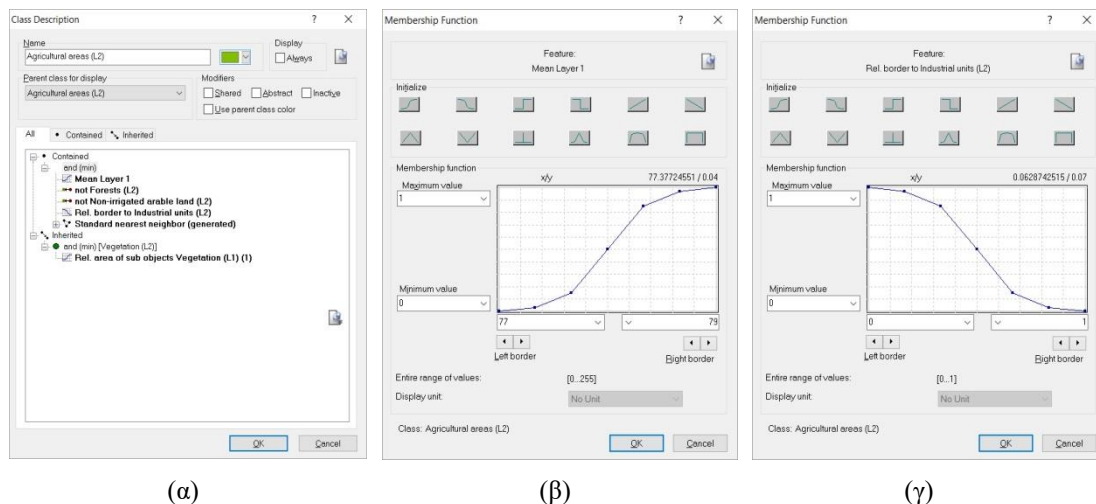
Εικόνα 74: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμές ασαφών ορίων 0.22 έως 0.24 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “NDVI” για την κατηγορία “Non-arable irrigated land (L2)”



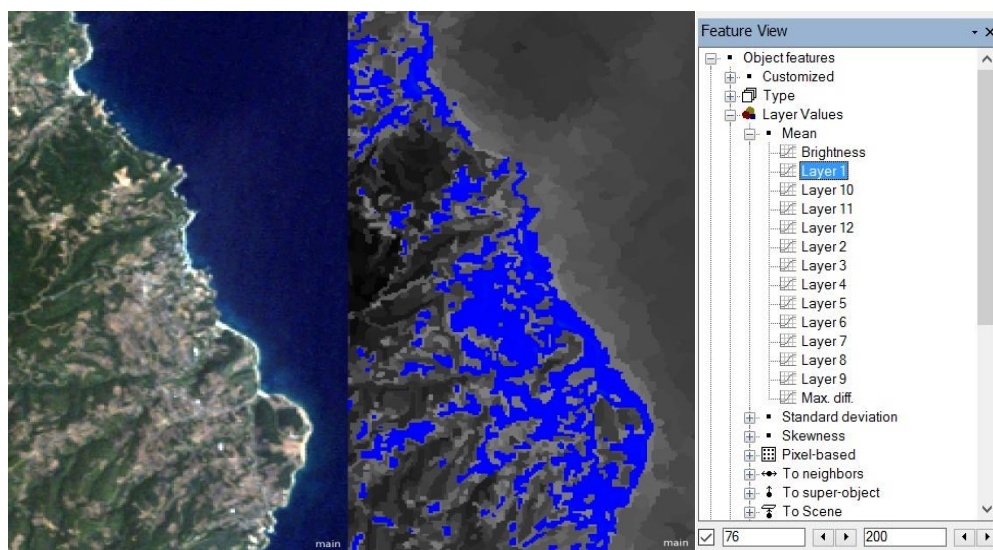
Εικόνα 75: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμές ασαφών ορίων 0 έως 1 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “Rel. border to” για την κατηγορία “Non-arable irrigated land (L2)”

Για την ταξινόμηση των γεωργικών εκτάσεων “Agricultural areas (L2)” χρησιμοποιήθηκε ο κανόνας της μέσης τιμής στο μπλε κανάλι “Mean Blue”. Το διάστημα τιμών του κανόνα της μέσης τιμής στο μπλε κανάλι “Mean Blue” κυμαίνεται από 75 έως 77 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης. Ο κανόνας συσχέτισης “Rel. border to” εφαρμόστηκε και σε αυτή την κατηγορία για τη κατηγορία “Industrial unit (L2)” με τιμές από 0 έως 1, με συνάρτηση της μορφής Z, για τον ίδιο ακριβώς λόγο που έγινε και στην τάξη “Non – irrigated arable land (L2)”. Η περιγραφή των γεωργικών εκτάσεων ολοκληρώθηκε με την αντιστροφή των

κατηγοριών “Forests (L2)” και “Non – irrigated arable land (L2)”, ώστε να μην συγχέονται με τις δύο αυτές κατηγορίες.

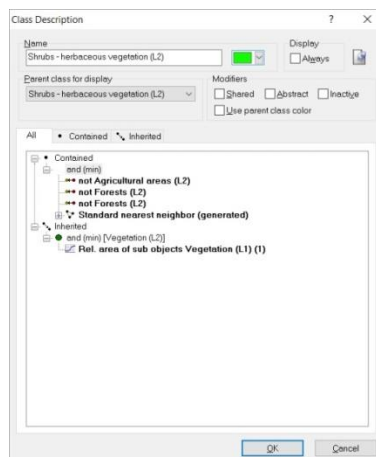


Εικόνα 76: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Agricultural areas (L2)”, Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης των κανόνων (β) “Mean blue” και (γ) “Rel. border to”



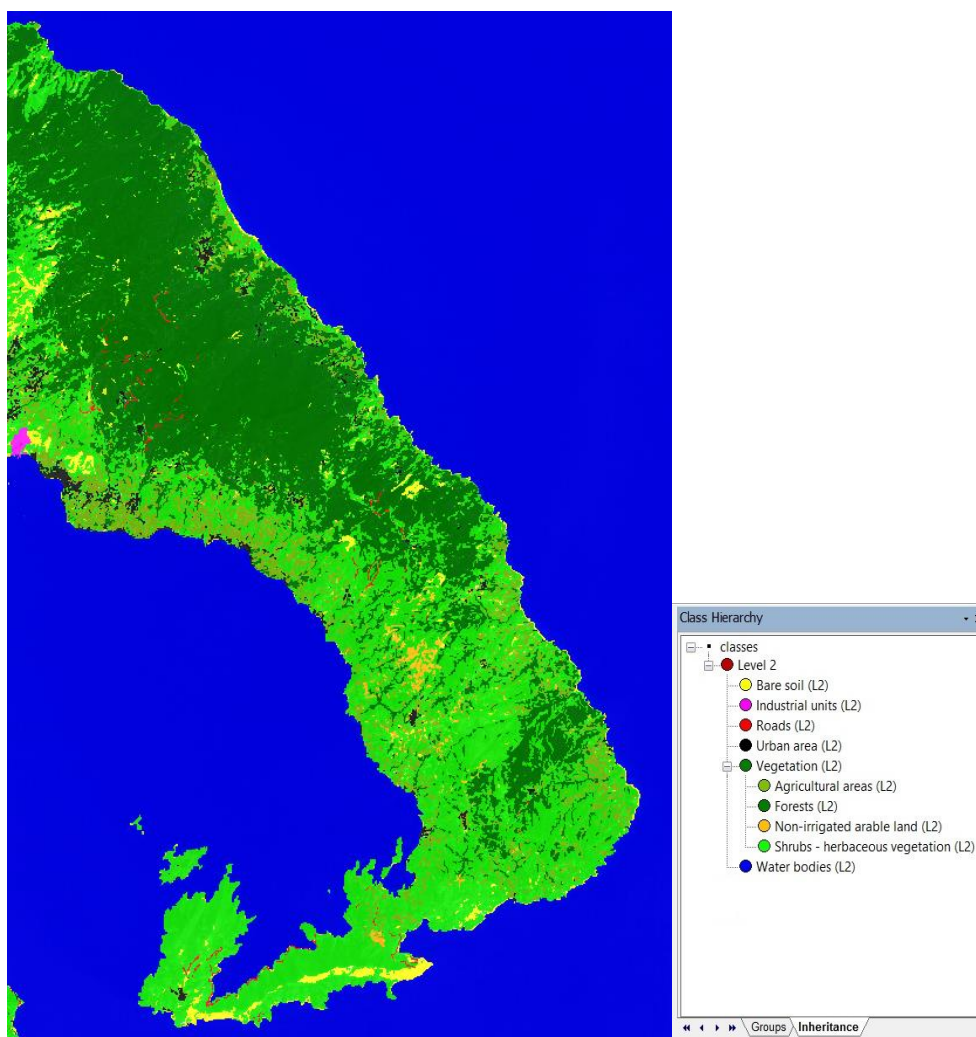
Εικόνα 77: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμές ασαφών ορίων 75 έως 77 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Mean blue” για την κατηγορία “Agricultural areas (L2)”

Τέλος, η ταξινόμηση της κατηγορίας “Shrubs – herbaceous vegetation (L2)” στηρίζεται στα δείγματα εκπαίδευσης και στον κανόνα αντιστροφής των τριών υπόλοιπων θυγατρικών κατηγοριών της βλάστησης “Invert expression”, εφόσον τα αντικείμενα των κατηγοριών “Forests (L2)”, “Non – irrigated arable land (L2)” και “Agricultural areas (L2)” έχουν περιγραφεί επαρκώς.

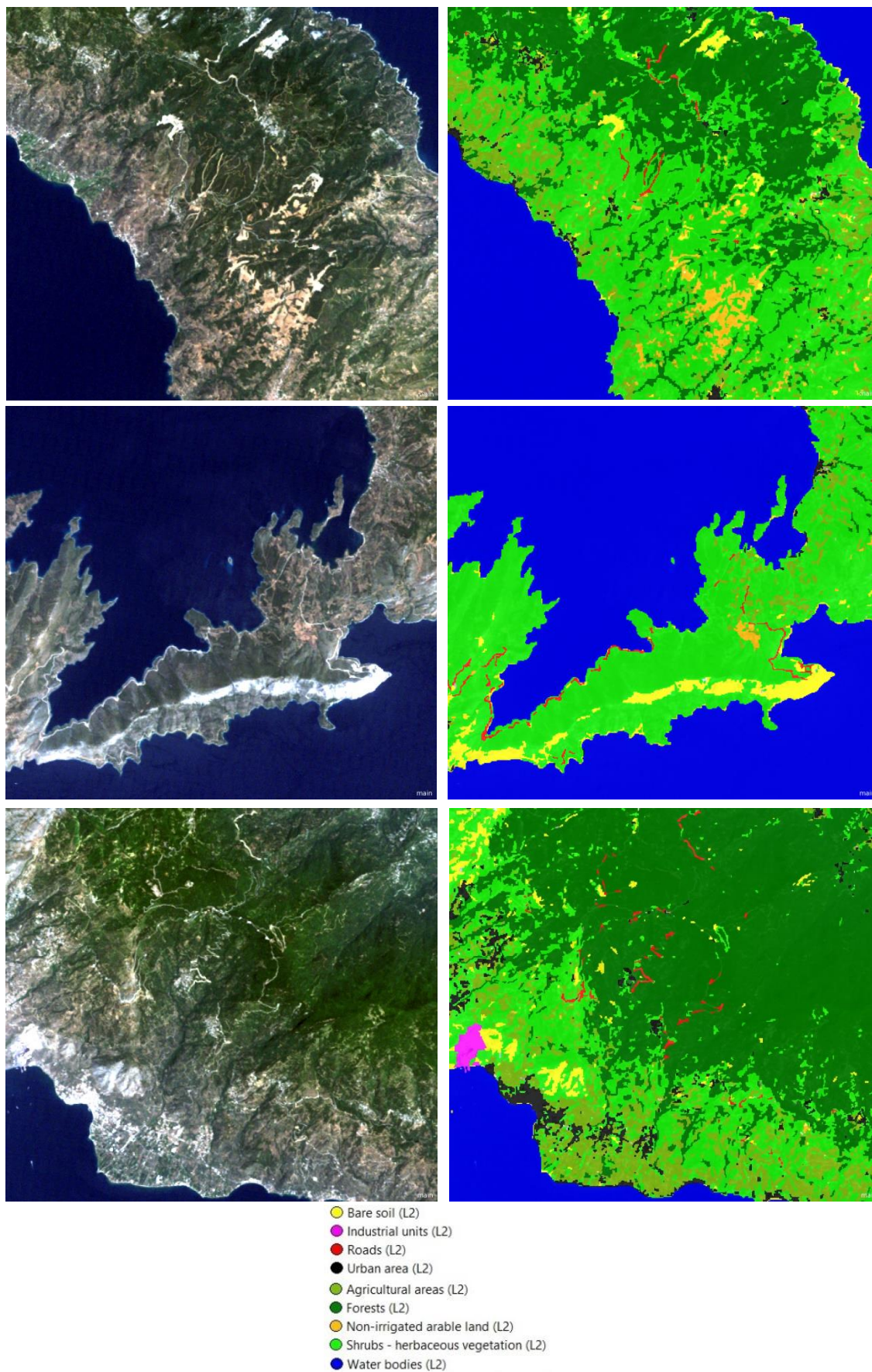


Εικόνα 78: Περιγραφή κατηγορίας “Shrubs – herbaceous vegetation (L2)”

Ακολουθεί ο τελικό αποτέλεσμα ταξινόμησης των κατηγοριών της εικόνας στο δεύτερο επίπεδο.



Εικόνα 79: Αποτελέσματα ταξινόμησης δευτέρου επιπέδου στην εικόνα του 2003


















Εικόνα 80: Αποτέλεσμα ταξινόμησης δευτέρου επιπέδου σε τμήματα της εικόνας του 2003









Αξίζει να σημειωθεί ότι, και σε αυτό το επίπεδο παρατηρήθηκαν σφάλματα στην ταξινόμηση των θεματικών κατηγοριών, με το μεγαλύτερο να αφορά τις γεωργικές περιοχές. Καταρχάς, οι ελιές παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία φασματικών υπογραφών εξαιτίας της αραιής διάταξής τους και της επιρροής των φασματικών υπογραφών από τον τύπο του εδάφους και της υποβλάστησης. Ακόμα και στη περίπτωση της πλήρους κάλυψής τους με πολλά δείγματα, τα αποτελέσματα κρίνονται αμφίβολα, καθώς οι φασματικές υπογραφές πολλών από αυτά τα δείγματα επικαλύπτονται με φασματικές υπογραφές άλλων κατηγοριών βλάστησης. Το ίδιο ισχύει και για τα αμπέλια, η φασματική υπογραφή των οποίων είναι παρόμοια με αυτή του εδάφους, ιδιαίτερα στις περιόδους που δεν έχουν φύλλα, χωρίς βέβαια να βελτιώνεται η κατάσταση στις περιόδους κατά τις οποίες έχουν φύλλα. Ακόμα και σε αυτή τη χρονική περίοδο, εξαιτίας της αραιής τοποθέτησής τους εμφανίζουν συνδυασμό της φασματικής υπογραφής του αμπελιού και της φασματικής υπογραφής του εδάφους ή της υποβλάστησης. Συνεπώς, σε κάθε περίπτωση η ακρίβεια χαρτογράφησης τους με αυτόματη ταξινόμηση θα κυμαίνεται σε πολύ χαμηλό επίπεδο, όταν εφαρμόζεται σε ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις με χαμηλή διακριτική ικανότητα, όπως αυτές από τον δορυφόρο Landsat. Επιπλέον, οι γεωργικές περιοχές που περιλαμβάνουν σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης είναι λογικό να μπερδεύονται με άλλα είδη βλάστησης, καθώς και σε αυτή τη περίπτωση τα αντικείμενα αυτής της κατηγορίας μπορεί να εμφανίζουν και φασματικές υπογραφές από κατηγορίες όπως η θαμνώδης και ποώδης βλάστηση.

Τέλος, το χρονικό διάστημα που έγινε η λήψη της δορυφορικής εικόνας πραγματοποιούνταν θαλάσσιες μετακινήσεις από ή προς τις λιμενικές εγκαταστάσεις του Βόλου, με αποτέλεσμα μέσα στη κατηγορία των υδάτινων επιφανειών να εντοπίζεται η ύπαρξη κάποιου πλωτού, το οποίο ταξινομείται ως άγονο έδαφος. Το συγκεκριμένο σφάλμα θεωρείται μικρής σημασίας και διορθώνεται εύκολα με τη χρήση του κατάλληλου αλγόριθμου ανακατασκευής σχήματος, που θα αναλυθεί παρακάτω.

Ακολουθεί ο πίνακας που παρουσιάζει συγκεντρωτικά τους κανόνες, τις συναρτήσεις συμμετοχής και τις τιμές κατωφλίσωσης που χρησιμοποιήθηκαν για όλες τις κατηγορίες και των τριών επιπέδων.

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά, συναρτήσεις συμμετοχής και όρια ασάφειας για τις κατηγορίες όλων των επιπέδων

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
1	Impervious (L1)		Soil Index		0.30	0.50
	Vegetation (L1)		NDVI		0.02	0.05
	Water bodies (L1)		NDWI		0	0.04
2	Bare soil (L2)		Existence of super objects Bare soil (L3) (1)		0	1
	Industrial units (L2)		Existence of super objects Industrial units (L3) (1)		0	1
	Roads (L2)		Existence of super objects Roads (L3) (1)		0	1
	Urban area (L2)		Existence of super objects Urban area (L3) (1)		0	1
	Vegetation (L2)		Rel. area of sub objects Vegetation (L1) (1)		0.2	0.4
	Forests (L2)		NDVI		0.45	0.47
	Non-arable irrigated land (L2)	and	NDVI		0.22	0.24
			Rel. border to Industrial units (L2)		0	1
	Agricultural areas (L2)	and	Mean blue		75	77
			Rel. border to Industrial units (L2)		0	1
			Invert expression of Forests (L2)			
			Invert expression of Non-arable irrigated land (L2)			
	Shrubs-herbaceous vegetation (L2)	and	Invert expression of Forests (L2)			
			Invert expression of Non-arable irrigated land (L2)			
Invert expression of Agricultural areas (L2)						
Water bodies (L2)		Rel. area of sub objects Water bodies (L1) (1)		0.50	0.70	
3	Impervious (L3)		Rel. area of sub objects Impervious (L1) (2)		0	0.30

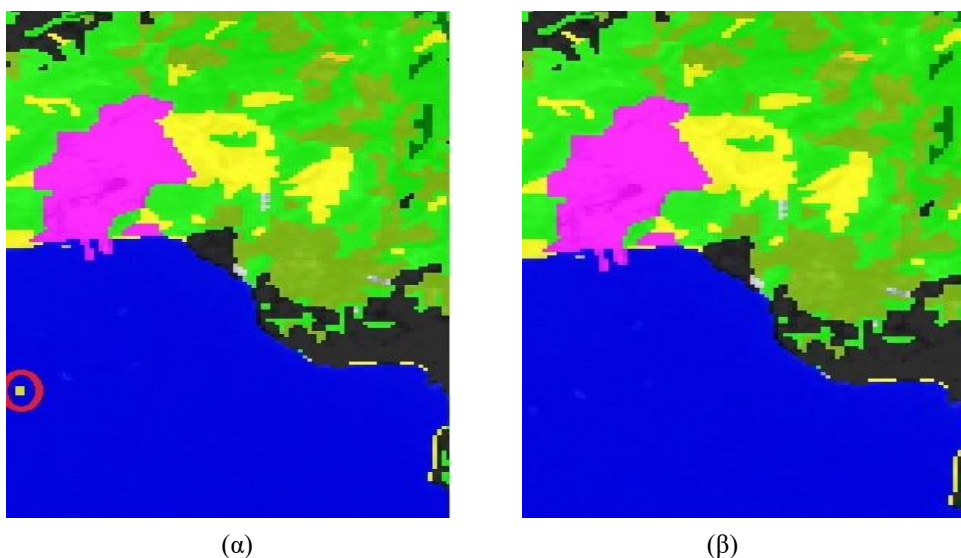
	Industrial units (L3)		Nir/Green		1.46	1.48
	Roads (L3)	and	Area/Length		2.00	2.60
			Length/Width		1.20	4.80
			Density		1.20	1.26
			Rel. border to Water bodies (L3)		0	1
	Urban area (L3)	and	Mean diff. to scene blue		13	17
			Invert expression of Industrial units (L3)			
			Invert expression of Roads (L3)			
	Bare soil (L3)	and	Invert expression of Industrial units (L3)			
			Invert expression of Roads (L3)			
	Vegetation (L3)		Rel. area of sub objects Vegetation (L1) (2)		0.20	0.40
	Water bodies (L3)		Rel. area of sub objects Water bodies (L1) (2)		0.50	0.70

3.5.3. Αλγόριθμοι Ανακατασκευής Σχήματος

Στα πλαίσια της ταξινόμησης του 2ου επιπέδου, για τη διόρθωση όσο ήταν δυνατόν των σφαλμάτων που παρατηρήθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι ανακατασκευής σχημάτων με βάση την ταξινόμηση. Συνεπώς, η ανακατασκευή των σχημάτων στηρίχθηκε σε εννοιολογικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων δηλαδή τις κατηγορίες στις οποίες ανήκουν.

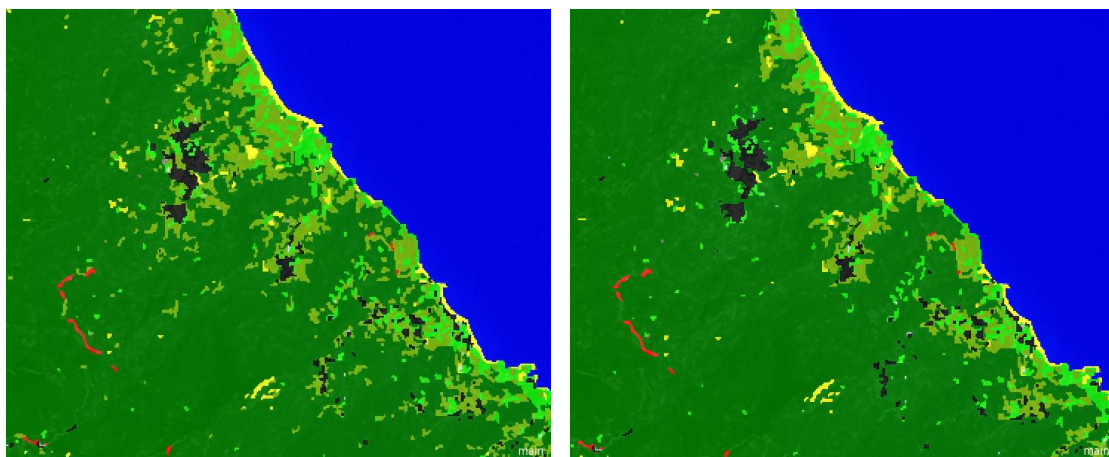
Ο πρώτος αλγόριθμος που εφαρμόστηκε ήταν ο αλγόριθμος “Remove objects”. Με τον συγκεκριμένο αλγόριθμο επιλέγεται μια κατηγορία της οποίας τα πολύγωνα που πληρούν κάποια συγκεκριμένα κριτήρια διαγράφονται από αυτή την κατηγορία και ενσωματώνονται σε μια άλλη κατηγορία που επιλέγεται από τον χρήστη. Η παραπάνω λογική ακολουθήθηκε για την απαλοιφή των αντικειμένων που εμφανίζονται ως άγονο έδαφος μέσα στις υδάτινες επιφάνειες και αντιστοιχούν σε

κάποιο πλωτό, όπως αναφέρθηκε και στο εδάφιο 3.5.2.3. Το κριτήριο που τέθηκε ήταν η έκταση του άγονου εδάφους να είναι μικρότερη των 2 pixel.



Εικόνα 81: (α) Ταξινόμηση πριν την εφαρμογή του αλγόριθμου “Remove objects”, (β) Ταξινόμηση μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου “Remove objects”

Στη συνέχεια, ακολούθησε η χρήση του αλγόριθμου “Find enclosed by class”, ο οποίος ταξινομεί αντικείμενα που περιβάλλονται πλήρως από μια κατηγορία είτε στην ίδια την κατηγορία είτε σε κάποια άλλη. Ο αλγόριθμος αυτός αποδεικνύεται πολύ χρήσιμος στην περίπτωση των δασικών εκτάσεων που εσφαλμένα ταξινομήθηκαν ως γεωργικές περιοχές. Εννοιολογικά, δεν είναι απίθανο να υπάρχει η κατηγορία “Agricultural areas”, ανάμεσα στις δασικές εκτάσεις, διότι στην παρούσα διπλωματική, η κατηγορία “Agricultural areas”, αφορά και γεωργικές περιοχές με τμήματα φυσικής βλάστησης. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχουν μέσα στις μεγάλες δασικές εκτάσεις και σε μεγάλο υψόμετρο κάποια πολύγωνα που είναι ταξινομημένα λανθασμένα ως αγροτικές περιοχές. Για τον διαχωρισμό, λοιπόν, των δύο κατηγοριών επιλέχθηκε ο αλγόριθμος “Find enclosed by class” αντικαθιστώντας την κατηγορία “Agricultural areas (L2)” που περικλείεται από την κατηγορία “Forests (L2)”, χωρίς κάποιο κριτήριο, έτσι ώστε οποιοδήποτε αντικείμενο της κατηγορίας των αγροτικών περιοχών περικλείεται από την κατηγορία των δασών να ταξινομείται εκ νέου ως δασική έκταση.



(α)

(β)

*Εικόνα 82: (α) Ταξινόμηση πριν την εφαρμογή του αλγόριθμου “Find enclosed by class”,
(β) Ταξινόμηση μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου “Find enclosed by class”*

Αξίζει να αναφερθεί ότι, και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, είτε η εφαρμογή του αλγόριθμου “Find enclosed by class” είτε του αλγόριθμου “Remove objects”, θα εμφάνιζε τα ίδια αποτελέσματα στη διόρθωση του σχήματος των συγκεκριμένων αντικειμένων. Η χρήση και των δύο έγινε με το σκεπτικό της δοκιμής επιπλέον δυνατοτήτων του λογισμικού.

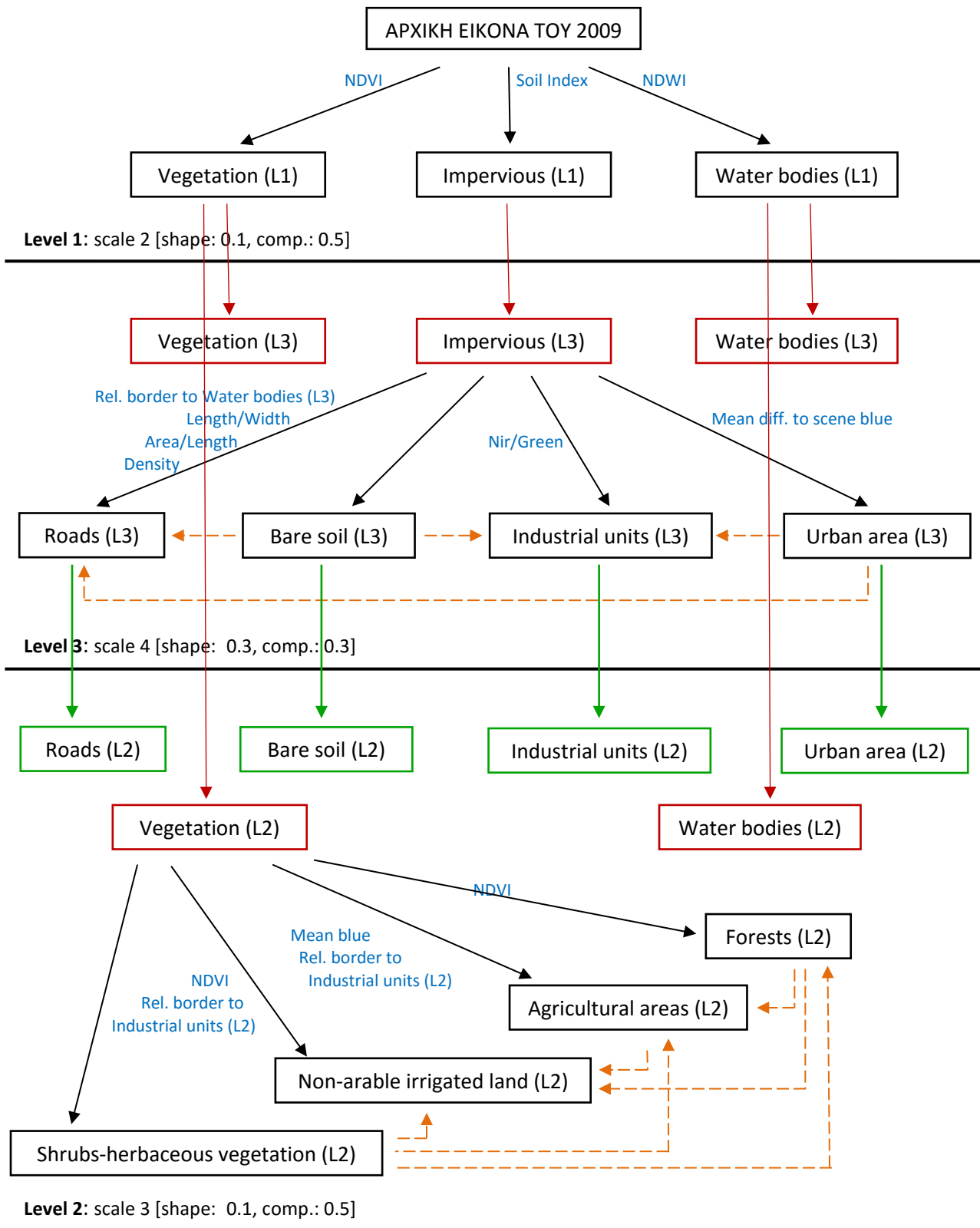
Με την εφαρμογή των αλγορίθμων ανακατασκευής σχήματος ολοκληρώθηκε η επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας του 2003. Με τον τρόπο αυτόν δημιουργήθηκε το τελικό επίπεδο ανάλυσης της εικόνας το οποίο περιέχει εννοιολογικές πληροφορίες και χρησιμοποιήθηκε για την τελική αναπαράσταση της εδαφοκάλυψης, όπως επίσης και για τη διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών.

3.6. Υλοποίηση Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης στην Εικόνα του 2009

3.6.1. Κατάτμηση Πολλαπλής Ανάλυσης Εικόνας

Στην δορυφορική εικόνα του 2009 δημιουργήθηκαν τα ίδια επίπεδα κατάτμησης και χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι παράμετροι των κατατμήσεων με αυτούς της εικόνας 2003 (Βλέπε Διάγραμμα 2). Ακολουθήθηκε παρόμοια λογική, καθώς έπειτα από προσεκτική παρατήρηση και αρκετές δοκιμές διαπιστώθηκε ότι, η συγκεκριμένη μεθοδολογία θα έδινε ικανοποιητικά αποτελέσματα και στην εικόνα του 2009.

Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής ταξινόμησης εικόνας 2009



- Ταξινόμηση
- Προβολή υπο-αντικειμένων
- Προβολή υπερ-αντικειμένων
- - - - - Invert expression

Συνεπώς, έγιναν τρία επίπεδα κατάτμησης με κατώτερο το πρώτο, ανώτερο το τρίτο και το δεύτερο ως ενδιάμεσο επίπεδο. Στο πρώτο επίπεδο κατάτμησης οι τιμές που δόθηκαν ήταν για την παράμετρο κλίμακα ίση με 2, για το κριτήριο φάσματος 0.9, ενώ για το κριτήριο σχήματος 0.1 και τέλος, για τα κριτήρια ομαλότητας των ορίων των αντικειμένων 0.5 για το συμπαγές του σχήματος και 0.5 για το λείο της οριογραμμής. Το δεύτερο επίπεδο που δημιουργήθηκε είχε κλίμακα, ίση με 3 και βάρος χρώματος 0.9, ενώ βάρος σχήματος 0.1, το οποίο χωρίστηκε στα επιμέρους κριτήρια του δίνοντας ίσα βάρη για το λείο της οριογραμμής και για το συμπαγές του σχήματος. Τέλος, στο τρίτο επίπεδο οι τιμές που αποδόθηκαν στην κλίμακα ήταν 4, στο κριτήριο φάσματος 0.7, στο κριτήριο σχήματος 0.3, στο συμπαγές του σχήματος 0.3 και στο λείο της οριογραμμής 0.7. Λεπτομερώς περιγράφονται στα εδάφια 3.5.1.1, 3.5.1.2., 3.5.1.3.

3.6.2. Ταξινόμηση Επιπέδων Κατάτμησης

Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία για την ταξινόμηση της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης του 2009, είναι η ίδια με μερικές μεταβολές στη βάση γνώσης, δηλαδή στις συναρτήσεις συμμετοχής και στα όρια της ασαφούς ζώνης, ώστε το αποτέλεσμα μεταξύ των εικόνων να είναι ανάλογο. Οι διαφορές των ψηφιακών τιμών σε όλη την εικόνα και συνεπώς στα αντικείμενά της εκφράζονται με ελαφρώς διαφορετικούς κανόνες, όσον αφορά στα διαστήματα ασάφειας, και με την παράλειψη ορισμένων ή προσθήκη νέων, σε σχέση με αυτούς που δημιουργήθηκαν για την ανάλυση της δορυφορικής εικόνας για την χρονολογία του 2003. Η λογική και η φιλοσοφία της ταξινόμησης παρέμειναν ίδια. Κατά συνέπεια, κρίθηκε σκόπιμο να μην γίνουν επαναλήψεις και για τη δορυφορική απεικόνιση του 2009, οπότε δεν πραγματοποιείται λεπτομερής παρουσίαση ολόκληρης της διαδικασίας της ταξινόμησης παρά επισημαίνονται μόνο οι πληροφορίες που εμφανίζουν κάποια ιδιαιτερότητα.

Έπειτα από την φωτοερμηνεία της εικόνας δεν παρατηρήθηκαν καινούργιες καλύψεις γης, παρά μόνο μία επιφάνεια στάσιμου ύδατος (δημιουργήθηκε φράγμα στην περιοχή Παναγιώτικο), που όμως περιγράφηκε με την κατηγορία “Water

















bodies” που υπήρχε και στην εικόνα του 2003. Έτσι, οι θεματικές τάξεις που δημιουργηθήκαν δεν εμφάνισαν καμία απολύτως διαφοροποίηση.








Στην προσπάθεια επίτευξης παρόμοιων ταξινομήσεων και στις δύο ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις έγινε μεταφορά των αντιπροσωπευτικών δειγμάτων για όλες τις θεματικές κλάσεις σε όλα τα επίπεδα κατάτμησης από την εικόνα του 2003 στην εικόνα του 2009. Για τη διαδικασία της μεταφοράς, επιλέχτηκε οι εντολές “Create TTA Mask from samples” και “Save TTA Mask” για όλα τα επίπεδα κατάτμησης της εικόνας του 2003 και ύστερα, στην εικόνα του 2009 επιλέχτηκαν οι εντολές “Load TTA Mask” και “Create samples from TTA Mask”. Βέβαια, αναγκαίες κρίθηκαν κάποιες διορθώσεις στα συγκεκριμένα δείγματα, καθώς επίσης και η επιλογή ορισμένων επιπλέον, για την ορθότερη απόδοση των αντικειμένων στην σωστή κατηγορία. Τα δείγματα των κατηγοριών “Impervious (L1)”, “Roads (L3)” και “Agricultural areas (L2)” είναι κυρίως εκείνα που χρειάστηκαν περαιτέρω βελτίωση.

Η διαδικασία της ιεραρχικής ταξινόμησης των επιπέδων πραγματοποιήθηκε με την ίδια σειρά (1-3-2) και η τελική ταξινόμηση εφαρμόστηκε στο δεύτερο επίπεδο. Επιπλέον, έγινε με τον συνδυασμό της χρήσης του αλγόριθμου του εγγύτερου γείτονα και των συναρτήσεων συμμετοχής κάποιων κατάλληλων ιδιοτήτων των αντικειμένων της κάθε θεματικής κατηγορίας. Παρατηρείται ότι η αναθεώρηση των τιμών κατωφλίσωσης κάποιων κανόνων είναι απαραίτητη για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Οι αλλαγές αυτές αφορούν κυρίως τους κανόνες που εφαρμόστηκαν για την περιγραφή των κατηγοριών “Industrial units (L3)”, “Forests (L2)”, “Non – irrigated arable land (L2)” και “Agricultural areas (L2)”.

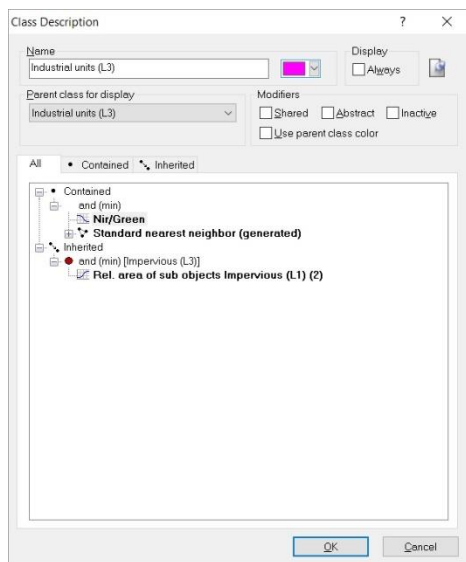
Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας των κανόνων, των συναρτήσεων συμμετοχής και των τιμών κατωφλίσωσης που χρησιμοποιήθηκαν για όλες τις κατηγορίες και των τριών επιπέδων και έπειτα θα αναλυθούν μόνο οι κατηγορίες που εμφάνισαν κάποια διαφοροποίηση σε σχέση με αυτές της εικόνας του 2003.

Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά, συναρτήσεις συμμετοχής και όρια ασάφειας για τις κατηγορίες όλων των επιπέδων

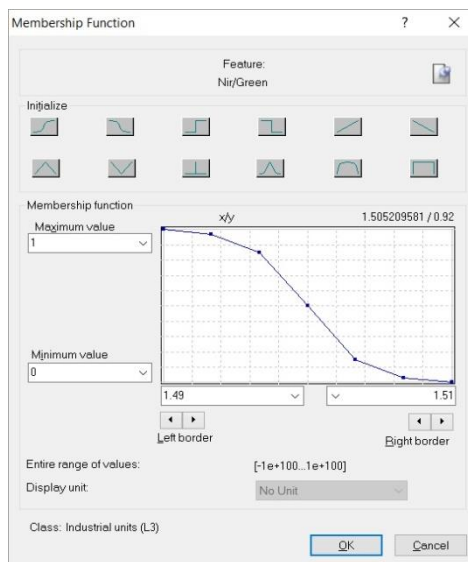
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο	
1	Impervious (L1)		Soil Index		0.30	0.50	
	Vegetation (L1)		NDVI		0.02	0.05	
	Water bodies (L1)		NDWI		0	0.04	
2	Bare soil (L2)		Existence of super objects Bare soil (L3) (1)		0	1	
	Industrial units (L2)		Existence of super objects Industrial units (L3) (1)		0	1	
	Roads (L2)		Existence of super objects Roads (L3) (1)		0	1	
	Urban area (L2)		Existence of super objects Urban area (L3) (1)		0	1	
	Vegetation (L2)		Rel. area of sub objects Vegetation (L1) (1)		0.2	0.4	
	Forests (L2)	and		NDVI		0.45	0.47
				Invert expression of Non-arable irrigated land (L2)			
				Invert expression of Agricultural areas (L2)			
	Non-arable irrigated land (L2)	and		NDVI		0.16	0.18
				Rel. border to Industrial units (L2)		0	1
	Agricultural areas (L2)	and		Mean blue		77	79
				Rel. border to Industrial units (L2)		0	1
				Invert expression of Non-arable irrigated land (L2)			
	Shrubs-herbaceous vegetation (L2)	and		Invert expression of Forests (L2)			
				Invert expression of Non-arable irrigated land (L2)			
			Invert expression of Agricultural areas (L2)				
Water bodies (L2)		Rel. area of sub objects Water bodies (L1) (1)		0.50	0.70		
3	Impervious (L3)		Rel. area of sub objects Impervious (L1) (2)		0	0.30	
	Industrial units (L3)		Nir/Green		1.49	1.51	

Roads (L3)	and	Area/Length		2.00	2.60
		Length/Width		1.20	4.80
		Density		1.20	1.26
		Rel. border to Water bodies (L3)		0	1
Urban area (L3)	and	Mean diff. to scene blue		13	17
		Invert expression of Industrial units (L3)			
		Invert expression of Roads (L3)			
Bare soil (L3)	and	Invert expression of Industrial units (L3)			
		Invert expression of Roads (L3)			
Vegetation (L3)		Rel. area of sub objects Vegetation (L1) (2)		0.20	0.40
Water bodies (L3)		Rel. area of sub objects Watr bodies (L1) (2)		0.50	0.70

Αναλυτικότερα, στην κατηγορία “Industrial units (L3)” ο δείκτης “Nir/Green” δέχτηκε τιμές ασάφειας 1.49 έως 1.51 με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης, διότι παρατηρήθηκε ότι με αυτές τις τιμές καθορίζονταν με πιο σωστό τρόπο η συγκεκριμένη κατηγορία.

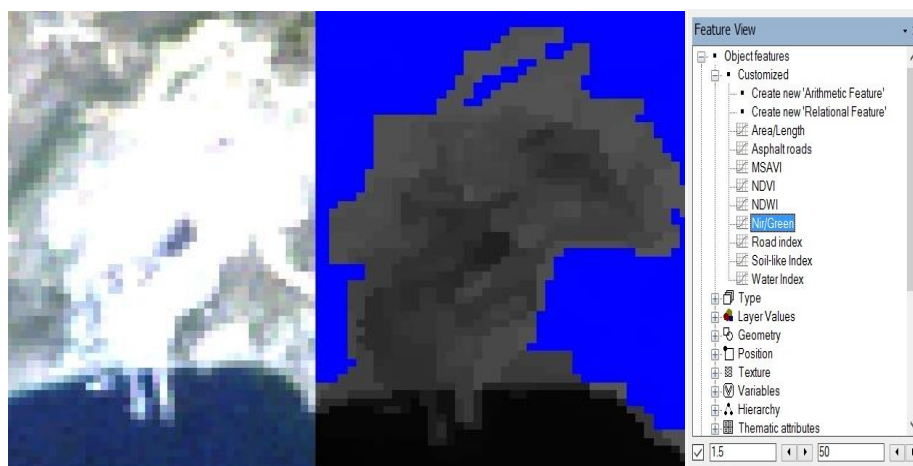


(α)



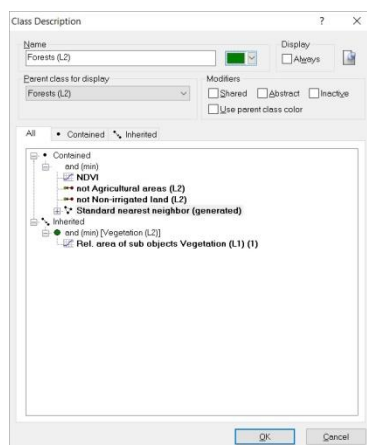
(β)

Εικόνα 83: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Industrial units (L3)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Nir/Green”



Εικόνα 84: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 1.49 έως 1.51 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “Nir/Green” για την κατηγορία “Industrial units (L3)”

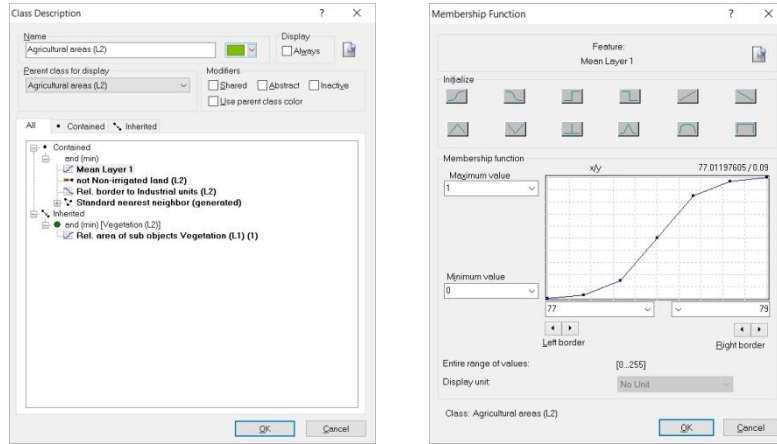
Για την ταξινόμηση της κατηγορίας “Forests (L2)”, μία σημαντική προσθήκη ήταν και ο κανόνας της αντιστροφής “Invert expression” των κατηγοριών “Non – irrigated arable land (L2)” και “Agricultural areas (L2)”, διότι διαπιστώθηκε ότι ορισμένες γεωργικές εκτάσεις ταξινομούνταν εσφαλμένα ως δασικές.



Εικόνα 85: Περιγραφή κατηγορίας “Forests (L2)”

Οι καλλιέργειες, ακόμη και του ίδιου είδους, ποτέ δεν είναι πανομοιότυπες. Μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους εξαιτίας πολλών παραγόντων, όπως λόγου χάρη της ηλικίας, του μεγέθους των φυτών, της υγρασία, του εδάφους, της προσβολής από κάποια ασθένεια κ.ά. Οι παράγοντες αυτοί μεταβάλουν την φασματική υπογραφή των γεωργικών περιοχών, με αποτέλεσμα ενώ μπορεί να εξακολουθεί να υφίσταται η ίδια χρήση γης, αυτή των καλλιεργειών δηλαδή, να ταξινομείται λανθασμένα σε κάποια άλλη κατηγορία. Για την ακριβέστερη περιγραφή της κατηγορίας “Agricultural areas (L2)”, λοιπόν, το χαρακτηριστικό της μέσης τιμής στο μπλε κανάλι “Mean blue” πήρε τιμές ασάφειες από 77 έως 79 με συνάρτηση της μορφής S

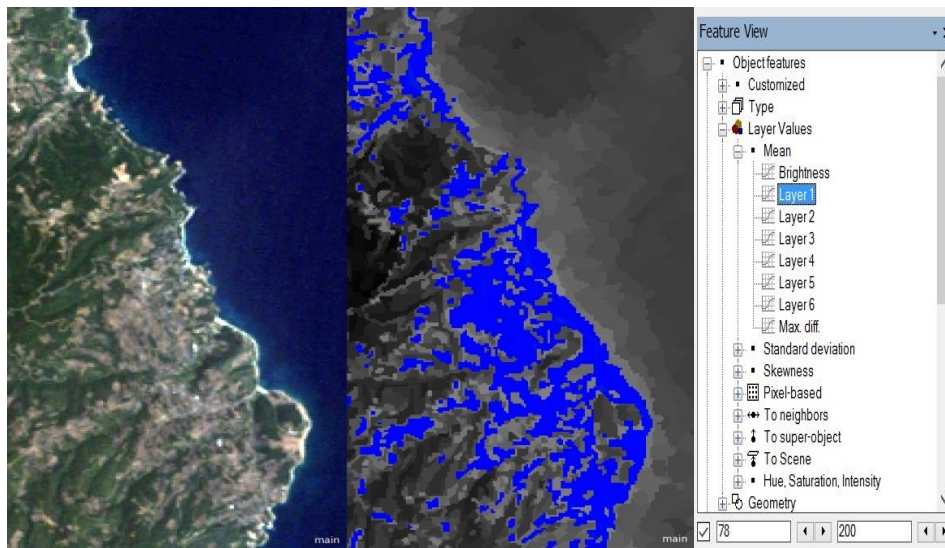
θετικής κλίσης. Θεωρήθηκε απαραίτητη η απαλοιφή του κανόνα της αντιστροφής της κατηγορίας “Forests (L2)”, καθώς δόθηκε προτεραιότητα στην κατηγορία “Agricultural areas (L2)”.



(α)

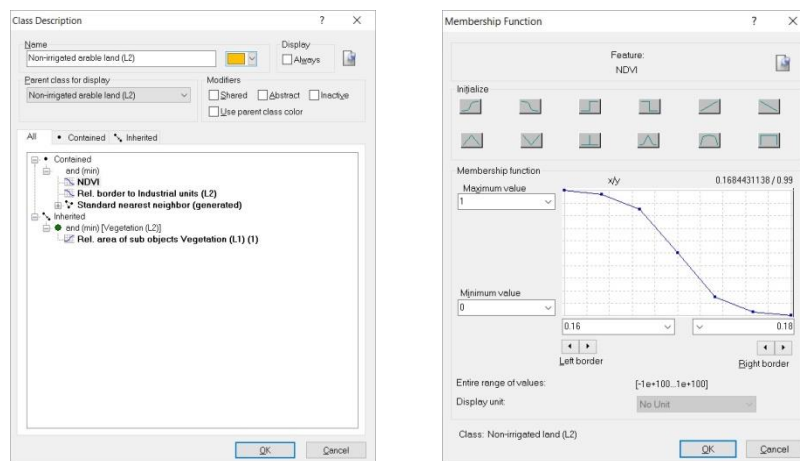
(β)

Εικόνα 86: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Agricultural areas (L2)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “Mean blue”



Εικόνα 87: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμές ασαφών ορίων 77 έως 79 της συνάρτησης μορφής S θετικής κλίσης του δείκτη “Mean blue” για την κατηγορία “Agricultural areas (L2)”

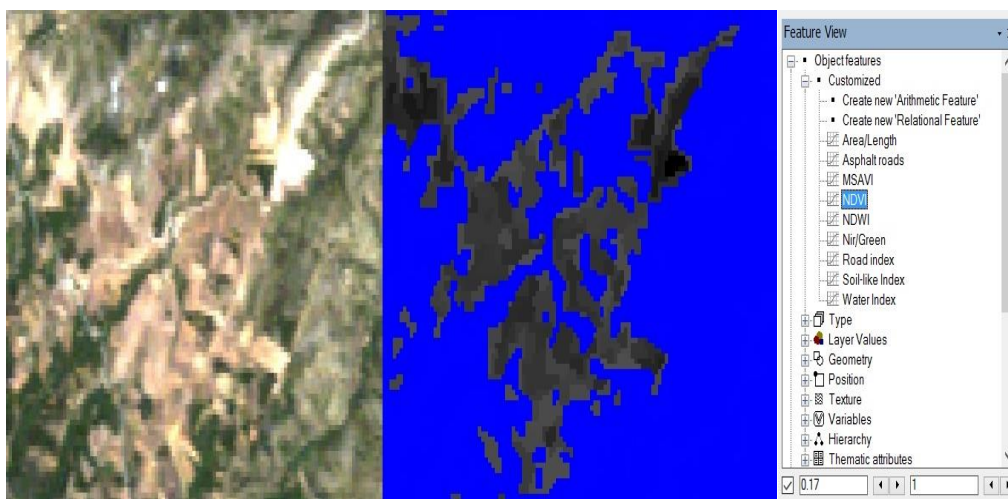
Τέλος, στην κατηγορία “Non – irrigated arable land (L2)” χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης βλάστησης “NDVI” απλά με μία μικρή διαφοροποίηση στα όρια της ασαφούς ζώνης, ως προς τις τιμές ασάφειας από 0.16 έως 0.18, με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης και τέλος.



(α)

(β)

Εικόνα 88: (α) Περιγραφή κατηγορίας “Non-arable irrigated land (L2)”, (β) Συνάρτηση συμμετοχής και όρια ασαφούς ζώνης του κανόνα “NDVI”



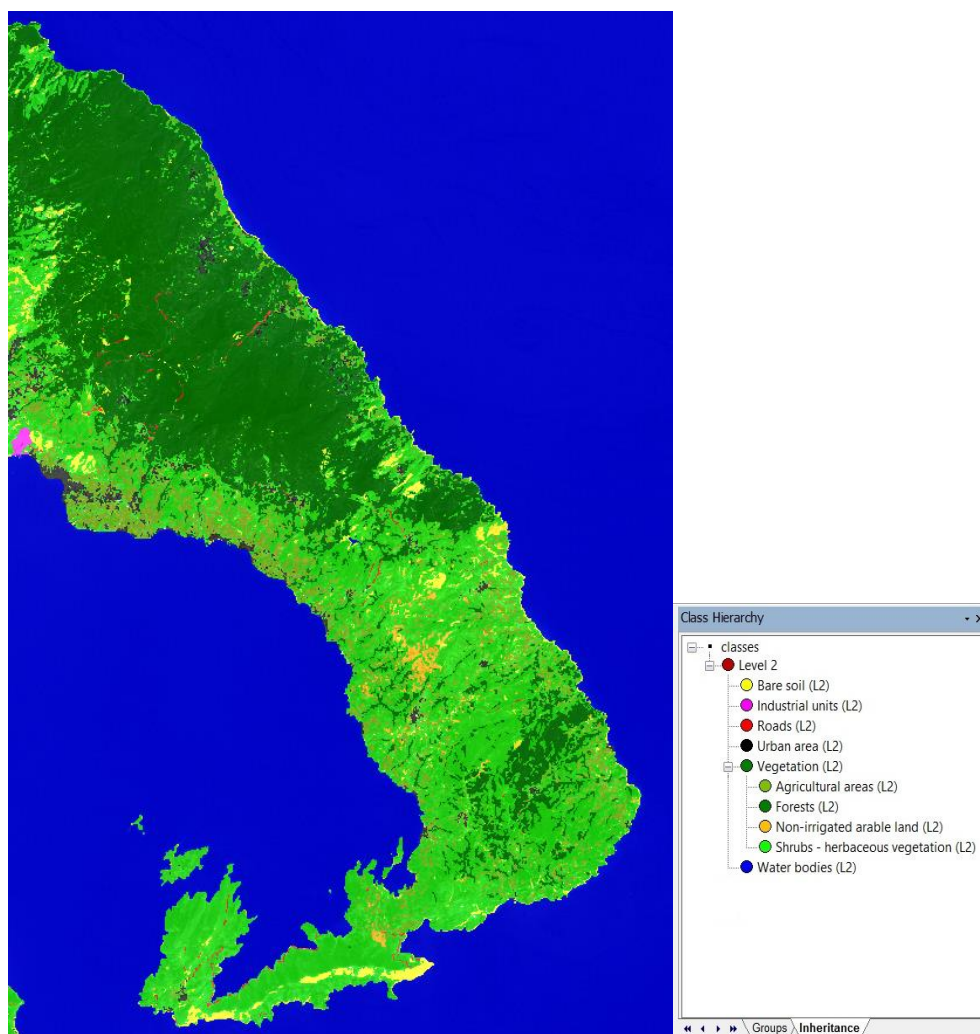
Εικόνα 89: Απεικόνιση σε τμήμα της εικόνας μέσης τιμής ασαφών ορίων 0.16 έως 0.18 της συνάρτησης μορφής S αρνητικής κλίσης του δείκτη “NDVI” για την κατηγορία “Non-arable irrigated land (L2)”

Μετά το πέρας της διαδικασίας της ταξινόμησης, στην περιοχή μελέτης διαπιστώθηκαν τα ίδια σφάλματα με αυτά της ψηφιακής τηλεπισκοπικής απεικόνισης του 2003, με κυριότερα να σχετίζονται με την αστική περιοχή, το οδικό δίκτυο και τις γεωργικές εκτάσεις. Άξιο αναφοράς είναι ότι, στην εικόνα του 2009 οι οικισμοί και οι καλλιέργειες ταξινομήθηκαν πολύ πιο σωστά συγκριτικά με την προηγούμενη εικόνα. Οι οικισμοί συγχέονταν σε σημαντικό βαθμό με το άγονο έδαφος, ενώ οι καλλιέργειες με τη θαμνώδη και ποώδη βλάστηση και με τα δάση, γεγονός που έχει περιοριστεί στην συγκεκριμένη εικόνα. Από την άλλη μεριά, το οδικό δίκτυο εξακολουθεί να μην είναι ανιχνεύσιμο στο σύνολό του, όπως επίσης και ο αστικός

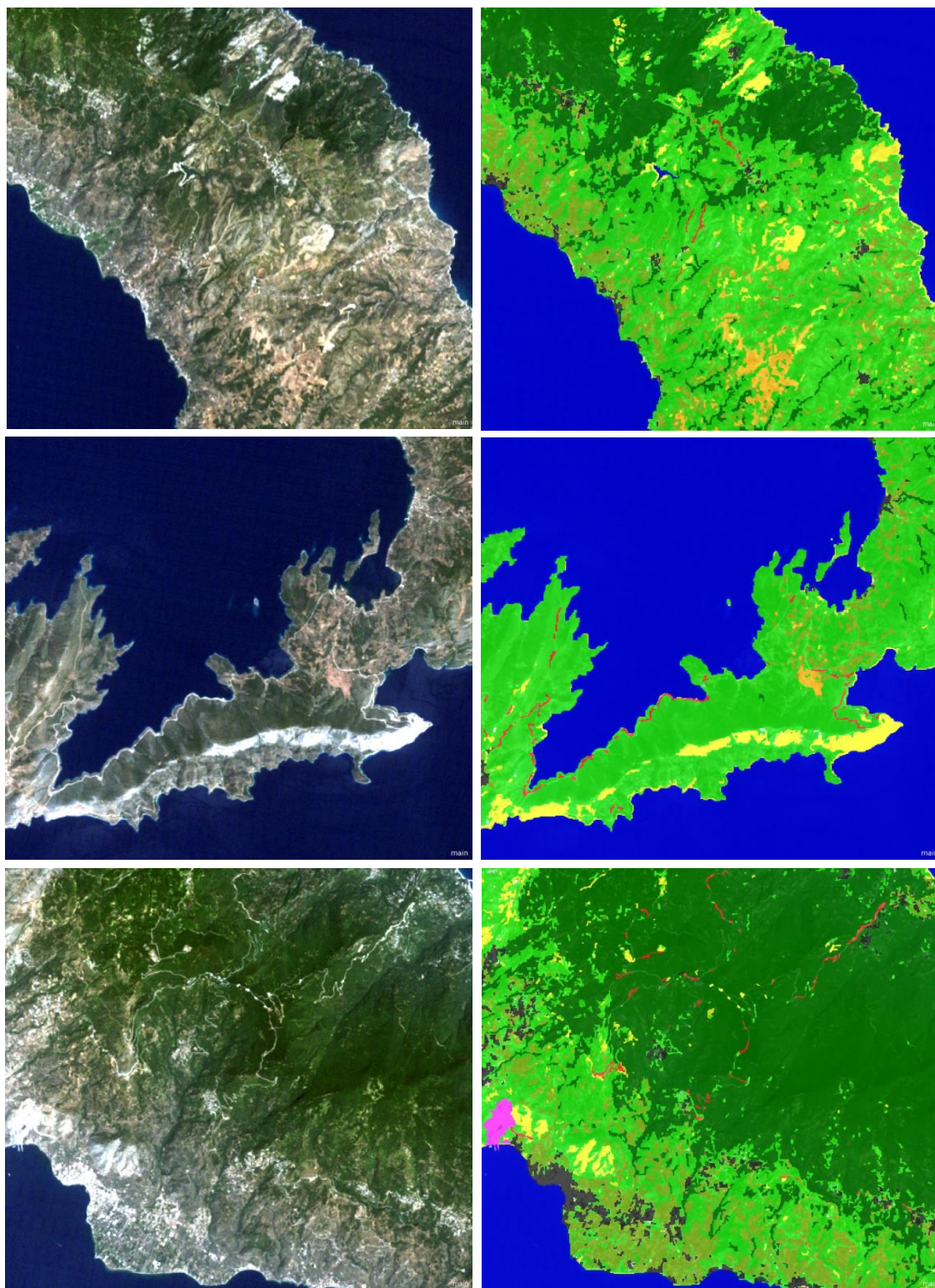
ιστός. Παρόλα αυτά σε γενικές γραμμές, η συγκεκριμένη ταξινόμηση θεωρείται ότι έδωσε καλύτερα αποτελέσματα και με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Το τελικό στάδιο της επεξεργασίας του δευτέρου επιπέδου της εικόνας του 2009 ολοκληρώθηκε με την εφαρμογή των αλγόριθμων ανακατασκευής σχήματος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση κρίθηκαν κατάλληλοι οι αλγόριθμοι “Remove objects” και “Find enclosed by class”, οι οποίοι έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα με τις ίδιες τιμές, όπως ορίστηκαν για την πρώτη εικόνα.

Το τελικό αποτέλεσμα της επεξεργασίας της δεύτερης δορυφορικής εικόνας παρουσιάζεται στην εικόνα 3-77.



Εικόνα 90: Αποτελέσματα ταξινόμησης δευτέρου επιπέδου στην εικόνα του 2009



Εικόνα 91: Αποτέλεσμα ταξινόμησης δευτέρου επιπέδου σε τμήματα της εικόνας του 2009

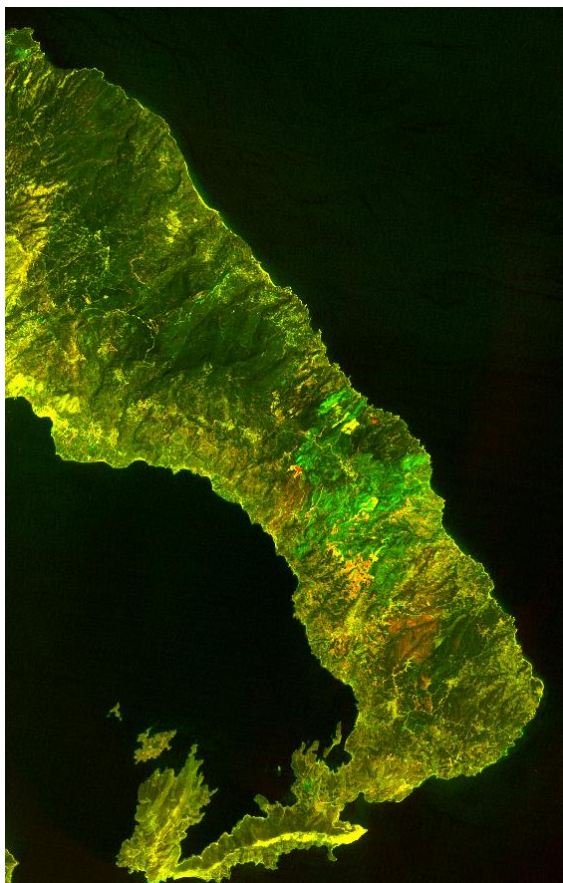
3.7. Ανίχνευση Μεταβολών

Η ανίχνευση των διαχρονικών μεταβολών των χρήσεων γης στην περιοχή του Πηλίου αποτελεί το τελευταίο και πιο βασικό στάδιο της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε στη συγκεκριμένη διπλωματική. Σε αυτό το σημείο, θα διαπιστωθούν η ύπαρξη ή όχι αλλαγών στις καλύψεις γης της περιοχής μελέτης, οι κατηγορίες που υπέστησαν αυτές τις αλλαγές και ο βαθμός σπουδαιότητάς τους. Επιπλέον, θα διαπιστωθεί η καταλληλότητα των επιλεγμένων ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων για τους στόχους που έχουν τεθεί στα πλαίσια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Αφού ολοκληρώθηκε το κομμάτι των ταξινομήσεων ακολούθησε η λεπτομερής ανάλυση των μεταβολών, με την μέθοδο σύγκρισης ταξινομήσεων. Οι ταξινομήσεις συγκρίθηκαν κατά ζεύγη και εκτιμήθηκαν οι μεταβολές με τη δημιουργία Πίνακα Ανίχνευσης Μεταβολών (ΠΑΜ). Η επιλογή της μεθόδου αυτής έγινε διότι, παρέχει ολοκληρωμένα δεδομένα για το μέγεθος αλλά και για το είδος των μεταβολών και επιπλέον αποφεύγεται ο κίνδυνος του λανθασμένου καθορισμού τιμών κατοφλίωσης, λόγω της υποκειμενικότητας του χρήστη. Επιπλέον, η σύγκριση των ταξινομήσεων έγινε σε επίπεδο εικονοστοιχείων και όχι αντικειμένων, επειδή στην περίπτωση που η συγκεκριμένη διαδικασία θα χρησιμοποιούσε αντικείμενα θα γινόταν αρκετά χρονοβόρα χωρίς την εξασφάλιση καλύτερου αποτελέσματος. Το λογισμικό που αξιοποιήθηκε για τη διαδικασία της ανίχνευσης των μεταβολών ήταν το QGIS, το οποίο παρέχει αρκετές δυνατότητες για την επίλυση θεμάτων Τηλεπισκόπησης, αρκεί να εγκατασταθούν τα κατάλληλα “plugins”.

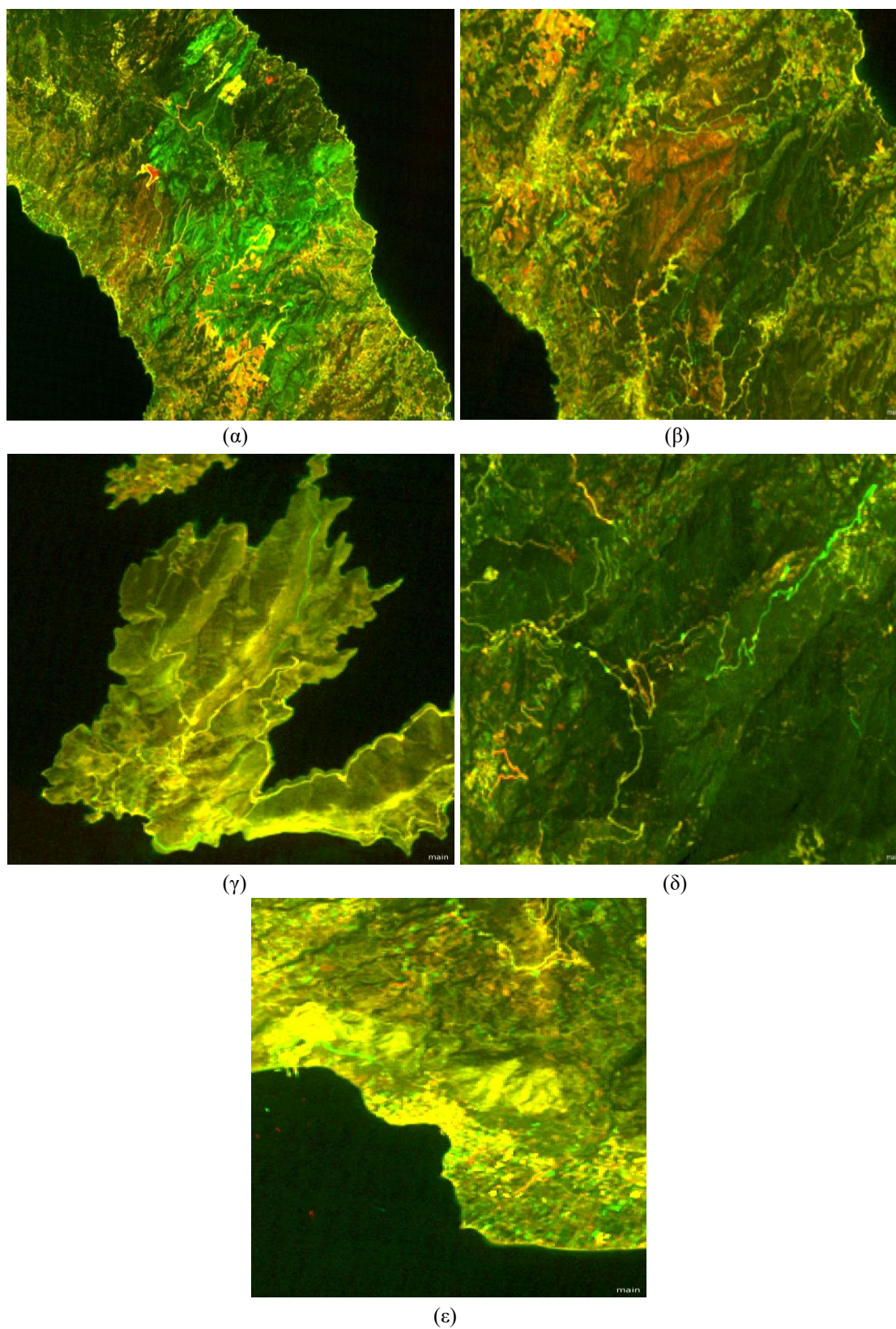
Με σκοπό τη απόκτηση μιας αρχικής άποψης για τις μεταβολές που συντελέστηκαν στην περιοχή, πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα eCognition επίθεση των δύο εικόνων με χρήση του κόκκινου και του πράσινου καναλιού. Η συγκεκριμένη μέθοδος συμβάλει στην ποιοτική εκτίμηση των αλλαγών στην περιοχή μέσω φωτοερμηνείας, χωρίς να παρέχει ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με αυτές τις αλλαγές. Αρχικά, δημιουργήθηκε ένα καινούργιο “project”, όπου εισήχθησαν η εικόνα του 2003 και η εικόνα του 2009 ταυτόχρονα, επιλέγοντας όλα τα κανάλια εκτός του θερμικού και για τις δύο εικόνες. Έπειτα, ορίστηκε στο παράθυρο διαλόγου “View settings” το κόκκινο κανάλι της εικόνας του 2003 στο “Red layer”,

το πράσινο κανάλι της εικόνας του 2009 στο “Green layer” και κανένα κανάλι στο “Blue layer”. Στην εικόνα που προκύπτει με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα εικονοστοιχεία που έχουν γίνει πιο σκούρα από το 2003 έως το 2009, με πράσινο χρώμα εμφανίζονται τα εικονοστοιχεία που έχουν γίνει πιο φωτεινά από το 2003 έως το 2009 και τα εικονοστοιχεία που δεν έχουν μεταβληθεί μεταξύ των συγκεκριμένων χρονολογιών, με αποχρώσεις του κίτρινου (ο συνδυασμός ίσων ποσοτήτων κόκκινου και πράσινου χρώματος δημιουργεί κίτρινο χρώμα) (Βλέπε Εικόνα 92).



Εικόνα 92: Αποτελέσματα επίθεσης των εικόνων του 2003 και 2009 για την περιοχή μελέτης

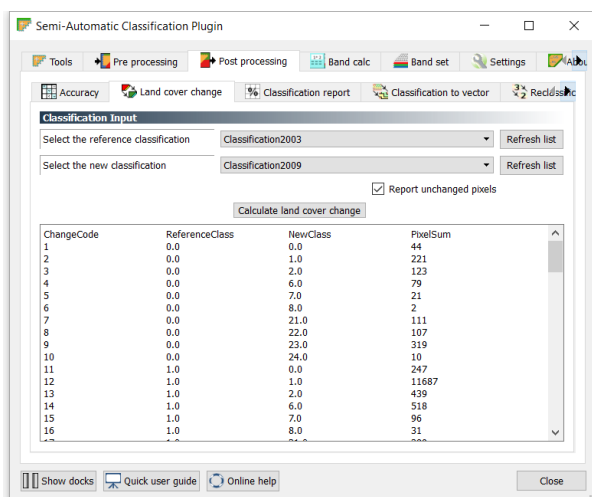
Επί της ουσίας, παίρνοντας ως παράδειγμα τη βλάστηση το πράσινο χρώμα υποδηλώνει μείωση της βλάστησης από το χρονικό διάστημα 2003 έως 2009, το κόκκινο χρώμα σημαίνει αύξηση της βλάστησης και το κίτρινο χρώμα δείχνει καμία μεταβολή (Βλέπε Εικόνα 93 (α), (β)). Επιπλέον, στην Εικόνα 93 (α) με έντονο κόκκινο παρουσιάζεται το φράγμα που υπάρχει στην απεικόνιση του 2009, ενώ δεν υπάρχει σε αυτή του 2003. Τέλος, στις Εικόνες 93 (γ), (δ) και (ε) με πράσινο χρώμα απεικονίζεται η μείωση της βλάστησης, λόγω της κατασκευής οδικού δικτύου.



Εικόνα 93: Αποτελέσματα επίθεσης των εικόνων του 2003 και 2009 για τμήματα της περιοχής

Ακολουθεί η σύγκριση των ταξινομήσεων των δορυφορικών απεικονίσεων του 2003 και του 2009 με η δημιουργία Πίνακα Ανίχνευσης Μεταβολών (ΠΑΜ). Βασικό βήμα αποτέλεσε η προεπεξεργασία των δεδομένων, η οποία αφορά στη δημιουργία raster αρχείων που θα αντιπροσωπεύουν τις δύο ταξινομήσεις έτσι ώστε να γίνει η μεταξύ τους σύγκριση. Συγκεκριμένα, έγινε η εξαγωγή των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων στο πρόγραμμα eCognition με την εντολή “Export Results”. Οι παράμετροι που ορίστηκαν ήταν: “Raster file” στο “Export Type”, “Classification” στο “Content Type”, “Tagged Image File *tif (Geocoded)” στο “Format”, “Level 2” στο “Level” και “Bare soil (L2)”, “Industrial unit (L2)”, “Roads (L2)”, “Urban area (L2)”, “Water Bodies (L2)”, “Agricultural areas (L2)”, “Non – irrigated arable land (L2)”, “Forests (L2)” και “Shrubs – herbaceous vegetation (L2)” στο “Classes”. Ο αλγόριθμος με τις παραπάνω παραμέτρους θα εξάγει ένα raster αρχείο μορφής tif το οποίο θα περιέχει τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του δεύτερου επιπέδου με τις θεματικές κατηγορίες της άγονης γης, της βιομηχανική ζώνης, του οδικού δικτύου, της αστικής περιοχής, των υδάτινων επιφανειών, των καλλιεργειών, της μη – αρόσιμης καλλιεργημένης γης, των δασικών εκτάσεων και της θαμνώδους και ποώδους βλάστησης. Πρέπει να επισημανθεί ότι, η ανίχνευση μεταβολών εφαρμόστηκε σε αρχεία μορφής raster και όχι vector, κυρίως για την αποφυγή σφαλμάτων και της πιθανότητας να γίνει η συγκεκριμένη διαδικασία αρκετά χρονοβόρα. Τα δύο αρχεία που δημιουργήθηκαν ονομάστηκαν “Classification2003” και “Classification2009”.

Η διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών συνεχίστηκε με το λογισμικό QGIS, αφού πρώτα έγινε εγκατάσταση του απαραίτητου “plugin”, του “Semi-Automatic Classification Plugin” δηλαδή, από την εντολή “Manage and Install Plugins” του μενού “Plugins”. Στο παράθυρο διαλόγου του “Semi-Automatic Classification Plugin”, επιλέχτηκε η εντολή “Land cover change” από την εφαρμογή “Post processing”, όπου και εισήχθησαν τα αρχεία μορφής tif “Classification2003” και “Classification2009”, το πρώτο στη παράμετρο “Select the reference classification” και το δεύτερο στη παράμετρο “Select the new classification” (Βλέπε Εικόνα 94).



Εικόνα 94: Παράθυρο διαλόγου “Semi-Automatic Classification Plugin”

Από αυτή την διαδικασία προκύπτει ο Πίνακας Ανίχνευσης Μεταβολών (ΠΑΜ), ο οποίος δέχτηκε επεξεργασία ώστε να σχηματιστεί ένας χρωματικός πίνακας αντιστοίχισης με μία εγγραφή για κάθε επιλεγμένη στήλη του ΠΑΜ, για την χαρτογραφική αναπαράσταση των μεταβολών. Οι θεματικές κατηγορίες “Urban area” και “Bare soil” ενοποιήθηκαν, εξαιτίας της μεγάλης σύγχυσής τους που παρατηρήθηκε κατά το στάδιο των ταξινομήσεων. Επίσης, συγχωνεύτηκαν και οι κατηγορίες “Non – irrigated arable land” και “Agricultural areas”, επειδή οι γεωργικές περιοχές δεν αξιοποιήθηκαν για τη δημιουργία του χάρτη ανίχνευσης αλλαγών, οπότε δεν συντρέχει λόγος ανάλυσής τους σε ξεχωριστές κατηγορίες.

Πίνακας 8: Πίνακας Ανίχνευσης Μεταβολών (ΠΑΜ) με χρήση αντικειμενοστραφών ταξινομήσεων για τις εικόνες των 2003 και 2009 για την περιοχή μελέτης

Οριζόντια: ταξινόμηση 2009 (προς) Κάθετα: ταξινόμηση 2003 (από)	Forests	Shrubs - herbaceous vegetation	Agricultural areas	Bare soil - Urban area	Industrial units	Roads	Water bodies	Σύνολα
Forests	285731	37765	3222	998	0	360	23	328099
Shrubs - herbaceous vegetation	22502	237634	28737	7566	12	740	527	297718
Agricultural areas	3835	26004	30999	2189	0	77	0	63104
Bare soil - Urban area	1035	9545	1686	20577	31	122	577	33573
Industrial units	0	60	0	4	976	0	9	1049
Roads	396	1133	104	153	0	1376	0	3162
Water bodies	0	645	2	608	12	10	1305323	1306600
Σύνολα	313499	312786	64750	32095	1031	2685	1306459	2033305
Μεταβολές %	8.00	24.00	52.10	35.90	5.30	48.80	0.10	

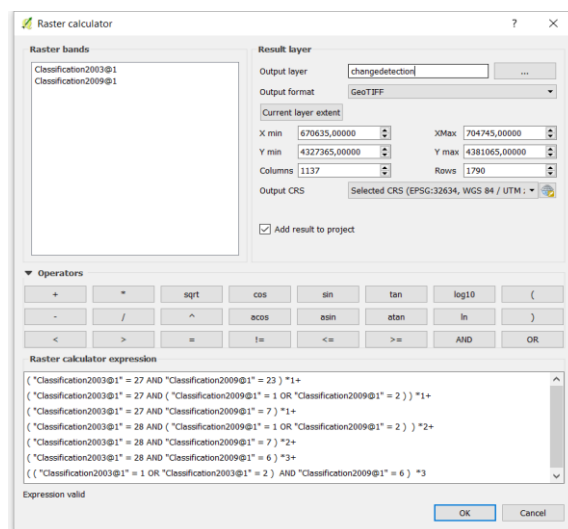
Πίνακας 9: Σημαντικές ποσοστιαίες μεταβολές κάλυψης γης μεταξύ των ταξινομήσεων του 2003 και του 2009

Από ταξινόμηση 2003 προς ταξινόμηση 2009	Forests	Shrubs - herbaceous vegetation	Agricultural areas	Bare soil - Urban area	Roads	Water bodies
από Shrubs - herbaceous vegetation προς Forests	7.20					
από Bare soil - Urban area προς Forests	0.30					
από Roads προς Forests	0.10					
από Forests προς Shrubs - herbaceous vegetation		12.10				
από Bare soil - Urban area προς Shrubs - herbaceous vegetation		3.10				
από Roads προς Shrubs - herbaceous vegetation		0.40				
από Shrubs - herbaceous vegetation προς Agricultural areas			44.40			
από Bare soil - Urban area προς Agricultural areas			2.60			
από Forests προς Bare soil - Urban area				3.10		
από Shrubs - herbaceous vegetation προς Bare soil - Urban area				23.60		
από Forests προς Roads					13.40	
από Shrubs - herbaceous vegetation προς Roads					27.60	
από Shrubs - herbaceous vegetation προς Water bodies						0.04
από Bare soil - Urban area προς Water bodies						0.04

Καταρχήν, εντοπίστηκαν οι σημαντικές ως προς το μέγεθος μεταβολές, οι οποίες σημειώθηκαν με πιο έντονα μαύρα νούμερα και ακολούθως χρωματίστηκαν εκείνες οι μεταβολές οι οποίες εμφανίζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον προς απεικόνιση. Ως άξιες αναφοράς μεταβολές θεωρήθηκαν η απώλεια της δασικής βλάστησης, η απογύμνωση του εδάφους από θαμνώδη και ποώδη βλάστηση και η κάλυψη περιοχών εδάφους ή βλάστησης με νερό. Πιο αναλυτικά, η απώλεια της δασικής βλάστησης αφορά στην μετατροπή των δασικών εκτάσεων είτε σε θαμνώδη και ποώδη βλάστηση, είτε σε οδικό δίκτυο, είτε σε άγονο έδαφος-αστική περιοχή και χρωματίστηκε με κόκκινο χρώμα. Η απογύμνωση του εδάφους από θαμνώδη και ποώδη βλάστηση αφορά στην μετατροπή της χαμηλής βλάστησης σε άγονο έδαφος-αστική περιοχή ή σε δρόμο και χρωματίστηκε με κίτρινο χρώμα και τέλος, η κάλυψη περιοχών εδάφους ή βλάστησης με νερό χρωματίστηκε με μπλε χρώμα.

Οι μεταβολές που παρουσιάζονται στις καλλιέργειες δεν λήφθηκαν υπόψη, διότι οφείλονται κυρίως στη διαφορετική φάση της γεωπονικής διαδικασίας στην οποία βρίσκονται, με αποτέλεσμα άλλοτε να εμφανίζονται ως καλλιέργειες και άλλοτε ως θαμνώδης βλάστηση. Ομοίως, δεν απεικονίστηκε στο χάρτη των μεταβολών, η μετατροπή του οδικού δικτύου σε δασική έκταση ή σε χαμηλή βλάστηση που παρατηρείται στον Πίνακα 8, διότι οφείλεται στην ανάπτυξη φυλλωμάτων δέντρων και θάμνων, τόσο στον άξονά του όσο και στις οριογραμμές εκατέρωθεν, προκαλώντας σύγχυση μεταξύ των τριών θεματικών κατηγοριών. Επιπλέον, δεν ήταν δυνατός ο εντοπισμός των οικιστικών μεταβολών από τη στιγμή που δεν επιτεύχθηκε καλή διάκριση των οικισμών κατά το στάδιο της ταξινόμησης. Τέλος, οι μεταβολές από θαμνώδεις εκτάσεις σε δάσος δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον, καθώς οφείλονται πιθανότατα στη μεταβολή της πυκνότητας της βλάστησης με παράλληλη αστοχία των ταξινομήσεων.

Τέλος, δημιουργήθηκε μία εικόνα στην οποία απεικονίζονταν οι περιοχές που είχαν υποστεί μεταβολή χρήσης γης με βάση τα χρώματα που είχαν προκαθοριστεί στον Πίνακα Ανίχνευσης Μεταβολών (ΠΑΜ), με την εντολή “Raster Calculator” από το μενού “Raster” (Βλέπε Εικόνα 95).

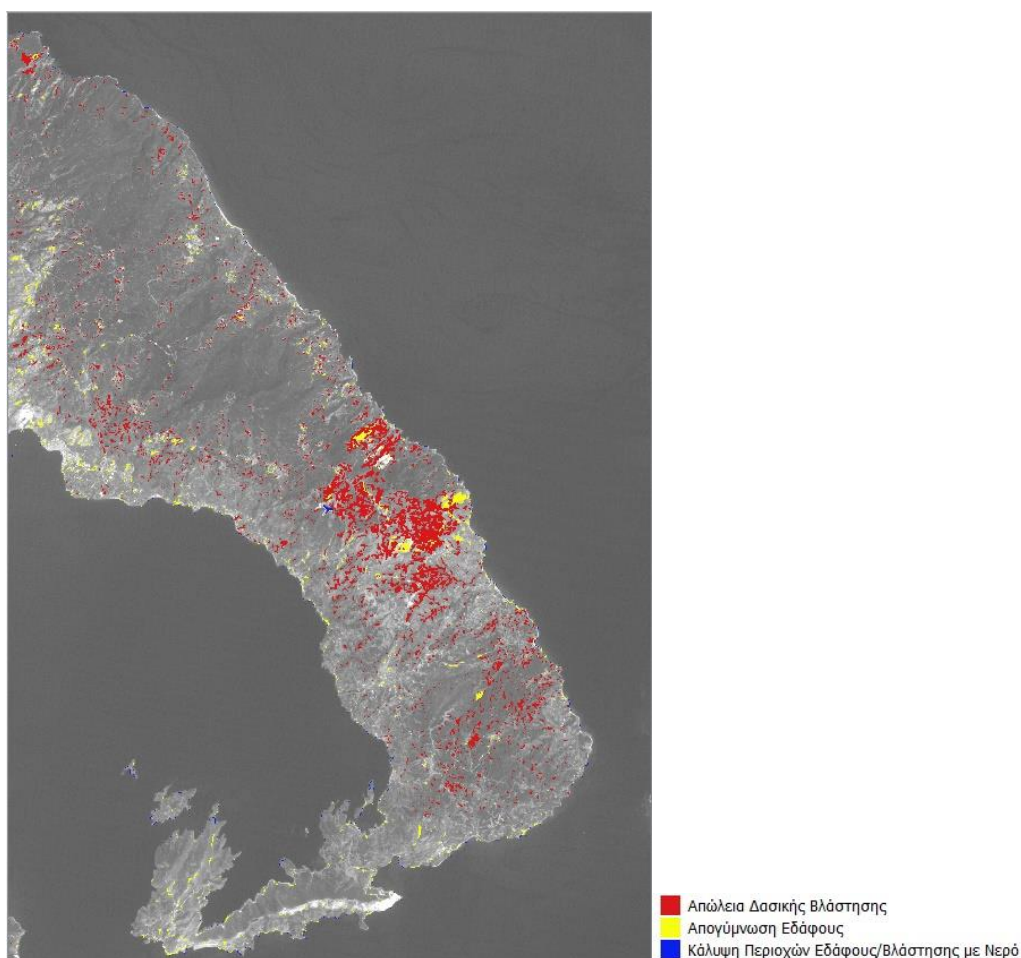


Εικόνα 95: Παράθυρο διαλόγου “Raster Calculator”

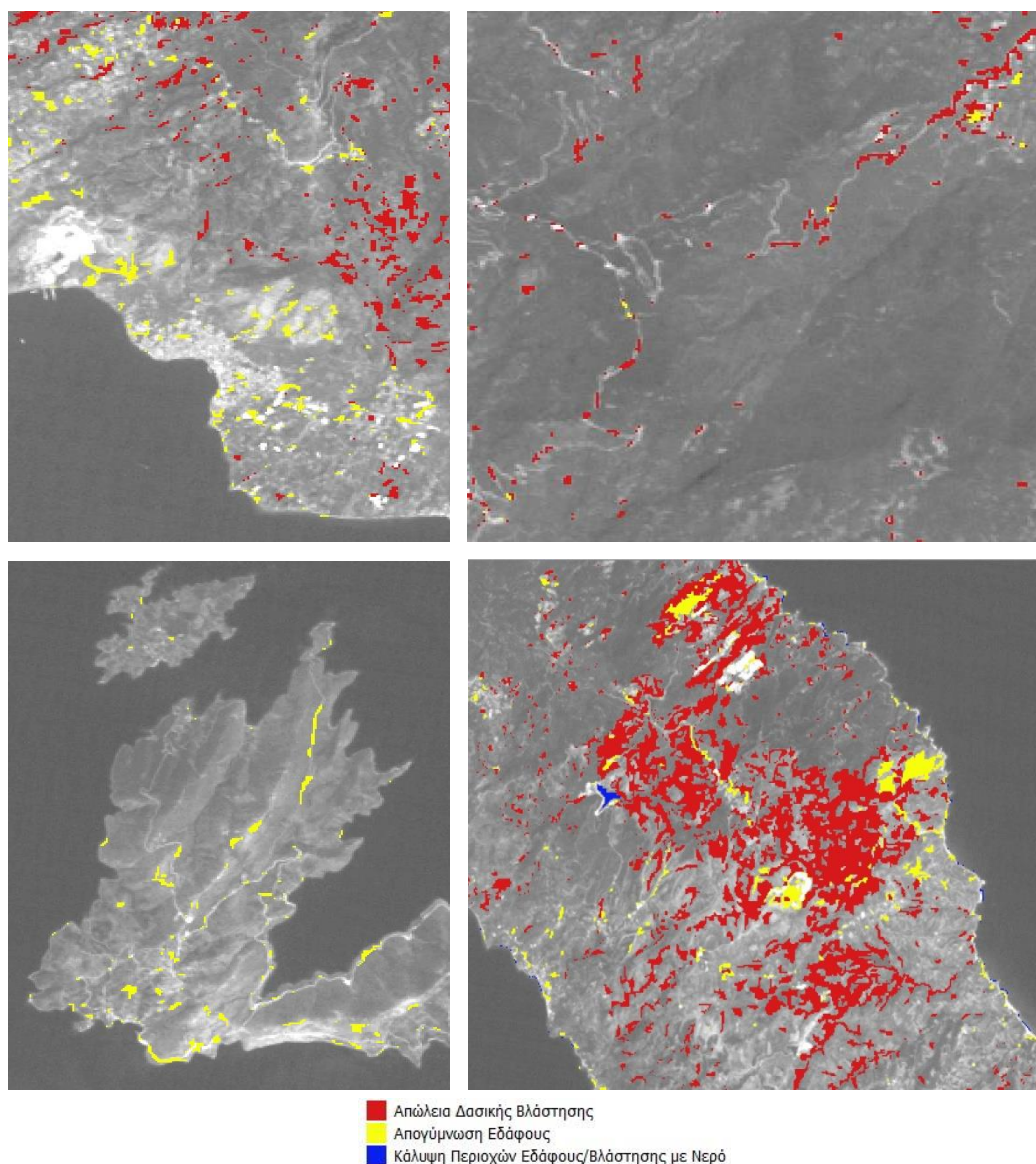
Η εξίσωση που θεωρήθηκε κατάλληλη και δηλώθηκε στην εντολή “Raster Calculator” είναι η εξής:

("Classification2003" = 27 AND "Classification2009" = 23)*1+
 ("Classification2003" = 27 AND ("Classification2009" = 1 OR "Classification2009" =
 2))*1+ ("Classification2003" = 27 AND "Classification2009" = 7)*1+
 ("Classification2003" = 28 AND ("Classification2009" = 1 OR "Classification2009" =
 2))*2+ ("Classification2003" = 28 AND "Classification2009" = 7)*2+
 ("Classification2003" = 28 AND "Classification2009" = 6)*3+
 (("Classification2003" = 1 OR "Classification2003" = 2) AND "Classification2009" = 6)*3

Από την παραπάνω διαδικασία προέκυψε η Εικόνα 96 που παρουσιάζει τις σημαντικότερες αλλαγές των χρήσεων γης στην περιοχή του Πηλίου. Επιπλέον, παρουσιάζονται και κάποια ενδεικτικά παραδείγματα αυτής της απεικόνισης για την ευκολότερη παρατήρηση των μεταβολών.



Εικόνα 96: Απεικόνιση μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης από το 2003 στο 2009 με βάση τις ταξινομήσεις των δορυφορικών εικόνων του 2003 και του 2009



Εικόνα 97: Παραδείγματα απεικόνισης μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης από το 2003 στο 2009 με βάση τις ταξινομήσεις των δορυφορικών εικόνων του 2003 και του 2009

Μία από τις πιο σημαντικές μεταβολές της περιοχής μελέτης μεταξύ του χρονικού διαστήματος 2003 έως 2009, είναι η κατασκευή του φράγματος στην περιοχή Παναγιώτικο, το οποίο κάλυψε κυρίως περιοχές οι οποίες πριν ήταν εκτάσεις με θαμνώδη και ποώδη βλάστηση ή άγονο έδαφος.

Εκτός από το φράγμα, ανάλογης σημασίας τεχνικά έργα που έγιναν στην περιοχή είναι δρόμοι ή τμήματα δρόμων, με σπουδαιότερα την Επαρχιακή Οδό Κισσού, την Επαρχιακή Οδό Αργαλαστής – Όρμου Πάλτσης και τμήμα της Περιφερειακής Βόλου προς την Αγριά, η οποία μέχρι και σήμερα δεν έχει ολοκληρωθεί. Οι εκτάσεις που

μεταβλήθηκαν για την κατασκευή του καινούργιου οδικού δικτύου χαρακτηρίζονταν κατά κύριο λόγο από θαμνώδη βλάστηση αλλά και από δασική σε κάποια σημεία. Βέβαια, δεν ήταν δυνατό να βγουν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τις μεταβολές που οφείλονταν στο σχεδιασμό των δρόμων, καθώς η χαμηλή διακριτική ικανότητα των δορυφορικών απεικονίσεων Landsat δεν επέτρεψε τον ολοκληρωμένο εντοπισμό του οδικού δικτύου μέσω των ταξινομήσεων, παρά μόνο κάποια τμήματα αυτού.

Άξια αναφοράς επίσης είναι η απώλεια δασικής κάλυψης που εμφανίζεται σε αρκετά μεγάλες εκτάσεις μεταξύ των οικισμών Αργαλαστής, Συκής, Νεοχωρίου, Αφειτών, Καλαμακίου, Ξινόβρυσης και Μηλεών, η οποία οφείλεται σε πυρκαγιά που ξέσπασε στις 27/6/2007. Από τη συγκεκριμένη πυρκαγιά κάηκαν συνολικά 63.696 στρέμματα από τα οποία τα 45.000 στρέμματα ήταν εκτάσεις Πεύκης και αείφυλλων πλατύφυλλων ενώ τα υπόλοιπα ήταν αγροτικές δενδρώδεις καλλιέργειες. Μέσα στις αποτεφρωμένες περιοχές συμπεριλαμβάνονταν και κάποια τμήματα του Καταφύγιου Άγριας Ζωής Άγιος Δημήτριος – Ίταμος που υπάγεται στο δίκτυο “Natura 2000” (Μακρή, 2012). Οι διασκορπισμένες μικρές εκτάσεις που παρουσιάζονται ως απώλεια δασικής βλάστησης, οφείλονται σε ασυμφωνία των ταξινομήσεων, λόγω της διαφορετικής πυκνότητας της βλάστησης, επομένως δεν λαμβάνονται υπόψη στην ανίχνευση μεταβολών.

Τέλος, οι κίτρινες εκτάσεις αφορούν περιοχές με χαμηλή βλάστηση, οι οποίες είτε έχουν διαφορετική πυκνότητα στις δύο λήψεις, είτε έχουν υποστεί την ανθρώπινη παρέμβαση ώστε να μετατραπούν σε κάποιο δρόμο.

Όπως είναι φανερό, στην εικόνα υπάρχει έντονος θόρυβος και ο εντοπισμός των μεταβολών εμφανίζει αρκετά σφάλματα. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο και οφείλεται στο είδος των ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων που χρησιμοποιήθηκαν, με τις οποίες δεν μπορούσε να επιτευχθεί η ακριβής διάκριση των βασικών θεματικών κατηγοριών και συνεπώς η αποτελεσματική ταξινόμηση της κάθε εικόνας. Παρόλα αυτά, ακόμη και με αυτές τις δυσκολίες η συγκεκριμένη μεθοδολογία έδωσε αποτελέσματα από τα οποία προέκυψαν αξιόλογα και χρήσιμα συμπεράσματα.

4. Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Μετά την διαδικασία της ταξινόμησης δεδομένων, αναγκαία κρίνεται η αξιολόγηση της ορθότητας και της ακρίβειας των αποτελεσμάτων της, ώστε να διαπιστωθεί η καταλληλότητα των κανόνων και των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν. Όπως αναφέρθηκε και στο εδάφιο της Ανασκόπησης Επιστημονικού Πεδίου, «*Μια ταξινόμηση δεν έχει ολοκληρωθεί, μέχρι να εκτιμηθεί η ακρίβειά της*» (Αργιαλάς, 1999).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η εκτίμηση των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων πραγματοποιήθηκε με λειτουργίες του eCognition, που αφορούν είτε την εμφάνιση στατιστικών δεικτών με την εφαρμογή της Σταθερότητας Ταξινόμησης “Classification Stability” και του Καλύτερου Αποτελέσματος Ταξινόμησης “Best Classification Result”, είτε τη χρήση δεδομένων ελέγχου με τη δημιουργία Πίνακα Σύγχυσης.

Οι δύο πρώτοι μέθοδοι εφαρμόστηκαν σε όλα τα επίπεδα ταξινόμησης και η αναπαράσταση του αποτελέσματος έγινε τόσο γραφικά όσο και σε μορφή πίνακα. Δείγματα ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν μόνο στο δεύτερο επίπεδο, διότι στο συγκεκριμένο επίπεδο βασίστηκε η ανίχνευση μεταβολών και κατά συνέπεια, θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση της ακρίβειας των τελικών αποτελεσμάτων.

4.1. Αξιολόγηση Βάσει της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability)

Στην ταξινόμηση επιπέδων οι βαθμοί συμμετοχής ενός τμήματος υπολογίζονται για όλες τις κατηγορίες του επιπέδου. Η σταθερότητα της ταξινόμησης (classification stability) αναπαριστά τη διαφορά ανάμεσα στον πρώτο και τον δεύτερο καλύτερο βαθμό συμμετοχής ενός αντικειμένου σε μια κατηγορία. Με αυτό τον τρόπο

αναδεικνύεται η σύγκριση που υπάρχει μεταξύ των κατηγοριών που ορίστηκαν και συνεπώς η ευστάθεια της ταξινόμησης. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης θεωρείται πιο ακριβές όταν η μέση τιμή της διαφοράς του βαθμού συμμετοχής μεταξύ της καλύτερης και της δεύτερης καλύτερης κατηγορίας είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για τα τρία επίπεδα ταξινόμησης και για τις δύο εικόνες έγινε με γραφική απεικόνιση αλλά και με τη μορφή πίνακα. Το λογισμικό eCognition αναπαριστά με κόκκινο χρώμα τα αντικείμενα που διεκδικούνται πλήρως από τη δεύτερη κατηγορία, με πράσινο χρώμα αυτά που δεν διεκδικούνται και με διαβαθμίσεις των δύο χρωμάτων αυτά που βρίσκονται σε μια ενδιάμεση κατάσταση.

4.1.1. Αξιολόγηση Ταξινομήσεων της Απεικόνισης του 2003

Αρχικά, ελέγχτηκε η ακρίβεια της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου, η οποία παρουσιάζεται στον Πίνακα 9 και στην Εικόνα 98.

Πίνακας 10: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2003

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Water bodies (L1)	25534	0.9484916	0.1192599	4.398822784e-005	1
Vegetation (L1)	145867	0.9761943	0.06136683288	0.001808613539	1
Impervious (L1)	19107	0.6886901	0.2838329	0	1

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται πως όλες οι κατηγορίες εκτός της κατηγορίας “Impervious (L1)”, της οποίας η μέση τιμή είναι 0.68869, εμφανίζουν μεγάλη διαφορά ανάμεσα στον πρώτο και δεύτερο βαθμό συμμετοχής, οπότε είναι ευσταθείς. Η μέγιστη τιμή της μονάδας δηλώνει πως για κάθε κατηγορία η μεγαλύτερη διαφορά που είχε ένα τμήμα που ταξινομήθηκε σε αυτή την κατηγορία από τη δεύτερη

καλύτερη κατηγορία που το διεκδικούσε ήταν 100%. Επιπλέον, οι ελάχιστες τιμές, που για τις κατηγορίες “Vegetation (L1)” και “Impervious (L1)” είναι κοντά στο μηδέν και μηδέν αντίστοιχα, δείχνουν ότι υπάρχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο σε αυτές τις κατηγορίες, το οποίο ικανοποιεί τα κριτήρια και κάποιας άλλης κατηγορίας εξίσου με εκείνη στην οποία ταξινομήθηκε. Παρατηρώντας και την γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης γίνεται εύκολα αντιληπτή η ευστάθεια του πρώτου επιπέδου ταξινόμησης (Βλέπε Εικόνα 98).

Ακολουθεί, η αξιολόγηση της ευστάθεια του δεύτερου επιπέδου, το οποίο αποτελεί και το τελικό επίπεδο ταξινόμησης.

Πίνακας 11: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του δεύτερου επιπέδου βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2003

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Bare soil (L2)	2855	0.7258276	0.3994915	0	1
Urban area (L2)	1527	0.7036256	0.4224876	0	1
Water bodies (L2)	9324	0.987	0.09595361533	0.02659076452	1
Roads (L2)	354	0.631	0.4338462	0	1
Industrial units (L2)	131	0.9917499	0.06644612156	0.4192308	1
Agricultural areas (L2)	3432	0.6695545	0.4112310	0	1
Forests (L2)	15521	0.9098931	0.1727925	0.001058757305	1
Shrubs - herbaceous vegetation (L2)	18340	0.8833256	0.2411213	0	1
Non-irrigated arable land (L2)	628	0.3217393	0.3861523	0	1

Στο δεύτερο επίπεδο που παρουσιάζει τις περισσότερες κατηγορίες είναι λογικό να παρατηρείται και μεγαλύτερη αστάθεια. Οι κατηγορίες “Agricultural areas (L2)” και “Non-arable irrigated land (L2)” εμφανίζονται ως οι λιγότερο ευσταθείς με μέσες τιμές 0.6695 και 0.3217 αντίστοιχα. Η σύγκριση των γεωργικών περιοχών με τις υπόλοιπες υπο-κατηγορίες της βλάστησης ήταν αναμενόμενη, καθώς η σωστή διάκρισή της είναι πολύ δύσκολη, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Το ίδιο ισχύει και για τις κατηγορίες “Roads (L2)”, “Bare soil (L2)” και “Urban area (L2)”, οι οποίες προβλήθηκαν από το τρίτο επίπεδο. Αυτό αποδεικνύεται και από τους χαμηλούς ελάχιστους βαθμούς συμμετοχής, γεγονός που σημαίνει ότι ναι μεν τα τμήματα πληρούσαν τα κριτήρια της κατηγορίας στην οποία ταξινομήθηκαν, αλλά

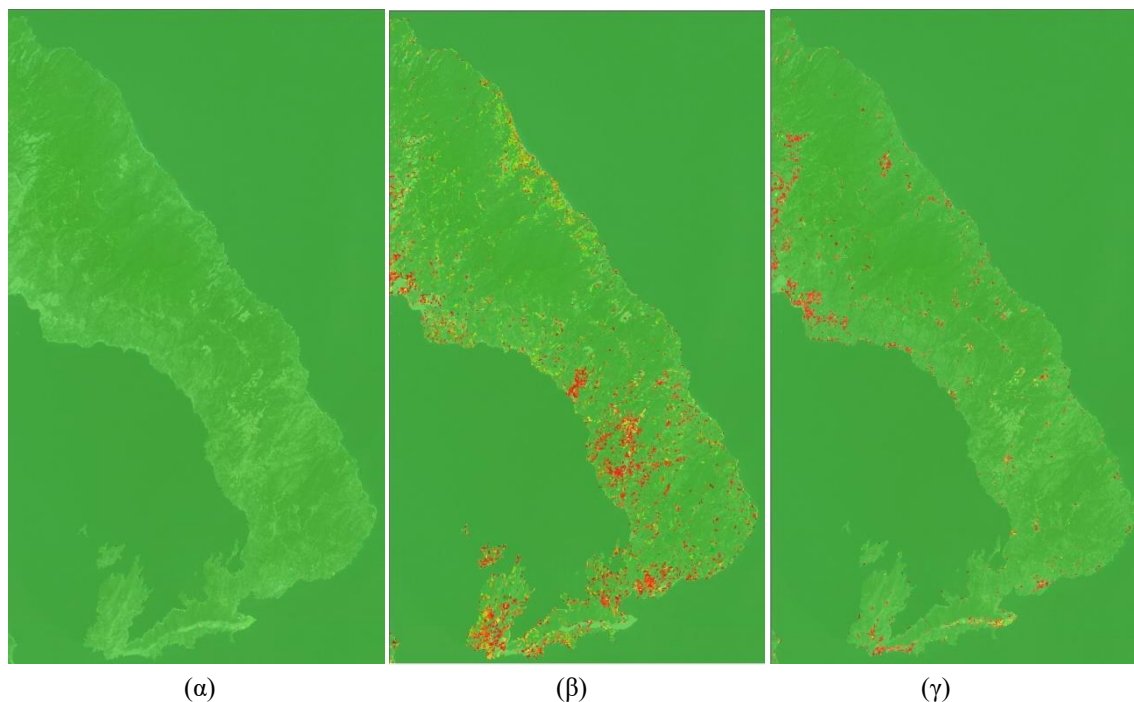
ταυτόχρονα κάποια αντικείμενα διεκδικούνται και από άλλες κατηγορίες. Τα προβλήματα της ευστάθειας των αποτελεσμάτων είναι εμφανή και στην γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης, που παρατίθεται παρακάτω (Βλέπε Εικόνα 98).

Τέλος, στο τρίτο επίπεδο, όπως και στο δεύτερο, παρατηρείται σύγχυση κάποιων κατηγοριών. Αναλυτικότερα, μικρότερη ευστάθεια εμφανίζει η κατηγορία της αστικής περιοχής, ενώ και η κατηγορία του άγονου εδάφους εμφανίζει διεκδίκηση από άλλες κατηγορίες. Άξιο προσοχής είναι το γεγονός ότι, δεν υπάρχει ούτε ένα τμήμα της κατηγορίας “Urban area (L3)” που να πληροί αποκλειστικά τα κριτήρια αυτής της κατηγορίας, αφού η μέγιστη διαφορά ανέρχεται σε 0.522. Η αστάθεια των συγκεκριμένων κατηγοριών οφείλεται στα παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά αυτών των θεματικών κατηγοριών. Επιπλέον, το γεγονός ότι ο αλγόριθμος ταξινόμησης έγινε και με δειγματοληψία, εξηγεί τα σφάλματα που προέκυψαν εξαιτίας των επικαλυπτόμενων φασματικών υπογραφών των δεδομένων εκπαίδευσης.

Πίνακας 12: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2003

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Vegetation (L3)	32161	0.991	0.08933566002	0	1
Water bodies (L3)	8979	0.9951674	0.06288474593	0.008571445942	1
Roads (L3)	291	0.9405529	0.23	0	1
Industrial units (L3)	112	0.7891296	0.228	5.24520874e-006	1
Urban area (L3)	1319	0.02226663577	0.05360344406	0	0.522
Bare soil (L3)	2415	0.3647194	0.438	0	1

Παρακάτω ακολουθεί η γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης της ευστάθειας των τριών επιπέδων για την απεικόνιση του 2003.



Εικόνα 98: Γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2003 (α) του πρώτου επιπέδου, (β) του δεύτερου επιπέδου και (γ) του τρίτου επιπέδου

4.1.2. Αξιολόγηση Ταξινομήσεων της Απεικόνισης του 2009

Τα αποτελέσματα της εκτίμησης της ευστάθειας για την τηλεπισκοπική απεικόνιση του 2009 είναι παρόμοια με αυτά της απεικόνισης του 2003. Συνεπώς, δεν θα πραγματοποιηθεί αναλυτική περιγραφή.

Πίνακας 13: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2009

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Water bodies (L1)	26332	0.9567374	0.117	0.0002775788307	1
Vegetation (L1)	147103	0.984	0.05424905384	0.00272372365	1
Impervious (L1)	20014	0.7356312	0.2918795	0.001454770565	1

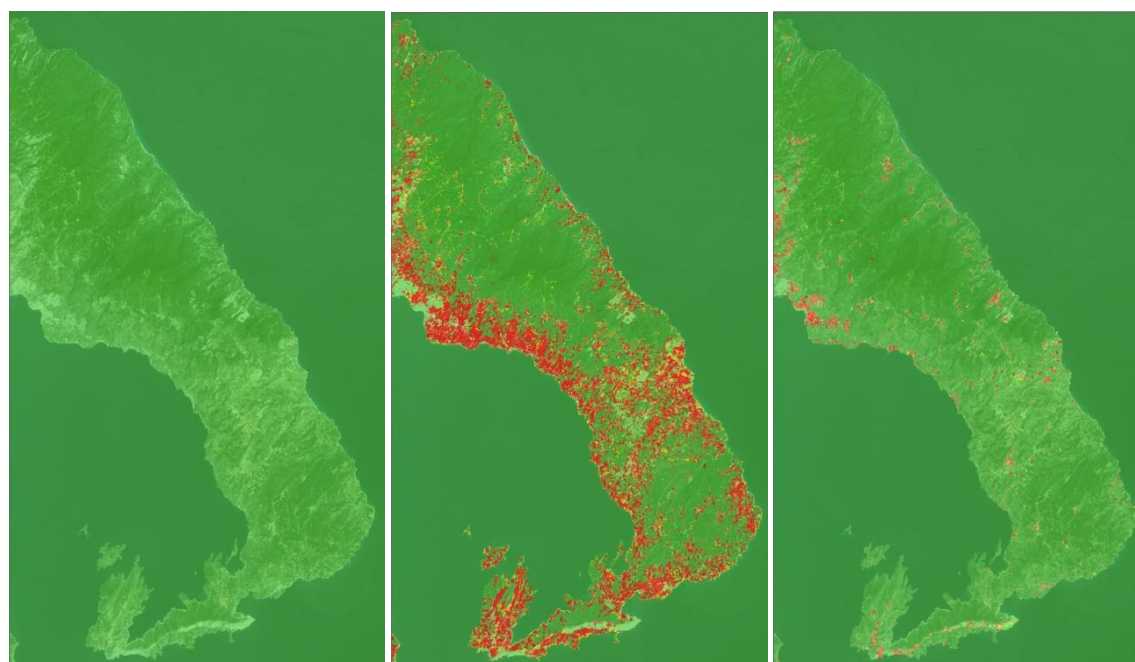
Πίνακας 14: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του δεύτερου επιπέδου βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2009

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Bare soil (L2)	2826	0.7147566	0.4126160	0	1
Urban area (L2)	1572	0.6784659	0.4393505	0	1
Water bodies (L2)	6201	0.9756492	0.14	0	1
Roads (L2)	302	0.6141017	0.4325488	0	1
Industrial units (L2)	118	0.9915254	0.06454045005	0.5	1
Agricultural areas (L2)	3162	0.03064308463	0.08496724289	0	0.5
Forests (L2)	12462	0.8614029	0.22	0	1
Shrubs - herbaceous vegetation (L2)	17365	0.5323739	0.4488465	0	1
Non-irrigated land (L2)	478	0.4694049	0.3848526	0	1

Πίνακας 15: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2009

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Vegetation (L3)	28461	0.9936553	0.07585269046	0	1
Water bodies (L3)	5831	0.996	0.05479446111	0.02454543114	1
Roads (L3)	255	0.9492966	0.2071023	0	1
Industrial units (L3)	96	0.6946433	0.2874680	0	1
Urban area (L3)	1335	0.02160813446	0.05442003378	0	0.5747336
Bare soil (L3)	2424	0.3782073	0.4233236	0	1

Από τους Πίνακες 12,13 και 14 προκύπτει ότι οι κατηγορίες που είναι ασταθείς είναι η “Impervious (L1)” του πρώτου επιπέδου, η “Agricultural areas (L2)”, η “Non-arable irrigated land (L2)” και η “Roads (L2)” του δεύτερου επιπέδου και η “Bare soil (L3)” και “Urban area (L3)” του τρίτου επιπέδου, για τους ίδιους ακριβώς λόγους που αναφέρθηκαν στο εδάφιο 4.1.1. Αξίζει να αναφερθεί ότι, στη συγκεκριμένη απεικόνιση οι ταξινομήσεις όλων των επιπέδων κρίθηκαν λιγότερο ευσταθείς συγκριτικά με τις ταξινομήσεις της εικόνας του 2003, όπως διαπιστώνεται από την αριθμητική και γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων.



(α)

(β)

(γ)

Εικόνα 99: Γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης βάσει της σταθερότητας ταξινόμησης της εικόνας του 2009 (α) του πρώτου επιπέδου, (β) του δευτέρου επιπέδου και (γ) του τρίτου επιπέδου

4.2. Αξιολόγηση Βάσει του Μεγαλύτερου Βαθμού Συμμετοχής (Best Classification Result)

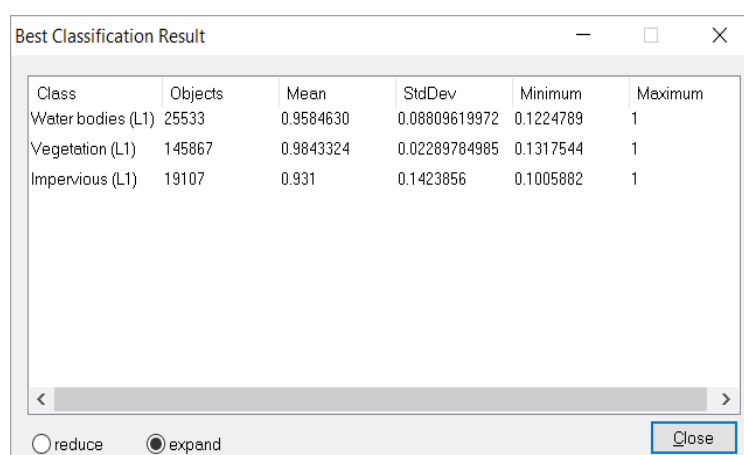
Μία εξίσου χρήσιμη μέθοδος αξιολόγησης των αποτελεσμάτων αποτελεί η διερεύνηση του κατά πόσο οι τιμές των μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής, βάσει των οποίων διαμορφώθηκε η τελική ταξινόμηση των αντικειμένων ήταν υψηλές. Βασική προϋπόθεση για να θεωρηθεί μία ταξινόμηση αξιόπιστη είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής για τα τμήματα της κάθε κατηγορίας. Όπως, στη μέθοδο της σταθερότητας της ταξινόμησης και σε αυτή τη περίπτωση, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για τα τρία επίπεδα ταξινόμησης και για τις δύο εικόνες έγινε με γραφική απεικόνιση αλλά και με τη μορφή πίνακα.

4.2.1. Αξιολόγηση Ταξινομήσεων της Απεικόνισης του 2003

Η μέση τιμή της κάθε κατηγορίας στον πίνακα που ακολουθεί αποτελεί τη μέση τιμή των βαθμών συμμετοχής των αντικειμένων που έχουν ταξινομηθεί σε αυτή.

Παρατηρείται ότι όλες οι κατηγορίες εμφανίζουν πολύ υψηλές μέσες τιμές και η ταξινόμηση θεωρείται αξιόπιστη. Η μέγιστη τιμή της μονάδας που εμφανίζεται σε όλες τις κατηγορίες υποδηλώνει πως τουλάχιστον ένα τμήμα ταξινομήθηκε στην αντίστοιχη κατηγορία με βαθμό συμμετοχής 100%. Από την άλλη μεριά, η ελάχιστη τιμή περίπου 0.1 υποδηλώνει ότι ο μικρότερος βαθμός συμμετοχής με τον οποίο ένα αντικείμενο ταξινομήθηκε στην αντίστοιχη κατηγορία ήταν 0.1, που δείχνει την ταξινόμηση κάποιων τμημάτων στις συγκεκριμένες κατηγορίες με μικρό βαθμό συμμετοχής σε αυτές.

Πίνακας 16: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2003



Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Water bodies (L1)	25533	0.9584630	0.08809619972	0.1224789	1
Vegetation (L1)	145867	0.9843324	0.02289784985	0.1317544	1
Impervious (L1)	19107	0.931	0.1423856	0.1005882	1

Στο δεύτερο επίπεδο παρόλο που πρόκειται για πιο σύνθετο επίπεδο παρατηρείται παρόμοια κατάσταση με το πρώτο, με τους βαθμούς συμμετοχής των αντικειμένων των κατηγοριών είτε να ισούνται με την μονάδα είτε να τη προσεγγίζουν. Οι ελάχιστες τιμές για όλες τις κατηγορίες ήταν υψηλές εκτός από τις κλάσεις “Water bodies (L2)”, “Shrubs-herbaceous vegetation (L2)”, “Agricultural areas (L2)” και “Non-arable irrigated land (L2)”. Οι κατηγορίες των αγροτικών περιοχών παρουσιάζουν αξιόπιστα αποτελέσματα, παρόλο που ως προς την ευστάθεια εμφάνισαν προβλήματα.

Πίνακας 17: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του δεύτερου επιπέδου βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2003

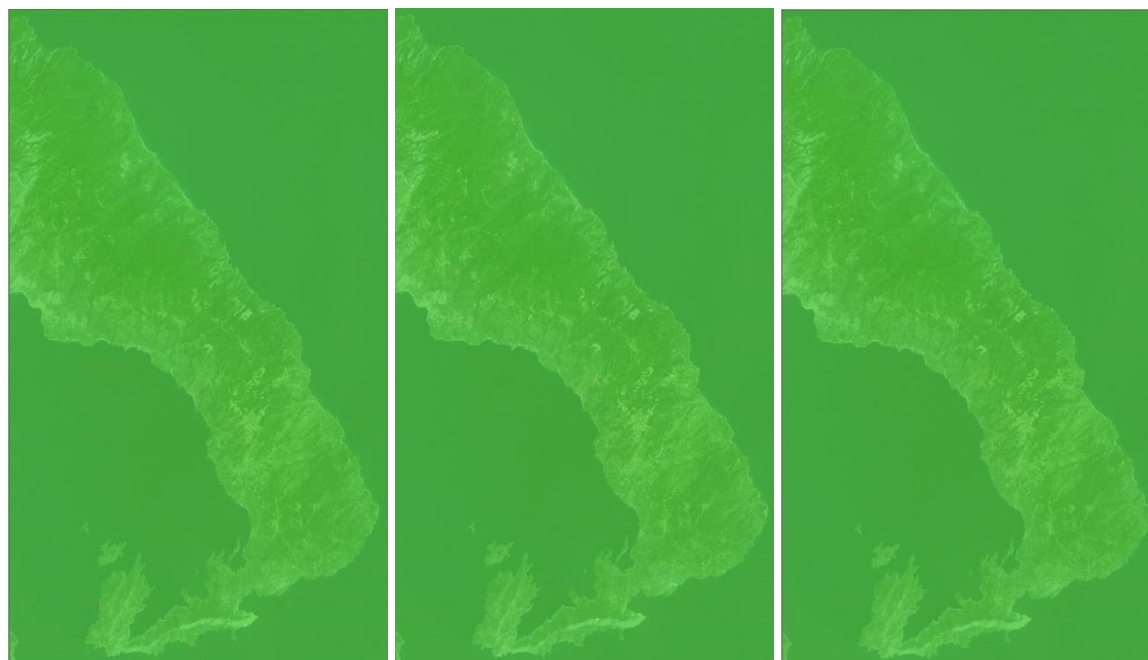
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Bare soil (L2)	2855	1	0	1	1
Urban area (L2)	1527	1	0	1	1
Water bodies (L2)	9324	0.9998411	0.00758531546	0.35	1
Roads (L2)	354	1	0	1	1
Industrial units (L2)	131	1	0	1	1
Agricultural areas (L2)	3432	0.9885818	0.04693151301	0.2136364	1
Forests (L2)	15521	0.9487172	0.07775819276	0.5	1
Shrubs - herbaceous vegetation (L2)	18340	0.9881027	0.043799209	0.35	1
Non-irrigated arable land (L2)	628	0.9865925	0.039046579	0.1623851	1

Τέλος, αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα δόθηκαν και για το τρίτο επίπεδο, καθώς η μέση τιμή του βαθμού συμμετοχής των αντικειμένων όλων των κατηγοριών είναι αρκετά υψηλή. Επίσης, αρκετά υψηλές είναι και οι ελάχιστες τιμές με μοναδική εξαίρεση την κατηγορία του άγονου εδάφους (0.5), το οποίο σημαίνει ότι ένα τουλάχιστον αντικείμενο ταξινομήθηκε σε αυτήν την κατηγορία με βαθμό συμμετοχής 0.5. Οι μέγιστες τιμές είναι όλες ίσες με τη μονάδα.

Πίνακας 18: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2003

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Vegetation (L3)	32161	1	0.0001891922673	0.97	1
Water bodies (L3)	8979	1	0.0003165794131	0.97	1
Roads (L3)	291	1	0	1	1
Industrial units (L3)	112	1	0	1	1
Urban area (L3)	1319	0.9948032	0.0121506235	0.8254005	1
Bare soil (L3)	2415	0.9868281	0.03249597661	0.5093003	1

Παρακάτω ακολουθεί η γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης της αξιοπιστίας των τριών επιπέδων για την εικόνα του 2003.



(α)

(β)

(γ)

Εικόνα 100: Γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2003 (α) του πρώτου επιπέδου, (β) του δεύτερου επιπέδου και (γ) του τρίτου επιπέδου

4.2.2. Αξιολόγηση Ταξινομήσεων της Απεικόνισης του 2009

Όπως και στην αξιολόγηση βάσει της σταθερότητας της ταξινόμησης έτσι και στην αξιολόγηση βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής, τα αποτελέσματα της εκτίμησης της αξιοπιστίας για την τηλεπισκοπική απεικόνιση του 2009 είναι παρόμοια με αυτά της απεικόνισης του 2003, επομένως, δεν θα πραγματοποιηθεί αναλυτική περιγραφή.

Πίνακας 19: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του πρώτου επιπέδου βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2009

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Water bodies (L1)	26332	0.969	0.07000259424	0.1378481	1
Vegetation (L1)	147103	0.991	0.01959246265	0.1317544	1
Impervious (L1)	20014	0.9493002	0.1217241	0.1005882	1

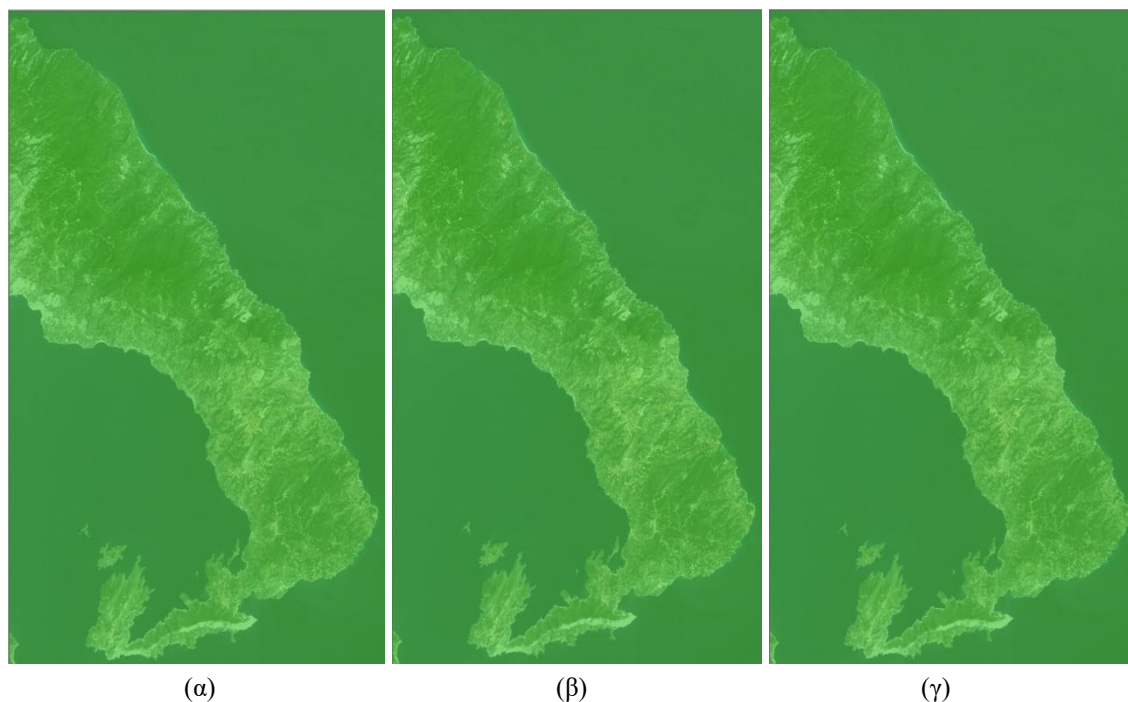
Πίνακας 20: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του δευτέρου επιπέδου βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2009

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Bare soil (L2)	2826	1	0	1	1
Urban area (L2)	1572	1	0	1	1
Water bodies (L2)	6201	0.9997340	0.009502533826	0.35	1
Roads (L2)	302	1	0	1	1
Industrial units (L2)	118	1	0	1	1
Agricultural areas (L2)	3162	0.9932227	0.03735954236	0.1373684	1
Forests (L2)	12462	0.9252732	0.1012183	0.5	1
Shrubs - herbaceous vegetation (L2)	17365	0.9861531	0.05311000403	0.1236673	1
Non-irrigated land (L2)	478	0.9858455	0.04239593821	0.15	1

Πίνακας 21: Αριθμητική απεικόνιση της αξιολόγησης του τρίτου επιπέδου βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2009

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Vegetation (L3)	28461	1	0.0001521304387	0.9754546	1
Water bodies (L3)	5831	1	0	1	1
Roads (L3)	255	1	0	1	1
Industrial units (L3)	96	1	0	1	1
Urban area (L3)	1335	0.996	0.01244339365	0.8334848	1
Bare soil (L3)	2424	0.9894837	0.02496992598	0.6336964	1

Από τους Πίνακες 18, 19 και 20 προκύπτει ότι όλες οι κατηγορίες κρίνονται αξιόπιστες με αρκετά υψηλές μέσες τιμές, οι οποίες προσεγγίζουν την μονάδα. Αξίζει να αναφερθεί ότι, στη συγκεκριμένη απεικόνιση οι ταξινομήσεις όλων των επιπέδων κρίθηκαν πιο αξιόπιστες συγκριτικά με τις ταξινομήσεις της εικόνας του 2003, όπως διαπιστώνεται από την αριθμητική και γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 101: Γραφική απεικόνιση της αξιολόγησης βάσει του μεγαλύτερου βαθμού συμμετοχής της εικόνας του 2009 (α) του πρώτου επιπέδου, (β) του δεύτερου επιπέδου και (γ) του τρίτου επιπέδου

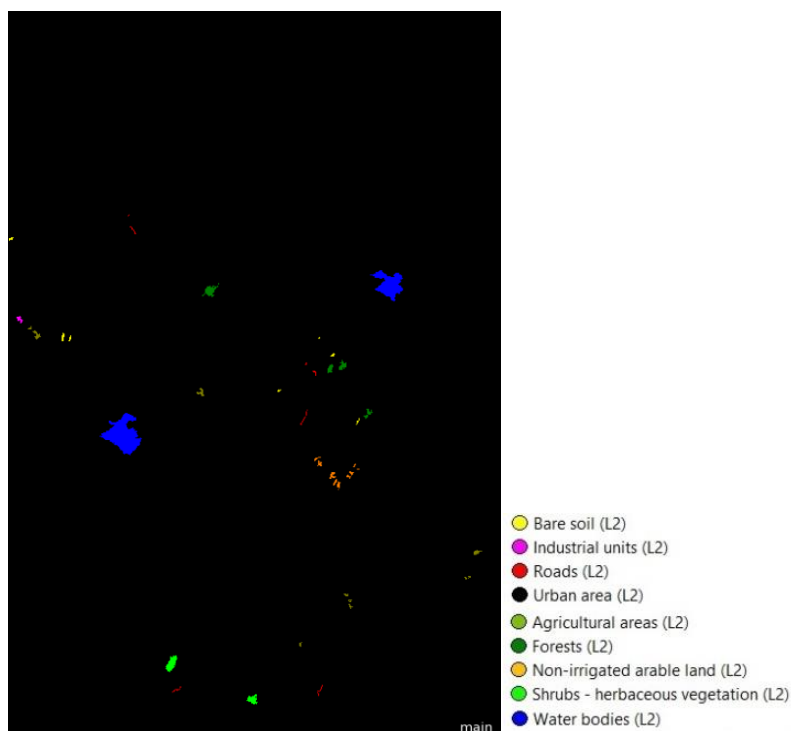
4.3. Αξιολόγηση Βάσει Δεδομένων Ελέγχου (Πίνακας Σύγκυσης)

Η αξιολόγηση μιας ταξινόμησης με τη χρήση δεδομένων ελέγχου και τη δημιουργία Πίνακα Σύγκυσης εξασφαλίζει την πιο ολοκληρωμένη εκτίμηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης. Για αυτό το λόγο κρίθηκε σκόπιμο το δεύτερο επίπεδο ταξινόμησης να αξιολογηθεί και με αυτή τη μέθοδο, καθώς τα αποτελέσματά του θα επηρέαζαν σε σημαντικό βαθμό τα αποτελέσματα της ανίχνευσης των μεταβολών των χρήσεων γης.

Βασικό βήμα για τη δημιουργία τον Πίνακα Σύγκυσης είναι η επιλογή των κατάλληλων περιοχών ελέγχου, οι οποίες είναι ανεξάρτητες της ταξινόμησης και αντιπροσωπεύουν αληθή δεδομένα. Οι περιοχές ελέγχου θα συγκριθούν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της αυτόματης διαδικασίας της ταξινόμησης και θα προκύψουν σφάλματα παράλειψης (αποκλεισμού) της ταξινόμησης και σφάλματα συμπερίληψης. Πιο συγκεκριμένα, τα σφάλματα παράλειψης αφορούν τις ακρίβειες του παραγωγού (Producer), οι οποίες δείχνουν πόσο καλά ταξινομούνται τα αντικείμενα του δείγματος ελέγχου της δεδομένης κατηγορίας κάλυψης γης, ενώ τα σφάλματα συμπερίληψης (User), αφορούν τις ακρίβειες της ταξινόμησης του χρήστη.

4.3.1. Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων της Απεικόνισης του 2003

Όπως προαναφέρθηκε, Πίνακας Σύγκυσης δημιουργήθηκε μόνο για το δεύτερο επίπεδο ταξινόμησης της τηλεπισκοπικής απεικόνισης του 2003. Αρχικά, επιλέχθηκαν 25 δείγματα ελέγχου, σύμφωνα με τις γνώσεις της περιοχής, σε ένα καινούργιο “project”, τα οποία αντιπροσώπευαν αληθή δεδομένα (Βλέπε Εικόνα 102).



Εικόνα 102: Δείγματα ελέγχου της απεικόνισης του 2003

Τα δείγματα αυτά αποθηκεύτηκαν σε μορφή αρχείου και η δοκιμαστική επιφάνεια που δημιουργήθηκε “TTA Mask” προστέθηκε στο αρχείο της ταξινόμησης. Με αυτό τον τρόπο ήταν δυνατή η δημιουργία του Πίνακα Σύγκυσης με την εφαρμογή της εντολής “Error Matrix Based Samples”, ο οποίος παρατίθεται παρακάτω.

Πίνακας 22: Πίνακας Σύγχυσης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2003

User Class \ ...	Forests (L2)	Agricultural a...	Non-arable ir...	Shrubs-herb...	Water bodie...	Industrial unit...	Roads (L2)	Bare soil (L2)	Urban area (...)	Sum
Confusion M...										
Forests (L2)	24	0	0	0	0	0	5	0	0	29
Agricultural are...	0	18	4	3	0	0	0	0	0	25
Non-arable irri...	0	0	15	0	0	0	0	0	0	15
Shrubs-herbac...1	7	0	0	22	0	0	5	0	0	35
Water bodies (...)	0	0	0	0	25	0	0	0	0	25
Industrial units ...	0	0	1	0	0	22	0	0	0	23
Roads (L2)	0	0	0	0	0	0	15	0	0	15
Bare soil (L2)	0	0	5	0	0	2	0	23	6	36
Urban area (L2)	0	0	0	0	0	1	0	2	19	22
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Accuracy										
Producer	0.96	0.72	0.6	0.88	1	0.88	0.6	0.92	0.76	
User	0.8275862	0.72	1	0.6285714	1	0.9565217	1	0.6388889	0.8636364	
Hellden	0.8888889	0.72	0.75	0.7333333	1	0.9166667	0.75	0.754	0.8085106	
Short	0.8	0.5625000	0.6	0.579	1	0.8461538	0.6	0.6052632	0.6785714	
KIA Per Class	0.954	0.685	0.5714286	0.8578947	1	0.8663366	0.5714286	0.9047619	0.734	
Totals										
Overall Acc...	0.8133333									
KIA	0.79									

Τα τμήματα που επιλέχθηκαν ως περιοχές ελέγχου, και τα οποία ταξινομήθηκαν ορθά στις κατάλληλες κατηγορίες κάλυψης γης, βρίσκονται πάνω στη κύρια διαγώνιο του τετραγωνικού Πίνακα Σύγχυσης. Τα υπόλοιπα αντικείμενα αντιπροσωπεύουν τα σφάλματα παράλειψης της ταξινόμησης, τα οποία αντιστοιχούν στα μη διαγώνια στοιχεία των στηλών του πίνακα, και τα σφάλματα συμπερίληψης, τα οποία αντιστοιχούν στα μη διαγώνια στοιχεία των γραμμών του πίνακα.

Αναλυτικότερα, παρατηρείται ότι σχεδόν όλες οι θεματικές κατηγορίες παρουσιάζουν υψηλές τιμές ακρίβειας του παραγωγού (Producer) εκτός από τις κατηγορίες της μη-αρδευόμενης αρόσιμης γης και του οδικού δικτύου, οι οποίες εμφανίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό σφάλματα παράλειψης. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι 25 δείγματα ελέγχου έπρεπε να ταξινομηθούν ως δρόμοι, όμως μόλις 15 ταξινομήθηκαν σε αυτή τη κατηγορία και έχουν αποκλειστεί 10 δεδομένα, από τα οποία 5 ταξινομήθηκαν στη κατηγορία “Forests (L2)” και τα υπόλοιπα 5 στην κατηγορία “Shrubs-herbaceous vegetation (L2)”. Επομένως, η ακρίβεια του παραγωγού για την συγκεκριμένη κατηγορία, ανέρχεται περίπου στο 60%.

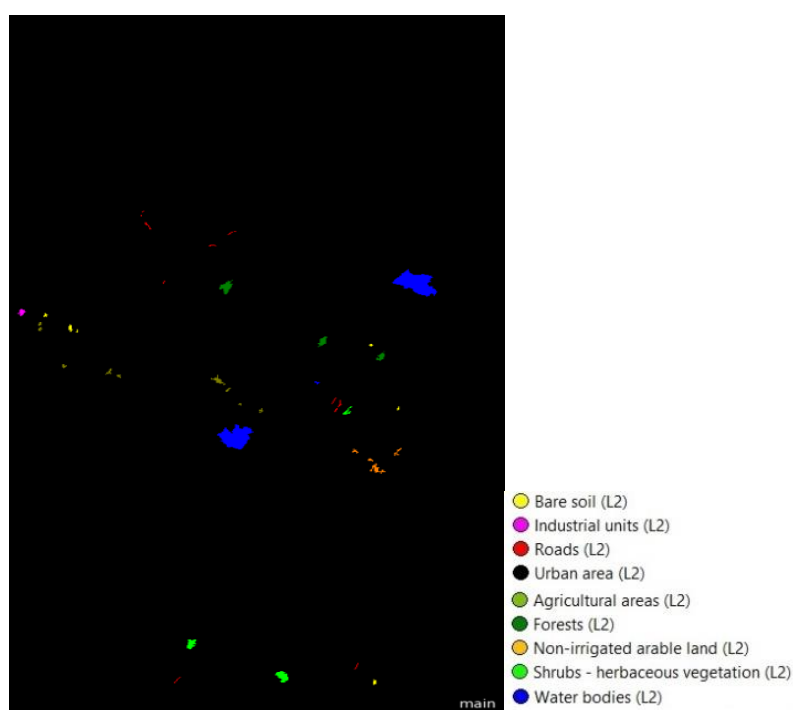
Σχετικά με τις ακρίβειες ταξινόμησης του χρήστη (User) διαπιστώνεται ότι όλες οι κατηγορίες χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακρίβεια, εκτός από τις κατηγορίες “Bare soil (L2)” και “Shrubs-herbaceous vegetation (L2)”, το ποσοστό των οποίων είναι γύρω στο 60%.

Σε γενικές γραμμές συμπεραίνεται ότι, σφάλματα παρουσιάζουν κυρίως οι κατηγορίες των αγροτικών περιοχών, του οδικού δικτύου και της αστικής περιοχής, κάτι το οποίο θεωρείται αναμενόμενο διότι, οι κατηγορίες αυτές έχουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές με άλλες κατηγορίες και έτσι είναι πολύ δύσκολος έως και ακατόρθωτος ο σωστός και ολοκληρωτικός διαχωρισμός τους.

Τέλος, η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης (Overall accuracy) έλαβε τιμή περίπου 81.33% και κρίνεται αρκετά ικανοποιητική, ενώ και ο δείκτης ΚΙΑ (Kappa index of agreement) πήρε τιμή 0.79. Πρέπει να αναφερθεί ότι, οι τιμές του δείκτη ΚΙΑ κυμαίνονται από το 0 έως το 1, με το 1 να είναι η μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια (Silva et al. 2000).

4.3.2. Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων της Απεικόνισης του 2009

Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθήθηκε και για την ψηφιακή απεικόνιση του 2009, δηλαδή η επιλογή 25 δεδομένων ελέγχου, τα οποία αντιπροσώπευαν αληθή γεγονότα και η δημιουργία Πίνακα Σύγκυσης με βάση αυτά τα δείγματα για το δεύτερο επίπεδο ταξινόμησης, με την εφαρμογή της εντολής “Error Matrix Based Samples” (Βλέπε Εικόνα 103).



Εικόνα 103: Δείγματα ελέγχου της απεικόνισης του 2009

Παρατηρώντας τον Πίνακα Σύγχυσης, ο οποίος παρατίθεται παρακάτω, διαπιστώνεται η ικανοποιητική ακρίβεια και αυτής της ταξινόμησης με συνολική ακρίβεια περίπου 83.55% και τιμή στον δείκτη ΚΙΑ 0.815. Η συγκεκριμένη ταξινόμηση κρίνεται πιο ακριβής σε σχέση με την ταξινόμηση της εικόνας του 2003, γεγονός που είχε διαπιστωθεί και κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της ταξινόμησης. Παρόμοιες τιμές εμφανίζουν και ως προς την ακρίβεια του παραγωγού και του χρήστη, με κύρια διαφορά τα λιγότερα σφάλματα παράλειψης για την κατηγορία “Non-arable irrigated land (L2)”, με ποσοστό ακρίβειας του παραγωγού 76%, σε αντίθεση με το 60% που εμφάνιζε για την απεικόνιση του 2003.

Πίνακας 23: Πίνακας Σύγχυσης για το δεύτερο επίπεδο της απεικόνισης του 2009

User Class \...	Forests (L2)	Agricultural a...	Non-arable ir...	Shrubs-herb...	Water bodie...	Industrial unit...	Roads (L2)	Bare soil (L2)	Urban area (...)	Sum
Confusion M...										
Forests (L2)	23	3	0	0	0	0	5	0	0	31
Agricultural are... 0	18	2	2	0	0	0	0	0	2	24
Non-arable irri... 0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	19
Shrubs-herbac... 2	4	0	23	0	0	0	4	0	0	33
Water bodies (... 0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	25
Industrial units ... 0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	23
Roads (L2)	0	0	0	0	0	16	0	0	0	16
Bare soil (L2)	0	0	4	0	0	2	0	23	5	34
Urban area (L2) 0	0	0	0	0	0	0	2	18	18	20
Unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Accuracy										
Producer	0.92	0.72	0.76	0.92	1	0.92	0.64	0.92	0.72	
User	0.742	0.75	1	0.697	1	1	1	0.6764706	0.9	
HeilDen	0.8214286	0.7346939	0.8636364	0.7931034	1	0.9583333	0.7804878	0.7796610	0.8	
Short	0.697	0.5806452	0.76	0.6571429	1	0.92	0.64	0.6388889	0.6666667	
KIA Per Class	0.9072165	0.6885672	0.7378641	0.9062500	1	0.9108911	0.6124402	0.9057592	0.6826829	
Totals										
Overall Acc...	0.8355556									
KIA	0.815									

5. Συμπεράσματα - Προοπτικές

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής, είναι η διερεύνηση της διαχρονικής εξέλιξης των χρήσεων γης στην ορεινή περιοχή του Πηλίου, έτσι ώστε να παρουσιαστεί μία βάση γνώσεων, που θα παρέχει πολύτιμα δεδομένα για τη συγκεκριμένη περιοχή και θα βοηθήσει να εντοπιστεί η πραγματοποίηση ή μη αναπτυξιακών κινήσεων αλλά και ο βαθμός που έχει διαφυλαχτεί το πλούσιο και ιδιαίτερο περιβάλλον. Για την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι ανίχνευσης μεταβολών συγκρίνοντας δύο τηλεπισκοπικές απεικονίσεις από τον δορυφόρο Landsat 5 TM, οι οποίες είχαν ταξινομηθεί πρώτα σε αντικειμενοστραφές περιβάλλον. Κατά τη διαδικασία εκπόνησης της εργασίας προέκυψαν κάποια βασικά συμπεράσματα, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Η εμφάνιση του eCognition έθεσε νέες βάσεις στη χαρτογράφηση χρήσεων/καλύψεων γης, κυρίως λόγω της νέας προσέγγισης που συνολικά διέπει το λογισμικό και των απεριόριστων δυνατοτήτων που προσφέρει. Η αντικειμενοστραφής ανάλυση δορυφορικών δεδομένων υπερτερεί έναντι της ανάλυσης βάσει μεμονωμένων εικονοστοιχείων, καθώς δίνει τη δυνατότητα της ταυτόχρονης επεξεργασίας χωρικών, μορφολογικών και φασματικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων χρησιμοποιώντας σχέσεις ιεραρχίας και γειτνίασης μεταξύ τους. Βασικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης προσέγγισης αποτελεί η εισαγωγή των χωρικών σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων, διότι με αυτό τον τρόπο και σε συνδυασμό με τη δυνατότητα της ταυτόχρονης διαχείρισης πολλών τύπων δεδομένων, επιτυγχάνεται ευελιξία σε όλες τις διαδικασίες και πιο ακριβής και αξιόπιστη ταξινόμηση των εικόνων.
2. Η αντικειμενοστραφής μέθοδος σε εικόνες μεσαίας χωρικής ανάλυσης, όπως οι εικόνες Landsat, εμφανίζει ένα βασικό μειονέκτημα που αφορά στον εντοπισμό των αστικών περιοχών, του οδικού δικτύου και των γεωργικών περιοχών. Στην περίπτωση των ορεινών περιοχών, όπως το Πήλιο, που χαρακτηρίζονται από κατακερματισμένο αγροτικό κλήρο, από άναρχη δόμηση των οικισμών και από δρόμους μικρού πλάτους, των οποίων ορισμένη έκτασή τους καλύπτεται από

βλάστηση, το συγκεκριμένο πρόβλημα γίνεται εντονότερο. Συνεπώς, η χαμηλή διακριτική ικανότητα των εικόνων Landsat σε συνδυασμό με τις παρόμοιες φασματικές υπογραφές αυτών των θεματικών κατηγοριών καθιστούν σχεδόν αδύνατη τη σωστή διάκρισή τους και κατά συνέπεια μειώθηκε η ακρίβεια της ταξινόμησης.

3. Η ανίχνευση μεταβολών (Change detection) έχει μεγάλη συμβολή στην ταχεία αναγνώριση διαφορών σε αντικείμενα και φαινόμενα, που παρατηρούνται μέσα από διαχρονικές εικόνες της ίδιας περιοχής. Στις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι ανίχνευσης μεταβολών, με αρκετά πλεονεκτήματα αλλά και κάποια μειονεκτήματα η κάθε μία, οι οποίες όμως προσφέρουν πολύτιμα δεδομένα, ανεξαρτήτως των περιορισμών τους. Στη συγκεκριμένη διπλωματική επιλέχτηκε η μέθοδος της σύγκρισης των ταξινομήσεων των δύο δορυφορικών απεικονίσεων με τη δημιουργία Πίνακα Ανίχνευσης Μεταβολών (ΠΑΜ), ενώ χρησιμοποιήθηκε και η μέθοδος της επίθεσης εικόνων κυρίως για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων. Η επιλογή της μεθόδου αυτής έγινε διότι, παρέχει ολοκληρωμένα δεδομένα για το μέγεθος αλλά και για το είδος των μεταβολών και επιπλέον αποφεύγεται ο κίνδυνος του λανθασμένου καθορισμού τιμών κατωφλίσωσης, λόγω της υποκειμενικότητας του χρήστη. Βέβαια, η ακρίβειά της έγκειται σε λεπτομέρειες και είναι άμεσα εξαρτημένη από την ακρίβεια των συγκρινόμενων ταξινομήσεων, που στη συγκεκριμένη περίπτωση εμφάνισαν σφάλματα, όπως προαναφέρθηκε. Παρ' όλες τις δυσκολίες όμως, η μέθοδος της ανίχνευσης μεταβολών απέδωσε κάποια χρήσιμα και αξιόπιστα αποτελέσματα.
4. Τέλος, μετά την ανίχνευση μεταβολών των χρήσεων γης του Πηλίου που αποτελεί την περιοχή μελέτης, το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι, δεν έχουν υπάρξει σημαντικές μεταβολές σχετικά με τις καλύψεις γης, παρά μόνο η δημιουργία ενός φράγματος στην περιοχή Παναγιώτικο και κάποιων δρόμων και η μείωση της δασικής βλάστησης στο κεντρικό Πήλιο εξαιτίας της πυρκαγιάς που ξέσπασε το 2007. Το γεγονός αυτός αποδεικνύει την έλλειψη αναπτυξιακής πολιτικής και την ανυπαρξία μέτρων προστασίας και διαφύλαξης του ιδιαίτερου και ευάλωτου φυσικού περιβάλλοντος, αλλά και το γενικότερο πρόβλημα υποτίμησης που αντιμετωπίζει ο ορεινός χώρος στην Ελλάδα.

5.1. Προοπτικές

Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε το εγχείρημα της ανάπτυξης μιας βάσης γνώσης για την ανίχνευση των μεταβολών στις χρήσεις/καλύψεις γης στις ορεινές περιοχές. Παρά τη προσπάθεια υπήρξαν κάποιοι περιορισμοί, που προκάλεσαν σφάλματα στη διαδικασία της ταξινόμησης, τα οποία επηρέασαν με τη σειρά τους την ακρίβεια του αποτελέσματος της ανίχνευσης. Οι περιορισμοί αυτοί σχετίζονται κυρίως με τη χαμηλή διακριτική ικανότητα των τηλεπισκοπικών ψηφιακών απεικονίσεων Landsat. Συνεπώς, με την αξιοποίηση καταλληλότερων δορυφορικών δεδομένων μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης τα αποτελέσματα θα είναι σαφέστερα πιο ακριβή και πιο αξιόπιστα. Η χρήση για παράδειγμα τηλεπισκοπικών απεικονίσεων που προέρχονται από το δορυφόρο Sentinel, χωρικής διακριτικής ικανότητας 10 m., θα συνέβαλε σε σημαντικό βαθμό στη μείωση των υφιστάμενων σφαλμάτων, αλλά δυστυχώς η πρόσφατη έναρξη της λειτουργίας του (τον Απρίλιο του 2014 τέθηκε σε τροχιά) καθιστά προς το παρόν αδύνατη τη διαχρονική ανίχνευση μεταβολών. Βέβαια, απεικονίσεις ίδιας χωρικής ανάλυσης μπορεί να παρέχει και ο δορυφόρος SPOT, με βασικό μειονέκτημα τη μη δωρεάν διάθεση των δεδομένων του.

Επιπροσθέτως, κρίνεται μεγάλης σημασίας η συνδυαστική χρήση των δορυφορικών δεδομένων με άλλα δεδομένα όπως, δημογραφικά στοιχεία, δεδομένα υψομέτρων (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και Ψηφιακό Μοντέλο Κλίσεων), γεωγραφικά και φυσιογραφικά στοιχεία των καλλιεργειών, χάρτες πολεοδομικοί, του δικτύου NATURA 2000 και των ζωνών περιβαλλοντικής προστασίας, καθώς και οι κατάλληλοι και ορθολογικά χωρικά και χρονικά διαρθρωμένοι επίγειοι έλεγχοι. Ο συνδυασμός των παραπάνω πληροφοριών μπορούν να δημιουργήσουν μια κοινή βάση δεδομένων και η συχνή ενημέρωσή τους θα οδηγήσει σε μια συστηματική και οργανωμένη παρακολούθηση και διερεύνηση της εξέλιξης των διάφορων περιοχών ενδιαφέροντος.

Βέβαια, η διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών μπορεί να δώσει πληρέστερα και καλύτερα αποτελέσματα εάν πραγματοποιηθεί από μια διεπιστημονική ομάδα μελέτης, η οποία θα αποτελείται από έμπειρους επιστήμονες και μηχανικούς σε τομείς όπως τοπογραφία, πολεοδομία, χωροταξία, γεωπονία, γεωλογία, οικονομία κ.λπ.

Εν κατακλείδι, να αναφερθεί ότι, η ουσιαστικότερη συμβολή της παρούσας διπλωματικής είναι ότι, τέθηκαν οι βάσεις για την περαιτέρω ανάλυση και διερεύνηση του θέματος. Άλλωστε ένας από τους κυριότερους σκοπούς κάθε έρευνας είναι να δώσει η ίδια έναυσμα και ερέθισμα για περαιτέρω έρευνα.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αγαθαγγέλου, Μ. (2008). *Σύγκριση παραδοσιακών και Αντικειμενοστραφών τεχνικών Τηλεπισκόπησης, κάλυψης-χρήσης γης από τηλεπισκοπικά δεδομένα QUICKBIRD στην επαρχία Πάφου*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Αϊναλή, Α. (2012). *Σύγκριση δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης IKONOS και WorldView2 στην ταξινόμηση τύπων βλάστησης με την ανάπτυξη Αντικειμενοστραφούς ανάλυσης: Εφαρμογή στην περιοχή Άνω Καλαμά του Δήμου Πωγωνίου*. Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Αργιαλάς, Δ. (1998). *Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος "Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση"*, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Αργιαλάς, Δ. (1999). *Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος "Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση"*, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Αργιαλάς, Δ. και Τζώτσος, Α. (2002). "Η συμβολή του eCognition στην χαρτογράφηση γεωμορφολογικών σχηματισμών από Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους", Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 28 Φεβρουαρίου και 1 Μαρτίου 2002, CD-ROM πρακτικών συνεδρίου, σελ. 15.
- Βατούγιου, Σ. (2014). *Συγκριτική διερεύνηση φασματικών χαρακτηριστικών του Landsat 5 TM και Landsat 8 OLI/TIRS με επιβλεπόμενη και αντικειμενοστραφή ταξινόμηση*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Διαμαντοπούλου, Γ. (2013). *Μέθοδος επιλογής καναλιών για τη βελτιστοποίηση της εξαγωγής καθαρών φασματικών στόχων και της ακρίβειας της ταξινόμησης*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Θέμελης, Α. (2010). *Ταξινόμηση αστικού χώρου με χρήση Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Καλιαμπάκος, Δ. (2013). "Οι Ορεινές Περιοχές στην μέγγενη της κρίσης: Που μπορεί να στηριχτεί μία αναγεννητική πορεία;" Ομιλία στο 7ο Διεπιστημονικό – Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και του ΜΕ.Κ.Δ.Ε του Ε.Μ.Π. "Η Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη στην Ελλάδα στα χρόνια

- της Πολυδιάστατης Κρίσης. Αιτίες, Ευθύνες, Προτάσεις, Μέτρα, Δράσεις και Προοπτικές", Μέτσοβο, 12-15 Σεπτεμβρίου 2013.
- Καραγιάννης, Γ. (2008). *Ανίχνευση μεταβολών κτηρίων περιαστικό χώρο από εικόνες QUICKBIRD με Αντικειμενοστραφής διαδικασία στο λογισμικό ERDAS IMAGINE OBJECTIVE*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Καραλής, Α. (2008). *Διερεύνηση μεθόδων ανίχνευσης μεταβολών μέσω τηλεπισκοπικών δεδομένων IKONOS για την αναθεώρηση του οδικού δικτύου*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Καρτάλης, Κ. και Φειδάς, Χ. (2007). *Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης*. Αθήνα: Β. Γκιούρδας Εκδοτική.
- Κολοκούσης, Π., Ανδρόνης, Β., Ιωσηφίδης, Χ., Βασίλη-Βασιλείου, Κ. και Ρόκος, Δ. (2007). "Δημιουργία χαρτών χρήσεων γης και των διαχρονικών μεταβολών τους για την Περιφέρεια Ηπείρου με ολοκλήρωση των δυνατοτήτων των τηλεπισκοπικών μεθόδων και τεχνικών. Συμβολή της Τηλεπισκόπησης στην υποδομή της Περιφερειακής Ανάπτυξης", Πρακτικά του 4ου Διεπιστημονικού Διαπανεπιστημιακού Συνεδρίου του Ε.Μ.Π. "Η Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη της Ηπείρου", (Μέτσοβο, 23-26 Σεπτεμβρίου 2004), Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Κουβάτας, Σ. (2012). *Ιστορική και Πολεοδομική Εξέλιξη του Πηλίου*. Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Μακρή, Α. (2012). *Διαχείριση Υδάτινων Πόρων – Φράγμα Παναγιώτικο*. Διπλωματική εργασία, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- Μαλλίνης, Ε. (2006). *Αξιολόγηση της δυνατότητας χρησιμοποίησης δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ευκρίνειας και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών στα πλαίσια σύνταξης του δασολογίου*. Διδακτορική διατριβή, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Μαραγκουδάκης, Α. (2014). *Ανίχνευση και εξαγωγή των αδιαπέραστων επιφανειών με ανάπτυξη βάσης γνώσης σε περιβάλλον Αντικειμενοστραφούς ανάλυσης ψηφιακών τηλεπισκοπικών δεδομένων*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Μαρουδάκης, Κ. (2010) *Διερεύνηση των Προοπτικών για μια Βιώσιμη Τουριστική Ανάπτυξη του Δήμου Ζαγοράς, Ανατολικού Πηλίου*. Διπλωματική εργασία, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Μελέτη Τουριστικής Ανάπτυξης Περιφέρειας Θεσσαλίας Β' Φάση. Προτάσεις για τη Στρατηγική Τουριστικής Ανάπτυξης. (2003). Διαθέσιμο:http://www.gnto.gov.gr/sites/default/files/files_basic_pages/meleti_B_fasi_sterea_thessalia.pdf [Ημερομηνία πρόσβασης: 3/5/2016].

- Μιχαηλίδου, Ε. και Ρόκος, Δ. (2004). "Πολιτική γης για την Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη των ορεινών περιοχών στους τομείς της γεωργίας, κτηνοτροφίας και δασοπονίας", Πρακτικά 3ο Διεπιστημονικό Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο Μετσόβου "Η Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη στις Ορεινές Περιοχές, Θεωρία και Πράξη", Μέτσοβο, 7-10 Ιουνίου 2001, σελ. 209-250.
- Μιχαηλίδου, Σ. (2011). *Αυτόματη ανίχνευση μεταβολών κτισμάτων στο περιαστικό χώρο από δορυφορικές απεικονίσεις πολύ υψηλής διακριτικής ικανότητας μέσω ανάπτυξης ασαφούς βάσης γνώσης σε Αντικειμενοστραφές περιβάλλον ανάλυσης εικόνων*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Μπουλούγαρη, Ε. (2010). *Ανάπτυξη βάσης γνώσης σε περιβάλλον Αντικειμενοστραφούς ανάλυσης ψηφιακών τηλεπισκοπικών δεδομένων με σκοπό την αυτόματη αναγνώριση υδάτινων μαζών*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Παναγιωτίδης, Γ. (2013). *Αποδελτίωση και συστηματοποίηση κανόνων αντικειμενοστραφούς ανάλυσης δορυφορικών εικόνων πολύ υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας για τυπικές κατηγορίες χρήσεων/καλύψεων γης*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Παπαγεωργίου, Μ. (2007). *Χαρτογράφηση χρήσης & κάλυψη γης αγροτικής περιοχής της Πάφου με μεθόδους & τεχνικές Αντικειμενοστραφούς ανάλυσης τηλεπισκοπικών δεδομένων QUICKBIRD*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Παπαδημάτου, Α. και Ρόκος, Δ. (2004). "Βιώσιμη και Αξιοβίωτη Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη στις ορεινές περιοχές της Ελλάδας και του κόσμου", Πρακτικά 3^{ου} Διεπιστημονικού Διαπανεπιστημιακού Συνεδρίου του Ε.Μ.Π. και του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. του Ε.Μ.Π. "Η Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη στις Ορεινές Περιοχές. Θεωρία και Πράξη", Μέτσοβο, 7-10 Ιουνίου 2001, σελ. 141-170.
- Παραλυκίδης, Σ. (2010). *Ανάπτυξη αυτοματοποιημένης διαδικασίας χαρτογράφησης καμένων εκτάσεων με τη χρήση δορυφορικής Τηλεπισκόπησης*. Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Πατεράκης, Π. (2010). *Ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου με Αντικειμενοστραφής ανάλυση πολυφασματικών απεικονίσεων QUICKBIRD*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Πετρολέκας, Κ. (2014). *Διερεύνηση των μηχανισμών μεταβολών χρήσεων γης ως αποτέλεσμα του φαινομένου της αστικής διάχυσης στον ελληνικό χώρο*. Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Ρέντζιος, Β. (2009). *Ανίχνευση και εξαγωγή του οδικού δικτύου με Αντικειμενοστραφής ανάλυση υπερφασματικών εικόνων Hyperion και πολυφασματικών εικόνων*

- Landsat TM και σύγκριση των αποτελεσμάτων*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Ροκος, Δ. (1980). *Κτηματολόγιο, Φυσικά Διαθέσιμα και Ολοκληρωμένες Αποδόσεις*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Παρατηρητής.
- Ρόκος, Δ. (2004). "Η Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη στις ορεινές περιοχές. Θεωρία και πράξη", Πρακτικά 3ο Διεπιστημονικού Διαπανεπιστημιακού Συνεδρίου Μετσόβου "Η Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη στις Ορεινές Περιοχές, Θεωρία και Πράξη", Μέτσοβο, 7-10 Ιουνίου 2001, σελ. 79-140.
- Ρόκος, Δ. (2005). "Πολιτικές Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος. Από τις Θεωρίες στην Πράξη", Πρακτικά 5η Διεθνή Έκθεσης και Συνεδρίου για την Τεχνολογία Περιβάλλοντος, HELECO '05, Στρογγυλό Τραπέζι "Περιβάλλον και Ανάπτυξη. Διαλεκτικές Σχέσεις και Αλληλεπιδράσεις", Αθήνα, 3-5 Φεβρουαρίου 2005.
- Σιώρα, Ε. (2011). *Διερεύνηση εξέλιξης χρήσεων γης με ταξινομήσεις δορυφορικών απεικονίσεων και οικονομετρικά πρότυπα*. Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Φαναρά, Λ. (2011). *Αυτόματη ανίχνευση ελαιόδεντρων από δορυφορικές απεικονίσεις υψηλής διακριτικής ικανότητας με Αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνας*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Φώτη, Ε. (2011). *Αντικειμενοστραφής ανάλυση δορυφορικών εικόνων με σκοπό την αυτόματη ταξινόμηση χρήσεων/καλύψεων γης σε αγροτικές περιοχές για τον έλεγχο των αγροτικών επιδοτήσεων*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Φωτιάδης, Γ. (2010). Χαρακτηριστικά Στοιχεία της Βλάστησης και της Χλωρίδας του Πηλίου. Διαθέσιμο: <http://www.iama.gr/ethno/faskomilo/Fwtiadis.pdf> [Ημερομηνία πρόσβασης: 11/5/2016].
- Χαιρετάκης, Ι. (2012). *Ανάπτυξη οντολογίας για την φωτοερμηνευτική αναγνώριση των τεχνητών επιφάνειες και αγροτικές περιοχές του Ευρωπαϊκού προγράμματος CORINE LAND COVER*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Χαρατσάρη, Χ. (2011). *Διερεύνηση των εκπαιδευτικών αναγκών παραγωγών προϊόντων βιολογικής καλλιέργειας, ολοκληρωμένης διαχείρισης και συμβατικής γεωργίας στην Κεντρική Μακεδονία*. Διδακτορική διατριβή, Σχολή Γεωπονίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
- Χαριλόγης, Δ. (2009). *Χάρτης μεταβολών χρήσεων γης για το Νομό Άρτας με αξιοποίηση μεθόδων και τεχνικών ψηφιακής Τηλεπισκόπησης*. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Χατζηγεωργίου, Α. (2005). *Αντικειμενοστραφής Σχεδίαση. UML, Αρχές, Πρότυπα και Ευριτικοί Κανόνες*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Κλειδάριθμος, σελ. 30-94.

Ξένη Βιβλιογραφία

Addink, E.A., Van Coillie, F.M.B. and De Jong, S.M. (2012). Introduction to the GEOBIA 2010 special issue: from pixels to geographic objects in remote sensing image analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 15, pp. 1–6.

Araya, Y. H. and Hergarten, C. (2008). "A comparison of pixel and object-based land cover classification: a case study of the Asmara region, Eritrea". In: Proceedings of 3rd International Conference on Evaluation, Monitoring, Simulation, Management and Remediation of the Geological Environment and Landscape, New Forest, UK, 16-18 June 2008. Available: https://www.researchgate.net/publication/269030162_A_comparison_of_pixel_and_object-based_land_cover_classification_a_case_study_of_the_Asmara_region_Eritre_a [Ημερομηνία πρόσβασης: 23/4/2016].

Argialas, D. and Harlow, C. (1990). Computational Image Interpretation Models: An Overview and a Perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 56, no. 6, pp.871-866.

Baatz, M. and Schape, A. (2000). Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation. In: Strobl, J., Blaschke, T. (Eds.), *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000*, Heidelberg: Herbert Wichmann-Verlag, pp. 12–23. Available: http://www.ecognition.com/sites/default/files/405_baatz_fp_12.pdf [Ημερομηνία πρόσβασης: 12/10/2015].

Blaschke, T. (2005). Towards a framework for change detection based on image objects. *Göttinger Geographische Abhandlungen* vol. 113, pp. 1–9. Available: <http://ispace.researchstudio.at/sites/ispace.researchstudio.at/files/140.pdf> [Ημερομηνία πρόσβασης: 7/4/2016].

Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 65, no. 1, pp. 2–16 Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271609000884> [Ημερομηνία πρόσβασης: 12/11/2015].

Bock, M., Xofis, P., Mitchley, J., Rossner, G. and Wissen, M. (2005). Object-oriented methods for habitat mapping at multiple scales – case studies from Northern Germany and Wye Downs, UK. *Journal for Nature Conservation*, vol. 13, pp. 75–89.

- Chen, M., Su, W., Li, L., Zhang, C., Yue, A., and Li, H. (2009). Comparison of pixelbased and object-oriented knowledge-based classification methods using SPOT5 imagery. *WSEAS Transactions on information science and applications*, vol. 6, no. 3, pp. 477-489. Available: <http://www.wseas.us/e-library/transactions/information/2009/28-879.pdf> [Ημερομηνία πρόσβασης: 23/4/2016].
- Chen, G., Hay, G.J., Carvalho, L.M.T. and Wulder, M.A. (2012a). Object-based change detection. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 33, no. 14, pp. 4434–4457. Available: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=33144> [Ημερομηνία πρόσβασης: 23/4/2016].
- Definiens Developer 7 – User Guide. (2007). Munich: Definiens AG, Germany. Available: <http://ecognition.cc/download/userguide.pdf> [Ημερομηνία πρόσβασης: 3/5/2016].
- Doxani, G., Siachalou, S. and Tsakiri-Strati, M. (2007). "Detecting urban land cover changes based on high resolution multitemporal images: a case study for Thessaloniki Metropolitan area". In: Proceedings of 7th Geomatic Week Conference, Barcelona, 20-23 February 2007.
- Doxani, G., Karantzalos, K. and Tsakiri-Strati, M. (2010). "Automatic change detection in urban areas under a scale-space, object-oriented classification framework", In: Addink E.A. and Van Coillie F.M.B. (Eds.), Proceedings of ISPRS International Conference of Geographic Object-Based Image Analysis, Ghent, 29 June – 2 July 2010. Available: http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/4-C7/pdf/Doxani_93.pdf [Ημερομηνία πρόσβασης: 3/3/2016].
- Hofmann, P. (2001). "Detecting Informal Settlements from IKONOS Image Data Using Methods of Object Oriented Image Analysis – An Example from Cape Town (South Africa)". In: Jürgens C. (Ed.). Proceedings of 2nd International Symposium "Remote Sensing of Urban Areas/Fernekundung in urbanen Räumen", Regensburg, 22-23 June 2001, pp. 41-42. Available: http://www.ecognition.com/sites/default/files/395_hofmann.pdf [Ημερομηνία πρόσβασης: 12/9/2015].
- Gamanya, R., Mayer, P. D. and Dapper, M. D. (2009). Object-oriented change detection for the city of Harare, Zimbabwe. *Expert Systems with applications*, vol. 36, pp. 571-588.
- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H. and Stanley, D. (2013). Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 80, no. , pp. 91-106.
- Jensen, J. R. (1996). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. (2nd ed.), New Jersey: Prentice Hall Inc.

- Jensen, J.R. (2005). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Toronto: Prentice Hall.
- Karathanassi, V., Kolokousis, P. and Ioannidou, S. (2007). A comparison study on fusion methods using evaluation indicators. *International Journal of Remote Sensing*, vol.28, no. 10, pp. 2309-2341.
- Lang, S. (2008). Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality – dealing with complexity. In: Blaschke, T., Lang, S., Hay, G.J. (Eds.), *Object-Based Image Analysis*, Berlin Heidelberg: Springer, pp. 3–27.
- Lein, J.K. (2012). *Object-Based Analysis, Environmental Sensing: Analytical Techniques for Earth Observation*. London: Springer, pp. 259–278.
- Li, X. and Yeh, A. G. O. (1998). Principal component analysis of stacked multitemporal images for the monitoring of rapid urban expansion in the Pearl River Delta. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 19, no. 8, pp. 1501–1518.
- Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E. and Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 25, no. 12, pp. 2365–2401.
- Lu, D., Moran, E. and Hetrick, S. (2011). Detection of impervious surface change with multitemporal Landsat images in an urban–rural frontier, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 66, no. 3, pp. 298–306. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21552379> [Ημερομηνία πρόσβασης: 7/1/2016].
- Mas, J. F. (1999). Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 20, no.1, pp. 139–152. Available: <http://uwf.edu/zhu/geo4133/reading/jmas99.pdf> [Ημερομηνία πρόσβασης: 15/3/2016].
- Meyer, P., Itten, K. I., Kellenberger, T., Sandmeier, S. and Sandmeier, R. (1993). Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in alpine environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 48, no. 4, pp. 17–28.
- Niemeyer, I. and Canty, M. J. (2003). "Pixel-Based and Object-Oriented Change Detection Analysis Using HighResolution Imagery". In: Proceedings of 25th Symposium on Safeguards and Nuclear Material Management, Stockholm, 13-15 May 2003.
- Niemeyer, I., Marpu, P.R. and Marpu, P.R. (2008). Change detection using object features. In: Blaschke, T., Lang, S., Hay, G.J. (Eds.), *Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, pp. 185–201.

- Phalke, S (2005). *Change detection of man-made objects using very high resolution images*. Thesis, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada. Available: http://www.ucalgary.ca/engo_webdocs/IC/05.20220.SPhalke.pdf [Ημερομηνία πρόσβασης: 12/3/2016].
- Shi, W. and Ehlers, M. (1996). Determining uncertainties and their propagation in dynamic change detection based on classified remotely-sensed images, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, no. 14, pp. 2129-2741.
- Singh, A. (1989). Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 10, no. 6, pp. 989–1003. Available: <ftp://ftp.shef.ac.uk/pub/uni/projects/ctcd/MartinWhittle/Singh1988.pdf> [Ημερομηνία πρόσβασης: 15/2/2016].
- Trimble eCognition 8.7 Release Notes. (2011), Munich: Trimble Documentation, Germany.
- Yang X., and Lo C. P. (2002). Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, no. 9, pp. 1775–1798.
- Yuan, F., Sawaya, K., and Loeffelholz, B. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, vol. 98, pp. 317 – 328. Available: http://land.umn.edu/documents/TCMA_change_detection--RSE_paper-3.pdf [Ημερομηνία πρόσβασης: 14/11/2015].

Δικτυακοί Τόποι

- Discover Pelio: Ταξιδιωτικός Οδηγός Πηλίου. <http://www.discoverpelio.com>
- Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία. <http://ornithologiki.gr>
- Εθνική Στατιστική Αρχή. <http://www.statistics.gr>
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος. <http://web.tee.gr>
- Lafarge – Όμιλος ΑΓΕΤ Ηρακλής. <http://www.lafarge.gr>
- OSGeo-live. <https://live.osgeo.org>
- GLOVIS. <http://glovis.usgs.gov>
- Landsat Science – Nasa. <http://landsat.gsfc.nasa.gov>
- U.S. Geological Survey. <http://landsat.usgs.gov>
- European Space Agency (ESA). <http://www.esa.int>